

刚性分段绝缘器消弧角脱落故障分析与处置预防措施

邓开明

中铁电气化局集团有限公司 北京 100000

【摘要】：地铁接触网分段绝缘器能够提供不同区域供电分断，同时使受电弓平滑通过并连续受流的关键设备。分段绝缘器因其结构、位置、状态、受电弓情况和动态工作环境等因素，容易导致其与受电弓配合不完美，进而出现拉弧、碰撞变形、折断等故障，甚至导致停运等现象，严重影响地铁安全运行。本文主要分析分段绝缘器消弧角断裂的故障原因，并结合设备特点和现场情况给出维护建议及预防措施。

【关键词】：地铁；分段绝缘器；消弧角；故障

DOI:10.12417/2705-0998.25.08.024

1 前言

刚性分段绝缘器一般分布在在车辆段（停车场）与正线电分段、渡线电分段、岔区电分段、折返线电分段等位置，位置较为特殊，如折返线位置的分段绝缘器使用频率高，每列电客车经过时状态不一，对分段绝缘器有很高要求，常常因其结构、位置、状态、受电弓情况和动态工作环境等因素导致弧、碰撞变形、折断等故障，由此可见，分段绝缘器是地铁接触网检修维护的重点设备。

刚性接触网分段绝缘器正常情况下导流板底面和位于其中间的导线是等高的，当列车在通过分段绝缘器时，由于碳滑板表面凹凸不平高差较大，碳滑板中心两侧凸起的部分将率先与导流板的端部上翘部位发生冲击与摩擦，受电弓与导流板的始触点由导流板底部前移到导流板的上翘部位，因此也就出现了导流板上翘部位出现因撞击造成不同程度的磨损等现象，导流板长时间受到冲击与偏磨，会造成局部应力过于集中，在长时间积累作用下造成铜滑板铆钉金属疲劳，最终导致断裂。

武汉地铁 6 号线二期采用的刚性分段绝缘器电压范围 0.75-3kV，空气间隙 $\geq 150\text{mm}$ ，爬电距离 $\geq 600\text{mm}$ ，起始滑动力不小于 8kN，拉伸破坏荷重不小于 60kN，雷电冲击耐受电压 $\geq 108\text{kV}$ ，工频湿闪电压 $\geq 30\text{kV}$ 。

2 故障现象

在武汉地铁 6 号线二期运营线路检修过程中，发现在右线折返线处的分段绝缘器的消弧角掉落，经过产品结构分析及现场确认，是分段绝缘器的消弧角与铜滑板之间的固定铆钉断裂造成的消弧角掉落。

3 分段绝缘器消弧角脱落原因分析

3.1 消弧角铆钉原材及本体受力特点因素分析

3.1.1 滑板铆钉原材质量分析

通过对铆钉的原材料、成品铆钉的外观尺寸、化学成分报告及机械性能检验报告进行核查，进场的材料也同步经过材料报审等流程，可进一步确认铆钉从原材料、外观尺寸、化学成

分及机械性能等参数是满足相关标准要求的。

3.1.2 滑板及铆钉外观形貌检查

经过现场实物分析，已经断裂的铆钉一端在铜滑板的铆钉孔上，未掉落，则说明铆钉经过铆接后已经膨胀并牢固的将消弧角固定在滑板上，铆钉另一端已经断裂并随消弧角掉落。

铆钉采用铜合金棒料进行机加工而成，其材质与滑板一致。所以铆钉在数控加工中心制造为成品后是不会存在裂纹缺陷的。如果存在裂纹缺陷则在机加工过程中会及时发现或者在铆接时裂纹会扩散至断裂，很容易检查出来。经采用 50 倍的放大镜观测，铆钉 1 断裂面组织均匀，断口呈脆性断裂形貌，猜测其为一次性断裂。铆钉 2 断面边缘处有裂纹旧痕和撕裂痕迹，断口呈塑性断裂形貌。

因此滑板的消弧角可能在运输过程中存在碰撞现象或者在施工安装时存在磕碰，导致消弧角存在暗伤，在运营过程中经振动等外力的作用，致使铆钉 1 瞬间断裂，铆钉 2 产生裂纹。在机车受电弓通过分段绝缘器时使其产生剧烈振动以及自身重力作用等，各力的交织及消弧角的振动，使铆钉 2 的裂纹扩散，直至断裂。

3.1.3 消弧角本体受力验证

铆钉采用 CY 态铜合金材质，其抗拉强度 $R_m=380\sim490\text{N/mm}^2$ ，铆钉直径 4mm（横截面积 $S=3.14\times2^2=12.56\text{mm}^2$ ）。

根据经验值：

$$\text{剪切应力 } \delta = (0.6\sim0.8) R_m,$$

$$1 \text{ 个铆钉所能承受的剪切力 } F=S \cdot \delta = 12.56 \times (0.6 \times 465) = 3504.24\text{N}.$$

假设消弧角悬臂重心为最远点，且将消弧角重量全部计算在最远点的重心上，进行理论计算。

消弧角重量 0.12kg（即 1.2N）。

$$F_2 \cdot 53 = F_1 \cdot 85.$$

$$F_2 = (F_1 \cdot 85) / 53 = (1.2 \times 85) / 53 = 1.92\text{N} < 3504.24\text{N}.$$

通过计算在理论设计上受力是满足要求的。

所以根据以上图片及其受力分析可知，消弧角铆钉原材及本体受力特点对铆钉断裂导致消弧角脱落的影响不大。

3.2 导高调整存在落差，造成高频率的撞击因素分析

分段绝缘器各部件的连接需牢固，与接触网汇流排应处于同一个水平面内，导流板与接触线连接处应平滑过渡。为确保受电弓在分段绝缘器过渡时不出现打弓及刮弓等现象，定位点1、2(或者3、4)下方的铜滑板端部应略高于正常导高4040mm。其他位置与正常导高值保持一致。

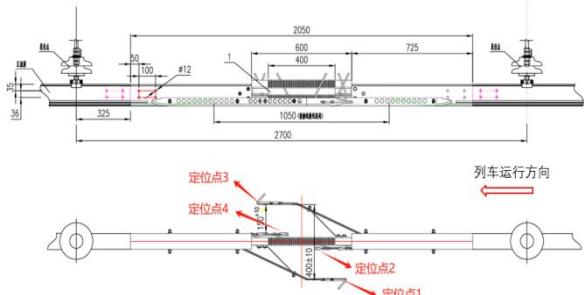


图1 分段绝缘器关键定位点

现场对消弧角脱落的分段绝缘器四个定位点的导高进行实测，定位点1比定位点2低了9mm，列车正常从右侧向左侧运行过程中，受电弓滑过了定位点2运行至定位点1时，由于导高的突降，造成受电弓撞击定位点1处端部的铜滑板边沿，以至于铜滑板底部出现不同程度的磨损。武汉地铁6号线每天运行18h，运行间隔5.3min，平均每天要发生204次撞击，如此高频率的撞击，受电弓在通过分段绝缘器时使其产生剧烈振动以及在自身重力的作用下，各种力的交织及消弧角的频繁振动，造成消弧角承受不同程度的机械外力，导致消弧角铆钉受力不均致使开裂，直至断裂。

现场实测分段绝缘器四个定位点的导高数据如下：

序号	位置	实测导高 (mm)	标准导高	与正常导高差	备注
1	定位点1	4028	4040	-12	
2	定位点2	4037	4040	-3	
3	定位点3	4035	4040	-5	
4	定位点4	4035	4040	-5	

因此，分段绝缘器底部铜滑板关节定位点的导高的落差是消弧角铆钉产生断裂的主要因素。

3.3 周边上网电缆导致分段绝缘器偏斜因素分析

本次消弧角脱落的分段绝缘器大里程7m位置有一组上网电缆，每组上网电缆是由10根1*150mm²的软电缆组成，按照

施工图纸所示，上网电缆的接线端子均在靠隔离开关侧一起连接在汇流排电连接线夹上，并用M12的不锈钢螺栓固定牢固，电缆采用电缆支架进行固定，固定间距为600mm。

在长时间的运营过程中，上网电缆的最后一个电缆支架与汇流排之间的电缆在其重力的作用下，会使汇流排受力不平衡，造成电缆侧汇流排高于另一侧，间接导致分段绝缘器发生一边高一边低的现象，在列车运行过程中，会加大受电弓对定位点1处铜滑板端部的边沿撞击的力度，增强了受电弓在通过分段绝缘器时消弧角铆钉振动的剧烈程度，加快了消弧角铆钉断裂的进程。

因此，附近上网电缆的单侧连接固定也是消弧角铆钉产生断裂的主要因素。

4 分段绝缘器处理措施及故障预防措施

4.1 处理措施

4.1.1 对分段绝缘器的消弧角及铜滑板进行更换

(1) 及时联系厂家对同规格型号的分段绝缘器消弧角及铜滑板进行备货，备品到货之后，对分段绝缘器消弧角及铜滑板进行全部更换。

(2) 备品更换之后，应要求厂家对同类产品增加备品备件，以免再次发生类似情况。

4.1.2 改变上网电缆对汇流排造成偏斜状态

(1) 拆除上网电缆，调整上网点位置的导高处于标准范围内。

(2) 改变上网电缆的安装形式，由原来接线端子均在隔离开关一侧上网改为从汇流排两侧对称上网的方式，将每组上网电缆分成2小组（每小组5根1*150mm²的软电缆）分别从汇流排两侧对称上网，减少汇流排不均匀受力，使汇流排两侧受力均匀，避免汇流排再次出现偏斜，进而导致分段绝缘器出现偏斜的情况。

4.1.3 调整分段绝缘器参数

(1) 核实分段绝缘器安装位置。刚性悬挂分段绝缘器的中点应位于线路中心线上，拉出值为0的位置上。确保分段绝缘器不受其他外力影响，处于水平状态。

(2) 调整分段绝缘器参数到标准值，以达到平稳过渡的要求。

分段绝缘器铜滑板底部导高应与周边接触线导高等高，且数据在标准范围内，定位点1和定位点3应略高于铜滑板底部其他定位点1-2mm，防止列车运行过程中出现集中硬点，对铜滑板始触导流板部分造成撞击并形成磨损。定位点2和定位点4应与铜滑板底部其他定位点等高，始终保证始触导流板的部分平稳过渡，确保行车安全。

4.2 故障预防措施

故障风险点根据分段绝缘器的使用率建立相应的维护检修周期，对于高频使用分段绝缘器，如折返线，应当至少每季度进行一次全面检查及维护；主要从导滑板水平情况、磨耗、有无裂纹、铆钉有无裂纹、螺母紧固情况进行全面检查，对于更换备件设备，应采取现场负责人复查等手段进行；对于渡线、联络线分段绝缘器应当至少每半年进行一次全面的检查及维护，利用日常的巡视、巡查等手段对关键设备状态进行检查确认，确保故障风险点处于安全可控范围内。

(1) 至少每半年检查一次，运行初期需每月检查一次。

(2) 运行初期，观察机车通过时分段绝缘器的运行情况。如果发生强烈的摇摆或者压接吊弦变得松弛，则可能是受电弓对分段绝缘器施加了过大的抬升力，需要适量提高分段绝缘器的安装高度。

(3) 目测分段绝缘器的整体外观情况，有无变形、裂纹、断裂等受伤情况发生。

(4) 重点观察滑道的磨损情况，如果出现个别滑道损速度比其它滑道快，说明分段绝缘器没有调整到位，需要重新调整。

(5) 使用水平仪模拟受电弓通过状况，确保没有卡滞、冲击感。

(6) 检查螺栓等紧固件是否有松动。

(7) 必要时使用肥皂水对绝缘棒的表面进行清洗，并保证绝缘棒外层伞套无划痕。

4.2.1 加强分段测量与巡检

地铁运营检修工班应不定期的对分段绝缘器关键定位点的参数进行测量，并实时观测分段两端铜滑板导流板的磨损程度，通过二者的综合分析，把控现场设备的安全状态是否可靠。

参考文献：

- [1] 地铁接触网分段绝缘器故障分析与处置预防措施.陈旭哲.2019.
- [2] 接触网分段绝缘器故障分析及改进建议.武承寅.2022.
- [3] 刚性接触网常见故障原因分析及预防措施.彭辉.2016.

同时检修工班可以在车站端头进行远距离观察，对2-3列电客车通过分段时的状态进行视频摄录，供工程师分析列车通过分段绝缘器的运行情况。

同时检修工班还可以与车辆联合对受电弓碳滑板的磨损程度及样式进行确认，通过磨损程度及样式来综合分析分段绝缘器的运行状态。

4.2.2 对分段绝缘器进行动态监控

为了对分段绝缘器连接固定情况和参数严格把控，检修完成后应对分段绝缘器螺栓做好红色防松标记，并对分段绝缘器进行动态检测，以便于在巡视过程中分段绝缘器参数状态发生变化时及时控制与检修。

4.2.3 根据运行状态实时调整分段绝缘器

通过对分段绝缘器日常巡视巡察情况、运行的状态、分段两端铜滑板导流板的磨损程度及受电弓碳滑板的磨损程度等情况进行综合分析，若发现存在异常情况，应及时组织人员对现场设备进行检修，对分段绝缘器的参数进行调整，找到弓网运行状态最佳的参数临界点。减少受电弓运行中的硬点，避免受电弓在导流板处的撞击现象，降低分段绝缘器导流板磨损程度，确保受电弓在分段绝缘器处能够平滑过渡，稳定运行。

5 结论与建议

综上所述，分段绝缘器作为接触网设备日常维护的重点，需要加强观测、重点关注。维护过程中，首先一定要保障受电弓能够平滑过渡；其次分段绝缘器的紧固非常重要，建议增加防松措施，并绘制防松线；最后，对于特殊位置的分段绝缘器（如折返线处），应加强日常巡视巡查频次，时刻观察分段绝缘器的运行状态及导流板磨损程度，结合参数标准和弓网配合情况，不断优化调整，减少运行中硬点的集中，以达到弓网配合的最佳状态。