



T/CECS XXX- 202X

中国工程建设标准化协会标准

城市轨道交通防雷装置应用技术规程

Technical specifications for application of lightning protection in
urban rail transit operation and management

（征求意见稿）

中国 XX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

城市轨道交通防雷装置应用技术规程

Technical specifications for application of lightning protection in
urban rail transit operation and management

T/CECS xxxx- 20xx

主编单位： 浙 江 意 诚 检 测 有 限 公 司
批准单位： 中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会
实施日期：

中国 XX 出版社

202X 北 京

前 言

《城市轨道交通雷电防护装置检测技术规程》（以下简称本规程）是根据中国工程建设标准化协会《关于印发《2024 年第一批协会标准制订、修订计划》的通知》（建标协字[2024]15 号）的要求进行编制，编制组经广泛调查研究、验证实验，认真参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 5 章，主要内容包括：总则、术语、基本规定、基本方法、检测内容及技术要求、附录。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会检测与试验专业委员会归口管理，由浙江意诚检测有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请反馈至浙江意诚检测有限公司（地址：浙江省金华市金东区金武北街 318 号，邮编：321000，邮箱：XXXXX）。

主编单位：浙江意诚检测有限公司，建研建硕（北京）科技有限公司

参编单位：

.....

主要起草人：白燕侠

主要审查人：XXX

目 次

1 总 则	1
2 术语	2
3 基本规定	5
3.1 检测分类	5
3.2 检测周期及时间	5
3.3 检测机构和人员要求	6
3.4 设备要求	6
3.5 作业安全要求	7
3.6 检测程序	7
4 基本方法	9
4.1 防雷类别、雷电防护等级及雷电防护区的划分	9
4.2 检测方法	10
5 检测内容及技术要求	12
5.1 建（构）筑物	12
5.2 供电系统	14
5.3 通信系统	22
5.4 信号系统	23
5.5 综合监控系统	26
5.6 车站机电设备	27
5.7 运营控制中心	32
5.8 车辆与车辆基地	33
附录 A 城市轨道交通雷电防护装置材料规格及安装工艺技术要求	35
附录 B 城市轨道交通各部位接地电阻和等电位连接过渡电阻允许值	39
附录 C 接地电阻的测量	42
附录 D 过渡电阻的测量方法	44
附录 E 雷电电磁脉冲磁场的测量	48
附录 F 等电位连接示意图	52
用词说明	55

引用标准名录 56

附：条文说明 58

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms	2
3	Basic Requirements	5
	3.1 Inspection Categories, Items and Objects	5
	3.2 Inspection Cycle and Timing	5
	3.3 Requirements for Testing Institutions and Personnel	6
	3.4 Equipment Requirements	6
	3.5 Requirements for Operational Safety	7
	3.6 Testing Procedures	7
4	Basic Methods	9
	4.1 Classification of Lightning Protection Categories, Lightning Protection Levels and Lightning Protection Zones	9
	4.2 Testing Methods	10
5	Testing Content and Technical Requirements	12
	5.1 Buildings and Structures	12
	5.2 Power Supply System	14
	5.3 Communication System	22
	5.4 Signal System	23
	5.5 Integrated Monitoring System	26
	5.6 Station Electromechanical Equipment	27
	5.7 Operation Control Center	32
	5.8 Vehicles and Vehicle Depots	33
	Appendix A: Technical Requirements for Material Specifications and Installation Processes of Lightning Protection Devices in Urban Rail Transit	35
	Appendix B: Allowable Values of Grounding Resistance and Equipotential Bonding Transition Resistance for Various Parts of Urban Rail Transit	39
	Appendix C: Measurement of Grounding Resistance	42
	Appendix D: Measurement Methods of Transition Resistance	44

Appendix E: Measurement of Lightning Electromagnetic Pulse Magnetic Field	48
Appendix F: Schematic Diagram of Equipotential Bonding	52
Explanation of wording	55
List of quoted standards	56
Addition:Explanation of provisions	58
References	55

1 总 则

1.0.1 为规范和促进防雷装置在城市轨道交通中的应用，提高防雷装置的性能，做到设计、施工应符合安全可靠、先进成熟、经济合理，并遵循统筹规划、系统优化、综合防护的原则，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于城市轨道交通雷电防护装置的检测与维护和新、改、扩建城市轨道交通防雷装置的防雷设计、施工和检测。

1.0.3 城市轨道交通雷电防护装置的工程设计、施工和施工质量验收、检测除应符合本文规定外，尚应符合国家、行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 城市轨道交通 urban rail transit

采用专用道导向运行的城市公共客运交通系统，包括地铁、轻、单、有电车、自动导向轨道、市域快速轨道系统。

2.0.2 地铁 metro

在城市中修建的快速、大运量、用电力牵引的轨道交通。列车在全封闭的线路上运行，位于中心城区的线路基本设在地下隧道内，中心城区以外的线路一般设在高架桥或地面上。

2.0.3 轻轨 light rail

中运量城市轨道交通。低等级轻轨线路基本敷设在地面上，设有无隔离的专用车行道，有的地段车行道允许人车混行；高等级轻轨为全封闭线路，除有的有少量地面线外，有的局部或全部线路设在高架桥或地下隧道内。轻轨有钢轮钢轨制式和胶轮及专用混凝土轨道制式。

2.0.4 车辆基地 vehicle base

以车辆停放、检修和日常维修为主体，集中车辆段（停车场）、综合维修中心、物资总库、培训中心及相关的的生活设施等组成的综合性生产单位。

2.0.5 运营管理 operation management

运营单位实施的行车组织、客运组织与服务、设施设备运行与服务、车站与车辆基地管理、土建设施运行与维护、安全管理等工作。

2.0.6 运营控制中心 operation control center (OCC)

调度人员通过使用通信、信号、电力监控、环境与设备监控、火灾自动报警、自动售检票等中央级系统操作终端设备，对城市轨道交通全线/多线列车、车站、区间、车辆基地及其他设备的运行情况进行集中监视、控制、协调、指挥、调度和管理的工作场所。

2.0.7 接触网 contact wire system

向电动车辆输送牵引电能的供电网。分为架空接触网和接触轨两种形式。

2.0.8 架空接触网 overhead contact wire system

由架空接触导线或其他导电体及悬挂装置组成的接触网。分柔性接触网和刚

性接触网。

2.0.9 接触轨 contact rail system

敷设在走行轨一侧通过受流器为电动车辆授给电能的导电轨系统。由导电轨、绝缘支架或绝缘子、绝缘防护罩、辅件等组成。

2.0.10 牵引变电所 traction substation

主要给牵引系统供电的变电所。

2.0.11 馈电线 feeder cable

接触网与牵引变电所之间的电连接线。

2.0.12 回流轨 return current rail

供牵引电流返回牵引变电所负极的金属导电轨。

2.0.13 回流线 return conductor

辅助牵引电流回牵引变电所的附加导线。

2.0.14 架空地线 overhead ground wire

连接接触网所有非带电金属体的接地保护线。

注：当考虑防雷作用时，需使其对接触网导线构成有效屏蔽。

2.0.15 避雷器 surge arrester

用于保护电气设备免受高瞬态过电压危害并限制续流时间也常限制续流幅值的一种电器。本术语包含运行安装时对于该电器正常功能所必需的任何外部间隙，而不论其是否作为整体的一个部件。

注 1：避雷器通常连接在电网导线与地线之间，然而有时也连接在电器绕组旁或导线之间。

注 2：避雷器有时也称为过电压保护器，过电压限制器（surge divider）。

2.0.16 电涌保护器 surge protection device; SPD

用于限制瞬态过电压和泄放电涌电流的电器。

注 1：电涌保护器至少包含一个非线性的原件。

注 2：SPD 具有适当的连接装置，是一个完整的部件。

2.0.17 综合接地系统 integrated earthing system

将城市轨道交通沿线的建筑物/构筑物的接地装置以及牵引供电、电力、通信、信号、信息、综合监控、自动售检票、火灾自动报警系统等电气设备和金属物，通过贯通地线实现等电位连接的接地系统。

注：不包括不接地的直流牵引供电系统中道床杂散电流收集网和排流端子。

2.0.18 贯通地线 run-through earthing cable

沿城市轨道交通线路敷设的共用地线。

注：用于各种建筑物/构筑物接地装置、电气设备、金属构件等的等电位连接。

2.0.19 接地端子 earthing terminal

将保护导体、等电位连接导体和工作接地导体与接地装置连接的端子或接地排。

2.0.20 高架结构 elevated structure

地铁和轻轨工程中的区间桥梁、高架车站中的轨道梁及其支承结构。

3 基本规定

3.0.1 城市轨道交通雷电防护装置的安装工程应与其有关的主体工程同步设计、施工、验收。

3.0.2 城市轨道交通雷电防护装置的设计应对项目所在地区的地形、地质、气象等条件进行调查，合理确定雷电防御措施。

3.1 检测分类、项目及对象

3.1.1 城市轨道交通雷电防护装置检测应按表 3.1 的规定确定。

表 3.1 城市轨道交通雷电防护装置检测分类

类别	描述
验收检测	城市轨道交通雷电防护装置新建、改建、扩建施工过程中的检测和投入使用前的检测。
定期检测	城市轨道交通雷电防护装置投入使用后按规定周期进行的检测。

3.1.1 检测项目应包括接闪器、引下线、接地装置、磁屏蔽、防雷等电位连接、电涌保护器（SPD）、避雷器等防护措施。

3.1.1 检测对象应包括地铁和轻轨的建（构）筑物、高架结构、地下结构、供电系统、通信系统、信号系统、综合监控系统、车站机电设备、给水和排水系统、自动售检票系统、火灾自动报警系统、环境与设备监控系统、乘客信息系统、运营控制中心、车辆和车辆基地等的雷电防护装置。

注：关于供电系统中的高压部分，本规程只对接触网避雷器和架空地线火花间隙接地的检测进行规定，高压电的其余内容按照相关规范进行检测。

3.2 检测周期及时间

3.2.1 投入使用后的城市轨道交通雷电防护装置检测间隔时间应为 12 个月，具有爆炸危险环境的场所雷电防护装置检测间隔时间应为 6 个月。

3.2.2 检测介入环节，雷电防护装置检测介入环节应符合表 3.2.2 规定。

表 3.2.2 雷电防护装置检测介入环节

序号	检测类别	检测介入环节
1	建（构）筑物雷电防护装置施工跟踪检测	a) 在土方挖至标底时，应进场进行土壤电阻率的测试； b) 接地体安装完毕，浇混凝土或砌砖、填土覆盖前； c) ±0 层、接地体、接地线或预留接地端子（包括等电位、电气及其它预留接地端子）连接安装完毕

		浇混凝土或砌砖、填土覆盖前； d) 地上站站台天面接闪器安装完毕，浇混凝土或砌砖、填土覆盖前。
2	建（构）筑物雷电防护装置、设备系统雷电防护装置验收检测	a) 建（构）筑物的雷电防护装置安装完毕，项目投入使用前； b) 整个设备的雷电防护装置安装完毕后，进行设备与预留接地之间的电气连接情况进行检查测试； c) 各类电涌保护器安装完毕后，对安装工艺等进行现场检测。
3	建（构）筑物雷电防护装置定期检测和设备系统雷电防护装置定期检测	项目投入使用后： a) 一般建（构）筑物、系统、设备、装置：每年定期进行一次； b) 易燃易爆或危险品场所的建（构）筑物、装置、设备：每半年定期检测一次。

3.2.3 新建线路的检测宜在热滑试验之前，其中接地电阻检测应在车站主体结构完成之后且电气设备安装之前进行。

3.2.4 检测宜在冻土解冻后、雷雨季节到来前进行，不应在雷、雨、雪中或雨、雪后立即进行。

3.2.5 对供电系统雷电防护装置的检测应在城市轨道交通系统触网停电期间进行；对信号、通信和监控等系统雷电防护装置的检测不应影响城市轨道交通系统的正常运行；检测时，应避免列车通过时产生的干扰对测试结果的影响。

3.3 检测机构和人员要求

3.3.1 检测机构应具备国务院气象主管机构或省、自治区、直辖市气象主管机构颁发的雷电防护检测相应资质。

3.3.2 检测机构应建立健全的技术、质量、安全管理制度。

3.3.3 检测人员应具有雷电防护装置检测能力，现场检测人员不应少于 3 人。

3.4 设备要求

3.4.1 检测设备宜符合 GB/T 32938 中的相关规定

3.4.2 检测设备的精度应满足检测标准的要求。

3.4.3 检测设备应按要求进行检定、校准或比对，并在检定或校准有效期内，且处于正常状态。

3.4.4 检测时及检测后发现仪器设备有故障，应对已测数据进行分析，对检测结果的有效性作出判定。如能确定故障时点，换用仪器设备从故障点之后继续检测，若无法确定故障时点，应重新进行检测。

3.5 作业安全要求

3.5.1 检测人员在作业时应严格遵守受检单位的安全制度、安全操作规程及其他相关规定。

3.5.2 现场检测时，应具备保障人员和设备安全的防护措施。

3.5.3 登高作业和高空作业应遵守相关作业安全规定。检测仪表、工具等应妥善放置，防止坠落伤人。设备的引线应避开电力线路，并注意避开或不影响行人和车辆。

3.5.4 在检测配电房、变电所、配电柜等涉电场所的雷电防护装置时，应穿绝缘鞋、戴绝缘手套，使用绝缘垫，以防电击。

3.5.5 在检测爆炸和火灾危险环境的雷电防护装置时，严禁带火种，不得使用手机，严禁吸烟，严禁穿底部带金属的鞋子，严禁随意敲打金属物，不应穿化纤服装，应使用防爆型仪器设备和不易产生火花的工具。

3.6 检测程序

3.6.1 检测流程宜符合 GB/T 32938 中的相关规定

3.6.2 检测前应了解受检单位的基本情况以及受检单位及附近的历史雷电灾情，并查阅以前的检测记录。

3.6.3 检测前应对使用仪器、仪表和测量工具进行检查，保证设备完好、功能正常，并在计量检验有效期内。

3.6.4 现场检测时应严格按照相关规范进行检测。检测数据经复核无误后，填入原始数据记录。原始记录应有检测人员、校核人员和受检单位现场负责人等人员的签名。

3.6.5 现场检测结束后应对检测数据进行整理，编制检测报告。

3.6.6 检测机构在检测完成后应及时出具检测报告。检测报告经检测人员、审核人员、授权签字人签字，并加盖检测机构公章、检测专用章后生效。

3.6.7 检测中发现的问题提出整改建议。

3.6.8 整改后的雷电防护装置应进行复检，并出具复检报告。

4 基本方法

4.1 防雷类别、雷电防护等级及雷电防护区的划分

4.1.1 根据建（构）筑物的重要性、使用性质、发生雷电事故的可能性和后果，对其进行防雷分类。其中，第二、三类轨道交通建（构）筑物的防雷分类宜按表 4.1.1 的规定确定。

表 4.1.1 第二、三类轨道交通建（构）筑物防雷分类

防雷分类	建（构）筑物
第二类防雷建筑物	城市轨道交通的高架、地面车站和运营控制中心用房及信号系统所在建筑物； 预计雷击次数 >0.05 次/a 的区间段的高架建（构）筑物和运营设施。
第三类防雷建筑物	地下车站的出入口罩棚、风亭、冷却塔和膨胀水箱等； 预计雷击次数 >0.01 次/a，且 ≤ 0.05 次/a 的区间段的高架建（构）筑物和运营设施。

注：与轨道交通相配套的车辆段、综合用房、主变电所和停车场等其他建筑物应根据 GB 50057 中相关规定进行防雷分类。

4.1.2 雷电防护等级应符合下列规定：

1 建筑物电子信息系统的雷电防护等级应按 GB 50343 中的相关规定确定，但至少不低于 B 级。

2 轨道交通电子信息设备应根据使用性质、重要性以及发生雷击后影响铁路运输的严重程度按下列规定划分防雷等级：

- 1) 涉及行车安全及严重影响运输效率的设备为 A 级，包括调度指挥中心、大型计算中心、枢纽通信站、信号设备机房等内的电子信息设备。
- 2) 影响运输效率的设备为 B 级，包括中小型通信站、计算中心的设备、灾害监测设备、车辆安全防范预警设备、车号自动识别设备等。
- 3) 除 A、B 级以外为 C 级。

4.1.3 信号系统雷电防护区的划分应按照 GB 50343 中相关规定将需要防雷击电磁脉冲的环境划分为 LPZ0A、LPZ0B、LPZ1……LPZ_{n+1} 区，各防雷区定义见 GB 50343。

4.2 检测方法

4.2.1 检测方法应包括查阅资料、检查观感质量、测量技术参数和分析处理。

4.2.2 查阅资料指查阅雷电防护装置的隐蔽工程记录、施工记录、设计图纸、竣工图纸、产品质量文件、运行维护记录或第三方报告等档案资料来获取相关信息，输出为查阅结果。查阅资料应符合下列规定：

1 所查阅的资料必须确认其可靠性、真实性、有效性。在检测过程中，如现场施工与设计施工图纸不一致，应要求施工单位提供有效的设计修改单。

2 对于爆炸和火灾危险场所所查阅的安全评价报告、环境评估报告及雷击风险评估报告等，应确定其是否有效。

4.2.3 观察检查指对雷电防护装置的观感质量进行现场检查，输出为观察结果。对各种雷电防护装置及措施的外露部分观感质量应进行检查并记录，并判断其是否符合要求。观察检查应检查雷电防护装置的结构、类型、形状、安装位置、型号参数、连接工艺、线路敷设、焊接工艺、防腐措施等情况。

4.2.3 测量技术参数应符合下列规定：

1 依据标准和规范，使用规定的仪器，在规定的环境条件下，按照相应程序对雷电防护装置的特性进行测试，其输出为测量数据。

2 运用各种仪器、仪表设备对雷电防护装置各种技术参数进行测量、读数、记录。测量的技术参数包括长度量值、电涌保护器参数、接地电阻值、过渡电阻值、环路电阻值、土壤电阻率等。

3 长度量值应用经纬仪、测距仪、卷尺、游标卡尺、测厚仪等测量。

4 电涌保护器的泄漏电流 I_{le} 、压敏电压 VV 和绝缘电阻应采用防雷元件测试仪或绝缘电阻测试仪测量。

5 接地电阻值用接地电阻测试仪测量，并按 GB 50057 中的规定将测量值换算为冲击接地电阻。当车站地网面积超过 2000m^2 ，宜使用大地网接地电阻测试仪进行检测并修正数据。测量方法应按照附录 C 进行测量。

6 过渡电阻值用等电位测试仪、毫欧表、万用表等测量，测量方法应按照附录 D 进行测量。

7 环路电阻值用环路电阻测试仪测量。

8 土壤电阻率用土壤电阻率测试仪或多功能接地测试仪测量。

4.2.4 对测量的各种技术参数应进行分析、计算并判断其是否符合要求。测量数据为最终结果的可直接与标准要求比对并判定,测量数据不能直接与标准要求比对的需计算导出最终结果。需要进行计算导出结果的项目主要有年预计雷击次数、保护范围、间隔距离、冲击接地电阻值、电涌保护器冲击电流值等。

4.2.5 抽检法应符合下列规定:

1 在对所有被检对象检查观感质量的基础上,对于同一类型项目的测试,可参考 GB/T 21431 的相关规定,通过随机抽取一定比例样本测试的方法来反映整体情况。

2 对易燃易爆或危险品场所的建(构)筑物、装置、设备,应对所有雷电防护装置的测点进行检测。

3 对非易燃易爆或非危险品场所的建(构)筑物、系统、装置、设备,测点的抽取应按易受雷击点优先,分散均匀,避免集中的原则。以下测点的抽样比例不宜少于总量的 30%。

1) 接闪器、引下线、接地装置的接地电阻同类测点;

2) 系统、装置、设备的等电位连接同类测点。

4 防侧击措施的金属门窗、栏杆过渡电阻值或接地电阻值的测试抽样比例不少于 30%。

5 型号相同的电涌保护器的压敏电压、泄漏电流、绝缘电阻的测试抽样比例不少于 10%。

6 幕墙、金属屋面等接地电阻值的测试按 10m×10m 网格抽测。

7 对抽样检测中的不符合项进行复检时,复检的抽样比例宜不少于测点总量的 60%。

5 检测内容及技术要求

5.1 建（构）筑物

5.1.1 建（构）筑物的一般要求应符合下列规定：

1 地面车站、高架车站以及建于地面上的变电所和车辆基地的车间、仓库，直击雷防护应按 GB 50057 的相关规定设计。当达不到第三类防雷分类时应按第三类防雷分类设计。

注：本规程中的“高架车站”包含站桥合一的车站。

2 地面车站、高架车站、变电所和车辆基地等建于地面上的建（构）筑物应利用钢筋混凝土结构中的钢筋或钢结构的金属框架作为接闪器、引下线，利用基础钢筋网作为综合接地系统，并应符合 GB 50057 中的相关规定。

3 利用屋面金属板作为接闪器时，应符合 GB 50057 中的相关规定。金属板下有易燃物品且之间没有阻燃隔离时，应按 GB 50601 中的相关规定，采用双层金属板或在单层金属板与易燃物之间设置水泥板/石膏板。

4 屋面为光伏方阵时，直击雷防护应符合 GB/T 36963 中的相关规定。各连接点的冲击接地电阻应符合附录 B 的要求。

5 未处于高杆灯、金属塔架保护范围的车辆基地露天作业场区，宜设置接闪杆或接闪网。接闪杆的滚球半径按 100m 计算。

6 未处于建筑物/构筑物保护范围内设施的直击雷防护应符合以下措施：

- 1) 突出屋面的孤立金属物（如通风管口），高度不超过屋面 0.3m 或上层长度不超过 2.0m 或面积不超过 1.0m²，可不另加装接闪器。突出屋面的非金属物，高度不超过接闪器形成的平面 0.5m 以上，可不另加装接闪器。
- 2) 室外设置的摄像头、发射器、探测器、通信基塔等弱电和供电设备、设施未处于建筑物/构筑物或金属箱等物体的接闪器保护范围内时，应设置外部防护装置。
- 3) 光缆线路应符合 GB 51158 中相关规定。

7 屋面明敷的接闪带应平正顺直，拐弯处的弯角应大于 90°，固定支架间距应符合 GB 50057 中的相关规定。

8 防雷接地装置的冲击接地电阻应符合附录 B 的要求。在土壤电阻率大于 $1000\ \Omega \cdot \text{m}$ 的地区可适当增大，但不应大于 $30\ \Omega$ 。综合接地系统时的接地电阻应按 50Hz 电气装置的接地电阻确定，并符合 GB 50054 中的相关规定。

9 基础钢筋网的接地电阻达不到 5.1.1 条第 8 款的规定时，应增设人工接地体。人工接地体和基础钢筋网之间应采用不少于两根连接导体在不同位置电气连接。

10 防接触电压和旁侧闪络电压要求应符合 GB/T 21431 中的相关规定。

11 专设的接闪器，引下线、接地装置和等电位连接导体的材料和规格应符合 GB 50057 中的相关规定。

5.1.2 地上建（构）筑物应符合下列规定：

1 依据建（构）筑物的防雷分类，对其接闪器、引下线和接地装置应分别依据 GB/T 21431 中的相关规定进行检测。

2 检测室外和建（构）筑物顶部的大型金属构件的接地及与防雷接地的等电位连接情况、等电位连接的过渡电阻值和接地电阻值。对于处在爆炸和火灾危险环境的第二类防雷建筑物中的弯头、阀门和法兰盘等金属连接物，应测量其连接处的过渡电阻，过渡电阻值应符合附录 B 的要求。

3 测试车站出入口的栏杆、自动扶梯、电梯、冷却塔、雨棚等不带电金属构件的等电位连接和接地情况，等电位连接的过渡电阻值和接地电阻值应符合附录 B 的要求。

4 建筑物的伸缩缝和沉降缝的跨接应符合 GB 50601 中的相关规定。

5 沿线建（构）筑物独立接地装置的接地电阻宜先符合自身接地电阻要求后，再与综合接地系统进行等电位连接。

6 对电气和电子设备的检测应包括磁屏蔽、等电位连接、接地等防护装置。等电位连接示意图见附录 F。

5.1.3 地下结构应符合下列规定：

1 地下车站及地下跟随变电所的接地装置应采取外引接地极，绝缘引入的方式敷设。

2 采用钢筋混凝土结构的地下结构，如钢筋网满足 GB 50057 中的相关规定可作为自然接地体。在施工过程中测量作为自然接地体的钢筋连接处的过渡电阻，过渡电阻值应符合附录 B 的要求。

3 应检查地线或引下线穿越防水层处的防渗水措施。

4 地下站以站台层外露结构钢筋或预埋件（如扶梯固定点）、其他类型站以机房 LEB 为基准点，使用 500V 级电压的绝缘电阻表测量屏蔽门（或安全门）、端头门与基准点之间的绝缘电阻值，应大于 $0.5\text{M}\Omega$ 。

5.1.4 高架结构应符合下列规定：

1 检测区间桥梁、高架车站中的轨道梁及其支承结构的接地装置，接地电阻值应符合附录 B 的要求。

2 应检查引下线或接地极在布设过程中的防止沉降、膨胀、伸缩、减振等措施。

3 城市轨道交通桥梁应按 GB/T 31067 的相关规定执行。

4 高架区间应检测桥梁两侧金属声屏障，无声屏障区域应检测其桥梁两侧护板上设置通长的镀锌圆钢。

5 检测高架区间防雷接地贯通地线与桥面上的强弱电设备的雷电防护装置、金属件等与之可靠连接，过渡电阻值应符合附录 B 的要求。

6 应检查在轨旁电源箱内或在室内防雷分线柜处设置的电涌保护器。

7 测试信号机、AP 箱盒等金属设备的外壳与沿区间弱电电缆支架贯通敷设的弱电接地扁钢电气导通和接地情况，过渡电阻值和接地电阻值应符合附录 B 的要求。

5.2 供电系统

5.2.1 牵引系统应符合下列规定：

1 牵引网

1) 测量架空接触网在隧道两端、为地面接触网供电的隔离开关处、空旷的地面区段与高架桥段避雷器的间隔，间隔不应大于 300m；测试避雷器的接地电阻，其接地电阻值不应大于 10Ω ；

- 2) 接触网设置的架空地线应每隔 200m 设置火花间隙, 测量火花间隙的距离, 并测试接地电阻, 其接地电阻值不应大于 10Ω ;
- 3) 应检查接触网避雷器的运行状态;
- 4) 检测裸露导体的接地情况, 所有与大地不绝缘的裸露导体均应接至接地极。固定支持架空接触网的非带电金属体, 应与接触网的架空地线相连接。接触网的架空地线应接至牵引变电所的接地装置, 连接处的过渡电阻值应符合附录 B 的要求;
- 5 检测金属电缆支架的接地装置, 其接地电阻值应符合附录 B 的要求;
- 6 直流牵引供电系统应为不接地系统, 不需测试接地电阻;
- 7 当利用走行轨做牵引网回流时, 轨道应进行绝缘处理, 不需测试接地电阻。

5.2.2 变电所应符合以下规定:

1 主变电所、电源开闭所、牵引变电所, 降压变电所, 混合变电所, 牵引供电系统、动力照明供电系统和电力监控系统等所在建筑物的接闪器, 引下线, 接地装置应分别符合 5.1.2 的规定。

2 变电所的接地装置还应符合以下要求:

- 1) 利用车站结构钢筋或者变电所结构基础钢筋等自然接地极作为接地装置;
- 2) 宜敷设以水平接地极为主的人工接地网;
- 3) 自然接地装置和人工接地网之间采用不少于两根导体在不同地点相连接;
- 4) 接地装置至变电所的接地线的截面, 不小于系统中保护地线截面的最大值;
- 5) 自然接地极与人工接地网的接地电阻值应能分别测量, 其接地电阻值应符合附录 B 的要求。

3 检测变电所高压柜、低压柜、整流开关柜、整流柜、电源柜等设备的接地电阻, 接地电阻值应符合附录 B 的要求。

4 检测接地母排的材料规格，检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定，安装工艺应符合附录 B 的规定。测试其接地电阻和过渡电阻，接地电阻值和过渡电阻应符合附录 B 的要求。

5 检查配电变压器低压侧配电系统的接地型式，当采用系统时，供配电系统宜采用 TN-S 系统接地型式。

6 线缆应符合下列要求：

1) 检测电力电缆与通信，信号电缆的敷设间距，应符合 GB 50311 中的相关规定。

2) 检测线缆支架接地，接地电阻值应符合附录 B 的要求。

5.2.3 架空接触网的直击雷防护措施应符合下列规定：

1 雷击大地的年平均密度宜优先采用广域雷电地闪监测系统获得的城市轨道交通线路沿线的监测/测试数据。

2 雷击大地的年平均密度不小于 4 次/（ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ）的地区，架空接触网宜设置接闪线/架空地线。接闪线/架空地线应利用架空接触网支撑架（杆塔、门型架构）引至支架基础地梁，防雷接地装置的冲击接地电阻不宜大于 10Ω 。

3 架空接触网无防雷措施，如雷击跳闸率大于 4 次/（ $100\text{km} \cdot \text{a}$ ），接闪线应按 TB/T 3551 中的相关规定架设。

4 采用带回流线供电形式的架空接触网时，地上区段可利用高架桥梁体的金属体（如高架桥挡板顶金属框架、金属杆等）作为接闪器，利用桥墩结构钢筋作为引下线，利用桥墩桩基内钢筋作为接地体。接地体的冲击接地电阻不宜大于 10Ω 。

5 设有综合接地系统的城市轨道交通，在线路轨道 20m 范围内及距接触网带电体 5m 范围内，电力装置的接地装置均应接至综合接地系统。

6 高架区间及高架车站的架空接触网的腕臂绝缘子上宜装设带串联间隙的避雷器。

5.2.4 接触轨的直击雷防护措施应符合下列规定：

1 利用轨道为回流轨时，高架桥梁体应与桥墩及大地绝缘，可利用桥面上与回流轨的绝缘挡板顶部的金属框架、架设信号的金属杆、测风设备的金属杆等

金属物作为接闪杆，电气连接后引至桥墩的钢结构或引至敷设于桥墩缝隙处的专设引下线接地；

2 供电系统宜采用铜材接地线，并与固定支持接触轨的非带电金属体相连，接至综合接地系统：

3 带电部分与接地体之间的最小净距应符合 CJJ/T 198 中的相关规定。

4 接触轨在声屏障或栏杆保护范围以外的区域，应根据不同区段采取以下相应的防雷措施：

1) 隧道外馈线上网点处设避雷器；

2) 在地面、高架、出入段线、试车线每隔约 200m 设一处避雷器，双线区段交错布置，雷害严重区段适当减少避雷器间隔距离；

3) 高架区段利用桥墩做自然接地体，接地电阻应符合附录 B 的要求；

4) 高架段架空地线上下行设置避雷器的支柱通过电压均衡器接地。

5 应检测下列位置避雷器的接地电阻：

1) 隧道口、露天区段接触轨上网隔离开关处，地面及高架桥区段回流箱前；

2) 地铁地上区段架空接触网，隧道口电源隔离开关处，为地上线接触网供电的电源隔离开关处；

3) 单轨在正、负极接触轨上的地面高架区段，地面高架区段馈线上网处；

4) 市域快速轨道系统绝缘锚段关节和交流制电分相处，长度 2000m 及以上隧道口处，馈线上网处，架空供电线转电缆安装处。

5.2.5 动力与照明应符合下列规定：

1 检查低压配电系统的接地系统，宜与其它系统共用接地装置，共用接地装置的接地电阻值应符合接入设备中要求的最小值。

2 检查配电室、变电室内的接地母线以及机电设备的接地端子等金属物的等电位连接情况，其材料和规格应符合附录 A 的要求。

3 检测交、直流配电屏、电源柜等的外壳、金属框架的接地情况，其接地电阻应符合附录 B 的要求。

4 当电气装置采用接地故障保护时，检测每个单体建筑物的总等电位的连接情况。

5.2.6 供电设备应符合下列规定：

1 设计时应综合考虑直击雷防护和雷击电磁脉冲防护措施，从接闪器、引下线、接地装置、屏蔽、等电位连接、综合布线和 SPD 等多方面对城市轨道交通供电系统设备进行防护。

2 根据线路所处地区发生雷电的频率把供电设备防雷措施分为 A、B、C 三个等级，各个等级应采取的不同防雷措施符合表 5.2.6 规定。

表 5.2.6 供电设备防雷措施分类表

等级	位置及设备	防雷措施
A	变电所、高架段接触网设备、地下线路与地面线路的过渡区域接触网	1. 采用架空地线作为接闪器 2. 采用的接地网接地电阻宜按 $\leq 0.5 \Omega$ 3. 采用 PCE 等电位连接 4. 设置铜或铝的屏蔽网格 5. 使用 SPD 装置标称放电电流不小于 60kA，接触网的 SPD 标称放电电流 1.5kA/10kA
B	车站牵引、跟随所设备房	1. 采用的接地网接地电阻宜按 $\leq 1 \Omega$ 2. 采用 PCE 等电位连接 3. 使用 SPD 装置标称放电电流不小于 20kA
C	车站弱电设备房、地下段接触网设备	1. 采用的接地网接地电阻宜按 $\leq 1 \Omega$ 2. S 型等电位连接方式 3. 使用 SPD 装置标称放电电流不小于 20kA

3 在参照 GB 50057 中明确需装电涌保护器外，对易受雷击高架段接触网锚段加装氧化锌避雷器及电压均衡器，确保不大于 200m 范围内设置一处避雷器。

5.2.7 电涌保护器

1 城市轨道交通的 SPD 应符合 GB/T 18802.11、GB/T 18802.21 和 QX/T 10.1 的相关规定。在低压配电系统中 SPD 选择应符合 QX/T 10.2 的相关规定；在电信和信号网络中 SPD 选择应符合 QX/T 10.3 的相关规定；在建筑光伏一体化（BIPV）中的 SPD 应符合 GB/T 18802.31 的相关规定。SPD 的检测方法和技术要求应符合 GB/T 21431 的相关规定。

2 城市轨道交通的 SPD 应具备：

1) 能承受预期通过的部分雷电流和电涌电流；

- 2) 最大持续运行电压 (U_c) 应符合表 5.2.7-1 的要求;
- 3) 有效电压保护水平 ($U_{p/f}$) 低于被保护设备绝缘耐冲击电压额定值 (U_w) , U_w 按表 5.2.7-2 取值;
- 4) 失效保护功能。

表 5.2.7-1 低压配电系统中不同接地型式的 SPD 的 U_c 最小值

SPD 连接位置	低压配电系统的接地型式				
每一相线与中性线间	TT 系统	TN-C 系统	TN-S 系统	引出中性线的 IT 系统	无中性线引出的 IT 系统
每一相线与 PE 线间	$1.15U_0$	不适用	$1.15U_0$	$1.15U_0$	不适用
中性线与 PE 线间	$1.15U_0$	不适用	$1.15U_0$	U_0	相间电压
每一相线与 PEN 线间	U_0	不适用	U_0	U_0	不适用
每一相线与中性线间	不适用	$1.15U_0$	不适用	不适用	不适用
注: 1 U_0 是低压系统相线对中性线的标称电压, 即相电压 220V。 2 U_0 或相间电压故障下最坏的情况无需考虑 15% 的允许误差。					

表 5.2.7-2 低建筑物内 220/380V 配电系统中设备额定冲击耐受电压

设备位置	特殊需要保护的 设备	用电设备	配电线路和最后分 支线路的设备	电源处的设备
耐冲击电压的类别	I 类	II 类	III 类	IV 类
额定冲击耐受电压 U_w	1.5	2.5	4	6
注: 1 I 类—需要瞬态过电压限制到特定水平的设备, 如含有电子电路的设备, 计算机及含有计算机程序的用电设备。 2 II 类—如家用电器 (不含计算机及含有计算机程序的家用电器的) 手提工具、不间断电源设备 (UPS) 整流器或类似负荷。 3 III 类—如配电盘、断路器, 包括电缆、母线、分线盒、开关或插座等的布线系统, 以及应用于工业设备和永久接至固定装置的固定安装的电动机等的一些其他设备。 4 IV 类—如电气计量仪表、一次线过流保护设备或波纹控制设备。				

3 电涌保护器 (SPD) 的检测除应按照 GB/T 21431 中相关规定进行外, 还应检查下列位置的电源 SPD:

- 1) 进出防雷建筑物的低压电气系统和智能化系统的线路;
- 2) 控制中心、车辆基地、配电室或总配电室;

- 3) 通信设备室、信号设备室、综合监控室、消防控制室、UPS 机房、信息管理机房、车站控制室自动售检票室、站台门控制室、电扶梯机房、水泵房等场所的配电箱或防雷箱；
- 4) 区间摄像机、天线等信号及通信设备的控制箱众修箱；
- 5) 室外冷却塔、灯具、灯箱、微灯等设备的配电箱。

4 信号网络中 SPD 选择应符合下列规定：

- 1) 位于 LPZ 交界处，SPD 选型及放电电流值应符合表 5.2.7-3 的规定。

表 5.2.7-3 在 LPZ 交界处使用的 SPD 选型及放电电流值

LPZ		LPZ0~LPZ1	LPZ1~LPZ2	LPZ2~LPZ3
电涌值范围	10/350 μ s (D1) 10/250 μ s (D2)	0.5kA~2.5kA	—	—
	1.2/50 μ s (C1/C2) 8/20 μ s (C1/C2)	—	0.5kV~10.0kV 0.25kA~5.0kA	0.5kV~1.0kV 0.25kA~0.5kA
	10/700 μ s (B2) 5/320 μ s (B2)	4.2kV 0.1kV	0.5kV~4.0kV 0.025kA~0.1kA	—
注：LPZ2~LPZ3 一栏的电涌值范围，包括典型的最低耐受能力要求，并可安装于 ITE 内部。电信和信号网络中的 SPD 按试验类型分类（见 GB/T 18802.21 中表 3）。				

- 2) 信号网络中 $U_{p/f}$ 小于被保护设备的 $0.8U_w$ ， U_c 大于被保护设备的 $1.2U_w$ 。

5 传输性能应符合下列规定：

- 1) 插入数字传输系统的 SPD，系统误码率（EBR）小于或等于 1×10^{-9} ；
- 2) 插入损耗小于或等于 0.5dB，标明最大传输速率或频率使用范围；
- 3) 标明 SPD 指定端子之间的电容值；
- 4) 标明 SPD 的最大数据传输速率或最大传输频率。

5.2.8 供电系统中避雷器

1 城市轨道交通的避雷器选择应符合下列要求：

- 1) 交流无间隙金属氧化物避雷器符合 GB/T 11032 的相关规定；
- 2) 交流 1kV 以上架空输电线路和配电线路的带外串联间隙金属氧化物避雷器符合 GB/T 32520 的相关规定；

3) 高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器符合 GB/T 22389 的相关规定；

4) 放电间隙符合 GB/T 33588.3 的相关规定。

2 除牵引变电所、降压变电所、分区所、开闭所的每组母线上宜设置避雷器外，下列位置应设置避雷器。

1) 6kV~35kV 牵引变电所每段母线和每路架空进出线(除架空地线外)。

当采用电缆引入/引出时，在电缆与架空地线间设置避雷器。有电缆段的架空线，避雷器设置在电缆头附近。电缆的金属外护层与避雷器接地端相连接；

2) 牵引变电所馈电线首端；

3) 地上直流牵引变电所与相邻的地下直流牵引变电所的每路直流馈线、负极母线及回流电缆处；

4) 地上电力变电所配电变压器高压侧；

5) 电压等级为 6kV 及以上的动力电缆与架空线连接处；

6) 车辆段（停车场）、高架桥区段等露天地段的馈电线电缆两端；

7) 埋地引入线路进线处。

3 雷击大地的年平均密度不小于 4 次/ ($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) 的地区，接触网的下列位置应设置避雷器：

1) 分相和站场端部绝缘锚段关节；

2) 长度不小于 2000m 的隧道两端、长度不小于 10000m 且雷击大地的年平均密度为 1.5 次/ ($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) ~4 次/ ($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) 的隧道两端；

3) 供电线上网点；

4) 架空供电线转电缆连接处；

5) 需要重点防护的设备。

4 架空接触网在空旷的地上区段、高架桥区段每隔 200m 处应设置避雷器。避雷器的冲击接地电阻不宜大于 10Ω 。

5 架空接触网上网隔离开关与牵引变电所连接，牵引变电所一侧应安装避雷器。

6 绝缘子或接触网其他绝缘部件有保护要求时，可采用并联间隙措施；并联间隙应与被保护的绝缘子并联安装。

7 隧道口、地下线路出入口和地上区段接触轨上网隔离开关处应设置避雷器；地上和高架桥区段接触轨回流箱前应设置避雷器；工频接地电阻值不应大于 $10\ \Omega$ 。

注 1：绝缘锚段关节为接触悬挂中相邻两个锚段互相衔接的部位。

注 2：并联间隙为具有限定雷击闪络路径、疏导转移工频电弧功能的一种防雷保护装置。

5.2.9 杂散电流接地

1 检测供电系统中电气装置和设施的外露可导电部分除有特殊规定外的接地电阻，其接地电阻值应符合附录 B 的规定。

2 检测直流牵引供电系统的接地电阻，应符合附录 B 的规定。

3 检测作为牵引网回流装置的走行轨的接地电阻，应符合附录 B 的规定。

4 必要时，检测配电变压器低压侧中性点的接地材料，并测试接地电阻值，其接地电阻值应符合附录 B 的规定。

5 必要时，检测接地装置至变电所接地线的材料和规格，接地线的截面不应小于系统中保护地线截面的最大值。

6 检查变电所接地装置的防接触电压和跨步电压措施，应符合 GB/T 50065 中和 GB 50057 中的相关规定。

5.3 通信系统

5.3.1 通信系统的防雷检测包括无线通信、公务电话、专用电话、视频监控、广播系统、时钟系统、民用通信系统和公安通信系统等系统以及机房的雷电防护装置。

5.3.2 检查通信系统设备的接地装置及接地线的材质、规格、安装位置，测量其接地电阻，应符合 GB 50057 和 GB 50343 的要求；车站、控制中心与车辆基地宜采用综合接地方式，车辆基地也可采用分设接地方式；综合接地电阻值应符合附录 B 的要求。

5.3.3 检查进出车站、变电所及各建筑物线缆的屏蔽方式和等电位连接情况，应符合下列要求：

- 1 屏蔽电缆的屏蔽层两端在雷电防护区交界处做等电位连接并接地；
- 2 非屏蔽电缆敷设在金属管道或线槽内，金属管道和线槽的两端在雷电防护区交界处做等电位连接并接地；
- 3 光缆的金属接头、金属护层、金属防潮层、金属加强芯等，在进入建筑物处接地；
- 4 线缆的配线架、线缆屏蔽体、金属线槽等在雷电防护区交界处或进出室内处做等电位连接。

5.3.4 检测电缆、通信线缆、光缆等与防雷引下线和地线的距离，电缆、通信线缆、光缆等与防雷引下线和地线的最小净距应大于 GB 50343 中的相关规定。

5.3.5 检测天馈线的雷电防护装置，应符合下列要求：

- 1 室外天线在接闪器保护范围内；
- 2 馈线的防雷地线、接地体与连接线等焊接处做防腐处理，测试连接处的过渡电阻，过渡电阻值应符合附录 B 的要求。

5.3.6 检测接地引下线、室内接地线、工作地线及保护地线等与设备的连接情况，其材料和规格应符合附录 A 的要求。

5.3.7 检查设备室内的机柜外露可导电部位的等电位连接情况，应就近接至机房的局部等电位接地端子板上，局部等电位连接形式应满足 GB 50057 中的相关规定。测量设备与等电位连接端子之间各接触点的过渡电阻，过渡电阻值应符合附录 B 的要求。

5.4 信号系统

5.4.1 信号系统的防雷检测包括列车自动监控系统、列车自动防护系统、列车自动运行系统、车辆基地信号系统以及控制室、信号设备室、车辆调度室等信号机房及内部设备的雷电防护装置。

5.4.2 检测信号系统的雷电防护装置，应符合下列要求：

- 1 高架和地面线的室外信号设备及与隧道以外连接的室内信号设备具有防雷电波侵入措施。检测室外信号设备的金属箱、盒壳体良好接地。室内信号设备室的接地端子，接地电阻值应符合附录 B 的要求；

2 引入信号机房的交流电源应当实施多级电涌保护器保护，第一级保护设置在 LPZ1 区的配电盘后，第二级保护设置在电源屏电源引入侧，第三级保护设置在计算机终端电源稳压器或 UPS 电源前，第四级保护设置在特殊重要的信号设备电源端口；

3 城市轨道交通信号电缆引入信号机房时，应采用防雷型分线柜（盘），并在分线柜（盘）处集中设置城市轨道交通信号系统设备 SPD。测试防雷分线柜接地端、各信号 SPD 与其设备金属外壳或室内等电位连接端子板之间过渡电阻；

4 配电屏和电源开关柜内 SPD 的状态完好。SPD 能够将雷电过电压抑制在被保护设备的冲击耐压水平之下，并不影响被保护设备的正常工作；

5 SPD 与被保护设备之间的连线最短，防护电路的配线与其它配线分开，其它设备不借用 SPD 的接线端子；

6 当采用综合接地时，各设备的接地接入综合接地系统弱电母排；

7 出入信号系统设备室的电缆采用屏蔽电缆，在室内对电缆屏蔽层一端接地，并在引入口设金属护套；

8 车载信号设备的地线经车辆接地装置接地。

5.4.3 信号机房所在建筑物的外部雷电防护装置应符合以下规定：

1 建筑物顶部应设置接闪网，接闪网应覆盖整个建筑物顶部，网格尺寸不大于 $3\text{m} \times 3\text{m}$ ；

2 建筑物顶面上不得设置接闪杆；

3 建筑物的外部雷电防护装置还应符合 GB 50057 中的相关规定。

5.4.4 屏蔽及综合布线应符合以下规定：

1 信号机房应采用建筑物本身“自然部件”构成格栅屏蔽，网孔宽度典型值为 5m ，构件内应有箍筋连接的钢筋或成网状的钢筋，主钢筋的直径不得小于 12mm ，或其截面积总和不应小于一根直径 12mm 钢筋的截面积。钢筋与钢筋间用土建施工的绑扎法、螺丝、对焊或搭接连接，构件间应电气贯通。

2 信号机房内，应预留用于连接各种接地的连接母线和相应的连接端点，该母线还应与雷电防护区（LPZ0）的磁屏蔽层连接到一起。

3 信号机房应采用建筑物本身“自然部件”构成格栅屏蔽时，机房内设备要放置在室内雷电电磁脉冲干扰相对弱的位置，安装在距离屏蔽层安全距离至少0.5m的空间，不应靠近有格栅的墙体。

4 信号机房的信号线缆与其他管线的间距应符合 GB 50343 中的相关规定。

5 信号机房的信号线缆和电力线缆应在各自的接地屏蔽槽内布放，同一接地屏蔽槽隔内分离隔离布放或穿金属密封电缆管敷设。信号电缆与电力电缆的间距应符合 GB 50343 中的相关规定。

6 进出室外信号设备的金属箱（盒）的电源线、信号线应采用屏蔽电缆，屏蔽电缆的钢带护套宜在信号机房侧可靠接地，非屏蔽电缆应采取防护措施。

7 信号机房防雷击电磁脉冲屏蔽还应符合设计要求和 GB/T 21431 中的相关规定。

5.4.5 等电位连接应符合以下规定：

1 控制中心、车站和车辆基地的信号机房内信号系统设备（含服务器、工作站、终端和网络设备、接口设备等设备）的等电位连接应符合 GB 50343 中的相关规定。

2 地面设备（含信号机、地面计算机设备、信息传输设备、列车位置检测设备、轨道旁定位设备、ATO 接口设备等设备）的金属箱（盒）壳体接地应满足以下要求：

1) 路基区段，地面设备金属箱（盒）壳体接地体应就近和贯通地线连接，金属箱（盒）壳体宜设置独立的接地体；

2) 高桥上，地面设备金属箱（盒）壳体接地体应就近和桥上预留的接地端子栓接后与贯通地线连接。内有 SPD 的信号箱（盒）壳体内应设专用接地端子（板），供 SPD 接地，不应用钢轨代替接地体。

3 各类等电位接地端子板的设置应符合 GB 50343 中的相关规定。检查车站、车辆段及停车场内信号室防雷分线柜的设置。测试防雷分线柜接地端、各信号 SPD 与其设备金属外壳或室内等电位连接端子板之间过渡电阻。

4 各类等电位接地端子板之间的连接导体宜采用多股铜芯导线或铜带，连接导体最小截面积应符合 GB 50343 中的相关规定。

5 各类等电位接地端子板宜采用铜带，其导体最小截面积应符合 GB 50343 中的相关规定。

6 电子信息系统涉及多个相邻建筑物时，宜采用 2 根水平接地体将各建筑物的接地装置等电位连接；多个信号机房位于同一建筑物内时，应设置信号机房专用垂直接地干线，接地干线的设置应符合 GB 50343 中的相关规定。

7 信号机房设备的接地线不应从接闪带、防雷引下线直接引入。

8 进入信号机房的金属管线（含金属管、电力线、信号线）等电位连接应符合 GB 50343 中的相关规定。

9 信号机房所有的接地都共用一组接地装置时，工作地、保护地、屏蔽地、防雷地的接地应使用各自独立的接地端子，共地不同线。

10 当采用综合接地时，接地装置的接地电阻应符合附录 B 的要求。车辆基地内未设综合接地系统或局部未设时，信号设备可分散接地，分散接地电阻不应大于 4Ω 。

11 信号机房内部所有金属走线架（含金属布线槽、电缆托架）应电气贯通，相互间宜用铜芯线栓接并与接地端子板就近栓接。

12 信号机房内机柜应并列布置，机柜、布线槽或走线架宜为 E 字形。

5.4.6 信号系统电力牵引区段信号设备防护检测应符合下列规定：

1 当信号干线屏蔽电缆引入室内时，其屏蔽层应接地；

2 距接触网带电部分小于 5m 的信号设备，其金属外壳应接地；

3 信号设备的金属外缘距回流线的距离应大于 1m，当距离不足 1m 时，应加绝缘防护，并不得小于 0.7m。

5.5 综合监控系统

5.5.1 检测综合监控系统的雷电防护装置，应符合下列要求：

1 检测综合监控系统设备室内的综合接地箱，综合监控系统应接入综合接地系统弱电母排，接地电阻值应符合附录 B 的要求；

2 检测计算机设备的接地情况，计算机设备宜根据相应产品或系统的要求一点接地或浮空。现场机柜应接地，接地电阻值应符合 GB 50057 和 GB 50343 的相关要求；

3 检测综合监控系统设备室内等电位连接情况，检测机柜、地板支架与等电位端子板的连接情况。检测连接导体的材料和尺寸，测试其过渡电阻；

4 检测综合监控系统的户外供电线路、信号线路的屏蔽和等电位连接情况。

5.5.2 检测接地装置和等电位连接的材料应符合下列规定：

1 系统内服务器柜、网络柜、门禁机柜以及静电地板支架与局部等电位端子板连接材料；

2 图形显示装置、自动报警系统、消防通信设备等的各类电气和电子设备的金属外壳、机柜机架与接地装置连接材料。检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定。

5.5.3 检测系统中电气和电子线路上的金属管（槽）、线缆屏蔽层，铠装层、机柜、地板支架与等电位端子板的等电位连接，检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定，过渡电阻应符合附录 B 的要求，安装工艺应符合附录 A 的规定。

5.6 车站机电设备

5.6.1 机房（包括各功能性机房）应符合下列规定：

1 检查机房位置宜设置在建筑物低层中心的 LPZ1 区及其后续雷电防护区。

2 检测机房屏蔽金属网格。屏蔽效果应符合被保护设备厂商的规定，当无法获取该规定时，应符合附录 E 的规定。LPZ1、LPZ2 或后续防护区内磁场强度值小于设备最大耐受电磁场干扰的参数，按照 GB 50057 中的相关规定计算，设备与屏蔽网格的安全距离不小于 1.0m。

注：电子设备耐磁场强度额定值为 100A/m，300A/m，1000A/m。

3 检测以下机房构件的电气连接，过渡电阻应符合附录 B 的要求。

1) 外墙内的钢筋之间；

2) 金属门、窗和金属屏蔽网与建筑物内主筋。

4 检测机房内设置的等电位连接带材料的规格和安装工艺，检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定。

5 检测机房内金属设施及其他金属构件的等电位连接，检测检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定。

注：检测机房内金属设施包括设备机架、金属操作台、UPS 及电池金属外壳，金属线槽、配线架、防静电地板支架，金属门窗、隔断等。

6 检测进、出机房的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层的等电位连接，检测检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定，过渡电阻应符合附录 B 的要求，安装工艺应符合附录 A 的规定。

7 检测机房内设备距外墙及柱、梁的距离不应小于 1m。

8 检测机房的配电线路、信号线路应安装的 SPD，SPD 的设置应符合下列规定：

- 1) 防雷等级为 A、B 级的电子信息设备，在总配电柜或配电箱前端设置第一级 SPD；在电源设备前端设置第二级 SPD；在电子设备的电源引入前端设置第三级 SPD。若设备自身已采取过电压防护措施，可不再设置第三级 SPD。
- 2) 防雷等级为 C 级的电子信息设备，在总配电柜或配电箱前端设置第一级 SPD；在电源设备前端设置第二级 SPD；末级 SPD 的残压应小于被保护装置的耐压；各级 SPD 冲击电流和标称放电电流参数应符合 GB 50343 中的相关规定。

9 检查机房的接地线应从共用接地装置引至机房局部等电位连接端子板，检测其材料规格、安装工艺，测试其电气连接。

5.6.2 火灾报警系统（FAS）应符合下列规定：

1 FAS 的防雷检测包括消防设备和控制室机房的雷电防护装置。

2 检测火灾报警系统的接地电阻值，在符合附录 B 的规定的同时还需符合下列要求：

- 1) 采用综合接地装置时，接地电阻值 $\leq 1\Omega$ ；
- 2) 采用专用接地装置时，接地电阻值 $\leq 4\Omega$ 。

3 接地装置连接的材料：检测以下系统的各类电气和电子设备的金属外壳、机柜、机架与接地装置连接的材料：

- 1) 中央综合监控系统；
- 2) 车站/车辆基地综合监控系统等。

3) 检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定。

4 等电位连接：检测系统中电气和电子线路上的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层的等电位连接，检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定，过渡电阻应符合附录 B 的要求。设备的金属外壳、机柜、机架、金属管、槽、SPD 接地端等的等电位连接情况，均应以最短的距离与等电位连接网络的接地端子连接。

5.6.3 站台屏蔽门应符合下列规定：

1 检测站台门设备室设备接入综合接地系统的情况，其接地电阻值应符合附录 B.1 的要求。

2 接地装置连接的材料：应检测以下系统（除屏蔽门门体外）的各类电气和电子设备的金属外壳、机柜、机架与接地装置连接的材料：

- 1) 内控系统；
- 2) 监控系统；
- 3) 供电电源等。
- 4) 检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定。

3 检测屏蔽门与列车车厢的等电位连接，当与钢轨有联接需求时，等电位连接要求应符合下列规定：

- 1) 站台门与走行轨采用单点等电位连接，门体与走行轨连接的过渡电阻值应符合附录 B 的要求；
- 2) 正常情况下人体可触及的站台门金属构件与车站结构绝缘，每侧站台门保持整体等电位。门体与车站结构之间的绝缘电阻，绝缘电阻不应小于 $0.5M\Omega$ ；
- 3) 当站台门与车厢无等电位需求时，站台门应通过接地端子接地，其接地电阻值应符合附录 B.1 的要求；
- 4) 滑动门与门体其他结构的等电位连接情况，其过渡电阻值应符合附录 B.2 的要求；
- 5) 系统中电气和电子线路上的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层的等电位连接，其过渡电阻值应符合附录 B.2 的要求。

5.6.4 给排水系统应符合下列规定：

1 检测系统所在建（构）筑物的直击雷防护装置，应符合本规程中第 5.1.1 条、5.1.2 条的规定。

2 应检测以下装置的各类电气和电子设备的金属外壳、机柜、机架等的等电位连接：

- 1) 生活、生产给水装置；
- 2) 排水装置；
- 3) 污水装置；
- 4) 雨水装置；
- 5) 消防装置的泵机；
- 6) 远程控制装置；
- 7) 自动控制装置；
- 8) 车站控制室显示装置等。

9) 检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定，过渡电阻应符合附录 B 的要求，安装工艺应符合附录 A 的规定。

3 检测机房配电线路、信号线路 SPD 安装情况，检查监控及报警系统信号 SPD 的安装位置、型号、主要性能参数。

4 检测输水管道电气连通性能、接地及穿越防雷区部分就近接入等电位连接端子或等电位的连接带，安装工艺应符合附录 A 的规定，接地电阻、过渡电阻应符合附录 B 的要求。

5.6.5 自动售检票系统应符合下列规定：

1 检测自动售检票系统的接地电阻值，应符合附录 B 的规定。

2 检测自动售检票系统的各类电气和电子设备的金属外壳、机柜、机架与接地装置连接的材料应符合 GB 50057 中和附录 A 的相关规定。

3 检测系统中以下装置的等电位连接情况：

- 1) 电气和电子线路上的金属管（槽）、接线盒、分线盒、线缆屏蔽层、铠装层的等电位连接，检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定，过渡电阻应符合附录 B 的要求，安装工艺应符合附录 A 的规定；

- 2) 自动售检票室内机柜、设备外露可导电部分与等电位端子板之间应进行可靠的电气连接；
- 3) 自动售票机、进出站闸机、各类自助终端设备的金属外壳、机柜、金属管（槽、桥架）等应就近进行可靠的电气连接；
- 4) 自动售检票系统的工作地线接入综合接地系统情况。

5.6.6 环境与设备监控系统应符合下列规定：

- 1 检测系统内控制器和计算机设备等的各类电气和电子设备的金属外壳、机柜、机架与接地装置连接的材料，应符合 GB 50057 中的相关规定。
- 2 检测环境与设备监控系统机柜及外露导电金属物体的接地情况，其接地电阻值应符合附录 B 的要求。
- 3 检测环境与设备监控系统的控制器和计算机设备的功能性接地和保护性接地，接地电阻值应符合附录 B 的要求。
- 4 检测系统中电气和电子线路上的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层的等电位连接，检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定，过渡电阻符合附录 B 的要求，施工工艺应符合附录 A 的规定。
- 5 检测电缆的屏蔽和等电位连接情况，电缆的屏蔽层宜采用一点接地，接地电阻值应符合附录 B 的要求。

5.6.7 通风、空调和采暖系统应符合下列规定：

- 1 检测系统所在建（构）筑物、室外风亭、机组、水箱、冷却塔等的直击雷防护装置，检测结果应符合本规程中第 5.1.1 条、5.1.2 条的规定。
- 2 检测通风、空调、供暖系统中设备的金属外壳、框架、电气和电子线路上的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层的等电位连接，检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定，过渡电阻符合附录 B 的要求，施工工艺应符合附录 A 的规定。
- 3 检测通风、空调和采暖系统不带电金属部分的接地情况，其接地电阻值、过渡电阻值应符合附录 B 的要求。
- 4 检测输水管道电气连通性能、接地及穿越防雷区部分就近接入等电位连接端子或等电位的连接带，施工工艺应符合附录 A 的规定，接地电阻、过渡电阻应符合附录 B 的要求。

5.6.8 站内综合服务系统应符合下列规定：

- 1 检测系统内客运设备（电梯设备、轮椅升降机等）、乘客系统、门禁系统等各类电气和电子设备的金属外壳、机柜、机架与接地装置连接的材料规格、安装工艺，应符合附录 A 的规定，测试其电气连接。
- 2 检测系统中电气和电子线路上的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层的等电位连接，检测结果应符合 GB 50057 中的相关规定，过渡电阻应符合附录 B 的要求，安装工艺应符合附录 A 的规定。
- 3 检测系统线路上所安装的 SPD，应符合本规程第 5.2.7 条的规定。
- 4 检测自动扶梯、电梯的不带电金属部分的接地情况，其接地电阻值符合附录 B 的要求。测试自动扶梯动力回路和电气安全回路，其绝缘电阻不应小于 $0.5\text{M}\Omega$ 。扶梯桁架和电气设备的金属外壳应与保护地线（PE 线）可靠连接。
- 5 检测乘客信息系统的接地情况，应采用综合接地，其接地电阻值符合附录 B 的要求。检查电缆的屏蔽情况，当采用屏蔽电缆时，其屏蔽层宜采用一点接地。
- 6 检测门禁系统的接地情况，应接入综合接地网，其接地电阻值应符合附录 B 的要求。

5.7 运营控制中心

- 5.7.1** 建（构）筑物的检测应按 5.1.2 进行，建（构）筑物的防护类别不应低于第二类防雷建筑物。
- 5.7.2** 检测控制中心的接地情况，控制中心应设统一的强、弱电系统综合接地极，总的接地电阻值应符合附录 B 的要求，并应满足各系统总的散流要求。
- 5.7.3** 检测地面建筑物机房内的屏蔽措施，应加装铜或铝金属屏蔽网格。
- 5.7.4** 检测机房内设备距离屏蔽网格的安全距离，安全距离应满足 GB 50057 中的相关规定。
- 5.7.5** 运营控制中心和车站控制室的等电位连接应符合以下措施：

- 1) 运营控制中心的电子系统宜采用 M 型等电位连接网络，电气设备外露导电部分和装置外导电部分应就近连接到 M 型等电位连接网络；

2) 信息技术设备 (ITE) 机房、监控设备室、消防控制室的电力线路和信号传输线应采用屏蔽电缆或穿钢管敷设。电缆屏蔽层或钢管至少应在两端接地, 并在防雷区 (LPZ) 交界处等电位连接; 当电子系统要求只在一端等电位连接时, 应采用两层屏蔽电缆或穿钢管敷设, 并在外屏蔽层或钢管两端接地, 在 LPZ 交界处等电位连接。其他连接的基本形式应符合 GB 50057 中的相关规定。

5.7.6 检测设备的等电位连接质量、连接导体的材料和规格。应检测下列部位与等电位连接端子之间的连接情况:

- 1 接地网引出线;
- 2 配电柜 (盘) 内部的 PE 排及外露金属导体;
- 3 UPS 及电池柜金属外壳;
- 4 设备机架、金属操作台;
- 5 大型不带电金属物;
- 6 线缆的金属屏蔽层;
- 7 光缆屏蔽层和金属加强筋;
- 8 金属线槽、桥架;
- 9 配线架;
- 10 防静电地板支架;
- 11 金属门、窗、隔断等。

5.7.7 验收检测时, 宜对磁屏蔽装置进行检测。检测要求和方法应符合 GB/T 21431 中的相关规定。

5.8 车辆与车辆基地

5.8.1 车辆应符合下列规定:

- 1 车辆电气设备金属外壳或箱体应采取保护性接地措施。
- 2 检测各车厢间的电气连接, 过渡电阻值应符合附录 B. 2 的要求。
- 3 检查、检测车辆 SPD 配置及运行情况, 应符合附录 A. 2 的规定。
- 4 检测驾驶室内部的设备系统与车体连接的材料, 应符合附录 A. 1 的规定。

5.8.2 车辆基地应符合下列规定:

1 检测车辆段及综合基地内建筑物的外部雷电防护装置,应按 GB/T 21431 中的相关规定执行。

2 检测变电所、低压配电室、信号设备室、通信设备室、综合监控室、列检库、停车库、维修库、办公楼、污水处理等处的接地和等电位连接情况。

3 检测车辆段与综合基地间的贯通地线。

4 当车辆基地内未设综合接地系统或局部未设时,设备可分散接地,其接地电阻值应符合附录 B.1 的要求。

5.8.3 车辆与轨道应符合下列规定:

1 检测车体与轨道间的电气连接,过渡电阻应符合附录 B.2 的要求。

2 检测车辆 SPD 运行状态,以及 SPD 测试报告、连接材料、规格等应符合附录 A 的要求。

3 检查车辆上能被触及的不带电金属部件的等电位连接情况,测试其过渡电阻,过渡电阻值应符合附录 B.2 的要求。

4 检测每节车体之间的等电位连接线,等电位连接线应符合附录 A 的要求。

5 检测轨道接地电阻,其冲击接地电阻值应符合附录 B.1 的要求,当利用走行轨做牵引网回流时,轨道对防护人身安全的检测应包括防触电、闪络、跨步电压等措施和装置。

附录 A 城市轨道交通雷电防护装置材料规格及安装工艺技术 要求

表 A.1~A.3 分别给出了城市轨道交通及其附属设施设备所涉及接闪器、引下线、接地装置及雷击电磁脉冲防护装置的材料规格及安装工艺技术要求。

表 A.1 外部雷电防护装置材料规格及安装工艺技术要求

检测项目	检测内容	技术要求
接闪器	接闪杆	接闪杆宜采用热镀锌圆钢或钢管，其直径应符合下列规定： ——杆长 1m 以下，热镀锌圆钢不应小于 12mm,钢管不应小于 20mm； ——杆长 1m~2m,热镀锌圆钢不应小于 16mm,钢管不应小于 25mm； ——杆长 2m 以上，热镀锌圆钢不应小于 20mm,钢管不应小于 40mm。 接闪杆的接闪端宜做成半球状，其弯曲半径最小宜为 4.8 mm,最大宜为 12.7 mm。
	接闪带（网）	接闪带（网）宜采用热镀锌圆钢或扁钢，圆钢直径不应小于 12mm,扁钢截面积不应小于 50mm ² ,厚度不应小于 2.5mm。
		接闪带（网）宜采用明敷，固定支架的高度不宜小于 150mm。接闪带（网）采用圆钢时，其固定支架的间距不宜大于 1000mm；接闪带（网）采用扁钢时，其固定支架的间距不宜大于 500 mm。
		接闪带在转角处应按建筑造型弯曲，其夹角应大于 90° ,弯曲半径不宜小于圆钢直径的 10 倍、扁钢宽度的 6 倍。接闪带通过建筑物伸缩沉降缝处，应将接闪带向侧面弯成半径为 100mm 弧形。
	金属屋面	车站、车场等建筑宜利用其金属屋面作为接闪器，并应符合下列规定： ——板间的连接应是持久的电气贯通，可采用铜锌合金焊、熔焊、卷边压接、缝接、螺钉或螺丝连接。 ——金属板下面无易燃易爆物品时，铅板的厚度不应小于 2mm,不锈钢、热镀锌铜、钛和铜板的厚度不应小于 0.5mm，铝板的厚度不应小于 0.65mm,锌板的厚度不应小于 0.7 mm。 ——金属板下面有易燃物品时，不锈钢、热镀锌铜和钛板的厚度不应小于 4 mm,铜板的厚度不应小于 5mm,铝板的厚度不应小于 7mm。 ——金属板无绝缘被覆层。 注：薄的油漆保护层或 1mm 厚沥青层或 0.5mm 厚聚氯乙烯层均不属于绝缘被覆层。
引下线	自然引下线	建（构）筑物的钢梁、钢柱、消防梯等金属构件或幕墙的金属立柱宜作为引下线，各部件之间均应电气贯通，可采用铜锌合金焊、熔焊、卷边压接、缝接、螺栓连接；其截面积应符合 GB 50057 的有关规定。 区间高架梁利用其墩柱基础作为接地体时，应利用墩柱及盖梁内至少两根不小于 Φ16 主钢筋作为引下线，连接处应焊接，采用机械连接的主钢筋应跨接焊接。引下线在地面以上 0.3~1.8m 处设置测试点，隐蔽安装的测试点应装设接地符号标识。

引下线	专设引下线	专设引下线宜采用热镀锌圆钢或扁钢，沿建筑物外墙表面明敷，并应经最短路径接地，建筑外观要求较高时可暗敷。 明敷引下线：圆钢直径不应小于 8mm，扁钢截面积不应小于 50mm ² ，厚度不应小于 2.5mm。 暗敷引下线：圆钢直径不应小于 10mm，扁钢截面积不应小于 80mm ² 。		
		专设引下线宜采用明敷，固定支架的高度不宜小于 150mm,专设引下线采用圆钢时，其固定支架的间距不宜大于 1000 mm；专设引下线采用扁钢时，其固定支架的间距不宜大于 500 mm。		
		专设引下线不应少于 2 根，并沿建筑物周围均匀布设，其平均间距应符合以下规定： ——第二类防雷建筑物不大于 18m； ——第三类防雷建筑物不大于 25m。		
接地装置	自然接地体	建筑物利用基础内的钢筋作为接地体时，应符合 G8 50057 的有关规定。 轨道桥梁利用桥墩基础作为接地装置时，应符合 GB/T 31067 的有关规定。		
	人工接地体	人工接地体宜采用热镀锌钢、铜，其最小尺寸应符合下列规定：		
		结构	最小尺寸	
			垂直接地	水平接地
		圆钢	直径 14mm	截面积 78mm ²
		钢管	直径 25 mm，壁厚 2 mm	—
		扁钢	—	截面积 90mm ²
		型钢	截面积 290mm ² ，厚度 3mm	—
		单根圆钢	直径 15mm	截面积 50mm ²
		单根扁铜	—	截面积 50mm ²
		铜绞线	—	截面积 50mm ²
		整块铜板	接地板 500mm×500mm，厚度 2mm	
		人工直接接地体的长度宜为 2.5m,其间距以及人工水平接地体的间距均宜为 5m，当受地方限制时可适当减小，人工水平接地体在土壤中的埋设深度不应小于 0.5m，其距墙或基础不宜小于 1m		
		复合接地体应符合 GB/T 21698 的有关规定。		
连接工艺	接闪器、引下线、接地装置的连接采用焊接时，其焊接的焊缝应饱满无遗漏，焊接部分防腐应完整，螺栓螺母固定的应有防松零件。 导体为钢材时，焊接方法及焊接长度应符合下列规定： ——扁钢与扁钢：两个大面不应少于 3 个棱边焊接，搭接长度不应小于扁钢宽度的 2 倍； ——圆钢与圆钢：双面施焊，搭接长度不应少于圆钢直径的 6 倍；单面施焊，搭接长度不应少于圆钢直径的 12 倍； ——圆钢与扁钢：双面施焊，搭接长度不应少于圆钢直径的 6 倍；单面施焊，搭接长度不应小于圆钢直径的 12 倍； ——扁钢与角钢（或钢管）: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。 ——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，熔接接头应将连接的导体完全包在接头里，且应连接牢固，接头应无贯穿性气孔且表面平滑。
注：本表列出作为接闪器、引下线、接地体的材料均为较常用的材料，如选用其它材料，其结构、尺寸应符合 GB 50057 的有关规定。	

表 A.2 内部雷电防护装置材料规格及安装工艺技术要求

检测项目	技术要求
等电位连接	等电位连接带（铜、外表面镀铜的钢或热镀锌钢）的截面积不小于 50mm^2。 从等电位连接带至接地装置或各等电位连接带之间的连接导体；铜材料的截面积不应小于 16mm^2，铝材料的截面积不应小于 25mm^2，铁材料的截面积不应小于 50mm^2。 从屋内金属装置至等电位连接带的连接导体；铜材料的截面积不应小于 6mm^2，铝材料的截面积不应小于 10mm^2，铁材料的截面积不应小于 16mm^2。 在建（构）筑物入户处应做总等电位连接，建筑物等电位连接干线与接地装置应有不少于 2 处的直接连接。进出建（构）筑物各类金属管线应在防雷区界面处与防雷装置等电位连接。 区间的接触网支柱、金属防护栅网和护栏应与贯通地线等电位连接。 区间或露天作业场区的灯杆、天线杆、摄像头支架、线缆桥架等设施应与邻近的接地装置等电位连接。等电位连接可采用焊接、螺钉或螺栓连接等，当采用焊接时，应按表 C.1 中连接工艺要处理。 光缆的金属护层、金属防潮层、金属加强芯等应与等电位连接装置可靠连接。
屏蔽	电子信息系统的屏蔽宜利用建筑物的金属框架、混凝土中的钢筋、金属墙面、金属屋顶等自然金属部件与防雷装置连接构成格栅大空间屏蔽。 当户外采用非屏蔽电缆时，在引入机房前应穿钢管埋地引入，埋地长度 $l \geq 2 \sqrt{\rho}$ m，且不小于 15m，并在入户处进行等电位连接。 注：ρ 为埋电缆处的土壤电阻率（单位为 $\Omega \cdot \text{m}$）。 室外电气和电子系统的金属线缆应采用屏蔽电缆或穿钢管埋地敷设，线缆屏蔽层或钢管应两端接地，并宜在雷电防护区交界处做等电位连接并接地；当电子信息系统要求只在一端接地时，宜采用两层屏蔽或穿钢管敷设，外层屏蔽或钢管按前述要求处理。 室内电气和电子系统的金属线缆应敷设于金属管（槽）内。数据、信号线缆与电源线缆不宜同管槽平行敷设，其间距应符合 GB50343 的相关规定。
SPD 技术要求	低压配电系统中 SPD 的选用应符合下列要求： ——位于 LPZ0A 或 LPZ0Z 与 LPZ1 交界处时，选用 I 级试验 SPD 或 I 级试验 SPD+II 级试验 SPD 组合； ——位于 LPZ1 区内或 LPZ1 与 LPZ2 交界处时，选用 II 级试验 SPD； ——位于 LPZ2 区内或 LPZ2 与 LPZn 交界处时，选用 III 级试验 SPD。 使用直流电源的信息技术设备，视其线路长度和工作要求，应安装适配的直流电源线路 SPD。 在通信、信号系统，报警及监控系统中信号 SPD 的选用和安装应符合 XT10.3 的

	有关规定。 当电源电压开关型 SPD 至限压型 SPD 之间的线路长度小于 10m，当 SPD 之间的线路长度小于 5m 时，在两级 SPD 之间应加装退耦装置。当 SPD 具有能量自动配合功能时，SPD 之间的线路长度不受限制。SPD 应有过流保护装置和劣化显示功能。 SPD 连接导线应短直，总长度不宜大于 0.5m，并固定牢靠。SPD 各接线端应在本机开关、熔断器的下桩头分别与配电箱内线路同名端相线连接，SPD 的接地端应以最短距离与所处防雷区的等电位接地端子板连接。SPD 以金属氧化物压敏电阻（M0W）为限压元件且无串并联其他元件时，SPD 的压敏电压应符合 GB/T 21431 的有关规定；泄露电流不超过厂家标称值，厂家未申明标称值时不大于 20 μA。		
SPD 连接导体	连接 SPD 的导体宜选用铜质连接导线，且最小尺寸应符合下列要求：		
	系统	SPD 类型	截面积 mm^2
	电气系统	I 级试验 SPD	6
		II 级试验 SPD	2.5
		III 级试验 SPD	1.5
	电子系统	D1 类 SPD	1.2
		其他类 SPD	$I_{\text{imp}}/8$ 或根据具体情况确定
避雷器	交流无间隙金属氧化物避雷器的选用应符合 GB/T 11032 的有关规定。 交流 1kV 以上架空输电线路和配电线路的带外串联间隙金属氧化物避雷器的选用应符合 GB/T 32520 的有关规定。 高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器的选用应符合 GB/T 22389 的有关规定。		

表 A.3 电子信息设备等电位连接导体的材质及最小截面

序号	连接导体名称	材 质	最小截面积 (mm^2)
1	总等电位连接带（板）	铜带	150
2	楼层等电位连接带（板）	铜带	100
3	机房局部等电位连接带（排）	铜带	50
4	垂直接地干线（竖向等电位连接带）	多股铜芯导线或铜带	50
5	楼层等电位连接带与机房局部等电位连接带之间的连接导体	多股铜芯导线或铜带	25
6	机房局部等电位连接带之间的连接导体	多股铜芯导线	16
7	设备与机房局部等电位连接带之间的连接导体	多股铜芯导线	6
8	机房屏蔽网格之间的连接导体	多股铜芯导线或铜带	25

附录 B 城市轨道交通各部位接地电阻和等电位连接过渡电阻

允许值

附录 B.1 城市轨道交通各部位接地电阻允许值表

部位		允许值/ Ω	部位		允许 值/Ω
综合接地系统		≦1 且按各自系统要求的最小值确定	供电系统	主变电所、开闭所、分区所、变电所接闪杆	≦10
				主变电所、开闭所、分区所、变电所、配电室内接地母排	≦4
建筑物	独立接地	≦10		主变电所、开闭所、分区所、变电所、配电室内等电位连接端子	≦4
	室外大型金属构件（如：声屏障、灯杆、天线杆、栏杆等）	≦10		低压柜、开关柜、配电箱（柜）、UPS 及电池柜等设备的外露可导电部分	≦4
	室内等电位连接端子	≦4		变电所人工接地装置、自然接地装置	≦4
	车站设备总等电位连接端子（MEB）	≦1		变压器低压侧中性点接地电阻	≦4
	车辆基地露天作业场区的接闪杆及用作直接雷防护的高杆灯、金属塔架	≦10		交、直流配电屏、电源机柜等的外壳、金属框架	≦4
	高架轨道梁及其支撑结构	≦10		低压配电系统接地装置	≦1
	第三雷防雷建筑物	≦30		电源 SPD 接地线	≦4
机电系统	机柜、金属外壳	≦1		架空接触网避雷器	≦10
	SPD	≦1	架空接触网火花间隙	≦10	
	金属管、线缆屏蔽层	≦1	架空接触网的金属支架	≦10	
	接地端子板	≦1	车辆控制中心联合接地	≦1	
	给排水装置	≦4	通信设备接地与雷电防护共同接地	≦1	
	通风、空调、供暖	≦4	进出车站、变电所及建筑物内线缆屏蔽层	≦1	
	设备、设施、管道	≦1	光缆金属接头、金属护层、挡潮层等	≦1	
信号系统	信号设备室接地端子	≦1	通信系统	配线架、线缆屏蔽层、金属线槽、管道等	≦1
	车站、车辆段、停车场	≦1		天馈线雷电防护接地线	≦1
	高架等室外信号设备	≦1		SPD 接地线	≦1
	单独电源雷电防护箱	≦1		室内地线、保护地线	≦1

	综合接地系统母排	≦1	电子 信息 系统 机房	机房接地装置	≦1
	雷电防护分线柜	≦1		接地端子	≦1
	电缆屏蔽层	≦1		等电位连接端子	≦1
	SPD	≦1		接地干线	≦1
火 灾 报 警	综合接地	≦1	自动 售票	售票机、闸机、等机柜金属外壳	≦1
	专用接地	≦4		金属管（槽、桥架）	≦1
	接地干线、保护地线	≦1		工作接地线	≦1
	设备金属外壳、机柜、金属管、线槽、SPD 接地线	≦1	监控 系统	环境监控计算机等功能接地、保护接地	≦1
运 营 控 制 中 心	强弱电综合接地系统	≦1		综合接地箱	≦1
	建筑屏蔽接地	≦1		计算机设备机柜	≦1
	线缆屏蔽层	≦1		供电线路、信号线路屏蔽层	≦1
	大型不带电金属物	≦1		环境与设备监控机柜	≦1
	机架、机柜等金属外壳	≦1	站 台 及 门	站台控制室内电源屏、电池柜、控制柜等金属外壳	≦1
光缆加强筋、屏蔽层等	≦1	自动扶梯、电梯的不带电金属		≦1	
静电地板支架	≦1	室内设备的综合接地		≦1	
门窗隔断等	≦1	站台门与车厢接地		≦1	
	UPS 及电池柜金属外壳	≦1	门 禁	乘客信息系统综合接地	≦1
车辆与轨道	≦4	线缆屏蔽层		≦1	
		门禁系统		≦1	

附录 B.2 城市轨道交通电气贯通、等电位连接的过渡电阻允许值

检测项目		允许值/ Ω	检测项目		允许值/ Ω
建 筑 物 等 电 位 连 接 处	第二类防雷建筑物外部防雷装置的等电位连接	≤ 0.2	设 备 系 统 等 电 位 连 接	机房内等电位连接带、变配电所的接地母排	≤ 0.2
	第三类防雷建筑物外部防雷装置的等电位连接	≤ 0.2		金属支架、机架、外壳、机架、机柜、框架等 a	≤ 0.2
	接闪器与引下线、建（构）筑物顶部外露的其他金属物	≤ 0.2		金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层 b	≤ 0.2
	接闪器和接地装置之间的整体连接	≤ 0.2		防雷专用屏蔽室屏蔽壳、屏蔽门、各类滤波器、截止通风导窗、屏蔽玻璃窗、屏蔽暗箱	≤ 0.2
	建筑物内竖直的金属管道及金属物	≤ 0.2		车辆客运设备外露可导电部分	≤ 0.2
	大尺寸金属物连接	≤ 0.2		站台门（与列车车厢有等电位要求而与钢轨连接时）	≤ 0.4
	进入建筑物的外来导电物	≤ 0.2	电 子 信	机房金属屏蔽物	≤ 0.2
	穿过后续防雷区界面处的导电物	≤ 0.2		配电（柜）内部的 PE 排及金属外壳	≤ 0.2

由 LPZ0 与 LPZ1 区的总等电位连接	≤0.2	息 系 统 机 房	UPS 及电池柜金属外壳	≤0.2
金属屋面连接处	≤0.2		设备的金属机架、操作平台	≤0.2
建筑物伸缩缝处的跨接	≤0.2		金属桥架、管线（槽）、配线架、屏蔽层	≤0.2
换乘站结构体间	≤0.2		防静电地板支架	≤0.2
爆炸和火灾危险场所内长金属管道、弯头、阀门、法兰盘等连接处	≤0.03		金属门窗、支架、隔断等	≤0.2
			其他较大尺寸不带电金属物	≤0.2
a 包括：机房内各设备及静电地板支架；通风、空调、供暖系统中设备的金属外壳、框架；给水、排水、消防系统中生活生产给水装置、排水装置、污水装置、雨水装置、消防装置的泵机、远程控制装置、自动控制装置、车站控制室显示装置的各类电子设备的金属外壳、机柜、机架；通信系统中传输系统、无线通信系统、电话系统、视屏监控系统、广播系统、时钟系统、民用及商用通信系统的各类电子设备的金属外壳、机柜、机架；信号系统中的列车自动监控系统、列车自动防护系统、列车自动运行系统、车辆基地信号系统的各类电子设备的金属外壳、机柜、机架；自动售检票系统的各类电子设备的金属外壳、机柜、机架；火灾报警系统中的中央综合监控系统、车站/车辆基地综合监控系统的各类电子设备的金属外壳、机柜、机架；综合监控系统中图形显示系统、自动报警系统、消防通信设备的各类电子设备的金属外壳、机柜、机架；环境与设备监控系统中的各类电子设备的金属外壳、机柜、机架；站台屏蔽门系统中的控制系统、监控系统、供电电源的各类电子设备的金属外壳、机柜、机架；站内综合服务系统中的客运设备（电梯设备、轮椅升降机等）、门禁系统的各类电子设备的金属外壳、机柜、机架；线缆的金属支架；机车内的各类电子设备的金属外壳、机柜、机架。				
b 包括：进入机房的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层；通风、空调、采暖系统的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层；给水、排水、消防系统的的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层；供电系统的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层；通信、信号系统的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层；火灾报警系统的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层；综合监控系统的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层；环境与设备监控系统的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层；站台屏蔽门系统的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层；站内综合服务系统的金属管（槽）、线缆屏蔽层、铠装层。				

附录 C 接地电阻的测量

C.0.1 三极法宜采用直线法进行电极布置，即被测接地装置 G，测量用的电压极 P 和电流极 C 布置在一条直线上且垂直于地网，接线原理图见图 C.0.1。测量用电流极 C 和电压极 P 离被测接地装置 G 边缘的距离为 $d_{GC} = (4 \sim 5) d$ 和 $d_{GP} = (0.5 \sim 0.6) d_{GC}$ ，点 P 可认为是处在实际的零电位区内。为了较准确地找到实际零电位区时，可把电压极沿测量用电流极与被测接地装置之间连接线方向移动三次，每次移动的距离约为 d_{GC} 的 5%，测量电压极 P 与接地装置 G 之间的电压。如果电压表的三次指示值之间的相对误差不超过 5%，则可把中间位置作为测量用电压极的位置。被测接地装置的工频接地电阻 R_G 按公式 (C.0.1) 进行计算。使用接地阻表（仪）进行接地电阻值测量时，宜按选用仪器的要求进行操作。

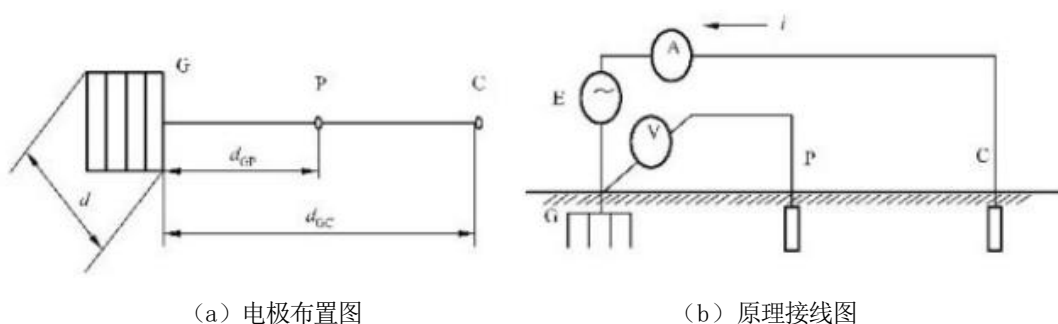


图 C.0.1 三极法的接线原理图

G——被测接地装置；P——测量用电压极；C——测量用电流极；E——测量用的工频电源；
A——交流电流表；V——交流电压表； d_{GP} ——被测接地装置至电压极的长度；
 d_{GC} ——被测接地装置至电流极的长度；d——被测接地装置的最大对角线长度；i——测试电流

$$R_G = U_G / I \quad \dots\dots\dots (C.0.1)$$

式中： R_G ——被测接地装置的工频接地电阻，单位为欧姆（ Ω ）；

U_G ——电压表指示值，单位为伏特（V）；

I——电流表指示值，单位为安培（A）。

C.0.2 当被测接地装置的面积较大而土壤电阻率不均匀时，为了得到较可信的测试结果，宜将电流极离被测接地装置的距离增大，同时电压极离被测接地装置的距离也相应地增大。

C.0.3 测量工频接地电阻时，如 d_{GC} 取 $4d \sim 5d$ 值有困难，当接地装置周围的土壤电阻率较均匀时， d_{GC} 可取 $2d$ 值；当接地装置周围的土壤电阻率不均匀时，

d_{GC} 可取 $3d$ 值。

C.0.4 测量大型接地地网时，应选用大电流接地电阻测试仪。使用接地电阻表（仪）进行接地电阻值测量时，宜按选用仪器的要求进行操作。

附录 D 过渡电阻的测量方法

D.1 基本要求

D.1.1 过渡电阻用于表征建筑物金属部件或构件电气连接、等电位连接、跨接连接的性能以及两相邻接地装置间电气贯通性的参数。为减小或消除测试线直流电阻引入的测量数据叠加,宜选用具有四线法测试功能或可直接消除测试线直流电阻的设备仪器。

D.1.2 测量中宜尽量减小测试线与被测部位接触点之间接触电阻的影响。

D.2 电气连接性能的过渡电阻测量

D.2.1 电气连接性能的过渡电阻测量适用于将同类功能或不同类功能的金属部件直接连接在一起的情形,连接方式如焊接、夹接、压接或螺栓连接等。

D.2.2 电气连接性能过渡电阻测量示意图见图 D.2.2。

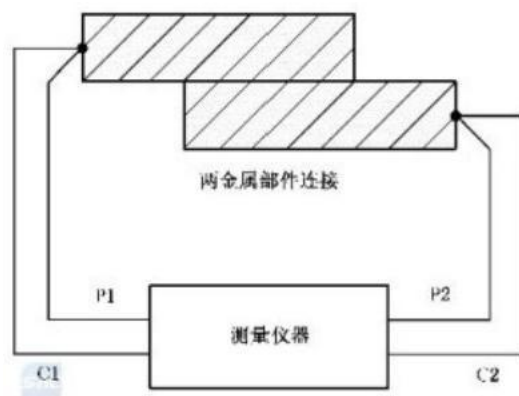


图 D.2.2 电气连接性能的过渡电阻测量示意图

C1、C2——电流测试极; P1、P2——电压测试极

D.3 等电位连接性能的过渡电阻测量

D.3.1 等电位连接性能的过渡电阻测量适用于通过等电位连接导体将分开的设备、设施连接到等电位连接带、等电位端子板或接地端子等,进而连接到防雷装置或接地系统的情形,连接方式如焊接、夹接、压接、螺栓连接等。

D.3.2 等电位连接性能过渡电阻测量示意图见图 D.3.2。

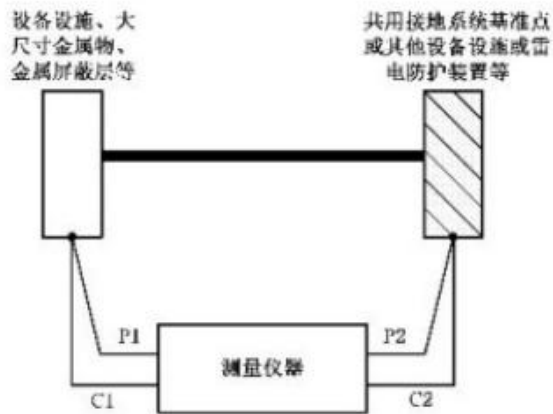


图 D.3.2 等电位连接性能的过渡电阻测量示意图

C1、C2——电流测试极；P1、P2——电压测试极

D.4 跨接连接性能的过渡电阻测量

D.4.1 跨接连接性能的过渡电阻测量适用于将电气绝缘的导电部件之间用导体相互连接的情形。

D.4.2 跨接连接性能的过渡电阻测量示意图见图 D.4.2-1、图 D.4.2-2。

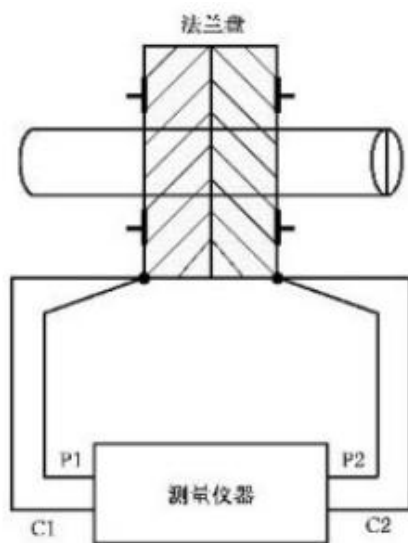


图 D.4.2-1 法兰盘之间跨接连接性能的过渡电阻测量示意

C1、C2——电流测试极；P1、P2——电压测试极

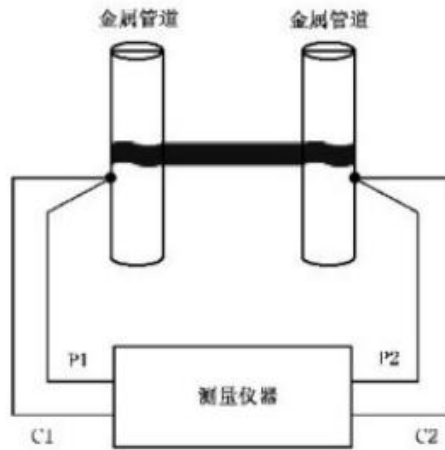


图 D.4.2-2 金属管道之间跨接连接性能的过渡电阻测量示意图

C1、C2——电流测试极；P1、P2——电压测试极

D.5 电气贯通性能的过渡电阻测量

D.5.1 电气贯通性能的过渡电阻测量适用于判断相邻建筑物的接地装置之间的连接情形或金属管、金属格栅或钢筋成格栅形的混凝土管道两端的电气贯通情形。

D.5.2 电气贯通性能的过渡电阻测量示意图见图 D.5.2-1、图 D.5.2-2。

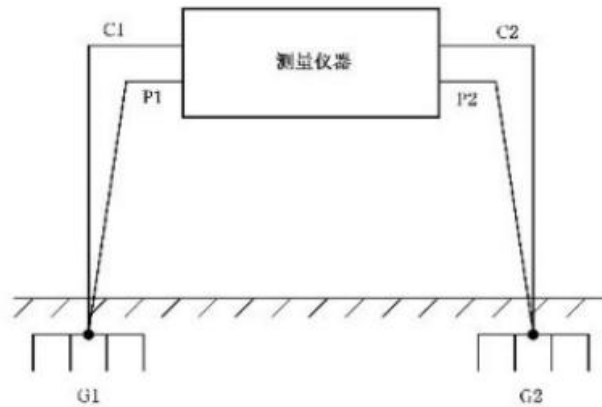


图 D.5.2-1 两相邻接地装置之间电气贯通性能的过渡电阻测量示意图

C1、C2——电流测试极；P1、P2——电压测试极；G1、G2——两处相邻的接地装置

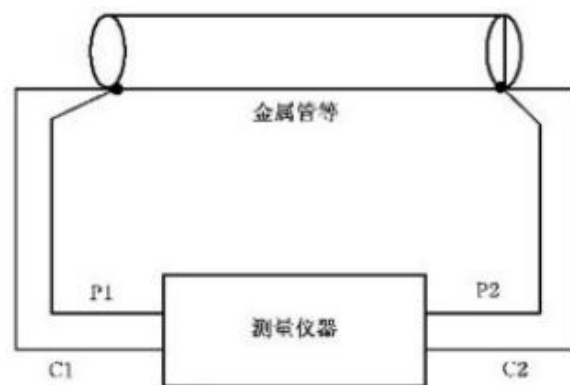


图 D.5.2-2 金属管等两端电气贯通性能测量示意图

C1、C2——电流测试极；P1、P2——电压测试极

D.6 引下线电气连接性能的过渡电阻测量

D.6.1 引下线电气连接性能的过渡电阻测量示意图见图 D. 6。

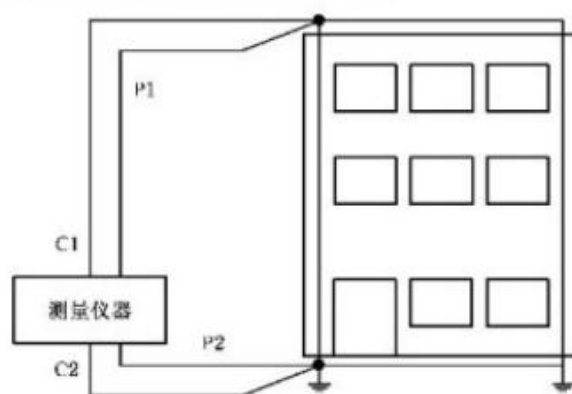


图 D.6 引下线电气连接性能的过渡电阻测量示意图

C1、C2——电流测试极；P1、P2——电压测试极

D.7 高层建筑物接地基准点（ERP）接地性能的过渡电阻检测

D.7.1 可通过逐级测量过渡电阻方式进行。首先测量第一基准点与接地装置的过渡电阻，确认该基准点符合接地要求，而后依次测量后一基准点与前一基准点的过渡电阻，以保证它们符合接地要求。

附录 E 雷电电磁脉冲磁场的测量（已改，见第 5.6.1 条 2 款）

E.1 雷电电磁脉冲磁场强度指标

E.1.1 由于雷电电磁脉冲的干扰，对计算机而言，在无屏蔽状态下，当环境磁场感应强度大于 5.57 A/m (0.07Gs) 时，计算机会误动作；当环境磁场感应强度大于 191 A/m (2.4Gs) 时，设备会发生永久性损坏。

E.2 雷电电磁脉冲磁场的测量方法

E.2.1 雷电流注入法

1 雷电流注入法用来表征雷击直接建筑物的 LPS 后建筑物内部的脉冲磁场大小。雷电流注入法的原理见图 E.2.1 所示。

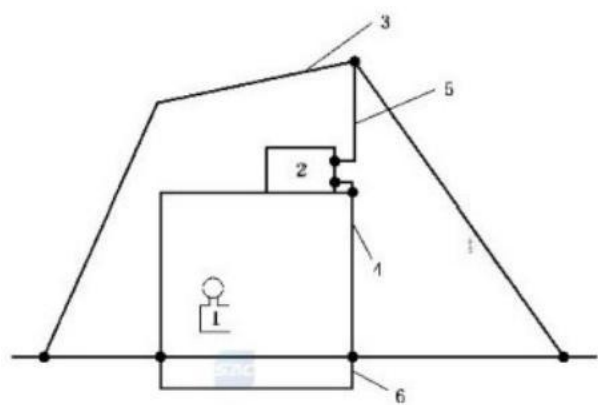


图 E.2.1-1 雷电流注入法原理图

- 1——磁场测试仪；2——雷电流发生器；3——（发生器）多支回路馈线；4——建筑物屏蔽；
5——模拟雷电流通道邻近建筑物的部分（10m 范围内）；6——与屏蔽多处连接的接地极

2 根据 GB/T 21714.1-2015 规定，雷击可能出现短时首次雷击电流 i_f (10/350 μ s) 和后续雷击电流 i_s (0.25/100 μ s)。首次雷击产生磁场强度 H_f ，后续雷击产生磁场强度 H_s 见图 E.2.1-2 和图 E.2.1-3：

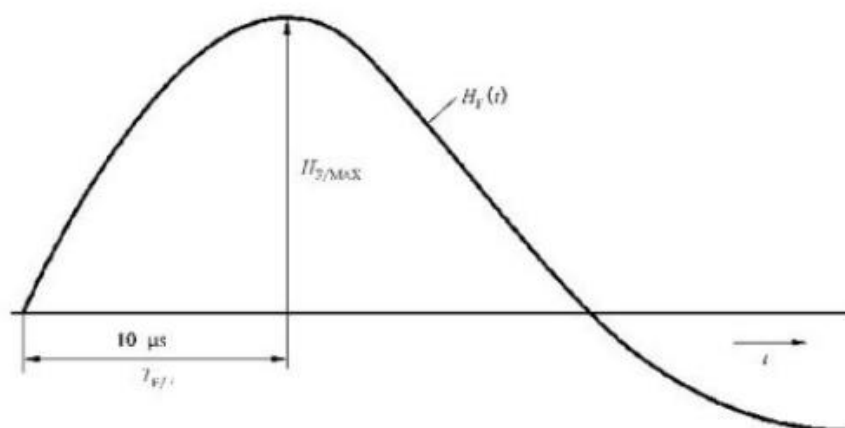


图 E.2.1-2 模拟首次正雷击（10/350μs）的磁场上升沿

H_F/MAX ——首次雷击磁场强度峰值； $T_{F/F}$ —— H_F/MAX 达到最大值的上升时间；
 H_F ——首次雷击磁场强度； t ——时间

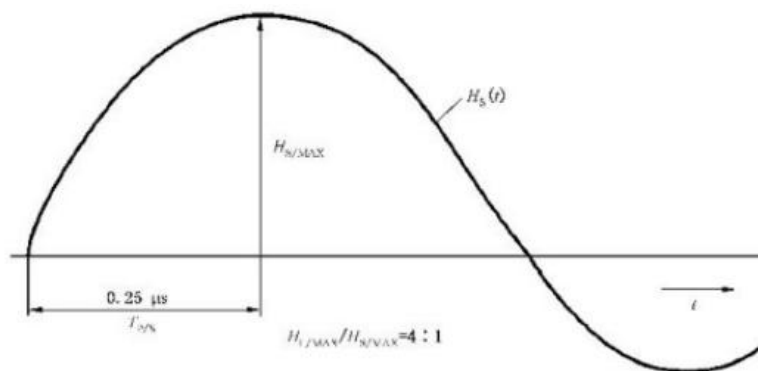


图 E.2.1-3 模拟后续雷击（0.25/100μs）的磁场上升沿

H_S/MAX ——后续雷击磁场强度峰值； H_F/MAX ——首次雷击磁场强度峰值； $T_{F/S}$ —— H_S/MAX 达到最大值的上升时间；
 H_S ——后续雷击磁场强度； T ——时间

3 磁感应效应主要是由磁场强度升至其最大值的上升时间规定的，首次雷击磁场强度 H_F 可用最大值 H_F/MAX （25kHz）的阻尼振荡场和升至其最大值的上升时间 $T_{F/F}$ （10 μs）来表征。同样后续雷击磁场强度 H_S 可用 H_S/MAX （1MHz）和 $T_{F/S}$ （0.25 μs）来表征。

4 雷电流注入法在实际测量过程中应充分考虑可能由电涌电流产生的人身伤害和物理损害，并做好相应的安全措施。

E.2.2 空间辐射法

1 空间辐射法用来测量建筑物结构（如墙体，格栅形屏蔽网等）对雷电电磁脉冲磁场的衰减作用，其原理如图 E.2.2 所示。

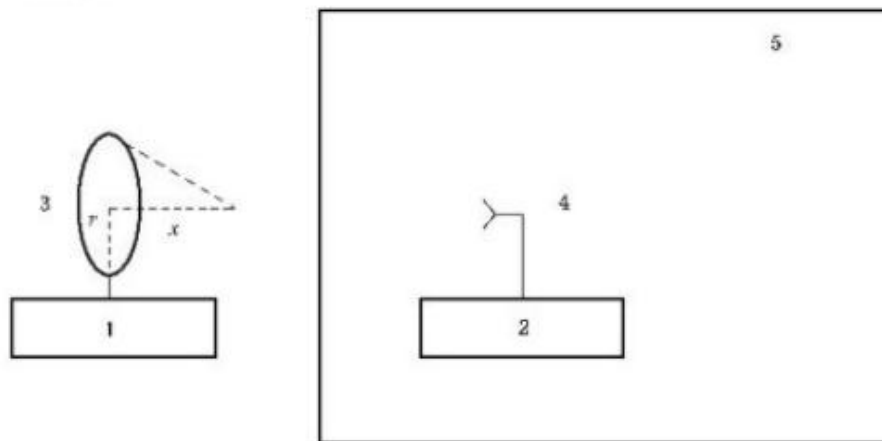


图 E.2.2 空间辐射法原理图

1——脉冲磁场发生器；2——脉冲磁场测量终端；3——环形发射天线；4 ——接收天线；
5——建筑物内屏蔽空间；r——环形发射天线的半径；x——环形发射天线中心到测量点的距离

2 脉冲磁场发生器和测量终端分别放置在被测屏蔽空间的外、内两侧。脉冲磁场发生器可输出 脉冲电流注入环形发射天线，形成脉冲磁场。根据 GB/T 21714.4 规定，10/350 μs 波形的直击雷电流形成的空间磁场波形为 8/20 μs，对于环形发射天线，其中轴线上测量点的磁场强度 H_1 按公式 (E.2.2-1) 计算。

$$H_1 = \frac{1}{\left(\frac{x^2}{r} - x\right)} \quad \dots\dots\dots (E.2.2-1)$$

式中： H_1 ——发生器中轴线上测量点的磁场强度，单位为安培每米 (A/m)；

I ——发生器输出电流峰值，单位为安培 (A)；

r ——环形发射天线的半径，单位为米 (m)；

x ——环形发射天线中心到测量点的距离，单位为米 (m)。

3 使用接收天线测量环形发射天线产生的脉冲磁场穿透屏蔽空间后的脉冲磁场 H_1 ，屏蔽空间的屏蔽系数 SF 按公式 (E.2.2-2) 计算。

$$SF = 20 \lg \left(\frac{H_1}{H_t} \right) \quad \dots\dots\dots (E.2.2-2)$$

式中：SF——屏蔽系数，单位为分贝 (dB)；

H_1 ——无屏蔽处磁场强度，单位为安培每米 (A/m)；

H_t ——有屏蔽处磁场强度，单位为安培每米 (A/m)。

4 以距离被测屏蔽空间最近的建筑物为雷击点，按公式 (E.2.2-3) 计算该雷击点到屏蔽空间所在位置的磁场强度 H_0 。测量点在雷击邻近建筑最大电流下空间辐射磁场强度 H_m 按公式 (E.2.2-4) 计算。

$$H_0 = I_0 / 2 \cdot \pi \cdot s_a \quad \dots\dots\dots (E.2.2-3)$$

式中： H_0 ——雷击点到屏蔽空间内测量点的磁场强度，单位为安培每米 (A/m)；

I_0 ——雷击邻近建筑的最大电流（按 GB 50057—2010 表 6.3.2-2 选取），单位为安培（A）；

s_a ——与邻近建筑雷击点的距离，单位为米（m）。

$$H_m = \frac{H_0}{\frac{SF}{10^{20}}} \dots\dots\dots (E.2.2-4)$$

式中： H_m ——测量点在雷击邻近建筑最大电流下的空间辐射磁场强度，单位为安培每米（A/m）；

H_0 ——雷击点到建筑物所在位置的磁场强度，单位为安培每米（A/m）；

SF ——屏蔽系数，单位为分贝（dB）。

5 当 H_m 大于 5.57 A/m（0.07GS）时，测量点不宜放置敏感电子设备；当 H_m 大于 191 A/m（2.4GS）时，测量点不应放置敏感电子设备。

附录 F 等电位连接示意图（已改，见第 5.1.2 条 6 款）

F.1 M 型等电位连接示意图 F.1，建筑物内等电位连接示意图见图 F.2-F.5。

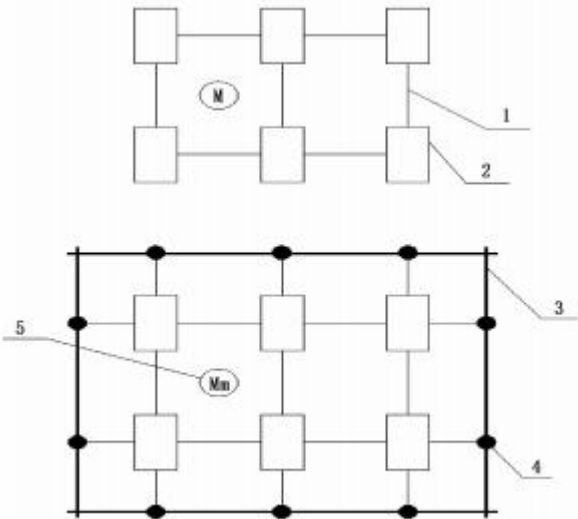


图 F.1 M 型等电位连接示意图

1——等电位连接导体；2——设备；3——等电位连接网络；4——接至等电位连接网络的电位连接点；
5——等网形结构通过网形连接整合到等电位连接网络中

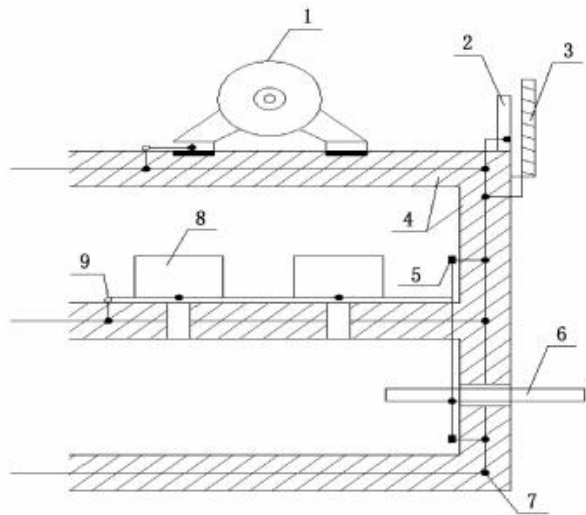


图 F.2 钢筋混凝土建筑物内等电位连接示意图

1——电力设备；2——钢支柱；3——立面的金属盖板；4——混凝土内的钢筋；5——等电位连接带；
6——各种管线的共用入口；7——基础接地体；8——电气设备；9——等电位连接点

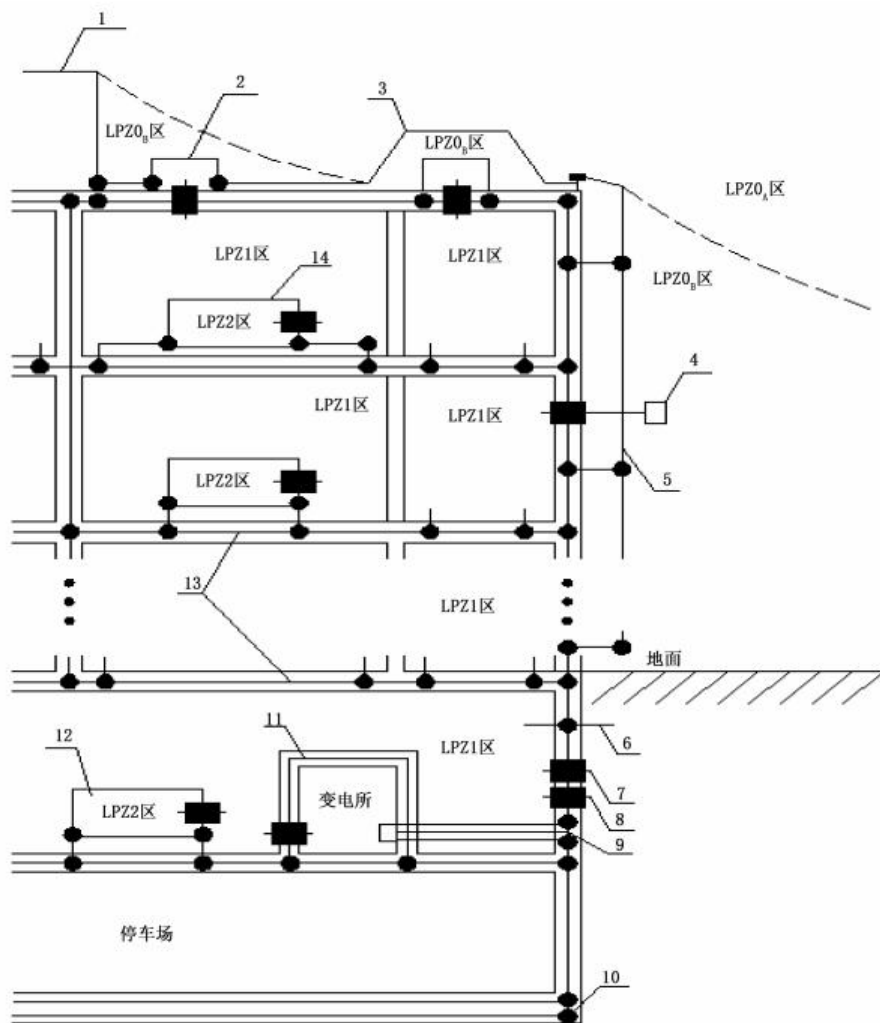


图 F.3 办公室建筑物防雷区、屏蔽、等电位连接示意图

- 1——屋顶上的金属物；2——屋顶上的设备；3——接闪器；4——摄像机；5——金属立面；
6——外来金属设施；7——通信线路；8——0.4kV 电源；9——10kV 电源；10——基础接地体；
11——钢筋；12——高度敏感的电子设备；13——混凝土中的钢筋；14——有屏蔽的小室；
■——混凝土中的钢筋；●——等电位连接预留件。

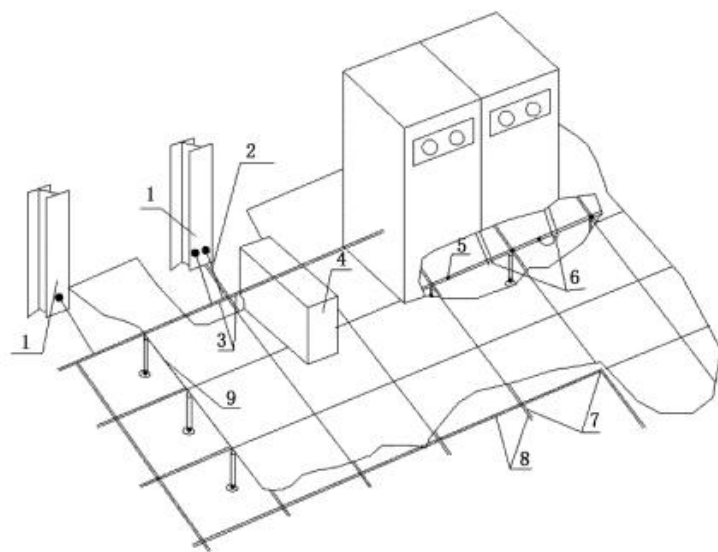


图 F.4 活动地板下用铜箔构成的高频信号基础网络示意图

- 1——基准网络与周围建筑物钢柱（或钢筋混凝土柱上的预埋件）的焊接连接；2——配电箱的接地线；
3——铜箔与等电位连接带之间的连接；4——配电箱；5——铜箔预设备等电位连接带之间的连接；
6——设备的低阻抗等电位连接带；7——铜箔与铜箔之间的连接；8——铜箔（0.25mm×0.25mm）；
9——铜箔与立柱之间的连接

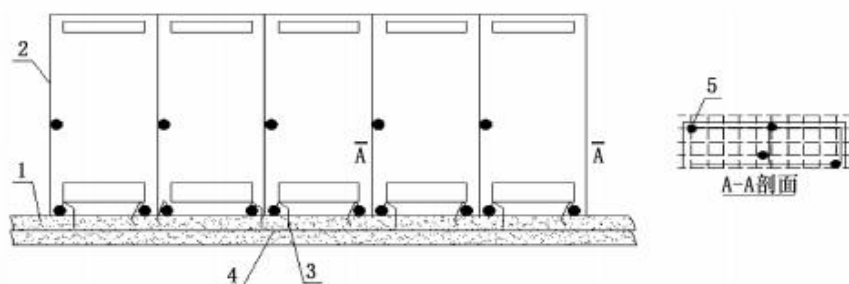


图 F.5 钢筋混凝土地面内焊接钢筋做等电位连接基准网示意图

- 1——混凝土地面的上部；2——装有电子负荷设备的金属外壳；3——高频等电位连接；
4——地面内焊接钢筋网；5——电子负荷设备的金属外壳与等电位连接基准网的连接点

用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《低压电涌保护器（SPD） 第 11 部分：低压电源系统的电涌保护器性能要求和试验方法》GB/T 18802. 11

《低压电涌保护器 第 21 部分：电信和信号网络的电涌保护器（SPD）性能要求和试验方法》GB/T 18802. 21

《低压电涌保护器 第 31 部分：用于光伏系统的电涌保护器性能要求和试验方法》GB/T 18802. 31

《建筑物雷电防护装置检测技术规范》GB/T 21431

《桥梁防雷技术规范》GB/T 31067

《交流 1kV 以上架空输电和配电线路用带外串联间隙金属氧化物避雷器（EGLA）》GB/T 32520

《防雷装置检测服务规范》GB/T 32938

《雷电防护系统部件（LPSC）第 3 部分：隔离放电间隙（ISG）的要求》GB/T 33588. 3

《光伏建筑一体化系统防雷技术规范》GB/T 36963

《低压配电设计规范》GB 50054

《建筑物防雷设计规范》GB 50057

《交流电气装置的接地设计规范》GB/T 50065

《综合布线系统工程设计规范》GB 50311

《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB 50343

《建筑物防雷工程施工与质量验收规范》GB 50601

《城市轨道交通工程基本术语标准》GB/T 50833-2012

《通信线路工程设计规范》GB 51158

《高速铁路牵引供电系统雷电防护技术导则》TB/T 3551

《城市轨道交通接触轨供电系统技术规范》CJJ/T 198

《高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器》GB/T 22389

《复合接地体》GB/T 21698

《交流无间隙金属氧化物避雷器》GB/T 11032

中国工程建设标准化协会标准

城市轨道交通雷电防护装置检测技
术规程

T/CECS ×××××—20××

条文说明

制定说明

本规程充分总结和吸收了我国城市轨道交通中雷电防护工程实践、雷电防护装置检测经验和有关科研成果，合理优化了主要设计参数，进一步提升了规范的科学性和技术经济合理性。

1、本规程由总则、术语和定义、基本规定、基本方法、检测内容及技术要求、附录、引用标准名录、条文说明八个部分组成。

2、本规程按照城市轨道交通雷电防护装置的特点，明确了雷电防护装置的检测要素。并根据检测要素和检测项目的不同，对检测周期分为了跟踪检测、竣工检测和定期检测。其中，根据定期检查和检测流程进行了细化，使之更具有操作性、规范性和指引性。

3、本规程对城市轨道交通雷电防护装置的检测项目进行了归类，分为建筑物 / 构筑物、供电系统、通信系统、信号系统、综合监控系统、车站机电设备雷电防护装置检测，明确了每个检测项目的检测内容和技术要求。

建议规程发布后，在对地铁、轻轨、有轨电车等城市轨道交通雷电防护装置的设计、施工、检测等应以本规程作为依据和制定。同时，建议向城市轨道交通的建设单位、设计单位、施工单位、检测单位等宣传此规程，使其在建设、设计、施工和检测等过程中能够贯彻本规程的要求，切实提高防雷安全。

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	5
3.1	检测分类	5
3.2	检测项目	5
3.3	检测对象	6
3.4	检测周期及时间	7
3.5	检测机构和人员要求	8
3.6	设备要求	9
3.7	作业安全要求	9
3.8	检测程序	9
4	基本方法	10
4.1	防雷类别、雷电防护等级及雷电防护区的划分	10
4.2	检测方法	14
5	测内容及技术要求	16
5.1	建筑物/构筑物	16
5.2	供电系统	26
5.3	通信系统	46
5.4	信号系统	46
5.6	车站机电设备	48
5.7	运营控制中心	53
5.8	车辆与车辆基地	53

目 次

1	General Provisions	1
2	Terms	2
3	Basic Requirements	5
	3.1 Classification of Testing	5
	3.2 Testing Items	5
	3.3 Testing Objects	6
	3.4 Testing Cycle and Time	7
	3.5 Requirements for Testing Institutions and Personnel	8
	3.6 Equipment Requirements	9
	3.7 Requirements for Operational Safety	9
	3.8 Testing Procedures	9
4	Basic Methods	10
	4.1 Classification of Lightning Protection Categories, Lightning Protection Levels and Lightning Protection Zones	10
	4.2 Testing Methods	14
5	Testing Content and Technical Requirements	16
	5.1 Buildings and Structures	16
	5.2 Power Supply System	26
	5.3 Communication System	46
	5.4 Signal System	46
	5.6 Station Electromechanical Equipment	48
	5.7 Operation Control Center	53
	5.8 Vehicles and Vehicle Depots	53

1 总则

1.0.2 城市轨道交通设施应进行定期检测和日常维护,以确保雷电防护装置的有效性,维护流程可参考本文件进行。城市轨道交通设施及其相关供电、通信、控制系统等附属设施进行改、扩建,其雷电防护装置可参考本文件进行设计。城市轨道交通穿流在城市不同地域,下垫面状态不一,地下地上雷电环境各异,配电、通信等附属设施较多且分散,线路较长,在进行防雷设计时应充分考虑地形、地质、气象等条件,以合理确定合理有效的雷电防御措施。

1.0.3 城市轨道交通雷电防护装置的安装工程应与其有关的主体工程同步设计、施工、验收。

2 术语

2.0.15～ 2.0.16 避雷器和电涌保护器（SPD）的区别

避雷器和电涌保护器（浪涌保护器）虽然都是用于保护电气设备免受过电压损害的装置，但它们在原理、工作方式和应用领域上存在一些区别：

1、工作原理和应用领域：避雷器主要用于保护电力系统免受雷电过电压的影响，基于气体放电原理，由一个或多个金属氧化锌（MOA）元件组成。而电涌保护器用于防止瞬态过电压（浪涌）对电气设备造成损坏，通常基于二极管、气体放电管、压敏电阻器等组件构成。

2、额定电压和标称放电电流：避雷器的额定电压范围为 0.28kV～3kV，标称放电电流为 20kA、10kA、5kA、3kA、1kA。而电涌保护器的额定电压范围为 5V～1.2kV，标称放电电流为 120kA、100kA、80kA、60kA、40kA、20kA、10kA、5kA、3kA 等类型。

3、响应时间和制造工艺：避雷器的响应时间一般在 100ns 以上，适用于输电线路的防护。而电涌保护器的响应时间一般在 20-25ns 之间，响应时间快，保护性能高，适用于较为敏感的电子设备的精细化防护。避雷器多采用氧化锌避雷元件，外有绝缘硅胶等材质制成。而电涌保护器一般有压敏电阻、半导体器件、静电保护元件、外壳塑料及特种灌胶材料等组成。

综上所述，避雷器和电涌保护器在保护电气设备方面各有其独特的作用和优势，根据具体的使用场景和需求选择合适的保护装置是非常重要的。

2.0.17 综合接地系统 integrated earthing system

城市轨道交通工程多采用综合接地系统。综合接地系统是指供电系统和需要接地的其他设备系统的工作接地、保护接地、电磁兼容接地和防雷接地等采用共同的接地装置，并实施等电位联结措施。供电系统中，同时存在多个用于不同目的、不同用途的接地系统，如在交流系统中任一电压等级都同时存在工作接地和保护接地的问題，像 110/35kV 主变电所中就存在 110kV 设备的保护接地、35kV 系统的工作接地、35kV 设备的保护接地等。在分开设置不同的接地装置时，若距离不能满足要求，将导致由于接地装置电位不同而带来的不安全影响，不同接地导体之间的耦合影响也难以避免，从而引起相互干扰，因此，目前城市轨道交通工程多采用综合接地系统。在综合接地系统中，这些不同类型的接地都被相互

连接在一起。

轨道交通设备及设施的综合接地系统涉及的专业有信号、通信、供电、桥梁、隧道、路基、轨道、给排水等。从接地的种类来看，主要包括建筑物的防雷接地及强弱电系统的工作接地、保护接地、屏蔽接地等，交流牵引供电制式下接地系统还承担一定比例电流回流的作用。从接地的组成来看，一部分为车站主体结构钢筋和附属结构钢筋组成的自然接地网，一部分为预埋在车站结构底板下的人工综合接地网，人工接地网与自然接地装置应能分别测量。综合接地系统不但要满足供电系统、通信系统、信号系统、火灾自动报警系统、环境与设备监控系统等所有设备系统的工作接地要求和安全接地要求，还要满足地面车站的防雷要求和杂散电流的防护要求，同时需保证地铁能长期、安全地使用，防止或降低地铁乘客或地铁工作人员在供电系统发生故障时出现电击危险的可能性。

通过分析影响接地电阻值的关键因素推导出的地铁系统接地网接地电阻的理论取值范围，根据地铁系统各接地网可能流入的入地短路电流值，其接地电阻值至少应小于 $1\ \Omega$ ，主变电所、车辆段、运营控制中心处的接地网还应小于 $0.5\ \Omega$ 。

城市轨道交通综合接地系统概念图如图 1 所示。

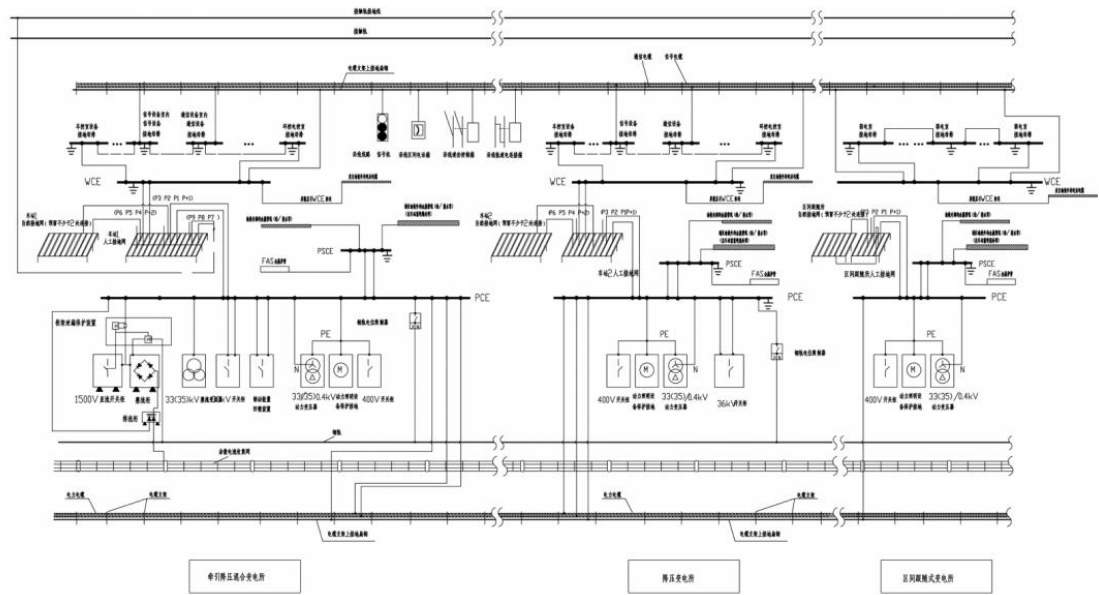


图 1 城市轨道交通综合接地系统示意图

2.0.20 高架结构 elevated structure

城市轨道交通过程中的“高架结构”包括车站之间的区间桥梁及高架车站。

桥梁承受列车荷载；高架车站从功能而言是房屋建筑，但从受力而言，当行驶列车的轨道梁与车站其他建筑构件有联系时，车站结构的构件分成两大类，一类是受列车荷载影响较大的构件如轨道梁及其支承结构，包括支承轨道梁的横梁、支承横梁的柱以及柱下基础等；另一类是受列车荷载影响小以致不受影响的一般建筑结构构件如站台梁、一般纵梁等。由于列车荷载与建筑荷载有较大的不同，鉴于目前我国规范的分类及研究水平实际状况，把高架车站结构中的第一类构件和区间桥梁归在一起，按本规定进行结构设计；高架车站中的第二类构件按现行建筑规范进行结构设计。因此，本章“高架结构”适用于地铁区间桥梁及高架车站结构中的第一类构件的结构设计。

3 基本规定

3.1 检测分类

3.1.1 本条规定按照城市轨道交通雷电防护装置投入使用前后分为验收检测和定期检测。验收检测是在城市轨道交通竣工验收前进行，为了确保雷电防护装置符合标准，尽量对所有雷电防护措施进行检查测量，通常作为验收的依据；定期检测通常每年进行一次，具有爆炸危险环境的场所通常半年进行一次，为了及时发现并解决雷电防护装置在投入使用后因破坏、锈蚀或损耗等出现的问题，通常根据实际情况进行抽检。验收检测和定期检测的检测项目根据国家标准《建筑物雷电防护装置检测技术规范》（GB/T 21431-2023）的附录 A 中的检测子项，内容有所修改。

3.2 检测项目

3.2.1 目前检测项目的内容是根据国家标准《建筑物防雷设计规范》（GB 50057-2010）中防雷装置定义中所涵盖的内容进行检测和记录，接闪器、引下线、接地装置组成外部防雷装置，磁屏蔽、防雷等电位连接、电涌保护器（SPD）及其他雷击电磁脉冲防护措施组成内部防雷装置。

防雷等电位连接也是地铁系统防雷措施的重要组成部分，整个地铁系统的等电位连接如图 2 所示。总体上可由等电位连接总网络、局部等电位连接网络以及地铁特殊等电位连接网络三种形态组成：

1 地铁等电位连接总网络。地铁车站应分别设置独立的接地网，并将接地网通过车站的预埋钢板与车站结构钢筋相连；从各车站独立接地网中引出四组接地引出线，分别作为强电、弱电、金属管线以及综合接地网的等电位连接总端子；将各车站的综合接地网等电位连接总端子通过电缆铠装层、电缆支架及隧道结构钢筋等相互连接以实现整个地铁系统总的等电位连接。

2 地铁局部等电位连接网络。地铁系统的供电方式采用 TN-S，PE 线、N 线没有真正意义上的分开，由于三相用电存在不平衡可能性，N 线中会有电流流过，这会导致入地点与真正的大地之间存在一个电位差，而这个电位差会对机房设备的接地产生干扰。为了消除这种接地干扰，地铁系统内电子信息机房的弱电

设备机柜以及其他不带电金属部件应采用 S 型等电位连接方式与机房局部等电位连接端子板相连,各机房的局部等电位连接端子板应通过接地干线统一连接至车站地网弱电引出线等电位连接总端子 WCE;另外,系统内的大型机电设备,如动力配电柜、风机、空调设备等在做好保护接地后应统一连接至车站地网强电引出线等电位连接总端子 PCE,系统内其他金属管线等应统一连接至车站地网金属管线引出线等电位连接总端子 PSCE,通过上述方式以实现地铁的局部等电位连接。

3 地铁特殊等电位连接网络。屏蔽门系统是地铁机电设备的重要组成部分,由于地铁走行轨绝缘铺设且带有一定电压,为保证乘客的人身安全,屏蔽门主体部分应与走行轨作等电位连接并通过轨电位限制器连接至变电所接地母排;为防止杂散电流侵蚀车站主体结构和地下金属管网,屏蔽门应采取绝缘安装,并将屏蔽门的单元门体之间进行等电位连接,并保证其过渡电阻不大于 0.4Ω 。所以屏蔽门系统的等电位连接包含两部分,一部分是屏蔽门门体自身的等电位连接,一部分是屏蔽门在轨电位限制器触发时通过走行轨与整个地铁系统进行等电位连接。

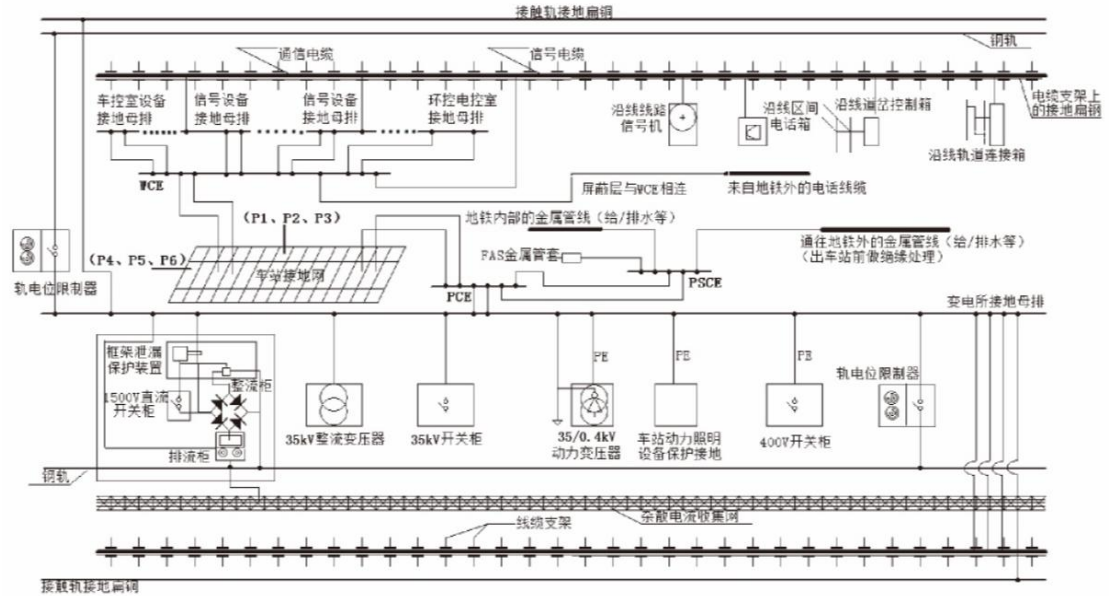


图 2 地铁系统等电位连接示意图

3.3 检测对象

3.3.1 根据现有的城市轨道交通所属的全部建筑物、地上地下构筑物、电气和电子系统、各类车站服务系统和车站客运设备等都应作为雷电防护装置检测的对象。

3.4 检测周期及时间

3.4.1 本条规定按照中国气象局第 8 号令《防雷减灾管理办法》第十九条要求，投入使用后的防雷装置实行定期检测制度，防雷装置检测应当每年一次，对爆炸危险环境场所的防雷装置应当每半年检测一次。

3.4.2 检测介入环节

本小节引用《城市地铁交通防雷装置检测技术规范》DB 52/T1516-2020 第 4.2 条规定。

3.4.3 热滑试验

1 热滑试验是在接触网带电的情况下，通过试验列车或特定车组的运行，对轨道交通系统的供电、信号、通信、线路、车站等系统设备进行全面检测的一种试验方式。接地电阻的大小直接影响设备的运行安全，如果接地电阻过大，可能导致设备在发生雷击过电流时，过电流无法迅速通过接地系统导入大地，从而损坏设备或引起火灾，在热滑试验前进行接地电阻检测，可以确保接地系统处于良好状态，避免因接地不良导致的电气事故，降低风险。接地电阻检测应在车站主体结构完成之后且电气设备安装之前进行，是为了避免因接地系统问题，中断各类电气设备的试验或安装，如出现问题，整改起来也更加便捷，不仅可以提高工程效率，确保整体可靠性和稳定性，还可以节省人力、物力和时间成本。

2 跟踪检测应实行分段检测，即：

- 1) 在车站在土方挖至标底时，应进场进行土壤电阻率的测试；
- 2) 在接地体埋设时，并在每段地网施工时完毕时，要进行接地电阻值测试，并根据接地体结构和进行推算，得出每段接地体的可控值，以确保最终的整个综合接地体的接地电阻值满足设计要求；
- 3) 在中板、地板施工完成后，要对接地引出装置进行检查测试；
- 4) 整个设备安装完毕后，需进行设备与预留接地之间的电气连接情况进行检查测试；
- 5) 对于车辆段建筑的基础接地体桩、承台、地梁）焊接完成、浇混凝土之前要进行现场检测；

6) 在车辆段建筑屋面防雷装置暗敷的, 在封装前) 及其他金属物体安装焊接完成时要进行现场检测;

7) 在各类电涌保护器安装完毕后, 对安装工艺等进行现场检测。

3.4.4 接地电阻与土壤电阻率有直接关系, 土壤电阻率的变化会直接影响接地电阻的测量结果。土壤处于冻土状态时, 土壤电阻率很大, 接地电阻数据的测量可能会比实际值偏大, 冻土解冻后, 土壤状态趋于稳定, 此时进行雷电防护装置检测能够更准确地测量接地电阻等关键参数。雷雨季节是雷电活动的高发期, 在雷雨季节到来前对雷电防护装置进行检测, 可以及时发现隐患和存在的问题, 采取相应的措施进行整改和完善, 确保其在雷电活动高发期能够正常发挥作用。土壤电阻率与土壤水分有很大联系, 雨雪中或雨雪后, 土壤表面水分含量高, 由于水的导电性能好, 使得土壤电阻率变小, 测出的接地电阻数据偏小, 无法准确反映接地系统的性能。

3.4.5 在触网停电期间进行防雷检测, 可以消除因电流的存在干扰检测设备的正常读数, 影响检测结果的准确性, 避免因检测过程对正在运行的供电系统造成不必要的干扰或损害, 同时也避免可能对检测人员构成安全威胁。防雷检测应最大限度地减少对乘客出行的影响, 保证城市轨道交通系统的正常运营。列车在行驶过程中, 其电力系统和信号系统等会产生较强的电磁辐射, 各金属部件可能会再电磁场的作用下产生感应电压, 这些电磁辐射和感应电压会干扰防雷检测设备, 造成检测结果的偏差, 影响准确性; 另外列车行驶过程中产生的机械振动也可能导致检测设备元件松动或接触不良等问题, 从而影响检测结果的稳定性。

3.5 检测机构和人员要求

3.5.1 本条规定根据《气象灾害防御条例》第二十四条: “从事雷电防护装置检测的单位应当具备下列条件, 取得国务院气象主管机构或者省、自治区、直辖市气象主管机构颁发的资质证: ……(四) 有完备的技术和质量管理制度; ……”而制定。

3.5.2 本条规定根据《中国气象局关于修改<雷电防护装置检测资质管理办法>的决定》中“从事雷电防护装置检测工作的人员应当具备雷电防护装置检测能力”而制定。现场检测按照实际有取样、记录、仪器操作等不同分工同时进行, 并可

能涉及高空作业、接触电气设备等高风险操作，如遇紧急情况或突发事故，多人协作可以更快地做出反应，出于安全性、效率与专业性考虑，现场检测人员不应少于 3 人。

3.6 设备要求

3.6.1 检测设备的精度直接关系检测结果的准确性，决定了测量结果与真实值之间的偏差程度，高精度设备能够减少测量过程中的随机误差和系统误差，可以及时发现雷电防护装置存在的问题，尤其涉及安全性能的检测中，检测设备的精度还关系到设备和人身安全。

3.6.2 本条规定根据中国气象局 31 号令《雷电防护装置检测资质管理办法》第七条：“（六）用于防雷装置检测的专用仪器设备应当经法定计量检定机构检定或校准，并在有效期内。”而制定，确保测量结果的准确性、可靠性、可追溯性。

3.6.3 同本文件 3.6.2 条检测设备应处于正常状态，仪器故障直接影响检测结果的有效性。

3.7 作业安全要求

3.7.1 本小节规定了在检测过程中，根据不同的场所和环境应遵守相应的安全规定和制度，采取必要的防护措施，保障检测人员生命安全和设备财产安全。

3.8 检测程序

3.8.1 由于城市轨道交通工程规模较大，施工单位多，各专业交叉、工序复杂，周期较长，所以检测程序要考虑以下几个方面：

- 1 检测实施前，应先查看整个项目的雷击风险评估报告和图纸技术审查意见等资料，弄清整个项目的防雷设计情况，以及相关的技术指标等；

- 2 由于城市轨道交通项目在建设时牵涉到不同的施工单位，所以应先认真、详细、全面地阅读整个项目的施工方案，对应包含的技术措施、质量保证措施进行确认把关；并根据不同站的情况制定防雷检测方案，与施工方、监理方等做好技术交底工作，对施工技术、操作要点、质量以及注意事项等提出要求；

3 现场检测人员要及时掌握工程进度，要做到不漏检，不误检，要严把质量关，将各项检测结果与相应的技术要求相比较，判定各项检测项目是否符合要求。对不按核准的施工图施工或施工质量出现的问题要及时发出整改通知，待整改完毕复检合格后方可进入下一环节；

4 在防雷装置跟踪检测中，应做好隐蔽工程的检测和记录，并经施工单位、监理单位、建设单位等多方签字确认，必要时可通过拍照的方式进行记录。

4 基本方法

4.1 防雷类别、雷电防护等级及雷电防护区的划分

4.1.1 城市轨道交通的高架区间、地面车站和运营控制中心用房及信号系统所在建筑物分为第二类。本条规定将上述建筑物划分为第二类是基于以下考虑：

1 高架车站及区间建、构筑物的年预计雷击次数

高架的建、构筑物位于地面以上，轨道经高架进入建、构筑物内。根据车站的功能，车站的顶层多设置为站台层，下面各层依次为站厅层、设备层，北京某一地铁站建筑物的长一般为 120~150m，宽一般为 20~45m，高一般为 15~20m，高架的建、构筑物的年预计雷击次数为： $N=k \times N_g \times A_e$

其中： N 为建筑物年预计雷击次数（次/a）， k 为校正系数，跟据高架车站所处的位置及周边环境的不同， k 值一般情况下取 1（市区）；位于河边、湖边、山坡下或山地中土壤电阻率较小处、地下水露头处、土山顶部、山谷风口等处的建筑物，以及特别潮湿的建筑物取 1.5；金属屋面没有接地的砖木结构建筑物取 1.7；位于山顶上或旷野的孤立建筑物取 2； N_g 为建筑物所处地区雷击大地的年平均密度（次/km²/a）； $N_g=0.1 \times T_d$ ，为年平均雷暴日（d/a）、整据当地气象台、站资料确定。如以北京地区年平均雷暴日的最新资料为 35.2 天。 A_e 为与建筑物截收相同雷击次数的等效面积（km²）。经计算，高架建、构筑物的年预计平均雷击次数为 0.08~0.17 次/a。

根据四川省闪电监测网数据库资料，将成都市 2005-2012 年共计 8 年的雷暴日资料进行比对，如表 1 所示。选取其中雷暴日数的最大值与最小值作为 T_d 取极限值时的依据进行反推。

表 1 成都市 2005-2012 年雷暴日数

年份	最早出现日期	最晚出现日期	负闪总次数	正闪总次数	雷暴日数
2005	2005-01-21	2005-10-12	27300	981	116
2006	2006-01-23	2006-10-24	17657	455	125
2007	2007-02-09	2007-11-04	31513	1062	122
2008	2008-03-04	2008-10-22	77662	2941	145
2009	2009-03-06	2009-11-06	43868	1750	110
2010	2010-02-18	2010-12-23	85003	1678	110
2011	2011-04-14	2011-11-04	109221	2224	97
2012	2012-03-01	2012-11-02	29180	1067	96

选取 Td 的最大值即 2008 年雷暴日数 145d 以及 Td 的最小值即 2012 年雷暴日数 96d 分别计算整个地铁系统的等效截闪面积, 假设 $N=0.05$ 时, 根据式 $N=k \times N_g \times A_e$ 、式 $N_g=0.1 \times T_d$ 可计算出: Td=96 时, $N_g=0.1$, $T_d=0.96$, $A_e=5210 \text{ m}^2$; Td=145d 时, $N_g=0.1$, $T_d=14.5$, $A_e=3448 \text{ m}^2$ 即在成都地区, 当年平均雷暴日数为 145d 时, 当整个地铁系统截闪等效面积大于 3448 m^2 时, 应将地铁系统划为第二类防雷建筑物。当年平均雷暴日数为 145d 时, 当整个地铁系统截闪等效面积大于 3448 m^2 时, 应将地铁系统划为第二类防雷建筑物。

由于等效截闪面积为实际截闪平面向外扩大后的面积, 所以地铁系统的实际截闪面积在一定程度上小于 3448 m^2 或者 5210 m^2 时也应将其划为第二类防雷建筑物。实际上, 地铁系统建筑物繁多, 其截闪面积远远大于 5000 m^2 , 而以上理论计算基于成都地区 (属于多雷区), 根据中国气象局发布的各地区平均雷暴日数统计, 我国 70% 以上地区都在多雷区到强雷区的范围内, 雷电灾害十分严重。所以在建的地铁工程项目均应统一划归为第二类防雷建筑物。

《地铁交通防雷装置检测技术规范》DB 52/T 1516-2020 条文说明第 5.1 条指出:

采用白云区气象局 30 年气象观测数据、贵州省近 5 年雷电监测网数据, 以贵阳轨道控制中心建筑物及线路雷击次数计算, 各建筑物年预计雷击次数在 0.061-0.491 之间 (见表 2), 根据《建筑物防雷设计规范》GB 50057-2010 中 3.0.3 第 9 款 “预计雷击次数大于 0.05 次/a 的部、省级办公建筑物和其他重要或人员密集的公共建筑物以及火灾危险场所” 的规定, 提出运营控制中心的建筑用房为第二类防雷建筑物。根据高架结构提出地铁系统的高架区间应按第二类防雷建筑物进行防雷检测。

表 2 贵阳轨道控制中心建筑物及线路雷击次数（次/a）

项目	符号	区域							
		外部区域	轻轨控制中心区域	A1 栋区域	A2 栋区域	A3 栋区域	B1 栋区域	B2 栋区域	C1 栋区域
年预计直接雷击次数	ND	0.491	0.061	0.167	0.267	0.286	0.244	0.244	0.240
年预计临近雷击次数	NM	2.858	1.392	1.194	1.231	1.285	1.278	1.278	1.273
年预计雷击线路次数	NL (P1)	0.005	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003
	NL (S1)	0.007	0.001	0.000	0.000	0.001	0.003	0.003	0.003
临近雷击线路次数	NL (P1)	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332
	NL (S1)	0.465	0.266	0.465	0.465	0.465	0.465	0.465	0.465
建筑物及入户设施直接雷击次数	N	0.498	0.062	0.334	0.267	0.287	0.246	0.246	0.243

2. 车站性质及发生雷电事故的后果

根据《中华人民共和国消防法》及《建筑设计防火规范》GB 50016-2006 的规定，同一时间内聚集人数超过 50 人的公共活动场所的建筑定为人员密集场所公共建筑。人员密集场所包括客运车站、客运码头民用机场内的候车、候船、候机厅（楼）等，因此，地铁车结属于人员密集的场所。

浙江省 ADTD 闪电定位系统在 2014-2018 年之间观测获得的数据。该系统共设 11 个闪电定位监测基站，采用多设备接收电磁波并对闪电发生时刻的场强和方位进行监测，可实现大范围高精度地对闪电发生时间、正负极性、闪电电流的最大值、陡度和经纬度等数据的实时观测。数据显示浙江省地闪频次日分布呈单峰状（见图 3），15:00~17:00 时段达到峰值，说明这个时段对流性天气频繁发生。19:00 后，地闪频次迅速下降，23:00~次日 12:00，地闪频次相对较少，且日分布较为平缓。

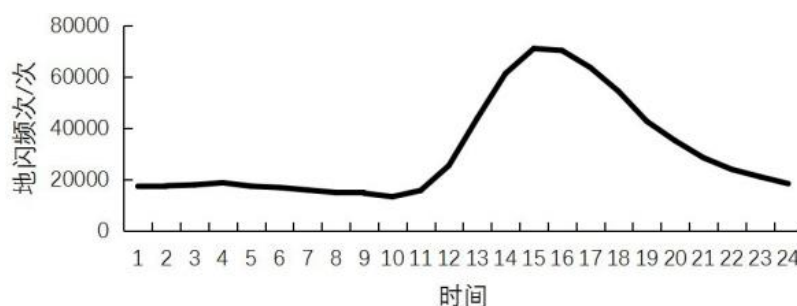


图3 浙江省地闪频次日变化分布图

根据对北京地区夏季地闪活动时空特征分析，在雷雨季节的 16:00-18:00 为闪电高峰时段，同时也正值下班晚高峰时间，城市道路交通压力巨大，车站一旦发生雷击事件，轻者影响市民的出行及生活，重者对站内人员，特别是对站台上乘客的人身安全带来威胁，且由于人员的高度密集会导致这种威胁及伤害范围的扩大，后果极其严重。

3.车站及高架区间的建、构筑物防雷类别的确定

根据《建筑物防雷设计规范》GB 50057-2010 第 3.0.3 条第 9 款：“预计雷击次数大于 0.05 次/a 的部，省级办公建筑物和其他重要或人员密集的公共建筑物以及火灾危险场所”应确定为第二类防雷建筑物的规定，综合考虑地铁车站的重要性，使用性质，雷电发生的可能性和后果，结合地铁站年预计雷击次数，高架车站及建、构筑物应被界定为第二类防雷建筑物，并应按相关要求对建筑物进行综合防雷设计。

4.1.2 本规定参照国家标准《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB 50343-2012）第 4 章执行。电子信息系统雷电防护等级按防雷装置拦截效率 E 确定，防雷装置拦截效率按照 $E=1-N_c/N$ 计算，建筑物及入户设施年预计雷击次数与建筑物所处地区雷击大地的年平均密度有直接关系，年平均雷暴日数又直接影响雷击大地的年平均密度，由于气候变化（极端天气多发，雷电活动趋于频繁）、地区雷暴日数统计方式的变化（人工观测基本取消，雷击次数利用自动监测仪器统计），近 10 年左右的雷暴日统计数据与国家公布的数据有较大差异，又因为各地对雷击次数和雷暴日数统计方式不一致，目前很难做到较精确的统计，按照城市轨道交通电子信息系统的重要性、使用性质和价值，确定其雷电防护等级至少不低于 B 级。

2 本规定参考了 GB 50343-2012 所定义的系统防雷分级划分，并结合铁路运输安全等特点，对铁路电子信息设备防雷等级划分做出规定。

1) 项中的信号设备机房包括信号电源室、继电器室、计算机室、防雷分线室。

4.1.3 本规定参照国家标准《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB50343-2012）3.2 条执行。

4.2 检测方法

4.2.1 查阅资料

雷电防护装置有很大一部分是随着建筑工程同时施工的隐蔽或暗敷工程，尤其是引下线和接地装置的各项参数，在竣工阶段和竣工完成后，是无法直接观察和测量的，需要通过查阅施工记录、图纸等档案资料获取信息并记录。还可能涉及暗敷接闪器的类型和方式、敷设和位置、材料和规格、安装工艺，暗敷网格尺寸，各设备的间隔距离，防跨步电压措施，磁屏蔽的位置和要求，防雷等电位连接等。

检测前还应参考《地铁运营安全评价标准》（GB/T 50438-2007，17.2.3）。防雷电评价应符合下列要求：

1.评价标准：

- 1) 应分析地铁所在地的气象条件（雷电）及特点；
- 2) 应针对雷电采取安全对策和措施；
- 3) 雷电安全防护设备设施应完整、有效；
- 4) 应建立雷电安全防护设备设施的定期检查记录。

2.评价方法：

- 1) 查阅防雷电安全对策措施及设备定期检查记录；
- 2) 现场检查。

4.2.2 观察检查的内容参照国家标准《建筑物雷电防护装置检测技术规范》（GB/T 21431-2023）执行。

4.2.3 测量技术参数

1 常用检测仪器的主要性能和参数指标参照国家标准《建筑物雷电防护装置检测技术规范》（GB/T 21431-2023）附录 C；

2 过渡电阻的测量要求和方法参照国家标准《建筑物雷电防护装置检测技术规范》（GB/T 21431-2023）附录 D 执行；

3 接地电阻的测量要求和方法参照国家标准《建筑物雷电防护装置检测技术规范》（GB/T 21431-2023）附录 E 执行。

4 大型接地装置定义为 110kV 及以上电压等级变电所的接地装置，装机容量在 200MW 以上的火电厂和水电厂的接地装置，或者等效面积在 5000m² 以上的接地装置。同时检测设备宜按《接地装置特性参数测量导则》（DL/T 475-2006）6.1.1 “推荐采用异频电流法测试大型接地装置的工频特性参数，试验电流宜在 3A-20A，频率宜在 40Hz-60Hz 范围，异于工频又尽量接近工频。”；

5 土壤电阻率的测量要求和方法参照国家标准《建筑物雷电防护装置检测技术规范》（GB/T 21431-2023）附录 F 执行；

6 电涌保护器（SPD）压敏电压（ V_v ）、泄漏电流（ I ）和绝缘电阻（ R_i ）的测量要求和方法参照国家标准《建筑物雷电防护装置检测技术规范》（GB/T 21431-2023）附录 J 执行。

4.2.4 雷电防护装置检测最终的目的是及时发现其中的缺陷和隐患，并完成针对性的整改，测量数据直接与标准要求比对判定的过程中，或通过测量数据计算导出结果，识别雷电防护装置是否存在问题，分析处理需要运用专业知识、技术手段和计算方法，对各项检测参数标准进行判定评估，确保检测报告准确性和合规性。

4.2.5 同一类型参数往往具有相关性，如果检测所有的雷电防护装置，往往需要大量的时间和人力，抽检法通过抽取代表性样本进行检测，在满足精度要求的前提下，通过科学的抽样方法，可以反映雷电防护装置的整体质量水平，减少检测工作量，节省检测时间和精力。根据检测需要和实际选择合适的抽样方法和样本量，是高效经济的做法。抽样比例参考国家标准《建筑物雷电防护装置检测技术规范》（GB/T 21431-2023）第 5 章，调研全国各地雷电防护装置检测的实际和业务规范而制定。

5 检测内容及技术要求

5.1 建筑物/构筑物

5.1.1 城市轨道交通包含地面车站、高架车站、变电所和车辆基地等建于地面上的建筑物/构筑物，也包含线路、路基与轨道及地面线、桥隧过渡段、出入段线、车辆基地等处设置的围墙等构筑物设施。

1 对建筑物防雷类别达不到第三类防雷建筑时按三类进行设计是有必要的。

本文件对建（构筑）筑物的防雷分类按照 GB 50057-2010 第 3 章、4.5.1 和 4.5.2 执行。当建筑物防雷类别达不到第三类防雷建筑时，其遭受雷击的风险并不为零。外部防雷装置除了能够泄放直接雷击的能量，由其组成的框架型金属网格对雷击电磁脉冲也有一定的屏蔽效果（屏蔽效果取决于雷击点与建筑物的距离、雷电流大小、网格尺寸等因素，详见 GB 50057-2010 第 6.3 章节内容）。为了统一设计和施工的要求，本文件对建筑物防雷类别达不到第三类防雷建筑时按三类进行设计是有必要的。

2 关于利用建筑物钢筋体作防雷装置，IEC 62305—3:2010 中的规定如下：在其第 21 页第 5.2.5 条 2 款的规定中，对宜考虑利用建筑物的自然金属物作为自然接闪器是“覆盖有非金属材料屋面的屋顶结构的金属构件（桁架、构架、互相连接的钢筋，等等）若覆盖屋面的该非金属材料可以不需要受到保护时”；在其第 24 页第 5.3.5 条 2 款的规定中，对宜考虑利用建筑物的自然金属物作为自然引下线是“建筑物的电气贯通的钢筋混凝土框架的金属体”；在其第 27 页第 5.4.4 条自然接地体的规定中规定“混凝土基础内互相连接的钢筋，当其满足 5.5 条（译注：即对其材料和尺寸的要求，见本文件第 7 章）的要求时或其他合适的地下金属结构，应优先考虑利用其作为接地体”。

国际上许多国家的防雷规范、标准也作了雷同的规定。钢筋混凝土建筑物的钢筋体偶尔采用焊接连接，此时提供了肯定的电气贯通。然而更多的是，在交叉点采用金属绑线绑扎在一起，但是不管金属性连接的偶然性，这样一类建筑物具有许许多多钢筋和连接点，它们保证将全部雷电流经过许多次再分流流入大量的并联放电路径。经验表明，这样一类建筑物的钢筋体能容易地被利用作为防雷装置的一部分或全部。

3 高架车站屋面主要有两种类型：一是车站屋面全部采用金属材料；二是车站屋面采用金属材料与大面积玻璃的组合。当高架车站采用金属屋面板时，屋面板厚度应大于 0.5mm，屋面板之间以及屋面板与车站主体钢构应保证良好的电气连接。当高架车站采用金属材料与大面积玻璃的组合时，考虑到车站的美观以及减少维护，可直接利用玻璃框架的金属边框作为接闪网格，此时需保证玻璃边框的厚度大于 0.5mm 并且与车站主体钢构具有良好的电气连通性。

4 将屋面为光伏方阵的建筑物，分为钢筋混凝土和钢结构建筑物、非钢筋混凝土和钢结构建筑物两种类型。光伏方阵也分为有金属边框光伏方阵和金属边框光伏方阵两种类型。光伏方阵和建筑类型的组合就有四种。GB/T 36963-2018 中 4.1、4.2 的规定，不同组合形式下，因建筑物和光伏方阵原因，其对防雷装置的满足程度是不一样的。

1) 钢筋混凝土和钢结构建筑物光伏建筑一体化系统的防护可利用光伏组件；光伏方阵的金属边框作为接闪器，利用建筑物的结构金属物，如柱内钢筋或钢构架等作为自然引下线，并利用建筑物基础内钢筋作为自然接地体。共用接地装置的接地电阻值符合 GB 50057-2010 中 4.3.6 的规定；无金属边框的光伏组件、光伏方阵的防护应采用在光伏组件上沿等易受雷击部位敷设接闪带、利用金属维护通道或金属桥架等作为接闪器、安装接闪杆不得遮挡光伏组件，使光伏方阵处于直击雷防护区（LPZ0B）内；

2) 非钢筋混凝土和钢结构建筑物光伏建筑一体化系统的防护中，当建筑物安装了外部雷电防护装置时，应利用已安装的外部雷电防护装置进行直击雷防护。当接闪器的高度低于光伏方阵的上沿时，可增加接闪器的高度，且不应遮挡光伏组件；当建筑物没有安装外部雷电防护装置时，可利用光伏组件或光伏方阵的金属边框作为接闪器，当无金属边框可利用时，应按 GB/T 36963-2018 中 4.1.2 的规定专设接闪器，并敷设不少于 2 根的专设引下线和接地装置。引下线应沿所在建筑物周边均匀对称布置，其间距沿周长计算不应大于 25m，每根引下线的接地冲击电阻不宜大于 $30\ \Omega$ 。接闪器、引下线和接地

装置的材料、规格和最小尺寸及安装要求应符合 GB 50057-2010 中第 5 章的规定。

5 未处于高杆灯、金属塔架保护范围的车辆基地露天作业场区，宜设置按第三类防雷建筑物设置接闪杆或接闪网。

据调查，当粮、棉及易燃物大量集中的露天堆场设置独立接闪杆后，雷害事故大大减少。虽然车辆基地露天作业场区不属于建筑物，但参照 GB 50057-2010 中 4.5.5 条规定，本条仍规定参照第三类防雷建筑物的规定。

考虑到作业区的长、宽、高是设定的，并不一定总是满场作业，故其接闪杆、架空接闪线保护范围的滚球半径取比保护第三类防雷建筑物的大，即 $h_r=100\text{m}$ 。 $h_r=100\text{m}$ 相应的接闪最小雷电流约为 34.5kA，接近雷电流的平均值；此外，考虑到作业区不是总到预定的高度和场区面积的边沿，因此，实际上在许多情况下，场区受到保护的滚球半径小于 100m，也就是相应受到保护的最小雷电流比平均值小。

6 根据 IEC 62305-3:2010 第 111 页附录 E 的 E.5.2.4.2.4 条、GB 50057-2010 中 4.3.2 条、4.5.7 条而制定。

8 防雷接地装置的冲击接地电阻不宜大于 10Ω 。一般情况下，规定冲击接地电阻不宜大于 10Ω 是适宜的，但在高土壤电阻率地区，要求低于 10Ω 可能给施工带来很大的困难。故本款规定为，在满足间隔距离的前提下，允许提高接地电阻值。此时，虽然支柱距建筑物远一点，接闪器的高度也相应增高，但可以给施工带来很大方便而仍保证安全。在高土壤电阻率地区，这是一个因地制宜而定的数值，它应综合接闪器增加的安装费用和可能做到的电阻值来考虑。 30Ω 的规定参考 GB 50057-2010 第 4.2.4 条第 6 款的条文说明。

9~10 我国轨道交通工程接地电阻一般是参照 DL/T 621-1997《交流电气装置的接地》中的相关要求设计，该文件 5.1.1 条规定，在一般情况下，有效接地和低电阻电气装置保护接地系统中的接地电阻应符合式（1）的要求，并且当 $I \geq 4000\text{A}$ 时，可采用 $R \leq 0.5\Omega$ 。

$$R \leq 2000/I \quad (1)$$

式中：

R——考虑到季节变化的最大接地电阻（ Ω ）；

I——流经接地电阻的入地短路电流（A）。

对于不同的入地短路电流，可计算接地电阻不同的允许值，其关系曲线如图 4 所示。

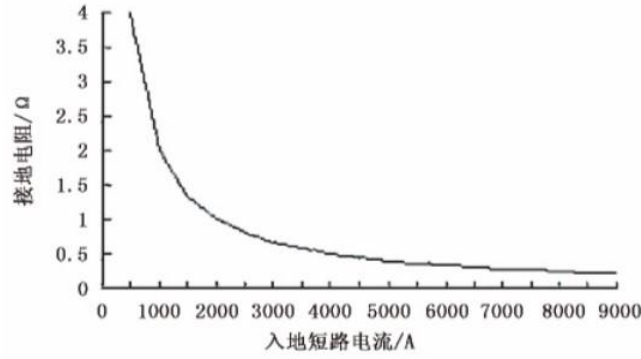


图 4 对地电位允许的接地电阻值曲线

根据规范规定，在发生接地短路或者牵引回流时，最大接触电势不得大于最大允许接触电势，即：

$$E_{\max} = K_j I R \quad (\leq E_{jd} \text{ 或 } E_{jh}) \quad (2)$$

式中：

$E_{\max}$ ——最大允许接触电势，单位为 V；

K_j ——接触系数；

E_{jd} ——短路电流引起的接触电势， $E_{jd} = (174 + 0.17 \rho_b) / \sqrt{t}$ ，单位为 V；

E_{jh} ——牵引回流引起的接触电势， $E_{jh} = 50 + 0.05 \rho_b$ ，单位为 V；

ρ_b ——土壤电阻率，单位为 $\Omega \cdot m$ ；

t——入地短路电流作用时间，单位为 S；

I——入地短路电流，单位为 A；

R——接地电阻，单位为 Ω 。由式（3）求得接触电压要求的接地电阻为

$$R \leq \frac{E_{jd} E_{jh}}{k_j I} \quad (3)$$

对于不同入地短路电流、牵引回流、土壤电阻率，可计算牵引变电所在最大允许接触电压下的接地电阻允许值，并绘制其关系曲线（图 5）。

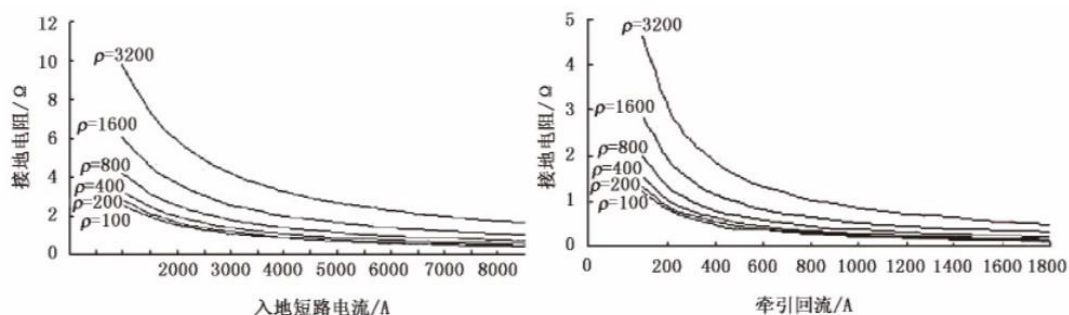


图5 最大接触电压条件下接地电阻允许值曲线

根据规范规定，在发生接地短路或者牵引回流时，最大跨步电势不得大于最大允许跨步电势。

$$E_{\max} = k_k I R (\leq E_{kd} \text{ 或 } E_{kh}) \quad (4)$$

式中：

$E_{\max}$ ——最大允许接触电势，单位为 V；

k_k ——跨步系数；

E_{kd} ——短路电流引起的跨步电势 ($E_{kd} = (174 + 0.17 \rho_b) / \sqrt{t}$)，单位为 V；

E_{kh} ——牵引回流引起的跨步电势，单位为 V ($E_{kh} = 50 + 0.2 \rho_b$)；

ρ_b ——为土壤电阻率，单位为 $\Omega \cdot m$ ；

t ——入地短路电流作用时间，单位为 S；

I ——入地短路电流，单位为 A；

R ——接地电阻，单位为 Ω 。

由式 (5) 求得跨步电压要求的接地电阻为

$$R \leq \frac{E_{kd} E_{kh}}{k_k I} \quad (5)$$

对于不同的入地短路电流、牵引回流、土壤电阻率，可计算牵引变电所在最大允许跨步电压下的接地电阻允许值，并绘制其关系曲线（图 6）。

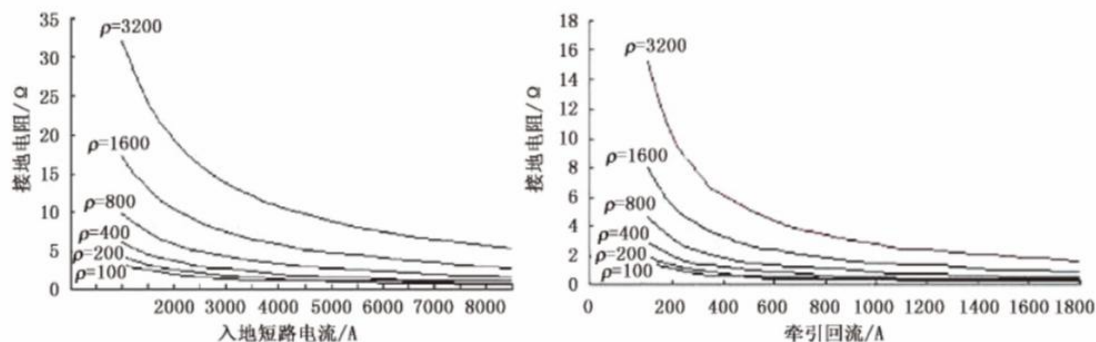


图6 最大跨步电压条件下接地电阻允许值曲线

通过以上分析可以得出结论：接地网接地电阻大小的设计直接受到入地短路电流、最大允许接触电压和最大允许跨步电压的影响。根据接地电阻允许值曲线图分析，在相同的土壤电阻率情况下入地短路电流对接地网接地电阻值的要求严格于最大允许接触电压与最大允许跨步电压对接地网接地电阻值得要求，因此接地电阻只要满足入地短路电流的要求就一定能满足跨步电压与接触电压的要求。

旁侧闪络是雷电防护装置在捕获雷电时，引下线立即升至高电位，会对防雷系统周围的尚处于地电位的导体产生旁侧闪络，并使其电位升高，进而对人员和设备构成危害。为了减少这种闪络危险，最简单的办法是采用均压环，将处于地电位的导体等电位连接起来，一直到接地装置。车站内的金属设施、电气装置和电子设备，如果其与防雷系统的导体，特别是接闪装置的距离达不到规定的安全要求时，则应该用较粗的导线把它们与防雷系统进行等电位连接。这样在闪电电流通过时，站内的所有低压设施立即形成一个“等电位岛”，保证导电部件之间不产生有害的电位差，不发生旁侧闪络放电。

在南京地铁1号线在试车期间的一起供电系统电缆单相短路故障，是由于地铁主变电所附近35KV系统的单相短路入地短路电流远远高出了理论计算值1000A，达到了3000A左右。根据实际分析计算以及供电故障实例分析可以得出：地铁供电系统综合接地网在一般地铁车站可按不大于 1Ω 进行设计，而在主变电所、运营控制中心以及车辆段因为影响因素较多，其接地网接地电阻宜按不大于 0.5Ω 进行设计。接地网应预留3组接地引出线，分别是强电引出线、弱电引出线以及综合地网引出线，并且自然接地体与人工接地网的接地电阻值的测量应能分别进行。所以车站结构钢筋还需预留一组预埋钢板，如图7所示。

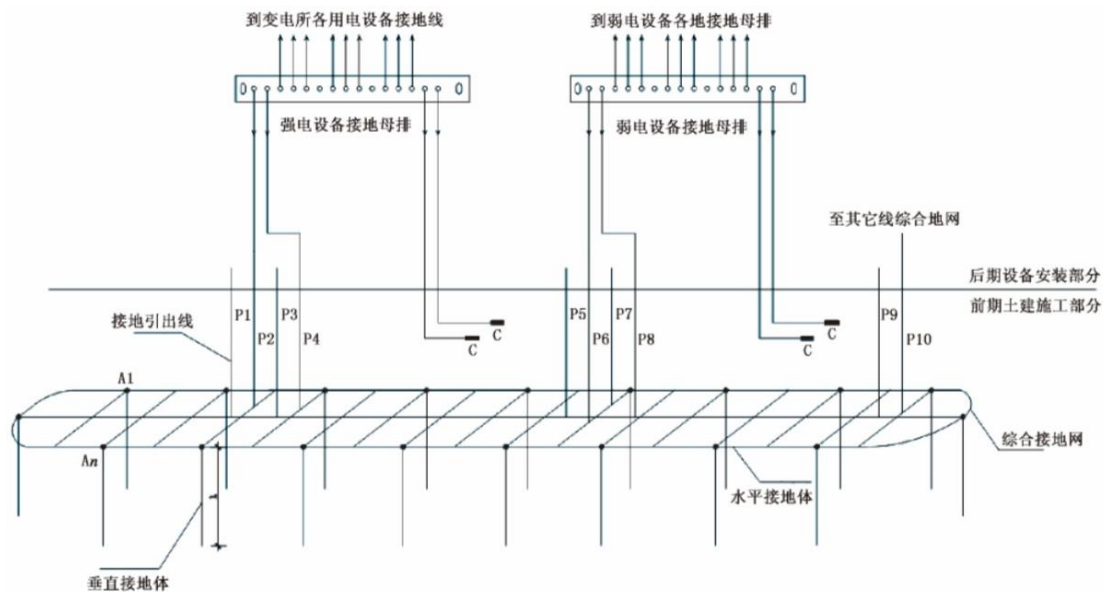


图 7 地铁车站接地装置预留接地线示意图

(P1~P10 为预留接地引出线，其中强电引出线 1 组 4 根，弱电引出线 1 组 4 根，结构钢筋预埋钢板 2 组每组 2 块，其他地网引出线 1 组 2 根，C 为与结构钢筋焊接的预埋钢板，A1~An 为垂直接地体)

在对地铁站接地装置进行检测时，应分别对这 4 组接地引出线进行测试，如果现场结构钢筋预埋钢板已经与强（弱）电总接地母排相连，测试接地电阻时应将其与预埋钢板断开后分别进行测试。

5.1.2 对地上建（构）筑物的规定

3 出入口应有防直击雷措施

1) 出入口的栏杆、自动扶梯、电梯、冷却塔、雨棚等不带电金属构件的接地考虑的是其与人的接触安全。如仅作为接闪器使用，其冲击接地电阻值是可以放宽要求的。但这些设施与人身直接接触的可能性较大，其工频接地电阻应采用 50Hz 供电系统对人身安全的要求值。

2) 地铁出入口基本采用钢架形式设计，高出地面 5m 左右。一般设立在马路两边，车流量及人流量较大，不同出入口之间空间跨度不同，从几十米到数百米不等，从安全角度考虑，行人出入口宜采用独立的接地装置，接地电阻 $\leq 10 \Omega$ ，接地体埋深不小于 0.5m，离出入口

钢架距离不小于 3m。上盖层采取绝缘措施。在马路同侧，距离小于的相邻出入口可共用接地装置，其接地装置连接导体的敷设应避开人行道等人员密集区，并采取绝缘措施防止跨步电压。钢架龙骨应涂刷至少 3mm 厚的交联聚乙烯层隔离。

- 3) 无障碍电梯防直击雷：①处于 LPZ0B 区的无障碍电梯。处于接闪器保护范围内的无障碍电梯可以不采取防直击雷措施，因其直接进入地铁地下层，可利用地铁接地系统，将电梯龙骨钢架与接地装置进行等电位连接。②处于 LPZ0A 区的无障碍电梯。处于马路边或者空旷地带，无接闪器保护的无障碍电梯可利用电梯支撑钢架作为接闪器，宜采用独立的接地装置，引下线及接地装置做法可按照地铁出入口方式设计安装。

5 本文件要求独立接地置在符合自身地电阻要求后再与综合接地系统连接的作用，一是消除两接地装置间的电位差，二是在等电位连接不可靠时独立接地装置能够符合所防护的人员安全和设备安全要求。沿线设置的独立接地装置主要是指沿线 20m 范围内与综合接地系统等电位连接的站房、信号楼、区间设备房屋等建筑物，以及铁塔等构筑物的接地装置。

5.1.3 本条对地下结构进行了规定。

地下车站及地下跟随变电所考虑到防杂散电流的腐蚀问题，接地装置则采取外引接地极，绝缘引入的方式敷设，应符合下列规定：

1 接地网设置：在车站基础底板垫层下方的土壤中，由水平接地体和垂直接地体构成接地网。其材料多采用铜材。接地引出线在穿过结构底板时，经由内部灌注了环氧树脂固定的钢管引出，在站台层下方的电缆夹层内分别设置的若干块强电 MEB、弱电 MEB。

2 地下车站建筑物的结构钢筋与接地网绝缘，车站结构处于悬浮状态，不与综合接地网连接。

3 强弱电接地端子：地下车站接地网均设置强弱电接地引出端子，分别设置强电接地母排、弱电接地母排和设备接地母排，强弱电引出接地端子的距离按

的镀锌扁钢沿线路方向通长焊接在声屏障的工字钢立柱上,该扁钢作为高架区间防雷接地贯通地线,桥面上的强弱电设备的防雷装置、金属件等与之可靠连接。

2 引下线:在每个桥墩(间距约 30m)位置的桥面护板两侧采用 $\Phi 16\text{mm}$ 圆钢作为防雷接地引下线,该段圆钢在两片梁之间的伸缩缝内沿梁体侧面的弧度明敷。选择桥墩内通长焊接的 2 根不小于 $\Phi 16\text{mm}$ 竖向主筋作为防雷接地引下线,其上端与桥面作为防雷引下线的圆钢可靠焊接,下部与桥墩承台上层钢筋外圈连接。此外,将该段圆钢在声屏障底座处截断,采用地极保护器连接两端,保证仅雷击时地极保护器连通泄流,平时处于断开状态,防止将杂散电流引入桥墩,腐蚀墩柱内钢筋和地下管线。

3 接地装置:

利用桥梁承台及桩基内的钢筋网构成防雷的自然接地装置。每根桩基利用外围结构主筋中的 2 根对角主筋作为垂直接地体,同时沿桩身每隔 5m 利用箍筋将桩基外围主筋焊接连通成钢筋笼。选取承台顶部上层外圈钢筋焊接连通,构成承台环作为水平接地体。防雷自然接地装置的接地电阻值不应大于 10Ω ,电阻值不满足要求时需增设人工接地极。

4 牵引网防雷:

高架区间上、下行接触轨每间隔约 250m 分别设置避雷器,避雷器就近接入高架桥墩防雷接地端子。并在接触轨电分段上网电缆处、隧道洞口等位置设置避雷器,将雷电流就近直接泄放入地,降低雷电引起的高电位对接触轨及轨旁相关设备的影响。为防止雷电波通过高架区间电缆引至牵引变电所造成电气设备损坏或人员伤害,在高架、地面及与地面相邻牵引变电所的正母线、馈线开关柜、负母线增设避雷器。

5 区间其他设备防雷:

高架区间还包括信号机、转辙机、无线接入(AP)设备、轨旁射频单元(RRU)、漏泄同轴电缆等设施。对于信号机、AP 箱盒等金属设备,其外壳应与沿区间弱电电缆支架贯通敷设的弱电接地扁钢连接,实现保护接地;为防止外部雷击对设备造成损害,采用在轨旁电源箱内或在室内防雷分线柜处设置浪涌保护器的方案,实现对雷击的设备防护功能。

5.2 供电系统

5.2.2 本条对变电所进行了规定。

2 执行该条规定同时还应依据《地铁设计规范》（GB 50157-2013）15.6.12 条变电所利用车站结构钢筋或者变电所结构基础钢筋等自然接地极作为接地装置，并宜敷设以水平接地极为人工接地网。自然接地装置和人工接地网之间应采用不少于两根导体在不同地点相连接。自然接地极与人工接地网的接地电阻值应能分别测量。《地铁设计规范》（GB 50157-2013）15.6.13 接地装置至变电所的接地线的截面，不应小于系统中保护地线截面的最大值。

3 我国电力部门 DL/T 621 规定：“低压系统由单独的低压电源供电时，其电源接地点接地装置的接地电阻不宜超过 4Ω 。”对于电子信息系统直流工作接地（信号接地或功能性接地）的电阻值，从我国各行业的实际情况来看，电子信息设备的种类很多，用途各不相同，它们对接地装置的电阻值要求不相同。因此，当建筑物电子信息系统防雷接地与交流工作接地、直流工作接地、安全保护接地共用一组接地装置时，接地装置的接地电阻值必须按接入设备中要求的最小值确定，以确保人身安全和电气、电子信息设备正常工作。

5 依据《地铁设计规范》（GB 50157-2013）15.7.14 配电变压器低压侧中性点应直接接地。

根据《低压电气装置第 4-44 部分：安全防护电压骚扰和电磁骚扰防护》GB/T 16895.9-2010/IEC 60364-4-44:2007 第 444.4.3.1 条“装有或可能装有大量信息技术设备的现有的建筑物内，建议不宜采用 TN-C 系统。装有或可能装有大量信息技术设备的新建的建筑物内不应采用 TN-C 系统。”第 444.4.3.2 条“由公共低压电网供电且装有或可能装有大量信息技术设备的现有建筑物内，在装置的电源进线点之后宜采用 TN-S 系统。在新建的建筑物内，在装置的电源进线点之后应采用 TN-S 系统。”

在 TN-S 系统中，中性线电流仅在专用的中性导体（N）中流动，而在 TN-C 系统中，中性线电流将通过信号电缆中的屏蔽或参考地导体、外露可导电部分和装置外可导电部分（例如建筑物的金属构件）流动。

对于敏感电子信息系统的每栋建筑物，因 TN-C 系统在全系统内 N 线和 PE 线是合一的，存在不安全因素，一般不宜采用。当 220/380V 低压交流电源为 TN-C 系统时，应在入户总配电箱处将 N 线重复接地一次，在总配电箱之后采用 TN-S 系统，N 线不能再次接地，以避免工频 50Hz 基波及其谐波的干扰。设置有 UPS 电源时，在负荷侧起点将中性点或中性线做一次接地，其后就不能接地了。

6 依据《地铁设计规范》（GB 50157-2013）15.4.14 “金属电缆支架应进行防腐处理，并应有电气连接与接地。”

5.2.3 本条对架空接触网的直击雷防护措施进行了规定。

1 雷击大地的年平均密度宜优先采用广域雷电地闪监测系统获得测试数据。雷击大地的年平均密度（以下简称地闪密度）体现了一个地方遭雷击可能性的大小，是雷击风险评估及建（构）筑物防雷类别划分最重要的依据，是防雷工作中最基础的技术参数之一。在《建筑物防雷设计规范》GB 50057 中，地闪密度 N_g 的定义为：每年每平方千米遭雷击的次数。并应用下述公式（6）进行计算：

$$N_g = 0.1 T_d \quad (6)$$

式中：

T_d ——年平均雷暴日，根据当地气象台、站资料确定（d/a）。

由《建筑物防雷设计规范》GB 50057 规定可知，地闪密度与雷暴日数呈唯一的对应关系，且全国用统一的公式。但由于，其一我国幅员辽阔，各地气候差异较大，雷暴发生和维持的条件各不相同，每个雷暴日的闪电次数也不应相同。雷暴日的多少虽然在一定程度上可以反映各地闪电的多少，但雷暴日的定义是：在一天内听到雷声（不管雷声的多少）则记录为当地一个“雷暴日”，它不分地闪还是云闪，因此一个地区的雷暴日很难正确反映地闪密度。其二随着气象部门现代化建设的发展，从 2015 年起，气象部门已经停止“雷暴日”的观测，即从此以后没有年平均雷暴日的资料。

关于雷击地闪密度与雷暴日数的关系，马金福等人根据美国卫星观测到的我国各省区年平均总闪电资料并计算出各省区的年平均地闪密度，以及全国各省区 220 个站点的年平均雷暴日资料，按照《建筑物防雷设计规范》GB 50057 中公式计算出全国各省区地闪密度，数据详见表 3。

表 3 中国不同地区雷击密度对比表

地区	卫星观测总闪密度 /(次/(km ² ·a))	卫星观测地闪密度 /(次/(km ² ·a))	平均雷暴日数 /(d/a)	按规范计算的 地闪密度 /(次/(km ² ·a))	相对误差	单位雷暴日 地闪密度 /(次/(km ² ·d))
天津市	9.7	2.32	29.3	1.94	-16.5	0.079
山东省	8.1	1.85	28.0	1.83	-1.1	0.066
北京市	8.9	2.18	36.3	2.56	17.3	0.060
辽宁省	6.4	1.65	27.4	1.78	7.9	0.060
河北省	7.9	1.89	34.3	2.38	25.8	0.055
江苏省	8.5	1.76	33.5	2.31	30.8	0.053
河南省	6.6	1.37	25.6	1.63	18.7	0.053
上海市	7.4	1.47	28.4	1.86	26.9	0.052
重庆市	8.5	1.65	35.4	2.48	50.4	0.047
安徽省	8.1	1.64	38.9	2.80	70.6	0.042
浙江省	8.2	1.56	39.5	2.86	83.3	0.039
黑龙江	4.1	1.18	31.8	2.15	82.9	0.037
吉林省	4.5	1.18	32.7	2.23	88.7	0.036
广东省	16.6	2.80	76.9	6.79	142.8	0.036
湖北省	7.0	1.39	39.7	2.88	107.3	0.035
贵州省	10.2	1.86	56.9	4.59	147.4	0.033
山西省	5.0	1.14	36.5	2.58	126.1	0.031
内蒙古	3.6	0.95	30.6	2.05	116.4	0.031
甘肃省	2.6	0.61	19.5	1.14	87.9	0.031
江西省	9.7	1.76	61.2	5.05	186.0	0.029
湖南省	8.1	1.50	52.0	4.08	171.5	0.029
陕西省	3.5	0.76	25.9	1.65	116.9	0.029
宁夏	3.0	0.68	24.4	1.53	123.2	0.028
福建省	8.5	1.52	58.0	4.71	210.6	0.026
广西	12.6	2.12	81.0	7.27	242.2	0.026
四川省	4.7	0.93	49.6	3.84	312.4	0.019
新疆	1.3	0.33	17.5	0.99	203.7	0.019
海南省	11.5	1.81	104.3	10.09	456.1	0.017
云南省	6.0	1.03	66.9	5.67	450.3	0.015
青海省	2.1	0.47	41.8	3.07	557.7	0.011
西藏	1.7	0.34	64.4	5.39	1500.8	0.005

从表 3 中国不同地区雷击密度数字可看出,在大部分地区,按《规范》公式计算的地闪密度明显高于卫星观测地闪密度,有 17 个省(区、市)高出一倍以上,其中海南、四川和云南高出三至四倍,其值已接近卫星观测得到的总闪次数,青海和西藏二地的计算值则高于卫星观测得到的总闪次数,西藏更是高出二倍以上。总体来看,青藏高原及其邻近地区相对误差最大,海南、云南等南方地区次之,华北、东北及华东地区相对小些。

根据王学良等人的研究结果表明,在观测台站周围 5-40km 范围内,年雷暴日数与雷击大地年平均密度密切相关,相关系数在 0.7513~0.8521 之间,达到 0.001 极显著相关水平,峰值出现在台站周围 18-20km 范围内,其中 8km 范围内相关系数最大为 0.8521;5km 范围内,相关系数最小为 0.7513。另一方面是在 20-40km 范围内,有雷暴天气发生时,雷暴云团会在一定时间(一天内)内会移

动到观测台站能听到雷暴声的距离范围内,由此可见雷暴日数与单位面积的云地闪电次数相关性较高。

根据张日高等人对 2004-2007 年的资料进行分析后指出,雷电监测定位系统监测的雷暴日数与人工观测记录的雷暴日数的差别是客观存在的,但人工观测记录的雷暴日数计算雷击大地平均密度存在明显的缺陷。当雷电检测定位系统的监测资料达到一定年限后,直接用实测资料计算雷击大地平均密度将更准确衡量某一区域雷电活动的频繁程度,为雷电防护工程设计和防雷减灾工作提供更客观的依据。

表 4 2007-2010 年湖北各台站雷击大地年平均密度对比

Table 1. The average density of lightning in each station in 2007-2010						
项目 台站	平均年雷 暴日数(d)	监测云地闪密 度/(次/km ² .a)	按拟合方程计算云地 闪密度/(次/km ² .a)	按规范方程计算的云 地闪密度/(次/km ² .a)	相对误差 (%)	
					拟合方程	规范方程
安陆	31	3.79	5.07	2.11	33.77	44.33
保康	28	2.96	4.35	1.85	46.96	37.50
长阳	39	7.16	7.06	2.81	1.40	60.75
大悟	30	3.14	4.77	2.00	51.91	36.31
当阳	34	6.87	5.75	2.35	16.30	65.79
鄂州	43	9.44	8.18	3.19	13.35	66.21
广水	29	3.95	4.47	1.89	13.16	52.15
汉川	25	4.43	3.68	1.60	16.93	63.88
洪湖	29	4.72	4.59	1.93	2.75	59.11
黄陂	33	5.34	5.56	2.28	4.12	57.30
黄石	44	10.21	8.39	3.26	17.83	68.07
嘉鱼	37	6.29	6.59	2.65	4.77	57.87
江夏	34	6.00	5.69	2.33	5.17	61.17
京山	28	5.02	4.35	1.85	13.35	63.15
南漳	24	3.42	3.46	1.51	1.17	55.85
潜江	24	3.50	3.46	1.51	1.14	56.86
天门	26	5.30	3.73	1.62	29.62	69.43
武汉	29	4.48	4.47	1.89	0.22	57.81
孝感	33	4.87	5.37	2.22	10.27	54.41
新洲	33	6.07	5.37	2.22	11.53	63.43
宜昌	44	8.21	8.46	3.29	3.05	59.93
远安	31	7.23	5.01	2.08	30.71	71.23
云梦	28	4.23	4.18	1.78	1.18	57.92
枝城	35	7.30	5.88	2.40	19.45	67.12
枝江	32	5.67	5.31	2.19	6.35	61.38
钟祥	31	5.16	4.94	2.06	4.26	60.08
仙桃	26	5.06	3.73	1.62	26.28	67.98
应城	31	4.65	4.94	2.06	6.24	55.70
平均	32	5.52	5.24	2.16	14.04	59.03

根据 TB/T 3551-2019 第 4.1 条规定,高速铁路宜采用广域雷电地闪监测系统获得的走廊沿线地闪密度表征。

因此宜优先采用广域雷电地闪监测系统获得的城市轨道交通线路沿线的地闪密度测试数据作为雷击大地的年平均密度。

2 雷击大地的年平均密度 ≥ 4 次/(km².a)的地区,架空接触网宜设置接闪线/架空地线。本规定是依据 GB/T 37317-2019“表 2 架空接触网采用架空地线防

雷措施后的雷击跳闸率”注 1:表中数据对应雷电地闪密度为 2.78 次/ (km² • a) , 折算到雷暴日约为 40d; 并结合标准 B10009-2016 中 5.3.1 第 2 条款, 雷暴日 40 天按 TB/T3551-2019 第 4.1 条计算 (近似对应 GB 50057-2010 标准), 对应雷电地闪密度为 2.78 次/ (km² • a) ; 同时按照 GB 50057-2010 计算方法, 经计算后取得雷电地闪密度应该为 4 次/ (km² • a) 较为合理。

3 架空接触网接闪线架设规定

1) 架空接触网采用架空地线防雷措施后的雷击跳闸率计算结果参见表 5。

表 5 架空接触网采用架空地线防雷措施后的雷击跳闸率

大地土壤电阻 率 $\Omega \cdot m$	雷击跳闸率 次/ (100km • a)				
	轨面高度 0m	轨面高度 5m	轨面高度 10m	轨面高度 15m	轨面高度 20m
50	4.12	5.24	9.56	14.97	21.01
100	6.48	7.40	10.96	17.22	22.63
150	8.85	8.36	12.79	18.36	23.83
200	11.29	9.95	14.35	19.67	25.26
300	15.75	12.97	17.49	22.79	27.94
500	21.99	18.01	22.65	28.22	33.43
700	27.84	23.56	28.05	33.04	38.21
1000	34.04	28.83	33.15	38.94	44.36
1500	41.01	36.36	41.10	46.12	51.71
2000	47.11	43.76	48.81	53.68	59.59
3000	55.93	54.10	59.29	64.26	70.35

注 1: 表中数据对应雷电地闪密度为 2.78 次/ (km² · a) , 折算到雷暴日约为 40d。雷击跳闸率与雷电地闪密度呈线性正比关系, 不同地闪密度对应的雷击跳闸率可在表中数据基础上进行折算获得。

注 2: 当实际大地土壤电阻率介于表中给定的两个数值之间时, 雷击跳闸率应取表中土壤电阻率者对应的数值。

注 3: 表中轨面高度指钢轨上表面与地表面的相对距离。路基段接触网轨面高度按 0m 计。

注 4: 对于高架区段接触网, 当实际轨面高度介于表中给定的两个数值之间时, 雷击跳闸率应根据表中两个轨面高度对应的数值进行线性插值计算。

注 5: 在计算一个架空接触网区段雷击跳闸次数时, 先确定接触网所处区域的雷电地闪密度, 再将架空接触网区段按照大地土壤电阻率、轨面高度参数相近原则划分为若干特征段, 依据表中数据计算获得各特征段雷击跳闸次数, 累加各特征段跳阿次数获得接触网区段的雷击跳闸次数。

注 6: 表中数据未考虑接触网附近存在高大树木、构筑物对接触网形成雷电屏蔽情况。考虑屏蔽作用时实际接触网雷击跳闸率小于表中数值, 参照表中数据进行雷电防护设计偏严格。若有需要, 应视屏蔽物分布情况, 研究评估实际雷击跳闸率。

表 6 给出了地闪密度分别为 0.78 次/ (km² · a) 、1.91 次/ (km² · a) 、2.78 次/ (km² · a) 、4.71 次/ (km² · a) 、7.98 次/ (km² · a) 和 11.61 次/ (km² · a) 时, 架空接触网对应的雷击跳闸率理论计算结果, 方便设计参考。

表 6 架空接触网采用架空地线防雷措施后的雷击跳闸率

大地 土壤 电阻 率 $\Omega \cdot m$	雷击跳闸率 次/ (100km · a)														
	地闪密度 0.78 次/ (km ² · a) , 近 似雷暴日 15d					地闪密度 1.91 次/ (km ² · a) , 近似雷暴日 30d					地闪密度 2.78 次/ (km ² · a) , 近似雷暴日 40d				
	轨面高 度 0m	轨面 高 度 5m	轨面 高 度 10m	轨面 高 度 15m	轨面 高 度 20m	轨面 高 度 0m	轨面 高 度 5m	轨面 高 度 10m	轨面 高 度 15m	轨面高 度 20m	轨面 高 度 0m	轨面 高 度 5m	轨面 高 度 10m	轨面 高 度 15m	轨面高 度 20m
50	1.16	1.47	2.68	4.20	5.90	2.83	3.60	6.57	10.29	14.44	4.12	5.24	9.56	14.97	21.01
100	1.82	2.08	3.08	4.83	6.35	4.45	5.09	7.53	11.83	15.55	6.48	7.40	10.96	17.22	22.63
150	2.48	2.35	3.59	5.15	6.69	6.08	5.75	8.79	12.62	16.37	8.85	8.36	12.79	18.36	23.83
200	3.17	2.79	4.03	5.52	7.09	7.76	6.83	9.86	13.51	17.35	11.29	9.95	14.35	19.67	25.26
300	4.42	3.64	4.91	6.40	7.84	10.82	8.91	12.01	15.66	19.20	15.75	12.97	17.49	22.79	27.94
500	6.17	5.05	6.36	7.92	9.38	15.11	12.38	15.56	19.39	22.97	21.99	18.01	22.65	28.22	33.43
700	7.81	6.61	7.87	9.27	10.72	19.13	16.19	19.27	22.70	26.25	27.84	23.56	28.05	33.04	38.21
1000	9.55	8.09	9.30	10.93	12.44	23.38	19.81	22.78	26.76	30.47	34.04	28.83	33.15	38.94	44.36
1500	11.51	10.20	11.53	12.94	14.51	28.18	24.98	28.24	31.69	35.53	41.01	36.36	41.10	46.12	51.71
2000	13.22	12.28	13.70	15.06	16.72	32.37	30.07	33.54	36.88	40.94	47.11	43.76	48.81	53.68	59.59
3000	15.69	15.18	16.63	18.03	19.74	38.43	37.17	40.73	44.15	48.33	55.93	54.1	59.29	64.26	70.35

表 6 架空接触网采用架空地线防雷措施后的雷击跳闸率（续）

大地土壤电阻率 $\Omega \cdot m$	雷击跳闸率 次/（100km $\cdot$ a）														
	地闪密度 4.71 次/（km $^2 \cdot$ a），近似雷暴日 60d					地闪密度 7.98 次/（km $^2 \cdot$ a），近似雷暴日 90d					地闪密度 11.61 次/（km $^2 \cdot$ a），近似雷暴日 120d				
	轨面高度	轨面高度	轨面高度	轨面高度	轨面高度	轨面高度	轨面高度	轨面高度	轨面高度	轨面高度	轨面高度	轨面高度	轨面高度	轨面高度	轨面高度
	0m	5m	10m	15m	20m	0m	5m	10m	15m	20m	0m	5m	10m	15m	20m
50	6.98	8.88	16.20	25.37	35.60	11.82	15.05	27.45	42.98	60.32	17.20	21.89	39.94	62.53	87.76
100	10.98	12.54	18.57	29.17	38.33	18.60	21.25	31.47	49.42	64.95	27.07	30.92	45.79	71.90	94.49
150	14.99	4.17	21.67	31.11	40.38	25.40	24.01	36.71	52.71	68.41	36.96	34.93	53.42	76.68	99.53
200	19.12	16.85	24.32	33.32	42.79	32.40	28.56	41.20	56.46	72.50	47.14	41.54	59.94	82.14	105.48
300	26.69	21.98	29.63	38.62	47.34	45.21	37.24	50.20	65.43	80.20	65.78	54.18	73.03	95.19	116.69
500	37.26	30.52	38.38	17.82	56.63	63.14	51.71	65.03	81.01	95.95	91.86	75.23	94.60	117.86	139.60
700	47.16	39.91	47.52	55.98	64.74	79.91	67.62	80.52	94.84	109.69	116.26	98.38	117.15	137.99	159.59
1000	57.66	48.84	56.17	65.98	75.15	97.70	82.75	95.17	111.78	127.32	142.14	120.39	138.46	162.63	185.24
1500	69.48	61.60	69.64	78.14	87.60	117.72	104.36	117.98	132.39	148.42	171.27	151.83	171.65	192.62	215.94
2000	79.82	74.14	82.70	90.95	100.96	135.23	125.62	140.12	154.09	171.05	196.74	182.76	203.86	224.19	248.85
3000	94.76	91.66	100.45	108.86	119.19	160.55	155.30	170.19	184.45	201.93	233.58	225.95	247.60	268.35	293.79

2) 架空接触网采取架空地线防雷措施工程安装示意图见图 9（单位为毫米）

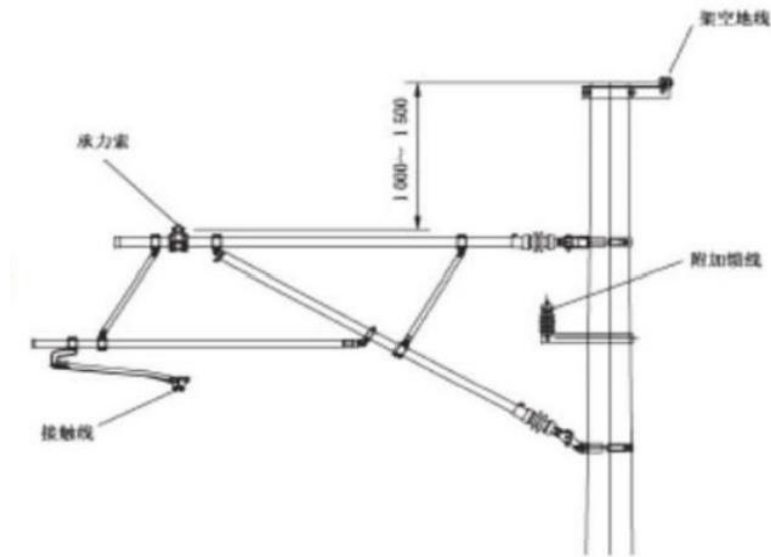


图9 架空接触网采取架空地线防雷措施典型工程安装示意图

4 本条文对明确了钢筋混凝土支柱，回流线或保护线宜采用非绝缘安装方式，且回流线或保护线应与支柱内部接地钢筋相连接。这方面是为了简化接触网的结构，另一方面是为了与接触网防雷设计相配合。为雷电流提供可靠的泄流通路，减少变电所雷击跳闸率，并保护混凝土支柱免遭雷击损伤，提高接触网运行的安全性。为此，支柱内部设一根接地钢筋，支柱上部及下部从该接地钢筋分别引出接地用螺栓。

5 本条参考了原铁道部《铁路技术管理规程》（铁道部令第29号）和中国铁路总公司《铁路技术管理规程》（高速铁路部分）TG/01-2014，以及《轨道交通地面装置第1部分：电安全和接地相关的安全性措施》GB/T 28026.1-2011的有关规定。其中GB/T 28026.1-2011第3.3.8条的规定。

在图10划定范围内解体的带电架空接触网和脱线受电弓偶然触及结构或设备是可能的。图中X、Y、Z的取值应符合国家的安全规则规定。图中HP点为架空接触网导线在各种运行情况下在线路中心线上的最高位置。架空接触网限界在轨面以下为垂直方向直至地面。该限界在铁路穿越桥梁时可不必延伸至桥面以下。在架空接触网跑偏时，其限界范围应作相应延伸。对于非架空的导电轨系统，不需要划定限界范围，而受电弓区则应按不同情况分别列出。

注：脱线或解体的受电弓可能因与其他带电受电弓相连或因再生制动而带电。受电弓不会对馈线或同杆架设馈线起拉伸作用，因此它对馈线或同杆架设馈线得破坏概率很小，通常可不考虑它对馈线或同杆架设馈线的破坏作用。

根据 TB 10180-2016 第 4.1.4 条，铁路建筑物构筑物的接地装置与综合接地系统等电位连接，可避免不同接地装置之间的地电位反击造成的危害。

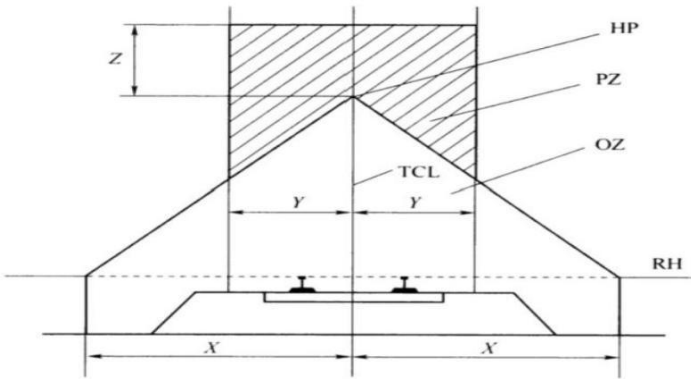


图 10 架空接触网区和受电弓区

关键点：

TCL—线路中心线； X—轨顶平面的最大单向 OZ 值；
RH—轨面； y—最大水平单向 PZ 值；
HP—架空接触网的最高点； Z—解体受电弓最大垂直抬升高度（超过 HP 的高度）；
OZ—架空接触网区； PZ—受电弓区；

注：限界 Y 中已考虑了导体的摆动。

6 高架区间及高架车站的架空接触网的腕臂绝缘子上宜装设带串联间隙的避雷器。

在架空接触网支柱上装设金属氧化物避雷器（以下简称避雷器），通过避雷器本体采用的氧化锌（ZnO）电阻片释放雷电能量，抑制直流续流起弧，保护绝缘子免于雷击损坏的同时，可防止线路雷击跳闸，是一种性能优异的雷电防护措施。避雷器从结构上可分为无间隙和带串联间隙 2 种，相比无间隙结构，带串联间隙避雷器除间隙闪络击穿期间外，电阻片均不承受系统运行电压，避免了电阻片长期耐受电压老化损坏的问题，延长了使用寿命。因此，在城市轨道交通系统接触网中引入带串联间隙避雷器有着工程应用价值。避雷器的工作原理见下图：

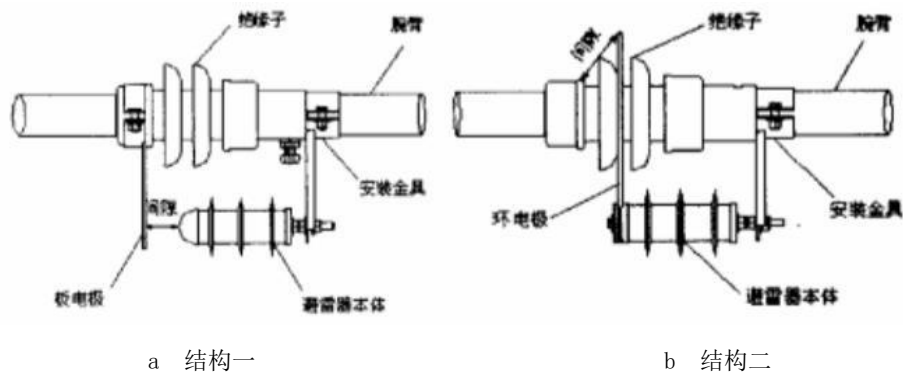


图 11 避雷器结构示意图

参考文献的研究成果，结合架空接触网的实际结构，由避雷器本体、串联间隙和安装金具 3 部分组成，应用时将避雷器安装到腕臂上，与绝缘子并联，结构示意图如图 11。为了适应不同应用场合，设计出 2 种串联间隙结构以供选择，图 11a 的串联间隙由平板电极与避雷器本体端部构成，图 11b 的串联间隙由避雷器本体端部的环电极与绝缘子地电位端端部法兰构成。

通过对腕臂绝缘子用带间隙避雷器开展研制工作，设计避雷器的结构，研究选择电阻片参数、避雷器额定电压和串联间隙距离，通过雷电冲击放电伏秒特性等型式试验对样品性能进行检验。得出以下结论：（1）串联间隙金属氧化物避雷器利用电阻片释放雷电能量、抑制直流续流起弧，有效地保护了绝缘子免于雷击损坏，同时串联间隙隔离系统运行电压作用到避雷器本体上，延长了电阻片的使用寿命，是一种较理想的城市轨道交通架空接触网雷电城市轨道交通防护手段。

（2）城市轨道交通架空接触网用串联间隙金属氧化物避雷器电阻片选用交流 D35 型 ZnO 电阻片，额定电压选为 10kV，串联间隙距离按照间隙的 50%雷电冲击放电电压与被保护绝缘子的放电电压之比在 80%~90%内选取。（3）串联间隙金属氧化物避雷器结构合理，安装方便，保护效果明显。

5.2.4 本条对接触轨的直击雷防护措施进行了规定。

1 利用桥面上与回流轨的绝缘挡板顶部的金属框架、架设信号的金属杆、测风设备的金属杆等金属物作为接闪杆。

由于空调设备外壳全属板的厚度较薄，闪电且击中列车，空调金属外壳被击穿，导致空调系统严重损坏，同时，数十千安、甚至上百千安的雷电流经车体、车轮或受流器进入走行轨及接触轨。对列车牵引电源带来冲击和威胁。

因此，对于采用接触轨方式馈电的地铁列车，其直击雷防护是一个突出的问题，列车的直击雷防护问题可从区间环境的利用和列车自身的强化两方面加以完善，可综合考虑高架区间的宽度，列车的高度等因素，设置合适高度的灯杆，由灯杆金属体起到选择性接闪的作用，保护列车减少直接雷击事故。灯杆的保护高度可按以下式计算：

$$h_x = h_r - \sqrt{(a^2 + b^2) + \left(\frac{D}{2}\right)^2 - x^2}$$

式中：

h_x — 灯杆的保护高度（m）； h_r — 滚球半径，取 45m； h — 相对于轨面的灯杆高度（m）；

D — 高架桥梁两侧灯杆的间距（m）； x — 被保护点至两灯杆中点的水平距离（m）。

由（2）式可知。当 h_x 大于列车顶部或顶部设备的高度时，列车得到保护。对于某线某段单墩柱高架桥，灯杆间距为 9m，地铁 B1 型车的高度为 3.80 m，宽度为 2.80m，在 x 为 2.25m（列车纵向中点）、及 2m（列车顶部设备边缘）处，不同高度灯杆的保护高度 h_x 见表 7。

表 7 不同高度灯杆的保护高度 m

列车顶部被保护点至 两灯杆中点的水平距离	灯杆高度			
	3.5	4.0	4.5	5.0
2.25	3.32	3.82	4.31	4.81
2.00	3.30	3.80	4.30	4.80

由表 1 可知，高度为 3.5m 的灯杆，不能对列车有效保护；灯杆高度为 4.0m 时，对列车保护为临界状态，即同样为不保护状态；当灯杆高度不小于 4.5m 时，可实施保护，且保护余量在 0.5m 以上。

另外。也可采用适当加厚列车顶部，特别是空调设备外罩合金板的厚度，或在车厢顶部纵向设置适当高度的金属带作接闪带，防止闪电直接击在车顶或空调设备上，将金属板溶洞，损坏列车。

4 根据不同区段采取相应的防雷措施。

随着城市轨道交通高架桥和地面线路的开通，地铁和轻轨供电设备及车辆都有遭受雷击的现象发生，如香港机场线、广州地铁 1 号线、上海地铁 3 号线等，所以高架区段牵引网防雷接地保护问题应引起重视。

采用接触轨形式的牵引网，位于声屏障或栏杆保护范围内，不需专门采取防雷措施。采用其他形式的牵引网，在高架和场段区段应重点防护直击雷、雷电反击和感应过电压等。

根据不同区段可采取相应防雷措施，如：

- 1) 隧道外馈线上网点处设避雷器；
- 2) 进入隧道的接触网在隧道入口处设置避雷器；
- 3) 进入封闭式雨棚高架车站的接触网在车站两端设置避雷器；
- 4) 在地面、高架、出入段线、试车线每隔约 200m 设一处避雷器，双线区段交错布置，雷害严重区段适当减少避雷器间隔距离；
- 5) 高架区段利用桥墩做自然接地体，接地电阻不大于 10Ω ；
- 6) 架空地线抬高兼做避雷线，且与每个桥墩进行接地连接；
- 7) 接触网上网开关处设避雷器，以尽量避免雷害现象对供电系统中接触网、变电所设备以及机车车辆设备产生危害；
- 8) 高架段架空地线上下行设置避雷器的支柱通过电压均衡器接地，达到正常运行状态下减少杂散电流泄漏、雷电或过电压情况下迅速泄流的目的；
- 9) 为了避免系统额定电压长期施加在避雷器阀片上，延长避雷器的使用寿命，在支柱腕臂绝缘子处采用串联外间隙金属氧化物避雷器；
- 10) 车辆段试车线及出入段线每根支柱腕臂绝缘子安装一台带间隙金属氧化物避雷器；
- 11) 接地措施：上、下行分别设置贯通的架空地线，车辆段内成排支柱设置架空地线，零散支柱通过跳线或电缆与架空地线相连；架空地线引至牵引变电所的接地母排上，构成闪络保护回路；接触网各绝缘子接地端的金属底座、开关底座、腕臂底座等均与架空地线连通；车场内装有设备的支柱，设置接地极，接地电阻应小于 10Ω ；车场库房内设置带接地刀闸的隔离开关，应考虑在土建结构体预留接地极，保证接触网检修的安全需要；为了便于架空刚性接触网维修时

接地，在架空刚性悬挂接触网机械分段、电分段两端、每一个车站（设备站台以外）两端、线路终端分别设置汇流排接地线夹一套；

12) 人身安全防护：地面上人员活动容易接触到接触网带电体的地方采取有效的防护措施；在车站设置钢轨电位限制装置，当钢轨与保护地之间的电位差大于规定值时，短路装置在 0.1s 内短路，以确保障人身安全。

3 根据 GB 50157-2013 第 15.5.8 条规定“当电气装置采用接地故障保护时，车站、区间、控制中心、车辆基地内的单体建筑等应设置包括建筑物或构筑物结构钢筋在内的总等电位联结。” GB 50490-2009 第 8.1.13 条，3 款规定“车站应具有总等电位联结或辅助等电位联结。”

5.2.6 轨道交通附属设施较多且分散，线路较长，既有局部独立进行防雷，也有综合统一防雷。根据线路所处地区发生雷电的频率把防雷措施分为 A、B、C 三个等级，各个等级采取的不同防雷措施。从理论上规范城市轨道交通防雷的设计、施工、检测与维护等，以便正确、安全、科学地开展城市轨道交通防雷装置检测技术工作。

参照国内成功的雷电防护经验，结合宁波轨道交通防雷经验，以宁波轨道交通 1 号线二期高架段防雷优化为例，使用本研究提出的整体防雷措施，主要是优化了防雷装置布局以及加强季节性的巡检工作。根据国际大电网会议第 33 届研究委员会（电力系统绝缘配合）指出：复线线路牵引供电设备一年内受到雷电击中的次数 $N=0.244 \times T_d \times 1.3$ ， T_d 为当地的年度平均雷暴日数。如表 8 所示。

表 8 宁波地区轨道交通供电线路受雷击故障表

年份	正闪总次数	负闪总次数	雷暴日数	雷击次数	实际故障次数
2017	6098	66852	58	18.39	12
2018	4719	44021	56	17.76	6
2019	10776	36370	54	17.13	5
2020	13176	26354	57	18.08	5

由数据可知，近 4 年来雷电总次数有逐年下降的趋势，2017 年宁波地区的雷暴日为 58 天，使用公式 $N=0.244 \times T_d \times 1.3$ 得出线路受到雷击次数为 18.39 次，根据 SCADA 系统数据显示，2017 年全年因雷击天气引起的自动重合闸等故障

报警为 12 次，即因雷击导致故障为 $\eta = (12/18.39) \times 100\% = 65.25\%$ 。2018 年实施防雷措施改造后，计算雷电故障率分别为 33.78%、29.19%、27.65%。说明采用各个等级采取不同防雷措施可在一定程度上减少雷击造成的故障。

2 轨道交通附属设施较多且分散，线路较长，既有局部独立进行防雷，也有综合统一防雷。根据线路所处地区发生雷电的频率把防雷措施分为 A、B、C 三个等级，各个等级采取的不同防雷措施。从理论上规范城市轨道交通防雷的设计、施工、检测与维护等，以便正确、安全、科学地开展城市轨道交通防雷装置检测技术工作。

参照国内成功的雷电防护经验，结合宁波轨道交通防雷经验，以宁波轨道交通 1 号线二期高架段防雷优化为例，使用本研究提出的整体防雷措施，主要是优化了防雷装置布局以及加强季节性的巡检工作。根据国际大电网会议第 33 届研究委员会（电力系统绝缘配合）指出：复线线路牵引供电设备一年内受到雷电击中的次数 $N = 0.244 \times T_d \times 1.3$ ， T_d 为当地的年度平均雷暴日数。如表 9 所示。

表 9 宁波地区轨道交通供电线路受雷击故障表

年份	正闪总次数	负闪总次数	雷暴日数	雷击次数	实际故障次数
2017	6098	66852	58	18.39	12
2018	4719	44021	56	17.76	6
2019	10776	36370	54	17.13	5
2020	13176	26354	57	18.08	5

由数据可知，近 4 年来雷电总次数有逐年下降的趋势，2017 年宁波地区的雷暴日为 58 天，使用公式 $N = 0.244 \times T_d \times 1.3$ 得出线路受到雷击次数为 18.39 次，根据 SCADA 系统数据显示，2017 年全年因雷击天气引起的自动重合闸等故障报警为 12 次，即因雷击导致故障为 $\eta = (12/18.39) \times 100\% = 65.25\%$ 。2018 年实施防雷措施改造后，计算雷电故障率分别为 33.78%、29.19%、27.65%。说明采用各个等级采取不同防雷措施可在一定程度上减少雷击造成的故障。

5.2.7 牵引电源的防雷保护，除了继续采用在牵引变电室的正、负母线柜和车站端头开关柜内设置牵引电源专用电涌保护器的设计外，还应在高架区间、隧道出入口区间的接触轨及走行轨上按一定的间隔（如 200m）安装电涌保护器，以增

加雷电流的泄放通道，将出现在轨道上的雷电流就近直接泄放入地，降低轨道与道床之间的电位差，保护轨道对结构的绝缘要求，降低雷电高电位对轨道旁的信号设备、通信设备的影响。由于新设置的电涌保护器的分流作用，也大大减少了流入上网电缆和回流电缆内的雷电流，降低了雷电流在电缆上产生的感应电压，保护了电缆。

电涌保护器的额定工作电压、冲击放电电流、电压保护水平等参数的选择，除应满足牵引电源电压的要求外，还应满足以下雷电防护的要求：①在无雷电涌发生时，电涌保护器不对牵引电源系统的正常运行产生影响；②在有电涌发生的情况下，电涌保护器能承受预期通过的雷电流而不损坏，并能限制电涌电压；③在电涌电流通过后，电涌保护器应能迅速恢复高阻状态。

北京新城五线 750V 直流牵引电源的保护，是在变电所的牵引电源正负母线柜及车站端头开关柜内安装了**010**型号的电涌保护器，其主要参数见表 10：

表 10 牵引电源电涌保护器技术参数

参数	型号	
	010	**020**
牵引电源系统电压/V	750	1500
额定电压/KV	1.0	2.0
连续工作电压/KV	1.0	2.0
最大残压（在 I_e 时， $8/20 \mu s$ ）/KV	2.4	4.8
标称放电电流 I_n /KA	10	10
大电流冲击能力/KA	100	100
长时间电流冲击能力/（A.ms-1）	1200/2	1200/2
热能量吸收/KJ	10	20
能量吸收（单脉冲）/KJ	5.5	11
大电流泄放能力/KA	40	40

3 进出防雷建筑物的低压电气系统和智能化系统的线路应防止雷电波侵入。本文件对防止雷电波侵入建筑物所采取措施的检测作了规定：①当闪电直接闪击引入防雷建筑物的架空或室外明敷设的线路上时，安装在此处的电涌保护器需完全承受闪电直接闪击在线路上的预期雷击的电涌电流，此预期雷击的电涌电流为 10us/350us 波形，因此应选择 I 级试验的电涌保护器。

预期雷击的电涌电流可参见表 11。

表 11 预期雷击的电涌电流

建筑物防雷类别	闪电直接闪击在线路上	闪电非直接闪击在线路上	闪电击于建筑物附近感应的电涌电流 ^④	闪电击于建筑物感应的电涌电流 ^④
	10 μ s/350 μ s 波形（kA）	8 μ s/20 μ s 波形（kA）	8 μ s/20 μ s 波形（kA）	8 μ s/20 μ s 波形（kA）
		低压电气线路		
第三类	5 ^②	2.5 ^③	0.1 ^⑤	5 ^⑤
第二类	7.5 ^②	3.75 ^③	0.15 ^⑤	7.5 ^⑤
第一类	10 ^②	5 ^③	0.2 ^⑤	10 ^⑤
		智能化系统线路		
第三类	1 ^⑥	0.035 ^③	0.1	5
第二类	1.5 ^⑥	0.085 ^③	0.15	7.5
第一类	2 ^⑥	0.160 ^③	0.2	10

注 1：表中所有值均指线路中每一导体的预期电涌电流；

注 2：所列数值属于闪电击在线路靠近用户的最后一根电杆上，并且线路为多根导体（三相+中性线）；

注 3：所列数值属于架空线路，对埋地线路所列数值可减半；

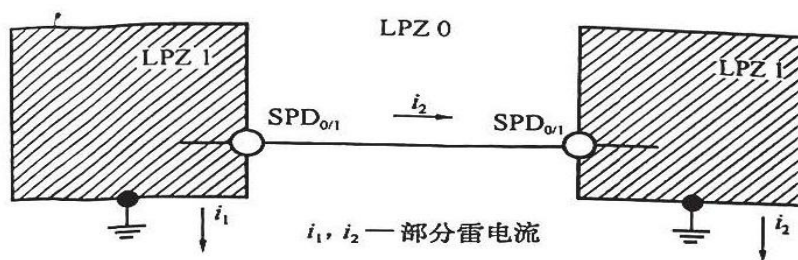
注 4：环状导体的路径和距起感应作用的电流的距离影响预期电涌过电流的值。表中的值参照在大型建筑物内有不同路径、无屏蔽的一短路环状导体所感应的值（环状面积约 50m²，宽约 5m），距建筑物墙 1m，在无屏蔽的建筑物内或装有 LPS 的建筑物内（分流系数为 0.5）；

注 5：环路的电感和电阻影响所感应电流的波形，当略去环路电阻时，宜采用 10 μ s/350 μ s 波形，在被感应电路中安装开关型 SPD 就是这类情况；

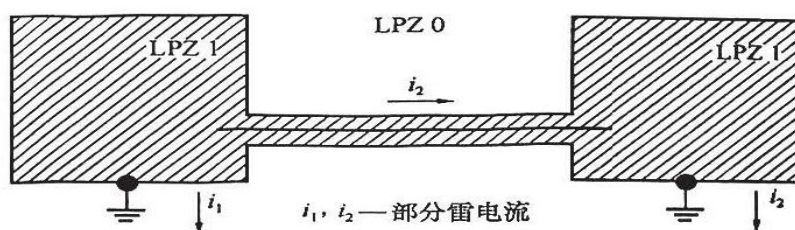
注 6：所列数值属于有多对线的无屏蔽线路，对击于无屏蔽的入户线，可取 5 倍所列数值。

如何判断进出防雷建筑物的低压电气系统和智能化系统应装设电涌保护器（SPD），可见图 12。图 12（a）的情况要加 SPD，图 12（b）的情况不用加 SPD。

②通过调研发现，工程中有通过将电涌保护器进行并联组合以提高其通流容量的做法。电涌保护器为非线性器件，进行并联组合提高其通流容量具有较大的不确定性，而且还有安全隐患，因此也应予以明确。



(a) 采用 SPD 互连两个 LPZ1



(b) 采用屏蔽电缆或屏蔽电缆管道互连的两个 LPZ1

图 12 进出建筑物的电源电涌保护器配置图

进出建筑物的电源电涌保护器如果不配置后备保护，则其故障后的泄漏电流和工频续流将造成较大危害，因此进出建筑物的电源电涌保护器应合理配置后备保护。后备保护运行短路分断能力 I 不小于 SPD 安装电路的预期工频短路电流。

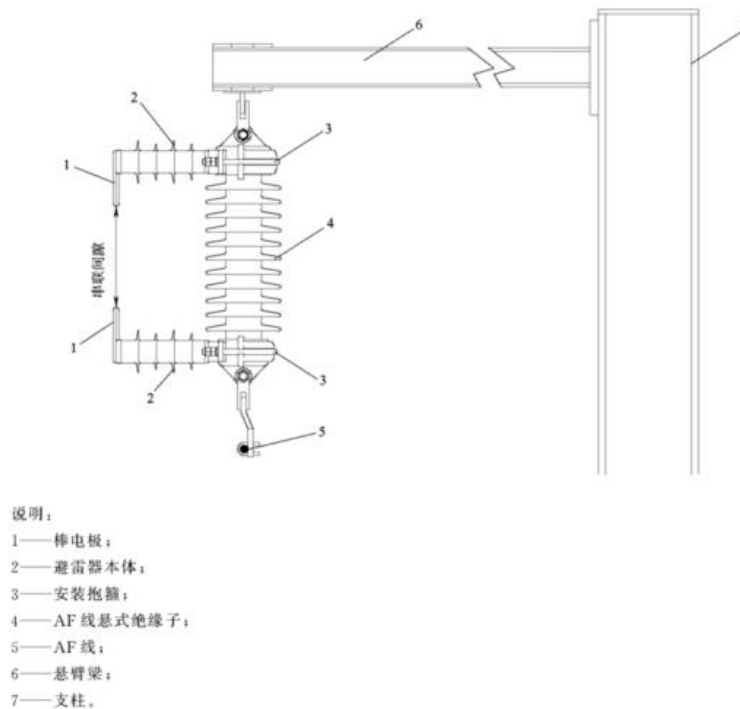
5.2.8 安装避雷器是直流架空接触网主要的雷电防护措施，比如：

①安装带外串联间隙金属氧化物避雷器

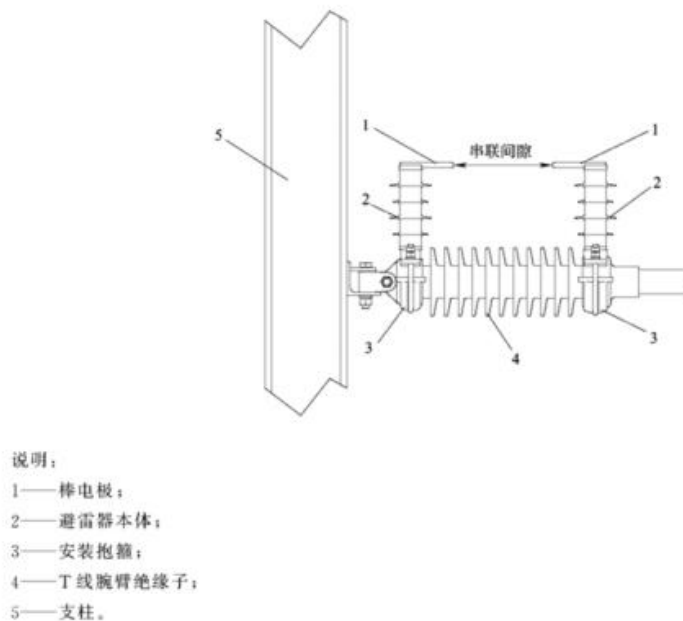
带外串联间隙金属氧化物避雷器由避雷器本体和串联间隙两部分构成，并联安装于绝缘子两端。正常运行电压、操作过电压下，串联间隙不击穿；雷电过电压作用下，串联间隙击穿放电，雷电过电压施加到避雷器本体上，由于金属氧化物电阻片具有良好的非线性伏安特性，避雷器本体瞬间呈现低阻抗，释放雷电能量后，避雷器本体恢复高阻抗，阻断系统对地直流续流，串联间隙恢复绝缘状态。带外串联间隙金属氧化物避雷器适合用于架空接触网绝缘子雷电防护，安装避雷器的绝缘子不再发生雷击闪络，降低接触网雷击跳闸率。在系统正常运行时，工作电压绝大部分加在串联间隙上，避雷器本体电阻片几乎不存在老化损坏的问题，维护工作量少。

接触网用外串联间隔金属氧化物避雷器典型结构形式和主要技术参数。

接触网用外串联间金属氧化物避雷器主体结构包括避雷器本体和外串联空气间隙两部分，将避雷器本体设计成分体式，额定电压相等的两部分。通过安装抱箍分别紧固到被保护绝缘子端部金属附件上，对称布置、相比单体结构，安装抱箍承担的自重作用力降低一半，利于保持长期安装稳定。结构形式见图 13。



a) 搭配 AF 线棒形悬式绝缘子用



b) 搭配 T 线水平腕臂绝缘子用

图 13 接触网用外串联间隙金属氧化物避雷器典型结构形式

②安装无间隙金属氧化物避雷器

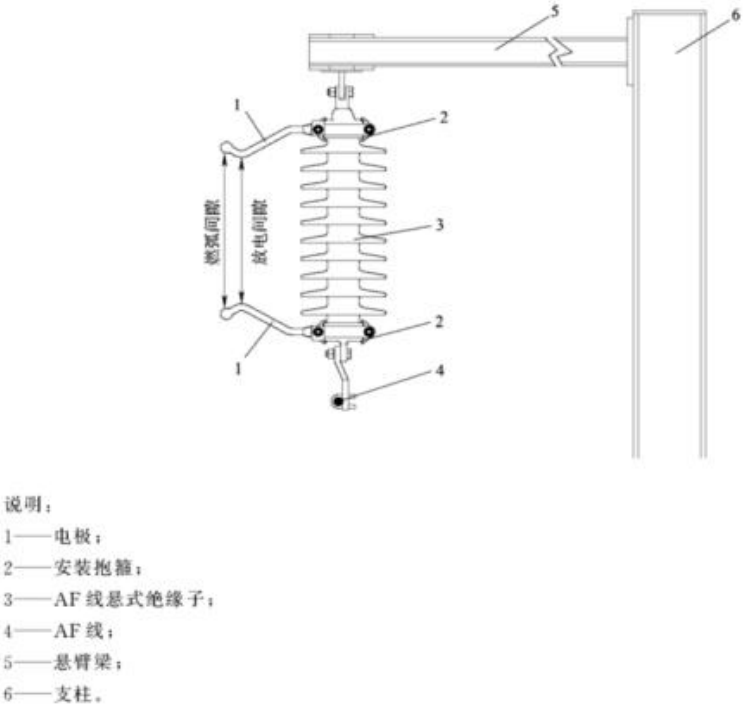
无间隙金属氧化物避雷器并联安装在设备两端。系统正常运行电压下，避雷器呈现高阻抗；在雷电过电压作用下，避雷器动作呈现低阻抗，释放雷电能量后，避雷器迅速恢复高阻抗，阻断系统对地直流续流。无间隙金属氧化物避雷器具有

优良的伏安特性,能与设备内绝缘特性良好配合,可作为变电设备防雷保护措施。无间隙金属氧化物避雷器应用于接触网防雷保护时,无间隙金属氧化物避雷器电气并联在设备两端。并联在绝缘子两端,避雷器长期承受系统运行电压,可能出现老化故障,需要定期检测维护,因此架空接触网雷电防护不宜采用无间隙金属氧化物避雷器。为了防止雷电侵入波对牵引变电所设备造成危害,在馈出线上网点处的雷电防护宜采用无间隙金属氧化物避雷器。

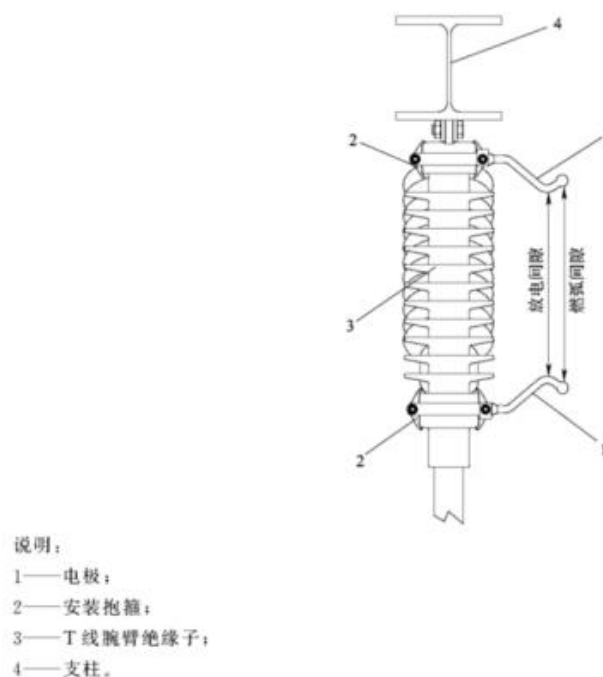
- 5 接触轨在高架桥段宜增加安装密度。
- 6 绝缘子或接触网其他绝缘部件有保护要求时,可采用并联间隙措施。

接触网用并联间隙典型结构形式和主要技术参数要求:

- ①并联间隙制作材料由疏导电弧运动速度、耐电弧烧损性能、强度、造价等因素共同决定,普通碳锅材料较为理想,表面需做镀锌防腐处理,导弧电极横截面通常做成圆形,截面直径不小于 18mm。
- ②结构设计上,将雷电冲击放电间隙和工频续流燃弧间隙分开,避免工频续流电弧烧损造成间隙距离变化,保证并联间隙雷电冲击放电电压持续稳定,并将燃弧间隙两端金具设计为增大的圆球状,增大电弧蚀损耐受能力,典型结构形式见图 14。



a) 搭配 AF 线棒形悬式绝缘子用



b) 搭配 T 线水平腕臂绝缘子用

图 14 接触网用并联间隙典型结构形式

5.2.9 本条对杂散电流接地进行了规定。

采用直流供电方式的城市轨道交通牵引供电架空接触网，以接触线和附加馈线为正极、机车走行的钢轨为负极，钢轨与道床间设置绝缘垫电气隔离。受实际运营环境（道床表面脏污、导电粉尘覆盖、积水等）、工程成本等因素限制，钢轨不能完全与道床绝缘，要向道床和桥面泄漏杂散电流。为避免杂散电流沿途向大地泄漏，对桥墩结构钢筋产生电化学腐蚀，工程上不应将接触网支柱直接接地，而是将支柱与桥面钢筋电气连接（且桥面钢筋与桥墩钢筋间不连接）。雷击架空接触网时，为了使雷电流快速泄放入地，一般要求支柱可靠接地，这与系统隔离杂散电流设计相矛盾。为此常采用雷电冲击接地装置方法，来解决上述问题，其既可以阻碍牵引供电系统杂散电流对地泄漏，也为雷电冲击电流提供对地泄放通道。

2 为减少直流杂散电流泄漏，并防止结构主体钢筋因杂散电流腐蚀而产生安全隐患，作此规定。直流牵引供电系统采用不接地系统，变电所直流牵引供电设备采用绝缘安装，有利于结构主体钢筋腐蚀防护，同时保障地铁沿线其他市政金属管线的安全。

3 为了防止走行轨对地电压异常而使车站内乘客上下车时产生电击伤害，也为了避免车辆基地电化库内走行轨对地电位较高产生放电而对维护人员产生心理影响，并有利于减少牵引变电所的分布数量，故作此规定。

5.3 通信系统

5.3.3 本条规定了进出车站、变电所及各建筑物线缆的屏蔽措施。各种线路应最大范围的不在雷电感应范围内，对雷电感应敏感的线路采取合理双层屏蔽（外层屏蔽层接地网与内层屏蔽层接地网互相独立、内层与进户地网适当作等电位连接）。穿越防雷区的电源线应穿钢管或屏蔽管敷设，穿管在入户处与局部等电位排连接，在前端与引线处机房等电位排连接。信号线路在金属桥架内敷设，电源线与信号线穿管间距离不宜小于 20cm。信号线路屏蔽层应接地，在线缆的出线端和入线端均应接地。采取光缆传输的光缆加强芯也应接地。线缆走线应尽可能的平直，避免大角度弯折，应尽量减少电缆自身形成的感应环面积。

5.3.4 本条规定了电缆、通信线缆等与防雷引下线等电位连接的要求。GB 50343-2012 中表 5.3.4-1 电子信息系统线缆与其他管线的间距和表 5.3.4-2 电子信息系统信号电缆与电力电缆的间距引自《综合布线系统工程设计规范》GB 50311-2007。

雷击建筑物时，雷电流经引下线泄入大地，因雷电流为非周期脉冲波形，它会在引下线上产生强大瞬变电磁场。如果建筑物内部电气及电子信息设备离引下线较近，会在设备上感应产生冲击过电压，导致设备失效。为减少因雷电流产生的电位差和避免不同部件间出现危险火花，接地线和等电位连接带不应直接从引下线引入，设备及线路应与引下线保持一定间隔距离（电气贯通的钢筋混凝土框架结构的建筑物除外），防雷引下线与建筑物内部系统等电位连接应在建筑物基础或接近地平面位置。

5.4 信号系统

5.4.2 本条的 b) 款：进出 LPZ0 区与 LPZ1 区的各种信号与电源线路等在交接处或者前后端设备箱内设置相匹配的电源 SPD。所有安装的电源 SPD 应自带失

效保护提醒装置，工作人员应定期巡查，发现故障及时排除。机房内浪涌保护器安装方式如图 15 所示：

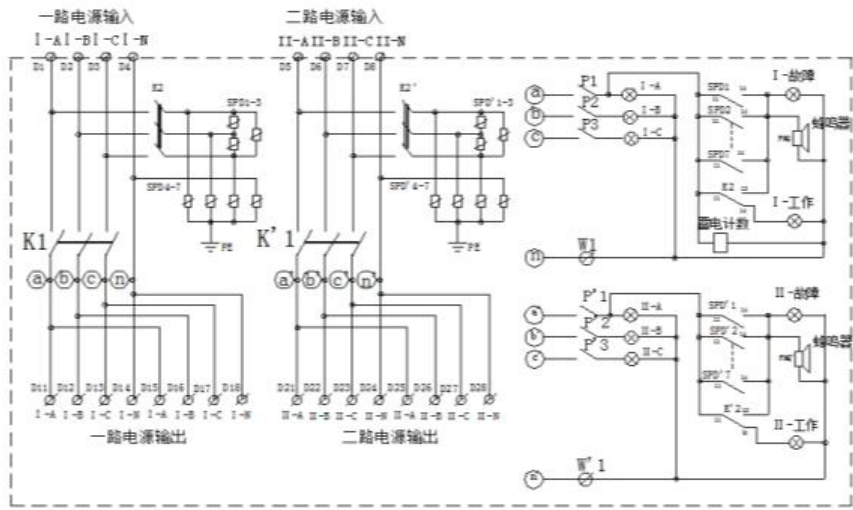


图 15 机房 SPD 安装系统图

5.4.3 信号机房所在建筑物的接闪网网格尺寸不大于 $3\text{m} \times 3\text{m}$ ，本条参考了《铁路防雷及接地工程技术规范》TB 10180-2016 第 3.2.2 条规定。因为 GB 50057-2010 对第二类防雷建筑物的避雷网网格规定为不大于 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 或 $12\text{m} \times 8\text{m}$ ，而对于上述独立设置的铁路设备房屋，若按照 GB 50057-2010 的规定设置避雷网，则不能形成有效的防护。因此，本规定对 GB 50057-2010 中的第二类防雷建筑物的避雷网设计标准进行了提升。

5.4.4 本条对屏蔽及综合布线进行了规定。

城市轨道交通车站深埋于地下，车站主体遭受直击雷后雷电流通过车站结构引下线导致车站内部产生电磁干扰的情况可以忽略不计，所以这里只考虑地铁系统的地面建筑物（包括地面车站）遭受直击雷时产生电磁干扰情况。地铁系统地面建筑物（包括地面车站）可利用其外部防雷装置和建筑物本身钢筋网络格栅形大空间屏蔽效能，在发生雷击时可有效降低内部空间的磁场强度。当磁场强度经建筑物自然衰减后，建筑物内部的磁场强度不能满足低于 800A/m 的要求时，机房应设置不大于 $2.85\text{m} \times 2.85\text{m}$ 的铜或铝的屏蔽网格，并且机房内设备距离屏蔽网格的安全距离不应小于 2.7m 。

电子信息系统线缆宜敷设在金属线槽或金属管道内。电子信息系统线路宜靠近等电位连接网络的金属部件敷设，不宜贴近雷电防护区的屏蔽层；布置电子信息系统信号线缆的线路走向时，应尽量减小由线缆自身形成的感应环面积。

6 本款参考了《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB 50343-2012 第 5.2.4 条、原铁道部发布的《铁路信号设备雷电及电磁兼容综合防护实施指导意见》（铁运〔2006〕26 号）第 3.5 节及《铁路通信设备雷电综合防护实施指导意见》（铁运〔2011〕144 号）第 3.3 节的规定。各系统设备分别设置等电位连接带的原因，一是安装这些设备的房间是分开的，在各设备房屋设置等电位连接板，便于与等电位网络连接，二是避免交流强电设备对电子信息弱电设备的干扰。

5.6 车站机电设备

5.6.1 地面站机房屏蔽可利用其外部防雷装置和建筑物本身钢筋网络格栅形大空间屏蔽效能，在发生雷击时可有效降低内部空间的磁场强度。当磁场强度经建筑物自然衰减后，建筑物内部的磁场强度不能满足低于 800A/m 的要求时，机房应设置不大于 2.85m×2.85m 的铜或铝的屏蔽网格，并且机房内设备距离屏蔽网格的安全距离不应小于 2.7m。电子信息系统线缆宜敷设在金属线槽或金属管道内。电子信息系统线路宜靠近等电位连接网络的金属部件敷设，不宜贴近雷电防护区的屏蔽层；布置电子信息系统信号线缆的线路走向时，应尽量减小由线缆自身形成的感应环面积。

局部等电位连接网络。地铁系统的供电方式采用 TN-S，PE 线、N 线没有真正意义上的分开，由于三相用电存在不平衡可能性，N 线中会有电流流过，这会导致入地点与真正的大地之间存在一个电位差，而这个电位差会对机房设备的接地产生干扰。为了消除这种接地干扰，地铁系统内电子信息机房的弱电设备机柜以及其他不带电金属部件应采用 S 型等电位连接方式与机房局部等电位连接端子板相连，各机房的局部等电位连接端子板应通过接地干线统一连接至车站地网弱电引出线等电位连接总端子 WCE。

8 本条规定了不同防雷等级的防雷措施。

- 1) 本项是对防雷等级为 A、B 级的电子信息设备的交流电源线路三级防护规定。

2) 款《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB 50343-2012 第 5.4.3 条第 7 款给出了不同防雷等级下各级电源线路浪涌保护器的冲击电流和标称放电电流参数推荐值。

5.6.2 本条对火灾报警系统（FAS）进行了规定。

火灾是对轨道交通，特别是地下线路及车站安全运行的重大威胁之一，火灾报警系统对地铁的安全运行。特别是对地铁内大量人员的人身安全至关重要。

火灾报警系统由中央级设备、车站级设备及网络系统组成。系统中的探测点分布在站厅，站台、设备用房和管理用房等处，对修护区域进行火灾监视；系统中的自动灭火系统布置在重要的设备房，实现全天候的火灾监视及自动喷气灭火功能。

中央级系统设备由命令中心 GCC 组成，一般包括两台图形命令中心，一个主时钟的接口设备。主时钟设备通过 RS232 协议通信接口与 FAS 系统连接，通过 FAS 网络将时钟同步信号传送到各个车站，实现全线各结点的时间同步，各站点的火灾监控信号通过网络传输到中央系统设备的图形命令中心，供调度人员直载地观察到各站点的火灾报警情况及报警位置。系统设备除电源外，主要是与时钟系统连接的 RS232 接口及网络系统接口，是 FAS 中央设备防护电磁脉冲的重点。

车站级设备主要由控制盘、车站级图形命令中心及各种外围设备组成，实现监视和消防联动的功能。控制盘是整个车站 FAS 系统的控制中心，综合处理各种数据信息，做出火警判断，发出报警信号，并启动消防设备动作并监视其工作状态。设备的工作电源通常为 220V 低压电源，并在控制盘设备中提供给其他消防系统设备用的 24VDC 电源。

控制盘与消防系统内的各种功能的外围设备通过回路卡、通信卡，音频卡和消防电话主机等连接，采集各个报警点的火灾监视数据（如烟感探头、手动报警器，温度感应器等）：通信卡通过 RS232 接口与现场机电设备监控系统连接，并通过光纤，网络或 RS485 协议与中央级系统设备间传输信息与控制信号：音频卡提供音频总线，应用于消防广播，发生火警时可自动播放报警信息，指导站区内的乘客疏散，同时可自动通过消防电话系统与消防部门及时取得联系。

FAS 消防系统控制盘，外围设备之间多通过 RS232, RS485 等传输协议与接口完成数据通信，同时以光纤或 RS485、RJ45 等传输方式与中央系统完成现场监视信号及中央系统控制数据信号的传输。对设备的过电压保护，应重点由以下几方面着手：

- ①站区现场线路的合理布线，包括采取完善的屏蔽措施；
- ②完善中心控制机房的设备等电位连接及进出线在出入口处的等电位连接；
- ③低压电源及直流电源按电源过电压保护的原则安装保护水平与系统设备相适应的并联型 SPD，避免选择串联型产品，防止 SPD 故障造成系统内设备供电中断；
- ④在弱电通信的主要设备的各通信接口处安装通信协议，接口类型与现场设备相符的信号 SPD，如 LEO-S-RS232、LE0-5-485DC，以太网，专线电话等类型的产品。特别是作为核心设备的中央系统主机和车站控制盘的所有接口均应做好对应的过电压保护措施。

5.6.3 本条对站台屏蔽门进行了规定。

屏蔽门系统（PSD）作为城市轨道交通交通设施的重要组成部分，同时又是乘客上下车的主要通道设施，其安全性尤为重要。屏蔽门设置在城市轨道交通站台边缘，将列车与站台候车室隔离，不仅可以防止乘客进入轨行区而发生危险，还可以减少站台区与轨行区之间冷热气流的交换，降低环控系统的运营能耗，从而节约运营成本。屏蔽门系统是典型的机电一体化装置，由于其特殊的安装位置，当走行轨及附近或城市轨道交通车站遭受雷击时很容易受到影响。出于雷电防护的考虑，屏蔽门系统需采取低阻抗接地等一系列防雷措施；出于人员安全的考虑，屏蔽门又需采用高阻抗的绝缘安装。

城市轨道交通列车一般采用直流牵引供电系统，正极接接触网，走行轨兼做回流通道连接至变电所。为了减少杂散电流对轨道的影响，轨道结构应具有良好的绝缘性。所以走行轨与道床之间是绝缘铺设的，这会导致走行轨与大地之间形成一个电位差而使列车车体带电。由于屏蔽门安装在站台边缘，与列车车体、走行轨距离很近，是杂散电流理想的扩散通道，并且乘客上下车时容易同时接触到屏蔽门金属结构与车体本身而造成触电伤害。为了防止杂散电流通过屏蔽门向车

站主体结构扩散又要防止这一接触电压的产生,所以必须将屏蔽门进行绝缘安装。屏蔽门单元门体间应电气连接成一个等电位体,其过渡电阻不应大于 $0.4\ \Omega$ 且门体与车站结构之间的绝缘电阻不应小于 $0.5\text{M}\Omega$ 。屏蔽门上部结构应与室内吊顶间绝缘、密封。

为了完全消除屏蔽门与走行轨之间的电位差,必须将屏蔽门与走行轨作等电位连接并采取过电压保护措施。具体的做法是将屏蔽门各单元组成的等电位体与走行轨一侧作电气连接,然后再将走行轨通过电位限制器连接至变电所接地母排。在轨道电位正常的情况下,电位限制器对轨道始终保持开路,一旦轨道电位超过阈值时,则电位限制器动作将轨道短接入地。

3 第2款 站台门门体与车站间的绝缘电阻值要求为 $0.5\text{M}\Omega$ 。因据统计,人体的绝缘电阻值在 $8002\sim 1000\ \Omega$ 间,人体感知电流平均值为 1mA ; 人触电能自行摆脱的电流值是 $10\text{mA}\cdot\text{s}$; 致命电流值是 $30\text{mA}\cdot\text{s}$; 当站台门和车站结构间绝缘安装时,应保证通过乘客的电流小于 1mA 。

5.6.5 自动售检票系统

AFC 系统是现代轨道交通系统中用于自动售票、自动检票和自动统计、结算的一系列设备所构成的系统,它集成了机械、电子、计算机网络、通信及财务管理等多功能于一体的控制系统和信息管理系统。通常由 LC (线路中心) 设备和 SC (车站) 设备、站厅现场设备、相关附属系统 (如培训中心、维修中心等) 组成,系统功能的实现主要基于计算机网络的通信功能,因此,对 AFC 系统的保护除按供电系统的保护原则做好设备电源的过电压保护及等电位连接外,重点是需要对系统设备、现场设备间的通信端口按接口类型、端口数量、网络信号传输速率等技术参数选择性能指标相匹配的信号保护产品,例如网络 RJ45 接口的单口或机架式 SPD。

雷电防护重点: LC (线路中心)、SC (车站设备)、现场设备、维修中心,培训中心。

以上各位置的保护除设备供电按网络设备做到通流量与电压保护水平达标的电源保护外,重点为车站网络交换机、站厅交换机、计算机、服务器、闸机、自动售票机,半自动售票机、验票机,补票机等设备的 RJ45 电通信接口,根据

设备处的网络端口密集程度选择安装集成型多端口或普通单端口的网络用 SPD, 如 LEO-SH24 或 LEO-S-RJ45, 通常, 除各节点系统与通信系统接口采用千兆传输外, 在各车站及线路中心内部的 AFC 网络系统传输速率采用 10M 或 100M, 使用非屏蔽五类线传输, 在车站, 特别是在地面站或高架站, 站内的电磁环境受到车辆运行的影响或雨季雷电电磁脉冲的影响, 不利于非屏蔽信号传输线内信号的正常传输。因此, 应使用屏蔽网络传输线或使用金属线管敷设网络传输线, 将屏蔽层或金属线管两端做好接地处理, 利用线缆屏蔽层或金属管的电磁衰减效应起到对干扰信号的抑制。同时, 注意线缆的敷设路由, 使之与交流电源线路之间保持足够的安全距离, (平面方向净距 $>1\text{m}$, 交叉净距 $>0.3\text{m}$), 避免交流电源对信号线的干扰。

5.6.6 本条对环境与设备监控系统进行了规定。

环境监控系统是在车站站厅、站台、隧道、设备间、管理工作区等处控制全线车站及区间的环境控制, 以及其它机电设备安全、高效、协调的运行, 保证地铁车站及区间环境的良好舒适, 产生最佳的节能效果, 并在突发事件(如火灾)时指挥环控设备转向特定模式, 为地铁乘车环境提供安全保证的自动化系统。

一套完整的 BAS 系统主要可以完成以下功能:

- ① 监控并协调全线各车站及 OCC 大楼通风空调设备、冷水系统设备的运行。
- ② 监控并协调全线区间隧道通风系统设备的运行。
- ③ 对车站机电设备故障进行报警, 统计设备累积运行时间。
- ④ 对全线环境参数(温、湿度)及水系统运行参数进行检测, 分析及报警。
- ⑤ 接收地铁防灾系统(FAS 系统)火灾接收报警信息并触发 BAS 系统的灾害运行模式, 控制环控设备按灾害模式运行。
- ⑥ 通过与信号 ATS 接口接收区间堵车信息, 控制相关环控设备执行相应命令。
- ⑦ 紧急状况下, 可通过车站模拟屏控制环控设备执行相关命令。
- ⑧ 监视全线各站及隧道区间给排水、自动扶梯等机电设备的运行状态。
- ⑨ 管理资料并定期打印报表。

⑩ 与主时钟接口，保证 BAS 系统时钟同步。

5.6.8 本条对站内综合服务系统进行了规定。

乘客信息系统是依托多媒体网络技术，以计算机系统为核心，以车站和车载显示终端为媒介向乘客提供信息地系统，它是集现代多媒体显示、视频广播、多媒体广告等多种技术手段为一体地系统，可以通过从轨道交通相关地系统中自动取得信息，并根据不同地环境特点在不同地位置显示不同地信息内容、从控制功能上分可分为信息源、中心播出控制层、车站播出控制层和车站播出设备四部分，通过综合网络系统或无线系统传输信息数据，其中，中心播出控制层通过综合主干网（环网）将数据传输至车站。通过车站地播出控制层对信息进行分类并在不同地信息显示点显示，在车站查询系统中还可通过控制触摸屏达到人机互动：数据还通过无线集群系统以无线地形式向列车中传输信息，通过到车地车载控制系统在车厢内地显示屏上显示出有关信息。

对系统的过电压保护重点在于控制中心、车站地内部网络与系统设备间的电接口过电压防护，无线集群系统无线电信号收发天线馈线与设备的接口保护，同时，按电源供电系统的保护原则对电源配电安装适当的 SPD，系统设备安装时做好等电位接地处理。

5.7 运营控制中心

运营管理控制中心是城市轨道交通系统的核心部分，他的主要功能有：负责列车的调度，确保列车的正常运行并保证列车之间的间隔；监控线路的运营情况，包括列车的位置、速度、到点时间及信息；及时处理列车发生的故障，必要时进行紧急处理，确保列车运营的安全；收集、统计和分析各项数据指标，为运营管理提供科学依据。

对系统的安全防护重点在于对各子系统的现场设备及与之相连接的机房设备的端口过电压保护，除电源外重点在于传感器自身与计算机控制系统的连接线两端地保护措施，以及线路的布线防电磁干扰的措施方面，如在传感器信号系两端安装信号 SPD，同时完善传感器信号线的磁屏蔽措施。

5.8 车辆与车辆基地

5.8.1 本条对车辆进行了规定。

1 电气设备绝缘损坏时，接触其金属外壳或箱体会造成人员伤亡，所以本条规定电气设备金属外壳或箱体必须采取保护性接地措施。

3 测量屏蔽门、端头与站台金属结构之间的绝缘电阻，测量方法符合本文件附录 B 的要求。

本文件中提出绝缘电阻测试要求，主要是参考《城市轨道交通运营基本条件》（GB 30013-2013）6.2.4 “轨道结构应具有良好的绝缘性能，并具有对地电阻的测试报告；排流接线应可靠连接。人防门，防淹门等处的隐蔽位置应采取绝缘措施。”

参考文献

- [1] 《地铁交通防雷装置检测技术规范》DB52/T 1516-2020 条文说明
- [2] 王道平, 吕昆坤, 刘帅, 地铁防雷系统检测技术的研究[J]. 通信设计与应用, 2015, 04(上):58-60.
- [3] 宋平建, 李京校, 轨道交通系统的防雷安全[J]. 现代建筑电气, 2016, (3):58-60.
- [4] 徐苏玉, 李霞等, 浙江省地闪特征及风险区划研究[J]. 产业科技创新, 2020, 2(28):10-11. 基金项目: 灾害天气国家重点实验室课题(2020LASW-B08)
- [5] 中国气象局, 地面气象观测规范, 北京, 气象出版社, 1979: 23,99.
- [6] 马金福, 冯志伟, 雷击地闪密度与雷暴日数的关系分析[J], 气象科学, 2009, 29(5):674-678.
- [7] 王学良,湖北省气象局科技发展基金项目“人工观测云地闪电效率及其应用的研究”
- [8] 张日高, 张良春, 余建华, 利用监测和人工观测数据计算的雷击大地密度比较[J]. 气象与减灾研究, 2010, 33(3):66-68.
- [9] 沈海滨, 陈维江, 张少军, 城市轨道交通接触网带间隙避雷器的应用[J]. 电气化铁道, 2010, (5):42-45.
- [10] 沈海滨, 陈维江, 张少军, 等. 一种防止 10. kV 架空绝缘导线雷击断线用新型串联间隙金属氧化物避雷器 [J]. 电网技术, 2006,31(3):64-67.
- [11] 陈维江, 孙昭英, 尹彬. 防止 10kV 架空绝缘导线雷击断线用带间隙金属氧化物避雷器研究 [C]. 江苏省电机工程学会论文集, 2005.
- [12] 林珊,陈霞.城市轨道交通防雷接地设计策略与方案[J].智能建筑电气技术, 2022,16(05):36-39+44.
- [13] 王涛, 袁文, 滕丽丽, 潘德忠, 崔海明, 沈延辉, 雷电对城市轨道交通供电设备的危害及防雷整治探讨[J]. 中国工程设备, 2022, 01(下):104-105.
- [14] 宋平建, 李京校, 轨道交通系统的防雷安全[J]. 现代建筑电气, 2016, (3):58-60.
- [15] 何宗华等编《城市轨道交通机电设备运行与维修》.中国建筑工业出版社
- [16] 周超 . 城市轨道交通高架线综合防雷保护设计 [J].现代城市轨道交通, 2022(12):11-15.