

重庆市城口县工业园区气候可行性论证 区域整体评价

重庆舍特气象应用研究所
二〇二〇年十一月

项目名称：重庆市城口县工业园区气候可行性论证区域整体评价

委托单位：重庆宝臣土地勘测规划设计有限公司

承担单位：重庆舍特气象应用研究所

项目负责人：程炳岩

编写人员：秦文思 柴闯闯 骆 琪 吴思颖
李欣瞳 郭利敏 郭 威 张永亮
谢源威 李兆东 李家旭 张 鹏

审 核 人：柴闯闯

审 定 人：程炳岩

批 准 人：曾 宇

声 明

1. 《重庆市城口县工业园区气候可行性论证区域整体评价》报告(简称本报告)是重庆舍特气象应用研究所受重庆宝臣土地勘测规划设计有限公司委托而完成的技术成果，其使用权归双方共同所有，并受中华人民共和国知识产权法保护。该技术成果的知识产权归重庆舍特气象应用研究所所有。
2. 本报告由承担单位盖章方有效。
3. 本报告的区域性气候可行性论证结论仅限于区域内所有符合规划的入驻项目使用。
4. 本报告中的所用气象资料和地理信息资料仅限于本项目使用，涉密资料使用时须根据国家有关保密法律法规的要求，采取有效的保密措施，严防泄密。
5. 本报告结论中的建议是基于标准气象观测资料、数值模拟资料计算得出，超出规定值的气象风险损坏是存在的。
6. 本报告中所提的气象灾害防护措施的建议，不能替代规划或建设项目的具体设计意见。
7. 本报告有效期 5 年，自 2020 年 11 月 20 日起至 2025 年 11 月 20 日止。其间若出现重大气象灾害并造成严重影响，须重新开展区域性气候可行性论证。
8. 对本报告若有异议，应于收到本报告之日起 15 个工作日内向承担单位书面提出。

重庆舍特气象应用研究所

2020 年 11 月 20 日

目 录

1 概述	1
1.1 论证目的及论证原则	1
1.2 编制依据	1
1.2.1 政策法规	1
1.2.2 标准规范	2
1.3 计量单位与专业术语	3
1.3.1 计量单位	3
1.3.2 专业术语	3
1.4 论证内容和步骤	4
1.4.1 论证对象和范围	4
1.4.2 论证内容	10
1.4.3 论证工作步骤	10
2 气象资料来源及代表性分析	12
2.1 资料来源及说明	12
2.2 资料质量控制与均一性检查	13
2.3 园区周边气象站概况	13
2.4 参证站的选取	14
2.4.1 参证站一致性分析	15
2.4.2 参证站可靠性分析	16
2.4.3 参证站代表性分析	17
2.4.4 参证站的确定	21
3 园区气候背景	22
3.1 气候概况	22
3.2 气象要素特征	23
3.2.1 气压	23
3.2.2 气温	26
3.2.3 相对湿度	30
3.2.4 降水	32
3.2.5 蒸发量	40
3.2.6 日照	42
3.2.7 风	43
4 高影响天气现象分析	48
4.1 园区关键影响气象因子确定	48
4.1.1 基于典型案例的园区气象敏感度分析	48
4.1.2 园区气象灾害敏感度分析	50
4.2 低温	50
4.2.2 低温的时间变化特征	50
4.2.3 低温的空间分布特征	52
4.3 强降水	53
4.3.1 暴雨	53
4.3.2 日降水极值	56
4.3.3 短历时强降水	58

4.4	大风日数.....	59
4.5	连阴雨.....	60
4.5.1	年连阴雨频数变化.....	60
4.5.2	年连阴雨持续时间变化.....	61
4.5.2	年最长连阴雨日数.....	61
4.6	雷电	63
4.6.1	雷暴日数.....	63
4.6.2	闪电.....	64
5	关键工程设计气象参数分析及推算.....	74
5.1	建筑抗风设计气象参数.....	74
5.1.1	标准风速资料序列的构建.....	74
5.1.2	设计风速.....	76
5.1.3	基本风压.....	80
5.2	重现期极值.....	81
5.2.1	重现期最大日降水量.....	81
5.2.2	重现期极端高温.....	82
5.2.3	重现期极端低温.....	84
5.3	污染气象条件.....	85
5.3.1	污染系数.....	85
5.3.2	大气稳定度.....	90
5.3.3	稳定度风向风速联合频率.....	92
5.3.4	混合层厚度.....	95
5.3.5	逆温.....	99
5.4	室外排水设计气象参数.....	108
5.4.1	暴雨强度公式.....	108
5.4.2	年径流总量控制率对应的设计降水量.....	111
5.5	园区气温推算.....	113
5.5.1	气温计算方法.....	113
5.5.2	园区气温的推算.....	114
5.6	供暖通风与空气调节设计相关气象参数	116
5.6.1	冬季空调和供暖参数.....	116
5.6.2	夏季空调参数.....	117
5.6.3	夏季和冬季通风参数.....	118
5.7	建筑物防雷设计相关参数.....	118
5.7.1	建筑物年预计雷击次数校正系数.....	118
5.7.2	雷击大地的年平均密度.....	119
6	专题影响评估.....	120
6.1	暴雨灾害风险评估与区划.....	120
6.1.1	暴雨灾害风险评估.....	120
6.1.2	暴雨灾害风险区划.....	122
6.1.3	暴雨风险对策、措施与建议.....	127
6.2	低温灾害风险评估与区划.....	129
6.2.1	低温灾害风险评估.....	129
6.2.2	低温灾害风险区划.....	130

6.2.3 低温风险对策、措施与建议.....	135
6.3 大风灾害风险评估与区划.....	136
6.3.1 大风灾害风险评估.....	136
6.3.2 大风灾害风险区划.....	138
6.3.3 大风风险对策、措施与建议.....	143
6.4 雷电灾害风险评估与区划.....	144
6.4.1 雷电灾害风险评估.....	144
6.4.2 雷电灾害风险区划.....	147
6.4.3 雷电风险对策、措施与建议.....	151
7 园区规划建设对局地气候的可能影响	153
8 结论及建议.....	155
8.1 结论	155
8.1.1 气候背景.....	155
8.1.2 高影响天气.....	156
8.1.3 关键气象参数推算结果.....	157
8.1.4 灾害风险评估.....	159
8.1.5 园区规划建设对局地气候的可能影响	160
8.2 适用性.....	161
8.3 建议	161
8.3.1 应对暴雨天气的建议.....	161
8.3.2 应对低温天气的建议.....	162
8.3.3 应对大风天气的建议.....	162
8.3.4 应对雷电天气的建议.....	162
8.3.5 规划布局相关建议.....	162
附 录.....	165
A 风险矩阵法	165
B 气象灾害风险区划模型.....	167
C 层次分析法.....	170
D 隶属度计算方法.....	172
E 数值模式介绍	178
F 重现期计算方法.....	180
G 园区及重点企业对气象要素、高影响天气敏感度调查表	181

1 概述

为落实《重庆市人民政府关于印发重庆市工程建设项目审批制度改革试点实施方案的通知》（渝府发〔2018〕43号）和《重庆市工程建设项目审批制度改革试点工作领导小组办公室关于转发市规划自然资源局重庆市建设项目区域整体评价工作实施细则（试行）》（渝工程改办〔2018〕6号）文件要求，重庆宝臣土地勘测规划设计有限公司根据园区性质、定位、区位，委托重庆舍特气象应用研究所开展重庆市城口县工业园区气候可行性论证区域整体评价。

在接受委托后，重庆舍特气象应用研究所立即成立编制工作组，收集了城口县工业园区建设项目周边相关气象资料，并前往工业园区进行现场调查，按照园区的性质、规模、建设内容、发展规划等要求确定气候可行性论证的重点、范围、技术路线等，形成工作方案。在此基础上，按照《重庆市气象局关于印发重庆市建设项目气候可行性论证区域整体评价工作规程（试行）的通知》（渝气发〔2018〕140号）的要求编制了该项目的大纲，并完成重庆市城口县工业园区气候可行性论证区域整体评价。

1.1 论证目的及论证原则

随着经济社会发展，全球气候变暖加剧，极端气候事件多发频发，气象灾害及其引发的次生、衍生灾害对人民生命财产和经济社会发展造成了较为严重的影响，开发区、工业园区（以下简称“园区”）的规划和建设对天气气候特别是灾害性天气的敏感度和脆弱性加大。因此，开展园区气候适宜性和风险性论证工作势在必行，气候可行性论证工作能够从源头上有效避免或者减轻园区的规划和建设遭受极端气象灾害的不利影响，对于其规划、建设、运营等意义重大。

本报告以重庆市城口县工业园区建设项目周边国家气象站以及区域自动站等观测资料为基础，结合数值模拟、现场测试资料及历史灾情资料，对城口县工业园区建设项目区域的气候条件开展论证分析工作，并从气象防灾减灾、灾害风险防御的角度对工业园区规划建设、生产运营管理给出指导建议。

1.2 编制依据

1.2.1 政策法规

- (1) 《中华人民共和国气象法》（2016年11月7日修正版）

- (2) 《气候可行性论证管理办法》（中国气象局第 18 号令）
- (3) 《国务院关于印发清理规范投资项目报建审批事项实施方案的通知》（国发〔2016〕29 号）
- (4) 《重庆市气象灾害防御条例》
- (5) 《重庆市人民政府关于印发重庆市工程建设项目审批制度改革试点实施方案的通知》（渝府发〔2018〕43 号）
- (6) 《重庆市工程建设项目审批制度改革试点工作领导小组办公室关于转发市规划自然资源局重庆市建设项目区域整体评价工作实施细则（试行）》（渝工程改办〔2018〕6 号）
- (7) 《重庆市气象局关于印发重庆市建设项目气候可行性论证区域整体评价工作规程(试行)的通知》（渝气发〔2018〕140 号）

1.2.2 标准规范

- (1) GB/T 27921-2011 风险管理 风险评估技术
- (2) GB 50009-2012 建筑结构荷载规范
- (3) GB 50014-2016 室外排水设计规范（2016 版）
- (4) GB 50019-2015 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范
- (5) GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范
- (6) GB 50736-2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范
- (7) GB/T 3840-1991 制定地方大气污染物排放标准的技术方法
- (8) QX/T 85-2018 雷电灾害风险评估技术规范
- (9) QX/T 118-2010 地面气象观测资料质量控制
- (10) QX/T 423-2018 气候可行性论证规范报告编制
- (11) QX/T 436-2018 气候可行性论证规范:抗风参数计算
- (12) QX/T 469-2018 气候可行性论证规范 总则
- (13) QX/T 452-2018 基本气象资料和产品提供规范
- (14) QX/T 453-2018 基本气象资料和产品使用规范
- (15) 城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则（住房和城乡建设部、中国气象局 2014 年 4 月）
- (16) DL/T 5158-2012 电力工程气象勘测技术规范

(17) QX/T 457-2018 气候可行性论证规范气象观测资料加工处理

(18) HJ 2.2-2018 环境影响评价技术导则大气环境

(19) 区域性气候可行性论证技术指南（中国气象局预报与网络司 2019 年 8 月）

(20) DB50/T 958-2019 重大建设项目气候可行性论证技术规范

1.3 计量单位与专业术语

1.3.1 计量单位

详见表 1.1。

表 1.1 报告涉及的计量单位

序号	类别	单位
1	时间	年 a、天 d、小时 h、分钟 min
2	长度	千米(公里)km、米 m、厘米 cm、毫米 mm
3	面积	平方米 m ² 、平方千米(平方公里)km ² 、公顷 hm ²
4	容积	立方米 m ³
5	重量	克 g、千克(公斤)kg
6	温度	摄氏度℃
7	湿度	百分比%
8	速度	米/秒 m/s、米/平方秒 m/s ²
9	流量	立方米/秒 m ³ /s
10	变率	摄氏度/10 年℃/10a、米/秒/10 年 m/s/10a、天/10 年 d/10a、百分比/10 年%/10a
11	密度	克/立方厘米 g/cm ³ 、吨/立方米 t/m ³
12	强度	毫米/分钟 mm/min、升/秒/公顷 l/s/hm ² 、次/平方公里/年次/km ² /a
13	压强	百帕 hPa、千牛/平方米 kN/m ²
14	电流	千安 kA
15	电阻率	欧姆·米 Ω·m
16	功率	千瓦 kW
17	陡度	千安/微秒 kA/μs

1.3.2 专业术语

(1) 参证气象站：气象分析计算所参照具有长年代气象数据的国家气象观测站。

(2) 关键气象因子：对开发区、工业园区的气候适宜性和风险性有重大影响的单个气象要素或多个气象要素的组合。

(3) 高影响天气：直接影响开发区、工业园区项目建设和运营的天气现象。

(4) 基本风速：开阔平坦地貌条件下，地面以上 10m 高度处，50 年重现期的

10min 平均年最大风速。

(5) 设计风速：在基本风速基础上，考虑局部地表粗糙度影响，项目所在地地面以上 10m 高度处 50 年重现期的 10min 平均年最大风速。

(6) 冬季空气调节室外计算温度：近 30 年不保证 1d 的日平均温度。

(7) 夏季空气调节室外计算日平均温度：近 30 年平均不保证 5d 的日平均温度。

(8) 冬季通风室外计算温度：常年（近 30 年）最冷月平均温度。

(9) 夏季通风室外计算温度：常年（近 30 年）最热月 14 时的月平均温度的平均值。

(10) 暴雨强度公式：短历时暴雨过程中降水强度—降水历时—重现期三者间函数关系的数学表达式。

(11) 暴雨日数：指 24 小时降水量 $\geq 50\text{mm}$ 的日数。

(12) 日最大降水量：指一年中出现的一日最大降水量。

(13) 大风：瞬时风速达到或超过 17m/s 的风。

(14) 最大风速：给定时段内的 10min 平均风速的最大值。

(15) 极大风速：给定时段内的瞬时风速的最大值。

(16) 热岛效应：是由于人们改变地表而引起小气候变化（一个地区的气温高于周围地区）的综合现象。

(17) 数值模拟：在一定的控制条件下，利用相应的气象数值模式，模拟城市及周边地区的气象要素及其变化情况。

1.4 论证内容和步骤

1.4.1 论证对象和范围

1.4.1.1 论证对象

本次论证对象为城口县工业园区。

(1) 园区区位

城口县工业园区位于重庆市城口县，位于长江上游地区、重庆市东北部，地处渝、川、陕三省（市）交界处。南与重庆巫溪县、开州区和四川宣汉县毗邻，东北与陕西镇坪县、平利县、岚皋县和紫阳县接壤，西与四川万源市相连。园区区位优势、交通便利、基础完善、配套齐全。园区交通十分便捷，城（口）万（源）

快速通道和城（口）开（县）路穿境而过（图 1.1）。

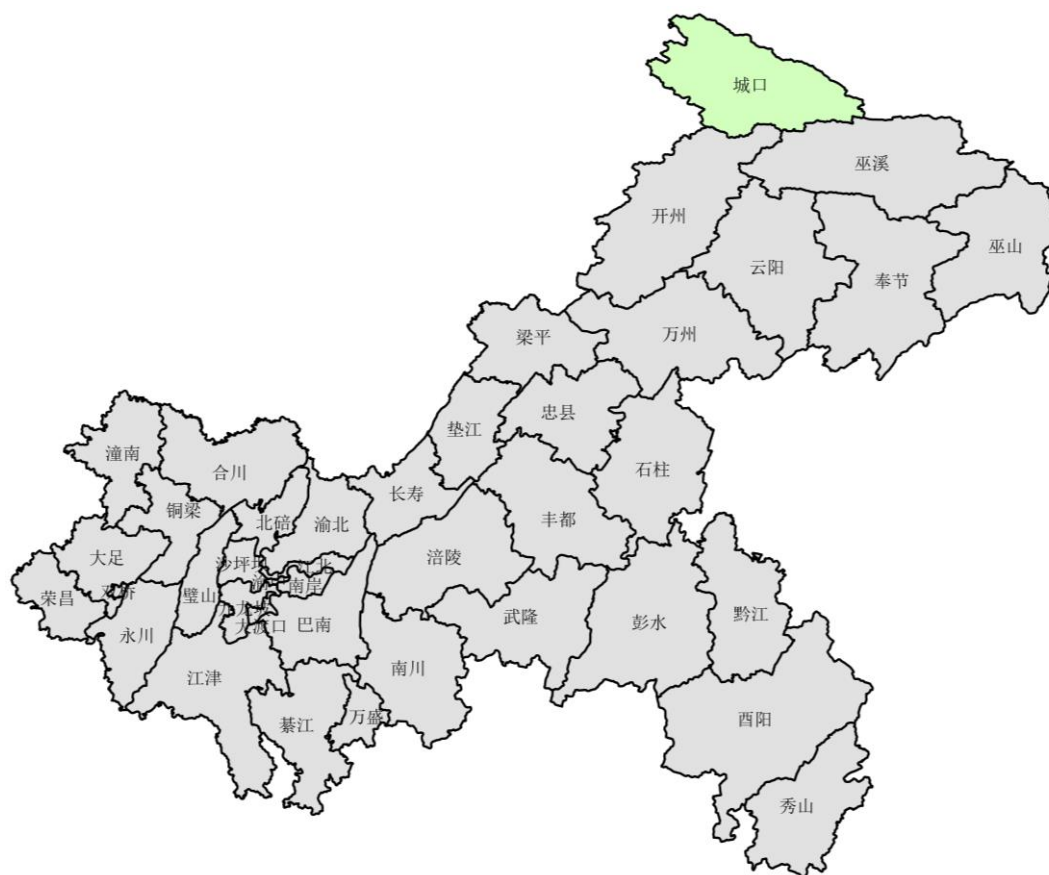


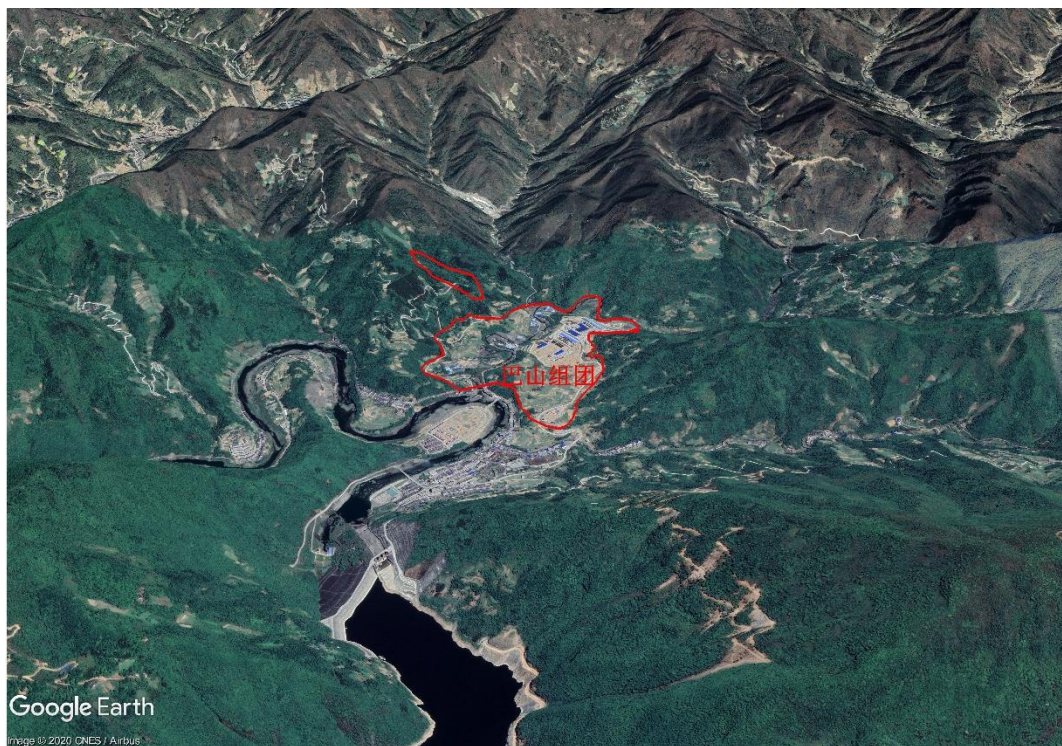
图 1.1 城口县在重庆市区位

(2) 园区定位

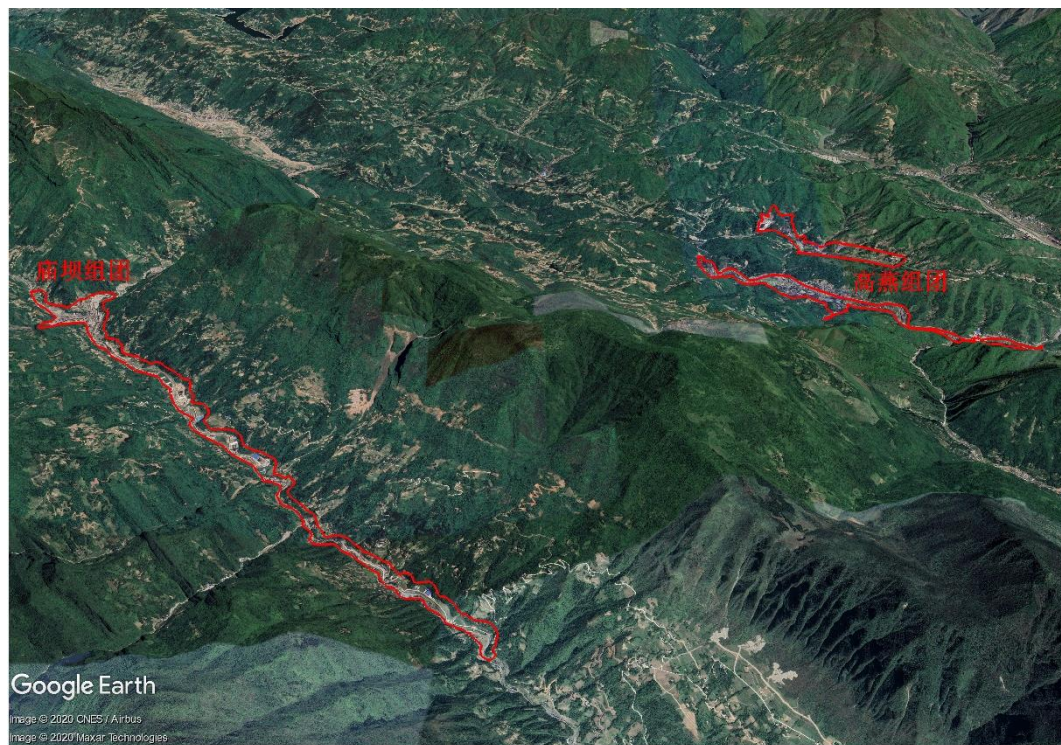
重庆市城口县工业园区是重庆市市级特色工业园区，于 2008 年 12 月正式启动建设。园区空间布局为“一区三园”，着力培育**锰钒高端产品**以及**特色食品（功能食品）、中药材加工**。

(3) 园区规模

园区规划面积 2.62 平方公里，由巴山组团、高燕组团和庙坝组团组成。其中巴山组团规划用地面积约 0.87 平方公里；高燕组团规划总用地面积约 1.47 平方公里；庙坝组团规划用地总面积约 0.28 平方公里（图 1.2）。



(a) 巴山组团卫星影像图

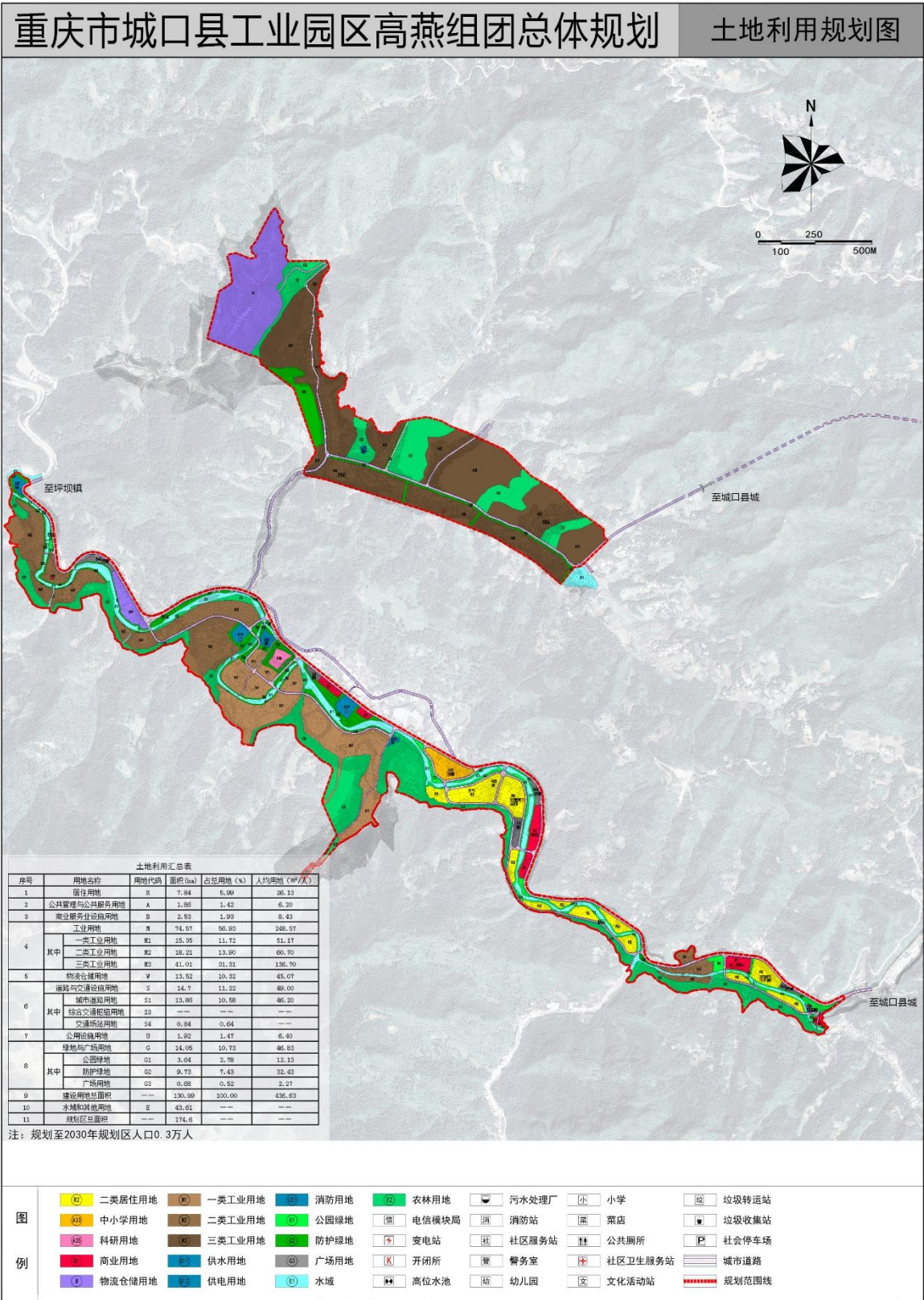


(b) 庙坝、高燕组团卫星影像图

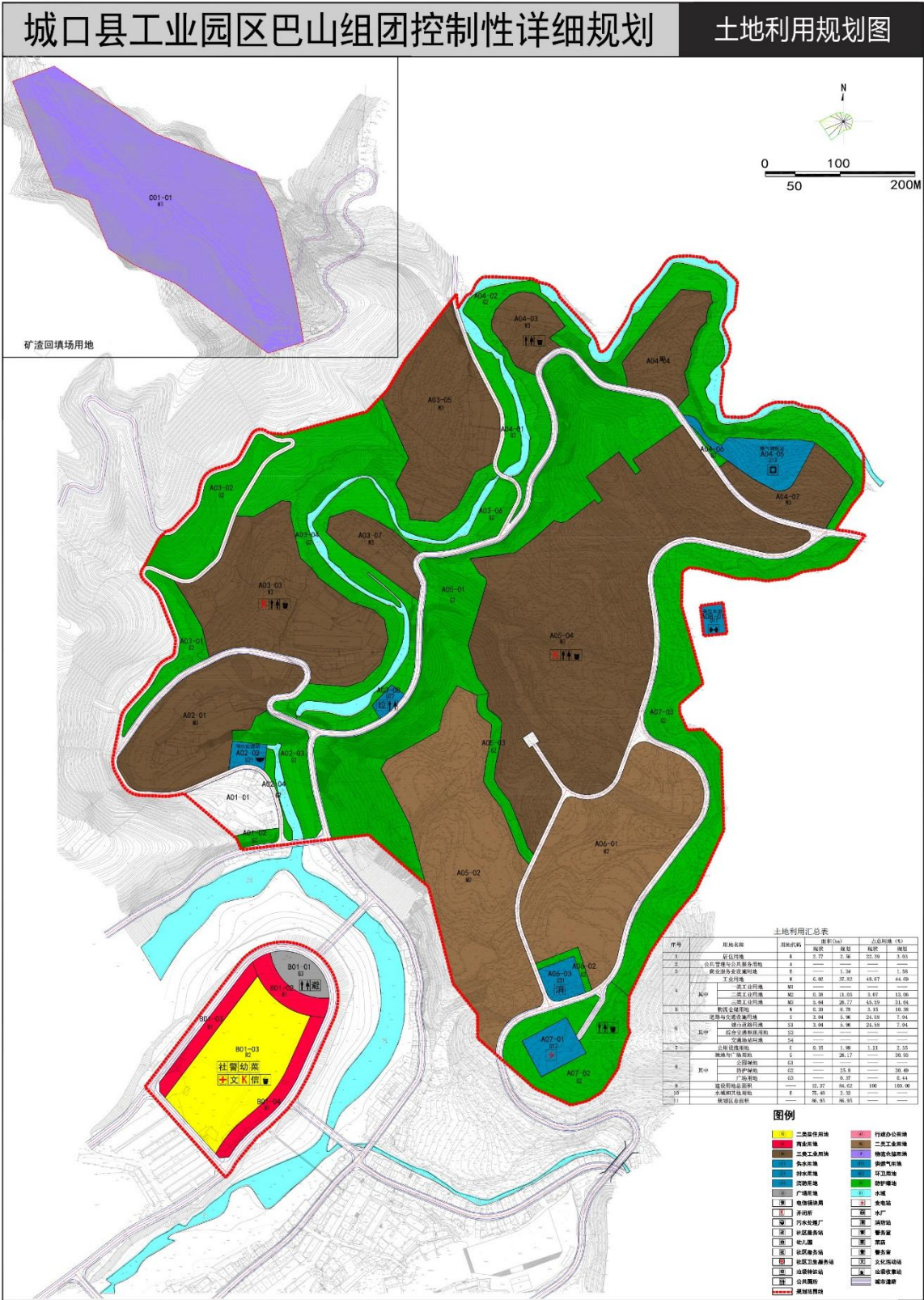
图 1.2 城口县工业园区各组团卫星影像图(红色线框区域为本报告评价范围)

(4) 园区功能定位和产业布局

城口县工业园区规划空间布局为“一区三园”，园区主要发展高端锰矿产品、高端钡矿产品和农林特色产品精深加工骨干产业。



(b) 高燕组团土地利用规划图



(c) 巴山组团土地利用规划图

图 1.3 城口县工业园区各组团土地利用规划图

1.4.1.2 论证范围

本报告的评价范围为委托方指定的城口县工业园区范围，包括高燕组团、巴

山组团和庙坝组团。具体范围见图 1.2 和 1.4。

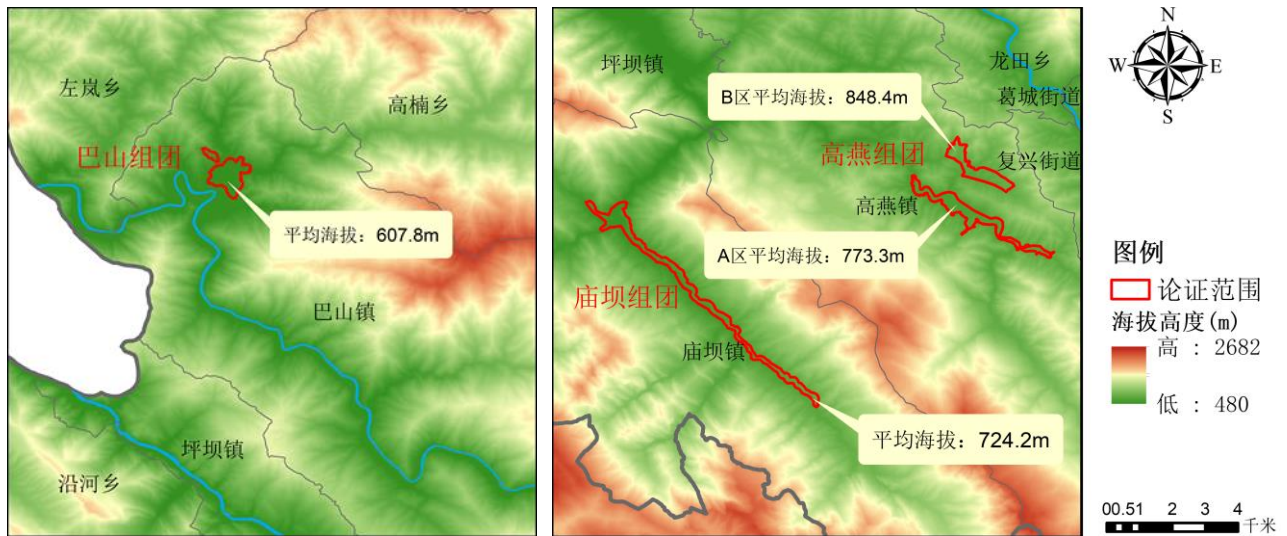


图 1.4 城口县工业园区各组团周边地形图(其中红色线框选区域为本报告评估范围)

1.4.2 论证内容

气候可行性论证包括了现场调查、参数计算、结果分析、气象灾害风险分析和气候环境影响等，是从气候的角度对建设工程全面的、科学的评价。气候可行性论证是工程项目气象防灾减灾的依据，也是实现科学防灾、全面防灾的基础工作之一。

根据合同要求，重庆市城口县工业园区气候可行性论证区域整体评价主要包含的内容如下：

- (1) 区域内建设项目概况；
- (2) 依据的标准、规范和规程；
- (3) 基础资料来源及其代表性、可靠性说明，通过现场探测所取得的资料，还应当对探测仪器、探测方法、探测环境和探测数据有效性进行说明；
- (4) 区域气候特征、极端天气气候事件分析；
- (5) 区域气象灾害风险评估；
- (6) 区域项目建设对局地气候的可能影响；
- (7) 预防或者减轻影响的对策和建议；
- (8) 评价结论和适用性说明；
- (9) 其他有关内容。

1.4.3 论证工作步骤

论证工作步骤分为六个阶段：准备阶段、现场调查阶段、分析论证阶段、报

告编制阶段、专家评审阶段和修改完善阶段。

(1) 准备阶段 根据气候可行性论证技术规范、具体情况和相关法律法规、标准、规范，对园区项目类型、规模、敏感气候要素等进行初步研究，编制气候论证工作方案，做好观测资料等方面的准备工作。

(2) 现场调查阶段 对园区所在区域进行实地踏勘、调研，了解区域地形地貌和周边环境特征，开展现场气象灾害调查。

(3) 分析论证阶段 依据相关规范和标准，对园区所在区域的气候特征、主要气象灾害、极端天气气候事件、与工程设计建设运行相关的气象参数等气象要素进行计算分析。

(4) 报告编制阶段 对分析论证结果进行汇总，结合分析评估内容，编制《气候可行性论证报告》。

(5) 专家评审阶段 由重庆市气象局组织项目评审会，邀请相关领域专家参加评审会，对《气候可行性论证报告》进行评审，并提出意见和合理建议。

(6) 修改完善阶段 根据项目评审会专家意见，对报告进行补充、修改、完善，形成报告归档版，向项目建设方提交最终的《气候可行性论证报告》。

2 气象资料来源及代表性分析

2.1 资料来源及说明

报告所用资料涉及以下几类：

(1) 地面气象站资料：包括园区附近国家气象站和区域自动气象站的资料。国家气象站观测资料来源于重庆市气象信息与技术保障中心，均从经过审核后的信息化资料中提取。包括气压、气温、降水、风、相对湿度、日照、雷电等气象要素及天气现象。时间长度为建站至 2019 年，主要用于参证站选取、气候背景分析、高影响天气分析、关键气象参数分析及推算等。不同论证内容所选资料时间长度和时间分辨率有所不同，具体参见各章节具体内容。区域自动气象站资料为园区所在地区范围内的所有自动气象站的资料，来源于重庆市气象信息与技术保障中心，包括风、温度、湿度等气象要素，资料时间段为 2013~2019 年，时间分辨率为逐小时，资料主要用于关键气象参数订正和空间精细化分析。

(2) 气象灾害资料：园区附近历史气象灾害资料，一部分来源于重庆市气象信息与技术保障中心的信息化资料以及气象年、月报表，另一部分来源于地方志、气象志、灾情直报系统以及民政和农业部门的灾情报告等，主要用于园区高影响天气的确定。

(3) 园区气象要素敏感度资料：园区重点企业（行业）对气象要素（灾害）的敏感度资料由论证人员在园区已入驻企业中现场抽样调查得到，用于确定园区高影响天气。

(4) 再分析格点资料：采用由美国气象环境预报中心（NCEP）和美国国家大气研究中心（NCAR）联合制作的 NCEP/NCAR 再分析数据集，分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，时间长度为 1990~2019 年，主要用于区域气象数值模拟。

(5) 数字高程（DEM）数据：数字高程模型数据由美国 NASA LP DAAC（美国陆地过程分布式活动档案中心）提供的 30m 空间分辨率 ASTER GDEM(V2) 数据得到，主要用于地形特征分析，卫星影像的裁剪，并制作园区边界图层。

(6) 闪电定位仪资料：重庆市二维闪电定位资料来源于重庆市气象局雷电监测网，资料时间范围为 2010~2019 年。主要用于雷电灾害风险评估和高影响天气中的闪电分析。

(7) 与园区气候可行性论证区域整体评价相关的其他资料（如地理信息数据

等): 由委托单位提供, 主要用于论证结果制图展示等。

2.2 资料质量控制与均一性检查

国家站数据均经过质量控制和均一性检验。数据质量控制通常将范围值检查、内部一致性检查、时变检查、持续性检查和空间一致性检查综合应用。

范围值检查: 气候极值检查是检查各要素值是否超过历史上出现过的最大值和最小值。选取全国自动站经度、纬度、拔海高度以及自动站数据为样本, 建立多元线性回归方程, 推求出各要素极值随时间(月份)、经度、纬度、拔海高度的多元线性方程, 然后利用该方程, 计算出任意地理位置的各气象要素极值。

内部一致性检查: 有些气象观测要素相互之间关系密切, 其变化规律具有一致性。根据该特性, 就可对相关数据是否保持这种内部关系来检查其是否发生异常, 以确定数据质量。

时变检查: 大气中的有些观测数据与时间显著相关, 具有良好的时间一致性, 将此类数据与其时间上前、后的测值相比较, 来判断其数据是否发生异常。

持续性检查: 在一段时间内(如一天), 许多气象要素值会随着时间、地域的变化出现波动。如果某要素值没有发生变化有可能观测仪器或传输设备出现故障。

空间一致性检查: 气象要素分布的地理空间具有相关性, 空间距离较近的气象站点比距离较远的站点其特征值具有更大的相似性。这是空间插值的理论依据之一, 也是空间一致性检查的理论基础。根据插值原理, 对于被检站被检时次的某个要素(如气温), 可用邻近参考站的数据来估计被检站数据, 再根据实测值与估计值差值大小, 确定数据质量控制码。

2.3 园区周边气象站概况

城口县工业园区建设项目(以下简称为园区)建设区域周边附近 50km 范围内的国家气象站为城口气象站, 级别属于一般气象站。此外园区周边距离较近的还有 4 个区域自动站, 分别为: 位于庙坝组团西北部的四要素(气温、降水、风向、风速)区域自动站庙坝站, 位于庙坝组团东南侧, 距离组团 0.1km 的两要素(气温、降水)区域自动站罗江村站, 位于高燕组团 A、B 区之间的两要素(气温、降水)的区域自动站高燕站, 位于巴山组团南侧, 距离组团 2.1km 的四要素(气温、降水、风向、风速)区域自动站巴山站。园区及周边气象台站位置及相

关情况见表 2.1 和图 2.1。

表 2.1 城口县工业园区周边气象站分布情况

区站号	站名	经度(°E)	纬度(°N)	海拔(m)	开始观测时间	与园区位置关系	要素数
57333	城口	108.6667	31.95	798.2	1958-01	距离巴山(最远)25.9km	\
A7111	巴山	108.4667	32.1	580.7	2006-01	距巴山组团 2.1km	4
A7780	高燕	108.6131	31.9414	759.7	2009-03	位于高燕 A、B 区之间	2
A7791	庙坝	108.5183	31.9358	669.1	2007-10	位于庙坝组团内	4
A8919	罗江村	108.5592	31.8947	773.8	2012-07	距庙坝组团 0.1km	2

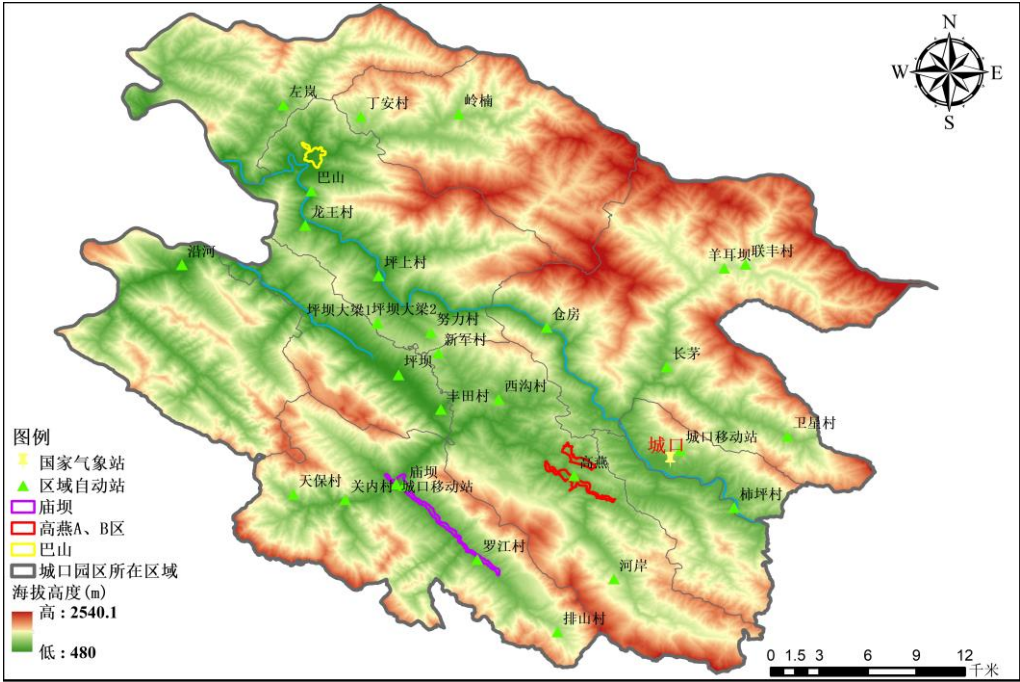


图 2.1 城口县工业园区及周边气象站分布图

2.4 参证站的选取

由于园区范围内自动站的数据观测时间较短、观测要素不全，不满足气象分析的相关规范，因此考虑选用园区周边附近的国家站作为参证站。参证气象站是指气象分析计算所参照的具有长年代气象数据的国家气象观测站。本报告参照站按照 QX/T 469-2018《气候可行性论证规范 总则》中 7 的要求进行选取，即：

(1) 优先选用距离较近、具有类似气候特征的国家气象观测站作为参证气象站，若没有符合条件的参证气象站，可考虑用其他气象站代替，但应在基础建设、观测仪器选型和安装、观测方法等方面符合相关气象观测标准，且观测资料经过严格审核。

(2) 参证气象站应与规划和建设项目区域处于同一气候区，下垫面特征相似，对影响项目的关键气象因子具有最优代表性。如设有专用气象站，则应选取与专用气象站的关键气象因子相关性好的气象站作为参证气象站。可针对影响规划和建设项目的关键气象因子代表性，选择一个或多个参证气象站。

(3) 应对参证气象站历史沿革进行考证和说明，一般应选择观测场址一直保持不变或变迁次数较小且控测环境较好的气象站。

(4) 工程气象参数中设计重现期计算时，应优先选取资料长度不少于 30 年且观测时段连续的气象站作为参证气象站。

根据上述原则，初步确定选取城口气象站作为参证站。下面分别就城口国家气象站的三性（代表性、可靠性、一致性）进行分析。

2.4.1 参证站一致性分析

数据的一致性主要是考察气象数据历史序列是否连续、一致。气象台站常因观测环境条件变化、仪器变更、台站迁移等因素的影响，可能导致气象要素存在明显的非均一性，出现不连续现象。

城口站始建于 1958 年 1 月 1 日，自建立至今，名称多次变更，但站址一直没有改变，位于城口县葛城镇文化路 7 号，东经 $108^{\circ}40'$ ，北纬 $31^{\circ}57'$ ，观测场海拔高度 798.2m。初建时名称为四川省城口县气候站；1960 年 2 月改称城口县气候服务站；1964 年 1 月 10 日改称四川省城口县气候站；1966 年 1 月 1 日改称城口县气象站；1968 年 10 月 10 日改称四川省万县地区气象台革命委员会城口站；1971 年 1 月 1 日恢复城口县气象站名称；1990 年 9 月 1 日更名为城口县气象局。1992 年 4 月 29 日被定为五类艰苦台站。图 2.2~2.3 为城口国家站建站以来平均气压和气温的年际变化曲线，从图可以看出城口气象站建站以来平均气压和气温未发生突变点，数据比较连续、一致性较好。

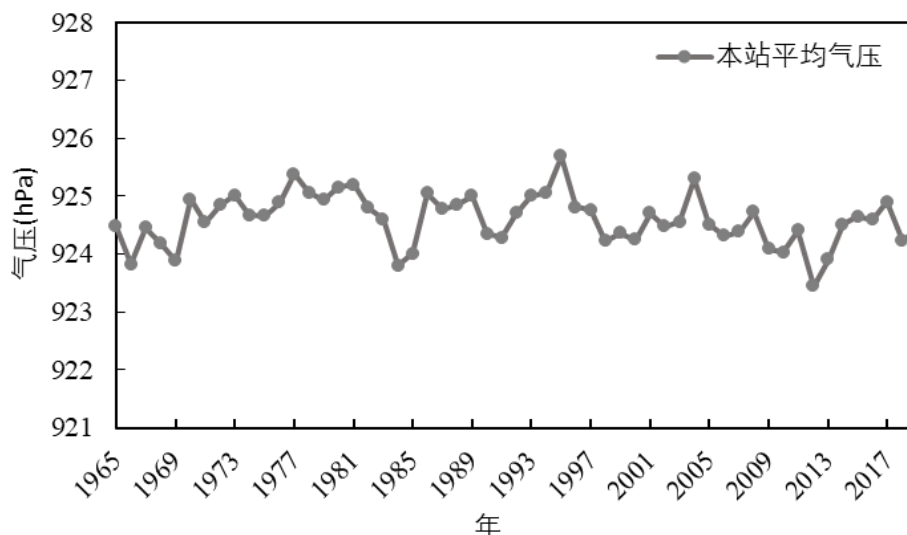


图 2.2 城口国家站建站以来平均气压年际变化(1965~2019 年)

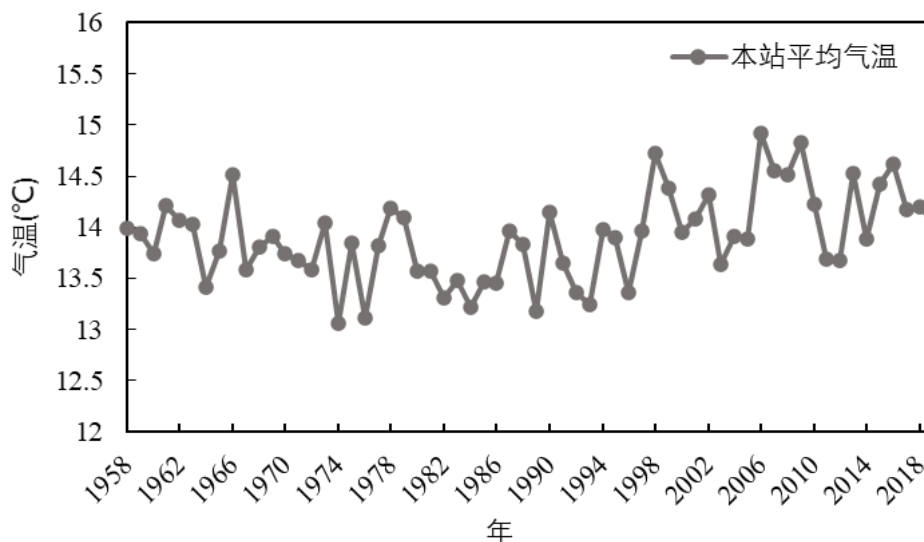


图 2.3 城口国家站建站以来平均气温年际变化(1958~2019 年)

2.4.2 参证站可靠性分析

可靠性是指气象站观测记录要真实的反映气象状况。标准气象站的气象观测员都应经过专业培训、定期考核、持证上岗；测量气象数据时应严格执行相关国家标准中的各气象要素观测方式及流程、数据记录及处理等方面的要求，确保气象数据的准确性。

城口国家气象站属于国家级（一般）气象观测站，能反映站点周围一定范围内的平均气象状况，建设符合国家标准，满足代表性要求；观测人员均是经过专业培训的专职人员，严格按照相关标准和规定进行观测、记录和数据处理，且历史资料均经过气象部门严格、规范地审核，其可靠性可以满足规范规定和项目要求。表 2.2 和 2.3 详细列出了城口站温度、风观测仪器的变更情况，其中经纬度、海拔高度变化是因测量方法等原因改变，台站观测场位置并没有变动。

表 2.2 城口气象站温度观测仪器变更情况

时段	经度 (°E)	纬度 (°N)	海拔高度 (m)	仪器离 地高度 (m)	仪器说明
1958.01.01-1960.12.31	108°47′	31°56′	750.3	2	百叶箱（木质，高 537mm，宽 460mm，深 290mm）
1961.01.01-1963.12.31	108°47′	31°56′	750.3	1.5	百叶箱（木质，高 537mm，宽 460mm，深 290mm）
1964.01.01-1978.08.31	108°40′	31°57′	750.3	1.5	百叶箱（木质，高 612mm，宽 460mm，深 460mm）
1978.09.01-1982.07.31			750.3		
1982.08.01-2003.12.31			798.2		
2004.01.01 至今	108°40′	31°57′	798.2	1.5	百叶箱（玻璃钢，高 615mm，宽 470mm，深 465mm）

表 2.3 城口气象站风观测仪器变更情况

时段	经度 (°E)	纬度 (°N)	海拔 高度 (m)	仪器离 地高度 (m)	仪器说明
1958.01.01-1964.12.31	108°47′	31°56′	750.3	11.4	维尔德测风器（轻型）
1965.01.01-1970.10.31	108°47′	31°56′	750.3	12.2	维尔德测风器（轻型）
1970.11.01-1970.12.31	108°47′	31°56′	750.3	11.5	EL 型电接风向风速计
1971.01.01-1978.08.31	108°47′	31°56′	750.3	12.0	EL 型电接风向风速计
1978.09.01-1979.12.31	108°40′	31°57′	750.3		
1980.01.01-1982.07.31	108.40	31.57	750.3	11.7	EL 型电接风向风速计
1982.08.01-2006.12.11	108°40′	31°57′	798.2		
2006.12.12-至今	108°40′	31°57′	798.2	10.5	EZC-1 风向风速传感器

2.4.3 参证站代表性分析

代表性是指观测记录不仅要反映测点的气象状况，而且要反映测点周围一定范围内的平均气象状况。城口气象站与城口县工业园区位于同一气候区，平均气候状况相似，部分敏感的气象要素产生的差异主要来自各站周围地形、地貌的影响。从气候成因和气候影响机理角度来看，城口站的气象数据能够较好地反映城口县工业园区一带的气候情况，其区域代表性较好。

本节将城口气象站和园区周边 4 个区域自动站（巴山站、高燕站、庙坝站和

罗江村站) 2013~2019 年气象要素进行了对比分析, 并对气温、风速进行相关性分析; 由于只有庙坝站、巴山站有风要素观测且巴山站观测资料不完整, 因此风速的相关性分析和风向玫瑰图对比选取了庙坝、巴山 2017~2019 年逐小时数据。

2.4.3.1 参证站和园区周边自动站各要素对比分析

图 2.4~2.6 为 2013~2019 年城口气象站和园区周边自动站的月平均气温、月平均累计降水量和月平均风速的对比图。由图可知, 2013~2019 年园区周边区域自动站与城口气象站逐月气温、降水、风速变化趋势基本一致。月平均气温最高值均出现在 7 月, 最低值出现在 1 月; 累计降水的变化趋势基本一致, 降水集中期均为 5~10 月; 各站风速均从 3 月、4 月开始有明显的下降趋势, 且在 8 月风速有一个小的峰值。

图 2.7 为城口气象站和园区周边自动站的风向频率对比图。由图可知, 城口气象站全年风向主要分布在 SSE~SSW 方向, 巴山站全年风向主要分布在 ESE~SSE 方向; 而庙坝站全年风向主要分布在 NNE~NE 方向, 由于其所在地理位置处于两座山脉之间, 且风口位于该站点的东北侧, 因此该站点多受偏北风影响。

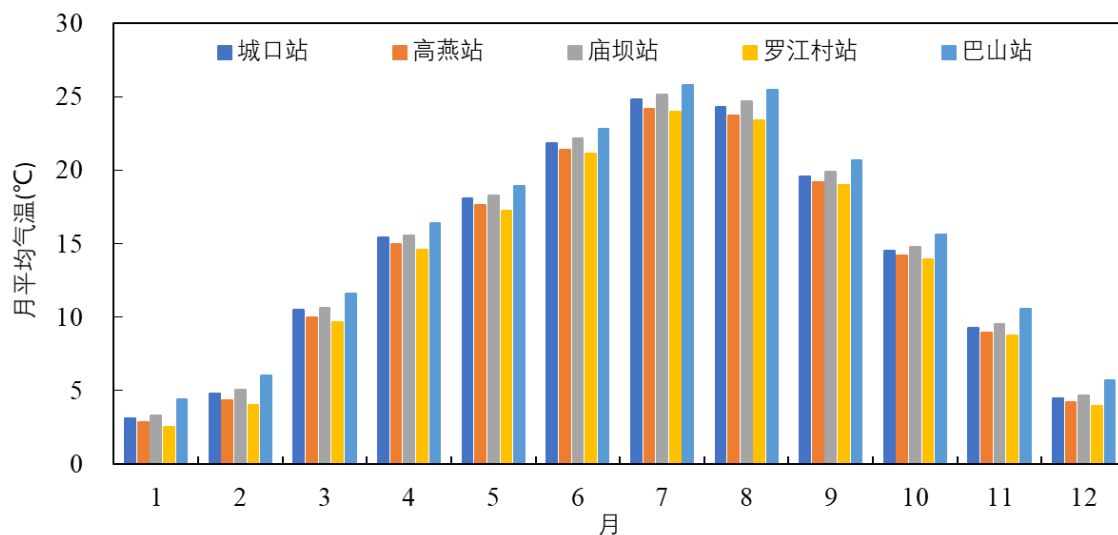


图 2.4 备选参证站和园区周边区域自动站逐月气温对比(2013~2019 年)

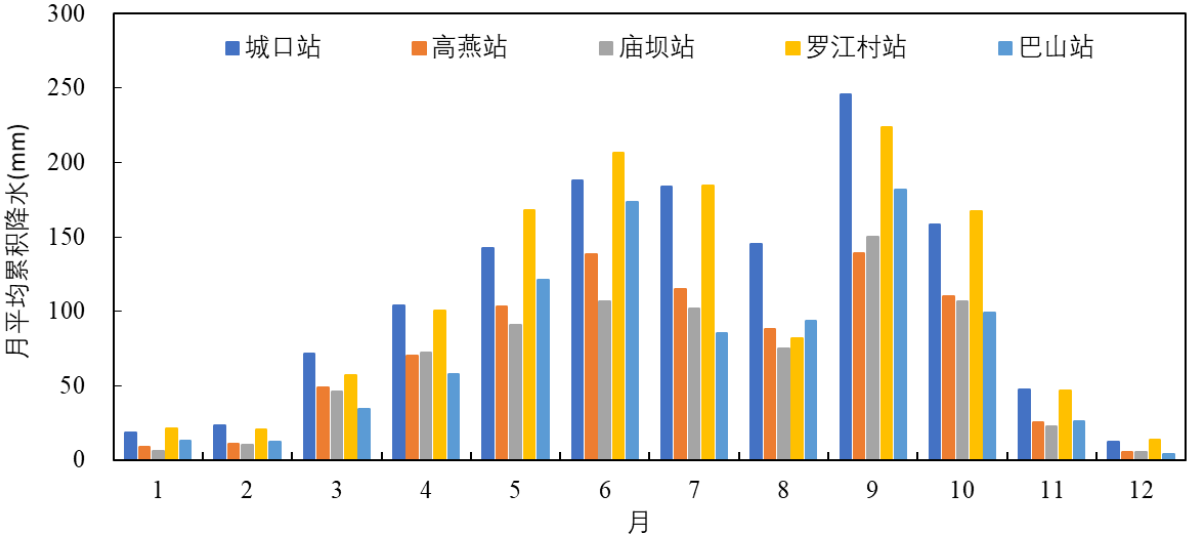


图 2.5 备选参证站和园区周边区域自动站逐月降水对比(2013~2019 年)

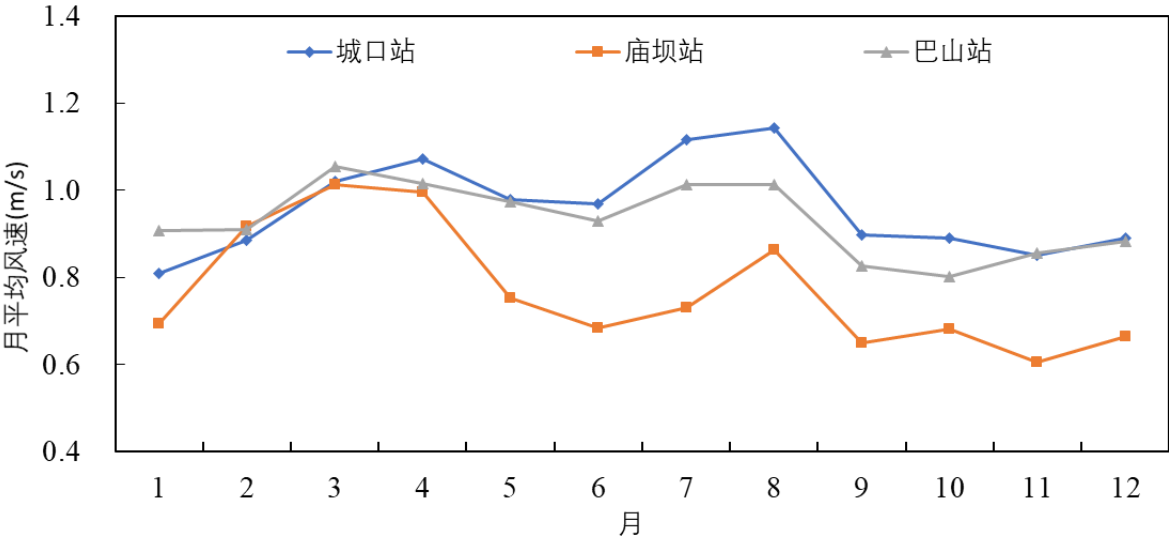
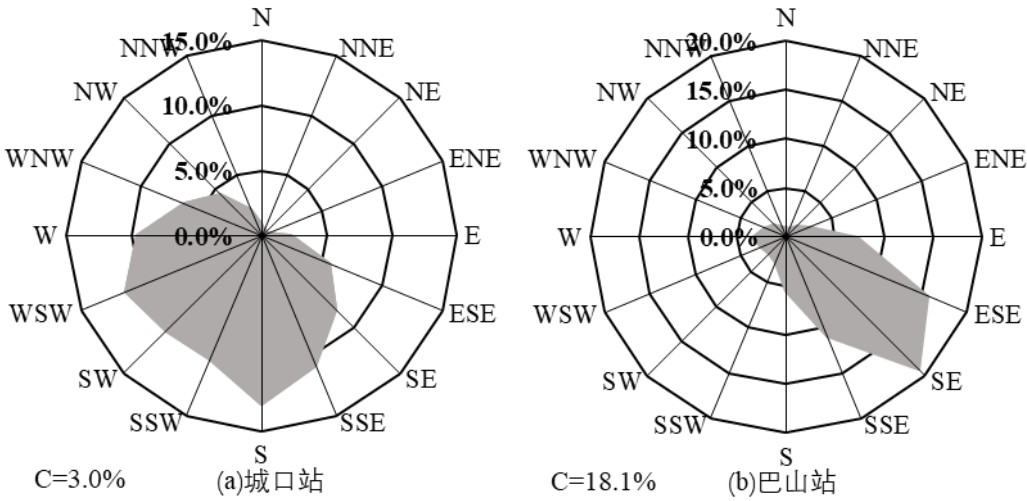


图 2.6 备选参证站和园区周边区域自动站逐月风速对比(2013~2019 年)



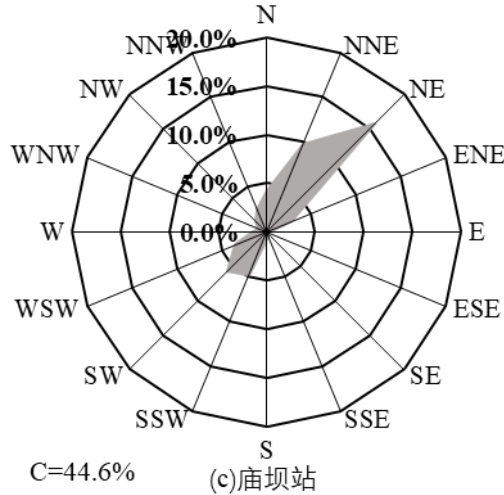


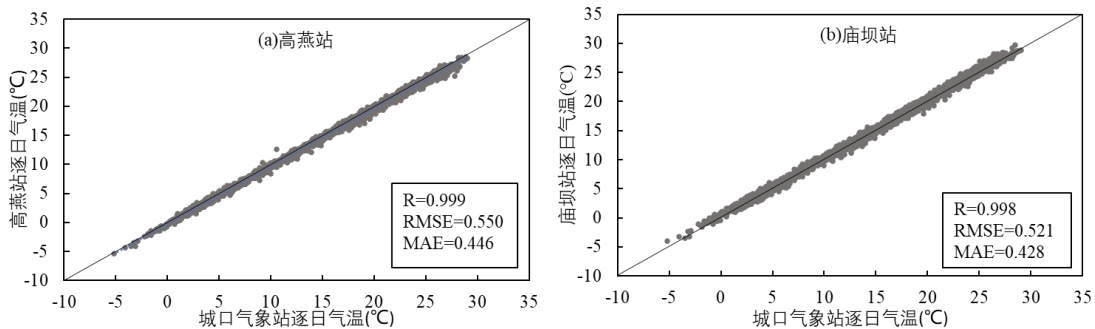
图 2.7 备选参证站和园区周边区域自动站风向频率对比(2017~2019 年)

2.4.3.2 参证站和园区周边自动站相关性分析

图 2.8~2.9 分别为城口气象站与园区周边区域自动站 2013~2019 年逐日平均气温的相关性分析和 2017~2019 年逐小时风速的相关性分析。统计指标包括了相关系数 (R)、均方根误差 (RMSE) 和平均绝对误差 (MAE)。

图 2.8 可以看出高燕站、庙坝站、罗江村站、巴山站与城口气象站逐日平均气温的相关系数较高，分别为 0.999、0.998、0.998 和 0.997，均通过信度为 0.01 的检验，达到极显著相关水平；均方根误差较小，分别为 0.550℃、0.521℃、0.833 和 1.264℃；平均绝对误差较小，分别为 0.446℃、0.428℃、0.705℃和 1.138℃。

由于园区周边区域自动站逐日平均风速观测资料缺测较多，因此风的相关性分析选取了巴山站、庙坝站 2017~2019 年逐小时风速观测资料。图 2.9 可以看出巴山站、庙坝站与城口气象站逐小时风速的相关系数分别为 0.410 和 0.449，均通过信度为 0.01 的检验，达到极显著相关水平；均方根误差分别为 0.754m/s 和 0.841m/s，平均绝对误差分别为 0.555m/s 和 0.672m/s。



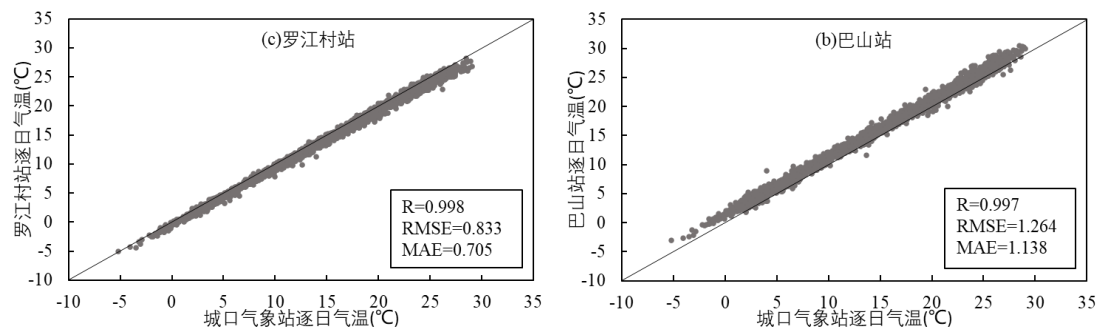


图 2.8 城口气象站与园区周边区域自动站逐日气温的相关性分析(2013~2019 年)(其中 R 为相关系数，RMSE 为均方根误差，MAE 为平均绝对误差)

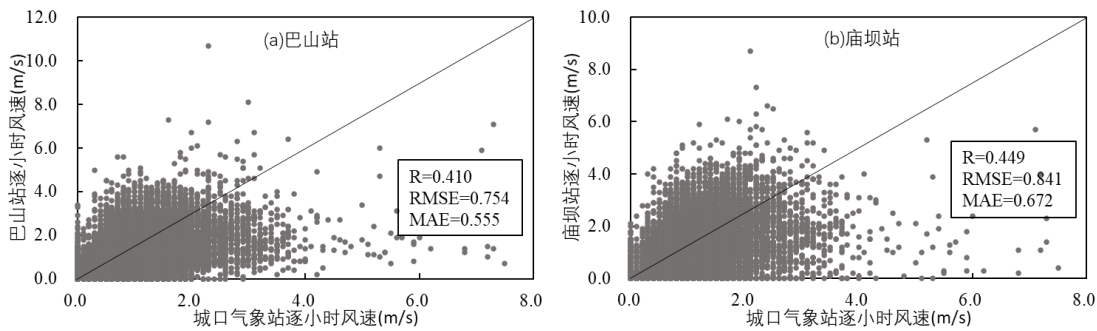


图 2.9 城口气象站与园区周边区域自动站逐小时风速的相关性分析(2017~2019 年)(其中 R 为相关系数，RMSE 为均方根误差，MAE 为平均绝对误差)

2.4.4 参证站的确定

从以上分析可知，城口气象站为距离园区最近的国家气象站，建站以来未发生迁站，数据一致性和可靠性好；与园区周边区域自动站各气象要素变化趋势一致，具有较好代表性。综合考虑城口气象站与园区周边自动站的自然地理位置、相对距离、下垫面条件及数据质量等条件，选定城口气象站作为参证站，用该站长期气象资料来进行园区气候要素的特征和工程气象参数的推算。

3 园区气候背景

3.1 气候概况

参证站观测场位于 108.40°E, 31.57°N, 海拔高度 798.2m, 隶属城口县内。城口县位于长江上游地区, 重庆东北部, 地处渝川陕三省(市)交界处。南与重庆巫溪县、开州区、四川宣汉县毗邻, 东北与陕西镇坪县、平利县、岚皋县、紫阳县接壤, 西与四川万源市相连。

城口县地处亚热带山地气候, 具有山区立体气候的特征。气候温和, 雨量充沛, 日照较足, 四季分明, 冬长夏短, 是“中国生态气候明珠”、“大中华区最佳绿色生态旅游名县”。春季气温回升快, 但不稳定, 多倒春寒; 夏季降水集中, 七、八月多干旱, 伏前、伏后多洪涝; 秋季降温快, 多连阴雨天气; 冬季时间较长、气温低。近 30 年(1990~2019 年)的累年平均日照时数为 1375.8h, 累年平均气温为 14.1℃, 极端最高气温为 40℃, 出现在 2006 年 6 月 18 日, 极端最低气温为 -13.2℃, 出现在 1977 年 1 月 30 日; 累年平均气压为 924.5hPa, 年极端最高和最低气压分别为 950.1hPa、898.3hPa, 分别出现在 2016 年 1 月 24 日和 2009 年 2 月 12 日; 累年平均降水量为 1231.0mm, 年降水量最多为 1738.7mm, 出现在 2017 年, 最少为 882.0mm, 出现在 1998 年; 累年平均风速为 0.53m/s, 详见表 3.1。

表 3.1 主要气候特征值

气候要素		值	单位	出现时间
气温	年平均气温	14.1	℃	/
	极端最高气温	40	℃	2006 年 6 月 18 日
	极端最低气温	-13.2	℃	1977 年 01 月 30 日
	低温日数($\leq -5^{\circ}\text{C}$)	1.4	天	/
	高温日数	11	天	/
降水	年平均降水量	1231.0	mm	/
	年最多降水量	1738.7	mm	2017 年
	年最少降水量	882.0	mm	1998 年
	最大日降水量	138	mm	1963 年 8 月 23 日
气压	年平均气压	924.5	hPa	/
相对湿度	年平均相对湿度	78.8	%	/
风	年平均风速	0.53	m/s	/
	主导风向	S	方位	/
雷暴	年平均雷暴日数	32.4	天	/

气候要素		值	单位	出现时间
	年最多雷暴日数	57	天	1973 年
	年最少雷暴日数	19	天	1989 年
日照	年平均日照时数	1004	h	/
	年最多日照时数	1667.7	h	2013 年
	年最少日照时数	1375.8	h	1993 年

注:平均值统计时段为 1990~2019 年,极值统计时段为 1958~2019 年;雷暴平均日数统计时间段为 1973~2013 年,极值日数统计时间段为 1958~2019 年。

3.2 气象要素特征

本节参证站各气象要素气候平均态的年际变化和月际变化的统计时段为 1990~2019 年,年际变化极值的统计时段为参证站建站~2019 年,日变化采用的是近 10 年(2010~2019)年的资料。

3.2.1 气压

3.2.1.1 年际变化

(1) 平均气压

近 30 年(1990~2019 年)参证站年平均气压 924.5hPa,年平均最高和最低气压分别为 950.1hPa、898.3hPa。近 30 年,参证站的年平均气压、年平均最高气压、年平均最低气压的变化非常平缓,呈略微下降的趋势,下降速率分别为 0.165hPa/10a、0.045hPa/10a、0.268hPa/10a,气压波动幅度较小(图 3.1)。

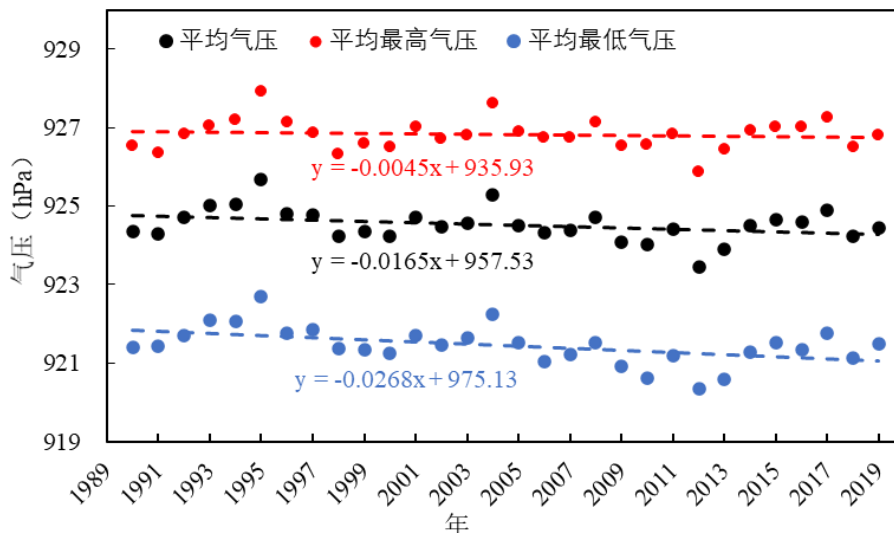


图 3.1 参证站年平均气压、平均最高气压、平均最低气压年际变化(1990~2019 年)

(2) 极端气压

参证站极端气压的观测从 1980 年至今。如图 3.2 所示,极端最高气压变化相对平缓。2000 年之前极端最高气压略微增加,上升速率为 1.4hPa/10a。2000 年

之后略微减小,减小速率为 $0.7\text{hPa}/10\text{a}$ 。极端最高气压出现在 2016 年,为 950.1hPa 。极端最低气压的变化趋势同样非常的平缓(图 3.3),极端最低气压出现在 2009 年,为 898.3hPa 。

因此,就气压的年际变化而言,无论是气候平均态还是极端状态的变化,均相对平缓,气压气候平均态的波动幅度较小。

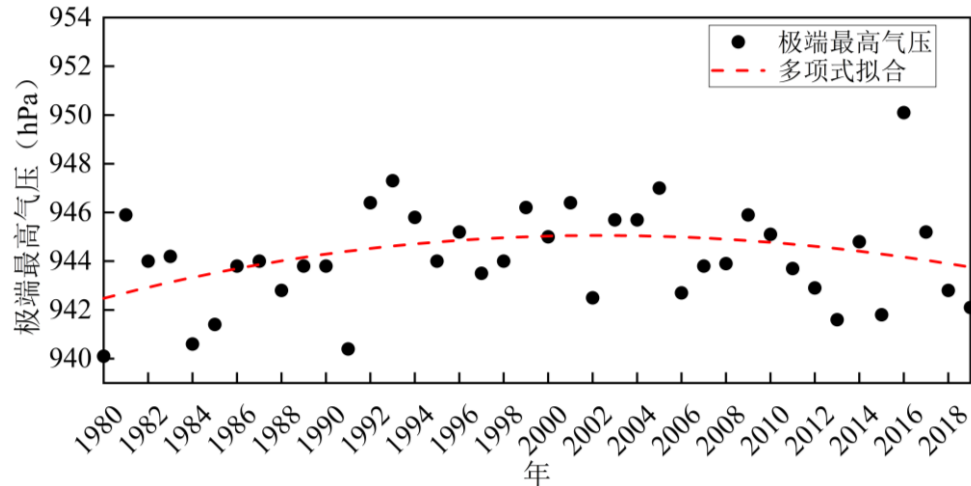


图 3.2 参证站极端最高气压年际变化(1980~2019 年)

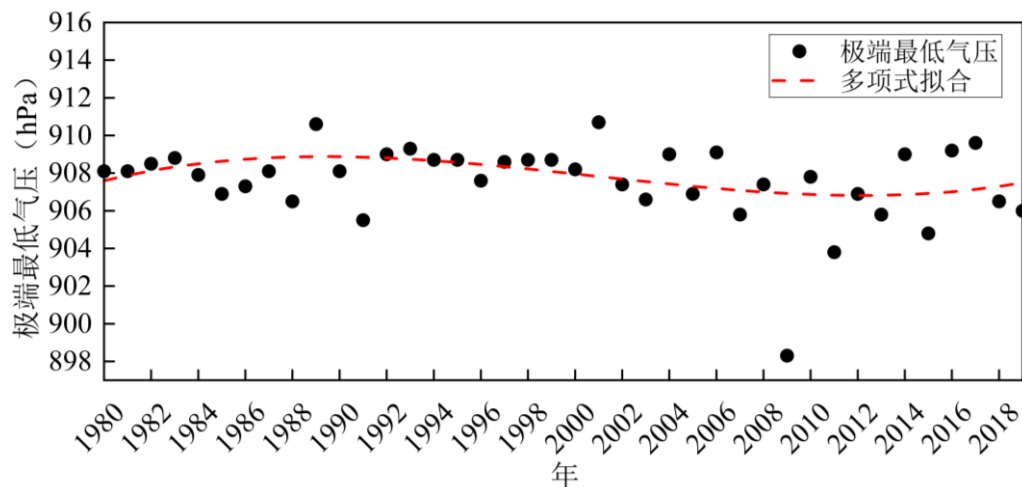


图 3.3 参证站极端最低气压年际变化(1980~2019 年)

3.2.1.2 月际变化

(1) 平均气压

由表 3.2 可以看出,近 30 年(1990~2019 年),参证站平均气压月际变化在 $915.7\sim 932.0\text{hPa}$ 之间,最小值出现在 7 月,最大值出现在 12 月。参证站气压季节变化特征明显,呈“U”型变化特征。其中冬季平均气压较高,其次是秋季,夏季气压最低,最高气压和最低气压的月际变化特征与平均气压的月际变化特征基本一致(图 3.4)。此外,全年平均气压、最高气压和最低气压的最大变化幅度分

别为 16.3hPa、17.2hPa 和 15.4hPa。

表 3.2 1990~2019 年各月及年平均气压、平均最高气压、平均最低气压统计表(hPa)

月份 项目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
平均气压	930.6	928.3	925.8	922.8	920.7	917.1	915.7	918.5	923.8	928.8	930.3	932.0	924.5
平均最高	933.2	930.9	928.6	925.4	923.1	919.0	917.4	920.3	925.7	931.0	932.8	934.6	926.8
平均最低	927.4	924.9	922.0	919.0	917.5	914.5	913.3	915.9	921.3	926.0	927.1	928.7	921.5

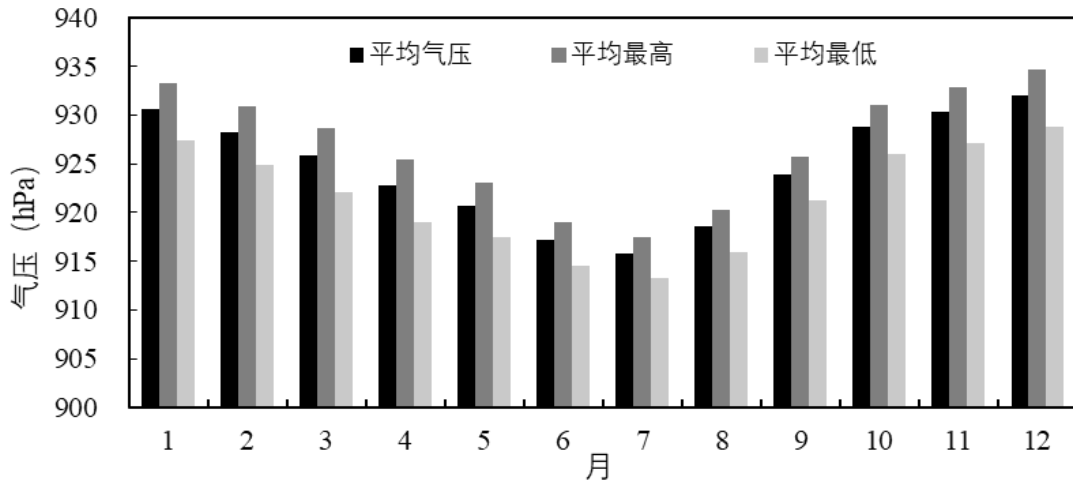


图 3.4 参证站平均气压、平均最高气压、平均最低气压月际变化(1990~2019 年)

(2) 极端最高气压

参证站极端最高气压的观测从 1980 年至今，1980~2019 年的各月极端最高气压值在 924.9~950.1hPa 之间，最大值出现在 2016 年 1 月（表 3.3）。各月极端最高气压中，最高值出现在 1 月，最低值出现在 7 月。

表 3.3 1980~2019 年参证站各月极端最高气压和极端最低气压(hPa)

月份 站名	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	极值
极端最高	950.1	945.2	945.1	941.6	938.5	929.7	924.9	928.9	936.0	944.3	946.4	947.3	950.1
极端最低	913.1	898.3	906.5	904.8	903.8	905.8	907.6	908.1	909.5	915.0	913.5	916.3	898.3

(3) 极端最低气压

参证站极端最低气压的观测从 1980 年至今，1980~2019 年各月极端最低气压值在 898.3~916.3hPa 之间，最小值出现在 2009 年 2 月（表 3.3）。各月极端最低气压中，最高值出现在 12 月，最低值出现在 2 月。

3.2.1.3 日变化

图 3.5 为参证站近 10 年（2010~2019 年）平均气压的日变化曲线，地面气压呈“W”型日变化特征，气压从 05 时的 924.7hPa，开始逐渐升高，到 10 时达到峰

值，即 925.8hPa；之后开始下降，最低值出现在 17 时，为 922.0hPa；之后又开始缓慢升高，在 00 时达到次高值 925.4hPa，随后开始下降，直至次日 05 时。

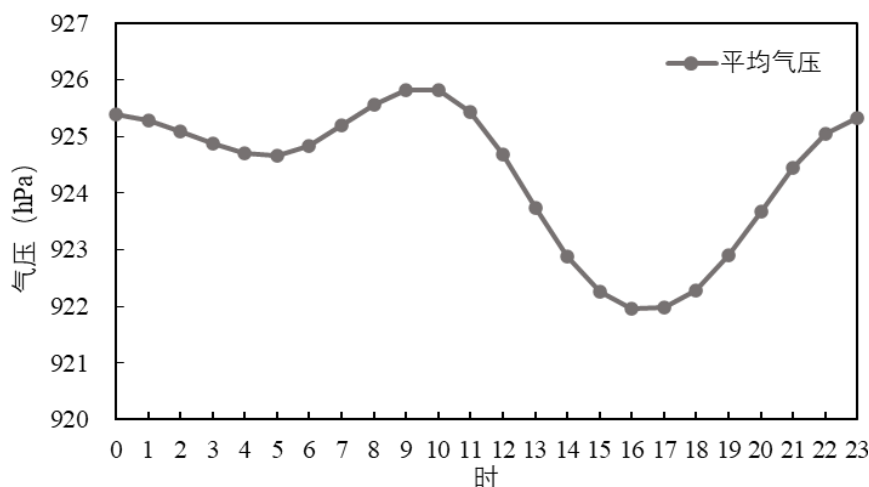


图 3.5 参证站平均气压的日变化(2010~2019 年)

3.2.2 气温

3.2.2.1 年际变化

(1) 平均气温

近 30 年（1990~2019 年）参证站累年平均气温、平均最高气温及平均最低气温分别为 14.1℃、20.3℃、10.2℃。年平均气温在 13.2~14.7℃之间变化，年平均最高气温在 18.9~21.8℃之间变化，年平均最低气温在 9.4~11.0℃之间变化。年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温年际变化趋势略微上升，上升速率分别为 0.20℃/10a、0.28℃/10a、0.27℃/10a（图 3.6）。年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温的年际波动趋于同步，20 世纪初期以前，振荡周期约为 6 年，而 20 世纪之后振荡周期延长。

由图 3.7 可知，在年代际变化上，平均气温、平均最高气温及平均最低气温均大体呈现冷-暖的阶段变化，从 20 世纪 90 年代到 21 世纪初，气温处于偏冷期，且 20 世纪 90 年代初期气温降幅较为明显；而 21 世纪初至今气温处于偏暖期。

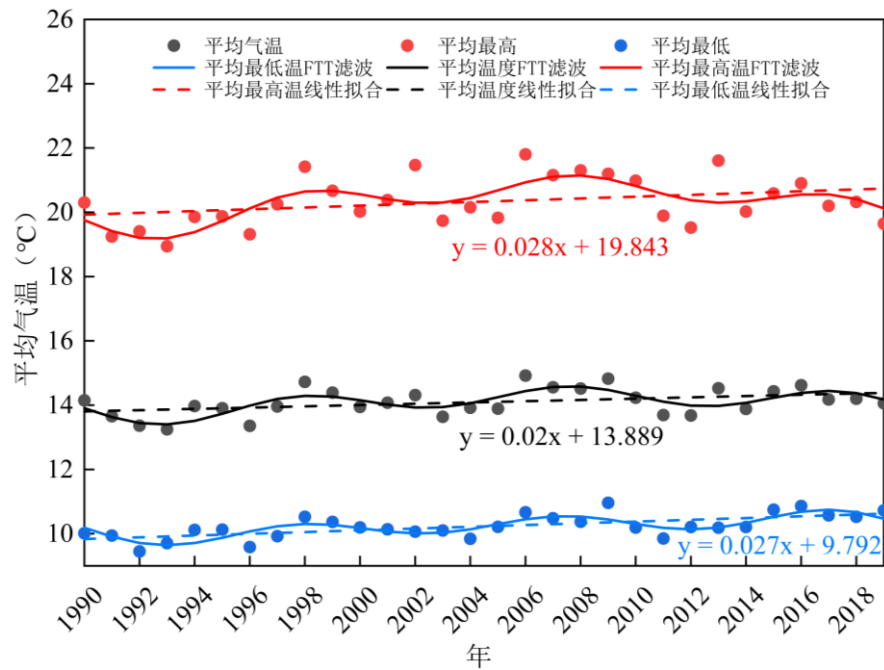
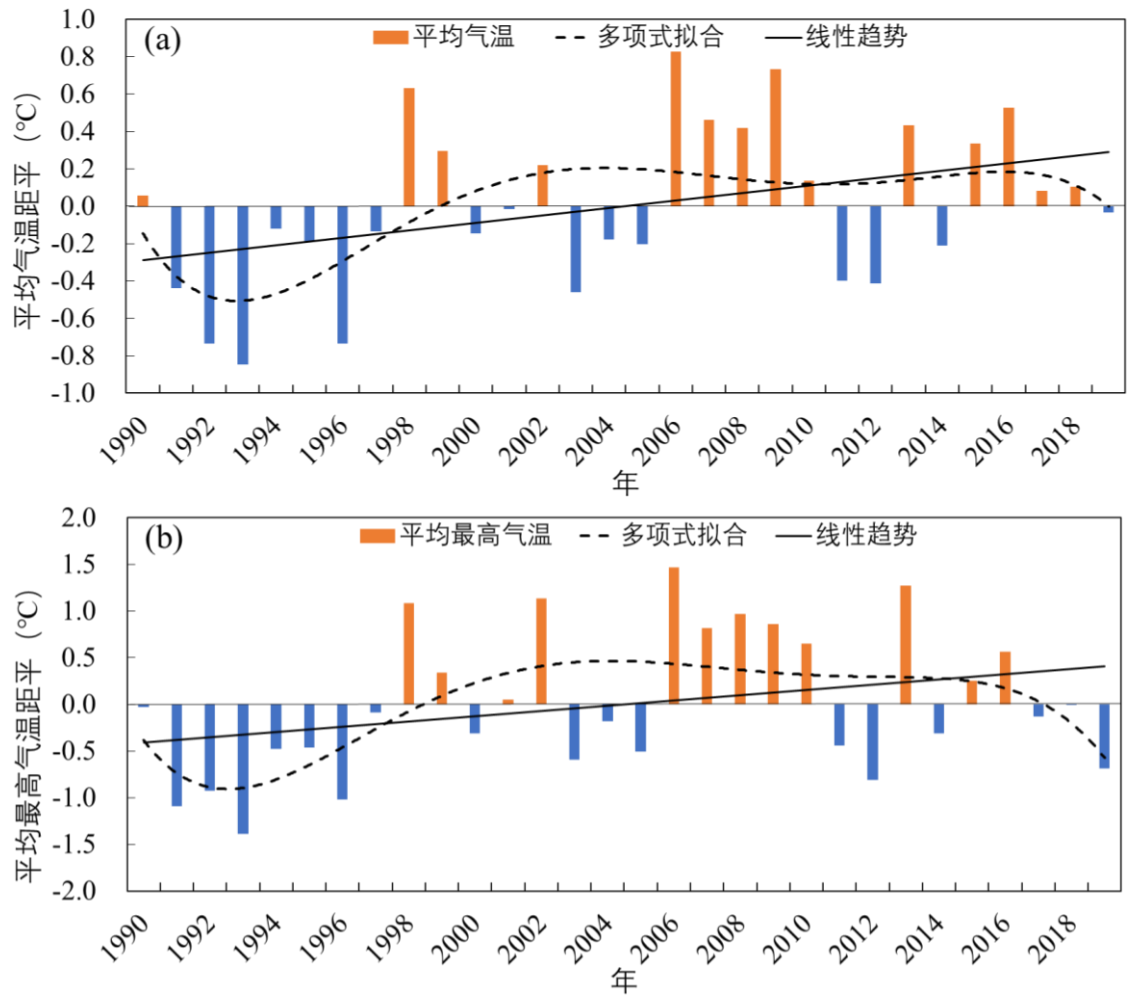


图 3.6 参证站平均气温、平均最高气温、平均最低气温年际变化(1990~2019 年)



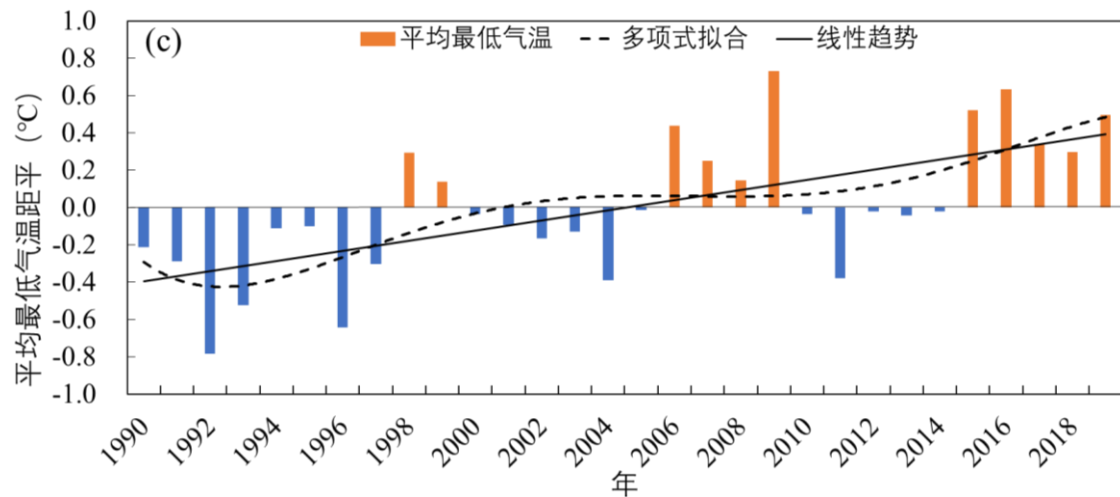


图 3.7 参证站平均气温、平均最高气温和平均最低气温距平变化(1990~2019 年)

(2) 极端气温

参证站建站至今（1958~2019 年）的年极端最高气温在 34.7~40.0°C之间变化，最高值出现在 2006 年 6 月 18 日。1958~2019 极端最高气温具有明显的年际震荡趋势，其震荡周期约 8~10 年。就总体变化趋势而言，1958~1971 年，极端最高气温呈略微下降的趋势；而 1971~2010 年，极端最高气温呈上升趋势，约为 0.298°C/10a（图 3.8）；2010 年之后变化相对平缓。

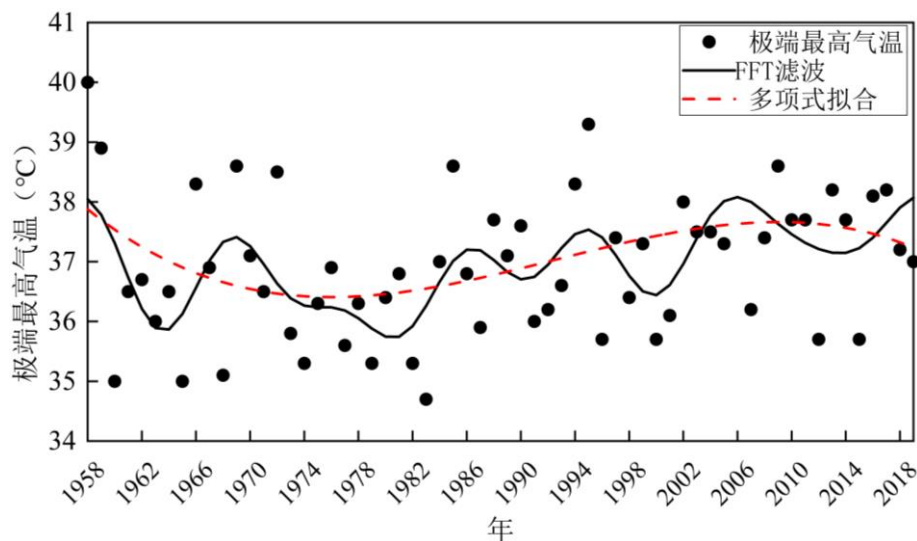


图 3.8 参证站极端最高气温年际变化(1958~2019 年)

参证站建站至今（1958~2019 年）的年极端最低气温在-13.2~-3.5°C之间变化，最小出现在 1977 年，最大出现在 1966 年。1958~2019 年极端最低气温同样具有明显的年际震荡趋势，其震荡周期约 7~10 年。就总体变化趋势而言，大多数年份极端低温均处于-6°C附近（图 3.9）。

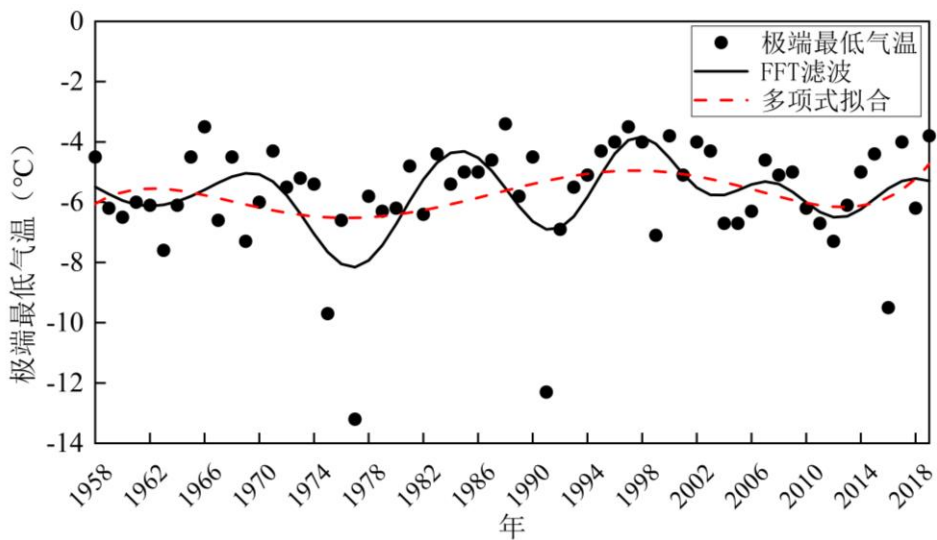


图 3.9 参证站极端最低气温年际变化(1958~2019 年)

3.2.2.2 月际变化

(1) 平均气温

由图 3.10 可以看出，近 30 年（1990~2019 年）参证站平均气温的月际变化在 2.9~24.5℃之间，平均最高气温在 7.9~31.2℃之间，平均最低气温在-0.1~20.2℃之间。最高气温和最低气温的月际变化特征与平均气温的月际变化特征基本一致，气温有随季节变化的特点，冬季气温较低，夏季气温较高。

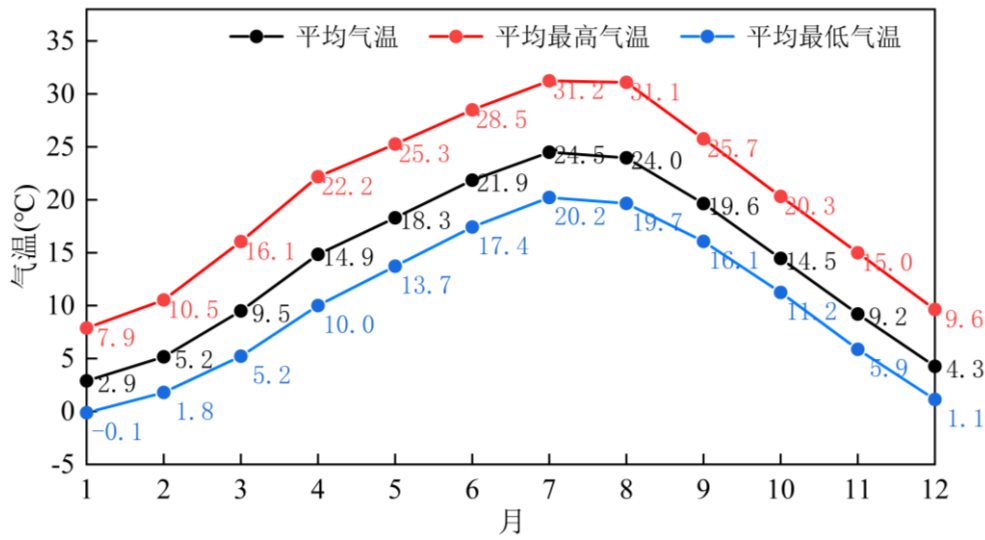


图 3.10 参证站平均气温、平均最高气温、平均最低气温的月际变化(1990~2019 年)

(2) 极端气温

参证气象站建站至今（1958~2019 年）的各月极端最高气温值在 21.0~40.0℃之间，最大值出现在 2006 年 6 月；各月极端最低气温值在-13.2~12.4℃之间，最小值出现在 1977 年 1 月（表 3.4）。

表 3.4 1958~2019 年参证站各月极端气温(°C)

月份 项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	极值
极端最高	23.2	27.7	32.3	35.3	37.7	40.0	38.9	39.5	39.3	33.1	27.7	21.0	40.0
极端最低	-13.2	-6.2	-5.0	-1.7	5.0	9.2	12.4	12.4	8.0	-1.6	-4.6	-12.3	-13.2

3.2.2.3 日变化

近 10 年（2010~2019 年）参证站各小时平均气温呈单峰型变化。每天 07 时为一天气温的最低值，为 10.8°C；07 时开始，气温迅速上升，到 16 时达到峰值 19.2°C；之后开始下降，直至次日 07 时（图 3.11）。

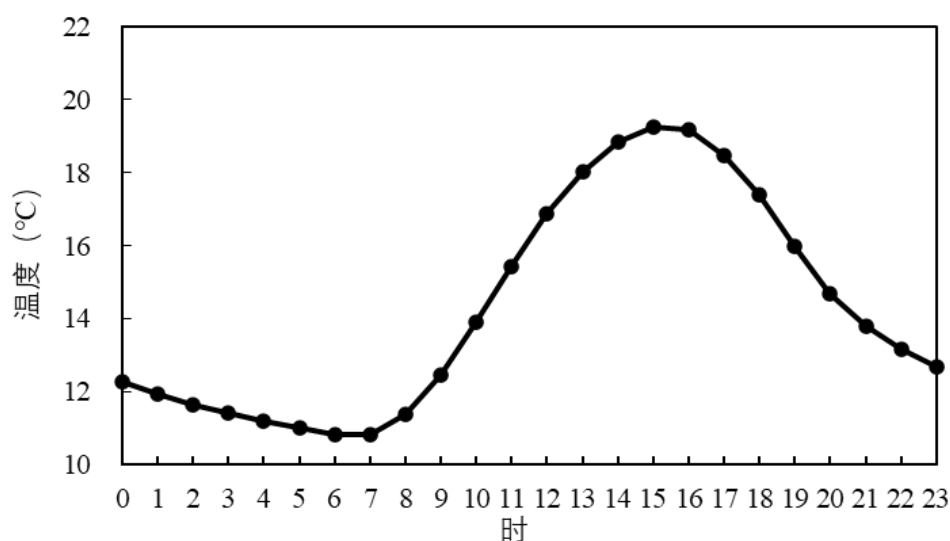


图 3.11 参证站平均气温的日变化(2010~2019 年)

3.2.3 相对湿度

3.2.3.1 年际变化

(1) 平均相对湿度

近 30 年（1990~2019 年），参证站历年平均相对湿度为 78.8%，其中年平均相对湿度最高出现在 2010 年，为 82.8%；最低出现在 2006 年，为 74.7%。年平均相对湿度在 1995 年之前，呈快速下降的趋势，1995 年至 2014 年变化平缓，2014 年之后呈下降趋势（图 3.12）。

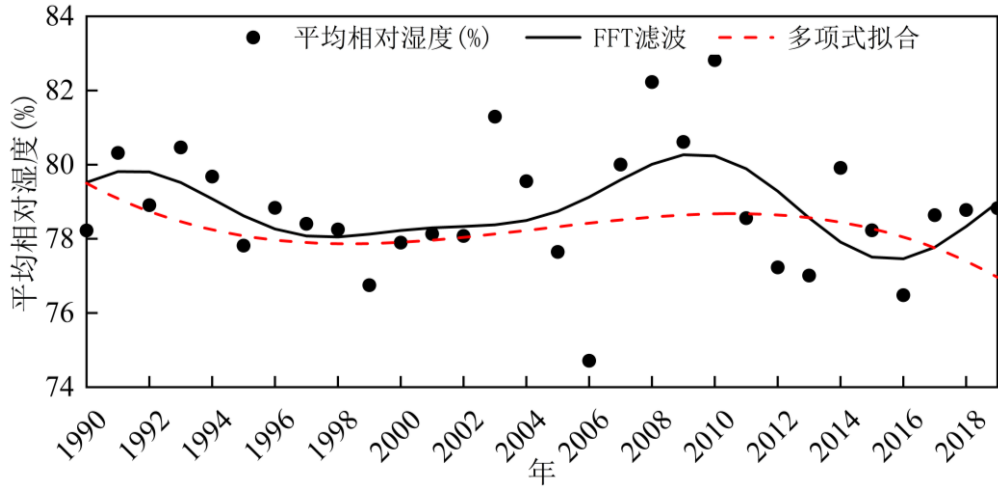


图 3.12 参证站平均相对湿度年际变化(1990~2019 年)

(2) 最小相对湿度

参证站最小相对湿度的观测从 1980 年至今。参证站年最小相对湿度在 3%~18%之间变化，最小值出现在 2002 年，最大值出现在 1992 年。最小相对湿度呈振荡下降的趋势，振荡周期为 7~10 年，下降速率为 0.762%/10a（图 3.13）。总体而言，变化相对平缓。

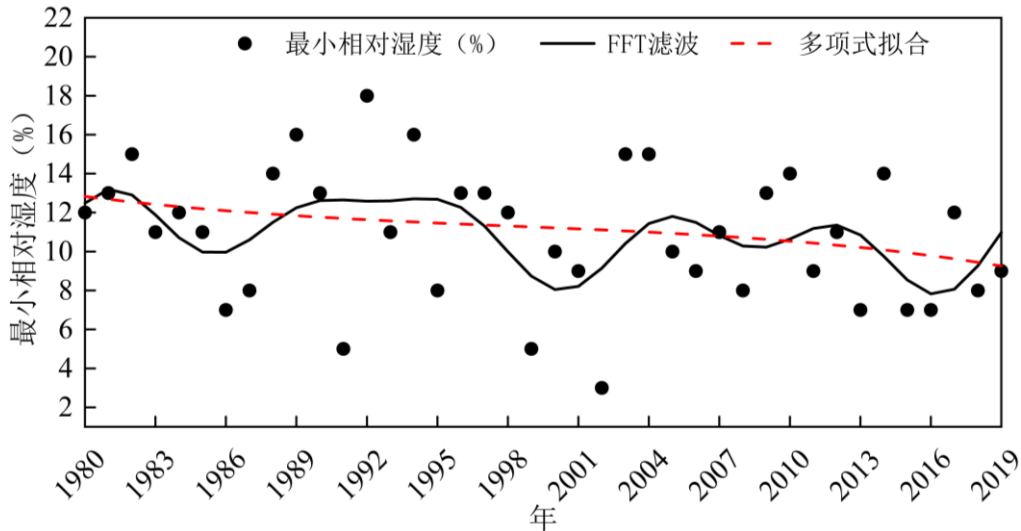


图 3.13 参证站最小相对湿度年际变化(1980~2019 年)

3.2.3.2 月际变化

近 30 年（1990~2019 年），参证站平均相对湿度的月际变化范围为 73.3%~83.2%，最小出现在 3 月，最大出现在 10 月。春季平均相对湿度 74.7%，夏季平均相对湿度 79.6%，秋季平均相对湿度 82.9%，冬季平均相对湿度 78.0%。夏秋季节的平均相对湿度高于春冬季节（图 3.14）。

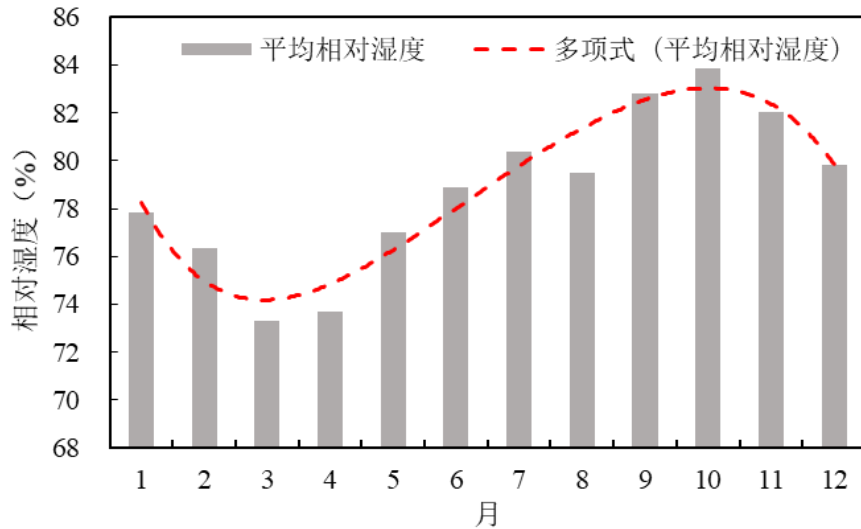


图 3.14 参证站平均相对湿度月际变化(1990~2019 年)

3.2.3.3 日变化

近 10 年（2010~2019 年），参证站相对湿度日变化呈单峰型变化。每天 07 时为一天相对湿度的最高值，为 91.3%；07 时开始，相对湿度逐渐减小，到 15 时达到谷底，为 57.5%；之后再次开始上升，直至次日 07 时（图 3.15）。

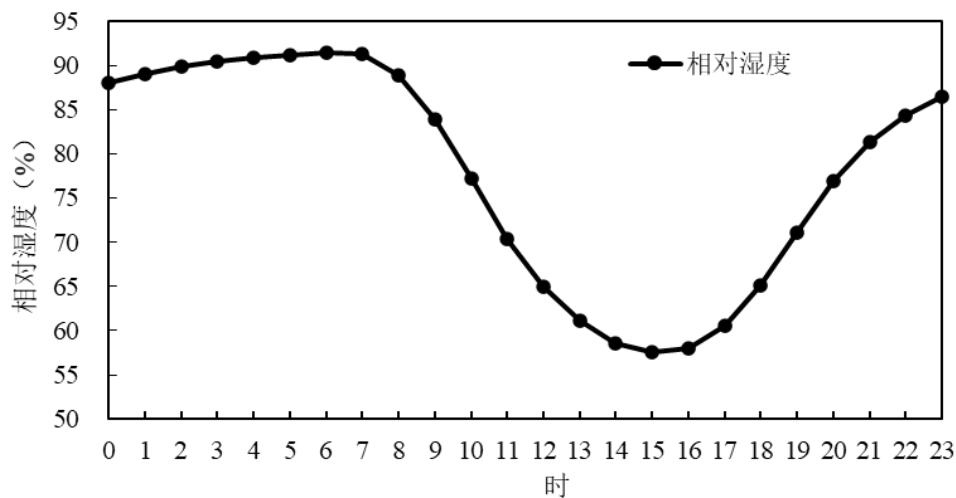


图 3.15 参证站平均相对湿度的日变化(2010~2019 年)

3.2.4 降水

本节降水特征分析主要针对降水量和降水日数分析。根据 GB/T 28592-2012《降水量等级》划分标准，将日降水量分为 4 个等级，即小雨（ $0.1\text{mm} \leq \text{日降水量} < 10.0\text{mm}$ ）、中雨（ $10.0\text{mm} \leq \text{日降水量} < 25.0\text{mm}$ ）、大雨（ $25.0\text{mm} \leq \text{日降水量} < 50.0\text{mm}$ ）、暴雨（ $\text{日降水量} \geq 50.0\text{mm}$ ），这里的 24 小时指的是当日 20 时至次日 20 时。

3.2.4.1 降水量

(1) 年际变化

近 30 年（1990~2019 年）参证站累年平均降水量为 1231.0mm，雨量充沛。降水量在 882.0~1738.7mm 之间变化，最少出现在 1998 年，最多出现在 2017 年。年降水量在 1990~1998 年间，呈增加趋势；1999~2008 年间变化相对平缓；2009 年之后，呈稳定上升的趋势，上升约速率为 197.2mm/10a（图 3.16）。由图 3.17 可知，参证站近 30 年降水量主要分为两个阶段，其中 1990~2009 年为相对少雨期，2013~2019 年则为相对多雨期。

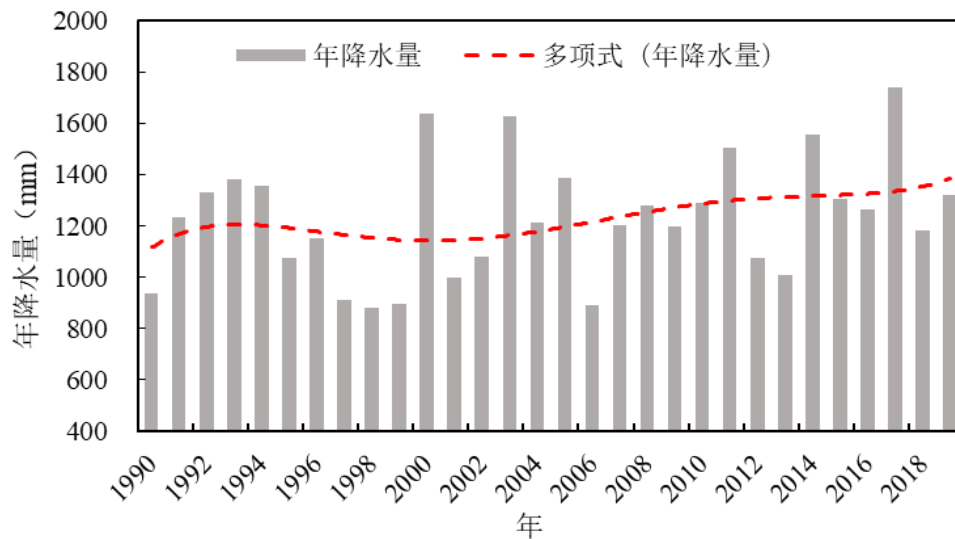


图 3.16 参证站年降水量年际变化(1990~2019 年)

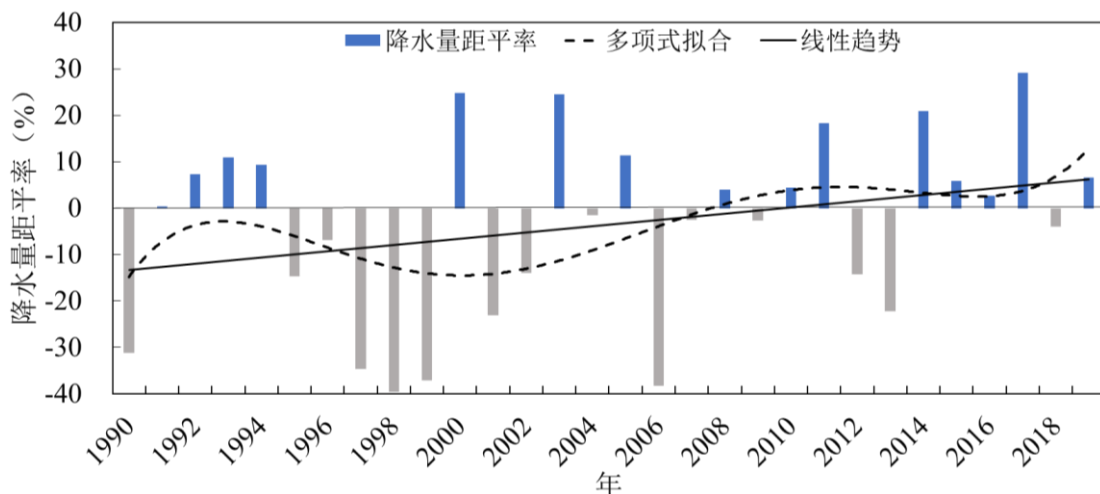


图 3.17 参证站降水量距平率变化(1990~2019 年)

(2) 月际变化

图 3.18 为参证站降水量月际变化的箱线图。图中的黑点为近 30 年来（1990~2019 年）各月累计降水的平均值，可以看出，各月累计降水量的平均值

在 17.0~214.6mm 之间变化，最小出现在 1 月，最多出现在 7 月。月累计降水量的季节变化特征明显，冬季（12~2 月）最少，其平均值在 17.0~24.7mm 之间，占 4.9%；夏季（6~8 月）最多，在 164.2~214.6mm 之间，占 44.5%。降水主要集中在 4~10 月，占全年平均累计降水总量的 86.8%，其中 7 月降水量最大，然后逐渐减少。

箱线图的箱体表示了多数年份该月累计降水值所在的范围。可以看出，近 30 年来，7 月的累计降水量的变化范围较大，最多时可达到 453.1mm，大多数年份 7 月的累计降水集中在 145.0~259.0mm 的范围内；9 月的累计降水量的变化范围也很大，最多时达到 468.5mm，最少时为 35.1mm；其他月份的近 30 年降水量的具体变化如图 3.18 所示。

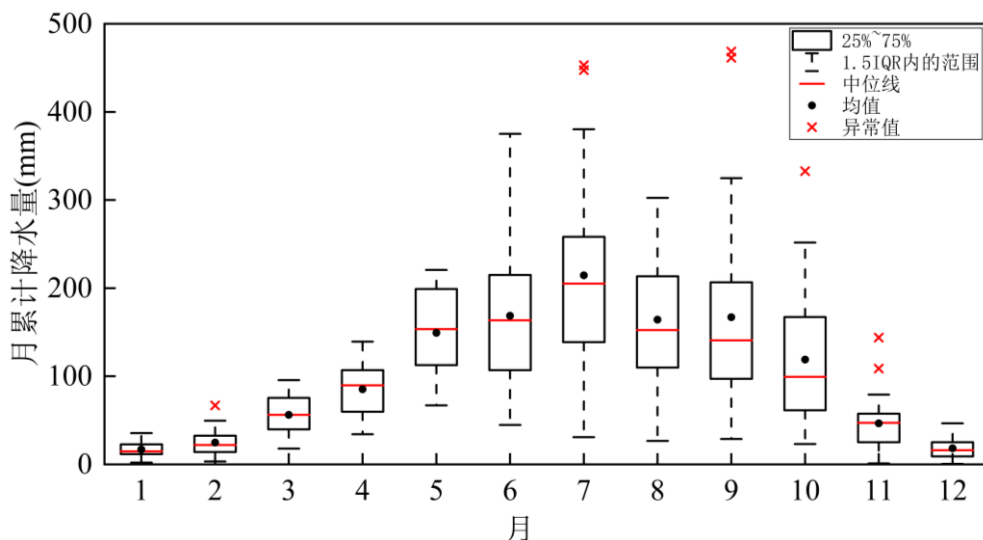


图 3.18 参证站月累计降水量月际变化(1990~2019 年)(箱线图中长方形方框的上、下边分别表示上下四分位数，方框内黑点表示平均值，红色横线表示中值，方框上下边的延伸线表示降水量的上、下限)

3.2.4.2 降水日数

(1) 降水总日数

日降水量 $\geq 0.1\text{mm}$ 的天数为降水的总日数。

a. 年际变化

近 30 年（1990~2019 年）参证站年降水总日数中，历年降水日数在 119~178 天之间，最少降水日数出现在 2013 年，最多降水日数出现在 2018 年。由图 3.19 可以看出，近 30 年来，年降水日数的变化相对平缓，略微增加的速率为 2.2d/10a。由图 3.20 可知，2003 年之前的多数年份的降水偏少于气候平均态，2004~2009 年与气候平均态相当，2010~2016 年为雨量偏少期，而 2016 年之后逐渐进入雨量

偏多的时期。

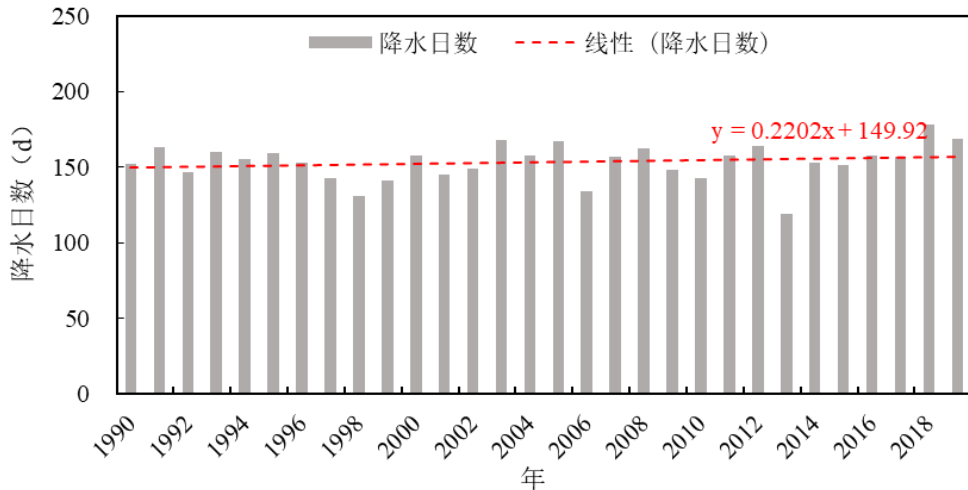


图 3.19 参证站降水总日数年际变化(1990~2019 年)

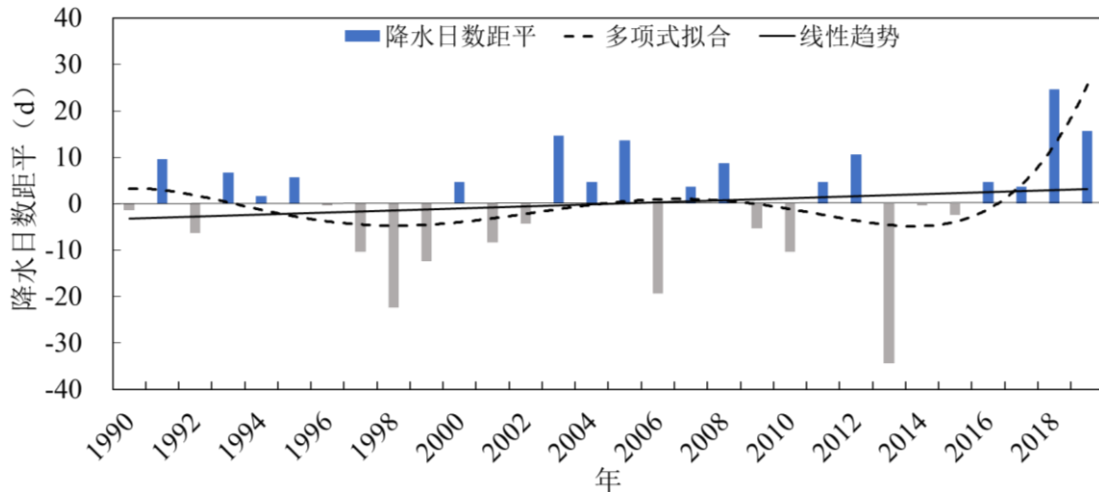


图 3.20 参证站降水总日数距平变化(1990~2019 年)

b.月际变化

图 3.21 表示了近 30 年来参证站降水总日数的月际变化。箱线图上的蓝点为 30 年来该月份降水日数的平均值，可以看出，参证站各月平均降水日数在 9.1~15.5 天之间，最少出现在 12 月，最多出现在 7 月，5~10 月降水日数均较多。从季节分布来看，冬季平均降水日数最少，占全年的 18.3%；夏季降水日数最多，占全年的 29.4%；春季和秋季各月的平均降水日数也较多，且相差不大，分别占全年的 26.5%和 25.7%。

图中的箱形表示了多数年份在对应月份出现降水的日数的范围，降雨日数的范围大小决定了该月降雨日数的集中程度，箱形越短则降雨日数越集中，大多数年份在该月发生的降雨总日数越稳定。由图可以看出近 30 年来，各月降水日数集中的范围大小相差不大。在降水日数相对较多的 4 月、5 月、6 月、7 月、8 月、

9 月和 10 月，大多数年份降水总日数的集中范围分别为 10~15 天、12~16 天、12~16 天、12~16 天、10~16 天、10~15 天和 12~15 天。

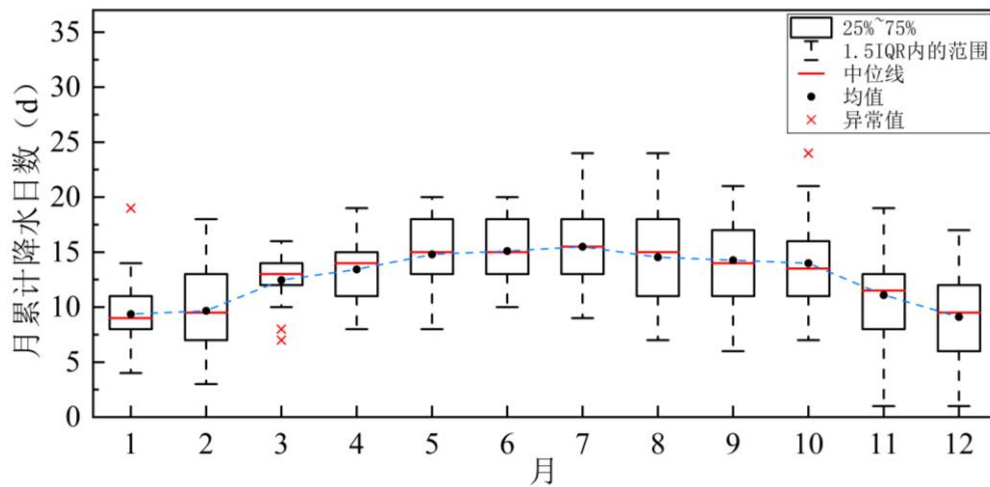


图 3.21 参证站降水总日数月际变化(1990~2019 年)

(2) 小雨日数

0.1mm≤日降水量<10.0mm 的天数为小雨日数。

a. 年际变化

近 30 年（1990~2019 年）参证站年平均小雨日数为 119.0 天，历年小雨日数在 91 天（2013 年）~131 天（2007 年）之间，其中 2013 年比常年偏少 28 天，而 2007 年比常年偏多 12 天。近 30 年，参证站小雨日数变化较为平缓，略微下降速率为 0.5 天/10a（图 3.22）。图 3.23 可看出，1994 年之前为降雨日数偏多期，1994~2003 年为降雨日数偏少期，2004~2011 年降雨日数与气候平均态相当，2011~2017 年为降雨日数偏少期，其后两年降雨日数偏多。

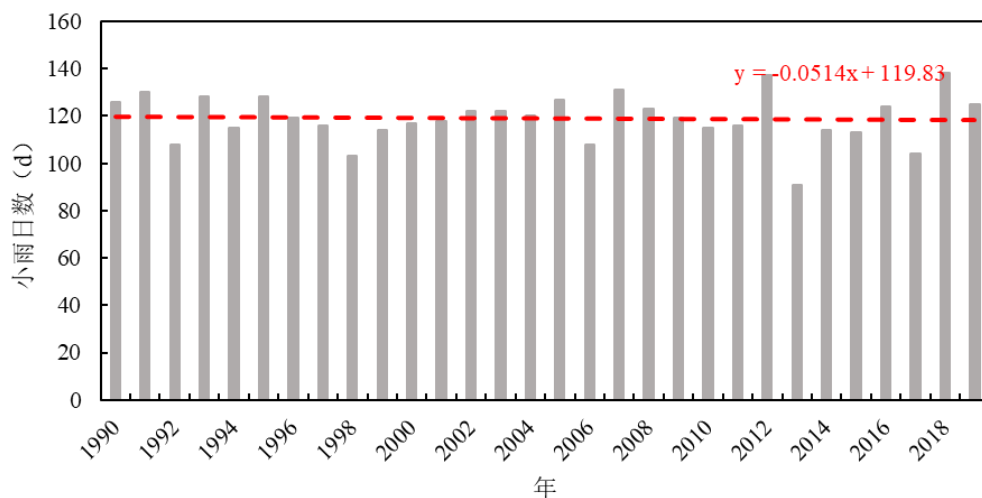


图 3.22 参证站小雨日数的年际变化(1990~2019 年)

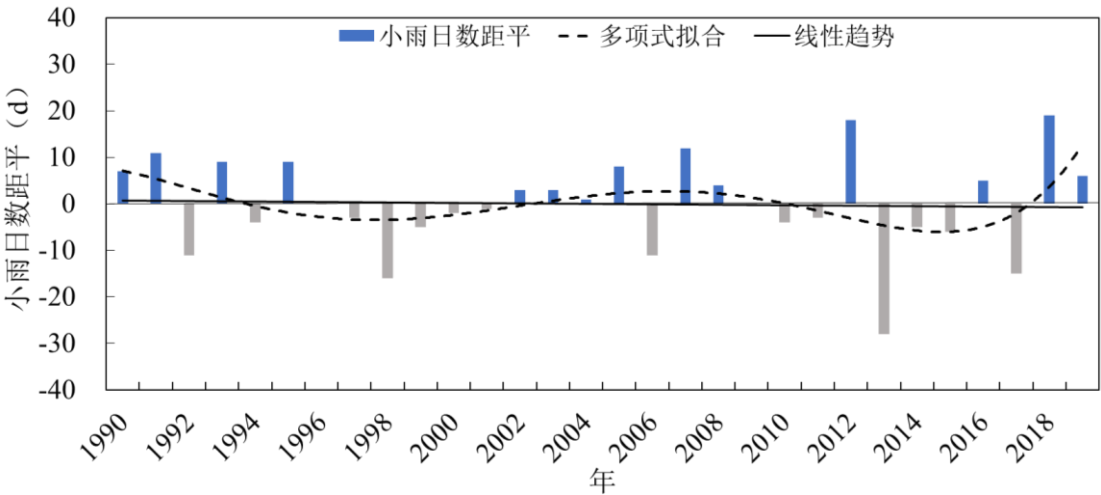


图 3.23 参证站小雨日数的距平变化(1990~2019 年)

b.月际变化

从月际变化来看（图 3.24），近 30 年参证站各月小雨日数的平均值在 8.9 天（12 月）~10.7 天（3 月）之间，各月小雨日数变化不大。在小雨日数较少的 12 月，多数年份在该月的小雨日数在 7~10 天之间变化，变化范围较大，最多时可达 18 天。在小雨日数最多的 3 月，多数年份在该月的小雨日数在 10~14 天之间变化，变化范围较为集中。

从季节变化来看，小雨平均日数四季的变化较小，春夏秋冬四季的平均日数分别为 10.4 天、10.0 天、10.0 天和 9.2 天。

零星的小雨不足以净化空气，反而通过增加地面相对湿度为颗粒物湿吸增长创造了有利条件，不利于大气沉降（连阴雨天气除外）。因此，在小雨发生频率较高的秋季，大气污染扩散条件相对较差。

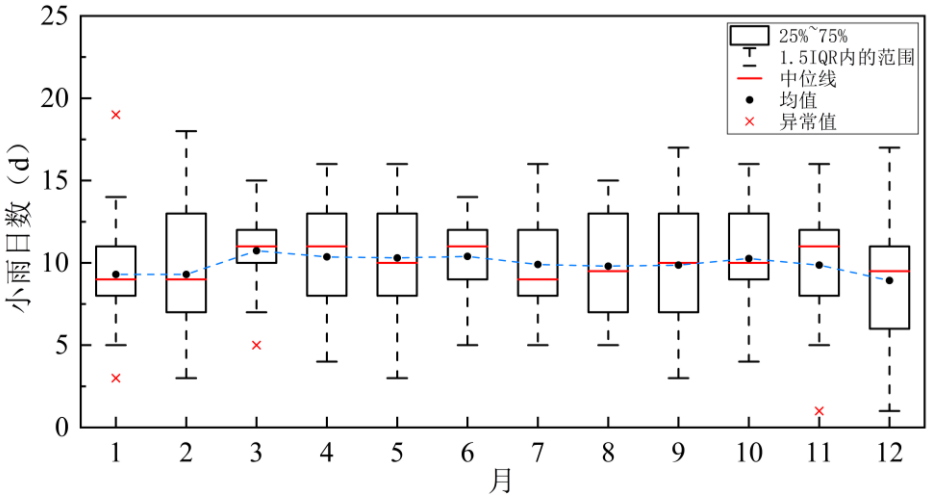


图 3.24 参证站小雨日数月际变化(1990~2019 年)

(3) 中雨日数

10.0mm≤日降水量<25.0mm 的天数为中雨日数。

a.年际变化

近 30 年（1990~2019 年）参证站年平均中雨日数为 21.7 天，历年中雨日数在 10 天（2007 年）~33 天（2018 年）之间，其中 2011 年比常年偏少 11.7 天，而 2016 年比常年偏多 12.3 天。近 30 年，参证站中雨日数呈略微上升的趋势，上升速率约为 1.6 天/10a，尤其 2010 年之后，上升速率增加较大。2013 年之前，大部分年份处于降雨日数偏少的时期。2014 年后中雨日数明显偏多于气候平均态（图 3.25~3.26）。

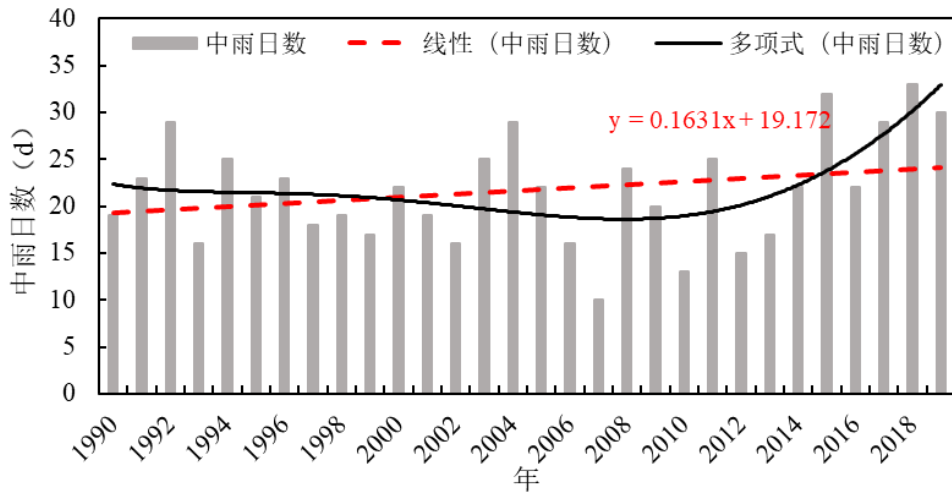


图 3.25 参证站中雨日数年际变化(1990~2019 年)

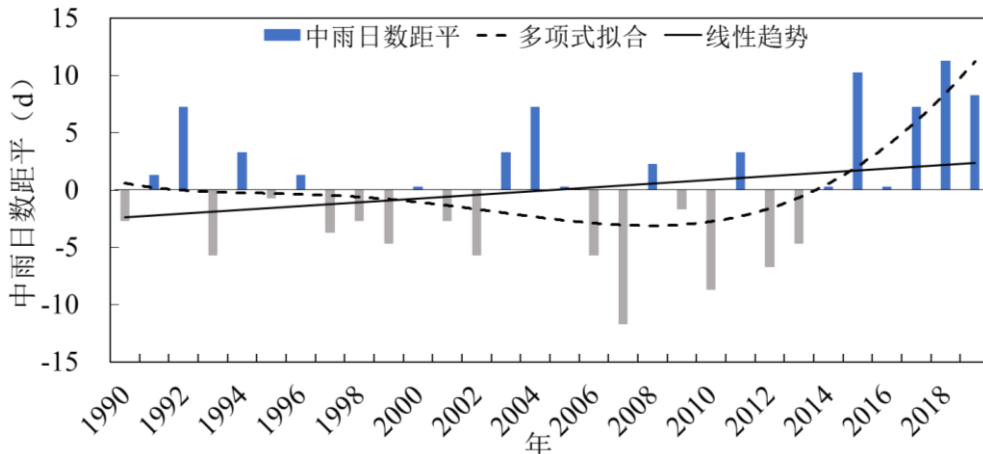


图 3.26 参证站中雨日数距平变化(1990~2019 年)

b.月际变化

从月际变化来看（图 3.27），近 30 年参证站的各月平均中雨日数在 1.0 天（1 月和 12 月）~3.1 天（5 月）之间。在中雨主要发生的 4~10 月，其中 4~9 月多数年份中雨日数的变化范围为 2~4 天，10 月为 1.5~3 天。

从季节变化来看，中雨的平均日数夏季最高，为 2.7 天；冬季最低，为 0.2 天；春季为 2.2 天；秋季为 1.9 天。

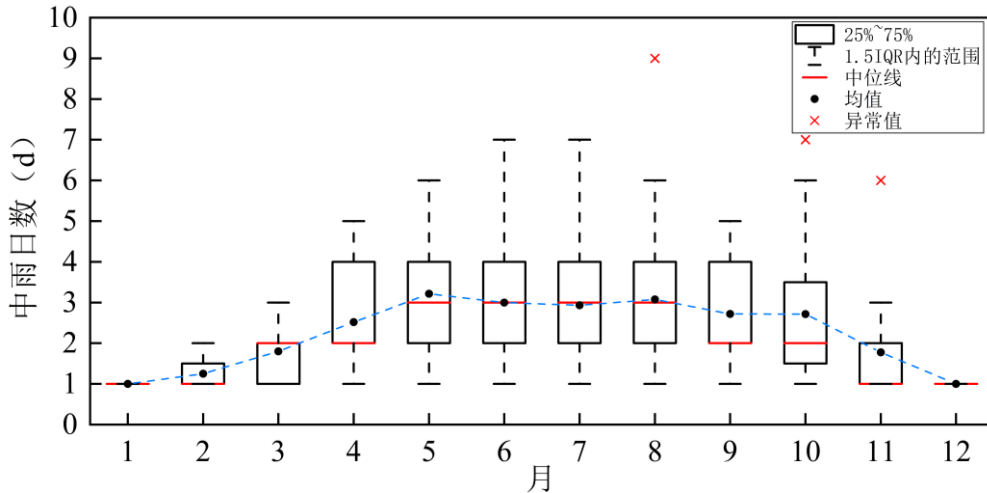


图 3.27 参证站中雨日数月际变化(1990~2019 年)

(4) 大雨日数

25.0mm≤日降水量<50.0mm 为大雨日数。

a. 年际变化

近 30 年（1990~2019 年）参证站年平均大雨日数为 9.4 天，历年大雨日数在 4 天（2002 年）~18 天（2017 年）之间，其中 2002 年比常年偏少 5.4 天，而 2017 年比常年偏多 8.6 天。近 30 年，参证站大雨日数基本保持相对稳定，呈略微增加的趋势，增加速率为 1.0 天/10a。1994 年之前为大雨日数偏少期，而 1994 年至 2016 年与气候平均态相当，其后 3 年降雨日数明显偏多（图 3.28~3.29）。

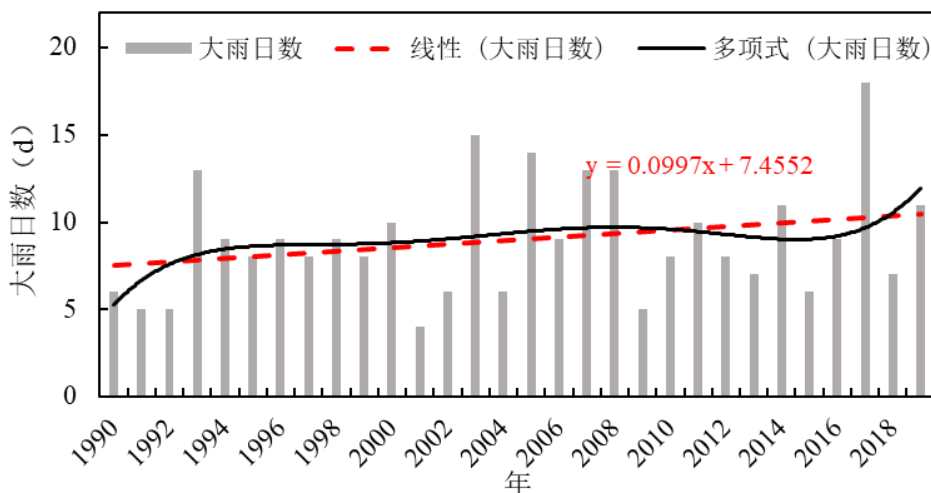


图 3.28 参证站大雨日数年际变化(1990~2019 年)

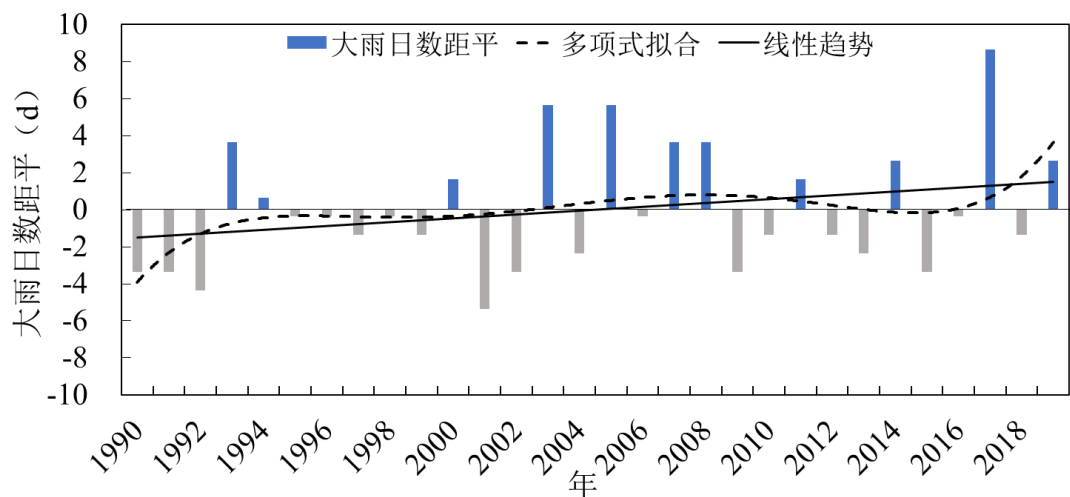


图 3.29 参证站大雨日数距平变化(1990~2019 年)

b.月际变化

从月际变化来看（图 3.30），近 30 年参证站各月大雨日数的平均值在 0 天（1 月和 12 月）~2.1 天（7 月）之间。在大雨日数集中的 5~10 月，多数年份在大雨日数相应月份的变化范围均为 1~3 天，6 月、7 月、9 月和 10 月最多可达 5 天。1 月和 12 月在过去 30 年均没有大雨出现。

从季节变化来看，大雨平均日数在夏季最高各月平均为 1.5 天；冬季最低，极少出现大雨的情况。

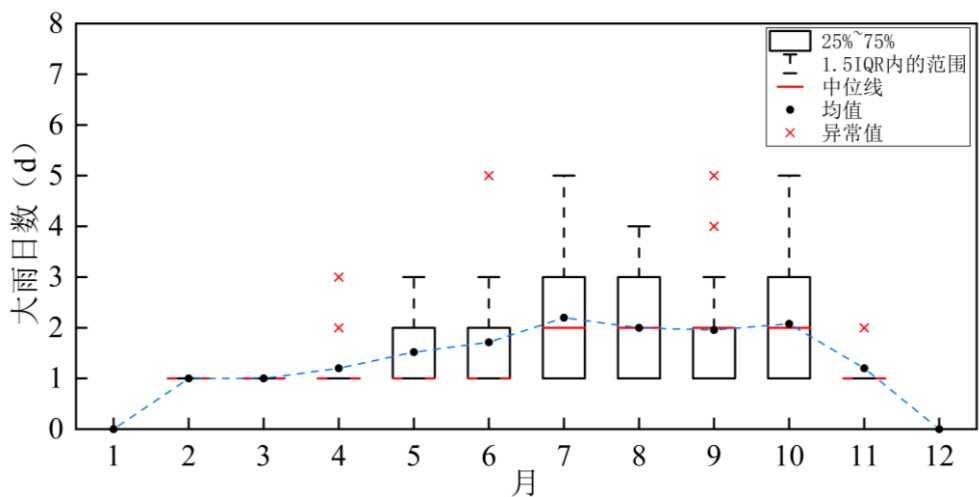


图 3.30 参证站大雨日数月际变化(1990~2019 年)

3.2.5 蒸发量

由于蒸发量 2013 年之后没有观测，因此本节参证站蒸发量的分析时段为 1984~2013 年。

3.2.5.1 年际变化

图 3.31 为参证站蒸发量的年际变化图。从图中可以看出，1984~2013 年参证

站累年平均蒸发量为 978.3mm，历年蒸发量在 763.3~1204.5mm 之间变化，最小值出现在 2005 年，最大值出现在 2002 年。1984~1998 年期间年蒸发量呈上升趋势；1999~2010 年间蒸发量快速下降；2011 年之后的 3 年开始上升。总体而言，统计时段的蒸发量呈下降的趋势，下降速率为 61.9mm/10a（图 3.31）。

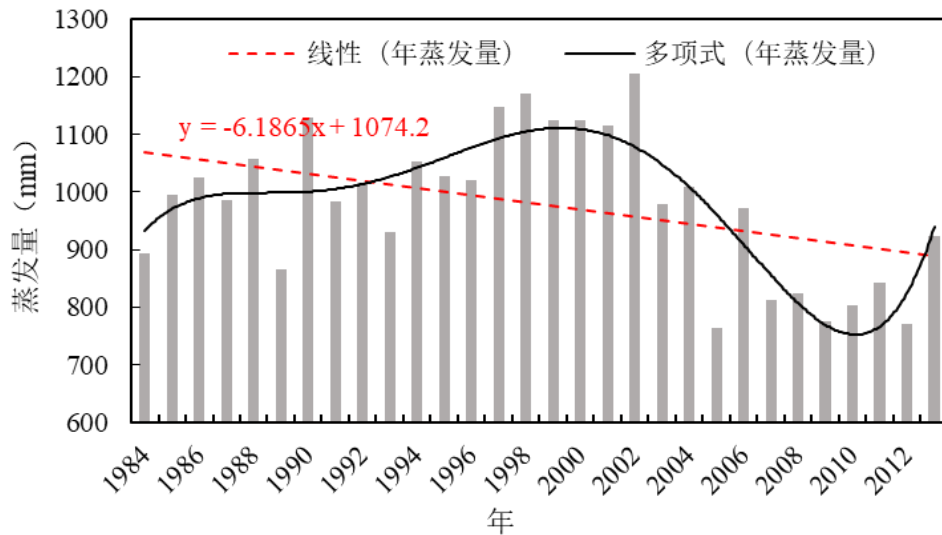


图 3.31 参证站年蒸发量年际变化(1984~2013 年)

3.2.5.2 月际变化

1984~2013 年参证站各月平均蒸发量在 22.5~115.7mm 之间，最小值出现在 1 月，最大值出现在 8 月。此外，一年之中，8 月蒸发量的变化范围最大，最少的达 76.4mm(2005 年)，最多为 222.7mm(1994 年)。季节变化特征明显，冬季(12~2 月)平均蒸发量最少，占全年蒸发量 9.5%，各月在 23.6~31.2mm 之间，夏季(6~8 月)最多，占全年蒸发量 41.8%，各月在 104.4~121.9mm 之间（图 3.32）。

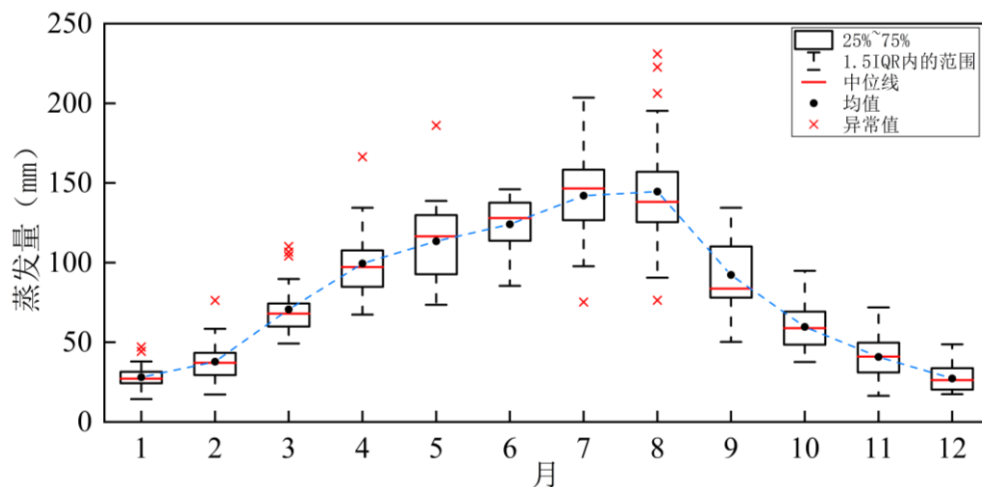


图 3.32 参证站蒸发量月际变化(1984~2013 年)

3.2.6 日照

3.2.6.1 年际变化

从图 3.33 可以看出，近 30 年（1990~2019 年）参证站累年平均日照时数为 1375.8h，年日照时数在 1004h（1999 年）~1378h（2018 年）之间变化。如图 3.33 所示，近 30 年来年日照时数呈增加的趋势，增加速率约为 30.9h/10a，且波动范围较大。

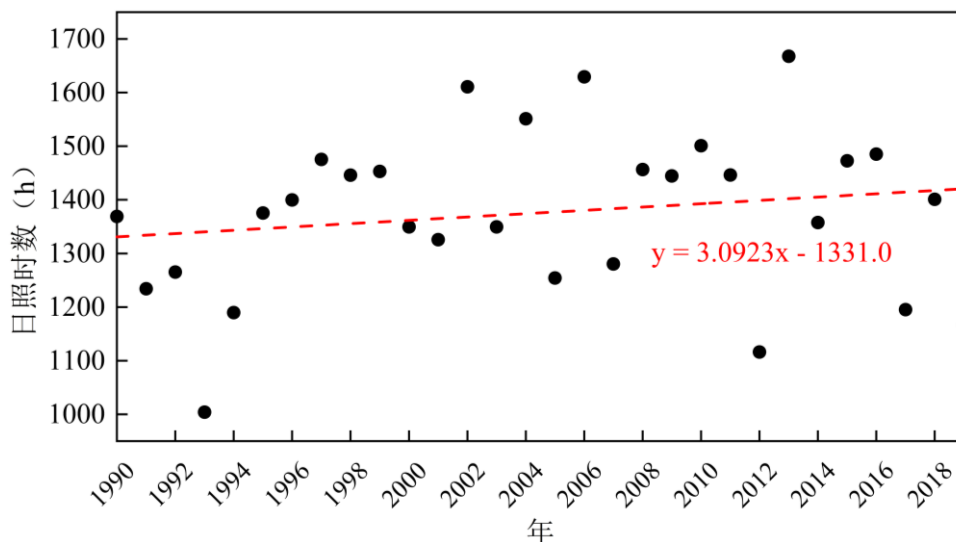


图 3.33 参证站年日照时数年际变化(1990~2019 年)

3.2.6.2 月际变化

由图 3.34 可知，1990~2019 年参证站各月日照时数的平均值在 62.4~183.2h 之间，最小值出现在 2 月，最大值出现在 8 月，季节特征明显，冬季（12~2 月）平均日照时数最少，各月平均日照时数在 62.4~76.9h 之间，占全年日照时数的 15.0%；夏季（6~8 月）平均日照时数最多，各月在 138.8~183.2h 之间，占全年日照时数的 36.0%。冬半年日照时数低于全年平均值，夏半年日照时数高于全年平均值。7、8 月相较于其他月份日照时数明显较多，平均日照时数均超过了 170h。此外，大多数年份的在 7 月的日照时数集中在 149.5~213.7h 的范围内，大多数年份的在 8 月的日照时数集中在 151.6~226.9h 之间。

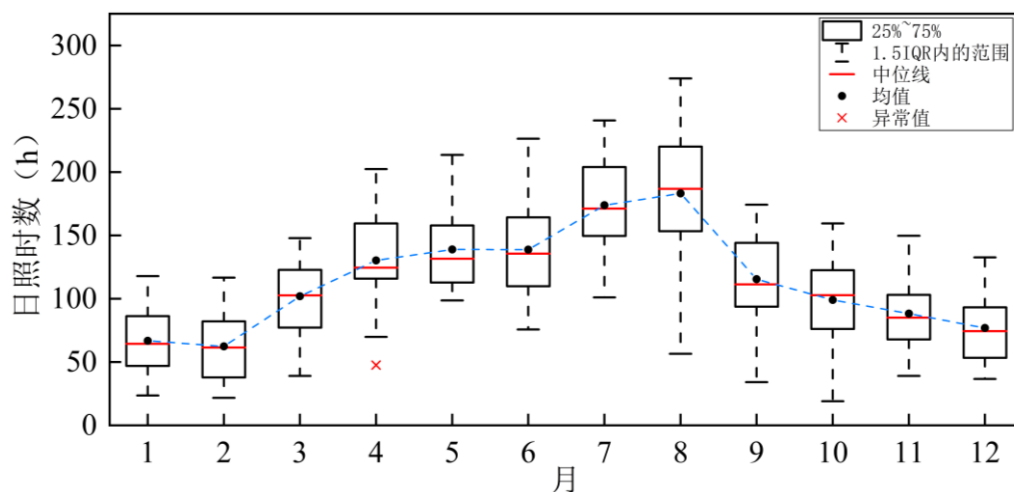


图 3.34 参证站各月日照时数统计(1990~2019 年)

3.2.7 风

3.2.7.1 风速年际变化

(1) 平均风速

近 30 年（1990~2019 年），参证气象站年平均风速为 0.53m/s，风速的变化具有年际震荡的特点，其震荡周期约为 10 年。就整体而言，1997 年以前风速呈略微下降的趋势，而 1997 年之后，风速变化非常平缓，上升速率仅约为 0.07m/s/10a。其中 2015 年平均风速最大，为 0.56m/s；1998 年平均风速最小，为 0.17m/s（图 3.35）。

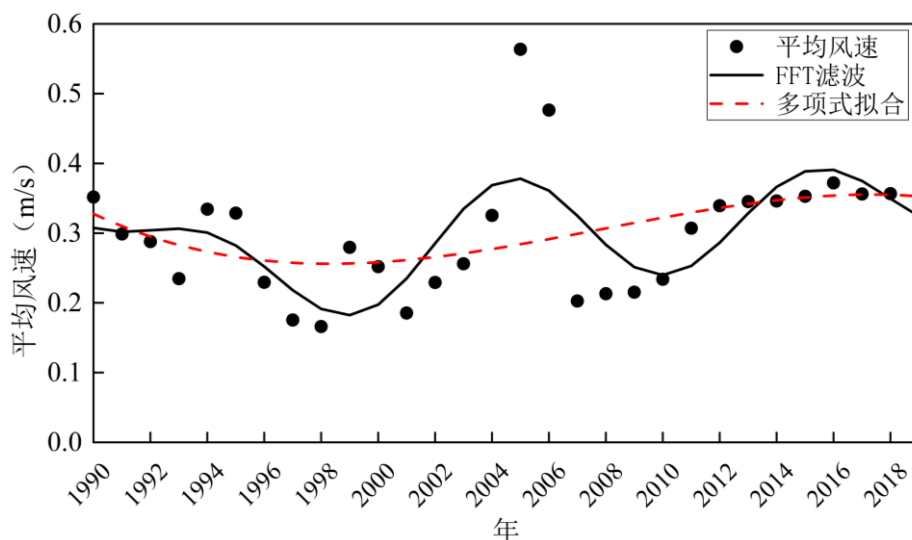


图 3.35 参证站年平均风速年际变化(1990~2019 年)

(2) 最大风速

参证气象站最大风速的观测时段为 2005 年至今，因此对最大风速的分析时段为 2005~2019 年。2005~2019 年，年最大风速呈略微上升的趋势，上升速率约

为 1.45m/s/10a（图 3.36）。2007 年年最大风速最小，为 5.6m/s；2012 年年最大风速最大，为 13.6m/s。

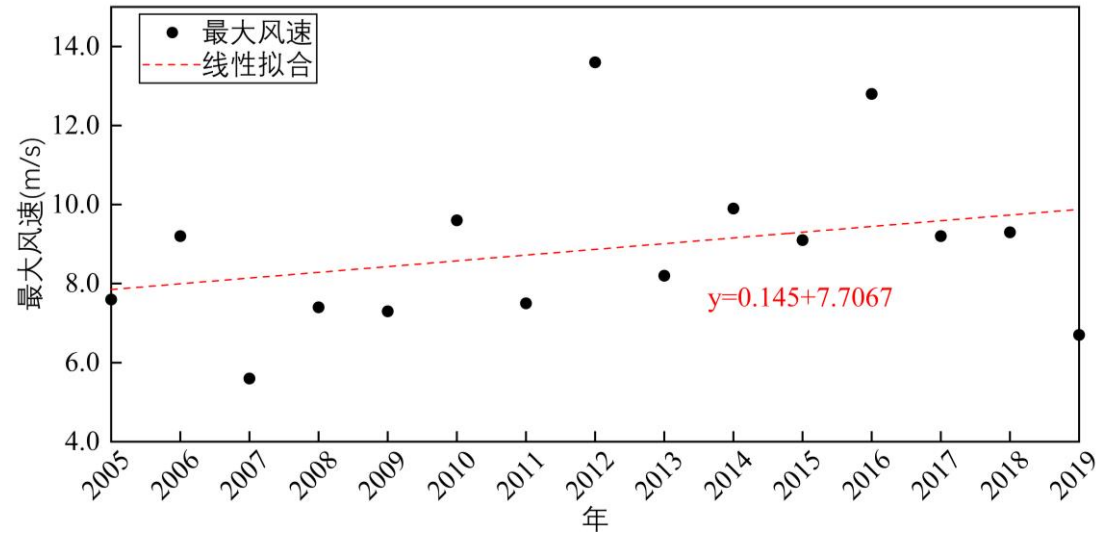


图 3.36 参证站年最大风速年际变化(2005~2019 年)

(3) 极大风速

参证气象站极大风速值从 2005 年开始记录，因此本节分析的时段为 2005~2019 年。2005~2019 年，年极大风速呈上升的趋势，上升速率约为 6.61m/s/10a（图 3.37）。年极大风速最大值为 21.8m/s（N），出现在 2012 年 6 月 23 日（表 3.5）。年极大风速主要出现在春夏两季，且极大风速主要为偏南风。

表 3.5 2005~2019 年参证站历年极大风速(m/s)

年份	极大风速(m/s)	风向	日期	年份	极大风速(m/s)	风向	日期
2005	14.4	ESE	6 月 20 日	2013	15.2	ESE	7 月 13 日
2006	17.3	ESE	5 月 18 日	2014	14.7	ESE	7 月 16 日
2007	11.6	WNW	4 月 15 日	2015	13.4	ESE	7 月 18 日
2008	14.3	SSE	8 月 8 日	2016	16.5	ESE	8 月 14 日
2009	13.2	ESE	6 月 27 日	2017	18.1	SE	6 月 27 日
2010	15.4	ESE	6 月 21 日	2018	17.8	N	8 月 11 日
2011	13.4	ESE	4 月 29 日	2019	13.5	ENE	7 月 28 日
2012	21.8	SE	6 月 23 日				

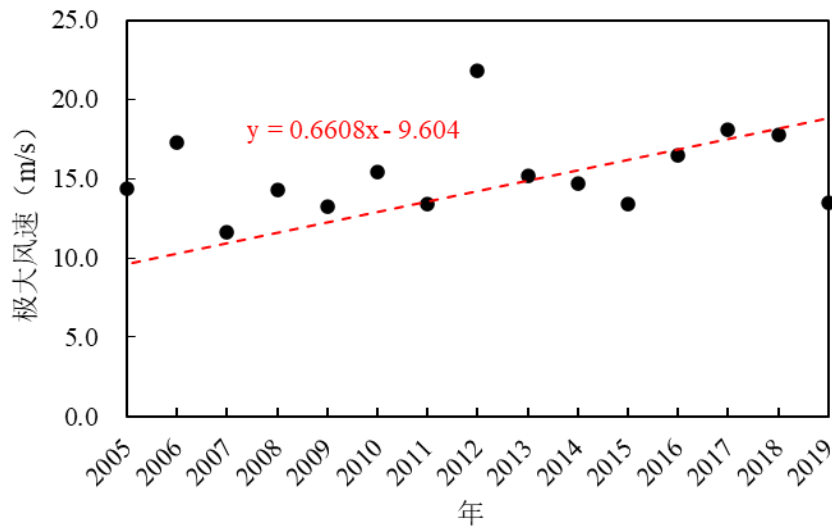


图 3.37 参证站极大风速年际变化(2005~2019 年)

3.2.7.2 风速月际变化

近 30 年（1990~2019 年），参证气象站各月平均风速变化幅度很小，处于 0.44~0.64m/s。各月的多数年份风速的变化范围多为 0.26~0.89m/s（图 3.38）。

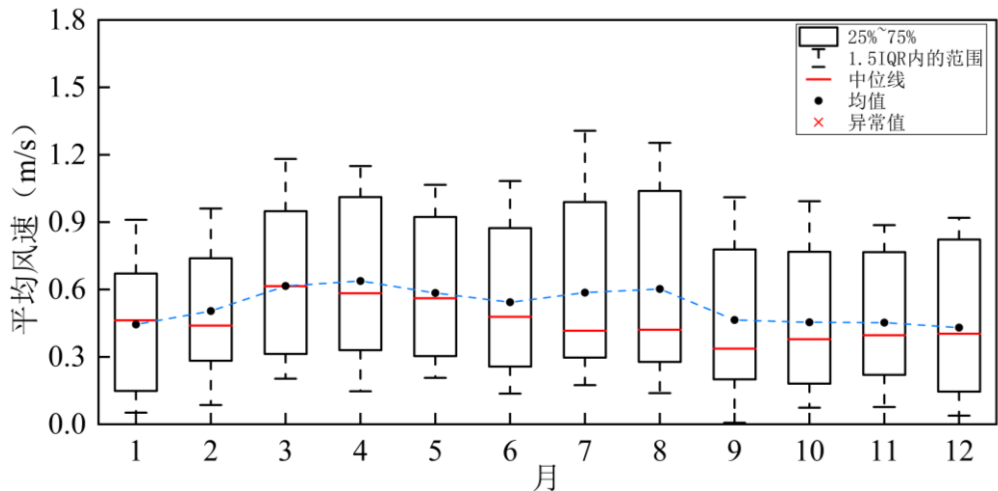


图 3.38 参证站平均风速月际变化(1990~2019 年)

3.2.7.3 风速日变化

参证气象站近 10 年(2010~2019 年)平均风速日变化特征为从每天 08 时（0.75m/s）平均风速逐渐增大，至 16 时达到最大值，为 1.38m/s，之后逐渐下降，直至 23 时（图 3.39）。晚间和凌晨风速波动较小，白天风速波动较大。

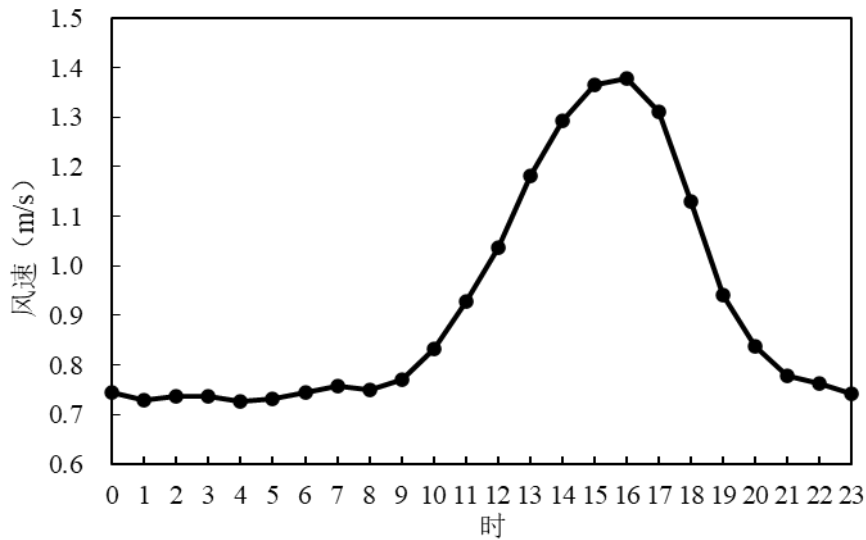


图 3.39 参证站平均风速日变化(2010~2019 年)

3.2.7.4 风向频率年及季节变化

2010~2019 年参证站累年全年最多风向为南风，风向频率为 12.0%。四季出现频率最高的风向为 N~WSW 方向，该范围内春夏秋冬四季的风向频率之和分别为 42.9%、43.3%、46.1%和 42.8%（图 3.40）。具体各风向出现频率详见表 3.6。

表 3.6 2010~2019 年参证站各月、全年最多风向及频率

月份 项目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
最多 风向	W	W	WSW	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
频率 (%)	10.4	11.0	10.4	11.6	12.2	13.9	12.8	13.8	13.3	13.6	12.3	12.5	12.0

表 3.7 2010~2019 年参证站四季、年各风向频率

项目 方位	春	夏	秋	冬	年
N	1.8%	0.8%	1.1%	1.6%	1.3%
NNE	0.8%	0.4%	0.5%	0.9%	0.7%
NE	0.6%	0.4%	0.5%	0.5%	0.5%
ENE	0.4%	0.5%	0.4%	0.5%	0.5%
E	1.6%	2.4%	1.2%	0.9%	1.5%
ESE	3.8%	6.6%	3.6%	2.9%	4.2%
SE	6.4%	8.9%	6.4%	6.3%	7.0%
SSE	9.1%	11.3%	9.5%	8.7%	9.7%
S	11.3%	13.5%	13.1%	10.3%	12.0%
SSW	10.4%	9.5%	11.0%	9.9%	10.2%
SW	10.3%	9.6%	11.0%	10.3%	10.3%
WSW	10.9%	10.7%	11.0%	10.3%	10.7%
W	9.8%	8.8%	9.8%	9.9%	9.5%

重庆市城口县工业园区气候可行性论证区域整体评价

项目 方位	春	夏	秋	冬	年
WNW	7.7%	6.0%	6.7%	6.9%	6.8%
NW	6.3%	4.4%	5.1%	5.7%	5.4%
NNW	4.0%	2.2%	2.3%	3.2%	2.9%
C	4.7%	4.1%	6.7%	11.2%	6.7%

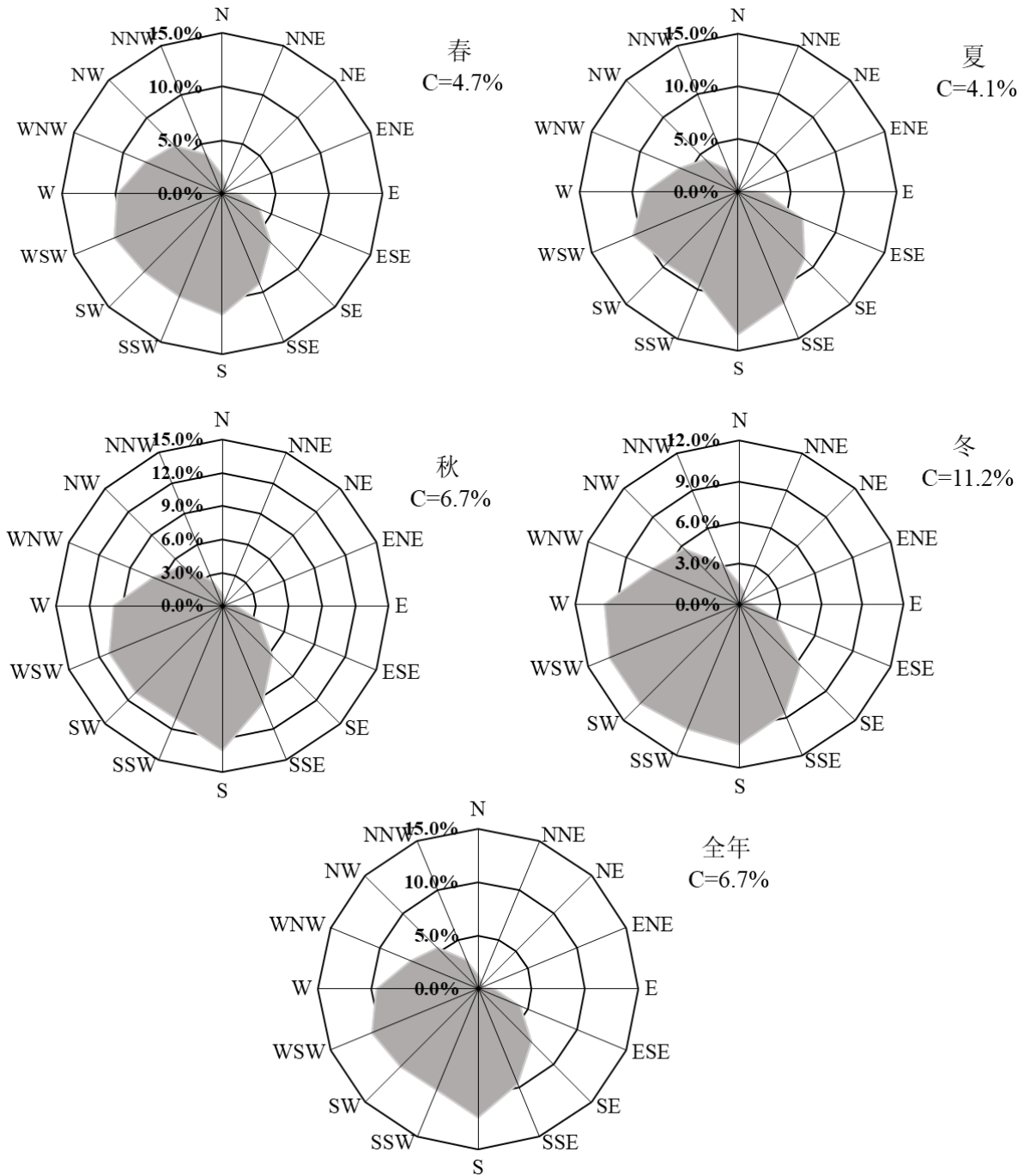


图 3.40 参证站累年四季、年风向频率(2010~2019 年)

4 高影响天气现象分析

本节高影响天气现象分析年际变化的统计时段为参证站建站~2019年，月际变化的统计时段为1990~2019年。

4.1 园区关键影响气象因子确定

典型气象灾害主要包括暴雨洪涝、干旱、寒潮冻害、连阴雨、强对流（大风、龙卷、冰雹、雷电等）等。通过对城口县工业园区周边地区典型灾害案例的解析，可以看出城口县工业园区周边地区以暴雨洪涝、大风、低温居多，园区高影响天气为暴雨、强对流和低温，致灾的关键气象因子包括暴雨、雷电、大风和低温等。

4.1.1 基于典型案例的园区气象敏感度分析

4.1.1.1 暴雨洪涝

暴雨洪涝是园区的重要气象灾害，主要通过持续性、高强度的降水造成的积水、洪水、溃口以及衍生的灾害对行业产生影响。强降雨引发的灾害包括江河库湖洪水泛滥、城市积涝，对工矿企业、水电两通、人身财产等造成损失。

(1) 2005年7月6日至7月10日暴雨天气过程

7月6日4时~7月10日9时，城口县出现了大暴雨天气过程。城口气象站过程总降水量达258.0mm，7月7日08时~7月8日08时24小时降水量达到139.5mm。过程降水量和24小时降水量均是1958年建站以来的最大值。城口县共有24个乡镇、128个村、10.5万人受灾。灾害造成3人死亡，1人失踪，3人受伤；紧急转移人口3637余人；城口县倒塌房屋603户1850间，损坏房屋6250间；共发生较大泥石流、滑坡等地质灾害16处，危及158户476人的生命财产安全；造成直接经济损失5610.0万元。

(2) 2014年9月12日至9月13日暴雨天气过程

9月12日21时到9月13日20时城口县普降暴雨，局地大暴雨。庙坝排山村、咸宜、周溪、治平、沿河、左岚以及县城等10个站点达到大暴雨级别，蓼子、厚坪、巴山、明通等乡镇的41个站点达到暴雨级别。最大降水量出现在庙坝排山村，为149.5mm。此次过程共造成196户，759人受灾，转移安置88人，无人员伤亡；房屋倒塌74间；损毁河堤2处，桥梁4座，省级公路塌方2处，地质滑坡7处；直接经济损失2200余万元。

(3) 2015 年 8 月 16 日至 8 月 19 日暴雨天气过程

8 月 16 日 21 时到 8 月 19 日 08 时城口县部分乡镇出现暴雨天气过程。此次暴雨天气过程城口县有 13 个气象站点雨量超过 100mm, 41 个气象站点雨量超过 50mm。最大雨量出现在高燕河岸村, 为 132.2mm。本次过程导致庙坝镇发生山体崩塌, 使 32 人受灾, 1 人受伤, 1 人死亡, 转移 145 人。房屋倒塌 1 户 4 间, 受损 5 户 16 间。

4.1.1.2 雷电

从 2004 年 7 月 15 日 20 时到 7 月 16 日 20 时, 城口县出现雷暴天气过程。共造成 39 户不同程度受灾, 死亡 1 人, 伤 3 人, 击坏电视机 34 台, 影碟机 24 部, 电视接收器 32 部, 钢磨机 28 台, 受灾起火 8 户, 烧坏高压线和照明线 2km。

4.1.1.3 低温

城口县的低温较重庆市其他地区低, 低温可能会导致路面结冰, 水管冰冻等现象, 甚至影响正常的交通及生产生活。

(1) 2010 年 12 月 31 日至 2011 年 1 月 5 日低温过程

2010 年 12 月 31 日到 2011 年 1 月 5 日城口县出现持续低温雨雪天气, 日平均气温累积下降 5.9℃, 降雪量为 1.6mm, 2011 年 1 月 3 日积雪深度为 2cm。县城最低气温为-4.1℃, 连日来日平均气温在-2.4~-0.3℃之间, 冷冻明显。海拔 600m 以上的镇乡有道路结冰现象。此次过程城口县 42780 人受灾; 基础设施损毁严重, 供水设施损坏 377 处, 饮水管道受损 587km, 水表损坏 3095 只, 灌溉堰渠受损约 1200m, 硬化路面损毁 1500m。共造成直接经济损失 1578 万元。

(2) 2016 年 1 月 19 日至 2016 年 1 月 25 日低温过程

1 月 19 日 21 时到 1 月 22 日上午, 城口县大部地区为雨雪天气, 高海拔路段有积雪和道路结冰, 县城累计降雪量 2.9mm。22 日下午到 25 日 15 时, 县城最低气温-9.5℃, 过程累计平均气温下降 7.1℃, 全县范围均出现了严重的霜冻。造成 25 个乡镇(街道)不同程度受灾, 受灾约 15 万人, 74000 余人饮水困难。供水设施损坏 500 余处, 饮水管道受损 40km, 水表损坏 3548 只, 硬化路面损毁 35km。造成直接经济损失约 8000 万。

4.1.1.4 大风

大风灾害均有四季可能发生。大风常伴随雷电, 冰雹, 暴雨而发生。其破坏

力很强，常常导致房屋倒毁，庄稼树木受到摧残，电信交通受损，甚至造成人员伤亡。

(1) 2016 年 6 月 4 日大风强对流天气过程

6 月 4 日 19 时至 21 时，城口县出现了大风强对流天气过程，其中 6 个站点极大风速超过 17m/s，坪坝大梁极大风速达 31.8m/s。全县灾情主要集中在电力、农房、市政基础设施等方面。此次强对流天气致死亡 1 人、1589 间农房受损，部分路段、通讯临时中断。共造成直接经济损失约 1890 万元。

4.1.2 园区气象灾害敏感度分析

根据园区实地踏勘调查，结合园区规划和已入驻企业性质，对园区气象灾害敏感度进行分析，详见附录 G。通过走访问卷调查可知企业关注的高影响天气包括暴雨、雷电、风、冰雹、低温等灾害。

极端天气事件是指天气（气候）的状态严重偏离其平均态，在统计上属于小概率事件。通过现场手机到的灾情数据统计、典型案例以及企业对高影响天气敏感度调查，最终确定城口县工业园区主要的气象灾害为暴雨、雷电、大风、冰雹、低温。

4.2 低温

城口县工业园区三个组团地理位置较为分散，海拔较高，气温较低，低温状态下常年处于 0℃以下。零下温度会导致路面结冰、水管冰冻等，影响工业园区生产生活的进行，故而本章节主要分析低温的时间变化特征和空间分布特征。

4.2.2 低温的时间变化特征

4.2.2.1 极端低温

图 4.1 为参证站建站以来（1958~2019 年）极端最低气温的年际变化。极端最低气温年际变化整体呈上升的趋势，上升速率为 0.103 天/10a。极端最低气温有 4 年（1975 年、1977 年、1991 年、2016 年）出现明显波动。极端最低气温最小值-13.2℃，出现在 1977 年 1 月 30 日；1991 年 12 月 28 日次之，为-12.3℃；其余年份极端最低气温均围绕在-5.8℃上下波动。

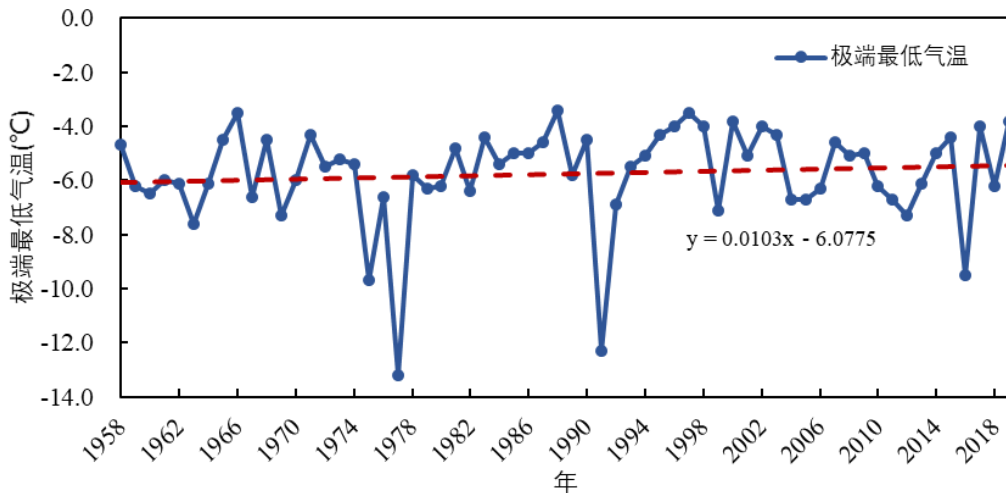


图 4.1 参证站极端最低气温年际变化(1958~2019 年)

4.2.2.2 低温日数

重庆低温日数并无相关标准定义，目前气候极值变化研究多采用阈值法，超过阈值的被认为是极值，该事件可认为是极端气候事件。本报告将日最低气温低于 0℃的情况作为霜冻日。

(1) 年际变化

参证站建站以来（1958~2019 年）小于 0℃的霜冻日数年际变化（图 4.2），其数据整体呈明显的递减趋势，下降速率为 2.42 天/10a。其中 1964 年的霜冻日数最多，为 66 天；1963 次之，为 64 天；1990 年、2007 年和 2019 年发生霜冻日数最少，为 25 天。

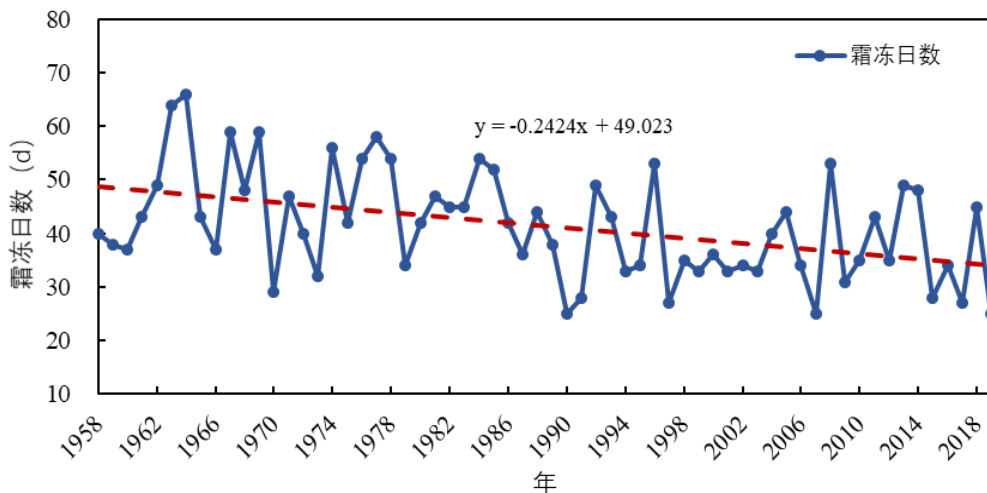


图 4.2 参证站低温日数年际变化(1958~2019 年)

(2) 月际变化

参证站近 30 年（1990~2019 年）霜冻日数月际变化如图 4.3，1~3 月和 11~12 月出现了小于 0℃的低温情况。相比其他月份，1 月、12 月出现的低温日数较明

显，1月的低温日数在异常年份达到了27天，平均为15.4天；12月的低温平均日数为10.7天。建议工业园区的规划要考虑冬季低温对室外设备的运行及园区生产生活的影响。

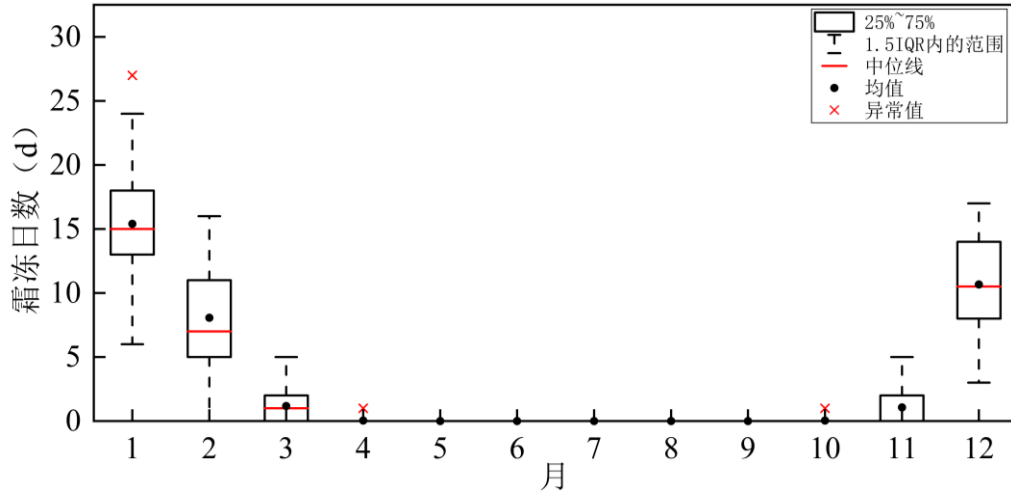
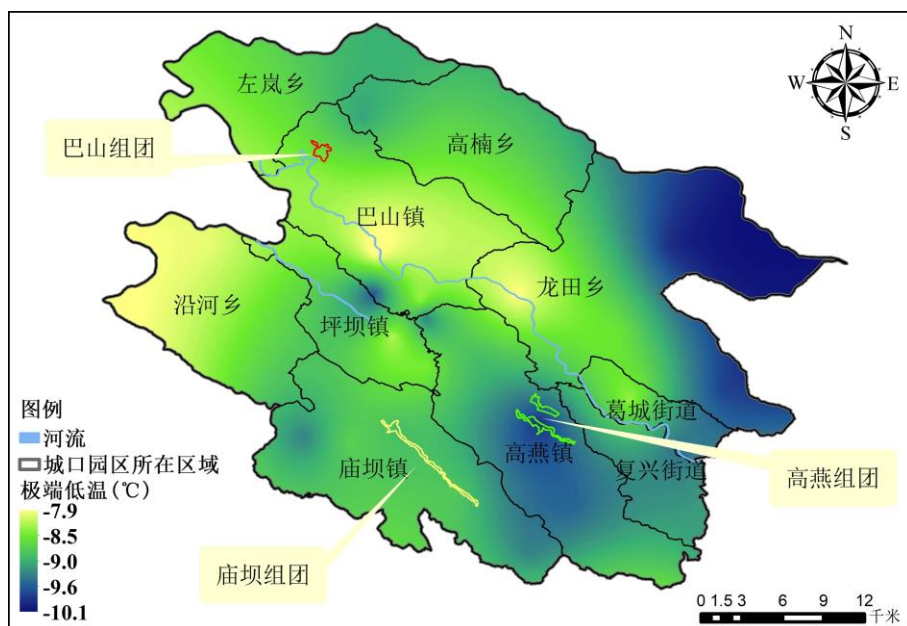


图 4.3 霜冻日数月际变化(1990~2019 年)

4.2.3 低温的空间分布特征

采用城口县 64 个区域气象站 2013~2019 年的逐日最低气温数据，统计气象站点在该时间段出现的日极端最低气温，通过空间插值得到城口县工业园区及周边地区极端最低气温的空间分布图(图 4.4)。城口县工业园区（以下简称园区）及周边区域自 2013~2019 年以来极端最低气温在 -10°C （龙田乡联丰村）~ -7.9°C （巴山镇坪上村）之间，园区区域极端最低气温变化趋势基本上呈现自西向东逐渐下降的分布特征。位于园区区域中部的坪坝大梁以及位于园区区域南部的庙坝镇天宝村，其海拔较高，均在 1000m 以上，极端最低气温相对较低；位于园区中部的龙田乡仓房村，海拔相对较低，极端最低气温较周围地区更高，而位于园区西部的葛城街道地区，人口较为密集，城市热岛效应明显，因此其极端最低气温较高。

城口县工业园区三个组团地理位置较为分散，巴山组团、庙坝组团极端最低气温处于平均水平，而高燕 A、B 区极端最低气温处于较高水平。



4.3 强降水

强降水是主要的气象灾害之一，不但会造成洪涝灾害，还会引发塌方、滑坡、泥石流等次生灾害，会对城口所在区域造成严重的危害。因此，本节针对包括暴雨、日降水极值以及短历时降水等方面对强降水天气现象进行分析。

4.3.1 暴雨

暴雨是指 24 小时降水量达到 50.0mm 以上的降水天气过程。根据重庆市气象灾害标准(DB50/T 270-2008)暴雨等级划分标准，降暴雨划分为暴雨(50.0mm≤日降水量≤99.9mm)、大暴雨(100.0mm≤日降水量≤249.9mm)、特大暴雨(日降水量≥250.0mm)。

4.3.1.1 暴雨

本小节暴雨是指 50.0mm≤日降水量≤99.9mm。

a. 年际变化

参证站近 62 年(1958~2019 年)暴雨的多年平均日数为 3.5 天。年暴雨日数在 0~8 天之间，暴雨日数出现最多年份为 1987 年、2000 年和 2011 年，未发生暴雨的年份为 1959、1999 年。整体的变化趋势呈上升趋势，上升速率为 0.103 天/10a(图 4.5)。

图 4.6 为暴雨日数距平变化。从图可以看出，1958~2019 年整体呈低-高-低-高-低的波动趋势，各个阶段的波动幅度都较明显。1958~1969 年和 1988~2004 年

期间，暴雨日数小于多年平均；到了 20 世纪 70 年代~80 年代间，暴雨日数波动幅度大，日数明显高于多年平均，但从 2018 年开始，暴雨日数开始小于多年平均。

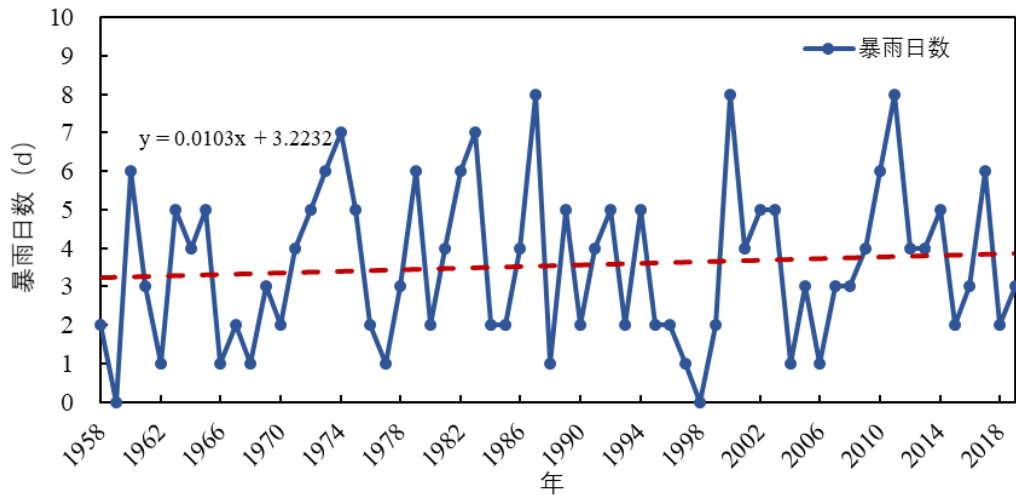


图 4.5 暴雨日数年际变化(1958~2019 年)

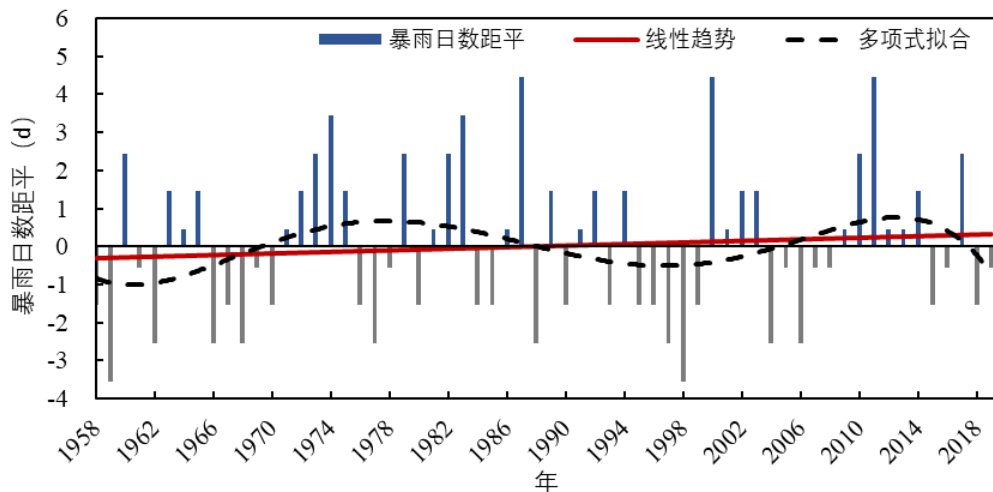


图 4.6 暴雨日数距平变化(1958~2019 年)

b. 月际变化

从暴雨日数的月际变化来看，近 30 年（1990~2019 年）各月的平均暴雨日数在 0~0.8 天之间，暴雨主要集中在夏季（6~8 月），占全年的 61.0%，冬季未出现暴雨；6~9 月暴雨发生次数多的年份可达到 3 天（图 4.7）。

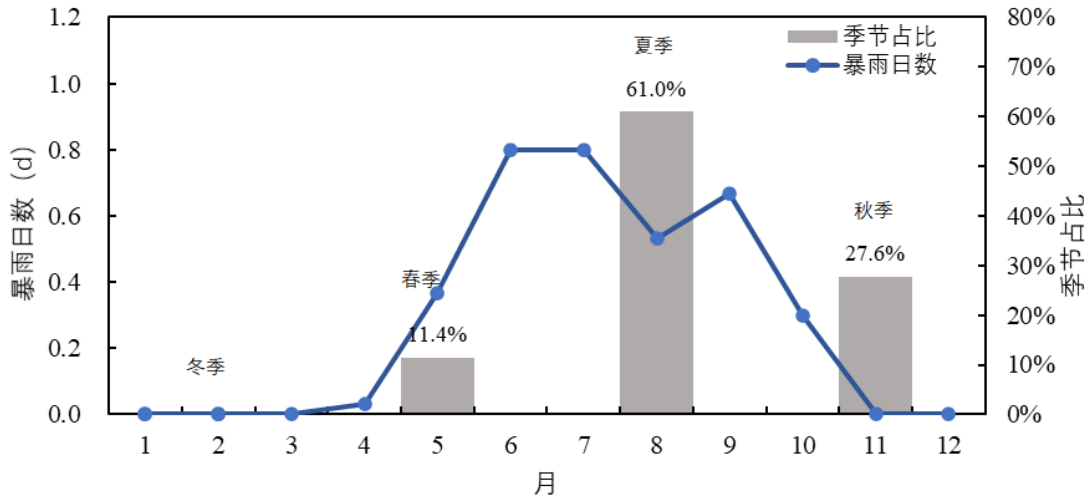


图 4.7 暴雨日数月际变化(1990~2019 年)

4.3.1.2 大暴雨

100.0≤日降水量≤249.9mm 为大暴雨量级。

a. 年际变化

参证气象站近 62 年（1958~2019 年）日降水量满足大暴雨量级的多年平均日数为 0.4 天。年大暴雨日数在 0~2 天之间，大暴雨日数出现最多年份为 1962 年，有 38 年未出现大暴雨量级的降水。整体的变化趋势呈比较缓慢的下降趋势，下降速率达 0.027 天/10a（图 4.8）。

由图 4.9 可知，1958~1979 年大暴雨日数处于低于多年平均的水平，之后 5 年大暴雨日数增加，开始高于多年平均值；从 1986 年~2019 年，是大暴雨日数偏少于多年平均日数的时期。

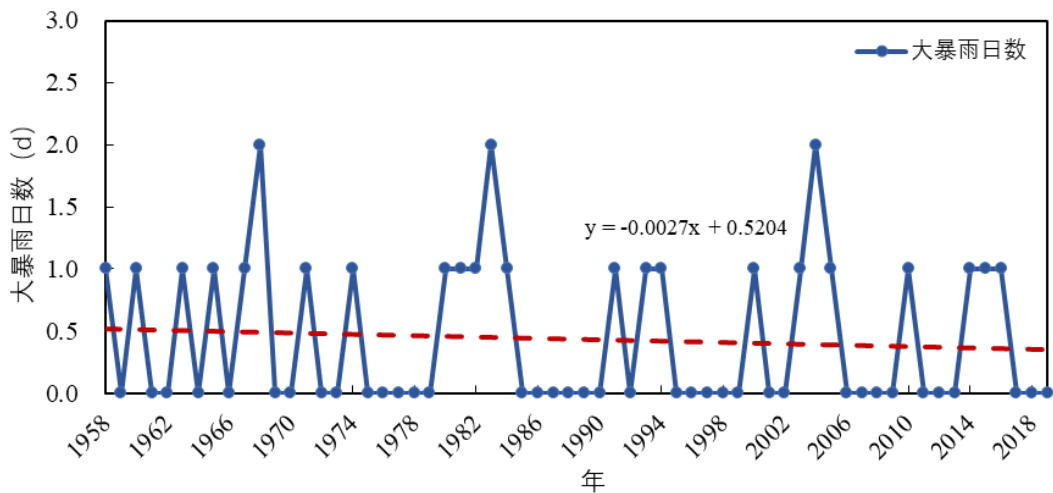


图 4.8 大暴雨日数的年际变化(1958~2019 年)

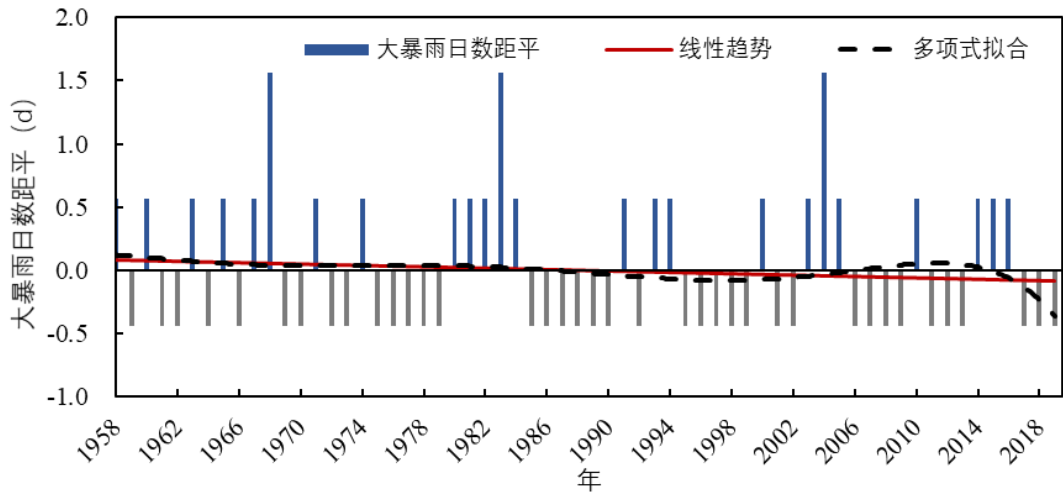


图 4.9 大暴雨日数距平变化(1958~2019 年)

b. 月际变化

由图 4.10 可知，参证站近 30 年(1990~2019 年)大暴雨月际变化在 0~0.2（7 月）天之间，且发生主要集中在 7~9 月，占全年大暴雨日数的 75%。春、秋季大暴雨分别占全年的 8.3%、16.7%，冬季并未出现大暴雨。

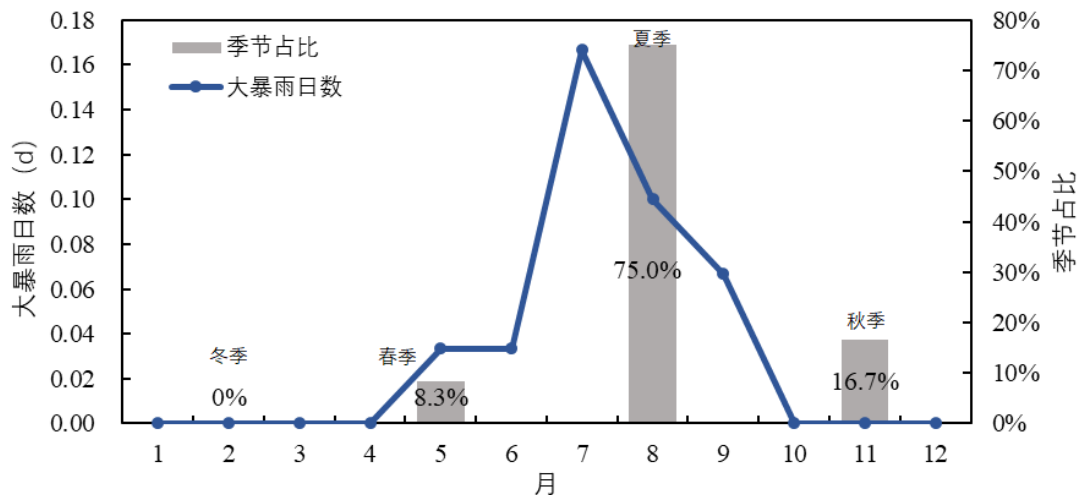


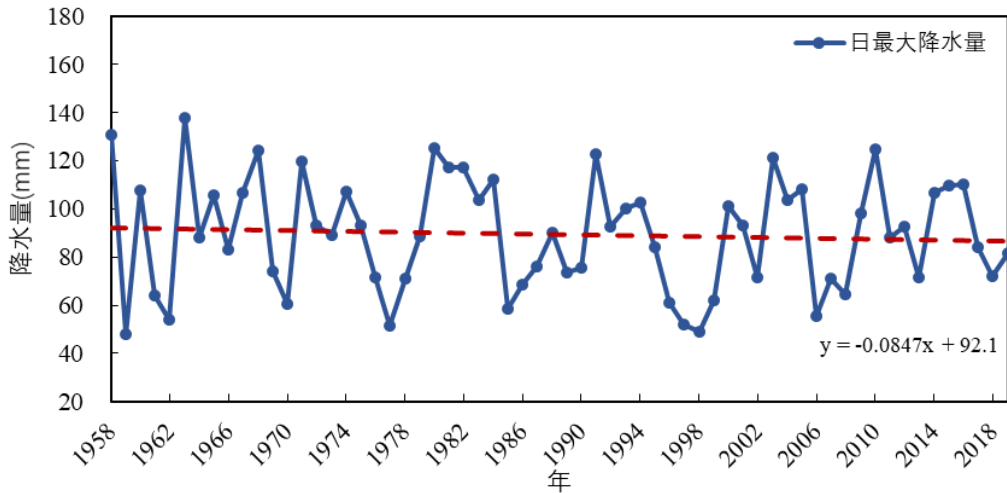
图 4.10 大暴雨日数月际变化(1990~2019 年)

4.3.1.3 特大暴雨

日降水量 $\geq 250.0\text{mm}$ 为特大暴雨的量级。参证气象站近 62 年(1958~2019 年)没有发生过特大暴雨。

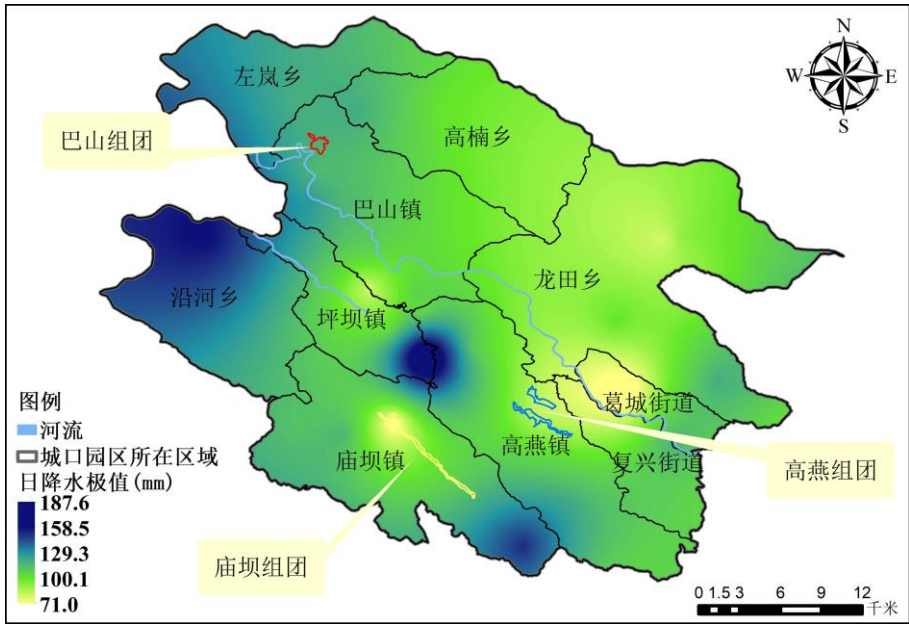
4.3.2 日降水极值

参证站近 62 年（1958~2019 年）的逐年日最大降水量变化如图 4.11 所示，日最大降水量整体呈下降趋势，下降速率为 $0.847\text{mm}/10\text{a}$ 。1963 年 8 月 23 日为历史最高，日最大降水量为 138.0mm ；次高值出现在 1958 年 7 月 6 日，日最大降水量为 131.0mm 。



采用城口县区域 64 个气象站 2013~2019 年逐日降水量，统计气象站点在该时间段出现的日最大降水量，通过空间插值得到城口县工业园区及周边地区日降水极值的空间分布图(图 4.12)。城口县工业园区（以下简称园区）及周边区域自 2013~2019 年以来日降水极值在 70.8mm（葛城街道）~187.9mm（坪坝镇丰田村）之间，园区区域日降水极值分布自西向东呈现非常缓慢的减少趋势。位于园区区域西部的沿河乡北部地区、园区区域中部的丰田村以及位于园区区域南部的庙坝镇排山村，日降水极值较高；位于园区区域西部的葛城街道及位于园区区域中部的庙坝镇庙坝村，日降水极值较低。

城口县工业园区三个组团地理位置较为分散，巴山组团、高燕 A、B 区处于平均水平，而庙坝组团日降水极值西北部处于较低水平，其他区域处于平均水平。



4.3.3 短历时强降水

从参证站 1981~2019 年共 39 年的逐分钟雨量数据中，滑动提取 5、10、15、20、30、45、60、90、120、180min 共 10 个历时的逐年最大降水量数据进行分析。

由表 4.1 可以看出，60min 及以下短历时年最大降水量的标准差随历时增长而增加，短历时年最大降水量随历时增长，数据内部波动变化增大；90min~180min 之间随历时的增长，最大降水量标准差变化很小，内部的数据波动变化很小。由图 4.13 短历时年最大降水量年际变化趋势图可以看出，10 个降水历时年最大降水量的年际变化趋势一致，各个历时年最大降水量随时间均呈增加趋势，5min 和 10min 降水历时相比其他历时年最大降水量的增加趋势较小。

表 4.1 参证站短历时年最大降水量平均值(mm)及标准差(mm)

历时	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180
平均值	8.4	12.9	16.4	19.4	23.8	28.4	31.6	35.4	38.8	44.5
标准差	3.2	5.3	7.4	8.5	10.0	11.1	11.4	11.1	11.1	11.2

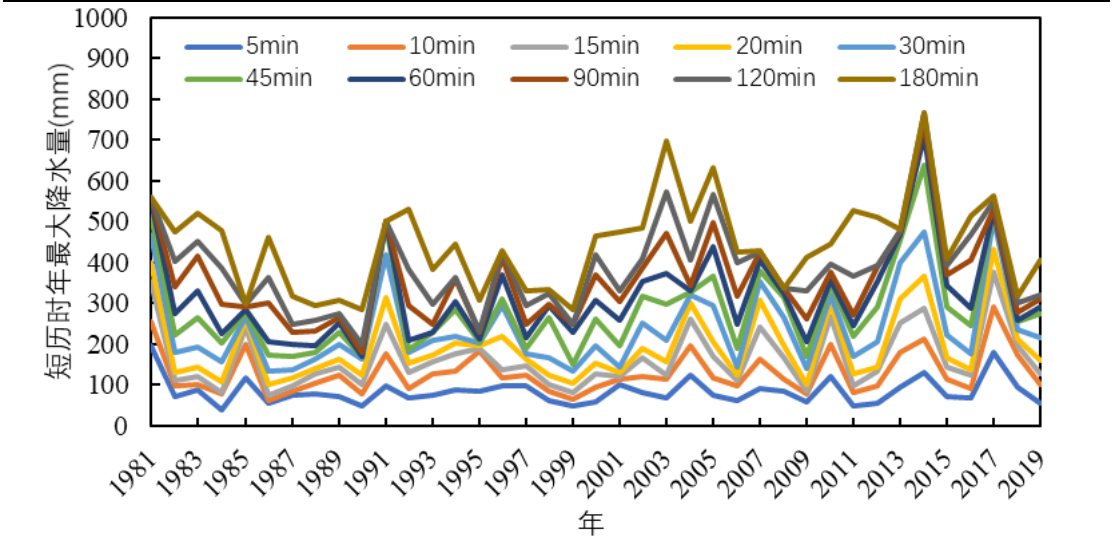


图 4.13 短历时年最大降水量年际的变化趋势图(1981~2019 年)

表 4.2 1981~2019 年短历时年最大降水量气候倾向率

气象要素	倾向率	单位
5min 年最大降水量	0.080	$\text{mm} \cdot (5\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
10min 年最大降水量	0.807	$\text{mm} \cdot (10\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
15min 年最大降水量	1.313	$\text{mm} \cdot (15\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
20min 年最大降水量	1.599	$\text{mm} \cdot (20\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
30min 年最大降水量	2.154	$\text{mm} \cdot (30\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
45min 年最大降水量	2.933	$\text{mm} \cdot (45\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$

气象要素	倾向率	单位
60min 年最大降水量	3.022	$\text{mm} \cdot (60\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
90min 年最大降水量	2.721	$\text{mm} \cdot (90\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
120min 年最大降水量	2.654	$\text{mm} \cdot (120\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$
180min 年最大降水量	2.370	$\text{mm} \cdot (180\text{min})^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$

4.4 大风日数

参证气象站的风速观测包括 1 日 3 次（北京时 08 时、14 时、20 时）定时 2min 平均风速、最大风速和极大风速。定时 2min 平均风速自建站以来均有记录，最大风速的观测时段为 1980 年 1 月~1987 年 12 月、2005 年至今，极大风速的连续观测时段为 2005 年 1 月至今。定义大风为瞬时风速 $\geq 17\text{m/s}$ 的风速，或者最大风速 $\geq 10\text{m/s}$ 的风速的当天为大风日。结合参证气象站大风现象记录，将整合出的大风日数列出，得到大风日数年际变化。

参证站 1973~2019 年大风日数的年际变化总体呈极为不明显的上升趋势，上升速率为 0.006 天/10a，历史大风日数共计 17 天，年数 10 年，平均每年出现 0.4 天大风。大风日数最多的年份为 1973 年，出现 4 天（图 4.14）。

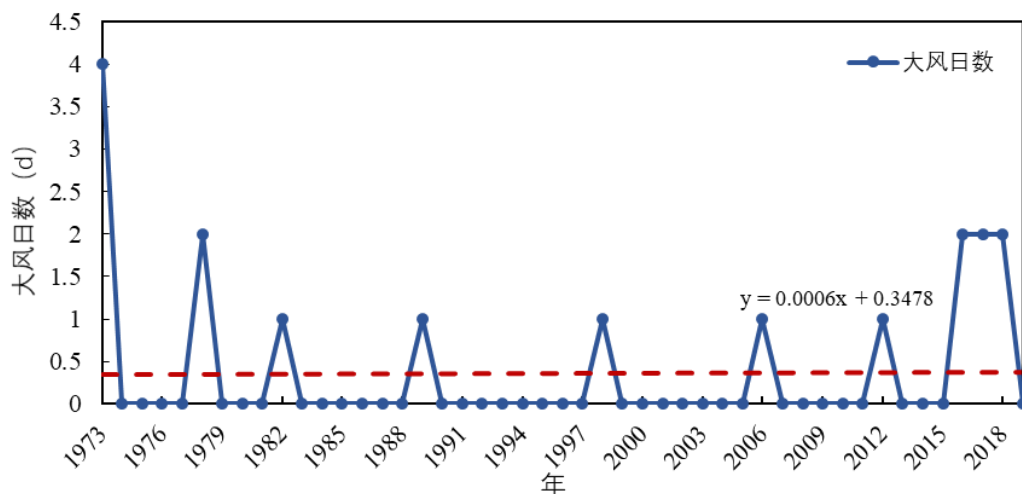


图 4.14 参证站大风日数年际变化(1973~2019 年)

参证站 1990~2019 年各月累积大风日数表现为 6 月最多，共计 3 天，5 月、7 月次之，各月共计 2 天，4 月和 8 月在这 30 年间仅仅发生了 1 天，1~3 月、9~12 月未发现大风记录（图 4.15）。

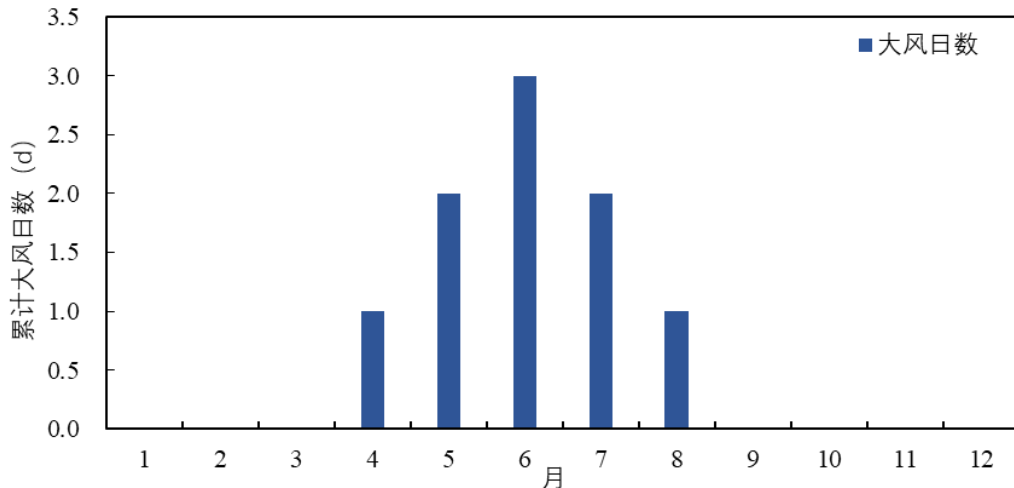


图 4.15 参证站累计大风日数月际变化(1990~2019 年)

4.5 连阴雨

根据 2008 年重庆市气象灾害标准（DB50/T 270-2008），将连续 ≥ 6 天阴雨且无日照，其中任意 4 天白天雨量 $\geq 0.1\text{mm}$ ，定义为一次轻度连阴雨；将连续 ≥ 10 天阴雨且无日照，其中任意 7 天白天雨量 $\geq 0.1\text{mm}$ 定义为一次严重连阴雨，如果连续 3 天白天无降水则连阴雨终止。

4.5.1 年连阴雨频数变化

1958~2019 年，参证站多年平均连阴雨过程为 4.1 次，1989 年最多，出现了 9 次连阴雨天气；1979 年和 2010 年最少，未出现连阴雨。参证站连阴雨过程呈缓慢的上升趋势，上升速率为 0.055 次/10a(图 4.16)。根据连阴雨距平图(图 4.17)，1958 年~1980 年间，大多数年份连阴雨次数小于多年平均值；20 世纪 80 年代到 90 年代，多数年份连阴雨频次为正距平，且距平值较大；近 10 年连阴雨频次多为大于多年平均值，但负距平值的波动幅度较大。

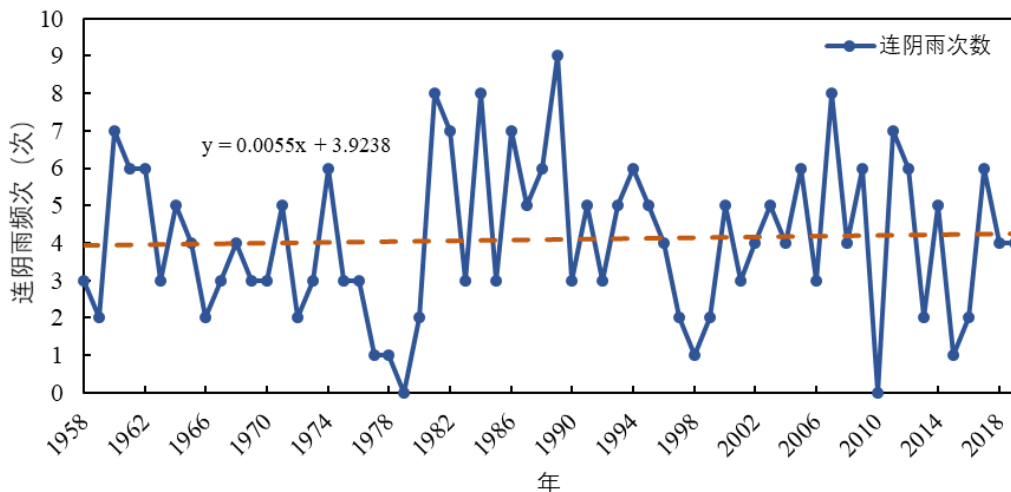


图 4.16 参证站连阴雨频数年际变化(1958~2019 年)

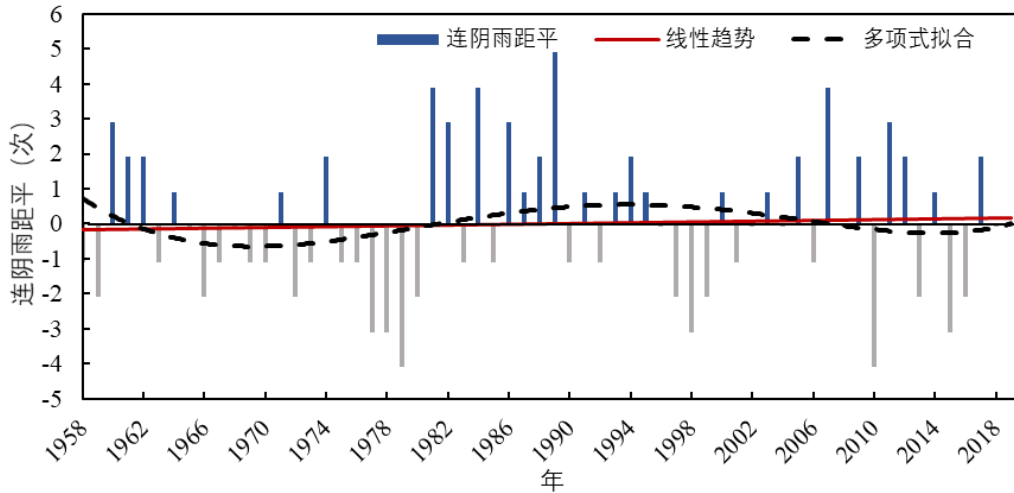


图 4.17 参证站年连阴雨频数距平变化(1958~2019 年)

4.5.2 年连阴雨持续时间变化

一般来说,连阴雨持续时间越长,对仓储、物流等作业环境越不利。参证站平均连阴雨持续时间为 8.7 天/次,1964 年最长,为 12.4 天/次,1979 年和 2010 年未发生连阴雨事件。参证站连阴雨持续时间呈略微下降趋势,并具有明显的阶段性变化,呈低-高-低-高的变化趋势,参证站近 62 年中有 32 年连阴雨持续时间大于多年平均值且在 1974~2014 年之间波动变化幅度较为明显;1979 年和 2010 年的负距平值波动幅度明显差别于其他年份(图 4.18)。

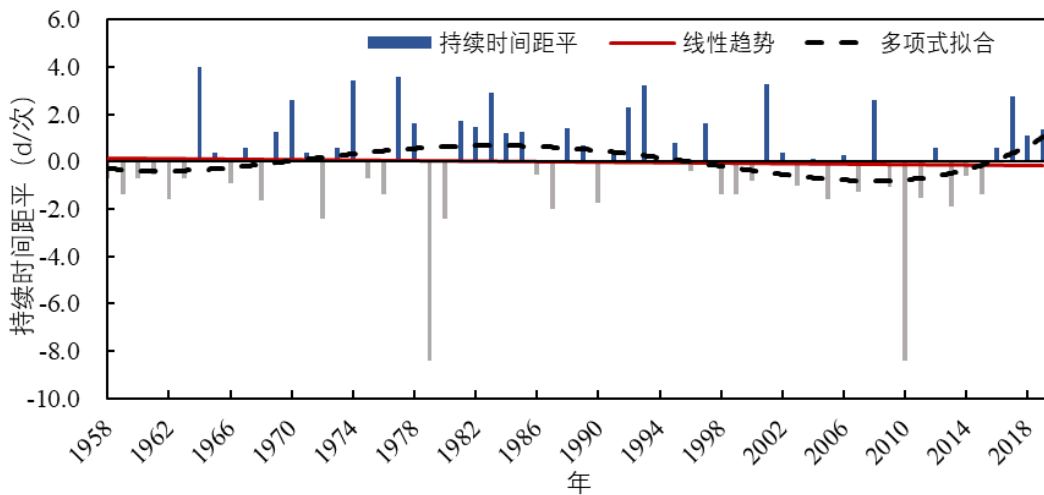


图 4.18 参证站连阴雨持续时间距平变化(1958~2019 年)

4.5.2 年最长连阴雨日数

年最长连阴雨是一年之中出现时间最长的一次连阴雨过程。1959~2019 年,参证站年最长连阴雨持续天数在 6 天(1979、1980 年)~17 天(1971、1998 年)之间,年最长连阴雨日数 9 月发生最多,共计 17 次;7 月次之,共计 13 次;3 月、12 月持续降水发生最少,仅 1 次。最长连阴雨降水的总量在 4.6mm(2008

年1月)~423.9mm(1982年7月)之间变化(表4.3)。

表 4.3 1958~2019 年历年最长连阴雨持续天数(d)及总量(mm)

年	开始日期	结束日期	最长持续天数	累计雨量	年	开始日期	结束日期	最长持续天数	累计水量
1958	5/3	5/14	12	81.6	1988	5/6	5/13	8	70.5
1959	5/3	5/11	9	68.7	1989	2/16	2/24	9	39
1960	4/10	4/17	8	41.7		7/3	7/11	9	116.8
	9/2	9/9	8	346.2	1990	10/16	10/24	9	33.7
1961	2/28	3/10	11	52.6	1991	7/2	7/9	8	27.2
1962	6/28	7/8	11	106.6	1992	6/25	7/5	11	78.9
1963	8/15	8/28	14	333.9	1993	8/18	8/26	9	122.2
1964	9/20	10/5	16	335	1994	4/17	4/26	10	61.9
1965	9/30	10/12	13	81.8	1995	9/8	9/19	12	88.1
1966	5/23	5/31	9	75.2	1996	5/26	6/8	14	132
	10/19	10/27	9	47.5	1997	7/10	7/19	10	91.6
1967	11/18	11/29	12	76.2	1998	8/2	8/18	17	219.6
1968	10/6	10/18	13	86.3	1999	9/11	9/19	9	55
1969	9/1	9/11	11	239.4	2000	8/2	8/9	8	83.9
1970	9/16	9/28	13	259.3		10/21	10/28	8	59.5
1971	9/3	9/19	17	182.2	2001	7/20	7/26	7	118.9
1972	6/16	6/27	12	75.8		11/30	12/6	7	20.2
1973	9/25	10/10	16	156	2002	6/15	6/24	10	152.7
1974	7/31	8/10	11	140.5	2003	8/30	9/8	10	323.7
	9/28	10/8	11	242.1	2004	8/23	9/8	17	166.5
1975	6/23	7/3	11	130.8	2005	5/12	5/23	12	85.6
1976	3/27	4/4	9	12.8	2006	7/7	7/13	7	10.8
1977	4/26	5/4	9	58.9	2007	6/6	6/15	10	44.1
	10/30	11/7	9	50.5	2008	1/17	1/28	12	4.6
1978	6/21	6/28	8	38	2009	5/10	5/16	7	111.5
1979	6/30	7/8	9	44.1		5/22	5/28	7	58.2
	7/31	8/8	9	92.1	2010	6/20	7/1	12	37.1
1980	1/27	2/1	6	12.1	2011	9/10	9/23	14	192.9
	5/13	5/18	6	59.2	2012	1/17	1/22	6	7.6
	7/7	7/12	6	84.9	2013	11/7	11/14	8	16.9
1981	9/28	10/8	11	156.8	2014	9/12	9/19	8	251.8
1982	7/10	7/23	14	423.9	2015	4/1	4/7	7	102.1
1983	10/12	10/25	14	102	2016	10/7	10/15	9	37.3
1984	9/19	10/4	16	317.9	2017	10/10	10/20	11	107.1
1985	9/14	9/23	10	217.9	2018	7/21	7/30	10	68.7

年	开始日期	结束日期	最长持续天数	累计雨量	年	开始日期	结束日期	最长持续天数	累计水量
1986	9/6	9/18	13	155.6		9/12	9/21	10	135.7
1987	2/14	2/21	8	9.3	2019	10/1	10/16	16	267.4

4.6 雷电

雷暴是由发展旺盛的积雨云引起并伴有闪电雷鸣的天气现象，常伴有阵雨、大风、低能见度、下击暴流、风切变和冰雹等天气，是破坏地面设施最主要的天气现象。

4.6.1 雷暴日数

统计参证气象站 1973~2013 年的地面观测资料（2013 年后没有观测记录），近 41 年年平均雷暴日数为 32.4 天，年雷暴日数在 19~56 天之间变化，最小值出现在 1989 年，最大值出现在 1973 年。年雷暴日数呈减少趋势，减少速率为 0.728 天/10a（图 4.19）。

近 30 年参证站雷暴日数月际变化在 0~8.4 天之间，其中 7 月发生日数最多，为 8.4 天。参证站雷暴日数主要发生在 4~8 月，占全年雷暴发生日数的 84.9%。其中 6~8 月是高发时段，发生雷暴日数占全年雷暴发生的 63.0%，1 月和 12 月未发生雷暴的天气（图 4.20）。

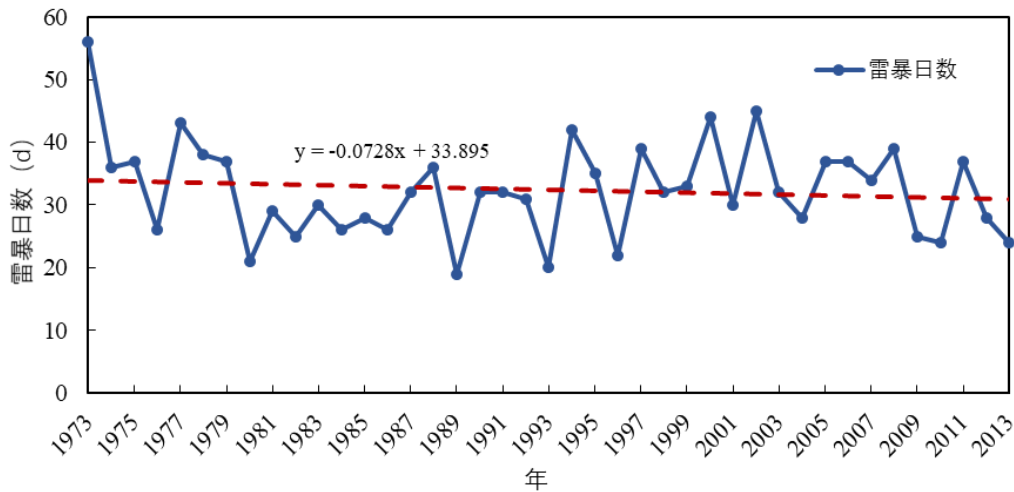


图 4.19 参证站雷暴日数年际变化(1973~2013 年)

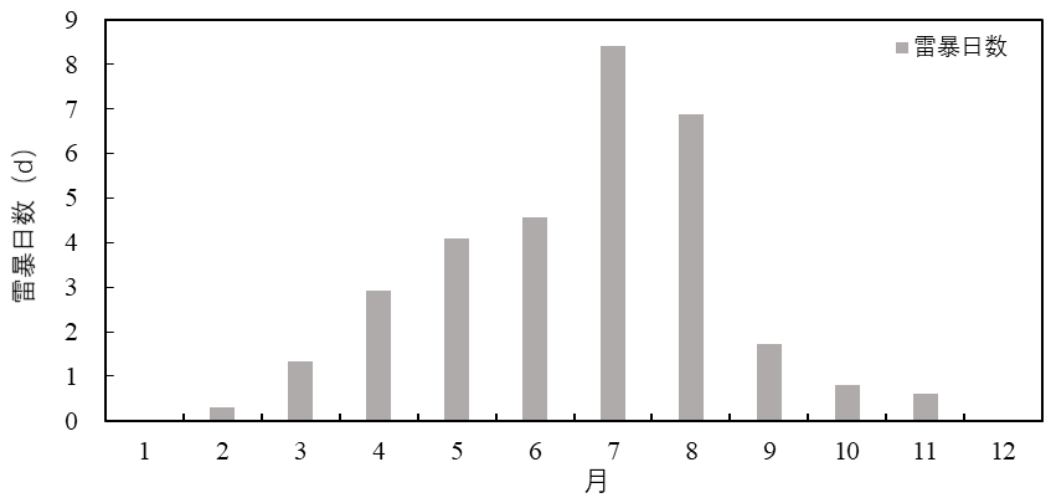


图 4.20 参证站雷暴日数月际变化(1984~2013 年)

重庆近 30 年年平均雷暴日数在 24.8 天（潼南）~47.4 天（酉阳）之间，雷暴日数呈渝东北、渝西较低，渝东南较高分布特征，除渝东北和渝西地区外，其他地区年均雷暴日数均在 30 天以上。城口位于重庆东北部，处于重庆雷暴发生日数中低地区（图 4.21）。

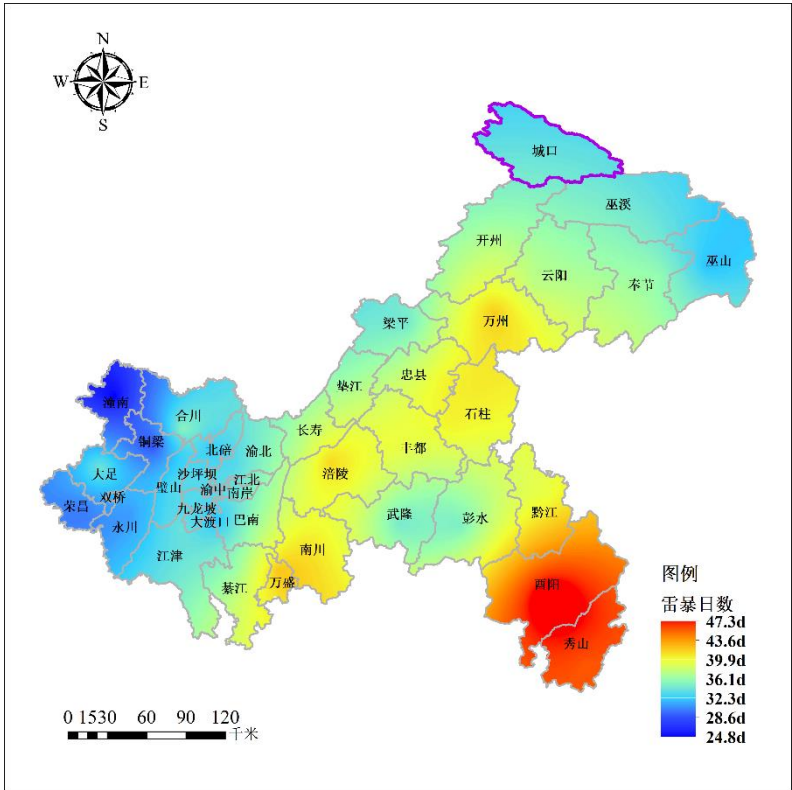


图 4.21 重庆多年平均雷暴日数分布(1984~2013 年)

4.6.2 闪电

本节以园区为中心，选取园区周边 10km 范围内 2010~2019 年闪电定位资料，分析园区雷电活动时空分布特征。闪电定位资料来源于重庆市气象局雷电监

测网，重庆现有 5 个闪电定位仪（沙坪坝、石柱、酉阳、云阳、城口）与周边省市的 10 个闪电定位系统组成雷电监测网。每个闪电资料均为三站同时定位数据，包括闪电发生的时间、经纬度、雷电流强度、雷电流陡度等参数。

4.6.2.1 地闪空间分布

从 2019 年城口县工业园区各组团周边地闪空间分布（图 4.22~4.23）来看，城口县工业园区及周边存在一定量雷击风险。雷击可能造成潜在的人员伤亡、公众设施服务中断和财产损失。

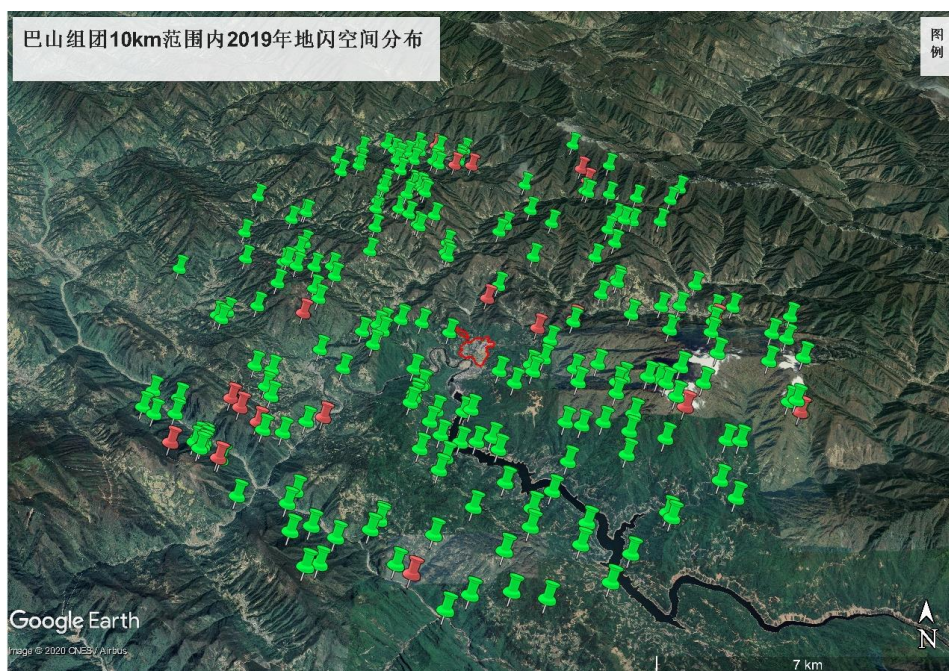


图 4.22 巴山组团 10km 范围内 2019 年地闪空间分布

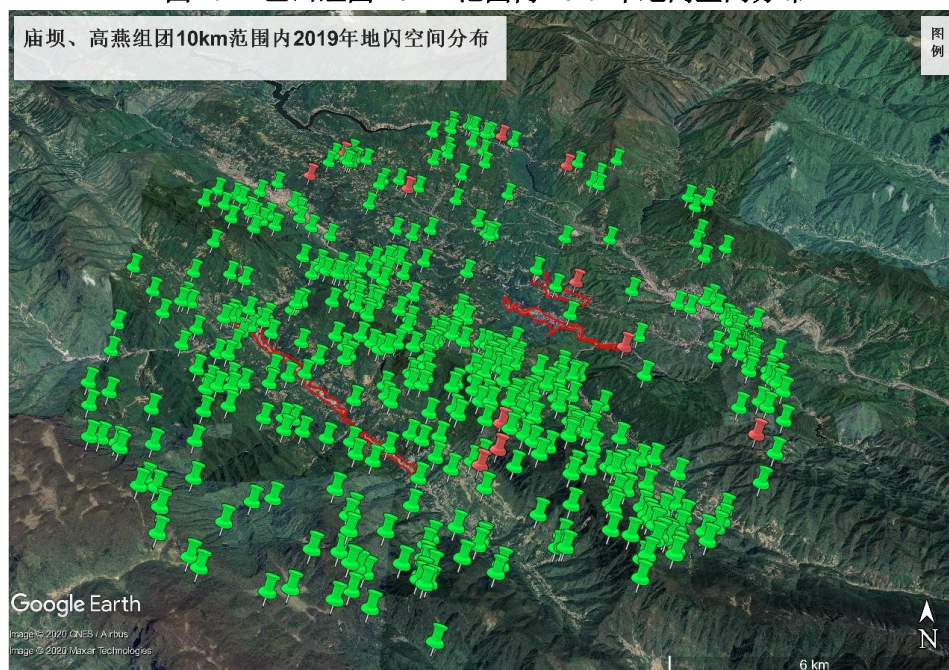


图 4.23 庙坝、高燕组团 10km 范围内 2019 年地闪空间分布

以园区中心为原点，将园区周边 10km 范围的区域划均分成 16 个方位，统计每一个方位的地闪发生频率，并绘制园区地闪散点分布图（图 4.24）。从图中可以看出正闪主要集中在东南方向，ESE 方向发生频率最大，为 10.7%；负闪主要集中在东南方向，其中 E 方向发生频率最大，为 12%。

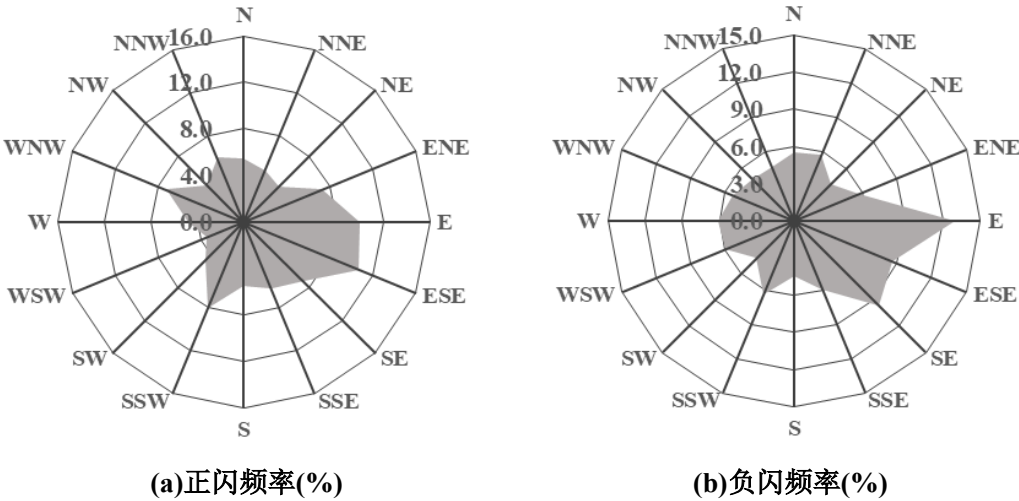


图 4.24 园区及周边 10km 范围内地闪散点分布图

4.6.2.2 地闪时间分布

(1) 地闪频次

a. 年际变化

从图 4.25 可以看出，近 10 年来园区闪电频次总体呈明显下降趋势，下降速率为 42.0 次/a。2011 年地闪次数最多，达 933 次，2010 年地闪次数次之，为 734 次，2019 年最少，为 70 次。从表 4.4 统计数据来看，园区正地闪的平均雷电流强度为 53.96kA，负地闪的平均雷电流强度为-42.38kA，正地闪的平均雷电流强度约为负地闪的 1.3 倍。因正地闪具有大的峰值电流、长的连续电流放电过程及远的中和电荷矩，所造成的危害更加严重。可见，不同地区不同年度的雷电频数、地闪雷电流强度和正地闪比例等差异显著。

表 4.4 2010~2019 年园区及周边地闪总体特征

年份	总地闪次数/次	正地闪		负地闪		正地闪比例/%
		次数/次	平均电流强度/kA	次数/次	平均电流强度/kA	
2010	734	27	61.10	707	-35.85	3.68
2011	933	72	54.52	861	-40.74	7.72
2012	478	53	45.25	425	-40.43	11.09
2013	260	35	51.30	225	-50.01	13.46
2014	172	17	64.85	155	-45.58	9.88

年份	总地闪次数/次	正地闪		负地闪		正地闪比例/%
		次数/次	平均电流强度/kA	次数/次	平均电流强度/kA	
2015	548	45	52.87	503	-36.74	8.21
2016	484	77	39.93	407	-40.54	15.91
2017	415	32	54.79	383	-43.16	7.71
2018	691	31	53.91	660	-41.22	4.49
2019	70	12	61.07	58	-49.56	17.14
年均	478.5	40.1	53.96	438.4	-42.38	9.93

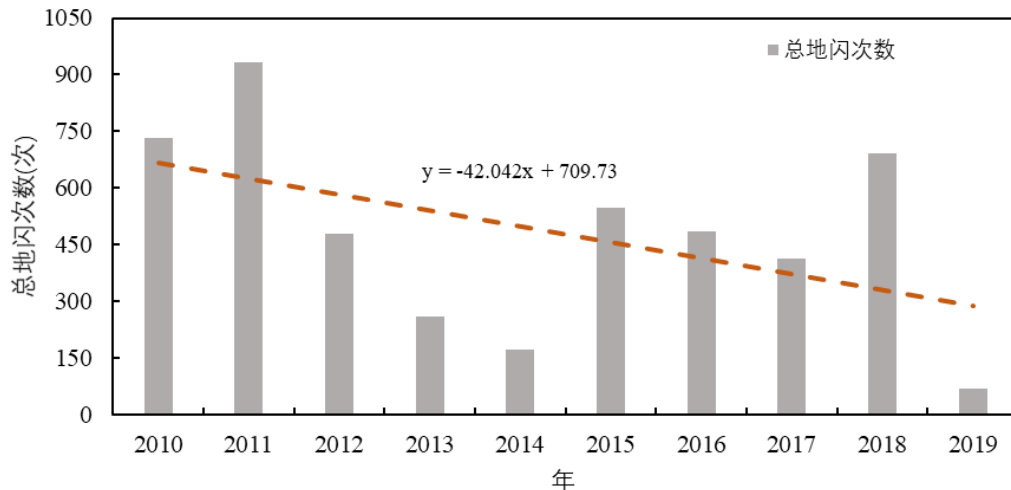


图 4.25 园区及周边地闪次数年际变化(2010~2019 年)

b. 月际变化

图 4.26 为 2010~2019 年园区及周边闪电的各月平均分布情况，从图可以看出，地闪发生的频次集中在 4~9 月，其中 7 月和 8 月的地闪数占全年地闪总数的 64.1%。7 月份属园区发生地闪的高峰期，可占全年地闪总数的 37.1%；10 月~次年 2 月只有零星闪电发生。地闪的季节性变化明显，冬季（12 月~次年 2 月）气温低，很少出现雷暴过程，基本上没有地闪发生；春季（3~5 月）气温逐渐上升，地面的热力作用开始加强，对流活动也逐渐增多，会有少量的地闪发生；夏季（6~8 月）天气炎热，大气层结不稳定，伴有雷暴大风的强对流天气尚发，闪电活动频繁，地闪频次相对较高；秋季（9~11 月），气温逐渐降低，对流活动减少，随之地闪也减少。

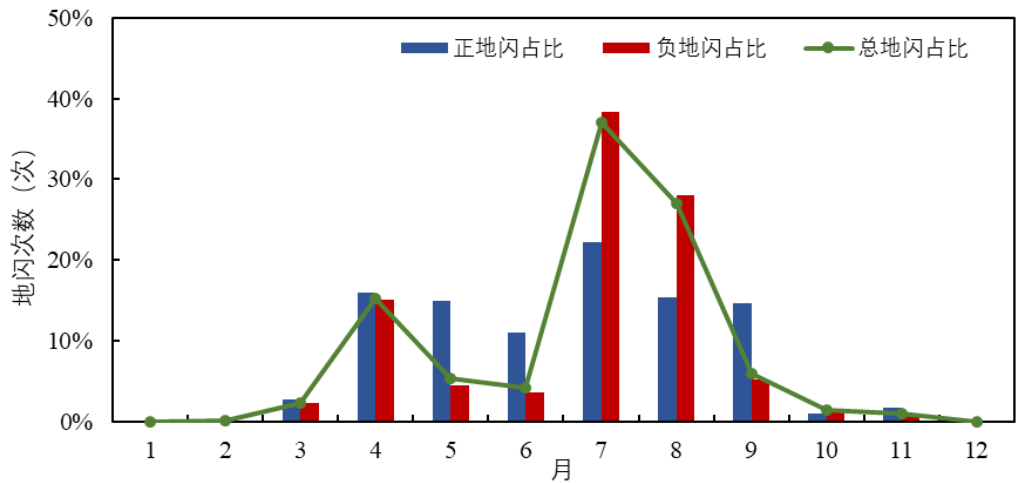


图 4.26 2010~2019 年园区及周边闪电频次月际变化

c. 日变化

图 4.27 为 2010~2019 年园区及周边地闪频次的日变化。可以看出，地闪频次从 0 点到上午 13 点呈较小幅度的波动，之后开始升高直到 16 点达到峰值，从 16 时到 19 时开始下降，19 点到 23 点虽然地闪频此有所降低，但数量上仍高于次日的 0 时到 13 时；上午 10 点前后闪电活动最不活跃。由此可见，园区应关注午后、傍晚和夜间的雷电天气，特别是 14~23 时为其雷电防御关键时段。

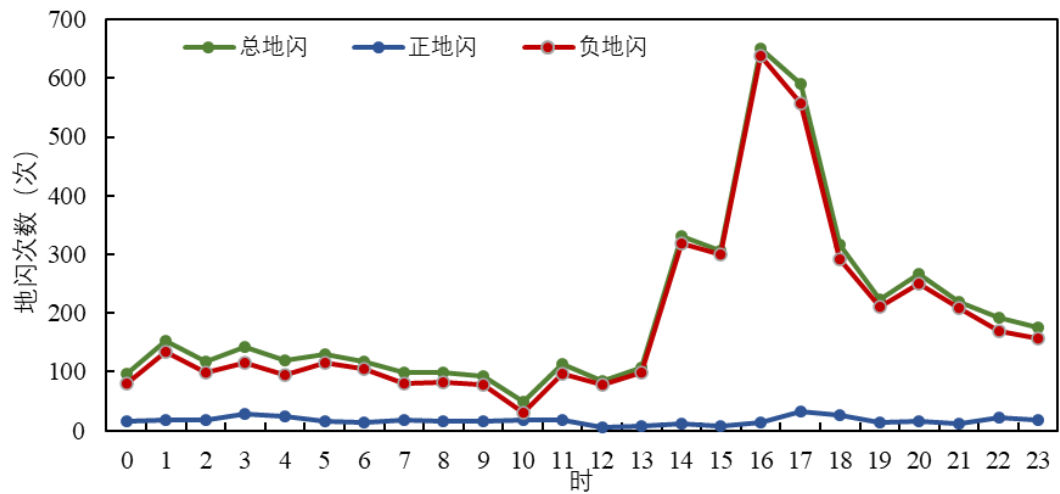


图 4.27 园区及周边地闪频次日变化(2010~2019 年)

(2) 雷电流强度分析

a. 月际变化

图 4.28 为园区及周边正负地闪雷电流强度幅值的月变化，从图可以看出，总地闪的月平均雷电流强度最大值出现在 2 月，峰值为 75.8kA，4~8 月雷电流强度在 39.2~42.1kA 之间。负地闪的雷电流强度全年变化趋势和总地闪基本一致，

4~8月的雷电流强度主要集中在37.4~41.6kA，最大值出现在2月（81.6kA）。正地闪电电流强度全年变化维持在50kA上下波动，最大值出现在4月（58.0kA）。

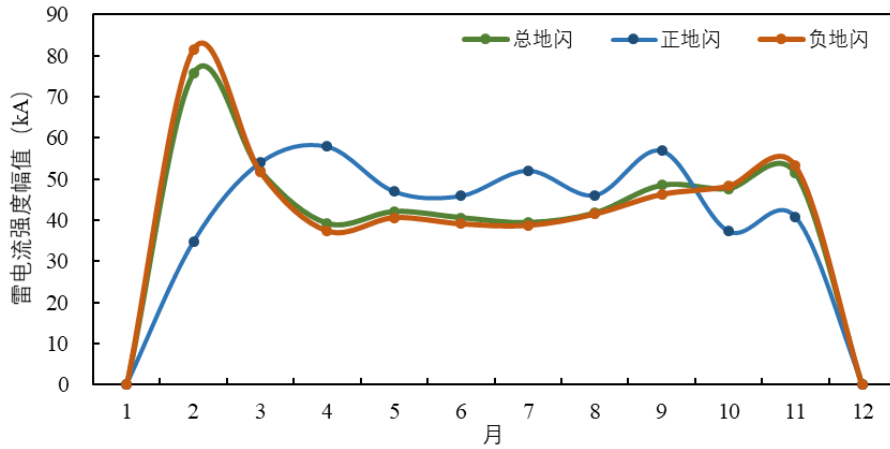


图 4.28 园区及周边正负地闪电雷电流强度幅值月际变化(2010~2019 年)

b. 日变化

图 4.29 为园区及周边正负地闪电雷电流强度幅值的日变化，从图可以看出，一天中正地闪电雷电流强度波动频繁，正地闪雷电流强度在 04:00 最大（62.0kA），12:00 最小（39.3kA）。总地闪的变化特征与负地闪基本一致，一天当中雷电流强度变化幅度较小，峰值均出现在 08:00。

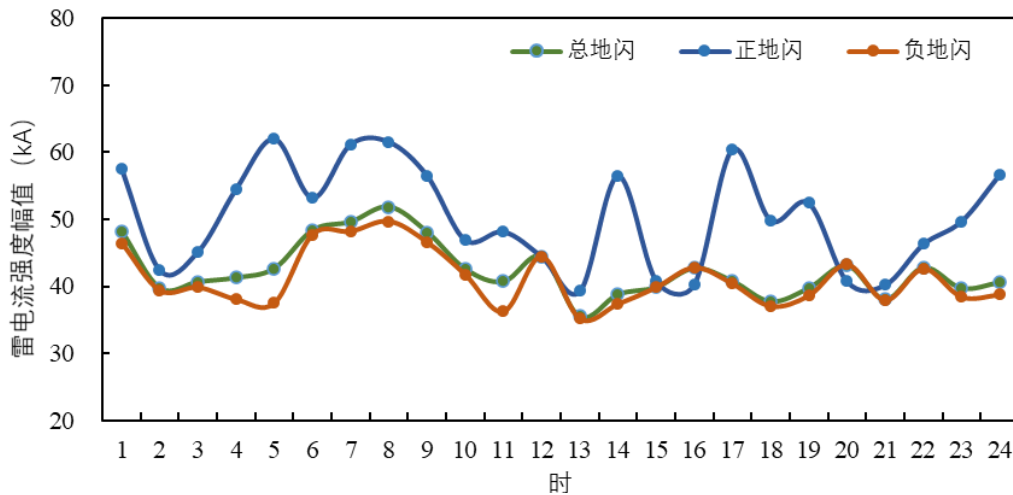


图 4.29 园区及周边正负地闪电雷电流强度幅值日变化(2010~2019 年)

c. 雷电流强度的概率分析

图 4.30 为 2010~2019 年园区及周边地区地闪电雷电流强度分布，从图可以看出，正、负地闪的雷电流强度均呈单峰分布，且负地闪的分布曲线与总地闪基本一致，而正、负地闪的分布则有较大差异，主要原因是负地闪约占总地闪的 97.7%。负地闪的雷电流幅值与正地闪相比较为集中，负地闪雷电流强度的峰值出现在

30kA, 约占 32.7%; 正地闪雷电流强度的峰值也出现在 30kA 之间, 约占 16.9%, 从正负雷电流强度分布情况分析, 正地闪变化较为平缓。

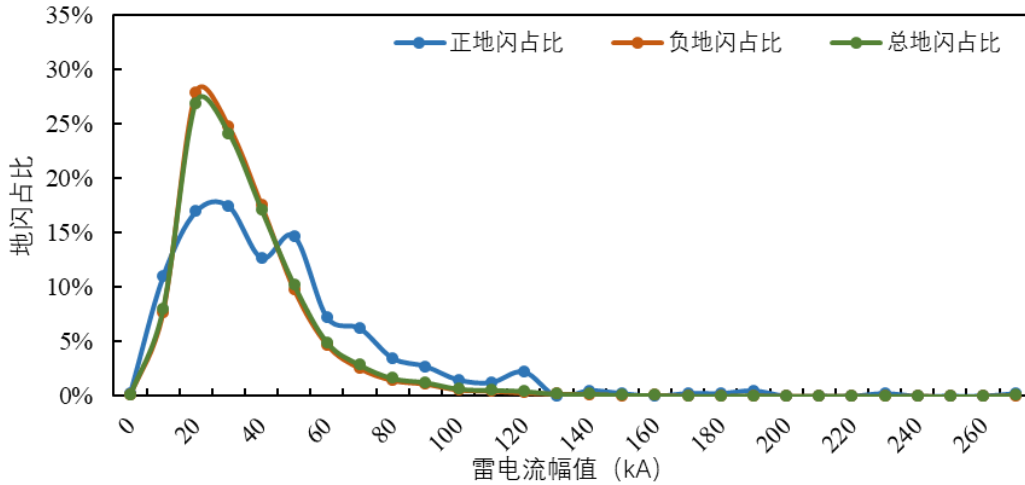


图 4.30 2010~2019 年园区及周边地区地闪雷电流强度分布

将大于雷电流幅值的闪电概率称为该雷电流幅值累积概率, 得到地闪雷电流幅值累积概率分布(图 4.31)。从图 4.31 可以看出, 强度在 50kA 以上的正地闪概率为 41.6%, 负地闪概率为 21.9%, 说明正、负地闪数相同的情况下, >50kA 的正地闪发生次数明显多于负地闪的。

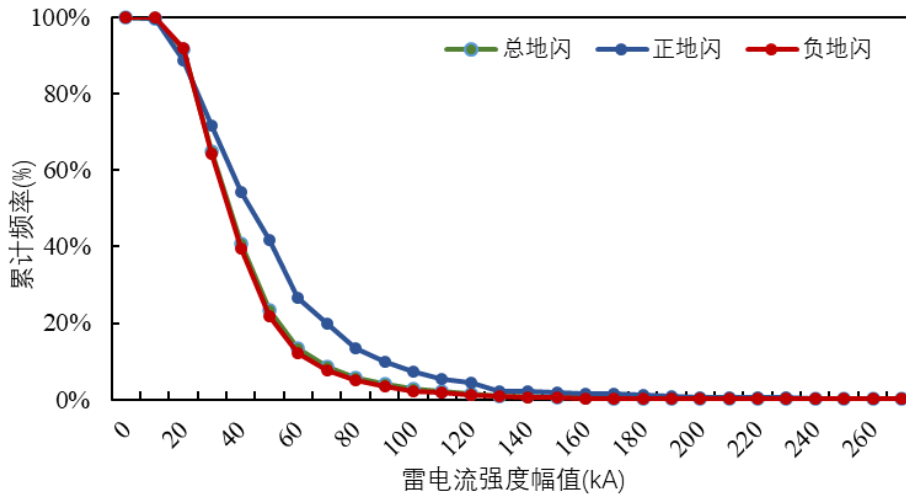


图 4.31 园区及周边雷电流强度幅值累积频率分布(2010~2019 年)

d. 雷电流绕击及反击分析

雷电的绕击是指雷电击中在接闪器保护范围内的被保护物上的雷击现象。

雷电的反击现象通常指遭受直击雷的金属体(包括接闪器、接地引下线和接地体), 在引导强大的雷电流流入大地时, 在它的引下线、接地体以及与它们相连接的金属导体上会产生非常高的电压, 对周围与它们连接的金属物体、设备、线路、人体之间产生巨大的电位差, 这个电位差会引起闪络。在接闪瞬间与大地

间存在着很高的电压,这电压对与大地连接的其他金属物品发生放电(又叫闪络)的现象叫反击。

对于一、二、三类防雷建筑物,当雷电流 I 分别小于 5.4kA、10.1kA、15.8kA 时,雷电有可能穿过接闪器击中在被保护物体上。同时一、二、三类防雷建筑物设计能承受保护的最大雷电流幅值分别为 200kA、150kA、100kA,当雷电流大于上述幅值时,可能出现反击,对人员和其他物体造成危害。

近 10 年,园区一类防雷建筑物小于 5.4kA 的雷电流共发生 4 次,发生雷电流绕击的概率为 0.08%;大于 200kA 的雷电流共发生 10 次,发生雷电流反击的概率为 0.21%。二类防雷建筑物小于 10.1kA 的雷电流共发生 7 次,发生雷电流绕击的概率为 0.15%;大于 150kA 的雷电流共发生 16 次,发生雷电流反击的概率为 0.33%。三类防雷建筑物小于 15.8kA 的雷电流共发生 95 次,发生雷电流绕击的概率为 1.99%;大于 100kA 的雷电流共发生 103 次,发生雷电流反击的概率为 2.15%。

表 4.5 2010~2019 年雷电流绕击及反击概率

防雷建筑物分类	绕击频次	绕击率	反击频次	反击率
一类防雷建筑物	4	0.08%	10	0.21%
二类防雷建筑物	7	0.15%	16	0.33%
三类防雷建筑物	95	1.99%	103	2.15%

(3) 雷电流陡度分析

雷电流随时间上升的变化率称为雷电流的陡度,雷电流陡度对过电压有直接影响。雷电流的强度是指脉冲电流所达到的最高值,波头时间是指电流上升到幅值的时间,强度和波头共同决定雷电流的陡度。这一物理量类似于用降水量和降水时间表征雨强。

a. 年际变化

表 4.6 为 2010~2019 年园区及周边雷电流陡度的月际变化统计,从表可以看出,近 10 年正地闪的年平均雷电流陡度为 6.9kA/ μ s,最大雷电流陡度为 35.7kA/ μ s,出现在 2017 年。负地闪的雷电流平均陡度全年变化幅度不大,年平均雷电流陡度为 -7.05kA/ μ s,陡度最大值为 -151.5kA/ μ s,出现在 2012 年。

表 4.6 2010~2019 年园区及周边雷电流陡度逐年统计

年份	总地闪次数(次)	正地闪		负地闪	
		平均陡度 (kA/ μ s)	最大雷电流 陡度(kA/ μ s)	平均陡度 (kA/ μ s)	最大雷电流 陡度(kA/ μ s)
2010	734	7.3	14	-6.63	-30.5
2011	933	6.8	34.6	-8.23	-36.6
2012	478	6.7	24.3	-8.67	-151.5
2013	260	6.9	18.9	-7.49	-42.5
2014	172	4.8	22.6	-7.57	-105.6
2015	548	5.5	15	-2.25	-37.6
2016	484	6.9	34.6	-7.13	-26.4
2017	415	8.6	35.7	-7.58	-38.3
2018	691	7.2	32.4	-7.35	-53
2019	70	8.4	24.9	-7.62	-16.1
年均/最大	478.5	6.9	35.7	-7.05	-151.5

b. 月际变化

表 4.7 为 2010~2019 年园区及周边雷电流陡度的逐月变化统计,从表可以看出,园区各月累计总地闪次数在 0~1773 次之间,7 月总地闪次数最多,1 月和 12 月总地闪次数较少,均为 0 次。2~11 月正地闪的平均雷电流陡度在 3.0~7.9kA/ μ s 之间,8、9 月平均陡度最大;最大雷电流陡度为 35.7kA/ μ s,出现在 9 月。2~11 月负地闪的平均雷电流陡度在-3.8~-9.4kA/ μ s 之间,平均陡度为-7.6kA/ μ s;最大雷电流陡度为-151.5kA/ μ s,出现在 7 月。

表 4.7 2010~2019 年园区及周边雷电流陡度逐月统计

月份	总地闪次数(次)	正地闪		负地闪	
		平均陡度 (kA/ μ s)	最大雷电流 陡度(kA/ μ s)	平均陡度 (kA/ μ s)	最大雷电流 陡度(kA/ μ s)
1	/	/	/	/	/
2	8	3.0	3.0	-8.3	-26.4
3	113	6.7	18.0	-7.5	-35.5
4	727	6.0	22.6	-3.8	-44.7
5	260	5.5	16.7	-7.6	-34.6
6	204	6.8	32.4	-7.5	-22.5
7	1773	7.3	24.9	-7.4	-151.5
8	1293	7.9	34.6	-7.2	-53.0
9	287	7.9	35.7	-9.4	-105.6
10	71	5.1	9.8	-9.2	-23.6
11	49	3.4	7.6	-8.3	-21.3
12	/	/	/	/	/
年均/最大	398.75	5.9	35.7	-7.6	-151.5

c. 日变化

表 4.8 为 2010~2019 年园区及周边雷电流陡度的逐小时变化统计, 从表可以看出, 正地闪的平均雷电流陡度在 $9.4 \sim 40.5 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 之间, 平均陡度为 $20.3 \text{ kA}/\mu\text{s}$, 16 时平均陡度最大; 最大雷电流陡度为 $90.6 \text{ kA}/\mu\text{s}$, 出现在 04 时。负地闪的平均雷电流陡度在 $-9.0 \sim -16.7 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 之间, 平均陡度为 $-11.8 \text{ kA}/\mu\text{s}$, 17 时平均陡度最大; 最大雷电流陡度为 $-611.3 \text{ kA}/\mu\text{s}$, 出现在 17 时。

表 4.8 2010~2019 年园区及周边雷电流陡度逐小时统计

小时	总地闪次数(次)	正地闪		负地闪	
		平均陡度 ($\text{kA}/\mu\text{s}$)	最大雷电流 陡度($\text{kA}/\mu\text{s}$)	平均陡度 ($\text{kA}/\mu\text{s}$)	最大雷电流 陡度($\text{kA}/\mu\text{s}$)
0	96	6.0	15.0	-11.6	-25.3
1	152	6.8	24.9	-7.0	-23.3
2	117	5.8	12.2	-7.4	-9.3
3	143	6.4	18.9	-7.7	-7.6
4	119	8.5	35.7	-7.0	-11.3
5	130	7.7	24.3	-8.5	-30.5
6	117	7.8	15.5	-8.1	-4.6
7	99	8.6	34.6	-9.8	-19.2
8	98	7.5	11.6	-9.7	-22.4
9	92	6.5	11.6	-7.9	-16.9
10	48	5.4	10.5	-7.3	0.0
11	113	6.5	12.9	-8.9	-24.1
12	84	6.4	14.5	-4.4	-11.1
13	107	5.9	11.6	-5.1	-7.5
14	330	6.7	13.5	-6.2	-26.2
15	307	5.4	8.6	-7.4	-25.8
16	650	7.3	18.0	-7.3	-27.3
17	590	6.7	22.6	-6.4	-15.1
18	317	8.3	34.6	-5.8	-22.5
19	224	8.7	32.4	-6.8	-21.1
20	266	5.4	14.0	-7.0	-18.8
21	220	5.9	12.6	-5.4	-14.3
22	191	5.0	10.1	-5.1	-20.0
23	175	6.7	12.6	-7.6	-15.9
年均/最大	199.4	6.8	35.7	-7.3	-30.5

5 关键工程设计气象参数分析及推算

5.1 建筑抗风设计气象参数

《电力工程气象勘测技术规程》中对基本风速的确定方法有明确的要求：“当气象站有连续 25 年以上的年最大风速资料时，可直接进行频率计算推求气象站设计风速。当气象站风速资料短缺时，可选择邻近地区地形、气候条件相似，有长期风速资料的气象站进行相关分析，展延资料序列后计算设计风速。”，“气象站风速资料为定时观测 2min 平均最大值时，应进行观测次数和风速时矩的换算，统一订正为自记 10min 平均最大风速”。

5.1.1 标准风速资料序列的构建

参证站最大风速资料从最大风速的观测时段为 1980~1987 年、2005 年至今。风速的测风仪器在 1958 年 1 月~1970 年 10 月为维尔德测风器，1958 年 1 月~1964 年 12 月测风高度为 11.4m，1965 年 1 月~1970 年 10 月测风高度为 12.2m；风速的测风仪器在 1970 年 11 月~2006 年 12 月为 EL 型电接风向风速计，1970 年 11 月~1970 年 12 月测风高度为 11.5m，1971 年 1 月~1979 年 12 月测风高度为 12.0m，1980 年 1 月~2006 年 12 月测风高度为 11.7m；2006 年 12 月至今采用新型的风向风速传感器（EZC-1），测风高度为 10.5m。

首先对缺测数据进行插补，重庆地区具有长年代最大风速观测的站点有 8 个，具体如下：沙坪坝（1956~）、长寿（1972~）、永川（1971~）、奉节（1972~）、梁平（1972~）、万州（1972~）、涪陵（1983~）、酉阳（1983~）。城口地形较为复杂，和重庆地区具有长年代最大风速观测的 8 个站点相关性较差，其中与长寿站相比其他具有长年代最大风速观测站点相关系数较高，两站最大风速的年最大值相关系数为 0.28。由此可见，参证站采用选择与邻近地区具有长期风速资料的气象站进行相关分析，展延资料序列的方法效果不好。

参证站在 1959~2019 年间进行了连续的一天 3 次或 4 次的人工观测，而大风的观测在 1959~1979 年和 1988~2004 年之间缺测。人工观测时取 2min 的平均风速作为这一时次的观测记录。自动观测采用风速自动仪对风速风向进行全天候连续观测，因此只能利用定时观测资料弥补自动观测不连续问题。统计分析表明，定时观测的年最大风速与自动观测年最大风速之间存在着很好的线性相关关系，

可以通过线性回归得到两者之间的关系式

$$y=ax+b$$

式中 y 为自记 10min 平均最大风速， x 为定时观测的 2min 平均最大风速， a 、 b 为常数。

利用该关系式可以将定时观测最大风速换算为自动观测最大风速，从而得到一个较长的标准风速序列，以满足重现期计算的需求。参证站定时 2min 平均风速的年最大值与年最大风速的相关系数为 0.71。因此，选取定时观测的 2min 平均最大风速作为自变量 x ，参证站最大风速的年最大值作为因变量 y ，对两个序列进行一元线性回归，得到回归方程为 $y=1.2963x+1.4013$ ，从而计算参证站 1959~1979 年和 1988~2004 年之间的年最大风速。

设计风速计算要求风速离地 10m 高，因此，还需要对年最大风速进行高度订正。假设风随高度呈现出幂指数分布变化，其计算公式如下：

$$v_2 = v_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha$$

式中：

v_2 ——高度 z_2 处的风速，单位为米每秒（m/s）；

v_1 ——高度 z_1 处的风速，单位为米每秒（m/s）；

z_2 ——第二层高度，单位为米（m）；

z_1 ——第一层高度，单位为米（m）；

α ——地面粗糙度指数分布。

当个实测风廓线缺乏时， α 可根据不同下垫面按表 5.1 取值。气象观测站一般处于开阔平坦地表，按 B 类地表取值。

表 5.1 不同下垫面粗糙度指数

地表类别	地表状况	粗糙度指数
A	海面、海岸、开阔水面、沙漠	0.12
B	田野、乡村、开阔平坦地及低层建筑物稀疏地区	0.16
C	树木及低层建筑物等密集地区、中高层建筑物稀疏地区、平缓的丘陵地	0.22
D	中高层建筑物密集地区、起伏较大的丘陵地	0.30

国家有关建筑规范中，基本风速的推算要使用电接风仪的自记“10min 平均”年最大风速资料工程设计需要的这种“现场”多年风速资料，是通过确定工程现场与邻近气象站风速的相关关系后外推得到的。由于当前工程现场的短期风速观测

一般都能记录逐日逐时 2min/10min 风速风向，而各地气象站风速资料由于观测标准和要求不同，却有瞬时、1min、2min、10min 等时距差别，因此工程气象评估中，对非标准时距的气象站风速需要进行转换为 10min 时距风速的订正计算。

时距不同的气象数据，所求的要素平均值也不相同。国内外的一些研究表明，时距越短，该时距内的平均风速就越大。由大量的实测资料，可以得到气象站不同时距平均风速与 10min 平均风速的比值。表 5.2 瞬时风速与 10min 平均风速的比值，在工程中称为“阵风系数”。对于气象站风速观测资料，非标准时距资料可按照表订正到标准时距。

表 5.2 不同时距的比值系数表

时距	1h	10min	5min	2min	瞬时
比值	0.94	1	1.07	1.16	1.5

参证站年最大风速序列经过插补和高度订正、时距订正后的结果如图 5.1 所示。

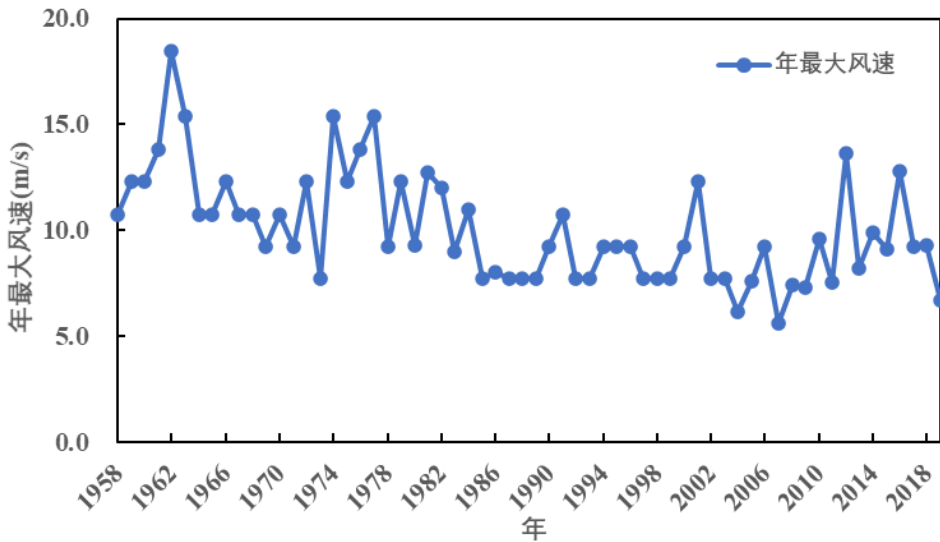


图 5.1 参证站订正后年最大风速年际变化(1958-2019 年)

5.1.2 设计风速

5.1.2.1 气候极值推算概率拟合方法

在研究和实际应用中，推算气候极值较常用的概率分布模型有指数分布、耿贝尔分布、韦布尔分布、对数正态分布、皮尔逊III分布等。其中对数正态分布和韦布尔分布可以是两参数分布，也可以是三参数分布。显然，两参数分布是三参数分布的特殊情形，因此三参数分布拟合精度更高，适用范围更广。本节采用常见的皮尔逊III分布、耿贝尔分布、指数分布、三参数对数正态分布、三参数韦布

尔分布五种概率拟合模型对不同重现期风速风压进行推算，五种概率模型分布函数及相关统计量的计算方法见附录F。

5.1.2.2 概率拟合结果比较

按标准的规定，用皮尔逊 III 分布、耿贝尔分布、指数分布、三参数对数正态分布、三参数韦布尔分布五种概率拟合，比较最优拟合方法计算出参证站不同重现期的最大风速。由表 5.3 计算结果可知皮尔逊 III 最小二乘法拟合效果最优，推荐使用皮尔逊 III 分布最小二乘法计算不同重现期的最大风速。

表 5.3 参证站五种概率拟合方法结果比较

拟合方法	参数估计方法	相对均方根误差	绝对均方根误差	相关系数
皮尔逊 III 分布	矩法	4.5%	0.45	0.986
	最小二乘法	4.3%	0.41	0.988
耿贝尔分布	矩法	4.5%	0.45	0.987
	耿贝尔法	4.4%	0.41	0.987
指数分布	矩法	7.2%	0.60	0.977
	最小二乘法	6.5%	0.55	0.977
韦布尔分布	最小二乘法	5.1%	0.52	0.980
对数正态分布	最小二乘法	4.3%	0.41	0.987

5.1.2.3 拟合适度检验

采用参数检验法（柯尔莫戈洛夫拟合适度检验）来校核上述概率分布模型的合理性。

柯尔莫戈洛夫拟合适度检验：

假设在总体中， x 的理论分布函数是 $F(x)$ 。

现有一个容量为 n 的样本的经验分布函数是：

$$F^*(x_m) = \frac{m}{n+1}, (m=1, 2, \dots, n)$$

经验分布和理论分布最大的离差出现在 $x = x_k$ 处，令离差按柯尔莫哥洛夫定理：

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(D_n \geq D_\alpha) = 1 - Q(\lambda) = \alpha$$

式中 $D_\alpha = \frac{\lambda}{\sqrt{n}}$ ， λ 是正数。 $Q(\lambda) = \sum (-1)^l e^{-2l^2 \lambda^2}$ 是 λ 的函数。

柯尔莫哥洛夫检验的意义是：如果总体中 x 服从 $F(x)$ 分布，从总体中抽出容

量为 n 的样本的经验分布为 $F^*(x)$ ，与 $F(x)$ 的最大离差 D_n 一般不大， $D_n \geq D_\alpha$ 的概率 α 很小，给定一个小概率 α ，利用前述公式可算出一个 D_α 。今有 x 的一个样本，经验分布为 $F^*(x)$ ，不知它是否属于分布为 $F(x)$ 的总体，若由样本算出的 D_n 达到或超过 D_α ，说明 $F^*(x)$ 与 $F(x)$ 差异过大，则 x 不服从 $F(x)$ 分布；反之，如果 $D_n < D_\alpha$ ，则推断 x 服从 $F(x)$ 分布。可见， α 是原假设“ x 服从 $F(x)$ 分布”为真而舍弃原假设的概率，是第一类错误的概率，称为信度或显著性水平。

α 是可以由人们控制的，一般给定一个小概率，例如 $\alpha = 0.05$ ，则 $Q(\lambda) = 1 - \alpha = 0.95$ ，可以算出 $\lambda = 1.36$ ，于是 $D_\alpha = \frac{1.36}{\sqrt{n}}$ 。视样本容量 n 而最后算出 D_α 。

可以给定不同的 α ，其对应的 λ 值如表 5.4。

表 5.4 α 对应的 λ 值

α	0.01	0.05	0.10	0.20
λ	1.63	1.36	1.22	1.07

人们虽然可以指定较小的 α ，是第一类错误的概率较小，但不能指定过小的 α 。若 α 过小，第二类错误（原假设不真而接受原假设）的概率便会较大。

表 5.5 皮尔逊 III 分布最小二乘法拟合风速的绝对偏差

年	参证站年最大风速(m/s)	拟合最大风速(m/s)	$F(x_i)$	$F^*(x_i)$	$ F^*(x_i) - F(x_i) $
1962	18.40	17.77	0.016	0.012	0.004
1963	15.40	16.22	0.032	0.047	0.015
1974	15.40	15.35	0.048	0.047	0.001
1977	15.40	14.80	0.064	0.047	0.017
1961	13.80	14.30	0.079	0.096	0.016
1976	13.80	13.81	0.095	0.096	0.000
2012	13.60	13.48	0.111	0.104	0.007
2016	12.80	13.21	0.127	0.152	0.025
1981	12.70	12.95	0.143	0.158	0.015
1959	12.30	12.68	0.159	0.182	0.023
1960	12.30	12.42	0.175	0.182	0.007
1966	12.30	12.16	0.191	0.182	0.009
1972	12.30	11.92	0.206	0.182	0.025
1975	12.30	11.74	0.222	0.182	0.040
1979	12.30	11.56	0.238	0.182	0.056

重庆市城口县工业园区气候可行性论证区域整体评价

2001	12.30	11.39	0.254	0.182	0.072
1982	12.00	11.24	0.270	0.200	0.070
1984	11.00	11.09	0.286	0.296	0.010
1958	10.80	10.94	0.302	0.319	0.018
1964	10.80	10.82	0.318	0.319	0.002
1965	10.80	10.69	0.333	0.319	0.014
1967	10.80	10.56	0.349	0.319	0.030
1968	10.80	10.43	0.365	0.319	0.046
1970	10.80	10.30	0.381	0.319	0.062
1991	10.80	10.17	0.397	0.319	0.077
2014	9.90	10.06	0.413	0.438	0.025
2010	9.60	9.96	0.429	0.483	0.055
1980	9.30	9.85	0.444	0.530	0.086
2018	9.30	9.75	0.460	0.530	0.070
1969	9.20	9.65	0.476	0.547	0.070
1971	9.20	9.54	0.492	0.547	0.054
1978	9.20	9.44	0.508	0.547	0.039
1990	9.20	9.34	0.524	0.547	0.023
1994	9.20	9.24	0.540	0.547	0.007
1995	9.20	9.14	0.556	0.547	0.009
1996	9.20	9.05	0.571	0.547	0.025
2000	9.20	8.95	0.587	0.547	0.041
2006	9.20	8.85	0.603	0.547	0.057
2017	9.20	8.76	0.619	0.547	0.073
2015	9.10	8.67	0.635	0.563	0.072
1983	9.00	8.58	0.651	0.579	0.072
2013	8.20	8.49	0.667	0.717	0.050
1986	8.00	8.40	0.683	0.751	0.068
1973	7.70	8.31	0.698	0.805	0.106
1985	7.70	8.22	0.714	0.805	0.090
1987	7.70	8.12	0.730	0.805	0.075
1988	7.70	8.03	0.746	0.805	0.059
1989	7.70	7.94	0.762	0.805	0.043
1992	7.70	7.85	0.778	0.805	0.027
1993	7.70	7.76	0.794	0.805	0.011
1997	7.70	7.67	0.810	0.805	0.005
1998	7.70	7.57	0.825	0.805	0.021
1999	7.70	7.47	0.841	0.805	0.037
2002	7.70	7.36	0.857	0.805	0.052
2003	7.70	7.26	0.873	0.805	0.068
2005	7.60	7.16	0.889	0.820	0.069
2011	7.50	7.05	0.905	0.836	0.069
2008	7.40	6.91	0.921	0.851	0.069
2009	7.30	6.78	0.937	0.867	0.070

2019	6.70	6.64	0.952	0.946	0.007
2004	6.10	6.45	0.968	0.990	0.022

设 $F(x_i)$ 为概率分布函数的理论值， $F^*(x_i)$ 为概率分布函数经验值，令理论值与经验值的最大绝对偏差为 D_n 。表5.5为各点的理论分布与经验分布的偏差，从中可得到皮尔逊 III 型概率分布下 $D_n = 0.106$ ，而 $D_\alpha = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = 0.173$ ，则 $D_n = 0.106 < 0.173$ ，因此样本序列服从该型概率分布。

5.1.2.4 风速设计基准值

由表 5.6 可以看出参证站 10a、50a、100a 一遇设计风速分别为 13.7m/s、17.2m/s、18.6m/s，参证站风速设计基准值为 17.2m/s。本报告中参证站最大风速观测时间较短，风速设计基准值是通过参证站最大风速序列插补延长计算得到的结果，具有一定的不确定性。建议对大风敏感的高耸建筑物或者构筑物建议按照国标给出结果进行设计。

表 5.6 参证站皮尔逊 III 型分布最小二乘法拟合不同重现期最大风速

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
最大风速(m/s)	9.5	10.7	12.0	13.7	15.2	16.1	17.2	18.6

5.1.3 基本风压

根据《建筑结构荷载规范（GB 50009-2012）》，基本风压定义为风荷载的基准压力，一般按当地平坦地面上 10m 高度处 10min 平均的风速观测数据，经概率统计得出 50 年一遇最大值确定的风速，在考虑相应的空气密度，按贝努利（Bernoulli）公式确定的风压。

风压计算公式：

$$\omega_0 = \frac{1}{2} \rho v_0^2$$

式中： ω_0 为风压(kN/m²)

ρ 为空气密度(t/m³)

v_0 为重现期 10 分钟平均最大风速(m/s)

根据 GB50009-2012 的推荐， ρ 的值可根据所在地的气温、气压、水气压按以下公式确定空气密度：

$$\rho = \frac{0.001276(p - 0.378e)}{(1 + 0.00366t) * 100000}$$

式中：p为气压(pa)

t为气温(°C)

e为水气压(Pa)

参证站近 30 年平均气温为 $t=14.1^{\circ}\text{C}$ ，年平均气压为 924.5hPa，年平均水气压为 13.7hPa，由此得到参证站区域空气密度为 $0.0011216(\text{t}/\text{m}^3)$ ，进而估计 2~100a 重现期的基本风压在 $0.05\sim 0.20\text{kN}/\text{m}^2$ 之间（表 5.7）。根据《建筑结构荷载规范（GB 50009-2012）》的全国基本风压分布，离城口较近的奉节 10a、50a、100a 一遇基本风压分别为 $0.25\text{kN}/\text{m}^2$ 、 $0.35\text{kN}/\text{m}^2$ 、 $0.45\text{kN}/\text{m}^2$ ，重庆 10a、50a、100a 一遇基本风压分别为 $0.25\text{kN}/\text{m}^2$ 、 $0.40\text{kN}/\text{m}^2$ 、 $0.45\text{kN}/\text{m}^2$ ，均大于本报告计算结果，建议对大风敏感的高耸建筑物或者构筑物建议按照国标给出结果进行设计。

表 5.7 参证站皮尔逊 III 型分布最小二乘法拟合不同重现期风压

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
风压(kN/m^2)	0.05	0.07	0.08	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20

5.2 重现期极值

5.2.1 重现期最大日降水量

本报告使用的资料是参证气象站 1958~2019 年年最大日降水量序列，有 62 年资料，符合指南或规范对资料的要求。按标准的规定，我们将用皮尔逊 III 分布、耿贝尔分布、指数分布、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合，比较最优拟合方法计算出不同重现期的最大日降水量，为了让设计人员有一个选择的余地，也为了有一个相互比较、相互验证的结果，报告给出了皮尔逊 III 分布、耿贝尔分布、指数分布、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合参数估计法计算出的结果。

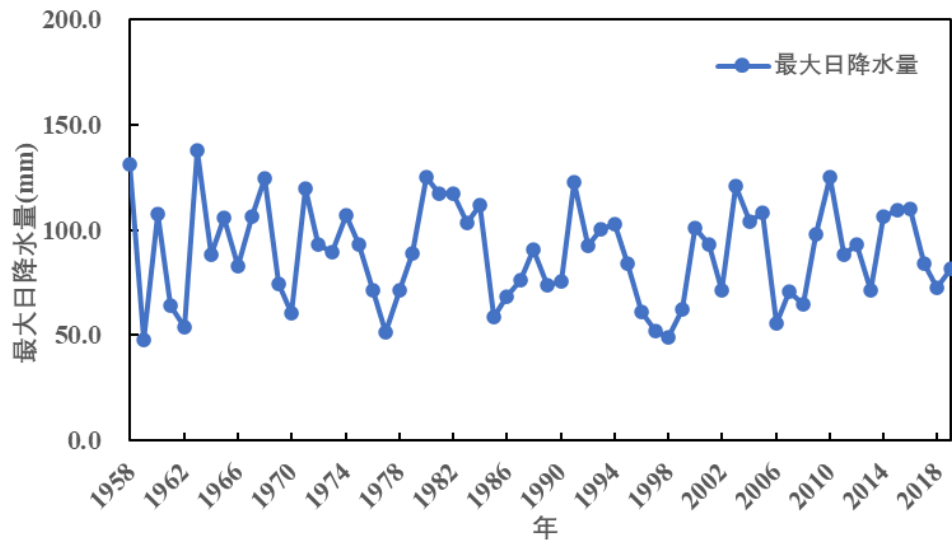


图 5.3 参证气象站最大日降水量年际变化(1958~2019 年)

从图 5.3 参证站历年最大日降水量可知,1959 年最大日降水量最小为 47.9mm, 1963 年最大日降水量最大为 138.0mm。分别采用五种概率拟合方法的参数估算法进行计算, 由表 5.8 计算结果可知皮尔逊 III 最小二乘法拟合效果最优, 推荐使用皮尔逊 III 最小二乘法计算不同重现期的最大日降水量(表 5.9)。

皮尔逊III最小二乘法计算理论值与经验值的最大绝对偏差为 $D_n=0.063$, 而 $D_\alpha = \frac{1.36}{\sqrt{n}}=0.173$, 则 $D_n=0.063<0.173$, 通过柯尔莫哥洛夫95%的显著性检验。

表 5.8 五种概率拟合方法结果比较

拟合方法	参数估计方法	相对均方根误差	绝对均方根误差	相关系数
皮尔逊 III 分布	矩法	4.3%	3.04	0.992
	最小二乘法	3.1%	2.83	0.996
耿贝尔分布	矩法	7.0%	5.69	0.971
	耿贝尔法	6.0%	5.61	0.971
指数分布	矩法	12.8%	9.25	0.918
	最小二乘法	12.8%	9.20	0.918
韦布尔分布	最小二乘法	3.4%	3.66	0.990
对数正态分布	最小二乘法	4.7%	5.03	0.979

表 5.9 皮尔逊 III 最小二乘法拟合不同重现期日最大降水量

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
最大日降水量(mm)	87.5	99.5	111.5	124.8	136.1	142.0	149.0	157.7

5.2.2 重现期极端高温

本报告使用的资料是参证气象站 1958~2019 年年极端最高气温序列, 有 62

年资料，符合指南或规范对资料的要求。按标准的规定，我们将用皮尔逊 III 分布、耿贝尔分布、指数分布、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合，比较最优拟合方法计算出不同重现期的极端最高气温，为了让设计人员有一个选择的余地，也为了有一个相互比较、相互验证的结果，报告给出了皮尔逊 III 分布、耿贝尔分布、指数分布、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合参数估计法计算出的结果。

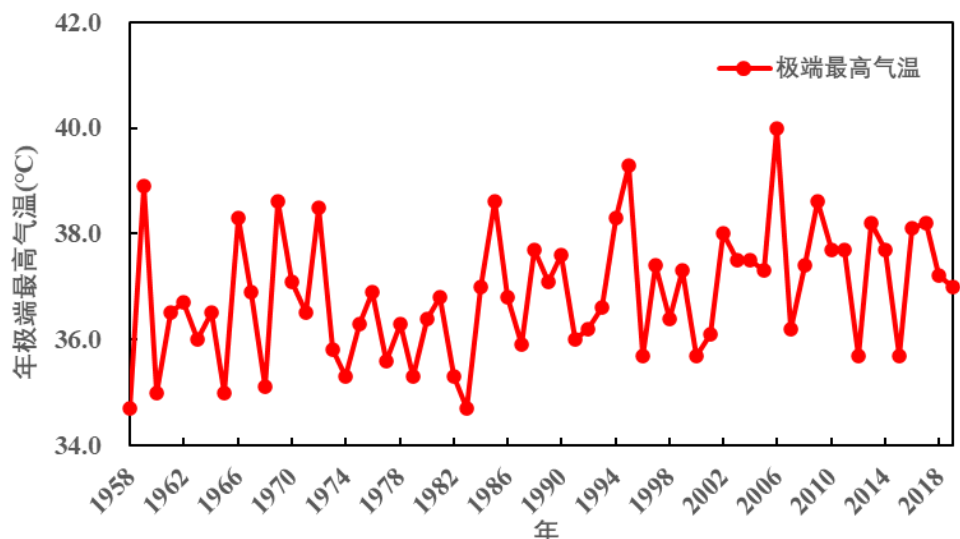


图 5.4 参证气象站年极端最高气温年际变化(1958~2019 年)

从图 5.4 参证站历年极端最高气温可知，1958 年和 1983 年极端最高气温最低为 34.7℃，2006 年极端最高气温最高为 40.0℃。分别采用五种概率拟合方法的参数估算法进行计算，由表 5.10 计算结果可知皮尔逊 III 最小二乘法分布拟合效果最优，推荐使用皮尔逊 III 最小二乘法分布拟合计算不同重现期的极端最高气温(表 5.11)。

皮尔逊III最小二乘法分布计算理论值与经验值的最大绝对偏差为 $D_n=0.032$ ，而 $D_\alpha = \frac{1.36}{\sqrt{n}}=0.173$ ，则 $D_n=0.032<0.173$ ，通过柯尔莫哥洛夫95%的显著性检验。

表 5.10 五种概率拟合方法结果比较

拟合方法	参数估计方法	相对均方根误差	绝对均方根误差	相关系数
皮尔逊 III 分布	矩法	0.3%	0.11	0.997
	最小二乘法	0.2%	0.09	0.997
耿贝尔分布	矩法	0.6%	0.21	0.986
	耿贝尔法	0.5%	0.20	0.986
指数分布分布	矩法	1.1%	0.40	0.944
	最小二乘法	1.1%	0.39	0.944

拟合方法	参数估计方法	相对均方根误差	绝对均方根误差	相关系数
韦布尔分布	最小二乘法	0.2%	0.09	0.996
对数正态分布	最小二乘法	0.2%	0.09	0.996

表 5.11 皮尔逊 III 最小二乘法分布拟合不同重现期极端最高气温

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
极端最高气温(°C)	36.8	37.4	37.9	38.5	39.1	39.4	39.7	40.1

5.2.3 重现期极端低温

本报告使用的资料是参证气象站 1958~2019 年年极端最低气温序列，有 62 年资料，符合指南或规范对资料的要求。按标准的规定，我们将用皮尔逊 III 分布、耿贝尔分布、指数分布、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合，比较最优拟合方法计算出不同重现期的极端最低气温，为了让设计人员有一个选择的余地，也为了有一个相互比较、相互验证的结果，报告给出了皮尔逊 III 分布、耿贝尔分布、指数分布、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布五种概率拟合分布参数估计法计算出的结果。

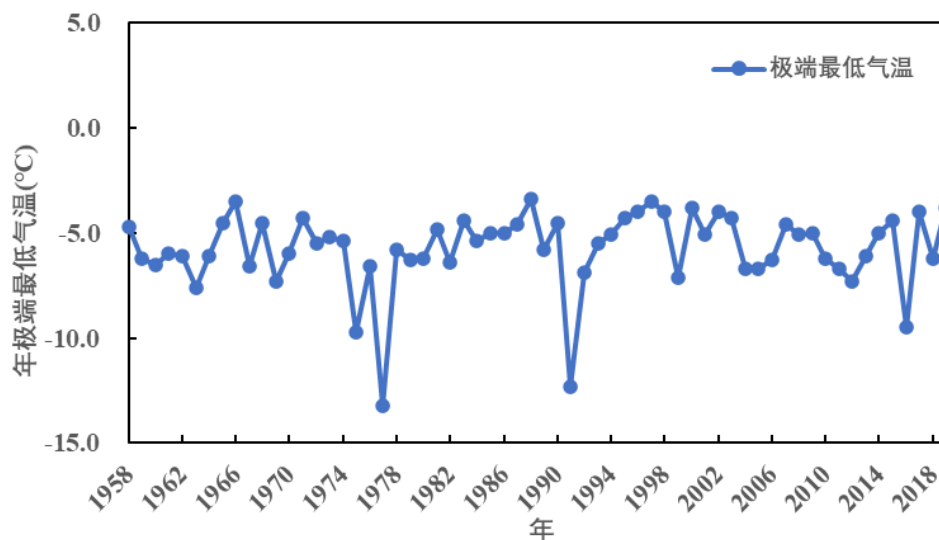


图 5.5 参证气象站年极端最低气温变化图(1958~2019 年)

从图 5.5 参证站历年极端最低气温可知，1977 年极端最低气温最低为 -13.2°C ，1988 年极端最低气温最高为 -3.4°C 。分别采用采用五种概率拟合方法的参数估算法进行计算，由表 5.12 计算结果可知三参数的对数正态分布拟合效果最优，推荐使用三参数的对数正态分布计算不同重现期的极端最低气温（表 5.13）。

三参数的对数正态分布计算理论值与经验值的最大绝对偏差为 $D_n=0.078$ ，

而 $D_{\alpha} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = 0.173$ ，则 $D_n = 0.078 < 0.173$ ，通过柯尔莫哥洛夫95%的显著性检验。

表 5.12 五种概率拟合方法结果比较

拟合方法	参数估计方法	相对均方根误差	绝对均方根误差	相关系数
皮尔逊 III 分布	矩法	1.7%	0.48	0.966
	最小二乘法	1.7%	0.47	0.966
耿贝尔分布	矩法	1.8%	0.54	0.956
	耿贝尔法	1.9%	0.54	0.956
指数分布	矩法	1.7%	0.48	0.968
	最小二乘法	1.6%	0.46	0.968
韦布尔分布	最小二乘法	1.9%	0.59	0.950
对数正态分布	最小二乘法	1.5%	0.45	0.970

表 5.13 三参数的对数正态分布拟合不同重现期极端最低气温

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
极端最低气温(°C)	-5.4	-6.1	-7.0	-8.2	-9.5	-10.1	-11.5	-12.9

5.3 污染气象条件

5.3.1 污染系数

风会将污染带到下侧，风向频率决定了污染源下风向地区受污染影响的时间，但不能决定该地区受到污染程度。设想某风向虽然出现的频率较小，但时常伴随着不利的扩散稀释条件，则该污染源下风区的空气污染浓度依然会很高。考虑风速是影响浓度的一个重要因素，它与浓度成反比，因此可定义一个污染系数。

$$P=f\overline{U}$$

式中 f 为风向频率， $\overline{U}$ 为这一风向的平均风速，根据近年资料，污染系数 P 应定义为：

$$p=f\cdot\overline{\left(\frac{1}{U}\right)}\cdot100$$

这里 P 应为风向频率 f 乘以这一风向的风速倒数的平均值，而不是风向频率除以平均风速。

污染系数综合了风向和风速的作用，代表了某方位下风向空气污染的程度，值越大说明该方位下风向空气污染越严重。本节采用参证站近 10 年（2010~2019 年）逐小时 10min 平均风向风速资料，计算春、夏、秋、冬不同季节的污染系数。

5.3.1.1 春季污染系数

园区春季风向频率、平均风速、污染系数如图 5.6 所示，具体数值详见表 5.14。风向频率以 S 风为主，占比 11.9%；平均风速以 NW、NNW 方向最大，为 1.6m/s；污染系数 S 方向最大，值为 16.9。表明春季 S 方向的空气污染较严重。

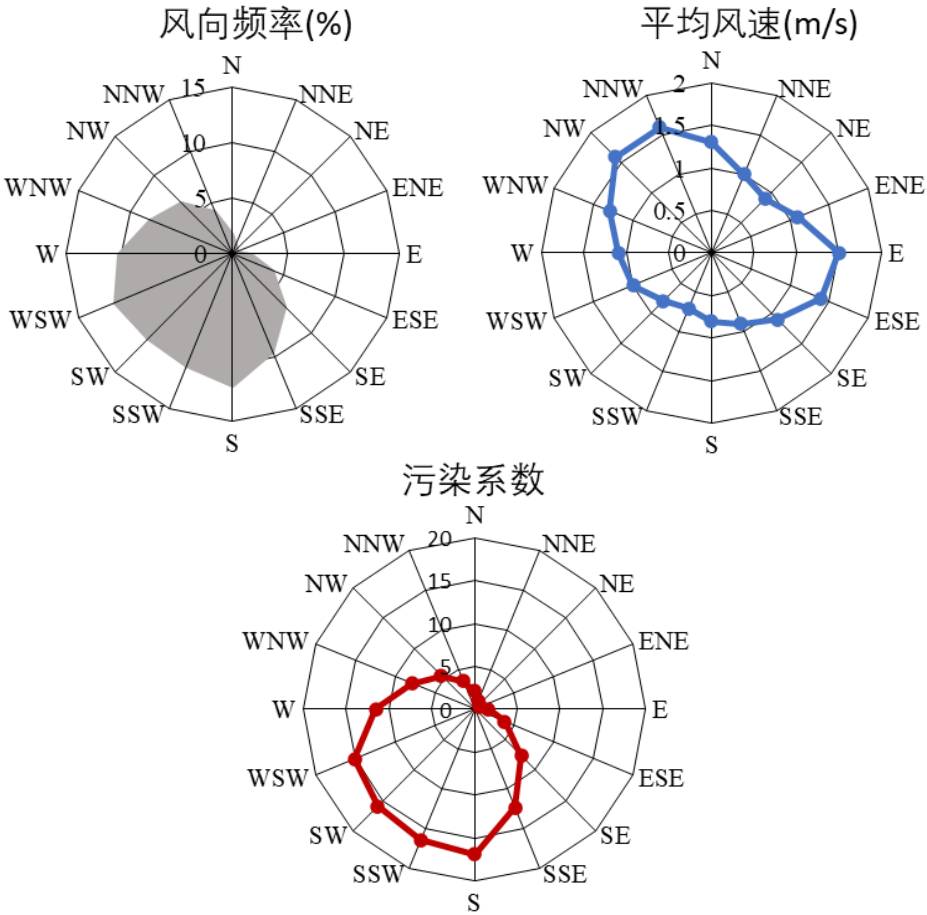


图 5.6 春季风向频率、平均风速及污染系数分布(2010~2019 年)

表 5.14 2010~2019 年春季风向频率、平均风速及污染系数分布

项目 方位	风向频率(%)	平均风速(m/s)	污染系数
N	1.8	1.3	2.1
NNE	0.9	1	1.1
NE	0.6	0.9	0.9
ENE	0.5	1.1	0.6
E	1.7	1.5	1.6
ESE	3.9	1.4	3.8
SE	6.7	1.1	7.7
SSE	9.6	0.9	12.4
S	11.9	0.8	16.9
SSW	10.9	0.7	16.5
SW	10.8	0.8	16

项目 方位	风向频率(%)	平均风速(m/s)	污染系数
WSW	11.5	1	15.1
W	10.3	1.1	11.5
WNW	8.1	1.3	7.9
NW	6.6	1.6	5.5
NNW	4.2	1.6	3.6

5.3.1.2 夏季污染系数

园区夏季风向频率、平均风速、污染系数如图 5.7 所示，具体数值详见表 5.15。风向频率以 S 风为主，占比 14.1%；平均风速以 E 方向最大，为 1.9m/s；污染系数以 S 方向最大，值为 19.5。表明 S 方向的空气污染较严重。

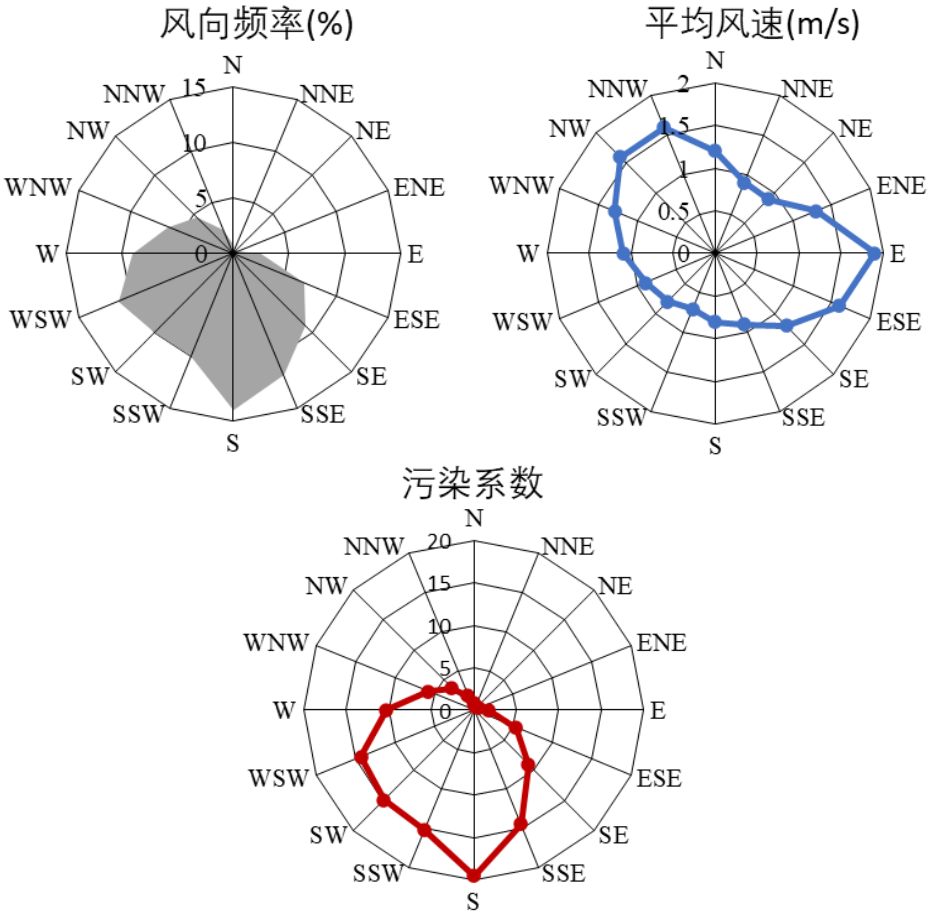


图 5.7 夏季风向频率、平均风速及污染系数分布(2010~2019 年)

表 5.15 2010~2019 年夏季风向频率、平均风速及污染系数分布

项目 方位	风向频率(%)	平均风速(m/s)	污染系数
N	0.8	1.2	0.8
NNE	0.4	0.9	0.5
NE	0.4	0.9	0.5
ENE	0.5	1.3	0.6

项目 方位	风向频率(%)	平均风速(m/s)	污染系数
E	2.5	1.9	1.7
ESE	6.9	1.6	5.4
SE	9.2	1.2	9.1
SSE	11.8	0.9	14.5
S	14.1	0.8	19.5
SSW	9.9	0.7	15.2
SW	10	0.8	14.9
WSW	11.2	0.9	14.3
W	9.1	1.1	10.3
WNW	6.3	1.3	5.8
NW	4.6	1.6	3.6
NNW	2.3	1.6	1.8

5.3.1.3 秋季污染系数

园区秋季风向频率、平均风速、污染系数如图 5.8 所示，具体数值详见表 5.16。风向频率以 S 风为主，占比 14%；平均风速以 NW、E 方向最大，为 1.3m/s；污染系数以 S 方向最大，值为 21.2。表明 S 方向的空气污染较严重。

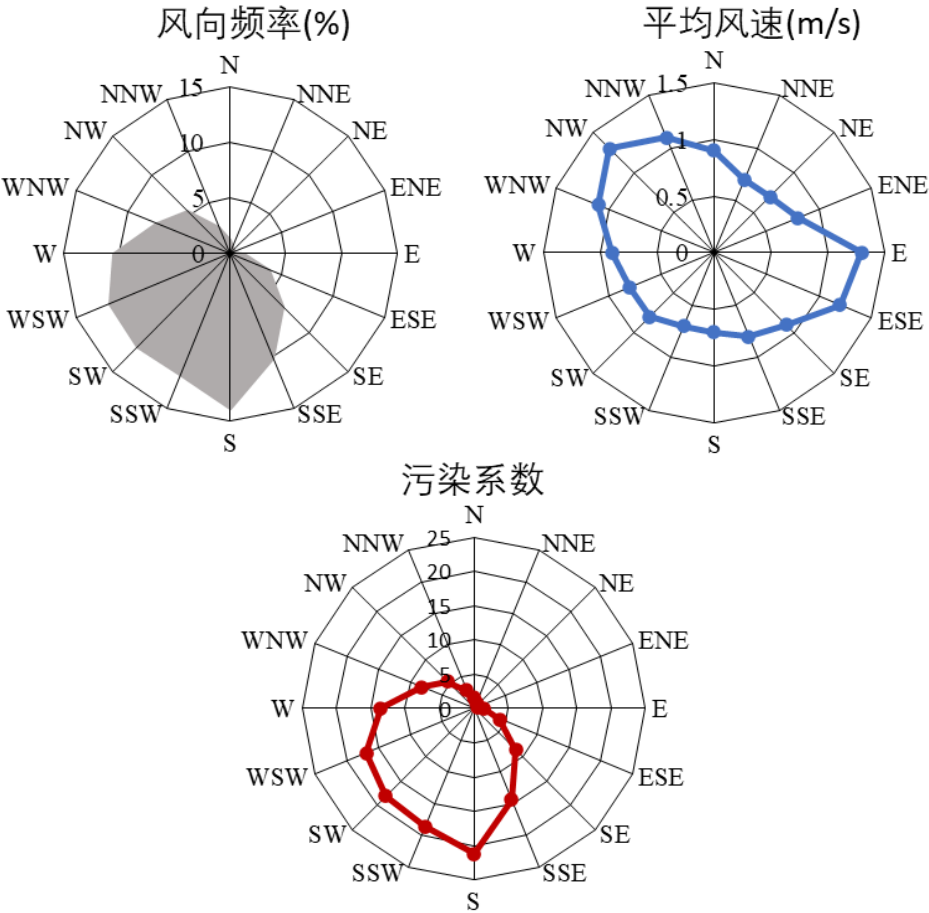


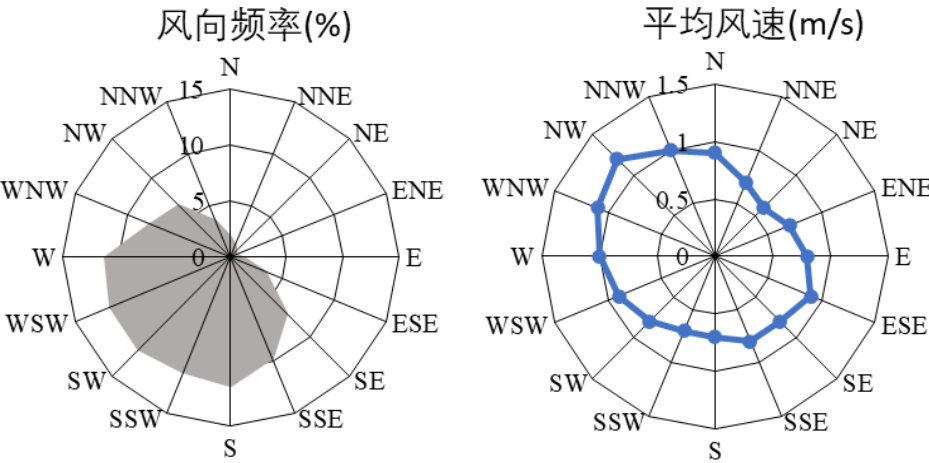
图 5.8 秋季风向频率、平均风速及污染系数分布(2010~2019 年)

表 5.16 2010~2019 年秋季风向频率、平均风速及污染系数分布

项目 方位	风向频率(%)	平均风速(m/s)	污染系数
N	1.2	0.9	1.7
NNE	0.6	0.7	1
NE	0.5	0.7	0.8
ENE	0.4	0.8	0.6
E	1.3	1.3	1.4
ESE	3.8	1.2	4.1
SE	6.8	0.9	8.6
SSE	10.2	0.8	14.4
S	14	0.7	21.2
SSW	11.8	0.7	18.6
SW	11.8	0.8	18.1
WSW	11.8	0.8	16.9
W	10.5	0.9	13.6
WNW	7.2	1.1	8.2
NW	5.5	1.3	5.5
NNW	2.5	1.1	2.9

5.3.1.4 冬季污染系数

园区冬季风向频率、平均风速、污染系数如图 5.9 所示，具体数值详见表 5.17。风向频率以 SW、WSW 风为主，占比 11.6%；平均风速以 NW 方向最大，均为 1.2m/s；污染系数以 S 方向最大，值为 17.5。表明冬季 S 方向的空气污染较严重。



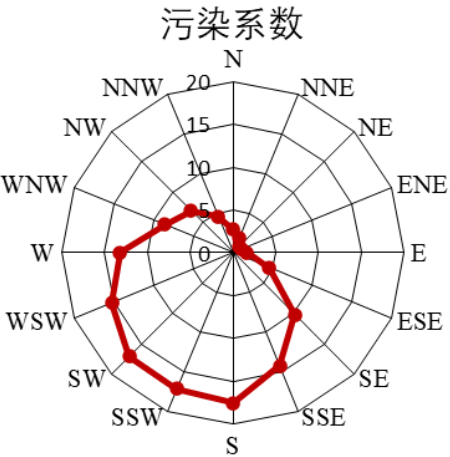


图 5.9 冬季风向频率、平均风速及污染系数分布(2010~2019 年)

表 5.17 2010~2019 年冬季风向频率、平均风速及污染系数分布

项目 方位	风向频率(%)	平均风速(m/s)	污染系数
N	1.8	0.9	2.7
NNE	1.1	0.7	1.8
NE	0.6	0.6	1.1
ENE	0.6	0.7	1.1
E	1.1	0.8	1.6
ESE	3.3	0.9	4.6
SE	7.1	0.8	10.2
SSE	9.7	0.8	14.3
S	11.5	0.7	17.5
SSW	11.1	0.7	17.2
SW	11.6	0.8	17.1
WSW	11.6	0.9	15.3
W	11.2	1	13.2
WNW	7.8	1.1	8.6
NW	6.5	1.2	6.9
NNW	3.6	1	4.6

5.3.1.5 小结

园区四季污染系数在 S 方向最大,春季（16.9）<冬季（17.5）<夏季（19.5）<冬季（21.2）。根据结果可知，四季污染系数均在 S~W 方向较大。建议园区在规划建设布局时，应将大气污染排放强度大的企业布局在污染系数较大方向的下风向；同时在 S~W 方向种植净化绿植，增强净化能力，减小污染。

5.3.2 大气稳定度

大气稳定度按照 GB/T 3840 的规定进行计算。GB/T 3840 规范中地面风速和云量与大气稳定度的关系如表 5.18、表 5.19。地面风速和太阳辐射等级决定

大气稳定度；云量和太阳高度角决定太阳辐射等级。风速和云量可以实测，但太阳高度角需要计算。由于报告选取的参证站为一般国家气象站，云量数据于2013年后停止观测，因此本节选取了参证站2005~2013年的云量数据进行分析。

太阳高度角和太阳倾角的关系可以用以下公式表示：

$$h_0 = \arcsin [\sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos(15t + \gamma - 300)]$$

式中： h_0 为太阳高度角（度）；

ϕ 为当地纬度；

γ 为当地经度；

δ 为太阳倾角；

t 为进行观测时的北京时间；

纬度、经度和观测时间可查资料或测得。太阳倾角虽然可以查表得到，但有时并不方便，通过下式可以计算：

$$\delta = \left(\begin{aligned} &0.006918 - 0.399912\cos\theta_0 + 0.070257\sin\theta_0 - 0.00675\cos2\theta_0 \\ &+ 0.000907\sin2\theta_0 - 0.002697\cos3\theta_0 + 0.00148\sin3\theta_0 \end{aligned} \right) 180/\pi$$

式中 $\theta_0 = 2\pi dn/365$ （度）。

dn 为一天中日期序数，1月1日为0，12月31日是364。

表 5.18 大气稳定度等级表

地面风速, m/s	太阳辐射等级					
	+3	+2	+1	0	-1	-2
≤1.9	A	A~B	B	D	E	F
2~2.9	A~B	B	C	D	E	F
3~4.9	B	B~C	C	D	D	E
5~5.9	C	C~D	D	D	D	D
≥6	D	D	D	D	D	D

表 5.19 辐射等级表

云量, 1/10	太阳高度角 h_0				
总云/低云	夜间	$h_0 \leq 15^\circ$	$15^\circ < h_0 \leq 35^\circ$	$35^\circ < h_0 \leq 65^\circ$	$> 65^\circ$
≤4/≤4	-2	-1	+1	+2	+3
5-7/≤4	-1	0	+1	+2	+3
≥8/≤4	-1	0	0	+1	+1
≥5/5-7	0	0	0	0	+1
≥8/≥8	0	0	0	0	0

采用 2005~2013 年（2013 年之后没有云量观测）参证站 3 个时次（08 时，14 时，20 时）的地面风速、云量等气象观测资料计算得到大气稳定度的分布结果见表 5.20。从表可以看出，参证站稳定度以中性为主，频率为 51.5%，稳定类（E、F）和不稳定类（A、A~B、B、B~C、C、C~D）的频率为 22.8%和 25.6%。参证站各季的大气稳定度以 D 类居多，尤其冬季节最高，达 58.0%；其次为秋季，频率为 53.9%；春季最小，为 46.5%。不稳定类（A、A~B、B、B~C、C、C~D）最大频率出现在夏季，为 33.1%。稳定类（E、F）的出现频率以冬季最大，频率为 27.5%，夏季最小，频率为 19.2%。

表 5.20 参证站各季不同稳定度频率(%)

季节 \ 稳定度	不稳定类							中性类	稳定类		
	A	A~B	B	B~C	C	C~D	小计	D	E	F	小计
春季	3.7	4.9	21.3	0.1	1.9	0	31.8	46.5	11.6	10.1	21.6
夏季	7.5	2.3	22.4	0	1.0	0	33.1	47.7	10.8	8.4	19.2
秋季	0	7.9	14.4	0	0.5	0	22.9	53.9	14.7	8.5	23.2
冬季	0	3.5	10.5	0	0.5	0	14.5	58.0	16.3	11.2	27.5
全年	2.8	4.7	17.2	0	1.0	0	25.6	51.5	13.4	9.5	22.8

小结：参证站云量 2013 年之后没有观测，本节大气稳定度分析时段为 2005~2013 年。大气处于不稳定状态时，空气对流受阻小，湍流可以充分发展，对大气中的污染物扩散稀释能力就很强。参证站冬季不稳定类频率最小，不利于大气污染物的稀释扩散。

5.3.3 稳定度风向风速联合频率

各类大气稳定度在不同风向及风速下的频率即为联合频率，根据统计的时段有月、季、年联合频率之分。根据章节 5.3.2 稳定度计算方法确定的逐日各时次的大气稳定度，通过对相应的风向（按 16 个风向及静风）、风速（按 0~0.9m/s、1~1.9m/s、2~2.9m/s、3~4.9m/s、5~5.9m/s、≥6m/s 6 个等级）下相同稳定度出现的频率统计即可得出联合频率（表 5.21）。

表 5.21 参证站全年风向、风速、大气稳定度联合频率(%)

稳定度	风向	风速段(m/s)						风向	风速段(m/s)					
		0~0.9	1~1.9	2~2.9	3~4.9	5~5.9	≥6		0~0.9	1~1.9	2~2.9	3~4.9	5~5.9	≥6
A	N	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A~B		0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B		0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		1.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
B~C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

重庆市城口县工业园区气候可行性论证区域整体评价

稳定度	风向	风速段(m/s)						风向	风速段(m/s)					
		0~0.9	1~1.9	2~2.9	3~4.9	5~5.9	≥6		0~0.9	1~1.9	2~2.9	3~4.9	5~5.9	≥6
C~D		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D		5.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		4.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
E		1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
F		0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
A	NN E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	SS W	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A~B		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
B		0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
B~C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C~D		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D		0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		3.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
E		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
F		0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
A	NE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	SW	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
A~B		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
B		0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
B~C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C~D		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D		0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		3.9	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
E		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
F		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
A	ENE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	WS W	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
A~B		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
B		0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
B~C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
C~D		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D		0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		3.9	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
E		0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
F		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
A	E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	W	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
A~B		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
B		0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		1.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
B~C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C		0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C~D		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D		0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0		3.2	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0
E		0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0

重庆市城口县工业园区气候可行性论证区域整体评价

稳定度	风向	风速段(m/s)						风向	风速段(m/s)					
		0~0.9	1~1.9	2~2.9	3~4.9	5~5.9	≥6		0~0.9	1~1.9	2~2.9	3~4.9	5~5.9	≥6
F		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
A	ESE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	WN W	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
A~B		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
B		0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0		0.8	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0
B~C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
C~D		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D		1.3	0.7	0.1	0.2	0.0	0.0		1.7	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0
E		0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0		0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
F		0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A	SE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	NW	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
A~B		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0
B		0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0		0.5	1.1	0.2	0.0	0.0	0.0
B~C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0
C~D		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D		2.2	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0		1.0	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0
E		0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
F		0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A	SSE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	NN W	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
A~B		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
B		0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
B~C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
C~D		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D		3.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0		0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
E		1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F		0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A	C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
A~B		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
B		0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
B~C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
C		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
C~D		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
D		6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
E		1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
F		0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							

5.3.4 混合层厚度

在污染气象学中，湍流特征不连续界面以下湍流充分发展的大气层称为混层，其高度就是混合层厚度，它表征了污染物在垂直方向被热力湍流稀释的范围，与近地面的空气污染有密切的联系。由于混合层厚度是反映边界层大气特征的重要参数，同时也是空气污染潜势预报中必须考虑的重要参数，它直接影响到污染物浓度及分布范围的计算，是污染气象学研究领域的重要内容。

5.3.4.1 研究方法

本节采用 2005~2013 年参证站 3 个时次（08 时，14 时，20 时）的地面风速、云量等气象观测资料计算区域的混合层厚度。大气稳定度按照 GB/T 3840 的规定参照章节 5.3.2 进行计算。

当大气稳定度为 A、B、C 和 D 时： $h_{xd} = a_s U_{10}/f$

当大气稳定度为 E 和 F 时： $h_{xd} = b_s \sqrt{U_{10}/f}$ ，见表 5.24。

表 5.22 是根据标准 GB/T 3840 中给出的我国各地区 a_s 和 b_s 值(静风区各类稳定度的 a_s 和 b_s 可取表中最大值)

式中： h_{xd} 为混合层厚度（E、F 时指近地层厚度），m；

U_{10} 为 10m 高度平均风速，m/s；大于 6m/s 时取 6m/s；

a_s 、 b_s 为混合层系数，重庆取四川地区混合层系数，详见表 5.22；

f 为地转参数， $f = 2\omega \sin\phi$

ω 为地转角速度，取 7.29×10^{-5} 弧度/秒

ϕ 为地理纬度

表 5.22 我国各地区和取值表

地区	a_s				b_s	
	A	B	C	D	E	F
新疆 西藏 青海	0.090	0.067	0.041	0.031	1.66	0.7
黑龙江 吉林 辽宁 内蒙古 北京 天津 河北 河南 山东 山西 陕西(秦岭以北)宁夏 甘肃(渭河以北)	0.073	0.060	0.041	0.019	1.66	0.7
上海 广东 广西 湖南 湖北 江苏 浙江 安徽 海南 台湾 福建 江西	0.056	0.029	0.020	0.012	1.66	0.7

云南 贵州 四川 甘肃(渭河以南)陕西(秦淮以南)	0.073	0.048	0.031	0.022	1.66	0.7
---------------------------	-------	-------	-------	-------	------	-----

5.3.4.2 混合层厚度统计特征

对计算得到的每日各个时次的大气混合层厚度的统计结果表明, 2005~2013 年期间参证站大气混合层的平均值为 286m, 最大值为 2099m, 最小值为 0m

(与零风速对应的值, 实际上混合层厚度不会为零, 而这里的零值只是表明此时垂直方向湍流非常微弱)。

统计得出的各段混合层厚度出现频率见表 5.23。从表 5.23 可知, 参证站大气混合层厚度主要分布于 0~400m 范围内, 累计占总样本数的 78.2%; 0~400m 范围内分布不均匀, 以 0~100m 范围内居多。在国标法中, 大气混合层厚度是风速和稳定度综合作用的结果。从实际统计得出的各级稳定度和风速下混合层厚度变化可知, 风速越大, 混合层厚度也越高。从表 5.24 还可看出, 当稳定度在 D~A 类(如由 D 类转为 C 类)之间、风速在 0~1.5m/s 之间变化时, 总体而言, 混合层厚度对稳定度等级的改变较为敏感; 而在其他情况下, 风速等级的改变较稳定度等级的改变对混合层厚度的影响明显, 当稳定度为 B~C 时混合层厚度最高。基于考虑到上述 D~A 类稳定度和 0~1.5m/s 风速范围是参证站的常年主导气象特征, 因此可以认为城口县大气混合层厚度的影响因子以大气稳定度为主。

表 5.23 各段大气混合层厚度频率分布

混合层 厚度/m	0~100	101~200	201~400	401~600	601~800	801~1000	1000 以上
频率/%	31.5	29.3	17.4	7.0	4.9	4.4	5.4

表 5.24 各级稳定度下混合层厚度统计结果

稳定度等级	A	A~B	B	B~C	C	D	E	F
混合层厚度/m	1047	965	506	1792	1011	178	126	62

表 5.25 各级风速下混合层厚度统计结果

风速(m/s)	0.0	0.0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0 以上
混合层厚度/m	0	105	280	620	874	1003

(1) 年际变化特征

图 5.10 为 2005~2013 年年平均混合层厚度的年际变化。从图 5.10 可以看出, 2006 年混合层厚度最小, 最小值为 232m, 2013 年混合层厚度最大, 最大值为

382m，年平均混合层厚度达 290m，混合层厚度总体上呈现增加趋势，表明大气垂向平均稀释能力有增强的趋势，这可能与近年来城市人为热排放增加以及城市下垫面变粗、变干有关。而这些典型城市特征的变化可引起大气边界层内热力湍流和动力湍流加剧，从而使得混合层变厚。

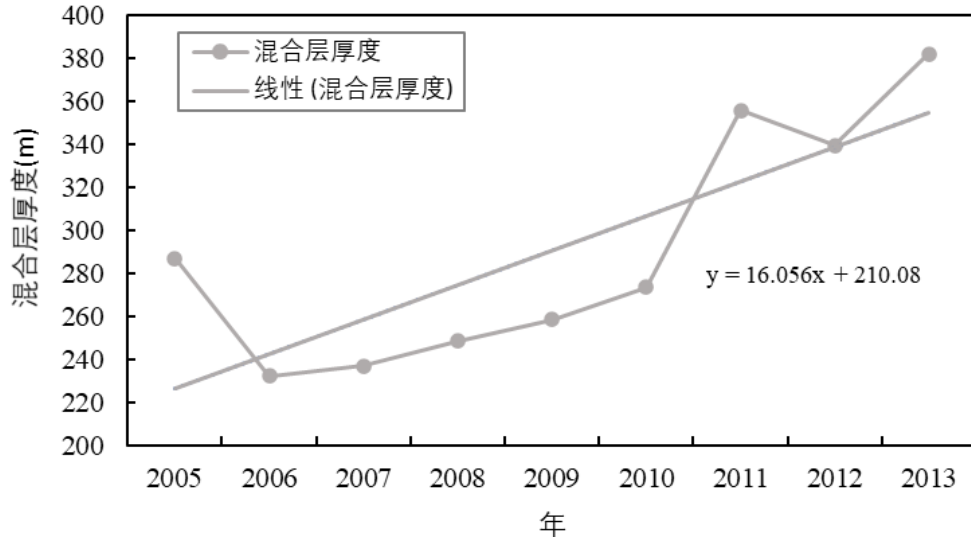


图 5.10 混合层厚度的年际变化(2005~2013 年)

(2) 月际变化特征

混合层厚度月平均值在 191~354m 之间变化，月平均值最小出现在 12 月，最大出现在 4 月（图 5.11）。4 月太阳辐射增强，气温增高，热力湍流加强，不稳定类稳定度出现频率相对增加，混合层厚度增加。12 月太阳辐射较弱，湍流减弱，混合层厚度减小。

图 5.12 给出了四季混合层厚度变化柱形图。从图可以看出一年之中，春夏季平均混合层厚度较高，其中春季为 331m，夏季为 332m；秋冬季平均混合层厚度则低，冬季最低为 218m。混合层厚度的这种季节变化与太阳辐射、湍流强弱的季节变化基本一致：秋季和冬季因太阳辐射变弱，风速减小，相应地湍流减弱，混合层厚度减小；春季和夏季，太阳辐射增强，对流旺盛，湍流能充分发展，不稳定类稳定度出现频率相对增加，故混合层厚度值相应要高。

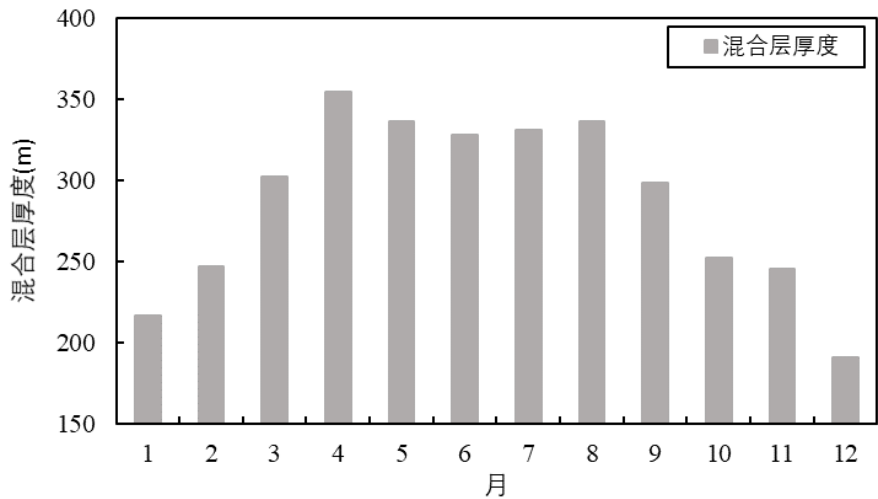


图 5.11 混合层厚度月际变化特征(2005~2013 年)

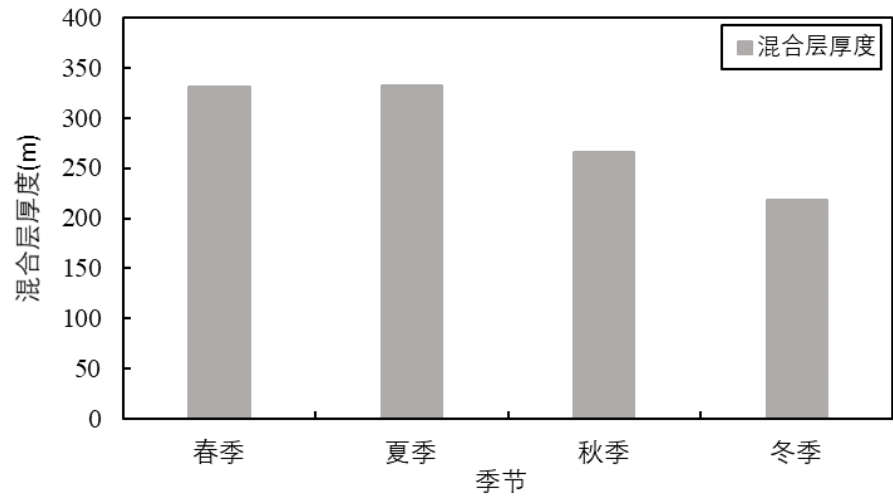


图 5.12 混合层厚度季节变化特征(2005~2013 年)

(3) 日变化特征

受太阳辐射日变化的影响，混合层厚度也呈现出极为明显的日变化特征。根据参证站每日的三次观测结果进行分析（表 5.26），混合层最大值出现在 14：00，平均值为 558m；最小值出现在 20：00，平均值为 134m，还不到午后峰值的一半。参考其他站点数据，早上和夜间（20：00 至 08：00）的混合层厚度较低，白天由于太阳辐射作用，湍流发展旺盛，混合层厚度也相应较大，一般从午后到傍晚混合层厚度将达到一天中的极大值，这一时段也是大气对污染物的扩散稀释能力最强的时段，利于污染物排放。建议工业点源的排污安排在午后至傍晚时段。

表 5.26 2005~2013 年各时次平均混合层高度

时刻	08:00	14:00	20:00
混合层厚度/m	163	558	134

5.3.4.3 小结

参证站 2013 年之后云量没有观测，本节混合层厚度分析时段为 2005~2013 年。混合层厚度分析结果显示园区秋、冬季混合层厚度较低，春、夏季混合层厚度较高，秋冬季大气扩散能力弱，大气污染事件发生概率较春、夏季高，建议减少在该时间段带有污染的生产运营活动。一天当中，午后到傍晚混合层高度达到最大值，建议工业点源的排污安排在午后至傍晚时段，同时加强夜间主要工业点源的排污管理。

5.3.5 逆温

在对流层大气中，平均情况下气温随高度的升高而降低，每上升 100m 气温下降 0.6°C 。但也会在某一高度范围内出现气温随高度升高而增加的现象，即逆温，气温随高度升高而增加的大气层称为逆温层。逆温层会抵制下层大气垂直对流运动的发生发展，阻碍大气中热量和水汽自下而上的垂直交换。

温度层结状况对大气中热量扩散稀释有直接影响，逆温对天气和大气污染的扩散都有相当大的影响，会对空气质量产生很大影响。逆温会阻碍空气的垂直对流运动，大气处于稳定状态，妨碍烟尘、污染物、水汽凝结物的扩散，有利于雾的形成并使能见度变差，使大气污染更为严重，危害人体健康。

根据逆温层的位置，可以分为接地逆温和低空逆温。接地逆温是从地面开始的逆温（图 5.13）。低空逆温是指从离开地面一定高度开始的逆温，可以有一层或多层（图 5.14）。

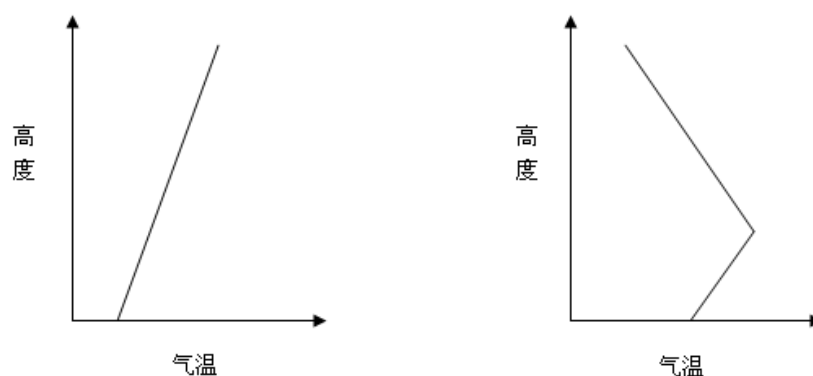


图 5.13 接地逆温示意图

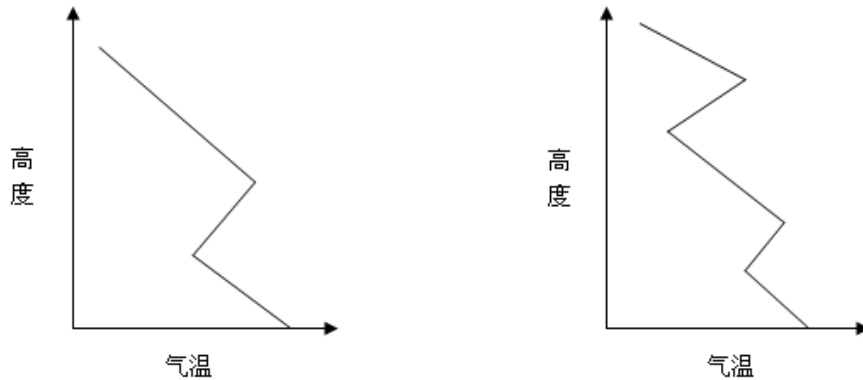


图 5.14 低空逆温示意图

表征逆温特征的要素有逆温层底高、顶高、厚度和逆温强度。逆温层厚度是指逆温层的底部到顶部之间的距离，接地逆温的厚度是地面到顶部的距离。逆温强度是逆温层内气温垂直递增率。计算方法如下：

逆温层厚度： $\Delta H = H_2 - H_1$ ，其中 H_1 为逆温层的底高， H_2 为逆温层的顶高，单位为 m。

逆温强度：逆温层内每升高 100m 气温的增加值，用 I 表示， $I = \frac{\Delta T}{\Delta H} \times 100 = \frac{T_2 - T_1}{H_2 - H_1} \times 100$ ，其中 T_1 为逆温层底部气温， T_2 为逆温层顶部气温，单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。

由于园区附近 50km 范围内没有高空气象探测站，而环境影响评价技术导则—大气环境 HJ 2.2-2018 中关于常规高空气象探测资料调查要求中规定，高空气象探测站与项目的距离超过 50km，高空气象资料可采用中尺度气象模式模拟的 50km 内格点气象资料代替，因此报告采用中尺度大气数值模式 WRF 模拟了城口县 3km×3km 格点上的气温，提取了园区所在区域 2019 年各高度气温，分析其逆温特征。

5.3.5.1 局地气候数值模拟

(1) 模式设置

模式使用 NCEP CFSR 作为初始和侧边界条件，采用了 3 层嵌套，兰伯特投影，由外至内，各层网格分辨率分别为：27km、9km、3km。模式的相关物理参数化方案选项见表 5.27。模式垂直方向设为 49 层，顶层气压 50hPa。垂直分层特别对近地层进行了加密，以适应近地层温度场和风场精细描述。离地 150m 以内每 20m 一层。对 2019 年 1 月、4 月、7 月、10 月四个典型月展开连续模拟，采用 120s 积分步长，最终得到逐小时的三维大气场模拟结果。

表 5.27 模式物理参数化设置

物理参数化方案	参数设置
积云对流参数化方案	Kain-Fritsch scheme
短波辐射方案	Goddard scheme
长波辐射方案	RRTM scheme
近地层方案	Monin-Obukhov (Janjic Eta)scheme
云微物理参数化方案	WSM6 scheme
陆面过程参数化方案	Noah scheme
边界层参数化方案	MYJ scheme

(2) 模拟结果与观测对比

图 5.15 为将在 2019 年 1 月、4 月、7 月和 10 月的模拟结果插值到城口国家气象站后计算的气温与城口国家站观测气温对比。从图中可见，WRF 模拟的气温与实际观测值在数值上都较为接近，变化趋势基本一致，仅有个别极端天气事件如极端降温、升温过程等出现较明显误差，但整体而言都在可接受范围内。

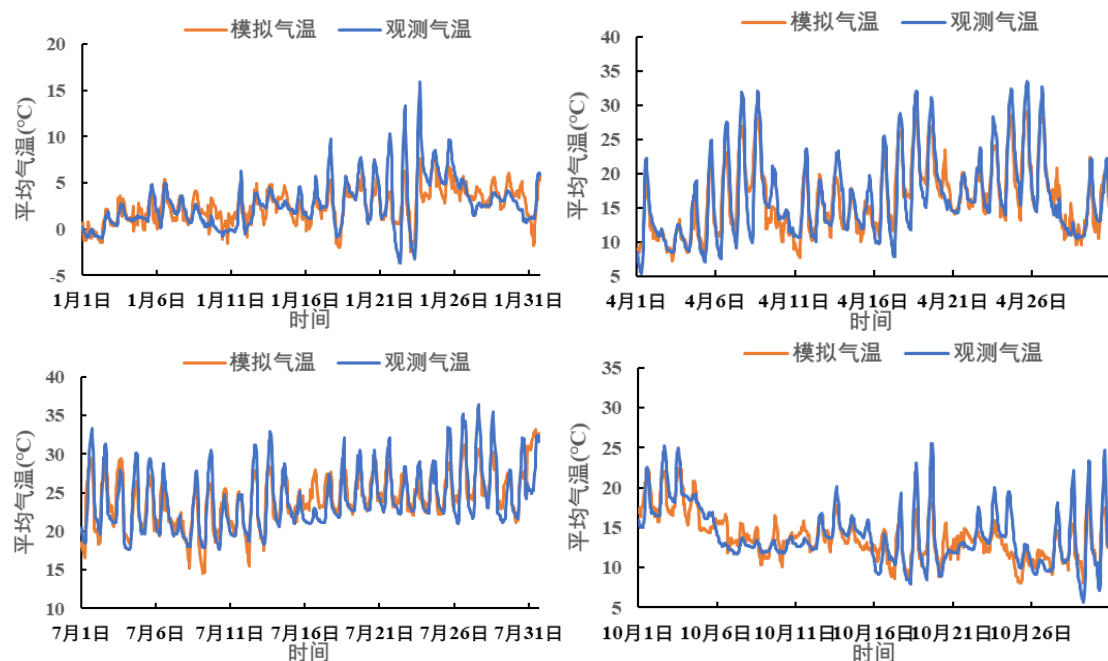


图 5.15 月模拟气温与观测气温对比

图 5.16~5.19 所示分别为 2019 年 1 月、4 月、7 月和 10 月的沙坪坝探空站气温和 WRF 模拟探空站所在区域气温在 500hPa、700hPa、850hPa 和 925hPa 高度上的对比。从图中可见，WRF 模拟的气温与探空站实际观测值在各个高度上的数值都较为接近，变化趋势基本一致。因此可使用该模拟结果用于项目建设地的逆温分析。

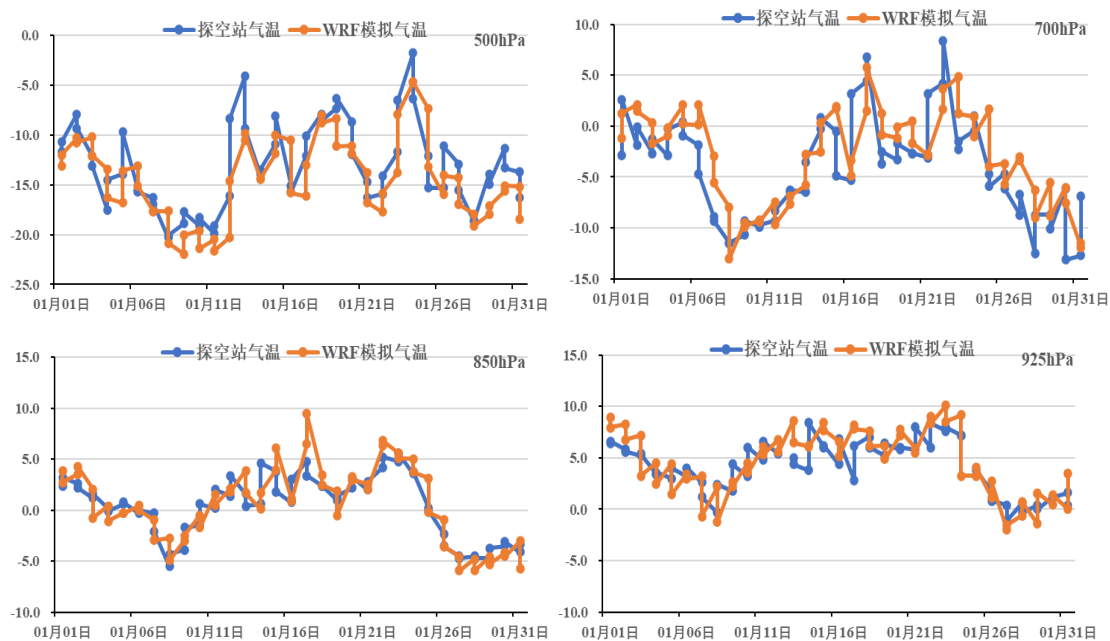


图 5.16 1 月模拟气温与探空站气温对比

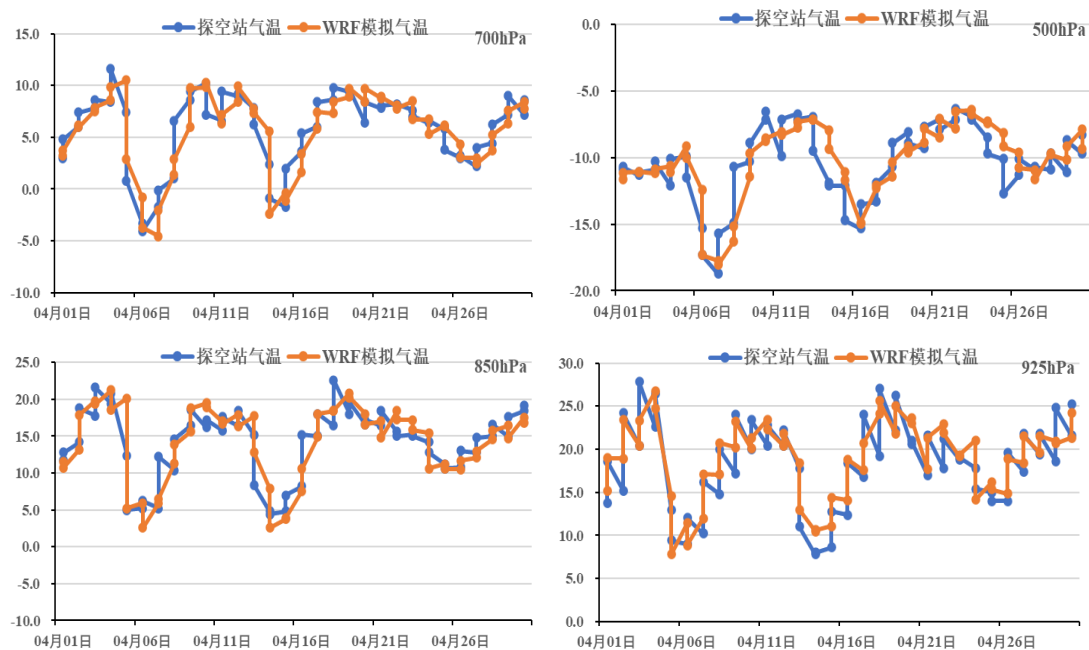
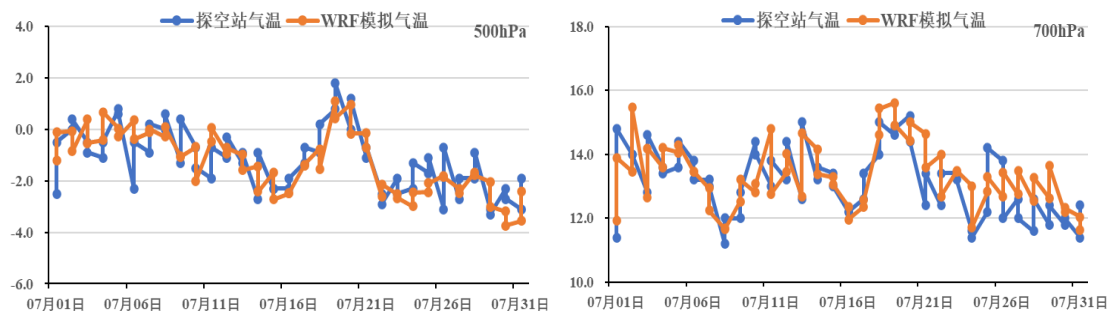


图 5.17 4 月模拟气温与探空站气温对比



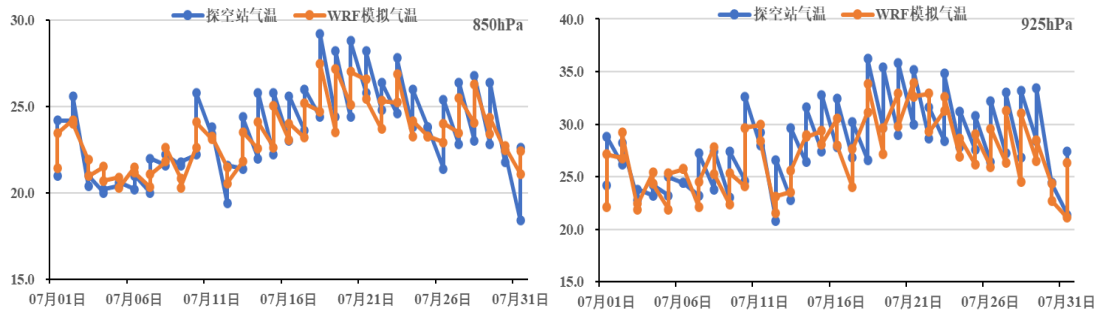


图 5.18 7 月模拟气温与探空站气温对比

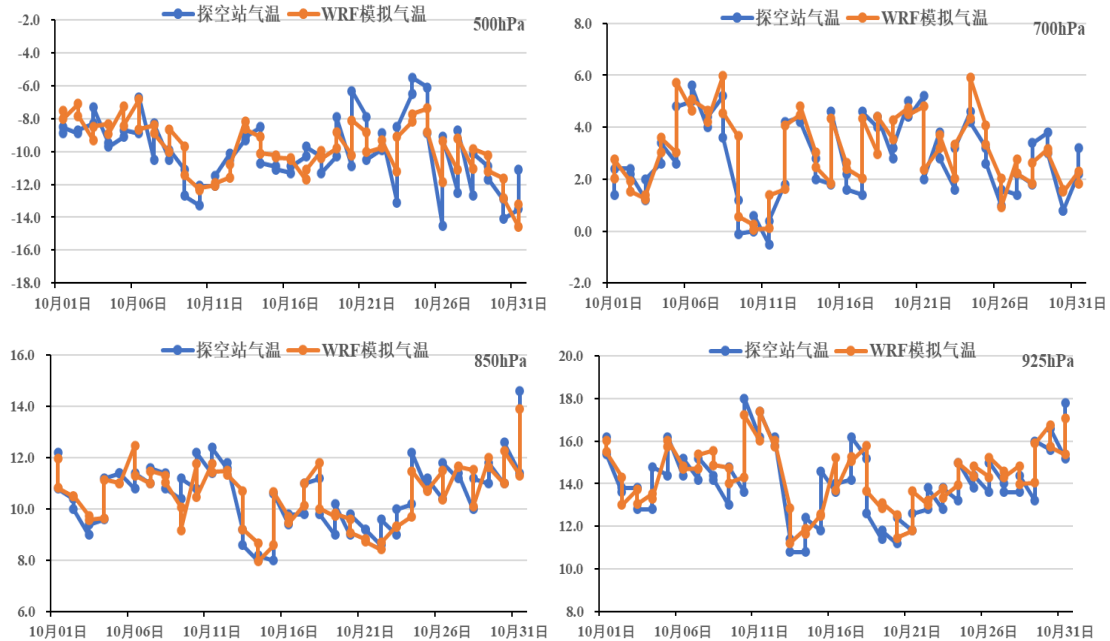


图 5.19 10 月模拟气温与探空站气温对比

5.3.5.2 四季平均气温随高度变化曲线

2019 年从地面至 300m 高空，园区平均气温随高度变化曲线见图 5.20。春季平均气温变化范围为 12.1~13.1℃；夏季平均气温变化范围 19.5~20.7℃；秋季平均气温变化范围为 10.8~11.5℃；冬季平均气温变化范围为 -1.6~-0.4℃。四季均有接地逆温出现，春、夏、秋季较为明显。

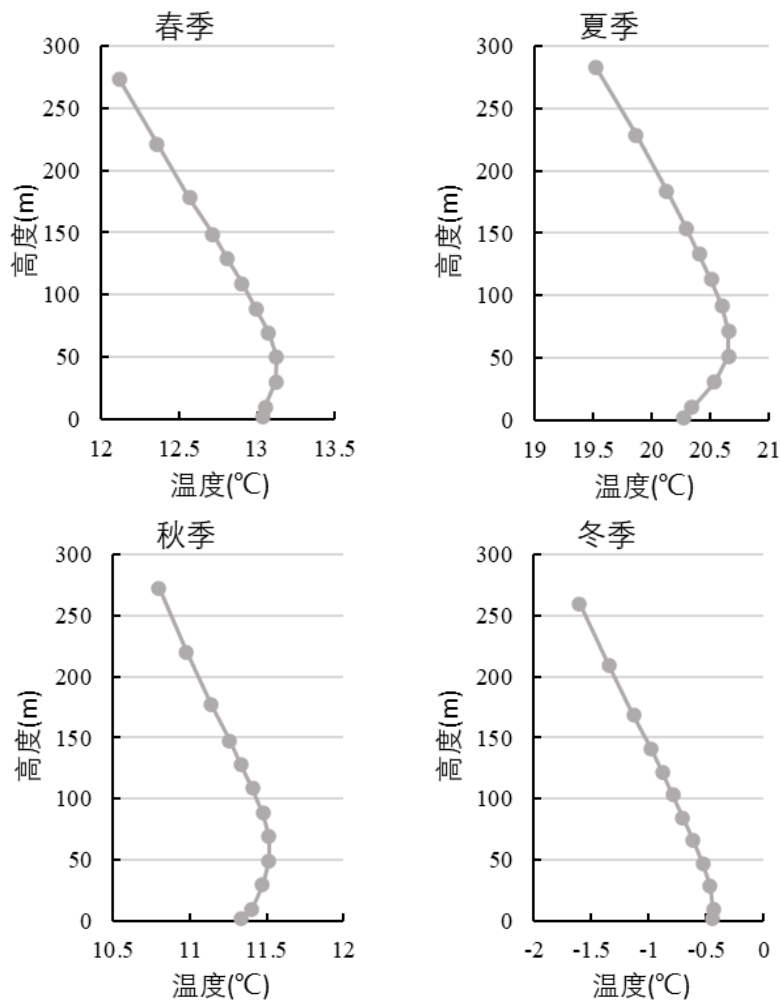


图 5.20 园区春、夏、秋、冬平均气温随高度变化曲线

5.3.5.3 逆温的日变化特征

园区各时刻平均气温随高度变化的廓线如图 5.21 所示。接地逆温在 20 时前后开始形成，至次日 8 时前后结束，随着太阳辐射增强，近地面气温开始升高，空气垂直运动突破逆温层，上下层空气发生热量交换，接地逆温逐渐消失，10 时至 16 时无逆温出现。

从地面到高空，园区上空气温变化特征如图 5.22 所示。园区日平均气温变化范围为 10.1~11.1℃，气温随高度先增大后减小出现接地逆温，最高出现在 50m 左右；白天平均气温变化范围为 10.7~13.0℃，气温随高度减小，未出现逆温情况；夜间平均气温变化范围为 8.9~9.8℃，气温随高度先增大后减小出现接地逆温，最高出现在 90~110m 左右。

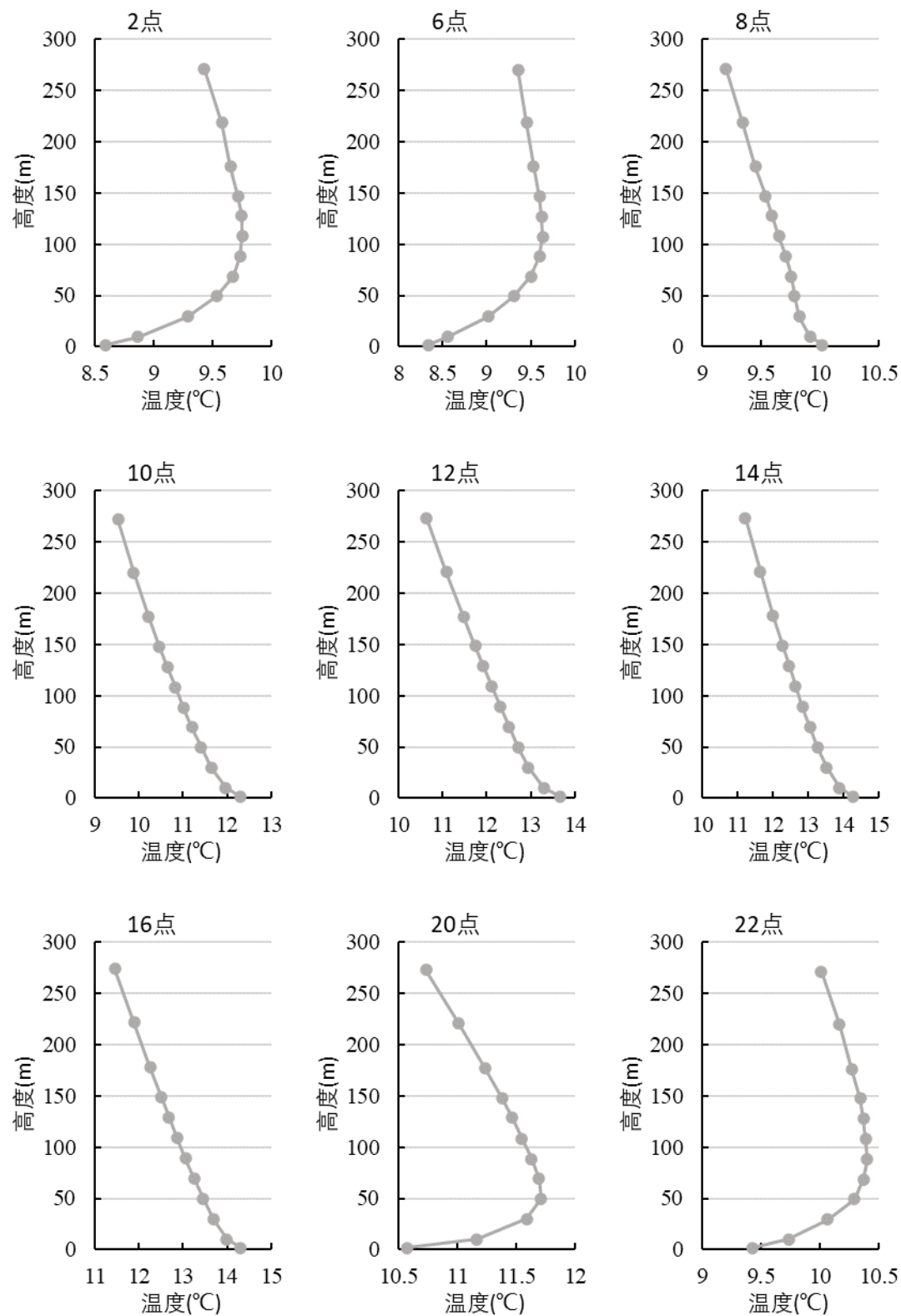


图 5.21 园区各时刻平均气温随高度变化曲线

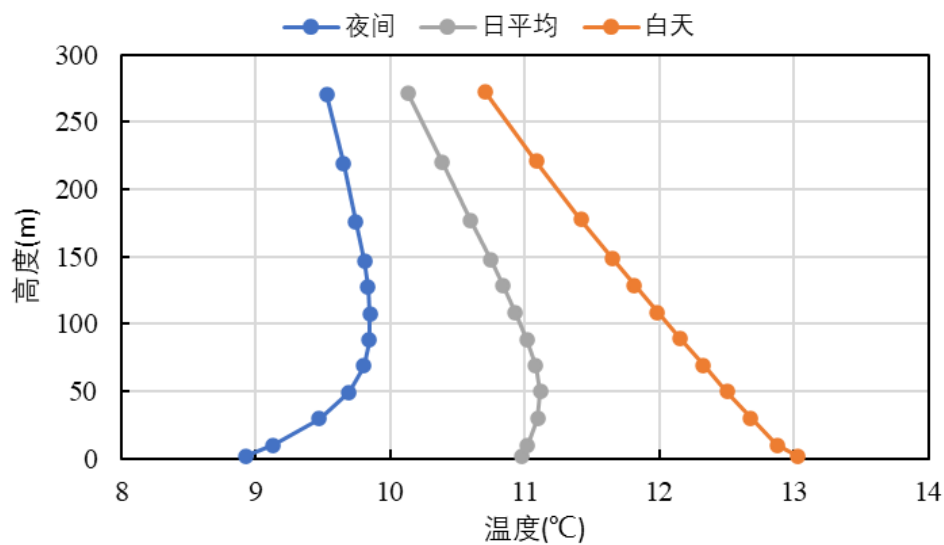


图 5.22 园区低空白天、夜间和日平均气温随高度变化曲线

5.3.5.4 逆温的空间变化特征

全年和各季的逆温频率、强度，结果统计见表 5.28~5.32。

从表 5.28 全年的分析结果可见，园区接地逆温出现的频率较低空逆温出现的频率小，但强度更强。平均频率为 9.4%，厚度在 0~50m 之间出现最多，达到 16.1%。接地逆温的平均厚度为 89.8m，各高度的平均厚度在 25.5~293.4m 之间，平均强度为 2.9°C/hm，最大强度为 19.0°C/hm 出现在 0~50m 厚度之间。

从低空逆温来看，频率相比接地逆温大，逆温出现的频率为 62.3%，逆温平均底高 435.6m，平均顶高 659.9m，平均厚度 224.3m，平均强度 0.6°C/hm，最大厚度为 1226.0m，最大强度 19.9°C/hm。

表 5.28 逆温厚度、强度及频率统计结果(全年)

类型		平均厚度(m)	平均强度(°C/hm)	最大厚度(m)	最大强度(°C/hm)	频率(%)
接地逆温	H≤50	25.5	2.9	50.0	19.0	16.1
	50<H≤100	76.4	3.9	100.0	12.9	9.3
	100<H≤150	122.8	2.5	150.0	8.5	7.9
	H>150	293.4	1.1	1296.2	3.7	4.4
	平均/最大	89.8	2.9	1296.2	19.0	9.4
低空逆温		224.3	0.6	1226.0	19.9	62.3

从表 5.29 春季的分析结果可见，园区接地逆温出现的频率较低空逆温出现的频率小，但强度更强。平均频率为 9.6%，厚度在 0~50m 之间出现最多，达到 15.9%。接地逆温的平均厚度为 109.7m，各高度的平均厚度在 26.2~343.1m 之间，平均强度为 2.8°C/hm，最大强度为 10.9°C/hm，出现在 0~50m 厚度之间。

从低空逆温来看, 频率相比接地逆温大, 逆温出现的频率为 61.6%, 逆温平均底高 408.5m, 平均顶高 625.6m, 平均厚度 217.1m, 平均强度 0.7°C/hm, 最大厚度为 932.0m, 最大强度 9.0°C/hm。

表 5.29 逆温厚度、强度及频率统计结果(春季)

类型		平均厚度(m)	平均强度(°C/hm)	最大厚度(m)	最大强度(°C/hm)	频率(%)
接地逆温	H≤50	26.2	2.8	49.6	10.9	15.9
	50<H≤100	77.8	4.2	89.4	10.6	7.6
	100<H≤150	124.1	2.9	149.7	8.5	8.7
	H>150	343.1	1.0	849.9	2.9	6.2
	平均/最大	109.7	2.8	849.9	10.9	9.6
低空逆温		217.1	0.7	932.0	9.0	61.6

从表 5.30 夏季的分析结果可见, 园区接地逆温出现的频率相对于低空逆温出现的频率更大, 强度更强。平均频率为 15.0%, 厚度在 0~50m 之间出现最多, 达到 21.8%。接地逆温的平均厚度为 81.0m, 各高度的平均厚度在 28.9~193.9m 之间, 平均强度为 3.1°C/hm, 最大强度为 16.7°C/hm, 出现在 0~50m 厚度之间。

从低空逆温来看, 频率相比接地逆温小, 逆温出现的频率为 40.3%, 逆温平均底高 351.7m, 平均顶高 500.8m, 平均厚度 149.1m, 平均强度 0.7°C/hm, 最大厚度为 710.3m, 最大强度 9.3°C/hm。

表 5.30 逆温厚度、强度及频率统计结果(夏季)

类型		平均厚度(m)	平均强度(°C/hm)	最大厚度(m)	最大强度(°C/hm)	频率(%)
接地逆温	H≤50	28.9	3.1	50.0	16.7	21.8
	50<H≤100	77.1	4.0	92.2	12.9	20.2
	100<H≤150	122.6	2.4	150.0	7.5	11.2
	H>150	193.9	1.3	421.2	3.6	6.6
	平均/最大	81.0	3.1	421.2	16.7	15.0
低空逆温		149.1	0.7	710.3	9.3	40.3

从表 5.31 秋季的分析结果可见, 园区接地逆温出现的频率较低空逆温出现的频率小, 但强度更强。平均频率为 9.1%, 厚度在 0~50m 之间出现最多, 达到 16.4%。接地逆温的平均厚度为 76.4m, 各高度的平均厚度在 19.5~240.5m 之间, 平均强度为 2.7°C/hm, 最大强度为 11.2°C/hm, 出现在 0~50m 厚度之间。

从低空逆温来看, 频率相比接地逆温大, 逆温出现的频率为 63.5%, 逆温平均底高 313.1m, 平均顶高 495.6m, 平均厚度 182.5m, 平均强度 0.8°C/hm, 最大厚度为 849.6m, 最大强度 10.5°C/hm。

表 5.31 逆温厚度、强度及频率统计结果(秋季)

类型		平均厚度(m)	平均强度(°C/hm)	最大厚度(m)	最大强度(°C/hm)	频率(%)
接地逆温	H≤50	19.5	2.1	49.5	11.2	16.4
	50<H≤100	77.0	4.5	89.2	9.9	7.9
	100<H≤150	124.9	2.8	149.8	8.2	9.2
	H>150	240.5	1.1	613.6	3.2	2.9
	平均/最大	76.4	2.7	613.6	11.2	9.1
低空逆温		182.5	0.8	849.6	10.5	63.5

从表 5.32 冬季的分析结果可见, 园区接地逆温出现的频率较低空逆温出现的频率小, 但强度更强。平均频率为 6.4%, 厚度在 0~50m 之间出现最多, 达到 12.8%。接地逆温的平均厚度为 93.3m, 各高度的平均厚度在 27.7~367.9m 之间, 平均强度为 2.7°C/hm, 最大强度为 11.7°C/hm, 出现在 0~50m 厚度之间。

从低空逆温来看, 频率相比接地逆温大, 逆温出现的频率为 74.3%, 逆温平均底高 557.4m, 平均顶高 836.5m, 平均厚度 279.1m, 平均强度 0.5°C/hm, 最大厚度为 1226.0m, 最大强度 11.4°C/hm。

表 5.32 逆温厚度、强度及频率统计结果(冬季)

类型		平均厚度(m)	平均强度(°C/hm)	最大厚度(m)	最大强度(°C/hm)	频率(%)
接地逆温	H≤50	27.7	3.6	46.5	11.7	12.8
	50<H≤100	72.5	2.5	100.0	8.1	5.3
	100<H≤150	118.3	1.6	140.6	5.7	4.6
	H>150	385.3	1.0	2791.5	3.7	3.0
	平均/最大	95.3	2.7	2791.5	11.7	6.4
低空逆温		279.1	0.5	1226.0	11.4	74.3

5.3.5.5 小结

综上所述, 城口县工业园区逆温多出现于 20 时至次日 8 时, 且全年低空逆温出现频率较高。逆温的平均强度四季相差较小。逆温层平均厚度为春、冬季较大, 夏、秋季较小。因此, 在工业生产过程中, 污染气体的排放需考虑逆温的变化规律, 在逆温强度较大, 厚度较厚的时候, 应减少工业污染源的排放, 减少大气污染。

5.4 室外排水设计气象参数

5.4.1 暴雨强度公式

根据重庆市市政设计研究院和重庆市气候中心联合编制的《重庆市暴雨强度

修订公式与设计暴雨雨型》(以下简称“暴雨强度公式与设计暴雨雨型”),由重庆市城乡建设委员会 2017 年 8 月发布的最新版城口县暴雨强度总公式为:

$$q = \frac{2521(1+0.997 \lg P)}{(t+14.439)^{0.857}} \quad (\text{L}/(\text{s} \cdot 10^4 \text{m}^2))$$

其中: P——设计重现期 (年);

q——暴雨强度 ($\text{L}/(\text{s} \cdot 10^4 \text{m}^2)$);

t——降水历时 (min)。

表 5.33 单一重现期暴雨强度公式

重现期 P(年)	公式
P=1	$204.742/(t+0.893)^{0.515}$
P=2	$1617.395/(t+7.724)^{0.685}$
P=3	$2412.482/(t+9.886)^{0.739}$
P=5	$3395.945/(t+12.168)^{0.796}$
P=10	$4879.406/(t+14.030)^{0.851}$
P=20	$6047.404/(t+13.835)^{0.872}$
P=30	$6643.761/(t+13.767)^{0.879}$
P=40	$7047.233/(t+13.725)^{0.884}$
P=50	$7352.676/(t+13.694)^{0.887}$
P=60	$7598.5/(t+13.670)^{0.889}$
P=70	$7804.077/(t+13.650)^{0.892}$
P=80	$7980.93/(t+13.633)^{0.893}$
P=90	$8135.906/(t+13.619)^{0.895}$
P=100	$8274.015/(t+13.606)^{0.896}$

表 5.34 重现期区间暴雨强度公式

P(年)	区间	参数	公式
1—10	II	n	$0.672+0.087 \ln(P-0.836)$
		b	$7.195+3.486 \ln(P-0.836)$
		A	$2.604+11.180 \ln(P-0.116)$
10—100	III	n	$0.842+0.012 \ln(P-7.842)$
		b	$14.117-0.113 \ln(P-7.842)$
		A	$14.966+7.566 \ln(P-3.422)$

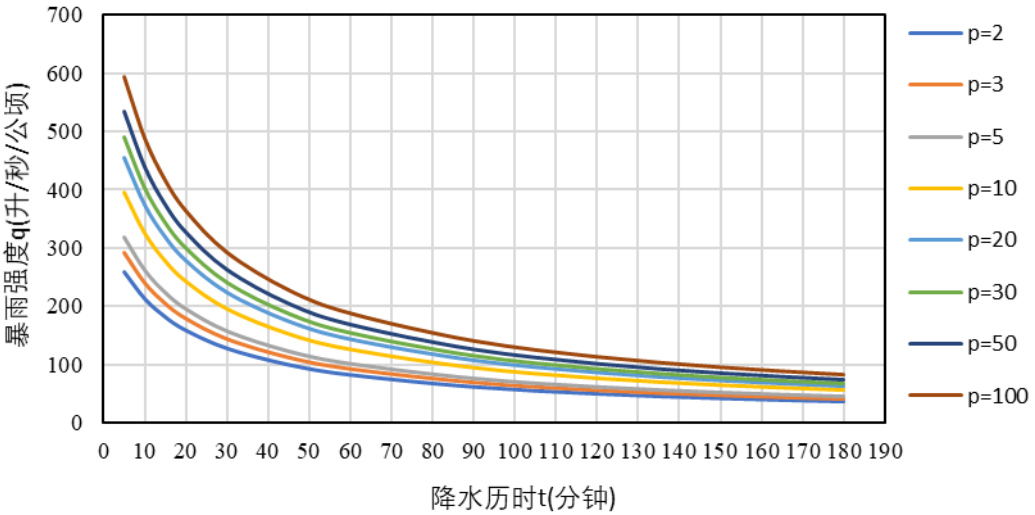


图 5.23 短历时降水强度随降水历时的变化曲线

将重庆市城口县 5min、10min、15min、20min、30min、45min、60min、90min、120min、150min、180min 共 11 个历时不同重现期（2a、3a、5a、10a、20a、30a、50a、100a）暴雨强度计算结果换算成对应历时不同重现期降水强度（单位： $L/(s \cdot 10^4 m^2)$ ），结果如表 5.35 所示。

表 5.35 城口县降水强度、重现期、降水历时(i-P-t)表($L/(s \cdot 10^4 m^2)$)

重现期	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
5min	257.7	292.5	317.2	395.9	455.4	490.2	534.0	593.5
10min	211.8	240.4	260.7	325.4	374.3	402.9	438.9	487.8
15min	180.6	205.0	222.3	277.4	319.1	343.5	374.2	415.9
20min	157.9	179.2	194.3	242.5	278.9	300.3	327.1	363.6
30min	126.9	144.0	156.2	194.9	224.2	241.3	262.9	292.2
45min	98.9	112.3	121.7	151.9	174.7	188.1	204.9	227.7
60min	81.6	92.6	100.4	125.3	144.1	155.1	169.0	187.8
90min	61.0	69.2	75.1	93.7	107.8	116.0	126.4	140.5
120min	49.1	55.8	60.5	75.5	86.8	93.5	101.8	113.2
150min	41.3	46.9	50.9	63.5	73.1	78.6	85.7	95.2
180min	35.8	40.7	44.1	55.0	63.3	68.1	74.2	82.5

暴雨强度公式使用说明：

设计暴雨强度可按选定设计重现期直接查用表列数值（单一重现期暴雨强度公式见表 5.33）。若采用其它重现期，设计暴雨强度可用重现期区间参数公式计算：

$$q = \frac{167A}{(t + b)^n}$$

式中：q—设计暴雨强度（升/(秒·公顷)）

t—降水历时（分钟）

A—雨力

b、n—常数

（A、b、n 按重现期区间参数公式计算，公式见表 5.34）

暴雨强度总公式：

$$q = \frac{2521(1+0.997 \lg P)}{(t+14.439)^{0.857}} \text{ (L/(s} \cdot 10^4 \text{m}^2))$$

其中：P——设计重现期（年）；

q——暴雨强度（L/(s·10⁴m²））；

t——降水历时（min）。

应用重现期区间参数公式计算暴雨强度实例：求 P=25 年，t=50 分钟的暴雨强度 q。从重现期区间参数公式 II，得：

$$n=0.842+0.012\text{Ln}(P-7.842)=0.876110 \text{ (取 } 0.876)$$

$$b=14.117-0.113\text{Ln}(P-7.842)=13.795802 \text{ (取 } 13.796)$$

$$A=14.966+7.566\text{Ln}(P-3.422)=38.206288 \text{ (取 } 38.206)$$

配得 P=25 年的暴雨强度计算公式如下：

$$q = \frac{6380.45}{(t+13.796)^{0.876}}$$

可按上式计算 1~200 分钟中任何时段的暴雨强度。

当 t=50：

$$q = \frac{6380.45}{(t+13.796)^{0.876}} = 167.44 \text{ (升/秒/公顷)}$$

5.4.2 年径流总量控制率对应的设计降水量

《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建》（以下简称《指南》）指出海绵城市建设应以径流总量、径流峰值、与径流污染综合控制为目标。基于 1958~2019 年参证站逐日降水量数据，采用《指南》推荐方法，计算不同年径流总量控制率对应的设计降水量，结果表明：年径流总量控制率达 70%、80%、90% 对应的设计降水量分别为 19.0mm、27.4mm、42.3mm。

5.4.2.1 概念定义简述

(1) 年径流总量控制率(volume capture ratio of annual rainfall)

根据多年日降水量统计数据分析计算，通过自然和人工强化的渗透、储存、蒸发（腾）等方式，场地内累计全年得到控制（不外排）的雨水量占全年总降水量的百分比。

(2) 设计降水量(design rainfall depth)

为实现一定的年径流总量控制目标（年径流总量控制率），用于确定低影响开发设施设计规模的降水量控制值，一般通过当地多年日降水资料统计数据获取，通常用日降水量（mm）表示。

(3) 年径流总量控制率与设计降水量之间的关系

城市年径流总量控制率对应的设计降水量值的确定，是通过统计学方法获得的。选取至少近 30 年（反映长期的降水规律和近年气候的变化）日降水（不包括降雪）资料，扣除小于等于 2mm 的降水事件的降水量，将降水量日值按雨量由小到大进行排序，统计小于某一降水量的降水总量（小于该降水量的按真实雨量计算出降水总量，大于该降水量的按该降水量计算出降水总量，两者累计总和）在总降水量中的比率，此比率（即年径流总量控制率）对应的降水量（日值）即为设计降水量。

5.4.2.2 不同年径流总量控制率对应的设计降水量

(1) 径流总量控制率为 10%~100%所对应的设计降水量（表 5.36）。借鉴发达国家实践经验，年径流总量控制率最佳为 80~85%，可见，不同年径流总量控制率达 80%~85%对应的设计降水量分别为 27.4~33.6mm 之间。《海绵城市建设技术指南》中重庆的年径流总量控制率达 80~85%对应的设计降水量分别为 25.5~31.9mm。对比而言，本报告设计降水量大于《海绵城市建设技术指南》中重庆的设计降水量。

表 5.36 不同年径流总量控制率对应的设计降水量(mm)

年径流总量 控制率	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
设计降水量	1.4	2.8	4.6	6.8	9.7	13.6	19.0	22.7	27.4	33.6	42.3	57.1

(2) 根据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》中不同年径流总量控制率对应的设计降水量计算方法，采用尝试带入的方法进行试验（图 5.24），计算得到近 62 年来，不同年径流总量控制率对应的设计降水量，可以看出年径流总量控制率达 75%、80%、85%对应的设计降水量分别为 22.7mm、

27.4mm、33.6mm。

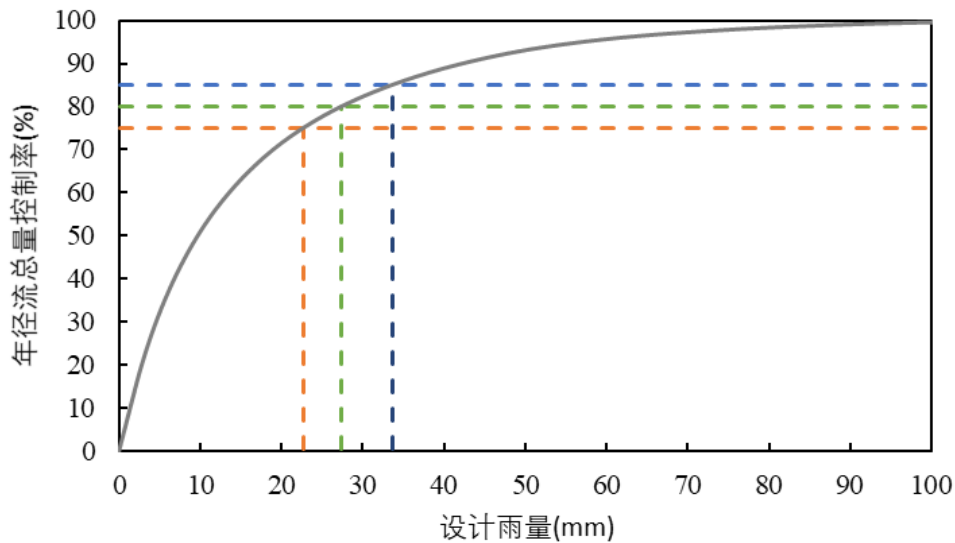


图 5.24 短历时年径流量控制率随降水强度的变化曲线

5.5 园区气温推算

5.5.1 气温计算方法

本报告中对园区气温的推算采用 Parameter-elevation Regression on Independent Slopes Model (PRISM)插值法。PRISM 空间内插方法是由美国气象科学家 Christopher Daly 提出，这种方法基于地理空间特征和回归统计方法生成气候图的模型，在美国，PRISM 模型技术已经广泛应用于气候制图的诸多领域，主要成果包括整个美国及其相邻地区 103 年气候时间序列数据集，如美国国家气候数据中心新版的气候图集等。

PRISM 模型的原理基于如下二个方面：（1）海拔对气温的影响：除了由观测数据所确定的异常情况外，在给定的山体坡度下，气温随海拔高度升高而递减；（2）山系的空间格局对温度的影响：气温与海拔的关系明显受到地区或区域山体的坡向及逆风阻挡等因素的影响，因此需要将复杂的山地景观区分为不同对于气温的空间计算认定为在一定的区域内控制气象要素空间分布最主要的因素是高程和坡向。其原理基于以下几个方面以数字高程模型（DEM）为平台结合 GIS 空间插补技术，综合考虑高程、距离、坡向、坡度等因子对气象要素的影响，通过开窗技术对整个大区域进行线性插值，从而得到气象要素的空间分布特征。基于城口县区域内 63 个气象站近 7 年历史观测的四季和年平均气温数据和精细化地形数据，按照不同栅格位置与观测站点间的高度差、水平距离、坡向差等，建

立加权回归模型，构建了台站与精细化地形的回归关系，实现点到面的精细化插值，进而得到园区的气温。

本报告考虑了距离、高程、坡度、坡向、垂直分层 5 个权重因子，利用气象数据高程梯度变化来计算每个 DEM 网格的气象数据。在每一个窗口内可用公式计算格网的气象数据。

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i (G \times (H - h_i) + B_i)$$

式中，Y 为空间内插的气象要素；n 为内插所使用的站点个数；G 为这层内气象要素随高程变化的梯度； a_i 为第 i 个站点的权重；H 为使用 DEM 格网上的高程； h_i 为第 i 个站点的高程； B_i 为第 i 个站点的气象要素的数据。本算法中，站点的属性数据和气象数据是实地获取的，因此决定内插经度的决定因素是权重因子。本研究中，它是距离、坡度、坡向权重因子的综合。高程权重在计算公式中已经由 DEM 格网上高程和站点高程之间的高程差体现出来，而垂直分层的权重也在气象要素随高程变化梯度的不同体现出来。

5.5.2 园区气温的推算

利用城口县的数字高程模型（DEM）数据和 63 个气象站的气温观测数据，求取近 7 年年平均气温、平均最高气温和平均最低气温进行插值，得到城口县年平均温度、平均最高气温和平均最低气温空间分布数据。对插值结果使用 ArcGIS10.2 进行处理、制图和出图，最终生成年平均气温、平均最高气温和平均最低气温的空间分布图（图 5.25）。

从图 5.25 可以看出：基于 PRISM 的插值结果能够很好地反映气温随海拔的变化趋势，温度的分布与海拔变化趋势一致；城口县海拔变化较大，地形较为复杂，气温的变化也比较复杂；气温的分布在海拔高度相同的情况下，温度的分布受坡向的影响较明显，阴坡地区的温度较低。基于 PRISM 的插值结果的空间分布和地形变化有较好的一致性。利用该方法求得城口县各工业组园气温如表 5.37 所示。

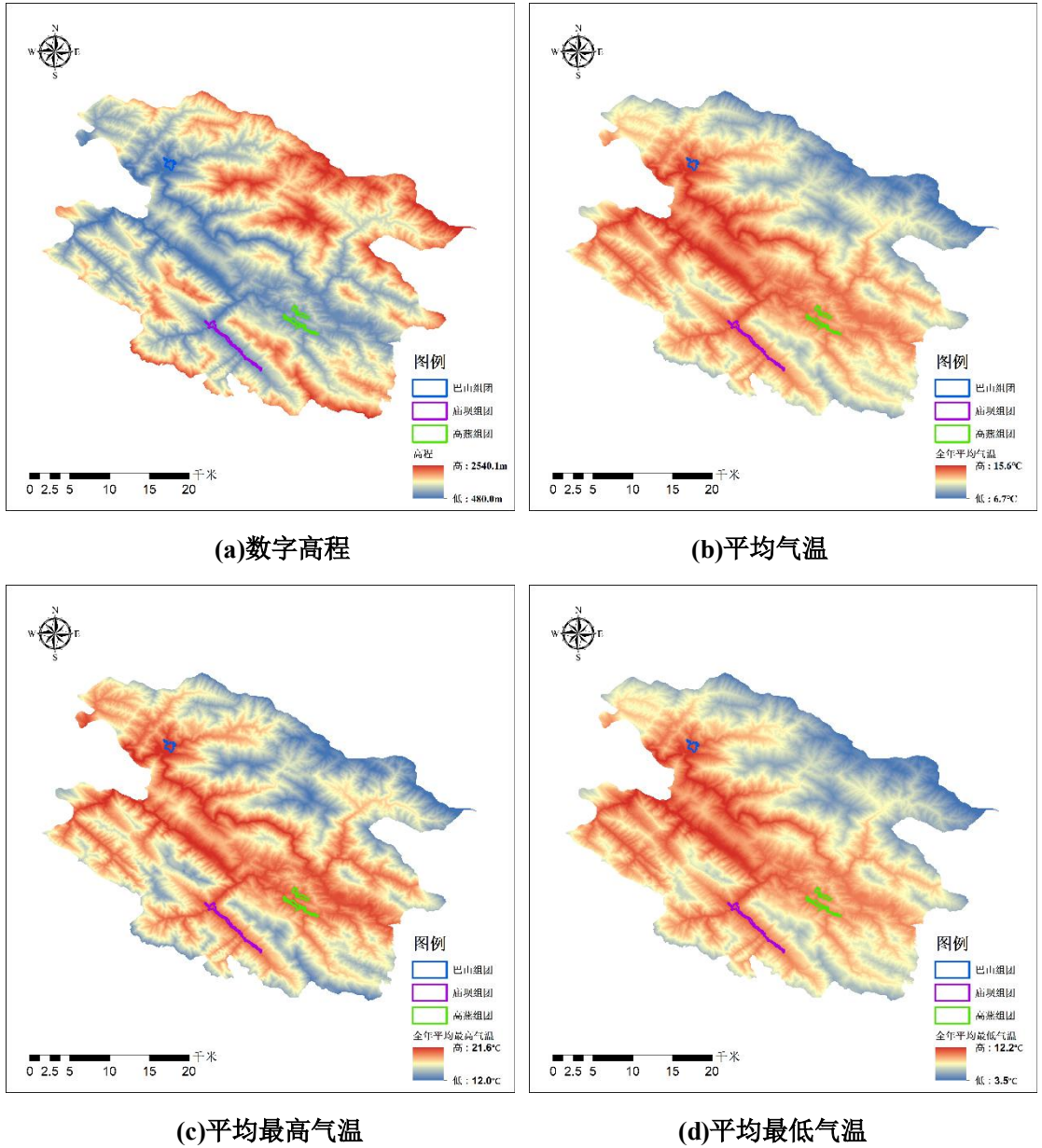


图 5.25 PRISM 气温插值结果

表 5.37 城口县工业园区各组园四季及年平均气温、平均最高气温和平均最低气温

要素		春季	夏季	秋季	冬季	全年
园区						
巴山组团	平均气温(°C)	15.5	24.7	15.4	5.2	14.7
	平均最高气温(°C)	22.9	32.3	20.3	10.2	21
	平均最低气温(°C)	11.3	20.7	12.9	2.3	11.2
高燕组团 A 区	平均气温(°C)	14.1	23	14.1	3.8	13.9
	平均最高气温(°C)	21.5	30.6	19.4	9.1	20.3
	平均最低气温(°C)	9.8	19	11.2	0.7	10.3
高燕组团 B 区	平均气温(°C)	13.8	22.7	13.8	3.5	13.7
	平均最高气温(°C)	21.2	30.2	19.2	8.8	20
	平均最低气温(°C)	9.4	18.7	10.9	0.4	10.1

园区	要素	春季	夏季	秋季	冬季	全年
庙坝组团	平均气温(°C)	14.4	23.4	14.3	4	14.2
	平均最高气温(°C)	21.7	31.1	19.5	9	20.3
	平均最低气温(°C)	10.1	19.4	11.6	1	10.7

5.6 供暖通风与空气调节设计相关气象参数

建筑供暖通风与空气调节设计气象参数是暖通空调行业进行负荷计算和设备选型的基础设计参数，是影响空调系统整体性能优劣的先决条件。如果参数过于保守，将会导致不必要的投资和较低的运行效率，造成能源浪费；如果参数过于苛刻，设备或系统的运行则会受到影响，同时可能无法满足室内对温度和湿度的控制要求。因此，适宜的建筑供暖通风与空气调节设计气象参数对设备运行效率、人体舒适度和建筑节能等都至关重要。

建筑供暖通风与空气调节设计气象参数与气候条件密切相关，建筑供暖通风与空气调节设计气象参数统计年份的选取也十分重要。年份取得长，气象参数的稳定性好，数据更有代表性，但是由于全球变暖，环境温度攀升，统计年份选取过长则不能完全切合实际需求根据；年份取得短，虽然在一定程度上更贴近实际气温变化趋势，但是会放大极端天气对设计参数的影响。从气象的角度，30年是比较有代表性的观测统计期，且《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范(GB50019-2015)》和《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范(GB50736-2012)》中都推荐使用30年的统计年份。不足30年者，也可按实有年份采用，但不得少于10年。近几十年在全球变暖的背景下，城口县工业园区气候也发生了明显的变化。因此，本节利用参证站的逐小时、逐日和逐月的气温和相对湿度数据计算夏季空调室外计算干球温度、夏季空调室外计算日平均温度、夏季通风室外计算温度、夏季通风室外计算相对湿度、冬季通风室外计算温度、供暖室外计算温度和冬季空调室外计算温度这7个供暖通风与空气调节设计气象参数。

5.6.1 冬季空调和供暖参数

冬季空调和供暖参数包括冬季空调室外计算温度和供暖室外计算温度这2个供暖通风与空气调节设计气象参数。冬季空调室外计算温度主要用于计算新风负荷和围护结构传热，用于指导空调设计负荷，温度升高（降低）使得冬季空调设计负荷降低（升高）。供暖室外计算温度主要用于计算锅炉，尤其是集中采暖

锅炉的燃料定额，从而确定其供热容量。供暖室外温度升高（降低）使得供暖燃料定额降低（升高）。以上 2 个参数的具体计算方法如下：

(1) 冬季空调室外计算温度：采用累年平均每年不保证 1d 的日平均温度；

(2) 供暖室外计算温度：采用累年平均每年不保证 5d 的日平均温度，即日平均温度低于采暖室外计算温度的天数不大于 5d。

历年：逐年，特指整编气象资料时，所采用的以往一段连续年份的每一年。

累年：多年，特指整编气象资料时，所采用的以往一段连续年份的累计。

根据上述方法计算出参证站冬季空调和供暖参数如表 5.38 所示，参证站供暖室外计算温度为 -0.1°C ，冬季空调室外计算温度为 -1.9°C 。

表 5.38 冬季空调和供暖参数值

供暖室外计算温度($^{\circ}\text{C}$)	冬季空调室外计算温度($^{\circ}\text{C}$)
-0.1	-1.9

5.6.2 夏季空调参数

夏季空调参数包括夏季空调室外计算干球温度和夏季空调室外计算日平均温度这 2 个供暖通风与空气调节设计气象参数。夏季空调室外计算干球温度可以影响围护结构传热和设备冷却效果，主要用于确定新风负荷。夏季空调室外计算干球温度的升高，将导致新风负荷增加，使室内的制冷能耗增加，不利于节能工作。同时，原有供冷设备选型供冷量偏低，在室外温度升高的同时，增加了设备负荷，将使设备容量难以符合负荷增加的需求，设备的使用存在一定的安全风险。以上 2 个空气室外参数的具体计算方法如下：

(1) 夏季空调室外计算干球温度：采用累年平均每年不保证 50h 的干球温度；

(2) 夏季空调室外计算日平均温度：采用累年平均每年不保证 5d 的日平均温度。

历年：逐年，特指整编气象资料时，所采用的以往一段连续年份的每一年。

累年：多年，特指整编气象资料时，所采用的以往一段连续年份的累计。计算夏季空调室外计算干球温度所需要的近 10 年逐小时气温数据。

根据上述方法计算出参证站冬季空调和供暖参数如表 5.39 所示，参证站夏季空调室外计算干球温度为 34.2°C ，夏季空调室外计算日平均温度为 27.3°C 。

表 5.39 夏季空调参数值

夏季空调室外计算干球温度(°C)	夏季空调室外计算日平均温度(°C)
34.2	27.3

5.6.3 夏季和冬季通风参数

夏季和冬季通风参数包括夏季通风室外计算温度、夏季通风室外计算相对湿度和冬季通风室外计算温度这 3 个供暖通风与空气调节设计气象参数。通风分为卫生通风和热舒适通风。供暖、空调只是部分时间、部分建筑的补充需要，通风不仅是建筑的基本需求，也是建筑节能的关键。冬夏季通风是建筑节能的主要手段之一。通风室外计算温度可以确定通过通风可以消除多少余热，而相对湿度与人体舒适度有直接关系，进而影响到通风行为以及通风效果。以上 3 个空气室外气象参数的具体计算方法如下：

- (1) 夏季通风室外计算温度：采用历年最热月 14:00 平均温度的平均值；
- (2) 夏季通风室外计算相对湿度：采用历年最热月 14:00 平均相对湿度的平均值；
- (3) 冬季通风室外计算温度：采用历年最冷月月平均温度的平均值。

历年：逐年，特指整编气象资料时，所采用的以往一段连续年份的每一年。

累年：多年，特指整编气象资料时，所采用的以往一段连续年份的累计。

根据上述方法计算出参证站夏季和冬季通风参数如表 5.40 所示，参证站夏季通风室外计算温度为 30.1°C，夏季通风室外计算相对湿度为 57.7%，冬季通风室外计算温度为 2.9°C。

表 5.40 夏季和冬季通风参数值

夏季通风室外计算温度(°C)	夏季通风室外计算相对湿度 (%)	冬季通风室外计算温度(°C)
30.1	57.7	2.9

5.7 建筑物防雷设计相关参数

5.7.1 建筑物年预计雷击次数校正系数

建筑物年预计雷击次数 N 是防雷设计中非常重要的关键参数，它表征该项目一年时间中可能遭受雷击直接击中的次数，按如下公式计算：

$$N = k \times N_g \times A_e$$

式中：

N ——建筑物年预计雷击次数（次/a）；

k ——校正系数；

N_g ——建筑物所处地区雷击大地的年平均密度（次/km²/a）；

A_e ——与建筑物截收相同雷击次数的等效面积（km²）。

校正系数 k 用来表征环境影响，该参数与园区所处环境紧密相关。根据 GB50057-2010 建筑物防雷设计规范和城口县工业园区周边环境的勘探，确定城口县工业园区校正系数为 1，无特殊变化。

5.7.2 雷击大地的年平均密度

雷击大地密度（ N_g ）是进行防雷设计和防雷管理的重要参数之一。传统方法中，通常采用当地气象部门提供的所在城市的年平均雷暴日（ T_d ）来计算评估点的 N_g 值，而雷击分布受地理、地质、土壤、气象、环境等诸多因素的影响，因此，在一个城市甚至一个地区都取相同的 N_g 值的做法存在一定的局限性。统计分析以园区中心为圆心 10km 范围内的雷电监测数据，得到城口县工业园区雷击大地密度平均值为 3.0 次/(年*平方公里)。

6 专题影响评估

6.1 暴雨灾害风险评估与区划

暴雨灾害风险评估采用风险矩阵法对评估区域的整体风险水平的评估，风险区划为在风险评估的基础上对风险的更加精细的划分。

6.1.1 暴雨灾害风险评估

6.1.1.1 暴雨风险识别

(1) 资料与数据

本节暴雨灾害风险评估采用的资料与数据包括：参证站建站以来逐日降水量、逐时降水量观测数据。

(2) 暴雨特征分析

城口县属北亚热带山地气候，具有山区立体气候的特征。根据参证站资料分析暴雨季节较长，集中在相对多雨的 4~10 月，随着夏季风的爆发，5 月暴雨次数有了一个明显的增加，到 6 月和 7 月达到峰值，10 月份有较为明显的下降。

根据参证站资料分析，多年平均降水量 1231.0mm，汛期（4~10 月）降水量占全年降水的 86.8%，4~6 月是第一个多雨季节，称前汛期，主要是锋面低槽带来的降水，降水量为 403.4mm，占全年降水量的 32.8%。7~10 月份为第二个多雨季节，称后汛期，主要是热带气旋、热带辐合带等带来的降水，降水量在 664.7mm，占全年降水量的 54.0%。11 月份开始，降水明显减少。

根据资料统计，1990~2019 年，城口县工业园区参证站共出现暴雨日数 117 天，年平均暴雨日 3.9 天，其中 2000 年多达 9 天。暴雨主要集中于 4~10 月，从统计数据上来看 4 月份仅出现过 1 次暴雨。7 月最多，平均暴雨日数 1 天。大暴雨最多出现在 7 月，为 5 次，2010 年 7 月 8 日出现大暴雨，降水量达到 125mm。暴雨量的年际变化相对较大。1990~2019 年，年均暴雨量 69.9mm，一年中出现暴雨的最早日期是 4 月 20 日（2010 年），最晚日期是 10 月 31 日（1996 年）。

(3) 暴雨风险源与隐患分析

暴雨引发的积涝和洪水可对建筑、水利工程、交通、电力等城市基础设施和人民的命财产安全产生危害，并造成重大损失并影响正常的社会秩序。对于本

报告风险评估的对象城口县工业园区而言，暴雨灾害可能造成的影响主要包括以下几方面：

- 1) 暴雨造成的积水可能造成工业园区露天停车场车辆等受损。
- 2) 暴雨可能引发工业园区周边的山体滑坡，造成厂区内道路损毁甚至引发人员伤亡。
- 3) 暴雨可能造成工业园区内办公大楼一楼的办公设备遭水浸而损坏。
- 4) 暴雨引发的内涝可能损坏工业园区内物流货物遭水淹导致损毁。
- 5) 暴雨可能造成工业园区内厂房一楼设施的损坏。
- 6) 暴雨可能造成工业园区内变压器室电力设施的损坏。

6.1.2.1 暴雨灾害风险评估

(1) 暴雨灾害风险评估方法

暴雨灾害风险评估方法采用中华人民共和国国家标准 GB/T 27921-2011《风险管理风险评估技术》中的风险矩阵法对本项目的暴雨灾害风险通过评估和分级，具体方法详见附录 A。暴雨灾害事件发生可能性的计算以项目选取的参证气象站降水历史观测数据为基础，使用数理统计方法对降水极值概率分布函数进行拟合，进一步求出降水量超过特定值的概率。

(2) 暴雨发生的可能性评估

根据城口县工业园区气象参证站的分析，全年都可能出现暴雨，4~10 月出现次数较多。1990~2019 年，参证气象站共录得 117 次暴雨以上降水，其中 12 次为大暴雨（日雨量 $\geq 100\text{mm}$ ），无特大暴雨（日雨量 $\geq 250\text{mm}$ ）；平均每年发生暴雨以上强降水的次数为 3.9 次（表 6.1）。2010 年 7 月 18 日参证气象站出现大暴雨降水过程，参证气象站录得 125.0mm 大暴雨。

表 6.1 参证站暴雨发生强度分析表

站号	暴雨发生的强度指标		
	平均雨强（mm/天）	暴雨日雨量极值（mm）	平均每年发生暴雨次数
57333	69.9	125.0	3.9

城口县工业园区地处峡谷区域，地理位置较为复杂，且地形狭长，园区面积狭小，周边地势陡峭，受短历时强降水影响较大，参证站的日降水量超过特定值的概率并不能很好的代表该区域暴雨灾害发生的可能性。本节根据重庆市城乡建

设委员会 2017 年 8 月发布的最新版城口县暴雨强度公式, 计算 1h 不同重现期降水量如表 6.2 所示:

表 6.2 参证站 1h 不同重现期降水量

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
降水量(mm)	29.4	33.3	36.1	45.1	51.9	55.8	60.8	67.6

根据园区周边历史暴雨灾情记录, 综合考虑园区特殊的地形条件, 本报告认为当 1h 降水量超过 40mm, 可能对本项目所评估的城口县工业园区内企业造成影响, 因此以 1h 降水量 $\geq 40\text{mm}$ 作为暴雨灾害事件, 并结合参证气象站 1h 雨量的概率分布函数, 计算得出本项目所在区域发生暴雨灾害事件的概率大于等于 0.1 小于 0.5。按照表 A.1 给出的灾害风险可能性等级分值划分, 城口县工业园区区域暴雨灾害发生的可能性等级为 **2 级**, 即**很可能发生**。

(3) 暴雨发生的后果损失评估

按照城口县工业园区现有的排涝设计, 暴雨有引发厂区内积涝的可能性, 部分露天设备、露天停车场等有可能会遭遇水浸发生故障。暴雨可能造成厂房周边山体滑坡, 厂房内道路因此会受损, 甚至造成人员受伤。

暴雨可能造成园内厂区内变压器室电力设施的损坏。

暴雨可能造成园内厂房一楼设施的损坏。

办公大楼主要注意暴雨引发积水对于一楼办公设备的损坏。

综合考虑上文所述各种情形, 结合 A.3 暴雨灾害事件造成后果分析等级划分, 确定暴雨灾害对城口县工业园区可能造成后果的等级为 **1 级**。

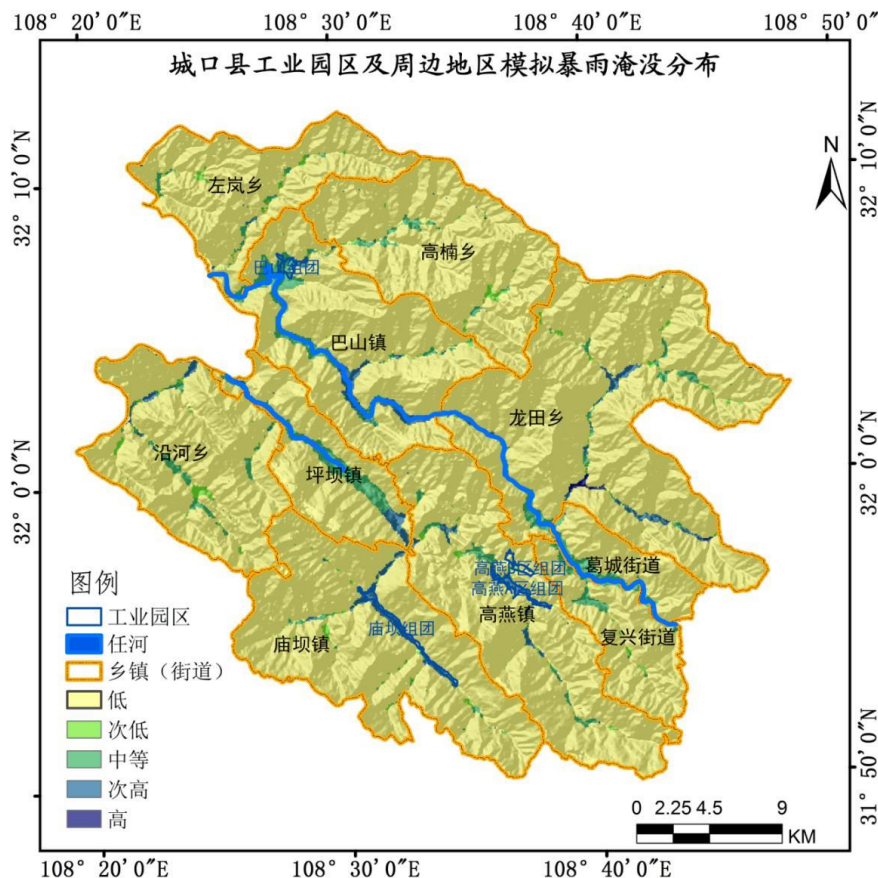
(4) 暴雨风险水平的确定

综合城口县工业园区暴雨灾害发生的可能性等级和后果等级, 参照“表 A.4 灾害风险分级矩阵”, 城口县工业园区的暴雨风险为**高风险**。

6.1.2 暴雨灾害风险区划

气象灾害风险区划是指气象气候条件产生不利影响可能性的空间区域划分。气象灾害风险区划的目的是为了防灾减灾, 哪些地区是气象灾害高风险区, 不适合建居民点、开发区和工程, 为防灾工程的设计标准提供科学依据, 以防御灾害风险的发生。

6.1.2.1 暴雨灾害致灾因子危险性



6.1.2.2 暴雨灾害承灾体暴露性

暴雨灾害承灾体暴露性是指可能受到暴雨威胁的社会经济和自然环境系统主体。一个地区暴露于暴雨灾害危险因素的价值密度越高，可能遭受的潜在损失也就越大，风险也越高。根据 DB50/T 583.1-2015 气象灾害风险评估技术规范，承灾体暴露性主要选取人口密度和经济密度作为评估指标，权重占比各占 0.5。人口密度和经济密度分别为区域内人口总数和国内生产总值与区域总面积之比，人口密度和经济密度越高的地区，可能遭受的损失越大，暴露性越高。

运用 GIS 空间分析功能，承灾体暴露性依据自然断点法划分为 5 个脆弱性等级，依次为低、次低、中等、次高、高等 5 个危险区，对应的值依次为 0.50~0.52、0.52~0.57、0.57~0.63、0.63~0.74 和 0.74~0.92，得出城口县工业园区及周边地区暴雨灾害承灾体暴露性区划图（图 6.2）。

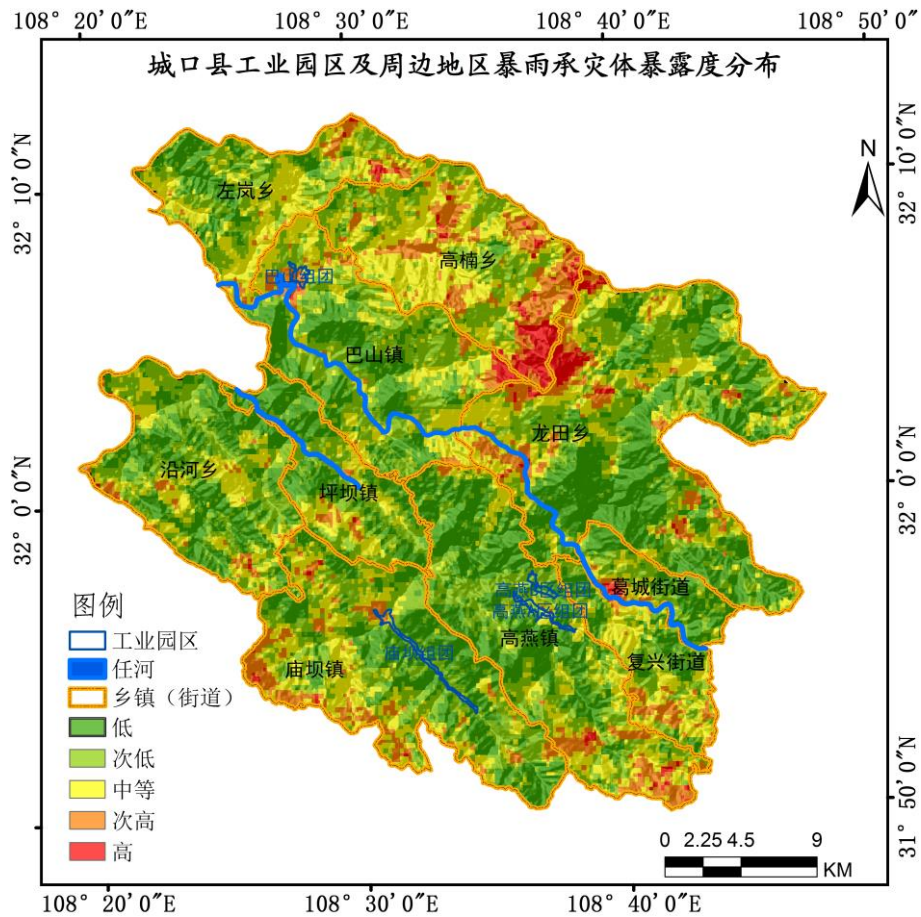


图 6.2 城口县工业园区及周边地区暴雨灾害承灾体暴露性分布

6.1.2.3 暴雨灾害承灾体脆弱性

承灾体脆弱性是指衡量自然环境发生灾害可能性大小的因子，是地貌、水文等各种自然因素和社会经济因素对暴雨灾害影响的敏感度和适应能力的综合反

映。在同等致灾强度下，承灾体脆弱性高低具有放大或者缩小灾情的作用。因此，承灾体脆弱性越高，暴雨灾害风险也越大。根据自然环境对暴雨灾害的影响能力，并结合重庆地区的孕灾环境，主要选取地形坡度和河网密度作为承灾体脆弱性评价指标，权重占比各占 0.5。在地心引力作用下，地表径流向低洼地区汇聚，因此地形坡度越大，越容易发生暴雨洪涝。河网密度是流域结构性特征的重要指标，反映了流域地形切割程度，决定了该流域能承受暴雨洪涝能力的强弱。河网密度越高，产生暴雨洪涝灾害的可能性越大，危险性越大。反之危险性越小。

运用 GIS 空间分析功能，并利用自然断点法将承灾体脆弱性指数划分为 5 个脆弱区，依次为低、次低、中等、次高、高等 5 个等级，对应的值依次为 0.25~0.40、0.40~0.44、0.44~0.47、0.47~0.50 和 0.50~0.67，得出城口县工业园区及周边地区暴雨灾害承灾体脆弱性分布图（图 6.3）。

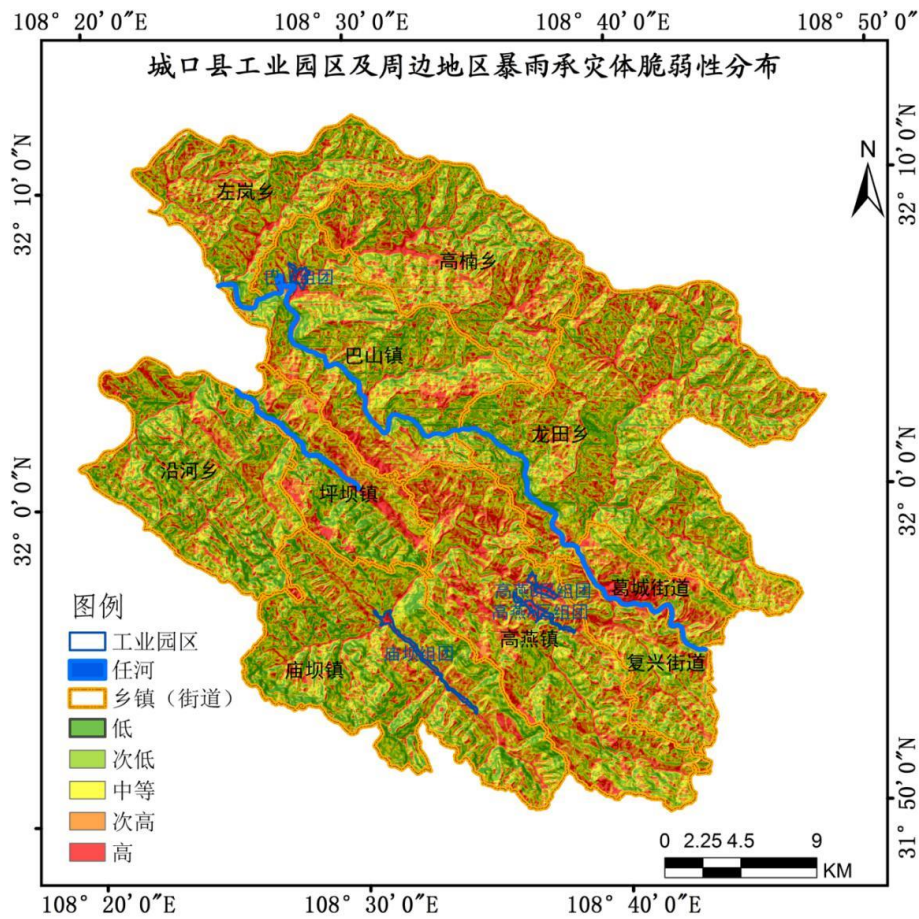


图 6.3 城口县工业园区及周边地区暴雨灾害承灾体脆弱性分布

6.1.2.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力是指灾害风险评估区对暴雨灾害的抵御和恢复能力，是通过采取工程和非工程性措施来抵御和应对暴雨灾害所造成损失和破坏的能力，与地方

经济发展水平呈正相关。根据 DB50/T 583.1-2015 气象灾害风险评估技术规范，防灾减灾能力主要考虑人均 GDP 和植被指数作为评价指标，权重占比各占 0.5。人均 GDP 越高经济越发达地区，防灾减灾的工程和非工程性措施数量相对越多，暴雨抗灾能力相对较强。植被指数越高，覆盖越高越广，涵养水源的能效越强。

基于 GIS 空间分析功能，利用自然断点法防灾减灾能力划分为 5 个能力区，分别为低、次低、中等、次高、高等 5 个防灾减灾能力等级，对应的值依次为 0.50~0.63、0.63~0.67、0.67~0.70、0.70~0.75 和 0.75~0.94，得出城口县工业园区及周边地区暴雨灾害防灾减灾能力分布图（图 6.4）。

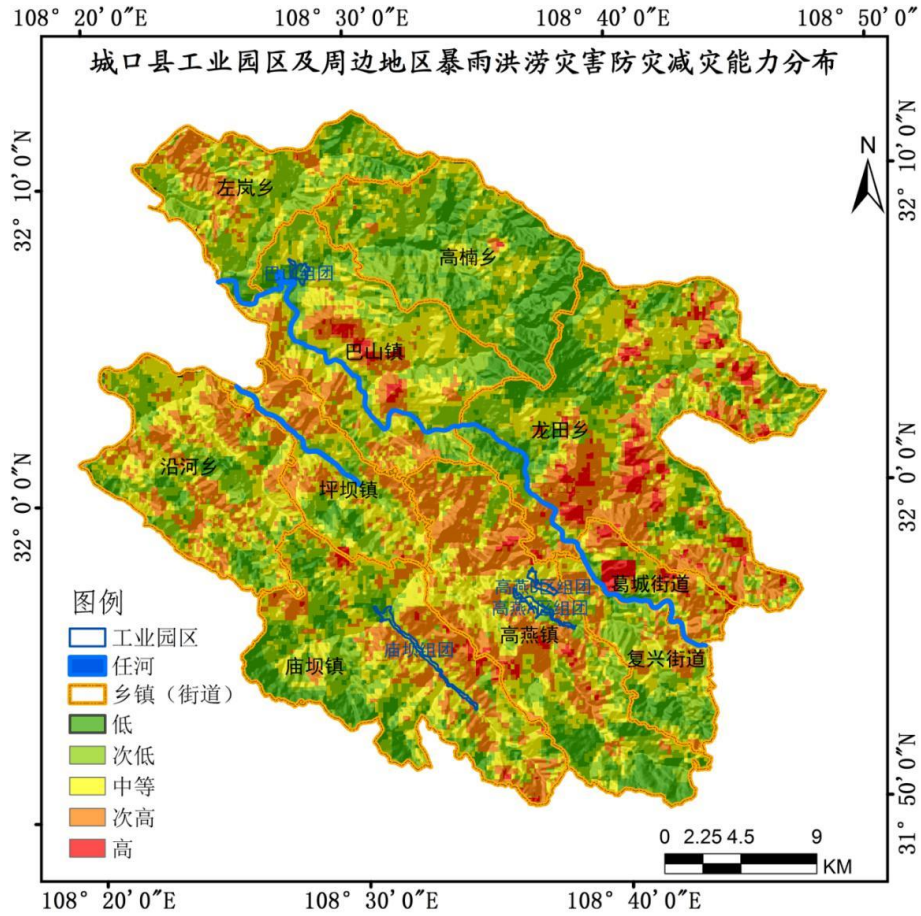


图 6.4 城口县工业园区及周边地区暴雨灾害防灾减灾能力分布

6.1.2.5 暴雨灾害风险区划

在定量分析暴雨致灾因子危险性、承灾体脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力的基础上，根据暴雨灾害风险评估模型综合风险值将城口县工业园区内暴雨灾害风险区划分为低、次低、中等、次高、高等 5 个风险等级区，对应的值依次为 0.39~0.47、0.47~0.48、0.48~0.49、0.49~0.50 和 0.50~0.61，运用 GIS 软件并结合自然断点法得出城口县工业园区及周边地区暴雨灾害综合风险等级分布图（图

6.5)。从图中可以看出，城口县工业园区各组团暴雨灾害风险分布略有不同。巴山组团整体暴雨灾害风险等级为高风险；庙坝组团西北区域暴雨灾害风险等级为高风险，且风险分布由西北向东南逐渐降低；高燕组团 A 区中部区域暴雨灾害风险等级相比其余地区较高且风险等级为高风险。园区各组团地处峡谷区域，地理位置较为复杂，且地形狭长，暴雨和强降水诱发泥石流、滑坡、崩塌等山洪地质灾害风险较大。

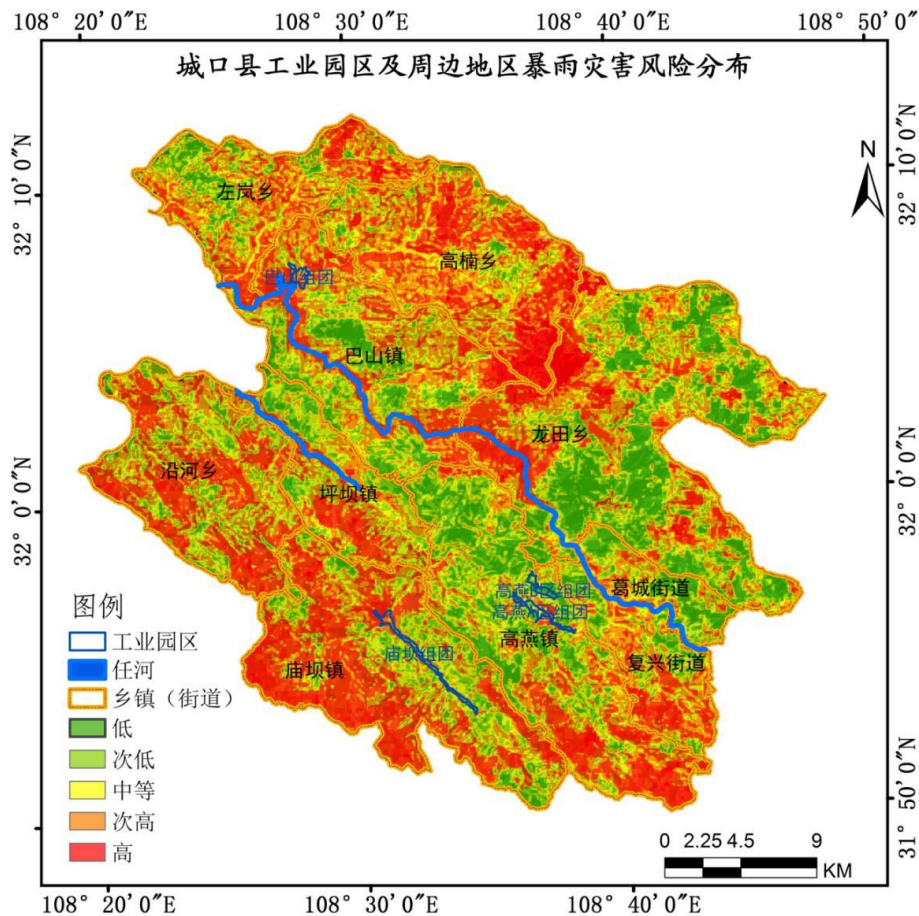


图 6.5 城口县工业园区及周边地区暴雨灾害风险分布

6.1.3 暴雨风险对策、措施与建议

城口县工业园区应针对暴雨灾害天气风险建立防御的工程性和非工程性控制措施（表 6.3）。

表 6.3 城口县工业园区应对暴雨灾害性天气事件引发安全事故的控制措施表

措施类别	应采取的控制措施
预防措施	1.将防御暴雨灾害的安全气象保障工作纳入本园区安全稳定工作，层层分解落实城口县工业园区安全气象保障工作目标任务和责任； 2.每年组织一次有关专家开展城口县工业园区暴雨气象灾害隐患排查工作，并且发现隐患都及时治理；

	3.明确负责安全稳定的领导分管暴雨气象灾害防御工作，并纳入了城口县工业园区应急值班范畴。 4.开展暴雨气象防灾减灾知识和避险自救技能科普宣传。 5.建立手机安全气象预警预报信息接收终端，接到预警预报信息，及时采取相关防范措施。 6.园区内建筑物及排水系统应符合防御暴雨气象灾害的相关要求
减轻事故后果的应急措施	1.制定防御暴雨气象灾害的应急预案； 2.明确气象灾害应急避难场所； 3.储备防御暴雨气象灾害应急物资； 4.建立防御暴雨气象灾害工作档案，以便出灾之后查阅，采取有效措施。

(1) 城口县工业园区存在高暴雨风险，需要注意防御暴雨灾害。建议充分考虑工业园区所在区域暴雨多发的特点，适当定期检查排水系统，定期检查排水管道是否畅通，尽可能降低强降水引发积涝的可能，对于气象局发布的暴雨预警信号要密切关注。在气象局发布暴雨预警信号后，要立即进行隐患排查并做出相应的治理。对于暴雨灾害隐患，重点除了日常的排查外，还应在每年汛期来临前，一般在4月份之前，进行一次全面的暴雨灾害隐患排查和治理。调研城口县工业园区周边内涝隐患情况，提高暴雨引发的积涝灾害的防御能力。此外，园区各组团地处峡谷区域，地理位置较为复杂，且地形狭长，暴雨和强降水诱发泥石流、滑坡、崩塌等山洪地质灾害风险较大，园区应充分考虑灾害发生的可能性，加强防范。建议在工业园区主要隐患点增加警示标牌并在园区内增设气象电子显示屏，及时接收气象局发布的暴雨预警信号。

(2) 制定针对暴雨灾害的应急预案，建立各级防汛责任制，定期对厂房、办公大楼的渗漏水及雨水倒灌风险隐患进行排查；城口县工业园区防汛办公室负责气象预警信号和天气动态预报信息的接收，密切与气象局等政府部门进行沟通，及时通过文件、电视、网站、手机、传真、微信等渠道获取最新气象信息。工业园区相关人员在接收到气象局的预报或区防汛防台抗旱指挥部的灾情信息后，立即向园区管委会报告。城口县工业园区办公室不定期检查各部门的学习和演练情况，每年至少组织一次联合演习和针对性的学习。同时积极参加当地政府组织的应急救援演练。

(3) 城口县工业园区全年4~10月均有可能出现暴雨，其中在5~9月出现次数较多。在全球变暖、极端天气气候事件多发的背景下，非汛期同样可能出现极端的强降水，除了在汛期做好暴雨防御工作之外，非汛期也需要警惕暴雨发生的可能，避免因防灾减灾意识松懈带来风险隐患。

(4)要注意短历时强降水过程对城口县工业园区内需重点关注的风险源的影响。

6.2 低温灾害风险评估与区划

低温灾害风险评估采用风险矩阵法对评估区域的整体风险水平进行评估,风险区划为在风险评估的基础上对风险进行更加精细的划分。

6.2.1 低温灾害风险评估

6.2.1.1 低温风险识别

(1) 资料与数据

本报告低温灾害风险评估采用的资料与数据包括:参证站建站以来逐日极端最低气温观测数据。

(2) 低温风险源与隐患分析

低温危害可分为直接危害和间接危害,直接危害包括低温导致的冻伤等,间接危害包括低温导致感冒,道路结冰,取暖设备导致火灾等。对于本报告风险评估的对象而言,低温灾害可能造成的影响主要包括以下几方面:

1) 持续低温影响城口县工业园区正常生产活动。低温灾害对于城口的高海拔地区是发生频率高、影响范围广和(危害)程度大的气象灾害之一。其中最主要的低温可能导致道路结冰,影响车辆的正常通行,以及造成的生产中断、生活工作失常而造成的财富损失,主要包括工矿停产、商业停业、交通、通讯中断。

2) 持续低温对工业园区内工人健康造成不利影响,体弱者容易出现感冒等情况。低温会导致流感发病率增高,人们为了保暖可能会使用大功率取暖设备,会增加因大功率电器导致的火灾或者是导致电线烧断引发停电等各种事故。

6.2.1.2 低温灾害风险评估

(1) 低温灾害风险评估方法

本报告采用中华人民共和国国家标准 GB/T 27921-2011《风险管理 风险评估技术》中的风险矩阵法对城口县工业园区的低温灾害风险通过评估和分级。灾害风险分级由灾害风险事件发生的可能性和产生的后果来决定。低温灾害事件发生可能性的计算以项目选取的参证站建站以来逐日最低气温观测数据为基础,使用数理统计方法对低温概率分布函数进行拟合,进一步求出极端低温超过特定值的概率。

(2) 低温发生的可能性评估

利用城口县工业园区参证气象站建站以来的年逐日极端最低气温资料建立评估序列，采用 Gumble 分布、指数分布、三参数的对数正态分布、三参数的韦布尔分布和 Pearson-III 型分布对该站极端气温进行了概率分布拟合，并检验筛选最优模型。结果表明，采用皮尔逊 III 概率分布函数为最优模型。计算得到参证气象站不同重现期极端最低气温，见表 6.4。

表 6.4 参证站不同重现期极端最低气温

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
极端最低气温(°C)	-5.4	-6.1	-7.0	-8.2	-9.5	-10.1	-11.5	-12.9

结合参证站历史低温灾情记录，综合考虑企业的特性，本报告认为当日极端最低气温 $\leq -5^{\circ}\text{C}$ ，即发生中度低温，可能对本项目所评估的城口县工业园区内企业造成影响，因此以日极端最低气温 $\leq -5^{\circ}\text{C}$ 作为低温灾害事件，并结合参证气象站日极端最低气温的概率分布函数，计算得出本项目所在区域发生低温灾害事件的概率大于 0.5。按灾害风险可能性等级分值划分，城口县工业园区区域低温灾害发生的可能性等级为 **1 级**，即**极可能发生**。

(3) 低温发生的后果损失评估

- 1) 持续低温影响工业园区正常生产活动。
- 2) 持续低温对园区内工人健康造成不利影响，体弱者容易出现流感等情况。
- 3) 低温天气可能导致道路结冰引发园区货运车辆在行驶过程中溜滑，引发安全事故。
- 4) 低温使园区的取暖设备增加导致用电隐患增加，容易引发安全事故。

综合考虑上文所述各种情形，结合灾害事件造成后果分析等级划分，确定低温灾害对城口县工业园区可能造成后果的等级为 **4 级**。

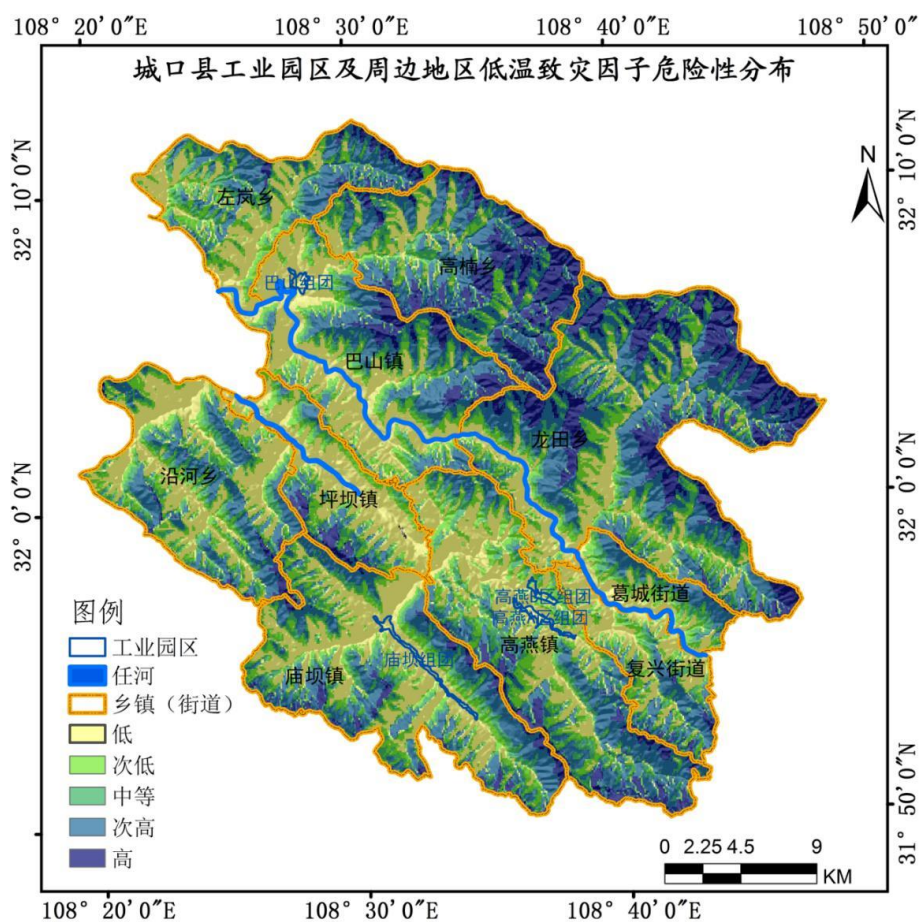
(4) 低温风险水平的确定

综合城口县工业园区低温灾害发生的可能性等级和后果等级，参照“灾害风险分级矩阵”，城口县工业园区的低温风险为**高风险**。

6.2.2 低温灾害风险区划

从整体上来说城口县工业园区低温灾害风险水平为高风险，但是在整个评估区域内的低温灾害风险分布略有不同。根据 DB50/T 583.4-2015 气象灾害风险评

6.2.2.1 低温灾害致灾因子危险性



6.2.2.2 低温灾害承灾体暴露性

运用 GIS 空间分析功能，承灾体暴露性依据自然断点法划分为 5 个脆弱性等级，依次为低、次低、中等、次高、高等 5 个等级，对应的值依次为 0.47~0.52、0.53~0.59、0.59~0.65、0.65~0.71 和 0.71~0.85，得出城口县工业园区及周边地区低温承灾体暴露性分布图（图 6.7）。

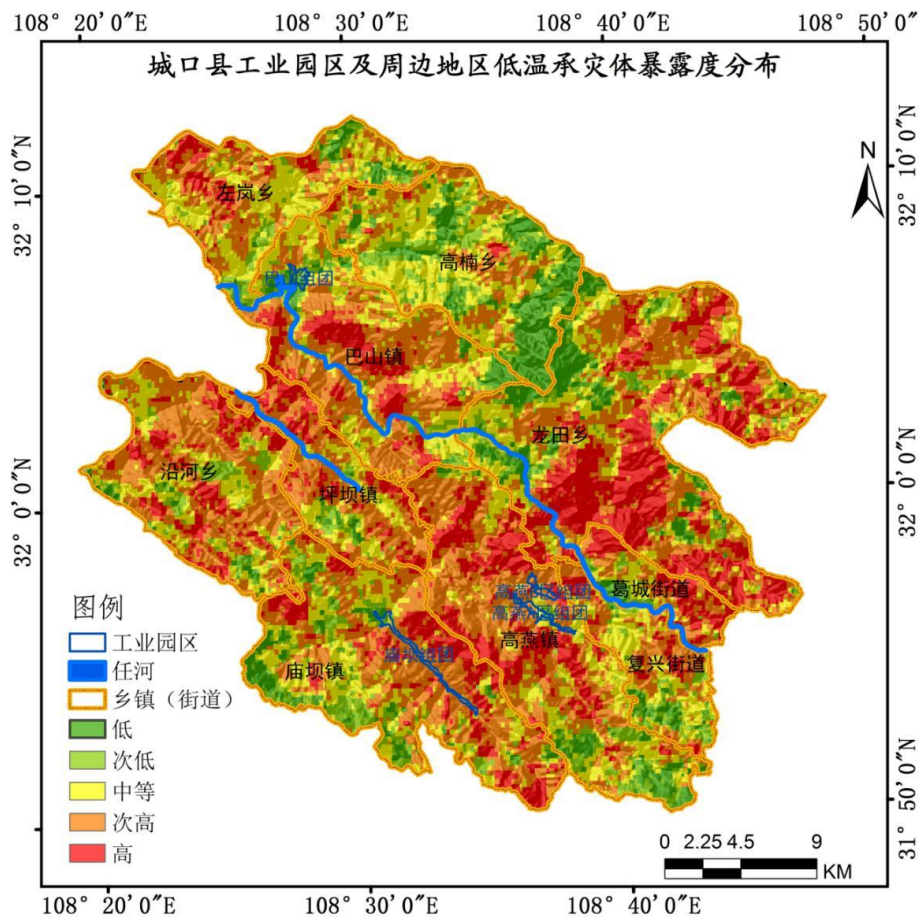


图 6.7 城口县工业园区及周边地区低温承灾体暴露度空间分布

6.2.2.3 低温灾害承灾体脆弱性

承灾体脆弱性是指衡量自然环境发生灾害可能性大小的因子，是地貌、水文等各种自然因素和社会经济因素对低温灾害影响的敏感度和适应能力的综合反映。在同等致灾强度下，承灾体脆弱性高低具有放大或者缩小灾情的作用。因此，承灾体脆弱性越高，低温灾害风险也越大。根据自然环境对低温灾害的承受能力，并结合重庆地区的孕灾环境，主要选取海拔高度作为承灾体脆弱性评价指标。海拔越高，气温越低，其应对低温的脆弱性越高。

运用 GIS 空间分析功能，并利用自然断点法将承灾体脆弱性指数划分为 5 个等级，依次为低、次低、中等、次高、高等，对应的值依次为 0.25~0.40、0.40~0.44、

0.44~0.47、0.47~0.50 和 0.50~0.67，得出城口县工业园区及周边地区低温灾害承灾体脆弱性分布图（图 6.8）。

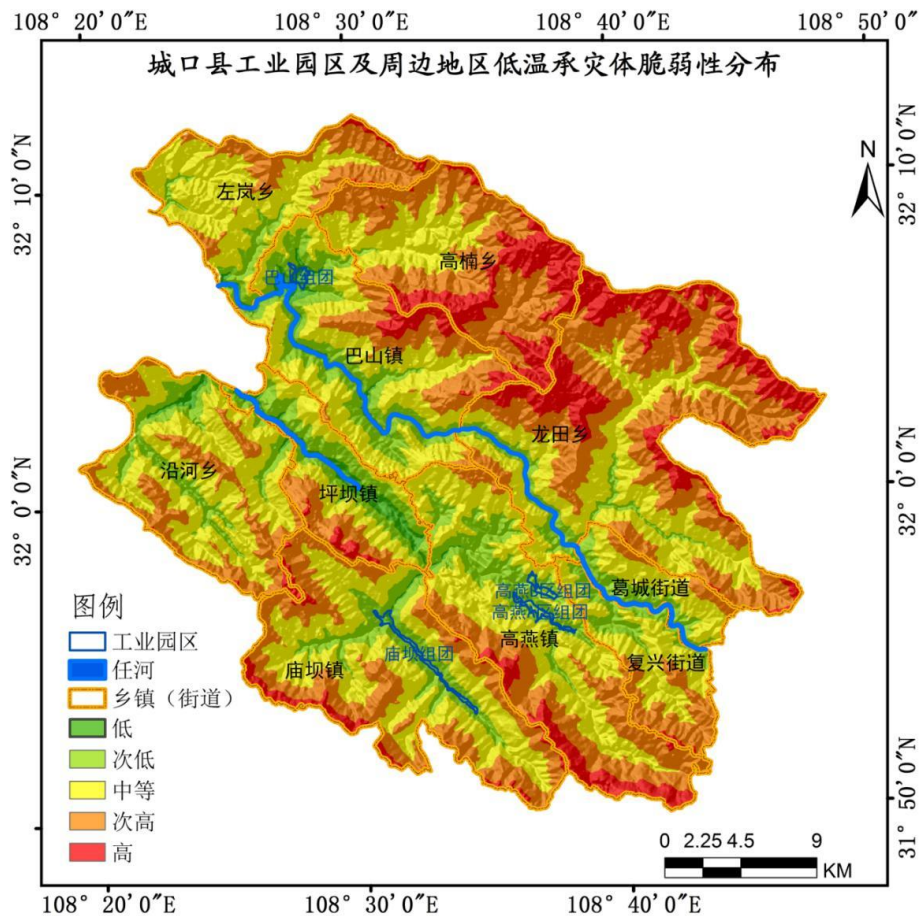


图 6.8 城口县工业园区及周边地区低温灾害承灾体脆弱性空间分布

6.2.2.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力是指受灾风险区对低温灾害的抵御和恢复能力，是通过采取工程和非工程性措施来抵御和应对低温灾害所造成损失和破坏的能力，与地方经济发展水平呈正相关。根据 DB50/T 583.4-2015 气象灾害风险评估技术规范，防灾减灾能力主要考虑人均 GDP 和植被指数作为评价指标，权重占比各占 0.5。人均 GDP 越高经济越发达地区，防灾减灾的工程和非工程性数量相对越多，应对低温的能力相对较强。植被指数越高，覆盖越高越广，抵御低温的能力越强。

基于 GIS 空间分析功能，利用自然断点法防灾减灾能力划分为 5 个等级，分别为低、次低、中等、次高、高等，对应的值依次为 0.50~0.63、0.63~0.67、0.67~0.70、0.70~0.75 和 0.75~0.94，得出城口县工业园区及周边地区低温灾害防灾减灾能力分布图（图 6.9）。

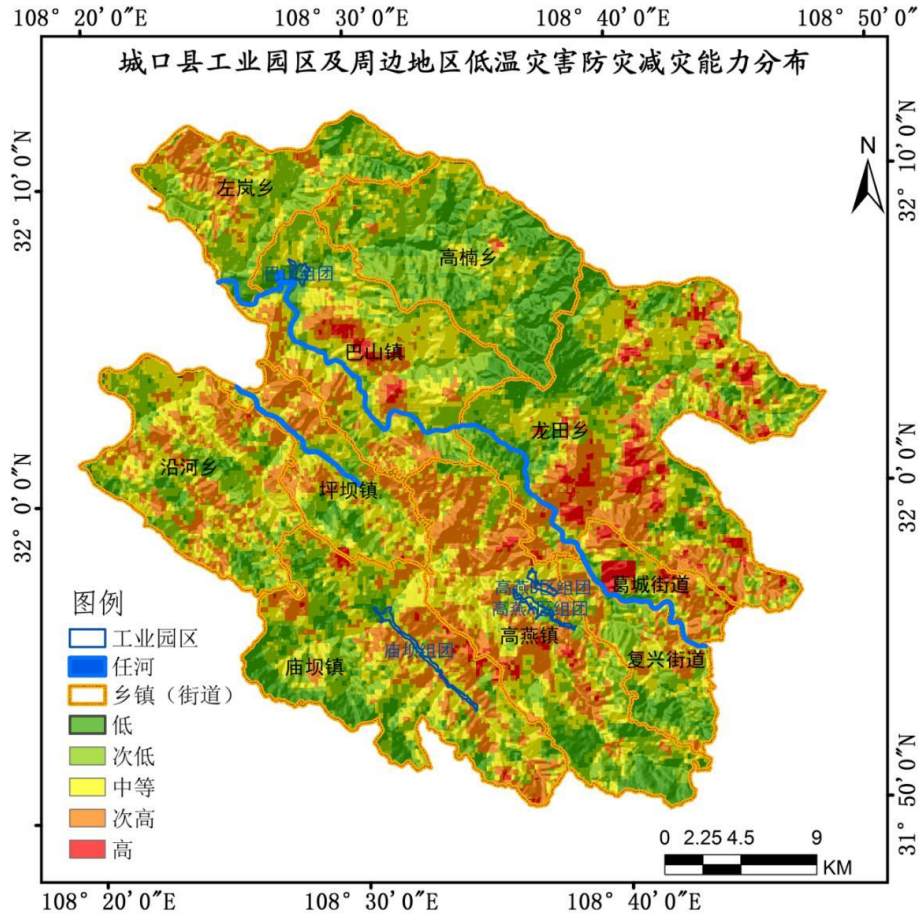
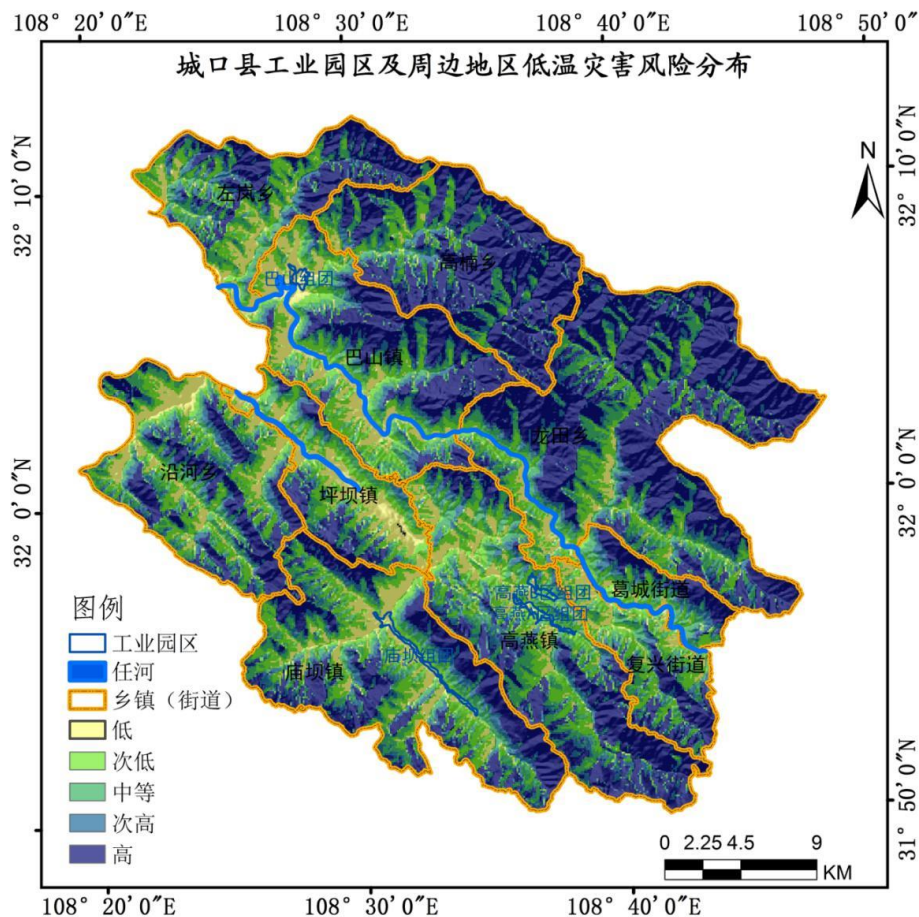


图 6.9 城口县工业园区及周边地区低温灾害防灾减灾能力分布

6.2.2.5 低温灾害风险区划

在定量分析致灾因子危险性、承灾体脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力的基础上,根据低温灾害风险评估模型计算得到城口县工业园区低温灾害风险分布,并将其划分为低、次低、中等、次高、高等 5 个等级,对应的值依次为 0.47~0.54、0.54~0.60、0.60~0.69、0.69~0.78 和 0.78~0.87,运用 GIS 软件并结合自然断点法得出城口县工业园区及周边地区低温灾害综合风险等级分布图(图 6.10)。从图中可以看出,城口县工业园区各组团低温灾害风险分布略有不同。城口县工业园区各组团地处峡谷区域,海拔高度较高,低温灾害显著。



6.2.3 低温风险对策、措施与建议

园区应针对低温灾害天气风险建立防御的工程性和非工程性控制措施（表 6.5）。

表 6.5 城口县工业园区应对低温灾害性天气事件引发安全事故的控制措施表

措施类别	应采取的控制措施
预防措施	1.将防御低温灾害的安全气象保障工作纳入本园区安全稳定工作，层层分解落实城口县工业园区安全气象保障工作目标任务和责任。 2.每年组织一次有关专家开展城口县工业园区低温气象灾害隐患排查工作，重点排查大功率取暖电器诱发火灾隐患，并且发现隐患都及时治理。 3.明确负责安全稳定的领导分管低温气象灾害防御工作，并纳入了城口县工业园区应急值班范畴。 4.开展低温气象防灾减灾知识和避险自救技能科普宣传，重点普及了解科普低温天气车辆行驶安全教育。 5.建立手机安全气象预警预报信息接收终端，接到低温预警预报信息。
减轻事故后果的应急措施	1.制定防御低温气象灾害的应急预案； 2.储备感冒药品和其他应急物资； 3.建立防御低温气象灾害工作档案，以便出灾之后查阅，采取有效措施。

(1) 低温来临前应及时针对园区工作人员进行通知，及时增添衣物，防止感冒或者流感的发生。加强安全用电和禁止使用大功率取暖设备宣传，防止因为电

线短路导致的火灾。出入园区的车辆应及时安装防滑轮胎，园区内设置道路结冰提醒牌，减少因道路结冰导致的安全事故。

(2) 建议在城口县工业园区内增设气象电子显示屏，及时接收气象局发布的低温预警信号。制定针对低温灾害的应急预案，积极参加当地政府组织的应急救援演练。

6.3 大风灾害风险评估与区划

大风灾害风险评估采用风险矩阵法对评估区域的整体的风险水平的评估，风险区划为在风险评估的基础上对风险的更加精细的划分。

6.3.1 大风灾害风险评估

6.3.1.1 大风风险识别

(1) 资料与数据

本报告大风灾害风险评估采用的资料与数据包括：参证站建站以来逐日极大风速观测数据。

(2) 大风灾害等级

参照中国气象局预测减灾司气预函〔2005〕47号关于下发《突发气象灾害预警信号发布业务规范》(试行)的通知和国家气象局地面天气观测规范以及浦福风力等级把大风灾害天气分为四个强度等级（表 6.6）。

表 6.6 大风灾害天气强度等级表

强度等级	名称	浦福风力等级	风速范围(m/s)	地物征象	预警信号
一级	一般大风	7	13.9-17.1	全树动摇，大树枝弯下来，迎风不行感觉不便	蓝色预警
二级	较严重大风	8	17.2-20.7	可折毁小树枝，人迎风前行感觉阻力甚大	蓝色或黄色预警
		9	20.8-24.4	草房遭受破坏、屋瓦被掀起，大树枝可折断	黄色预警
三级	严重大风	10	24.5-28.4	树木可被吹倒，一般建筑物遭破坏	黄色或橙色预警
		11	28.5-32.6	大树可被风吹倒，一般建筑物遭严重破坏	橙色预警
四级	特严重大风	12	>32.6	摧毁力极大	红色预警

(3) 大风风险源与隐患分析

大风天气可能造成的危害范围很广，包括各类危旧住房、厂房、工棚、围墙、临时建筑、在建工程、市政公用设施（如路灯等）、游乐设施、各类吊机、施工

电梯、脚手架、电线杆、树木、广告牌、铁塔和阳台、屋顶上的花盆、空调室外机、雨蓬、太阳能热水器、屋顶杂物以及建筑工地上的零星物品、工具、建筑材料等，上述目标物被强风吹落或因强风崩塌后易造成人员伤亡；强风易吹倒输电线路并造成电网线路跳闸；强风易吹倒通信基站造成通信网络设施受损，通讯中断。因此大风造成的安全隐患主要出现在未达到一定抗风能力的建筑物和设施以及未能及时收到气象预警信息而未采取防护措施的人群中。对于本报告风险评估的对象而言，大风灾害可能造成的影响主要包括以下几方面：

- 1) 大风可能拔起大树、折断电杆，毁坏地面设施和建筑物，特别是会对抗风性能较弱的房屋造成损毁，影响园区正常的运行。
- 2) 大风容易吹落高层建筑物的门窗和屋顶的物品以及广告牌，有时甚至吹倒建筑物，对园区工人安全构成威胁。
- 3) 大风影响能见度，易吹倒行道树木等，影响园区车辆的交通正常运行。
- 4) 大风可能造成水、电、通信等线路中断，影响电力、水等正常供应以及造成通讯中断和设施损毁。
- 5) 大风极易刮断电线等引发火灾，危及园区基础设施。
- 6) 大风影响园区户外活动。

6.3.1.2 大风灾害风险评估

(1) 大风灾害风险评估方法

大风灾害风险评估方法同样采用中华人民共和国国家标准 GB/T 27921-2011《风险管理 风险评估技术》中的风险矩阵法对本项目的大风灾害风险通过评估和分级。大风灾害事件发生可能性的计算以项目选取的参证气象站大风历史观测数据为基础，使用数理统计方法对极大风速概率分布函数进行拟合，进一步求出极大风速超过特定值的概率。

(2) 大风发生的可能性评估

根据第五章设计风速建立年极大风速评估序列，采用 Gumble 分布、Weibull 分布、对数正态分布和 Pearson-III 型分布对该站年极大风速极值进行了概率分布拟合，并检验筛选最优模型。结果表明，采用耿贝尔极值 I 型概率分布函数为最优模型。计算出代表城口县工业园区的参证气象站不同重现期极大风速值如表 6.7 所示。

表 6.7 参证站不同重现期极大风速

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
极大风速(m/s)	16.6	18.0	19.4	21.0	22.3	23.2	24.1	25.4

结合城口县工业园区参证气象站历史大风记录、不同重现期极大风速计算结果,综合考虑城口县工业园区特点,本报告认为当极大风速超过 9 级(20.8m/s),可能对城口县工业园区的建筑物及外露设备造成一定影响,因此以极大风速超过 9 级作为大风灾害事件,并结合参考气象站极大风速的概率分布函数,可计算得出评估对象所在区域发生大风灾害事件的概率大于 0.1 小于 0.5。

按照灾害风险可能性分级表给出的灾害风险可能性等级分值划分,城口县工业园区所在区域大风灾害发生的可能性等级为 **2 级**,即**很可能发生**。

(3) 大风发生的后果损失评估

大风可能拔起大树、折断电杆,毁坏地面设施和建筑物,特别是会对抗风性能较弱的房屋造成损毁,影响园区正常的运行。大风容易吹落高层建筑物的门窗和屋顶的物品以及广告牌,有时甚至吹倒建筑物,对园区工人安全构成威胁。大风影响能见度,易吹倒行道树木等,影响园区车辆的交通正常运行。大风可能造成水、电、通信等线路中断,影响电力、水等正常供应以及造成通讯中断和设施损毁。大风极易刮断电线等引发火灾,危及园区基础设施。大风影响园区户外活动。

综合考虑上文所述各种情形,结合灾害事件造成后果分析等级划分,确定大风灾害对园区可能造成后果的等级为 **2 级**。

(4) 大风风险水平的确定

综合城口县工业园区所在区域大风灾害发生的可能性等级和后果等级,参照“灾害风险分级矩阵”,此区域内大风风险为**高风险**。

6.3.2 大风灾害风险区划

气象灾害风险区划是指气象气候条件产生不利影响可能性的空间区域划分。气象灾害风险区划的目的是为了防灾减灾,哪些地区是气象灾害高风险区,不适合建居民点、开发区和工程,为防灾工程的设计标准提供科学依据,以防御灾害风险的发生。

从整体上来说城口县工业园区大风灾害风险水平为高风险,但是在整个评估区域内的大风灾害风险分布略有不同,依据附录 B 气象灾害风险评估模型,从气象灾害致灾因子危险性、承灾体暴露性、承灾体脆弱性、防灾减灾能力 4 个方面选取指标,构建了大风灾害风险评估模型对城口县工业园区的大风灾害分布进行分析。

6.3.2.1 大风灾害致灾因子危险性

致灾因子危险性指形成大风灾害的自然变异因素及其异常程度。一般来说,大风致灾因子危险性越高,大风灾害的风险也就越大。这里大风灾害致灾因子主要考虑模拟的大风风速分布(图 6.11)。

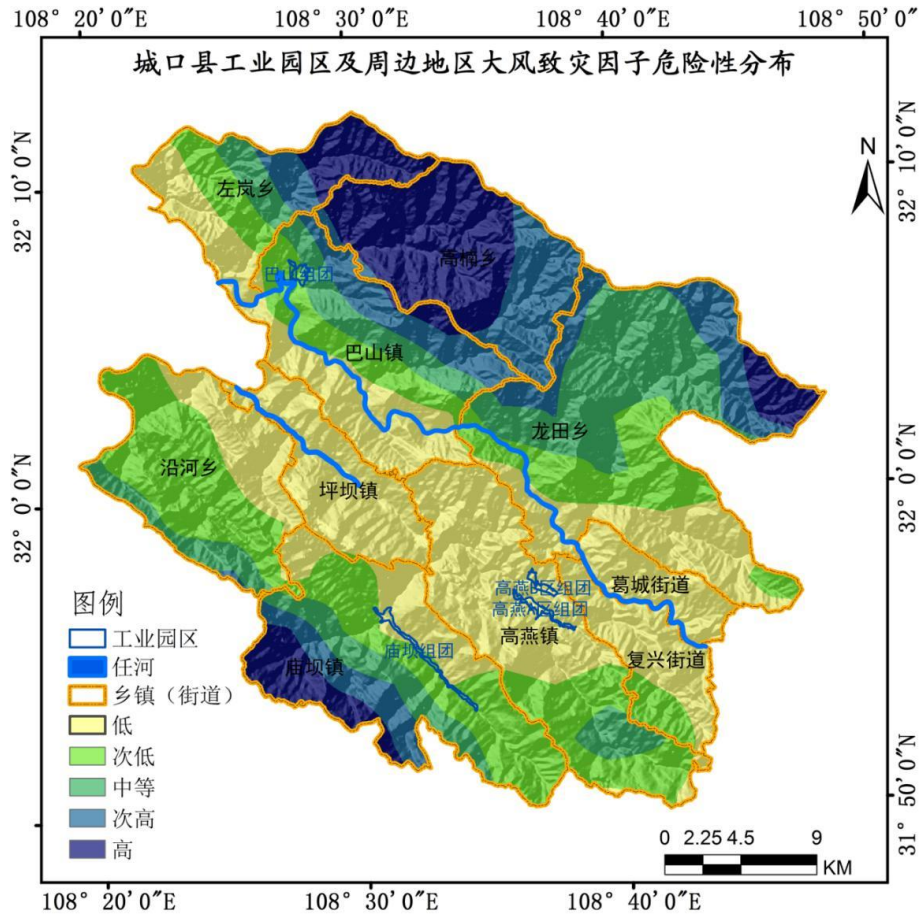


图 6.11 城口县工业园区及周边地区大风灾害致灾因子危险性分布

6.3.2.2 大风灾害承灾体暴露性

承灾体暴露性是指可能受到大风威胁的社会经济和自然环境系统主体。一个地区暴露于大风灾害危险因素的价值密度越高,可能遭受的潜在损失也就越大,风险也越高。本项目承灾体暴露性主要选取人口密度和经济密度作为评估指标,权重占比各占 0.5。人口密度和经济密度分别为区域内人口总数和国内生产总值

与区域总面积之比，人口密度和经济密度越高的地区，可能遭受的损失越大，暴露性越高。

运用 GIS 空间分析功能，承灾体暴露性依据自然断点法划分为 5 个脆弱等级，依次为低、次低、中等、次高、高等，对应的值依次为 0.23~0.29、0.29~0.35、0.35~0.43、0.43~0.55 和 0.55~0.71，得出城口县工业园区及周边地区大风灾害承灾体暴露性分布图（图 6.12）。

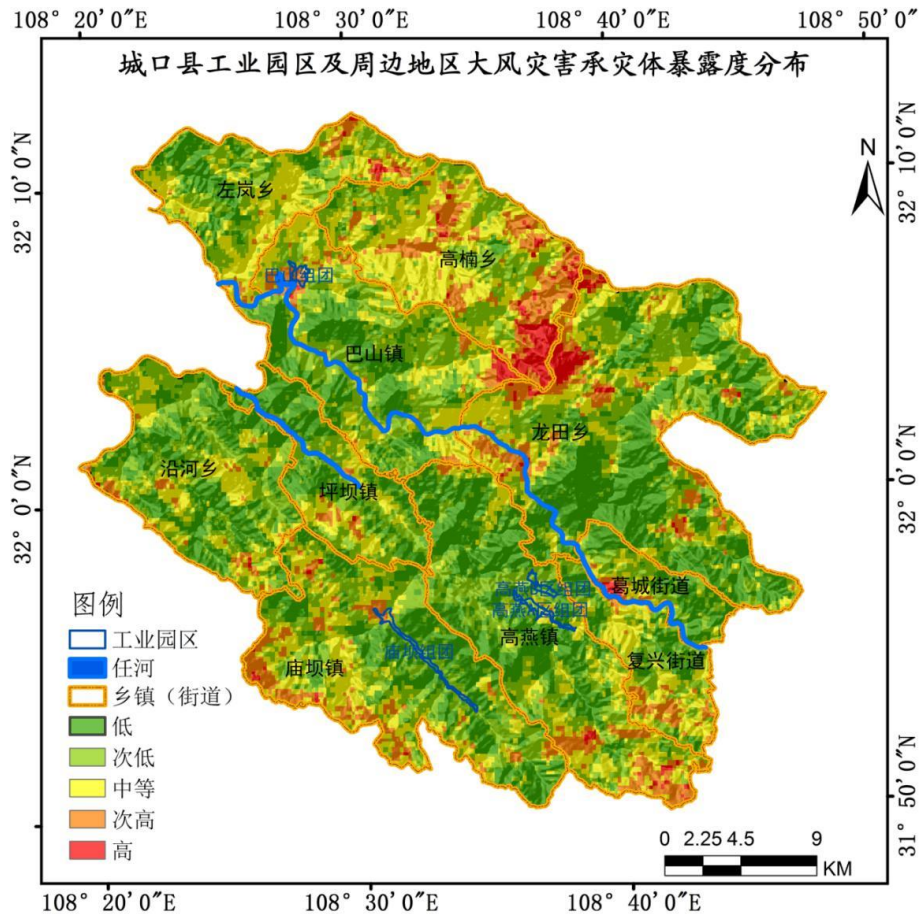


图 6.12 城口县工业园区及周边地区承灾体暴露性分布

6.3.2.3 大风灾害承灾体脆弱性

承灾体脆弱性是指衡量自然环境发生灾害可能性大小的因子，是地貌、水文等各种自然因素和社会经济因素对大风灾害影响的敏感度和适应能力的综合反映。在同等致灾强度下，承灾体脆弱性高低具有放大或者缩小灾情的作用。因此，承灾体脆弱性越高，大风灾害风险也越大。根据自然环境对大风灾害的影响能力，并结合重庆地区的孕灾环境，主要选取地形坡度作为承灾体脆弱性评价指标。地形对大风具有阻挡作用，因此地形坡度越大，对大风的阻挡作用越强。

运用 GIS 空间分析功能,并利用自然断点法将承灾体脆弱性指数划分为 5 个脆弱性等级,依次为低、次低、中等、次高、高等,对应的值依次为 0.26~0.40、0.40~0.48、0.48~0.57、0.57~0.65 和 0.65~0.78,得出城口县工业园区及周边地区大风灾害承灾体脆弱性分布图(图 6.13)。

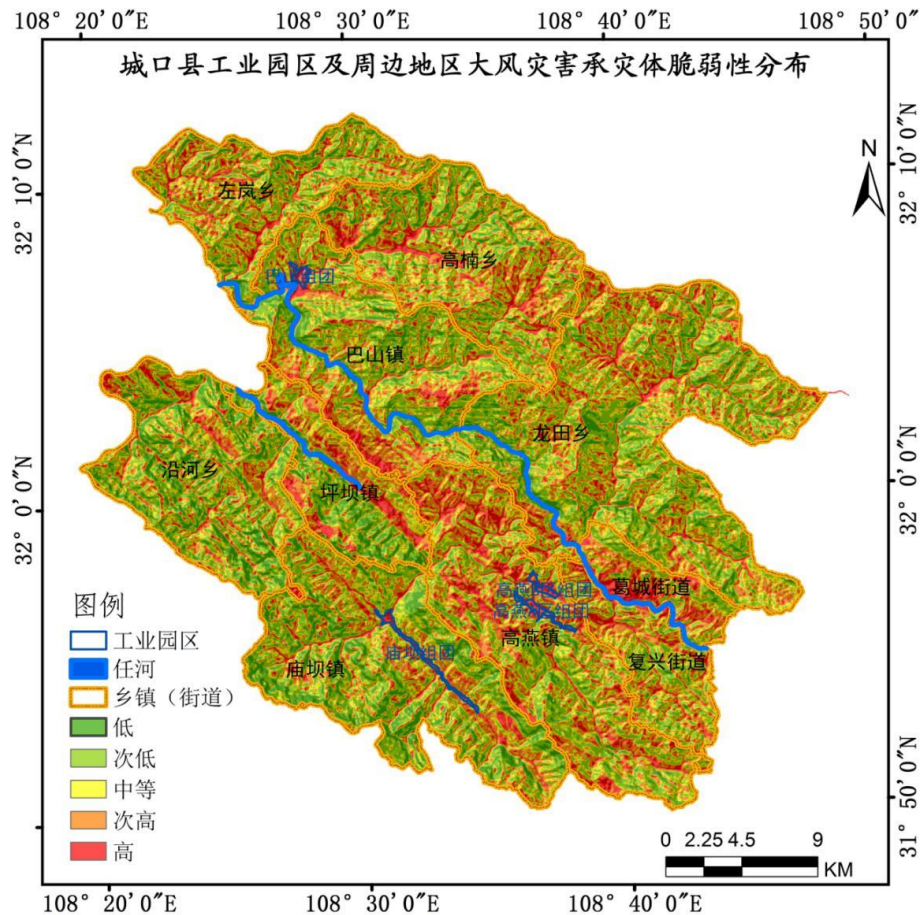


图 6.13 城口县工业园区及周边地区大风承灾体脆弱性

6.3.2.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力是指受灾风险区对大风灾害的抵御和恢复能力,是通过采取工程和非工程性措施来抵御和应对大风灾害所造成损失和破坏的能力,与地方经济发展水平呈正相关。本项目防灾减灾能力主要考虑人均 GDP 和植被指数作为评价指标,权重占比各占 0.5。人均 GDP 越高经济越发达地区,防灾减灾的工程和非工程性措施数量相对越多,大风抗灾能力相对较强。植被指数越高,覆盖越高越广,抵御大风的能力越强。

基于 GIS 空间分析功能,利用自然断点法防灾减灾能力划分为 5 个等级,分别为低、次低、中等、次高、高等,对应的值依次为 0.50~0.63、0.63~0.67、0.67~0.70、

0.70~0.75 和 0.75~0.94，得出城口县工业园区及周边地区大风灾害防灾减灾能力分布图（图 6.14）。

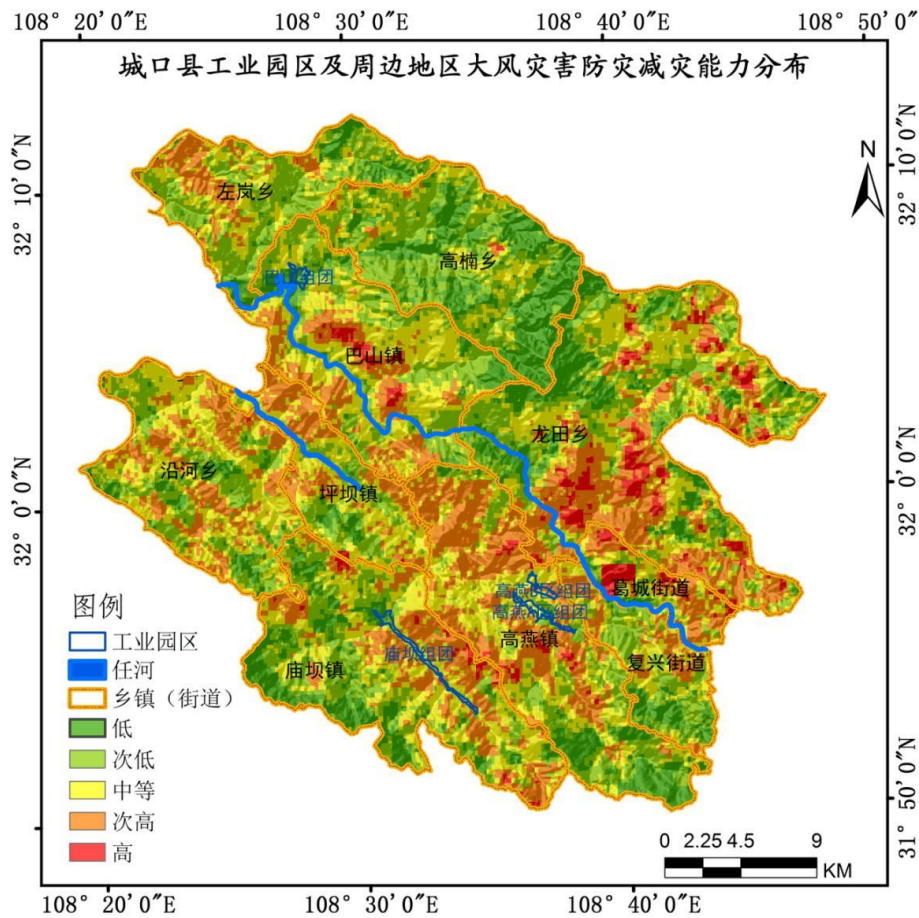
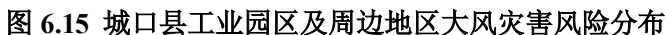


图 6.14 城口县工业园区及周边地区大风灾害防灾减灾能力分布

6.3.2.5 大风灾害风险区划

在定量分析致灾因子危险性、承灾体脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力的基础上，根据大风灾害风险评估模型技术出风险指数的空间分布，运用 GIS 软件并结合自然断点法将大风灾害风险分为低、次低、中等、次高、高等 5 个风险等级，依次为 0.37~0.45、0.45~0.52、0.52~0.60、0.60~0.70 和 0.70~0.81，得出城口县工业园区及周边地区大风灾害综合风险等级分布图（图 6.15）。从图中可以看出，城口县工业园区各组团大风灾害风险分布略有不同。巴山组团整体大风灾害风险等级为高风险；庙坝组团西北部位于风口，该区域大风灾害风险等级为高风险，其余区域大风灾害风险等级相对较低；高燕组团整体大风灾害风险等级相比巴山组团和庙坝组团较低。



园区应针对大风灾害天气风险建立防御的工程性和非工程性控制措施（表6.8）。

措施类别	应采取的控制措施
预防措施	1.将防御大风灾害的安全气象保障工作已纳入安全稳定工作，层层分解落实城口县工业园区安全气象保障工作目标任务和责任。 2.每年组织一次有关专家开展城口县工业园区大风气象灾害隐患排查工作，重点排查大风诱发建筑物的门窗脱落和屋顶的物品掉下以及是否有危房等隐患，并且发现隐患都及时治理。 3.明确负责安全稳定的领导分管大风气象灾害防御工作，并纳入城口县工业园区应急值班范畴。 4.开展大风气象防灾减灾知识和避险自救技能科普宣传，重点普及防高空坠落实科普知识和大风天气车辆行驶安全教育。 5.建立手机安全气象预警预报信息接收终端，接到大风预警预报信息，及时采取防御大风措施。 6.建筑物符合抗大风的安全要求，并符合建筑物防火等级要求。
减轻事故后果的应急措施	1.制定防御大风气象灾害的应急预案。 2.储备防御大风气象灾害的应急物资。 3.建立大风气象灾害的工作档案，以便出灾之后查阅，采取有效措施。

城口县工业园区防御大风灾害天气风险的处置措施与对策建议如下：

(1) 大风来临前。应及时加固地面设施，有建设工程的城口县工业园区要遮盖建筑物资，妥善安置易受大风影响的室外物品。对简易建筑、临时搭建物、门窗、电气线路、室外体育器械等进行重点排查，消除因大风可能导致安全事故的隐患，在危险地段设置安全警示牌。在房间里要小心关好窗户，在窗玻璃上贴上“米”字形胶布，防止玻璃破碎，远离窗口，避免强风席卷沙石击破玻璃伤人。对园区工作人员进行安全教育，提高安全意识。

(2) 大风影响中。尽量减少外出，必须外出时不要在广告牌、临时搭建筑物下面逗留、避风。停止进行户外活动或露天集会。园区车辆如果正在行驶中，应及时驶入地下停车场或隐蔽处。特别注意防范用大风刮断高新园区电线等引发火灾。做好停电、停水的各项应急工作。建议在城口县工业园区内增设气象电子显示屏，及时接收气象局发布的大风预警信号。制定针对大风灾害的应急预案，积极参加当地政府组织的应急救援演练。

6.4 雷电灾害风险评估与区划

6.4.1 雷电灾害风险评估

6.4.1.1 资料与数据

本节雷电灾害风险评估采用的资料与数据包括：参证站近 10 年闪电定位数据及近 30 年雷暴日数数据。

6.4.1.2 园区雷电灾害风险评估

(1) 雷电风险评估阶梯层次结构模型的确定

综合雷电自身的放电特性、影响雷电放电的区域环境和区域内承灾体的雷电敏感特征，选取雷电风险（B1）、地域风险（B2）、承灾体风险（B3）3 个主要因素构成评估方法的评价指标集合。根据雷电灾害风险评估技术规范和层次分析法的条理化、层次化原则，区域雷电灾害风险评估的递阶层次结构模型如图 6.16 所示，并根据下图可得到更高层级的指标（致灾因子）。

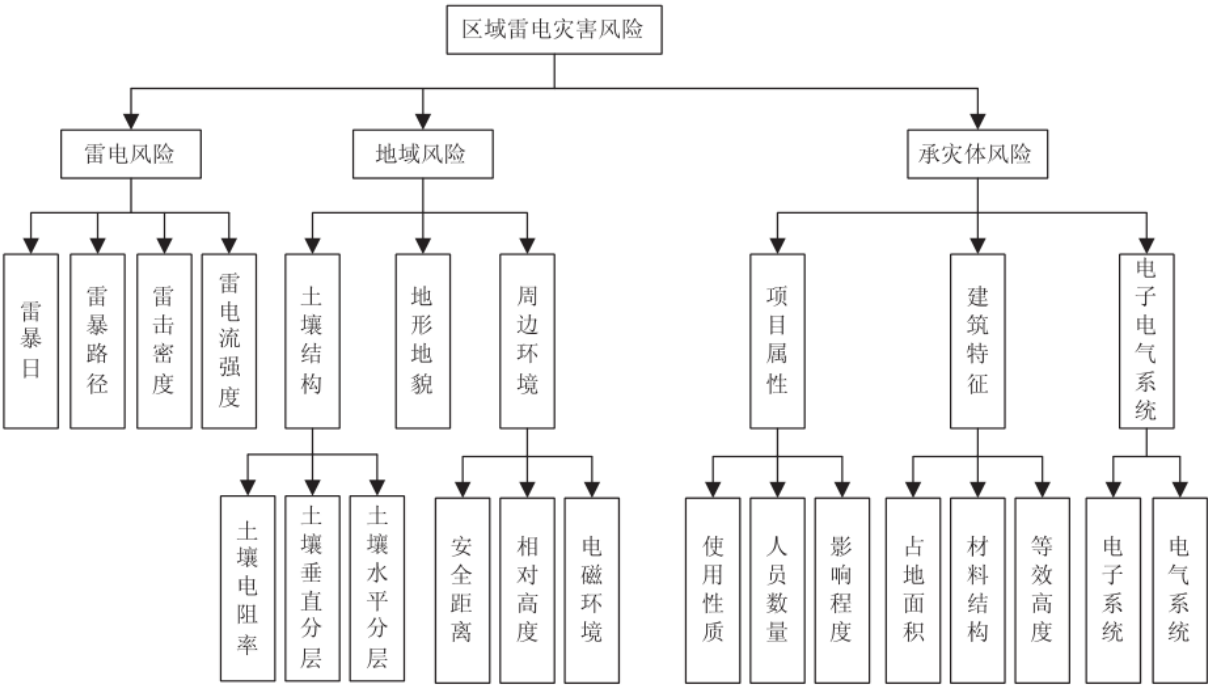


图 6.16 区域雷电灾害风险评估的层次结构模型

(2) 判别矩阵的构造

根据层次分析法原理（详见附录 C），计算各指标因素相对权重，把对权重的判断定量化。由区域雷电灾害风险的 3 个对象(雷电风险、地域风险、承灾体风险)，建立综合因素评估集 $B=(B1,B2,B3)$ 。同理由雷电风险因素 B1 状况属性的 4 个对象可以建立 1 个次级综合因素评估集 $B1=(C1,C2,C3,C4)$ ；地域风险因素 B2 状况的次级综合因素评估集 $B2=(C5,C6,C7)$ ；承灾体风险因素 B3 状况的次级综合因素评估集 $B3=(C8,C9,C10)$ 。土壤结构因素 C5 的 3 个对象又可以建立 1 个次次级综合因素评估集 $C5=(D1,D2,D3)$ ；周边环境因素 C7 状况的次次级综合因素评估集 $C7=(D4,D5,D6)$ ；项目属性因素 C8 状况的次次级综合因素评估集 $C8=(D7,D8,D9)$ ；建筑特征因素 C9 状况的次次级综合因素评估集 $C9=(D10,D11,D12)$ ；电子电气系统因素 C10 状况的次次级综合因素评估集 $C10=(D13,D14)$ 。对园区区域雷电灾害风险评估指标因素体系各指标因素相对权重进行确定，最终得到各指标的最终权重如表 6.9 所示，各个指标因素评估等级的隶属度计算方法详见附录 D。

表 6.9 区域雷电灾害风险评估各指标权重

评估因素		评估子因素		评估子子因素		评估等级的隶属度 E					子子因素相对第一层的权重
Bi	权重 Ui	子因素	权重 Vi	子子因素	权重 Wi	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级	$Ri=Ui*Vi*Wi$

B1	0.65	C1	0.15			0	0.92	0.08	0	0	0.097500
		C2	0.06			1	0	0	0	0	0.039000
		C3	0.52			0	0	0.4	0.6	0	0.338000
		C4	0.27			0	0	0.554	0.446	0	0.175500
B2	0.23	C5	0.54	D1	0.70	0	0	0	0.31	0.69	0.086940
				D2	0.15	0	0	0.5	0.5	0	0.018630
				D3	0.15	0	0	0.5	0.5	0	0.018630
		C6	0.30			0	0	1	0	0	0.069000
		C7	0.16	D4	0.62	1	0	0	0	0	0.022816
				D5	0.24	0	1	0	0	0	0.009264
				D6	0.14	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.005152
				D7	0.32	0	1	0	0	0	0.006144
B3	0.12	C8	0.16	D8	0.12	0	0	0	0	1	0.002304
				D9	0.56	0	1	0	0	0	0.010752
				D10	0.16	0	0	0	0	1	0.010368
		C9	0.54	D11	0.59	0	1	0	0	0	0.038232
				D12	0.25	0	0	0	1	0	0.016200
				D13	0.5	0	1	0	0	0	0.018000
		C10	0.30	D14	0.5	0	1	0	0	0	0.018000

(3) 区域雷电灾害风险等级

应用模糊变换的合成运算公式为：

$$B = W \cdot R = (w_1, w_2, \dots, w_n) \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = [b_1, b_2, \dots, b_n]$$

式中：W 为隶属度权重，R 为第 i 个指标的评判隶属度向量。根据区域雷电灾害风险隶属度，计算得到 I 级、II 级、III 级、IV 级、V 级的隶属度 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 r_5 。最后，结合公式 $g=r_1+3r_2+5r_3+7r_4+9r_5$ ，求出园区区域雷电灾害风险为：

$$B=0.063104+0.19138*3+0.329145*5+0.344142*7+0.073949*9=5.357503$$

根据雷电灾害风险评估指标的危险等级（QT/T 85-2018），确定区域雷电灾害风险等级为 **III 级**，即中等风险。

表 6.10 评估指标的危险等级

危险等级	g	说明
I 级	[0,2)	低风险
II 级	[2,4)	较低风险
III 级	[4,6)	中等风险
IV 级	[6,8)	较高风险
V 级	[8,10]	高风险

6.4.2.2 雷电灾害承灾体暴露性

承灾体暴露性是指可能受到雷电威胁的社会经济和自然环境系统主体。一个地区暴露于雷电灾害危险因素的价值密度越高，可能遭受的潜在损失也就越大，风险也越高。根据 QX/T 405-2017 雷电灾害风险区划技术指南，承灾体暴露性主要选取人口密度和经济密度作为评估指标，权重占比各占 0.5。人口密度和经济密度分别为区域内人口总数和国内生产总值与区域总面积之比，人口密度和经济密度越高的地区，可能遭受的损失越大，暴露性越高。

运用 GIS 空间分析功能，承灾体暴露性依据自然断点法划分为 5 个脆弱性等级，依次为低、次低、中等、次高、高等，对应的值依次为 0.52~0.57、0.57~0.63、0.63~0.72、0.72~0.79 和 0.79~0.85，得出城口县工业园区及周边地区雷电灾害承灾体暴露性分布图（图 6.18）。

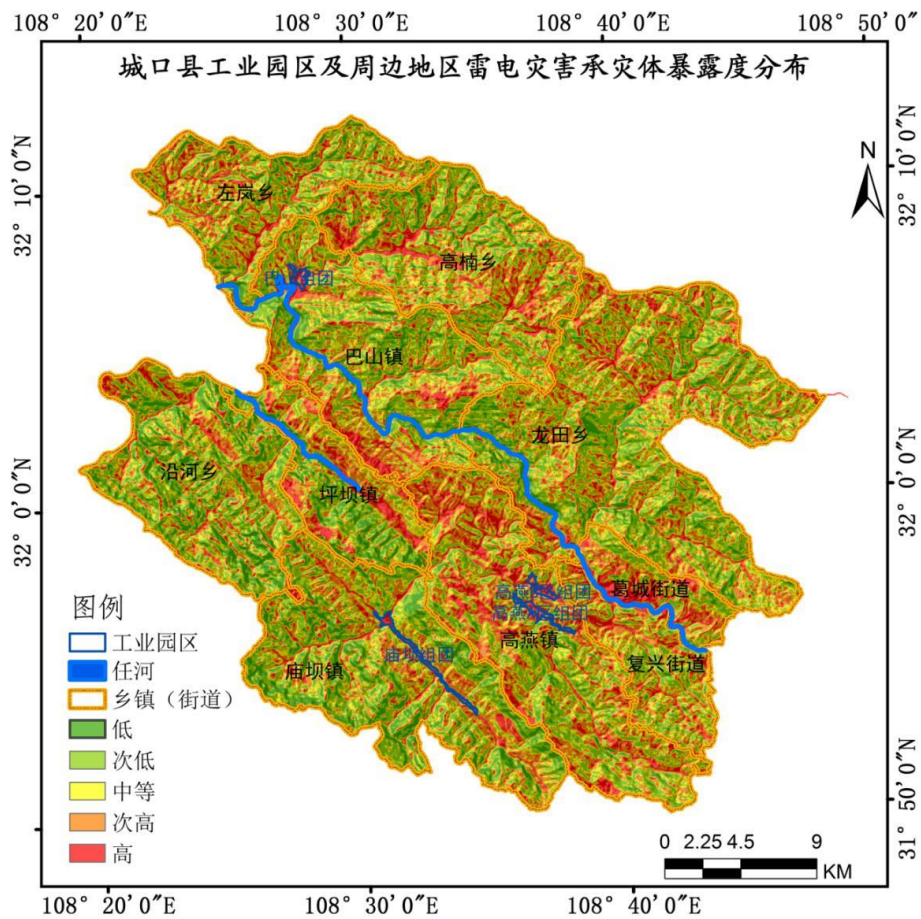


图 6.18 城口县工业园区及周边地区雷电承灾体暴露性

6.4.2.3 雷电灾害承灾体脆弱性

承灾体脆弱性是指衡量自然环境发生灾害可能性大小的因子，是地貌、水文等各种自然因素和社会经济因素对雷电灾害影响的敏感度和适应能力的综合反

映。在同等致灾强度下，承灾体脆弱性高低具有放大或者缩小灾情的作用。因此，承灾体脆弱性越高，雷电灾害风险也越大。根据自然环境对雷电灾害的影响能力，并结合重庆地区的孕灾环境，主要选取植被指数和河网密度作为承灾体脆弱性评价指标，权重占比各占 0.5。

运用 GIS 空间分析功能，并利用自然断点法将承灾体脆弱性指数划分为 5 个脆弱区等级，依次为低、次低、中等、次高、高等，对应的值依次为 0.46~0.53、0.53~0.64、0.64~0.71、0.71~0.80 和 0.80~0.90，得出城口县工业园区及周边地区雷电灾害承灾体脆弱性分布图（图 6.19）。

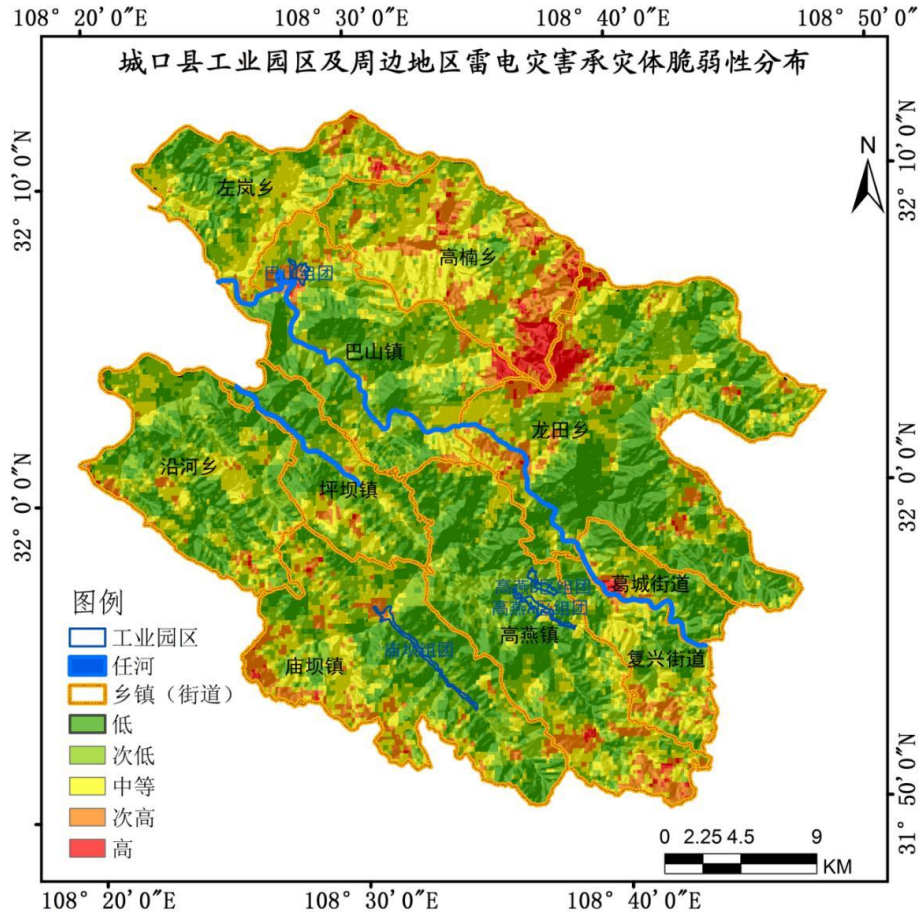
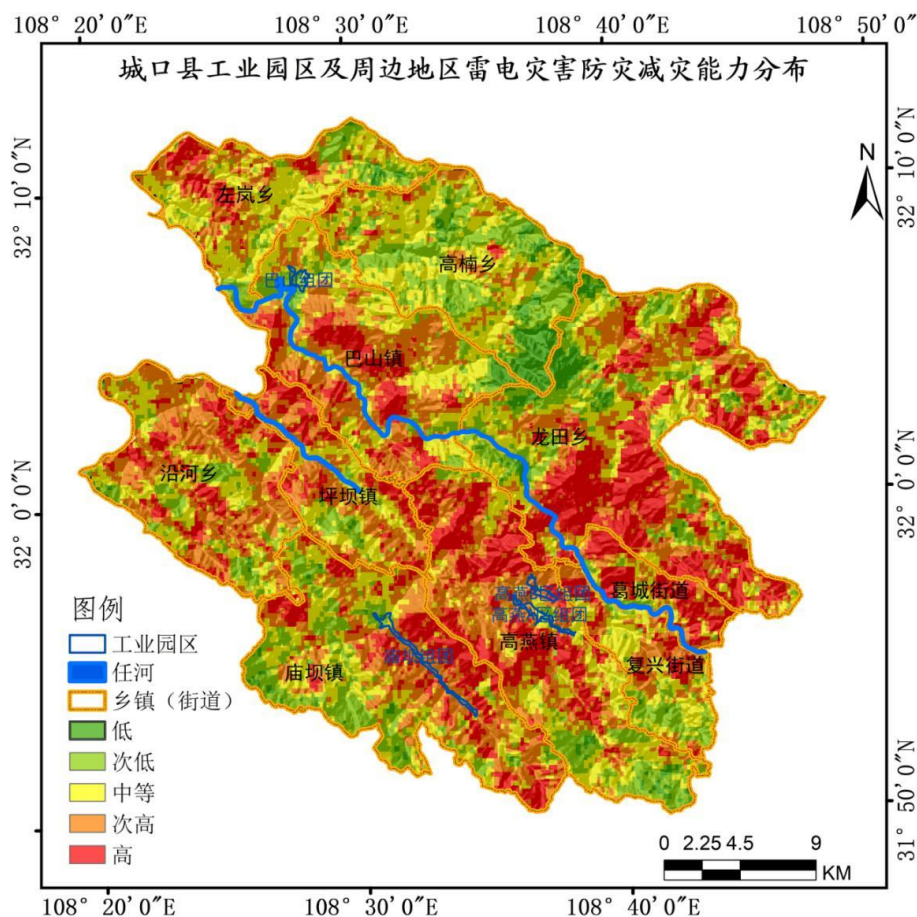


图 6.19 城口县工业园区及周边地区雷电灾害承灾体脆弱性

6.4.2.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力是指受灾风险区对雷电灾害的抵御和恢复能力，是通过采取工程和非工程性措施来抵御和应对雷电灾害所造成损失和破坏的能力，与地方经济发展水平呈正相关。本项目防灾减灾能力主要考虑人均 GDP 和地均 GDP 作为评价指标，权重占比各占 0.5。人均 GDP 和地均 GDP 越高经济越发达地区，防灾减灾的工程和非工程性措施数量相对越多，雷电抗灾能力相对较强。



6.4.2.5 雷电灾害风险分布

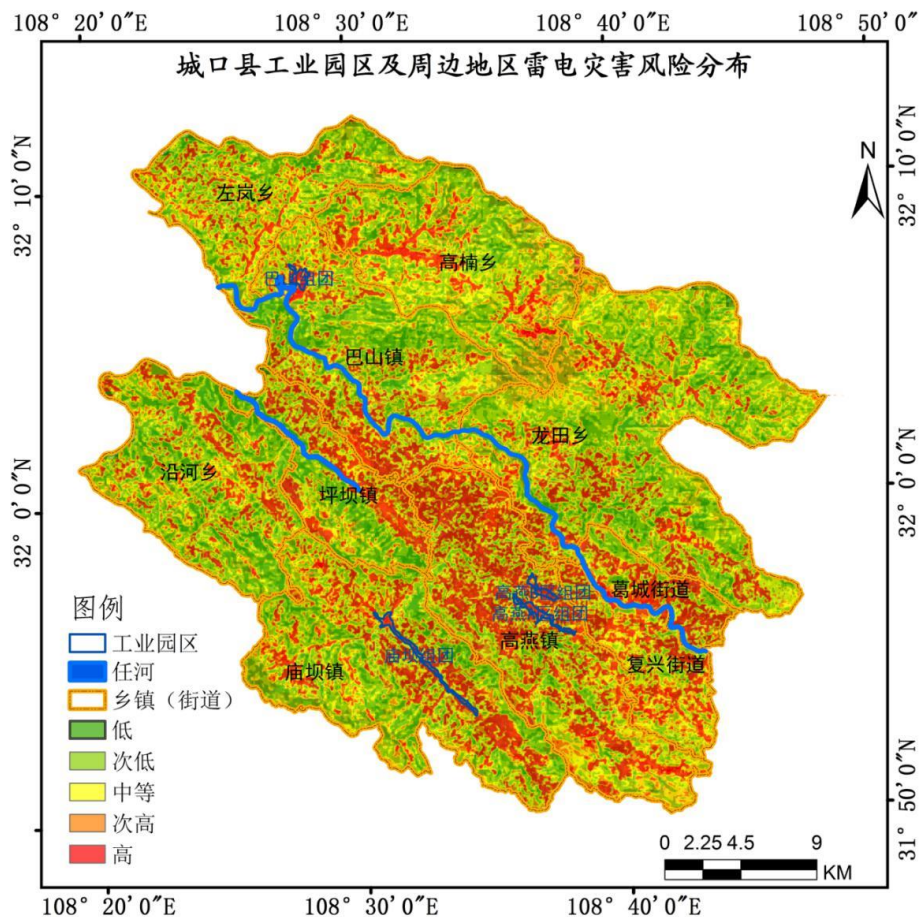


图 6.21 城口县工业园区及周边地区雷电灾害风险分布

6.4.3 雷电风险对策、措施与建议

6.4.3.1 应对雷电天气的建议

园区应针对雷电灾害天气风险建立防御的工程性和非工程性控制措施。忽视防雷安全管理，不懂雷电管理的有关知识，疏于防范容易引起雷击伤亡和火灾爆炸事故，造成很大的灾害和损失。

(1) 应提高园区人员对雷电及火灾危险性的认识，提供工作人员的防雷安全素质，加强工作人员的防雷安全管理。

(2) 遇有雷雨天气，特别是当闪电临近时，管理人员应当提醒、督促园区人员进入安全区域。室外人员应该及时躲入建筑物内，不宜停留在无防雷措施的车库，也要尽量远离大树和高压线等物体，防止遭受直接雷击。

(3) 闪电时园区人员不要靠近金属水管、暖气管道及配电箱等与室外有电气连接的金属设施，不要停留在门窗处。

(4) 室外人员雷雨时不要在孤立的大树、高压输配电铁塔、高大的广告牌下行走或停留，防止接触电压或跨步电压的伤害。

6.4.3.2 如遭受雷击时应采取的避雷措施

(1) 人体在遭受雷击后一般会出现昏迷、假死等症状，应立即采取抢救措施，首先应马上进行人工呼吸，其次要对伤者进行心脏按摩并立即通知医院进行抢救处理。

(2) 如果伤者遭受雷击引起衣服着火，为避免火势蔓延全身，应迅速叫此人平躺，用衣服或厚毯子、水等为伤者灭火。

(3) 人被雷击中后身上不会带电，雷电电流击中人后已经通过人体泄放到大地上，所以接触受伤者进行抢救是没有危险的。受伤者被雷电的电火花烧伤只是表面现象，最危险的是对心脏和呼吸系统的伤害。通常被击中的受伤者，常常会引发心脏停跳、呼吸停止，这实际上是一种雷电“假死”现象。要立即组织抢救，并向 120 求助。

6.4.3.3 雷击事故处理方法

(1) 发生雷击事故后，岗位人员要沉着、镇定，不要惊慌，应迅速对伤者采取人工呼吸和进行心脏按摩，同时拨打 120 求助。

(2) 雷击事故发生后，应尽快通知当地防雷主管机构，并由防雷主管机构组织相关部门以及人员进行雷电灾害调查，做出该次雷灾事故鉴定。

(3) 雷击事故发生后，要组织人员对临近的设备管线的防雷设施进行仔细检查，避免雷击灾害再次发生。

7 园区规划建设对局地气候的可能影响

随着社会经济的发展,现代社会科学技术和生产力发展水平较高,人类社会生产实践活动的能力增强,活动的领域范围也不断扩大。人类社会生产活动在科学适应和利用气候环境资源的同时,也会给气候环境造成一定的影响。城市化最明显的特征是城市下垫面的改变,下垫面由原有的草地、水域等变为由混凝土或沥青构成的不透水的道路面和屋顶面,大量的建设用地增加改变了城市原有的陆-气相互作用的物质、能量交换,影响到城市地区的气温、辐射、风以及降水等,形成局部气候环境。

一个地方的园区规划建设,是现代社会区域社会经济活动的一种特殊产业组织方式,是人类主动积极利用生态自然环境发展经济的重要举措。谈及园区规划建设与局地气候的问题,一般讲有两方面的科学内涵。一是气候作为自然生态环境的重要组成部分,气候条件对人类社会生产活动的影响既有有利的一面,也有不利的一面。园区规划设计、建设运营需要充分了解当地有利和不利的气候条件,科学合理利用气候资源,趋利避害地进行园区规划建设与生产管理,能确保园区建设运行工作更加科学、合理、经济、安全。二是现代社会人类生产活动规模加大,生产能力与技术水平空前提高,人类活动对自然气候环境造成的影响比较大。从科学利用气候、保护自然气候环境的角度出发,了解认识园区建设对局地气候的可能影响是十分必要的。

从现代气候的形成理论上看,人类社会生产活动对气候的影响途径主要体现在三个方面:一是人类生产活动会改变地面物理性质,如土壤、草地、水泥、沥青等地表面,不同物质的地面因热力属性不同而影响气候;二是人类生产和生活会向大气中排放特殊气体,如二氧化硫、二氧化碳等,通过改变大气成分而影响气候;三是人类社会生产和生活大量利用化石燃料形成的人为热量释放,会对局部气候造成一定影响。

园区建设对局部气候的可能影响大致也是通过上述归纳的三个影响途径。园区规划建设对下垫面物理属性的改变是最显著的,有大量的人工构筑物、混凝土硬化地面、沥青道路路面,水体、草地、林地减少,改变了规划区域下垫面的热力属性,这些人工构筑物吸热快而热容量小,在相同的太阳辐射条件下,它们比自然下垫面(绿地、水面等)升温快,因而其表面温度明显高于自然下垫面。另

一个是园区人工热源的影响，入园企业生产以及居民生活都需要消耗电能和化石燃料，每天都在向外排放大量的热量，会造成园区的近地层气温升高的现象。再者园区生产和生活会向大气中排放特殊气体如二氧化硫、二氧化碳、氮氧化合物等，通过改变大气成分也是会影响气候的。

可见，园区建设对局地气候的影响是一个十分复杂的科学技术问题，要评估园区规划建设对局地气候的影响，理应从上述可能影响的多个途径去探索研究，目前在理论和实践上都是比较困难的。但根据目前科学界关于人类活动对局地气候可能影响的研究成果，能够认识到园区建设会对局地气候造成一定影响，采用相应的对策措施，从保护生态气候环境的意义上是一种无悔的行动。

城口县工业园区规划建设面积约 2.62 平方公里，由巴山组团、高燕组团和庙坝组团组成。由于园区生产建筑设施、道路改变了原来规划建设前下垫面的热力特性，同时生产过程和运输会导致能源消耗增加，因此对局部气候的影响也将表现为：园区近地面气温比规划开发前的气温会有升高现象，而且气温的日较差会变小，在大尺度环境风弱的晴天条件下更明显，会产生一定的热岛效应；工业园区的升温作用和城口城区的热岛效应叠加，可能将使城区的可观测热岛面积增大，在特殊的天气背景条件下强度有所增强。

城市化及园区规划建设发展是区域经济社会发展和人民生活改善的必然要求。我国境内南北、东西各地，处于不同气候带的一线城市和新一线城市的建设发展更快，城市化规模更大，对局地气候的影响更明显。因此，城市化和园区规划建设在科学利用气候环境资源的同时，采取积极的应对策略性措施。城口县工业园区的规划设计建设，是分散组团建设，规模也有限，每个组团按照生态园区、海绵园区的建设理念与要求进行设计建设，能够有效减轻园区建设对局地气候的影响，也有利于促进园区经济与生态自然环境的协调发展。

8 结论及建议

8.1 结论

8.1.1 气候背景

城口县地处亚热带山地气候,具有山区立体气候的特征。气候温和,雨量充沛,日照较足,四季分明,冬长夏短,是“中国生态气候明珠”、“大中华区最佳绿色生态旅游名县”。春季气温回升快,但不稳定,多倒春寒;夏季降水集中,七、八月多干旱,伏前、伏后多洪涝;秋季降温快,多连阴雨天气;冬季时间较长、气温低。参证站近 30 年(1990~2019 年)年平均风速 0.53m/s,多为南风 and 西南风,年平均气温 14.1℃,年平均降水量 1231.0mm,年平均气压为 924.5hPa,累年平均日照时数为 1375.8h;建站至 2019 年,极端最高气温 40℃,极端最低气温-13.2℃,降水持续最长日数 17 天,年极端最高气压 950.1hPa,年极端最低气压 898.3hPa。

气候要素年际变化:气温和日照呈上升的趋势,1958~2019 年极端最高气温在 34.7~40.0℃之间,极端最低气温在-13.2~-3.5℃之间;蒸发量和气压呈下降的趋势。相对湿度和风速变化平缓,风速的变化具有年际震荡的特点,其震荡周期约为 10 年。降水总量和降水日数的呈缓慢增加趋势,这说明降水过程中,降水强度变化较为平缓。

气候要素月际变化:气温、降水、蒸发、日照时数均在夏季达峰值;气温最高出现在 7 月份,最低出现在 1 月份;降水夏季降水最多在 29.4%,4~10 月占全年降水量的 86.8%;日照 8 月份最多,高达 183.2h,2 月最少,只有 62.4h。相对湿度 10 月份最大;气压在 7 月为最低值;风速全年变化幅度很小;四季出现频率最高的风向为 N~WSW 方向,该范围内春夏秋冬四季的风向频率之和分别为 42.9%、43.3%、46.1%和 42.8%。

气候要素日变化:气温、风速、相对湿度为单峰曲线,气温在 07 时出现最低值,而后气温逐渐升高,到 16 时达到峰值 19.2℃,之后开始下降,直至次日 07 时;风速从 08 时逐渐增大,至 16 时达到最大值,之后逐渐下降,直至 23 时,晚间和凌晨风速波动较小,白天风速波动较大;相对湿度从每日 07 时的 91.3%开始逐渐减小直到 15 时的 57.5%,之后再次开始上升,直至次日 07 时;气压为

“W”型曲线,从 05 时的 924.7hPa,开始逐渐升高,到 10 时达到峰值,即 925.8hPa,之后开始下降,最低值出现在 17 时,为 922.0hPa,之后又开始缓慢升高,在次日 00 时达到次高值 925.4hPa,随后开始下降,直至 05 时。

8.1.2 高影响天气

通过历史气象灾害调查、典型案例解析并结合园区规划和已入驻企业性质,综合分析可知,园区高影响天气包括暴雨、雷电、大风、低温等。

(1) 暴雨

参证气象站年平均暴雨日数($50.0\text{mm} \leq \text{日降水量} \leq 99.9\text{mm}$)为 3.5 天,并以 0.103d/10a 的速率增加;年平均大暴雨日数为 0.4 天。暴雨及以上天气过程主要出现在 7 月和 8 月。日最大降水量呈弱的下降趋势,下降速率为 0.847mm/10a,历史极值为 138.0mm。短历时年最大降水量随时间均呈增加的趋势。

(2) 低温

参证站近 62 年(1958~2019 年)小于 0°C 的多年平均低温日数为 41.4 天,低温日数年际变化呈递减趋势,下降速率为 2.42d/10a。1、2、12 月份最常出现,占到 93.8%,1 月出现日数最明显,其低温日数在异常年份达到了 27 天,平均为 15.4 天。

参证站近 62 年(1958~2019 年)极端最低气温年际变化整体呈上升的趋势,上升速率为 0.103d/10a。极端最低气温在 1975 年、1977 年、1991 年和 2016 年出现明显波动。极端最低气温最小值为 -13.2°C ,出现在 1977 年 1 月 30 日;1991 年 12 月 28 日次之,为 -12.3°C 。

(3) 大风

参证气象站有记录以来 47 年中有 10 年出现了大风日,累计 17 天,平均每年出现 0.36 天大风。就总体变化呈略微的上升趋势,上升速率为 0.006d/10a。累积大风日数 6 月最多,共 3 天,5、7 月次之,为 2 天。2005~2019 年最大风速变化范围为 5.6~13.6m/s,最小值出现在 2007 年,最大值出现在 2012 年。

(4) 连阴雨

参证站多年平均连阴雨过程为 4.1 次,1989 年最多,出现了 9 次连阴雨天气。连阴雨发生频次呈略微的上升趋势,上升速率为 0.055 次/10a,近 10 年连阴雨频次明显大于多年平均值。年平均连阴雨持续时间为 8.7 天/次,1964 年最长,

为 12.4 天/次，连阴雨持续时间近 62 年呈略微下降趋势。年最长连阴雨持续日数为 17 天，在 9 月发生最多，共计 17 次；7 月次之，共计 13 次；3 月、12 月持续降水发生最少，仅 1 次。

(5) 雷电

园区年平均雷暴日数为 32.4 天，年雷暴日数在 19 ~56 天之间变化。年雷暴日数呈减少趋势，减少速率为 0.728d/10a；主要发生在 4~8 月，占全年雷暴发生日数的 84.9%，6~8 月是高发时段，占全年雷暴发生的 63.0%。地闪 4~9 月发生的频次较集中，其中 7 月和 8 月的地闪数占全年地闪总数的 64.1%。7 月份属园区发生地闪的高峰期，可占全年地闪总数的 37.1%。地闪频次在下午较高，特别 16:00 前后闪电活动最为频繁；正闪主要集中在东南方向，负闪主要集中在东南方向。

园区一类防雷建筑物小于 5.4kA 的雷电流共发生 4 次，大于 200kA 的雷电流共发生 10 次，发生雷电流反击的概率为 0.21%。二类防雷建筑物小于 10.1kA 的雷电流共发生 7 次，发生雷电流绕击的概率 0.15%；大于 150kA 的雷电流共发生 16 次，发生雷电流反击的概率为 0.33%。三类防雷建筑物小于 15.8kA 的雷电流共发生 95 次，发生雷电流绕击的概率为 1.99%；大于 100kA 的雷电流共发生 103 次，发生雷电流反击的概率为 2.15%。

8.1.3 关键气象参数推算结果

城口县工业园区所在区域不同重现期的设计基准值、供暖通风与空气调节设计相关气象参数、不同历时暴雨强度和暴雨量、不同年径流总量控制率对应的设计降水量、污染系数、大气稳定度、混合层厚度、逆温等关键气象参数分布如表 8.1~8.10 所示。

表 8.1 参证站不同重现期设计基准值结果

重现期(年)	2	3	5	10	20	30	50	100
设计风速(m/s)	9.5	10.7	12.0	13.7	15.2	16.1	17.2	18.6
风压(kN/m ²)	0.05	0.07	0.08	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20
极大风速(m/s)	16.6	18.0	19.4	21.0	22.3	23.2	24.1	25.4
极端高温(°C)	36.8	37.4	37.9	38.5	39.1	39.4	39.7	40.1
极端低温(°C)	-5.4	-6.1	-7.0	-8.2	-9.5	-10.1	-11.5	-12.9
最大日降水量(mm)	87.5	99.5	111.5	124.8	136.1	142.0	149.0	157.7

表 8.2 参证站供暖通风与空气调节设计相关气象参数

要素	值
供暖室外计算温度(°C)	-0.1
冬季空调室外计算温度(°C)	-1.9
夏季空调室外计算干球温度(°C)	34.2
夏季空调室外计算日平均温度(°C)	27.3
夏季通风室外计算温度(°C)	30.1
夏季通风室外计算相对湿度(%)	57.7
冬季通风室外计算温度(°C)	2.9

表 8.3 城口县降水强度、重现期、降水历时(i-P-t)表(L/(s·10⁴m²))

重现期	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
5min	257.7	292.5	317.2	395.9	455.4	490.2	534.0	593.5
10min	211.8	240.4	260.7	325.4	374.3	402.9	438.9	487.8
15min	180.6	205.0	222.3	277.4	319.1	343.5	374.2	415.9
20min	157.9	179.2	194.3	242.5	278.9	300.3	327.1	363.6
30min	126.9	144.0	156.2	194.9	224.2	241.3	262.9	292.2
45min	98.9	112.3	121.7	151.9	174.7	188.1	204.9	227.7
60min	81.6	92.6	100.4	125.3	144.1	155.1	169.0	187.8
90min	61.0	69.2	75.1	93.7	107.8	116.0	126.4	140.5
120min	49.1	55.8	60.5	75.5	86.8	93.5	101.8	113.2
150min	41.3	46.9	50.9	63.5	73.1	78.6	85.7	95.2
180min	35.8	40.7	44.1	55.0	63.3	68.1	74.2	82.5

表 8.4 城口县各短历时不同重现期降水量(mm)

重现期	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
5min	7.7	8.8	9.5	11.9	13.7	14.7	16.0	17.8
10min	12.7	14.4	15.6	19.5	22.5	24.2	26.3	29.3
15min	16.3	18.5	20.0	25.0	28.7	30.9	33.7	37.4
20min	18.9	21.5	23.3	29.1	33.5	36.0	39.3	43.6
30min	22.8	25.9	28.1	35.1	40.4	43.4	47.3	52.6
45min	26.7	30.3	32.9	41.0	47.2	50.8	55.3	61.5
60min	29.4	33.3	36.1	45.1	51.9	55.8	60.8	67.6
90min	32.9	37.4	40.6	50.6	58.2	62.6	68.3	75.9
120min	35.4	40.2	43.6	54.4	62.5	67.3	73.3	81.5
150min	37.2	42.2	45.8	57.2	65.8	70.7	77.1	85.7
180min	38.7	44.0	47.6	59.4	68.4	73.5	80.1	89.1

表 8.5 参证站不同年径流总量控制率对应的设计降水量(mm)

年径流总量 控制率	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
设计降水量	1.4	2.8	4.6	6.8	9.7	13.6	19.0	22.7	27.4	33.6	42.3	57.1

表 8.6 参证站四季污染系数分布

方位	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
春季	2.1	1.1	0.9	0.6	1.6	3.8	7.7	12.4	16.9	16.5	16.0	15.1	11.5	7.9	5.5	3.6
夏季	0.8	0.5	0.5	0.6	1.7	5.4	9.1	14.5	19.5	15.2	14.9	14.3	10.3	5.8	3.6	1.8
秋季	1.7	1	0.8	0.6	1.4	4.1	8.6	14.4	21.2	18.6	18.1	16.9	13.6	8.2	5.5	2.9
冬季	2.7	1.8	1.1	1.1	1.6	4.6	10.2	14.3	17.5	17.2	17.1	15.3	13.2	8.6	6.9	4.6

表 8.7 参证站各季不同大气稳定度频率(%)

稳定度 季节	不稳定类							中性类	稳定类		
	A	A~B	B	B~C	C	C~D	小计	D	E	F	小计
春季	3.7	4.9	21.3	0.1	1.9	0	31.8	46.5	11.6	10.1	21.6
夏季	7.5	2.3	22.4	0	1.0	0	33.1	47.7	10.8	8.4	19.2
秋季	0	7.9	14.4	0	0.5	0	22.9	53.9	14.7	8.5	23.2
冬季	0	3.5	10.5	0	0.5	0	14.5	58.0	16.3	11.2	27.5
全年	2.8	4.7	17.2	0	1.0	0	25.6	51.5	13.4	9.5	22.8

表 8.8 参证站各段大气混合层厚度频率分布表

混合层厚度/m	0~100	101~200	201~400	401~600	601~800	801~1000	1000 以上
频率/%	31.5	29.3	17.4	7.0	4.9	4.4	5.4

表 8.9 参证站各时次平均混合层厚度分布表

时刻	08:00	14:00	20:00
混合层厚度/m	163	558	134

表 8.10 参证站逆温厚度、强度及频率统计表(全年)

类型		平均 厚度(m)	平均强度 (°C/hm)	最大 厚度(m)	最大强度 (°C/hm)	频率(%)
接地逆温	H≤50	25.5	2.9	50.0	19.0	16.1
	50<H≤100	76.4	3.9	100.0	12.9	9.3
	100<H≤150	122.8	2.5	150.0	8.5	7.9
	H>150	293.4	1.1	1296.2	3.7	4.4
	平均/最大	89.8	2.9	1296.2	19.0	9.4
低空逆温		224.3	0.6	1226.0	19.9	62.3

8.1.4 灾害风险评估

城口县工业园区的主要气象灾害有暴雨、低温、大风、雷电等。

暴雨：园区暴雨灾害发生的可能性等级为**2级**，即很可能发生；暴雨灾害可能造成后果的等级为**1级**，可能造成园区内电力设施损坏、底楼设备遭水淹、部

分露天设备、露天停车场等有可能会遭遇水浸发生故障，还可能造成周边山体滑坡，甚至人员伤亡；园区暴雨风险为**高风险**。

低温：园区低温灾害发生的可能性等级为**1级**，即**极可能发生**；低温灾害可能造成后果的等级为**4级**，低温使园区的取暖设备增加导致用电隐患增加，容易引发安全事故，影响园区内工作人员健康，体弱者容易出现流感，可能导致道路结冰引发园区货运车辆在行驶过程中溜滑，引发安全事故；园区低温风险为**高风险**。

大风：园区大风灾害发生的可能性等级为**2级**，即**很可能发生**；大风灾害可能造成后果的等级为**2级**，可能对抗风性能较弱的房屋造成损毁，影响园区正常的运行，容易吹落高层建筑物的门窗和屋顶的物品以及广告牌，有时甚至吹倒建筑物，对园区工作人员安全构成威胁，可能造成水、电、通信等线路中断，影响电力、水等正常供应以及造成通讯中断和设施损毁，刮断电线等引发火灾，危及园区基础设施；园区大风风险为**高风险**。

雷电：城口县年平均雷暴日数为 32.4 天，每年的 7 月和 8 月是园区雷电活动的高发期；地闪频次在午后、傍晚和夜间出现较高，特别是 14 时~19 时为闪电活动的高发时段；园区雷击大地密度平均值为 3.0 次/(年*平方公里)，用层次分析法评估园区区域雷电灾害风险值为 5.357，根据雷电灾害风险评估指标的危险等级(QT/T 85-2018)，确定区域雷电灾害风险等级为**中等风险**。

8.1.5 园区规划建设对局地气候的可能影响

根据国内现代城市化和工业园区建设对局部气候影响的研究成果，城口县工业园区规划建设面积约 2.62 平方公里，由巴山组团、高燕组团和庙坝组团组成。由于园区生产建筑设施、道路改变了原来规划建设前下垫面的热力特性；同时生产过程和运输会导致能源消耗增加，因此对局部气候的影响也将表现为：**园区近地面气温比规划开发前的气温会有升高现象，而且气温的日较差会变小，在大尺度环境风弱的晴天条件下更明显，会产生一定的热岛效应；工业园区的升温作用和城口城区的热岛效应叠加，可能将使城区的可观测热岛面积增大，在特殊的天气背景条件下强度有所增强。**

8.2 适用性

由于园区范围内及周边区域自动站的数据观测时间较短、观测要素不全，不满足气象分析的相关规范，而在园区 50km 范围内仅有一个国家气象站，即城口国家气象站，因此报告中气候背景分析和关键工程气象参数的计算选用了该站的数据。城口国家气象站与园区周边自动站的相对距离较近、地理位置和下垫面条件相似，可认为城口国家气象站与园区气候特征基本一致，可用于园区气候背景分析和关键工程气象参数的计算。为了更好地开展工作，得到更具有针对性和代表性的气象分析结果，建议在园区内设立临时气象观测站，增加气象要素观测，进行一定时期的稳定观测。

8.3 建议

城口县工业园区多位于峡谷内，以矿业和食品产业为主，还包括配套的居住区、商圈、学校、医院、文娱场地等，人口较为集中，承灾体脆弱性较高。针对本园区的气候特征、地理位置以及产业结构，提出以下建议。

8.3.1 应对暴雨天气的建议

(1) 充分考虑城口县工业园区所在区域暴雨多发的特点，建议园区管委会适当定期检查排水系统，定期检查排水管道是否畅通，尽可能降低强降水引发积涝的可能；在园区主要隐患点增加警示标牌并在园区内增设气象电子显示屏，及时接收气象局发布的暴雨预警信号。制定针对暴雨灾害的应急预案，建立各级防汛责任制；除了在 4~10 月做好暴雨防御工作之外，非汛期也需要警惕暴雨发生的可能，避免因防灾减灾意识松懈带来风险隐患；特别要注意短历时强降水过程对园区内需重点关注的风险源的影响。此外，园区多位于峡谷内，暴雨容易引发山洪地质灾害，园区应充分考虑灾害发生的可能性，加强防范。

(2) 矿业相关的户外生产工作应及时关注天气变化，提早防范，减少或停止作业，保证作业人员的人身安全，避免不必要的损失。食品产业应及时接收气象局发布的暴雨预警信号，对存储的商品及时进行转移。

(3) 园区公众应及时收听收看有关部门应急信息和气象预警信息。驾驶人员应注意道路积水和交通阻塞，确保安全；户外人员应立即到室内暂避；应远离电线，不要在大树底下避雨，不要拿着金属物品及接打手机，以防雷击；远离河流以及空旷地区，远离广告牌以及简易建筑物。

8.3.2 应对低温天气的建议

(1) 建议在城口县工业园区内增设气象电子显示屏，及时接收气象局发布的低温预警信号。园区管委会应制定针对低温灾害的应急预案，积极参加当地政府组织的应急救援演练。出入园区的车辆应及时安装防滑轮胎，园区内设置道路结冰提醒牌，减少因道路结冰导致的安全事故。

(2) 企业管理人员应及时收听收看有关部门应急信息和气象预警信息。企业应对户外作业工人进行防寒防冻指导，通过低温错时轮休、调整上下班时间、换班轮休等方式，合理调整工人工作时间，确保企业职工安全。企业管理人员针对低温天气，应对管道采取防冻措施，防止管道冻胀损坏或爆裂等情况发生。

(3) 低温来临前应及时针对园区工作人员进行通知，及时增添衣物，防止感冒或者流感的发生。加强安全用电和禁止使用大功率取暖设备宣传，防止因为电线短路导致的火灾。驾驶员应注意路况，小心驾驶。

8.3.3 应对大风天气的建议

(1) 应在大风来临前，园区管理者应及时安排加固园区公共地面设施，有建设工程的应遮盖建筑物资，妥善安置易受大风影响的室外物品；对简易建筑、临时搭建物、门窗、电气线路、室外体育器械等进行重点排查，消除因大风可能导致安全事故的隐患，在危险地段设置安全警示牌。在大风来临时应注意防范用大风刮断园区内电线等引发火灾；做好停电、停水的各项应急工作，制定针对大风灾害的应急预案，积极参加当地政府组织的应急救援演练。

(2) 企业管理人员应及时收听收看有关部门应急信息和气象预警信息。园区内矿产相关企业应注意在大风天气户外作业安全。园区内企业应对厂房门窗、线路进行检查，提前安置室外易受大风影响物品。

(3) 园区内公众应及时收听收看有关部门应急信息和气象预警信息，在大风天气中，尽量减少外出，必须外出时不要在广告牌、临时搭建筑物下面逗留、避风；停止进行户外活动或露天集会；园区车辆如果正在行驶中，应及时驶入地下停车场或隐蔽处。

8.3.4 应对雷电天气的建议

(1) 园区管委会应定时组织人员对临近的设备管线的防雷设施进行仔细检查，避免雷击灾害发生。

(2) 企业管理人员应及时收听收看有关部门应急信息和气象预警信息。园区内企业在设计施工时一定要按照防雷技术规范实行,有条件情况下,应加强非工程性防雷措施(如建设系统的雷电预警系统、制定完善的防雷安全管理制度等),可以更加科学地指导该区域雷电灾害防御,有效提升防雷安全。同时在设计时宜适当提高接地性能,投入使用后应定期开展防雷装置检测工作确保设备正常运行,发现问题及时处理。新建项目根据自身情况合理防雷,防雷设计应按照第三类防雷建筑物标准及以上进行。

(3) 园区工作人员遇有雷雨天气,特别是当闪电临近时,应当及时进入安全区域,不宜停留在无防雷措施的车库,也要尽量远离大树和高压线等物体,防止遭受直接雷击。发生雷击事故后,岗位人员要沉着、镇定,不要惊慌,应迅速对伤者采取人工呼吸和进行心脏按摩,同时拨打 120 求助。尽快通知当地防雷主管机构,并由防雷主管机构组织相关部门以及人员进行雷电灾害调查,做出该次雷灾事故鉴定。

8.3.5 规划布局相关建议

(1) 城口县工业园区规划建设时应充分考虑设计风速的大小,提高建筑物抗风能力;在雨水利用和排水管网设计方面考虑不同历时重现期暴雨强度及年径流总量控制率对应的设计降水量;不同重现期日最大降水量、极端高温、极端低温可作为设置园区暴雨和高温应急响应等级的参考。

(2) 混合层厚度分析结果显示园区秋、冬季混合层厚度较低,大气扩散能力弱,大气污染事件发生概率较春、夏季高,建议减少在该时间段带有污染的生产运营活动。一天当中,午后到傍晚混合层高度达到极大值,这一时段也是大气对污染物的扩散稀释能力最强的时段,利于污染物排放。建议工业点源的排污安排在午后至傍晚时段。由于 2013 年之后参证站云量没有观测,本报告混合层厚度分析时段为 2005~2013 年,分析结果不能完全代表园区近几年混合层厚度变化特征。若要得到更加真实可靠的结果,建议在园区内设立临时气象观测站,对云量等要素进行一定时期的稳定观测。

(3) 根据园区逆温和污染系数的计算可以看出冬季大气扩散能力弱,污染事件容易发生,建议减少在该时间段带有污染的生产运营活动;污染系数全年在 S~W 方向较大,冬季和夏季尤为明显。建议园区在规划建设布局时,应将带有大

气污染的企业布局在污染系数较大方向的下风向，并在 S~W 方向多布置绿源，减少污染。

(4) 城口县工业园区处于暴雨高风险区域，当发生强降水时，除暴雨洪涝灾害影响外，还容易导致未经处理的工业废水等外漏，可能将污染物带入河流、江水甚至居民生活水源中。建议发生强降水时，应减少工业废水的排污作业等。

(5) 适宜的建筑室外空气气象参数对设备运行效率、人体舒适度和建筑节能等都至关重要。城口县工业园区在暖通空调行业进行负荷计算和设备选型时应充分参考建筑室外空气气象参数的推算结果，合理设计通风、降温、空调设备，节能和舒适有机结合。

(6) 考虑到城口县工业园区建设，可能引起园区近地面气温比规划开发前的气温会有升高现象，而且气温的日较差会变小，在大尺度环境风弱的晴天条件下更明显，会产生一定的热岛效应。建议园区规划建设，按照生态园区、海绵园区的建设理念进行设计，合理布设风道，同时注重园区的绿化建设，提高园区的绿化率，可有效缓解园区建设造成的热岛效应，保障城口县工业园区经济社会的可持续发展。

附 录

A 风险矩阵法

自然灾害风险是以自然变异为主因导致的未来不利事件发生的可能性及其损失。由不利事件的可能性和损失作为灾害风险分级的量化指标，利用风险量化矩阵进行风险分级。

采用经典的风险定义来表达灾害风险，并采用中华人民共和国国家标准 GB/T 27921-2011《风险管理 风险评估技术》中的风险矩阵法进行气象灾害风险评估和分级。灾害风险分级由灾害风险事件发生的可能性和产生的后果来决定。以 P 代表灾害风险事件发生的可能性的分级，以 C 代表灾害风险事件产生的后果的分级，以 R 代表灾害风险。灾害风险 R 的分级由 P 和 C 的乘积决定。其数学计算公式为：

$$R=P*C \quad (A.1)$$

式中，R(risk)表示灾害风险，P(probability)表示灾害风险事件发生的可能性，C(consequence)表示灾害风险事件产生的后果。

(1) P—发生的可能性

灾害险可能性的等级按照表 A.1 所示标准进行划分。依据事件在一定时期发生的概率或发生可能性的文字描述，相应的评分从 1 到 4 代表可能性发生的从高到低。

表 A.1 灾害风险可能性等级分值

可能性等级分值	定性判断标准	定量判断标准(概率区间)
1	极可能	$P_f \geq 0.5$
2	很可能	$0.1 \leq P_f < 0.5$
3	可能	$0.02 \leq P_f < 0.1$
4	可能性低	$0.01 \leq P_f < 0.02$

(2) C——事件后果的严重性

针对自然灾害风险事件可能造成后果的严重性，根据对人的影响、对设备的影响以及对生产的影响三个方面进行后果严重性等级划分。按照事件的后果严重程度分为“非常严重、严重、一般、轻微”四个级别，相对应的评分分别为 1、2、3、4。

表 A.2 灾害事件造成后果分析等级划分

后果等级分	风险事件后果	对人的影响	对设备的影响	对生产的影响
1	非常严重	多人死亡和/或严重受伤	多数设备遭严重损害, 主要系统严重受伤	生产活动中断 12 小时以上
2	严重	一人死亡和/或严重受伤	大量设备遭严重损害, 主要系统受损	生产活动中断 6-12 小时
3	一般	多人轻微受伤	部分设备遭严重损害, 对主要系统造成轻微影响	生产活动中断 1-6 小时
4	轻微	可能造成一人轻微受伤	部分设备遭轻微损害, 不影响主要系统	生产活动中断不足 1 小时

后果的分级方法是根据灾害风险事件产生指标的等级分值, 将后果从大到小分为四个等级, 分别用等级 C 的分值表示 (表 A.3)。一次灾害风险事件的多个指标的等级分值不同时, 后果等级分值 C 取其指标等级分值中的最大者。表 A.3 提供了一种灾害风险的后果等级 C 的分值的取值示例。

表 A.3 灾害风险后果严重性等级分值

后果等级分值 C	风险事件后果	后果指标分值				
		指标 1	指标 2	指标 3	指标 4	其他指标
1	非常严重	1	1	1	1	1
2	严重	2	2	2	2	2
3	一般	3	3	3	3	3
4	轻微	4	4	4	4	4

(3) 风险分级矩阵

根据灾害风险事件的可能性等级分值 P 和灾害风险事件的后果 C 的分值, 建立灾害风险分级矩阵。风险等级分值 R 为灾害风险, 是灾害风险事件的可能性等级分值 P 与后果等级分值 C 相乘的结果。根据风险等级的划分, R 被赋以四种颜色, 分别表示灾害风险的四个等级: 红色代表极高风险, R 分值为 1—2; 橙色代表高风险, R 分值为 3—4; 黄色代表中等风险, R 分值为 6—9; 蓝色代表低风险, R 分值为 12—16。

表 A.4 灾害风险分级矩阵

风险等级分值 R			后果等级分值 C			
			非常严重	严重	一般	轻微
			1	2	3	4
可能性等级分值 P	极可能	1	1	2	3	4
	很可能	2	2	4	6	8
	可能	3	3	6	9	12
	可能性低	4	4	8	12	16

B 气象灾害风险区划模型

气象灾害风险区划工作的目的是为了辨识危害、降低风险损失，是基于灾害风险理论及气象灾害风险形成机制，通过对致灾因子危险性、承灾体脆弱性、承灾体暴露性、防灾减灾能力等多因子综合分析，构建各种灾害风险评价的框架、指标体系、方法与模型，对各种气象灾害风险程度进行评价和等级划分，借助 GIS 绘制相应的风险区划图系。其中，危险性是灾害产生的先决条件，表示引起灾害的致灾因子强度及概率特征；脆弱性表示在气候条件相同的情况下，某个孕灾环境的地理地貌条件与致灾因子配合，在很大程度上能加剧或减弱气象灾害及次生灾害；暴露性表示承灾体易于遭受灾害威胁和损失的性质和状态；防灾减灾能力意为承灾体抵御灾害的能力（图 B.1）。

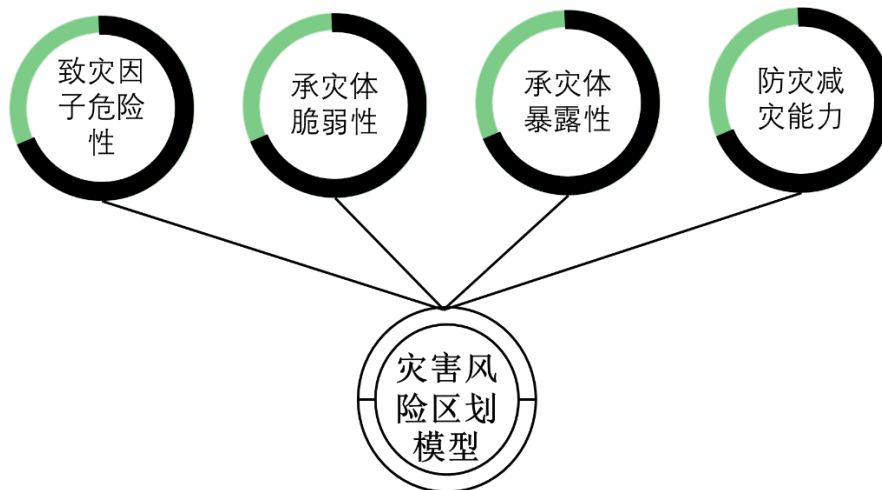


图 B.1 气象灾害风险的形成和组成要素

(1) 气象灾害风险指数层级结果模型

总的来说各种气象灾害的风险区划均采用气象灾害风险指数的层次结构模型，具体如下：

$$HDRI = (VE^{we})(VH^{wh})(VS^{ws})(VR^{wr})$$

HDRI 为气象灾害风险指数，用于表示气象灾害风险程度，其值越大，则灾害风险程度越大，VE、VH、VS、VR 的值是气象灾害危险性、承灾体暴露性、承灾体脆弱性和抗灾能力各因子指数。we、wh、ws、wr 是各评价因子的权重，权重的大小根据专家打分法确定。

为了消除各指标的量纲差异，对每一个指标值进行归一化处理。对于气象灾害危险性、承灾体暴露性和承灾体脆弱性所包含的各个指标归一化计算公式为：

$$D_{ij} = 0.5 + 0.5 \times \frac{A_{ij} - \min_i}{\max_i - \min_i}$$

由于防灾减灾能力越强，相应的灾害风险越小，因此，抗灾能力的各个指标归一化方法与其他要素不同，计算公式为：

$$D_{ij} = 1.0 - 0.5 \times \frac{A_{ij} - \min_i}{\max_i - \min_i}$$

式中 D_{ij} 是 j 站（格）点第 i 个指标的归一化值， A_{ij} 是 j 站（格）点第 i 个指标值， $\min_i$ 和 $\max_i$ 分别是第 i 个指标值中的最小值和最大值。

各评价因子指数（即危险性、暴露性、脆弱性和抗灾能力）的计算则采用加权综合评价法，把各个具体指标的作用大小综合起来，用一个数量化指标加以集中表示整个评价对象的影响程度，计算公式为：

$$V_j = \sum_{i=1}^n W_i \cdot D_{ij}$$

式中， V_j 是评价因子的总值， W_i 是指标 i 的权重， D_{ij} 是对于因子 j 的指标 i 的归一化值； n 是评价指标个数。

(2) 专家打分法

通过专家打分法确定因子权重。专家打分法也称为德尔菲法(Delphi)，是指通过匿名方式征询有关专家的意见，对专家意见进行统计、处理、分析和归纳，可观地综合多数专家经验与主观判断，对大量难以采用技术方法进行定量分析的因子做出合理估算，经过多轮意见征询、反馈和调整，来确定各因子的权重系数。该方法确定的权重系数能较好地反应实际情况下各致灾因子在灾害形成过程的作用，但存在一定的主观因素。

(3) 气象灾害风险因子层的叠置综合

灾害风险是致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性和防灾减灾能力四个因子综合作用的结果。不同因子层还需要进行叠加运算才能得到综合风险结果，在进行运算前首先保证各因子层具有统一的投影坐标和栅格框架，

以保证运算时各层间能够逐点对应。不同因子层的叠加计算在 ArcGIS 中空间分析模块的栅格计算器中实现，计算原理如图 B.2 所示。

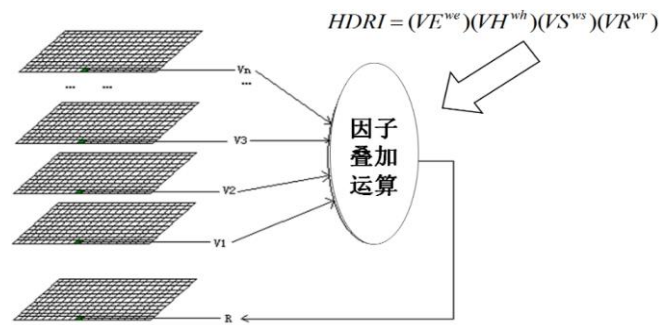


图 B.2 因子综合的运算原理

(4) 分级与区划方法

区划分级采用的方法为自然断点法(Jenks Natural Breaks Optimization)，其原理是根据数据序列本身的统计规律，按要求设定等级断点的个数，使得级内方差最小以及不同等级间方差最大的一种最优化数据分组方法。

C 层次分析法

层次分析法是一种定性和定量结合的考虑多因子进行决策分析的方法。层次分析法的基本原理是利用层次分析法将一个复杂系统中的每个指标分解为若干个有序层次，每一个层次之间按照隶属关系组建成一个有序的递阶层次结构模型。根据这些分解因子的重要性进行对比，形成判断矩阵，最终得出目标因子的重要性权重。

(1) 构建判断矩阵

根据建立的阶梯层次结构模型上下层因子关系构建目标对象的判断矩阵。下层因子是构建判断矩阵的关键因子，对于目标因子而言，关键因子互相对比所表现出的重要程度不同，这对最终目标因子的权重影响重大，并影响决策者的决策。层次分析法使用数字 1~9 及其倒数作为标度，从而构成判断矩阵，判断矩阵标度规则见表 C.1。

表 C.1 判断矩阵标度规则定义

标度	定量判断标准(概率区间)
1	2 个因素重要程度相同
3	前者因素相较后者因素重要程度稍重
5	前者因素相较后者因素重要程度明显
7	前者因素相较后者因素重要程度强烈
9	前者因素相较后者因素重要程度极为强烈
2	标度 1、3 的中间程度值
4	取标度 3、5 的中间程度值
6	取标度 5、7 的中间程度值
8	取标度 7、9 的中间程度值
倒数	含义取反

(2) 判断矩阵的一致性检验

1、一致性指标 CI 计算公式如下：

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

其中， λ_{max} 为判断矩阵的最大特征值。

2、查找平均随机一致性指标 RI。平均随机一致性指标 RI 由表 C.2 查找得到。

表 C.2 平均随机一致性指标表

n	RI	n	RI
1	0	8	1.41
2	0	9	1.46
3	0.52	10	1.49
4	0.89	11	1.52
5	1.12	12	1.54
6	1.24	13	1.56
7	1.36	14	1.58

3、一致性比率 CR 计算公式。

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

判断矩阵只有在 $CR < 0.1$ 时才被认定为可以接受，否则需要重新调整判断矩阵。

(3)根据判断矩阵计算权重向量 W

层次分析法对判断矩阵的权重向量计算方法很多，分别有几何平均法、算术平均法、特征向量法和最小二乘法等，本报告使用方根法计算权重。

首先求得判断矩阵的特征向量：

$$I^T = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

再将其归一化，得到权重向量：

$$W_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i}, i = 1, 2, \dots, n$$

D 隶属度计算方法

风险，是不确定的，是一种模糊的概念。对风险的理解，不能确定地说发生与否。因此，我们运用隶属度，其属于模糊评价函数里的概念，模糊综合评价是对受多种因素影响的事物作出全面评价的一种十分有效的多因素决策方法，其特点是评价结果不是绝对地肯定或否定，而是以一个模糊集合来表示。根据 QX/T 85-2018 雷电灾害风险评估技术规范规定确定各个指标因素评估等级和隶属度。

(1) 各个指标因素评估等级标准

D.1 雷电风险的分级标准

D.1.1 雷暴日

雷暴日分五个等级，见表 D.1。

表 D.1 雷暴日等级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
雷暴日 d/a	[0,20)	[20,40)	[40,60)	[60,90)	[90,365)

D.1.2 雷暴路径

雷暴路径越集中、锐度越大，则危险等级越高。雷暴路径分五个等级，V 级的雷暴路径仅为一个方向，IV 级的雷暴路径可以为一个或两个值，III 级、II 级、I 级的雷暴路径依次从两个方向过渡到三个方向。因此，雷暴路径五个等级依次为：

- I 级（雷暴最大 3 个移动方向百分比之和小于 40%）；
- II 级（雷暴最大 3 个移动方向百分比之和大于 40%，小于 50%）；
- III 级（雷暴最大 2 个移动方向百分比之和大于 40%，小于 45%；或者最大 3 个移动方向百分比之和大于 50%）；
- IV 级（雷暴路径主方向的百分比大于 30%，小于 35%；或者最大 2 个移动方向百分比之和大于 45%）；
- V 级（雷暴路径主方向的百分比大于 35%）。

D.1.3 雷击密度

雷击密度分五个等级，见表 D.2。

表 D.2 雷击密度分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
雷击密度 次/(千米 ² *年)	[0,1)	[1,2)	[2,3)	[3,4)	[4,∞)

D.1.4 雷电流强度

雷电流强度分五个等级，见表 D.3。

表 D.3 雷电流强度分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
雷电流强度 kA	[0,10]	[10,20]	[20,40]	[40,60]	[60,∞]

D.2 地域风险的分级标准**D.2.1 土壤结构****D.2.1.1 土壤电阻率**

土壤电阻率分五个等级，见表 D.4。

表 D.4 土壤电阻率分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
土壤电阻率 $\Omega \cdot m$	[3000,∞)	[1000,3000)	[300,1000)	[100,300)	[0,100)

D.2.1.2 土壤垂直分层

土壤垂直分层分五个等级，见表 D.5。

表 D.5 土壤垂直分层分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
垂直分层 $\Omega \cdot m$	[300,∞]	[100,300]	[30,100]	[10,30]	[0,10]

D.2.1.3 土壤水平分层

土壤水平分层分五个等级，见表 D.6。

表 D.6 土壤水平分层分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
水平分层 $\Omega \cdot m$	[300,∞)	[100,300)	[30,100)	[10,30)	[0,10)

D.2.2 地形地貌

地形地貌危险分五个等级，依次为：

- I 级（平原）
- II 级（丘陵）
- III 级（山地）

——IV 级（河流、湖泊以及低洼潮湿地区、山间风口等）

——V 级（旷野孤立或突出区域）。

D.2.3 周边环境

D.2.3.1 安全距离

安全距离分五个等级，划分原则：

——I 级（不符合 II 级、III 级、IV 级、V 级的情况者）；

——其他等级的划分见下表。

表 D.7 安全距离分级

危险等级	安全距离 m				
	0/20 区	1/21 区	存储火(炸)药及其制品的场所	2/22 区	具有爆炸危险的露天钢质封闭气罐
II 级	[0,1000)	[0,1000)	[0,500)	[0,500)	[0,500)
III 级	[0,500)	[0,500)	[0,300)	[0,300)	[0,300)
IV 级	[0,300)	[0,300)	[0,100)	[0,100)	[0,100)
V 级	[0,100)	[0,100)	[0,100)(易引起爆炸且后果严重)	—	—

D.2.3.2 相对高度

相对高度分五个等级，依次为：

——I 级（评估区域被比区域内项目高的外部建（构）筑物或其他雷击可接闪物所环绕）

——II 级（评估区域外局部方向有高于评估区域内项目的建（构）筑物或其他雷击可接闪物）

——III 级（评估区域外建（构）筑物或其他雷击可接闪物与评估区域内项目高度基本持平）

——IV 级（评估区域外建（构）筑物或其他雷击可接闪物低于区域内项目高度）

——V 级（评估区域外无建（构）筑物或其他雷击可接闪物）。

D.2.3.3 电磁环境

表 D.8 电磁环境分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
电磁环境 GS	[0,0.07)	[0.07,0.75)	[0.75,2.4)	[2.4,10)	[10,∞)

D.3 承灾体风险的分级标准

D.3.1 项目属性

D.3.1.1 人员数量

表 D.9 人员数量分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
人员数量 /人	[0,100)	[100,300)	[300,1000)	[1000,3000)	[3000,∞)

D.3.1.2 影响程度

表 D.10 人员数量分级

危险等级	区域内项目危险特征
I 级	区域内项目遭受雷击后一般不会产生危及区域外的爆炸或火灾危险
II 级	区域内项目有三级加油加气站，以及类似爆炸或火灾危险场所
III 级	区域内项目有二级加油加气站，以及类似爆炸或火灾危险场所
IV 级	区域内项目有一级加油加气站，四级/五级石油库，四级/五级石油天然气站场，小型、中型石油化工企业，小型民用爆炸物品储存库，小型烟花爆竹生产企业，危险品计算药量总量小于或等于 5000 kg 的烟花爆竹仓库，小型、中型危险化学品企业及其仓库，以及类似爆炸或火灾危险场所
V 级	区域内项目有一级/二级/三级石油库，一级/二级/三级石油天然气站场，大型、特大型石油化工企业，中型、大型民用爆炸物品储存库，中型、大型烟花爆竹生产企业，危险品计算药量总量大于 5000 kg 的烟花爆竹仓库，大型、特大型危险化学品企业及其仓库，以及类似爆炸或火灾危险场所

D.3.2 建（构）物特征

D.3.2.1 占地面积

表 D.11 占地面积分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
占地面积 /m ²	[0,2500)	[2500,5000)	[5000,7500)	[7500,10000)	[10000,∞)

D.3.2.2 等效高度

表 D.12 等效高度分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
等效高度 /m	[0,30)	[30,45)	[45,60)	[60,100)	[100,∞)

D.3.2.3 材料结构

材料结构分五个等级，依次为：

- I 级（建（构）筑物为木结构）
- II 级（建（构）筑物为砖木结构）
- III 级（建（构）筑物为砖混结构）

——IV 级（建（构）筑物屋顶和主体结构为钢筋混凝土结构）

——V 级（建（构）筑物屋顶和主体结构为钢结构）。

D.3.3 电子电气系统

D.3.3.1 电气系统

电气系统分五个等级，依次为：

——I 级（电力负荷中仅有三级负荷，室外低压配电线路全线采用电缆埋地敷设）

——II 级（电力负荷中仅有三级负荷，符合下列情况之一者）

室外低压配电线路全线采用架空电缆，或部分线路采用电缆埋地敷设；

室外低压配电线路全线采用绝缘导线穿金属管埋地敷设，或部分线路采用绝缘导线穿金属管埋地敷设。

——III 级（符合下列情况之一者）

电力负荷中有一级负荷、二级负荷，室外低压配电线路全线采用电缆埋地敷设；

电力中仅有三级，室外低压配电用架空裸导线或架空绝缘导线。

——IV 级（电力负荷中有一级负荷、二级负荷，符合下列情况之一者）

室外低压配电线路全线采用架空电缆，或部分线路采用电缆埋地敷设；

室外低压配电线路全线采用绝缘导线穿金属管埋地敷设，或部分线路采用绝缘导线穿金属管埋地敷设。

——V 级（电力负荷中有一级负荷、二级负荷，室外低压配电线路全线采用架空裸导线或架空绝缘导线）。

(2) 指标参量的隶属度分析

1、定量指标参量的隶属度计算

定量指标参量即可量化指标参量，有雷暴日、雷击密度、雷电流强度、土壤电阻率、土壤垂直分层、土壤水平分层、电磁环境、人员数量、占地面积、等效高度。以雷暴日为例，若评估对象的雷暴日参数为 46.6,结合雷暴日的五个等级划分（见表 D.1），根据隶属函数和表 D.1 令 v_1 , v_2 , v_3 , v_4 , v_5 分别为 10, 30, 50, 75, 100（取等级范围中间值）。根据极小型隶属函数处理方法，按照下式计算雷暴日的隶属度。

$$r_2 = \frac{50 - 46.6}{50 - 30} = 0.17$$

$$r_3 = \frac{46.6 - 30}{50 - 30} = 0.83$$

可以得到雷暴日的隶属度如表 D.13 所示。

表 D.13 雷暴日隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
隶属度	0	0.17	0.83	0	0

2、定性指标参量的隶属度计算

定性指标参量包括:雷暴路径、地形地貌、安全距离、相对高度、使用性质、影响程度、材料结构、电子系统、电气系统。

定性指标的隶属度确定方法与定量指标的隶属度确定方法有所不同,定性指标不需要通过公式计算,只需要把收集到的数据与分级标准对比,符合某一个危险等级的描述,则完全隶属于该风险等级,且隶属度等于 1。

例如,根据被评估对象历史资料及现场勘测,地形地貌为丘陵,根据地形地貌的危险等级划分,则地形地貌完全隶属于 II 级,见表 D.14。

表 D.14 地形地貌隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
地形地貌隶属度	0	1	0	0	0

E 数值模式介绍

大气数值模式是通过数值计算方法对大气动力及热力过程进行求解,从而研究大气状况的重要工具,被广泛应用于天气预报、气候可行性论证、城市规划等领域。目前常用的数值模式有很多,根据不同应用场景的时空尺度,可简单将其分为大气环流模式、区域数值模式和微尺度模式。其中大气环流模式主要用于全球气候变化研究,区域数值模式可用于分析百米至千米分辨率的局地气候状况,而微尺度模式则主要应用于十米至数十米分辨率的局地微气候研究。

随着计算机技术的迅速发展,数值模式在数值天气预报及天气、气候研究中起到了越发重要的作用。为对数值模式进行规范,以便业务科研中的交流,美国国家大气研究中心(NCAR)、美国国家环境预报中心(NCEP)、美国国家海洋和大气管理局(NOAA)以及天气预报研究院(FSL)联合开发了新一代中尺度天气预报模式——Weather Research and Forecasting Model(简称 WRF 模式)。由于精度高、模拟效果好、代码开源等特点,不管是在业务部门还是科研机构,WRF 模式都得到了广泛应用;其在区域气候数值模拟研究中的适用性也得到了大量论证。本次使用的是 WRF3.9.4 版本。

WRF 模式包含三个主要结构层:驱动层、中间层和模式层。其中,驱动层负责模式初始化、输入输出、时间积分、计算区域嵌套以及并行计算等;中间层则负责提供驱动层与模式层之间的交互和接口;模式层则主要包括动力学框架、物理过程等。除此之外,WRF 模式还提供了多种理想试验方案、多种模式初始化方案、多个滤波方案以及大量的物理过程参数化方案等,以更好地应用于不同情境。WRF 水平方向采用 Arakawa-C 网格,垂直方向采用地形跟随 η 坐标系,时间积分采用三阶 Runge-Kutta 方案。图 E.1 与图 E.2 分别为 WRF 垂直坐标系示意及水平和垂直网格分布。关于 WRF 模式的更多介绍可在其官网(<http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>)获得。

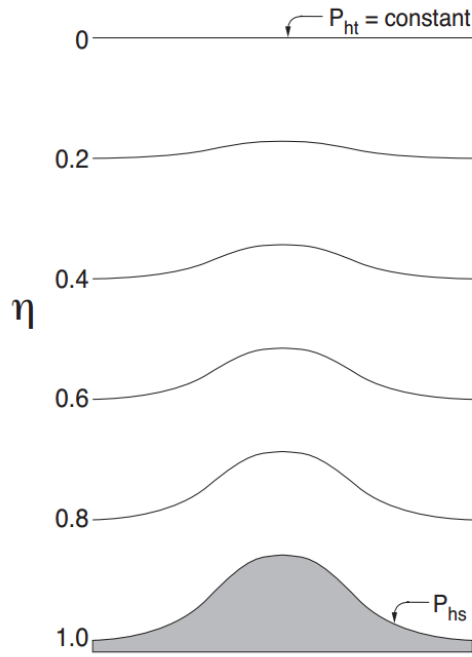


图 E.1 WRF 模式垂直坐标系

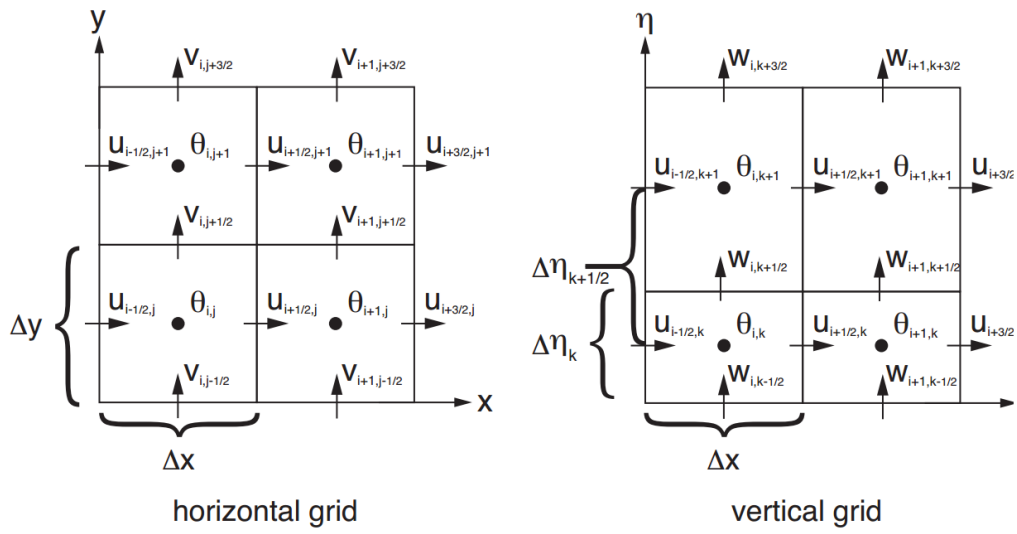


图 E.2 WRF 水平(左)及垂直(右)方向网格

F 重现期计算方法

推算气候极值较常用的概率分布模型包含对数正态分布、Weibull 分布、皮尔逊-III 型分布、耿贝尔分布、指数分布等。其中对数正态分布和 Weibull 分布可以是两参数分布，也可以是三参数分布。显然，两参数分布是三参数分布的特殊情形，因此，三参数分布拟合精度更高，适用范围更广。常用概率模型的分布函数及其参数情况如表 F.1 所示，误差分析统计量如表 F.2 所示。

表 F.1 常用概率模型的分布函数及其参数情况

概率模型	分布函数 $F(x) = P(X \leq x)$	模型参数
对数正态分布	$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x-x_0)-u}{\sigma}\right), (x \geq x_0)$	x_0 -初始位置, u -均值, σ -标准差
Weibull 分布	$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-c}{\alpha}\right)^k},$ $(x > c; k > 0; \alpha \geq 0)$	α -尺度参数, c -初始位置, k -形状参数
皮尔逊-III 型分布	$F(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_0}^x (t-x_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(t-x_0)} dt$ $(\alpha, \beta > 0; x \geq x_0)$	x_0 -初始位置, α -形状参数, β -尺度参数
耿贝尔分布	$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$	α -尺度参数, u -位置参数
指数分布	$F(x) = 1 - e^{-\alpha(x-u)}$	α -尺度参数, u -初始位置

注: Φ 表示标准正态分布。

表 F.2 误差分析统计量

误差变量	计算公式
柯尔莫哥洛夫拟合度 D_n	$D_n = \max F(x_i) - P_i $
相关系数 R	$R = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(\hat{x}_i - \hat{\bar{x}})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - \hat{\bar{x}})^2}}$
绝对均方根误差 $RMSE$	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_i)^2}$
相对均方根误差 U_m	$U_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\hat{x}_i - x_i}{x_i}\right)^2} \times 100\%$

G 园区及重点企业对气象要素、高影响天气敏感度调查表

园区及重点企业对气象要素、高影响天气敏感度调查表

园区名称: 城口县工业园区 调查日期: 2020年9月28日 调查人: 秦观

敏感因子 企业名称	气象要素										高影响天气												易受灾的 部位或设施					
	风向风速		气温		气压		相对湿度		降水		暴雨洪涝		大风		暴雪		雷击闪电		高温		低温冰冻			冰雹		雾霾		
	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低		高	低	高	低	
重庆泰正矿产		✓		✓			✓	✓		✓				✓	✓		✓		✓			✓		✓		✓		
资源开发有限公司																												
城口县鑫城		✓		✓			✓	✓		✓				✓		✓		✓	✓			✓		✓		✓		
建材有限公司																												
城口县新城新		✓		✓			✓		✓		✓	✓		✓		✓		✓	✓			✓		✓		✓		
能源有限公司																												
重庆天宝药业		✓		✓			✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓	✓		✓			✓		✓		✓	
有限公司																												
城口县久益农		✓		✓			✓	✓		✓		✓		✓		✓		✓	✓			✓		✓		✓		
业发展有限公司																												
园区公共设施	✓			✓		✓		✓	✓		✓		✓		✓		✓		✓		✓	✓		✓		✓		

说明:

- 1、根据敏感度“高”、“低”等级，在相应位置画“✓”，并在最后一栏给出易受灾部位或设施；
- 2、最后一行“园区公共设施”敏感情况由园区管委会相关部门填写。