

和田电网动态无功补偿装置选址定容方案研究

邵沈会,刘新刚

(中国能源建设集团新疆电力设计院有限公司,新疆 乌鲁木齐 830001)

摘要:针对和田电网冬季电力缺额较大的问题,提出利用动态无功补偿装置(SVG)提高和田地区事故后电压恢复能力的措施,以提高相关断面下网能力,满足地区电力需求。主要对 SVG 在电网中的安装位置和安装容量进行综合分析比较,制定科学合理的 SVG 配置方案,有效提升电网电压支撑能力,进而提高电网受电能力,保证电网安全稳定运行,满足经济社会发展需求。

关键词:和田电网;SVG;断面下网功率;配置方案

中图分类号:TM 74 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2021)04-0057-05

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20210411

Research on SVG Siting and Capacity Determination Scheme for Hetian Power Grid

Shao Shenhui, Liu Xingang

(Xinjiang Electric Power Design Institute Co., Ltd. of CEEC, Urumqi 830001, Xingjiang, China)

Abstract:In view of large power shortage in winter in Hetian power grid, the measures to improve the voltage recovery ability is proposed by using SVG after the fault happening in Hetian area, so as to improve the power transmission ability of relevant section and meet the regional power demand. A comprehensive analysis and comparison are carried out mainly for the installation locations and installation capacities of SVG in power grid, and a scientific and reasonable SVG configuration scheme is given to effectively improve the voltage support capacity of power grid, thereby improving the receiving capacity of power grid, ensuring the safe and stable operation of power grid and meeting the needs of economic and social development.

Key words:Hetian power grid; SVG; power transmission ability of relevant section; configuration scheme

0 引言

2018年12月至2019年1月期间,和田及喀什地区大范围限电,电力缺额主要来自下述三方面原因:1)和田及喀什地区大量电采暖负荷的接入;2)和田地区“电调服从水调”的政府政策使得相关水电机组无法运行,加大了和田及喀什地区的电力缺额;3)华威电厂缺煤且机组运行可靠性弱。

尽管已经采取了一系列措施,但和田电网仍存在一定的电力缺额,为此提出利用 SVG (static var generator) 提高和田地区事故后电压恢复能力,以提高相关断面下网能力。目前主要有两种方案:1)选

取一个关键变电站,部署一套大容量 SVG;2)选取多个变电站,分别部署小容量 SVG。综合考虑建设周期、成本、占地以及单个设备故障后对电网的影响,拟采用方案 2,主要选择 100 Mvar 以内的 SVG 作为研究对象。

1 SVG 在电网中的作用

SVG^[1-4]是目前最先进的无功功率补偿技术,与传统无功补偿装置相比,其具有明显的优势,如低电压下补偿能力强、响应速度更快、抑制电压闪变能力更强、运行范围更广、谐波含量低、占地面积小等。SVG 输出无功电流与系统电压无关,能够双向连续

调节,无功电流不受系统电压影响,具备一定的过载能力(1.1~1.5倍),在暂稳状态,对电网电压支撑作用明显,可有效提高电网受电能力。同时,SVG可以独立分相控制,有利于解决系统的相间平衡问题,在系统不对称跌落时,更好地提供电压支撑。SVG在系统故障条件下输出电流可控,控制灵活,在短路电流接近极限的系统场合可避免短路电流进一步增大。

2 SVG 选址定容分析

2.1 SVG 选址定容原则

1)目前SVG设备已有应用的容量分别为60 Mvar、80 Mvar、100 Mvar。考虑设备可靠性,和田电网SVG选择已有应用系列进行分析。

2)为尽量减小计算误差,均保证事故后稳态电压介于0.98~0.99 pu之间。

3)考虑SVG容量小于100 Mvar,单站只考虑部署一套SVG,且均部署在220 kV变电站35 kV侧,控制目标为和田电网220 kV系统母线电压不低于0.9 pu。

2.2 边界条件

1)华威电厂单机满发,波波娜水电站单机满发;

2)故障类型为750 kV车和线和侧三相接地,0.1 s后跳开线路两侧;

3)按和田电网现有网架结构进行计算分析,750 kV莎车—和田为单线单变运行。

2.3 基于仿真软件的SVG选址定容分析

基于PSASP仿真软件,分析不同容量及安装位置情况下,750 kV巴楚—莎车—和田输变电工程建成后的750 kV车和+220 kV叶羌断面输电能力。

1)车和断面静稳极限计算

针对750 kV巴楚—莎车—和田输变电工程建成后的750 kV车和+220 kV叶羌断面,分析所得输电断面静稳极限约530 MW(考虑15%的储备裕度)。仿真曲线如图1所示。

2)SVG容量的灵敏性分析

针对于田变电站部署单台SVG,分别比较无SVG、30 Mvar、35 Mvar、45 Mvar、52 Mvar、60 Mvar(以上为低于100 Mvar的常规型号),分析SVG容量对断面功率的影响,计算结果如表1所示。由表1可知,同一安装地点,随着SVG容量的提升,750 kV车

和+220 kV叶羌断面下网功率相应提升。

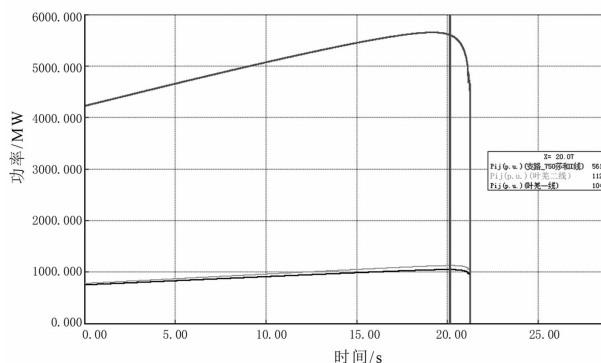


图1 输电断面静稳极限计算

表1 SVG容量的灵敏性分析 单位:MW

工况	无 SVG	30 Mvar	35 Mvar	45 Mvar	52 Mvar	60 Mvar
车和 + 叶羌功率	292	320	328	339	343	351
功率提升	0	28	36	47	51	59

无SVG时,750 kV车和+220 kV叶羌断面:通过潮流计算分析其下网功率约292 MW;通过暂态计算分析,如图2所示,无稳控措施暂态电压波动最大达母线额定电压1.033倍,最小达母线额定电压0.987倍。

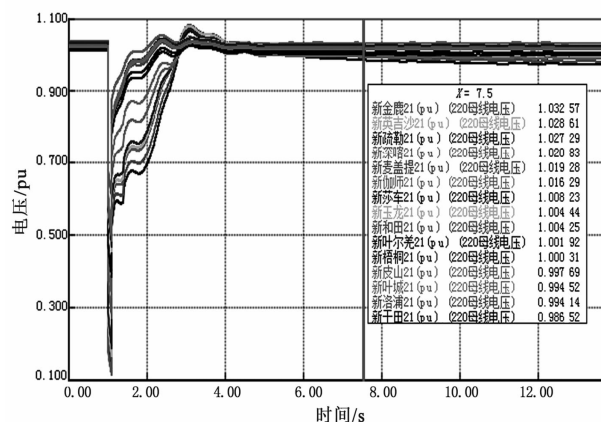


图2 无SVG时,750 kV车和+220 kV叶羌断面无稳控措施暂态电压波动

于田变电站部署一套60 Mvar的SVG时,750 kV车和+220 kV叶羌断面:通过潮流计算分析,下网功率约351 MW;通过暂态计算分析,如图3所示,断面无稳控措施暂态电压波动最大达到母线额定电压1.024倍,最小达母线额定电压0.981倍。

3)SVG安装位置的灵敏性分析

首先,针对750 kV车和N-1故障,对不同厂站低电压情况进行分析,选取220 kV厂站电压曲线,如图4所示。

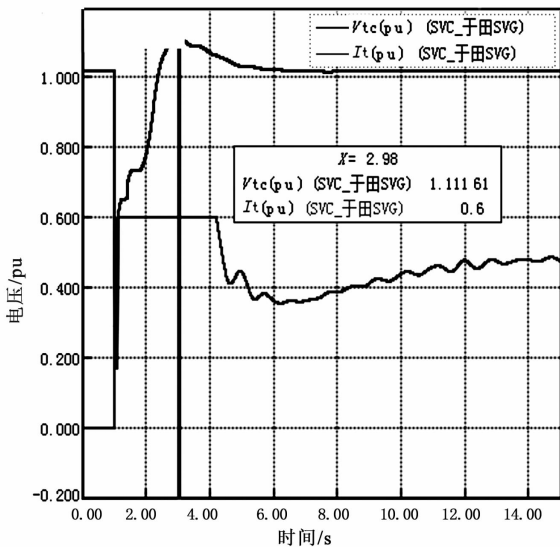
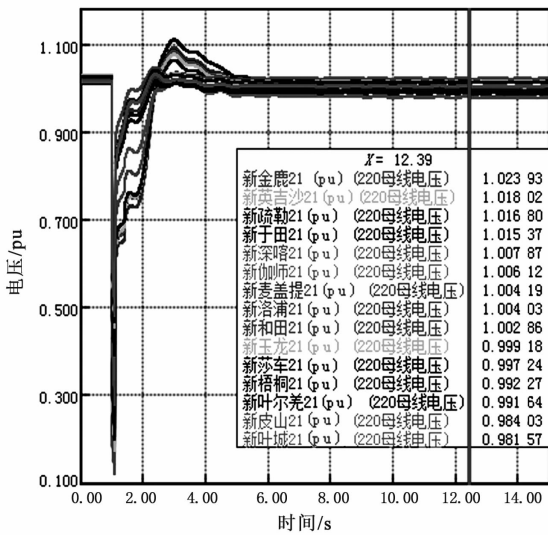


图 3 于田变电站部署一套 60 Mvar 的 SVG 时,750 kV 车和 +220 kV 叶羌断面无稳控措施暂态电压波动

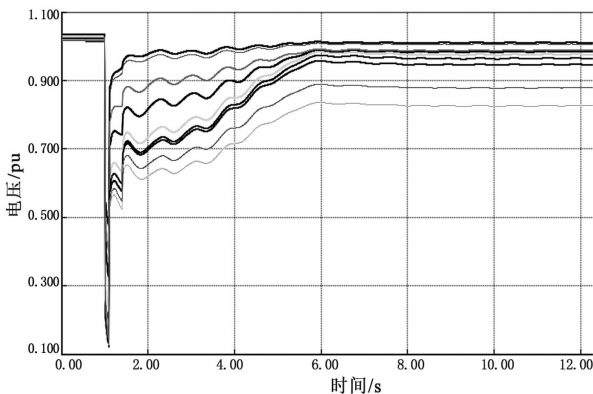


图 4 750 kV 车和 N-1,220 kV 母线低电压情况

由图 4 可以看出,车和 N-1 故障情况下,220 kV 母线电压偏低,按电压最低到最高排序,SVG 可考虑的安装顺序依次为于田→洛浦→和田→皮山→梧桐→玉龙→叶城。但考虑到和田主变压器 N-1 故障情况下 SVG 无法发挥作用,同时 220 kV 玉龙变电站有

常规电源(华威电厂)电压支撑以及 220 kV 叶城变电站 2019 年也将建成恰木萨水电站。因此可考虑的 SVG 安装点分别为于田、洛浦、皮山、梧桐变电站。

进一步,选定 SVG 容量(以 45 Mvar 为例)。分别比较 220 kV 于田变电站,220 kV 洛浦变电站,220 kV 皮山变电站,220 kV 梧桐变电站不同安装位置对断面功率的影响。计算结果如表 2 所示,具体计算曲线如 5 图所示。由表 2 可知,同一 SVG 容量,220 kV 于田变电站与 220 kV 洛浦变电站对 750 kV 车和 +220 kV 叶羌断面功率提升相近,其次为 220 kV 皮山变电站,最后为 220 kV 梧桐变电站。该计算结论也与按低电压水平的分析结果基本一致。

为细化选址方案,进一步缩小 SVG 选点范围,考虑梧桐变电站 SVG 提升输电功率效果相对较弱,SVG 选点暂不考虑梧桐变电站。

表 2 安装位置的灵敏性分析 单位:MW

工况	无 SVG	于田 变电站	洛浦 变电站	皮山 变电站	梧桐 变电站
车和 + 叶羌功率	292	339	337	330	325
功率提升	0	47	45	38	33

为进一步理论分析不同安装位置及不同安装容量 SVG 对电压波动的抑制能力,首先采用简单的估算公式,简化的电压波动计算公式为

$$d \approx \frac{\Delta Q}{S_B} \times 100\% \quad (1)$$

其中,电压变动 d 定义为

$$d = \frac{\Delta U}{U_N} \times 100\% \quad (2)$$

式中: ΔU 为电压的变化值; U_N 为系统标称电压; ΔQ 为无功的变化量; S_B 为研究母线的短路容量。由此可知,同一位置 SVG 安装容量越大,电压提升效果将越明显;同时,当 SVG 安装容量相同时,安装位置的系统短路容量越小,电压提升效果将越明显,反之亦然。

于田变电站部署一套 45 Mvar 的 SVG 时,750 kV 车和 +220 kV 叶羌断面:通过潮流计算分析,下网功率约 339 MW;无稳控措施暂态电压波动最大达母线额定电压 1.025 倍,最小达母线额定电压 0.986 倍,如图 5 所示。

洛浦变电站部署一套 45 Mvar 的 SVG 时,750 kV 车和 +220 kV 叶羌断面:通过暂态计算分析,下网功率约 337 MW;通过潮流计算分析,如图 6 所示,无稳控措施暂态电压波动最大达到母线额定电压 1.024 倍,最小达到母线额定电压 0.984 倍。

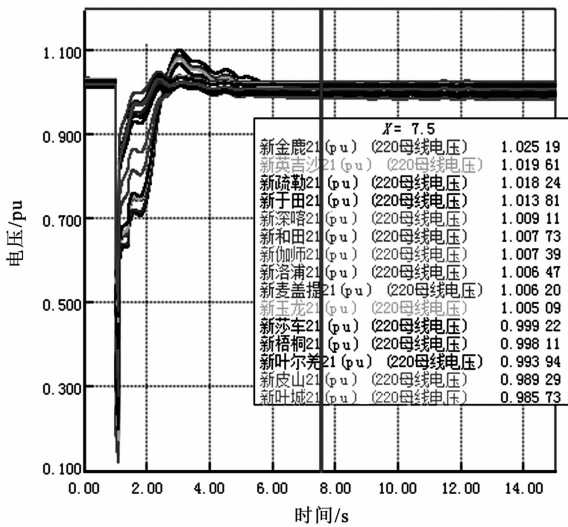


图 5 于田变电站部署一套 45 Mvar 的 SVG 时，750 kV 车和 +220 kV 叶羌断面无稳控措施暂态电压波动

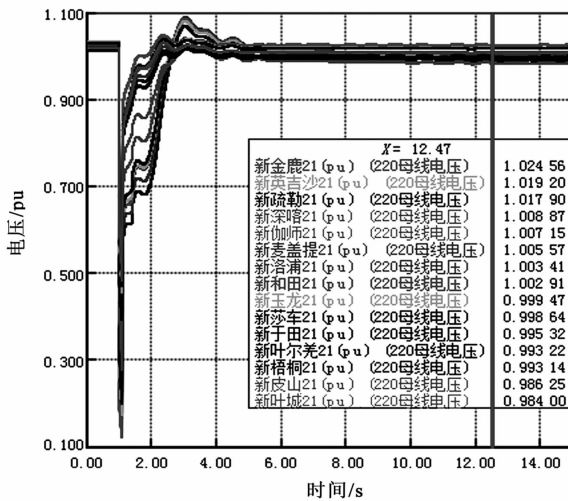
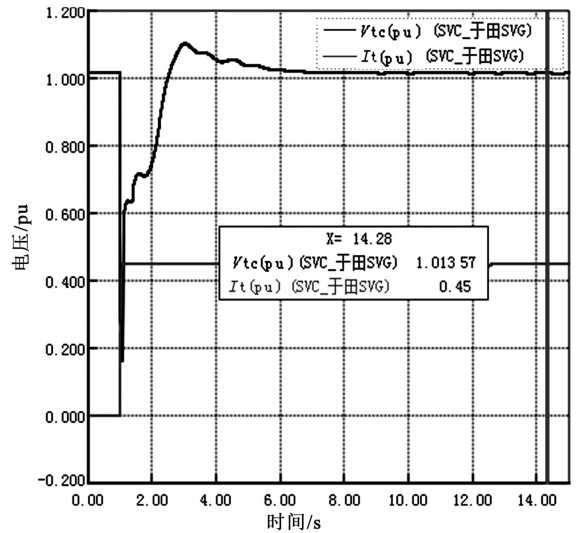
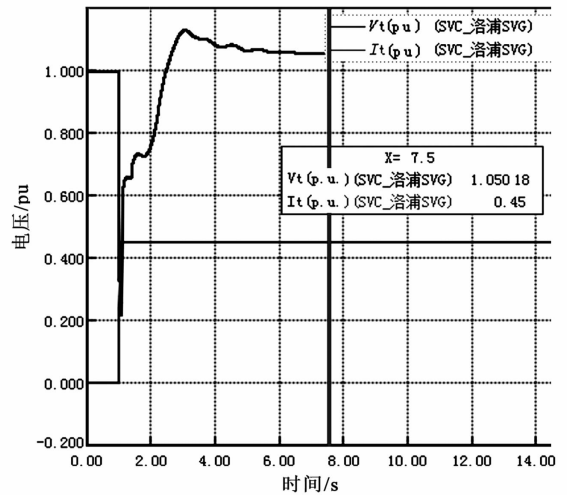


图 6 洛浦变电站部署一套 45 Mvar 的 SVG 时，50 kV 车和 +220 kV 叶羌断面无稳控措施暂态电压波动



皮山变电站部署一套 45 Mvar 的 SVG 时,750 kV 车和 +220 kV 叶羌断面:通过潮流计算分析,下网功率约 330 MW;通过暂态计算分析,如图 7 所示,无稳控措施暂态电压波动最大达母线额定电压 1.03 倍,最小达母线额定电压 0.981 倍。

进一步分析其他 SVG 容量情况下,不同选点输电功率提升效果。洛浦和于田变电站效果接近,不再赘述。仅针对 220 kV 皮山变电站,比较不同容量 SVG 对断面功率的影响。计算结果如表 3 所示。由表 3 可知,其特性与表 1 相似,随着 SVG 容量的提升,断面功率相应提升。

综上分析,由于故障情况下于田变电站处于电网末端,电压最低,系统短路容量也最小,因此采用同一容量 SVG 时于田变电站系统电压提升最大,最小波动电压达母线额定电压 0.986 倍,同时对断面

功率提升最大,其次为洛浦变电站。

表 3 皮山变电站 SVG 容量的灵敏性分析 单位:MW

工况	无 SVG	30 Mvar	35 Mvar	45 Mvar	52 Mvar	60 Mvar
车和 + 叶羌功率	292	310	316	330	334	341
功率提升	0	18	24	38	42	49

4) 和田地区 SVG 选址定容方案

根据目前的电力平衡分析,考虑和田地区电采暖负荷的同时率为 0.4,当华威电厂单机、波波娜水电站单机时,和田地区电力缺额为 100 MW 左右。根据选址、定容计算结论,可初步得到大于 100 MW 功率提升的几种典型方案,如表 4 所示,给出几种典型方案的功率预估值(根据表 1 和表 3 的计算结果相加)及造价。

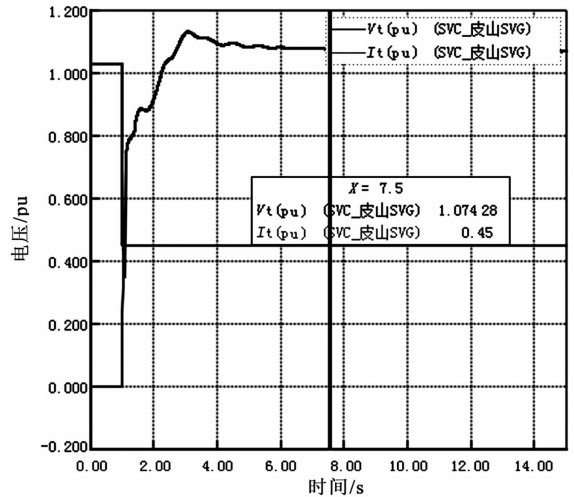
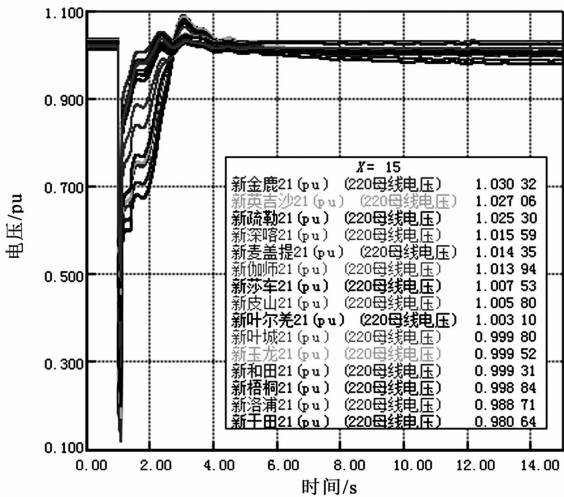


图7 皮山变电站部署一套45 Mvar的SVG时, 750 kV车和+220 kV叶羌断面无稳控措施暂态电压波动

方案1:于田、洛浦、皮山变电站各部署一套45 Mvar的SVG。经实际仿真计算,750 kV车和+220 kV叶羌断面下网功率由292 MW提升至398 MW,实际提升了106 MW。

表4 4种典型方案

方案	静稳能力提升值/MW	暂稳能力提升值/MW	设备本体造价/万元	设计施工/万元	合计/万元
方案1	61	106	1920	300	2220
方案2	63	113	2140	300	2440
方案3	64	119	2250	300	2550
方案4	62	108	2200	300	2500

方案2:于田、洛浦变电站各部署一套52 Mvar的SVG,皮山变电站部署一套45 Mvar的SVG。经实际仿真计算,750 kV车和+220 kV叶羌断面下网功率由292 MW提升至405 MW,实际提升了113 MW,较方案1多提升7 MW,但是工程投资较方案1高220万元。

方案3:于田、洛浦、皮山变电站各部署一套52 Mvar的SVG。经实际仿真计算,750 kV车和+220 kV叶羌断面下网功率由292 MW提升至411 MW,实际提升了119 MW,较方案1多提升13 MW,但是工程投资较方案1高330万元。

方案4:于田、洛浦变电站各部署一套60 Mvar的SVG,皮山变电站部署一套30 Mvar的SVG。经实际仿真计算,750 kV车和+220 kV叶羌断面下网功率由292 MW提升至400 MW,实际提升了108 MW,较方案1多提升2 MW,但是工程投资较方案1高280万元。

考虑到和田750 kV变电站二期扩建工程正在实施,综合考虑经济性及能力提升效果,建议采

取方案1作为本期和田电网SVG选址定容方案,能够满足近几年和田电网电力缺额及系统稳定,和田750 kV变电站二期扩建工程建成后,和田电网断面下网电力受限问题将得到明显改善。

3 结语

通过上面计算,可得到如下结论:

1)同一安装地点,不同SVG容量对750 kV车和+220 kV叶羌断面下网功率提升影响存在差异,容量越大,功率提升越高。

2)同一容量,不同安装地点对750 kV车和+220 kV叶羌断面下网功率提升影响存在区别,系统电压越低、短路容量越小,则对系统断面下网功率提升越好。从优往劣排序如下:220 kV于田变电站 > 220 kV洛浦变电站 > 220 kV皮山变电站 > 220 kV梧桐变电站。

3)通过分析,有多种方案可填补和田地区电力缺额。综合考虑经济性及能力提升效果,建议采取方案1:于田、洛浦、皮山变电站各一套45 Mvar。

4)通过对和田电网SVG选址定容进行分析,制定科学合理的SVG配置方案,可有效提升电网电压支撑能力,进而提高电网受电能力,促进经济社会又好又快发展。

参考文献

[1] 武丽霞. 动态无功补偿装置(SVG)的研究及应用[J]. 能源与节能,2014(3):155-157.

量为 2000 MVA, 此时对应的三相不平衡电压近似为 0.05%。如果光伏电能接入轻载臂, 合成负序功率为 5 MW, 则三相电流不平衡度为 45.5%, 此时对应的三相不平衡电压近似为 0.25%。显然采用光伏接入需要根据负荷情况合理分配并网供电臂, 才能有效降低负序电流。

从以上两种情况仿真可知, 仿真结果符合理论分析。说明采用所提方法在充分利用新能源的前提下, 同时有助于改善牵引供电系统负序电流问题。

5 结 语

上面提出了一种考虑光伏接入的牵引供电系统负序改善方法, 得出如下结论:

1) 针对牵引供电系统结构的特殊性, 根据负荷电流差值情况, 灵活选择光伏电能接入的供电臂, 能够有效改善牵引供电系统负序电流问题;

2) 该方法可以拓展到光伏加储能接入、风力发电接入等其他类型的新能源接入方式;

3) 该方法同样可以拓展适用于三相 - 两相非平衡变压器结构牵引变压器 (如 YN/d11 和 VX 牵引变压器)。

参考文献

- [1] 于坤山, 周胜军, 王同勋, 等. 电气化铁路供电与电能质量[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [2] 李群湛. 论新一代牵引供电系统及其关键技术[J]. 西南交通大学学报, 2014, 49(4): 559 - 568.
- [3] 夏焰坤, 李群湛, 解绍锋. 电气化铁道贯通同相供电变电所控制策略研究[J]. 铁道学报, 2014, 36(8): 25 - 31.
- [4] 王辉, 李群湛, 解绍锋, 等. 采用 YNd - SVG 的电气化铁路负序补偿模型及控制策略[J/OL]. 高电压技术, 2021, 57(5): 1 - 12.
- [5] 张宇, 王辉, 李群湛, 等. 基于 Dd 匹配变和 SVG 的牵引变电所群贯通供电系统负序治理方案及控制策略[J]. 高电压技术, 2021, 47(1): 150 - 158.

- [6] 吴萍, 李群湛. 基于 YN - vd 接线变压器的新型同相牵引供电系统方案[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(10): 87 - 92.
- [7] Zeliang Shu, Shaofeng Xie, Qunzhan Li. Development and Implementation of A Prototype for Co - phase Traction Power Supply System[C]. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010: 1 - 4.
- [8] Xiaoqiong He, Zeliang Shu, Xu Peng, et al. Advanced Co - phase Traction Power Supply System Based on Three - phase to Single - phase Converter[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(10): 5323 - 5333.
- [9] An Luo, Chuanping Wu, John Shen, et al. Railway Static Power Conditioners for High - speed Train Traction Power Supply Systems Using Three - phase V/V transformers[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2011, 26(10): 2844 - 2856.
- [10] Kengwen Lao, Ningyi Dai, Weigang Liu, et al. Hybrid Power Quality Compensator with Minimum DC Operation Voltage Design for High Speed Traction Power Systems[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2013, 28(4): 2024 - 2036.
- [11] 施大发, 吴传平. 基于两相三线制变流器的高速铁路负序和谐波综合补偿新方法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(7): 257 - 264.
- [12] 寇磊, 罗安, 吴传平. 基于两相三线制变流器的新型高铁电能质量补偿装置[J]. 电网技术, 2013, 37(1): 224 - 229.
- [13] 陈炜, 艾欣, 吴涛, 等. 光伏并网发电系统对电网的影响研究综述[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(2): 26 - 32.
- [14] 李群湛. 电气化铁道电能质量及其综合控制技术[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2007.
- [15] 解绍锋, 方曼琪, 戴朝华. 光伏接入牵引供电系统对电能质量的影响[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(10): 53 - 59.
- [16] 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.

作者简介:

夏焰坤(1984), 博士, 副教授, 研究方向为电力系统分析和电能质量分析与控制技术。(收稿日期: 2020 - 03 - 25)

(上接第 61 页)

- [2] 刘振亚, 张启平, 王雅婷, 等. 提高西北新甘青 750 kV 送端电网安全稳定水平的无功补偿措施研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(5): 1015 - 1022.
- [3] 李春华, 黄伟雄, 袁志昌, 等. 南方电网 ±200 Mvar 链式 STATCOM 系统控制策略[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(3): 116 - 121.

- [4] 陆继志. STATCOM 在变电站的应用及意义[J]. 云南电业, 2011(8): 37 - 38.

作者简介:

邵沈会(1990), 男, 工程师, 主要从事电力系统稳定分析、电力系统规划研究。

(收稿日期: 2021 - 05 - 15)