

HXD1 机车牵引变流器检修数据分析及修程优化研究

代良志 黄剑龙 杨胜芳

国能朔黄铁路发展有限责任公司机辆分公司 062350

【摘要】HXD1作为我国现阶段较为常用的铁路机车，其一性能安全可靠、技术全面等诸多特点被广泛的应用，对我国铁路运输以及经济发展做出了重要的贡献。牵引流变器作为HXD1机车最为重要的结构，牵引流变器性能安全可靠在一定程度上影响了HXD1机车的正常运行。而随着HXD1的应用，其牵引流变器潜在的问题逐渐暴露，加强HXD1机车牵引流变器检修数据分析，对精准判断牵引流变器故障，优化修程，有着不可忽视的重要作用。基于此，本文以HXD1机车牵引流变器为切入点，阐述了HXD1机车牵引流变器数据分析方法与修程优化方案，为HXD1机车牵引流变器安全可靠的运行提供参考。

【关键词】HXD1机车；牵引流变器；数据分析；修程优化

Study on maintenance data analysis and repair process optimization of HXD 1 locomotive traction converter

Dai Liangzhi Huang Jianlong Yang Shengfang

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

【Abstract】HXD 1, as a commonly used railway locomotive in China at the present stage, is widely used, such as its safety and comprehensive technology, and has made important contributions to China's railway transportation and economic development. As the most important structure of HXD 1 locomotive, the safe and reliable performance of traction transformer affects the normal operation of HXD 1 locomotive to some extent. With the application of HXD 1, the potential problems of its traction transformer are gradually exposed. Strengthening the maintenance data analysis of HXD 1 locomotive plays an important role in accurately judging the fault of the traction transformer and optimizing the repair process. Based on this, the HXD 1 locomotive describes the data analysis method and repair optimization scheme of HXD 1 locomotive traction transformer, which provides reference for the safe and reliable operation of HXD 1 locomotive traction transformer.

【Key words】HXD 1 locomotive; traction transformer; data analysis; repair optimization

引言:

HXD1 机车作为大功率机车，是我国重载铁路主要的运行机型，该机车控制系统相对复杂，机车维修、维护的成本相对较高，确保HXD1机车稳定运行，降低HXD1机车故障发生几率，延长使用周期，是铁路部门必须重视与解决的重要问题。据统计，HXD1机车的造修比接近1:2.17，维护维修成本占HXD1全生命周期成本的68%。而在HXD1机车维护维修过程中，牵引流变器作为结构复杂的关键部件，确保牵引流变器安全可靠，是降低HXD1机车维修维护成本的关键。因此，加强对HXD1机车牵引流变器数据的分析，结合分析结果，对HXD1机车的修程进行优化，降低牵引流变器故障率，延长牵引流变器使用周期，是实现降本增效，促进我国铁路运输事业发展的重要环节。

一、HXD1 机车牵引变流器概述

(一) HXD1 机车牵引变流器组成结构

HXD1 机车的变流装置主要以封闭式的箱型结构组成，而为了有效散发变流装置运行中产生的热量，2个变流装置的位置分别在机车的中间与走廊侧方。散热系统所需的冷却

液则由箱体内部向外延伸出的连接管导出。每台变流装置都设有三组牵引流变器与一组辅助流变器，从而有效的降低了变流器体积，提高安装效率。

1、IGBT 元件模块化设计

IGBT 元件标准是现阶段铁路行业较为常见的做法，通过逆变器与整流单元的快速转换，从而确保快速响应能量转化要求，提高牵引电机滑行或空转保护功能。IGBT 元件模块化设计，通常使用32位或64位的高速芯片控制，可以有效满足矢量运算速度与控制系统的稳定程度，降低系统延迟导致的误差。同时，IGBT 元件在运行的过程中，尤其是在多组控制载波重叠的情形下，将会产生大量的高次谐波，对系统能效转换效率产生影响，并对电源侧产生干扰。为了解决该问题，在进行IGBT元件设计时，可以通过控制算法的方式，将每组控制波相互隔离、错开，进而降低高次谐波，实现功率因数提高的目的^[1]。

2、辅助电动机供电电路及PWM 整流辅助变流器

(APU)作为辅助电机供电电路的核心，辅助流变器利用牵引通风机、压缩电机等进行三相电交流，基本上以变压变频(VVVF)控制与恒压恒频(CVCF)两种控制方式为主。在运行过程中，机车的冷却风量与变流器内部元件的运行发出的声音可能会导致噪音影响，而通过两台复合冷却器与多台牵引通过机电机的组合，在变压变频的工作模式下，能够

最大程度上减少噪音的生成。

辅助逆变器通过 PWM 整流电路将主变压器次级线圈的交流电以恒压直流的方式进行输送,并在逆变器的作用下转化为三相交流电。脉宽调节控制 (PWM), 则能够精准判断当前相应载荷的状态, 并对晶体管基极火 MOS 管栅极的偏置进行调整, 进而实现通过 MOS 管晶体控制时间的目的, 对输出电源进行有效控制。

一般来说, HXD1 基本上都配置了两套辅助变流器, 在工况良好的状态下, 辅助变流器可以以一半的额定容量工作, 并以不同的工作方式稳定运行, 为机车辅助电动机进行供电。如此一来, 可以有效的确保辅助变流器的运行不受影响, 一套出现故障, 另一套可以正常工作, 确保机车稳定安全的运行。另外, 因为两套辅助变流器的工作方式不同, 相互之间并不会影响负载容量, 在不切断辅助电动机负载的前提下, 另一套辅助变流器也能够承担所有的机车供电功能, 确保机车辅助电机供电系统的稳定可靠。

3、变流器冷却系统

机车变流器在运行过程, 不可避免的会出现大量的功耗热量, 为了不影响机车的正常运行, 通常利用强制水冷方式对牵引变流器进行降温处理。这样一来, 既能够有效降低内部器件的温度, 并保证环保无毒, 同时在加上体积小、安装方便等特点, 是现阶段最为常用的降温方式之一。为了达到良好的降温效果, 变流器冷却系统中的冷却液需要具备导热冷却能力, 又要有着高强度的适应性, 能够适应机车运行过程中外部的复杂环境与气候。因此, 现阶段主要利用亚乙基二醇纯水溶液作为主要的冷却液。

(二) HXD1 机车牵引变流器工作原理

HXD1 机车的牵引变流器主要是为了控制主变压器与牵引电机之间的能源传输, 并对牵引电机的转矩进行控制。牵引流变器的工作状态受机车运行状态影响而呈现不同的方式, 主要作用包括以下两点。第一, 牵工况时单项工频电网电压在四象限整流器整流为 1820V 直流电压, 再利用逆变器进行三相电转化, 并为牵引电机供电。第二, 再生制动工况时牵引电机产生的三相电经过整流、逆变之后, 由牵引变压器、受电弓等机构反馈回电网。牵引流变器工作原理是在主电路与传动控制两个系统进行管理。其中, 主电路包括供电单元、固定放电电阻、半压传感器等, 为了有效想牵引电机供电, 每台牵引流变器都需要具备单独的供电电源。固定放电电阻则主要应用在接地检测与固定放电环节, 借助固定电阻、半压传感器组合而成的控制单元进行半电压检测回路。控制传动的系统则主要是完成接地检测、识别与保护。变流器基本库内动车功能, 需要库内动车时, 外接的三相交流电将会达到 380V 库内电源, 而通过外部预充电电路, 与接触器进行短暂接触, 在利用逆变器二极管整流, 在 TCU 的驱动下, 对牵引电机进行三相电输出。

(三) HXD1 机车牵引变流器检修注意事项

在进行 HXD1 机车牵引流变器检修过程中, 首先必须要保证牵引系统的安全可靠, 以联锁开关对电源进行及时有效的断开, 并确保设备良好, 稳定运行。对于 HXD1 机车而言, 其牵引流变器包括大电容器, 而在机车降弓过程中, 大电容

器会带有较大的电压, 这就导致维修人员对牵引流变器当前的状态了解不足, 默认为变流器装置中间扔存有高电压, 这样的情况下工作人员要停止维修, 直到问题解决。另外, 对于邻近的牵引流变器进行内部部件更换, 危险则相对较大, 维修人员同样将此处视为高压危险状态。另外, 对于预充电接触器而言, 通常来说, 其触电不是直接与机车的接地体相连接, 而在无法明确主回路电源是否断开的前提下, 触电可能存在着较高的电压, 带来危险隐患。而在机车顶部的受电弓未下落实, 变流器的谐振电容不容易对短路电阻进行放电, 进而导致谐振电抗器在未与主变流器进行连接时, 也会伴随着高压危险^[1]。

二、HXD1 机车牵引变流器检修数据分析方法

(一) 数据分析方法简介

结合实际 HXD1 牵引流变器数据进行分析, 其故障发生的随机性相对较强, 而为了确保精准寻找故障发生规律, 需要采用科学合理的分析方法, 以便提高分析结果的准确性^[3]。

1、分组分析

分组分析主要是根据数据特征、性质等内容进行分析, 通过制定一定的指标, 对其进行划分, 从而进行对比分析。主要有三个方面的作用, 一是划分类型, 二是反映数据内部结构, 三是分析各部分数据之间存在的内在联系。而根据指标性质, 具体可分为属性指标与数量指标。

2、时间序列分析

时间序列则是将同一指标的数值, 通过时间顺序进行排列并进行分析。时间序列分析包括两个主要要素, 即时间与同一指标在不同时间内的数值, 可以客观描述现象发生的过程与规律, 揭示变化趋势。时间序列分析有三个主要特点, 其一发展趋势向未来延伸, 其二数据随机, 其三不考虑内在的因果关系。

绝对时间序列作为最基本的时间序列, 是将同一指标在不同时间上的数字按照先后顺序进行排列, 可以有效反映该现象在不同时间段内发生的总量与增减变化的过程。绝对时间序列基础上又延伸出相对时间序列与平均时间序列。

时间序列中的各项指标都有着可比性, 因此在编制时间序列时, 一方面是要确保时间的单位一致, 指标的范围、内容、计算方法等具备可比性。另一方面, 时间序列受季节、循环波动等因素影响较深, 需要结合实际需求进行针对性的分析, 以确保分析结果的准确性, 可以精准的预测未来^[4]。

(二) 牵引流变器检修数据分析

以实际的 20HXD1 列车牵引流变器数据记录进行分析, 时间跨度在 2014 到 2020 年, 在这 6 年时间内, 20 列车所涉及的故障共有 263 起, 明确故障原因的在 171 起, 未知原因引起的故障在 92 起。已知原因的故障形式为 27 类, 如网压异常、接触器故障、自检未完成、车棚断电、操作原因、温度传感器故障、模块故障等。发生 5 次以上的故障为 8 类, 4 次的故障为 4 类, 2 次的故障为 4 类, 剩余故障均发生一次。而在这 27 类故障中, 只有 6 类故障是因为

外部环境及运维因素导致的，故此不予考虑。

1、以故障对象进行分组分析

HXD1 机车因为本身部件性能的原因导致的牵引变流器故障是出现最高的故障原因，出现 28 次，主要故障为交流接触器、辅助电源断路器。

在 9 起温度传感器故障中因为电机温度传感器故障占了 8 起，只有 1 起为辅助变压器温度传感器故障（表 1）。

车号	故障描述	故障里程 (万公里)
7139	TCU2 4QC 板异常导致 A 节主逆锁定	100
7139	G019 UWSI 板异常导致 A 节主逆 2 切除	140
7094	L103 插件故障导致 B 节 TCU1 闪红	150
7023	TCU2 4QC-SIP 板故障导致 B 节主逆 2 切除	160
7026	TCU2 G011 板故障导致 A 节主逆跳主断	160
7073	G159 辅逆板故障导致 B 节主逆跳主断	170
7107	TCU1 G011 板故障导致 A 节主逆跳主断	200
7112	TCU2 辅逆板故障导致 A 节主逆 2 故障	200

表 1 插件故障统计

其他发生次数为 2 次及以下的故障计为偶发故障，再次不做分析。

根据以上内容分析得知，HXD1 机车牵引变流器故障发生的主要部位基本上包括了接触器、开关、传感器、信号处理部件等。

2、以时间序列分析

时间序列也就是 HXD1 机车公里数，以每 10 万公里进行统计分析，结果参见图 1。

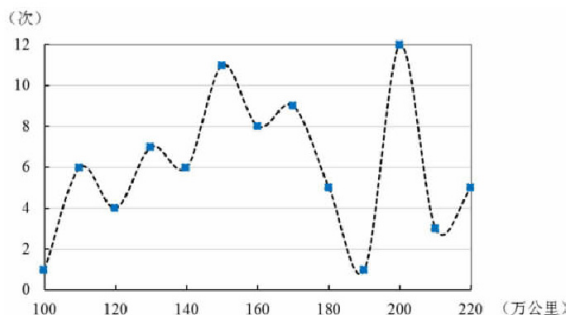


图 1 故障里程分布

由此图可以看出，虽然每 10 万公里发生的故障次数并不相同，但是故障多发区基本上以 140 万到 150 万公里、190 万到 200 万公里为主。90 到 100 万公里区间故障发生的次数最少。

从整体上可以看出，100 万到 150 万公里之间，公里数增加其故障发生率明显下降。但是就 HXD1 机车修程而言，故障发生的时机不具备明显的规律。

因此，将 20 万公里作为主要的时间序列进行分析，结果参见图 2。

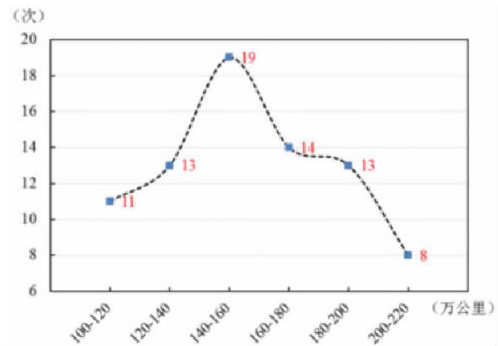


图 2 故障里程分布

由此图可知，在 100 到 160 万公里之间，里程增加越多，故障发生概率就越高，160 到 220 万公里之间，里程越长，故障越低。故此，故障主要以 120 到 200 万公里之内，占据了总体故障数量的 75.6%。故障率最高的为 140 到 160 万公里之间。由此可知，加强 C4 修程的优化，可以有效降低 HXD1 机车牵引变流器故障发生几率。

三、HXD1 机车牵引变流器修程优化

根据上述分析结果得知，对 HXD1 机车牵引变流器修程进行优化，可以有效降低牵引变流器故障发生几率，确保机车稳定运行。相关部门要对牵引变流器的检修重点项目予以明确，并对异常关键的部件进行更换，如谐振电容、接地检测电容、辅助接触器等。而根据实际的分析结果，对 HXD1 机车牵引变流器修程优化如下：第一，对于故障频发的交流接触器，在运行至 110 到 200 万公里时，要对其进行检测并更换。若 C5 修有对交流接触器的检修项目，建议在 C4 修中增加该检修项目。第二，对于 C6 必换件中的谐振电容、辅助接触器等零部件，在 C6 修时因为故障率为零，可以取消整体相关的更换，转而进行外观、性能检查，如有发现异常则进行更换，建议延长此类部件的更换节点^[5]。

总结：

HXD1 机车运行的时间虽然较短，但是却对我国经济发展做出了重要的贡献，为了提高 HXD1 机车安全运行效率，确保生命财产安全。加强 HXD1 机车牵引变流器构成及工作原理的了解程度，通过科学合理的数据分析方法，对 HXD1 机车牵引变流器数据进行分析，结合修程，统计牵引变流器故障发生规律，从而明确故障发生的主要原因与里程，从而制定更为科学合理的修程优化方案，对提高 HXD1 机车牵引变流器性能安全，提高机车运行效率至关重要。

参考文献

[1]李建南.对 HXD1D 型电力机车牵引变流器研究[J].内燃机与配件, 2019, (20): 62-63.
 [2]屈波.HXD1 机车牵引变流器检修数据分析及修程优化研究[J].内燃机与配件, 2020, (05): 132-135.
 [3]杨帆.HXD1C 型电力机车牵引变流器直流母排故障分析[J].机车电传动, 2018, (02): 119-121.
 [4]龚菊芳.HXD1 型牵引变流器模块检修数据研究及运用[J].电器工业, 2022, (07): 35-38+47.
 [5]吴勇忠.浅析 HXD1 型电力机车牵引变流器突出故障与处理[J].科技展望, 2016, 26 (33): 28.
 作者简介：代良志 (1986.10-) 男，陕西商洛人，大学本科，助理工程师，研究方向：铁路机车电工检修专业。