

HXD1 型电力机车牵引主回路接地检测原理分析及故障处理

黄剑龙 杨胜芳 代良志

国能朔黄铁路发展有限责任公司机辆分公司 062350

【摘要】HXD1型电力机车作为我国铁路货运的关键力量，在铁路运输系统中占据着举足轻重的地位，其能否安全且稳定地运行，直接关系到铁路运输的高效性与可靠性。牵引主回路作为电力机车的核心构成，承担着将电能成功转化为机械能，进而驱动机车运行的关键使命。但在实际运行过程中，受多种复杂因素的影响，牵引主回路存在发生接地故障的风险。一旦出现此类故障，不但会干扰机车的正常运转，还极有可能引发设备损坏，更甚者会对行车安全造成严重威胁。基于此，本文将深入剖析HXD1型电力机车牵引主回路的接地检测原理，并探寻行之有效的故障处理方法，旨在为HXD1型电力机车稳定运行助力。

【关键词】HXD1型电力机；牵引主回路；接地检测；故障处理

Principle analysis and fault treatment of grounding detection of traction main circuit of HXD 1 electric locomotive

Huang Jianlong Yang Shengfang Dai Liangzhi

Energy Shuohuang Railway Development Co., LTD. Machinery Branch 062350

【Abstract】As the key force of railway freight transportation in China, HXD 1 type electric locomotive plays a pivotal position in the railway transportation system. Whether it can operate safely and stably is directly related to the high efficiency and reliability of railway transportation. As the core component of electric locomotive, the traction main circuit undertakes the key mission of successfully converting electric energy into mechanical energy and then driving the locomotive operation. However, in the actual operation process, influenced by a variety of complex factors, the traction main loop has the risk of grounding failure. Once such a failure occurs, it will not only interfere with the normal operation of the locomotive, but also is very likely to cause equipment damage, and even will cause a serious threat to the driving safety. Based on this, this paper will deeply analyze the grounding detection principle of the traction main loop of HXD 1 electric locomotive, and explore the effective fault handling method, aiming to facilitate the stable operation of HXD 1 electric locomotive.

【Key words】HXD 1 type power machine; traction main loop; grounding detection; troubleshooting

引言：

在我国铁路运输架构里，HXD1 型电力机车凭借其强劲的牵引动力与高效的运作特性，成为铁路货运领域的核心装备。其肩负着繁重的货物运载任务，对维持铁路物流的高效流通起到了不可或缺的作用。作为 HXD1 型电力机车的核心组件，牵引主回路负责实现电能向机械能的转化，直接左右着机车的动力输出效能。不过，鉴于铁路运输环境复杂多变，牵引主回路极易受到各类因素干扰，其中接地故障发生的频率相对较高。一旦出现接地故障，不仅会造成机车运行停滞，大幅降低铁路运输效率，还可能致使电气设备遭受损坏，严重时甚至会对行车安全构成直接威胁。所以，深入探究 HXD1 型电力机车牵引主回路的接地检测原理，熟练掌握切实可行的故障处理措施，对保障机车稳定运行、维护铁路运输安全而言，具有极为重要的现实价值。

一、HXD1 型电力机车牵引主回路概述

（一）牵引主回路结构

HXD1 型电力机车属于功率为 9600KW 的八轴货运电力机车，其牵引主回路系统涵盖主变压器原边电路和主变压器次边牵引电路两大部分。来自接触网的 25KV 单相工频交流电，依次通过受电弓、高压隔离开关、主断路器、高压电压互感器以及原边电流互感器，最终接入主变压器原边^[1]。主变压器次边设有 4 个相互独立的次边牵引绕组，这些绕组分别为 4 个四象限整流器 4QC 供电。值得注意的是，每两个四象限变流器采用并联输出的方式，共同连接并使用一个中间直流电路。而每个中间直流电路则同时为两个电压型脉宽调制逆变器提供电力支持，并且每个牵引逆变器都单独为一台异步牵引电机供电，以此达成牵引电机的单轴独立控制。

（二）牵引主回路功能

牵引主回路的核心作用在于达成电能的传输与转换。起始阶段,接触网所提供的高压交流电被引入机车内部,并传输至主变压器。主变压器发挥降压作用,将降压后的电能输送至四象限整流器。四象限整流器在此环节承担关键任务,能够把输入的交流电转换为直流电,从而为中间直流电路供应稳定的直流电源。接下来,电压型脉宽调制逆变器开始工作。其将中间直流电路中的直流电转换为频率和电压均可灵活变动的三相交流电。这些经过转换的三相交流电,为异步牵引电机提供了适配的电源^[1]。异步牵引电机在合适电源的驱动下产生转矩,进而驱动机车稳定运行。除了电能传输与转换功能外,牵引主回路还配备了过流、过压以及接地等多重保护功能。这些保护功能如同机车的“安全卫士”,时刻监控系统运行状态,确保在各种复杂工况下,牵引主回路系统都能安全、稳定地运行。

二、HXD1型电力机车牵引主回路接地检测原理

(一) 接地检测系统构成

HXD1型电力机车牵引主回路接地检测系统由多个关键部分协同构成,其中包含电压传感器、电阻、模拟输入板、网侧信号板以及相关控制电路。电压传感器在整个系统中扮演着信号采集的关键角色,主要用于对主电路里的电压信号进行精确检测,其中涵盖了全电压信号以及半电压信号。这些信号是判断主回路是否存在接地故障的重要依据。电阻在接地检测系统中起到构建分压电路等关键作用。通过精心设计的分压电路,电阻能够将主电路中的电压调整至合适的检测电压范围,以便后续设备能够准确地对信号进行处理。模拟输入板承担着信号预处理的重要任务。在接收电压传感器检测到的信号后,会对这些信号进行放大、转换等一系列处理操作,使信号的形式和幅度满足后续处理的要求。网侧信号板则进一步对模拟输入板处理后的信号展开深加工。运行中先对信号进行低通滤波,去除信号中的高频噪声干扰,然后再次对信号进行放大,增强信号的强度。之后,网侧信号板将处理后的信号与中间直流电压进行合成,经过这一系列复杂的操作,最终形成用于判断主回路是否接地的接地保护信号。

(二) 检测原理分析

HXD1型电力机车牵引主回路的接地检测工作主要是依据电压比较原理来开展的。在机车正常运行的工况之下,借助电压传感器所测量得到的半电压数值,从理论层面来讲,应当等同于直流支撑电压的二分之一。例如,如果直流支撑电压为1800V,那么对应的半电压就应当是900V。接地检测电路会处于实时工作状态,对主回路中的全电压以及半电压的数值进行持续监测,并且会计算这两个电压数值之间的差值^[1]。当检测到(全电压/2)-半电压这个计算结果

超过了预先设定的一定阈值,例如720V,同时这种超过阈值的状态持续的时间超过了850ms,接地检测电路就会判定主回路发生了接地故障。一旦做出这样的判定,主断路器(HVB)便会自动断开,与此同时,机车的显示屏上会显示主回路接地故障的相关信息。

(三) 接地故障定位原理

通常情况下,一旦检测到接地故障,可采用对电路进行分段检测与分析的办法来确定故障位置。举例而言,首先要判断接地故障是出现在主变压器的原边电路,还是次边电路。针对主变压器原边,需要检查诸如原边回流互感器这类设备是否处于正常工作状态,同时也要查看相关线路的绝缘状况是否良好。而对于次边电路,则要进一步仔细检查四象限整流器、牵引逆变器以及中间直流电路等部分的绝缘情况和连接状况。具体操作时,通过测量电路中不同位置的电压、电阻等参数,再结合电路的工作原理以及实际出现的故障现象,一步步缩小故障可能存在的范围,最终明确接地故障的具体所在位置。

三、HXD1型电力机车牵引主回路接地故障处理

(一) 牵引变流器接地故障处理

当牵引变流器发生接地故障时,必须开展全面且精细的排查工作。要对牵引变流器的外部连接电缆展开检查。在机车运行期间,受到震动、摩擦以及周围环境因素的综合影响,电缆极有可能出现破损与老化的状况。尤其是电缆的接头部位,长时间处于通电状态,并且持续承受机械应力的作用,很容易出现松动、腐蚀等问题。可以通过仔细查看电缆的外观,来确认电缆外皮是否存在破损、裂缝,接头处是否有变色、烧蚀的痕迹^[1]。此外,还能运用绝缘电阻表对电缆的绝缘电阻进行测量,要是绝缘电阻值过低,那就意味着电缆或许存在绝缘不良的问题。另外,对牵引变流器内部的电路板和电子元件进行检查也十分必要。要认真观察电路板上是否有元件出现烧焦、变色的情况,焊点是否存在虚焊、脱焊的现象。可以借助放大镜之类的工具,对细微之处进行查看。对于像IGBT模块这类关键元件,要着重检查其是否有击穿、短路等故障。也可以使用示波器等仪器对元件的工作波形进行监测,从而判断其工作状态是否正常。

在故障处理中,针对外部连接电缆出现的故障,若电缆仅存在轻微破损的情况,可利用绝缘胶带对其进行包扎修复。电缆如果破损程度较为严重,就必须更换新的电缆。在更换电缆时,务必保证所选用电缆的规格和型号与原电缆完全一致。同时,要正确连接电缆接头,使接头连接牢固,确保接触良好。当电路板上的元件出现故障时,一旦发现损坏的元件,应及时进行更换。在更换元件的过程中,要特别留意新元件的参数和型号需与原元件保持相同。焊接新元件

时,要精准把控焊接温度和时间,防止因焊接操作不当引发新的故障。完成元件更换后,要对电路板进行清洁,清除焊接过程中产生的杂质和残留物。当出现绝缘电阻下降的情况时,需要找出绝缘损坏的具体位置。若绝缘下降是由受潮引起的,可以采用加热烘干的方式去除水分。若绝缘性能下降是因为灰尘积累导致的,则需要对变流器进行清洁,将灰尘去除。在清洁过程中,要选用合适的清洁剂和工具,避免对元件造成损坏。

(二) 主变压器原边接地故障处理

排查主变压器原边接地故障,先查高压引线,看有无破损、放电,因其长期处于高电压环境,易受电晕、电场影响致绝缘老化、破损,可外观检查裂纹、烧伤,同时检查固定是否稳固防松动放电。接着检查与主变压器原边相连设备,如高压隔离开关、主断路器,查看触头接触及有无过热、烧蚀,可用红外热成像仪检测温度判异常,用绝缘电阻测试仪测绝缘保障良好。另外,测量原边绕组绝缘电阻是关键,用高压绝缘电阻测试仪按规定测,值过低则绕组可能接地故障。同时检查原边回流互感器,测输出信号判断工作是否正常,防止故障致接地信号误判。

在故障处理中,高压引线轻微破损,可绝缘修复;破损严重则更换。更换时确保绝缘达标、安装正确,防松动、放电。原边绕组绝缘电阻过低,对变压器干燥处理,如热油循环、真空干燥法除水分提性能。若干燥后仍不符合要求,进一步查损坏处,可能解体变压器换绝缘部件。原边回流互感器故障,要及时更换。更换后校准调试,确保输出信号准确可靠,检查相关检测和保护装置,防误判接地故障。

(三) 接地故障预防

首先,加强日常维护。定期针对机车牵引主回路开展全面检查,是预防接地故障的一项关键举措。需精心制定详尽的检查计划,依照既定的时间间隔对设备展开检查工作。检查的内容包含设备外观、连接部件以及绝缘状况等方面。仔细查看设备表面是否有灰尘、油污积聚,连接部件是否出现松动、腐蚀现象,绝缘部件是否存在破损、老化的问题^[5]。要及时察觉并处理潜在的隐患,从而避免故障的产生。对设备进行清洁同样是日常维护工作里的重要一环。机车在运行

期间,会吸附大量的灰尘与油污,这些杂质会对设备的绝缘性能以及散热性能造成不良影响。要定期运用清洁工具和清洁剂对设备进行清理,将灰尘和油污去除。在清洁过程中,务必注意避免对设备造成损坏,尤其是针对一些精密元件,操作时要格外小心。其次,提高绝缘性能。定期针对牵引主回路的绝缘部件开展检测与维护工作,这是提高绝缘性能的核心要点。借助绝缘电阻测试仪、耐压测试仪等专业设备对绝缘部件进行检测,能够及时找出绝缘性能出现下降的部件。一旦发现有老化、损坏情况的绝缘部件,要立刻进行更换,以此确保绝缘性能满足相关要求。在机车的运行环境方面,需要着重关注防潮、防水问题。潮湿的环境容易使绝缘部件受潮,进而降低其绝缘性能。可以在机车的电气设备舱内部安装诸如干燥剂、除湿器等防潮设备,以此保持设备舱内部处于干燥状态。与此同时,要对机车的密封性能进行检查,防止雨水、露水等进入设备舱内部。最后,优化检测系统。定期校准调试接地检测系统是确保其准确可靠运行的重要手段。按规定周期用标准设备校准,保证测量值精准。同时仔细检查设备和电路,发现老化、损坏元件及时更换,保障系统正常运行。检测系统软件升级优化必不可少。随着技术发展,软件需不断更新完善以提升检测精度和故障诊断能力。定期关注升级信息,及时升级软件,确保性能最佳。

结束语:

综上所述,在HXD1型电力机车的运行保障中,对牵引主回路接地故障进行高效检测和恰当处理起着至关重要的作用,这是确保机车安全且稳定运行的关键所在。通过深度钻研接地检测系统的组成结构、工作原理以及故障定位的具体方法,能够以更高的精准度去识别各类接地故障,为故障处理提供坚实基础。针对牵引变流器和主变压器可能出现的接地故障,所制定的详细排查与修复措施,可以让维修人员能够有章可循。展望未来,必须持之以恒地开展探索与改进工作,不断完善检测和处理方法,进一步提高机车运行的可靠性与安全性,为铁路运输的高效畅通保驾护航。

参考文献

- [1]董明智,舒鑫.HXD1C型电力机车牵引主回路接地检测原理分析及故障处理[J].技术与市场,2020,27(3):12-15.
 - [2]张灿.分析HXDC型电力机车主回路接地故障[J].科技创新导报,2019(33):80-81.
 - [3]张洪明,孟繁星.分析电力机车牵引主变流器故障智能诊断系统[J].百科论坛电子杂志,2018(9):538.
 - [4]姜宋阳,任宝珠,周鹏,等.电力机车牵引变流器接地检测电路优化[J].铁道科学与工程学报,2022,19(6):1786-1793.
 - [5]李文斌,任永军.HXD2B电力机车主变流器工作原理浅析[J].电子世界,2018(9):98.
- 作者简介:黄剑龙(1989.7-)男,四川内江人,大学专科,助理工程师,研究方向:铁路机车电工检修专业。