

文章编号: 1006-4354 (2012) 03-0043-03

# 南京地铁柔性接触网的雷电综合防护对策

李 征<sup>1</sup>, 肖稳安<sup>1</sup>, 姜翠宏<sup>2</sup>, 陈 凯<sup>3</sup>

(1. 南京信息工程大学, 南京 210044; 2. 江苏省防雷中心, 南京 210009;

3. 中铁电气化设计研究院, 南京 210029)

**摘 要:** 对南京地铁柔性接触网一次雷击事故进行分析, 计算了柔性接触网的雷击风险和雷击参数, 在此基础上提出了综合防雷措施, 主要包括: 安装架空地线、接地、安装地电位均衡器、安装带热脱扣装置的金属氧化物避雷器、提升绝缘子性能等。

**关键词:** 柔性接触网; 雷电; 防护对策

**中图分类号:** P429.1

**文献标识码:** B

接触网是地铁牵引供电系统的重要组成部分, 可分为柔性接触网和刚性接触网<sup>[1]</sup>。2010年7月22日下午, 南京地铁天印大道至龙眠大道区间因雷击造成供电接触网两次故障, 龙眠大道站附近的柔性接触网因雷击断裂, 导致一辆地铁车辆突然停在距龙眠大道站100 m处的线路上, 4辆列车因接触网断电而延误运营, 2 000多名乘客出行受到不同程度影响。针对南京地铁柔性接触网的特点, 分析这次雷击事故的原因, 并计算有关参数, 结合工程实际, 提出较为完善的综合防雷保护措施, 以期对南京地铁接触网的综合防雷设计提供建议和参考, 提高地铁运输的可靠性。

## 1 事故分析

### 1.1 资料

江苏省共布设9个ADTD型闪电定位探测站, 主站位于南京(118.48°E, 32.00°N)。统计2010年7月22日17—18时雷击事故发生时的闪电定位资料, 发现距事故点2 km范围内共发生总地闪49次, 均为负地闪, 最大雷电流强度为-70.800 kA, 平均强度-35.290 kA。

### 1.2 雷击风险分析

综合考虑地铁环境土壤、地面类型、防火区、空间屏蔽等因素, 将该次雷击事故所在的天印大道站—龙眠大道站高架区间分为两个区域:  $Z_1$  (高架

区间以外) 和  $Z_2$  (高架区间以内), 根据入户线路(通信线路和电力线路)特性, 将服务设施分为内部电气系统(P)和电子通信系统(T)。对该高架区间计算人员伤亡损失风险  $R_1 = R_A + R_B + R_{U(P)} + R_{U(T)} + R_{V(P)} + R_{V(T)} = 11.804 \times 10^{-5}$ , 远大于规范规定的典型容许值 ( $R_T = 10^{-5}$ )<sup>[2]</sup>。其中  $R_A$  为在建筑物外3 m区域内因接触和跨步电压引起的生命损失;  $R_B$  为关于建筑物内因危险的电火花引起燃烧或爆炸导致的物质损害;  $R_{U(P)}$  指雷击入户电力线路, 建筑物内雷电流侵入产生的接触电压造成的生物伤害;  $R_{U(T)}$  指雷击入户电信线路, 建筑物内雷电流侵入产生的接触电压造成的生物伤害;  $R_{V(P)}$  为雷击导致入户电力线路与金属部件之间的危险火花放电触发火灾或者爆炸, 造成生物伤害;  $R_{V(T)}$  为雷击导致入户电信线路与金属部件之间的危险火花放电触发火灾或者爆炸, 造成生物伤害。其中  $R_B$  风险值最大, 约占  $R_1$  风险的98.5%, 说明, 雷电直接击中高架区间导致的人身伤害风险较高。因此, 需要采取进一步雷电防护措施。

### 1.3 雷击参数计算

利用接触网上大气过电压的计算方法, 计算各种情况下引起接触网闪络的雷电流幅值, 同时利用对称性原理和行波法, 分别讨论雷击接触网

收稿日期: 2012-03-17

作者简介: 李征 (1984—), 男, 江苏扬州人, 工程师, 硕士研究生在读, 从事雷电防护相关技术工作。

附近地面、雷击接触网支柱、雷击接触网等情况下雷击对直接供电方式下接触网的影响<sup>[3-4]</sup>。

1.3.1 雷击接触网附近地面 雷击点与线路间的距离大于 65 m, 接触网导线上的感应过电压的最大值由公式

$$U=25s/Ih \quad (1)$$

求得。南京地铁接触网线路采用的棒式绝缘子的冲击绝缘水平  $U$  为 125 kV, 导线(承力索)悬挂平均高度(距地面)  $h$  约为 12 m, 雷击引起接触网闪络的雷电流  $I=27.1$  kA。

根据文献 [5] 中的公式计算雷电流概率  $P$

$$P=10^{-\frac{1}{88}}。 \quad (2)$$

因此 27.1 kA 的雷电流概率为 49.21%, 即沿线 49.21% 的雷云对接触网附近(大于等于 65 m)的地面放电都可能引起接触网的绝缘闪络。实况资料显示, 雷电流强度超过 27.1 kA 的对地放电有 40 次, 即这 40 次对地放电都可能引起接触网的绝缘闪络。

1.3.2 雷击接触网支柱 雷击接触网支柱时, 接触网绝缘子承受的电压  $U$  为雷电流在支柱上产生的冲击电压  $U_1$  与电磁场迅速变化在线路上产生的感应电压  $U_2$  之和:

$$U=U_1+U_2=R \cdot I+L \frac{dI}{dt}+\frac{I}{2.6}h, \quad (3)$$

式中,  $R$  为支柱的冲击接地电阻, 取  $R=10 \Omega$ ;  $h$  为导线离地高度, 取 14 m;  $L$  为支柱的等值电感, 对于南京地铁钢支柱取  $L=1 \mu\text{H}$ 。

设接触网的绝缘水平为 125 kV, 雷电流波形取斜角平顶波, 波头长度 2.6  $\mu\text{s}$ , 引起闪络的雷电流幅值为

$$I=\frac{U}{R+\frac{L}{2.6}+\frac{h}{2.6}}。 \quad (4)$$

计算得到能够引起接触网闪络的雷电流幅值  $I$  为 7.93 kA, 雷电流概率按公式 (2) 计算为 81.28%, 即沿线当雷击支柱时, 81.28% 的雷会导致绝缘水平为 125 kV 的绝缘子闪络。实况资料显示, 49 次雷电流强度均超过 7.93 kA, 都可能引起接触网的绝缘闪络。

1.3.3 雷击接触网 当雷击接触网时, 作用于靠近被击点的支持绝缘子上的过电压  $u(t)$  为

$$u(t)=\frac{Z \cdot Z_0}{Z+2Z_0}i_m(t), \quad (5)$$

式中,  $Z$  为接触网线路的波阻抗, 取  $Z=250 \Omega$ ;  $Z_0$  为雷道波阻抗, 取  $Z_0=300 \Omega$ ;  $i_m(t)$  为雷电流。

能够引起接触网绝缘闪络的雷电流幅值  $I_m$

$$I_m=\frac{Z+2Z_0}{Z \cdot Z_0}U(t)。 \quad (6)$$

取接触网的绝缘水平 125 kV, 能够引起接触网绝缘闪络的雷电流幅值为 1.42 kA, 按公式 (2) 可求出概率为 96.4%。实况资料显示, 49 次雷电流强度均超过 1.42 kA, 都可能引起接触网的绝缘闪络。

## 2 南京地铁接触网综合防雷保护措施

通过雷击柔性接触网风险计算及雷击原因的分析, 沿线路的雷云放电, 无论是雷击接触网附近地面引起的感应过电压、雷击接触网支柱, 还是雷电直击接触网, 都有可能引起接触网绝缘子发生闪络, 但雷击接触网和接触网支柱引起此次雷击的可能性较大。结合目前南京地铁接触网设计的实际情况, 提出综合雷电防护措施。

### 2.1 安装架空地线

为了防止雷直接击中触网, 首先应考虑安装架空地线。架空地线作用类似于避雷线, 其保护范围按滚球法<sup>[6]</sup>计算。架空地线应采取柱顶安装方式, 距平腕臂 2 m 左右, 保护角  $20^\circ \sim 30^\circ$ , 架空地线的肩架与接地引下线连接(如图 1)。

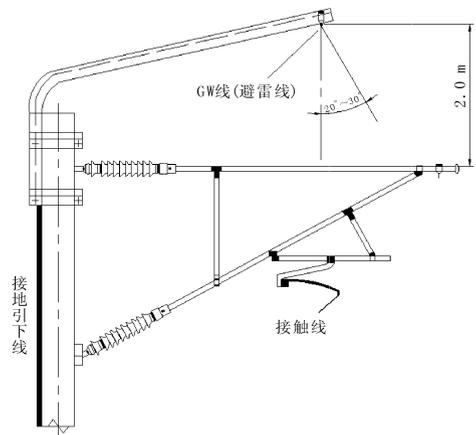


图 1 架空接地线的安装示意图

### 2.2 接地

根据 1.3 节的计算, 引起闪络的雷电流幅值和

绝缘子闪络概率随着接触网支柱的接地电阻增大而增加。因此,良好的接地方式和较小的接地阻值是接触网安全运营的关键,所以,接触网防雷接地预留的接地端子电阻值应不大于  $10\ \Omega$ 。同时,南京地铁架空地线(或避雷线)应通过带绝缘层的大截面积多股铜芯线与墩柱顶部预埋钢板可靠电气连接。

接触网接地间距也应适当缩短,由原有每隔  $500\sim 1\ 000\ \text{m}$  接地一次改为每隔  $200\sim 250\ \text{m}$  接地一次,且上、下行接地交错布置,增加雷电流的泄流通道。如果条件允许,地铁沿线接触网接地引下线与墩柱顶部预埋钢板应多处连接,连接点越多越好。当地铁沿线各变电所、牵引站、降压站、杆塔等存在两个以上的独立接地网时,必须将距离较近的接地网连接起来。

### 2.3 安装地电位均衡器

为了避免在雷击放电或感应过电压时,由于地电位太高而引起接触网设备损坏,目前南京地铁设计在接触网上采用进口的地电位均衡器,使架空地线通过电压均衡实现接地。其内部由一定的两个电极组成绝缘腔,一旦发生雷击,在雷击过电压的作用下,绝缘腔体内会发生气体放电,这样两电极之间就会由原来的隔离状态转变为临时的电气连接状态。雷击状态下,使不同的接地系统迅速导通,两地线电压均衡,消除地电压反击,纳秒级导通。为了防止大电流的雷击,地电位均衡器的通流容量应足够大。接触网在地面段、高架段、出入线、车辆段试车线应每隔一个支柱设置地电位均衡器。

### 2.4 安装带热脱扣装置的金属氧化物避雷器

为了防止雷电感应对接触网系统设备造成损坏,应在接触网系统设备相应位置安装金属氧化物避雷器。带热脱扣装置的避雷器分为  $1\ 500\ \text{V}$  直流和  $10\ \text{kV}$  两种。其作用一是提供足够的力量使避雷器脱离,二是失效后,可以清楚地提醒维护人员避雷器已经老化,应立即更换。

$1\ 500\ \text{V}$  直流避雷器安装在牵引变电所正馈线上网隔离开关处和牵引变电所  $1\ 500\ \text{V}$  母线<sup>[7]</sup>。为保证器件动作的可靠性,应选择性能较好的接触网避雷器,降低接触网避雷器的残压。 $10\ \text{kV}$  高压避

雷器安装在隧道外馈线上网点处,进入隧道的接触网在隧道入口处,进入封闭式雨棚高架车站的接触网在车站两端,地面段、高架段、出入线、车辆段试车线的每隔一个支柱上(且上行线和下行线同时考虑,避雷器交错布置)。

### 2.5 提升绝缘子性能

接触网绝缘子使用时间较长以后,部分可能被污染,发生闪络的可能性大大增加。因此应加强清洁绝缘子尤其是污染区的绝缘子,以减少闪络。加强线路绝缘。一般为增加绝缘子串片数、使用大爬距悬式绝缘子、增大空气间距等方法。馈线断路器均应装设自动重合闸装置,防止建立并频短路电弧的保护。

## 3 结语

3.1 南京地铁天印大道站至龙眠大道站高架区间的人员伤亡损失风险  $R_1$  为  $11.804\times 10^{-5}$ , 远大于规范规定的典型容许值,其中雷电直接击中高架区间导致的人身伤害风险较高。

3.2 这次雷击事故可能由雷击接触网附近地面、雷击接触网支柱或雷击接触网造成。但雷击接触网和接触网支柱引起此次雷击的可能性较大。

3.3 采取保护措施后,人员损失风险值  $R_1$  为  $0.23\times 10^{-5}$ , 低于容许值,说明措施合理。

### 参考文献:

- [1] TB 10009—2005 铁路电力牵引供电设计规范 [S]. 北京:中国铁道出版社,2005.
- [2] IEC 62305—2 风险管理 [S]. 国际电工委员会标准,2006.
- [3] 陈纪纲. 带回流线的直线供电方式接触网防雷技术的研究 [D]. 成都:西南交通大学,2005.
- [4] 刘明光. 接触网的防雷简化分析 [J]. 铁道学报,1996,18(6):122-124.
- [5] DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合 [S]. 北京:中国电力出版社,1997.
- [6] GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范 [S]. 北京:中国计划出版社,2010.
- [7] 彭大明. 明珠线一期工程接触网防雷接地系统 [J]. 电气化铁道,2004(2):41-42.