

利用串补技术提高电厂输送能力的探究

周艳青, 罗永吉

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]为了提高电厂输送能力, 利用串补技术减少线路阻抗。[方法]对大方-黔西电厂送出工程进行了简要的介绍, 分析了串补装置对机组次同步谐振、过电压及短路电流的影响, 对不同串补配置方案进行了经济比较。[结果]结果表明: 采用中间开关站+串补度为 50% 的串补方案是实际可行的方案。[结论]研究结果对大方-黔西电厂串补送出方案设计具有指导作用。

关键词: 大方-黔西电厂; 串联电容补偿; 次同步谐振; 过电压

中图分类号: TM7; TM714.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0042-04

Research on Improving Transmission Capacity of Power Plant by Adopting Series Capacitor Compensation Technology

ZHOU Yanqing, LUO Yongji

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] In order to improve the transmission capacity of power plants, the series capacitor compensation technology is adopted to reduce transmission line impedance. [Method] This paper introduced Dafang-Qianxi Power Plant transmission project generally, analyzed the impact of power unit subsynchronous resonance, overvoltage and short circuit current by adopting series capacitor compensation technology. Furthermore, studied the economic comparison of different series capacitor compensation scheme. [Result] The result shows that the series capacitor compensation scheme with intermediate switching station plus 50% series capacitor compensation is a feasible scheme. [Conclusion] The final conclusions of the paper can be used as guidance to design the series capacitor compensation transmission scheme for Dafang-Qianxi Power Plant.

Key words: Dafang-Qianxi Power Plant; series capacitor compensation; subsynchronous resonance; overvoltage

大方电厂和黔西电厂分别位于贵州毕节的大方、黔西两县, 电厂容量均为 2×660 MW 超临界燃煤发电机组, 总容量为 4×660 MW, 电力电量拟全部送重庆电网消纳, 作为重庆电网主力电源之一, 担负向重庆市供电的任务, 可有效减少重庆电网电力缺口, 满足重庆市负荷发展的需要, 为重庆市经济的可持续发展提供可靠的能源保证。

大方电厂和黔西电厂送出工程是典型的大容量电厂经长线路送电的系统。电厂以 500 kV 一级电

压接入系统, 大方电厂通过 2 回 500 kV 线路串接至黔西电厂, 由黔西电厂通过 2 回 500 kV 线路接入重庆电网的南川开关站。黔西电厂至重庆南川开关站线路长度约为 330 km^[1-2]。

在超/特高压输电系统中采用串联补偿技术, 可以使线路输送能力提高 30%~40%, 提高稳定水平, 减少输电线路回数, 输电走廊相应占地面积小可节约土地资源, 节省电网的投资和运行费用。因此, 串联补偿技术在国内外得到大量应用, 取得显著的经济效益和社会效益。

1 串补度不同对机组 SSR 的影响

大型汽轮发电机组发出的电能通过远距离超高

收稿日期: 2017-09-29 修回日期: 2017-11-01

基金项目: 中国能建广东院科技项目“特高压输电线路多数据源三维选线量测技术平台”(KB-2009-144)

压串补(尤其是补偿度较高的)线路接入系统时,在某种运行方式下,很可能在机械与电气系统之间发生谐振,其振荡频率低于电网的额定频率,称为次同步谐振(SSR)^[3]。这种电气-机械共振现象,能在短期内损坏发电机轴系,即使谐振较轻,也会显著消耗轴的机械寿命。1970年和1971年美国Mohave电站由于串补引起了发电机轴系的两次扭振破坏,损失很大。我国在应用串补的过程中也不断受到次同步谐振问题的困扰^[4]。

对于大方-黔西电厂不同送出方案,在相关送出线路加装串补装置后(串补度为35%~65%),电厂在正常运行方式、N-1方式等各种可能工况的条件下,采用电磁暂态计算程序(EMTP)进行研究表明,系统均存在串联谐振及电抗跌落现象,SSR风险较大。

线路串补度不同对于电厂SSR风险无本质差别,都需要在电厂侧采取次同步谐振抑制保护措施。但根据次同步谐振研究经验,适当降低串补度可降低次同步谐振风险,并有利于次同步谐振抑制措施的配置^[5]。

2 串补配置方案对过电压分布的影响

串联补偿能提高线路的输送能力,但也会影响系统的电压特性。当线路电流的无功分量为感性时,则该电流在线路电感上产生一定的电压降,而在电容器上产生一定的电压升;反之,若线路电流的无功分量为容性时,则该电流在线路电感上产生一定的电压升,而在电容器上产生一定的电压降。因此,在一般情况下,电容器会改善系统的电压分布特性。但是,当串补的补偿度较高、线路负荷较重时,有可能使沿线电压超过额定允许值。

串补装置首先要解决的是装设地点的问题,采用分散电容补偿,线路电压分布会更加均匀,但是造价较高,不宜过分散,一般布置在长线路中间位置。

本节主要针对在线路中间不同串补度配置方案对过电压分布的影响。

由于线路输送功率对沿线电压分布有重要影响,研究中以输送潮流最大的四机单线方式进行研究^[1-2]。

根据系统计算,考虑N-1情况,当全线采用常规架线方式时,需要架设4回500kV线路;如果

在线路中间建设开关站,可以送出线路规模减少至3回。当全线采用常规架线方式时,加装65%的串补装置可将电厂送出线路规模降至2回;同时在中间加装开关站时,串补度可降至55%。

2.1 串补度为65%的串补方案

对于串补度为65%的串补方案,两回线路的总串补额定容量为 2×1500 Mvar,同时需要装设6组180 Mvar的高抗。

按在黔西电厂和南川侧各布置2组180 Mva母线高抗,2组串补度为65%的串补装置集中布置在线路中点,串补装置附近布置2组180 Mva母线高抗,如图1所示。在四机单线运行方式时,不同高抗配置下沿线电压分布曲线如图2所示。从沿线电压分布看,串补压降为30 kV左右,串补两端线路侧电压超过550 kV,达到560 kV。

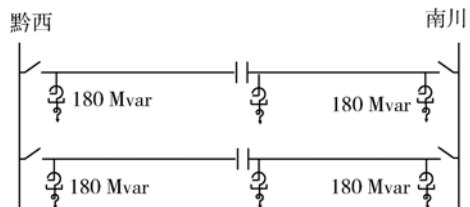
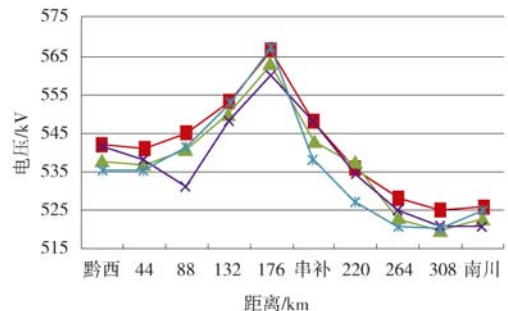


图1 串补度为65%的串补布置于线路中点
Fig. 1 65% series compensation degree at the middle of line



注: — 黔南4×180 — 黔南4×180; 黔南母2×180
— 黔南4×180; 南母2×180 — 黔南4×180; 黔母2×180

图2 黔南线沿线电压分布(串补度为65%串补)
Fig. 2 Qiannan line voltage distribution (65% series compensation degree)

2.2 中间开关站+串补度为50%的串补方案

在双回线路中间设置开关站在正常情况下对线路电抗并无影响,因此正常运行对线路沿线电压分布无影响。但对于双回路线路,切除一回线路后,电抗将增大一倍,若在线路中间设置开关站,将线路分成4段,切除一段后,电抗增加的较少。考虑

$N-1$ 的情况,若电厂送出线路中间设置开关站,可降低串补度约 15%。

对于中间开关站 + 串补度为 50% 的串补方案,两回线路的总串补额定容量为 4×577 Mvar,同时需要装设 6 组 180 Mva 的高抗。

按在黔西电厂和南川侧各布置 2 组 180 Mva 母线高抗,4 组 50% 的串补布置在中间开关站侧考虑,如图 3 所示。四机单线运行方式时,不同高抗配置下沿线电压分布曲线如图 4 所示。从沿线电压分布图看,串补压降分别为 20 kV 和 10 kV 左右,串补线路侧电压均不超过 550 kV。

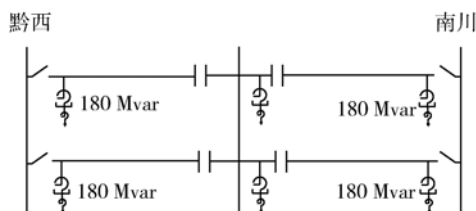


图 3 串补度为 50% 的串补放于中间开关站侧

Fig. 3 50% series compensation degree at the middle of switchyard

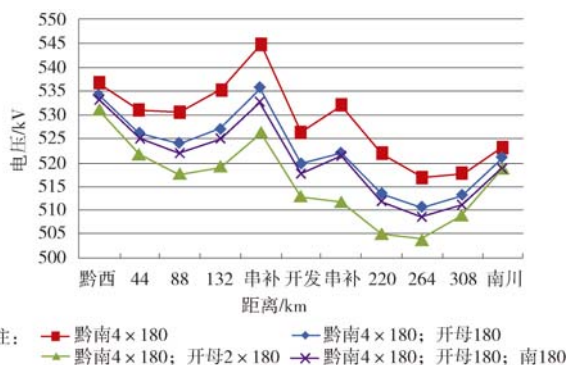


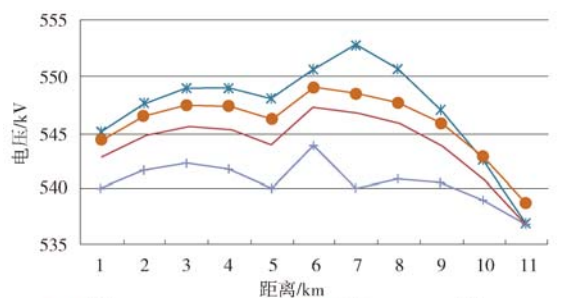
图 4 黔南线沿线电压分布
(开关站 + 串补度 50% 串补)

Fig. 4 Qiannan line voltage distribution (switchyard + 50% series compensation degree)

2.3 沿线电压分布校核计算

根据不同串补方案电压分布计算结果可知,中间开关站 + 串补度为 50% 的串补方案中,将串补置于中间开关站侧对于降低串补电压升降幅度较有利。针对四机双线运行方式以及单机双线运行方式进行沿线电压分布校核计算。

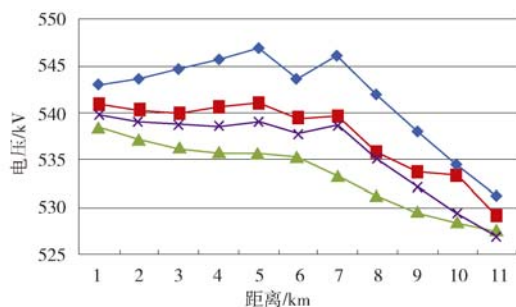
计算结果如图 5 和图 6 所示,从沿线电压分布看,在中间开关站有母联高抗的情况下,串补处的压降均小于 5 kV,开关站母线及串补线路侧电压都不超过 550 kV。



注: * 黔南4×180 ○ 黔南4×180; 开母180
+ 黔南4×180; 开母2×180 □ 黔南4×180; 开母180; 南180

图 5 四机双线黔南线沿线电压分布

Fig. 5 Qiannan line voltage distribution in four generators and double-circuit transmission line



注: ◆ 黔南4×180 ■ 黔南4×180; 开母180
▲ 黔南4×180; 开母2×180 × 黔南4×180; 开母180; 南180

图 6 单机双线黔南线沿线电压分布

Fig. 6 Qiannan line voltage distribution in single generator and double-circuit transmission line

2.4 小结

串补度为 65% 的串补方案,由于串补容量较大,线路有功、无功流过串补引起的电压升降幅度较大,串补集中分布中间可能导致沿线电压分布均不合理,串补附近电压超过 550 kV,不满足线路设计要求。中间开关站 + 串补度为 50 串补方案,串补度相比无开关站方案下降了 15%。串补布置在中间开关站时则可控制线路电压在一个合理范围内,电压分布合理,满足运行要求。

因此,从降低串补电压升降幅度,避免线路电压超过 550 kV 角度考虑,采用中间开关站 + 串补度为 50% 的串补方案^[6-8]。

3 串补位置不同对短路电流的影响

中间开关站 + 串补度为 50% 的串补方案,黔西、开关站、南川的短路电流如表 1 所示。系统侧南川开关站短路电流较大,黔西电厂侧与中间开关站侧短路电流基本相当。由于串补中 MOV 的参数设计与串补接入点的短路电流大小有关,从减少

MOV 设计难度考虑, 串补站不宜放在短路电流较大的南川侧, 而宜放在短路电流较小的中间开关站或黔西侧^[9-10]。

表 1 短路电流比较表

Tab. 1 Short circuit current comparison table

节点	短路电流/kA
南川	34.8
中间开关站	13.8
黔西	13.9

4 不同串补配置方案投资比较^[2]

中间开关站 + 串补度为 50% 的串补方案与串补度为 65% 的串补方案投资比较如表 2 所示。

表 2 不同串补方案静态投资表

Tab. 2 Static investment table indifferent series compensation scheme

方案	项目	规模	单价	小计/万元
含中间开关站	串补	50%, 4 × 577 Mvar	100 元/kvar	23 080
	开关站	500 kV	10 000 元	10 000
	合计	—	—	33 080
无中间开关站	串补	65%, 2 × 1 502 Mvar	100 元/kvar	30 040
	合计	—	—	30 040
差值	—	—	—	3 040

注: 经济比较时没有考虑串补度下降对电厂 SSR 抑制措施的影响。

5 结论

1) 根据次同步谐振研究经验, 适当降低串补度可降低次同步谐振风险, 并有利于次同步谐振抑制措施的配置。若电厂送出线路中间设置开关站, 可降低串补度约 15%。因此, 从抑制次同步谐振考虑, 建议采用送出线路中间设置开关站 + 50% 串补的方案, 从节约占地且便于管理角度考虑, 可将串补装置安装于开关站内。

2) 从电压分布计算结果看, 为降低串补电压升降幅度, 避免线路电压超过 550 kV, 宜在线路中间加装开关站, 并将串补布置在开关站内。为限制轻载时中间开关站母线电压超标的问题, 宜在中间开关站装设高抗。

3) 从短路电流计算结果看, 黔西至南川线路, 在线路起止点(黔西、南川侧)的短路电流较大, 线路中间的短路电流较小。从减少 MOV 设计难度考

虑, 串补不宜安装在短路电流较大受端, 可安装在在短路电流较小的中间开关站或黔西侧。

4) 从经济性看, 增加线路中间开关站可以使串补度从 65% 下降至 50% 左右, 串补投资节省 6 960 万元, 考虑增加开关站的投资后, 总投资仅比无开关站方案增加 3 040 万元。

5) 将开关站和串补站合建, 可以减少建设、设计施工难度, 同时为运营、维护提供便利。

因此, 综合考虑各种串补方案, 推荐采用中间开关站 + 串补度为 50% 的串补方案, 同时将串补装置安装在开关站内。

参考文献:

- [1] 肖汉, 万新燕, 丁婧, 等. 大方、黔西电厂 4 × 660 MW 工程接入系统设计 [R]. 成都: 西南电力设计院, 2013.
- [2] 袁康龙, 周艳青, 邱楠, 等. 毕节 4 × 660 MW 新建项目送出工程可行性研究报告 [R]. 广州: 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 2015.
- [3] 班连庚, 项祖涛, 宋瑞华, 等. 毕节电厂接入系统的次同步谐振风险评估研究 [R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2013.
- [4] 徐政, 张帆. 托克托电厂串补送出方案次同步谐振问题的计算和分析 [J]. 中国电力, 2006, 39(11): 21-26.
- [5] 电力规划设计总院. 电力系统设计手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [6] 赵学强, 祝瑞金, 杨增辉. 采用串补技术提高华东—福建联络线输送能力的研究 [J]. 华东电力, 2005, 33(7): 15-19.
- [7] 杨滨, 刘为, 黄昊. 采用串补技术提高黑龙江省东部网输电能力的探讨 [J]. 黑龙江电力, 1996, 18(5): 280-284.
- [8] 钟胜. 与超高压输电线路加装串补装置有关的系统问题及其解决方案 [J]. 电网技术, 2004, 28(6): 26-30.
- [9] 方晓松. 平果可控串补站工程接入系统设计 [R]. 武汉: 中南电力设计院, 2001.
- [10] 杨帆, 王西田, 陈陈. 串联补偿输电系统次同步谐振的电气模态阻尼的参数敏感性分析 [J]. 华东电力, 2005, 33(6): 22-27.

作者简介:



ZHOU Y Q

周艳青(通信作者)

1982-, 男, 江西吉安人, 高级工程师, 硕士, 主要从事变电站电气设计研究的工作 (e-mail) zhouyanqing@gedi.com.cn.

(责任编辑 李辉)