

王锋亮, 张楠, 杨碧轩, 等. 西安地铁一号线雷电灾害风险评估 [J]. 陕西气象, 2015 (2): 40-43.

文章编号: 1006-4354 (2015) 02-0040-04

西安地铁一号线雷电灾害风险评估

王锋亮¹, 张楠², 杨碧轩², 曾诚²

(1. 陕西省气象局, 西安 710014; 2. 陕西省防雷中心, 西安 710014)

摘要: 地铁属于人员密集场所, 若发生雷击造成系统失效、故障、停运等, 会产生恶劣的社会影响。利用西安闪电定位仪观测资料分析西安地铁一号线沿线雷电分布特征, 结合西安地铁一号线项目各类设施和系统特性, 对采用单体雷电灾害风险计算以及电源系统雷击过电流估算等评估方法, 对西安地铁一号线进行雷电灾害风险评估。车站及地上附属构筑物、变电所、车辆段与停车场建筑物应按照第二类防雷建筑物进行直击雷防护设计, 且各自的损失风险均小于风险允许值, 符合规范要求。

关键词: 雷电灾害; 风险评估; 地铁; 防雷

中图分类号: P429

文献标识码: B

近年来, 北京、上海等地发生了因雷电导致地铁设施损坏致使地铁停运的事故, 雷电已成为城市轨道交通安全运行的较大威胁。雷电对于地铁的损害常常并不是由于雷电直接击伤列车引起, 而是由雷电产生的瞬态脉冲过电压损坏地铁的电子设备和供电系统, 导致地铁停运。目前由于 GB/T 21714.2—2008/IEC62305-2: 2006《雷电防护 第2部分: 风险管理》^[1]适用范围不包含地铁项目, 没有一个现成的规范适合对地铁项目进行雷电灾害风险评估, 因此根据地铁项目各类设施和系统特性, 结合已发生的地铁雷电灾害事

故, 在分析地铁全线雷击电磁环境的基础上, 对车站、变电所、车辆段与停车场建筑物, 采用单体雷电灾害风险计算以及电源系统雷击过电流估算的评估方法, 对西安地铁一号线进行雷电灾害风险评估。

1 地铁概况

西安地铁一号线一期工程西起后卫寨, 东至纺织城, 基本沿城市东西向主干道分布, 正线全长 25.36 km, 均为地下线。共设 19 座车站, 包括 5 座换乘车站、3 座地下三层岛式站台车站、1 座地下四层岛式车站, 其余 10 座车站均为地

收稿日期: 2014-10-14

作者简介: 王锋亮 (1959—), 男, 陕西商洛人, 工程师, 主要从事气象法制管理工作。

3 结语

观测数据整合和共享系统实现了区域站、自动站数据标准化存储, 建立了统一观测数据应用源, 面向服务架构开发了数据访问接口, 并实现观测数据共享, 为气象服务工作提供数据支持, 提高了数据提取和使用效率。该系统主要涉及了一些数据共享和应用功能, 相对于业务服务工作的需求, 还需要后续不断开发更多的数据展示和应用功能。

参考文献:

- [1] 萨师焯. 数据库系统概论 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2002: 173-175.
- [2] 邹建. 深入浅出 SQL Server 2005 开发、管理与应用实例 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008: 108-112.
- [3] 何林, 范涛, 曹波. 区域自动气象站数据库整合设计与实现 [J]. 陕西气象, 2014 (4): 44-46.

下二层岛式站台车站。车辆段及综合维修基地设
在后卫寨，出入段线长 951.105 m；停车场设在
纺织城，出入场线长 576.514 m；在后卫寨车辆
段设一条与国家铁路连接的联络线，接轨于陇海
铁路三桥站，线路长约 1 240.977 m。全线共设
环城西苑和金花路 2 座变电所，分别设置在玉祥
门站和通化门站附近。

2 地铁沿线雷电分布特征

利用 2005—2011 年西安闪电定位仪数据资
料，分析西安地铁一号线沿线雷电分布特征。从

西安地铁一号线沿线附近区域闪电密度图（图
1）可以看出，整体上西安地铁一号线沿线附近
区域闪电密度分布不均，地铁一号线各站的闪电
密度大部分都在 0.2~0.8 次/（km²·a），其
中，三桥、皂河、洒金桥站三处雷击次数最多，
达到 0.7 次/（km²·a）以上，这 3 站的雷击风
险较大；车辆段及停车场附近闪电密度大多为
0.2~0.5 次/（km²·a），环城西苑变电所在
0.2 次/（km²·a）左右，金花路变电所在 0.6
次/（km²·a）左右。

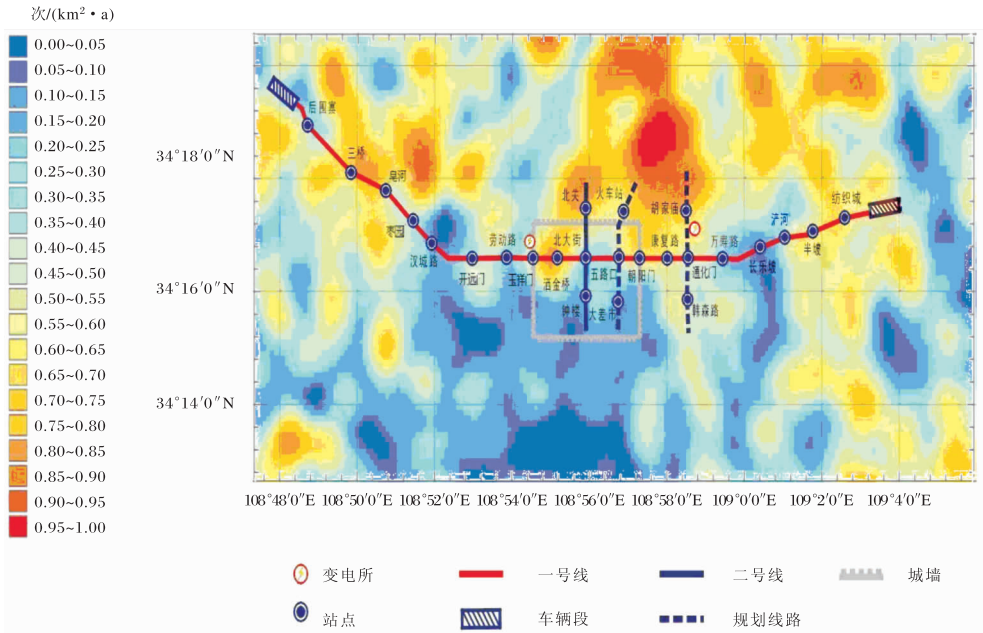


图 1 2005—2011 年西安地铁一号线沿线闪电密度图

从西安地铁一号线沿线附近区域闪电强度图
（图 2）可以看出。整体上地铁一号线沿线附近大部

分地区雷击强度在 30 kA 左右，少部分地区雷击强
度处于 40~80 kA。各站的雷击强度为 20~50 kA，

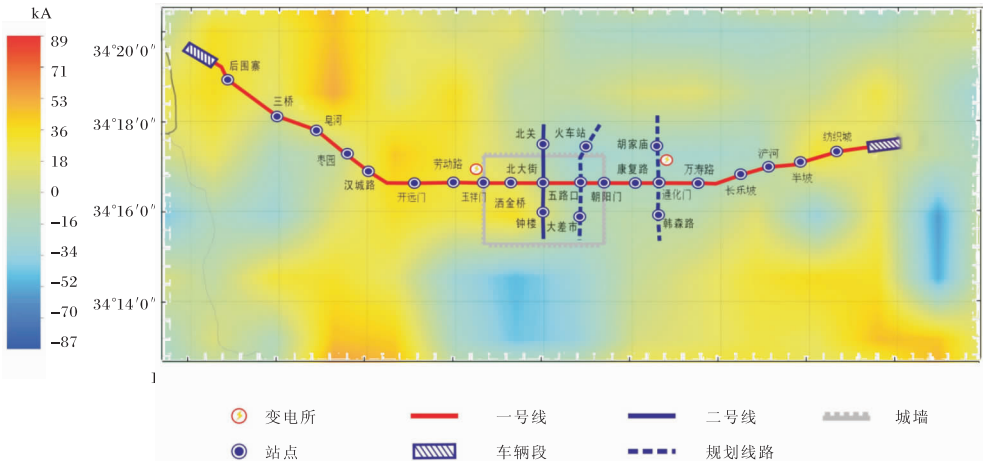


图 2 2005—2011 年西安地铁一号线沿线闪电强度图

其中后卫寨、开远门、劳动路站的闪电强度较大,达到 50 kA 左右。车辆段及停车场雷击强度为 30~50 kA,环城西苑变电所雷击强度在 30 kA 左右,金花路变电所雷击强度在 20 kA 左右。

总体来说,西安地铁一号线沿线西北部及城区站点的雷击较为频繁,东北部的雷击相对较少。从雷击风险来看,三桥、皂河、洒金桥站的雷电灾害风险最大。

3 雷电灾害风险评估

3.1 三桥站雷电灾害风险计算

尽管西安地铁一号线一期工程全部为地下线路,地铁建筑主体多位于地下,但车站出入口罩棚、车辆段、风亭、冷却塔等设施都位于地面,这些部位容易成为雷电波入侵的突破口,因此采用单体雷电灾害风险计算方法来评估西安地铁一号线的雷电灾害风险。由西安地铁一号线雷电分布特征可见,三桥站的雷电灾害风险大,因此计算三桥站雷电灾害风险。

3.1.1 闪电定位资料分析 根据 1961—2011 年西安地面气象观测站观测资料统计雷暴日资料,得出三桥站的地闪密度 $N_{g1} = 1.551 \text{ 次}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[2];根据 2005—2011 年西安闪电电位仪数据资料可得到三桥站周围 4 km^2 区域的平均地闪密度 $N_{g2} = 0.7 \text{ 次}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

利用加权平均法来计算地闪密度

$$N_g = (N_{g1} \cdot Y_1 + N_{g2} \cdot Y_2) / (Y_1 + Y_2), \quad (1)$$

式中, N_{g1} 为依据统计的雷暴日计算得到的地闪密度, N_{g2} 为依据闪电定位资料得出的地闪密度, Y_1 为雷暴日统计年数, Y_2 为闪电资料统计年数,计算得三桥站附近的 $N_g = 1.423 \text{ 次}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

3.1.2 土壤电阻率分析 利用公式

$$\rho = \psi \rho_0, \quad (2)$$

计算三桥站所在区域地表 ~ 地下 5 m 土壤层的平均土壤电阻率,式中, ψ 代表季节修正系数, ρ_0 为现场测量的土壤电阻率数据,计算得出 $\rho = 73.275 \Omega \cdot \text{m}$ 。

3.1.3 风险计算分析 地铁损害来源有雷击项目单体、雷击项目单体附近区域、雷击地铁的电气、电子系统以及其附近区域四部分。损害的类型

主要是对人员的伤害、对设备系统的损害及造成电气和电子系统失效。损失的类型主要是人员生命损失、公众服务损失及经济损失。因此三桥站涉及到的雷击风险包括人员生命损失风险 R_1 、公众服务损失风险 R_2 及经济损失风险 R_4 ,依据风险量计算公式对这三类风险进行评估^[1]。

每种风险都是其对应风险分量的总和,各种风险分量: R_A 为建筑物户外距离建筑物 3 m 以内的区域中与接触和跨步电压造成生物伤害有关的风险分量; R_B 为与建筑物内因危险火花放电触发火灾有关的风险分量; R_C 为与 LEMP 造成内部系统失效有关的风险分量; R_M 为与 LEMP 引起内部系统失效有关的风险分量; R_U 为与建筑物内雷电流注入入户线路产生的接触电压造成人身伤害有关的风险分量; R_V 为与雷电流经过入户服务设施产生的物理损害(入户设施和金属部件之间的危险火花放电触发火灾或爆炸,通常位于线路入户处)有关的风险分量; R_W 为与入户线路上感应出的并传导进入建筑物内的过电压引起内部系统失效有关的风险分量; R_Z 为与入户线路上感应出的以及传导进入建筑物内的过电压引起内部系统失效有关的风险分量。因此人员死亡损失存在的风险量

$$R_1 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z. \quad (3)$$

由于 R_A 和 R_U 是与人身伤害有关的损失,因此公众服务损失风险不存在 R_A 和 R_U 。

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z. \quad (4)$$

同样,经济损失的风险量

$$R_4 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z. \quad (5)$$

根据三桥站初步设计及现场勘测数据,分别计算出各风险分量,最终得出三桥站的人员生命损失风险 $R_1 = 1.15 \times 10^{-6}$,公众服务损失的风险 $R_2 = 1.12 \times 10^{-6}$,经济价值损失风险 $R_4 = 1.56 \times 10^{-6}$,都小于各自对应的风险允许值,符合规范要求。

3.2 电源系统雷击过电流估算

浪涌保护器是电源系统雷电防护中不可缺少的一种防护装置,他能对间接雷电和直接雷电影响或其他瞬时过压的电涌进行保护,针对西安地

铁一号线项目的电源系统进行雷击过电流估算, 为项目选择浪涌保护参数提供参考依据。

根据 GB 50057—2010《建筑物防雷设计规范》规定: 电源总配电箱处所装设的电涌保护器, 其每一保护模式的冲击电流值, 当电源线路无屏蔽层时宜按式(3) 计算^[2]

$$I_{\text{imp}} = (0.5i_0) / m \quad (6)$$

式中, i_0 为雷电流, n 为地下和架空引入的外来金属管道和线路的总数, m 为每一线路内导体芯线的总根数。总雷电流进入各种设施(外来电力线、通讯线、金属管道等) 间分配。而地铁通讯线路采用埋地引入和一定的屏蔽措施, 采用穿管引入, 基本不分流雷电流, 因此 n 为 2, m 为 4。

由于地铁属于重点项目, 也是人员密集场所, 若发生雷击造成系统失效地铁故障停运等, 会产生恶劣的社会影响, 根据 GB 50057—2010《建筑物防雷设计规范》规定, 西安地铁一号线各站、变电所、车辆段与停车场应按第二类防雷建筑设防。根据统计得出, 近年来西安地铁一号线各站、变电所、车辆段与停车场附近区域内的雷电流强度均小于 150 kA, 考虑到建筑物能承受的最严重的情况, 电源系统雷击过电流估算时, i_0 选取第二类防雷建筑物的首次雷击的雷电流幅值 150 kA 为计算值。分别计算各级 SPD 的通流量(见表 1)。

表 1 西安地铁一号线各级 SPD 的通流量

雷电流强度 i_0 /kA	安全裕量	调整	SPD ₁		SPD ₂	SPD ₃
			I_1 (10/350 μ s) kA	I_1 (8/20 μ s) kA	I_2 (8/20 μ s) kA	I_3 (8/20 μ s) kA
150	0		9.375	39.218	19.609	9.805
150	1.2	未调整	11.25	47.062	23.531	11.766
150	1.2	已调整	12.5	50	30	20

经分析计算, 在全线各站内的降压变电所低压侧进线柜处以及车辆段及停车场的 35/0.4 kV 低压柜、柴油发电机配电箱及各独立建筑物总配电箱处, 安装第一级 SPD, 冲击放电电流应不小于 12.5 kA (10/350 μ s) 或标称放电电流 50 kA (8/20 μ s), 建议第一级 SPD 采用开关型; 全线各站内二、三级负荷的分配电箱处、UPS 机房的配电箱处, 以及在车辆段及停车场二、三级负荷的分配电箱处、UPS 机房的配电箱处, 安装第二级 SPD, 标称放电电流应不小于 30 kA (8/20 μ s); 各站及车辆段及停车场第三级 SPD 应安装在重要一级负荷的分配电箱处, 标称放电电流应不小于 20 kA (8/20 μ s)。

4 结论

由于西安地铁一号线属于重点项目, 也是人

员密集场所, 若发生雷击造成系统失效地铁故障停运等, 会产生恶劣的社会影响, 因此车站及地上附属构筑物、变电所、车辆段与停车场建筑物应按照第二类防雷建筑物进行直击雷防护设计。通过雷电灾害风险计算, 车站、变电所、车辆段与停车场建筑物损失风险均小于风险允许值, 符合规范要求。

参考文献:

- [1] GB/T 21714.2—2008/IEC62305-2: 2006 雷电防护 第 2 部分: 风险管理 [S].
- [2] GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范 [S].