

地铁站台土建结构板上设置站台门 绝缘的原理及方法

马建文

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉//高级工程师)

摘要 通过综合理论分析,得出一种在地铁站台土建结构板上设置地铁站台安全门绝缘的原理及方法。由于空气湿度与物体表面电阻是负相关,而表面电阻与站台门绝缘电阻是正相关,因此要提高站台门绝缘性能必须提高物体的表面电阻。进而提出一个颠覆传统站台门绝缘结构的方法,即在站台土建结构上设置绝缘,全面增大站台门体积电阻及表面电阻,使站台门绝缘性能得以普遍提高。

关键词 轨道交通;站台门;绝缘;土建结构层;表面电阻
中图分类号 U229

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.05.037

Principle and Method of Setting Platform Screen Door Insulation on Metro Platform Structural Slab

MA Jianwen

Abstract A method of setting platform screen door insulation on metro platform structural slab is concluded through comprehensive theoretical analysis. Since surface insulation resistance is in negative correlation to air humidity, while in positive correlation to platform screen door insulation, surface insulation resistance should be improved in order to improve the platform screen door insulation. A subversive method of platform door insulation structure is proposed, that is to set insulation on platform civil engineering structure, increasing platform screen door body resistance and surface resistance comprehensively, so that the platform door insulation performance is improved generally.

Key words rail transit; platform screen door; insulation; civil engineering structural slab; surface resistance

Author's address Equipment Design & Research Department, China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

地铁站台安全门能够把乘客与列车进行隔离,防止乘客掉落站台,同时保证空调冷源和热源不被运行列车带走,因此站台安全门是地铁车站必备设

施。由于站台安全门与轨道回流轨连接以保持等电位,所以站台门必须保证绝缘安装,同时在站台设置绝缘层。GB 50157—2013《地铁设计规范》第9.3.11条对此作了明确的规定,并将其作为强制性条款。

但是根据国内站台门绝缘安装后的检测效果来看,无论是刚施工完还是运营后,绝缘电阻普遍没有达标,甚至没有电阻。如果这样,为安全起见,站台门就不与回流轨连接,从而使列车与站台门就形成了跨步电压,如果站台绝缘层还失效,将对乘客的安全构成双重威胁。

站台门绝缘同站台绝缘层联系非常紧密。如果站台绝缘层效果差,站台门绝缘就不会好。站台绝缘层原来只有绝缘卷材一种方案,绝缘卷材由于易被刺破,且卷材四周必须打胶密封,只要有一个漏点,整跨绝缘就会失效。因此,整体复合绝缘层(绝缘砂浆)方案应运而生,使绝缘性能得到可靠保证,这样可以投入精力来进行站台门绝缘性能的提升研究。

1 站台门绝缘设置及存在问题

目前,保证站台门绝缘性能普遍的做法,是由站台门厂家在门体立柱上下支座上设置绝缘套筒及绝缘垫片。虽然这种安装工艺从理论上确实能保证立柱金属不与土建结构接触而导通,但是地铁车站环境不是理想状态,主要体现在:

1) 施工阶段,各工种交叉作业、装修或土建专业的水泥砂浆很容易附在绝缘垫片或绝缘套筒上,而且不易发现、不易清理,从而导致绝缘失效。

2) 在施工验收或运营阶段,对门体进行绝缘检测时会发现一个非常普遍的现象,即绝缘电阻时有时无,时高时低。进一步分析发现,湿度高时绝缘电阻小甚至测不出来,湿度低时电阻出现,因此空

气湿度对门体绝缘影响非常大。

2 站台门门体电流运动规律及电阻的测量原理

首先,了解电流(电荷)在电场作用下的运动规律:

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

式中:

i ——电流,为单位时间内通过某一横截面 S 的电荷量, A;

q ——电荷, C;

t ——时间, s。

电流方向为正电荷的流动方向,形成电流的条件为:① 存在可以自由移动的电荷;② 存在电场。这里需要说明的是,电流通常是时间的函数,不随时间变化的电流称为恒定电流,用 i 表示。

一般情况下,在空间不同的点,其电流的大小和方向往往是不同的。在电磁理论中,常用体电流、面电流和线电流来描述电流的分布状态。

2.1 体电流

电荷在某一体积内定向运动所形成的电流称为体电流,用电流密度矢量 \mathbf{J} 来描述(描述截面上电流分布, A/m^2):

$$\mathbf{J} = \mathbf{e}_n \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta i}{\Delta S} = \mathbf{e}_n \frac{di}{dS} \quad (2)$$

式中:

\mathbf{e}_n ——正电荷运动的方向。

体电流密度矢量如图 1 所示。流过任意曲面 S 的体电流为:

$$I = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} \quad (3)$$

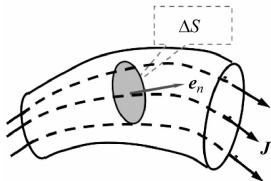


图1 体电流密度矢量

2.2 面电流

电荷在一个厚度 h 可以忽略的薄层内定向运动所形成的电流称为面电流,用面电流密度矢量 \mathbf{J}_s (单位为 A/m^2 ,见图 2)来描述其分布:

$$\mathbf{J}_s = \mathbf{e}_n \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta i}{\Delta l} = \mathbf{e}_n \frac{di}{dl} \quad (4)$$

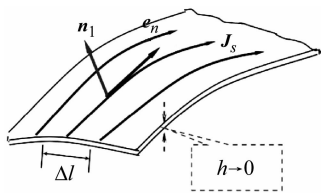


图2 面电流密度矢量

通过薄导体层上任意有向曲线 l 的电流为:

$$i = \int_l \mathbf{J}_s \cdot (\mathbf{n}_1 \cdot d\mathbf{l}) \quad (5)$$

2.3 电流的大小

电流的大小除与电场(电压)大小呈正相关外,还与物体电阻大小呈负相关。对于物体电阻来说,与体电流相对应的是体积电阻,用 R_1 表示;与面电流相对应的是表面电阻,用 R_2 表示。

2.4 物体的整体电阻

为方便描述,本文以梯形绝缘体为对象进行分析,如图 3 所示。由图可见,在一定电压下物体电流分别从物体内部及物体表面流走,相当于一个并联电路。图中, I_s 为表面电流, I_v 为体积电流。

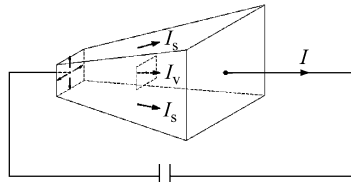


图3 电流在绝缘体内部及表面走向示意图

图 3 类似于一个并联电路,电流 $I = I_s + I_v$ 。从而可以得出总电阻 R 的计算式为:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R = R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2) = R_1 (1 + R_1 / R_2) \quad (6)$$

物体体积电阻 R_1 是不变的,而表面电阻 R_2 为变量。从式(6)可以得出结论,当表面电阻 R_2 变小时,物体总电阻 R 也变小。

3 湿度与物体表面电阻的关系

当空气中的湿度大于 60% 时,就会在物体表面形成肉眼很难观测到的水膜。湿度越大,表面形成的水膜越密,电流沿绝缘体表面就容易导走,所以表面电阻就变小。从式(6)中可推导出总电阻值也变小,这就是在对站台门测电阻时发现绝缘电阻时高时低,甚至测不出来的根本原因。因此,要想提高门体绝缘电阻,必须提高站台门的表面电阻,这

样就可以设计出与传统站台门绝缘方式截然不同的最新的绝缘方案。

4 站台门新型绝缘方案

通过以上分析,本文提出一种与现有门体绝缘有本质区别的新型绝缘方案,如图 4 所示。

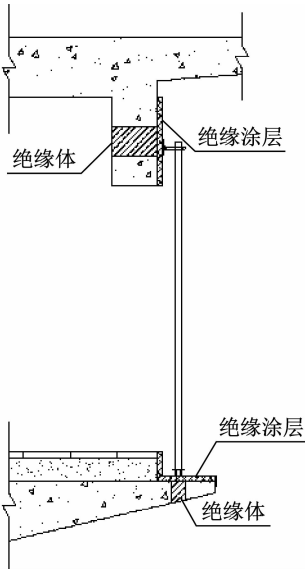


图 4 在土建板上设置绝缘示意图

具体方法如下:① 不在门体立柱上下支座处设置绝缘垫或绝缘套管,在门体立柱上下与土建结构板交接处的结构板中嵌入绝缘体,阻断体电流;② 沿站台门通长的上下土建结构表面涂装绝缘涂层,增大表面电阻,减少表面电流。

笔者研究出一种绝缘体材料,其物理力学性能及绝缘性能优异,可满足地铁在复杂环境下长期使用的耐久性及功能要求。

1) 绝缘体的材料性能。嵌入站台结构板中的材料为现场浇筑的绝缘体,从其参数分析上可以看出,抗压强度、黏结强度很高,远高于钢筋混凝土的力学性能,而且体积电阻率非常高,具备阻断体电流的优异性能,其技术参数如表 1 所示。

表 1 绝缘体材料性能表

参数	实测值	检测执行标准
厚度/mm	≥100	与站台结构板同厚度
体积电阻率/(Ω·cm)	1.0×10^{16}	GB/T 1410—2006
表面电阻率/Ω	1.0×10^{13}	GB/T 1410—2006
抗压强度/MPa	30.00	HG/T 3829—2006
黏接强度/MPa	3.00	HG/T 3829—2006
拉伸强度/MPa	10.00	GB/T 16777—2008
断裂伸长率/%	5.0	GB/T 16777—2008

2) 土建结构板表面绝缘层的材料性能。在站台门立柱上下土建结构板表面设置表面绝缘涂层,其材料具有比较大的表面绝缘电阻,从而可减少表面电流的泄漏。该涂层材料主要化学成分为纳米无机材料,合成固化后技术参数如表 2 所示。

表 2 土建结构板表面绝缘层的材料性能表

参数	检验结果	检验依据
附着力/MPa	12.2	GB/T 5210—2006
耐磨性/g	0.003	GB/T 1768—2006
铅笔硬度	3H	GB/T 1768—2006
体积电阻率/(Ω·cm)	$>1.0 \times 10^{14}$	GB/T 1410—2006
表面电阻率/Ω	$>1.0 \times 10^{15}$	GB/T 1410—2006
耐酸耐碱性	无起泡、无脱落、无开裂	GB/T 9274—1988
苯类及重金属等有害物质	未检出	GB/T 18581—2009
燃烧性能	B1	GB/T 8624—2012

5 案例对比试验及结果分析

在深圳地铁 2 号线延长线仙湖站、莲塘站、莲塘口岸站进行了绝缘方案对比试验,每站情况如下:① 莲塘站通风情况较好,站内湿度与站外空气湿度基本保持一致;② 莲塘口岸站因为很深,不通风,湿度很大且基本保持不变;③ 仙湖站设站深度介于以上两站之间,湿度基本保持不变。

每个站在站台门一侧仍然采用在门体立柱自设绝缘的方案(简称传统方案),另一侧采用土建结构板上嵌入绝缘体及涂装绝缘涂层方案(简称新方案),施工完成后根据站内湿度情况随机跟踪检测,每站试验数据如表 3~表 5 所示。

表 3 不同湿度时莲塘站站台门绝缘电阻实测表

湿度/%	77	82	85	90
传统方案绝缘电阻/MΩ	11.60	5.20	1.55	0.15
新方案绝缘电阻/MΩ	21.00	18.50	15.20	12.50

表 4 不同湿度时莲塘口岸站站台门绝缘电阻实测表

湿度/%	90	92	95	98
传统方案绝缘电阻/MΩ	0.12	0.08	0.01	0.00
新方案绝缘电阻/MΩ	12.63	10.51	8.35	6.21

表 5 不同湿度时仙湖站绝缘电阻实测表

湿度/%	80	82	83	85
传统方案绝缘电阻/MΩ	7.50	5.50	3.20	1.85
新方案绝缘电阻/MΩ	16.00	15.50	15.30	13.50

根据以上 3 个车站的实测数据,得出以下结论:

- ① 传统方案的绝缘电阻对湿度十分敏感,绝缘电阻随湿度增加而大幅下降,这是因为表面电阻大幅降低的结果,当湿度大于 90% 时,其绝缘电阻趋于零;
- ② 新方案绝缘电阻值比传统方案绝缘电阻值大大提高;
- ③ 新方案绝缘电阻值也随湿度增大而降低,但是下降幅度较小,即便湿度大于 90%,站台门绝缘电阻值仍然较高。

6 结语

本文从目前地铁站台门绝缘普遍失效及绝缘可靠性差的现实背景入手,通过理论分析得出空气湿度与物体表面电阻是负相关的,而表面电阻与站台门绝缘电阻是正相关的。因此,要提高站台门绝缘性能必须提高物体的表面电阻。进而提出一个颠覆传统站台门绝缘结构的方案,即在站台土建结构上设置绝缘,由嵌入结构板中的绝缘体阻断体电流,结构板表面设置绝缘涂层,阻断表面电流,从而

(上接第 174 页)

4 结语

在郑州市市民文化服务区地下交通工程综合监控系统的 1 个中心、6 个车站、1 个车辆段的现场环境下,进行了综合监控系统国密应用方案的测试和长期试点应用,实现了用户和设备的身份认证、访问控制、信息安全传递,提升了综合监控系统的安全性。该国密方案中使用的国产密码算法、技术和设备均为国内自主设计、自主研发,符合国家对信息安全的“自主、安全、可控”要求。该系统的研发为城市轨道交通信息化安全建设提供了新的思路,可更好地为公众提供安全、便捷的出行。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.城市轨道交通综合监控系统工程技术

全面增大站台门绝缘电阻。该方案将使站台门绝缘性能得以普遍提高,通过实施案例,其绝缘电阻的检测数据证明了该方案理论的正确性,具有工程化应用前景。

参考文献

- [1] 《电子电气绝缘技术手册》编辑委员会.电子电气绝缘技术手册[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [3] 叶宏,凌人.屏蔽门门体绝缘及站台绝缘的探讨[J].现代城市轨道交通,2012(6):27.
- [4] 孙增田,李华,程强.屏蔽门接轨保护及绝缘保护必要性分析[J].城市轨道交通研究,2006(8):44.
- [5] 陈韶章.地下铁道站台屏蔽门系统[M].北京:科学出版社,2005:137.

(收稿日期:2020-06-29)

标准:GB/T 50636—2018[S].北京:中国建筑工业出版社,2018.

- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.信息安全技术 SM2 椭圆曲线公钥密码算法:GB/T 32918.5—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [3] 国家密码管理局.SM3 密码杂凑算法:GM/T 0004—2012[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [4] 国家密码管理局.SM4 分组密码算法:GM/T 0002—2012[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [5] 国家密码管理局.SM9 标识密码算法:GM/T 0044—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.基于 IBC 技术的身份鉴别规范:GM/T 0057—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.信息系统密码应用基本要求:GM/T 0054—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.

(收稿日期:2020-06-24)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704