

跨座式单轨制式轨道交通高空坠物风险防控

江国前

中车智能交通运营管理有限公司, 北京 100080

[摘要]随着轨道交通多样性的快速发展,跨座式单轨系统因其造价低、建设快、建设门槛低等优点,在世界各地得到推广;因其沿公路架空建设,其空间占用较少,也宜与城市景观相结合,利于观光旅游。但其高架建设及单个轨道运行的方式,对车辆部件及轨道设备设施发生掉落时无法承接,掉落的部件直接威胁路面车辆及行人安全。

[关键词]跨座式单轨制式轨道交通;高空坠物;风险防控

DOI: 10.33142/sca.v7i8.13062

中图分类号: U232

文献标识码: A

Risk Prevention and Control of High-altitude Falling Objects in Straddle Type Monorail System Rail Transit

JIANG Guoqian

CRRC Intelligent Transportation Operation Management Co., Ltd., Beijing, 100080, China

Abstract: With the rapid development of rail transit diversity, the straddle monorail system has been promoted around the world due to its advantages of low cost, fast construction, and low construction threshold. Due to its overhead construction along highways, it occupies less space and is also suitable for combining with urban landscapes, which is beneficial for sightseeing and tourism. However, its elevated construction and single track operation make it impossible to accommodate vehicle components and track equipment facilities when they fall, and the falling components directly threaten the safety of road vehicles and pedestrians.

Keywords: straddle type monorail system rail transit; high altitude falling objects; risk prevention and control

2023年4月,2024年1月、3月芜湖单轨及泰国曼谷单轨分别发生设备高空坠落安全事件,高空坠物风险对跨座式单轨安全运营及制式推广构成较大威胁。笔者结合重庆单轨、芜湖单轨工作经验对可能产生高空坠物风险的设备全面辨识分析,并结合重庆、芜湖跨座式单轨风险防控经验,提出管控建议,旨在提升跨座式单轨风险管控力度,保障单轨制式运营安全,推动跨座式单轨制式在世界范围内的进一步推广。

1 跨座式单轨高空坠物风险现状

2023年国内某跨座式单轨线路设备掉落导致地面车辆砸损3起,索赔2起;2023年4月,芜湖单轨发生列车车轮掉落事件,对当天及第二天运营造成严重影响,甚至行车间隔扩大到60分钟一班;2023年12月,泰国曼谷粉线发生接触网掉落事故,导致3辆汽车受损,单轨线路停止运营;2024年1月泰国曼谷黄线发生列车车轮坠落事故,导致1辆汽车受损,单轨线路停止运营;2024年3月泰国曼谷黄线再次因设备坠落停运,并引起乘客及附近居民的恐慌。据不完全统计,跨座式单轨线路每年仅螺栓、螺帽丢失上百颗,其他水泥块坠落、冬天冰凌坠落、车辆设备部件坠落时有发生,大多数因未砸到地面车辆及行人而未纳入统计。跨座式单轨高空坠物风险已极大地威胁到市民的出行安全,已成为该制式重大的安全风险。

2 跨座式单轨高空坠物风险及技术措施

根据近些年高空坠物事故案例及国内外跨座式单轨

系统维保过程中出现的设备松动、脱落情况,跨座式单轨系统高空坠物风险主要集中在车辆系统,轨道、房建系统,接触轨、变电系统,通信、信号系统等。

2.1 车辆系统

2.1.1 水平轮组件

轴承损坏、紧固件松动可能导致水平轮组件脱落;无论是泰国曼谷单轨还是安徽芜湖单轨,发生的车轮掉落事故均与该设备状态不良有关,因近期国内外连续发生及掉落时对运营的重大影响和对市民安全出行的极大威胁,风险较大。

2.1.1.1 技术措施

在设计时考虑防松脱、防坠落措施,水平轮组件安装宜采用自锁螺母+NordLock防松垫圈;另外针对该设备宜安装水平轮轴温监测系统,可以实时监测水平轮轴承温度并进行预警提示,提前发现轮轴运转异常并处置。

2.1.1.2 维保建议

日检:(1)轮毂和轮轴外观良好,安装牢固,安装螺栓防松标记无错位;(2)轮毂端盖外观良好,无渗油,防松标记无错位,防松铁丝无断裂、无缺失橡胶防护套无破损;(3)轮辋外观良好,安装牢固,紧固螺栓防松标记无错位。

月检:在日检内容基础上使用游标卡尺测量轮毂相对于轮轴的间隙在 (9 ± 1) mm范围。

年检:在月检内容基础上检查轴承润滑脂无变色,轮毂无晃动。

2.1.2 碳滑块

集电靴碳滑块螺母松动可能导致碳滑块脱落,脱落设备危及行人安全,脱落后集电靴可能发生靴轨干涉,影响正常运营。

2.1.2.1 技术措施

碳滑块安装宜采用自锁螺母+CS 垫片,并涂抹 270 螺纹锁固剂。

2.1.2.2 维保建议

日/月/季/年检:碳滑块外观良好,安装牢固,紧固件防松标记无错位,无裂纹、无严重灼烧、无严重的崩边,破损面积超过三分之一需要更换。

2.1.3 客室门扇

携门架、螺母副组件松动可能导致门扇脱落,发生可能性低,但危害较大。

2.1.3.1 技术措施

门扇宜采用双重防松脱设计,一部分通过携门架与承载小车导轨连接,另一部分通过螺母副组件与驱动机构连接。两部分均设计多重固定螺栓、挡块进行防松。

2.1.3.2 维保建议

日检:对门扇外观检查,确保无磕碰、无损伤、无变形。

月/季/年检:(1)承载机构外观良好,安装紧固,无变形、无损伤;(2)携门架外观良好,安装牢固,防松标记清晰无错位;(3)螺母副与丝杠配合良好、无异响,传动架挡卡装配正确、无脱落;(4)传动螺母处锁紧螺母、锁到位开关撞块紧固螺栓无松动。

2.1.4 障碍物探测触停线

接线端子损坏、紧固件松动、外物撞击可能导致触停线脱落,影响行人及运营安全。

2.1.4.1 技术措施

宜将障碍物探测系统中绝缘子装到独有支架上,支架上开扎带孔,用扎带将线束固定,避免接线端子受力。

2.1.4.2 维保建议

日检:外观检查;

月/季/年检:紧固件防松标记、接线端子检查。

车辆系统除以上主要高空坠物风险外,以下设备也应予以关注,如表 1。

表 1 车辆系统风险清单

专业	设备部件	风险情形
车辆系统	导向轮防尘罩	卡箍松动、轮辋螺栓干涉可能导致防尘罩脱落。
车辆系统	裙板	裙板安装螺栓松动可能导致裙板脱落。
车辆系统	牵引拉杆	牵引拉杆安装螺栓松动可能导致牵引拉杆脱落。
车辆系统	横向连杆	横向连杆安装螺栓松动可能导致牵引拉杆脱落。
车辆系统	雨刮器	雨刮器紧固件松动可能导致刮臂脱落。
车辆系统	横向减震器	横向减震器紧固件松动可能导致横向减震器脱落。

2.2 轨道、房建系统

2.2.1 指形板螺栓松脱、坠落

列车运行过程中,轨道梁指形板受到震动引起螺栓松动、断裂发生坠落,坠落的螺栓危及行人安全,松动的指形板危及列车运行安全。

2.2.1.1 技术措施

指形板安装平整、稳固,符合规范要求;指形板螺栓使用相同型号防松螺栓。

2.2.1.2 维保建议

月检:(1)检查指形板横、纵平整度、错台、板面与梁面高差数值,允许 3 米范围内横向值不超过 1.5mm、纵向值不超过 3mm;(2)曲线地段梁端连接处的水平线形和竖向线形矢高检查;(3)检查指形板紧固螺栓及垫圈有无缺少、断裂、锈蚀;(4)检查板面有无锈蚀、破损、裂缝;相邻指形板有无抵触;(5)检查设备型号(含螺栓、垫圈)是否匹配,不同型号不得混装;(6)表面防腐涂层无空鼓、起壳、剥落;(7)指板有无变形、弯曲、结合面翘起;板指间间隙是否均匀、安装位置是否偏差;(8)螺栓扭矩检测应满足 150~160N.M(扭矩与设计值之差不应超过±10%),螺栓应低于板面 1mm 以上;(9)确认螺栓孔无水或杂物、指缝间无异物,且板座与指形板孔位对应良好;(10)指形板与板座周边缝隙进行防水涂装,安装过程中指形板表面涂装如有损坏,应及时修补;(11)检查调高垫片是否采用同指形板规格一致的不锈钢垫片,且垫入总厚度不得超过 4mm,特殊情况使用加长螺栓时,应符合设计标准;(12)指形板表面不得打磨、焊接或用乙炔烧孔,发现应及时更换;(13)钢混梁位置检查钢垫板尺寸是否符合要求,不得与两端抵触。

2.2.2 混凝土梁体局部破损、松脱

混凝土梁体受车辆荷载、温度、施工工艺等影响致局部开裂破损发生混凝土块松脱,另外国内某单轨曾发生建设遗留水泥块脱落,危及行人安全的事件。

2.2.2.1 技术措施

在梁体结构设计、混凝土选择、施工工艺与养护上考虑梁体防裂措施;工程施工完毕,清除建筑垃圾,避免坠落伤人。

2.2.2.2 维保建议

结合国内现行维保做法,混凝土梁体宜采取季度维保检查的频次,内容主要为:1.检查混凝土轨道梁梁体有无破损、开裂、露筋、骨材分离;2.检查混凝土轨道梁梁体是否有积水及杂物;3.检查混凝土轨道梁梁体伸缩缝是否有损坏、积水、渗水及杂物。4.冬季桥梁挂冰凌的巡查与清理。

2.2.3 检修疏散平台及通道螺栓松脱、坠落

检修疏散平台及通道连接部位构件震动脱焊、螺栓锈蚀松脱,发生坠落,危及行人安全。

2.2.3.1 技术措施

检修疏散平台及通道连接部位构件均采用防松螺母及不锈钢垫片。

2.2.3.2 维保建议

月度巡视：巡查检修疏散通道是否存在松动、翘起、凹陷、缺失，护栏是否存在松动、摇晃，钢构件是否存在腐蚀等情况。

半年检维保：检查各紧固部件是否齐全、紧固；钢结构维护性涂装，铆钉、螺栓或者联结系杆件以及杆件裂纹、损伤和弯曲等情况。

2.2.4 车站外装饰

车站外装饰（铝方管、铝板、固定龙骨、墩柱装饰板、螺栓）受风荷载及列车运行过程中震动荷载的影响，导致连接节点松动，发生坠落。

2.2.4.1 技术措施

车站外装饰铝方管、铝板、固定龙骨、墩柱装饰板等宜通过不锈钢螺栓连接及焊接与结构进行连接。

2.2.4.2 维保建议

房建专业宜每季度对所有车站外装饰开展一次巡查，每半年对外立面进行一次集中检修；同时，对车站人员在日常巡查中发现的异常及时修复。

轨道、房建系统除以上主要高空坠物风险外，以下设备也应予以关注：

表 2 轨道、房建系统风险清单

专业	设备部件	风险情形
房建	玻璃幕墙	玻璃幕墙受风荷载及震动荷载的影响，导致连接节点松动，发生坠落。
房建	天花吊顶、吊顶龙骨、吊杆	受温度、气候、施工工艺影响，天花吊顶、吊顶龙骨、吊杆及连接件松动锈蚀，引发坠落。
房建	墙砖	受外界环境、施工工艺影响，墙砖开裂、脱落引发墙砖坠落。
房建	钢结构屋架、钢梁、钢梁螺栓	钢结构构件受温度、环境、施工质量等影响发生锈蚀、裂纹、节点开焊导致结构构件发生坠落。
房建	混凝土顶板、楼板	混凝土结构受温度、环境、施工质量、外界附加荷载变化等影响造成混凝土结构开裂、破损，导致混凝土块剥落发生坠落
轨道	防抛网	轨行区防抛网受外界天气原因，连接部位构件锈蚀、网面破损发生松脱、坠落。
轨道	钢梁、钢混梁螺栓	钢梁、钢混梁因受震动引起螺栓松动、断裂，发生松脱、坠落。

2.3 接触轨、变电系统

2.3.1 接触轨绝缘支撑

接触轨绝缘支撑由支撑螺栓、支撑绝缘帽、支撑本体等部件组成；接触轨绝缘支撑在长期失检或者轨道梁震动的情况下，绝缘支撑 M16 连接螺栓力矩发生衰减，绝缘支撑螺栓可能会发生松脱，螺帽发生坠落，绝缘支撑本体发

生脱落，甚至导致接触轨脱落。

2.3.1.1 技术措施

绝缘支撑应安装在轨道梁预留的接触轨槽道之中，混凝土梁接触轨槽道在预埋入混凝土轨道梁内部时在槽道本体后方铆接 3 根 59mm 长锚杆同步预埋，用于防止接触轨槽道脱落；连接螺栓具备防松功能。

2.3.1.2 维保建议

半月检：登车巡视、远离步行巡视、轨行区步行巡视对绝缘支撑绝缘帽进行检查。

年检：接触轨绝缘支撑力矩复核。确保支撑力矩满足标准要求（106N.m），防止接触轨绝缘支撑连接螺栓出现松脱、坠落。

2.3.2 接触轨中间接头

中间接头主要由接头螺栓、接头本体组成；连接螺栓在长期失检或者轨道梁震动的情况下，中间接头 M10 连接螺栓力矩发生衰减，可能会发生松脱现象；接头本体在发生烧伤故障时连接螺栓可能融化，在轨道梁震动和列车通过的情况下，中间接头本体外夹板出现松脱甚至坠落。

2.3.2.1 技术措施

接触轨中间接头 M10 连接螺栓的紧固力矩不低于 50N.m，连接螺栓应采用双叠锁紧防松垫片进行紧固。宜利用红色油漆笔在满足力矩复核要求的中间接头连接螺栓与中间接头本体之间画防松短线标记。

2.3.2.2 维保建议

半月检：通过登车巡视、远距离步行巡视、轨行区步行巡视等方式对中间接头设备进行检查。

年检：对中间接头连接螺栓的紧固力矩进行复核。

2.3.3 35kV 环网电缆（含控制、差动缆）

环网电缆长时间使用后，可能会出现老化、磨损等情况，导致电缆固定部件松动（如电缆固定抱箍在电缆长时间热胀冷缩下固定螺栓蹦脱、电缆固定扎带老化崩断），导致电缆固定部件松脱、坠落，另外恶劣天气、维护不当，施工人员暴力踩踏等，都会增加电缆脱落风险。

2.3.3.1 技术措施

扎带和电缆抱箍选择高质量材料，提高电缆的抗风、抗腐蚀能力。

2.3.3.2 维保建议

定期开展巡视检查，常态化巡查周期不宜超过 3 个月；小修周期 6 个月；大修周期 12 个月。若受到恶劣天气影响或设备有异常情况发生，视情况开展专项维保检查。

接触轨、变电系统除以上主要高空坠物风险外，以下设备也应予以关注，如表 3。

2.4 通信、信号系统

2.4.1 信号机机构、立杆、三角架、终端盒

列车通行时产生的震动、风压带动信号机机构、立杆的摆动，可能会导致区间信号机机构、立杆、三角架、终

表 3 接触轨、变电系统风险清单

专业	设备部件	风险情形
变电	接触轨避雷器	强风、暴风雨等恶劣天气条件下，避雷器箱固定部件容易受到风力影响而松脱或坠落。
变电	外电源线路杆塔（绝缘子瓷瓶）	外电源线路杆塔长时间在外部暴露下，受天气等因素影响，可能会出现绝缘子串老化、磨损等情况，可能导致固定部件松动绝缘子串与杆塔固定部件碰撞造成绝缘子串破损，造成坠落。
接触轨	接触轨膨胀接头	接触轨膨胀接头本体 M12 连接螺栓在长期失检或者轨道梁震动及车辆通过的情况下，M12 连接螺栓力矩发生衰减，可能会发生松脱、坠落现象。
接触轨	接触轨中心锚结	接触轨中心锚结在长期失检或者轨道梁震动及车辆通过的情况下，中心锚结的 M10 连接螺栓可能会发生松动现象，造成中心锚结松脱移位。
接触轨	接触轨分段绝缘器	接触轨分段绝缘器在长期失检或者轨道梁震动及车辆通过的情况下，分段绝缘器的 M10 连接螺栓可能会发生松动现象，造成分段绝缘器松脱。
接触轨	接触轨电缆连接板	接触轨电缆连接板在长期失检或者轨道梁震动及车辆通过的情况下，M10 连接螺栓可能会发生松动现象，造成电缆连接板松脱。
接触轨	接触轨上网电缆托架	检修通道状态不良发生晃动，可能会导致卡扣螺栓松动卡扣与检修通道固定松脱，进而导致上网电缆托架发生坠落。

端盒的紧固件螺丝逐渐松动，出现信号机机构、立杆、三角架、终端盒松脱、坠落的情况。

2.4.1.1 技术措施

信号机机构、立杆、三角架、终端盒紧固件应当采用双螺母紧固方式进行加固。

2.4.1.2 维保建议

月检：以外观检查为主，主要为信号机外观正常、无倾斜；铭牌清晰、正确、无污物。

年检：在月检内容基础上，检查各紧固件紧固完好，无滑丝、磨损、锈蚀等现象。

2.4.2 区间 AP 天线、立杆及设备箱

列车通行时产生的震动，以及维保人员在轨行区通行或者作业时产生的震动，可能会导致区间 AP 天线、立杆的紧固件以及设备箱的紧固件螺丝逐渐松动，出现 AP 天线、立杆、设备箱松脱、坠落的情况。

2.4.2.1 技术措施

区间 AP 天线、立杆及设备箱紧固件采用双螺母紧固方式进行加固。

2.4.2.2 维保建议

月检：以外观检查为主，主要为天线、立柱、设备箱外观正常、无倾斜。

年检：在月检内容基础上，检查立杆安装牢固、无松

动、摇晃；天线安装牢固，无松动，天线倾角正常；设备紧固件无锈蚀；设备箱安装牢固，无松动；设备箱锁芯旋转无卡顿，箱门开关灵活无卡顿；箱体防水密闭良好，无锈蚀。

通信、信号系统除以上主要高空坠物风险外，以下设备也应予以关注，如表 4。

3 管控建议

3.1 优化设计，实现设备本质安全。

鉴于跨座式单轨系统各设备设施悬于行人头顶，各设备设施在设计时应有别于地铁设备，除考虑其应有功能外，应将防松、防脱、防坠作为重要考虑因素，力争在设计阶段控制甚至消除该风险。

3.2 加强建设质量跟踪，提高设备交付质量

通过国内外发生的跨座式高空坠物案例看，泰国曼谷、安徽芜湖发生频次较高，而建设更早、线路更长的重庆跨座式单轨系统发生的频次较低。

重庆跨座式单轨系统采用日本单轨技术，轨道梁、道岔、车辆等核心技术均在日本运用成熟，尽管后续开展了大量的国产化改造，但整个工程质量较为可靠；泰国曼谷、安徽芜湖单轨系统利用后发优势，设计、建设为无人驾驶跨座式单轨系统，尽管制式先进，但设备质量、可靠度未得到充分认证。指形板不平整、内部空鼓，车辆水平轮易晃动等问题不断出现。

表 4 通信、信号系统风险清单

专业	设备部件	风险情形
信号	信标及 c 型固定部件	紧固件螺丝因震动、生锈等原因松动，出现信标及 c 型固定部件松脱、坠落的情况。
信号	LTE 顶部天线、U 型固定螺栓、RRU、光电配电箱	紧固件螺丝生锈、震动等原因导致螺丝的摩擦系数降低、紧固力减弱，可能出现螺丝松动，从而导致 LTE 顶部天线、U 型固定螺栓、RRU、光电分线箱松脱、坠落。
信号	信标读取器	列车通行时产生的震动，可能会导致信标读取器的紧固件螺丝逐渐松动，出现信标读取器松脱、坠落的情况。
通信	扬声器、噪声感应器	紧固件螺丝因震动、生锈等原因松动，出现扬声器、噪声感应器松脱、坠落的情况。
通信	PIS 屏	紧固件螺丝因震动、生锈导致螺丝的摩擦系数降低、紧固力减弱，可能出现螺丝松动，从而导致 PIS 屏松脱、坠落。

笔者认为,运营单位提前介入工程建设,加强工程、设备设施质量跟踪,避免工程先天缺陷、带病开通运营,对预防高空坠物事故可起到事半功倍的效果。

3.3 全面辨识,分级管控

对于跨座式单轨系统来说,高空坠物风险涉及多个专业,众多设备设施,想做好风险防控,且不可“胡子眉毛一把抓”,运营单位应针对该风险组织全专业开展专项风险辨识,并对风险等级进行科学评价,对构成重大风险等级的风险情形,纳入公司级管控,制定专项管控方案及应急处置预案,通过组织培训、落实管控、开展演练、定期评估、技术改造等方式有效管控风险,对于未达到重大风险等级的风险情形,按其风险等级由部门或班组落实管控,通过公司上下齐抓共管,保障运营安全。

3.4 加强技防建设,发挥技术防范作用

加强各类监测和检测技术的应用。面对设备设施的不稳定状态,可通过信息化手段,开展关键设备、设施的常态化监测,避免风险转化隐患,隐患引发事故。如在列车上安装轴温监测设备,及时发现轮轴异常;安装接触网动态监测系统对靴轨技术性能进行测评;安装噪音、震动收集、分析系统,及时发现轨道梁、指行板异常;安装结

构健康检测系统对桥梁的结构性能和运营性能进行实时监测等,充分开展数字化、智能化建设,为高空坠物风险有效管控提供有力支持。

4 结束语

跨座式单轨系统因其固有特点,高空坠物风险很难消除且安全威胁较大。笔者认为,要做到该制式高空坠物的有效管控,保障运营安全,助推跨座式单轨系统在全球推广,优化防坠设计是根本、工程质量是关键,运营管控是保障。只有开展跨座式单轨系统全生命周期的高空坠物风险管控,方能保障安全运营。

[参考文献]

- [1]崔凯.浅论城市轨道交通跨座式单轨车辆制式[J].城市建设理论研究:电子版,2016(9):3409.
 - [2]李兰鹏.跨座式单轨全自动线路安全风险防控与应急管理[J].中国安全生产科学技术,2020,16(1):69-72.
 - [3]薄纯玉.2014跨座式单轨交通系统应用与发展现场研讨会在渝召开[J].城市轨道交通,2014(4):2.
- 作者简介:江国前(1987.3—),男,河南省开封人,汉族,本科学历,工程师、国家注册安全工程师,就职于中车智能交通运营管理有限公司,从事轨道交通运营管理工作。