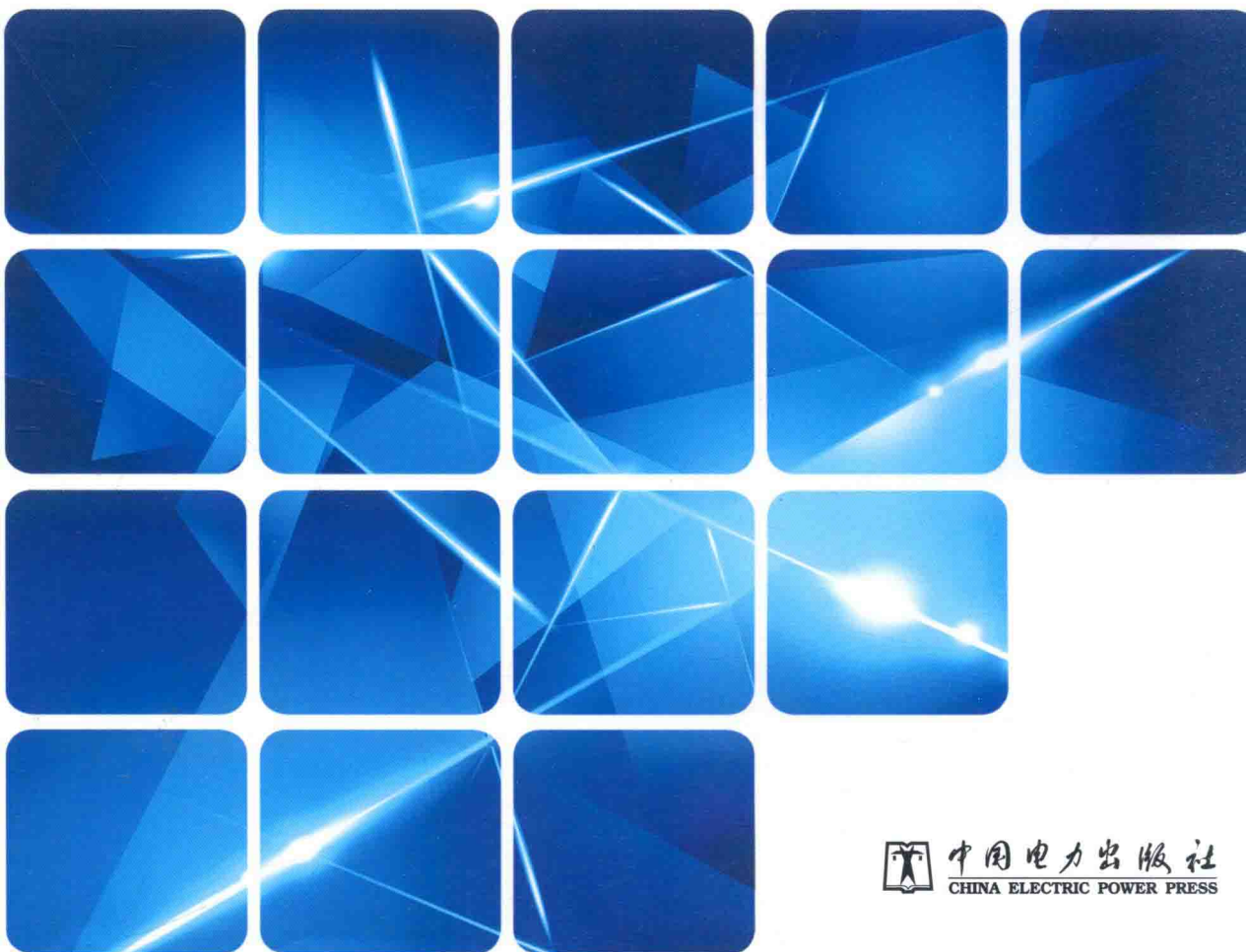




全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

500kV 变电运行 实训指导书

河南省电力公司 组编
赵雪燕 主编 张 科 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

500kV变电运行 实训指导书

河南省电力公司 组编

赵雪燕 主编

杨建刚 詹 铸 程海涛 张 路 编写

张 科 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为河南电力仿真培训中心 500kV 综合自动化仿真变电站培训系统的配套指导书。全书内容分为 8 章, 主要内容包括变电站仿真系统概述、电力系统运行、电气主设备、继电保护及自动装置、二次回路、倒闸操作、变电站异常及事故处理、直流系统。

本书内容紧密联系实际, 语言通俗易懂, 可供变电站运行及检修人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

500kV 变电运行实训指导书/赵雪燕主编; 河南省电力公司
组编. —北京: 中国电力出版社, 2013. 7

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 4396 - 2

I. ①5… II. ①赵…②河… III. ①变电所—电力系统运
行—技术培训—教材 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 090716 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 7 月第一版 2013 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 366 千字

定价 30.50 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《500kV 变电运行实训指导书》

编 委 会

主 任 凌绍雄

副 主 任 焦银凯 孙永阁

委 员 白天池 张 静 辛 亮

冯业忠 余晓东

前言

随着电力系统向超高压、大电网、大容量方向发展，新设备、新技术不断投入应用，综合自动化系统越来越多地应用于各电压等级变电站，逐步取代原有的常规硬盘台控制方式。为了适应电力系统的发展，为变电站运行人员提供现代化的、有针对性的培训服务，河南省电力公司培训中心/河南电力仿真培训中心于 2007 年成功开发了一套 500kV 综合自动化仿真变电站培训系统，该套系统能够为培训人员提供与真实变电站相同的值班环境，可以进行正常倒闸操作和安全事项培训，也可以进行反事故演习，提高培训人员对事故的反应能力、处理能力。

河南省电力公司根据实训基地三年规划安排，组织有关教师和现场专家针对该仿真系统编写了配套指导书。作者编写时注意紧密联系实际，力求通俗易懂。全书共分 8 章，主要内容包括变电站仿真系统概述、电力系统运行、电气主设备、继电保护及自动装置、二次回路、倒闸操作、变电站异常及事故处理、直流系统等。

本书由河南电力仿真培训中心赵雪燕主编，第一、二、七、八章由赵雪燕编写，第三章由漯河供电公司杨建刚编写，第四章由赵雪燕、杨建刚和张路共同编写，第五章由郑州供电公司詹铸编写，第六章由河南电力仿真培训中心程海涛编写，全书由河南电力试验研究院张科主审，枣庄供电公司种衍师也对书稿进行了认真细致的审阅。在编写过程中，得到了邵陵变电站及其他部门相关人员的悉心指导和帮助，在此对这些专家和同仁的大力支持和关心表示感谢。

编 者

2013 年 4 月

目 录

前言

第一章 变电站仿真系统概述	1
第一节 电气主接线和运行方式	1
第二节 电气主设备参数	4
第二章 电力系统运行	9
第一节 电力系统的稳定性	9
第二节 系统电压的调整	10
第三节 电力系统中性点的运行方式	10
第四节 变电站主接线及运行方式	11
第三章 电气主设备	13
第一节 一次设备的作用、运行、巡视、维护、验收及缺陷定性	13
第二节 站用交、直流系统组成及运行方式	33
第三节 无功补偿装置	39
第四章 继电保护及自动装置	41
第一节 500、220kV 母线保护	41
第二节 主变压器（自耦变压器）保护	52
第三节 线路保护	70
第四节 500kV 断路器保护	106
第五节 高压并联电抗器保护	122
第六节 现场保护动作分析	124
第五章 二次回路	134
第一节 识图基本方法	134
第二节 变电站二次回路识图	134
第六章 倒闸操作	148
第一节 测控装置的作用及操作注意事项	148
第二节 防误操作	154
第三节 电气设备倒闸操作规定	161
第四节 500kV 网调状态令	173
第五节 线路倒闸操作实例分析	179
第六节 母线倒闸操作实例分析	186
第七节 主变压器倒闸操作实例分析	198
第八节 站用电系统倒闸操作实例分析	205
第九节 补偿装置倒闸操作实例分析	206

第七章 变电站异常及事故处理.....	210
第一节 变电站异常及事故处理的一般原则.....	210
第二节 一次设备及二次回路异常分析及处理.....	210
第三节 母线事故处理实例.....	211
第四节 变压器事故处理实例.....	213
第五节 线路事故处理实例.....	222
第六节 高压并联电抗器事故处理实例.....	225
第七节 复合故障处理.....	226
第八章 直流系统.....	230
第一节 直流系统概述.....	230
第二节 直流系统异常及处理.....	232

变电站仿真系统概述

第一节 电气主接线和运行方式

一、电气主接线

仿真变电站共有 2 组 6 台 ODFPSZ—250000/500 单相自耦变压器，每台单相自耦变压器电压等级为 $525/\sqrt{3}/230/\sqrt{3} \pm 8 \times 1.25\%/36\text{kV}$ ，三侧容量为 250/250/80MVA。

变电站主接线如图 1-1 所示，500kV 采用 3/2 接线方式，共有 3 个完整串，一个半串，接有 2 台主变压器和 5 回线路。第一个完整串接 2 号主变压器和邵祥线 I；第二个完整串接姚邵线 I 和 1 号主变压器；第三个完整串接姚邵线 II 和邵祥线 II；一个半串接孝邵线。姚邵线 I、姚邵线 II 与姚孟电厂相连；邵祥线 I、邵祥线 II 与祥符变电站相连；孝邵线，与湖北孝感相连；邵祥线 I、邵祥线 II 接有并联高压电抗器；工作母线分别是 I 母、II 母。

220kV 采用双母线单分段接线方式，工作母线分别是 220kV 北母（III 母）、220kV 南母西段（II 母）和 220kV 南母东段（I 母）。有专用的母联、分段间隔断路器，即 1 号母联（邵东 220）、2 号母联（邵西 220）和分段断路器（邵南 220）。出线 6 回，分别是漯邵线、英邵线、临邵线、邵薛线、邵淮线和邵川线。

35kV 采用 I、II 两段独立母线，分别是 35kV 东母和 35kV 西母。两组母线上分别经隔离开关接有三相电压互感器，共带 4 组电容器、6 组电抗器。本站配有两台站用变压器和一台备用站用变压器。

二、调度权限

1. 网调管辖的设备

- (1) 500kV 一次设备及相关二次设备。
- (2) 与 500kV 设备相对应的通信设备。
- (3) 主变压器及三侧开关，35kV 静止补偿装置，35kV 母线。

2. 省调管辖的设备

- (1) 220kV 一次设备及相关二次设备。
- (2) 与 220kV 设备相对应的通信设备。

3. 地调管辖的设备

召陵线（站用备用变压器高压侧进线）。

4. 本站管辖的设备

- (1) 直流系统和蓄电池。
- (2) 站用变压器及低压侧各母线各负荷开关。
- (3) 与上述电气设备相应的继电保护、自动装置等。
- (4) 站内辅助设施。
- (5) 以上自调设备的操作由当值值班长下令。

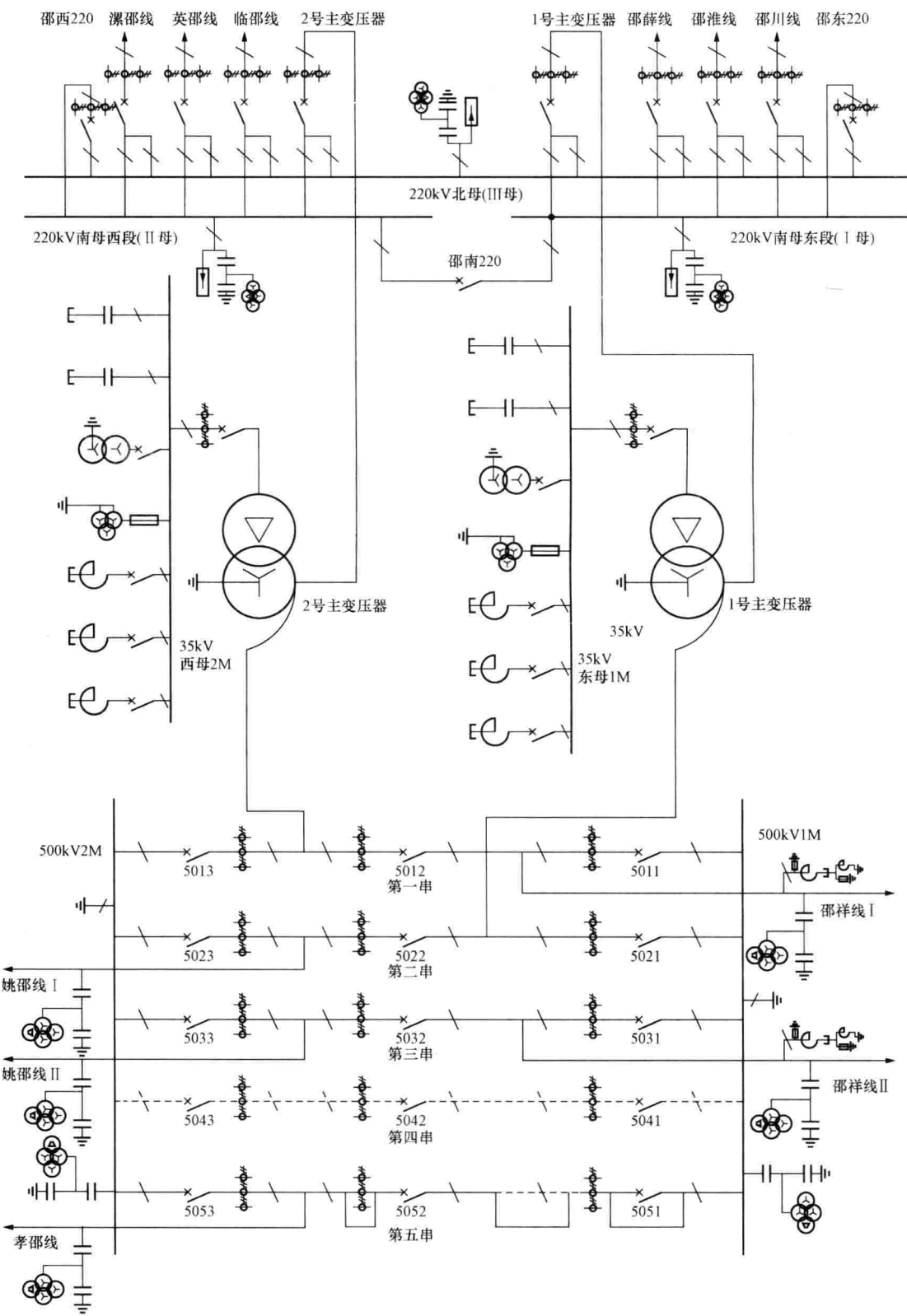


图 1 - 1 变电站主接线示意图

三、运行方式

(一) 主接线运行方式

(1) 正常运行方式:

1) 500kV I 母、II 母运行, 220kV 南母东段、南母西段、北母运行, 35kV 东母、西母运行;

2) 5011、5012、5013、5021、5022、5023、5031、5032、5033、5052、5053 断路器运行;

3) 邵祥线 I、邵祥线 II、姚邵线 I、姚邵线 II、孝邵线、邵 1 号主变压器、邵 2 号主变压器运行;

4) 邵淮 1、邵 221 运行于南母东段;

5) 漂邵 2、英邵 2 运行于南母西段;

6) 临邵 2、邵薛 1、邵川 1、邵 222 运行于北母;

7) 邵抗 1、邵抗 2、邵抗 3、邵 35 站用变压器 1 运行于 35kV 东母, 邵容 1、邵容 2 停运;

8) 邵抗 4、邵抗 5、邵抗 6、邵 35 站用变压器 2 运行于 35kV 西母, 邵容 4、邵容 5 停运。

(2) 其他运行方式:

1) 500kV 单母线运行方式。

2) 500kV 开环运行方式。

3) 500kV 线路停电, 其相应断路器断开运行方式。

(二) 低压交流系统运行方式

1. 低压系统正常运行方式

(1) 邵 1 站用变压器带低压 I 段母线, 邵 2 站用变压器带低压 II 段母线, 低压母线 I、II 段分列运行, 邵 0 备用变压器热备用。

(2) 低压系统正常运行方式断路器状态:

1) 邵 1 站用变压器高压侧断路器邵 35 站用 1 (7QF) 在合闸位置, 其低压侧断路器 1QF 在连接位置合闸状态;

2) 邵 2 站用变压器高压侧断路器邵 35 站用 2 (8QF) 在合闸位置, 其低压侧断路器 4QF 在连接位置合闸状态;

3) 邵 0 备用变压器高压侧断路器 5QF 在分闸位置, 其低压侧断路器 2QF、3QF 在分闸位置; 低压母线 I、II 段母联断路器 6QF 在试验位置分闸。

2. 低压系统其他运行方式

(1) 邵 0 备用变压器备用电源自动投入装置投于 I 段母线。当邵 35kV 站用 1 (7QF) 因人为或其他原因使其跳闸, 高压侧断路器联跳邵 1 站用变压器低压侧断路器 1QF。此时如果备用电源自动投入装置正常、备用电源自动投入装置压板在投入, 并且符合备用电源自动投入装置保护动作逻辑, 则邵 0 备用变压器高压侧断路器 5QF 合闸, 29s 后合上邵 0 备用变压器低压侧断路器 2QF。

(2) 邵 0 备用变压器备用电源自动投入装置投于 II 段母线。当邵 35kV 站用 2 (8QF) 因人为或其他原因使其跳闸, 高压侧断路器联跳邵 1 站用变压器低压侧断路器 4QF。此时如

果备用电源自动投入装置正常、备用电源自动投入装置压板在投入，并且符合备用电源自动投入装置保护动作逻辑，则邵 0 备用变压器高压侧断路器 5QF 合闸，29s 后合上邵 0 备用变压器低压侧断路器 3QF。

(三) 直流系统运行方式

本站直流系统由 2 组蓄电池、3 组整流器组成，直流母线为两段单母线接线。第一组整流装置带Ⅰ段直流母线，并对第一组蓄电池浮充电；第二组整流装置带Ⅱ段直流母线，并对第二组蓄电池浮充电；第三组整流装置备用。正常运行时直流Ⅰ、Ⅱ段分列运行。当第一或第二组整流装置故障时，由第三组整流装置带Ⅰ或Ⅱ段负荷。当三组整流装置交流电源全部失去时，由两组蓄电池组各带一段负荷。

第二节 电气主设备参数

一、主变压器主要技术参数

- (1) 型号：ODFPSZ—250000/500。
- (2) 额定电压 (kV)：525/√3/230/√3/36。
- (3) 额定容量 (MVA)：250/250/80。
- (4) 额定频率：50Hz。
- (5) 相数：单相。
- (6) 调压方式：中压线端有载调压，调压范围 230/√3±8×1.25%kV。
- (7) 联结组标号：IaoI0（单相），YNa0d11（三相）。
- (8) 冷却方式：ODAF。
- (9) 运行方式及对应额定容量 (kVA)：高一中，250 000；高一低，80 000；中—低，80 000。

二、断路器主要技术参数

- (1) 500kV 断路器主要技术参数见表 1-1。

表 1-1 500kV 断路器主要技术参数

项目	单位	数值	项目	单位	数值
型号		GL317—550	额定线路充电开断电流	A	500
额定电压	kV	550	额定操作顺序		O—0.3s—CO— 180s—CO
标准号		IEC 62271—100	额定 SF ₆ 气体 绝对压力 (20℃)	MPa	0.75
额定电流	A	4000			
额定频率	Hz	50	SF ₆ 气体质量	kg	64.4
额定雷电冲击耐受电压	kV	1800	断路器质量	kg	8930
额定操作冲击耐受电压	kV	1175			
额定短路开断电流	kA	50	生产厂家		苏州阿尔斯通高压 电气开关有限公司
额定短路持续时间	s	3			

表 1-4 220kV 隔离开关主要技术参数

型 号	GW20—252W	GW20—252DW	GW21—252ⅡDW
额定电压 (kV)	252	252	252
额定电流 (A)	2500	2500	2500
3s 热稳定电流 (kA)	50	50	50
额定峰值耐受电流 (kA)	125	125	125

表 1-5 35kV 隔离开关主要技术参数

型 号	GW4—40.5IVD (W) /4000	GW4—40.5IVD (W) /1600
额定电压 (kV)	40.5	40.5
额定电流 (A)	4000	16 000
3s 热稳定电流 (kA)	40	40
额定峰值耐受电流 (kA)	100	100

四、500kV 电抗器主要技术规范

500kV 邵祥线 I 和 500kV 邵祥线 II 线路侧电抗器均由三台单相并联接入线路的电抗器组成电抗器组，三相接线为 Y 形接线，且中性点经小电抗器接地。

(1) 单相并联电抗器的主要技术参数见表 1-6。

表 1-6 单相并联电抗器主要技术参数

项 目	单位	数 值	
型号		BKD—40000/500	
使用条件		户外式	
冷却方式		ONAN	
产品代号		2SB. 712. 5185. 5	
标准代号		GB 10229—1988	
相数		单相	
频率	Hz	50	
绝缘水平		SI1175LI1675AC680—LI480AC200	
额定容量	kvar	40 000	
额定电流	A	126	
额定电压	kV	$500/\sqrt{3}$	
噪声水平	dB	≤71	
海拔	m	<1000	
油面温升	K	50	
阻抗	Ω	A 相	2551. 96
	Ω	B 相	2549. 70
	Ω	C 相	2553. 80

续表

项 目	单位	数 值	
损耗	kW	A 相	79.41
	kW	B 相	79.36
	kW	C 相	79.36
油质量	t	18.5	
总质量	t	59	
生产厂家		中国西电集团西安西电变压器有限责任公司	

(2) 中性点电抗器的主要技术参数见表 1-7。

表 1-7 中性点电抗器主要技术参数

项目	单位	数 值	项目	单位	数 值
型号		XKD—792/110	噪声水平	dB	60
使用条件		户外式	海拔	m	1000
冷却方式		ONAN	油面温升	K	65
产品代号		2SB. 712. 5213	器身吊质量	t	2.4
标准代号		GB 10229—1988	油质量	t	6.1
相数		单相	带油运输质量	t	10
频率	Hz	50	总质量	t	11.5
绝缘水平		LI480AC220—LI200AC85	生产厂家		中国西电集团西安西电 变压器有限责任公司
额定容量	kvar	720			
额定电流	A	30			

五、电压互感器主要技术参数（见表 1-8）

表 1-8 电压互感器主要技术参数

类别	500kV TV	220kV 母线 TV	220kV 线路 TV	35kV TV
型号	TYD2500/V3—0.005H	TYD220/ $\sqrt{3}$ —0.01H	TYD220/ $\sqrt{3}$ —0.005H	JDX6—35W3
额定电压 (kV)	500/ $\sqrt{3}$	220/ $\sqrt{3}$	220/ $\sqrt{3}$	35/ $\sqrt{3}$
额定频率 (Hz)	50	50	50	50
额定二次电压 (V)	100/ $\sqrt{3}$ /100/ $\sqrt{3}$ /100	100/ $\sqrt{3}$ 100/ $\sqrt{3}$ /100	100/ $\sqrt{3}$ /100	100/ $\sqrt{3}$ /100/ $\sqrt{3}$ /100
额定容量 (V)	150/250/200	150/250/200	100 /100	100 /100
生产厂家	桂林电力电容器厂	西安电力电容器厂	桂林电力电容器厂	大连第一互感器厂

六、电流互感器主要技术参数（见表 1-9）

表 1-9 电流互感器主要技术参数

类 别	500kV TA	220kV TA	35kV TA
型号	SAS—550	LB—220W2	LVB (T) —35W3

续表

类 别	500kV TA	220kV TA	35kV TA
额定电压 (kV)	$550/\sqrt{3}$	$220/\sqrt{3}$	$35/\sqrt{3}$
额定电流比 (A)	3000/1	$2\times(750-1250)/1$	4000/1 (测量级抽头 1000/1, 2000/1)
额定频率 (Hz)	50	50	50
生产厂家	上海 MWB 互感器有限公司	大连第一互感器厂	大连第一互感器厂

七、35kV 电抗器技术参数 (见表 1 - 10)

表 1 - 10 35kV 电抗器技术参数

项目	单位	数 值	项目	单位	数 值
型号		BKK—20000/35	持续时间	s	3
额定容量	kvar	20 000	相数		1
额定频率	Hz	50	实测电抗	Ω	20.01
冷却方式		空气自冷	冲击水平	kV	325
额定电压	kV	$34.5/\sqrt{3}$	绝缘温度等级		5
系统电压	kV	35	标准代号		IEC 289—1988
最高运行电压	kV	$40.5/\sqrt{3}$	电抗器质量	kg	11 109
额定电流	A	1004	总质量	kg	12 415
短时电流	kA	3	生产厂家		北京电力设备总厂

八、电容器的技术参数 (见表 1 - 11)

表 1 - 11 电 容 器 技 术 参 数

项目	单位	数 值	项目	单位	数 值
型号		TBB35—40080/334BLDW	实测电容	μF	37.1
额定容量	kvar	40 080	绝缘水平	kV	47/84
额定频率	Hz	50	温度类别		—40/B
额定电压	kV	$38.5/\sqrt{3}$	生产厂家		西安西电电力电容器有限责任公司

九、避雷器技术参数 (见表 1 - 12)

表 1 - 12 避 雷 器 技 术 参 数

类别	500kV 避雷器	220kV 避雷器	35kV 避雷器
型号	Y20W1—444/1050W	Y10W1—216/562W	YH5WZ1—52.7/134W
额定电压 (kV)	444	216	52.7
持续运行电压 (kV)		168.5	42
直流参考电压 (kV)		314	74.5
生产厂家	抚顺电瓷厂	抚顺电瓷厂	河南金冠王码信息产业股份有限公司

电力系统运行

第一节 电力系统的稳定性

电力系统是由若干个发电厂并经多回输电线路和许多个供电给用户的变电站及用户构成的，发、供、用电同时完成。当其中某一设备运行情况发生变化，如参数改变、负荷突然增减或设备发生故障等，电力系统正常运行将受到干扰，此时系统应能自动恢复到原来的运行状态或者凭借控制设备的作用过渡到新的稳定状态运行，即要求电力系统具备稳定运行的能力。

电力系统的稳定性分为静态稳定、暂态稳定及动态稳定。

电力系统的静态稳定是指电力系统受到小扰动后不发生非周期性失步，自动恢复到起始运行状态。

电力系统的静态稳定性是电力系统正常运行时的稳定性，其基本性质说明，静态储备越大静态稳定性越高。提高静态稳定性的措施有很多，但是根本性措施是缩短“电气距离”。主要措施有：①减少系统各元件的电抗，如减小发电机和变压器的电抗，减小线路电抗（采用分裂导线）；②提高系统电压水平；③改善电力系统的结构；④采用串联电容器补偿；⑤采用自动调节装置；⑥采用直流输电。在电力系统正常运行中，维持和控制母线电压是调度部门保证电力系统稳定运行的主要和日常工作。维持、控制变电站和发电厂高压母线电压恒定，特别是枢纽厂（站）高压母线电压恒定，相当于输电系统等值分割为若干段，这样每段电气距离将远小于整个输电系统的电气距离，从而保证和提高了电力系统的稳定性。

电力系统的暂态稳定是指系统在某种运行方式下突然受到大的扰动后，经过一个机电暂态过程达到新的稳定运行状态或回到原来的稳定状态。提高暂态稳定性的主要措施有：①继电保护实现快速切除故障；②线路采用自动重合闸；③采用快速励磁系统；④提高发电机强励倍数；⑤汽轮机快速关闭汽门；⑥发电机电气制动；⑦变压器中性点经小电阻接地；⑧长线路中间设置开关站；⑨线路采用强行串联电容器补偿；⑩采用发电机—线路单元接线方式；⑪实现联锁切机；⑫采用静止无功补偿装置；⑬系统设置解列点；⑭系统稳定破坏后，必要且条件许可时，可以让发电机短期异步运行，尽快投入系统备用电源，然后增加励磁，实现机组再同步；⑮采用高压直流输电。

电力系统的动态稳定是指电力系统受到扰动后不发生因振幅不断增大的振荡而失步。这些振荡主要有电力系统的低频振荡、机电耦合的次同步振荡、同步电机的自激振荡等。

为保证电力系统正常运行的稳定性和频率、电压的正常水平，系统应有足够的静态稳定储备和有功、无功备用容量，并有必要的调节手段，在正常负荷波动和调节有功、无功潮流时，均不发生自发振荡。

第二节 系统电压的调整

电力系统各节点的电压通常不完全相同，主要取决于各地区的有功和无功供需平衡情况，也与网络结构（网络阻抗）有较大关系。因此，电压不能全网集中统一调整，只能分区调整控制。

系统电压是由系统的潮流分布决定的，影响系统电压的主要因素有：

- (1) 由于生产、生活、气象等因素引起的负荷变化。
- (2) 无功补偿容量的改变。
- (3) 系统运行方式改变引起的功率分布和网络阻抗的变化。
- (4) 系统故障。

电力系统的电压水平取决于无功功率的平衡，系统中的无功出力应能满足系统负荷和网络损耗在额定电压下对无功功率的需求，否则电压就会偏离额定值。

电力系统的调压措施有调节励磁电流以改变发电机端电压、适当选择变压器变比、改变线路的参数、改变无功功率的分布等。

第三节 电力系统中性点的运行方式

电力系统中性点是指星形连接变压器或发电机的中性点。中性点接地方式的选择，是综合考虑了供电可靠性、过电压、系统绝缘水平、继电保护和自动装置的正确动作、对弱电通信线路的干扰影响，以及系统稳定的要求等而确定的。

电力系统中性点接地方式有两大类：一类是中性点直接接地或经过低阻抗接地，称为直接接地电流系统，又称大接地电流系统；另一类是中性点不接地，经过消弧线圈或高阻抗接地，称为非直接接地电流系统，又称小接地电流系统。其中采用广泛的是中性点不接地、中性点经过消弧线圈接地和中性点直接接地这三种方式。

中性点经电阻接地方式，即中性点与大地之间接入一定阻值的电阻。该电阻与系统对地电容构成并联回路，由于电阻是耗能元件，也是电容电荷释放元件和谐振的阻压元件，对防止谐振过电压和间歇性电弧接地过电压有一定的优越性。

中性点的电位在电网的任何工作状态下均保持为零，在这种系统中，当发生一相接地时，这一相直接经过接地点和接地的中性点短路，由于接地短路电流的数值很大，因而应立即使继电保护动作，将故障部分切除。

中性点直接接地或经过电抗器接地系统，在发生一相接地故障时，故障的输电线路被切断，因而使用户的供电中断。运行经验表明，在 1000V 以上的电网中，大多数的一相接地故障，尤其是架空输电线路的一相接地故障，大都具有瞬时性质，在故障部分切除后，接地处的绝缘可能迅速恢复，而输电线路也可以立即恢复工作。目前在中性点直接接地的电网中，为了提高供电可靠性，均装设自动重合闸装置，在系统一相接地线路切除后，立即自动重合，再试送一次，如为瞬时故障，送电即可恢复。

中性点直接接地的主要优点是它在发生一相接地故障时，非故障相对地电压不会增高，因而各相对地绝缘即可按相对地电压考虑，电网的电压越高，经济效果越大。而在中性点不