

湛江奋勇高新技术产业开发区 区域雷电灾害风险评估报告



项 目 名 称：湛江奋勇高新技术产业开发区区域雷电灾害风险评估

建 设 单 位：湛江奋勇高新技术产业开发区管理委员会

报告编制单位：湛江市气象公共安全技术支持中心

编 写 时 间：2023年4月

项目名称：湛江奋勇高新技术产业开发区区域雷电灾害风险评估

委托单位：湛江奋勇高新技术产业开发区管理委员会

承担单位：湛江市气象公共安全技术支持中心

项目负责人：陈 赟，高级工程师，湛江市气象公共安全技术支持中心

项目组成员：叶明，高级工程师，湛江市气象公共安全技术支持中心李

昆飙，高级工程师，湛江市气象公共安全技术支持中心

邹治寰，工程师，湛江市气象公共安全技术支持中心

李 杏，工程师，湛江市气象公共安全技术支持中心

周怀博，工程师，湛江市气象公共安全技术支持中心

李 钢，工程师，湛江市气象公共安全技术支持中心

陈 华，工程师，湛江市气象公共安全技术支持中心

审核人：（签字）

审定人：（签字）

批准人：（签字）

前言

湛江市地处热带气候带的北缘，纬度较低，濒临南海，经常受到来自内陆西风带天气系统(高空槽、切变线、低涡等)和海洋热带天气系统(东风波、辐合带、热带气旋等)的影响，天气复杂多变，强对流天气较多，尤其是雷暴天气出现频率最高，一年四季均可发生。年雷暴日数95.6天，最多的年份近130天。

为准确把握项目所处地域雷电活动规律，指导防雷设计与施工，减少或避免项目建成后因雷电而引发的人员伤亡和经济损失，指导防雷减灾安全工作，受湛江奋勇高新技术产业开发管理委员会委托，湛江市气象公共安全技术支持中心承担了湛江奋勇高新技术产业开发区域雷电灾害风险评估工作。

湛江市气象公共安全技术支持中心经过现场勘测和充分调研，并进行了有关资料的搜集及分析，参考项目的相关资料，编写完成了本项目雷电灾害风险评估报告。

本报告内容只适用于湛江奋勇高新技术产业开发区域雷电灾害风险评估，作为项目开展下一步防雷减灾安全工作的依据，不适合他用。委托方和受托方均不得外传本报告内容，避免造成不良后果或经济损失。

目录

第一章 评估概述.....	1
1.1项目名称.....	1
1.2委托单位.....	1
1.3项目地点.....	1
1.4评估目的.....	1
1.5评估原则.....	2
1.6雷电风险评估.....	2
1.6.1雷电风险辨识.....	2
1.6.2 风险估算方法.....	2
1.7评估流程.....	3
1.8评估依据.....	4
1.8.1 相关法律法规、规定.....	4
1.8.2 相关标准、规范.....	4
第二章项目概况.....	6
2.1 规划区范围.....	6
2.2用地规模.....	7
2.3 规划空间结构.....	9
2.4产业规划.....	9
第三章雷电原理.....	10
3.1 雷电的形成及分类.....	10
3.1.1雷电形成条件.....	10
3.1.2雷电分类.....	11
3.2 雷电的特点与危害.....	15
3.2.1直接雷击.....	16
3.2.2感应雷击.....	19
第四章 数据特性分析.....	23
4.1 气象气候条件.....	24
4.2地震.....	31
4.3地质构造.....	31
第五章 土壤电阻率采集.....	33
5.1土壤电阻率.....	33
5.2 土壤电阻率的主要影响因子.....	34
5.3 土壤电阻率采集.....	36
第六章 项目区域雷电特征分析.....	45
6.1 项目区域雷暴的天气系统.....	45
6.2 项目区域雷暴形成的机制.....	57
6.2.1 直接影响湛江市雷暴天气的气象关键因素分析.....	57
6.2.2 湛江市雷暴年际变化特征.....	58
6.2.3 湛江市雷暴年变化特征.....	59
6.2.4 湛江市年初终雷暴变化特征.....	59
6.2.5 湛江市雷暴日变化特征.....	60
6.2.6 湛江市雷暴物理量分析.....	60
6.2.7 湛江市雷暴个例特征分析.....	70
6.3雷电特性参数.....	76
6.3.1 年平均雷暴日.....	77
6.3.2雷电流极性.....	78
6.3.3雷电流波形.....	78
6.3.4 年平均地闪密度.....	79
第七章 风险估算.....	81

7.1基本概念.....	81
7.1.1 损害成因.....	81
7.1.2 损害类型.....	82
7.1.3 损失类型.....	83
7.1.4风险分量.....	83
7.2 评估项目风险分量选择.....	86
7.3 评估项目分区及各区特性.....	88
7.4 评估项目风险因子估算.....	90
7.4.1 年预计雷击次数估算.....	90
7.4.2 损害概率估算.....	93
7.4.3 损失率估算.....	96
7.5 人身伤亡风险估算及结论.....	100
7.5.1 人身伤亡风险估算.....	100
7.5.2 人身伤亡风险结论.....	102
7.6 经济损失风险估算及结论.....	102
7.6.1 经济损失风险估算.....	103
7.6.1 经济损失风险估算.....	103
7.6.2 经济损失风险结论.....	105
第八章 防雷装置设计指导意见.....	106
8.1雷电综合防护措施.....	106
8.1.1 直击雷防护措施.....	106
8.1.2 感应雷防护措施.....	110
8.1.3 雷电电磁脉冲防护.....	111
8.2 建（构）筑物主体雷电风险控制.....	116
8.2.1厂房.....	116
8.2.2 钢结构建（构）筑物.....	116
8.2.3 混凝土及砌体结构建（构）筑物.....	118
8.2.4 配电装置区.....	119
8.3 各系统雷电风险控制.....	120
8.3.1 供配电系统.....	120
8.3.2电子信息系统.....	122
8.3.3仪表系统.....	124
8.3.4通讯系统.....	125
8.4雷电综合预警业务系统建设.....	126
第九章 建设过程防雷安全指导意见.....	128
9.1 施工宜避开雷暴高发期和时段.....	128
9.2 施工现场采取防雷措施.....	128
9.2.1一般要求.....	128
9.2.2 外围雷电拦截.....	129
9.3 人身安全防护指导意见.....	130
第十章 生产期防雷安全指导意见.....	132
10.1 提高气象灾害监测预警能力.....	132
10.2防雷装置管理.....	132
10.3 气象灾害科普与研究.....	133
10.4 加强雷电灾害防御标准建设.....	133
结束语.....	134
附件：专家组评审意见.....	135

第一章 评估概述

1.1 项目名称

湛江奋勇高新技术产业开发区域雷电灾害风险评估

1.2 委托单位

湛江奋勇高新技术产业开发管理委员会

1.3 项目地点

湛江奋勇高新技术产业开发区域位于湛江市西南部，雷州半岛中部，距湛江市区 48km，与雷州市新城相连，位于北纬 $20^{\circ} 57' \sim 21^{\circ} 04'$ ，东经 $109^{\circ} 55' \sim 110^{\circ} 04'$ 之间。

1.4 评估目的

雷击风险评估是防雷安全管理工作的重要环节，按照防雷减灾工作的有关法律、法规规定和技术标准规范等要求，从技术可行和经济合理性出发，应用综合防雷及风险管理理论的原理和方法，根据雷电及其灾害特征进行分析，对项目工程雷击可能导致的人员伤亡、财产损失风险进行计算，综合考虑损失概率和损失程度，以确定风险是否需要处理以及如何处理。

雷击风险评估旨在查找、分析和预测本工程项目存在的风险分量、潜在损害成因、影响因素及可能导致的危险、危害后果和损害程度，有针对性地提出消除、预防或降低风险的最有效、合理的防护措施和对策，使风险控制在可接受的程度，指导建设工程项目设计完善和具体施工，尽量避免

人身伤亡，最大限度的减少雷电灾害和损失，达到最低事故率，最少损失和最优安全投资效益。

1.5 评估原则

根据本项目实际情况，坚持政策性、针对性、科学性和实用性相结合的原则。

1.6 雷电风险评估

1.6.1 雷电风险辨识

根据对项目现场勘察、大气雷电环境的评估结论、项目立项申请报告及相关图纸，对本项目中的建（构）筑物和各系统设施的雷电风险进行识别，包括损害源、各类设备的敏感性以及雷电可能造成的损失后果分析。

1.6.2 风险估算方法

本项目雷电风险估算方法参照执行国标《雷电防护 第二部分：风险管理》（GB/T21714.2-2015）。

1.7 评估流程

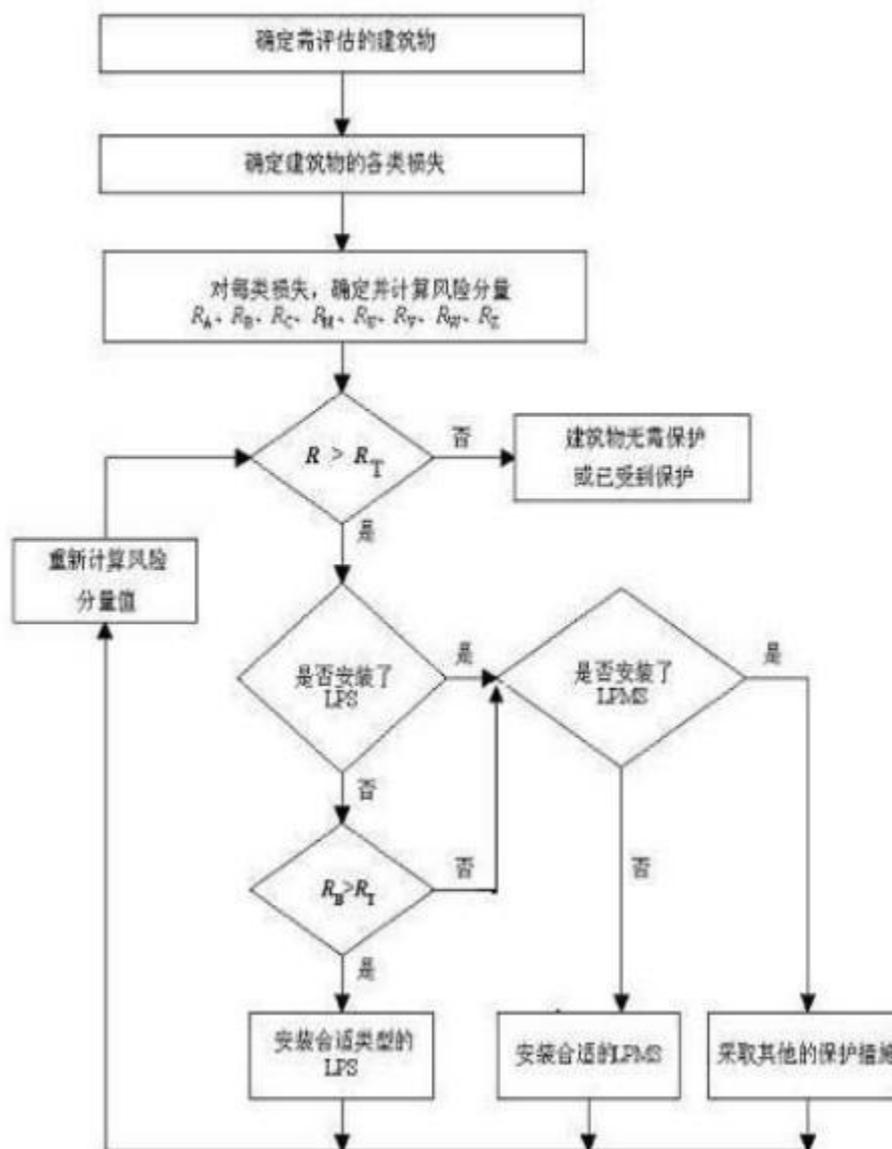


图1.7-1 评估流程图

1.8 评估依据

1.8.1 相关法律法规、规定

- 1) 《中华人民共和国气象法》
- 2) 《气象灾害防御条例》
- 3) 《广东省气象灾害防御条例》
- 4) 《防雷减灾管理办法》（中国气象局令第24号，自2013年6月1日起施行）
- 5) 《雷电防护装置设计审核和竣工验收规定》（中国气象局第37号令，自2021年1月1日起施行）
- 6) 《广东省气象灾害防御重点单位气象安全管理办法》（广东省人民政府第254令，自2018年6月1日起施行）
- 7) 《广东省气象灾害预警信号发布规定》（广东省人民政府令第255号，自2019年1月1日起施行）
- 8) 《广东省防御雷电灾害管理规定》（广东省人民政府第284号令，自2021年9月1日起施行）

1.8.2 相关标准、规范

- 1) 《建筑物防雷设计规范》（GB 50057-2010）
- 2) 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB 50343-2015）
- 3) 《雷电防护 第1部分：总则》（GB/T21714.1-2010）
- 4) 《雷电防护 第2部分：风险管理》（GB/T 21714.2-2015）
- 5) 《雷电防护第3部分：建筑物的物理损坏和生命危险》
（GB/T21714.3-2010）
- 6) 《雷电防护 第4部分：建筑物内电气和电子系统》

(GB/T21714.4-2015)

7) 《雷电防护 通信线路 第 1 部分: 光缆》(GB/T19856.1-2005/IECTR2 61663-1:1999)

8) 《雷电防护 通信线路 第 2 部分: 金属导线》(GB/T19856.2-2005/IECTR2 61663-2:2001)

9) 《民用建筑电气设计标准》(GB51348-2019)

10) 《综合布线系统工程设计规范》(GB/T 50311-2016)

11) 《低压配电设计规范》(GB 50054-2011)

12) 《供配电系统设计规范》(GB 50052-2009)

13) 《交流电气装置的接地》(GB/T 50065-2011)

14) 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(GB/T 50064-2014)

15) 《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》(GB 50169-2016)

16) 《接地系统的土壤电阻率、接地阻抗和地面电位测量导则 第 1 部分: 常规测量》(GB/T179410.1-2000)

17) 《建筑设计防火规范》(GB 50016-2014)

18) 《气象灾害防御重点单位气象安全保障规范》(GB/T36742-2018)

19) 《防雷接地电阻在线监测技术要求》(QX/T577-2020)

20) 《接地装置冲击接地电阻检测技术规范》(QX/T576-2020)

21) 《雷电防护装置施工质量验收规范》(QX/T105-2018)

22) 《雷电灾害风险评估技术规范》(QX/T85-2018)

第二章 项目概况

湛江高新技术产业开发区奋勇新区位于湛江市西南部，雷州半岛中部，距湛江市区 48km，与雷州市新城区相连，位于北纬 $20^{\circ} 57' \sim 21^{\circ} 04'$ ，东经 $109^{\circ} 55' \sim 110^{\circ} 04'$ 之间。湛江奋勇高新区前身是奋勇农场，以橡胶种植业为主导产业，全区共辖 18 个队。土地面积约 46 平方公里。2011 年 12 月，省科技厅批准设立湛江高新技术产业开发区奋勇新区。2012 年 3 月，湛江市华侨管理区更名为湛江市奋勇经济区，加挂湛江高新技术产业开发区奋勇新区牌子，为市政府派出机构。2013 年 10 月，更名为湛江奋勇高新技术产业开发区，加挂广东奋勇东盟产业园牌子。2018 年 2 月，被列入《中国开发区审核公告目录》，2018 年 6 月确认为省产业转移工业园，核准面积 301.64 公顷。2016 年 1 月被工业和信息化部批准为国家级军民融合示范区（包括湛江经开区建成区、东海岛新区和奋勇高新区）。

2.1 规划区范围

湛江高新技术产业开发区奋勇新区主要包括三个片区：南部片区、中部片区和北部片区，见图 2.1-1、2.1-2、2.1-3。

（1）南部片区

位于徐湛高速以西，东至粤海铁路以东，北到东海岛高速路以北，G207 穿越地块中部，南部片区功能定位为发展新医药、汽车、新能源、新材料等综合产业，成为湛江经济新的增长极。

（2）中部片区

中部片区主要位于 G207 以西，功能定位为大湛江城镇圈西部集文旅休闲、品质居住、公共服务于一体，配套发展精细化工、电子信息等产业，宜居宜业宜游的绿色示范新城。

(3) 北部片区

北部片区规划位于南渡河以东，规划以先进制造业（高端装备和电子电器）为主导、以现代服务业为支撑，集工作、生活、休闲娱乐于一体的区域示范新城。

2.2用地规模

规划总用地面积 4487.74ha。总建设用地面积 4186.3ha，其中居住用地占建设用地17.56%，工业用地占建设用地 31.67%，公共管理与公共服务设施用地占建设用地11.02%，绿地（含林地）占建设用地19.93%，道路与交通设施用地占建设用地 6.75%，见图2.1-4。

(1) 工业用地

工业用地1290ha，占规划城市建设用地的 31.67%，其中：

一类工业用地 17.1 ha，占规划城市建设用地 0.42%

二类工业用地 1059.60ha，占规划城市建设用地的 26.02%

三类工业用地 213.3ha，占城乡用地比例的 5.24%。

(2) 居住用地

居住用地占地面积 715.02ha，占城市建设用地比例为17.56%，见图2.1-6。

(3) 公共管理与公共服务设施用地

公共管理与公共服务设施用地总面积448.93ha，占城市建设用地11.02%。

其中：

①行政办公用地占地面积约 17.05 ha；

②教育科研用地占地面积约 406.93 ha；

③医疗卫生用地占地面积约 10.56 ha；

④社会福利用地占地面积约 4ha;

⑤体育用地占地面积 2.7ha;

⑥文化设施占地面积 7.69ha。

(4) 商业服务设施用地

商业服务业设施用地（包括商业设施用地和商务设施用地等）总面积约242.3ha，占城市建设用地面积5.95%，其中的公用设施营业网点用总面积1.7ha。

(5) 物流仓储用地

物流仓储用地面积161.29 ha，占规划城市建设用地的3.96%。

其中一类物流仓储用地占地面积148.89ha。危险仓库用地占地面积12.4ha。

(6) 道路与交通设施用地

规划道路与交通设施用地274.95ha，占规划城市建设用地的6.75%。

其中城市道路用地规划城市道路用地230.73ha；交通场站用地（S4）：规划交通场站用地16.84ha，其他交通设施用地23.7ha，交通枢纽用地3.68ha，见图2.1-6。

(7) 公用设施用地

公用设施用地128.93ha，占规划城市建设用地的3.17%。

其中供应设施用地63.66ha；环境设施用地38.86ha；安全设施用地26.41ha，见图2.1-7。

(8) 绿地与广场用地

绿地与广场用地811.91ha，占规划城市建设用地的19.92%。

其中规划公园绿地面积220.91ha，规划林地面积623.43ha，广场用地6.98ha，见图2.1-8。

2.3 规划空间结构

整体功能结构规划分为三个组团：中间为中央商业居住组团，以第三产业服务为主，两翼为第二产业及配套居住商业等功能混合组团。中央轴为商务商业休闲娱乐带，将三个组团串联，并设置多个层次的服务中心，见图2.1-9。

2.4 产业规划

2.4.1 产业定位

奋勇高新区重点发展高端装备制造、医药、电子电器、精细化工、汽车制造等主导产业，并兼顾综合产业（农副食品加工、新能源等），培育发展现代物流、科技研发、商贸服务、旅游服务、文化创意、职业培训和居住配套服务等产业。

（1） 高端装备制造业

依托宝钢广东湛江钢铁基地，大力发展化工机械、先进农业机械、农副产品精深加工设备，海洋工程装备制造。重点发展大型售货机械、耕整地机械、精准农业机械、畜牧业机械、饲草料收获机械、林果业机械及配件，重点发展海洋工程装备的关键配套设备和系统，包括水下采油、施工、检测、维修等配套设备，完善海洋装备产业链。吸引振华重工、中集集团、三星重工、大宇造船、现代重工和 STX 造船等大型海洋工程装备企业入驻经济区。至 2025 年，奋勇高新区高端装备制造业，包括海洋工程装备、化工机械和农业机械制造，规模约 4.84 平方公里。

（2） 医药

发展海洋生物医药产业及化学制药、中药等。加快开展海洋抗癌、抗

病毒、抗心血管疾病等药物的研究和开发，力求在海洋生化制品、疫苗产业、中药制剂等领域有所突破，以及发展海洋保健品，加快开展海洋鱼油系列、海洋海藻系列等保健品研发。

（3）电子电器业

奋勇高新区电子电器业，包括工业电器和消费电子，工业电器的定位是石油化工制造业，产品主要为高低压输配电设备、节能变频电器等；消费电子主要发展电子信息制造业、软件与信息技术服务业，主要发展智能制造、电子消费品、医疗电子器械、高端通信芯片、互联网技术、云计算等。

（4）精细化工

发展精细化工要以“市场为前提，原料为基础，技术为关键”，结合湛江大炼油、大乙烯的延伸性精细化工项目；外购进口化工单体及原料的深加工类精细化工项目；以强劲市场需求为导向的逆向发展型精细化工项目。

（5）汽车制造

以规划拟引进的长城汽车集团为龙头，发展汽车整车制造及汽车零部件制造项目。

（6）综合产业园（农副食品加工、新能源等）

充分利用奋勇高新区的土地资源优势，立足经济区内现有的食品加工基础，巩固农海产品加工基础，加强与雷州、徐闻等农业大市的合作，利用雷州半岛丰富的农海产品资源优势，以冬源、源泰、新美等企业为重点发展现代化食品加工产业，提高农海产品加工质量和产品附加值，实现以品牌化为前提的多元化的加工系列产品。

加快布局医疗设备和食品加工等食品医药制造业，与麻章、霞山的生物医药研发资源形成产业链协作。

立足经济区内现有的新能源动力电池材料发展基础，依托东岛新能源发展锂离子电池正负极材料、电解液等相关新能源汽车配套材料。建设国

际先进水平的锂电池科研基地，与海东新区新能源汽车产业错位发展，打造国内重要的动力电池材料生产基地。加快完善新能源动力电池产业链，与坡头区新能源汽车产业错位发展。

2.4.2 产业布局

从业布局见图 2.1-10。

(1) 高端装备制造

高端装备制造片区规划总面积为 313.97ha，位于奋勇高新区北部片区。

(2) 精细化工

精细化工片区面积为 123.3ha，位于奋勇高新区中部片区。

(3) 医药

医药产业片区规划占地面积为 20.6ha，位于奋勇高新区南部片区。

(4) 电子电器产业

电子电器片区规划占地面积为 709.1ha（分为两个片区，中部片区面积 575.8ha，北部片区面积133.3ha）。

(5) 汽车制造

汽车制造片区规划面积为 170.2ha，位于奋勇高新区南部片区，其中长城汽车集团占地面积为 81.3ha，其他汽车制造企业占地面积为 88.9ha。

(5) 综合产业园

综合产业园规划面积为 237.15ha，位于奋勇高新区南部片区。



图2.1-1 奋勇高新区地理位置图

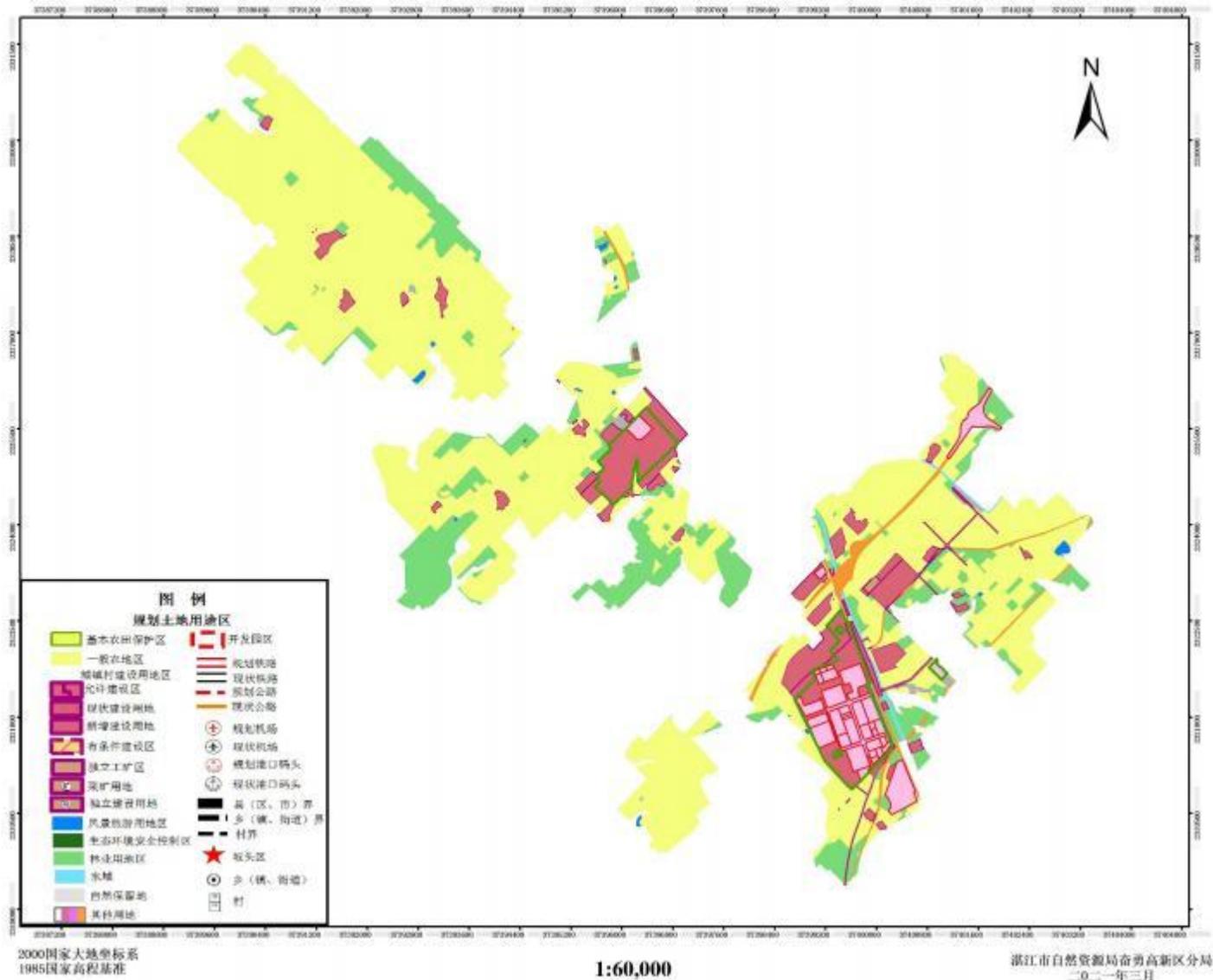


图2.1-2 奋勇高新区土地利用规划图

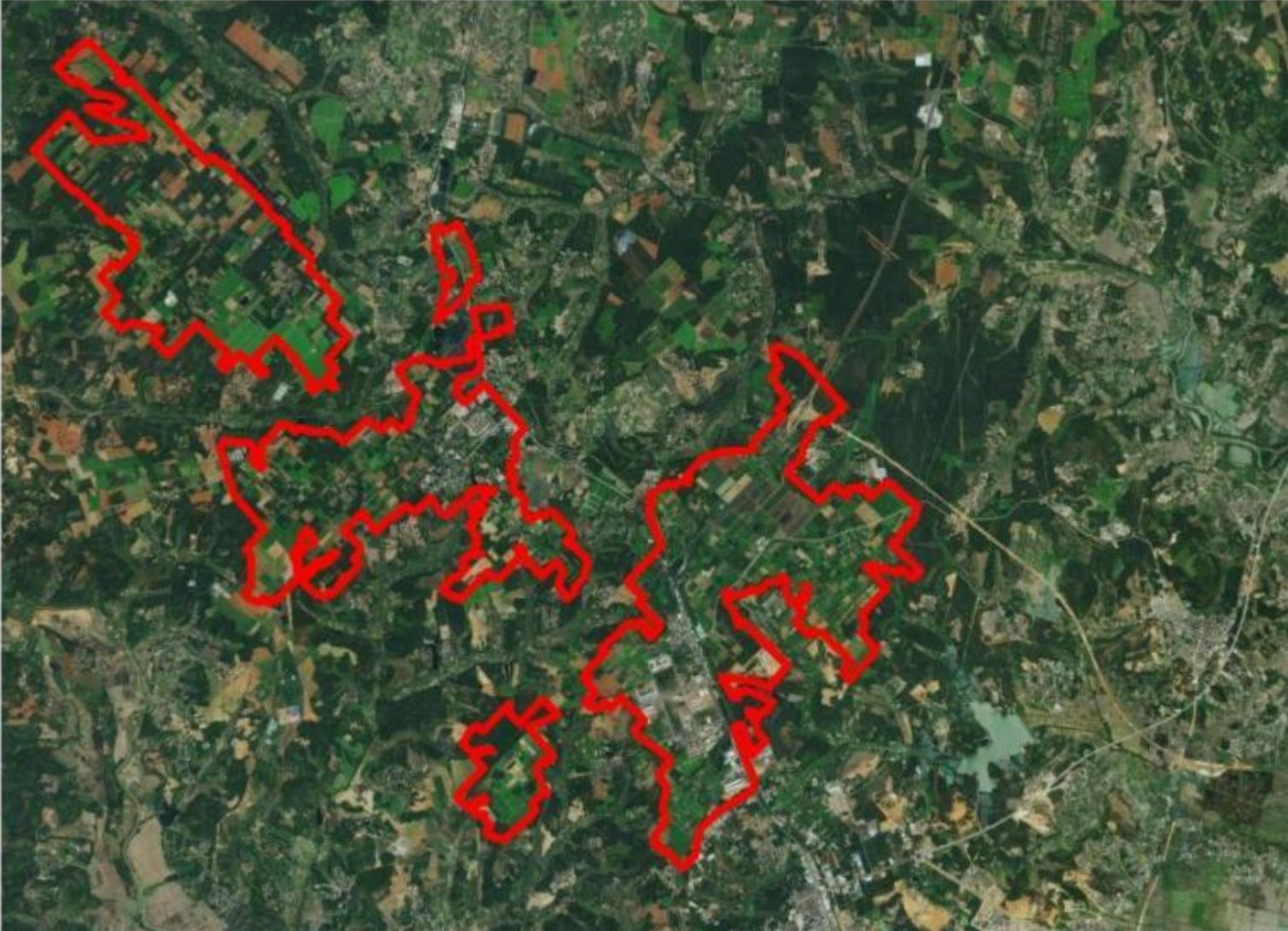


图2.1-3 奋勇高新区规划区红线范围图



图2.1-4 奋勇高新区用地规划图



图2.1-5 居住用地规划图

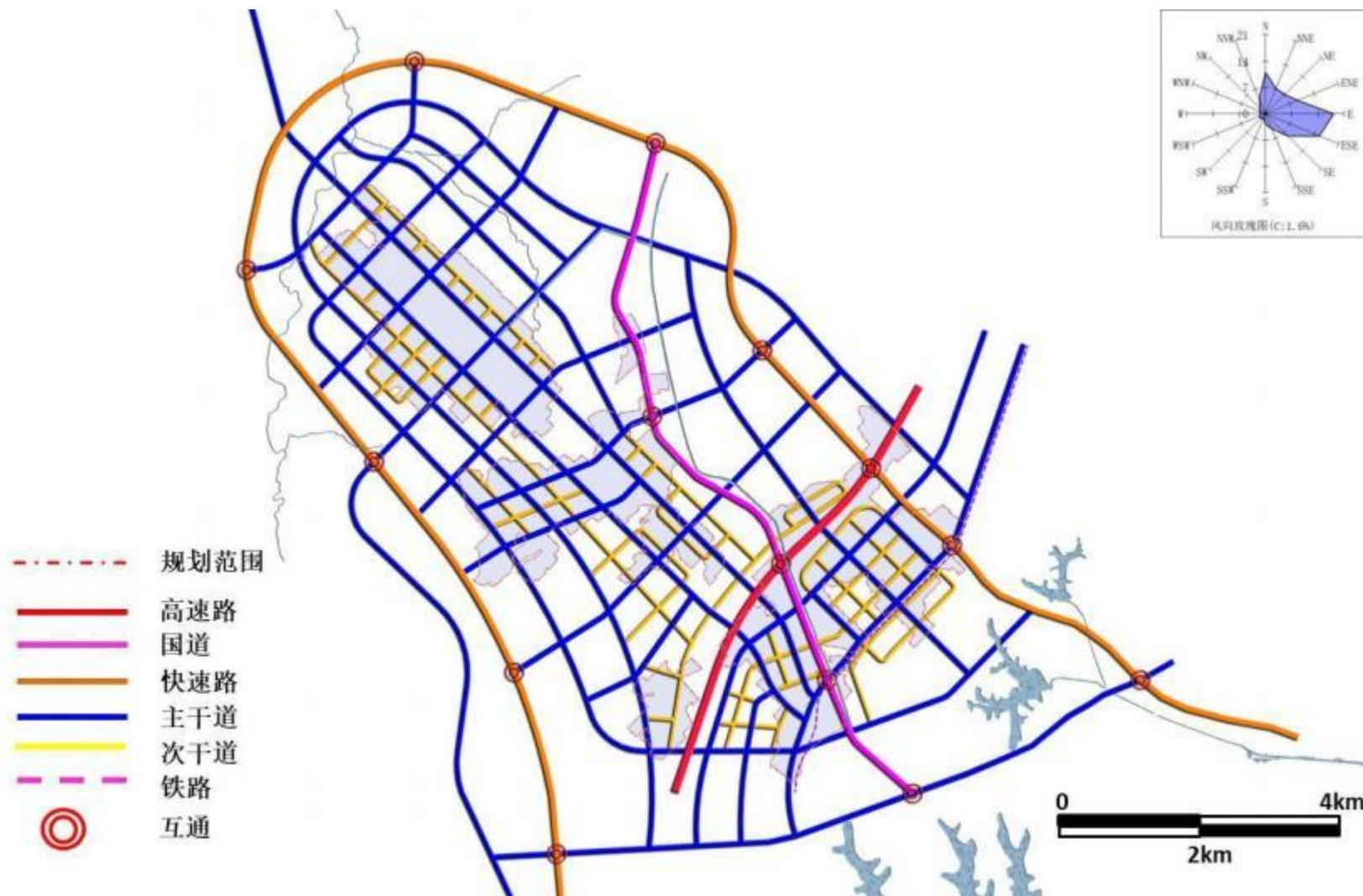


图2.1-6 道路规划图

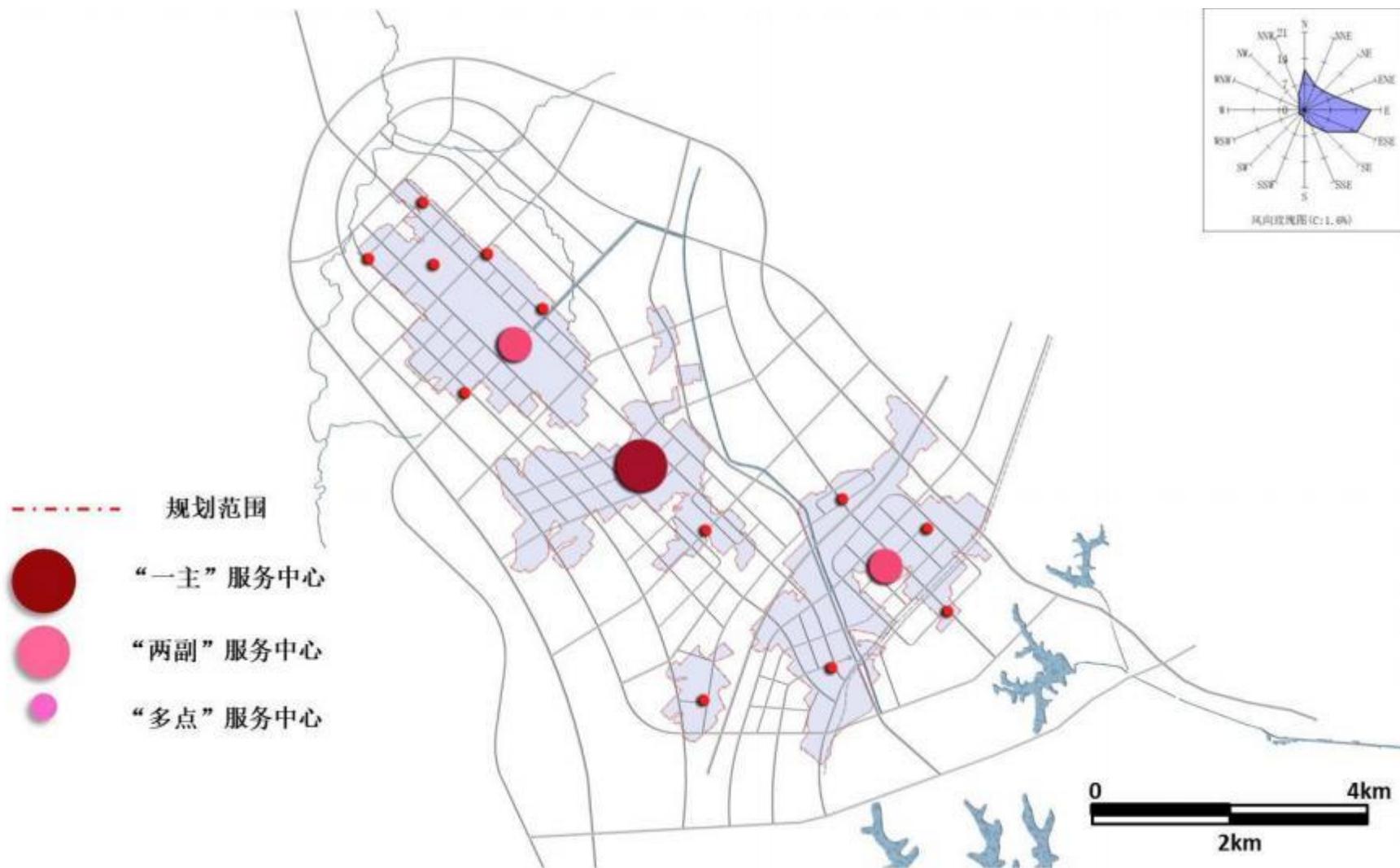


图2.1-7 公共服务设施路规划图

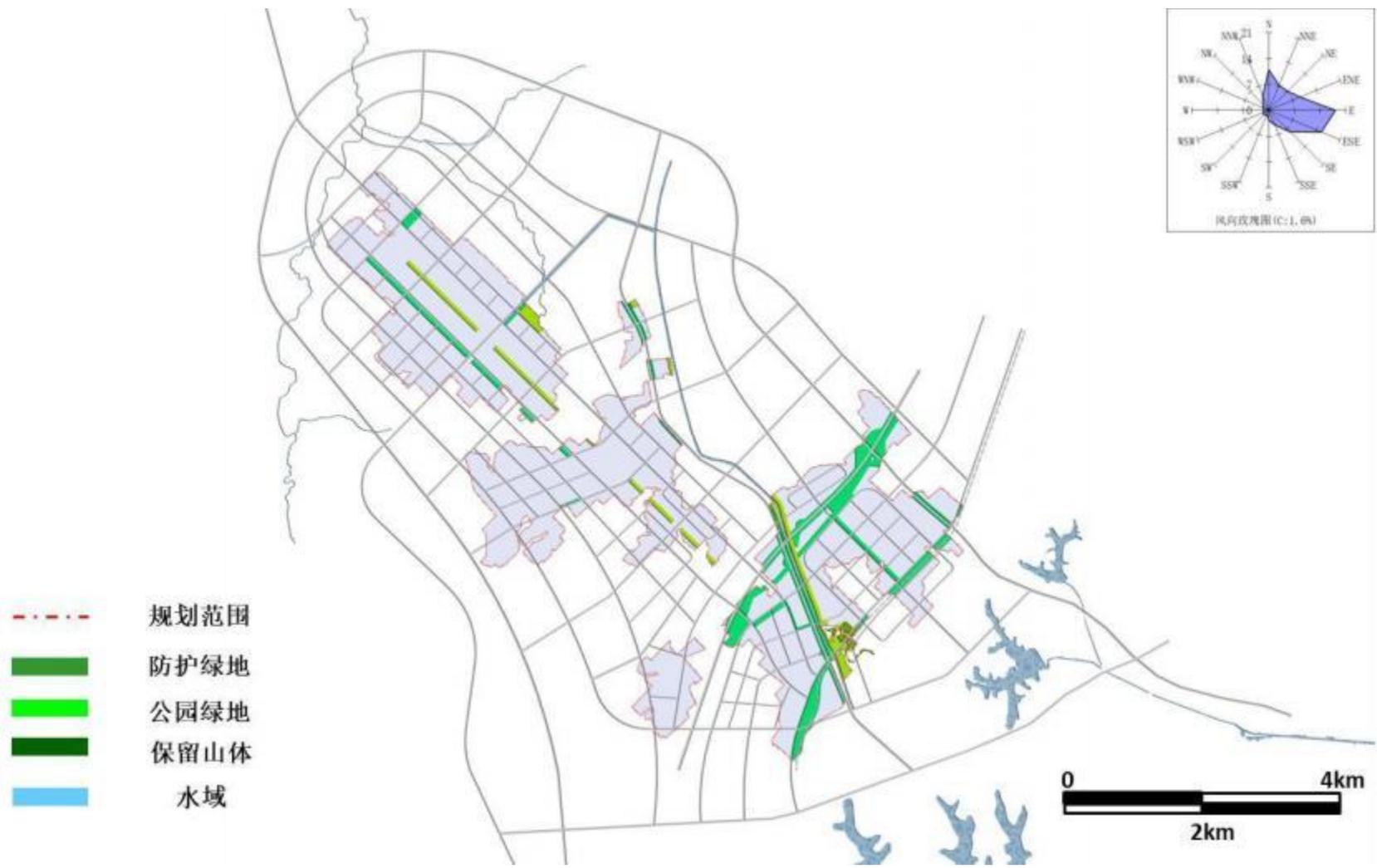


图2.1-8绿地规划图



图2.1-9 奋勇高新区空间规划结构图

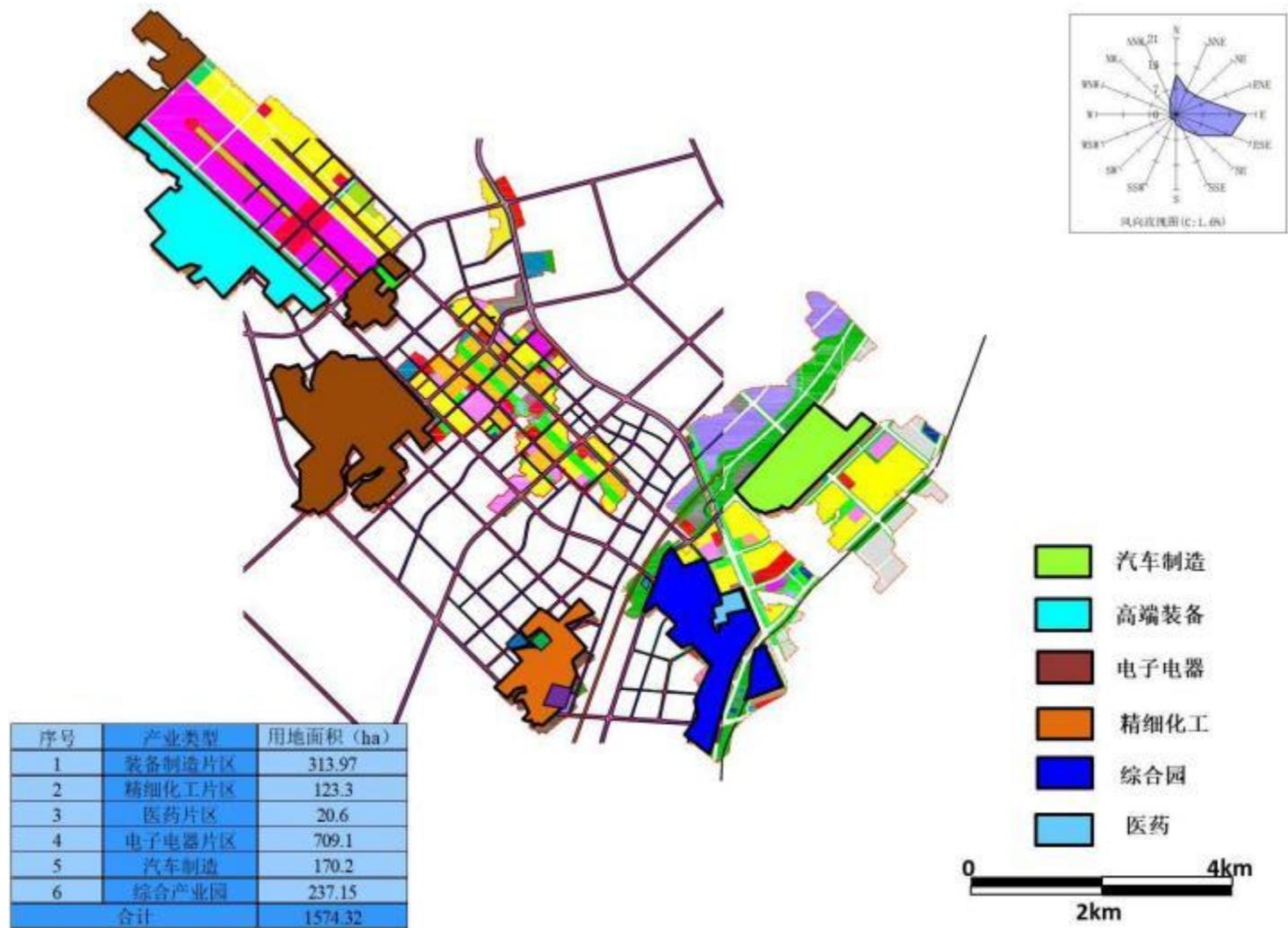


图2.1-10 奋勇高新区产业布局规划图

第三章雷电原理

雷电是发生在大气中的声、光、电物理现象，常伴有闪电和雷鸣，其放电电流可达数十千安培，甚至数百千安培。放电瞬间，雷电流产生巨大的破坏力和很强的电磁干扰作用，雷电灾害是联合国“国际减灾十年”公布的最严重的10种自然灾害之一。每年因雷击造成的人员伤亡、财产损失不计其数，导致火灾、爆炸、信息系统瘫痪等事故频繁发生，从卫星、通信、导航、计算机网络乃至每个家庭的用电设备都会受到雷电灾害的严重威胁。雷电灾害已成为我国危害程度仅次于暴雨洪涝、气象地质灾害的第三大气象灾害。

3.1 雷电的形成及分类

3.1.1 雷电形成条件

(1) 大气层结不稳定是雷暴形成的前提条件。强雷暴云厚度达万米，风速达几十 m/s，垂直速度 10m/s 以上，就必须有大量能量供给，而这些能量主要来自大气层结不稳定能量的释放，因此大气层结不稳定是雷暴形成的首要条件。

(2) 充沛的水汽。雷暴云是由巨量液固态水混合而成的。大气中含有充沛的水汽，特别是当大气下层具有丰富的水汽，才可使凝结高度降低，含有不稳定能量多，层结不稳定程度加大，因而可促使对流发展。

雷电多发生在积雨云中。积雨云中的雾滴和过冷却水滴随着温度和气流的变化会不停地运动，运动中摩擦生电，就形成了带电荷的云层。有的云上层带正电荷，云底带负电荷。随着电荷的积累，雷云的电压逐渐升高，当带有不同电荷的雷云与大地凸出物相互接近到一定距离时，就会发生激

烈的放电，同时出现强烈的闪光（见图3.1-1）。



图3.1-1雷电的形成

(3) 有对流冲击力（触发机制）含有充沛水汽处于不稳定层结的空气要发展为雷暴，还必须把这些空气抬升到自由对流层高度。这就是强对流的触发机制。也就是，气层抬升过程中不稳定能量的释放和水汽凝结是形成了雷暴的触发因素。

自然界中的触发机制分为热力和动力两种机制。在夏季，地表性质不均造成增温不等，从而引起局地垂直环流，触发不稳定气层对流发展。这种热力对流形成的雷暴一般强度小，历时短，天气不剧烈。而大范围的强雷暴主要由大尺度系统动力抬升造成，如锋面抬升，中低空的低槽、低涡、切变线、台风等引起的低后气流辐合。低层不稳定气流越过山地，受地形机械抬升作用，也属动力触发作用。

3.1.2雷电分类

不同极性的电荷通过一定的电离通道互相中和，产生强烈的光和热，在放电通道中发生的强光，被称之为“闪”；在放电通道中发出热后迫使附近空气突然膨胀，形成巨大的轰鸣声，就称之为“雷”。闪电与雷声是同时产生

的，由于发生放电的云块离我们很远，光传播得比较快（每秒约30万km），



图3.1-2 地闪（上）和云闪（下）

通常情况下，一半以上的闪电放电过程发生在雷暴云内的主正、负电荷区之间，称作云内放电过程，云内闪电与发生几率相对较低的云间闪电和云—空气放电一起被称作云闪。另一类闪电则是发生于云体与地面之间的对地放电，称为地闪。虽然最频繁发生的闪电是云闪，但是由于地闪对地面物体所造成的严重威胁，以及它的放电通道暴露于云体之外易于光学观测，因此目前对地闪放电过程已经有了相对较系统的研究。

Berger(1978)按照地闪先导所转移电荷的极性和运动方向将地闪分为四种形式（图3-3），第一种形式常被称为下行负地闪，占全部地闪的90%以上，它由向下移动的负极性先导激发，因此向地面输送负电荷；第二种闪电也由下行先导激发，但是先导携带正电荷，因此向地面输送正电荷，被称为下行正地闪，这种类型的闪电少于全部闪电的10%。第三和第四种类型的闪电由从地面向上移动的先导激发，被称为上行闪电（上行雷）。上行闪电一般比较罕见，通常发生在高山顶上或人工的高建筑物上。第三种闪电先导携带正电荷，因此对应于云中的负电荷向地面的输送，而第四种闪电则对应于负极性先导，因此将云中的正电荷向地面输送。随着目前城

镇高建筑物的增多，上行放电有略增的趋势。利用火箭拖带细导线技术的人工引发雷电实际上是一种上行闪电。通常，将向地面输送负电荷的闪电（第一、第三种类型）称为负闪，向地面输送正电荷的闪电（第二、四种类型）称为正闪。

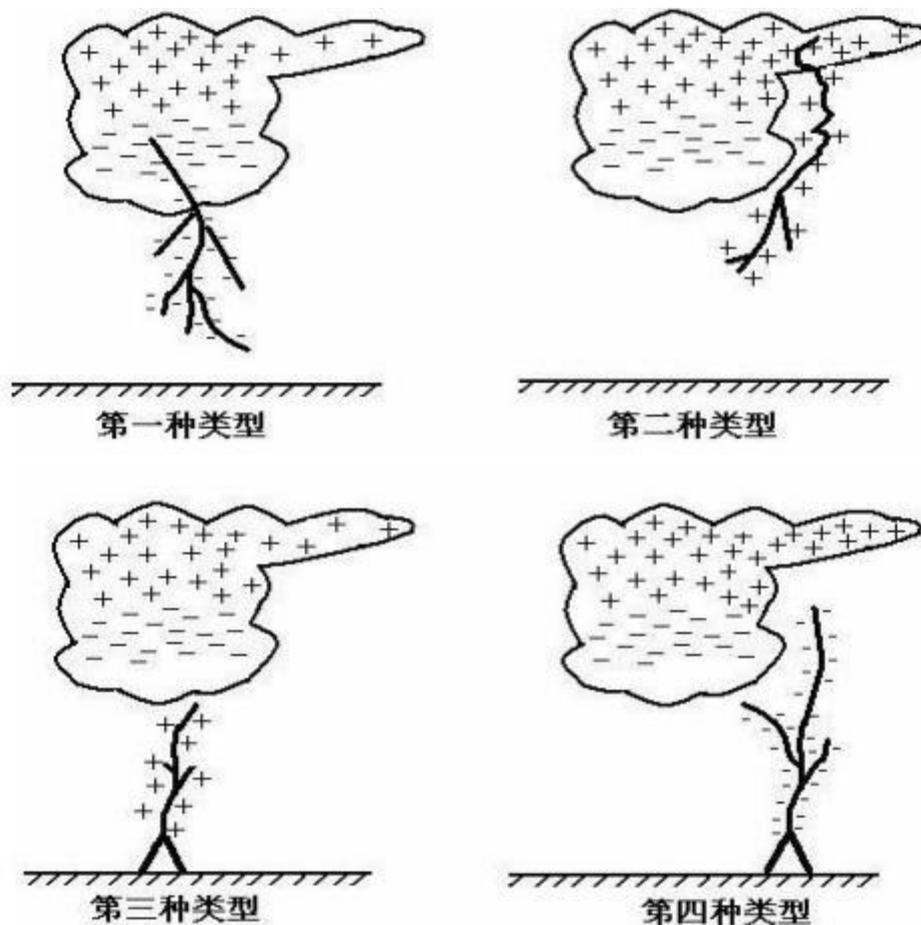


图3.1-3 地闪四种形式

一次始于云中的负地闪放电过程通常将几十库仑的负极性云电荷带到地面。一次完整的闪电过程定义为一次“闪电(flash 或 lightning flash)”，其持续时间为几百ms到1s 不等。云地放电雷电放电的三个阶段：

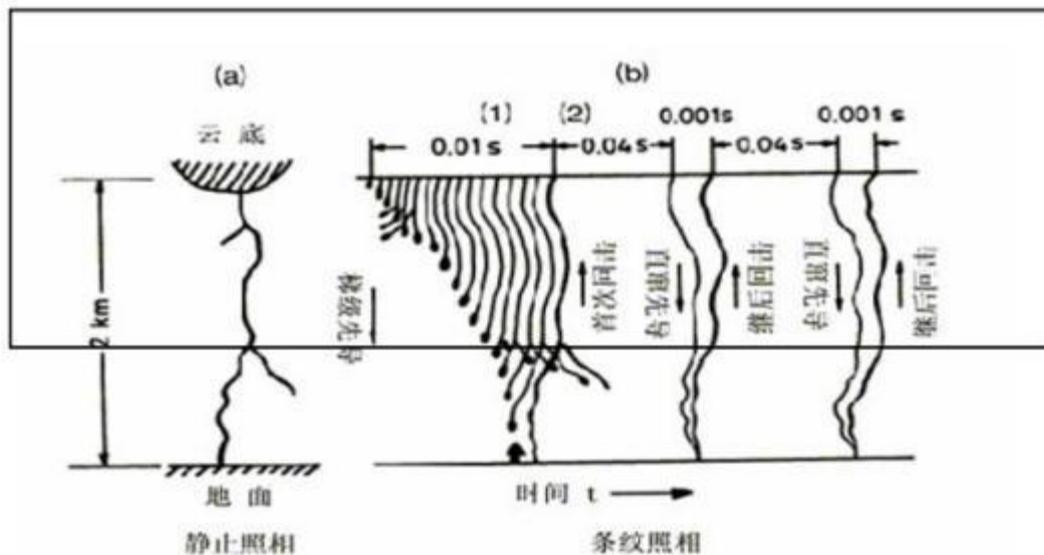


图3.1-4 一次负地闪过程



图3.1-5 一次负地闪发展过程示意图

先导放电阶段：先导放电的初始阶段，由于静电感应，在雷云电场下，大地感应出异号电荷，伴随雷云中电荷的逐渐积累，空间电场强度显著增强。当雷云中电荷聚集处的电场强度达到空气击穿场强(25-30kV/m)时，强烈的碰撞游离就发生，形成指向大地的一段导电通道，成为雷电先导，雷云最初向下发展的先导放电不是连续的，而是放一段停一会的跳跃式放电，其下行先导电流不大。

主放电阶段：当下行先导接近地面时，会从地面较突出的部分发出向上的迎面先导。当迎面先导与下行先导相遇时，便会产生剧烈的中和作用，

出现极大的电流，即雷电的第一次主放电阶段，伴随着出现雷鸣和闪电，但放电存在的时间极短，约为 $50\sim 100\mu\text{s}$ ，峰值可达 $1\times 10^4\sim 3\times 10^4\text{A}$ 。

余光放电阶段：主放电到达云端时就结束了，然后云中残余电荷经主放电通道流下来，称为余光放电阶段。但由于雷云中的电阻较大，余光放电阶段对应的电流不大，持续时间则较长，约为 $0.03\sim 0.15\text{s}$ ，连续电流一般约为 $3\times 10\sim 1.6\times 10^3\text{A}$ ，容易引起火灾。

雷暴期间还可能发生两种特殊放电现象——球状闪电和蛛状闪电。球状闪电一般发生于地面附近，而蛛状闪电则发生于云下但靠近云底的地方。球状闪电特指雷暴过程中所发生的一种运动着的发光球。一个典型的球闪有桔子或小柚子那么大，其直径约为 $20\sim 30\text{cm}$ ，辐射功率小于 200W ，可以呈现红色、桔黄色、亮白色，蓝色，甚至可以是绿色。它可以保持其形状、亮度和大小约 10s 甚至更长的时间，然后突然消失。目前为止对球闪的研究还基本上处于资料积累的定性描述阶段。球闪一般出现在雷暴发展的旺盛期，而且大部分的球闪几乎与地闪同时出现，观察到的球闪出现在地面以上几米的高度内，它可以每秒几 m 的速度水平运动，也可悬浮在空中不动。也有人观测到在没有闪电放电的近地面上发生的球闪和从云向地面降落的球闪，但一般不会上升。球闪一般伴随有明显的类似臭氧的气味，或者象燃烧的硫和氧化氮。球闪可以通过电线或烟囱进入房屋，有时还会通过玻璃窗的玻璃进入房屋，而且常被引到金属物体上，并沿着这些物体移动。它可以安静地消失，也可以爆炸消失。

3.2 雷电的特点与危害

雷电流具有电流所具有的一切效应，不同的是它持续时间短 (μs 级)，且电流巨大，最大可达到几百 kA ，放电瞬间雷电流将产生巨大的破坏力和很强的电磁干扰作用，正是这些不同于一般电流的特点使雷电流具有特殊

的破坏作用。雷电的危害（图3-6）主要分为两类：直击雷危害（主要表现为雷电引起的热效应、机械效应和冲击波等）和雷电电磁脉冲产生的间接危害（主要表现为雷电引起的静电感应、电磁感应和暂态过电压等）。

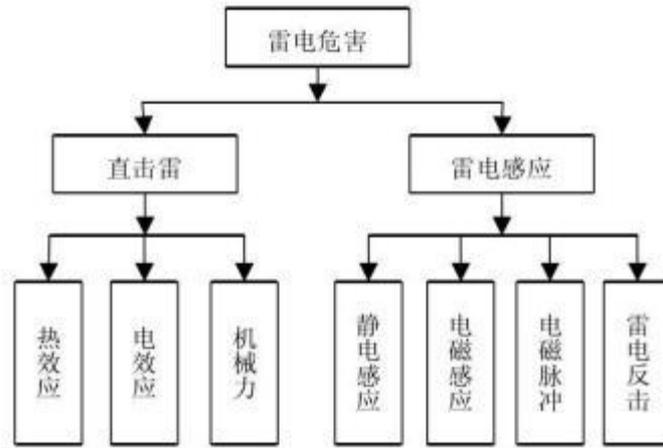


图3.2-1 雷电的主要危害

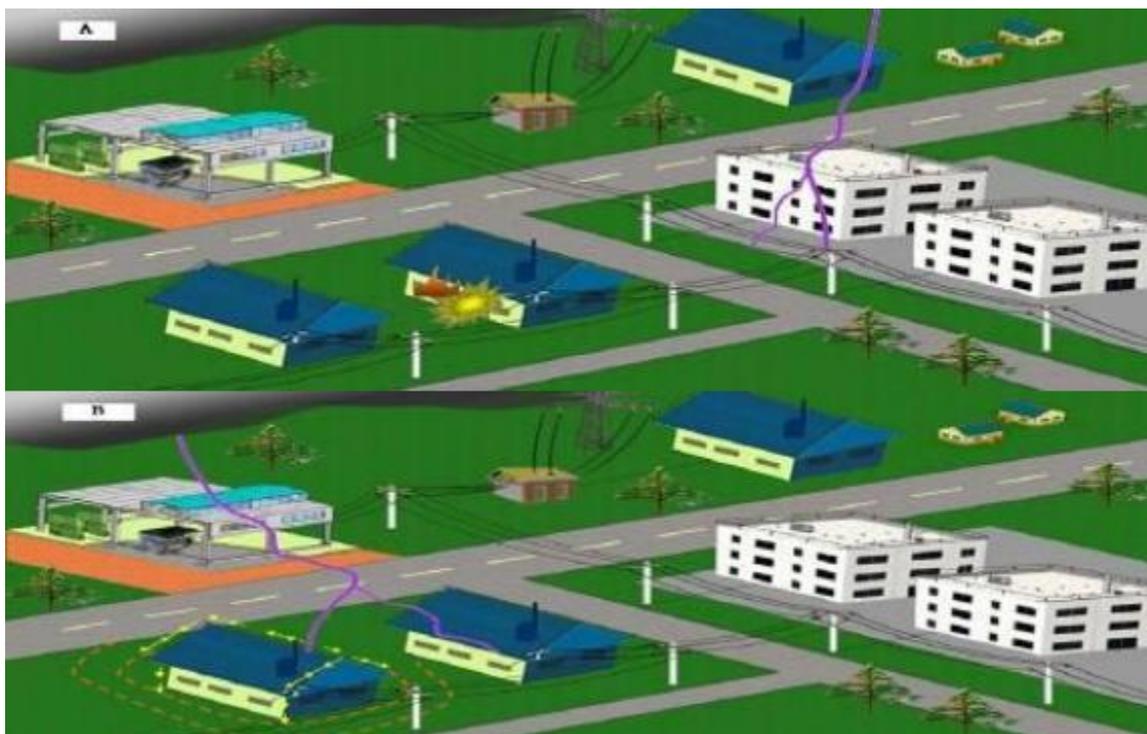
3.2.1 直接雷击

直击雷防护系统使用接闪器接闪雷电，通过引下线将雷电流引至接地装置，由接地装置散入大地中，见图3.2-2。在此过程中存在以下安全隐患：

- 1) 雷电流由散流装置入地过程中形成的电位梯度过大，常会导致行人因跨步电压而发生人身伤亡事故。
- 2) 直接雷击时，雷电流在泄放和散流过程中有电阻压降和电感压降导致高电位反击，致人身伤亡或电子设备损坏，或者因反击产生电火花，引起着火爆炸重大事故。
- 3) 雷暴期间，位于建（构）筑物天面或空旷地带人员易遭受直接雷击伤亡。
- 4) 雷暴期间，还可能发生球形雷窜入室内引起火灾或可能发生的侧击雷击而导致人员伤亡和电子设备损坏。

主要产生的危害特征：

(1) 热效应：雷云对地放电时，强大的雷电流从雷击点注入被击物体，由于雷电流幅值高达数十至数百千安，其热效应可以在雷击点局部范围内产生高达6000~10000℃甚至更高的温度，能够使雷击点周围局部金属熔化，草堆和树枝引燃；当雷电波侵入建筑物内低压供配电线路时，可将线路熔断，甚至酿成火灾，见图3.2-3、3.2-4。



A 雷击服务设施； B雷击建筑物

图3.2-2 直接雷击示意图



图3.2-3 遭雷击的高楼金属玻璃幕墙熔化（左）、输电线路在冒火花（右）

（2）机械效应：破坏作用主要表现为电动力和内压力两种形式。由电磁学可知，载流导体周围的空间存在着电磁场，在电磁场中的载流导体会受到电磁力的作用。雷击建筑物时，在电动力作用下，载流导体之间会相互吸引或排斥，引起变形，甚至会被折断。

在被击物体的内部产生内压力是雷电机机械效应破坏作用的另一种表现形式。由于雷电流幅值很高，作用时间很短，击中树木或建筑构件时，在其内部将瞬时产生大量热量，在短时间内热量来不及散发出去，致使物体内部的水分被大量蒸发成水蒸气，并迅速膨胀，产生巨大的爆炸力，能够使被击树木劈裂、建筑构件崩塌。

（1）冲击波：在雷云对地放电过程的回击阶段，放电通道中既有强烈的空气游离又有强烈的异性电荷中和，通道中瞬时温度非常高，使得通道周围的空气受热急剧膨胀，并以超声波速度向四周扩散，从而形成冲击波。同时，通道外围附近的冷空气被严重压缩，在冲击波波前到达的地方，空气的密度、压力和温度都会突然增大，产生剧烈振动，这种冲击波与爆炸时产生的冲击波是类似的，可使附近的建筑物、人、畜受到破坏或伤害。

3.2.2 感应雷击

1) 雷击散流引起的过电流（压），当雷电击中建（构）筑物产生散流，散流入侵到配电系统、信号线路、其它金属管道中将可能引起设备过压（流）损坏或着火爆炸。

2) 雷击电流泄放时，建筑物内部分布着暂态电磁场，尤其以引下线周围最为强烈。暂态电磁场将会引起设备故障或损坏。

3) 室内暂态电磁场作用在信息系统环路上，将会产生感应过电压（流），导致设备接口或设备本身损坏。

4) 雷雨云（积雨云）引起的感应雷击。当有雷雨云经过建（构）筑物上空或附近时，静电感应作用会在电源线路、信号线路、控制线路、金属屋顶等上面感应出极性相反的静电荷，当雷雨云放电后，这些静电荷将会产生过电压（流）损坏设备。

5) 云内闪和云际闪对信息系统设备的影响。云内闪和云际闪产生的雷电电磁脉冲（LEMP）可能引起内部设备因感应过电压（流）损坏。



图3.2-4 雷击引起的电磁感应与耦合示意

感应雷击产生的危害特征：

(1) 闪电静电感应：由于雷云的作用，使附近导体上感应出与雷云符号相反的电荷。雷云主放电时，先导通道中的电荷迅速中和，在导体上的感应电荷得到释放，形成局部高电压或沿着线路产生大电流冲击。这种由静电感应产生的过电压对接地不良的电气系统有很强破坏作用，能使接地不良的金属器件之间发生火花。



图3.2-5 静电感应示意图

(2) 闪电电磁感应：雷电流具有很高的峰值和波头上升陡度，能在所流过的路径周围产生很强的暂态脉冲电磁场，处在该电磁场中的导体会产生感应过电压（流）。建筑物内通常敷设着各种电源线、信号线和金属管道（如供水管、供热管和供气管等），这些线路和管道常常会在建筑物内的不同空间构成环路。当建筑物遭受雷击时，雷电流沿建筑物防雷装置中各分支导体入地，流过分支导体的雷电流会在建筑物内部空间产生暂态脉冲电磁场，脉冲电磁场交链不同空间的导体回路，会在这些回路中感应出过电压和过电流，导致设备接口损坏。雷电流产生的暂态脉冲电磁场不仅能在建筑物内的导体回路中感应出过电压和过电流，而且也能在建筑物之间的通信线路中感应出过电压和过电流。

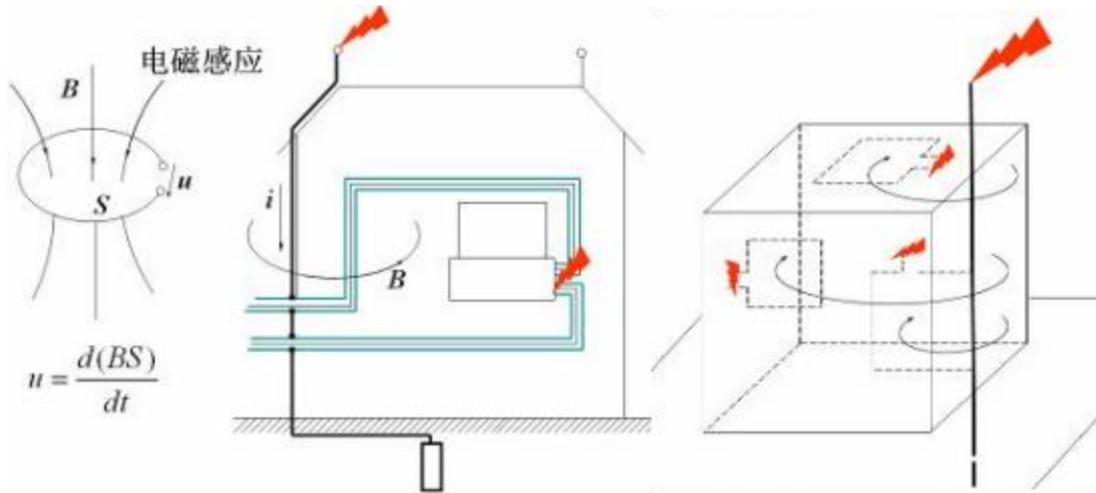


图3.2-6电磁感应示意图

(3) 暂态电位抬高与高电位传递：建筑物遭雷击时，雷电流流过防雷装置中各个部位时将产生压降，由于雷电流持续时间很短，所以对地电位都有不同程度的暂态抬升，对于建筑物内的设备与人员颇具危险性。

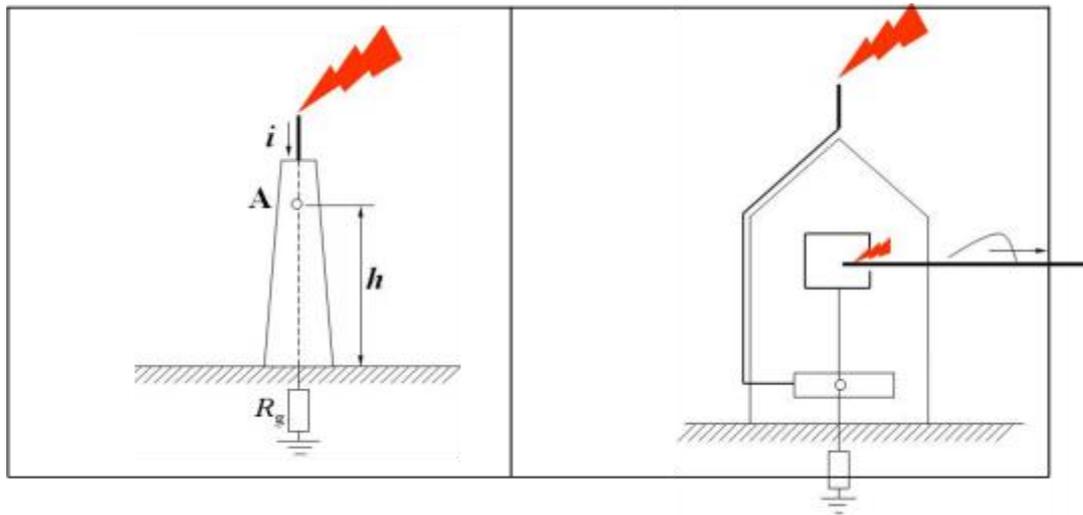


图3.2-7 暂态电位抬高与高电位传递示意图

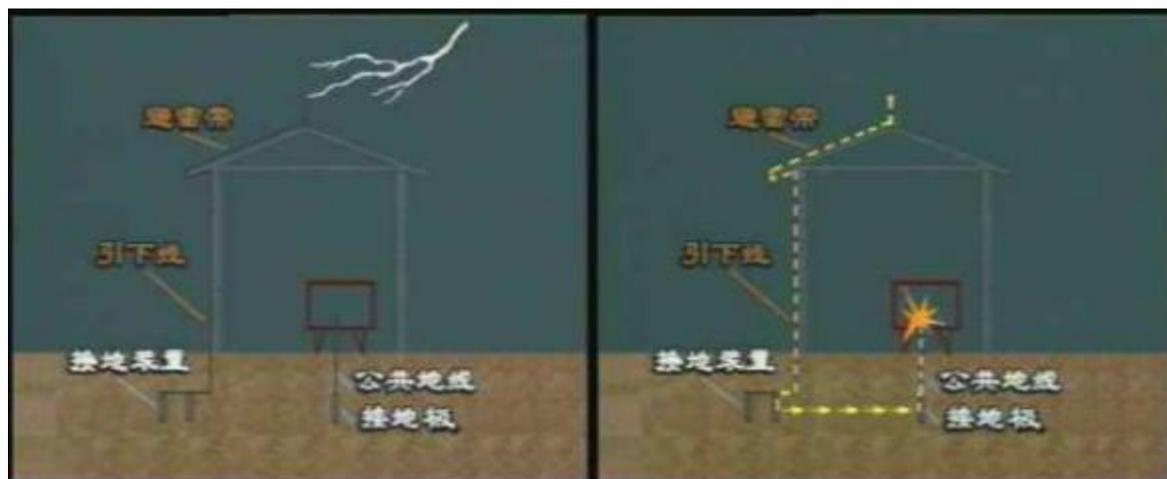


图3.2-8 地电位反击示意图

暂态电位与高电位因其能产生很大的电位差，造成对设备的损害，而且能产生过大的跨步电压和接触电压，对人身安全造成威胁。

第四章 数据特性分析

进行雷击风险计算必须先要进行现场勘查，采集相关数据进行分析，以了解该项目的地理、地质、土壤、气象、环境等条件，并统计该地区雷电放电特性的一些参数（比如雷暴日、地闪密度、雷电流极性、强度等）和雷电活动规律，了解被保护物的特点和功能，这些数据和特性参数是进行雷击风险计算和完善雷电防护设计的基本依据。

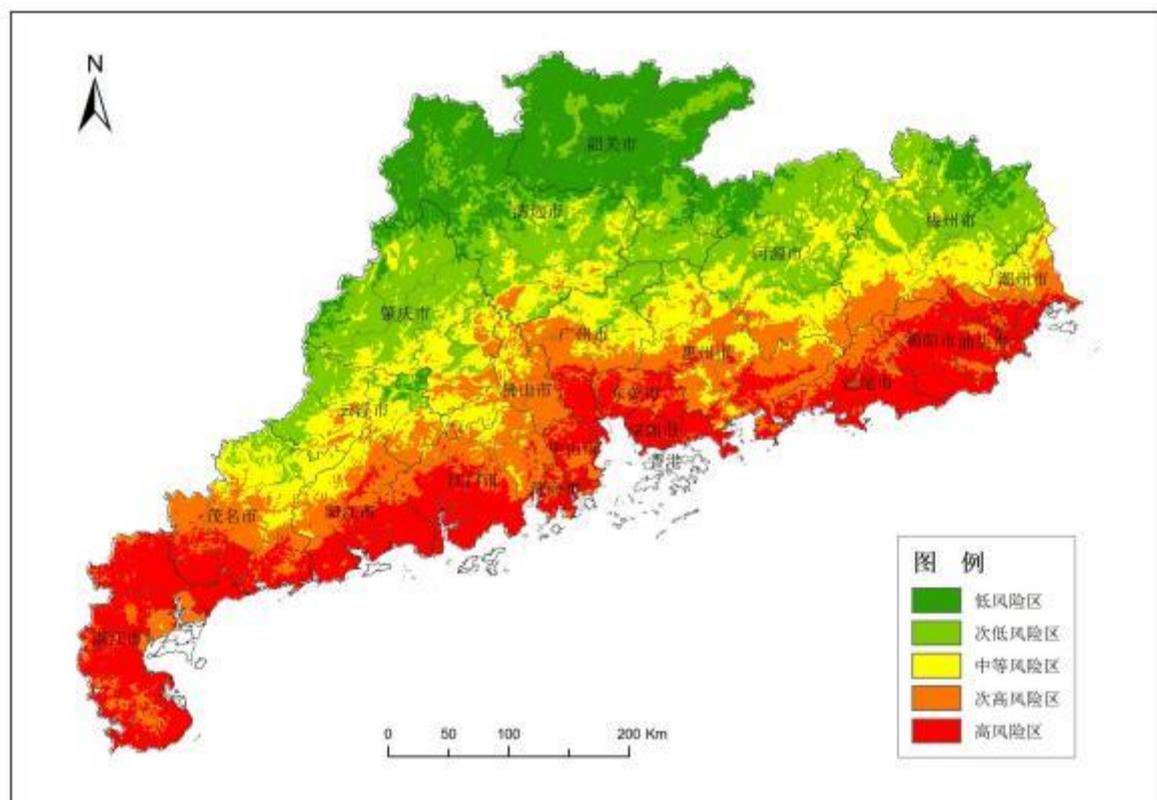


图4-1雷电风险区

本项目湛江市西南部，雷州半岛中部，距湛江市区 48km，与雷州市新城区相连，位于北纬 $20^{\circ} 57' \sim 21^{\circ} 04'$ ，东经 $109^{\circ} 55' \sim 110^{\circ} 04'$ 之间。

4.1 气象气候条件

(1) 气候统计

湛江地处于北回归线以南的低纬地区，属热带和亚热带季风气候或北热带和南亚热带气候交汇区域，终年受热带海洋暖湿气流活动的制约，北方大陆性冷气团的参与，形成本区独特的气候特征。这些特征表现为多风害，雷暴频繁，旱季长，雨量集中，夏长冬短而温和，夏无酷暑，冬无严寒，冰霜罕见。

湛江市年平均 $x\text{m/s}$ ，最大风速 $xx\text{m/s}$ ，年平均气温 $xxx^\circ\text{C}$ ，极端最高气温 $xxx^\circ\text{C}$ ，极端最低气温 $xx^\circ\text{C}$ ，年平均相对湿度 $xx\%$ ，年平均降水量为 $xxxx\text{mm}$ ，最大年降水量为 $xxxxx\text{mm}$ ，最小年降水量为 $xxxxx\text{mm}$ ，年均日照时数 1915h 。区域气候特征见表4.1-1。

表4.1-1 湛江市主要气候资料统计结果

项目	数值
年平均风速(m/s)	
最大风速(m/s)及出现的时间	
年平均气温(°C)	
极端最高气温(°C) 及出现的时间	
极端最低气温(°C) 及出现的时间	
年平均相对湿度 (%)	
年均降水量 (mm)	
年最大降水量 (mm) 及出现的时间	
年最小降水量 (mm) 及出现的时间	
年平均日照时数 (h)	

(2) 温度

根据湛江国家气象站1990-2019年观测资料计算，年平均气温信息相℃，月平均最高气温信息向℃，月平均最低气温信息℃；年平均湿球温度21.3℃，月平均最高湿球温度27.6℃，月平均最低湿球温度9.3℃；年平均露点温度20.0℃，月平均最高露点温度26.9℃，月平均最低露点温度6.2℃；累年平均高温日数($\geq 35^{\circ}\text{C}$) 信息d，高温天气最长持续日数小d。

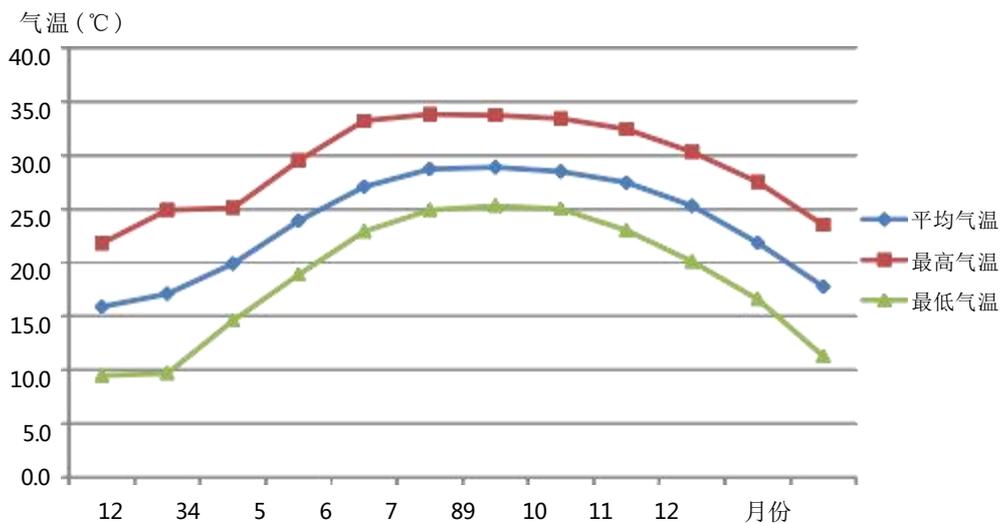


图4.1-1 湛江国家气象站月平均气温变化图

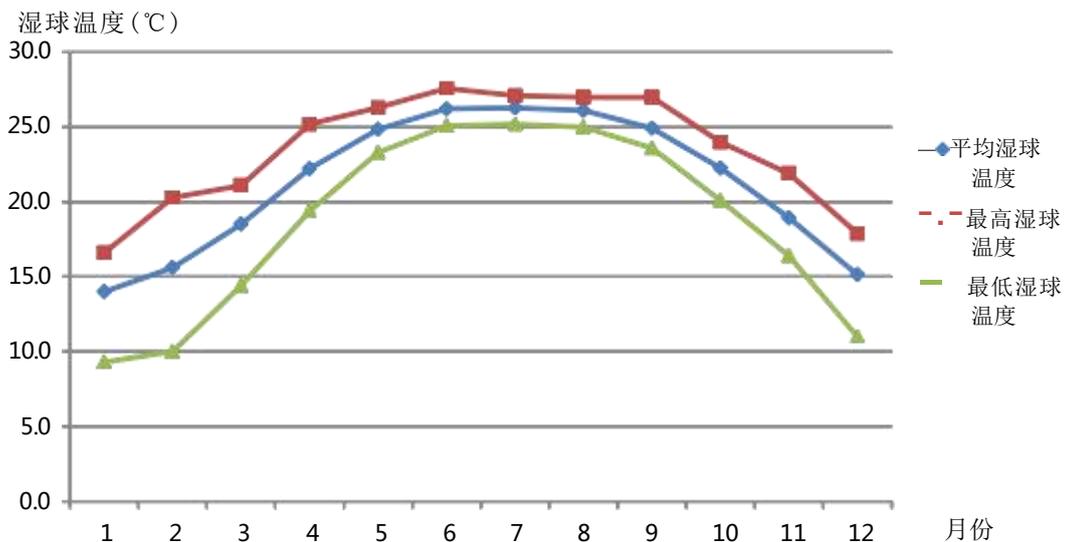


图4.1-2 湛江国家气象站月平均湿球温度变化图

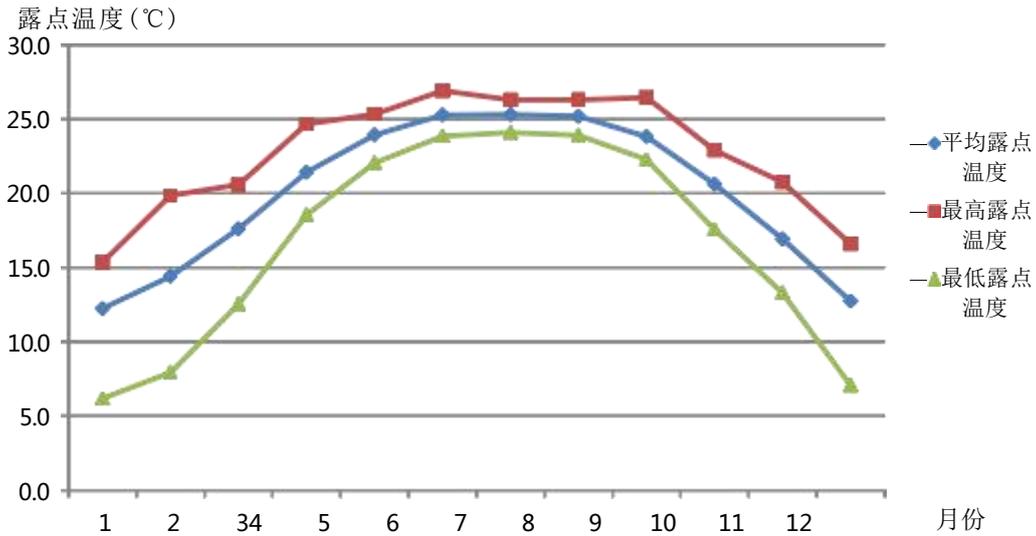


图4.1-3 湛江国家气象站月平均露点温度变化图

表4.1-2 湛江国家气象站气温要素表 (单位: °C、d)

项目 \ 月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
平均气温(°C)													
平均最高气温(°C)													
平均最低气温(°C)													
平均湿球温度(°C)													
平均最高湿球温度(°C)													
平均最低湿球温度(°C)													
平均露点温度(°C)													
平均最高露点温度(°C)													
平均最低露点温度(°C)													
最高气温≥35°C日数(d)													



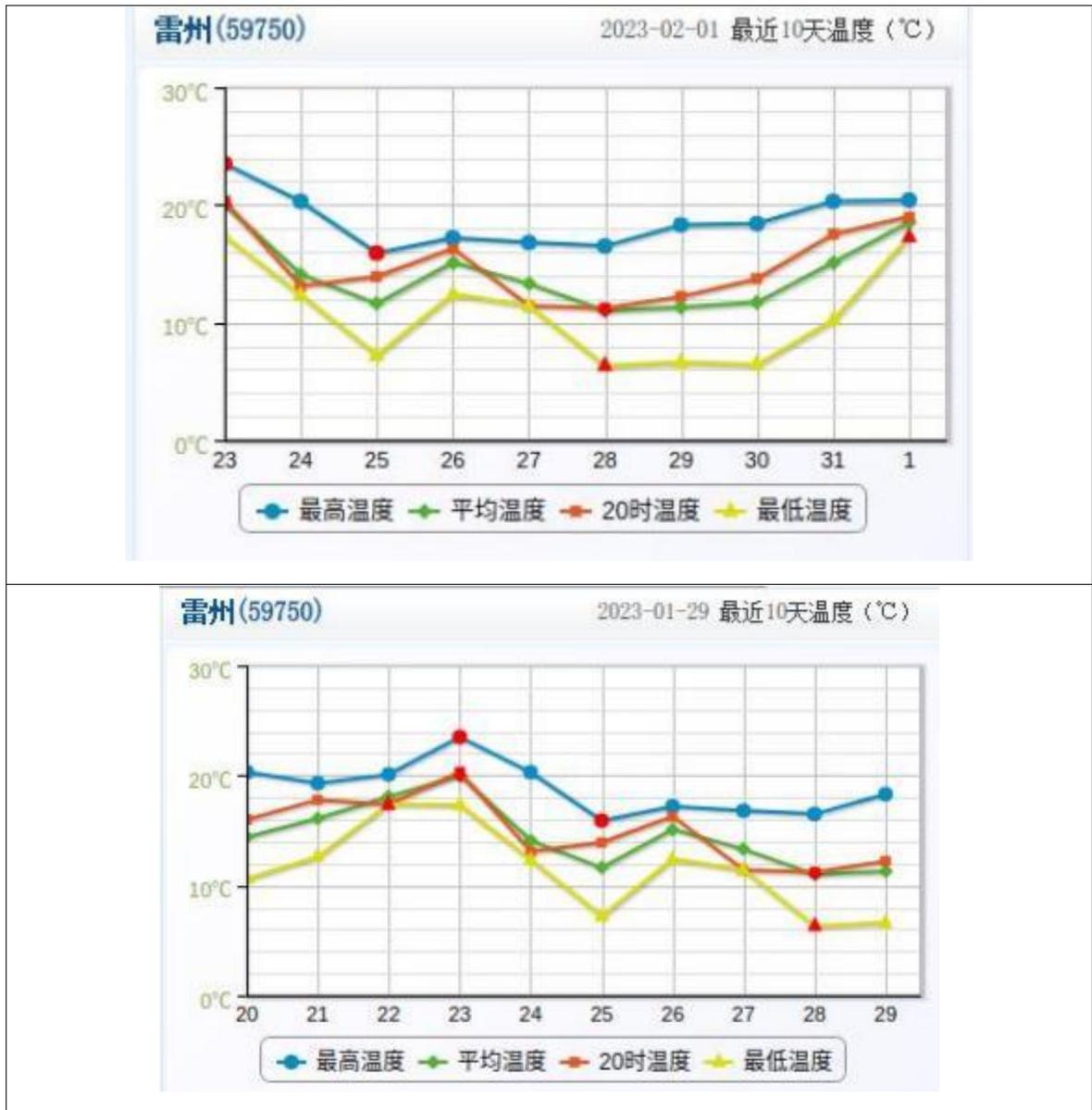


图4.1-4 湛江近期时间温度变化曲线图

(3) 风速

根据湛江国家气象站 1990-2019年观测资料计算，累年平均风速小小m/s；夏秋季风速小，最小月份为兄月，平均风速为信息m/s；冬春季风速大，最大月份为小月，平均风速为信息m/s。近30年的最大风速为小学校m/s，极大风速为小学校m/s，均出现在2015年10月4日，由1522号台风“彩虹”造成。

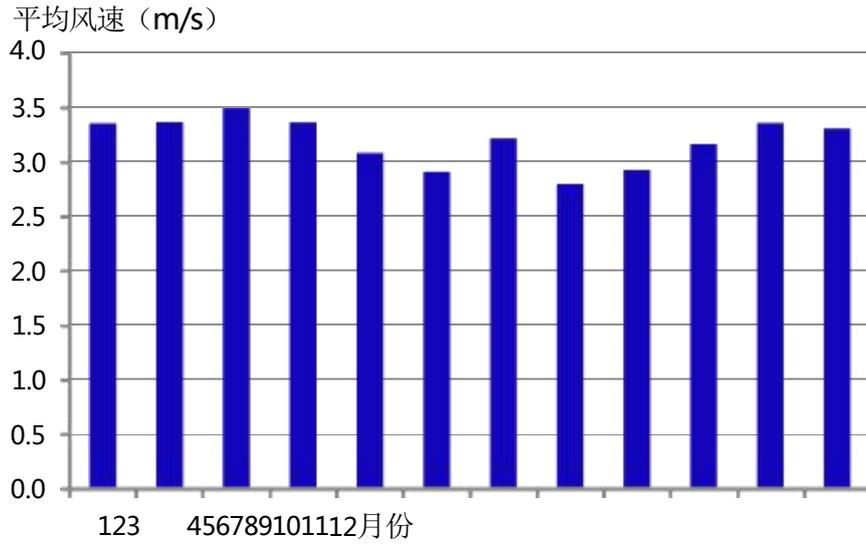


图4.1-5 湛江国家气象站各月风速图

表4.3 湛江国家气象站风速表 (单位: m/s)

项目 \ 月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
平均风速													
最大风速													
极大风速													



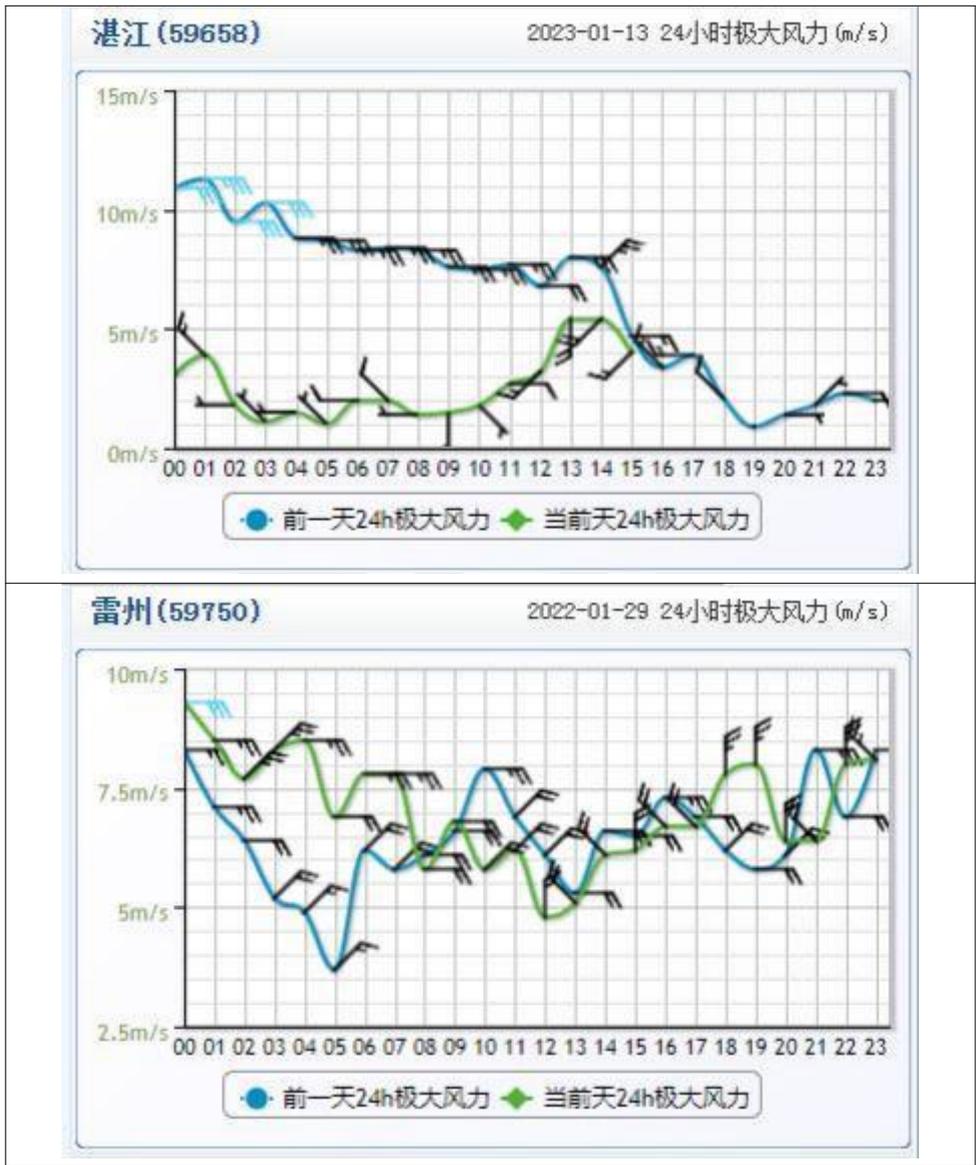


图4.1-6 湛江近期平均风速变化曲线图

(4) 风向、风频

项目所在区域多年平均风速和各方位风向频率变化统计结果见表4.4，该地区全年盛行风向为E~ESE~SE风，年均频率合计为39.8%。夏季偏东南风，冬季盛行偏北风或偏东风，静风年均频率为3.5%。

表4.4 湛江累年各风向频率 (%)

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
风频 (%)									
风向									
风频 (%)									

(5) 海雾

本海域雾日较多，多年雾日平均值为 30 天，各月平均雾日数，1~4 月份平均雾日较多，多年月平均雾日都在 4.4 天以上，3 月份雾日最多，多年月平均为 10.0 天，6~10 月份平均雾日较少，多年月平均不到一天，其中 6、8~10 月份没有雾日。

(6) 风暴潮

湛江海域风暴潮发生次数多、强度大、连续性明显，影响范围广，突发性强，灾害损失大。工程水域的风暴增水年均约 3.9 次（其中台风增水约 2 次），风暴增水多出现于 4~12 月，8~9 月份是发生次数最多的月份。台风在湛江港及其西南方向登陆时，主要造成正的风暴增水；台风在湛江港东面登陆时，造成的正增水比较小，通常情况下，台风登陆后，湛江港出现负增水。

4.2 地震

查询《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015），项目区域 50 年超越概率 10% 的水平向基岩地震动峰值加速度为 0.1g，地震动加速度反应谱特征周期: 0.35(s)。

4.3 地质构造

湛江市地形由雷北火山群、雷中冲洪积平原、雷南火山群及北部丘陵山区组成，属平台阶地及低丘陵地带，以平原台地为主。地势北高南低，雷州半岛台地呈驼峰形起伏，北部廉江市丘陵遍布，海拔在 30~80m 之间；中部遂溪县大部分为海拔 20~40m 的台地；南部雷州市、徐闻县大部分为起伏平缓的玄武岩台地和火山口盆地，海拔在 30~50m 之间；东部吴川市

是鉴江下游的阶地和滩涂；沿海多为海蚀、海积阶地和平原。在总面积中，丘陵占 21.5%，台地占 38.9%，平原滩涂占 39.6%。全市以西北部植被较好，中部有些地区树木稀少，荒山秃岭多，土壤侵蚀和崩山多，水土流失较严重，经近年来的综合治理，流失面积逐步减少。

第五章 土壤电阻率采集

土壤电阻率是单位长度土壤电阻的平均值，单位：欧姆·米。土壤电阻率是接地工程计算中一个常用的参数，直接影响接地装置接地电阻的大小、地网地面电位分布、接触电压和跨步电压。

5.1 土壤电阻率

接地电阻是电流 I 经接地极流入大地时接地极的电位 V 和 I 的比值，由三个构成要素组成：接地线的电阻及接地电极自身的电阻；接地电极的表面及与其接触的土地之间的接触电阻；电极周围大地的接地电阻。接地极的电位即为接地极与无穷远零位面之间的电位差。见图5.1-1所示。

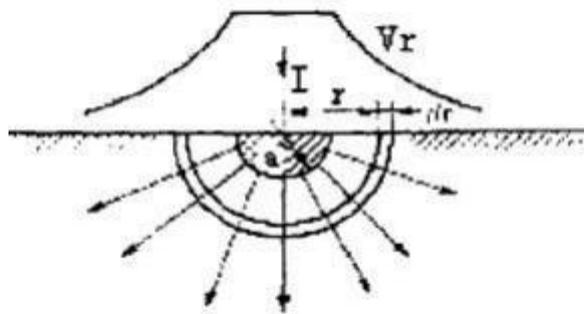


图5.1-1 均匀土壤中的半球形接地电极

影响接地电阻要素中最重要的是接地电极周围大地的电阻率。影响接地电阻次因素是接地电极的形状和尺寸。土壤电阻率是土壤的一种基本物理特性，是土壤在单位体积内的正方体相对两面间在一定电场作用下，对电流的导电性能。一般取每边长为10mm的正方体的电阻值为该土壤电阻率单位为 $\Omega\cdot m$ 。

5.2 土壤电阻率的主要影响因子

土壤电阻率的影响因子有：土壤类型、含水量、含盐量、温度、土壤的紧密程度等化学和物理性质，同时土地一般呈层状结构，电阻率会因地层不同而大幅变化，变化是不均匀的。

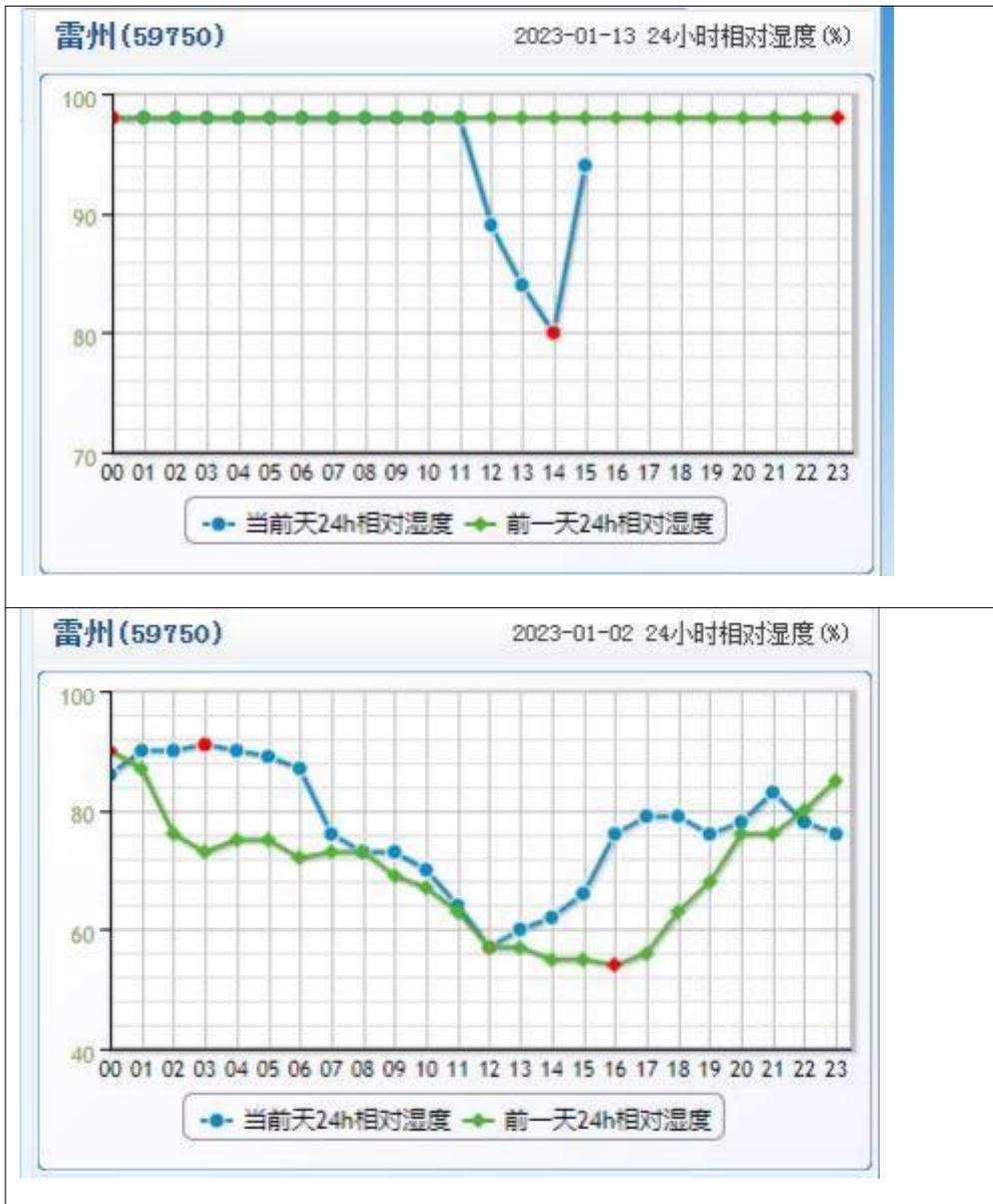






图5.2-1 24小时湛江相对湿度

5.3 土壤电阻率采集

测试仪器采用S-3319N 接地电阻测试仪；测量前数天无降水，测量时为晴天；测试方法：采用等距四点法（见图5.3-1）。

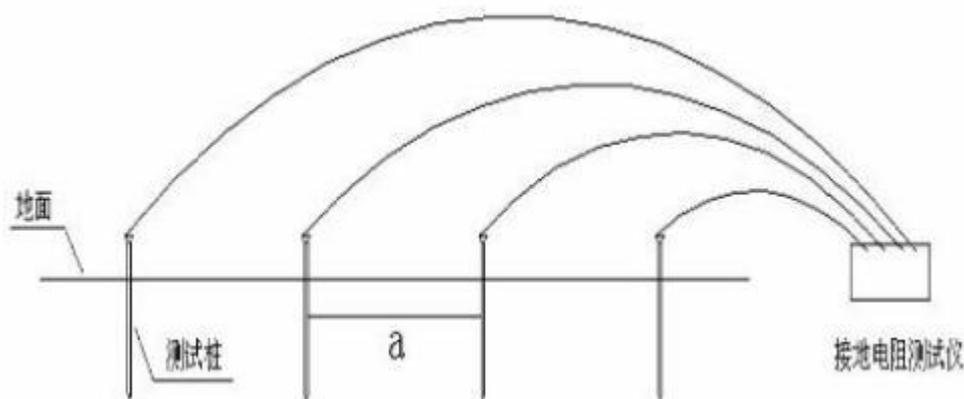
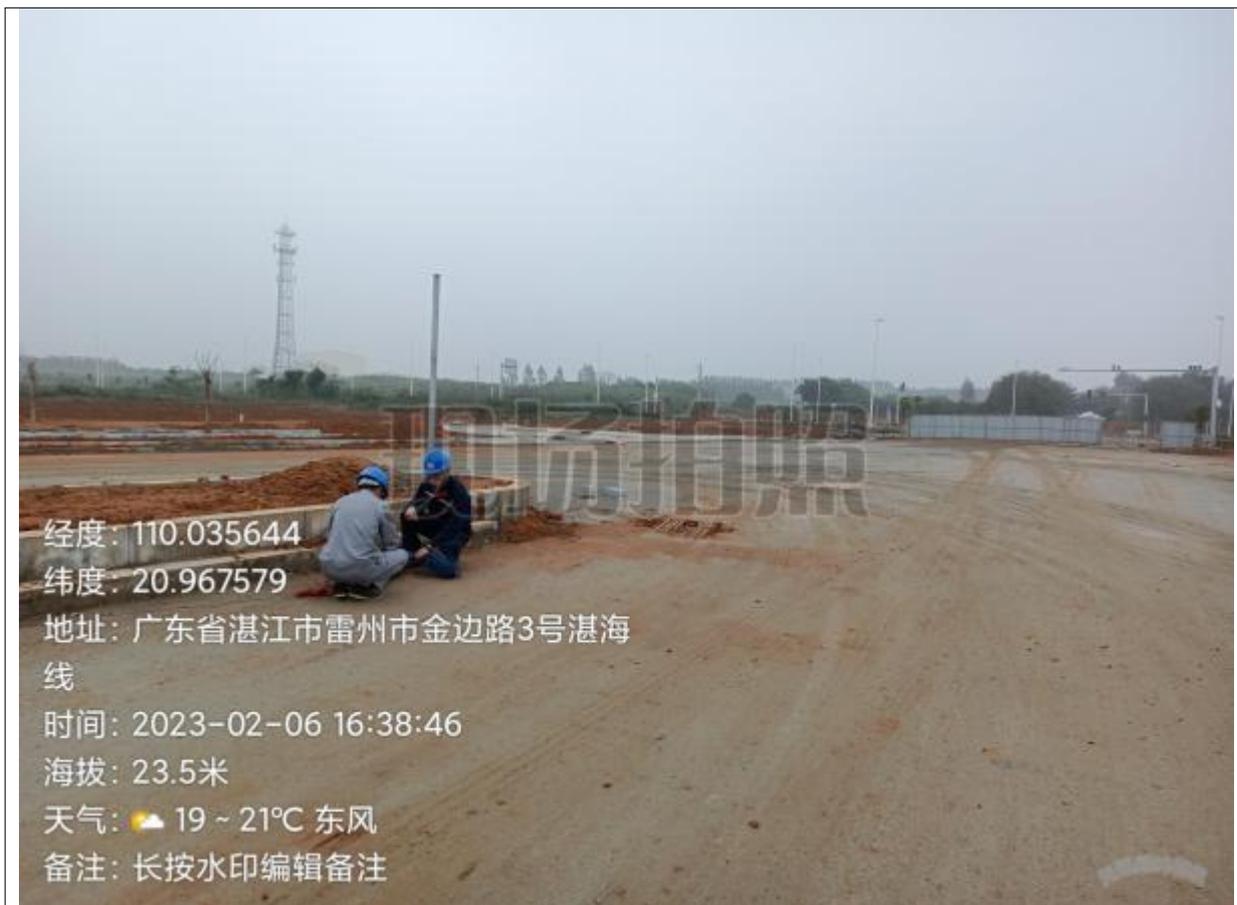


图5.3-1 土壤电阻率测试方法图

本报告中按项目布局，划分区块进行土壤电阻率数据的取样、采集，每个点分别以5、10m、15m、20m、25m为探测极的间距进行了采集，本评估报告取土壤电阻率 $120.0\Omega\cdot m$ 进行计算。

















第六章 项目区域雷电特征分析

6.1 项目区域雷暴的天气系统

雷州半岛位于我国大陆最南端,与海南岛隔琼州海峡相望,处于粤、桂、琼之间的连接地带,介于北纬 $20^{\circ}14'$ ~ $21^{\circ}44'$,东经 $109^{\circ}55'$ ~ $110^{\circ}44'$ 之间,南北长约140 km,东西宽约50~70 km,总面积12471 km²,包括湛江市和三个县级市(雷州、廉江、吴川)、两个县(徐闻、遂溪)。其整个地貌由雷北火山群、雷中冲洪积平原、雷南火山群及北部丘陵岗地组成。北部廉江市丘陵遍布,以双峰嶂为最高,海拔为382m,其余在30~80m之间;中部遂溪县螺岗岭海拔为233m,其余为海拔20~40m的台地;南部雷州市、徐闻县大岭、石板岭,海拔分别是259m和254m,其余为起伏平缓的玄武岩台地和火山口盆地,海拔一般在30~50m之间;东部吴川市是鉴江下游的阶地和滩涂,高程为2~20m;沿海多为海蚀、海积阶地和平原。丘陵占21.5%,台地占38.9%,平原滩涂占39.6%。地势呈脊背形,三面临海,“地形如舌,吐出海滨三百里”,是中国三大雷区之一,因多雷暴、唐朝时曾设雷州,故得名。雷州半岛属南亚热带湿润性气候,年均温度为 23.0°C ,最低温度 2.8°C ,最高温度 38.1°C ,一年四季都有雷鸣闪电,雷州半岛雷电灾害频现。地方志有所载,“海郡多风,而雷为甚。颶风发,风震地动,万籁惊号。更挟以雷雨,则势弥暴,拔木扬沙,坏垣破屋,……守斯土者,焦心篙目”。每年因雷电灾害造成的经济损失呈逐年上升的趋势。

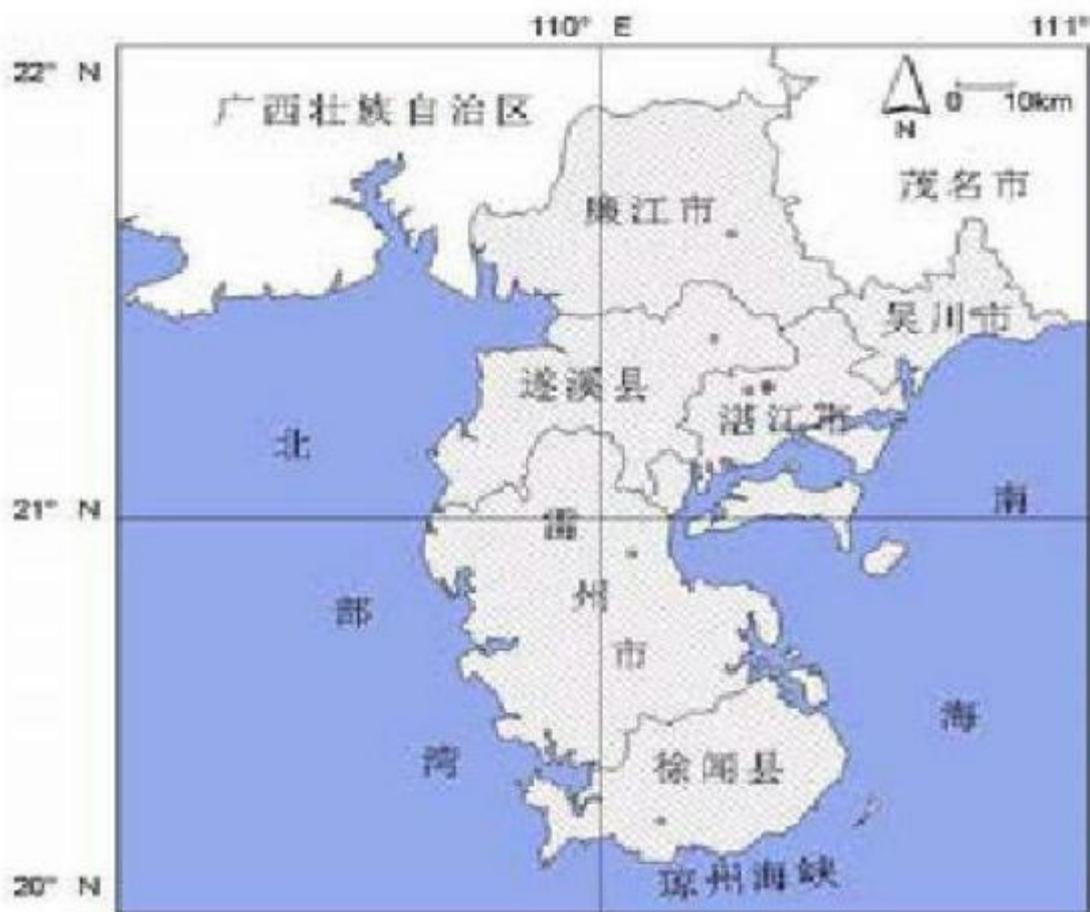


图6.1-1 雷州半岛地理位置图

雷暴产生的主要条件：不稳定能量条件、水汽条件和抬升动力条件（触发机制）。雷暴发生必须具有抬升条件。雷暴和强雷暴都是由大气中的强烈对流造成的，根据气块法理论，要形成大气的强烈对流必须具有巨大的不稳定能量以及能使大气产生上升运动，从而使大气不稳定能量释放，产生较强抬升力。大多数雷暴天气中，都存在着天气尺度和中尺度上升运动。天气尺度抬升运动通常与中高层槽、急流中心和暖平流以及气旋、锋面和切变线等系统有关。与天气尺度锋—急流系统相伴的横向次级环流在导致对流发展的过程中起着重要的作用。雷暴作为一种中尺度现象，与中尺度抬升源有更直接的联系。近地面层的中尺度抬升源包括由于不连续界面、非均匀加热、风和地形相互作用等造成的上升运动区(如中尺度气旋、中尺

度锋面和切变线、辐合线、雷暴外流、海陆风、山谷风环流等等)。湛江地区雷暴天气产生的天气系统主要有低空急流、锋面、高空槽、切变线、地面辐合线、热带辐合带、副热带高压脊、东风波、热带气旋等。

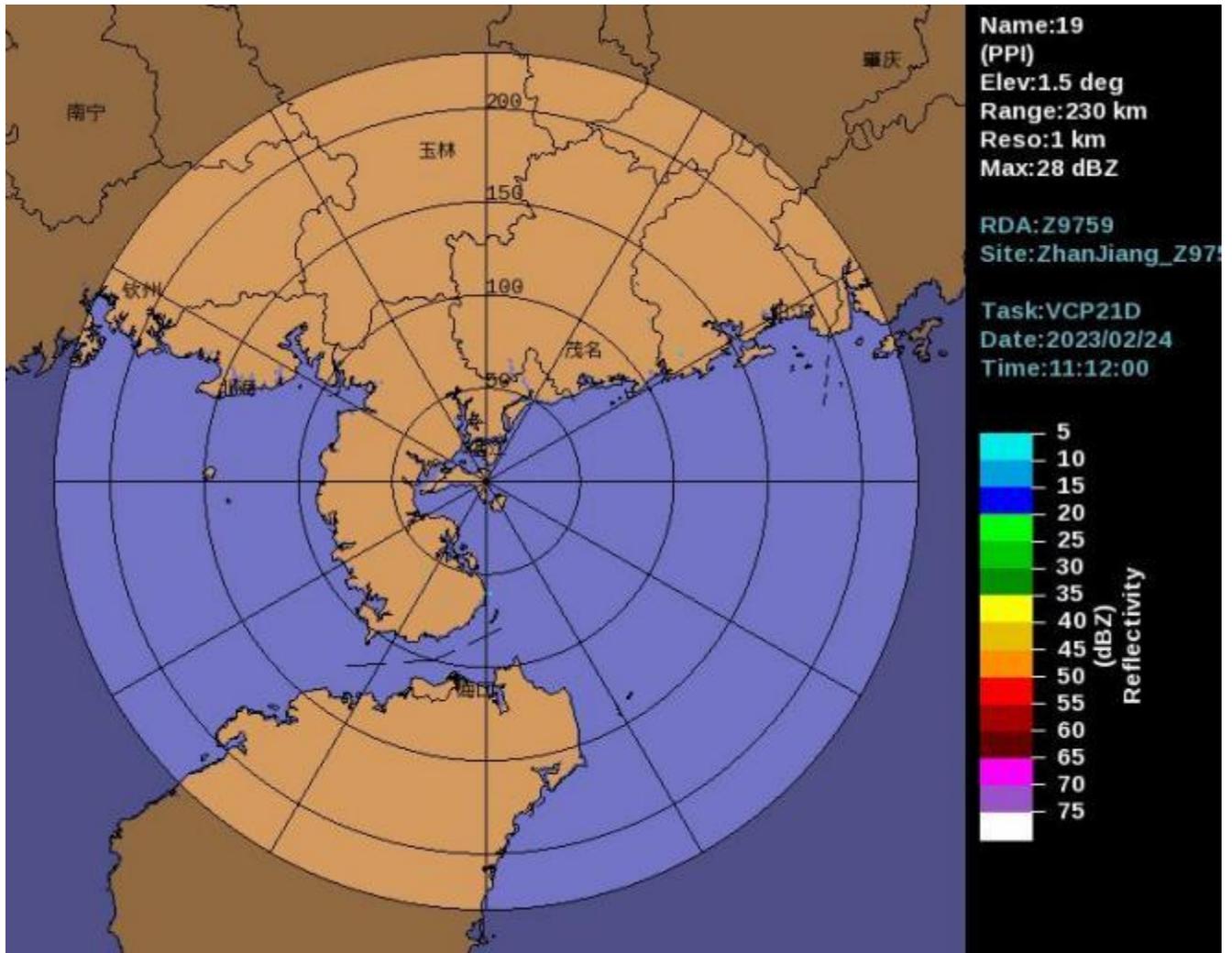


图6.1-2雷达图

(1) 锋面：锋面是冷、暖两种不同性质气团之间的狭窄的过渡带，在这一过渡带里温度变化特别大，空气活动十分活跃。当锋面移到湛江或在湛江地区准静止时，锋面来回摆动，冲击着前方的暖空气，在地面锋附近易形成强烈的不稳定，使之产生强烈的上升运动，造成雷电交加恶劣天气。

按照受冷暖空气流动的影响，可分为暖锋雷暴和冷锋雷暴。

暖锋雷暴：当暖空气流动到原有冷空气区域时，暖空气沿着冷空气斜坡往上升，在上升过程中产生变冷凝结作用产生的雷暴。因为暖空气沿着冷空气的斜坡慢慢往上爬，作用并不剧烈，雷暴的强度一般不大。但这种雷暴分布的范围广，持续时间较长，雨量较多，常以暴雨形式出现，下雨时多半在夜间。

冷锋雷暴：当强冷空气流像楔子一样侵入原来较轻而暖湿的气团时所形成的雷暴，也叫做寒潮雷。由于冷空气往往来势很猛烈，它比前一种雷暴来得猛烈，是雷雨中最强烈的一种，常在短时间内成为特大暴雨，因而为害最烈。

其中冷锋雷暴有四种形式：弱冷锋、强冷锋、气旋式冷暖锋、倒槽式冷锋。

1) 弱冷锋：即为地面图上分析出来的弱的冷锋。在地面-高空为低压带的辐合区，高空辐合区风向切变相当明显且有冷槽配合，由于地面锋后系统不强，冷锋移动缓慢，锋线上有雷暴。

2) 强冷锋：当冷锋移近时产生雷暴。

3) 气旋式冷暖锋：地面有带有冷暖锋小气旋，副高在太平洋。由于冷空气入侵，气旋有些发展产生雷雨。

4) 倒槽式冷锋：在倒槽处会有雷暴产生。

冷锋、暖锋上都可产生雷暴。其中以冷锋雷暴出现最多,强度也较强，而暖锋雷暴较少。在冷暖气团交界的锋面附近，锋面呈带状，纬向的分布，大气的作用使得雷电呈方向性，和气团一致和带状纬向分布。

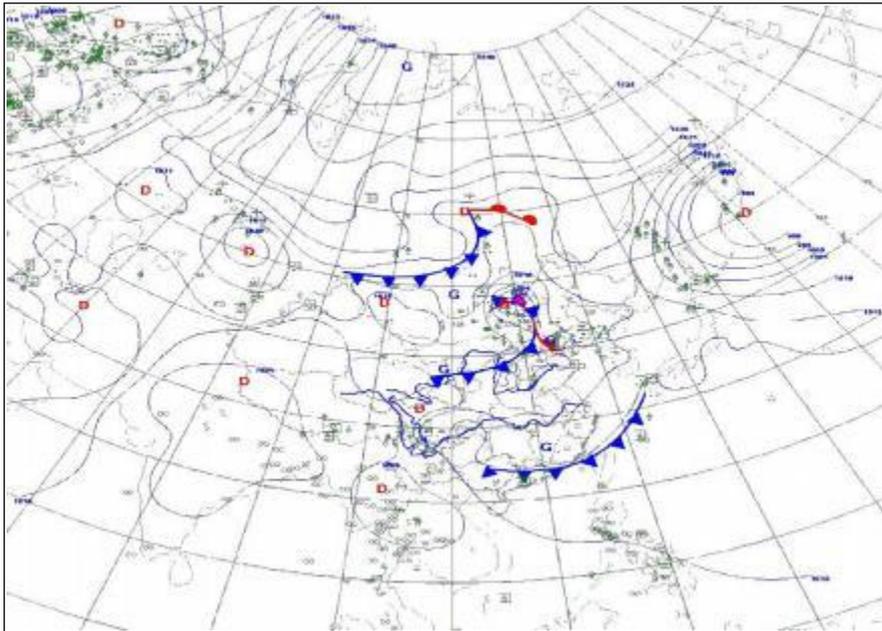


图6.1-3 地面冷锋、暖锋、锢囚锋

(2) **低空急流**：前汛期期间，西南低空急流经常在湛江地区南北间摆动。这支强风轴向北输送大量水汽，并由于轴上风速分布的不均匀而造成水汽、能量的堆积，为暴雨、雷暴形成提供了必要的条件。

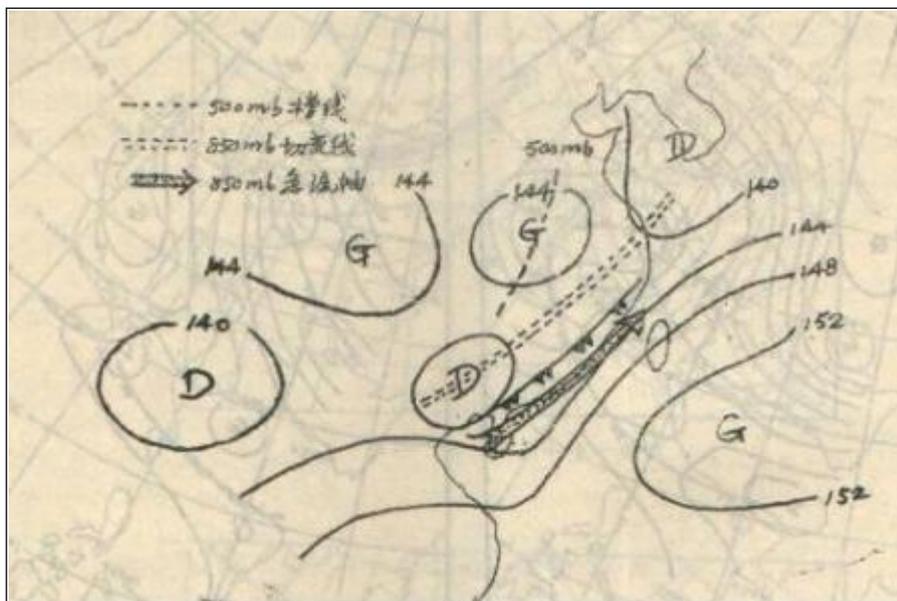


图6.1-4 低空急流及各层系统配置图

(3) **高空槽（南支槽）**：低纬度地区活动的高空槽，也称为南支槽。华南地区南支槽的活动最频繁,其波长2000~3000km，波速每天10~15个经度。高空槽由于槽线前后暖舌及冷槽明显，冷暖平流较强，槽线两侧风速较大，槽前多为暖湿的西南气流，有强烈的上升运动，槽后西北气流里不断有小股冷空气滑下来，而且风速垂直切变较强，大气层结很不稳定，易于产生强对流天气过程。春夏之交，冷暖空气频繁在华南沿海地区交汇。高空副热带高压偏东偏南，南支槽东移，有利于西南气流加强和波动的发展，当低槽移至110°E以西区域、槽底南伸到25°N以南时，湛江市位于高空低槽前，冷暖空气交换加强，促使槽前暖湿空气的不稳定能量释放并产生雷暴天气，是造成湛江地区强对流天气的一个重要系统。

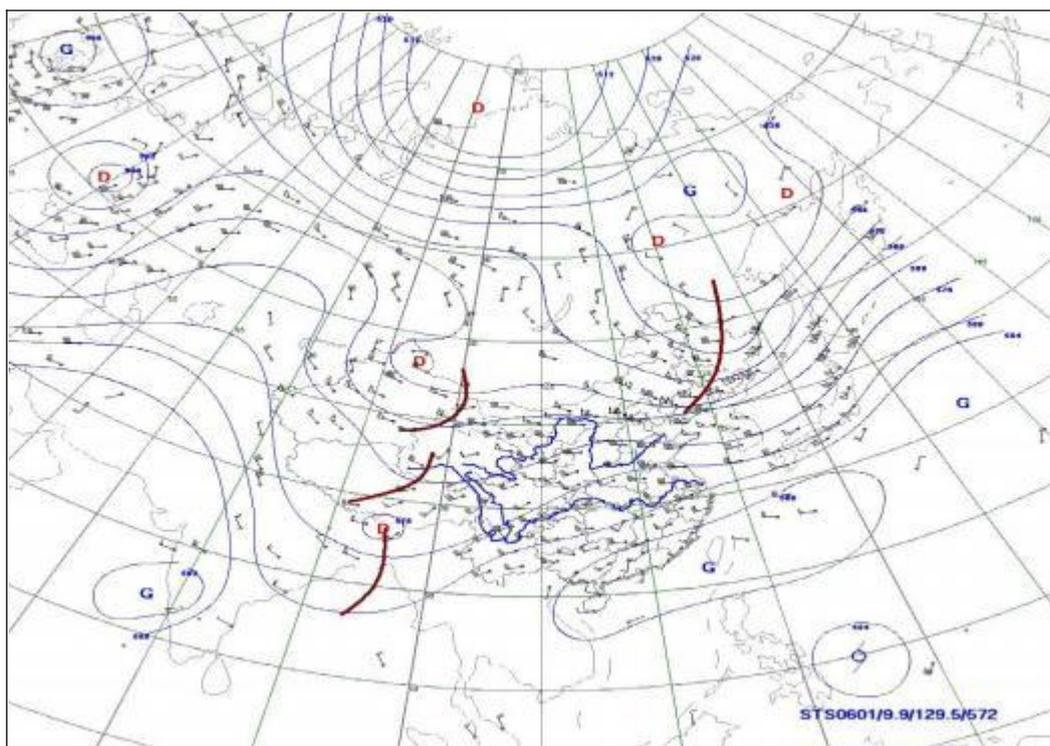


图6.1-5中纬度槽、高原槽、南支槽

(4) **切变线**：切变线也有与槽线相类似。切变线上的辐合上升运动也较强，因此有利于产生雷暴天气。在高空850~700hPa层上，在25°N附近、105~115°E地区有一东西向的切变线，在切变线附近地区为干冷的偏北气

流和暖湿的偏南气流的辐合区，在这辐合区内大气不稳定性增强，随着切变线南移到湛江地区，辐合作用加强，大量暖湿空气被抬升，放出大量潜热，产生强对流天气。切变线是影响湛江地区前汛期天气主要天气尺度系统，它为中小尺度系统提供了形成雷暴的水汽条件、位势不稳定条件和辐合上升运动条件。

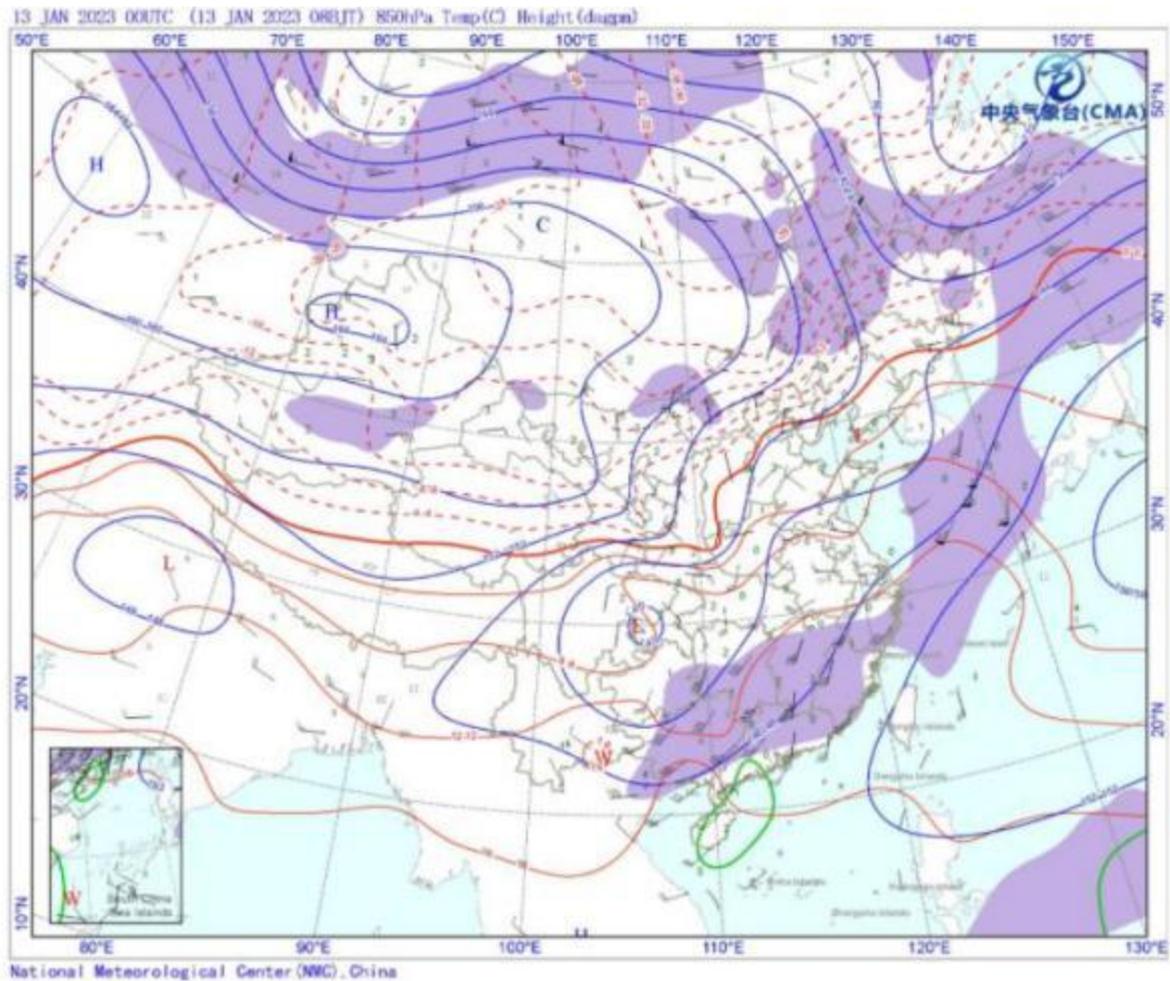


图6.1-6850百帕切变线

(s) 地面辐合线：地面辐合线是由于地面风场的不连续而形成的风向辐合线。它为中小尺度系统提供了位势不稳定条件和辐合上升运动条件，有利于局地强对流的发生发展。

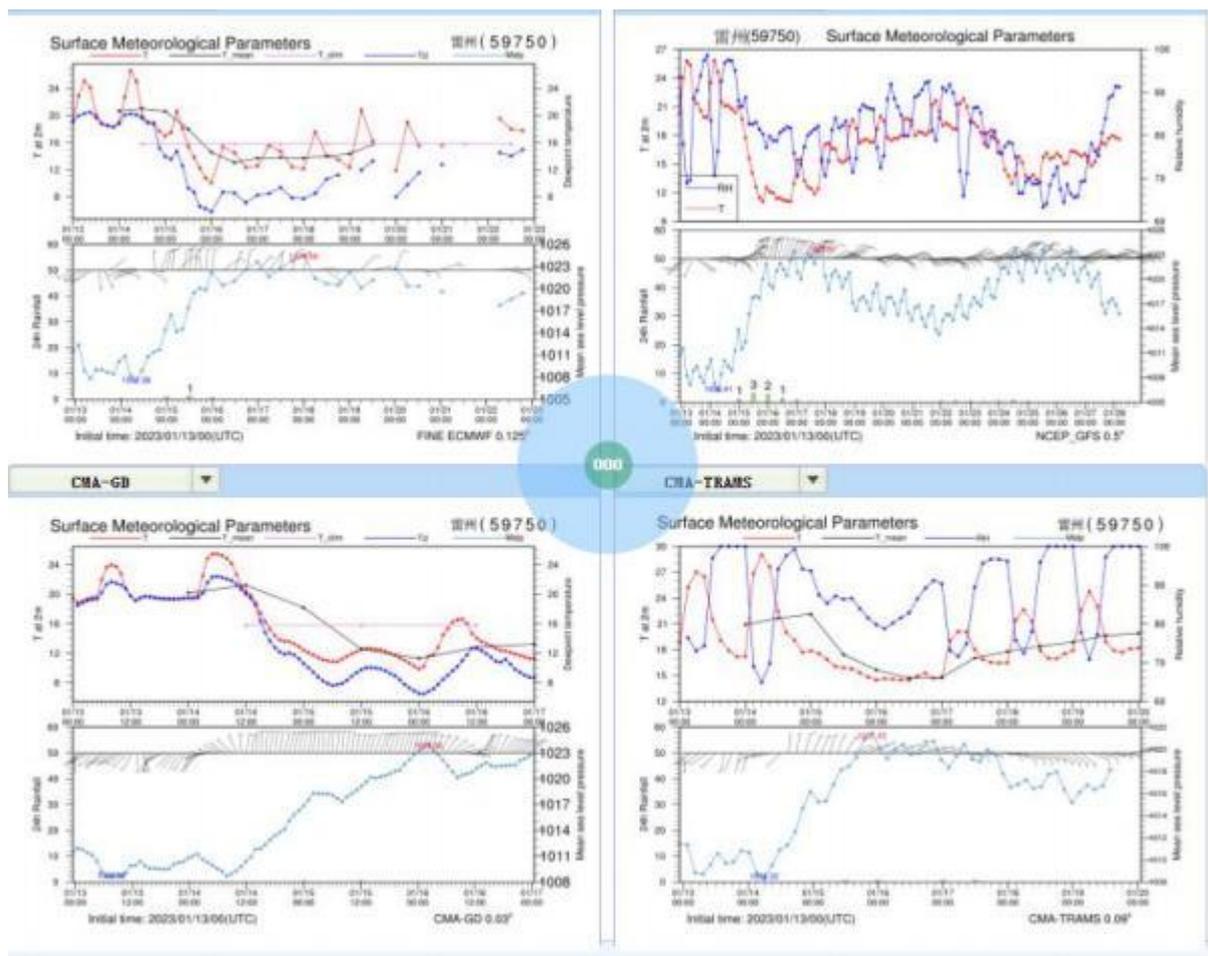


图6.1-7 地面要素表

(6) 季风低槽：季风低槽一般在对流层较为明显。低槽区是西南风与东北风交汇的辐合地带，在春季常伴有冷空气南移影响华南沿海地区。在初夏、季风低槽活动较频繁，常伴有辐合带、热带气旋，东风波等天气系统活动。季风低槽常呈东北～西南走向，湛江沿海附近常位于低槽区南部的气流辐合区，有利于垂直上升运动而产生强对流天气过程。

(7) 副热带高压（脊）：副热带高压(简称副高)是地球上的永久天气系统，副高多数呈脊状，所以叫脊。每年夏季副热带高压北进，西风带锋区北抬，25°N以南为副高控制。多数时候，副高呈东北偏东—西南偏西向伸展着，它的强度和位置变化是左右湛江地区天气转折的重要因素。

在对流层低层，副高西北部空气比较暖湿，常常储存大量的不稳定能量。在有外来系统侵入或没有外来系统侵入的情况下，都有发生雷暴的可

能。当天气系统很弱，等压线十分稀疏时，有时可以由于地形造成的小范围风场辐合，而引起孤立分散的雷暴。当副高明显东退时，也可引起不稳定能量释放而造成雷暴。当副高西北部有锋面、低压、高空槽、切交线、低涡等系统影响时，在副高西北部会出现较广的雷暴区。在副高西北部还经常出现低空急流。低空急流对雷暴、冰雹等对流性天气的发生也有很大影响。副高边缘天气不稳定，当湛江地区位于副热带高压脊西端点西北部时，暖湿气流受到抬升，容易造成产生雷暴的对流性天气。副热带高压：西太平洋副热带高压是一个庞大的暖性高压体系。

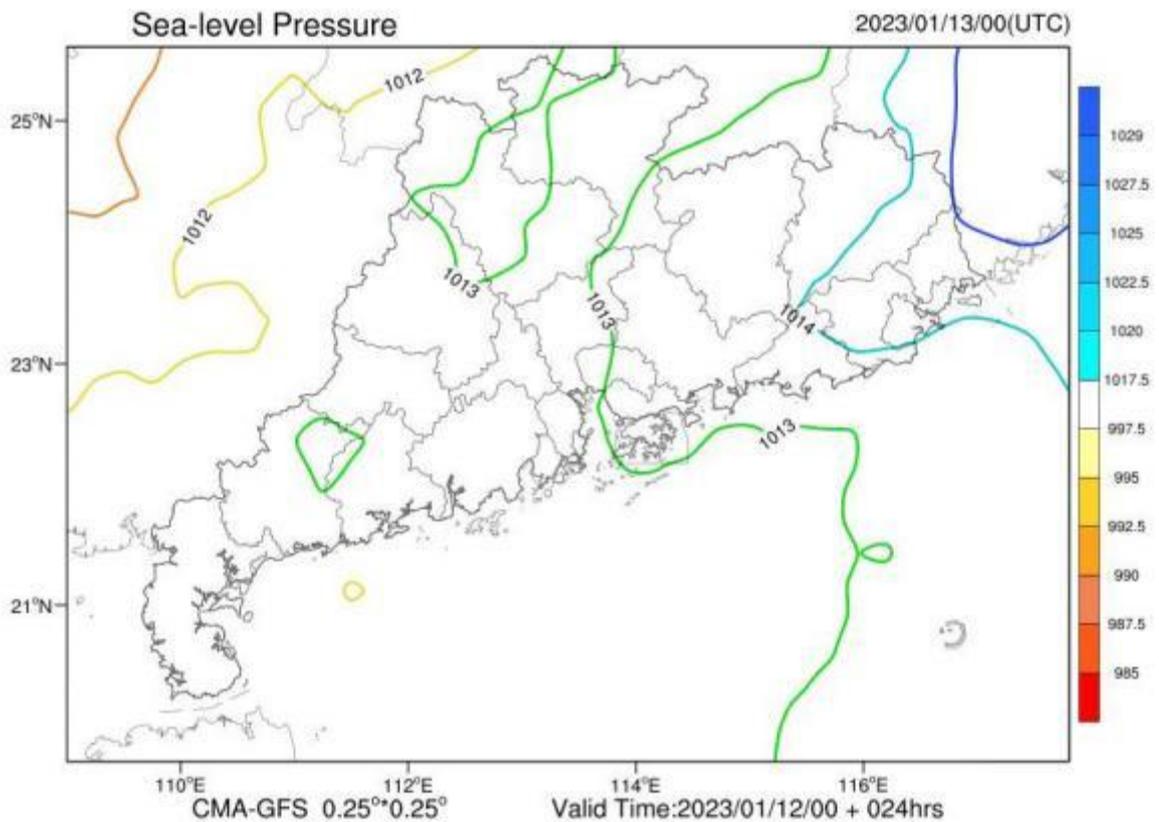


图6.1-8 海平面气压

(8) 热带辐合带：热带辐合带—北半球夏季东北信风北移，南半球的东南信风越过赤道北纬5度时，受地转偏向力影响变成西南风，于是东北风与西南风之间构成一条东西向的热带辐合带。气压场上表现为两半球副热带高压之间的低压区。它经常活跃在华南沿海地区，由于气流辐合，加上潮湿对流性不稳定，辐合带附近经常有热带云团（积雨云）发展、并伴有暴雨和雷暴等恶劣天气。湛江沿海夏季常受到热带辐合带带来的恶劣天气影响。

(9) 东风波：东风波是产生在副热带高压南侧深厚东风气流里的自东向西移动的低压槽。东风波波前为东北风，波后为东南风。东风波可带来强烈的雷暴天气。较强的东风波有“小台风”之称，在适当的条件下，东风波还可发展为热带气旋，从而带来更恶劣的天气。

(10) 热带气旋：热带气旋（台风）是发生在热带海洋上的一种强烈风暴。在它所经之地，会出现狂风、暴雨，在海上还会出现巨浪和风暴潮。在台风眼区气流下沉，一般没有降水也无雷暴现象。通常在远离台风中心的外围区域里或台风槽中，有较多的雷暴发生。如图6.1-9所示。



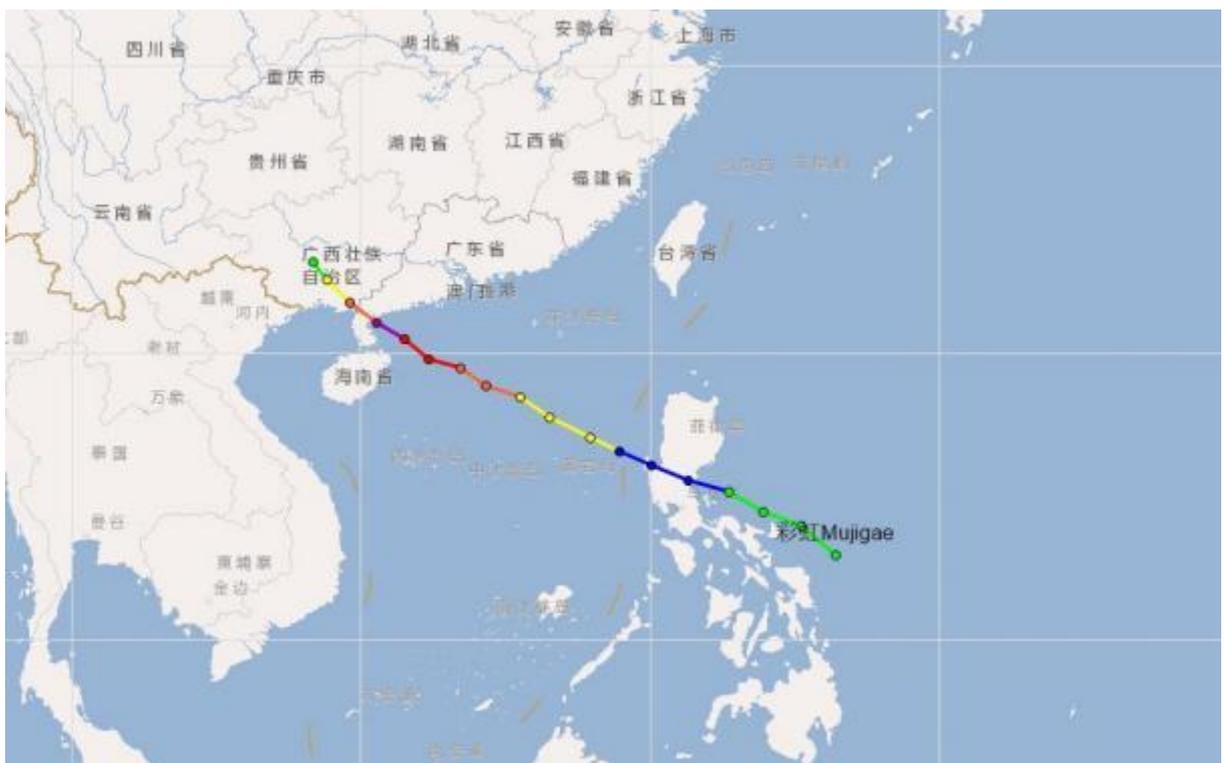


图6.1-9 热带气旋路径图

1522 号台风“彩虹”生成于菲律宾以东洋面，于2015 年10月2 日02 时（北京时，下同）由热带低压加强为热带风暴，10时左右进入南海并不断向西北方向行进。3日下午14时增强为台风，晚上23时增强为强台风，

并于4日14时10分以强台风级别在广东湛江市坡头区登陆，登陆时近中心最大风力达到信息级（ xm/s ），中心最低气压为 $xxxhPa$ ，是广东省有气象记录以来10月份登陆的最强台风。“彩虹”登陆后继续向西北方向移动，受下垫面摩擦的影响，强度不断减弱，于5日11时在广西壮族自治区境内减弱为热带低压。此次台风具有移动速度快、登陆强度高等特点，台风中心在大洋中的最大移动速度约为 $xx m/s$ ，并在登陆后造成两广多地发生暴雨和龙卷风灾害。

1996年的9615号台风莎莉(Sally)，于9月9日在湛江吴川市登陆。10:00~10:37，风速9次超过 xm/s ，测得最大10分钟平均风速 $xxxm/s$ ，并3次记录到 xm/s 以上的强阵风。由于风速太大，风速仪的笔尖被风压出风记录纸外，超出观测极限，没能录得实际最大风速和极大阵风。在坡头南油港湾海面上的南海503船测得最大风速 xm/s ，滨海283船测得最大风速 $xx\sim xxm/s$ ；在湛江港内的台湾怡荣号商船测得 $xx\sim xxm/s$ 的最大风速。

湛江市地势低矮，三面临海，喇叭口地形、海陆交界造成的落差、潮汐、海浪的变化容易在海面造成海面形状的不规则变化，触发空中不稳定能量的释放，有利于海面附近强对流的触发产生，产生强烈发展的雷暴积雨云。海陆风现象明显，白天，海洋和陆地受热不均匀，地表受太阳辐射而增温，陆地升温比海洋快得多，因此陆地上的气温显著地比附近海洋上的气温高。陆地上空气柱因受热膨胀，在水平气压梯力的作用下，上空的空气从陆地流向海洋，然后下沉至低空，又由海面流向陆地，再度上升，遂形成低层海风和铅直剖面上的海风环流。海风从每天上午开始直到傍晚，风力以下午为最强。白天的海风由海面向陆地辐合，因而，雷暴天气大多出现在一天之内的下午海风辐合最强的时刻。

气象监测表明，湛江市及其附近海面产生强对流（雷暴）天气的天气系统的来向：以NW-NNW、W-SW方向最多，其次是NE-E、SE方向。各月强对流雷暴天气系统的来向又有所不同，3~6月多以W~NNW方向为

主，而7~9月则以SE~SW和NE-E方向为主。其产生的原因主要是影响系统自北向南影响和产生的结果，而6月后则以热力对流、热带天气系统影响为主，自南向北移的结果。

6.2 项目区域雷暴形成的机制

6.2.1 直接影响湛江市雷暴天气的气象关键因素分析

雷暴天气主要是伴随积雨云的形成和成熟而形成，一般只有产生了积雨云，才有机会出现雷暴天气。湛江市热量丰富，大气层结常处于不稳定或潜在不稳定，同时低层大气的水汽也充足。触发或启动积雨云生成，对积云发展起推动作用的因素有动力抬升因素和热力抬升因素，其中动力抬升因素为地形的抬升和天气系统造成的辐合抬升，由于湛江市台地低矮，接近海平面，地形的抬升不显著，动力抬升主要是冷空气、东风波、热带辐合带、热带气旋以及副热带高压进退等天气系统造成的影响，要具备适宜的天气系统影响机会。热力抬升因素主要是下垫面受太阳辐射加热，下垫面温度升高，当大气层处于不稳定或潜在不稳定，特别是潜在不稳定的情况下，下垫面温度达到足够高，抬升力使气块上升到自由对流高度以上时，潜在不稳定就变成了真实不稳定，触发对流的产生和积雨云的生成；若下垫面温度不够高，气块获得的能量不足以克服对流抑制能量（CIN），气块将回到原平衡位置，气块仍处于稳定状态，无法触发对流和生成积雨云。因此下垫面温度高低是触发对流的产生和积雨云的生成的关键因素。因湛江市的雷暴天气是以午后热雷雨为主，下垫面温度高低，特别是午后下垫面温度高低是影响雷暴天气变化的关键气象因素。

6.2.2 湛江市雷暴年际变化特征

湛江、徐闻、雷州、廉江气象观测站的年平均雷暴日数、年最多（少）雷暴日数及出现年份见表6.1。数据表明，年平均雷暴日数各站在84至100天之间。最多雷暴年和少雷暴年差异大，多雷暴年里的雷暴日数超过全年1/3天数，约是少雷暴年雷暴日数的2倍。

表6.2-1 湛江市各站雷暴天气资料年际变化

站名	年平均雷暴日数/天	年最多雷暴日数（出现年）/天	年最少雷暴日数（出现年）/天
徐闻	94	120（1973）	65（2005）
雷州	100	123（1969）	72（2004）
湛江	84	114（1972）	50（1991）
廉江	90	126（1975）	64（2001）

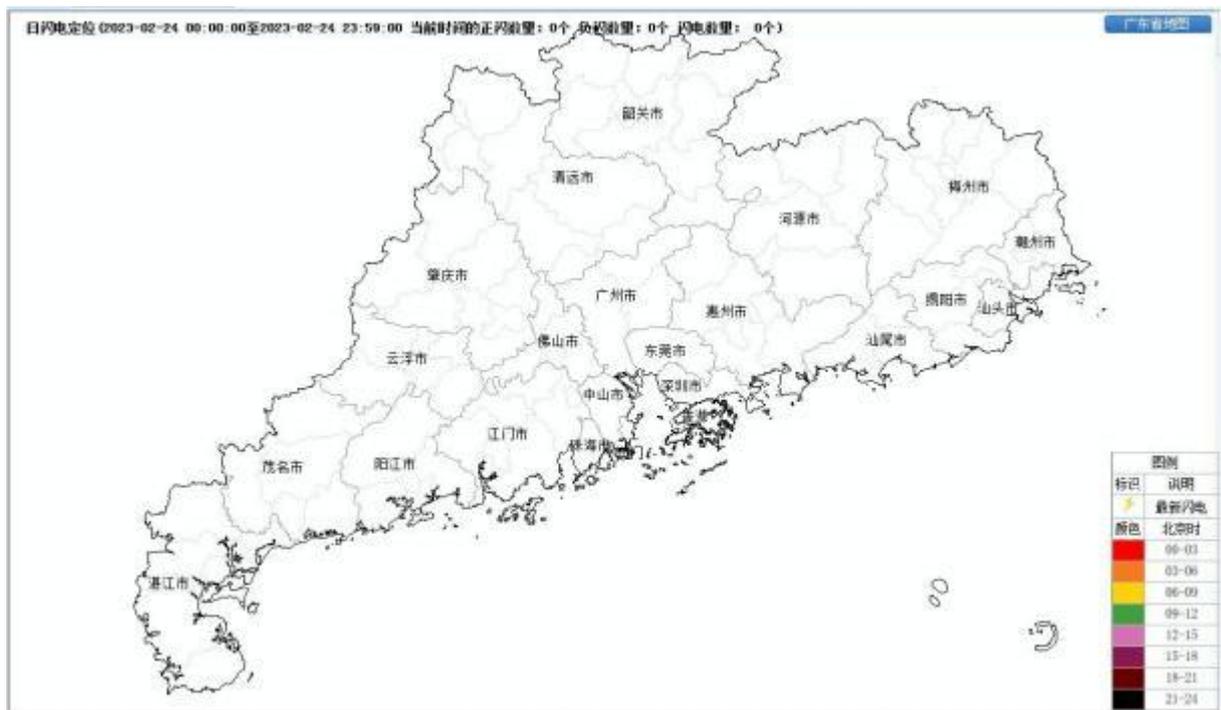


图6.2-1 日闪电定位图

湛江市各地雷暴天气年际变化曲线波动大，年间差异显著。

6.2.3 湛江市雷暴年变化特征

图6.2-2 给出上述4个气象站的雷暴日数及其平均的雷暴日数月分布图。历史上每月都有雷暴的记录，雷暴日数的月分布主要呈单峰型，春末至秋初雷暴最多，峰值在7月或8月。各地12月和1月雷暴最少，除特殊年份，一般没有强雷暴发生。

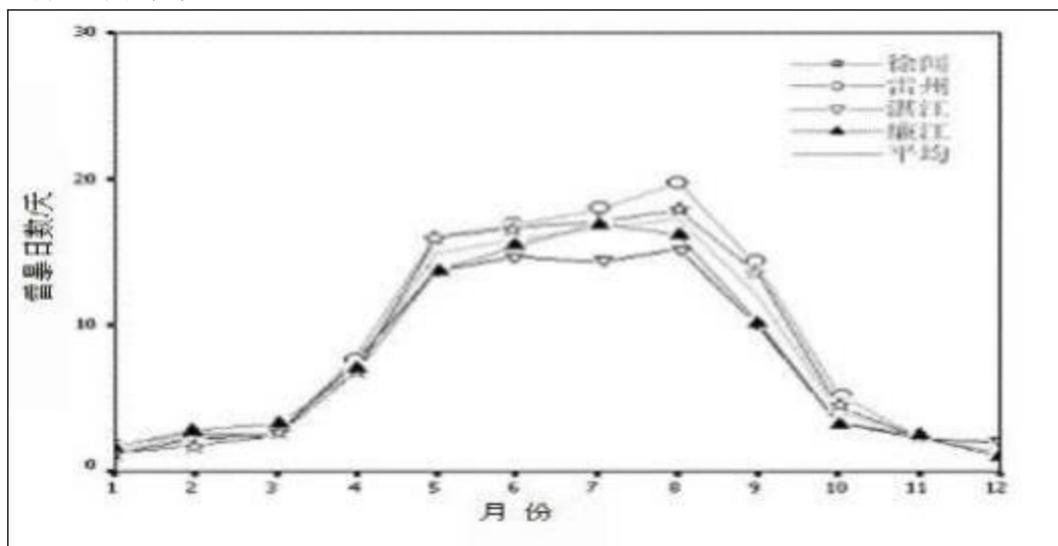


图6.2-2 湛江市雷暴天气年变化图

6.2.4 湛江市年初终雷暴变化特征

湛江市各地开雷、收雷日期的年际变化大。看出湛江市最早开雷为1月上旬，最迟开雷为4月中旬。湛江市最早收雷为9月中旬，最迟收雷为12月中旬。开雷保证率90%时间北早南迟，北部为3月下旬，中南部为4月上旬。开雷保证率80%时间均为3月下旬。收雷保证率90%时间均为9月下旬。收雷保证率80%时间均为10月上旬，见表6.2-2。

表6.2-2 湛江市各站年初终雷暴变化

站名	最早开雷时间 (出现年)	最迟开雷时间 (出现年)	最早收雷时间 (出现年)	最迟收雷时间 (出现年)	开雷保证 率90%时 间	收雷保证 率90%时 间
徐闻	1月上旬 (1992)	4月下旬 (1971)	9月中旬 (1988)	12月中旬 (2002)	4月上旬	9月下旬
雷州	1月上旬 (1983、1992)	4月中旬 (1970)	9月下旬 (67、78、79、92)	12月下旬 (1971)	4月上旬	9月下旬
湛江	1月上旬 (1964、1983、 1992)	4月中旬 (2000)	9月中旬 (1966、1988)	12月中旬 (2002)	3月下旬	9月下旬
廉江	1月上旬 (1983、1992)	4月中旬 (1999、2000)	8月下旬 (1958)	12月中旬 (2002)	3月下旬	9月下旬

6.2.5 湛江市雷暴日变化特征

湛江市各地雷暴主要出现在14:00~20:00 之间，17:00 前后是雷暴发生的高峰期，午后热雷雨占雷暴天气的60%以上，见图6.2-3。

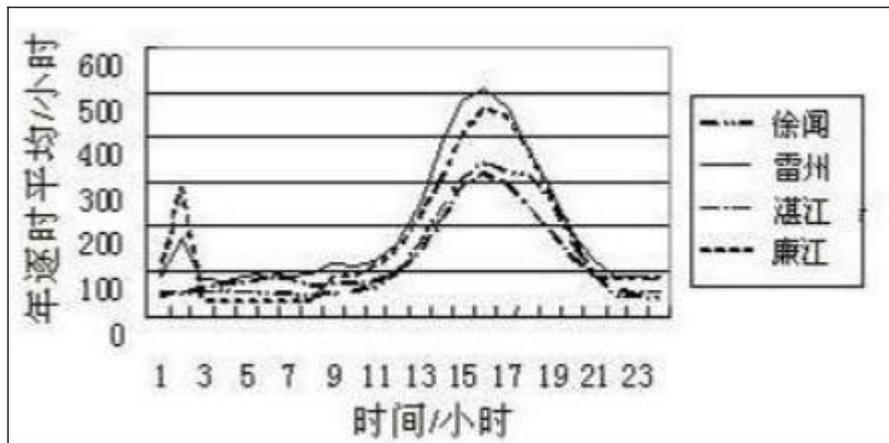


图6.2-3 湛江市雷暴的日变化图

6.2.6 湛江市雷暴物理量分析

(1) 湛江市沙氏指数SI 变化特征及其与雷雨天气关系分析

沙氏指数SI是指小空气块由850hPa干绝热地上升到抬升凝结高度(LCL)，然后再按湿绝热线上升到500hPa，在 500hPa上的大气实际温度 (T_{500}) 与该上升气块到达500hPa温度 (T') 差值,即 $SI = T_{500} - T'$ 。沙氏指数

定义中涉及干绝热过程和湿绝热过程，沙氏指数计算的实质是干、湿绝热过程方程的求解。如果气块温度 T' 小于环境温度 T_{500} ，则 $SI > 0$ 表示气层较稳定；反之， $SI < 0$ 表示气层不稳定，负值越大，气层越不稳定。

湛江市夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 统计特征

从2020年湛江市夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 逐日数据分析， $SI_{夜}$ 年平均值为3.6，中位数为0.9，最小值为-8.2，最大值为29.8，跨度达38.0，资料的标准差为8.489，方差为72.067，说明逐日的 $SI_{夜}$ 差异较大，变化波动，数据离散度较高。数据的偏度系数为0.895，为较小正值，分布形态属正偏（右偏），偏斜程度不大。峰度系数为0.018，为较小正值，分布不陡峭，分布状态近似正态分布。

从表6.2-3的2020年湛江市夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 各月统计量可看出，1~4、10~12月的 $SI_{夜}$ 平均值为正值，5~9月的 $SI_{夜}$ 平均值为负值，1月的 $SI_{夜}$ 平均值最大，达18.2，11~12月次之；7、8月 $SI_{夜}$ 平均值最小，为-4.4。年最大 $SI_{夜}$ 值出现在1月6日，最小 $SI_{夜}$ 值出现在6月3日。2020年冬季

（1月、11~12月）除12月21、23日由于湛江市处在冷空气影响锋前，高温、高湿和低气压条件下， $SI_{夜}$ 值为负值，其他各天均为正值。全年其他季节各月均有负 $SI_{夜}$ 值出现，其中7~9月的 $SI_{夜}$ 值均为负值。2~6、10月的最小 $SI_{夜}$ 值为负，最大值为正，正负 $SI_{夜}$ 各占比例。当沙氏指数 SI 为负值时，大气层结不稳定(或潜在不稳定)，反之大气层结是稳定的，说明在湛江市7~9月大气层结极不稳定(或潜在不稳定)，在冬季，除个别天数外，大气层结一般都是相当稳定的。

表6.2-3 2020年湛江市夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 各月统计量 单位：K

统计量	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均值	18.2	4.6	5.4	3.1	-1.2	-3.8	-4.4	-4.4	-4.1	2.7	11.0	9.9
最小值	7.9	-1.4	-3.6	-4.4	-5.6	-8.2	-7.5	-8.0	-5.6	-6.6	0.6	-7.9
最大值	29.8	21.6	25.1	16.3	7.7	0.6	-0.5	-0.8	-0.3	7.0	19.8	25.3

湛江市夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 线性时频分析

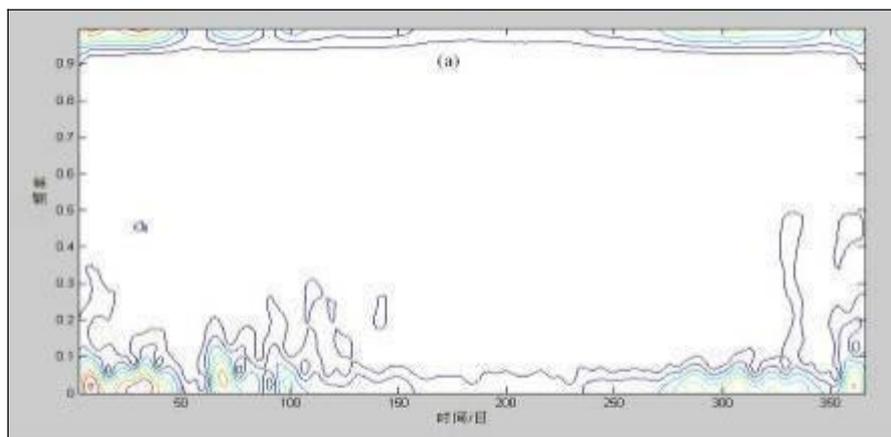
采用短时傅立叶变换和小波分解二种线性时频分析对2020年湛江市夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 进行分析研究。

从图6.2-4 (a) 2020年湛江市夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 的窗函数为11点的hamming窗时的短时傅立叶变换可分析, 在时频图上可看出: 值较大、变化明显波动的时段在时间域上主要位于0-105 (1月至4月中旬) 和275-365 (10~12月), 也就是在冷空气频繁活动的季节内, 在频率域上的0-0.5和0.9-1.0, 其中明显的多个值大中心位于该时频域上。在时间域上105-275 (4月中旬至9月) 的高温炎热季节内和频率域上的0.5-0.9区间内 $SI_{夜}$ 值变化较为平缓, 值小, 只存在值较小的弱中心。

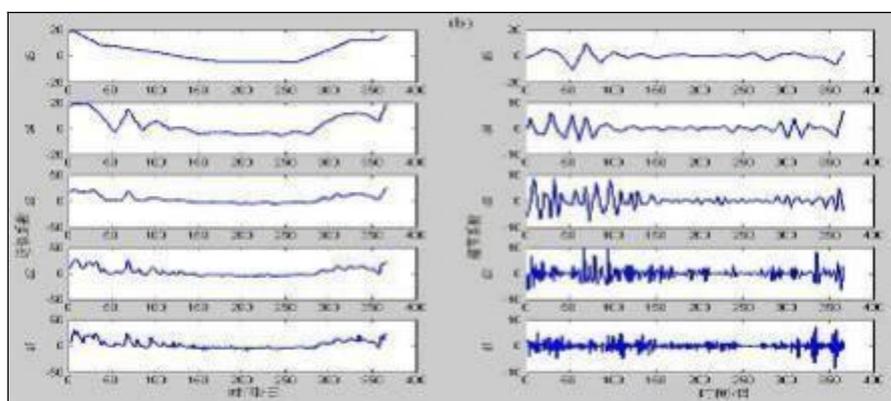
采用SYM8小波对2020年湛江市夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 进行五层分解, 可分别获取近似系数A和细节系数D。从图6.2-4 (b) 的SYM8小波五层分解的近似系数A可分析, 各层近似系数A的走势较为相近, 在冷空气频繁活动的季节内, 值较大, 变幅大, 出现全年最大值; 在高温炎热季节内, 值小, 变化较为平缓。第三层、第四层、第五层的近似系数A3、A4和A5, 已经能明显表现了夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 的全年趋势变化, 但A3、A4中还包含有低频变化信号。第一层和第二层的近似系数A1、A2中包含有高频或较为高频的变化信号。

从图6.2-4 (b) 的SYM8小波五层分解的细节系数D可分析, D包含变化信号的频率以低层为最高, 逐层降低, 第一层、第二层、第三层的细节系数D₁、D₂和D₃中包含有高频或较为高频的变化信号, 第四层、第五层的细节系数D₄和D₅中包含的变化信号频率已经很低了。D₃、D₄、D₅在全年中的变化较为相近, 在冷空气频繁活动的季节, 波动大, 振幅大, 出现全年最大振幅; 在高温炎热季节, 振幅小, 变化较为平缓。D₁、D₂在全年各季中均出现高频波动信号, 但在冷空气频繁活动的季节波动最为明显, 振幅最大。

经统计，2020年在冷空气频繁活动季节的时间域上6（1月6日， $SI_{夜}$ 为29.8）、31（1月31日， $SI_{夜}$ 为23.3）、66（3月7日， $SI_{夜}$ 为25.1）、95（4月4日， $SI_{夜}$ 为16.3）、293（10月20日， $SI_{夜}$ 为7.0）、310（11月6日， $SI_{夜}$ 为15.5）、333（11月29日， $SI_{夜}$ 为19.8）和365（12月31日， $SI_{夜}$ 为25.3）等处 $SI_{夜}$ 值为明显峰值，对应短时傅立叶变换时频图上的明显多个值大中心，同时在小波分解细节系数D中也有明显对应的波峰，此时湛江市的天气一般为受冷空气影响后，被冷高压脊控制，地面低温低湿，气压较高，为偏北气流；在冷空气频繁活动季节的时间域上47（2月16日， $SI_{夜}$ 为-1.4）、87（3月28日， $SI_{夜}$ 为-3.6）和355（12月21日， $SI_{夜}$ 为-7.9）等处 $SI_{夜}$ 值为明显谷值，对应短时傅立叶变换时频图上的明显负中心，同时在小波分解细节系数D中有明显对应的波谷，此时湛江市的天气一般处在冷空气影响的锋前，位于气压下降期，地面高温高湿，气压较低，为偏东南或偏东，甚至偏南气流。说明在湛江市，冷空气活动是影响夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 的值、振幅和波动频率的主要因素之一。



(a) 短时傅立叶变换(11点hamming窗)



(b) SYM8小波五层分解的近似系数A和细节系数

图6.2-4 2020年湛江市夜间沙氏指数线性时频分析图

湛江市夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 二次型时频分析

为有效抑制交叉项的干扰,湛江市夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 二次型时频分析使用加核函数后Wigner-Ville分布的平滑伪Wigner-Ville分布进行分析。

从图6.2-5 湛江市夜间沙氏指数 $SI_{夜}$ 2020年的平滑伪Wigner-Ville分布可分析,在三维图上可看出:辐值变化明显的峰和谷主要位于时间域上的0-70(1月至3月上旬)和275-365(10~12月),也就是在冷空气频繁活动的季节内,频率域上的0-0.1和0.95-1。湛江市高温炎热季节(4~9月)和频率域上的0.1-0.95区间辐值变化较为平缓,波动很小,幅值小。

在高温炎热季节,大气层结不稳定(或潜在不稳定),常出现极不稳定的天气。

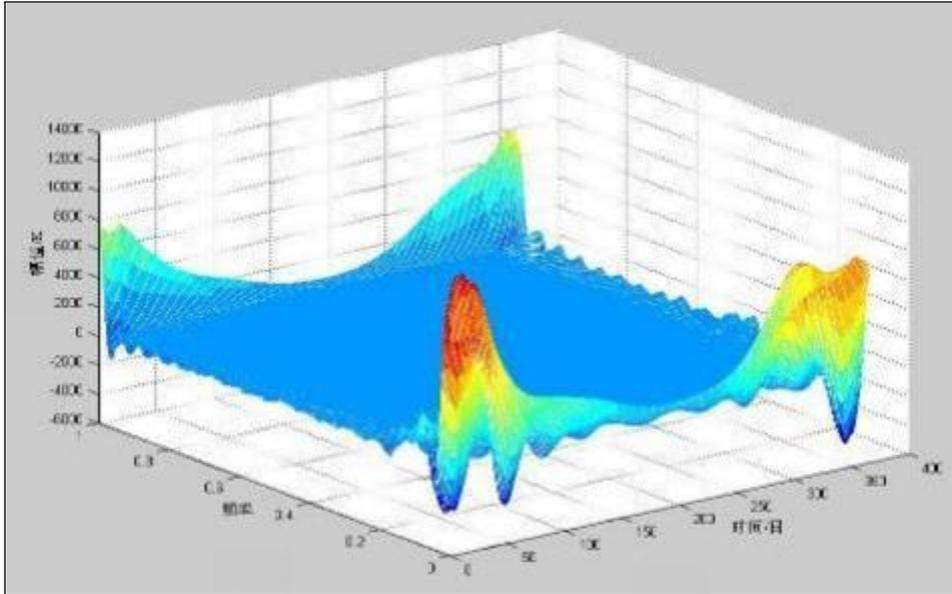


图6.2-5 2020年湛江市夜间沙氏指数SI_夜平滑伪Wigner-Ville分布

湛江市夏季夜间SI_夜与白天正午前后SI对比分析

从表6.2-4的2020年湛江市夏季夜间SI_夜与白天正午前后SI对比表可看出，7月13日13时、7月29日14时、8月5日13时的SI均比当天和第二天的夜间02时SI_夜明显偏小，其中7月13日13时达-15.4，7月28日12时的SI比第二天夜间02时的SI_夜小，等于当天夜间02时的SI_夜。

夜间02时前后，太阳的直接辐射已经完全消失，此时的探空层结资料代表了大气的无太阳直接辐射状态真实层结，比08时、20时的探空资料更具代表性、稳定性和真实性。白天正午前后，特别在夏季少云状况下，由于太阳的直接辐射作用，对下垫面和低层空气的加热，使大气层结不稳定性增加，因而白天SI一般比夜间SI值小，影响程度与云天因素直接关联。

表6.2-4 2020年湛江市夏季夜间SI_夜与白天正午前后SI对比表 单位：K

月.日	07.13	07.13	07.14	07.28	07.28	07.29	07.29	07.30	08.05	08.05	08.06
时间	02时	13时	02时	02时	12时	02时	14时	02时	02时	13时	02时
SI值	-4.1	-15.4	-6.7	-6.0	-6.0	-5.2	-8.0	-3.5	-5.3	-6.7	-5.3

(2) 湛江市、 $\Delta\theta_{se(500-850)}$ 变化特征及其与雷雨天气关系分析

假相当位温 θ_{se} 是饱和气块上升过程中,水汽全部凝结所释放的潜热加热空气后达到的位温,在干绝热和湿绝热过程中都是保守的,对流性不稳定时气层下部假相当位温比上部的高,对流性稳定时则相反。因而两个高度上假相当位温的差值 $\Delta\theta_{se}$ 是大气稳定度判断的指标,与雷雨天气变化密切相关。

湛江市夜间 $\Delta\theta_{se夜}$ 统计特征

从2020年湛江市夜间 $\Delta\theta_{se夜}$ 逐日数据分析, $\Delta\theta_{se夜}$ 年平均值为-2.0,中位数为-2.8,最小值为-37.4,最大值为25.5,跨度达62.9,资料的标准差为9.475,方差为89.778,说明逐日的 $\Delta\theta_{se夜}$ 差异较大,变化波动,数据离散度较高。数据的偏度系数为0.138,为较小正值,分布形态属正偏(右偏),偏斜程度很小。峰度系数为0.539,为较小正值,分布不陡峭。

从表6.5的2020年湛江市夜间 $\Delta\theta_{se夜}$ 各月统计量可看出,1、10、11、12月的 $\Delta\theta_{se夜}$ 平均值为正值,2~9月的 $\Delta\theta_{se夜}$ 平均值为负值,1月和11月的 $\Delta\theta_{se夜}$ 平均值最大,达9.0,12月次之;7月 $\Delta\theta_{se夜}$ 平均值最小,为-8.7。2020年最大 $\Delta\theta_{se夜}$ 值出现在1月9日,最小 $\Delta\theta_{se夜}$ 值出现在5月2日。2020年 $\Delta\theta_{se夜}$ 各月的最小值均为负值,除9月外,其他各月的最大值均为正值,跨度最大月为5月。

表6.2-5 2020年湛江市夜间 $\Delta\theta_{se夜}$ 各月统计量

单位: K

统计量	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均值	9.0	-0.9	-7.9	-6.3	-4.6	-7.0	-8.7	-7.1	-5.4	0.6	9.0	5.4
最小值	-5.3	-16.6	-21.4	-31.6	-37.4	-19	-19	-18.2	-11.2	-8.9	-3.7	-22.5
最大值	25.5	21.2	6.0	8.2	5.7	2	7.4	4.0	-0.8	9.5	20.1	18.9
跨度	30.8	37.8	27.4	39.8	43.1	21	26.4	22.2	10.4	18.4	23.8	41.4

湛江市夜间 $\Delta\theta_{se}$ 夜线性时频分析

图6.2-6 (a) 为2020 年全年逐日湛江市夜间 $\Delta\theta_{se}$ 夜变化曲线，采用短时傅立叶变换和小波分解二种线性时频分析对其进行分析研究。

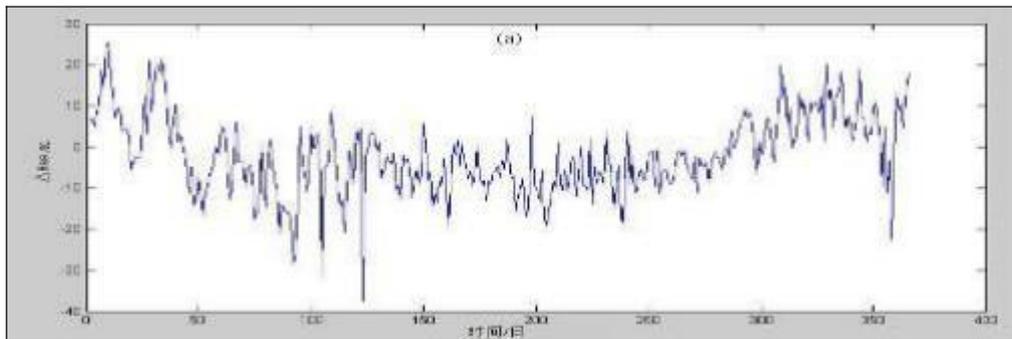
从图6.2-6 (b) 2020 年湛江市夜间 $\Delta\theta_{se}$ 夜的窗函数为11点的hamming窗时的短时傅立叶变换分析，在时频图上可看出：值较大、变化明显波动的时段在时间域上主要位于0-100（1月至4月上旬）和275-365（10月至12月），也就是在冷空气频繁活动的季节内，在频率域上的0-0.5和0.9-1.0，其中明显的多个值大中心位于该时频域上。在时间域上100-275（4月上旬至9月）的高温炎热季节内和频率域上的0.5-0.9区间内 $\Delta\theta_{se}$ 夜值变化相对较为平缓，值小，只存在值较小的弱中心。

采用SYM8小波对2020 年湛江市夜间 $\Delta\theta_{se}$ 夜进行五层分解，可分别获取近似系数A和细节系数D。从图6-13 (c) 的SYM8小波五层分解的近似系数A可分析，各层近似系数A的走势较为相近，在冷空气频繁活动的季节内，值较大，变幅大，出现全年最大值；在高温炎热季节内，值小，变化相对较为平缓。第三层、第四层、第五层的近似系数 A_3 、 A_4 和 A_5 ，已经能明显表现了2020 年湛江市夜间 $\Delta\theta_{se}$ 夜的全年趋势变化，但 A_3 、 A_4 中还包含有低频变化信号。第一层和第二层的近似系数 A_1 、 A_2 中包含有高频或较为高频的变化信号。

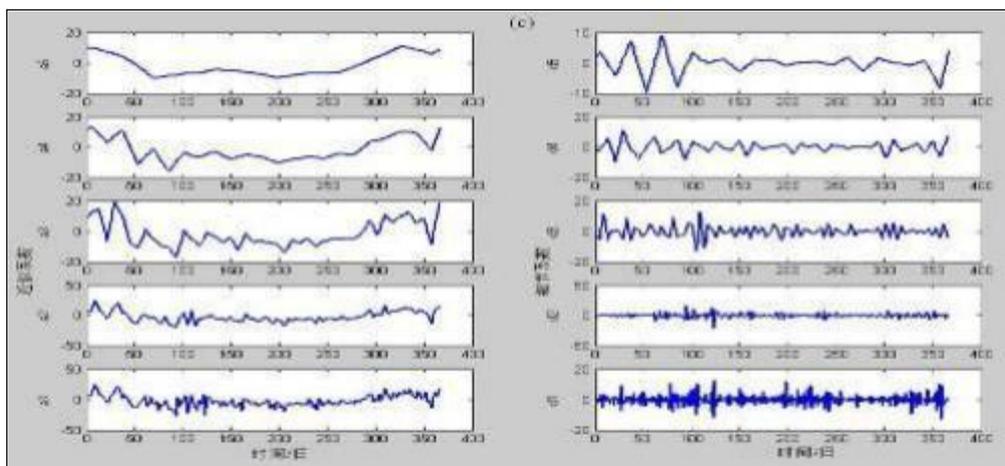
从图6.2-6 (c) 的SYM8小波五层分解的细节系数D可分析，D包含变化信号的频率以低层为最高，逐层降低，第一层、第二层、第三层的细节系数 D_1 、 D_2 和 D_3 中包含有高频或较为高频的变化信号，第四层、第五层的细节系数 D_4 和 D_5 中包含的变化信号频率已经很低。 D_4 、 D_5 在全年中的变化较为相近，在冷空气频繁活动的季节，波动大，振辐大，出现全年最大振辐；在高温炎热季节，振辐小，变化较为平缓。 D_1 、 D_2 、 D_3 在全年各季中均出现高频或较为高频波动信号，但还是在冷空气频繁活动的季节

波动较为明显，振幅较大。

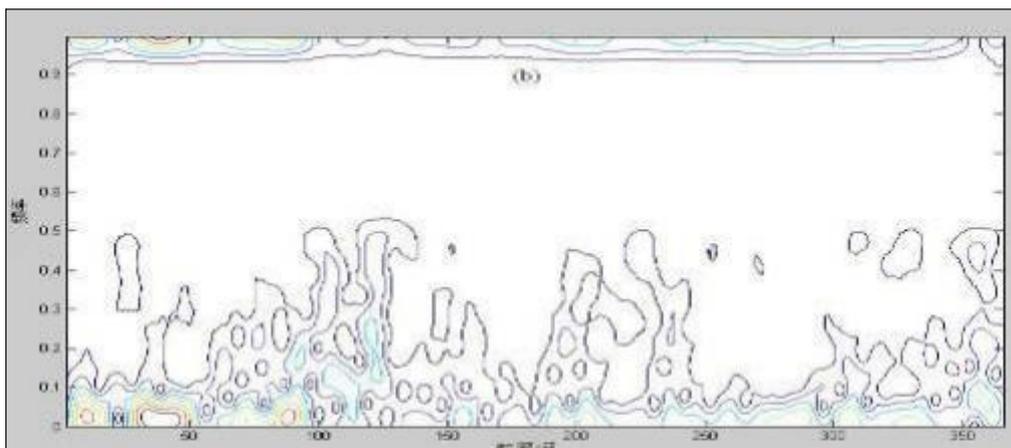
经统计，2020年在冷空气频繁活动季节的时间域上， $\Delta\theta_{sc夜}$ 值为明显峰值时，对应短时傅立叶变换时频图上的明显多个值大中心，同时在小波分解细节系数D中有明显对应波峰，此时湛江天气一般为受冷空气影响后，被冷高压脊控制，地面低温低湿，气压较高，为偏北气流； $\Delta\theta_{sc夜}$ 为明显谷值时，对应短时傅立叶变换时频图上的明显负中心，同时在小波分解细节系数D中有明显对应的波谷，此时湛江天气一般处在冷空气影响的锋前，地面高温高湿，气压较低，为偏东南或偏东，甚至偏南气流。说明在湛江市，冷空气活动是影响夜间 $\Delta\theta_{sc夜}$ 的值、振幅和波动频率的主要因素之一。



(a) 年变化曲线



(b) 短时傅立叶变换(11点hamming窗)



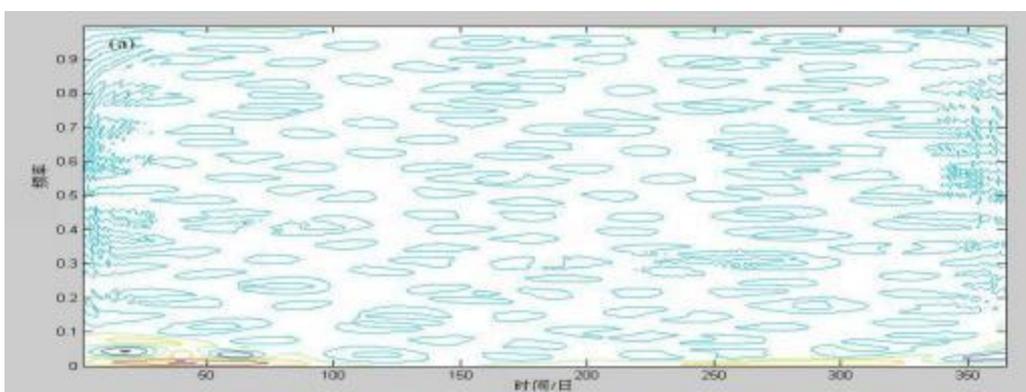
(c) SYM8小波五层分解的近似系数A和细节系数D

图6.2-6 2020年湛江市夜间 $\Delta\theta_{se夜}$ 线性时频分析图

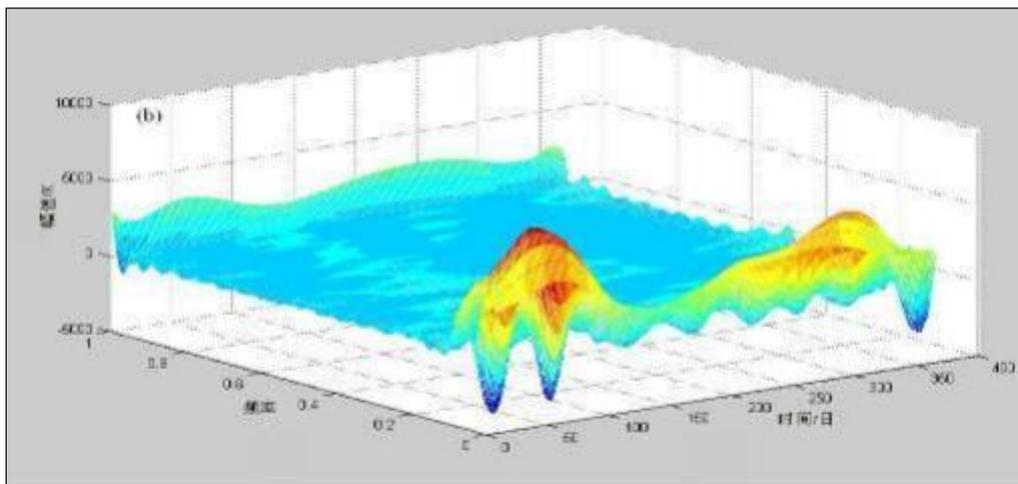
湛江市夜间 $\Delta\theta_{se夜}$ 二次型时频分析

为有效抑制交叉项的干扰,湛江市夜间 $\Delta\theta_{se夜}$ 二次型时频分析使用加核函数后Wigner-Ville分布的平滑伪Wigner-Ville分布进行分析。

从图6.2-7 湛江市夜间 $\Delta\theta_{se夜}$ 2020年的平滑伪Wigner-Ville分布分析,在等高线图和三维图上可看出:辐值变化明显的峰和谷主要位于时间域上的0-100(1月至4月上旬)和240-365(9~12月),也就是主要在冷空气频繁活动的季节内,频率域上的0-0.1。湛江市高温炎热季节(4月中旬至9月)和频率域上的0.1-1.0区间辐值变化较为平缓,波动很小,幅值小。



(a)等高线图



(b)三维图

图6.2-7 2020年湛江市夜间 $\Delta\theta_{se}$ 平滑伪Wigner-Ville分布(单位:K)

6.2.7 湛江市雷暴个例特征分析

表6.2-6 给出湛江、徐闻、雷州、遂溪、吴川、廉江气象观测站的2020年雷暴日数和开雷、收雷日期。数据表明，湛江市各站年雷暴日数在54~90天之间，平均为75天，2020年除廉江站雷暴日数和历年平均值相等外，其他各站均明显少于历年平均值；遂溪、吴川、廉江开雷为2月下旬，徐闻、雷州、湛江开雷为4月，除吴川收雷为9月下旬外，其他各地收雷均为10月，收雷略迟于历年平均值。

表6.2-7 给出6个气象站的雷暴日数及其平均的雷暴日数月分布。数据表明，春末至秋初雷暴最多，峰值在7月或8月，5~9月为雷暴多发期，雷暴日数占全年的91.1%，2020年1月、11、12月没有雷暴；湛江市雷暴出现时间北早南迟，雷暴日数最多的月份达22天，8月发生在徐闻。

表6.2-6 2020年湛江市各站雷暴天气年资料

站名	年雷暴日数/天	开雷时间/月.日	收雷时间/月.日
徐闻	73	4.25	10.11
雷州	77	4.3	10.9
湛江	72	4.25	10.9

遂溪	81	2.22	10.12
吴川	54	2.22	9.26
廉江	90	2.22	10.12

表6.2-7 2020年湛江市各站雷暴天气月雷暴日/天

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
徐闻	0	0	0	2	8	13	12	22	13	3	0	0
雷州	0	0	0	2	11	16	13	21	12	2	0	0
湛江	0	0	0	1	11	15	15	16	11	3	0	0
遂溪	0	1	0	5	12	17	20	16	9	1	0	0
吴川	0	1	0	6	10	10	4	16	7	0	0	0
廉江	0	1	2	5	13	16	18	20	13	2	0	0
平均	0	0.5	0.3	3.5	10.8	14.5	13.7	18.5	10.8	1.8	0	0

(1) 2020年6~8月湛江市闪电特征

表6.2-8给出2020年6~8月湛江市闪电统计资料。数据表明，6~8月湛江市闪电时数和总闪数都很多，其中8月闪电时数达446小时，总闪数为2002次，三个月均以负闪电为主，6月正闪电只占总闪电的16.97%；闪电的幅值均值、正闪幅值均值和负闪幅值均值的绝对值也较大。

表6.2-8 2020年6~8月湛江市闪电统计资料

月	闪电/小时	正闪/个	负闪/个	总闪/个	正闪比/%	幅值均值/Ka	正闪幅值均值/Ka	负闪幅值均值/Ka
6	206	136	665	801	16.97	39.53611	25.19448	-42.46913
7	311	253	641	894	28.29	29.97153	29.52735	-30.14684
8	440	658	1446	2104	31.27	37.6424	31.33382	-40.5131

从图6.2-8 湛江市雷击频度月统计图可分析，2020年6~8月，发生的回击数很频繁，其中6月下旬、7月下旬和8月中旬前期的回击数最为频繁，8月10日日雷电23小时，总闪电数为236个，8月14日日雷电24小时，总闪电数为262个。

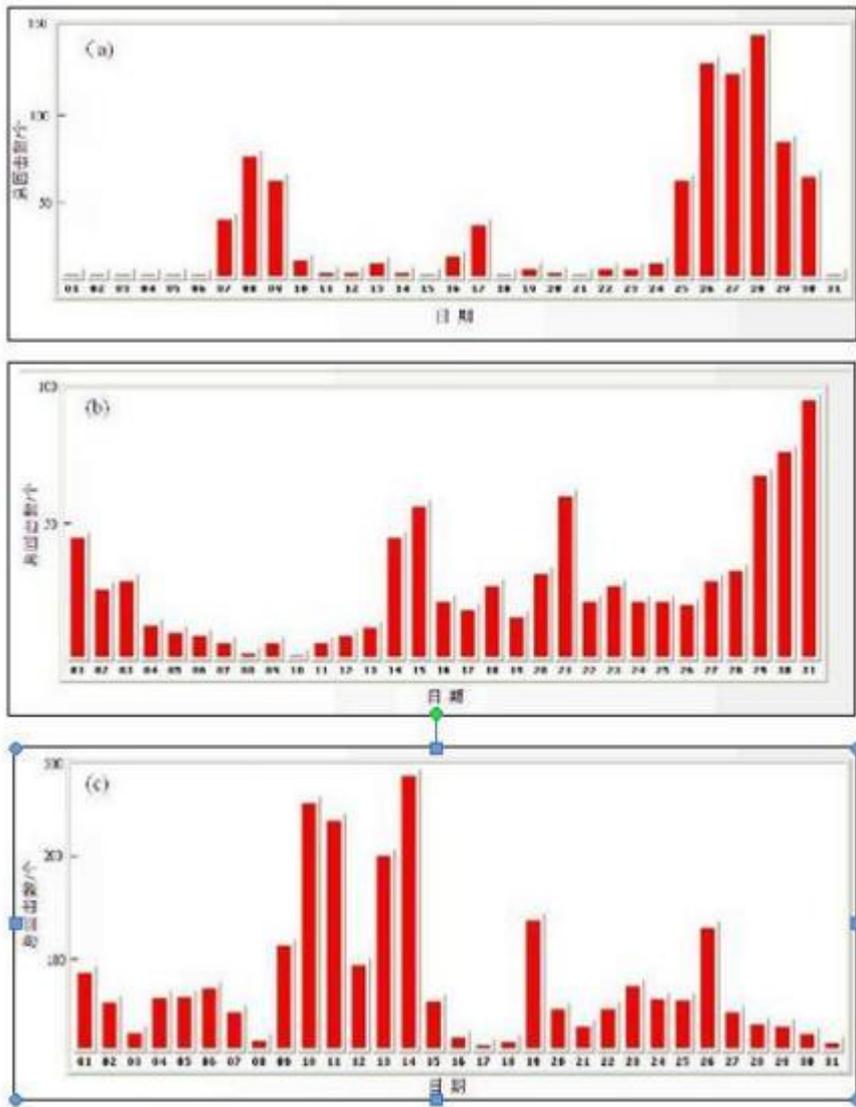


图6.2-8 湛江市雷击频度月统计图：
 (a) 2020年6月； (b) 2020年7月； (c) 2020年8月

从图6.2-9 湛江市雷击幅值分布图可分析，2020年6~8月，发生雷击雷电流幅值主要分布在10~100kA间，大于100kA的雷击很少，其中6月、7月雷电流幅值在15~20kA间雷击最多，8月雷电流幅值在25~30kA雷击最多。

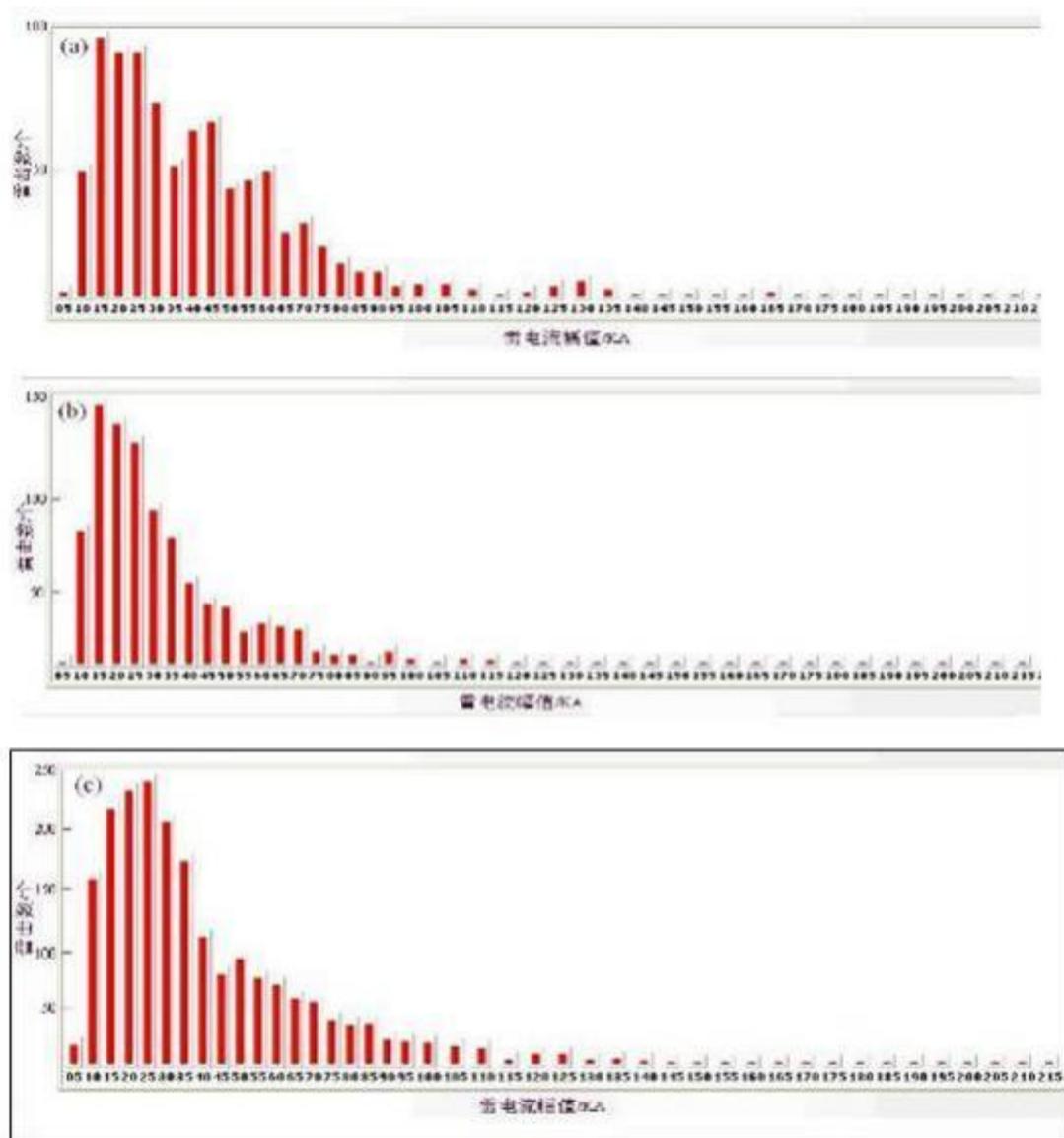


图6.2-9 湛江市雷击幅值分布图
(a) 2020年6月； (b) 2020年7月； (c) 2020年8月

从图6.2-10 湛江市2020年雷击累积概率分布图可分析，随着累积概率的增大，雷击雷电流幅值是减少的。

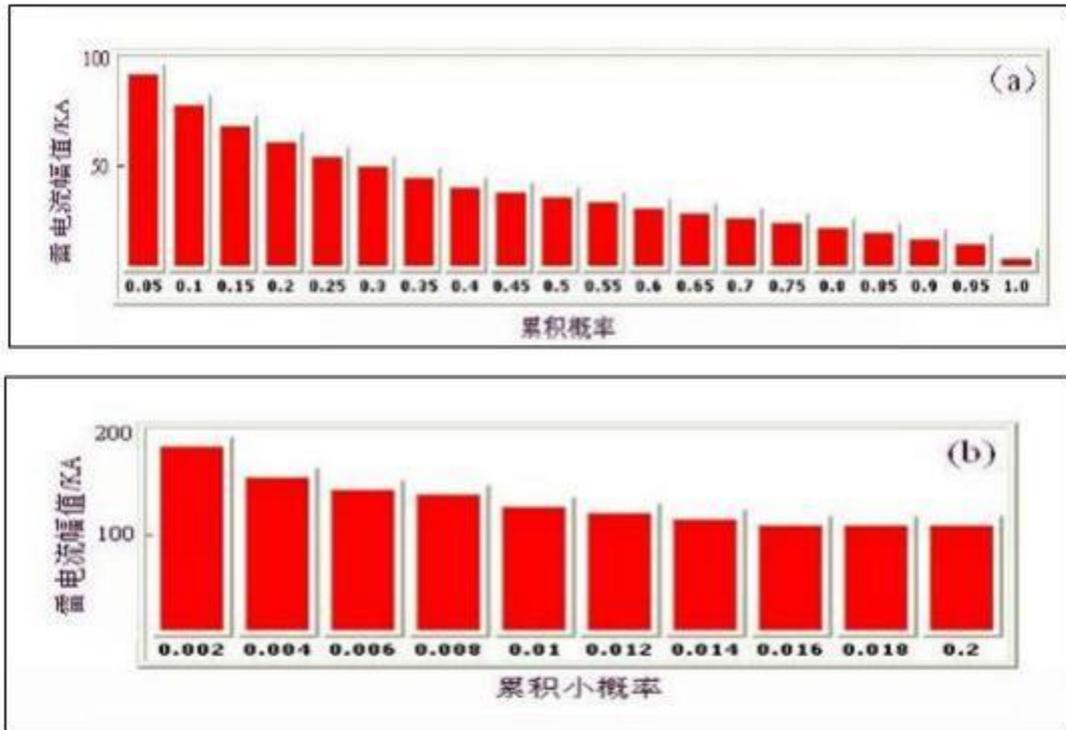


图6.2-10 2020年湛江市雷击累积概率分布图：
(a)累积概率；(b)累积小概率

分析图6.2-11 湛江市2020年雷击波前陡度分布图，湛江市雷击波前陡度在2-11°间雷击数最多，每度均超过200个雷击，其中雷击数最多的为5°，雷击数达438个，雷击波前陡度在32°以上，雷击数就很少了。

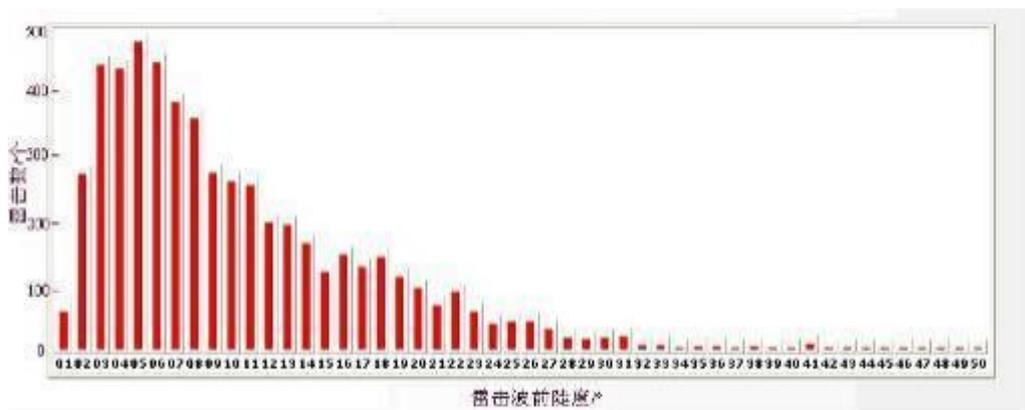


图6.2-11 2020年湛江市雷击波前陡度分布图

(2) 湛江市夜间SI_夜与雷雨天气关系分析

经统计，2020年湛江市6个气象观测站观测到雷暴天气共121天，其中118天雷暴与降水相伴，为雷雨天气，2天只观测到雷暴，没有降雨。在121天雷暴天气中，平均SI_夜为-3.3，最大SI_夜为13.0，最小SI_夜为-8.2，负SI_夜为118天，占总雷暴天气天数92.2%；平均SI_{3夜}为-4.8，最大SI_{3夜}为-0.2，最小SI_{3夜}为-8.2，负SI_{3夜}为121天，为100%。

从2020年湛江市雷暴天气的夜间SI分析表（表6.2-9）可看出，2020年湛江市6个气象观测站都观测到雷暴天气为23天，23天均出现降水，平均SI_夜为-3.3，22天SI_夜为负值，一天为正值(5月20日)，平均SI_{3夜}为-4.8，23天SI_{3夜}均为负值；五站观测到雷暴天气为21天，21天均出现降水，平均SI_夜为-4.4，21天SI_夜均为负值，平均SI_{3夜}为-5.1，21天SI_{3夜}均为负值；四站观测到雷暴天气为17天，17天均出现降水，平均SI_夜为-3.0，16天SI_夜为负值，一天为正值(4月3日)，平均SI_{3夜}为-5.4，17天SI_{3夜}均为负值；三站观测到雷暴天气为24天，24天均出现降水，平均SI_夜为-3.8，23天SI_夜为负值，一天为正值(2月22日)，平均SI_{3夜}为-4.9，24天SI_{3夜}均为负值；二站观测到雷暴天气为21天，20天出现降水，一天无降水(7月27日)，平均SI_夜为-3.4，20天SI_夜为负值，一天为正值(6月15日)，平均SI_{3夜}为-4.6，21天SI_{3夜}均为负值；一站观测到雷暴天气为22天，19天出现降水，三天无降水(6月21日、9月8日、10月7日)，平均SI_夜为-1.7，16天SI_夜为负值，6天为正值(10月11日、3月19日、5月10日、3月18日、4月22日、4月18日)，平均SI_{3夜}为-4.1，22天SI_{3夜}均为负值。

表6.2-9 2020年湛江市雷暴天气的夜间SI分析表

项目	6站	5站	4站	3站	2站	1站	无雷暴
天数/天	23	21	17	24	21	22	237
降水天数/天	23	21	17	24	20	19	120
平均SI _夜 /K	-3.3	-4.4	-3.0	-3.8	-3.4	-1.7	6.5
最大SI _夜 /K	1.5	-2.3	10.5	0.3	0.6	13	29.8

项目	6站	5站	4站	3站	2站	1站	无雷暴
最小SI _夜 /K	-8.2	-7.5	-6.7	-6.7	-8.0	-6.1	-7.9
负SI _夜 天数/天	22	21	16	23	20	16	64
平均SI _{3夜} /K	-4.8	-5.1	-5.4	-4.9	-4.6	-4.1	4.0
最大SI _{3夜} /K	-1.5	-2.3	-3.0	-1.3	-2.6	-0.2	25.5
最小SI _{3夜} /K	-8.2	-7.5	-8.2	-8.2	-8.0	-8.0	-7.9
负SI _{3夜} 天数/天	23	21	17	24	21	22	86

2020年湛江市无雷暴天气为237天，其中120天为一般降雨天气，平均SI_夜为6.5，64天SI_夜为负值，最小SI_夜为-7.9，最大SI_夜为29.8，平均SI_{3夜}为4.0，86天SI_{3夜}为负值，最小SI_{3夜}为-7.9，最大SI_{3夜}为25.5。

从上述分析可得，当湛江市出现雷暴天气时，大多数的SI_夜为负值，全部的SI_{3夜}为负值，二站及以上观测到雷暴天气时，平均SI_夜在-3.0及以下，平均SI_{3夜}在-4.5以下。但在无雷暴天气时，也有不少天数的SI_夜和SI_{3夜}为负数，甚至小达-7.9。说明由于SI为大气层结稳定度参数，为负值时代表大气层结不稳定，当发生雷暴天气时，必须当天或前三天的夜间SI_夜为负值，大气不稳定是雷暴天气的必要条件；但在大气层结不稳定条件下，不具备触发条件或层结变性过快，也不一定不会产生雷暴天气，因而有时在SI_夜很小时，也没有雷暴天气发生。

6.3 雷电特性参数

雷电放电涉及气象、地形、地质等许多自然因素，具有很大的随机性，因而表征雷电特性的各种参数也就带有统计的性质。雷电特性参数包括雷暴日、地面落雷密度、雷电流强度、雷电流波形以及雷电极性等，可以用来描述雷云放电的特征，更是进行雷电防护设计的重要依据。以下统计分析结果根据湛江市国家基准气候站2010~2020年的雷暴观测资料和广东省雷电监测网2010~2020的10年闪电观测数据得出，以项目工程地理位置的中心为中心坐标，取其中心坐标半径3km的圆周范围作为研究区域。

6.3.1 年平均雷暴日

雷暴日——在指定区域内一年四季所发生雷电放电的天数，用 T_d 表示，一天内只要观测到一次或一次以上的雷声就算是一个雷暴日。不同年份雷暴日数也是不同的，可能变化较大，所以要采用多年的平均值——年平均雷暴日。相对的雷暴日多的地区，其遭受雷击的可能性也较大。 T_d 不足15天的为少雷区；15~40天的为中等雷电活动地区； T_d 为40~90天的为多雷区； T_d 超过90天的为雷电活动特殊强烈地区。我国各地雷电活动的情况与所处的纬度及距离海洋的远近有关。大致分为四个区域：

第一区，北纬36度以北、东经105度以西的西北地区，年平均雷暴日一般在15天以下；

第二区，长江以北、东经105度以东的地区，年平均雷暴日在15-50天之间；

第三区，长江以南、东经105度以东地区，年平均雷暴日约为40-50天；

第四区，北纬36度以南、东经105度以西地区，年平均雷暴日一般在50-80天，其中海南、广东、广西、云南和贵州等地区均超过90天，雷州半岛和海南岛最高，为100-150天。

湛江市各地雷暴天气年际变化曲线波动大，年间差异显著。多雷暴年份主要出现在20世纪60年代末和70年代前中期，少雷暴年份出现在90年到现在。60年代初到70年代中期，年雷暴日数略有上升，从70年代中期到现在，总的年雷暴日数明显减少。

根据《建筑物防雷设计规范》（GB50057-2010），本报告雷暴日 T_d 取值为78.9（d/a）。

6.3.2 雷电流极性

当雷云放电为负电荷时，雷电流极性为负；反之，雷电流极性为正。湛江市及其附近海面产生强对流（雷暴）天气的天气系统的来向为以NW-NNW、W-SW方向最多，其次是NE-E、SE方向。各月强对流雷暴天气系统的来向又有所不同，3~6月多以W~NNW方向为主，而7~9月则以SE~SW和NE-E方向为主。

地闪主要活动期为4~9月份，其中5、6、7、8月份为地闪高发期，90%以上的地闪都发生在这四个月份；地闪日均活动，凌晨3时到午后13时与午后17时到午夜23时较为频繁，是地闪的高发时段，75%以上的地闪发生在这个时段。

广东省雷电信息监测网10年（2010~2020）雷电监测资料表明，湛江市地闪电流96%为负极性，故本文主要考虑负极性雷电的影响。

6.3.3 雷电流波形

雷电流的波形大致呈现出单极性的脉冲形状，而且各种雷电流的组合波形均可分解为三种电流分量，即首次短脉冲电流分量、后续短脉冲电流分量和长时间脉冲电流分量，IEC62305-4中较为系统地推算了这三种雷电流分量的波形参数，并建议将这些参数应用于直接雷击防护和雷电电磁脉冲防护设计。本文雷击分析，直接雷击采用10/350(μs)波形，后续雷击采用0.25/100(μs)波形。

表6.3-1 IEC61312 推荐采用的雷电流波形参数

短时首次雷击的雷电流参数	防雷保护类别（防雷建筑物类别）		
	I（一类）	II（二类）	III-IV（三类）
I 幅值（kA）	200	150	100
T_l 波头时间（ μs ）	10	10	10
T_2 半值时间（ μs ）	350	350	350
Q_s 电荷量（C）	100	75	50
W/R 单位能量（MJ/ Ω ）	10	5.6	2.5

首次以后雷击的雷电流参数	防雷保护类别（防雷建筑物类别）		
	I（一类）	II（二类）	III-IV（三类）
I 幅值（kA）	50	37.5	25
T_l 波头时间（ μs ）	0.25	0.25	0.25
T_2 半值时间（ μs ）	100	100	100
I/T_l 平均陡度（kA/ μs ）	200	150	100

长时间雷击的雷电流参数	防雷保护类别（防雷建筑物类别）		
	I（一类）	II（二类）	III-IV（三类）
Q_s 电荷量（C）	200	150	100
T 时间（s）	0.5	0.5	0.5

6.3.4 年平均地闪密度

地闪密度——每平方公里年平均落雷次数，是表征雷云对地放电的频繁程度的量，是估算建筑物年预计雷击次数时重要的参数。

年平均雷暴日数越大，对地雷击密度也越大。雷电活动的强弱程度与落雷密度是两个不同的概念。在同一地区，雷电活动也有所不同，有些地方受到局部气象条件的影响，雷电活动可能比邻近地区强的多。雷电活动与地质条件和地形、地物有以下关系：

电阻率小的土壤，导电性好，易积聚大量电荷，为雷电流提供低阻抗

通道，坐落于这些地区的建（构）筑物易遭受雷击；

地下埋有金属导电矿床处，金属管线较密集的地方易落雷；

地下水位高、矿区、小河沟、地下水出口处、山坡与水面或水田接壤地区易受雷击；

土壤中电阻率有突变的地点如岩石和土壤的交界处、岩石断层处、较大的岩体裂缝、露出地面的岩层、海边、河边、湖边，以及埋藏的管道的地面出口处等易受雷击；

高耸突出的建筑物，如水塔、高耸的广告牌等发生雷击的概率最大；

对靠山和临水的地区，临水一面的低洼潮湿地和山口、风口、顺风的河谷的特殊地形构成的雷暴走廊的地方易受雷击；

排出导电尘埃、废气热气柱的厂房、管道等易受雷击；

孤立、突出在旷野的建筑物以及自然界中的树木易受雷击；

山顶、山脊、山坡迎风面等地区易受雷击。

统计广东省雷电监测网2010~2020年的10年闪电观测数据得出，项目工程中心坐标半径3km范围10年平均地闪密度为15.18次/（km²·a）。

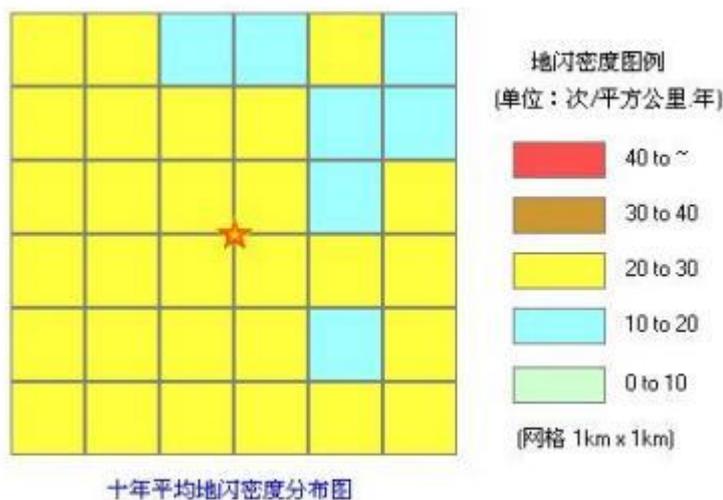


图6.3-1 项目地平均地闪密度分布图（每个网格1.75km×1.75km）

第七章 风险估算

本章首先给出风险管理中的几个概念，然后根据现场勘查采集数据，运用科学的原理和方法，对该项目工程可能遭受雷击的主要风险分量进行估算，并根据估算结果有针对性的提出相应的雷电防护措施来控制风险。

7.1 基本概念

7.1.1 损害成因

雷电流是造成损害的主要原因。按雷击点的位置（图7.1-1）分为以下几种成因：

- S₁: 雷击建筑物；
- S₂: 雷击建筑物附近；
- S₃: 雷击服务设施；
- S₄: 雷击服务设施附近。



图7.1-1 雷击损害形式

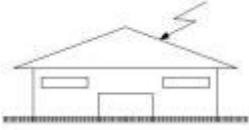
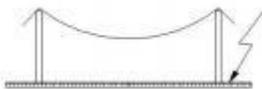
7.1.2 损害类型

雷击可能造成损害，取决于需保护对象的特性。其中最主要的特性有：建筑物的结构类型、内部物品、用途、服务设施类型以及所采取的保护措施。

在风险评估中，将雷击引起的基本损害类型划分为以下三种（表7.1-1）：

- D₁：人身伤害；
- D₂：物理损害（主要指建筑物本身损坏）；
- D₃：室内电气和电子系统损坏。

表7.1-1 雷击点、损害成因、各种可能的损害类型及损失对照一览表

雷击点	损害成因	建筑物	
		损害类型	损失类型
	S ₁	D ₁ D ₂ D ₃	L ₁ , L ₄ L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄ L ₁ ⁽¹⁾ , L ₂ , L ₄
	S ₂	D ₃	L ₁ ⁽¹⁾ , L ₂ , L ₄
	S ₃	D ₁ D ₂ D ₃	L ₁ , L ₄ L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄ L ₁ ⁽¹⁾ , L ₂ , L ₄
	S ₄	D ₃	L ₁ ⁽¹⁾ , L ₂ , L ₄

(1) 指具有爆炸危险的建筑物或因内部系统故障马上会危及人命的医院或其它建筑物。

7.1.3 损失类型

每类损害，无论单独出现或与其他损害共同作用，会在被保护对象中产生不同的损失。可能出现的损失类型取决于需保护对象本身的特性及其内存物。应考虑以下几种类型的损失：

- L₁: 人身伤亡损失；
- L₂: 公众服务损失；
- L₃: 文化遗产损失；
- L₄: 经济损失(建筑物及其内存物、服务设施以及业务活动中断的损失)。

7.1.4 风险分量

风险，是指因雷电造成的年平均可能损失（人和物）与需保护对象（人和物）的总价值之比。对建筑物中可能出现的各类损失，应计算其对应的风险。

建筑物中需估算的风险有：

- R₁: 人身伤亡损失风险；
- R₂: 公众服务损失风险；
- R₃: 文化遗产损失风险；
- R₄: 经济损失风险。

雷击次数，是指特定的雷灾对象在一定时期内可能受到雷电袭击的次数，单位：次·年⁻¹，或a⁻¹。对于建筑物而言，雷击次数N取决于建筑物尺寸、建筑物特征、建筑物引入设施、建筑物所处的环境特征和建筑物所在地区的雷电的地闪密度。一般的，雷击次数N的数值取决于雷灾对象所处地区的雷电频率F和雷灾对象的雷击面积A，计算公式：N=F×A。

在计算各种损失风险时，可按损害成因或损害类型确定并计算构成风险的各个风险分量（本报告是按损害成因确定的各风险分量），各雷击风险分量用以下表达式表示：

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (7-1)$$

式中：

N_X — 年预计雷击次数，受大地雷击密度及保护对象的物理特性、其周围物体以及土壤性质影响；

P_X — 建筑物的损害概率，受需保护对象的特性及所采取的保护措施影响；

L_X — 每一损害产生的损失率，受对象的用途、现场人数、公共服务类型、受损商品的价值以及减少损失措施影响。

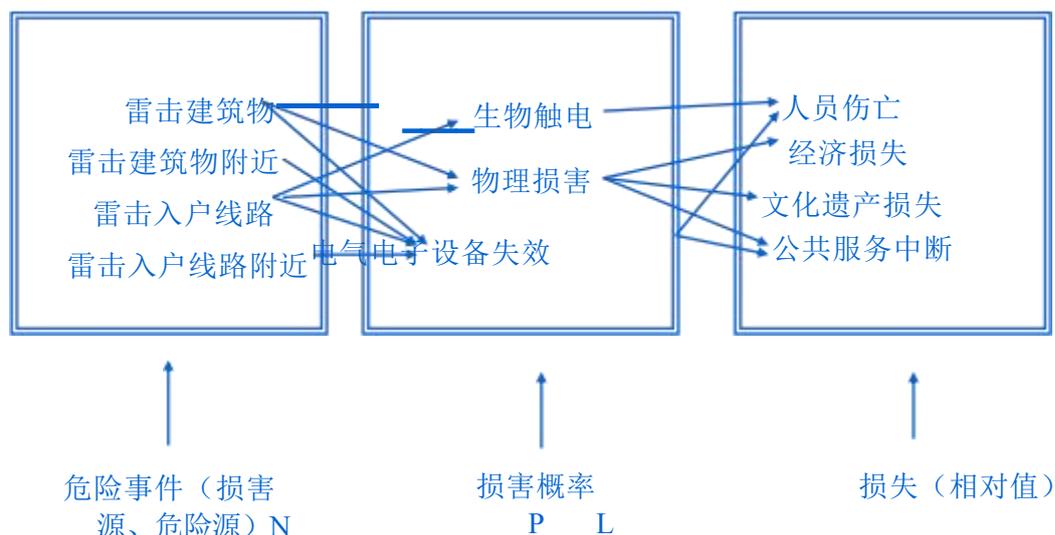


图7.1-2 雷击损害风险基本计算框架

(1) 直接雷击建筑物（损害成因 S_1 ）引起的建筑物风险分量直接雷击建筑物引起 D_1 、 D_2 、 D_3 三种损害类型，其中：

R_A ：在建筑物外距离建筑物3m范围内，因接触和跨步电压造成人畜伤害（ D_1 ）的风险分量。可能产生 L_1 类的损失。对建筑物可能出现 L_4 类的损失。

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (7-2)$$

R_B: 建筑物内因危险火花放电触发火灾或爆炸引起物理损害 (D₂) 的风险分量, 此类损害可能危害环境。可产生所有类型的损失 (L₁、L₂、L₃、L₄)。

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (7-3)$$

R_C: 因雷击电磁脉冲 (LEMP) 造成内部系统故障 (D₃) 的风险分量。总会产生L₂和L₄类的损失, 在具有爆炸危险的建筑物以及内部系统的故障马上会危及建筑物中还可能出现L₁类的损失。

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (7-4)$$

(2) 雷击建筑物附近 (损害成因S₂) 引起的建筑物风险分量

R_M: 雷击建筑物附近产生损害类型D₃, 因LEMP引起内部系统故障的风险分量。总会产生L₂和L₄类的损失, 在具有爆炸危险的建筑物以及内部系统的故障马上会危及建筑物中还可能出现L₁类的损失。

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (7-5)$$

(3) 雷击相连服务设施 (损害成因S₃) 引起的建筑物风险分量

R_U: 雷电流沿入户线路侵入建筑物内因接触电压造成伤害 (D₁) 的风险分量。可能会出现L₁类的损失。

$$R_U = (N_L + N_{Da}) \times P_U \times L_U \quad (7-6)$$

R_V: 因雷电流沿入户设施侵入建筑物, 在入口处入户设施与其它金属部件产生危险火花放电而引发火灾或爆炸造成物理损害 (D₂) 的风险分量。可产生所有类型的损失 (L₁、L₂、L₃、L₄)。

$$R_V = (N_L + N_{Da}) \times P_V \times L_V \quad (7-7)$$

R_W : 因入户线路上产生的并传入建筑物内的过电压引起内部系统故障 (D_3) 的风险分量。总会产生 L_2 和 L_4 类的损失, 在具有爆炸危险的建筑物以及内部系统的故障马上会危及建筑物中还可能出现 L_1 类的损失。

$$R_W = (N_L + N_{Da}) \times P_W \times L_W \quad (7-8)$$

(4) 雷击相连服务设施附近 (损害成因 S_4) 引起的建筑物风险分量

R_Z : 因入户线路上感应出的并传入建筑物内的过电压引起内部系统故障 (D_3) 的风险分量。总会产生 L_2 和 L_4 类的损失, 在具有爆炸危险的建筑物以及内部系统的故障马上会危及建筑物中还可能出现 L_1 类的损失。

$$R_Z = (N_I - N_L) \times P_Z \times L_Z \quad (7-9)$$

其中, 若 $(N_I - N_L) < 0$, 则取 $(N_I - N_L) = 0$

7.2 评估项目风险分量选择

该项目工程服务设施主要是入户电力线路、通信线路以及水管、煤气管道, 造成损害的 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 四种成因, 雷击引起的 D_1 、 D_2 、 D_3 三种损害类型需要全部考虑。

损失类型主要考虑: L_1 (人身伤亡) 和 L_4 (建筑物经济损失, 仅指设备损坏本身价值, 不包括设备损坏引起业务活动中断造成的损失)。

风险风量考虑 R_A 、 R_B 、 R_U 、 R_V 、 R_B 、 R_C 、 R_M 、 R_V 、 R_W 、 R_Z 。

表7.2-1 建筑物按损害成因确定的各类损失风险需考虑的各种风险分量

各类损失风险	风险分量							
	雷击建筑物（ 损害成因S1）			雷击建筑物附近 （损害成因S2）	雷击入户线路 （损害成因S3）			雷击入户线路附近 （损害成因S4）
R_1	R_A	R_B	$R_C^{(1)}$	$R_M^{(1)}$	R_U	R_V	$R_W^{(1)}$	$R_Z^{(1)}$
R_2	—	R_B	R_C	R_M	—	R_V	R_W	R_Z
R_3	—	R_B	—	—	—	R_V	—	—
R_4	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z

(1) 指具有爆炸危险的建筑物或因内部系统故障马上会危及人命的医院或其它建筑物。

建筑物（包括与之相连的服务设施）及可能采取的防雷保护措施的特性（表7.2-3~7.2-5）会影响建筑物各风险分量，以下表格是建筑物及相连服务设施的特性及相关分析取值。

表7.2-3 建筑物特性及相关数据

参数	说明	符号	数值
位置因子	周围有相同高度或更矮的建筑物	C_d	0.5
建筑物屏蔽	利用建筑物的自然部件	K_{S1}	1
建筑物内部屏蔽	无	K_{S2}	1
雷击密度	次/km ² ·a	N_g	4.15

表7.2-4 内部电气系统以及相连供电线路的特性

参数	说明	符号	数值
土壤电阻率/ $\Omega\cdot m$	——	ρ	120.0 Ω m
长度/ m	——	L_c	1000
高度/ m	埋地	——	——
HV/LV 变压器	在设施的入户处	C_t	0.2
线路位置因子	周围有相同高度或更矮的建筑物	C_d	0.5
线路环境因子	郊区	C_e	0.1
内部的合理布线	非屏蔽电缆——布线时避免构成大的环路	K_{S3}	0.2
设备耐受电压	$U_w=2.5kV$	$K_{S4}=1.5/U_w$	0.6

表7.2-5 内部通信系统以及相连接通信线路的特性

参数	说明	符号	数值
土壤电阻率/ $\Omega\cdot m$	——	ρ	120.0 Ω m
长度/ m	未知	L_c	1000m
高度/ m	埋地	——	——
线路位置因子	周围有相同高度或更矮的建筑物	C_d	0.5
线路环境因子	县郊	C_e	0.1
内部的合理布线	非屏蔽电缆——布线时避免构成环路	K_{S3}	0.02
设备耐受电压	$U_w=1.5kV$	$K_{S4}=1.5/U_w$	1

7.3 评估项目分区及各区特性

考虑到不同区域有不同的雷击风险分量因子，评估对象应合理分区。

分区主要由下列条件进行定义：

- 土壤或地面类型（风险组成 R_A 和 R_U ）；
- 防火仓室（风险组成 R_B 和 R_V ）；
- 空间屏蔽（风险组成 R_C ， R_M ， R_W 和 R_Z ）。

进一步的分区可根据下列条件确定：

- 内部系统的布局；
- 现有的或即将应用的防护措施；
- 损失数值L。

在评估对象分区过程中，应考虑最适合的防护措施的可行性。如若在一个区中一个参数的值不止一个，那么应选取导致最大风险的那个值。

一般将建设项目的建筑物根据建筑物内外地表类型区别，防火分区及自动报警装置的不同以及有无空间屏蔽和人员密集程度，分Z₁区（户外）和Z₂区（户内）2个区域进行风险估算。

(1) Z₁区（户外）

表7.3-1 Z₁区特性

参数	说明	符号	数值
地表类型	混凝土	r_a	10^{-2}
电击防护	——	P_A	0
接触电压和跨步电压造成的损失	人员处于建筑物内	L_t	10^{-4}

注： r_a 为由土壤类型决定的减少人身伤亡损失的因子；

P_A 忽略不计，因建筑物物采用柱内主筋做引下线，引下线外覆盖混凝土；

L_t 指人员接触电压和跨步电压导致伤害的损失率。

(2) Z₂区（户内）

表7.3-2 Z₂区特性

参数	说明	符号数值
地板类型	大理石或陶瓷	r_u 10^{-3}
火灾危险低	r_f	10^{-3}
特殊危险（与R ₁ 相关）	无	h_z 1
特殊危险（与R ₄ 相关）	无	h_z 1
防火措施	火灾自动报警系统	r_p 0.2

空间屏蔽	无	K_{S2}	1
内部电源	连接到电力线路	—	—
内部电信系统	连接到通信线路	—	—
接触电压和跨步电压造成的损失率（与 R_1 相关）	人员处于建筑物内	L_t	10^4
物理损害造成的损失率（与 R_1 相关）	建筑物类型：民居建筑	L_{1f}	10^1
内部系统故障造成的损失率（与 R_1 相关）	无	L_{1o}	—
物理损害造成的损失率（与 R_4 相关）	建筑物类型：建（构）筑	L_{4f}	0.1
内部系统故障造成的损失率（与 R_4 相关）	建筑物类型：建（构）筑	L_{4o}	10^2

注： r_f —由火灾危险程度决定的减少物理损害导致人身伤亡损失的因子；

h_z —有特殊危险时，物理损害导致的人身伤亡损失的增加因子；

r_p —缩减因子，与建筑物火灾危险程度有关

L_f —物理损害导致的损失率；

L_o —内部系统故障导致的损失率。

7.4 评估项目风险因子估算

7.4.1 年预计雷击次数估算

影响本项目的年平均危险事件次数 N_X 取决于项目所处区域的雷暴活动及其物理特性。

N_X 的计算方法是：将雷击大地密度 N_g 乘以项目的等效截收面积，再乘以项目物理特性所对应的修正因子，如下式（7-10）。

$$N_X = N_g \times A_x \times C_X \quad (7-10)$$

（1）建筑物年预计直接雷击次数 N_D 的估算

建筑物年预计直接雷击次数计算公式：

$$N_D = N_g \times A_d \times C_d \times 10^6 \quad (7-11)$$

式中：

N_g —雷击大地密度，是指特定地区在一定时期内雷电对地放电发生的次数，单位：次/（ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ）；

A_d —等效直接雷击面积，是指特定的雷灾对象可能受到雷击的有效接收面积，其数值取决于雷灾对象的特征、大小和相关设施等因素，具体由建筑物雷击面积 A_B 、服务设施雷击面积 A_L 和特殊雷击面积 A_S 等组成，计算公式： $A=A_B+A_L+A_S$ 。单位： km^2 ；

C_d —建筑物的位置因子。

表7.4-1 年预计直接雷击次数

序号	建设项目	地闪密度 N_g	直接雷击等效面 积 A_d	雷击位置因子 C_d	直接雷击次数 N_D
1	南部片区	15.18	0.0261	0.5	0.0892
2	中部片区	15.18	0.0258	0.5	0.0716
3	北部片区	15.18	0.0281	0.5	0.0862

(2) 建筑物年预计附近雷击次数 N_M 估算

建筑物年预计附近雷击次数计算公式：

$$N_M = N_g \times (A_m - A_d \times C_d) \times 10^{-6} \quad (7-12)$$

式中：

N_g —雷击大地密度，单位：次/（ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ）； A_d —等效直接雷击面积，单位： km^2 ；

A_m —等效附近雷击面积，单位： km^2 ； C_d —建筑物的位置因子。

表7.4-2 项目工程年预计附近雷击次数

序号	建设项目	雷击位置因子 C_d	地闪密度 N_g (次/ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$)	建筑物年预计附近雷 击次数 N_M
1	南部片区	0.5	4.15	3.5322
2	中部片区	0.5	4.15	3.3622
3	北部片区	0.5	4.15	3.3278

(3) 入户线路年预计直接雷击次数 N_L 估算

入户线路长度未知，取 $L_c=1000m$ ，项目所在地土壤电阻率为 $120.0\Omega\cdot m$ ，暂不考虑入户服务设施另一端建筑物的等效截收面积。

入户线路的年均直接雷击次计算如下：

$$N_L = N_g \times A_L \times C_d \times C_t \times 10^{-6} \quad (7-13)$$

式中：

N_g —雷击大地密度，单位：次/（ $km^2 \cdot a$ ）；

A_L —入户线路的截收面积，单位： m^2 ；

C_d —入户线路的位置因子；

C_t —入户电源线上接有HV/LV变压器时，雷击高压侧时的修正因子。

1) 入户电源线路

埋地入户，其直接雷击截收面积：

$$A_L(\text{电源}) = [L_c^{-3} (H_a + H_b)] \sqrt{r} = L_c \times \sqrt{r} = 7778.17 \text{ (m}^2\text{)}$$

电源线年预计直接雷击次数：

$$\begin{aligned} N_L(\text{电源}) &= N_g \times A_L \times C_d \times C_t \times 10^{-6} \\ &= 4.15 \times 7778.17 \times 0.5 \times 0.2 \times 10^{-6} = 0.003 \text{ (次/年)} \end{aligned}$$

2) 有线电视线路、电话线路

埋地入户，其直接雷击截收面积：

$$A_L(\text{电视、电话}) = [L_c^{-3} (H_a + H_b)] \sqrt{r} = L_c \times \sqrt{r} = 7778.17 \text{ (m}^2\text{)}$$

年预计直接雷击次数：

$$\begin{aligned} N_L(\text{电视、电话}) &= N_g \times A_L \times C_d \times C_t \times 10^{-6} \\ &= 4.15 \times 7778.17 \times 0.5 \times 1 \times 10^{-6} = 0.016 \text{ (次/年)} \end{aligned}$$

3) 网络进线选用光缆，光缆不传导雷电流，本评估报告不考虑光缆传导雷电流对设备影响。

(4) 入户线路年预计附近雷击次数 N_I 估算

对于单段线路， N_I 计算公式为：

$$N_i = N_g \times A_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6} \quad (7-14)$$

式中：

N_g —雷击大地密度，单位：次/（ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ）；

A_i —雷击入户线路附近大地的截收面积，单位： m^2 ；

C_e —环境因子；

C_t —建筑物的入户电源线上接有HV/LV变压器时，雷击变压器与远线路附近时所采用的修正因子。

对于埋地线路， $A_i = 25 \times L_c \cdot \sqrt{r} = 25 \times 1000 \times 120 \cdot 0.1^{1/2} = 194454.36 \text{ (m}^2\text{)}$

1) 入户电源线路

$$N_i \text{ (电源)} = N_g \times A_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6}$$

$$= 4.15 \times 194454.36 \times 0.1 \times 0.2 \times 10^{-6} = 0.016 \text{ (次/年)}$$

2) 有线电视线路、电话线路

$$N_i \text{ (电视、电话)} = N_g \times A_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6}$$

$$= 4.15 \times 194454.36 \times 0.1 \times 1 \times 10^{-6} = 0.080 \text{ (次/年)}$$

3) 网络进线选用光缆，光缆不传导雷电流，本报告不考虑光缆传导雷电流对设备影响。

表7.4-3 项目工程入户线路年预计平均雷击次数

参数	数值（次/年）
入户电源线路年预计直接雷击次数 $N_{L(电源线)}$	0.003
入户电源线路年预计附近雷击次数 $N_{I(电源线)}$	0.016
入户通信线路年预计直接雷击次数 $N_{L(电视、电话)}$	0.016
入户通信线路年预计附近雷击次数 $N_{I(电视、电话)}$	0.080

7.4.2 损害概率估算

(1) 雷击建筑物导致人身伤害的概率 P_A 估算

雷击建筑物因接触和跨步电压导致人畜遭电击的概率 P_A 取决于若干典

型的防护措施。

利用建筑物的结构柱内钢筋构件作为引下线， P_A 可以忽略不计。

(2) 雷击建筑物导致物理损害的概率 P_B 估算

雷击建筑物导致物理损害的概率 P_B 取决于建筑物的防雷保护级别(LPL)，其对应关系如下表7.4-4。

表7.4-4 P_B 与LPS防雷级别的关系

LPS特性	P_B
未安装LPS防护	1
IV类LPS	0.2
III类LPS	0.1
II类LPS	0.05
I类LPS	0.02

本评估对象按第二类建筑物设防，对应LPS防雷级别为IV类LPS。

(3) 雷击建筑物导致内部系统故障的概率 P_C 估算

雷击建筑物导致内部系统故障的概率 P_C 取决于SPD的匹配保护。

$$P_C = P_{SPD} \tag{7-15}$$

表7.4-5 按LPL选取并安装SPD时的 P_{SPD} 值

LPL	P_{SPD}	P_{C1} (电源)	P_C (通信)
低压配电系统线路未采取匹配的SPD防护	1	1	
低压配电系统线路设置类别III-IV SPD	0.03	0.03	0.03
低压配电系统线路设置类别 II 级SPD	0.02	0.02	
低压配电系统线路设置类别 I 级SPD	0.01	0.01	

本评估对象在低压配电柜、消防配电箱、屋面风机双电源箱等处均加装SPD，所以 $P_C=0.03$ 。

(4) 雷击建筑物附近导致内部系统故障的概率 P_M 估算

雷击建筑物附近引起内部系统故障的概率 P_M 取决于雷电电磁脉冲防护

措施。

未安装符合《雷电防护 第4部分 建筑物内电气和电子系统》（GB/T 21714.4-2015）要求匹配的SPD时， $P_M = P_{MS}$ 。

安装了符合GB/T21714.4-2015要求的匹配SPD时， P_M 取 P_{SPD} 和 P_{MS} 较小者。

本评估对象在低压配电柜、消防配电箱、屋面风机双电源箱和电梯动力箱等处均加装SPD，所以 $r_M = 0.03$ 。

（5）雷击入户线路导致人员伤害的概率 P_U 估算

雷击入户线路因接触电压导致的人员伤害的概率 P_U 取决于入户线路屏蔽层的特性、所连内部系统的冲击耐压、通常所用防护措施（如围栏、警示牌等）以及在入户线路入口处是否安装有SPD保护。

本评估对象屏蔽措施：进入建筑物的金属管道、铠装电缆的金属护层等要求在管井处与接地装置焊接，建筑物内的金属干管，要求在首端和末端就近与接地装置相连。

未设置围栏、警示牌，设备主要为电器设备，冲击电压为2.5kV，所以取 $r_U = 0.2$ 。

（6）雷击入户线路导致物理损害的概率 P_V 估算

雷击入户线路导致物理损害的概率 P_V 取决于入户线路屏蔽层的特性、所连内部系统的冲击耐压以及是否安装有SPD保护。

本评估对象设备主要为电气设备，冲击电压为2.5kV，所以取 $r_V = 0.2$ 。

（7）雷击入户线路导致内部系统故障的概率 P_W 估算

雷击入户线路导致物理损害的概率 P_W 取决于入户线路屏蔽层的特性、所连内部系统的冲击耐压以及是否安装有SPD保护。

本评估对象设备主要为家用电器，冲击电压为2.5kV，所以取 $r_W = 0.2$ 。

（8）雷击入户线路附近导致内部系统损害的概率 P_Z 估算

雷击入户服务设施附近导致内部系统故障的概率 P_Z 取决于入户线路屏

蔽层的特性、所连内部系统的冲击耐压以及是否安装有SPD 保护。

入户线路若未采用屏蔽， $P_Z=P_{LD}=P_{SPD}$

入户线路若采用屏蔽电缆，屏蔽层与设备在同一等电位连接排连接：
 $P_Z=P_{LD}=0.008$

7.4.3 损失率估算

不同的损失类型（ L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 ）有不同的损失率，而对于每一损失率，又依损害类型（ D_1 、 D_2 和 D_3 ）有不同的损失率，因此，四类损失有四组损失率，每组又依损害类型分成三种损失率，三种损失率：

L_t —接触和跨步电压导致伤害的损失率；

L_f —物理损害导致的损失率；

L_o —内部系统故障导致的损失率。

(1) 人身伤亡损失（ L_1 ）的损失率估算

以受害的相对人员数量和时间按下列近似式确定 L_t 、 L_f 和 L_o ：

$$L_X = (n_p \times n_t) \times (t_p/8760) \quad (7-15)$$

式中：

n_p —可能受到危害的人员数量（受害者）；

n_t —预期的总人数（建筑物内）；

t_p —以小时计算的可能受害人员每年处于危险场所的时间，危险场所包括建筑物外（只涉及 L_t ）和建筑物内（ L_t 、 L_f 和 L_o 都涉及）。

当无法或很难确定 n_p 、 n_t 和 t_p 时，表7.4-6给出了 L_t 、 L_f 和 L_o 的典型平均值。

表7.4-6 L_{It} 、 L_{If} 和 L_{Io} 的典型平均值

建筑物的类型	L_t
所有类型：人员处于建筑物内	10^4
所有类型：人员处于建筑物外	10^2
建筑物的类型	L_f
工业建筑	5×10^2
其他	10^2

人身伤亡损失 (L_I) 的各种实际损失率又受建筑物特性的影响, 考虑到这一点, 引入了增长因子 (h_z) 和缩减因子 (r_f 、 r_p 、 r_a 和 r_u)

$$L_A = r_a \times L_t \quad (7-16)$$

$$L_U = r_u \times L_t \quad (7-17)$$

$$L_B = L_V = r_p \times h_z \times r_f \times L_f \quad (7-18)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \quad (7-19)$$

式中:

r_a —由土壤类型决定的减少人身伤亡损失的因子;

r_u —由地板类型决定的减少人身伤亡损失的因子;

r_p —由防火措施决定的减少物理损害导致人身伤亡损失的因子;

r_f —由火灾危险程度决定的减少物理损害导致人身伤亡损失的因子;

h_z —有特殊危险时, 物理损害导致的人身伤亡损失的增加因子。

本评估对象各参数特性及取值如表7.4-7 所示。

表7.4-7 本评估对象影响人身伤亡损失率的参数特性及取值

参数	说明	符号	取值
接触和跨步电压导致伤害的损失率	人员处于建筑物内	L_t	10^4
物理损害导致的损失率	民居建筑	L_f	10^1
内部系统故障导致的损失率	无爆炸危险	L_o	—
由土壤类型决定的减少人身伤亡损失的因子	田地	r_a	10^2
由地板类型决定的减少人身伤亡损失的因子	大理石或陶瓷	r_u	10^3
由防火措施决定的减少物理损害导致人身伤亡损失的因子	自动报警装置	r_p	0.2
火灾危险程度决定的减少物理损害导致伤亡损失的因子	一般	r_f	10^2
有特殊危险时，物理损害导致的人身伤亡损失的增加因子	无特殊危险	h_z	1

将上述取值带入公式，得出本评估项目的人身伤亡损失的实际损失率计算结果如下：

$$L_{1A} = r_a \times L_t = 10^{-2} \times 10^4 = 1 \times 10^6$$

$$L_{1B} = r_p \times h_{1Z} \times r_f \times L_f = 0.2 \times 1 \times 10^{-2} \times 10^1 = 2 \times 10^4$$

$$L_{1V} = L_{1B} = 2 \times 10^4$$

$$L_{1U} = r_u \times L_t = 10^{-3} \times 10^4 = 10^7$$

(2) 经济损失 (L_4) 的损失率估算

可以按照下列近似关系式确定 L_t 、 L_f 和 L_o 的数值：

$$L_X = c/c_t \tag{7-20}$$

式中：

c —用货币表示的建筑物可能损失的平均数值（包括其存储物的损失、相关业务的中断及其后果）；

c_t —用货币表示的建筑物的总价值（包括其存储物以及相关业务的价值）。

当无法或很难确定 c 和 c_t 时，表7.4-8 给出了 L_{4t} 、 L_{4f} 和 L_{4o} 典型平均值。

表7.4-8 L_{4t} 、 L_{4f} 和 L_{4o} 的典型平均值

建筑物的类型	L_{4t}
所有类型：人员处于建筑物内部	10^4
所有类型：人员处于建筑物外部	10^2

建筑物的类型	L_{4f}
工业建筑	0.5
其他	0.1

经济损失 (L_4) 的各种实际损失率也受建筑物特性的影响, 考虑到这一点, 也引入了增长因子 (h_z) 和缩减因子 (r_f 、 r_p 、 r_a 和 r_u), 关系如下:

$$L_A = r_a \times L_t \quad (7-21)$$

$$L_U = r_u \times L_t \quad (7-22)$$

$$L_B = L_V = r_p \times h_z \times r_f \times L_f \quad (7-23)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \quad (7-24)$$

本工程计算经济损失仅指设备损坏本身的价值, 不包括设备损坏引起系统中断造成的损失。

表7.4-9 本评估对象影响经济损失实际损失率的参数特性及取值

参数	说明	符号	取值
接触和跨步电压导致伤害的损失率	人员处于建筑物内	L_t	10^4
物理损害导致的损失率	民居建筑	L_f	0.1
内部系统故障导致的损失率	民居建筑	L_o	10^4
由土壤类型决定的减少人身伤亡损失的因子	农地	r_a	10^2
由地板类型决定的减少人身伤亡损失的因子	大理石或陶瓷	r_u	10^3
由防火措施决定的减少物理损害导致人身伤亡损失的因子	自动报警装置	r_p	0.2
火灾危险程度决定的减少物理损害导致伤亡损失的因子	一般	r_f	10^2
有特殊危险时, 物理损害导致的人身伤亡损失的增加因子	无特殊危险	h_z	1

$$L_{4B}=r_p \times h_{4Z} \times r_f \times L_f = 0.2 \times 1 \times 10^{-2} \times 0.1 = 2 \times 10^{-4}$$

$$L_{4V}=L_{4B}=2 \times 10^{-4}$$

$$L_{4C}=L_{4M}=L_{4W}=L_{4Z}=L_O=10^{-4}$$

— L_{4B} 雷击建筑物导致物理损害的损失率

— L_{4C} 为雷击建筑物造成内部系统故障的损失率

— L_{4M} 为雷击建筑物附近引起内部系统故障的损失率

— L_{4W} 为雷击入户线路引起内部系统故障的损失率

— L_{4Z} 为雷击入户线路附近引起内部系统故障的损失率

7.5 人身伤亡风险估算及结论

本工程建筑物人身伤亡风险 R_1 需要估算的风险分量如下表所示：

表7.5-1 项目需要估算的人身伤亡风险分量

符号	名称	Z ₁ 区	Z ₂ 区
R_{1A}	雷击建筑物因接触电压和跨步电压造成人员伤亡风险	√	—
R_{1B}	雷击建筑物引起物理损害导致人员伤亡风险	—	√
R_{1U}	雷击入户服务设施因接触电压导致人员伤亡风险	—	√
R_{1V}	雷击入户线路因雷电流沿线路侵入建筑物内引起物理损害导致人员伤亡风险	—	√

7.5.1 人身伤亡风险估算

Z₁区：直接雷击建筑物，在建筑物外距离建筑物3m范围内即Z₁区，因接触和跨步电压造成人身伤害的风险分量： $R_{1A}=N_D \times P_A \times L_{1A}$ ，因取 $P_A \approx 0$ ，故 $R_{1A}=0$ 。

Z₂区：雷击项目导致人身伤亡风险如表7.5-2~7.5-4所示。

表7.5-2 雷击建筑物导致物理损害风险分量 R_{1B} 值

序号	建设项目	R_{1B}				
		未安装LPS 情况下	第IV类LPS情 况下	第III类LPS 情况下	第II类LPS 情况下	第I类LPS 情况下
1	南部片区	3.2248E-06	3.111E-07	2.6794E-07	3.4231E-07	4.0001E-08
2	中部片区	3.0008E-06	3.1111E-07	2.6111E-07	3.1121E-07	5.2387E-01
3	北部片区	2.0008E-06	2.1111E-07	2.6111E-07	1.3097E-07	4.2387E-01

表7.5-3 雷电流沿电源线路侵入建筑物内因接触电压导致人身伤亡风险分量 R_{1U} 值

名称	未设置SPD	设置类别III- IVSPD	设置类别II级 SPD	设置类别I级 SPD
P_{U1}	0.03	0.02	0.01	
L_U			10^{-7}	
$N_{L(电源)}$			0.0084	
$R_{1U(电源)}$	8.4E-10	2.52 E-111.68E-11		8.4E-12
$N_{L(电视、电话)}$			0.042	
$R_{1U(电视、电话)}$	4.2E-9	——	——	——
$N_{L(网络)}$			0	
$R_{1U(网络)}$			0	

表7.5-4 雷击入户线路因雷电流沿线路侵入建筑物内引起物理损害导致人身伤亡风险分量 R_{IV} 值

名称	未设置 SPD	设置类别III-IV SPD	设置类别 II 级 SPD	设置类别 I 级 SPD
P_V	1	0.03	0.02	0.01
L_V		2×10^4		
$N_{L(电源)}$		0.0084		
$R_{IV(电源)}$	1.68E-06	5.04E-7	3.36E-7	1.68E-8
$N_{L(电视、电话)}$		0.042		
$R_{IV(电视、电话)}$	8.4E-6	—	—	—
$N_{L(网络)}$		0		
$R_{IV(网络)}$		0		

7.5.2 人身伤亡风险结论

对照表7.5-2~7.5-4 可知：该项目按第二、三类防雷建筑物设计，风险值可控制到允许水平。

7.6 经济损失风险估算及结论

表7.6-1 项目工程需要估算的经济损失风险分量

符号	名称	Z ₁ 区	Z ₂ 区
R_{4B}	雷击建筑物引起物理损害导致经济损失风险	—	√
R_{4C}	雷击建筑物造成内部系统故障风险	—	√
R_{4M}	雷击建筑物附近引起内部系统故障的风险	—	√
R_{4V}	雷击入户设施引起物理损害导致经济损失风险	—	√
R_{4W}	雷击入户设施致导致内部系统故障风险	—	√
R_{4Z}	雷击入户服务设施附近导致内部系统故障风险	—	√

7.6.1 经济损失风险估算

表7.6-1 雷击入户线路因雷电流侵入建筑物内造成物理损害导致经济损失风险分量 R_{4V} 值

名称	未设置 SPD	设置III-IV级 SPD	设置II级 SPD	设置I级 SPD
P_V	1	0.03	0.02	0.01
L_V	2×10^4			
N_L (电源)	0.003			
R_{4V} (电源)	1.68E-06	5.04E-08	3.36E-08	1.68E-08
N_L (电视、电话)	0.016			
R_{4V} (电视、电话)	8.4E-6	—	—	—
N_L (网络)	0			
R_{4V} (网络)	0			

7.6.1 经济损失风险估算

表7.6-2 直接雷击建筑物引起物理损害造成的经济损失风险分量 R_{4B} 值

序号	建设项目	R_{4B}				
		未安装LPS 情况下	第IV类LPS 情况下	第III类LPS 情况下	第II类LPS 情况下	第I类LPS 情况下
1	南部片区	4.3123E-06	2.2311E-07	2.6194E-07	1.3097E-07	7.2386E-08
2	中部片区	2.4156E-06	2.2321E-07	2.6194E-07	1.3097E-07	3.2385E-08
3	北部片区	3.1122E-06	3.2343E-07	3.6214E-07	4.3097E-07	8.2385E-08

表7.6-3 直接雷击建筑物因LEMP造成经济损失风险分量 R_{4C} 值

序号	建设项目	R_{4C}				
		未安装LPS 情况下	第IV类LPS 情况下	第III类LPS 情况下	第II类LPS 情况下	第I类LPS 情况下
1	南部片区	4.0134E-06	9.2203E-08	6.1469E-08	3.0734E-08	3.0734E-06
2	中部片区	4.3111E-06	6.9291E-08	4.6194E-08	2.3097E-08	2.3097E-06
3	北部片区	4.9976E-06	4.2203E-08	3.1469E-08	3.0734E-08	3.0734E-06

表7.6-4 附近雷击因LEMP 造成内部系统故障导致的经济损失风险分量 R_{4M} 值

序号	建设项目	R_{4M}				
		未安装LPS 情况下	第IV类LPS 情况 下	第III类LPS 情况下	第II类LPS 情况下	第I类LPS 情 况下
1	南部片区	4.1333E-04	3.3923E-06	2.2611E-06	1.1308E-06	1.1308E-04
2	中部片区	2.1308E-04	2.3923E-06	2.2212E-06	1.1308E-06	1.1876E-04
3	北部片区	2.1111E-04	3.1153E-06	2.2768E-06	2.1384E-06	1.1654E-04

表7.6-5 雷击入户线路因线路过电压引起内部系统故障造成经济损失风险分量 R_{4W} 值

名称	未设置 SPD	设置III-IV级 SPD	设置II级 SPD	设置类别I级 SPD
P_W	1	0.03	0.02	0.01
L_W	10^4			
N_L (电源)	0.003			
R_{4W} (电源)	8.4E-07	2.52E-08	1.68E-08	8.4E-09
N_L (电视、电话)	0.016			
R_{4W} (电视、电话)	4.2E-06	—	—	—
N_L (网络)	0			
R_{4W} (网络)	0			

表7.6-6 入户线路附近雷击因线路感应过电压引起内部系统故障造成经济损失风险分量 R_{4Z} 值

名称	未设置 SPD	设置III-IV级 SPD	设置 II 级 SPD	设置 I 级 SPD
P_Z	1	0.03	0.02	0.01
L_{4Z}	10^{-2}			
N_I (电源)	0.016			
N_L (电源)	0.003			
$N_I - N_L$ (电源)	0.013			
R_{4Z} (电源)	3.36E-04	1.008E-05	6.72E-06	3.36E-06
N_I (电视、电话)	0.080			
N_L (电视、电话)	0.016			
$N_I - N_L$ (电视、电话)	0.074			
R_{4Z} 电视、电话	1.68E-03	5.04E-05	3.36E-05	1.68E-05

7.6.2 经济损失风险结论

从表7.6 可知：该评估对象的经济损失风险在可接受水平内。

第八章 防雷装置设计指导意见

根据现行防雷规范和上述风险估算结论，以及当地雷电活动的频繁程度，适当提高防雷等级，做好直击雷防护措施的同时，加强感应雷与雷电电磁脉冲的防护，特别是要加强雷电波入侵防护，根据《雷电防护》（GB/T 21714）系列的技术标准，减小RC、RM的措施有：安装符合《雷电防护 第4部分 建筑物内电气和电子系统》（GB/T 21714.4-2015）要求的合适的格栅型的空间屏蔽和匹配的SPD。

8.1 雷电综合防护措施

8.1.1 直击雷防护措施

（1）接地装置

利用结构桩基和基础底板内的主钢筋等焊接组成接地装置。每一引下线处利用桩结构主筋中对角2根主筋作为垂直接地体，引下线处承台为多桩的，承台内桩的利用率不小于45%。宜选取承台下层外侧钢筋焊接连通构成承台环，承台环分别与作为垂直接地体的桩筋和作为引下线的柱内结构主筋（金属框架支撑柱）焊接连通。同时将地梁内两条结构主筋焊接（金属框架支撑柱间相互焊接，采用-40mm×4mm热镀锌扁钢）连通构成基础接地网格，作为水平接地体。附近或相邻的各接地装置应通过-40mm×4mm热镀锌扁钢电气连通，形成一个大地网。

接地体的连接应采用焊接，并宜采用放热焊接（热剂焊）。当采用通用的焊接方法时，应在焊接处做防腐处理。钢材、铜材焊接应符合下列规定：

- 1) 导体为钢材时，焊接时搭接长度及焊接方法要求，应符合表8.1-1的规定。

表8.1-1 防雷装置钢材焊接时的搭线长度及焊接方法

焊接材料	搭接长度	焊接方法
扁钢与扁钢	不应少于扁钢宽度的2倍	两个大面不应少于3个棱边焊接
圆钢与圆钢	不应少于圆钢直径的6倍	双面施焊
圆钢与扁钢	不应少于圆钢直径的6倍	双面施焊
扁钢与钢管、 扁钢与角钢	紧贴角钢外侧两面或紧贴3/4钢管表面，上、下两侧施焊，并应焊以由扁钢弯成的弧形（或直角形）卡子或直接由扁钢本身弯成弧形或直角形与钢管或角钢焊接	

2) 导体为铜材与铜材或铜材与钢材时，连接工艺应采用放热焊接，熔接接头应将被连接的导体完全包在接头里，要保证连接部位的金属完全熔化，并应连接牢固。

敷设在土壤中的接地体与混凝土基础中的钢材相连接时，宜采用铜材或不锈钢材料。

(2) 引下线

1) 利用建筑物的钢梁、钢柱、消防梯等金属构件作为自然引下线，金属构件之间应电气贯通。引下线应沿建筑物周围均匀布设，其平均间距分别不应大于18m。当利用混凝土内钢筋、钢柱作为自然引下线并采用基础钢筋接地体时，不宜设置断接卡，但应在室外墙体上留出供测量用的测接地电阻孔洞及与引下线相连的测试点接头。混凝土柱内钢筋，应按工程设计文件要求采用土建施工的绑扎法、螺丝扣连接等机械连接或对焊、搭焊等焊接连接。

2) 第二类防雷建筑物专设引下线不应少于2根，并应沿建筑物四周和内庭院四周均匀对称布置，其间距沿周长计算不宜大于18m。当建筑物的跨度较大，无法在跨距中间设引下线，应在跨距两端设引下线并减小其他引下线的间距，专设引下线的平均间距不应大于18m。

3) 第三类防雷建筑物专设引下线不应少于2根，并应沿建筑物四周和内庭院四周均匀对称布置，其间距沿周长计算不宜大于25m。当建筑物的

跨度较大，无法在跨距中间设引下线时，应在跨距两端设引下线并减小其他引下线的间距，专设引下线的平均间距不应大于 25 m。

4) 建筑物外的引下线敷设在人员可停留或经过的区域时，应采用外露引下线在高2.7m以下部分穿不小于3mm厚的交联聚乙烯管，交联聚乙烯管应能耐受100kV冲击电压（1.2/50 μ s波形）或应设立阻止人员进入的护拦或警示牌。护拦与引下线水平距离不应小于3 m，防止接触电压和旁侧闪络电压对人员造成伤害：

5) 金属罐体必须做防雷接地，接地点不应少于2处。钢油罐接地点沿罐体周长的间距，不宜大于30m。

6) 在建筑物引下线附近保护人身安全需采取的防接触电压和跨步电压的措施，应符合下列规定：

① 防接触电压应符合下列规定之一：

a.利用建筑物金属构架和建筑物互相连接的钢筋在电气上是贯通且不少于 10 根柱子组成的自然引下线，作为自然引下线的柱子包括位于建筑物四周和建筑物内的。

b.引下线 3 m 范围内地表面层的电阻率不小于 50k Ω m，或敷设5 cm厚沥青层或15 cm厚砾石层。

c.外露引下线，其距地面 2.7 m以下的导体用耐 1.2/50 μ s 冲击电压 100 kV的绝缘层隔离，或用至少 3 mm厚的交联聚乙烯层隔离。

d.用护拦、警告牌使接触引下线的可能性降至最低限度。

②防跨步电压应符合下列规定之一：

a. 利用建筑物金属构架和建筑物互相连接的钢筋在电气上是贯通且不少于 10 根柱子组成的自然引下线，作为自然引下线的柱子包括位于建筑物四周和建筑物内。

b. 引下线 3 m 范围内土壤地表面层的电阻率不小于50k Ω m。或敷设5 cm厚沥青层或15 cm厚砾石层。

c. 用网状接地装置对地面作均衡电位处理。

d. 用护栏、警告牌使进入距引下线 3 m 范围内地面的可能性减小到最低限度。

(3) 接闪器

1) 第二类防雷建筑物外部防雷的措施，宜采用装设在建筑物上的接闪网、接闪带或接闪杆，也可采用由接闪网、接闪带或接闪杆混合组成的接闪器。接闪网、接闪带应按本规范附录 B 的规定沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击的部位敷设，并应在整个屋面组成不大于 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 或 $12\text{ m}\times 8\text{ m}$ 的网格；当建筑物高度超过 45 m 时，首先应沿屋顶周边敷设接闪带，接闪带应设在外墙外表面或屋檐边垂直面上，也可设在外墙外表面或屋檐边垂直面外。接闪器之间应互相连接。

2) 第三类防雷建筑物外部防雷的措施宜采用装设在建筑物上的接闪网、接闪带或接闪杆，也可采用由接闪网、接闪带或接闪杆混合组成的接闪器。接闪网、接闪带应按本规范附录 B 的规定沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击的部位敷设，并应在整个屋面组成不大于 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 或 $24\text{ m}\times 16\text{ m}$ 的网格；当建筑物高度超过 60 m 时，首先应沿屋顶周边敷设接闪带，接闪带应设在外墙外表面或屋檐边垂直面上，也可设在外墙外表面或屋檐边垂直面外。接闪器之间应互相连接。

3) 材料规格为：避雷短针为 $\phi 18\text{ mm}$ ，避雷带为 $\phi 12\text{ mm}$ ，支撑架表面积不小于 45 mm^2 ，带高应不低于 150 mm 。避雷网可由天面结构主筋中直径不小于 $\Phi 10$ 的钢筋构成，在整个天面形成暗敷避雷网格，网格尺寸应满足规范要求（II 类防雷建筑：不大于 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 或 $8\text{ m}\times 12\text{ m}$ ）；避雷带（网）应闭合。

露天安装的大型设备的金属外壳及基座应就近与防雷接地装置可靠连接，连接点不应少于两处。

(4) 户外综合管线

建筑物内的设备、管道、构架、电缆金属外皮、钢屋架、钢窗等较大金属物和突出屋面的放散管、风管等金属物，均应接到防雷电感应的接地装置上。具体如下：

a. 利用管道的每个固定金属支架作为接地引下线，进行防感应雷接地，将支架上的每根管道都与该管道金属支架可靠连接，做防静电接地。

b. 每个金属支架基础下安装二根接地极，接地极采用L50×5（mm）的热镀锌角钢，接地极长度为2.5m，埋深1m。

c. 二根接地极间的水平间距大于5m，二根接地极分别引接地线与支架连接。

d. 接地极与管道金属支架可靠连接，接地电阻 $\leq 10\Omega$ ，若达不到要求，可增加接地极数量。

e. 当长金属物的弯头、阀门、法兰盘等连接处的过渡电阻 $> 0.03\Omega$ 时，连接处应用金属线跨接。对有不少于5根螺栓连接的法兰盘，在非腐蚀环境下，可不跨接。

f. 平行敷设的管道，其净距小于100mm时应采用金属线跨接，跨接点的间距为30m；交叉净距小于100mm时，其交叉处亦应跨接。

g. 在支架与接地引下线连接处设置接地断接卡子，接地断接卡子距所在地坪0.5m。

8.1.2 感应雷防护措施

（1）减少接触和跨步电压造成人伤害的宜采取以下防护措施：

- a. 外露导电部件的适当绝缘；
- b. 利用网络接地系统作等电位连接；
- c. 限制人身活动范围和设置警示牌；
- d. 增加建筑物内外地表电阻率也可减少人身伤害。

(2) 减少物理损害宜采取以下防护措施：

对建（构）筑物，根据其重要性、使用性质、发生雷电事故的可能性和后果，划分防雷类别，采取适当的直击雷防护措施。

例如，安装雷电防护系统时，等电位连接是减少火灾、爆炸和人身伤害的重要措施；设置防火隔间、灭火器、消防栓、火警设施和灭火装置等限制火灾发生和蔓延措施也可以减少物理损害。

对服务设施，采用屏蔽线。对埋地电缆采用金属管进行有效防护。

(3) 减少电气和电子系统失效的防护主要是雷击电磁脉冲防护和瞬态过流、过压浪涌的防护。

对建（构）筑物可适当采取以下措施：接地和等电位连接、磁屏蔽、合理布线、安装能量配合的SPD。

对服务措施可适当采取以下措施：电缆的磁屏蔽；沿线路不同位置及线路终端安装SPD。

另外其它措施，例如：适当厚度的连续金属屏蔽体对埋地电缆是很有效的防护措施；线路冗余、设备备份、自备发电机组、不间断电源系统和自动失效检测系统是减少服务设施业务损失的有效防护措施；增加设备和电缆的绝缘耐压是减少过电压造成设备和电缆失效的有效防护措施。

8.1.3 雷电电磁脉冲防护

1) 屏蔽、接地与等电位连接

(1) 进出建筑物的各种金属管道、电缆金属外皮等均需在入户处接地（图8-1）。电缆穿钢管敷设时，钢管两端及入户处应接地。

当电缆敷设于金属桥架内时，桥架内宜敷设一根镀锌扁钢作接地干线，宜每隔25m引下一次，并就近与接地装置相连接。

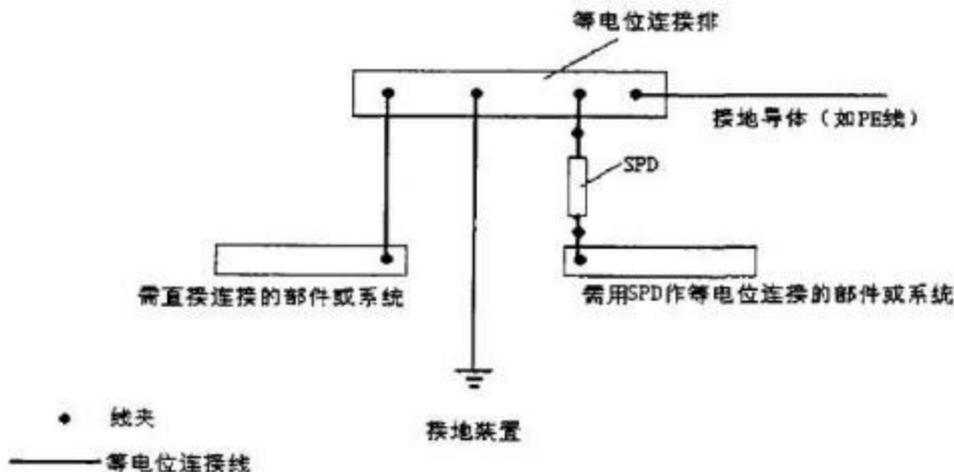


图8.1-1 导电部件或电气系统与等电位连接排的连接

(2) 对于非金属外壳终端仪表，应采取必要的屏蔽措施（如安装屏蔽箱等），且配线电缆的屏蔽层应与增设的金属屏蔽外壳做等电位连接。

(3) 线缆桥架和线缆槽内的电力与信号线缆间距应满足表8.1-2 的要求：

表8.1-2 电力线缆与信号线缆的间距要求

类别	与电子信息系统信号线缆接近状况	最小净距(mm)
380V电力电力容量 小于2kVA	与信号线缆平行敷设	130
	有一方在接地的金属线槽或钢管中	70
	双方都在接地的金属线槽或钢管中	10
380V电力电力容量 2~5kVA	与信号线缆平行敷设	300
	有一方在接地的金属线槽或钢管中	150
	双方都在接地的金属线槽或钢管中	80
380V电力电力容量 大于5kVA	与信号线缆平行敷设	600
	有一方在接地的金属线槽或钢管中	300
	双方都在接地的金属线槽或钢管中	150

注：1.当380V电力电缆的容量小于2kVA,双方都在接地的线槽中，即两个不同线槽或在一一线槽中用金属板隔开，且平行长度小于等于10m时，最小间距可以是10mm。

2.电话线缆中存在振铃电流时，不应与计算机网络在同一根双绞线电缆中。

(4) 信息系统控制室应避开强电磁干扰，其设备应远离外墙结构柱并设置在雷电防护区的高级别区域内，不宜设置在建筑物的顶层；当无法避开强电磁场干扰或为保障信息系统安全时，可采取有效的电磁屏蔽措施（如设置屏蔽室或在控制室六面安装屏蔽网格等）。

(5) 信息系统控制室宜采用S型或Ss型局部等电位连接网络，系统中所有设施的电缆管线屏蔽层均须经等电位连接点ERP进入控制室，控制室和信息系统内所有设备的机架（壳）、配线线槽、设备保护接地、安全保护接地、SPD接地端等均应分别通过ERP点进行等电位连接。室内所有金属组件与共用接地系统各部件之间应有足够的绝缘（10kV，1.2/50 μ s）。接地线宜采用截面积不小于25mm²的多股铜芯绝缘导线穿硬质塑料管就近与本控制室或本楼层的接地端子板连接。

2) 安装SPD

浪涌保护器是低压系统中对限制过电压、释放大电流的保护器件的一种特定称谓，主要由其内部元件的非线性特性来实现泄流、限压，从而保护后续的电气电子设备。这里的非线性主要是指：低电压下，浪涌保护器呈高阻抗状态；高电压下，浪涌保护器阻抗快速下降，达到释放大电流的目的，而将电压限制在一定的水平。在目前常用的浪涌保护器中，主要有两种非线性特性不同的类型：开关型和限压型（图8-2）。

开关型：指当浪涌保护器遭遇到高电压时，内部元件的阻抗有一个跌落式的减少，而导致其上的电压也有一个跌落式的下降，在其泄流期间，电压基本为恒定的，且能维持很低的水平。

限压型：当保护器遇到高电压时，元件本身阻抗随着外加电压和电流的增大是一个连续的减少过程，其上电压会随着电流的快速增加而缓慢上升。维持的电压水平相对较高。

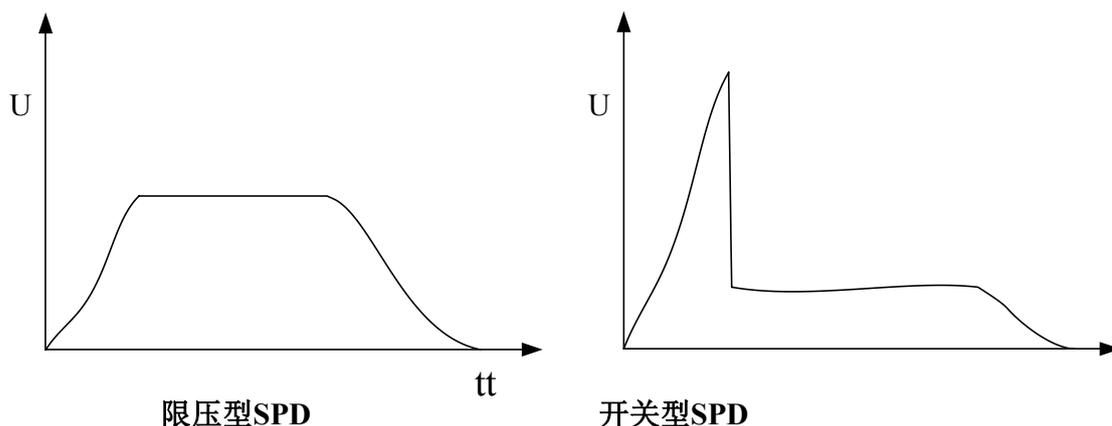


图8.1-2 开关型、限压型SPD的电压响应特性比较

(1) 当电源采用TN系统时，从总配电盘（箱）开始引出的配电线路和分支线路必须采用TN-S系统。

(2) 电源系统宜安装2~3级SPD，各级SPD参数可参考本报告电源系统雷击过电流估算的相关内容。

机柜内采用直流配电系统供电的设备前端安装与其耐压水平相适应的直流电源SPD。

(3) 信息系统的首末端需与电子器件连接时，应装设与电子器件耐压水平相适配的SPD。

(4) 控制主机信号传输、联动控制线进、出线处安装适配的信号SPD，其电压保护水平 U_p 应不小于设备工作电平的1.2倍，同时不大于设备工作电平的1.7倍（直流时为工作电压平均值，交流时为最大工作电平）。

(5) 各终端进线处安装适配的信号SPD，其电压保护水平 U_p 应不小于设备工作电平的1.2倍，同时不大于设备工作电平的1.7倍（直流时为工作电压平均值，交流时为最大工作电平）。

(6) 新建工程的SPD宜装设在有隔仓或隔板的配电柜内。对后续或改建工程，当配电箱内有位置且可与其它电器保持一定的距离，SPD宜在配电箱内安装，并宜装设隔板；当配电箱内安装有困难，可在配电箱近旁设置电涌保护箱，并应缩短引线。

(7) SPD 接入主电路的引线，应短而直，采取各种减少电感的措施，不应形成回环，不宜形成尖锐的转角。上引线(引至相线或中线)和下引线(引至接地)之和应 $< 0.5\text{m}$ 。当引线长度 $> 0.5\text{m}$ ，应采取减少电感的措施：采用凯尔文接线V(形接线)或采用多根接地线并在多处接地等。不应将SPD电源侧引线与被保护侧引线合并绑扎或互绞。

(8) SPD 应在最近的接地/等电位连接点，或宜在预埋的接地板上地进行接地。当在局部范围内信号接地点与电源接地点是分开的，则电源SPD的接地点应在电源地上。

(9) SPD 上引线的导线截面积入口级不应小于 10mm^2 ，(多股绝缘铜线)，接地引线不应小于 16mm^2 (多股绝缘铜线)；中间级、设备级上引线导线截面积不应小于 4mm^2 (多股绝缘铜线)，接地引线不应小 10mm^2 (多股绝缘铜线)。SPD 接地线的截面积应大于上引线的截面积。对接线形式2 接法的中线与地间SPD的上、下引线，入口级应大于 16mm^2 (多股绝缘铜线)，其后各级应大于 10mm^2 (多股绝缘铜线)。当采用扁平铜导体，其截面积不应小于多股铜线的要求。扁平导体可为裸导体，其厚度不小于 2mm ，并应保证线间和对地(对机壳)的空气绝缘距离和机械固定。

3) 布线与屏蔽的防护

根据本评估计算结果，入户管线遭受雷电闪击和雷击产生的瞬变电磁场，或脉冲电磁辐射造成的影响较为明显。因此，为降低这些风险，应合理布线和屏蔽以达到更好的防护效果。

- (1) 减少线路构成回路的面积，布线时避免出现大的回路。
- (2) 将电源线和信号线靠近布放避免产生大的回路。
- (3) 采用屏蔽电缆布线时，并至少在一端进行搭接，并接地处理。

(4) 使用金属电缆管道或接地金属平板分离的金属部件应保持电气上的良好连通；连接应该采用螺栓紧固金属重叠部分或采用搭接导体的方式来实现；为使电缆管道保持低阻抗，应当在电缆管道周围重叠绕螺旋形钢。

(5) 将电缆敷设在搭接的电缆管道、干线管道或金属导管（槽）中，可以防止很高的感应电压和感应电流。如果条件允许，应当利用建筑物本身的屏蔽特性，将电缆放置在建筑物的管状构件中。若需要将电缆敷设在外部，应当靠近建筑物，并最大限度利用金属管道、钢扶梯和其它任何良好搭接的导体材料所提供的天然屏蔽。

(6) 建筑物间互连的线路：若独立建筑物的接地系统间的互连不恰当，则互连线路会对雷电流构成一个低阻抗路径。这样，大部分雷电流将沿互连线路流动。因此，线路互连的两个独立建筑物端都要加SPD；增设一路并行的搭接保护线可以保护线路，保护线两端接地，将部分雷电流泄入大地；将线路敷设于互连的金属管道内。

8.2 建（构）筑物主体雷电风险控制

8.2.1 厂房

8.2.1.1 厂房为第二、三类防雷建构筑物。

8.2.1.2 厂房应在屋面设置接闪网和接闪带，宜利用建筑物梁、柱和基础内钢筋作为引下线。接闪器、引下线、各层均压环和接地网应进行焊接，电气上形成相互连通的笼式防雷系统。

8.2.2 钢结构建（构）筑物

8.2.2.1 工业用钢结构厂房及其它钢结构建（构）筑物，一般应为第二和第三类防雷建（构）筑物。

8.2.2.2 第二和第三类钢结构防雷建（构）筑物宜利用其金属屋面作为接闪器，并应符合下列规定：

1 板间连接应确保持久的电气贯通，可采用合金焊、熔焊、卷边压接、

缝接、螺钉或螺栓连接，屋面板搭接宽度不应小于100mm。

2 金属板下面无易燃物品时，不锈钢、热镀锌板的厚度不应小于0.5mm，铝板厚度不应小于0.65mm。

3 金属板下面有易燃物品时，不锈钢、热镀锌板的厚度不应小于4mm，铝板厚度不应小于7mm。

4 金属板应无绝缘被覆层，薄的油漆保护层或1mm厚沥青保护层或0.5mm厚聚氯乙烯层均不应属于绝缘被覆层。

8.2.2.3 第二和第三类钢结构防雷建（构）筑物宜利用其钢梁、钢柱、钢梯等金属构件作为引下线，宜利用钢柱基础承台及桩内的钢筋作为接地极。各金属部件之间应确保电气贯通，金属构件可覆有绝缘材料。

8.2.2.4 钢结构厂房屋面、立柱、基础可按图8.2-1 进行防雷接地设计。

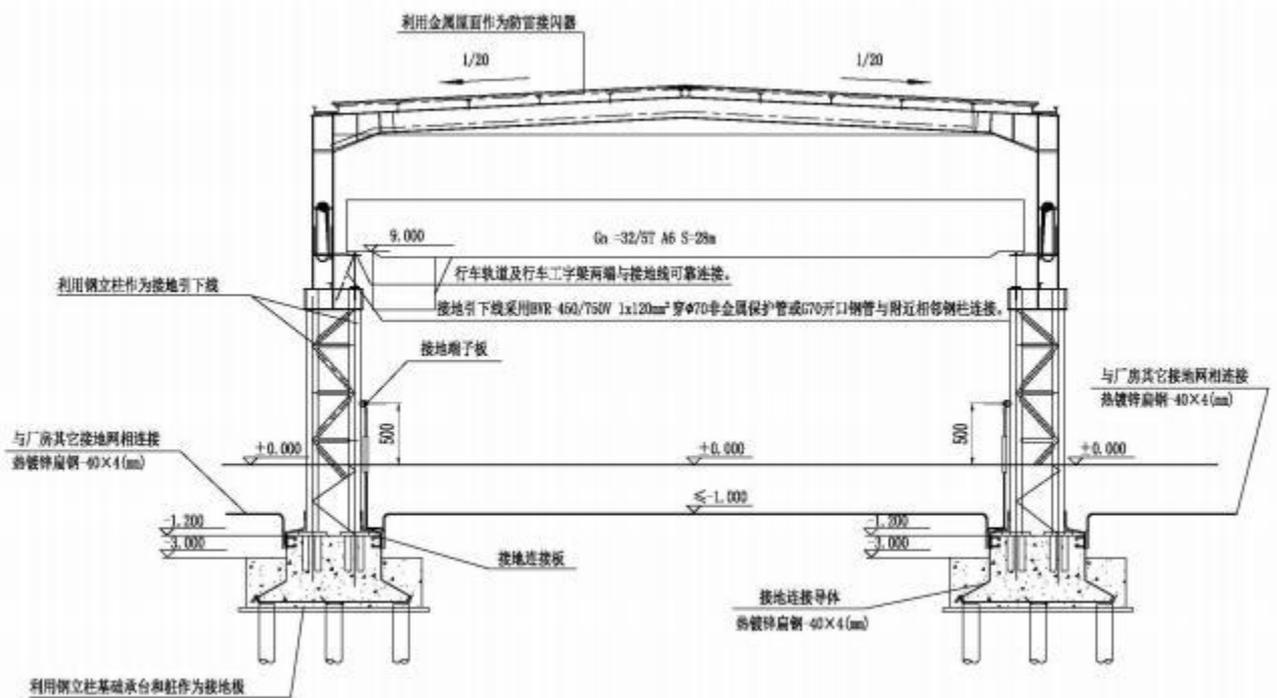


图8.2-1 钢结构厂房防雷示意图

8.2.2.5 钢结构厂房接地网宜直接利用地坪、钢柱基础承台和设备基础内的钢筋 ($\geq \phi 16\text{mm} \times 2$)，并相互连通。条件不具备时，可采用热镀锌扁钢

(40×4mm) 设置专门的厂房接地网。

8.2.2.6 钢结构厂房接地网可按图8.2-2 进行设计。

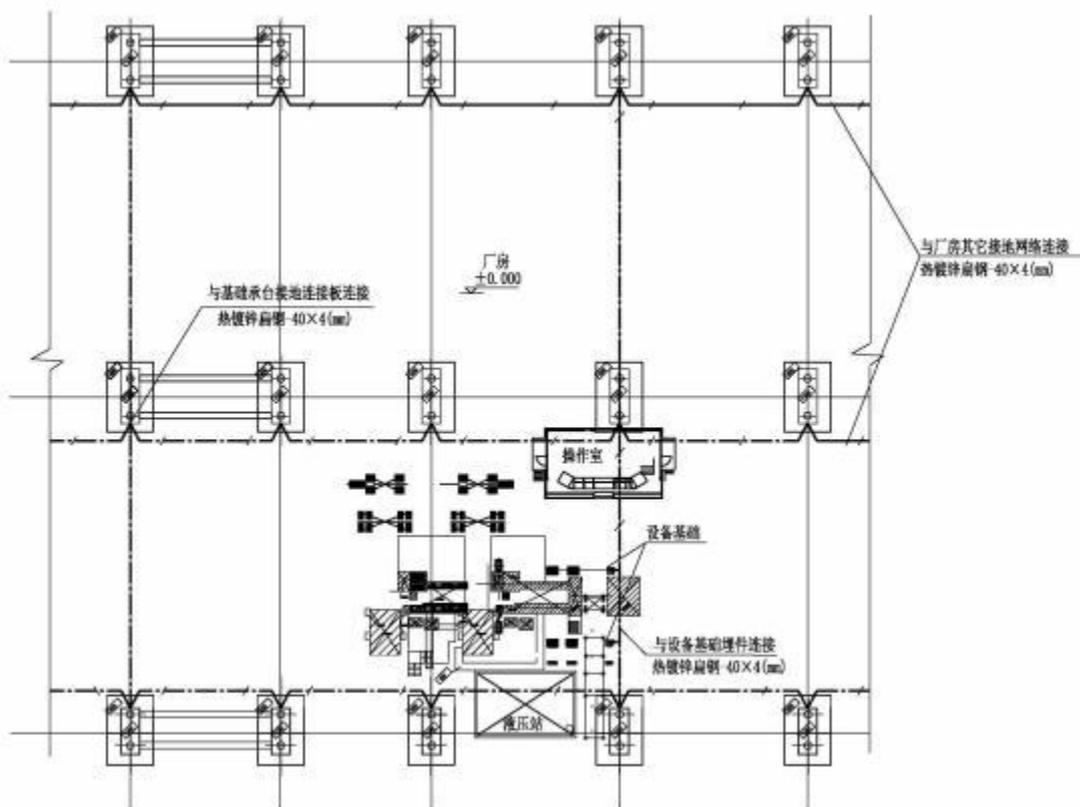


图8.2-2 钢结构厂房接地网示意图

8.2.3 混凝土及砌体结构建（构）筑物

8.2.3.1 混凝土及砌体结构建（构）筑物，一般应为第二和第三类防雷建（构）筑物。

8.2.3.2 第二和第三类混凝土及砌体结构建（构）筑物应在屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击的部位敷设接闪带，并应在整个屋面组成尺寸不大于10m×10m（8m×12m）和20m×20m（16m×24m）的接闪网。接闪器材料宜采用热镀锌圆钢或扁钢，尺寸不小于 $\phi 10$ 或25×4mm。

8.2.3.3 第二和第三类混凝土及砌体结构建（构）筑物高度超过45m和60m时，除屋面以外还应在外墙外表面或屋檐边垂直面设置接闪带，接闪器之

间应互相连接。

8.2.3.4第二和第三类混凝土及砌体结构建（构）筑物专设引下线不应少于2根，并应沿建筑物四周均匀对称布置，其间距沿周长计算不应大于18m 和25m。引下线材料宜采用热镀锌圆钢或扁钢，尺寸不小于 $\phi 10$ 或 $25 \times 4\text{mm}$ 。

8.2.3.5第二、第三类防雷建（构）筑物，可利用混凝土屋顶、梁、柱、基础内的钢筋作为引下线，构件之间必须连接成电气通路。引下线数量、间距、截面应符合本规程第4.3.4 条要求。

8.2.3.6第二、第三类防雷建（构）筑物宜利用基础内钢筋网作为接地体，条件不满足时可在基础下方混凝土垫层内专设人工环形接地体。接地体距地面以下不应小于0.5m，第II、第III类防雷建（构）筑物每根引下线所连接的钢筋表面积总和应分别按式8-1 和8-2 进行计算：

$$S \geq 4.24k_c^2 \quad (8-1)$$

$$S \geq 1.89k_c^2 \quad (8-2)$$

式中 S —钢筋表面积总和（ m^2 ）

k_c —分流系数：单根引下线时，取1；两根引下线及接闪器不成闭合环的多根引下线时，取0.66；三根及以上接闪器成闭合环或网状的引下线时，取0.44。

8.2.3.7在易受机械损伤之处，地面上1.7m.至地面下0.3 m的一段接地线应采用暗敷或采用镀锌角钢、改性塑料管或橡胶管等加以保护。

8.2.4 配电装置区

8.2.4.1独立设置的户外变电房或户外电气设备场地，一般应为第二类防雷建（构）筑物。

8.2.4.2变电房应在屋面设置接闪网和接闪带，宜利用建筑物梁、柱和基础内钢筋作为引下线。接闪器、引下线、各层均压环和接地网应进行焊接，电气上形成相互连通的笼式防雷系统。

8.2.4.3 户外大型配电装置不在防雷建（构）筑物的保护范围之内时，宜设置避雷针、避雷带等直击雷保护装置。避雷针塔宜选用钢结构避雷针塔或环形钢管杆避雷针，高度应依据计算结果确定，抗风能力应按照100年一遇基本风压，地面粗糙度类别按现行国家标准GB50009的规定确定。

8.2.4.4 220kV及以上变电站应敷设独立的室内和室外二次接地网，110kV变电站应敷设室内二次接地网，接地网由截面不小于100 mm²的铜排构成。

8.3 各系统雷电风险控制

8.3.1 供配电系统

8.3.1.1 高压供配电系统

高压供配电系统应根据防雷保护分区划分及设备保护要求，设置避雷器和浪涌保护器（SPD），总体要求如下：

- 1 高压架空线路引入时，应在进线门架或电杆处安装避雷器。
- 2 高压电缆线路引入时，宜在配电装置进线或母线处安装避雷器。
- 3 变压器高压侧应设置避雷器，宜在上级配电装置出线处安装。
- 4 变压器低压侧应设置避雷器或浪涌保护器（SPD），宜在下级配电装置进线处安装。

8.3.1.2 低压供配电系统

低压供配电系统的浪涌保护器（SPD）安装位置和放电电流的选择，应满足下列要求：

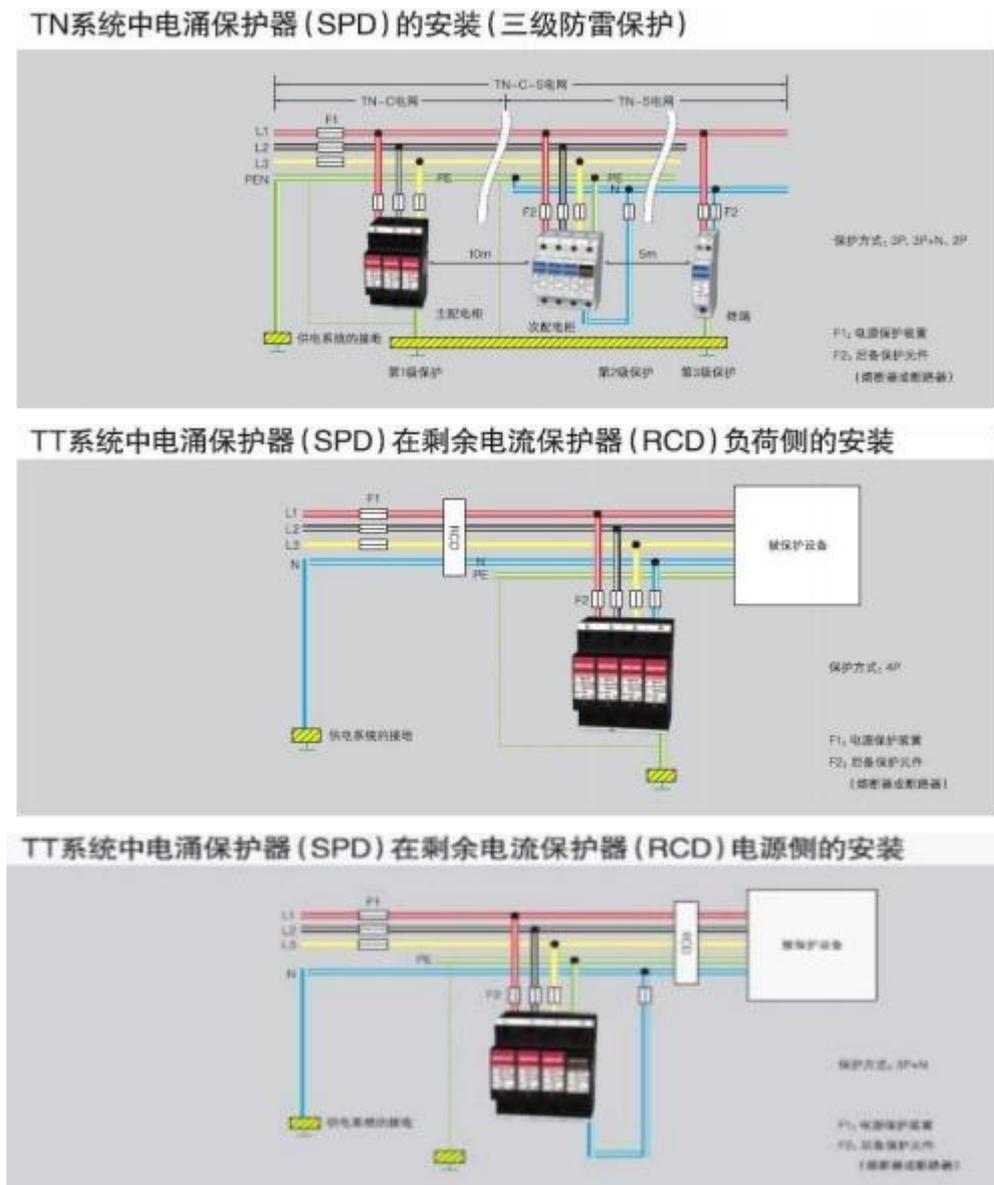
- 1 在有架空线路的总配电箱端处（LPZ₀与LPZ₁边界）应增加I类浪涌保护器，冲击电流（10/350 μ s）不小于12.5kA，电压保护水平小于2.5kV；宜选用35kA，U_p≤2.0kV。
- 2 在无架空线路的总配电箱端处（LPZ₀与LPZ₁边界）应增加II类浪涌保护器，标称放电电流（8/20 μ s）不小于40kA，电压保护水平小于2.5kV；

宜选用40kA, $U_p \leq 2.5kV$ 。

3 在配电箱端处 (LPZ₁与LPZ₂边界) 增加II类浪涌保护器, 标称放电电流 (8/20 μ s) 不小于20kA, 电压保护水平小于2.0kV; 宜选用20kA, $U_p \leq 1.5kV$ 。

4 在设备机房配电箱和需特殊保护的电子信息设备断口处增加II类或III浪涌保护器, 标称放电电流 (8/20 μ s) 不小于5kA, 电压保护水平小于1.5kV; 宜选用10kA, $U_p \leq 1.2kV$ 。

5 不同接地制式低压供电系统的浪涌保护器 (SPD) 安装可参考图 8.3-1。



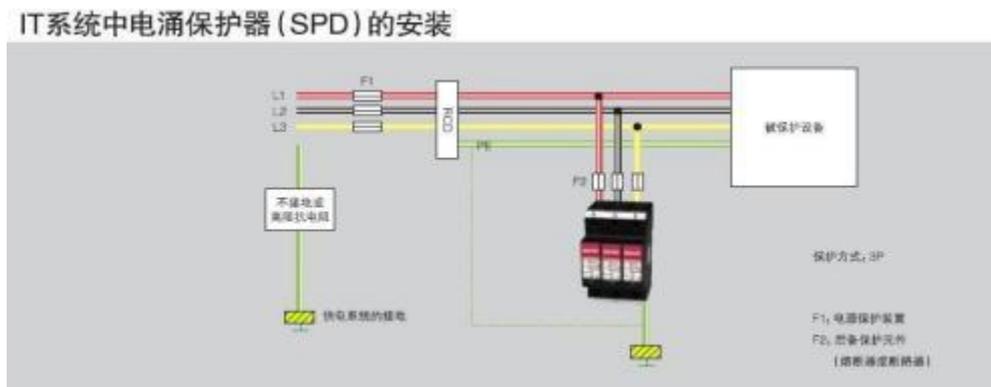


图8.3-1 浪涌保护器安装示意图

8.3.2 电子信息系统

8.3.2.1 电子信息系统机房的电源应采取TN-S系统，机房建筑物的低压配电系统应采取第一和第二级感应雷防护措施，机房设备的进出端应采取第三级感应雷防护措施。

1 一级感应雷防护：在机房建筑物总配电柜进线端安装I类浪涌保护器或II类浪涌保护器，作为机房及电源线路的第一级保护。

2 二级感应雷防护：从总配电柜进入各个楼层或机房的分配电箱，在各分配电箱设置II类或III类浪涌保护器，作为机房及电源线路的第二级保护。

3 三级感应雷防护：在机房UPS进线电源前安装II类或III类浪涌保护器，作为机房及用电设备的第三级保护。

8.3.2.2 机房内电气和计算机设备应作等电位连接，并与接地装置连接形成联合接地系统，具体要求如下：

1 机房应利用建筑物内部或其上的金属部件多重互联，组成低阻抗等电位连接网络，等电位连接的结构形式应采用S型（星形）、M型（网格形）或它们的组合。

2 机房内电气和计算机设备的金属外壳、机柜、机架、金属管、槽、屏蔽电缆金属外层、防静电接地、安全保护接地、功能型接地、浪涌保护

器接地端等均应以最短距离与S型结构的接地基准点或M型结构的网格连接。

3 机房建筑物在LPZ_{0A}或LPZ_{0B}与LPZ₁的交界处应设置总等电位接地端子板，总等电位接地端子板与接地装置的连接不应少于2处；每层楼宜设置楼层等电位接地端子板；机房应设置局部等电位接地端子板。等电位接地端子板宜采用铜带，接地端子板之间的连接宜采用多股铜芯导线或铜带。

4 特别重要的机房建筑物可设专用垂直接地干线，垂直接地干线由总等电位接地端子板引出，同时与建筑物各层钢筋和均压带连通。垂直接地干线宜在竖井内敷设，并通过连接导体与楼层和局部等电位接地端子板连接。

5 进入机房建筑物的金属管线（含金属管、电力线、信号线）应在入口处就近连接到等电位连接端子板上。LPZ₁入口处应分别设置适配的电源和信号浪涌保护器。

6 接地装置应优先利用机房建筑物的自然接地体，当自然接地体接地电阻达不到要求时应增设人工接地体。

8.3.2.3 电子信息系统机房宜综合采用建筑物屏蔽、机房屏蔽、设备屏蔽、线缆屏蔽和线缆合理布设措施。具体措施如下：

1 建筑物屏蔽宜利用建筑物自然金属部件与防雷装置连接构成格栅型大空间屏蔽。

2 当格栅型大空间屏蔽不能满足机房电子环境要求时，应增加机房屏蔽措施。

3 弱电系统主机房宜选择在建筑物低层中心部位，其设备应配置在LPZ₁区之后的后续防雷区，并与相应的雷电防护区屏蔽体及结构柱留有一定的安全距离。

4 与电子信息系统连接的信号线采用屏蔽电缆时，应在屏蔽层两端并

宜在雷电防护区交界处做等电位连接并接地。

5 当户外采用非屏蔽电缆时，到机房的引入线应尽可能的穿钢管埋地引入，并在入户处进行等电位连接。

6 光缆的所有金属接头、金属护层、金属防潮层、金属加强芯等，应在入户处直接接地。

7 电子信息系统线缆宜在密闭的金属线槽或管道内敷设，并靠近等电位连接网络的金属部件。

8 布置电子信息系统线缆走向时，应尽量减小线缆自身形成的电磁感应环路面积。

8.3.3 仪表系统

8.3.3.1 普通户外仪表设备宜设置金属屏蔽保护箱，箱体可靠接地。以下场合户外仪表设备应装设浪涌保护器：

1 安全仪表系统户外设备两端应设置浪涌保护器。

2 外重要的流量计、变送器、电动（电磁）阀等仪表设备线路端口处应安装相适配的浪涌保护器（非金属铠装光缆、埋地入户式信号线路除外）。

3 信号电缆在地面以上敷设的水平距离大于100 m或垂直距离大于10m的现场测量仪表两端应设置浪涌保护器。

8.3.3.2 仪表设备安装时应采取等电位连接和接地措施，并满足以下要求：

1 户外仪表设备不应安装在最高点，并宜位于临近建筑物的保护范围之内。安装条件不具备时应设置金属屏蔽保护箱，箱体可靠接地。

2 现场仪表外壳、支架、保护箱应就近接地或与接地的金属体相连接。现场仪表浪涌保护器的接地端子应与仪表外壳的接地端子相连接。

3 仪表控制室内设备、组件的金属外壳应与控制室的防雷接地系统做等电位连接。

4 浪涌保护器的安装位置应靠近被保护设备，控制室内SPD 柜放在外侧，被保护的机柜放于中心侧。

5同一柜内的SPD与安全栅应使用两个独立的接地导轨，以区分开本安和非本安侧，SPD 地线应直接与机柜地线相连接。

8.3.4 通讯系统

8.3.4.1天馈线路的浪涌保护器选择和等电位连接应满足以下要求：

1天线应置于直击雷防护区内，并根据被保护设备的工作频率、平均输出功率、连接器形式及特性阻抗等参数，选用插入损耗小、电压驻波比小，适配的天馈线路浪涌保护器。

2 天馈线路浪涌保护器应安装在收/发通信设备的射频出、入端口处。

3具有多副天线的天馈传输系统，每副天线应安装适配的天馈浪涌保护器。当天馈传输系统采用波导管传输时，波导管的金属外壁应与天线架、波导管支撑架及天线反射器作电气连通。其接地端应就近接在等电位接地端子板上。

4 天馈线路浪涌保护器接地端应采用能承载预期的雷电流的多股绝缘铜导线连接到防雷区边界处的等电位接地端子板上，导线截面积不小于 6mm^2 。同轴电缆的前、后端及进机房前应将金属屏蔽层就近接地。

8.3.4.2通信接入网和电话交换系统的防雷与接地设计应满足以下要求：

1 有线电话通信用户交换机设备金属芯信号线路，应根据总配线架所连接的中继线及用户线的接口形式选择适配的信号线路浪涌保护器。

2 浪涌保护器的接地端应与配线架接地端相连，配线架的接地线应采用截面积不小于 16mm^2 的多股铜线接至等电位接地端子板上。

3 通信设备机柜、机房电源配电箱等的接地线应就近接至机房的局部等电位接地端子板上。

4 引入建筑物的室外铜缆宜穿钢管敷设，钢管两端应接地。

8.3.4.3 安全防范系统的防雷与接地设计应满足以下要求：

1 置于户外摄像机的输出视频接口应设置视频信号线路浪涌保护器。摄像机控制信号线接口处应设置信号线路浪涌保护器。解码箱处供电线路应设置电源线路浪涌保护器。

2 主控机、分控机的信号控制线、通信线、各监控器的报警信号线，宜在线路进出建筑物LPZ_{0A}或LPZ_{0B}与LPZ₁边界处设置适配的线路浪涌保护器。

8.3.4.4 火灾自动报警及消防联动控制系统的防雷与接地设计应满足以下要求：

1 火灾报警控制系统的报警主机、联动控制盘、火警广播、对讲通信等系统的信号传输线缆宜在线路进出建筑物防雷区边界处设置适配的信号线路浪涌保护器。

2 消防控制中心与本地区或城市“119”报警指挥中心之间联网的进出线路端口应装设适配的信号线路浪涌保护器。

3 消防控制室内所有的机架（壳）、金属线槽、安全保护接地、浪涌保护器接地端均应就近接至等电位连接网络。

4 区域报警控制器的金属机架（壳）、金属线槽（或钢管）、电气竖井内的接地干线、接线箱的保护接地端等，应就近接至等电位接地端子板。

5 火灾自动报警及联动控制系统接地应采用共用接地系统。接地干线应采用铜芯绝缘线，并宜穿管敷设接至本楼层或就近的等电位接地端子板。

8.4 雷电综合预警业务系统建设

利用雷电综合监测资料和项目区域站的资料，以及多普勒雷达实时监测资料和国家卫星遥感数据，建立雷电诊断分析，给出0~2小时雷电活动发生概率、重点区域和特殊用户雷电危险度等级、雷电活动区域移动趋势

预警以及雷电发生概率的精细化落区和专业预警预报产品，拓宽防雷减灾服务领域，进一步提升防雷技术服务水平。

第九章 建设过程防雷安全指导意见

9.1 施工宜避开雷暴高发期和时段

可根据雷暴活动的季节性变化合理安排工程施工进程，将潜在雷击危险显著降低。雷雨天气期间不宜安排室外高空作业，雷暴期间严禁人员靠近未接地或接地不良的金属管道、钢构架等金属物，建议设立警示牌。

9.2 施工现场采取防雷措施

9.2.1 一般要求

(1) 施工现场办公板房、宿舍板房等应有直击雷防护设施，防雷接地电阻应不大于 10Ω 。

(2) 设于施工现场的交流电源工作接地、各类施工机械电气保护接地、防雷接地宜共用接地装置，接地电阻应不大于 4Ω ，可利用建筑基础接地装置作为此共用接地装置。

(3) 可利用塔吊等作为施工区直击雷防护的接闪装置，但必须保证塔吊的接地可靠，塔吊可直接连接在建筑物预留电气接地端子上，每台塔吊连接点不少于两处，连接线宜采用 -40×4 热镀锌扁钢或 $\phi 12$ 热镀锌圆钢。

(4) 塔吊等各机械设备可利用其金属结构体作为防雷引下线，无需另外敷设引下线，但应保证其良好电气连接导通性。

(5) 大型钢模板和设备就位后应及时与预留的接地端子等电位连接；施工过程中使用的临时支撑就位后，应及时与预留接地端子等电位连接。

(6) 施工现场临时用电主干线宜采用屏蔽电缆，屏蔽层两端应做等电位连接和接地处理。

(7) 塔吊等重要设备电力电缆、信号控制电缆应采用屏蔽电缆，屏蔽层两端应做等电位连接和接地处理；当采用非屏蔽电缆时，应穿金属管敷

设，金属管两端应做等电位连接和接地处理

(8) 施工现场临时变压器高、低压侧宜分别安装高、低压电源避雷器。同时对配电线路安装2~3级电源SPD：第一级安装在电源线路进入主体建筑入口处；第二级安装在各用电区的配电箱处；塔吊等重要机械设备前端配电箱内，设置第三级SPD。各级SPD的参数可参考报告第三章雷击过电流估算的相关内容，保护水平 U_p 需满足设备耐压水平要求。

(9) 设立防雷安全警示标志；为防止跨步电压导致人身伤亡事故，应在环形接地装置处设立警示标志。

(10) 施工单位应制定防雷安全管理制度，并对施工人员进行防雷安全知识培训。

9.2.2 外围雷电拦截

将建设施工期防雷措施分为A型、B型、C型三类。

A型：永久性防雷与接地的装置，即“全厂红线周围设置数座35米永久性避雷塔”，目的在于从外围拦截雷电，减少雷电在单元区域施工期和使用期落雷的概率；

B型：由临时性成为永久性的防雷与接地的装置，即：各建设项目单位从进场建设的临时防雷设施（高架灯、塔吊、开挖深基坑的避雷设施、临时办公工棚等其他临时避雷设施及避险场所），过渡到永久性使用的防雷与接地的装置（如高炉、烟囱、厂房等）；

C型：道路临时性防雷与接地的装置，即“利用场地10kV高压线路添加（含电源避雷器、接闪器、引下线和接地装置）设施”作为雷电防护措施，并补全架空线未覆盖的路段，对全厂道路范围的活动人员的直接雷防护。



9.3 人身安全防护指导意见

(1) 遇有雷雨天气，特别是当雷闪临近时，管理人员应当提醒、督促施工人员马上停止高空、吊装、电焊等可能带来雷电危险的作业，进入安全区域。施工人员应该及时躲入建筑物内，不宜停留在无防雷设施的车库、车棚，也要尽量远离楼房、大树和高压线等物体，防止遭受直接雷击。

(2) 雷闪时，不宜在空旷的位置使用手机、对讲机等各类通讯工具。临时办公区、生活区建筑物内的人员不要拨打或接听架空线缆引入的固定电话，尽量配备和使用具有免提功能的电话。

(3) 雷雨天气施工时，施工人员不要肩扛金属材料和潮湿的木料在建筑物外围或建筑物顶部、高处行走。

(4) 雷闪时，处于临时建筑物内的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。处于装修阶段的场馆，施工人员也不要触及上述金属体。

(5) 外围人员雷雨时不要在孤立的大树、烟囱、塔吊、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伤害。

(6) 已施工完成的钢筋混凝土结构下方、工地的建筑物属于防雷的相

对安全区域。雷闪时所有施工现场的外部人员应及时躲避到钢筋混凝土结构的下方或临时建筑物内部，建筑物或钢构架顶部及外侧施工人员应迅速撤离到大型钢构架的内部，并逐步撤到下方。

(7) 高空作业人员应在雷闪到达前撤离塔吊机。

第十章 生产期防雷安全指导意见

10.1 提高气象灾害监测预警能力

(1) 依托湛江气象局已建设的气象灾害综合探测系统，做好灾害性、关键性、转折性重大天气监测和预警，以及极端天气气候事件的预测，逐步实现台风、暴雨、雷电等重大灾害性天气临近预警。

(2) 建立雷电综合预警业务系统。由湛江市气象局天气预报系统、东海岛新一代天气雷达系统、广东省雷电预警业务平台共同组成的雷电综合预警业务系统。雷电综合预警业务系统指利用闪电定位、雷达、卫星、地面电场和探空等观测资料，通过多资料融合应用、统计分析、临近外推及数值预报等技术手段对有可能发生或已经发生闪电的区域进行识别、跟踪和预报预警。系统对接广东省雷电监测预警预报平台，对雷电电场进行检测、信号处理、判断、告知，雷电发生的预报，可以提前1~3天，雷电预警可以提前0.5小时、1小时、3小时、6小时，或具有针对性的预报、预警信息可以预约时间或时段。在雷暴来临之前，该系统可实时发布雷电监测信息和防范提示至企业监控平台、单位负责人、安全管理员手机，以便及时应对雷雨天气，合理安排生产作业。

10.2 防雷装置管理

(1) 根据《广东省防御雷电灾害管理规定》要求，大型建设工程、重点工程、爆炸和火灾危险环境、人员密集场所等项目应当进行雷电灾害风险评估，以确保公共安全。

(2) 新建、改建、扩建建（构）筑物、场所和设施应当按照有关标准和规定安装雷电防护装置，并与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

(3) 已安装雷电防护装置的单位应当做好雷电防护装置的日常维护工

作。

(4) 雷电防护装置应当每年检测一次，爆炸和火灾危险环境场所的雷电防护装置应当每半年检测一次。

(5) 建议采用新技术对雷电防护装置的工作状态和有效性进行在线实时监测。

10.3 气象灾害科普与研究

(1) 提高全民防灾避灾意识和避险自救能力，确保生命安全，避免或者减轻灾害损失，将防险避灾科普嵌入企业文化。

(2) 建议与气象部门、高等院校共同开展易燃易爆场所、高新产业等防御雷电灾害新技术研究。

10.4 加强雷电灾害防御标准建设

积极推动企业防御雷电灾害标准体系建设，制定企业相关雷电防护标准，增强气象灾害防御的科学性、规范化、标准化。

结束语

本报告针对雷击损害类型和成因，估算了建筑物可能出现的人身伤亡风险和设备损害风险，为科学而经济的实施雷电防护提供了依据，针对性地提出了有助减低雷电损害风险的设计指导意见，以避免或最大限度降低雷击造成的损失。

应当声明的是：考虑到经济与技术结合的最大效益，国际国内防雷标准和规范均规定了建筑物允许的落雷频度和可接受最大危险度，报告所涉及的防雷设计指导意见和防雷安全指导建议正是基于上述值给出的，超出标准和规范规定值的雷电损坏是可能存在的。

湛江市气象公共安全技术支持中心

2023年4月

附件：专家组评审意见

《湛江奋勇高新技术产业开发区域雷电灾害风险评估报告》

专家评审意见

2023年4月13日，湛江市气象局组织召开了《湛江奋勇高新技术产业开发区域雷电灾害风险评估报告》（以下简称：《报告》）专家评审会，与会专家（名单附后）听取了编制单位（湛江市气象公共安全技术支持中心）关于《报告》编制情况的介绍，审阅了《报告》，经质询和讨论，形成以下意见：

1. 《报告》根据相关法律法规、标准、规范编制，依据充分。
2. 《报告》针对湛江奋勇高新技术产业开发区域项目，评价了雷电灾害环境，评估了雷电风险等级，提出了雷电灾害风险的控制措施。
3. 《报告》可作为湛江奋勇高新技术产业开发区域项目规划设计、施工建设和运营管理参考。

专家一致同意《报告》通过评审，并建议按照专家意见修改完善。

附件：《湛江奋勇高新技术产业开发区域雷电灾害风险评估报告》
评审专家组成员名单

专家组组长：徐新鹏

2023年4月13日

附件:

《湛江奋勇高新技术产业开发区区域雷电灾害风险评估报告》

评审专家组成员名单

姓名	单位	职务/职称	签名
徐启腾	广东省气象防灾技术服务中心	高工	徐启腾
邓宇翔	广东省气象防灾技术服务中心	高工	邓宇翔
刘晓云	中科炼化	主管	刘晓云
梁伟汉	江门市气象局	高工	梁伟汉
杨大贤	中国石化广东湛江石油分公司	注册安全工程师	杨大贤
黄小丹	阳江市气象局	高工	黄小丹
陈文婷	雷州市气象局	工程师	陈文婷