

“强-简-强”模式下北京 110 kV 智能变电站直流系统配置方案

“强-简-强”模式下的北京 110 kV 智能变电站，简化了主接线，按照供电区域所处位置、面积、负荷密度将供电区域分为 A+~D 类。分析了在此背景下 110 kV 智能变电站的直流系统配置方案，提出了兼顾站内直流系统的可靠性和经济性的优化方案。

杨然静 刘满圆 白小会 金文博/北京电力经济技术研究院



杨然静/高级工程师

关键词/Keywords

智能变电站 ·
“强-简-强” ·
直流系统 ·

0 引言

北京地区为保证高供电可靠性，现运行的电网结构采用“强（220 kV）-强（110 kV）-强（10 kV）”的模式，110 kV 变电站主接线较为复杂，二次设备繁多，站内直流系统均采用双套蓄电池+双套高频开关的配置方案保证运行的可靠性。

随着北京城市电网建设的发展，220 kV 及以上电网已形成环网接线、分区运行的格局；10 kV 电网中电缆以环网结构为主，架空线路采用多分段多联络，配电自动化全覆盖，光纤通信到台区，互倒互带能力强；以上条件说明北京地区电网具备优化、简化 110 kV 电网结构的物理基础。2014 年编写的北京电网规划设计原则，提出了“强-简-强”的网架结构建设原则。即按照国网公司“强简有序，相互支援”的原则，做强 220 kV 及以上主网，简化 110 kV 高压配电网的接线形式及运行方式，做强 10 kV 中压配电网，实现“强-简-强”网架结构的优化。并且按照供电区域所处位置、面积和负荷密度将供电区域分为 A+~D 类。在此基础上，110 kV 智能

变电站具备了重新探讨直流配置方案的条件。

本文针对“强-简-强”供电模式下的 110 kV 智能变电站的直流系统配置方案进行了论证，提出了兼具可靠性与经济性的不同配置方案，并对未来 110 kV 智能化变电站的直流系统配置进行了展望。

1 “强-简-强”110 kV 变电站建设模式概述

目前 110 kV 具有可行性的接线模式有四种方案，分别为：①多个单环网组成的环进环出接线模式（3 断路器）；②多个单环网组成的环进环出接线模式（2 断路器）；③T 接形式接线模式（1 断路器）；④T 接形式接线模式（无断路器）。

1.1 方案一

多个单环网组成的环进环出接线模式（3 断路器）如图 1 所示，该接线模式具备以下特点。

1) 变电站采用单元接线，供电可靠性高。每个变电站配置 3 组共 9 台断路器。

2) 每回 110 kV 线路均采用纵差保护。

1.2 方案二

多个单环网组成的环进环出接线模式（2 断路器）如图 2 所示，该方案特点与方案一基本一致。在该方案中，每个变电站配置 3 组共 6 台断路器，较方案一减少了 GIS 设备占地面积。

1.3 方案三

多个变电站 T 接形式接线模式（1 断路器）如图 3 所示，该接线模式具

备以下特点。

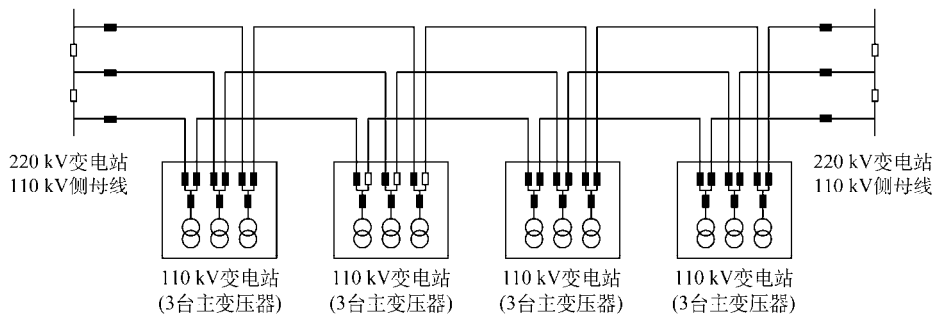


图 1 多个单环网组成的环进环出的接线模式 (3 断路器)

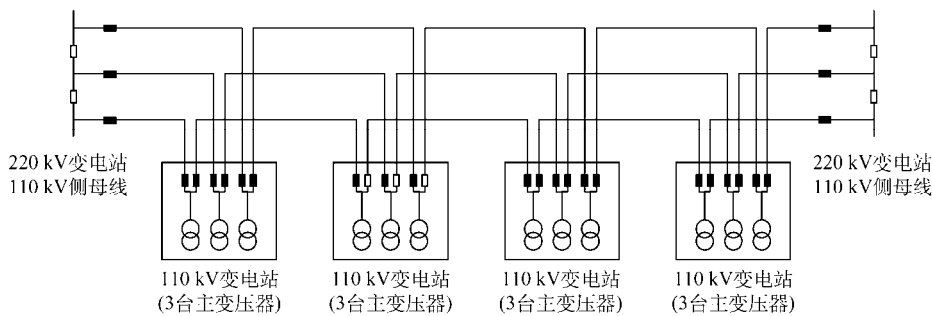


图 2 多个单环网组成的环进环出的接线模式 (2 断路器)

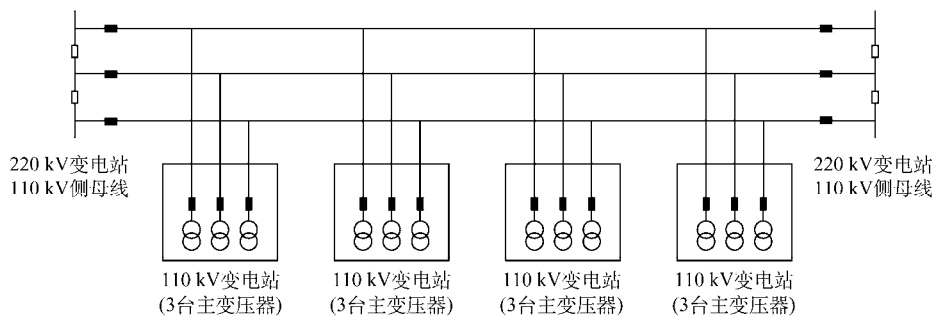


图 3 T 接方式的接线模式 (1 断路器)

- 1) 两座 220 kV 变电站之间通过两回或两回以上 110 kV 线路相连，110 kV 变电站采用单元接线。由于每个变电站配置 3 台断路器，较方案一、二减少了 GIS 设备占地面积。
- 2) 110 kV 线路采用距离保护。

1.4 方案四描述

多个变电站 T 接形式接线模式（无断路器）如图 4 所示，该方案特点与方案三基本一致。在该方案中，每个变电站不配置进线断路器，因此占地面积最小。

1.5 小结

综合北京地区电网供电区域类型的要求，多

采用方案一、三中的供电模式，方案二、四作为“强-简-强”供电模式的完整补充。

2 北京地区 110 kV 变电站直流系统现状配置分析

2.1 北京地区 110 kV 变电站直流系统现状配置

直流系统是变电站内最安全的工作电源，当变电站正常运行时，直流系统为站内的保护、控制、自动装置、通信和计量等设备提供工作电源；当电网发生故障造成变电站内交流全停时，直流系统为变电站提供故障时的应急操作及故障后恢复供电时的电气设备操作电源及通信电源。

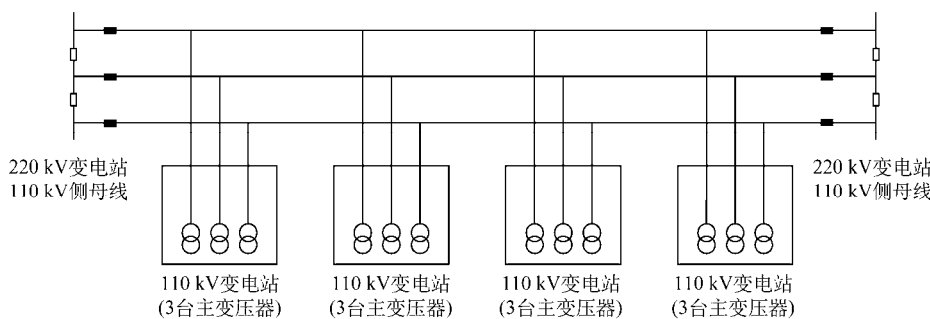


图 4 T 接方式的接线模式 (无断路器)

随着现代科学技术,尤其是计算机技术和通信技术的发展,使变电站向着一体化监控、无人值守和网络化集中管理的方向发展,作为电力系统重要组成部分的直流系统也因此从电源质量、可靠性到自动化程度都有了更高的要求。

直流系统配置方案争论的焦点在蓄电池组数的确定, DL/T 5044—2014《电力工程直流电源系统设计技术规程》规定: 110 kV 变电站宜装设单组蓄电池组, 对于重要的 110 kV 变电站也可装设两组蓄电池。我国大多省市 110 kV 变电站均采用单组蓄电池方式, 考虑到北京地区变电站规模大、供电重要性高、政治保电周期长以及运维半径大的需求, 国网公司在评审北京市电力公司 110 kV 变电站时, 按照重要 110 kV 变电站的定位, 同意按双套蓄电池组配置。北京市电力公司自 1999 年起按照华北电集生【1999】22 号文的要求 110 kV 变电站均采用双组蓄电池方式。

北京市电力公司现状常规 110 kV 变电站双套配置蓄电池组,单组蓄电池容量保证交流失电后单组可带全部二次设备负荷 2 h,根据变电站规模容量有 110 V/300 A·h、110 V/200 A·h、220 V/200 A·h 及 220 V/100 A·h 等配置方式,电池组组屏安装于二次设备室。

2011 年起,北京市电力公司 110 kV 变电站按照智能变电站标准进行建设,电源采用一体化电源系统,其中直流系统双套配置,蓄电池、充电装置均配置两组。由于蓄电池所带负荷增加通信设备、变电站过程层设备负荷,同时变电站规模大(主变压器 3~4 台、10 kV 出线每台主变压器 24 回,相当于外省市 1.5~2 个 110 kV 变电站规模)、直流负荷设备增多,经核算单组蓄电池

单组容量为 110 V/500 A·h，采用支架安装于独立蓄电池室。

2.2 变电站直流系统故障和缺陷分析

截止 2014 年 12 月,北京公司共管辖 477 座变电站,其中 500 kV 变电站 4 座,220 kV 变电站 73 座,110 kV 变电站 313 座,35 kV 变电站 87 座。

313 座 110 kV 变电站中 308 座变电站直流系统配置双套蓄电池组和充电装置, 5 座变电站直流系统配置单套蓄电池组、双套充电庄重, 但已经列入技改项目, 近期实施改造为双套。

如表 1 所示, 2014 年公司直流电源设备发生故障 0 次, 缺陷 366 次。其中, 充电装置缺陷 90 次, 占缺陷总数的 24.6%; 蓄电池缺陷 78 次, 占缺陷总数的 21.3%; 巡检装置缺陷 45 次, 占缺陷总数的 12.3%; 监控装置缺陷 11 次, 占缺陷总数的 3.0%; 其他故障与缺陷有 142 次, 占缺陷总数的 38.8%。

表 1 2014 年直流设备缺陷情况表

种类	缺陷数量	各类缺陷占比 (%)
充电装置	90	24.6
蓄电池	78	21.3
接地巡检	45	12.3
监控装置	11	3.0
其他	142	38.8
合计	366	100

由表 1 可知,直流系统中充电装置和蓄电池的缺陷比例最高,合计占缺陷率的 45.9%。截止 2014 年 12 月,公司共有变电站直流充电装置 870 台,其中充电模块缺陷 90 台次,年缺陷率 10.34%。蓄电池共有 856 组,缺陷 78 组次,年

缺陷率 9.11%。由上述运维统计数据可知，蓄电池缺陷在直流设备缺陷率中占比较高，目前是通过蓄电池组的冗余配置来解决一组蓄电池故障时的不间断运行替代。

2.3 现状方案优化可行性分析

按照“强简有序、相互支援”的电网发展思路，参照国网公司“强（220 kV）-简（110 kV）-强（10 kV）”主配网架规划模式，《北京电网规划设计技术原则》依据规划水平年的区域范围、行政级别及负荷密度，参考经济发达程度、客户重要程度、用电水平及 GDP 等多维度综合考虑，将北京地区供电区域范围划分为 A+~D 类 5 级。2014 年起，新规划建设的 110 kV 变电站多采用单元接线方式（多采用如图 3 所示的方案）。按照“强（220 kV）-简（110 kV）-强（10 kV）”的建设模式，一次主接线较之现状简化配置，二次直流设备按照变电站所处的不同的供电区域范围是否也可考虑精简配置，是可以探讨的问

题。同时伴随着“三集五大”大运行、大检修建设，精细化管理的程度不断提高，为 110 kV 变电站采用单组蓄电池提出了可能性。

3 110 kV 变电站直流系统层次化配置方案

考虑北京市电力公司辖区范围大，处于不同级的供电区域的 110 kV 变电站，可依据其级别特点考虑层次化的配置方案，优化配置，兼顾直流系统的安全性及经济性。下面试考虑三个方案来论证。

3.1 方案一：110 kV 变电站采用单套蓄电池组

110 kV 变电站蓄电池采用单套，充电装置配置两组，直流母线采用单母线分段接线。两组充电装置接入不同的母线段，蓄电池跨接在两段母线上，直流负荷分别从不同母线段取，如图 5 所示。保证正常情况下单组充电模块故障、一段母线故障不影响全部负荷。

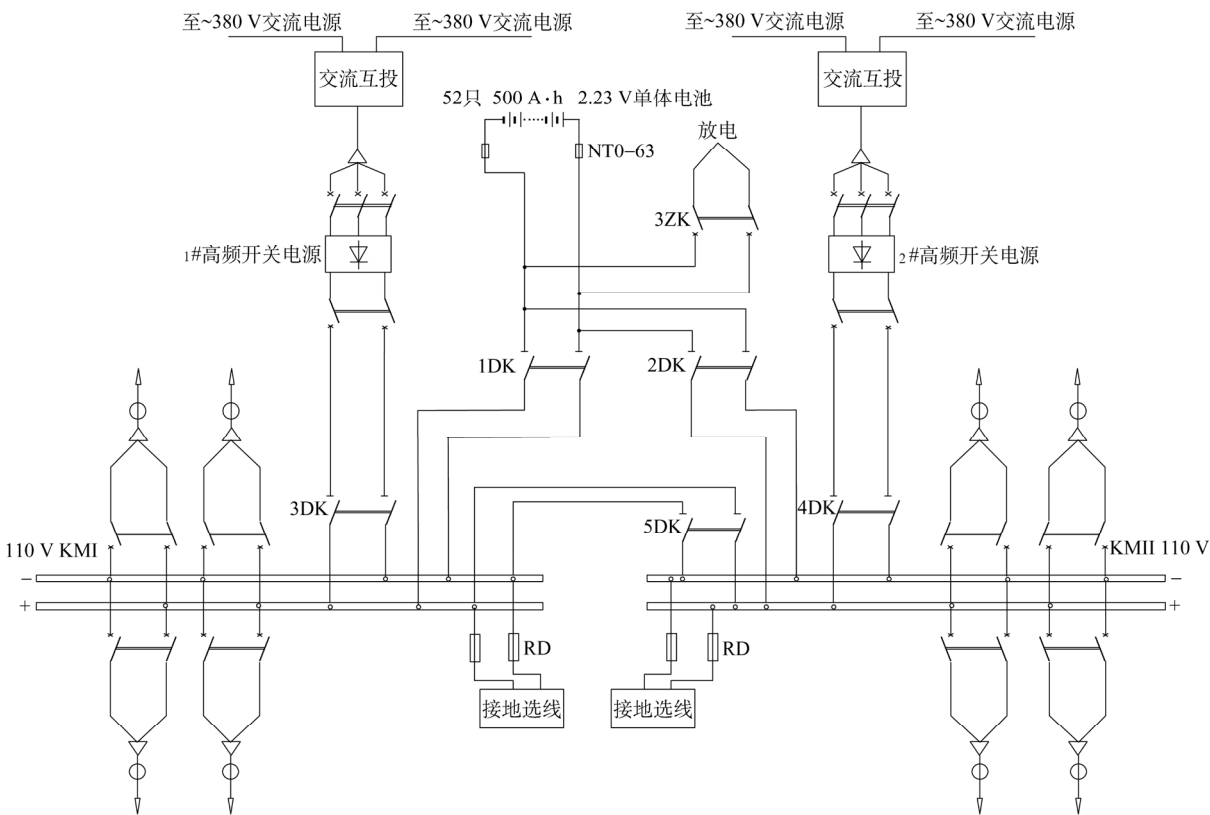


图 5 单套蓄电池组方案设置

按照目前 110 kV 变电站规模核算单组蓄电池容量应为 110 V/500 A·h，根据《电力工程直

流系统设计技术规程》容量在 300 A·h 及以上时应设单独的蓄电池组要求，需单独安装在蓄电

池室内。

现有 110 kV 变电站蓄电池室面积约为 4.65 m×5 m，采用单套蓄电池后，蓄电池室面积可核减为 2.5 m×5 m，核减面积约为 10.75 m²，同时减少了蓄电池设备采购费用。

但因变电站仅设置单套蓄电池，若系统故障，有可能造成全站停电。2013 年北京电力经济技术研究院平谷山东庄 35 kV 变电站因直流电源设备发生故障，造成全站停电；1999 年山西新店 220 kV 变电站由于直流消失，保护装置不能正常动作，无法及时切除故障，造成事故扩大，事故殃及山西电网并波及到华北电网，引起很大的影响。因此 110 kV 变电站采用单套蓄电池时，应加强蓄电池的日常检查及维护，保证交流失电时蓄电池正常供电以及蓄电池的可靠性。

同时，在变电站进行充电设备、蓄电池检修或设备改造时，为保证设备正常供电，需临时使用便携式充电柜和工具电池等设备。依照国网公司要求，对变电站直流系统进行充放电频率由原来的“1331”8 年 4 次，调整到“1221”6 年 4 次，试验频率提高后，检修时更应提供完整合理的实施方案，避免造成全站停电的可能。对于全地下变电站，还要考虑工具电池的运送、安装等问题。

3.2 方案二：110 kV 变电站维持双套蓄电池组

依照华北电集生【1999】22 号文件等规程、规范及文件要求，考虑到北京电网的重要性，北京地区 110 kV 变电站直流系统 1999 年至今，均按照双套进行配置，双套配置蓄电池、充电设备如图 6 所示。

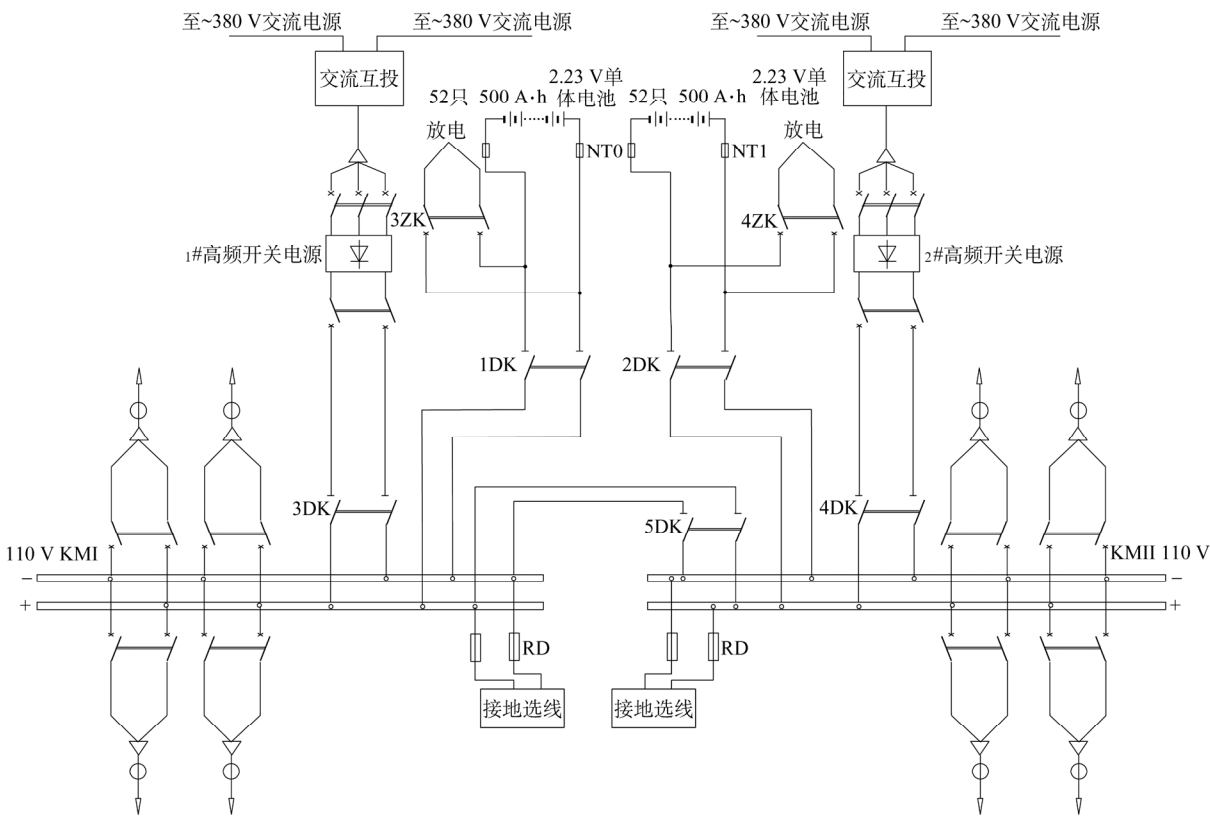


图 6 双套蓄电池组方案设置

110 kV 变电站采用两组蓄电池、两套充电设备同时是设备可靠性及方便检修的需求。

1) 提高设备可靠性的需要。直流系统是变电站内继电保护、自动化设备和通信设备等的工作电源，也是断路器等设备的操作电源。若设置

一套直流系统，在直流系统出现故障时，特别是主开关、直流母线和蓄电池故障（由于蓄电池需要长期处于浮充电状态，日常备品困难，恢复速度慢），存在变电站直流全停的风险，进而出现变电站全停的可能。双套蓄电池则保证了变电站

直流电源的可靠性供电，但增加了设备成本。

2) 便于检修工作。进行充电设备、蓄电池检修或设备改造时，双套蓄电池不影响变电站正常运行，同时节省了便携式充电柜、工具电池的使用，满足国网 18 项反措中提出的“变电站直流系统配置应充分考虑设备检修时的冗余”。

2014 年鉴于北京公司变电站的重要性，国网公司批复北京公司直流系统的改造原则为：“110 kV 及以上电压等级变电站直流系统未采用双套配置，其中 500 kV 及以上电压等级变电站及重要的 220 kV 变电站未采用三台充电、浮充电装置，两组蓄电池组的供电方式，应进行技改”。目前单套直流配置的 5 座变电站已列入技改项目，直流系统改造为双套配置。

3.3 方案三：层次化配置 110 kV 变电站蓄电池组

通过上述两方案分析，变电站按单套配置蓄电池存在造成变电站全停的可能性，系统可靠性有所降低；变电站按双套配置蓄电池，对于供电可靠性要求不高地区的变电站，存在着冗余配置的问题。基于上述原因，提出分区域区别配置的方案。

依照 2014 年《北京电网规划设计技术原则》，北京市辖供电区包括东城区、西城区、朝阳区、海淀区、丰台区、石景山区和亦庄经济开发区；北京市县级供电区包括通州区、昌平区、门头沟区、房山区、大兴区、平谷区、怀柔区、密云县、顺义区和延庆县。北京市核心区为三环以内区域；北京市中心区为四环以内区域。

北京市供电区域范围大致如下。

1) A+类区域。北京市核心区、未来科技城、通州运河中心区等高端区域。

2) A 类区域。北京市中心区除核心区以外的地区。

3) B 类区域。市辖供电区除中心区以外的地区、各新城、工业园和其他开发区。

4) C 类区域。县级供电区除 B 类以外的平原地区。

5) D 类区域。A+、A、B 和 C 类区域以外的区域。

各类地区供电可靠性和电压合格率规划目标如表 2 所示，各供电区域 110 kV 变电站参考

值如表 3 所示。

表 2 供电可靠性和电压合格率规划目标

供电区域	供电可靠性	电压合格率 (%)
A+	户均年停电时间不高于 5 min (≥99.999%)	100
	高可靠性供电区域户均停电时间不高于 30 秒 (≥99.9999%)	
A	户均年停电时间不高于 26 min (≥99.995%)	99.99
B	户均年停电时间不高于 52 min (≥99.990%)	
C	户均年停电时间不高于 5 h (≥99.94%)	99.98
D	户均年停电时间不高于 9 h (≥99.90%)	

表 3 各类供电区域 110 kV 变电站参考标准表

供电区域类型	110 kV 侧		变压器		10 kV 侧	
	接线方式	进出线	类型/kV	容量 /MV·A	台数	出线数
A+、A 和 B	单元	进出线 3 (6) 回	110/10.5	50 (63)	3	单台变压器一般为 20~24 回
		进出线 4 (8) 回		50	4	
C、D	单元	进出线 3 回	110/10.5	50	3	单台变压器一般为 20~24 回
		进出线 3 回	110/10.5 110/35/10.5	(31.5)	1 2	

A+、A 和 B 类地区变电站 110 kV 一般采用环进环出单元接线或线路变压器组单元接线方式（见图 1 方案），10 kV 出线 72~96 回，为地区重要变电站。为保证变电站的供电可靠性，建议直流蓄电池采用双套配置方式。同时对于 10 kV 有重要用户，或在政治保电范围内变电站，依照其变电站重要性，直流蓄电池也应按双套配置。

C、D 类地区变电站 110 kV 采用线路变压器组单元接线方式（见图 3 方案），一般设置 2~3 台变压器，10 kV 出线 40~72 回，为地区非重要变电站，建议直流蓄电池可采用单套配置方式。

4 结束语

通过上述分析可知，方案一，推荐 110 kV

变电站采用单套蓄电池组方案,但需加强蓄电池日常检查及维护,在检修及设备改造时,应提供完整合理的实施方案,避免造成全站停电的可能。方案二,推荐维持现有 110 kV 变电站蓄电池配置方式,采用双套蓄电池组方案,保证变电站的直流电源供电可靠性及设备检修时的冗余性,但增加了设备成本。方案三,推荐对 110 kV 变电站蓄电池配置方式进行层次化配置,其中 A+、A 和 B 类区域变电站,采用双套蓄电池方式;C、D 类区域采用单套蓄电池方式,保证变电站可靠性的同时,提升了变电站的经济性及精细化管理水平。

结合《北京电网规划设计技术原则》,考虑各类地区供电可靠性要求,推荐北京地区 110 kV 变电站直流系统蓄电池组配置采用方案三,即建议按层次化配置双套或单套蓄电池组。

现阶段,在武汉等地区的 110 kV 变电站试点应用了并联蓄电池的技术,其基于单套蓄电池配置的条件下具有可在线更换蓄电池、实现在线核容及便于扩展同时实现不同批次,不同厂家的新旧电池混用的优势。但是受其现有技术的限

制,其用量在 200 A·h 以下,如变电站容量在 200 A·h 以上时,主要靠模块的冗余来解决,设备占地增加,现阶段在较大容量变电站直流系统配置中经济性无优势。随着其技术瓶颈的突破,以及运维数据的积累、相关运维规程的修编,可以考虑在单套配置直流蓄电池的 110 kV 变电站建设项目中可作为新技术探讨应用。特别需要强调的是,直流系统无论采用单套、双套蓄电池或并联蓄电池组方案,均应将故障和缺陷控制在合理范围内,不能因设备的减少,经济性的提升而牺牲安全性、可靠性。

参考文献

[1] DL/T 5044—2014 电力工程直流电源系统设计技术规程[S]. 北京:中国电力出版社,2014.

作者简介

杨然静(1972-),女,高级工程师,主要从事工作领域电气二次设计、评审。

(收稿日期:2015-12-10) EA
(编辑:杨帆)

(上接第 212 页)

尽量选购可靠性较高的一二次设备,提高顺控操作的可靠性。

6 结束语

顺控倒闸操作在智能变电站强大的硬件、软件支撑下高效的应用,既能有效提高变电站倒闸操作效率,降低误操作风险,又能解放运维人员,使运维人员能够将更多的精力投运到变电站设备的巡视、维护以及带电检测工作中,具有非常广阔的发展空间和前景。

参考文献

[1] 高翔. 数字化变电站应用展望[J]. 华东电力, 2006, 34 (8): 47-53.
[2] 谷月雁, 司刚, 刘清瑞. 智能变电站中顺序控制的功能分析与实现[J]. 电气技术, 2011 (1):

58-62.

[3] 张军涛. 程序化操作在变电站自动化系统中的实现[J]. 中国高新技术企业, 2007 (5): 79-81.
[4] 吴锦源, 梁国坤. 顺序控制在变电站倒闸操作中的应用[J]. 南方电网技术, 2009 (3): 46-48.
[5] 邵懂. 110kV 内桥接线智能变电站顺控操作方式探索[C]. 2013 电力行业信息化年会论文集, 2013: 7-9.
[6] 国家电网公司企业标准. Q/GDW 383—2009 智能变电站技术导则[S]. 2009.

作者简介

周玉宇(1984-),男,工程硕士,工程师,主要研究方向为电气工程及自动化。

(收稿日期:2015-12-10) EA
(编辑:杨帆)