

铁路信号设备防雷分析与研究

张典谟

国家能源集团朔黄铁路发展有限责任公司肃宁分公司 河北 肃宁 062350

摘要: 铁路信号设备作为铁路运输系统的核心部分,其稳定性和可靠性直接关系到列车运行的安全和效率。雷电作为一种自然灾害,可能会对铁路信号设备造成严重的损坏,进而影响铁路运输的正常运行。本文主要分析了铁路信号设备防雷的必要性,并提出了一系列有效的防雷措施,以提高铁路信号设备的安全性和可靠性。

关键词: 铁路信号设备; 防雷; 雷电防护; 设备安全; 运输安全

引言

铁路综合雷电防护系统是针对铁路系统可能遭受的雷电威胁而设计的一整套防护措施。该系统覆盖了铁路的通信信号系统、信息系统以及建筑物和设施等多个方面,通过多层次、多手段的防护手段,确保铁路设备在雷电环境下的安全运行。

1 雷电对铁路信号设备的主要危害

雷电对铁路信号设备的主要危害可以分为两大类:直击雷危害和感应雷危害。

1.1 直击雷危害

直击雷是雷电直接击中铁路信号设备或其附近区域,造成的危害通常较为严重。直击雷带来的高电流和高电压能够直接破坏信号设备的物理结构,如击毁设备外壳、烧毁内部电路等。这种破坏往往导致设备无法正常工作,甚至完全丧失功能。在极端情况下,直击雷可能直接导致整个铁路信号系统瘫痪,丧失所有功能 and 作用,严重影响列车的正常运行和安全。直击雷还可能引发一系列连锁反应,如通过接地系统产生反击现象,使铁路信号设备遭受反复破坏。

1.2 感应雷危害

感应雷是雷电通过电磁感应或静电感应的方式对铁路信号设备造成的间接危害。雷电形成的感应磁场会破坏铁路信号,导致信号系统无法正常运行。这种干扰可能表现为信号错误、信号丢失或信号延迟等问题,进而影响列车的调度和运行。虽然感应雷不会直接破坏信号设备的物理结构,但长期或频繁的电磁干扰也可能对设备造成累积性损伤,缩短设备的使用寿命。与直击雷相比,感应雷造成的损坏往往较为隐蔽且难以定位,因此维修工作的难度相对较高。

1.3 雷电入侵方式

雷电对铁路信号设备的危害主要通过以下三种方式入侵:

交流电入侵:雷电首先进入高压线路,高压变压器将雷电转化为低压后,对低压设备造成破坏。

轨道电路入侵:由钢轨作为雷电传输的载体,从而影响到信号系统。

电缆入侵:铁路信号设备通过电缆连接,雷电在电缆中传输并可能通过电缆进入室内设备,引发安全事故。

2 铁路信号设备防雷原则概述

2.1 分区防护

根据雷电风险等级和设备的重要性,采用分区防护的方法,设置不同级别的防雷和浪涌保护器,实现分级保护。

2.2 多级防护

在雷电防护的关键节点,如电源入口、信号传输线、设备接口等处,设置多级防护,确保雷电能量在传输过程中逐步衰减,减少对设备的损害。

2.3 均衡保护

通过等电位连接和接地系统,确保雷电能量在设备间均衡分布,避免局部电位差过大造成设备损坏。

3 铁路信号设备防雷组成

3.1 工作原理

铁路信号防雷设备的工作原理主要包括以下几个方面:

泄流:采用金属陶瓷放电管等放电器件,将可能进入电气和电子设备的雷电流大部分泄放到大地中去,以减少雷过电流对设备的损害。

限幅:利用氧化锌压敏电阻器、瞬态二极管或闸流管等固体器件,将可能进入电气和电子设备的雷电压幅值限制在被保护设备可以耐受的水平以下,防止雷过电压击穿设备。

堵塞:通过防雷变压器或低通滤波器等装置,将雷电信号隔离在设备之外,确保设备的安全运行。

3.2 安装与布局

雷害严重的站(场)或电子设备集中的区域,可在距电子设备和机房30m以外的地点安装一支或多支独立避雷针。避雷针不应设置在信号设备建筑物屋顶。避雷针接地装置应就近单独设置,距信号楼环线接地装置或防护设备边缘间距不小于15m。引入信号机械室的电力线应采用多级雷电防护,单独设置电源的防雷箱。电源防雷箱设置地点应符合防火要求,连接线应采用阻燃塑料外护套多股铜线。第Ⅰ级(电源配电盘)电源防雷箱应有故障声光报警,雷电计数和状态显示。连接线截面积不小于10mm²;第Ⅱ级设在电源屏电源引入侧,连接线截面积不小于6mm²;第Ⅲ级设在微电子设备(指计算机终端电源稳压器或UPS电源)前,连接线截面积不小于2.5mm²。室外引入信号机械室的信号线缆、通信等其他线缆应设置浪涌保护器。浪涌保护器应集中设置在室内防雷柜或分线盘(柜)上。浪涌保护器的连接线应采用阻燃塑料外护套多股铜线,截面积不小于1.5mm²,并联连接方式时长度不大于0.5m(条件不允许时可适当延长,但不得大于1.5m),大于1.5m时必须采用凯文接线法;浪涌保护器接地线长度不应大于1m。

进出信号机械室的信号电缆应进行屏蔽连接,并与机械室环形接地装置连接。设有贯通地线时,室外电缆钢带(铝护套)可采用多端接地方式,将箱、盒的干线电缆金属护套和钢带相互间顺次连接(拧、焊,并与金属材料箱盒及大地绝缘)或分别接向箱、盒接地汇集端子后连接贯通地线;未设贯通地线时,室外电缆钢带(铝护套)应采用单端接地方式,将单端接地电缆中间的箱、盒的干线电缆金属护套和钢带相互间顺次连接(拧、焊,并与金属材料箱盒及大地绝缘)或分别接向箱、盒接地汇集端子,并在区间信号机(含分割点)、车站两端等电缆始、终端处连接屏蔽地线,单端接地电缆长度不超过1000m。电气化区段或接地系统有较大干扰时,电缆长度在1000m以内时可只在机械室界面一端接地,电缆超过1000m时采用分段单端接地方式。半自动闭塞区段设置的贯通地线,室外始(终)端应设置良好的接地装置。

电源线与信号线、高频线与低频线、进线与出线必须分开敷设。室内信号传输线与设有屏蔽层的建筑物外墙平行敷设距离宜大于1m,场地条件不允许时,信号传输线路应采用屏蔽电缆或非屏蔽电缆穿钢管敷设,电缆屏蔽层或钢管应与走线架或与接地汇集线连接。

3.3 信号设备接地装置

信号设备的防雷装置应设防雷地线;信号机械室内的组合架(柜)、计算机联锁机柜、闭塞设备机柜、电

源屏、控制台,以及电气化区段的继电器箱、信号机梯子等应设安全地线;电气化区段的电缆金属护套应设屏蔽地线;安装防静电地板的机房应设防静电地线;微电子设备需要时可设置逻辑地线。地网应由建筑物四周的环形接地装置、建筑物基础钢筋构成的接地体相互连接构成。环形接地装置由水平接地体和垂直接地体组成,应环绕建筑物外墙闭合成环,受条件限制时可不完全环周敷设,应尽可能沿建筑物周围设置,以便与地网连接的各种引线就近连接。水平接地体距建筑物外墙间距不小于1m,埋深不小于0.7m。环形接地装置必须与建筑物四角的主钢筋焊接,并应在地下每隔5~10m与机房建筑物基础接地网连接。在避雷带引下线处应设垂直接地体,垂直接地体必须与水平接地体可靠焊接;接地电阻不满足要求时,可增设垂直接地体,其间距不宜小于其长度的2倍并均匀布置。垂直接地体可采用石墨接地体、铜包钢、铜材、热镀锌钢材(钢管、圆钢、角钢、扁钢)或其他新型接地材料,电气化区段应采用石墨接地体。环形接地装置的标志应清晰明了,应在地面上竖立标桩或在墙面上设置铭牌。

电气化区段、繁忙干线、铁路枢纽、编组场、强雷区和埋设地线困难地区及微电子设备集中的区段,应设置贯通地线。贯通地线应采用截面积不小于铜当量35mm²、耐腐蚀并符合环保要求的材料;外护套应具有耐腐蚀性能的金属或合金材料。与信号电缆同沟埋设于电缆(槽)下方土壤中,距电缆(槽)底部不少于300mm。隧道、桥梁应两侧敷设;上下行线路分线时,应分别敷设。引接线(贯通地线与设备接地端子的连接线)采用25mm²的多股裸铜线焊接或压接,焊接时焊接长度不小于100mm,并用热熔热缩带防护150mm。贯通地线任一点的接地电阻不得大于1Ω。贯通地线在信号机房建筑物一侧,采用50mm²裸铜线与环形接地装置连接,信号楼两端各连接两次。设置贯通地线的区段,室外信号设备的各种接地线均应与就近的贯通地线连接。

控制台室、继电器室、防雷分线室(或分线盘)、计算机室和电源室(电源引入处)应设置接地汇集线。接地汇集线应采用大于宽30mm厚3mm的紫铜排,环形设置时不得构成闭合回路。铜排相互连接应采用3个铜螺栓双螺帽进行固定,接触部分长度不少于60mm。

接地汇集线之间的连接线应与墙体及屏蔽层绝缘。引入信号机械室的各条线缆的屏蔽护套应与接地汇集线可靠连接。电源室电源防雷箱处、防雷分线室(或分线盘)处的接地汇集线应单独设置,与环形接地装置单点冗余连接。其余接地汇集线可采用2根截面积不小于

25mm²有绝缘外护套的多股铜线或紫铜排相互连接后,再与环形接地装置单点冗余连接。室内走线架、组合架、电源屏、控制台、机架、机柜等所有室内设备必须与墙体绝缘,其安全地线、防雷地线、屏蔽地线等必须以最短距离就近分别与接地汇集线连接。走线架应连接良好,不得构成环形闭合回路,已构成闭合回路应加装纯缘。室内同一排的金属机架、柜之间采用截面积大于10mm²多股铜线连接后,再用2根不小于25mm²有绝缘外护套的多股铜线或紫铜排与接地汇集线连接。接地汇集线与环形接地装置的连接线,应采用2根不小于25mm²的有纯缘护套多股铜线单点冗余连接。电源室电源防雷箱处(电源引入处)接地汇集线、分线盘处接地汇集线、其余接地汇集线在环形接地装置上的连接点相互间距不应小于5m。无线天线的接地装置应单独设置,并距环形接地装置15m以上,特殊情况下不应小于5m;确因条件限制,间距达不到要求时,与接地汇集线在环形接地装置上的连接点之间的间距不小于5m;无线天线设在屋顶的,其接地线可与避雷网焊接。建筑物内所有不带电的自来水管、暖气管道等金属物体,都必须与环形接地装置(或与建筑物钢筋、计算机室屏蔽层)做等电位连接。接地导线上严禁设置开关、熔断器或断路器;严禁用钢轨代替地线。

3.4 防雷元器件

铁路信号设备雷电防护浪涌保护器(SPD),按保护特性分为电压限制型、电压开关型和组合型。电压限制型SPD的常见器件有压敏电阻、钳位二极管、瞬态二极管等;电压开关型SPD通常采用放电间隙、气体放电管、晶闸管(可控硅整流器)和三端双向可控硅等元件;组合型SPD由电压开关型器件和限压型器件组合而成。

铁路信号浪涌保护器(经CRCC认证)的技术指标应符合(1)电压开关型器件和限压型器件组合而成的组合型SPD标称导通电压的容许偏差为 $\pm 20\%$ 。将放电管和压敏电阻分开测试时,放电管(GDT)直流放电电压容许偏差 $\pm 20\%$,压敏电阻的压敏电压容许偏差 $\pm 10\%$ 。

(2)纯压敏电阻SPD的标称导通电压(压敏电阻的压敏电压)容许偏差为 $\pm 10\%$ 。(3)模拟和数字信号用SPD的标称导通电压,应符合制造商标出的值,容许偏差为 $\pm 10\%$ 。

3.5 ZPW-2000自动闭塞电磁脉冲防护与接地

ZPW-2000室外箱盒及信号机等所有相关的金属设备外壳的安全地线、防雷地线及屏蔽地线应用25mm²铜缆与贯通地线可靠连接。也可将各地线用7mm²铜缆环接后接

到方向盒地线端子,然后用25mm²铜缆连接到贯通地线上,未设置贯通地线的接地应用25mm²铜缆与接地体可靠链接,ZPW-2000横向与贯通地线连接应满足下列要求:地线与贯通地线进行T形压接或采用焊接,并与贯通地线同深埋设。完全横向连接处,由构成完全横向连接的扼流或空芯线圈中点接至贯通地线,空芯线圈或扼流中心点与贯通地线用25mm²铜缆连接,横向连接的中心点之间用70mm²铜线连接。在有空芯线圈的简单横向连接处,将空芯线圈中心点与防雷单元用10mm²铜缆连接,防雷单元与贯通地线应用25mm²铜缆连接,横向连接的空芯线圈或扼流中心点之间应用70mm²铜线连接,没有做横向连接的空芯线圈,中心点用10mm²铜缆与防雷单元连接,防雷单元与贯通地线连接用25mm²铜缆。

3.6 定期检查和维护

防雷系统的有效性和可靠性离不开定期的检查和维护。这不仅是确保系统在雷电来袭时能够有效保护设施和人员安全的重要手段,更是延长系统使用寿命、降低事故发生概率的关键措施。

通过定期检查,可以及时发现和排除潜在的隐患。例如,接地系统的电阻值是防雷系统能否有效发挥作用的关键指标之一。如果接地电阻值超出标准范围,防雷系统在雷电来临时将无法有效将雷电流导入地下,可能导致设备损坏甚至人员伤亡。因此,定期测量接地电阻值,确保其在标准范围内,是维护工作的重中之重。

在管理方面,制定防雷设施生命周期管理计划(更换周期:SPD5-8年,接地网10-15年),并加强人员培训(防雷知识、应急处理),同时与气象部门联动,实现主动防护。

4 结论

综上所述,雷电对铁路信号设备的影响是不可忽视的,通过建立完善的防雷接地系统、安装避雷器、采用屏蔽措施以及定期检查维护,可以有效地提高铁路信号设备的防雷能力,确保铁路运输的安全和稳定运行。未来应进一步加强防雷技术的研究和应用,不断提升铁路信号设备的防护水平,为铁路运输的安全运行保驾护航。

参考文献

- [1]许锦江.铁路信号设备的防雷与接地研究[J].中国设备工程,2024,(06):246-248.
- [2]宋玉鼎.铁路信号设备防雷技术应用[J].中国信息界,2024,(01):198-201.
- [3]张恩荣.铁路信号设备防雷技术应用探析[J].工程机械与维修,2022,(02):261-263.