

# 采用分段绝缘和二次绝缘方案对地铁站台门绝缘可靠性的影响分析

马 晨 武 阳 高 梅 何 侃

西安铁路信号有限责任公司 陕西西安 710100

**摘 要:** 站台门绝缘设计一般采用钢结构整体与站台大地之间绝缘, 发生绝缘失效时, 需要逐个门体进行排查, 若采用分段绝缘的方案将站台门整体分成若干个站台门组, 每个站台门组之间相互绝缘, 当发生绝缘失效时, 可以采用分段测量的方式快速找到故障点, 缩短在线维修时间。采用滑动门整体与立柱和底座之间进行二次绝缘方案, 能够提高绝缘可靠性的指标, 提高站台门安全性能。

**关键词:** 站台门; 分段绝缘; 二次绝缘; 维修性预计; 故障率

## Analysis of Segmented Insulation and Secondary Insulation Scheme on Insulation Reliability of Subway Station Gate

MA Chen, WU Yang, GAO Mei, HE Kai

Xi' an Railway Signal Co., Ltd., Xi' an, Shaanxi 710100

**Abstract:** Platform door insulation design generally adopts steel structure and platform insulation. Insulation failure, needs one door body, if the segment insulation scheme will platform door into several platform door group, each platform door group mutual insulation, when insulation failure, can use section measurement quickly find the fault point, shorten the online maintenance time. The secondary insulation scheme between the sliding door and the column and the base can improve the insulation reliability index and improve the safety performance of the platform door.

**Keywords:** Platform door; Section insulation; Secondary insulation; Maintainability forecast; Failure rate

### 引言:

地铁站台门系统安装于地铁站台上, 将乘客与列车运行区域隔离, 防止乘客跌落轨道发生意外事故, 降低通风系统的运行能耗, 减小列车运行噪声和活塞风压对乘客的影响, 起到安全、经济和舒适的作用。

列车在行驶过程中钢轨作为牵引电机的回流端, 列车上的金属部件带有电压, 这些金属部件与站台门钢结构距离很近, 乘客在上下车时有可能同时触碰, 若站台门没有采取任何绝缘措施的情况下, 电流会从车体金属部件通过人体到达站台门钢结构, 最后会流入站台的大地, 乘客就会触电。为了避免这个问题, 站台在施工的过程中, 在站台门一侧设置一定宽度的绝缘层<sup>[1]</sup>, 同时, 站台门钢结构和钢轨进行连接形成等电位, 并且与站台大地之间绝缘。根据标准<sup>[2]</sup>规定, 站台门门体与车站大地之间的绝缘电阻大于等于 $0.5M\Omega$ 。

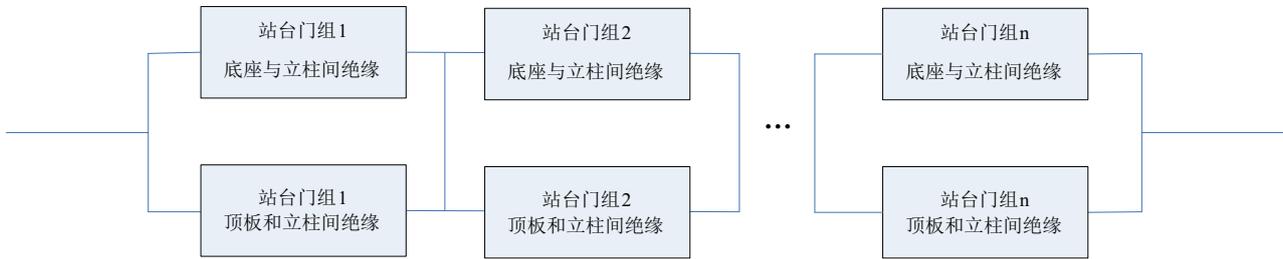
站台门一般按以下方案实施: 钢结构之间用电缆分别连接到等电位铜排, 在等电位连接铜排两端通过导线与地铁钢轨连接, 形成带一定电压的等电位体, 其中连接的铜排和导线整体电阻不大于 $0.4\Omega$ <sup>[3]</sup>; 钢结构上部顶板与立柱、下部底座与立柱中加入绝缘件(绝缘垫和绝缘套), 实现与站台大地之间绝缘。此时, 站台门钢结构之间是一个整体, 每一个站台门组(滑动门、应急门和固定门)都相互导电。

### 1 可靠性建模

#### 1.1 可靠性指标

以某城市地铁站台门技术要求为例, 其可靠性指标如下:

- 1.1.1 每百万门开关周期的故障次数 $\leq 0.26$ 。
- 1.1.2 规定系统平均恢复时间(MTTR) $\leq 30$ 分钟。
- 1.1.3 固有可用性: 大于99.95%。



站台门的可靠性框图

由于没有直接对于绝缘性能的可靠性要求, 现有的数据无法对可靠性进行合理的分配, 本次仅采用与以往产品的绝缘性能可靠性进行对比方法进行。

### 1.2 可靠性框图

按照站台门的一般方案, 从站台门绝缘性能角度出发, 对产品进行可靠性建模<sup>[4]</sup>, 绘制可靠性框图如上:

从框图中可以得出结论:

1.2.1 所有一侧的站台门组均是串联在一起, 只要有一个站台门组故障, 整个系统故障。

1.2.2 每个站台门组中上部顶板与立柱或下部底座与立柱绝缘件任意一处绝缘失效则整个系统绝缘失效。

1.2.3 所有故障全部为单点故障。

## 2 分段绝缘和二次绝缘方案

根据可靠性框图的结论, 结合实际使用情况, 提出分段绝缘和二次绝缘方案如下:

2.1 每个站台门组之间采用分段绝缘方案, 及在每个站台门组所有钢结构之间增加绝缘件, 这样处理的好处是当某个站台门组绝缘故障时, 拆除故障组的上下等电位线后, 其他站台门组仍可继续工作;

2.2 每个站台门组中, 滑动门、应急门和固定门的立柱和底座之间均有绝缘件, 若某一个绝缘件失效, 则站台门组都失效。考虑到滑动门与人体接触频率远大于其他门体, 从安全角度考虑, 将滑动门整体与立柱和底座之间进行二次绝缘;

按以上方案进行设计后, 需要在门组与门组间、滑动门整体与立柱和底座之间增加绝缘件。

## 3 绝缘可靠性的影响分析

由于可靠性的指标是针对站台门整体的要求, 没有直接对绝缘性能提出可靠性要求, 需要对可靠性指标进行分配, 由于分配过程中涉及站台门的控制电路、钢结构设计等部分不在本次分析的范围内, 故本次分析仅采用与站台门产品的原方案中绝缘性能可靠性指标进行对比, 判断采用分段绝缘和二次绝缘方案后可靠性指标有什么变化。

### 3.1 维修性预计

以往维修过程中出现绝缘失效时, 通常采用顶板与立柱、底座和立柱之间逐个排查, 费时费力; 采用分段绝缘方案后, 当出现故障时, 采用从中间站台门组开始, 拆除上下等电位线, 可以将整体站台门分成绝缘的两个区域, 对这两个区域整体进行绝缘测试, 找出故障的区域; 以此类推, 对故障区域再进行中间站台门等电位线的断开, 两边分别测量, 逐步缩小测量范围, 直到确认故障点是以站台门组为止, 最后对故障站台门组的顶板与立柱、底座和立柱之间排查, 确定最终故障位置。利用这个方法可以快速定位故障, 缩短在线维修时间。这种分段绝缘的方法对于站台越长、站台门组越多, 绝缘失效时检测故障位置所需的时间节省的越多。经过分析, 假设站台门组为3组出现一处故障, 节省排查时间10分钟; 假设站台门组为6组出现一处故障, 节省排查时间18分钟; 假设站台门组为14组出现一处故障, 节省排查时间36分钟; 平均节约时间约为21分钟。

### 3.2 可靠性分析

按照可靠性设计方案中的设计思路, 需要增加绝缘件并在结构设计中考虑实现性, 对本次可靠性分析有绝缘性影响的仅是增加的绝缘件, 经与设计工程师沟通, 绝缘件采用的材质和加工方法等与以往相同, 故增加绝缘件零件的可靠性参数相同, 假定一个常规站台的一侧, 安装n组站台门, 将可靠性设计的方案与原方案相比较结果如下:

假设原有的绝缘性能的可靠性指标故障率是 $\lambda_{前}$ , 每个站台门组中, 滑动门、应急门和固定门的立柱和底座之间均有绝缘件, 采用绝缘件的材质和加工方法等与以往相同, 若某一个绝缘件失效, 则站台门组都失效, 绝缘件的故障率为:

$$\lambda_{绝} = \lambda_{前}/n/4 = \frac{\lambda_{前}}{4n} = \lambda_{前滑} = \lambda_{前应} = \lambda_{前固} = \lambda_{前立}$$

新方案将滑动门整体与立柱和底座之间进行二次绝缘, 则 $\lambda_{后滑} = \frac{\lambda_{前滑}}{2} = \frac{\lambda_{绝}}{2}$ ; 将盖板和立柱间增加绝缘, 则 $\lambda_{后立} = \frac{\lambda_{前立}}{2} = \frac{\lambda_{绝}}{2}$ , 其余 $\lambda_{前应} = \lambda_{后应} = \lambda_{前固} = \lambda_{后固}$

$=\lambda_{绝}$ , 采用新的方案后, 绝缘性能的可靠性指标可靠性指标故障率是  $\lambda_{后}$ ,  $\lambda_{后}=\lambda_{后滑}+\lambda_{后应}+\lambda_{后固}+\lambda_{后立}=nX(\frac{\lambda_{绝}}{2}+\lambda_{绝}+\lambda_{绝}+\frac{\lambda_{绝}}{2})=nX(\frac{\lambda_{前}}{8n}+\frac{\lambda_{前}}{4n}+\frac{\lambda_{前}}{4n}+\frac{\lambda_{前}}{8n})=nX\frac{3\lambda_{前}}{4n}=0.75\lambda_{前}$

结论: 采用新方案的可靠性指标故障率比原方案的故障率低0.75。

#### 4 实际应用

按照新方案进行了详细设计, 按照设计的图纸进行了样机生产和组装, 具体实现和测试结果如下:

分段绝缘的实现: 在地铁站台门项目中, 为了施工方便, 我们将站台门分为3组, 组与组之间的等电位铜排断开, 中间金属接触的部位及立柱与盖板、立柱与门楣之间用绝缘件隔离, 金属件隔离距离不小于5mm, 采用的绝缘件材料与底座的绝缘相同, 绝缘效果良好, 这样就能保证每一组在电位上都是独立的。对于组装完好的站台门, 组与组之间使用500V兆欧表进行绝缘阻值测试, 试验结果绝缘阻值在10MΩ ~ 20MΩ, 说明组与组之间绝缘性能良好。为满足实际使用中站台门钢结构整体等电位要求, 在每两组的交界处, 等电位铜排和立柱上设置接线点, 用导线将其连接, 连接完3组后, 就满足所有站台门钢结构整体是等电位。连接完成后, 绝缘阻值试验结果均为0MΩ, 满足等电位要求。

二次绝缘的实现: 将金属的滑动门整体与立柱和底座之间、门槛底部和侧面安装绝缘件, 并使他和其余金属件保持最少6mm间隙, 在门槛和钢结构间进行绝缘阻值测试, 试验结果为10MΩ左右。

将样机试装在某站的站台, 用万用表测量站台门钢结构等电位体总电阻值为0.3Ω, 说明等电位连接有效, 测量站台门钢结构和底座之间绝缘阻值为5MΩ左右, 说明站台门整体绝缘性能良好; 测量钢结构和门槛绝缘阻值为10MΩ左右, 说明二次绝缘性能良好且高于站台门整体绝缘性能, 及二次绝缘优于一次绝缘, 绝缘阻值高出5MΩ左右。

为测试分段绝缘在实际应用中的功能, 模拟绝缘失效情况, 用短接线将第1组中任选一个底座和钢结构之间短接, 测量3组钢结构和底座之间任意位置绝缘阻值为0MΩ, 拆除2组和3组间的等电位线, 测量1组和2组

绝缘阻值为0MΩ、3组绝缘阻值为5MΩ左右, 再次拆除1组和2组间的等电位线, 测量1组绝缘阻值为0MΩ、2组和3组绝缘阻值为5MΩ左右, 最终定位故障位置发生在1组, 和测试短接的位置一致, 分断绝缘功能实现。

将分断绝缘和二次绝缘使用在某城市公共交通系统中, 统计使用过程中站台门有7个发生绝缘失效情况, 经对现场查看测量数据情况如下:

4.1 测量钢结构和底座之间绝缘阻值均为0MΩ, 除一个门体外其余采用二次绝缘的门槛和底座之间绝缘阻值均大于0.5MΩ, 说明在一次绝缘性能失效下, 二次绝缘能够起到良好的绝缘性能, 绝缘性能提高86%, 站台门正常使用过程中如果出现这种情况, 乘客在上下地铁的过程中触电概率将在基础上下降到14%;

4.2 对故障的站台门进行故障排查, 在维修人员3人的情况下, 先采用常规方法后分段绝缘方式查找故障位置, 统计使用的时间, 得到采用分段绝缘方法比常规方法平均节省时间26分钟。为不影响正常的使用可以在确定出故障组时, 采取将故障组同其他门组等电位线断开的方式将其隔离, 在站台门控制系统中同样采用手动隔离, 达到故障门组整体隔离其他门组正常使用的状态。

#### 5 结语

站台门在使用过程绝缘性能失效一直以来就是一个困扰地铁正常运营的问题, 在以往的设计中出现绝缘性能失效往往需要耗费大量的时间和人力去排查, 降低出现故障的概率和减少维修时间是关键。本文从设计的角度改进站台门结构, 采用分断绝缘和二次绝缘后分析可靠性指标, 故障率比原系统降低到75%, 故障维修时间平均节省21分钟。将这种方案投产使用后, 经过采集现场的使用数据分析后, 站台门安全性能提升了86%, 在未增加人力的基础上在线维修时间平均缩短26分钟。

#### 参考文献:

- [1]张俊岭.地铁屏蔽门系统站台整体复合绝缘层方案研究[J].城市轨道交通研究, 2013(4): 86-88.
- [2]CJ/T 236-2006, 城市轨道交通站台屏蔽门[S].
- [3]邓协和.城市轨道交通站台屏蔽门系统等电位、总电阻、绝缘电阻的测试方法研究[J], 2011(9): 66-68.
- [4]李巧良.可靠性工程师手册[M].人民出版社.2012(5): 56-57