

SS9 电力机车 AC 380V 列车 供电系统技术特点

邹士涛 蔡利军

(沈阳铁路局, 沈阳 110000)

摘要 从 SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统与原 DC 600V 列车供电系统的比较出发, 介绍 SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统设计开发的技术特点。SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统产品已在现场投入使用, 其性能日臻完善并得到验证。

关键词: SS9 电力机车; AC 380V 列车供电系统; 技术特点

Technical Characteristic of AC 380V Power Supply System for SS9 Electric Locomotive

Zou Shitao Cai Lijun

(Shenyang Railway Bureau, Shenyang 110000)

Abstract Compared to the AC 380V train power supply system of original DC 600V train power supply system, technical characteristic of AC 380V power supply system for SS9 electric locomotive was presented. The AC 380V power supply system for SS9 electric locomotive have been put into service in field, which performance is improved and verified.

Keywords: SS9 Electric Locomotive; AC 380V train power supply system; technical characteristic

铁路旅客列车作为一个移动的供电电网, 其客车本身一般没有发电装置, 客车用电依靠贯通列车供电电网提供, 列车的供电电网又由专门的列车供电装置提供电能, 可以满足较多地设备用电需求。

为满足铁路 AC 380V 供电制式的客车动辄数百千瓦的用电需求, 25G 型(速度等级 120km/h)、25K 型(速度等级 140km/h)客车的供电主要是通过加挂 1 节空调发电车来实现, 25T 型(速度等级 160km/h)客车的供电则通过 DF11G 型内燃机车来实现, 目前都采用进口的 MTU 或者康明斯柴油发电机组来完成 AC 380V 供电输出, 存在运行成本高、燃油污染大、运用效率低、维修困难等问题。

为适应建设和谐社会、促进低碳经济不断发展, 降低运用成本, 沈阳铁路局在铁路系统率先启动了 SS9 电力机车^[1]改造, 加装了以电力电子技术为基础的 AC 380V 列车供电系统, 使电力机车可提供 AC 380V 供电电源, 对原有的列车供电装置进行了重大变革。

1 总体思路

SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统创新主要体现在以下几方面。

1) 在国内首次实现了电力机车可直接向 AC 380V 供电制式的旅客列车供电, 打破了原来只能由内燃机车或者空调发电车向客车输出 AC 380V 供电电源的历史, 并完全摒弃了大功率柴油发电机组, 具备划时代的意义。

2) 与现有的电力机车 DC 600V 列车供电系统相比, 目前的 AC 380V 列车供电系统对列车供电电网拓扑进行了简化, 将原来各 DC 600V 客车车厢的分散逆变改为由 SS9 电力机车集中逆变, 省略了各客车的三相逆变器和单相逆变器等电气设备, 大幅降低了列车供电电网的构建成本。

作为电力机车列车供电系统的全新产品, SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统在成熟的两电平交流控制平台基础上, 采用了大功率整流、高频逆变、交流输出 VVVF 软启动等关键技术, 系统架构与主

流的 DC 600V 列车供电系统^[2]保持一致,即列车供电系统包含两路独立的列车供电回路,利用电力机车两个独立供电绕组(AC860V),经整流、滤波、逆变和隔离变化后为列车提供两路独立的 AC 380V 供电电源,额定输出功率 400kVA 保持不变。

充分结合主流 DC 600V 列车供电系统成功运用的经验并考虑运行中出现的问题^[3]及其不断的改进措施^[4],一并在 SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统中加以体现。

为满足 SS9 电力机车技术进步及改进的需要,整个列车供电控制系统设计中充分利用了当今先进的计算机控制技术,采用了新的电子元器件及新工艺,贯彻简统化、模块化、系列化的设计思想,提高了产品的质量和技术含量。

2 技术参数

2.1 电气参数

SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统主要电气参数如下:

额定输入电压: $2 \times \text{AC}860\text{V}/50\text{Hz}$ 。

输入电压允许波动范围: $\text{AC}592\text{V} \sim \text{AC}1077\text{V}$ 。

额定输出电压: $2 \times 3\text{AC}380\text{V}/50\text{Hz}$ (三相四线)。

控制精度: $\pm 5\%$ 。

输出电压允许波动范围: $\pm 10\%$ 。

频率允许波动范围: $50 \pm 1\text{Hz}$ 。

输出电压正弦畸变率: $\leq 10\%$ 。

输出电压谐波含量: $\leq 5\%$ 。

额定输出交流电流: $2 \times 607\text{A}$ 。

额定输出功率: $2 \times 400\text{kVA}$ 。

效率: $\geq 90\%$ 。

与原来使用的进口柴油发电机组相比,单路输出功率更高,供电品质更好,抗冲击电流能力更强。

2.2 使用条件

SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统正常使用条件:

海拔: $\leq 2500\text{m}$ 。

工作环境温度: $-40^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 。

存储温度: $-40^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 。

空气湿度: 最湿月月平均相对湿度不大于 95% (月平均最低温度为 25°C 时)。

振动和冲击: 符合 GB/T 21563—2008 中 1 类 A 级规定。

安装条件: 设备安装在能防止风、沙、雨、雪直接侵袭的机车车体内部。

3 技术特点

3.1 系统架构优化

以往交直电力机车 DC 600V 列车供电系统的元器件分布一般较为分散,未全部集中到相应的列车供电柜中,导致系统整体规划较差,后期维护困难。

参照铁标“TB/T 3063—2011 旅客列车 DC 600V 供电系统技术要求及试验”^[5]的要求和 SS9 电力机车的空间布置特点,SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统将原先分散的两路独立的列车供电回路分别集成到两组完全相同的列车供电柜和滤波柜中,每组柜内都包含独立的主电路和供电控制系统,其系统架构如图 1 所示。

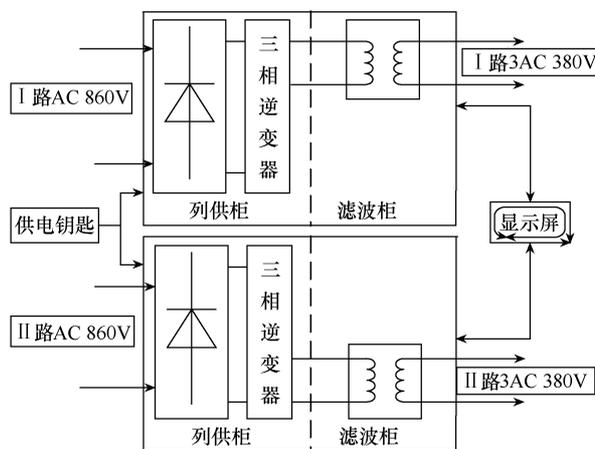


图 1 AC 380V 列车供电系统架构图

SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统这种改进的优越性体现在以下几点:

1) 每个列车供电回路的元器件都是完整、独立的,都包含不控整流、直流滤波、三相逆变、交流滤波、隔离变换等环节,系统集成度高。

2) 两组列车供电柜和滤波柜都是完全一样的,因此在机车大部件布置时可对称放置,降低了设计难度。

3) 列车供电柜和滤波柜内自带散热装置,且由列供自身的输出电源保证供电,与 SS9 电力机车辅助回路不存在关联关系,进一步降低了外部原因造成列供故障的概率。

3.2 设计冗余可靠

由于列车供电装置关系到正常铁路运输秩序及旅客乘车舒适度的问题,因此 SS9 电力机车 AC

380V 列车供电系统采用了以下措施来保证系统可靠性:

1) 两路列车供电回路同时工作, 互为热备冗余, 客车可自由选择供电电源。即使机车某一路电源出现故障, 客车在采取适当减载的情况下, 机车另外一路电源也可以保障全列车的供电。

2) 主电路设计方面, 对系统可靠性影响较大的元器件如 IGBT、二极管、电容等, 至少预留了两倍以上的电气裕量。并且注意选用工作环境温度更宽广的新型元器件, 保证了系统具备更宽广的工作环境, 可适应高低温运用的需要。

3) 控制系统设计方面, 每一路列车供电回路均采用了冷备冗余的 A/B 两组控制系统, 某一组出现故障时可通过开关快速切换。

3.3 控制逻辑简化

为保证列车供电系统安全运行, 以往交直电力机车 DC 600V 列车供电系统的控制逻辑设计较为复杂, 中间涉及环节较多 (包括逻辑控制单元 LCU、机车供电集中控制器、供电钥匙、多个中间继电器等), 这样不仅列车供电系统出现故障的概率大大增加, 而且机车布线复杂, 不利于机车后期维护和检修。

SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统吸取了原列车供电系统运用的成功经验, 并在此基础上进行了改进, 将以往通过硬连线方式逐级传递的逻辑控制信号改为直接从机车端子排处获取相关信号, 送入 SS9 机车 AC 380V 列车供电控制系统中, 由列车供电控制系统实时掌握供电钥匙、主断等状态信号, 并决定列车供电柜何时启动、何时停止工作。这样设计的好处是:

1) SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统掌握了全部的控制逻辑信息, 在列车供电柜异常停止工作时可进行诊断, 提示司机和检修人员快速查找问题。

2) SS9 电力机车 AC 380V 供电控制系统采用 110V 输入电路检测设备状态信号, 性能好, 输入电流只有毫安级, 功耗大大降低, 还可以避免出现继电器机械故障。

3) SS9 电力机车 AC 380V 供电控制系统采用微机控制方式后, 为控制逻辑功能的扩展和调整提供了可能, 调试更加方便。

3.4 供电控制系统改进

供电控制系统基于株洲南车时代电气股份有限

公司的新型逆变控制平台设计, 具有“标准化、系列化、模块化、信息化”的特点。系统在出色完成 3AC 380V 调节、各种保护功能以及与机车显示屏通讯功能外, 还体现出诸多优点, 主要有:

1) 供电控制级的核心模块采用双核浮点 DSP、FPGA 等高速处理器进行运算, 系统精度更高, 调节控制响应更灵敏。

2) 逆变控制级采用硬件编程方式实现脉冲形成与分配功能, 修改、调试、维护方便, 控制精度高。驱动级脉冲电路也在原有基础上做出了改进设计, 高压隔离、抗干扰性更好。

3) 人机接口级对外采用了工业以太网接口, 可独立处理数据记录、诊断、通讯与转储等工作, 功能大为丰富, 使得系统真正具备实现信息化的数字基础。

3.5 系统信息化

以往交直电力机车 DC 600V 列车供电系统受制于当时的技术水平, 只能通过 RS485 通讯向机车显示屏传送输出电压、输出电流和三四条故障信息, 对外输出的信息量非常少。而在 SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统中, 一方面通过电压传感器、电流传感器和开关辅助节点等实时采集了系统状态信息, 另一方面还根据特定条件和算法判断、生成了二十多种系统故障信息, 在升级了机车显示屏程序之后上可全部显示出来, 对外输出的信息包含以下几个方面:

1) 模拟量信息: 列车供电系统三相交流输出电压、三相交流输出电流和单相交流输入电压等。

2) 数字量信息: 列车供电系统内输入端接触器、充电接触器、输出端接触器等开关状态信号。

3) 故障信息: 具备模块级的故障自诊断功能以及完善的变流故障诊断和保护功能。列车供电系统发生异常情况时对外输出的故障信息, 包括模块内 IGBT 芯片故障、三相交流输出过压/过流、三相不平衡等。

另外 AC 380V 列车供电系统通过内置的人机级接口、高速数据通道和外部配套的专用地面分析软件, 可实时显示列供输出电压、输出电流等波形图、可更加直观地了解系统运行状态。系统内采用了大容量、高速存储芯片进行故障记录, 详细故障记录高达 100 条, 故障清单列表超过 1000 条, 可完全覆盖到机车长交路运行的周期。

SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统对外输出

的信息量大大增加,对外输出的手段也更加灵活、方便,有利于促进机车信息化,提高维护检修的效率,极大地方便了司机和检修人员。

3.6 柜体结构优化

SS9 电力机车 AC 380V 列车供电系统由两组完全相同的列车供电柜和滤波柜组成。

列车供电柜采用模块化设计的思想进行设计,总体结构非常紧凑,按功能划分为 5 个部分:

1) 变流器部分,主要是一个集成了不控整流及 IGBT 逆变的变流器模块。

2) 供电控制单元,包括了 DCU 机箱、滤波器和电源分配模块等。

3) 高压电器部分,主要包含主接触器、充电接触器、充放电电阻和电流、电压传感器等高压器件。

4) 支撑电容器部分,包括 3 个 IGBT 模块连接的支撑电容器。

5) 冷却室部分,由 IGBT 模块的翅片散热器、离心风机和风道组成。

列车供电滤波柜的总体结构按功能划分为两个部分:

1) 冷却室部分,包括滤波变压器、斜流风机、三相滤波电容和风道等,冷却风由柜体顶部吸入冷却室,经过滤波变压器后,由柜体底部吹出。

2) 滤波室部分,包括输出接触器和 EMI 滤波器等。滤波电容器实现滤波功能,输出接触器控制三相 AC 380V 电源输出。

系统涉及的各部件采用模块化、标准化设计的方式,产品可利用通用工具进行维护,安装、拆卸非常简便。

3.7 物料选型成熟化

综合考虑使用物料的要害,如现场不良率、年失效率、安规、寿命、标准件、物料供应商的历史表现等,并结合和谐机车 DC 600V 列供和辅助变流器的成功应用经验,AC 380V 列车供电系统优先选用经过实践证明质量稳定、可靠性高、有发展前途且供应渠道可靠、技术与商务支持强、交货及时的优选物料,充分保证产品所使用物料的质量,从而有效提高整个 AC 380V 列车供电系统的可靠性。

4 结论

加装了 AC 380V 列车供电系统的 SS9 电力机车

和 AC 380V 供电客车在长春、大连进行了多次联调联试,虽然在编组试验过程中发现了客车负载启动冲击电流大、运行过程中偶然出现三相不平衡等问题,但都已经通过优化列供系统参数得到有效解决,供电品质经现场测试完全满足设计要求和现场运用要求,供电电源能满足最大编组 18 辆列车直供电的需求。

加装了 AC 380V 列车供电系统的 SS9 电力机车已在沈阳铁路局小批量投入使用,从 2015 年 5 月起负责担当长春—北京(Z63/Z64)、大连—北京(Z79/Z82 Z81/Z80)两对 AC 380V 供电制式旅客列车的牵引和供电任务,其性能日臻完善并得到验证。

随着电气化铁路逐步扩展和电力机车变流技术的重大进步,传统的 AC 380V 客车仍然依靠柴油发电机组供电已不能满足形势发展的需要,而存量的 AC 380V 客车统一升级为 DC 600V 客车需要加装车下电源、客车电气控制柜、镍镉碱性电池、大量更换车体布线等,客车改造存在成本大、费用高、周期长等问题。

而在电力机车上加装 AC 380V 列车供电系统,直接向客车提供 AC 380V 电源,再辅以客车的配套改造,具备免维护、独立性强、编组灵活、高效率、无污染、低噪声等优点,而且该总体方案的解决成本较低,在运用、成本和技术三者之间取得了较好的平衡,因此具有广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 余卫斌.韶山 9 型电力机车[M].北京:中国铁道出版社,2005:110-117.
- [2] 徐林云.DC 600V 列车供电系统[J].铁道车辆,2001,39(3):13-16.
- [3] 康惊涛.机车 DC 600V 供电系统存在的问题及改进[Z].2004:70-72.
- [4] 王小方,贺文,李小平,等.电力机车 DC 600V 供电系统的改进[J].机车电传动,2004(4):41-44.
- [5] TB/T 3063—2011.旅客列车 DC 600V 供电系统技术要求及试验[S].

作者简介

邹士涛(1985-),男,山东菏泽市人,大学,工程师,主要从事铁路机车运营、维护及技术升级工作。