

直流 1500V 接触轨系统的安全防护

于松伟 周菁 韩连祥 张维 王凯建

(北京城建设计研究总院有限责任公司 北京 100037)

摘要 论述直流 1500V 接触轨系统的安全性,包括系统安全、设备安全、人身安全。通过故障模式后果分析法,对 1500V 接触轨系统的可靠性进行分析。在对国内外相关规范要求分析的基础上,认为不管是直接接触防护还是间接接触防护,对于人身安全防护标准而言,直流 1500V 接触轨系统与直流 750V 接触轨系统是一致的。同时,就涉及 1500V 接触轨设备自身安全的绝缘距离和爬电距离提出技术要求。阐述直流 1500V 接触轨系统的安全防护策略,并相应采取一系列安全防护措施。

关键词 城市轨道交通 直流 1500V 接触轨 安全防护

中图分类号 U223;U231⁺.8 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2010)01-0005-06

直流 750V 接触轨系统,在国内外城市轨道交通中应用广泛,不但其设计运营经验丰富,而且其安全防护问题也为业内所熟知。直流 1500V 接触轨系统,虽然自上世纪 20 年代西班牙巴塞罗那地铁 1 号线就采用过,而且广州地铁 4 号线在国内也首次采用并已安全运营 4 年,但其安全防护问题仍然是行业关注的热点之一。

1 接触轨系统的安全性

接触轨,又称第三轨或简称三轨。接触轨系统是沿线路敷设在走行轨一侧专为电动车辆授给电能的系统。接触轨系统由两部分组成:一是正极供电网,二是负极回流网。供电网由导电轨、弯头、连接板、膨胀接头、绝缘支架或绝缘子、支架底座、绝缘防护罩、中心锚结、隔离开关、电缆等组成,回流网由回流轨、有关电气设备、电缆等组成。接触轨系统的安全性包括系统安全、人身安全、设备安全 3 个方面。

1.1 系统安全

接触轨作为给电动车辆提供电能的无备用供电设

备,其持续供电能力及其高可靠性是最大的系统安全。接触轨的系统安全性,是指接触轨运用过程中的安全程度,它关系着乘客安全、运营人员安全、行车安全、设备安全等多个方面。接触轨系统安全性分析,一般包括系统构成、悬挂方式、构造设计、材料选择等。

1.2 人身安全

接触轨系统的人身安全涉及 3 种人员:一是工作人员,二是乘客,三是非法闯入人员。工作人员又包括车辆与接触轨的维修维护人员和其他运营人员,乘客包括站台候车人员和列车在隧道阻塞(或发生火灾)时紧急疏散的人员,非法闯入人员则是指那些强行跳下站台(或进入隧道)和翻越(或穿越)围墙、围栏而侵入地面线路(或车辆段)的人员。1500V 接触轨系统应在基本防护的基础上,针对不同区域再采取不同的安全防护措施。

1.3 设备安全

接触轨的设备安全性,包括正常运行时设备应安全可靠地工作,以及故障(如短路、雷击)发生时设备应受到保护、不被损坏。设备安全涉及导电轨、弯头、连接板、膨胀接头、绝缘支架或绝缘子、支架底座、绝缘防护罩、中心锚结、隔离开关、电缆等设备,接触轨系统本身的设备安全涉及绝缘距离和爬电距离。

2 接触轨安全防护的理论分析

2.1 系统安全性分析

RAMS 是可靠性(reliability)、可用性(availability)、可维护性(maintainability)和安全性(safety)的简称,其概念起源于 20 世纪 70 年代,并于 20 世纪 80 年代应用于轨道交通行业。1999 年,英国标准协会(BSI)颁布了 EN 50126《轨道交通应用——可靠性、可用性、可维护性、安全性的规范和验证》,在铁路和城市轨道交通行业得到了广泛的应用。其中:可靠性,系统在给定条件下,在给定时间间隔内能执行所要求功能的可能性;可用性,在外界条件满足的情况下,在给定的时间或时

收稿日期: 2010-01-06

作者简介: 于松伟,副总工程师,教授级高级工程师,注册电气工程师,从事城市轨道交通供电系统设计、研究、咨询工作 23 年, yusw@buedri.com

间间隔内,处于某种状态的系统在给定条件下执行所要求功能的能力;可维护性,在规定条件下,使用规定的程序和资源进行维修时,在给定时间内对给定使用状态下的零件可进行给定有效维护的可能性;安全性,无不可接受的损伤风险。

前面介绍过,接触轨系统的持续供电能力(即其高可靠性)是最大的系统安全,下面基于 RAMS 概念,着重对接触轨系统的可靠性进行分析。

2.1.1 可靠性分析模型

直流 1500V 接触轨系统由导电轨、绝缘支架、支架底座、防护罩、膨胀接头、中心锚结、弯头等部件组成,钢铝复合轨是直流 1500V 接触轨系统的主要部件。当导电轨、膨胀接头、弯头、中心锚结、绝缘支架之中的任一部件出现故障时,都会导致接触轨系统故障退出运行。

采用以元件组合关系为基础的故障模式后果分析法,对直流 1500V 接触轨系统的可靠性进行分析。所谓故障模式后果分析法,就是利用元件可靠性数据,在计算系统故障指标之前先选定某些合适的故障判据,然后根据判据将系统状态分为完好和故障两大类。

直流 1500V 接触轨系统可靠性是在组成接触轨系统的元件可靠性的指标已知和可靠性准则给定的条件下,按照可靠性准则来评估整个系统。

直流 1500V 接触轨系统的零部件状态有 3 种,分别为正常工作状态(N)、故障退出并修复状态(R)、计划检修状态(M)。因接触轨系统设备均利用夜间停运时段进行检修,不影响正常运营,因此对接触轨可靠性进行分析时采用两状态模型,即考虑直流 1500V 接触轨系统在正常工作状态和故障退出并修复状态下的可靠性。



图 1 两状态模型

2.1.2 可靠性计算公式

由直流 1500V 接触轨系统构成可知,系统内各元件均为串联模式。串联系统由两个或以上元件组成,其中一个元件故障,则认为系统故障。

可靠性计算的常用公式如下:

$$\text{等效故障率 } \lambda_s = \sum_i \lambda_i$$

$$\text{等效修复时间 } \tau = \frac{u_s}{\lambda_s} = \frac{\sum_i \lambda_i \tau_i}{\sum_i \lambda_i}$$

$$\text{等效年停运时间 } u_s = \sum_i \lambda_i \tau_i$$

式中: λ_i 是指第 i 个元件的故障率,次/年; τ_i 是指第 i 个元件的修复时间, h; λ_s 是指系统的等效故障率,次/年; τ 是指系统的等效修复时间, h 次; u_s 是指系统的等效年停运时间, h 年。

2.1.3 可靠性指标

在进行可靠性分析计算时,假设元件的故障是独立的,元件的连续工作时间、修复时间均服从指数分布;系统为可修复系统,不计接触轨上级牵引变电所的故障率。根据国内外接触轨系统运行的统计数据,接触轨各元件的可靠性指标见表 1。

表 1 各元件的可靠性指标

元件名称	故障率 / (次/年)	平均修复时间 / (h 次)
钢铝复合轨	0.000 01	3
膨胀接头	0.000 022	4
锚结	0.000 022	3
弯头	0.000 02	3
绝缘支架	0.000 005	2
支架底座	0.000 002 5	3

2.1.4 可靠性计算

可靠性指标为系统平均故障率指标(SAFI)、系统平均故障持续时间指标(SAFDI)和系统平均故障持续时间指标(SAFDI)。

系统平均故障率指标(SAFI),指系统在单位时间(1年)内的平均故障次数;系统平均故障持续时间指标(SAFDI),指系统在单位时间(1年)内的平均故障持续时间(h);系统平均可用率指标(ASAI),指一年中系统正常运行的小时总数与要求的预期正常运行小时数之比。直流 1500V 接触轨系统的可靠性指标见表 2。

表 2 直流 1500V 接触轨系统的可靠性指标

SAFI/(次/年)	SADI/(h/年)	ASAI/%
0.001 99	0.005 9	99.999 925

另外,深圳地铁 3 号线工程曾对牵引供电系统的 4 种授流方式进行了风险因素评估,在“系统安全度”风险因子方面其初步意见为:直流 750V 接触轨系统与直流 1500V 接触轨系统均为 0,而直流 1500V 架空接触网系统则为 16%。

从上述分析和计算结果来看,直流 1500V 接触轨系统的可用率、年平均故障持续时间、可用性和可维护性均很高,是安全可靠的系统。

2.2 人身安全性分析

2.2.1 电流通过人体的效应

当人体同时接触不同电位的导体时,将有电流通过人体。电流的大小和持续时间不同,对人体有不同效应。并非所有电流都对人体无益,如某些医疗设

备就是通过微小电流实现诊断和治疗。

直流电流通过人体有几个效应阈值,如感知阈、反应阈、心室纤维性颤动阈等。心室纤维性颤动是电击引起死亡的主要原因。

当电击时间大于心搏周期时,直流电流的心室纤维性颤动阈比交流电流高得多。对于直流电击,只有在纵向电流时,才有心室纤维性颤动的危险;而横向电流时(如从手到手),不大可能发生心室纤维性颤动。

通过人体的电流因施加于人体阻抗上的接触电压而产生,由于计算人体电流比较困难,计算接触电压比较方便,所以国际上多以接触电压来分析人身安全防护问题。

2.2.2 直流牵引电压

世界上城市轨道交通中的直流牵引电压等级繁多,如 570、600、625、650、700、750、780、825、900、1 000、1 100、1 200、1 500、3 000 V 等,上述直流电压对于人身来讲,都不是安全的。

2.2.3 人身安全防护

人身安全防护分为直接接触防护和间接接触防护。直接接触防护是指防止人或动物直接接触带电部分而采取的措施,间接接触防护是指人或动物接触在故障情况下带电的外露可导电部分而采取的措施。

在所有情况下,当直流电压不大于 15V 时,不需要采取直接接触防护措施。在干燥情况下,当直流电压不超过 60V 时,一般情况下也不需要直接接触防护。

轨道交通工程的直接接触防护采用符合一定要求的遮护物(遮拦、外护物、防护罩)来防止人身靠近车辆及接触轨等带电体,如车站站台的屏蔽门(安全门)、车辆基地场区的护栏以及接触轨的防护罩。

接触轨系统的间接接触防护,是针对故障情况下回流轨对地的危险电压和上网直流开关柜体的危险接触电压而进行的防护。

兼作回流轨的走行轨为非直接接地,通过钢轨电位限制装置与地连接;其他所有外露与地不绝缘的导电部分应与大地连接(接地),并通过过电压限制器与走行轨连接。

接地的目的是减小故障状态下人体接触外露可导电部分而产生的电位差。走行轨通过钢轨电位限制装置与地连接,当走行轨电位超过某规定值时,通过此装置与地导通,降低走行轨电位;其他设备通过过电压限制器与走行轨连接。在正常情况下,外露可导电部分与走行轨绝缘,限制杂散电流的泄漏;在故障情况下,与走行轨连接而使直流馈线开关跳闸切除故障,限制接触电压及持续时间。

2.2.4 人身安全防护的规范规定

我国城市轨道交通的标准体系尚不健全,正在积极完善之中。目前,城轨工程涉及国家标准不明确的相关内容多按照国际标准(IEC标准)或欧洲标准(EN标准)执行。

在现行国标体系中,关于低压配电系统的人身安全防护问题主要体现在国家标准 GB/T 16895 系列《建筑物电气装置》和 GB 50054—95《低压配电设计规范》,但前者明确说明本标准不适用于电力牵引设备,而后者也只适用于交流低压配电系统的设计。因此,国际标准 IEC 62128-1—2003 Railway applications Fixed installations Part 1: Protective provisions relating to electrical safety and earthing 成为我国城轨电气安全设计的重要依据。目前,全国牵引电气设备与系统标准化技术委员会正在编制《轨道交通 固定设备 第 1 部分:电气安全和接地相关的保护性措施》,并已进入送审稿阶段,该规范的编制等同采用了上述 IEC 62128-1—2003 标准。

在 IEC 62128-1—2003 第 4 节 Protective provisions against electric shock in installations for nominal voltages up to and including 1 kV a.c./1.5 kV d.c. 中,就对直接接触防护和间接接触防护提出了相关要求。从第 4 节的标题内容可以看出,对于国家标准 GB 50157—2003《地铁设计规范》规定的直流 750V 与直流 1500V 两个标准电压级来讲,其防护内容及要求是相同的。

在触电防护要求中,交流 1000V 和直流 1500V 及以下电压等级应从直接接触防护和间接接触防护两方面考虑。对于直接接触防护,IEC 62128-1—2003 第 4.1 节中将人员所在区域划分为公共区域和限制区域,防护措施分为距离防护和遮护物防护。

公共区域(public area)是指进出不受严格限制的场所,如车站站台。限制区域(restricted area)是指城轨运营部门负责的区域,须得到相关责任人的许可才能进出,如车辆基地、正线区间。

在公共区域,当站台设有接触轨的情况下,如果车辆与站台之间只有很小的空隙,应设置整体遮护物;如果空隙较大,应增加防止直接靠近的措施。接触轨应尽可能布置在线路远离站台的一侧。

在限制区域,当车辆受流器没有明显超出车辆边界,不需设置遮护物。在车辆基地,内部操作通道应清晰区分。对于下部和侧部授流方式的接触轨,只要求与车辆受流器不接触的表面采用防护板进行防护。

对于上部授流接触轨,无论公共区域和限制区域还有其他方面的要求。

对于间接接触防护, IEC 62128-1-2003第4.2.4条规定:在封闭操作区内,安装或固定在绝缘子上的设备外露可导电部分不需采取任何防护措施;在封闭操作区以外,对于带电情况下一般不允许接近的设备也可不考虑防护措施。对这些外露可导电部分,应设“破折箭头”(broken arrow)的警示标志。如果在接近设备前,在不影响正常运行的条件下切断了电源,则可不设警示标志。

因此,城轨间接接触防护不涉及人身触及接触轨等带电体本身,而是指触及及正常情况不带电或处于安全电位、故障情况下可能带电或超过安全电位的外露可导电部分,如电气设备金属外壳或回流轨等,在此不再描述。

2.3 设备安全性分析

运营实践表明,对于直流1500V接触轨系统,导电轨选择合适的截面可以满足列车取流要求,中心锚结和膨胀接头可以满足环境温度变化的伸缩要求,防护罩可以满足给定机械强度和电气绝缘距离要求,绝缘支架可以满足给定污秽条件与绝缘电压条件下的爬电距离要求以及短路电动力要求,弯头可以满足给定列车通过速度的要求。因此,直流1500V接触轨系统能够满足牵引供电系统在各种正常运行模式和故障运行模式下电动车辆平稳可靠取流的功能要求。

这里,再对直流1500V接触轨系统的绝缘距离和爬电距离进行进一步分析。在这个问题上,电压等级的不同将产生具体要求的不同。根据欧洲标准 EN 50124-1:2001 Railway applications-Insulation coordination-Part 1: Basic requirements-Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment中的相关规定,不同的电压等级,有不同的绝缘距离和爬电距离。

电压等级不同将影响绝缘电压的不同。标称电压为直流750V和直流1500V的额定绝缘电压 U_{NM} (rated insulation voltage)分别为直流900V和直流1800V。

根据额定绝缘电压和考虑的过电压种类,可以确定额定冲击电压 U_{NI} (rated impulse voltage),根据接触轨系统的设置情况,过电压种类按照OV4考虑。对于直流750V接触轨系统,额定冲击电压为12kV;对于直流1500V接触轨系统,额定冲击电压为18kV。

由于接触轨系统设备安装于户外,属于重度污染区域,且会受到雨、雪、冰、雾的侵袭,污秽等级按照PD4B考虑。对于直流750V接触轨系统,空气中的绝缘距离不小于30mm;对于直流1500V接触轨系统,空气中的绝缘距离不小于43mm。

爬电距离应不小于绝缘距离,对于 $175 \leq CTI < 400$

的绝缘材料,在污秽等级为PD4B的情况下,针对额定绝缘电压,爬电距离不小于50mm/kV。因此,对于直流750V接触轨系统,爬电距离不小于45mm;对于直流1500V接触轨系统,爬电距离不小于90mm。

3 直流1500V接触轨系统的工程实践

直流1000V以上及1500V接触轨系统的安全防护问题,在工程实践中也得到了验证。

1) 直流1500V接触轨系统,不是最近才出现,迄今已有80余年历史。

2) 直流1000V以上的接触轨系统,目前旧金山,汉堡等城市均有运营线路。

3) 西班牙巴塞罗那直流1500V及1200V接触轨被统一改造成架空接触网,是网络化运营的需要,并不是因为直流1000V以上接触轨系统不安全。

4) 广州地铁在国内首次采用了直流1500V接触轨系统,并已安全可靠地运行了4年。

5) 深圳地铁3号线全线(包括车辆段)采用了直流1500V接触轨系统,即将投入运营。

6) 重庆轨道交通较新线,采用直流1500V牵引供电系统,其导电轨已安全可靠地运行5年。

总之,目前我国在直流750V接触轨系统丰富的建设运营经验的基础上,已就直流1500V接触轨系统总结出了一整套的建设管理经验与运营维护措施。

4 接触轨安全防护措施及其改进

接触轨安全防护措施源于其安全防护策略。对于直流1500V接触轨系统,应讲究以下3个策略,即持续安全的策略、构造保障的策略、软硬兼施的策略。

什么是安全?一般的看法就是不出事。国际民航组织有个比较科学的定义,安全是一种状态,即通过持续的危险识别和风险管理过程,将人员伤亡或财产损失的风险降至并保持在可接受的水平或其以下。这就是持续安全的策略。

接触轨系统的悬挂方式,由两侧面防护的上部接触方式发展到了具有三侧面防护的下部接触方式,另外还有防护罩外侧边的加长、滑触线的采用等。所有这些构造的改变和优化,为直流1500V接触轨系统提供了更加安全的保障。这就是构造保障的策略。

既要重视硬件(设施)的增置及改进,又要重视软件(管理)的贯彻落实。这就是软硬兼施的策略。

基于以上安全防护策略,下面提出相应的安全防护措施及其改进建议。

4.1 构造改进

IEC 62128-1 规定：“对于下部授流接触轨系统，与受流器不接触的面应以防护板加以保护。”目前，下部授流系统的防护罩可对接触轨 3 个非接触面形成防护（见图 2~图 3）。这两种防护罩都有一个共同的特点，即设计初衷为确保受流器与接触轨的限界配合关系，考虑到钢带的磨耗量及设计裕量，防护罩的防护范围并不覆盖接触轨的钢带部分。现场调研发现，这在列车检库内尚存在一定的安全隐患。

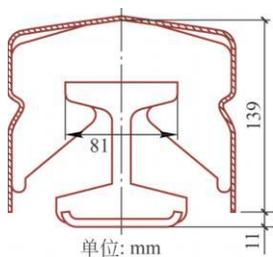


图 2 中间掐腰形防护罩

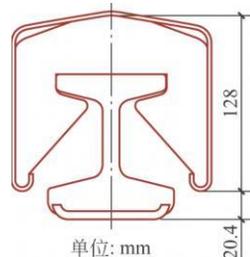


图 3 底部带钩形防护罩

对此，为确保维修人员不触碰钢带，可将防护罩的外侧（即远离检修车辆中心线的一侧）向下加长（见图 4），即可将接触轨及其钢带全部防护。该种防护罩专门用于列车检库内，既进一步加大了防护罩对接触轨的防护范围，又不会影响检修车辆的正常作业。

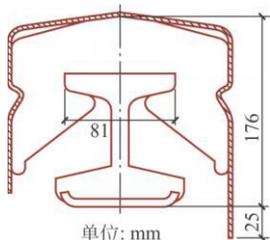


图 4 防护罩一侧加长

4.2 紧急断电

当列车在隧道内发生火灾需要就地紧急疏散时，为保证乘客在第一时间快速疏散，应在车站及区间的适当位置设置紧急停电按钮，以快速切断相关接触轨电源。国内目前一般作法是只在车站综控室的 IBP 盘上设置紧急停电按钮，这样其紧急停电权限仅局限于综控室管理人员。国外的通常作法是在车站站台及隧道内同时设置接触轨紧急停电按钮（见图 5）。

目前，我国新建车站一般安装有安全门（屏蔽门），乘客根本触碰不到接触轨，不存在触电隐患，因而在车站站台不需要设置接触轨紧急停电按钮。但是，在隧道内可以考虑增设接触轨紧急停电按钮，在通



图 5 车站紧急停电按钮

信系统故障的紧急情况下，当需要就地疏散乘客时，列车司机可以就近迅速切断接触轨电源，确保乘客在第一时间内紧急疏散，以免一味地等待调度操作而延误救援时机。

4.3 分区隔离

车辆基地场区内有很多股道，而接触轨就布置在股道旁，场区内的运营维护人员较多，其维护检修安全尤为重要。

如前所述，对于接触轨带电体，其防护罩为绝缘材料，不存在间接接触防护问题（当然，对于兼作回流轨的走行轨以及隔离开关柜的外壳，还是存在间接接触防护问题）。对于直接接触防护，则以直线接触防护进行考核。直线接触，即人在站立平面上不使用物体就可以接触到带电部分。因此，对于架空接触网有高度要求，对于接触轨系统则要求设置屏障。下部授流接触轨被防护罩从 3 个侧面进行防护，通常接触轨不会被直线接触。

但为了尽量缩小场区检修停电范围，可将场区供电分区再进行细分，并通过手动隔离开关柜进行分区供电。各供电分区间应设置分段式电分段，且分区间应做到在无电区检修时，不会由于车辆而将有电区与无电区进行电气联通。

除此以外，在车辆段不同供电分区间还需设置防护网，以保证检修时对带电区和非带电区能够有效隔离。供电分区间防护网的设置不能侵入限界，位置如图 6 所示。防护网网孔尺寸最大为 1 200 mm²，且防护网高度最小为 1.8 m。

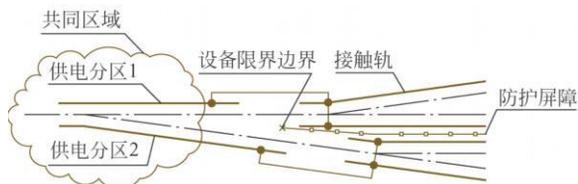


图 6 分区防护示意图

在同一工作区域中，接触轨为两侧布置，不同供电分区接触轨之间的距离已经大于 1.35 m，但考虑到检修时若相邻供电分区还在继续供电，则会在当前工作区域中走行轨上出现不同电位，因此检修此区域时应将供电分区 1、供电分区 2 同时断电。

4.4 滑触线

顾名思义，滑触线就是可以滑动接触的导线。通常由滑动小车、接触线、防护罩、软电缆和插头组成，车辆上配套设置插座。滑触线一般固定在检修库内结构梁上，位于车辆的斜上方，在人员活动范围之外，且带电体完全被包裹在绝缘的防护罩内，滑动小车可以在滑触线内

自由滑动(见图7)。当车辆进入库内时,由检修人员将滑触线的插头插到车辆的插座上,车辆缓慢开入库内,滑触线的小车跟随车辆一同移动;车辆出库时,则相反。

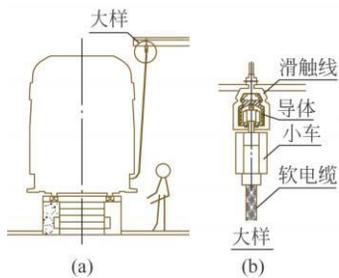


图7 滑触线安装位置

在月修库和静调库内,检修工作多、人员活动频繁。在这些库中设置滑触线,可以确保维护检修人员的人身安全,同时由于小车的可滑动性,使得检修时用电很方便。另外,滑触线带有操作控制面板,可在插拔过程中控制插头的带电状态。对于列检库线来说,如果采用滑触线,则车辆进出库线时必须插拔一次,因此在停车列检库内可仍然采用接触轨供电方式,但防护罩外侧加长。

4.5 安全警示

IEC 62128-1标准规定,警示标志应设置在可能进入接触轨带电部分的危险区域,设在邻近入口能被看到的突出位置。对带电体的警示标志,在不同的地段应采用不同的方式。在车站屏蔽门(安全门)及列车上,应标识“接触轨有电危险”;在接触轨防护罩上,每隔一段距离应喷涂“有电危险”及破折箭头带电警示标志。在车辆段内,相邻供电分区的防护罩宜采用不同的、醒目的颜色进行标识区分。为便于夜间检修识别,应设置红绿色指示灯,以标识带电分区和不带电分区,防止误入带电分区。

在列检库内,在每个停车位的侧前、后方应各设置一处安全警示灯,以提示检修人员接触轨是否带电。

4.6 管理制度

北京、天津、武汉的直流750V接触轨系统,以及广州、重庆、深圳的直流1500V接触轨系统的建设运营实践表明,解决接触轨人身安全防护问题在于重视安全管理。1500V接触轨系统的安全管理与750V接触轨

系统相比,只能强化不能弱化。安全管理的基本原则必须坚持,例如:

检修作业需得到车辆段调度管理部门的批准,并凭票作业,专人操作;检修人员需有安全着装等防护措施;检修相关的供电分区需在停电、挂牌后,检修人员才能前往现场;先由安全员进行验电,并挂地线后,其他检修人员才能进入现场;安全员负责检修地线的可靠连接,并对检修人员的活动区域进行监督,防止检修人员误入非检修区域;非接触轨系统的检修或抢修,应有其他安全防护措施。

总之,从国内采用接触轨系统的城市轨道交通的运营实践看,只要认真细致地制订、宣传、贯彻、落实、实施安全管理的各项规章制度,直流1500V接触轨系统的人身安全防护是有保障的。

5 结语

直流1500V接触轨系统与直流750V接触轨系统相比,具有太多的相同点。安全防护是接触轨系统的共性问题,并不是1500V接触轨系统所独有的,1500V接触轨系统没有带来不可解决的新问题。随着直流1500V接触轨系统建设运营经验的积累,该系统一定会日臻完善。

参考文献

- [1] 于松伟.我国地铁接触轨技术发展综述与研发建议[J].都市轨道交通,2004,17(2):6-11.
- [2] 青岛地铁一期工程供电系统投标文件[G].北京,2009.
- [3] EN 50124-2:2001铁路设施—绝缘协调:第2部分:过电压和相应的保护[S].北京,2001.
- [4] 李家祥.把安全发展作为系统工程精心谋划[J].中国民航,2009(2).
- [5] GB/T 13870.1-92电流通过人体的效应:第一部分:常用部分[S].北京:中国标准出版社,1993.
- [6] 王厚余.低压电器装置的设计安装和检验[M].北京:中国电力出版社,2003.

(编辑:郭洁)

Safety Protection for DC 1500V Conduct Rail System

Yu Songwei Zhou Qing Han Lianxiang Zhang Wei Wang Kaijian

(Beijing Urban Engineering Design and Research Institute Co. Ltd. Beijing 100037)

Abstract The safety of DC 1500V conduct rail system includes system safety, equipment safety and personnel safety. The reliability of DC 1500V conduct rail system was analysed by failure mode consequences method. Based on the analyses according to domestic and overseas codes, it was concluded that the protective standards for personnel safety are the same both for DC 1500V conduct rail system and DC 750V conduct rail system, irrespective of whether the contact protection is direct or indirect. The technical requirements on insulated distance and creep distance related to equipment safety of DC 1500V conduct rail system are put forward. Authors also expound the safety protective strategy for DC 1500V conduct rail system together with a series of protective provisions.

Key words urban rail transit; DC 1500V conduct rail; safety protection