

研  
究  
开  
发几种主要的“和谐”型电力机车  
主变流器主电路对比

秦方方, 李 华, 李 鹏

(株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 秦方方(1983-), 男, 工程师, 主要从事轨道交通车辆主变流器的研发工作。

**摘要:** 主要介绍了HXD1、HXD1B、HXD1C、HXD2、HXD3型电力机车主变流器主电路的差异, 通过对以上车型主变流器主电路进行研究, 讨论分析它们的优缺点, 提出推荐主电路, 对以后主变流器的主电路设计及优化提出合理建议。

**关键词:** 电力机车; 主电路; 主变流器; 对比; 推荐电路

中图分类号: U264.3\*7; U264.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-128X(2012)05-0043-04

## Converter Power Circuits Comparison of HXD Locomotives

QIN Fang-fang, LI Hua, LI Peng

(Technology Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

**Abstract:** Differences of power circuits were introduced by comparing traction converters installed on HXD1, HXD1B, HXD1C, HXD2, HXD3 electric locomotives. Advantages and disadvantages of them were discussed and a recommended power circuit was provided. Finally, reasonable suggestions were proposed to optimize the design of the power circuit.

**Key words:** electric locomotive; power circuit; traction converter; comparison; recommended power circuit

## 0 引言

目前我国干线铁路上所运用的交直交电力机车主要有HXD1、HXD1B、HXD1C、HXD2、HXD2B、HXD3、HXD3B等型电力机车。以上机车的主变流器来自不同的厂家, 其主电路结构各有特色。本文将对上述几种型号电力机车的主变流器主电路进行对比分析。

## 1 主变流器器介绍

HXD1是由2节完全相同的4轴电力机车通过固定重联方式构成的8轴重载货运电力机车, 机车功率为 $2 \times 4\,800\text{ kW}$ 。其主变流器主电路如图1所示, 通过2个

四象限并联向中间直流环节供电, 1个VVVF逆变器向1个转向架的2台异步电机供电(架控)。辅助逆变器集成在主变流器中, 与主变流器共用中间直流环节。每个辅助逆变器通过一台变压器和滤波电容对输出电压进行变压和滤波后, 提供正弦三相交流电源。

HXD1B型电力机车轴式为 $C_0 - C_0$ , 单轴功率为 $1\,600\text{ kW}$ 。主变流器主电路如图2所示, 通过2个四象限并联向中间直流环节供电, 3个VVVF逆变器向1个转向架的3台异步电机供电(轴控)。当任意一个主电路单元出现故障时, 可以通过电动隔离开关将其隔离, 从而将故障造成的影响降低到最低。辅助逆变器与主变流器共用中间直流环节, 每个辅助逆变器通过1台变压

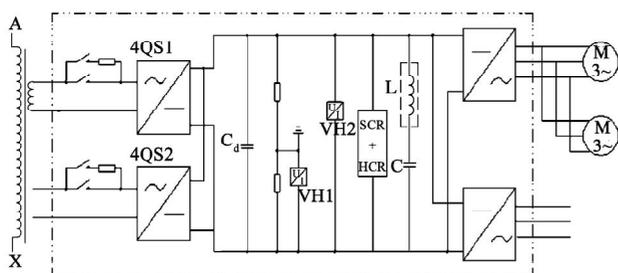


图1 HXD1主变流器主电路型式

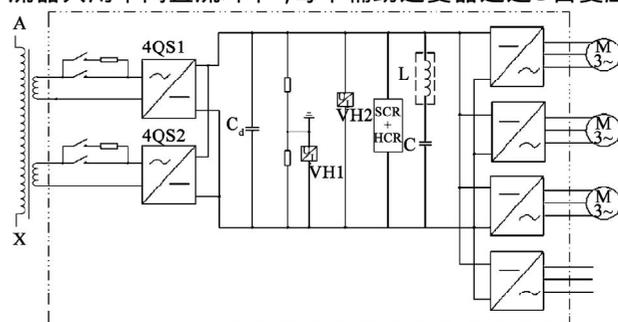


图2 HXD1B主变流器主电路型式

收稿日期: 2012-02-13

器和滤波电容对输出电压进行变压和滤波后,提供正弦三相交流电源。

HXD2型电力机车为8轴大功率交流传动货运机车,机车功率为10 000 kW。主变流器主电路如图3所示,每节机车配置4套功能和结构完全相同的变流器装置,分别放置在2台主变流器柜内。每套装置由1个四象限整流器、中间直流环节和1个三相VVVF逆变器组成,驱动1台异步电机(轴控)辅助变流器从主变流器的第2轴(或第4轴)中间直流环节取电,单节机车有2组辅助变流器装置(冗余设计),一组为变压变频输出,另一组为恒压恒频输出。当其中任意一组故障时,另一组为所有的辅助负载提供电源,确保不影响机车的正常运行。

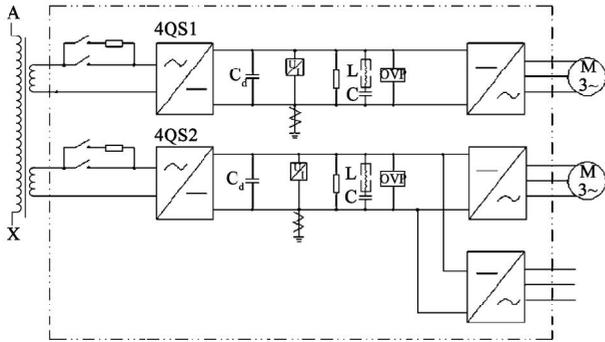


图3 HXD2主变流器主电路型式(一架)

HXD3型机车是6轴大功率交流传动电力机车系列化产品,机车功率为7 200 kW。主变流器主电路如图4所示,机车配置6套功能和结构完全相同的主变流器装置,分别放置在2台主变流器柜内,每组电路由1个二点式单相四象限整流器、中间直流环节和1个二点式VVVF逆变器组成,使用6台1 200 kW交流牵引电动机。

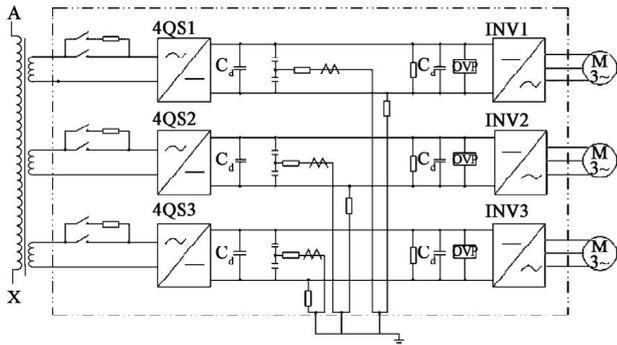


图4 HXD3主变流器主电路型式

HXD1C型电力机车为大功率交流传动6轴货运电力机车,机车功率为7 200 kW。主变流器主电路如图5所示,每台机车配置2个主变流器,每个主变流器向1个转向架的3台牵引电机供电。每个主变流器通过三重四象限向1个独立的中间直流环节供电。3个VVVF逆变器向每个转向架的3台异步电机供电。3个主电路单元的直流环节通过隔离开关并在一起,正常工作时隔离开关闭合。3个单元共用直流环节和二次谐波电路,当其中任意一个主电路单元发生故障时,断开相应的隔

离开关和充电短接开关,将该故障单元切除,其余2个单元正常工作,整台机车只损失1/6的动力,从而将故障造成的影响降至最低。

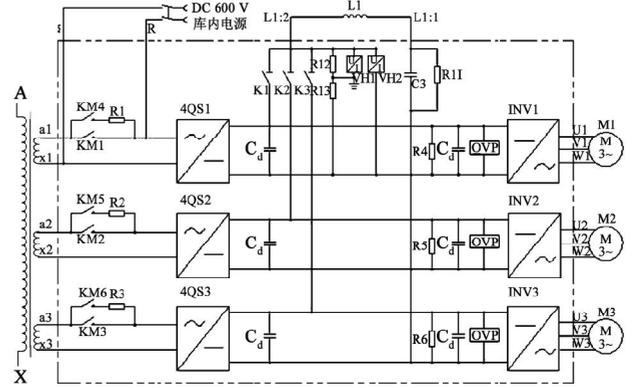


图5 HXD1C主变流器主电路型式

## 2 主变流器主电路比较

“和谐”型电力机车的技术参数见表1。从表1可看出,“和谐”型电力机车都采用二电平PWM整流器+VVVF逆变器形式。各型机车最大的不同点在于中间直流环节上的差异。HXD1、HXD1B和HXD1C采用中间直流环节并联,共用中间直流环节和二次谐振电路;HXD2、HXD3型变流器主电路中间直流环节完全独立,HXD3则取消了二次谐振电路,通过控制策略来消除二次纹波电压的影响,相对于其他车型的主电路则显得更加简洁。下面对于各个车型之间的差异做进一步比较。

### 2.1 中间直流环节差异比较

通过表1可以看出,HXD1型和HXD1B型电力机车主变流器都是采用两重四象限整流器并联共用1个中间直流环节,而HXD1C型电力机车主电路则采用三重四象限整流器并联共用中间直流环节。无论是两重四象限并联还是三重四象限并联使用,其主要的目的就是达到最大的资源共享,如共享二次谐振电路、接地检测电路、固定放电电路等。

HXD2和HXD3型机车采用中间直流环节完全独立式设计,单个四象限和单个逆变器组成完全独立的供电单元,每一个独立的单元中都拥有独立的接地检测电路及固定放电电路。

对于中间直流环节,首先推荐中间直流环节完全独立,这样在以后的使用及故障排查过程中比较方便,一旦发生故障后可以方便地进行故障隔离。但是如果变流器的主电路采用主辅一体化设计,建议使用中间直流环节并联,这样并联的四象限可以共同分担辅助变流器所需的能量。另外如需考虑降低成本,压缩体积的话,可以将中间直流环节并联。

### 2.2 二次谐振电路差异比较

如图6,由于应用了四象限脉冲整流的交直交变流器,直流输出存在一个2倍电网频率的谐波(简称二次谐波),该谐波可以由电抗与电容串联组成二次谐振滤

表 1 几种主要交流传动电力机车技术参数对比

项目	公司及机车型号				
	西门子		东芝	阿尔斯通	时代电气
	HXd1	HXd1B	HXd3	HXd2	HXd1C
用户	中国	中国	中国	中国	中国
机车功率/kW	2 × 4 800	9 600	7 200	2 × 5 000	7 200
单轴功率/kW	1 200	1 600	1 200	1 250	1 200
主变流器中间直流环节电压/V	DC 1 800	DC 3 600	DC 2 800	DC 1 800	DC 1 800
开关器件	IGBT 3.3 kV	IGBT 6.5 kV	IGBT 4.5 kV	IGBT 3.3 kV	IGBT 3.3 kV
二次滤波环节	有	有	无	有	有
主辅一体化	是	是	否	是	否
中间直流环节形式	两重四象限 共用中间直 流环节	两重四象限 共用中间直 流环节	中间直流环 节完全独立	中间直流环 节完全独立	三重四象限 共用中间直 流环节
二次滤波环节	有	有	无	有	有
控制方式	架控	轴控	轴控	轴控	轴控

波电路来消除。目前HXD1电力机车、HXD1B电力机车、HXD1C电力机车、HXD2电力机车变流器主电路都使用二次谐振滤波电路。在中间电压波动范围允许的条件下也可不加该电路,不加该电路时可通过增加支撑电容器电容值的方法来抑制纹波电压幅值或者通过优化逆变器的控制策略来减少中间电压纹波对逆变器输出的影响,如CRH2动车组、CRH5动车组的变流器主电路中都无二次谐振电路<sup>[1]</sup>。

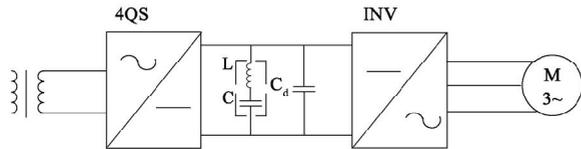


图 6 带 LC 二次谐振电路的交直交牵引主电路拓扑图

HXD3 电力机车主电路则无二次谐振电路(如图 6 所示,将虚线框中的 LC 电路取消),通过控制策略来消除二次纹波电压的影响。相比其他车型系统,其主电路则更加简洁,成本也有所降低。目前国内也在积极开展无二次谐振电路的研究,但一直未在具体车型上使用。

目前的欧洲车型多采用二次谐振电路来抑制二次谐波,但因其所需要的 LC 器件占用空间较大,且参数配对困难等问题,所以在以后的机车变流器当中,应该首先考虑通过控制策略来消除二次谐波,使整个电路更加简洁实用,且可降低整个变流器的成本。

### 2.3 接地检测电路差异比较

“和谐”型电力机车目前主要采用的接地方式大致可分为 2 类:电压法和电流法。HXD1、HXD1B 和 HXD1C 电力机车采用电压对比法进行接地故障检测, HXD2 和 HXD3 则采用电流对比法进行接地故障检测。

图 7 所示为 HXD1 接地故障检测原理图,正常情况下检测到的电压  $u_{g1}$  为:

$$u_{g1} = U_d \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

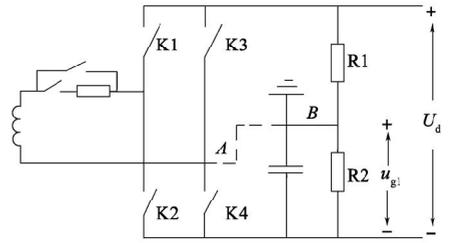


图 7 HXD1 变流器接地检测原理

实际变流器中的  $R_1 = 3 \times R_2$ , 当  $u_{g1}$  超过正常值的 30% 就认为出现接地故障。

如图 8 所示为 HXD2 接地故障检测原理图,当接地故障发生时,电流

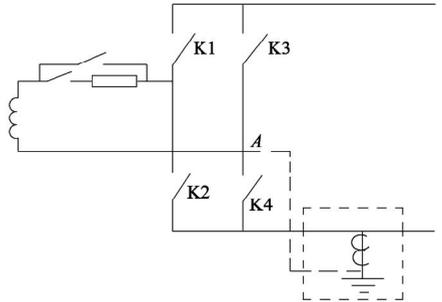


图 8 HXD2 变流器接地检测原理图

传感器检测到电流即进行保护。但是如果是在保护延迟时间上控制不够好则有可能导致变流器烧损。

正常情况下 HXD3 的接地检测电路中的接地检测电流传感器检测

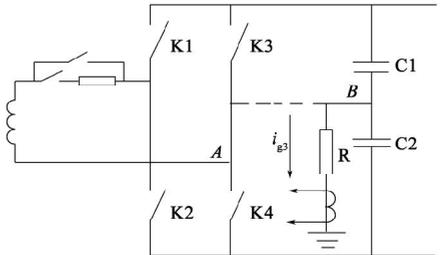


图 9 HXD3 变流器接地检测原理图

到的电流为 0,当发生接地故障时,接地电流大于 10 A 以上且持续时间超过 1 ms,则进行接地保护动作。

HXD1 和 HXD3 机车的 2 种接地电路检测方式,都能够很好地对整个变流器的接地故障进行检测,如:牵引绕组接地、中间直流环节正接地、中间直流环节负接地、牵引电机接地等。但 HXD2 变流器如出现直流环节负线接地时,会造成 2 点接地,极易损坏变流器,建议在现有的接地检测电路中串入电阻以避免 2 点接地现象出现<sup>[2]</sup>。

通过以上比较,认为电压法更容易判断具体的接地点,通过硬件设置及软件判断,对不同位置的接地波形进行比较,在接地故障判断上更加准确。

### 2.4 直流环节保护电路差异比较

HXD1 及 HXD1B 机车直流保护采取的是硬短路放电装置(HCB)+软短路放电装置(SCB)如图 10 所示。

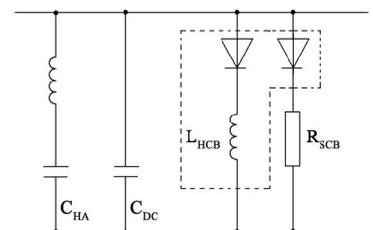


图 10 HCB+SCB 直流保护电路

硬短路放电装置由1个晶闸管和1个电感组成,当IGBT发生短路时,迅速地将直流支撑电容器上的能量进行泄放,以避免大电流振荡造成对其他器件的损坏。软短路放电装置由1个晶闸管串联1个1.3Ω电阻组成,当直流环节电压过压时,触发软短路放电装置。

其他车型的直流保护电路基本都是IGBT直流斩波保护电路,如图11所示。

该电路主要由1个IGBT串联1个电阻组成,当中间直流电压过压或直流环节出现异常时,触发IGBT将中间直流环节中的能量进行泄放,以保护其他器件不受损伤。

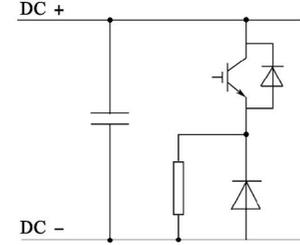


图 11 IGBT 直流斩波保护电路

以上2种型式直流保护电路均能在直流环节出现异常时进行保护,在设计变流器时,可以根据需要进行合理选用。

### 3 主变流器主电路推荐

综合以上比较,几种变流器各有优缺点,如果可以将几家变流器的优点进行配合,则会使整个系统更加可靠实用,且能降低成本。图12为推荐变流器的主电路图,其由3个独立电路组成,每一路拥有独立的充放电电路、中间直流环节、过压斩波电路、接地检测电路等。3个电路的主电路及控制电路相对独立,分别为3台牵引电机供电。

推荐主电路的主要特点有:

- 三路主电路完全独立;
- 无LC谐振回路,通过控制策略来消除二次滤波

电压的影响;

接地检测电路采用电压法检测方式,并能通过软件判断从而对接地故障进行准确定位。

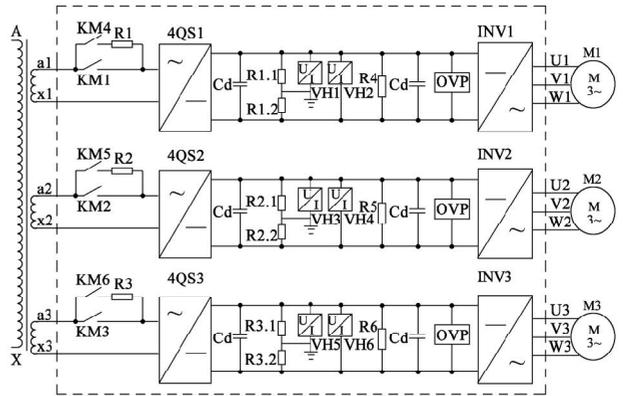


图 12 推荐主变流器主电路图

### 4 结语

变流器主电路的选择应根据机车的功率等级、可靠性要求、控制性能及经济性要求进行综合考虑。选择一种合理的主电路结构是主变流器成功设计的关键要素之一,而本论文正好为主电路的构造提供了理论依据与实践经验,对后续主变流器的改进设计有一定的借鉴作用。

### 参考文献:

- [1] 陈燕平,李中浩,忻力. 牵引变流器中支撑电容器研究[J] 铁道机车车辆,2011,31(2)
- [2] 李伟,郭晓燕,张波. “和谐”系列电力机车传动系统接地检测比较[J] 机车电传动,2010(6)

(上接第29页)

### 6 结语

南车资阳机车有限公司研制的SDA<sub>1</sub>型机车于2011年10月初组装完毕,11月公司委托株洲变流技术国家工程研究中心实验中心电磁兼容性实验室依据EN50121-3-1《铁路设施-电磁兼容性-第3-1部分:车辆-列车和配套车辆》和EN50121-3-2《铁路应用-电磁兼容性-第3-2部分:铁路车辆-设备》对机车进行整车电磁兼容测试,其结果完全满足澳大利亚的要求。2011年11月,按照《SDA<sub>1</sub>型交流传动内燃机车粘着试验大纲》对机车进行粘着性能试验,启动粘着系数达到0.457,持续粘着系数达到0.396,完全满足澳大利亚提出的机车牵引力要求。2011年12月24日,机车经过澳

大利亚用户的验收签字认可并发运出厂,在澳大利亚阿德莱德完成了补油系统调试试验、列尾装置(EOT)通信试验、与SCT现有机车的重联试验,其结果均符合设计要求,满足机车正常运行条件。

截至2012年5月,机车已在澳大利亚使用了近3个月,运行了2万多公里,运用状况良好,能满足澳洲用户的行车需要,为今后机车出口海外发达国家尤其是澳洲国家起到了很好的示范作用。

### 参考文献:

- [1] 株洲变流技术国家工程研究中心试验中心. 澳大利亚内燃机车电磁兼容检验报告[R] 株洲:株洲变流技术国家工程研究中心试验中心,2011.