

晋东南 1000 kV 变电站直流系统配置方案

燕立, 盛志宇

(北京国电华北电力工程有限公司, 北京市 西城区 100011)

Configuration Scheme of DC System for 1 000 kV Southeast Shanxi Substation

YAN Li, SHENG Zhi-yu

(North China Power Engineering (Beijing) Co., Ltd., Xicheng District, Beijing 100011, China)

ABSTRACT: DC system is an important system that provides DC power sources to all secondary devices of substation, so its operation directly impacts the security and reliability of substation and whole power grid. The capacity of DC load in UHVAC substation is much higher than that in EHVAC substations, the secondary devices in UHVAC substation are dispersively arranged and the power supply distance of DC system in UHVAC substation is much longer than that in EHVAC substation. According to practical condition of 1000kV AC Southeast Shanxi substation, the configuration schemes of its DC system are demonstrated and through the techno-economic comparison of several DC system configuration schemes, the conclusion that in this substation two sets of DC system should be configured is obtained and corresponding scheme is chosen as the optimal scheme and adopted.

KEY WORDS: UHV substation; DC system; configuration scheme; techno-economic comparison

摘要: 直流系统是为变电站内二次设备提供可靠电源的重要设备, 其运行的好坏直接影响变电站乃至电力系统的安全可靠运行。特高压变电站与超高压站相比有直流负荷容量大、二次设备布置分散和直流系统供电距离长的特点。根据晋东南 1 000 kV 变电站具体情况对直流系统配置方案进行了论证, 并通过对多个方案的技术、经济比较, 得出了全站配置 2 套直流系统为最佳方案的结论, 并已在工程中实施, 获得了较好的效益。

关键词: 特高压变电站; 直流系统; 配置方案; 技术经济比较

0 引言

我国特高压工程的建设, 对优化能源配置, 保障国家能源安全和电力可靠供应具有重要意义。1 000 kV 晋东南—南阳—荆门交流特高压试验示范工程建设的正式投入运行, 代表着国际输变电技术

的最高水平, 是我国科技创新的一座丰碑^[1-15]。

电力直流系统为变电站内设备的继电保护、控制、信号、安全自动化装置及事故照明等提供电源, 运行的可靠与否直接关系到变电站的安全稳定运行。晋东南变电站作为晋东南—南阳—荆门 1 000 kV 交流特高压试验示范工程的重要部分之一, 终期规模大、占地面积大、直流负荷容量大, 与以往工程有较大区别。本文根据变电站近远期的具体情况, 对直流系统配置方案进行论证、说明、比较, 以求整个系统更加合理、可靠、经济、资源利用最大化。

1 晋东南变电站概况

晋东南 1 000 kV 变电站最终规模为 3 000 MVA 变压器 3 台; 1 000 kV 线路 11 回, 其中 6 回出线配置高压并联电抗器; 500 kV 线路 10 回; 每组主变压器低压侧配置 8 组无功补偿设备。

本期建设 3 000 MVA 变压器 1 台; 1 000 kV 线路 1 回, 配置高压并联电抗器; 500 kV 线路 5 回; 主变压器低压侧配置 2 组低压电抗器和 4 组低压电容器。

二次设备按对象和功能下放, 布置在相应的交流配电装置区的继电器小室内。1 000 kV 配电装置区共设置 3 个继电器小室, 本期建设 1 个, 预留 2 个; 500 kV 配电装置区共设 2 个继电器小室, 本期一次建成; 主变及无功补偿装置共设 2 个继电器小室, 本期建设 1 个, 预留 1 个。在主控通信楼设有主控室和计算机室, 布置监控系统站控层设备和变电站公用二次设备。

2 直流负荷及直流系统电压的确定

2.1 直流系统主要负荷

在变电站运行中直流系统承担着为全站控制、

保护、监视、报警、计量等设备提供可靠电源,及在站用交流电源全停事故情况下提供必要照明的重要作用。主要的供电对象包括继电保护及安全自动装置、计算机监控系统设备、故障录波及测距装置、火灾报警及自动灭火设备、电能计量设备、事故照明及 UPS 交流不停电装置等。在晋东南 1000kV 变电站,存在着比一般 500kV 变电站直流负荷容量大,设备布置分散的特点。表 1 列出了本站主要直流负荷情况,其中经常负荷一栏为表 1 前 3 列合计。

表 1 直流负荷统计
Tab. 1 Statistics of the DC load

设备	保护 装置/W	测控 装置/W	其它 装置/W	经常 负荷/W	事故 照明/W	UPS/ W
1000 kV 小室 1	2 310	780	750	3 840	800	
1000 kV 小室 2	2 310	780	750	3 840	800	
1000 kV 小室 3	2 310	900	900	4 110	800	
500 kV 小室 1	2 220	900	375	3 495	800	
500 kV 小室 2	2 400	1 020	375	3 795	800	
主变小室 1	1 120	960	150	2 230	800	
主变小室 2	1 190	1 740	225	3 155	800	
主控通信楼		1 100	1 300	2 400	3 000	9 000
直流负荷合计	13 860	8 180	4 825	26 865	8 600	9 000

2.2 直流系统电压

目前变电站中常用的直流系统额定电压为 220V 和 110V。根据本工程的具体特点,选择额定电压 220V,其与 110V 相比有如下优点:

以往的工程经验证明,在直流系统总投资中电缆投资占很大比例,电缆的截面积按长期允许载流量和回路允许电压降 2 个条件选择。目前在大型变电站直流系统中一般后者为决定因素,其计算公式为^[15]

$$S_{\text{cac}} \geq \rho \frac{2LI_{\text{ca}}}{\Delta U_{\text{p}}} \quad (1)$$

式中: S_{cac} 为电缆计算截面积; I_{ca} 为回路电流; L 为直流屏至负荷的电缆长度; ΔU_{p} 为允许电压降。

对于相同的供电负荷容量,110V 直流电压的负荷电流是 220V 电压时的 2 倍;要保证供电电缆产生的压降在相同额定电压百分数下,当负荷电流和供电距离相同时,110V 直流系统是 220V 系统电缆截面的 4 倍。

本工程最终规模占地约 16 公顷,相当于普通 500kV 变电站占地的 3 倍,直流电源供电距离相当长,且设备数量多、消耗功率大、负荷电流大。在这种情况下,如果采用 110V 直流电压,电缆截面会比一般 500kV 变电站大很多。这样既增加了电缆

投资,也造成了电缆敷设和施工接线的困难。另外变电站照明系统大多采用交流 220V,如果采用 110V 直流系统电压,事故照明需采用逆变电源装置或其它方法解决供电问题,增加了事故照明回路的复杂性,降低了可靠性。因此采用 220V 直流系统可以达到节省投资,简化事故照明回路,便于施工的目的^[16]。

3 直流系统配置方案研究

3.1 直流系统方案说明

以往多数 500kV 变电站配置 1 套直流系统能满足全站的直流负荷供电要求,而本工程因规模大、占地面积大,采用传统方式将会带来蓄电池容量过大、供电电缆长、电缆截面积大等缺点。为解决此问题,本文提出在本变电站可采用相对分散的方式配置多套直流系统。但究竟如何配置既能解决上述问题、保证系统可靠运行,又可节省投资、便于运行维护,需要研究和确定。根据工程的具体情况可有 3 个配置方案:

方案 1: 全站共配置 2 套直流系统,500kV、主变、无功补偿及公用设备配置 1 套,为直流系统 1,布置于主变及无功继电器小室 1 内,其容量和供电范围相当于 500kV 变电站;1000kV 部分配置 1 套为直流系统 2,布置于 1000kV 第 2 继电器小室内。由于初期 1000kV 只有 2 台断路器和 1 回路,直流负荷容量较小,二次设备布置于 1000kV 继电器小室 1 内,直流系统 2 及 1000kV 继电器小室 2 均可以暂时不建,初期 1000kV 继电器小室 1 直流分电柜电源由直流系统 1 供电,待今后扩建 1000kV 线路时同时扩建 1000kV 继电器小室 2 和直流系统 2,再将 1000kV 继电器小室 1 分电柜电源接线进行切改。这样既可以减少初期投资及维护工作量,同时又使直流系统 2 设于 1000kV 的中心位置,缩短了供电距离。

方案 2: 全站配置 1 套直流系统,布置于主变及无功继电器小室 1 内。

方案 3: 直流系统分散配置,全站共配置 3 套直流系统。主变、无功补偿及公用部分配置 1 套为直流系统 1,布置于主变及无功继电器小室 1 内;1000kV 部分配置 1 套为直流系统 2,布置于 1000kV 第 2 继电器小室内;500kV 部分配置 1 套为直流系统 3,布置于 500kV 第 1 继电器小室内。同方案 1,直流系统 2 初期不建设。

以上各方案每套直流系统主要设备包括 2 组阀控式密封铅酸蓄电池和 3 套高频开关电源装置，直流母线采用单母线分段接线，各继电器小室分别设置直流分电柜，直流负荷采用辐射供电方式。蓄电池组的事故放电时间为 2h。

3.2 直流系统方案的技术经济比较

根据工程的负荷情况，对 3 个方案进行蓄电池、充电设备及电缆的选择计算和数量统计，并对

初期及终期的投资进行了估算和经济比较。表 2 列出了蓄电池和直流设备的计算参数、蓄电池室面积和投资估算。表 3 列出了主要供电电缆的选择参数、数量和投资。表 4 是总投资比较结果。在投资估算中主要设备及元器件价格参考了电力规划设计总院限额设计控制指标及某直流设备生产厂的报价；电缆主要统计了数量较多、对投资影响较大的直流主馈电柜至各小室直流分电柜的电缆。

表 2 直流系统设备参数及投资估算

Tab. 2 Equipment parameters and investment estimation of the DC system

设 备	单 价	方案 1: 分散方案		方案 2: 集中方案		方案 3: 分散方案							
		直流系统 1		直流系统 2		全站 1 套直流系统		直流系统 1		直流系统 2		直流系统 3	
		参数 数量	价格/ 万元	参数 数量	价格/ 万元	参数 数量	价格/ 万元	参数 数量	价格/ 万元	参数 数量	价格/ 万元	参数 数量	价格/ 万元
蓄电池容量/Ah		600		400		900		400		400		300	
电池数量/只		104	15	104	11.5	104	23	104	11.5	104	11.5	104	8
组数及价格/组		2	30	2	23	2	46	2	23	2	23	2	16
充电机/面		3	51	3	43.5	3	66	3	40.2	3	43.5	3	40.2
馈电主柜	3.1 万元/面	4	12.4	4	12.4	4	12.4	4	12.4	4	12.4	4	12.4
分电柜	2 万元/面	7	14	4	8	13	26	3	6	4	8	2	4
绝缘监测仪	2.5 万元/套	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5
电池监测仪	2.35 万元/套	2	4.7	2	4.7	2	4.7	2	4.7	2	4.7	2	4.7
蓄电池室	0.2 万元/m ²	42.2	8.44	42.2	8.44	67.5	13.5	42.2	8.44	42.2	8.44	42.2	8.44
各方案设备总价/万元		230.58				173.6		287.78					

表 3 直流供电电缆参数及投资估算

Tab. 3 Parameters and investment estimation of DC cables

电 缆	方案 1		方案 2	方案 3		
	系统 1	系统 2		系统 1	系统 2	系统 3
截面/mm ²	50	35	50	35	35	35
长度/m	1 920	1 360	5 200	1 000	1 360	760
单价/(元/m)	34.8	25.6	34.8	25.6	25.6	25.6
价格/万元	66.8	34.8	181	25.6	34.8	19.5
总价/万元	101.6		181	79.9		

表 4 投资估算比较

Tab. 4 Comparison of the investment estimation

设备及方案	方案 1/万元	方案 2/万元	方案 3/万元
电池及直流设备	230.58	173.6	287.78
直流电缆	101.6	181	79.9
各方案合计	332.18	354.6	367.68
方案 2、3 高于方案 1		22.42	35.5

根据上述计算及比较可以看出：

1) 全站采用 2 套直流系统的方案 1，每套系统容量及供电范围均与 500kV 变电站相当，各种主要参数选择大小适中、合理，对设备运行的可靠性和稳定性极为有利；设备数量虽然比 500kV 变电站多 1 倍，但相对分散的设备使供电电缆的长度和截面大量减少，有效地控制了投资；整个变电站初期规模不到最终规模的 1/3，本期只建 1 套直流系统，既可使运行设备得到充分利用，又能提高投资效率，减少运行维护的工作量。

2) 全站采用 1 套直流系统的方案 2，由于最终负荷容量大，因此蓄电池组的容量和充电设备的额定电流都比较大，而且电缆数量也远多于方案 1，整个系统投资大、参数不够合理，设备过于集中，发生故障影响范围大，不利于整套系统的安全、稳定运行。

3) 全站采用 3 套直流系统的方案 3，每套供电范围相对较小，设备参数比较合理。但相比前 2 个方案，设备配置数量是最多的，必将增加运行维护工作量，不但建设投资比较大，后期的维护成本也相应提高了很多。

4 结论

1) 技术经济比较表明，方案 1 配置合理，运行稳定、可靠，投资在 3 个方案中最少，是最终采用方案。

2) 按方案 1 配置的直流系统，经施工设计对各主要回路短路电流、直流主屏的馈线开关和分电柜开关等配合参数以及电缆的进一步计算，证明了该方案配置合理、开关及电缆参数适中、工程实施较容易。目前该方案已经正式投产，设备运行良好。

3) 特高压变电站的直流系统对其安全稳定运

行起着重要作用,在决定直流系统配置方案时,需要根据变电站的特点,综合考虑设备参数的大小、用电设备与电源之间的距离、电缆截面的选择、上下级开关设备的配合等因素,并应经过详细的计算和统计。

参考文献

- [1] 刘振亚. 加快建设坚强国家电网促进中国能源可持续发展[J]. 中国电力, 2006, 9(9): 1-III.
- [2] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005: 1-5.
- [3] 舒印彪, 刘泽洪, 陈葛松, 等. 2005年国家电网公司特高压输电论证工作综述[J]. 电网技术, 2006, 30(5): 1-12.
Shu Yinbiao, Liu Zehong, Chen Gesong, et al. A survey on demonstration of UHV power transmission by state grid corporation of China in the year of 2005 [J]. Power System Technology, 2006, 30(5): 1-12(in Chinese).
- [4] 舒印彪. 1000 kV 交流特高压输电技术的研究和应用[J]. 电网技术, 2005, 29(19): 1-6.
Shu Yinbiao. Research and development of UHV transmission technology with 1 000 kV AC[J]. Power System Technology, 2005, 29(19): 1-6(in Chinese).
- [5] 张运洲. 对我国特高压输电规划中几个问题的探讨[J]. 电网技术, 2005, 29(19): T11-T14.
- [6] 曾庆禹. 特高压输电技术及其发展[R]. 北京: 中国电机工程学会, 2006.
- [7] 丁伟, 胡兆光. 特高压输电经济性比较研究[J]. 电网技术, 2006, 30(19): 7-13.
Ding Wei, Hu Zhaoguang. The research on the economy comparison of ultra high voltage[J]. Power System Technology, 2006, 30(19): 7-13(in Chinese).
- [8] 周浩, 余宇红. 我国发展特高压输电中一些问题的讨论[J]. 电网技术, 2005, 29(12): 1-9.
Zhou Hao, Yu Yuhong. Discussion on several important problems of developing UHV AC transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(12): 1-9(in Chinese).
- [9] 张文亮, 胡毅. 发展特高压交流输电, 促进全国联网[J]. 高电压技术, 2003, 29(8): 20-22.
Zhang Wenliang, Hu Yi. To develop UHV AC power transmission and advance the united power network in China[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(8): 20-22(in Chinese).
- [10] 张晓莉, 王玉玲. 1 000 kV 交流输电系统动态模拟研究[J]. 电网技术, 2006, 30(7): 1-4.
Zhang Xiaoli, Wang Yuling. Study on dynamic simulation of 1000 kV AC power transmission system[J]. Power System Technology, 2006, 30(7): 1-4(in Chinese).
- [11] 孙竹森, 李震宇. 特高压交流试验示范工程现场建设管理机制研究[J]. 电网技术, 2008, 32(13): 5-9.
Sun Zhusen, Li Zhenyu. Study on worksite management mechanism of 1 000 kV UHVAC pilot project from southeast Shanxi via Nanyang to Jingmen[J]. Power System Technology, 2008, 32(13): 5-9(in Chinese).
- [12] 梁旭明, 张国威, 徐玲玲, 等. 1 000 kV 交流特高压试验示范工程的生产准备工作与实施[J]. 电网技术, 2008, 32(5): 12-16.
Liang Xuming, Zhang Guowei, Xu Lingling, et al. Investigation and implementation of production preparation for 1 000 kV AC test and pilot project[J]. Power System Technology, 2008, 32(5): 12-16(in Chinese).
- [13] 孙昕, 丁扬, 印永华, 等. 中国特高压交流试验示范工程建设的基本原则[J]. 电力建设, 2007, 28(10): 12-16.
Sun Xin, Ding Yang, Yin Yonghua. Basic principles of China's UHV AC demonstration project[J]. Electric Power Construction, 2007, 28(10): 12-16(in Chinese).
- [14] 黄道春, 阮江军, 文武, 等. 特高压交流输电线路电磁环境研究[J]. 电网技术, 2007, 31(1): 6-11.
Huang Daochun, Ruan Jiangjun, Wen Wu, et al. Study on electromagnetic environment of UHV AC transmission lines[J]. Power System Technology, 2007, 31(1): 6-11(in Chinese).
- [15] DL/T 5044-2004, 电力工程直流系统设计技术规程[S].
- [16] 能源部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册(电气二次部分)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990: 265.



燕立

收稿日期: 2009-03-20。

作者简介:

燕立(1959—), 女, 高级工程师, 从事变电站电气二次设计工作, E-mail: yanli@ncpe.com.cn;

盛志宇(1971—), 男, 高级工程师, 从事变电站电气二次设计工作。

(责任编辑 王晔)

《电网技术》征集英文稿件启事

《电网技术》是由国家电网公司主办的技术门类最广泛的资深学术技术期刊,是全国中文核心期刊和国家教委认可的学位与研究生教育重要期刊,较全面地反映了中国电力、电工和能源等方面的技术发展情况及科研成果。目前我国正在开展举世瞩目的特高压输电技术的研究和工程试验,在这样的工程和技术背景下,《电网技术》必将迎来空前的发展机遇。为扩大期刊在海外的影响力,自2009年起,《电网技术》拟出版英文专辑,欢迎能熟练使用英语的专家作者踊跃投稿。具体要求如下:

1. 为方便专家和编辑部审查,投递英文稿件时请同时附中文全文;
2. 稿件质量及内容要求、审查方式等与中文稿件相同,但不受版面限制,通过审查即予录用,稿酬从优;
3. 已经在正式刊物上以中文刊出过的文章请勿再用英文投稿;
4. 英文版采用专辑方式出版,与中文版使用连续期号。