

电气化铁道节能技术探讨

魏晓鹏

(北京地铁运营有限公司调度指挥中心 北京 100070)

摘要: 电气化铁道节能技术是当前电气化铁道建设方面的重点环节。根据电力系统的运行情况, 电气化铁道节能应用需要关注两个方面的问题: 其一是要关注耗能情况, 通过根源性的能耗控制来实现节能目的; 其二是要针对应用终端的技术手段和使用材料, 来实现生态节能。

关键词: 电气化铁道; 节能技术; 变压器; 电流控制

0 引言

电气化铁道建设是我国高速铁路建设当中的重点项目。2004 年, 经国务院批准, 国家发展改革委、交通运输部、中国铁路总公司印发了《中长期铁路网规划》, 并分别于 2008 年和 2016 年进行了修编, 明确提出我国在铁道建设方面的主要目标和主要方向。截至 2021 年, 我国铁路运营总里程超过 15 万公里, 其中复线率水平达到 50%, 电气化率达到 60%, 电气化铁道成为当前我国铁路交通运输的核心。但是在高速铁路的快速发展过程中, 电气化铁道本身存在的高耗能问题逐渐成为社会关注的重点问题, 其中电气化铁道设施当中的牵引负荷等, 是造成电能污染、无功和谐波的主要因素, 电气化铁道建设节能技术的升级, 成为电气化铁道建设与发展创新的主要方向。

1 电气化铁道的基本情况

电气化铁道主要是指以电能作为牵引动力的轨道交通运输形式。在该运输形式当中, 电力系统主要由牵引变电所、牵引电网以及电力机车三个系统共同构成, 其中牵引变电所作为固定电力装置链接接触网, 电力机车通过点分享的方式与接触网接触来获取电力, 完成系统牵引。在现代化轨道交通建设当中, 电气化铁道是世界各国所采用的主要轨道交通技术方式, 从技术发展与创新角度来看, 电气化铁道本身在速度、运输体量以及综合效益等方面具有突出优势, 也是我国当前铁路交通建设发展的主要形式。不过由于电气化铁路本身对于电力资源的消耗所产生的影响也较为显著, 对于为其运行承担供电任务的沿线电网带来挑战更为严苛。我国目前电气化铁道正处于建设阶段, 存在中高速混跑现象, 其中交直交型电力牵引机车和交直型电力牵引机车混用的现象也时有发生。其中交直型电力牵引机车本身具有非线性的大功率单项多段整流负荷,

在电气化铁道中常常表现出无功或者谐波等耗能问题, 这些耗能问题的出现除了会导致电力能源的浪费外, 还会影响当地电网的正常运行, 因此需要进行针对电气化铁道的节能技术进行升级, 来保证电能能源控制, 避免能源浪费, 降低对周边所产生的不必要的影响。

2 电气化铁道耗能现状

2.1 电气化铁道的电力负荷状况

在电气化铁道实际运行当中, 主要的耗能大户为电力牵引系统, 其所导致的电力负荷问题最终会转化为较为严峻的电能能耗, 一方面会产生电能污染, 对公共电网的电能质量产生影响, 另一方面则会导致不必要的电能浪费。从近年来电气化铁道实际运行的情况来看, 电气化铁道牵引系统耗能中出现的负荷情况主要有以下几个方面的特征。

首先是电能负荷的波动性较大, 机车在牵引系统当中会出现随机波动现象, 进而会导致牵引电压出现随机波动; 其次是单项大功率的整流负荷情况较为严重, 且分布广泛, 其中牵引系统当中的变压器在公共电网中会变为牵引网亮相, 并连接两相机车负荷, 最终形成单相大功率的整流负荷; 其三是具有不对称特性, 在牵引网当中的两相牵引负荷会出现波动, 导致负荷不对称, 进而出现大量的负序分量; 其四是具有高压渗透性, 我国电气化铁道主要采用高压供电系统, 因此在牵引电网当中出现的谐波和无功问题会通过高压网络向其他电压等级进行渗透。

2.2 电气化铁道中的耗能问题

首先, 现代化的电气化铁道当中出现的最为显著的耗能问题为谐波电流问题。通常情况下, 谐波电流的出现对于整个铁道运行系统有着十分严重的影响。谐波电流在经过电力线路后, 会导致当前线路出现较为明显的谐波损耗, 受到损耗的影响, 电路会出现“电压降”现象, 进而导致整个电网的电压发生畸变。除此之外,

谐波电流问题造成的能源问题还体现在对同步发电机的附加损耗上。在谐波电流的影响当中,同步发电机会出现严重的附加损耗和发热情况,并伴随有附加震动以及过电压,最终导致电网内部各设备元件的使用寿命下降。

其次,电气化铁道当中的耗能问题还表现在无功功率上。在无功功率的影响下,电网会出现典型耗能问题。其一是伴随无功功率的增加,电网系统当中会出现电流显著增大的现象,进而导致电器设备以及系统当中的导线等器件出现严重损耗,从而引发更高的电压损耗。其二,随着无功功率存在时间的延长,电网系统当中的设备供电能力降低,此时如果出现无功功率的负载冲击性增加,便会引发电压的剧烈震荡,影响供电质量。

通过上述两个方面可以看到,当前电气化铁道建设当中,电网系统存在较为明显的耗能问题。能耗的增加除了对电力能源产生显著影响外,还在一定程度上加剧了电力设施的损耗,对铁道运行安全和稳定造成不容忽视的影响。在后续的技术升级当中,需要从节能控制和综合治理两个层面开展工作,双管齐下,保证电气化铁道的整体运行质量。

3 电气化铁道建设节能水平提升的策略

3.1 电气化铁道的能耗控制策略

在电气化铁道的节能技术升级过程当中,首先应当针对性地进行能耗情况的全面控制,借助技术升级手段,从根源上避免能耗问题,从而实现节能的效果。目前较为典型的能耗控制技术手段主要针对电网系统当中的电流情况展开,即通过对电流进行注入滞环控制、载波 PWM 控制等方式,来最大限度地进行电流管控,避免能源浪费。

其中滞环控制策略主要是通过补偿指令电流和实际输出电流之间进行做差,并将二者之间的差值作为输入信号,将其输入到具有滞环特性的比较器当中,利用比较器针对输出进行 PWM 控制信号的控制,实现对功率原件的通断的有效管控,最终实现对指令电流的调节。在实际的运行当中,补偿电流和输出电流之间的差值实际绝对值数据在比较器的环宽范围之内,则可以保持比较器始终处于输出状态,维持原本的数值,一旦差值的绝对值超过了环宽范围,比较器就需要进行输出反转,使补偿电流能够持续跟踪输出电流,控制电流差值在一定误差之内浮动。相比于一般的跟踪控制硬件电路,滞环控制方式具有实现简单、动态响应迅速、跟踪精度更高、对于参数的依赖情况更低、无需载波便能够实现稳定控制等优势特征,其中比较器的环宽数值越大,相应的系统在实际电流控制过程中的开关动作频率就越低,因此需要采用动态调整环宽数值的

方式来实现误差优化。

载波 PWM 调制方法在电气化铁道节能技术升级当中是另一种具有典型特征的电流控制策略,该技术主要应用于多电平逆变器当中,根据实际技术特征,可以分为移相载波调制、移幅载波调制两种形式。移相载波调制主要是针对三项正弦波信号进行信号调制,其中载波信号的频率、幅值两个部分都可以进行调节,在 N 电平逆变器当中,载波调制需要设置 $n-1$ 个三角载波,此处所有的三角载波都需要设置为相同的幅值和频率,保证任意两个相邻三角载波之间能够进行相位移动。在这种载波调制当中,能够通过比较的方式对可关断期间进行驱动信号触发,从而实现电流控制的目的。移幅载波调制在三角载波数量的设置方面与前者相同,但在实际的载波相位分布方面,则可以设置为同相层叠、相邻反相层叠、正负反相层叠等方式,利用载波垂直排列的方式来与调制波进行比较,最终产生电流控制信号。

除了以上两种电流控制方式之外,针对电气化铁道的电能能耗控制方式还有注入无差拍控制、直流侧电容电压控制等控制方法。在实际的电气化铁道的电能节能控制管理当中,电气系统需要根据实际情况,选择合适的控制方式来实现能耗管控。

3.2 分环节的节能设备应用

除了在根源层面进行耗能的有效管控之外,在应用层,电气化铁道还可以利用多种节能设施设备来进行终端节能。就目前的电气化铁道系统的运行构成来说,终端节能主要包括外部电源节能、牵引变电所节能以及接触网节能等多种节能方案。

在电源节能方面,目前电气化铁道系统当中主要针对 220kV 进行电源开发。该等级电源符合当前环境保护和节能减排的实际需求,在技术发展当中具有前瞻性特征。除了传统的火电能源之外,新能源也是近年来引起广泛关注的能源技术创新概念,合理利用新能源,将更多技术投入应用于风电、太阳能等能源的开发之上,通过与相关供电单位加强衔接管理,最终实现能源结构的改善,为清洁、节能的电气系统能源供应提供保障。

牵引变电所节能主要针对牵引变电所的变压器设备进行节能。目前电气化铁道电力机车当中所采用的仍然是传统的变压器设备,这类设备相对陈旧,在实际运行中能耗情况显著,其中空载损耗和负载损耗情况相对严重。在节能技术投入方面,主要针对变压器设备进行调整和创新,例如近年来我国自主研发的阻抗匹配平衡变压器——伍德桥变压器,在实际运行中能够起到负序平衡的实际效果,容量利用率能够达到 100%。在后

(下转第 112 页)

5 结语

汽车铝合金车身板材的应用对于现代汽车工艺而言有着非常积极的影响。所以,在现代汽车行业的发展中,应该持续创新铝合金车身板材的工艺研发,提升车身板材质量及生产效率,促进汽车产业高质量发展。

课题项目: 福建省中青年教师教育科研项目(JZ180362)。

参考文献:

[1] 吴峰权,等. 新能源汽车车门轻量化研究[J]. 河北冶金,2021(08):57-61.

[2] 董丽丽. 汽车轻量化技术应用分析[J]. 时代汽车,2021(13):37-38.

[3] Peng X, Li Y, Liang X, et al. Journal of Alloys and Compounds, 2018, 735, 964.

[4] 吴永泉,等. 模压变形法的研究现状[J]. 热加工工艺,2010,39(01):13-16.

[5] 马玉蕊,张瑜. 汽车车身覆盖件用铝合金板带材生产工艺概述[J]. 有色金属加工,2021,50(03):1-6.

作者简介: 程艳(1984-),女,汉族,陕西人,本科,工程师/实验师,研究方向:机械制造、材料成型。

(上接第108页)

续的节能技术升级过程中,可以将这类先进的变压器设施引入变电站投入运行,从而提高实际的节能效果。

在接触网方面需要进行节能技术的升级。一方面需要重新进行接触网材料的选择,尽可能降低接触网本身的阻抗值。当前电气化铁道的供电情况十分特殊,接触网除了需要具备较高的抗拉强度,还需要具备耐磨、耐热、长度等方面的核心性能。但是在材料科学方面,能够真正满足所有性能需求的材料很难实现,因此在选材方面需要做好综合考量,保证综合性能,进行设备优化。另一方面,应当选取无磁或低磁金具。在电力系统当中,系统输电线路节能技术更加重视磁化金具的使用情况,其中金具产生的感应电动势与导磁率之间成正比,因此在铁磁材料的金具选择当中,应当采用无导磁率或低导磁率的金具,如铝合金、铜合金等材料来制造线路金具,从而实现节能效果。

4 结论

铁路在当代交通运输当中承载着非常重要的使命,在我国,电气化铁道是实现高效率运输的关键性轨道交通,但是受到运输需求以及技术发展等多方面的影响,

电气化铁道的电能能耗问题仍然是当前较为严峻的问题之一,值得关注。节能技术的应用需要关注两个方面的问题,其一是要关注耗能情况,通过根源性的能耗控制来实现节能目的,其二是要针对应用终端的技术手段和使用材料来实现生态节能。

参考文献:

[1] 王彤,孙奕,裴林,王佳明,王增平. 考虑控制系统的LCC-HVDC直流电流暂态特性分析与交流短路电流近似解析方法[J/OL]. 中国电机工程学报(网络首发):1-15.

[2] 程卫军. 基于变压器新技术的高速铁路牵引变电所节能与标准化布置[J]. 电气技术,2021,22(01):58-62.

[3] 陈怀鑫,杨中平,林飞,夏欢,王彬. 基于遗传算法的城轨交通超级电容储能装置能量管理和容量配置优化研究[J]. 铁道学报,2019,41(09):59-66.

作者简介: 魏晓鹏(1990.2-),男,北京市人,大学本科,助理工程师,研究方向:工程技术系列电力专业。