

研
究
开
发

同相供电技术在神朔铁路的 应用前景研究

郭尽朝

(中国神华能源股份有限公司 神朔铁路分公司, 北京 100009)



作者简介: 郭尽朝(1971-), 男, 高级工程师, 研究方向为机车车辆工程、铁路运输管理。

摘要: 介绍了同相供电技术的基本原理, 在分析神朔铁路运能现状及提升措施的基础上, 对同相供电技术在取消电分相以提升运能、利用机车回馈电能、动态无功补偿和谐波治理等方面对神朔铁路供电性能进行优化分析。经过技术、经济比较表明, 同相供电技术满足神朔铁路提升运能的需求, 并具有较高的性价比和应用推广价值。

关键词: 同相供电; 神朔铁路; 运能提升; 经济效益

中图分类号: U223.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2013)04-0047-04

Research on Cophase Power-Supply Technology Applying on Shenshuo Railway

GUO Jin-chao

(Shenshuo Railway Company, China Shenhua Energy Co., Ltd., Beijing 100009, China)

Abstract: The basic theory of cophase power supply technology was introduced. Based on analysis of the present status and the expansion measure of Shenshuo railway transport capacity, power supply performance of Shenshuo railway, such as canceling electrical separation, using fully electricity power returning by locomotive, dynamic reactive compensation and harmonic suppression, were optimized after applying cophase power supply technology. The technical and economic comparison result showed that cophase power supply technology not only could expand transport capacity of Shenshuo railway, but also had outstanding cost-effective and great value for application and extending.

Key words: cophase power supply; Shenshuo railway; transport capacity expansion; economic benefit

0 引言

我国现行电气化铁道采用异相分段供电的方式, 技术上还存在一些问题, 主要表现在: 电分相环节使列车速度和牵引力受到损失, 降低了线路运能; 牵引供电网功率因数低, 谐波、负序严重, 由此导致无功补偿、高频谐振、低频振荡、三相不平衡等问题突出。对于上述问题, 目前国内外应用了一些解决措施, 如采用车载过电分相或地面自动过电分相装置来消除过电分相的影响; 应用SVC、SVG或RPC装置来解决无功、谐波、电压波动、负序等电能质量问题, 但均因为功能单一, 无法同时解决这些问题^[1-2]。随着我国重载、高速铁路的快速发展, 上述问题也日益突出, 因此综合解决牵引

供电网中的电分相和电能质量问题显得至关重要。

同相供电技术是指不同牵引变电所供电的区段接触网电压相位相同、线路上无电分相环节的牵引供电方式, 它既能取消电分相, 提高铁路运输能力和速度, 又能满足电能质量要求, 是未来高速、重载铁路的一个重要发展方向。国内已有部分科研院所对同相供电技术进行过研究, “十一五”国家科技支撑计划项目“电气化铁道同相供电装置研制”完成了成昆线眉山变电所10 MW同相供电装置样机的设计、试验、考核与验收, 目前样机已运行3年, 实现了同相供电技术从原理到工程应用, 并积累了一定实践经验。因此在现有基础上对同相供电工程化应用研究具有重要意义。本文以神朔铁路为例, 主要对同相供电技术在提升重载铁路运能、利用机车回馈电能、动态无功补偿和谐波治理等方面进行优势分析和效益预测。

1 同相供电技术简介

传统供电方式下,变电所内的牵引变压器将电力系统三相110 kV/220 kV转换成牵引侧 α 、 β 二相27.5 kV/55 kV分别向2条供电臂分段供电。同相供电方式下,2条供电臂都由 α 相直接供电, β 相的电能通过同相供电装置转移到 α 相(如图1所示),这样就可以取消原来的分相绝缘器及中性段无电区(图中虚线所示),机车不再需要过电分相,避免了牵引力和速度的损失,提升了线路运能。

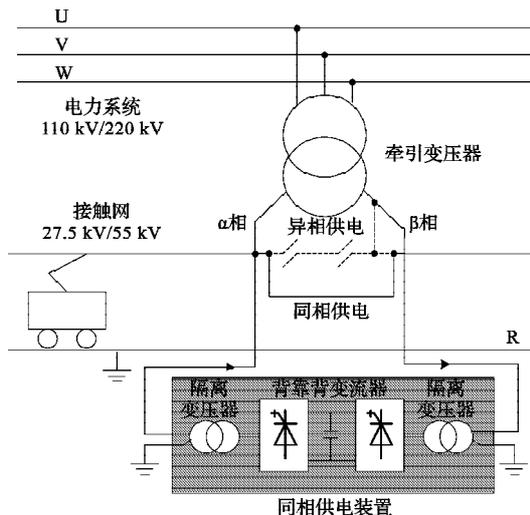


图1 同相供电基本原理图

同相供电装置主要包括隔离变压器、背靠背变流器、冷却系统等部件,其一端连接牵引变压器二次侧 α 相、另一端连接到 β 相,可实现二相之间有功功率的互相传递,起到取消电分相、提高牵引变压器的容量利用率、使机车回馈能量得到充分利用等作用。另外,同相供电装置又相当于2个背靠背的SVG,可分别对2个供电臂下牵引负荷产生的无功功率、低次谐波进行动态补偿,并通过有功功率的传递来改善负序电流,实现电能质量的综合治理。

2 神朔铁路运能分析

2.1 运能现状

神朔铁路公司为神华集团子公司,主要负责神木北到神池南共187 km路段神华集团煤炭产品的运输,2012年度运输计划为2.05亿t,每天开行的列车趟数最高峰时已达到123趟。神朔铁路目前普遍采用SS₄B直流机车担任牵引任务,主要的货车有C64(载重62 t,总重85 t)、C70(载重70 t,总重94 t)、C80(载重80 t,总重100 t)3种,主要的列车编组形式如表1所示^[3]。

神朔铁路2012年运量2.05亿t分解到每天为56.2万t,目前公司共有35列万t编组列车,每天完成1个单趟,因此每天最少发车趟数为 $35+(56.2-0.8 \times 35)/0.42=103$ 趟(35个编组A,68个编组C)。考虑到采用小载重编组B、D时,以及机车、道路、牵引网检修等意外事故导致的

运量下降,每天实际运量应稍超过56.2万t,实际发车趟数应为120趟左右。考虑每天4 h天窗时间,按照平均60 km/h的速度,则2趟列车之间的时间间隔仅为10 min,运行间距仅为10 km。

表1 神朔铁路目前列车编组形式

编号	编组形式	总重/t	载重/t	总功率/MW
编组 A	2台 SS ₄ B+	10 000	8 000	25.6
	50辆 C80+			
编组 B	2台 SS ₄ B+	10 340	7 700	25.6
	55辆 C70+			
编组 C	2台 SS ₄ B+	5 640	4 200	12.8
	60辆 C70			
编组 D	2台 SS ₄ B+	5 610	4 092	12.8
	66辆 C64			

2.2 运能提升措施

近年来神朔铁路运输计划呈现逐年增加的趋势,提升既有线路的运能可以从提高单趟列车运量和增加发车趟数2个方面考虑^[4]。提高单趟列车的运量需要加大牵引机车的功率与效率。神华集团已开始采购12轴14 400 kW交流传动电力机车配备于神朔铁路等长大坡度路段。神朔铁路采用交流牵引机车的列车编组形式如表2,单趟列车的运量最大可提高至9 600 t。如果全部采用交流机车,仍然维持每天103趟列车不变,则日运量达到64万t,全年运量可提升至2.33亿t,相对于2012年可提升14%。

表2 采用交流机车的列车编组形式

编号	编组形式	总重/t	载重/t	总功率/MVA
编组 a	12轴机车+	12 000	9 600	28.8
	60辆 C80+			
编组 b	12轴机车+	12 032	8 960	28.8
	64辆 C70+			
编组 c	12轴机车+	6 016	4 480	14.4
	64辆 C70			
编组 d	12轴机车+	5 950	4 340	14.4
	70辆 C64			

增加每天的发车趟数意味着列车的间距变短,同一供电臂下的列车数目可能增加,按目前神朔铁路的实际运营情况,牵引变压器承担的负载额定功率如表3所示。现有的部分变压器二次侧绕组容量仅25 MVA,

无法完全满足同一供电臂下2趟列车、同一牵引变压器下3趟列车的容量需求^[5],而采用交流机车后变压器容量不足将更为严重。可见由于牵引变压器容量的限制,现在的发车趟数已经达到线路的极限。

表3 不同运行情况下牵引变压器承担负载额定功率

运行情况	变压器承担功率/MW	
	直流机车	交流机车
2个供电臂下各有1列短编组	25.6	28.8
一个供电臂下有1列短编组,另一供电臂下有1列万吨编组	38.4	43.2
2个供电臂下各有1列万吨编组	51.2	57.6
一个供电臂下有1列万吨编组和1列短编组,另一供电臂下1列短编组	51.2	57.6
一个供电臂下1列万吨编组和1列短编组,另一供电臂下1列万吨编组	64	72

3 同相供电对神朔铁路供电性能的优化

3.1 提高牵引变压器容量利用率

前文分析得出,牵引变压器的容量是制约神朔铁路运能提升的重要因素,而增加变压器的容量会带来初装费的增加,且变压器利用率偏低。同相供电装置可以实现牵引变压器2个供电臂之间有有功功率的互传,使变压器容量利用率达到100%。例如神朔线某变电所既有牵引变压器的容量为(31.5+25)MVA,如果通过同相供电装置将一个供电臂的能量转移到另一供电臂,使得各个臂输出的最大功率为整个变压器的总功率,即单供电臂最大可提供56.5 MVA的容量,从而最大程度地利用变压器冗余容量。因此采用同相供电装置可以在不增加容量的前提下,满足神朔铁路扩大一定程度运能的需求。

3.2 取消电分相

利用同相供电装置可取消牵引网中的电分相环节,避免机车牵引力和速度的损失,从而提升线路运能。以神朔线某牵引变电所为例,其安装了地面自动过分相装置,断电时间仅130 ms,直流机车过分相引起的速度损失可以忽略。而交流机车在牵引网断电时逆变器会封锁脉冲,由于牵引电机剩磁的影响,重新触发脉冲需存在延时以防过流,参考HXD1C机车,设该延时为6 s。此外,由于该电分相处上行线坡度达到12‰,机车牵引力损失较大(通常大于200 kN),而重新触发脉冲后牵引力有一个上升斜率(HXD1C机车为570 kN/18 s),因此速度损失时间为6 s左右。则每趟交流机车过该电分相需12 s的额外时间,即采用同相供电装置可节省12 s。设每天发车120趟,其中只有50趟交流机车,则每天节省的运行时间为10 min,在同样的行车密度下,每天可以多发1趟车。

按每趟运量为4 092 t的编组D计算,全年新增运量

为149.358万t。神朔铁路全长187 km,运费为0.18元/t·km,则全年新增运量的运费为5 027万元。但新增运量的同时需考虑电费、人工、检修等成本。编组D牵引机车额定功率12.8 MW,上行和下行时的实际功率分别按80%和10%的额定功率估算,单边全程按5 h计算,则每天所耗电能为 $12800 \times (80\% + 10\%) \times 5 = 57\ 600 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。按工业用电0.75元/kWh计算,全年所耗电费为1 576.8万元。人工及检修等其他费用按2万元/天估算,则新增1趟列车的总计成本约2 307万元。因此全年新增运量的利润为 $5027 - 2307 = 2\ 720$ 万元。需要指出的是,由于神朔线有些牵引变电所目前并未安装地面自动过分相装置,如果在这些变电所应用同相供电装置,那么上述利润针对直流机车也会产生。

3.3 利用机车回馈电能

神朔铁路采用交流机车后,不仅单车载重增大,而且可以实现制动能量回馈。现有供电方式下,制动工况下的交流机车的回馈电能部分通过接触网末端并联给同网其他牵引工况下的列车供电,剩余部分则回到牵引变压器一次侧。但牵引工况下的列车均为空载,所需能量小,而电力部门又不会对回送到变压器二次侧的电能进行计费,因此回馈电能产生的实际经济效益对神朔公司而言相对有限。安装同相供电装置后,可通过该装置将一个供电臂下的制动电能转移到另一供电臂使用,由于神朔铁路的密集发车现状,另一供电臂下存在机车的概率约为80%,这样就能实现机车回馈电能的充分利用。

仍以神朔线某牵引变电所为例,其中一个供电臂上行线长度为12.8 km,平均坡度为-5.8‰,按平均时速60 km/h考虑,则机车整个制动过程为12.8 min。参考HXD1C机车,设制动回馈的平均功率为机车容量的18%,则回馈电能为 $14.4 \text{ MVA} \times 18\% \times 12.8 \text{ min} = 553 \text{ kW} \cdot \text{h}$,采用同相供电装置后,可多利用的每趟交流机车回馈电能为 $553 \times 80\% = 442 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。仍假定每天120趟列车中有50趟为交流机车,则全年利用回馈电能增加的经济效益为: $442 \times 0.75 \times 50 \times 365 = 605$ 万元。

3.4 动态无功补偿及谐波治理

交流机车的运用意味着神朔铁路上采用交、直流机车混用的格局,这一运用情况将导致一些新问题:①牵引变电所针对直流机车功率因数低的问题通常都设置了固定电容补偿装置。而交流机车功率因数较高,固定补偿电容的投入将导致变电所出现过补,这时需要新增动态无功补偿装置SVC或SVG。②交、直机车混用后,机车产生的谐波可能导致网压出现低频振荡和高频谐振,而高次谐波还可能导致直流机车RC支路烧损。这些问题在全国路局均有出现,在武汉、洛阳、兰州等地尤为突出,解决办法是增加谐波治理装置。

同相供电装置具备SVG功能,在实现动态无功补偿的同时可兼顾低次谐波治理,通过增加高次谐波滤

除装置就能实现全频段的谐波治理。仍以神朔线某牵引变电所为例,其固定电容补偿容量为9 200 kvar,交流机车投用后,该变电所需要采用SVG装置将固定补偿改为动态补偿,并兼顾谐波治理。为减少装机容量,仍利用原固定补偿容量的一半即4 600 kvar,新增SVG的容量应为5 Mvar左右。采用同相供电装置后可节省该SVG装置,因此仅替代SVG设备就可节省成本约180万元。

3.5 总体经济效益估算

采用同相供电装置既有初装成本,又要考虑设备自身的功率损耗。仍以神朔线某牵引变电所为例,牵引变压器的容量为(31.5+25)MVA,初步设计同相供电装置容量为25 MVA。装置成本主要包括隔离变压器、变流器、变电所与牵引网改造等几大部分,新增1套25 MVA的同相供电装置的初装成本约为4 000万左右。装置的功率损耗主要由隔离变压器、变流器及控制系统3部分产生。由于隔离变压器和变流器大部分时间处于轻载工况,因此分别按1.5%和1%额定容量的长期工作制来估算损耗,则变压器和变流器的总损耗为 $50 \text{ MVA} \times (1.5\% + 1\%) = 1\,250 \text{ kW}$ 。控制系统损耗包括水冷系统的水泵、风机、控制电源等,总共估算约为100 kW。因此整个同相供电装置全年损耗的电费为 $1350 \times 20 \times 365 \times 0.75 = 740$ 万元(考虑每天4 h天窗检修时间)。

综上所述,神朔铁路某牵引变电所投用同相供电装置后,产生的经济效益为:提升运量产生利润2 720万/年,利用机车回馈电能可节约电费605万/年,一次

性节省SVG装置投资180万,而安装同相供电装置一次性投资约为4 000万,还需消耗电费740万/年。因此收回投资成本时间为 $(4000-180) \div (2720+605-740) = 1.48$ 年,也就是说,一年半即可收回投资成本,此后每年将获得纯利润2 585万元。

4 结语

同相供电装置具有的有功传递、无功及谐波补偿功能,可以在提高牵引变压器容量利用率、取消电分相、利用机车回馈电能、动态无功补偿和谐波治理等方面对神朔铁路的供电性能进行优化和改进,在满足神朔铁路运能提升的同时实现电能质量的综合治理,从而获得可观的总体经济效益。同相供电技术的应用不仅非常符合神朔铁路的发展需求,对其他长大坡道、V型坡道、反V型坡道、运行时间敏感的路段也同样具有重大价值,因此同相供电技术具有巨大的市场前景,对其工程化应用进行深入研究具有重要意义。

参考文献:

- [1] 陈民武,李群湛,魏光.新型同相牵引供电系统设计与评估[J].中国铁道科学,2009,30(5):76-81.
- [2] 李群湛.牵引变电所供电分析及综合补偿技术[M].北京:中国铁道出版社,2006:235-241.
- [3] 中交铁道勘察设计院.神华集团铁路机务设备规划研究[M].北京:中交铁道勘察设计院,2012.
- [4] 吴峰.神朔铁路现状及其运能扩充方案[J].物流工程与管理,2009,31(10):110-111.
- [5] 姚晓云,崔校玉.神朔铁路南梁牵引变电所布置型式研究[J].电气化铁道,2011(3):18-21.

(上接第46页)集成在机车辅助电源之中,更利于系统的精简与统一。两者各有优势,因此,实际应用中应根据具体环境与需求进行选择与设计。

3 结语

由于近年机车的发展历史及其他原因,造成各类机车空调电源的电路实现方式与设计结构等都存在较大的差异,并且各自具备其优点与不足。随着轨道交通行业技术的进一步发展以及应用经验的逐步完善,其各项指标必将优化与统一,性能与成本也能得到更好地兼顾,从而形成更为合理且适合我国铁路实际情况的国家标准^[10]。

参考文献:

- [1] 郭臣善,苏德坤,石磊.铁路机车空调电源设计[J].电源应用技术,2007,10(2):42-45.

- [2] 陶若冰,王易平.电力机车辅助电源系统的分析与比较[J].电子设计工程,2009,17(8):115-117.
- [3] 卢婷,周飞,童亦斌,等.内燃机车空调电源的设计[J].电力电子技术,2008,42(3):57-59.
- [4] 毛涛涛.电力机车空调电源研制[D].北京:北京交通大学,2008.
- [5] 时磊.机车空调电源的设计与研究[D].北京:北京交通大学,2007.
- [6] 白锡彬,张全柱,王磊,等.机车新型空调电源系统的设计[J].内燃机车,2007(10):9-16.
- [7] 郑华熙,高吉磊,郑琼林.我国高速动车组辅助供电系统的比较与分析[J].电气传动,2010,40(3):53-59.
- [8] 吴筱辉,吴伟权,程小华.空调风机用驱动电机调速方法综述[J].电机电器技术,2004(5):33-38.
- [9] 柳铮,宋强,刘文华.50 kVA 机车空调变频电源[J].电力电子技术,2006,40(4):69-72.
- [10] 郭臣善,苏德坤.铁路机车空调电源标准探讨[J].铁道技术监督,2006,34(8):1-3.

