

研
究
开
发

一种混合动力内燃机车控制方法

李小文

(株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)



摘 要:介绍了一种基于柴油机和动力蓄电池组的混合动力内燃机车控制方法以及混合动力内燃机车电传动系统构成,然后就机车工况控制、蓄电池控制、功率匹配、制动能量回收等方面进行说明,并提出相应控制方法和控制策略。

关键词:混合动力;内燃机车;控制方法;电传动

中图分类号:U262.33*3

文献标识码:A

文章编号:1000-128X(2012)02-0015-03

作者简介:李小文(1984-),男,工程师,从事机车控制软件开发工作。

Hybrid Diesel Locomotive Control Method

LI Xiao-wen

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

Abstract: The control method of hybrid diesel locomotive based on diesel and battery and the composition of hybrid diesel locomotive electric drive system was introduced, and the locomotive states control, battery control, power matching, braking energy recovery were declared, corresponding control method of which was proposed.

Key words: hybrid; diesel locomotive; control method; electric drive

0 引言

列车的调车作业通常由内燃调车机车来完成。调车机车具有工况和手柄级位转换频繁、作业距离短,负载变化大、运行速度低的特点,且在调车作业间歇期间柴油机不能停机,因此存在柴油机空转期间不能有效利用燃料,在低负荷区效率较低,废气排放和噪声污染大的缺点。

在此背景下,南车资阳机车有限公司联合株洲南车时代电气股份有限公司开发了国内首台混合动力内燃机车以代替传统的内燃调车机车。混合动力内燃机车控制方法适用于内燃调车机车作业特点,能达到明显的节能减排效果,有利于降低污染,经济效益和社会效益良好。混合动力技术符合国家节能减排的绿色环保要求,是建设低碳社会的高新技术,反映了我国轨道牵引动力发展的新方向。

1 机车电传动系统

混合动力内燃机车动力系统是由柴油机发电机组

和动力蓄电池组供电2种技术互相组合而成的。就其功能而言,至少要包含一种辅助措施。对于混合动力内燃机车,也意味着有一种功能上的冗余,既可以单独应用柴油发电机组,也可以只应用动力蓄电池组;除了其功能作用外,对提高动力装置的效率也有重大作用。

混合动力内燃机车电传动牵引系统采用由柴油发电机组、动力蓄电池组、牵引变流器及异步牵引电动机构成的交流传动系统(见图1)。机车采用轴控方式,共装有4台牵引电动机,每台牵引电动机与主变流器模块一一对应进行电气连接,并独立控制。机车网络控制系统包括微机控制装置(LCS32)、传动控制单元(DCU)、蓄电池管理系统、辅变控制器、显示器等,系统完成机车全部状态监视、诊断和控制功能。

机车采用株洲南车时代电气股份有限公司自主研发的DTECS网络控制系统,各个控制单元与TCN网关之间采用多功能车辆总线(MVB)连接。机车内各关键部件的协调工作和信息交换通过MVB、RS485和CAN等通信方式实现。

机车动力由柴油机和动力蓄电池组联合提供。柴油机装车功率300 kW,动力蓄电池组容量180 A·h。机

收稿日期:2011-11-01;收修稿日期:2011-12-13

车最大牵引输出功率410 kW,其中柴油机或蓄电池组单独牵引最大输出功率205 kW。

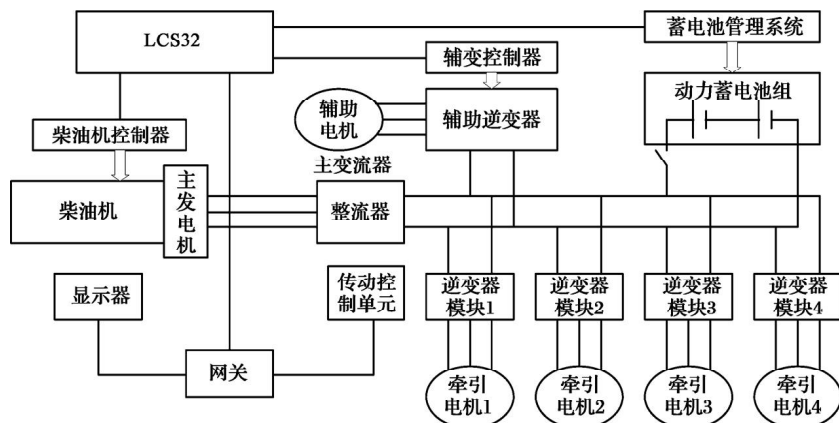


图1 混合动力内燃机车电传动系统框图

2 机车工况控制

2.1 机车工况设置

混合动力内燃机车运行工况设置为惰转、蓄电池充电、柴油机牵引、混合牵引、蓄电池牵引、制动6种。工况逻辑判断如表1。

表1 机车工况判断

机车控制 开关	蓄电池 投入开关	能量回收 开关	柴油机转 速/ $r \cdot \min^{-1}$	手柄位置 (0-16)	机车 工况
0	0	0	/	/	惰转
1	1	0	>500	0	蓄电池充电
1	0	0	>500	1-16	柴油机牵引
1	1	0	0	1-16	蓄电池牵引
1	1	0	>500	1-16	混合牵引
1	1	1	/	0	制动

表中‘0’表示开关未闭合,‘1’表示开关闭合,‘/’表示任意状态。机车工况由微机控制装置采集表1中所述各机车状态信息判断,并将机车工况信息实时传递至传动控制单元、辅变控制器。

混合动力内燃机车通过对动力蓄电池组和柴油机的控制,对机车工况进行自适应控制,以最大限度使用动力蓄电池组清洁能源,同时延长蓄电池使用寿命。机车牵引时工况转换采用以下控制策略:①柴油机实行自动启停控制,使机车尽量运行在蓄电池牵引工况。即机车状态满足时,由混合牵引、柴油机牵引转为蓄电池牵引。②动力蓄电池组实行自动保护切除。当动力蓄电池组不允许投入使用时,工况由蓄电池牵引转为由柴油机牵引。③机车牵引负载增大时,柴油机或蓄电池无法单独提供牵引所需能量,工况由蓄电池牵引或柴油机牵引转为混合牵引。④由牵引转为停车时,机车运行在制动工况。此时,机车牵引动能转换为电能反馈到动力蓄电池。

2.2 柴油机自动启停控制

微机控制装置输出4~20 mA电流信号到柴油机电喷控制器控制柴油机转速。为使柴油机工作在最佳油

耗区有最高效能,柴油机转速固定。动力蓄电池组投入后,当负载小时,柴油机给蓄电池充电;负载大时,柴油机补充不足能量。

为使柴油机运转时间尽可能短,充分使用动力蓄电池组,在动力蓄电池组投入工作的情况下实施柴油机的自动启停控制;如动力蓄电池组未投入,可由司机手动启停。具体方法如下:①手柄7位及以上(机车负载大),蓄电池容量小于60%,柴油机自动启机。当蓄电池容量达到85%以上时,柴油机自动停机。②手柄1-6位,蓄电池容量小于40%,柴油机自动启机;当蓄电池容量达到85%以上时,柴油机自动停机。③手柄0位,蓄电池充电

工况下,蓄电池容量大于95%,柴油机自动停机。

机车牵引时,动力蓄电池组SOC(state of capacity, 蓄电池组剩余容量)工作范围为40%~85%。实施柴油机自动启停控制,可以使机车最大限度使用动力蓄电池组的清洁能源,减少柴油机废气和噪声造成的环境污染。

2.3 动力蓄电池组控制

根据动力蓄电池组特性,混合动力机车充电电流限制在1C(180 A)以内,放电电流限制在1.67C(300 A)以内。

蓄电池管理系统将蓄电池组剩余容量(SOC)、蓄电池组允许充/放电电流及单体电池电压等动力蓄电池组状态信息通过CAN总线传送给微机控制装置。微机控制装置控制动力蓄电池组电流不过充、不过放,具体如下:①蓄电池充电工况,当动力蓄电池组报单体电压过高故障时,调节主发电机励磁电流、主发电机输出功率,控制充电电流,使动力蓄电池组不过充。②机车牵引工况,当动力蓄电池组容量低于40%、放电电流大于300 A或单体电压过低时,线性减小牵引功率输出,避免动力蓄电池组过放。③动力蓄电池组投入工作时,检测单体蓄电池最高/最低温度。当温度达到保护值时,切除动力蓄电池组。

此外蓄电池可夜间充电,当机车调车作业完成回库时即可进行。由蓄电池管理系统控制地面充电机将220 V市电调压逆变为直流电作为充电电源,采用恒流充电模式(60 A)。当充电完成时,自动切除蓄电池组。此措施可有效保证蓄电池使用时间和寿命,降低碳排放。

3 机车功率控制

3.1 主发电机功率控制

微机控制装置采用增量式闭环PID调节器输出PWM(脉宽调制)信号调节主发电机励磁机励磁电流,控制主发电机输出功率。不同工况下,需选择不同的

控制变量及参数以满足系统功率需求。

1) 蓄电池充电工况

蓄电池充电工况,由柴油机提供蓄电池充电及辅助系统所需能量。微机控制装置根据蓄电池管理系统给定允许充电电流调节励磁电流,控制主发电机输出功率,使动力蓄电池组恒流充电(一般情况下为 $1/3 C$, $1C$ 为 $180 A$),如图2所示。

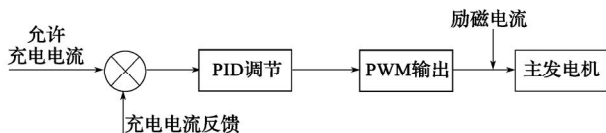


图2 蓄电池充电功率调节

由于柴油机发电机组为大惯性系统,功率输出响应比较慢。在工况切换为蓄电池充电时,为使动力蓄电池组快速进入充电状态,需给定预励磁。

2) 柴油机牵引工况

柴油机牵引工况,蓄电池组未投入工作,机车运行所需能量全部由柴油机发电机组提供。微机控制装置通过手柄位置确定中间电压给定值,根据中间电压反馈值,调节励磁电流控制主发电机输出功率,如图3所示。

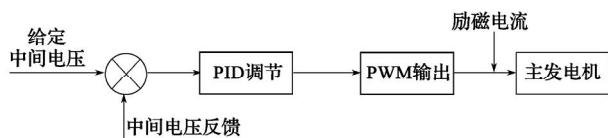


图3 柴油机牵引功率调节

3) 混合牵引工况

混合牵引工况,柴油机和动力蓄电池组都投入工作,中间电压值为动力蓄电池组电压值。微机控制装置通过手柄位置确定主发电机输出功率给定值,根据功率反馈调节励磁电流控制主发电机输出功率,如图4所示。

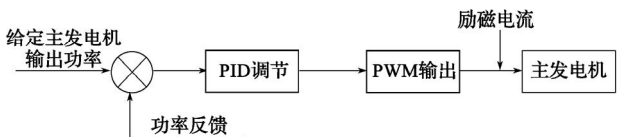


图4 混合牵引功率调节

3.2 功率匹配

混合动力内燃机车控制现有的技术有2种:

第1种为中、低等混合度下的控制。中等混合度的能量配比是现在国际上的最常见的配比形式,无论是从机车的使用稳定性还是从安全性角度来说,都具有较大优势。选择小功率的柴油发电机组与高容量蓄电池结合,柴油机既可以作为动力输出也可向蓄电池充电,蓄电池既可以在柴油机动力不足时补充动力,也可以单独作为动力输出源。

第2种为高混合度下的控制。高混合度能量配比的混合动力机车,蓄电池的容量加大后,柴油机在机车正常作业情况下,将不再对机车进行动力输出,其主要作用变为专门为蓄电池充电。高混合度的配比将采

用蓄电池优先的控制策略,柴油机一旦启动充电,就必然被控制在最佳经济转速范围内工作。

而普通调车机车的作业主要由调车工况和小运转工况组成。调车工况下频繁后停、制动,对机车的启动牵引力要求较高,对持续牵引力的要求相对较低;而小运转工况下,机车处于长时间牵引状态下运行。调车机车一旦进行作业,常常会遇到这2种工况相互交替进行,交替时间可以是几分钟到几十分钟,甚至数小时不等。

根据以上混合动力的控制方式和调车机车作业的特点,调车作业工况下采用蓄电池优先提供动力的方式(高混合度下的控制方式,蓄电池牵引工况),配合再生制动能量回收系统,将使油电混合动力机车的节油性能发挥到最理想的状态,既能使柴油机使用时间压缩至最短,又能提供机车作业所需的动力。

小运转时则适合采用以柴油机优先提供动力(中、低混合度下的控制方式,混合牵引工况)的方式,既能优先满足机车牵引所需的能量,又能满足机车在长时间牵引过程中由于路况的改变而造成的所需能量的突变。

3.3 制动能量回收

制动工况下,微机控制装置检测到能量回收信号后,依据蓄电池的剩余容量、当前机车所需制动力和机车运行速度确定是否采取再生制动,当再生制动可以满足制动要求时,按照当前机车运行速度及制动缸压力计算得到制动力矩给定值。给主变流器传动控制单元发出能量回收指令和制动力矩给定值。

混合动力机车运行速度低、负载小、制动距离短、制动功率小。制动反馈能量在满足辅助系统工作后,再向动力蓄电池组充电,因此不会过充。为防止出现机车轮对抱死擦伤轮轨,制动力矩设置一个最大值。在机车速度降到 3 km/h 以下时,退出制动工况,以使机车平稳停车。

试验统计数据显示,制动回收能量达到牵引耗能10%以上。

3.4 辅助功率控制

机车辅助功率大部分消耗在牵引通风机。牵引通风机由辅变控制器变频控制。混合动力机车工况交变频繁,负载变化很大。而机车各部件发热是累计效应,通风需求并不能由实时中间电路电流反映。为满足机车通风需求同时降低辅助功率,采用以下控制方法:

①机车非惰转工况,每 10 s 取中间电路电流值,求 2 min 内平均值;根据中间电路电流对应风机转速曲线,控制牵引风机转速到相应转速。

②机车工况转为惰转时,牵引通风机运转在最低转速,延时 2 min 停止。

采用以上控制方法,在保证机车运用及设备安全的同时又极大降低了辅助系统消耗功率。

(下转第39页)

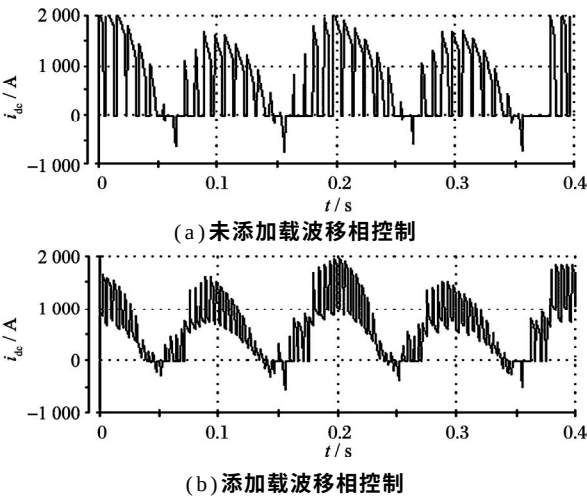


图 12 整流器输出电流 i_{dc} 局部波形放大图

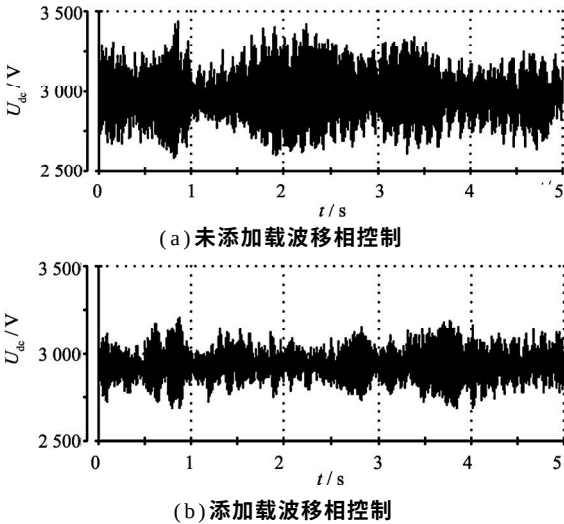


图 13 稳态运行时直流侧电压 U_{dc} 波形

5 结语

本文从理论上分析了中间直流侧支撑电容容量的计算方法、稳态运行时直流侧电压高次谐波的产生机理,并在此基础上重点分析了载波移相控制方法对直流侧脉动的影响。理论分析表明,采用载波移相技术能有效地抑制直流侧电压2倍开关频率处的纹波,减小

稳态运行时直流电压波动。仿真和半实物试验结果表明,该控制方法在纯阻性和“逆变器+电机”负载情况下均能减小控制系统中间直流环节的电压纹波含量,从而实现直流侧支撑电容的轻量化设计。

参考文献:

[1] 冯晓云. 电力牵引交流传动及其控制系统 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.

[2] Gu B G, Nam K. A DC-Link Capacitor Minimization Method Through Direct Capacitor Current Control [J]. IEEE Trans. Industry Applications, 2006, 42(2): 573-581.

[3] Nishida Y, Miyashita O, Haneyoshi T, Tomita H, Maeda A. A Predictive Instantaneous-Current PWM Controlled Rectifier with AC-Side Harmonic Current Reduction [J]. IEEE Trans. Industrial Electronics, 1997, 44(3): 337-343.

[4] Lee W C, Lee T K, Hyun D S. Comparison of Single-Sensor Current Control in the DC Link for Three-Phase Voltage-Source PWM Converters [J]. IEEE Trans. Industrial Electronics, 2001, 48(3): 491-505.

[5] Kamran F, Habetler T G. An Improved Deadbeat Rectifier Regulator Using a Neural Net Predictor [J]. IEEE Trans. Power Electronics, 1995, 10(4): 504-510.

[6] 宋文胜, 冯晓云, 刘志敏. 单相 PWM 整流器的特定谐波改善控制方法 [J]. 电气应用, 2008, 27(12): 45-48.

[7] 唐丽丽, 郑琼林. 单相 PWM 整流器主电路参数选择探讨 [J]. 北方交通大学学报, 2000, 24(4): 98-102.

[8] 汪万伟, 尹华杰, 管 霖. 双闭环矢量控制的电压型 PWM 整流器参数整定 [J]. 电工技术学报, 2010, 25(2): 67-79.

[9] 屈克庆, 靳 希, 董立骏, 张文斌. 基于载波移相技术的 PWM 多重化整流器 [J]. 上海电力学院学报, 2008, 24(3): 282-290.

[10] Shen J, Taufiq J A, Mansell A D. Analytical Solution to Harmonic Characteristics of Traction PWM Converters [J]. IEE Proc.-Electr. Power Applications, 1997, 144(2): 158-168.

[11] 高吉磊, 黄先进, 林 飞, 郑琼林. 基于重复观测器的 PWM 整流器无差拍控制 [J]. 电工技术学报, 2010, 25(6): 47-54.

[12] Wu R, Dewan S B, Slemon G R. Analysis of a PWM AC to DC Voltage Source Converter under the Predicted Current Control with a Fixed Switching Frequency [J]. IEEE Trans. Industry Applications, 1991, 27(4): 756-764.

(上接第17页)

4 结语

混合动力内燃机车控制是一个系统工程,在不同混合度下达到最佳节能环保效果是最终目标。机车功率匹配、动力蓄电池组控制、制动能量的有效回收对机车节能环保效果起着至关重要的作用,同时延长蓄电池使用寿命能有效降低使用成本。

本文所述控制方法已在资阳混合动力内燃机车上应用,并已成功考核了一年多,运用状态良好。统计数据显示,相对传统调车机车节油率达到20%~30%,碳

排放每年减少160 t。目前国内调车机车市场潜力很大,在“十二五”期间将有大约3 000台以上的需求,该技术有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 王选民, 张列平, 钱良国. 轨道混合动力机车: 中国, CN200710048774[P].

[2] 杨 颖. 城市轨道交通低碳技术应用研究 [J]. 机车电传动, 2010 (6): 1-6.

[3] Oostra J. 混合动力调车机车的技术和运用 [J]. 国外内燃机车, 2010 (4): 1-5.