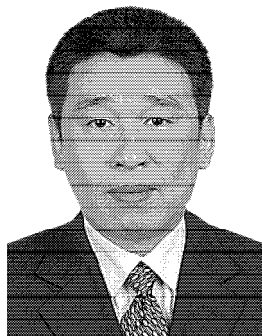


研
究
开
发

交直机车在低网压工况下的 动力协调控制方法研究

罗继光, 乔显华

(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: 罗继光(1977-), 男, 工程师, 主要从事电力机车传动控制系统的研究。

摘 要: 针对电气化铁路的部分供电网随着运量的不断增长, 其供电网压不断降低, 严重时已影响机车的正常运行的情况, 从优化机车牵引特性的角度提出了一种投资少、见效快的解决方案, 并详细阐述其具体实现原理与实施策略。

关键词: 交直机车; 低网压; 动力协调; 解决方案

中图分类号: U264.91

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2013)04-0015-03

Dynamic Compatibility Control Method Research for AC-DC Locomotive under Low-voltage Condition

LUO Ji-guang, QIAO Xian-hua

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

Abstract: With traffic increasing, voltage of some electrified railway's power-supply network was continuously reducing, which influenced locomotive normal operation. A little-cost and effective settling method was put forward from optimizing locomotive traction characteristics, implementation principle and scheme of which were introduced in detail.

Key words: AC-DC locomotive; low voltage; dynamic compatibility; settling method

0 引言

随着国民经济的快速发展, 铁路所承担的运输任务持续增长, 一些既有线路, 特别是长大坡道区段, 如南昆线的部分13‰坡度的区段, 设计时供电网容量偏小, 随着牵引负荷的不断增长, 目前大多处于超负荷运行状态, 供电网电压处于较低水平, 分相区末端网压甚至降至19 kV 以下, 低于电力机车的工作网压下限, 导致经常发生辅机烧损、被迫停车等系列问题, 严重影响了正常的铁路运行秩序^[1]。

1 解决方案

供电网电压过低, 一般是由于牵引负荷超出供电网设计容量所致, 针对这个问题, 有3种解决方案可以选择。

1.1 改善供电网的供电容量与品质

增大沿线牵引变电站的系统容量, 增设功率补偿

装置提高供电品质是解决此问题的最好方法, 但是这涉及到与电力系统相互配合, 改造牵引变电站, 投资非常巨大, 且改造周期长, 短期内很难奏效。

1.2 运用调度的特殊化管理

从机车运用方面考虑, 加强对特殊路段的机车调度, 限制同一桥臂下的机车数量, 并要求机车乘务员根据网压情况优化操作, 可以在一定程度上缓解供电网压力, 减少造成的损失, 但这样会形成运输瓶颈, 造成运输效率的大幅下降, 增加调度及行车工作的复杂度, 无法真正满足当前繁忙的运输任务需求。

1.3 优化机车牵引特性

对电力机车自身运行特性进行分析研究, 找出一种科学合理的控制策略, 使机车能根据供电网网压情况自动进行功率调节, 从而最大程度地减少甚至避免恶劣网压情况的发生。即当前供电臂下负荷超过既有容量(如有其他机车驶入等情况), 网压逐步降低时, 检测网压的变化, 结合线路情况以及机车工况, 确定保证机车顺利通过此区段的最小功率, 据此进行智能

卸载, 动态调节机车功率, 避免网压持续下降, 甚至能使网压得到有效的提升。

综上所述几种方案可以看出, 优化机车牵引特性的方案投资小、见效快, 且全通过机车的控制装置自动完成, 无需人工干预, 是既经济又方便快捷的解决办法。

2 方案实现

现以南昆线SS₇机车为例, 对其实现原理、控制策略和实现方式进行详细阐述。

2.1 控制原理及策略

机车牵引力计算公式:

$$F = 6 \times \frac{U \times I_a}{v} \eta_a \eta_z \quad (1)$$

端电压计算公式:

$$U = C_e \phi n + I_a \sum R \quad (2)$$

机车速度计算公式:

$$v = \frac{\pi D}{60i} n \times 10^{-3} \quad (3)$$

根据以上公式, 求得牵引力计算公式:

$$F = \frac{360i \cdot \eta_a \eta_z \cdot (C_e \phi n + I_a \sum R) \cdot I_a}{\pi D n \times 10^{-3}} \quad (4)$$

式中: U 为牵引电机端电压; I_a 为电枢电流; η_a 电机效率; η_z 为齿轮传动效率。

将式(4)简化:

$$F \approx K_1 \phi I_a + K_2 I_a^2 / n \quad (5)$$

式(5)中, 右边后项对于前项来说很小, 可以忽略不计, 则牵引力可以近似用下式计算:

$$F \approx K_1 \phi I_a \quad (6)$$

磁通 ϕ 由电枢电流 I_a 和 I_f 励磁电流共同决定, 参阅SS₇机车的电机特性可得知其磁化曲线。为了计算方便, 将磁化曲线近似等效成图1所示的折线示意图, AW 为磁通势。不同的 AW 值对应不同的磁通值^[2]。

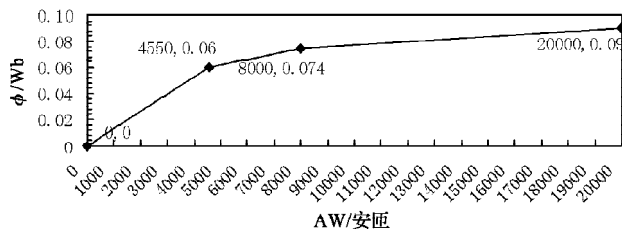


图1 近似磁化曲线

AW 计算公式为:

$$AW = 0.87 \times 4I_a + 32I_f \quad (7)$$

电枢电流 I_a 跟励磁电流 I_f 的关系为

$$I_f = \begin{cases} 32 \\ 0.227I_a \end{cases} \quad (8)$$

在机车运行过程中, 对励磁电流的调节是时刻变化的, 控制起来也较复杂, 受速度、电压等因素的变化

而变化。低中速区间, 励磁电流的调节按照 $0.227I_a$ 的比例关系跟随电枢电流; 速度较高时, 电机电压达到限压值, 开始弱磁调节, 随速度的增加励磁电流不断减小, 确保电机电流和电压恒定; 高速区当励磁电流减小到 $32A$ 时励磁电流维持不变。目前研究的低网压情况下的功率自动调节基本上机车处于低中速区间, 所以选择让机车牵引特性处于励磁电流跟电枢电流成比例变化阶段, AW 的计算公式即为:

$$AW = 145I_a \quad (9)$$

根据式(1)~式(9), 结合磁化曲线, 可求出牵引力跟电枢电流的关系:

$$F \propto KK_1 I_a^2 \quad (10)$$

其中 K 为分段系数项, 与磁化曲线的分段相关。

为了保证机车在某一坡度下顺利通过不造成坡停的最小牵引力称之为 F_{limr} , 这个值能通过阻力、牵引力相关经验公式来计算。

阻力的计算主要借助于通过RS485通信的方式从监控TAX箱获取相关数据, 主要有公里标、车次、总重等信息。根据监控的公里标信息可得到机车当前运行的坡度等信息, 根据坡度 i_x 和总载重 G 数据, 计算出列车的总阻力, 根据阻力来求近似的牵引力值。相关的计算公式如下:

$$\text{机车单位阻力: } w' = 1.4 + 0.0038v + 0.000348v^2 \quad (11)$$

$$\text{货车单位阻力: } w'' = 1.07 + 0.0011v + 0.000236v^2 \quad (12)$$

$$\text{总的阻力: } W = 0.0098 [(G_1 + G_2)i_x + G_1w' + G_2w''] \quad (13)$$

式中: i_x ——坡度; G_1 ——货车的总重; G_2 ——机车重量; v ——机车速度。

根据式(11)~式(13)可求得各种速度情况下机车在某坡道上的近似总阻力, 留有足够裕量后可得出机车以此速度通过此区段的最小牵引力 F_{limr} 。再由式(10)可得出对应的牵引限制电流值。

该方案的主要思路是通过阻力跟限制电流的关系来进行自适应的功率调整。机车实时检测供电网电压, 网压处于较低时, 电机电流按一定的速率减流, 减流量跟网压有关, 网压越低, 减载量越大, 减载量随网压的变化而变化。在减载过程中同时监控机车速度, 当检测到速度值接近限制阈值时(如30 km/h)停止减流, 并维持最小限制电流运行; 网压有所恢复时, 电流按一定的速率恢复, 逐渐恢复到正常工况时的电流值。

2.2 软硬件设计实现

机车控制装置中特性控制插件主要完成牵引、制动特性, 产生2个转向架控制的牵引、制动指令。原有的特性控制插件功能主要包括: ①牵引特性控制; ②制动特性控制; ③模拟量采集; ④LED指示; ⑤模拟量输出; ⑥空电联合; ⑦调制解调功能; ⑧自动过跨功能。

新特性控制插件将采用DSP+FPGA的开发模式,除保持原有特性控制插件的功能外还增加了智能减载、低网压报警、RS485通信功能。

如果网压在设定的允许范围内,系统根据实际情况进行正常的牵引、制动特性运算,不做减载处理;当网压降低时,根据不同的网压范围进行不同的减载处理,流程如图3所示。

设定速度下(根据坡度和区段限度决定)机车最小限制电流的计算流程如图4所示。

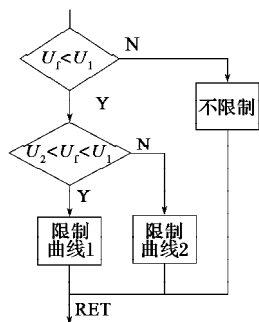


图3 智能减载控制流程图

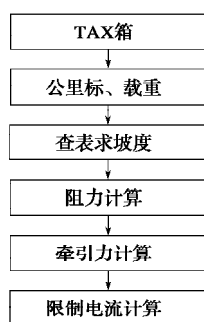


图4 限制电流计算流程图

3 试验验证

依据此方案设计的控制装置在南昆线南宁与百色区间进行了反复的试验,效果比较明显,运用情况良好,已经通过南宁铁路局的鉴定。试验过程中,比较具有代表性的试验数据见图5。

如图5, A点时由于桥臂下另一重载机车驶入,使得网压从25 kV开始急降,此时机车依据网压变化幅度从600 A逐步自动减载; B点降至200 A左右,网压不再下降,并稳步有所提升,机车速度由于减载而下滑; C

点35 km/h时为保障机车安全通过,电流回升到电流限制值,机车维持30 km/h左右运行安全通过该区段;到 D点时恢复正常网压,电流与速度逐步回升至正常运行值。

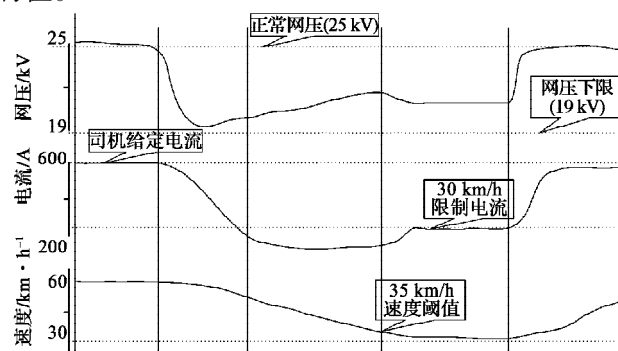


图5 某区段试验数据波形

4 结语

通过南昆线SS7机车的运用,证明这种控制思想是可行的。机车通过结合网压、线路情况在复杂的动态过程中找到机车运行的最佳牵引特性,保证同一桥臂下的机车都能安全通过供电网电压恶劣的区段,对解决低网压下机车运行状况有较好的效果,对国内许多类似的区段具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 武玉明, 张春燕. 牵引网电压过低的解决方案[J]. 电气化铁道, 2006(4).
- [2] 谢步明. 韶山7型电力机车[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998: 131-132.

(上接第8页)

