

沈阳地铁站台门系统绝缘问题及改造方案研究

曲 博¹ 吴李刚² 张哲晨²

(1. 沈阳地铁集团有限公司, 110142, 沈阳; 2. 沈阳地铁集团有限公司运营分公司, 110161, 沈阳//第一作者, 高级工程师)

摘 要 地铁运营过程中, 站台门绝缘阻值会下降, 从而使杂散电流增大, 导致乘客触电风险增大。对沈阳地铁 1、2 号线部分站台门检测发现, 当站台门门体与轨道等电位线断开时, 站台门门体与列车门体的最大电位差为 42 V, 当站台门门体与轨道等电位线连接时, 流经站台门门体的最大电流达 43 A。模拟人体电阻试验表明, 沈阳地铁站台门杂散电流较大, 应采取处理措施。经比较分析, 采用站台门直接接地, 并对乘客可触及部分的门体进行绝缘处理的方案为最优方案。

关键词 地铁; 站台门; 绝缘; 接地

中图分类号 U223.6+1; U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.01.028

Study on the Insulation Problem of Shenyang Metro Station Platform System and Improvement Scheme

QU Bo, WU Ligang, ZHANG Zhechen

Abstract The insulation resistance of PSD will decrease in metro operation, causing stray current and electric shock risks for passengers. Through checking some of the platform doors on metro Line 2, it is found that the maximum potential difference between platform door and train door is 42V when the potential line is disconnected between PSD and track; in contrary situation, the maximum current that flows through platform doors is 43 A. A simulated human body resistance test shows that the stray current of PSD at Shenyang metro stations is larger and must be processed. Through comparative analysis, the best improvement scheme is selected, which adopts the platform door grounding and insulates the touchable parts of PSD for passengers.

Key words metro; platform screen door(PSD); insulation; grounding

First-author's address Shenyang Metro Group Co., Ltd., 110142, Shenyang, China

1 站台门系统的绝缘问题

1.1 站台门的绝缘要求

为了改善车站站台区域的环境质量、保障乘客

的安全, GB 50157—2013《地铁设计规范》规定新建线路车站宜设置站台门。站台门系统安装在站台边缘, 通过门体隔离站台区域与轨行区。全高站台门与列车之间的间距一般不大于 200 mm, 乘客在上下车时可能同时触碰到站台门门体与列车。

列车在正常运营条件下, 站台处走行轨对地电位不应大于 120 V。当走行轨对地电压超标时, 应采取短时接地措施^[1]。沈阳地铁的轨电位限制装置保护整定值设置为 90 V。这样列车和钢轨同车站地之间就存在着最高 90 V 的电位差。当站台门未做任何绝缘时, 乘客存在触电的可能, 轻者导致感官不适, 严重时可能发生电击伤害。同样, 当乘客同时接触列车和站台时也会存在触电的可能。所以, 现在普遍要求对站台门进行绝缘安装, 并在站台铺设绝缘层, 将站台门与轨道进行连接, 使站台门与列车等电位。

1.2 站台门的绝缘与等电位设计

沈阳地铁与其他大部分城市的地铁一样, 采用了金属门体站台门。其绝缘主要包括站台地面的绝缘(站台铺设绝缘层), 站台门上部连接件、下部支撑结构及端门结构同土建结构间的绝缘, 以及门体相关部件之间(顶箱及地槛等)的绝缘。绝缘阻值标准为不小于 0.5 MΩ。

站台门系统与车站大地绝缘之后, 同钢轨进行单点等电位连接。连接电阻不大于 0.4 Ω, 并使每侧站台门保持整体等电位。^[2]

2 沈阳地铁站台门绝缘现状

沈阳地铁站台门的绝缘在建设期达到了验收要求, 但在运营过程中, 绝缘阻值受站台潮湿环境、土建结构、轨行区粉尘、绝缘的施工工艺、维护保养等多因素影响, 其数值动态变化, 不能完全满足绝缘要求。在沈阳地铁开通 6 年后, 对 43 座车站的 44 套站台门系统绝缘数据进行重新检测。每站选取 10 个测点, 共计测量 440 个数据。根据检测结

果,沈阳地铁 1、2 号线有 35 套站台门绝缘阻值低于 0.5 MΩ,少数严重的低于 0.1 MΩ 或近似于 0,站台门绝缘不合格的车站数量约占 80%。

目前,站台门对地绝缘不良的问题国内普遍存在。从各城市地铁的改造效果来看,均无法根本解决该问题。站台门与钢轨等电位,因绝缘不良而产生的杂散电流不仅会导致电腐蚀反应和打火现象的发生,对设备造成危害,还存在着乘客触电隐患。虽然少见关于乘客由于杂散电流触电的报道,但仍需引起重视。

3 站台门杂散电流分析

3.1 沈阳地铁现场实际电位差及杂散电流检测

当站台门门体与轨道等电位线断开时,理论上,站台门门体与列车门体会形成一定的电位差,又由于列车与轨道为等电位,故可认为门体-轨道电压同门体-列车门电压相等。通过检测沈阳地铁 44 套站台门系统在列车进站前、进站停稳时及离站后的电压发现,沈阳地铁 1、2 号线站台门门体与列车门体的最大电位差值为 42 V,大部分在 30 V 以下,理论上已经达到了直流电流的痛苦阈值,但未达到致命程度^[3]。

当站台门门体与轨道等电位线连接时,轨道杂散回流通过接轨的等电位线流经站台门门体内部。跟据现场实际情况,选取了 35 套站台门,在列车进站前、进站停稳时及离站后,对站台门杂散电流进行测量。由实测数据可知,流经站台门门体的电流最大值可达到 43 A。部分车站测量数据见表 1。

3.2 模拟人体电阻情况下的电流测量

为测量人体所受站台门与列车(钢轨)之间电位差的实际影响,进行了模拟人体电阻情况下的电流测量。在最不利的情况下,1 个人用湿润的双手同时接触站台门与车体,会形成导电回路。此时,可将人体看作为 1 个串联在轨道与门体之间的电阻,其电阻值约为 975 ~ 4 100 Ω。在门体接地(门体绝缘电阻为 0)的极端条件下,模拟电压及人体条件,测试流经人体的最大电流。为方便测试,试验选取在高压变电所进行,并采用在轨道与大地之间串联 1 个 1 175 Ω 电阻的方式模拟。试验结果见表 2。

根据表 2 可知,在门体完全接地的条件下,当人体电阻为 1 175 Ω 时,最大杂散电流为 25.5 mA,已能使人体感到不适。只有轨道电位达到 90 V,导电

回路才能导通。计算可得此时的人体最大电流约为 90 mA,可以对人体造成伤害。

表 1 沈阳地铁 1、2 号线部分车站站台门与列车门体电压及杂散电流测量数据

车站	站台门位置	电压/V			最大杂散电流/A
		列车未到站	列车已到站	列车离站	
张士站	上行方向	39.0	24.0	18.0	0.24
	下行方向	3.00	17.0	35.0	0.24
开发大道站	上行方向	13.3	14.8	20.4	0.23
	下行方向	16.9	6.2	16.4	2.40
保工街站	上行方向	27.6	35.2	42.0	26.00
	下行方向	18.2	17.0	33.6	0.25
铁西广场站	上行方向	21.5	26.0	26.8	0.24
	下行方向	17.6	15.2	20.8	43.00
青年大街站	上行方向	12.2	6.1	6.9	0.70
	下行方向	24.8	39.0	28.8	0.70
青年公园站	上行方向	2.7	4.0	10.0	0.03
	下行方向	2.6	5.0	12.0	0.04
工业展览馆站	上行方向	1.2	1.2	15.0	0.11
	下行方向	1.2	1.2	15.0	0.12
金融中心站	上行方向	1.2	6.0	15.0	0.13
	下行方向	0.8	4.0	14.0	0.06
沈阳北站站	上行方向	0.4	5.0	16.0	0.10
	下行方向	0.2	7.0	20.0	0.15
航空航天大学站	上行方向	25.0	16.2	40.0	
	下行方向	20.0	18.0	38.0	

表 2 沈阳地铁模拟人体电阻电压及杂散电流测量数据

测试工况	最大杂散电流/mA	最大电压/V
列车未到站	25.5	30
列车已到站	24.0	28
列车离站	23.0	27

3.3 沈阳地铁站台门杂散电流对人体的危害

经过测量及论证,现阶段沈阳地铁暂时取消了站台门与钢轨的等电位连接线。由于乘客同时接触站台门与列车的概率极低且时间很短,而且,虽然门体对地绝缘不符合要求,但其并未完全真正接地,仍具有一定阻值。该阻值相对于人体电阻很大,导致实际上流经人体的电流很小。这使得乘客至今几乎没有触电感。因此,在实际运营中尚未接到关于此类事件的乘客投诉,乘客实际触电风险较低。但随着门体对地绝缘进一步老化,绝缘阻值进一步降低,不排除未来有发生乘客触电风险的可能。因此有必要开展对站台门绝缘的改造。

4 绝缘不良的改造方案

4.1 常见的绝缘改造方案

对于已开通线路,站台门系统绝缘改造方案主

要有对站台门外露部分进行绝缘防护处理、断开站台门与钢轨等电位线、更换绝缘地槛、更换或重新铺设绝缘地板、对金属门体采用复合材料进行替换等改造方案。

4.2 常见改造方案的详细对比

对常见绝缘防护改造方案的技术难度、施工可行性、后期维护要求、施工工期、价格因素、寿命等方面进行调研。调研结果见表 3。

表 3 常见的绝缘防护方案对比

项目	喷涂绝缘漆方案	敷设绝缘膜方案	站台表面铺设绝缘地板方案	门体采用复合材料方案
材质	改性复合树脂、辅材料为复合树脂,颜色呈透明状态	聚对苯二甲酸乙二醇酯熔融加工成厚片,经双向拉伸而制成,是一种高强度的合成树脂高分子薄膜,颜色呈透明状态	耐磨橡胶板,绝缘薄膜	使用纤维和树脂复合材料替代常规金属门体。如有装饰要求,可再将不锈钢面板固定在复合材料的表面
性能	1. 绝缘层厚度为 80 ~ 100 μm; 2. 扯断(抗拉)强度≥0.2 MPa; 3. 抗冲击≥50 kg·cm ² ; 4. 表干时间 1 ~ 3 h; 5. 绝缘层表面具有一定的弹性和自修复性能,并有良好的防腐耐酸碱性能	1. 绝缘层厚度为 300 ~ 500 μm; 2. 透光率≥70% ; 3. 拉伸强度≥88 N/10 mm; 4. 180°剥离强度≥300 N/m; 5. 击穿电压≥6.5 kV; 6. 绝缘膜有良好的防腐耐酸碱性能	1. 绝缘层厚度 2 ~ 10 mm; 2. 击穿电压≥6.5 kV; 3. 绝缘电阻≥7×10 ¹² Ω; 4. 抗刺穿力 0.78 kN	1. 绝缘层厚度可达 600 mm 以上(视复合材料型材结构而定); 2. 电击穿强度≥2.3 kV/mm; 3. 绝缘电阻≥1×10 ¹⁴ Ω; 4. 结构件强度不小于金属结构件强度; 5. 结构件刚度等效金属结构件
施工工艺评价	简单	简单	一般	复杂
施工工期	2 个施工日/站	2 个施工日/站	5 个施工日/站	30 个施工日/站
预算费用	较低	较低	高	极高
优点	后期维护只需对破损的部位进行补漆,效率较高,节省费用	绝缘膜质地较喷漆厚,抗破坏能力稍好于喷漆	绝缘层厚,绝缘效果好	主体结构为绝缘体,可以保证绝缘效果一劳永逸
缺点	喷涂的漆面较薄,容易被破坏	会发生局部破损或脱落,需对其进行整体更换,增加了维护周期,提高了维护成本,影响整体的美观性和一致性	需严格控制施工工艺和质量;绝缘地板需注意后期养护;需考虑与车站的整体装修设计搭配	施工复杂,施工周期长,费用极高;对于改造项目来说相当于整体更换机械门体

从经济性、可实施性及后期维护的便利性来看,采用对乘客可触及部分的门体进行绝缘处理的方案(包括喷涂绝缘漆或贴绝缘膜)比较贴近沈阳地铁改造实际,可大幅降低乘客候车触电的风险。

5 结语

随着运营年限的增加,运营环境和设备老化等因素,会使站台门存在整体绝缘阻值不断下降或绝缘阻值不稳定的风险。随着站台门绝缘阻值的下降,通过门体的杂散电流势必增大。当站台门门体与轨道等电位线断开时,门体与列车之间也形成了一定的电位差。而人体承受直流电流 10 mA 以上即会产生痛感^[2],当电流过大或者电位差过高超出安全阈值时都会导致乘客触电的风险增高,对运营安全造成危害。

为保障运营安全,有必要确保站台门绝缘阻值不低于《地铁设计规范》中 0.5 MΩ 的要求。当站台门绝缘阻值低于设计值时,由于缺少切实可行的

维护方法,运营过程中难以通过日常的维保恢复该绝缘阻值,只能对站台门绝缘进行改造。

经过对现有较为成熟的改造方案进行综合对比,采用站台门直接接地、并对乘客可触及部分的门体进行绝缘处理的方案较适合沈阳地铁。该方案防护比较全面,经济性较好,实施及后期维护比较方便,既解决了杂散电流的腐蚀和金属部件之间虚连打火的问题,又满足地铁设计规范的要求,同时降低了大电流对人体伤害的风险及乘客正常候车时的触电风险,能满足沈阳地铁现阶段对站台门绝缘防护的需求。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
[2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 电流对人和家畜的效应, 第 1 部分: 通用部分: GB/T 13870.1—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

(收稿日期: 2017-04-07)