

“十二五”国家重点图书出版规划项目



国家电网公司
电力科技著作出版项目

向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压 直流输电示范工程

生产运行卷

国家电网公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

向家坝—上海 ±800kV特高压直流输电示范工程

- 综合卷
- 科研攻关卷
- 工程设计卷
- 设备研制卷
- 施工卷
- 调试试验卷
- 生产运行卷
- 环境保护卷



关注我,关注更多好书

ISBN 978-7-5123-3582-0



9 787512 335820 >

定价: 65.00元

上架建议: 电力工程/输配电

“十二五”国家重点图书出版规划项目



国家电网公司
电力科技著作出版项目

向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压 直流输电示范工程

生产运行卷

国家电网公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《向家坝—上海±800kV特高压直流输电示范工程》共有八卷,分别为《综合卷》《科研攻关卷》《工程设计卷》《设备研制卷》《施工卷》《调试试验卷》《生产运行卷》和《环境保护卷》。本丛书是国家电网公司对向家坝—上海±800kV特高压直流输电示范工程建设情况的全面回顾和总结,通过系统、翔实的记录,全面反映了工程建设全过程及其建设特点。

本卷为《生产运行卷》,共八章,具体内容包括工程概述、运行技术研究、生产准备及试运行、生产运行管理、调度运行管理、检修管理、标准化管理、先进技术的应用。

本丛书可供输变电工程相关科研设计单位、大专院校、咨询单位和设备制造厂家的工程技术人员和管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

向家坝—上海±800kV特高压直流输电示范工程. 生产运行卷/国家电网公司组编. —北京:中国电力出版社, 2014.7

ISBN 978-7-5123-3582-0

I. ①向… II. ①国… III. ①特高压输电—直流输电线路—电气工程—生产运行—中国 IV. ①TM726.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第237538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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014年7月第一版 2014年7月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 13.25印张 200千字

定价 65.00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

《向家坝—上海±800kV特高压直流输电示范工程》

编 委 会

主 任 刘振亚

副主任 舒印彪 郑宝森

成 员 张丽英 孙 昕 张文亮 张启平

李文毅 余卫国 伍 萱 梁旭明

赵庆波 王益民 丁广鑫 刘泽洪

陈晓林 李 凯 张智刚 丁 扬

叶廷路 肖安全 刘建明 郭剑波

刘开俊 肖世杰

《向家坝—上海±800kV特高压直流输电 示范工程 生产运行卷》

编写工作组

组 长 刘泽洪

副组长 高理迎 丁永福 种芝艺 吕 健

滕乐天 周 宏 李明节 王玉玲

常 浩 娄殿强 郑福生 印永华

吴维宁 马为民

成 员 黄 勇 赵大平 常 青 冀肖彤

许 涛 杨本勃 徐玲玲 余振球

庄 伟 叶 俭 孙 杨 曾喜闻

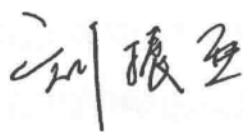
魏华兵 李锋锋 张 涛 张宝平

序

向家坝—上海±800kV 特高压直流输电示范工程是我国自主设计、研发和建设的世界上首回电压等级最高、输送容量最大、输送距离最远、技术最先进的特高压直流输电工程，该工程在世界范围内率先实现了直流输电电压和电流的双提升、输送容量和输送距离的双突破，是我国能源领域取得的世界级创新成果，代表当今世界高压直流输电技术的最高水平。该工程是国家电网公司贯彻落实科学发展观，实施“一特四大”战略、推动我国能源布局在更大范围统筹平衡，转变我国电力发展方式的关键工程。该工程于2010年7月成功实现双极投运，额定输送容量达到640万kW，线路全长1891km，可将西南水电输送至华东负荷中心，工程对于构建现代能源综合运输体系、实现能源资源的大范围优化配置、促进区域经济协调发展具有重要作用。

通过该工程的建设，首次实现了特高压直流输电系统的自主设计、自主研发、自主建设和自主调试运行。在世界上首次成功研制出电压等级最高的换流变压器（800kV）、容量最大的单12脉动换流阀（160万kW）以及平波电抗器、穿墙套管等直流设备，提高了我国电网发展自主创新能力和电工装备制造核心竞争力。

为全面介绍工程建设取得的管理创新成果和技术创新成果，国家电网公司组织编写了《向家坝—上海±800kV 特高压直流输电示范工程》，对工程可行性研究、建设管理、科技创新、成套设计、设备研制、施工建设、环境保护、验收调试、生产运行等工作进行了系统总结。希望此套书的出版，为我国特高压直流输电工程建设提供有益的借鉴和帮助，为加快转变电力发展方式，服务经济社会发展发挥积极的促进作用。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '刘张' (Liu Zhang), written in a cursive style.

2014年3月

前言

向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程（简称向上工程）是我国能源领域取得的世界级创新成果，代表了当今世界直流输电技术的最高水平，为了更加全面、系统地对向上工程进行总结，国家电网公司组织编写了《向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程》，本丛书共计八卷，包括《综合卷》《科研攻关卷》《工程设计卷》《设备研制卷》《施工卷》《调试试验卷》《生产运行卷》和《环境保护卷》。该丛书系统地总结了向上工程在决策、管理、建设、科研、设计以及设备制造等各方面的经验与成果，为今后的特高压直流输电工程实施提供有益参考。

编者力求全面、清晰地反映向上工程全貌，但书中的疏忽和遗漏在所难免，敬请各位读者批评指正。

编写工作组

2014年2月

目 录

序

前言

1 ▶ 第一章 工程概述

- 第一节 工程概况 / 3
- 第二节 生产运行特点 / 10
- 第三节 运行情况 / 13

15 ▶ 第二章 运行技术研究

- 第一节 运行检修技术研究 / 16
- 第二节 线路带电作业技术研究/ 29
- 第三节 运维专用工器具研制/ 39

48 ▶ 第三章 生产准备及试运行

- 第一节 运行管理模式 / 49
- 第二节 生产准备组织管理 / 51
- 第三节 运行管理机构 / 52
- 第四节 运行管理制度建设 / 54
- 第五节 人员培训 / 58

第六节 工器具和备品备件 / 62

第七节 工程全过程介入 / 71

第八节 工程验收 / 77

第九节 系统调试 / 80

第十节 工程试运行 / 85

第十一节 运行基地建设 / 88

90

第四章 生产运行管理

第一节 运行管理 / 91

第二节 设备管理 / 94

第三节 安全管理 / 101

第四节 技术监督 / 105

第五节 档案管理 / 108

109

第五章 调度运行管理

第一节 调度管理模式 / 110

第二节 调度安全内控机制 / 110

第三节 调度系统专业管理 / 112

120

第六章 检修管理

第一节 检修模式和原则 / 121

第二节 检修组织措施 / 122

第三节 检修技术措施 / 123

第四节 检修安全措施 / 124

第五节 计划检修管理 / 126

第六节 应急抢修管理 / 129

132

第七章 标准化管理

第一节 运行管理标准化 / 133

第二节 检修作业标准化 / 138

第三节 调度专业标准化 / 147

149 ▶ 第八章 先进技术的应用

第一节 状态监测系统 / 150

第二节 红外测温技术 / 156

第三节 紫外检测技术 / 163

第四节 防坠落装置 / 168

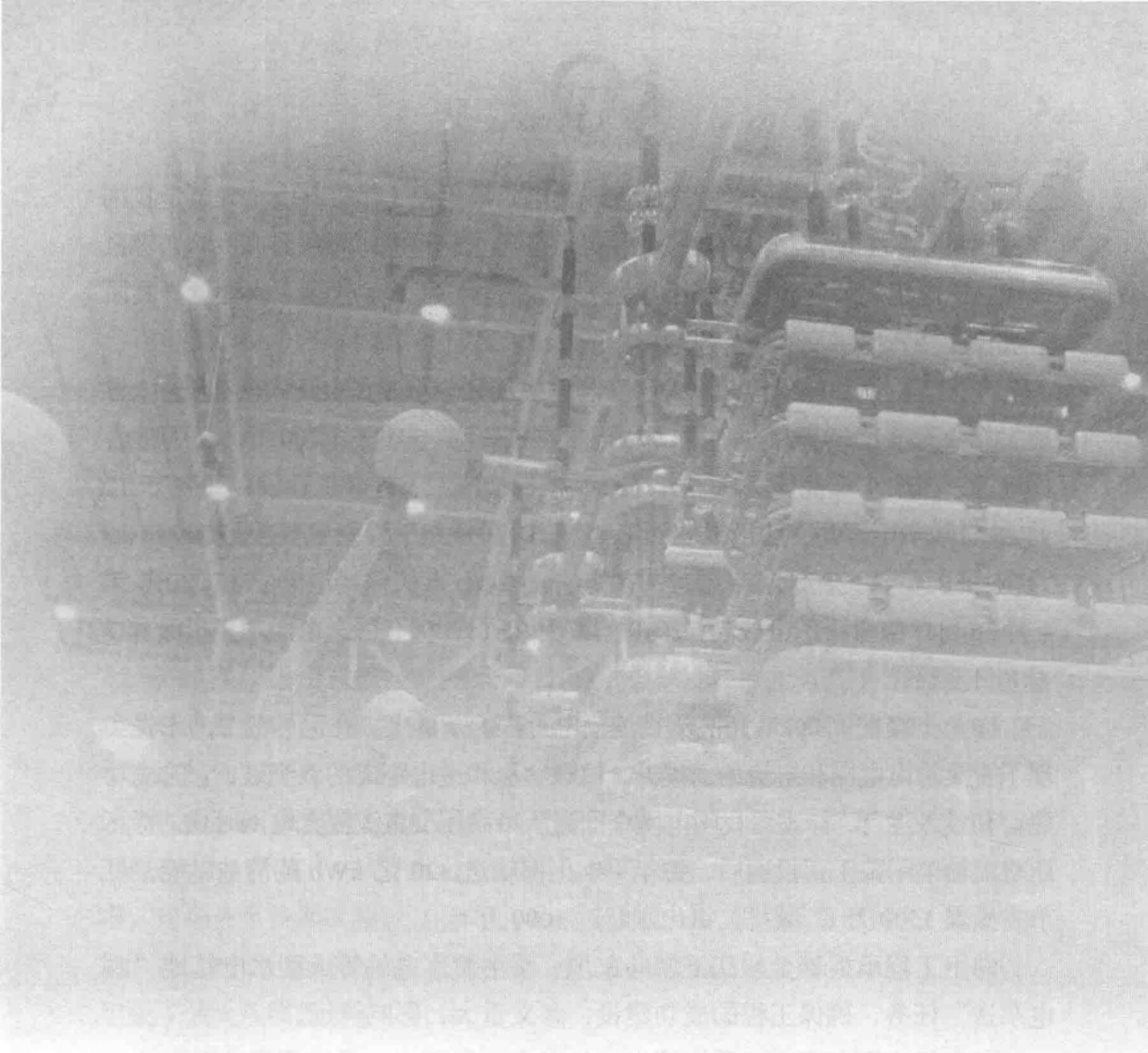
第五节 移动式攀爬机 / 170

第六节 直升机巡线 / 170

172 ▶ 附录 A 大事记

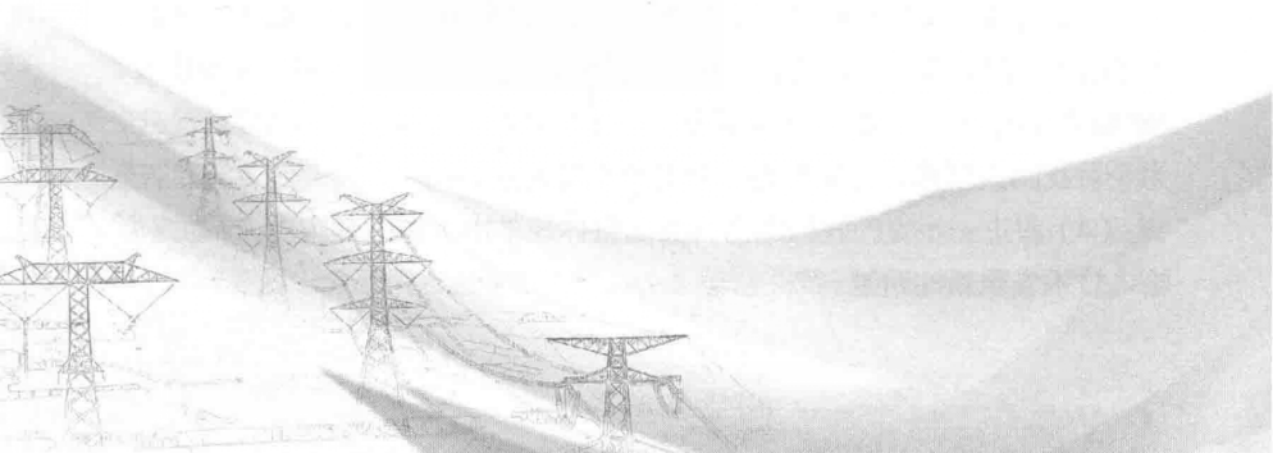
173 ▶ 附录 B 特高压直流示范工程规程、规范目录

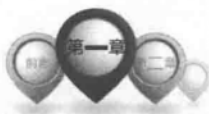
175 ▶ 附录 C 备品备件清单



工程概述

第一章





向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程（简称向上工程）是我国自主研发、自主设计和自主建设的，目前世界上运行电压等级最高、输送容量最大、送电距离最远、技术水平最先进的直流输电工程，代表了当今世界高压直流输电技术的最高水平。

向上工程于 2007 年 4 月 26 日获国家发展和改革委员会正式核准以后，各项工作快速推进，2007 年 5 月 21 日在上海举行奠基仪式，2007 年 11 月建设用地通过国家正式批复，2007 年 12 月 21 日换流站工程开工建设，2008 年 12 月 18 日线路工程开工建设，2009 年 11 月 13 日线路工程全线架通，2009 年 12 月 26 日实现全线 800kV 带电，2010 年 4 月 24 日双极低端送电成功，2010 年 4 月 28 日单极全压送电成功，2010 年 6 月 25 日双极全压送电成功，2010 年 7 月 8 日工程投入试运行。

向上工程在 $\pm 500\text{kV}$ 超高压直流输电工程的基础上，在世界范围内率先实现了直流输电电压和电流的双提升，输电容量和送电距离的双突破，它的成功建设和投入运行，标志着我国电网全面进入特高压交直流混合电网时代。特高压直流输电示范工程投运后，每年可向上海输送 320 亿 kWh 的清洁电能，可节省原煤 1500 万 t，减排二氧化碳超过 3000 万 t。

向上工程承担着金沙江下游向家坝、溪洛渡水电站等大型水电基地“西电东送”任务，确保工程的成功建设，意义重大，影响深远。

（1）将实现向家坝、溪洛渡水电的安全可靠送出，促进西南地区资源优势转化为经济优势；

（2）将提供清洁高效的能源，服务华东，特别是上海地区经济社会发展，是电力工业落实科学发展观，推进节能减排，建设资源节约型、环境友好型社会的具体实践；

（3）将进一步提高我国输变电设备自主创新和制造能力，推动直流设备制造技术实现新发展，促进研制 6 英寸晶闸管、 $\pm 800\text{kV}$ 大容量换流变压器、 $\pm 800\text{kV}$ 直流平波电抗器等关键设备，自主研发和设备国产化能力显著提升，为今后我国大型水、火电基地的电力送出奠定基础；

（4）将进一步提升我国电力行业的整体技术水平和综合实力，推动直流输电技术实现新的跨越。

第一节 工程概况

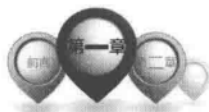
向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程起于四川宜宾复龙换流站,止于上海奉贤换流站,途经四川、重庆、湖北、湖南、安徽、浙江、江苏、上海八省(市),西段跨越山区地震带,沿线跨越多个水系区域,四次跨越长江。直流线路全长 1907km ,采用 $6 \times 720\text{mm}^2$ 大截面多分裂导线。铁塔平均呼称高达 65m 、重达 62t 共 3939 基。工程额定电压 800kV ,额定电流 4000A ,额定输送功率 640 万 kW ,最大连续输送功率 700 万 kW 。工程由国家电网公司负责建设。

向上工程采用双极、每极两个 12 脉动换流器串联接线,输送容量、送电距离和工程量均是 $\pm 500\text{kV}$ 直流工程的两倍以上。工程共需换流变压器 56 台,平波电抗器 20 台,换流阀 96 个,晶闸管 5794 支,控制保护屏柜 1028 面;导线 5.9 万 t ,铁塔材料 23 万 t ,瓷绝缘子 72 万片,合成绝缘子 2 万支。线路工程途经 8 个省(市), 56 个县(市)级行政区。工程试验室联调项目 2200 项,现场分系统调试超过 2 万项,站系统调试 147 项,系统调试 12 大类 591 项。总计有 26 家设计单位、 111 家厂商、 168 家施工监理单位参与工程建设,组成了最大规模的建设联合体。

1. 复龙换流站

复龙换流站为向上工程的首端站,是向家坝水电外送的大型枢纽换流站,位于四川省宜宾市宜宾县复龙镇马林村,工程总用地面积 315.5 亩,站区围墙内面积 253.8 亩,距宜宾县城西南 15km ,距向家坝电站 8km ,距宜宾市 68km ,海拔高度 536m 。

复龙换流站交流系统设备全部为国内生产制造。 500kV 交流场采用双母 $3/2$ 接线方式,为 GIS 设备,共计 9 个完整串和 1 个不完整串,远期 10 回 500kV 交流出线,其中本期 9 回,已有 3 回(泸复一、二、三线)投入运行;交流滤波器共计 4 大组 14 小组,单组额定容量均为 220Mvar ,合计 3080Mvar ;高压并联电抗器 1 组,为三相油浸式自然空冷型式,额定容量为 180Mvar ;站用电系统采用三回配置,分别取自站内 500kV GIS 2 号 M 母线、交流滤波器 63 号 M 母



线和站外 110kV 普安变电站 35kV 出线。交流控制保护系统采用南瑞 MACH2 控制保护系统。复龙换流站全景如图 1-1 所示。

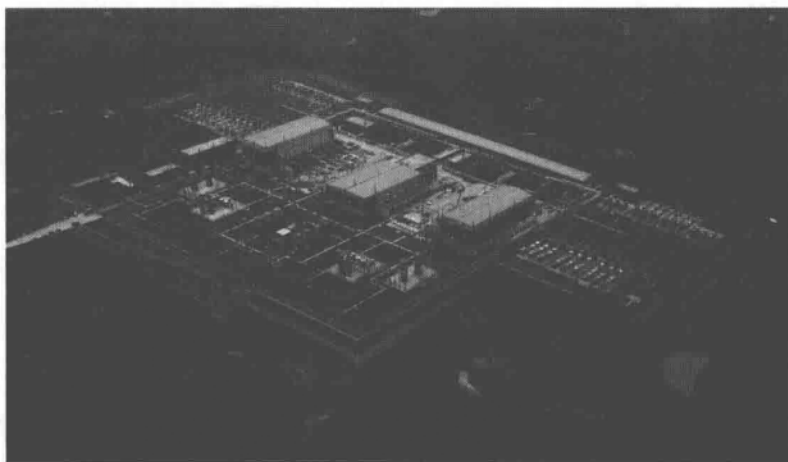


图 1-1 复龙换流站全景图

复龙换流站直流系统设备全部为国内首台首套。换流阀采用的是 6 英寸电触发晶闸管，由西安西电电力系统有限公司制造。换流变压器采用油浸式单相双绕组型式，单台容量均为 321.1MVA，共计 (24+4) 台，分别由西安电力变压器厂、保定天威保变电气股份有限公司（简称保变）、西门子制造；直流场阀厅穿墙套管采用充 SF_6 气体设计，每极 800kV 套管 1 台、400kV 套管 2 台、中性线套管 1 台；直流场平波电抗器采用干式设计，每极极母线、中性线各串联 2 台，备用 1 台，共计 9 台，单台额定电感 75mH，均为北京电力设备总厂生产；每个阀组并联 1 台单相旁路开关；为避免工频谐振对本站的干扰，在双极中性线上还各串联有 1 台阻波器，阻波器电感为 75mH。同时，为减少直流输电线路的谐波分量，降低对通信系统的干扰，在每极各并联有一组 2/12/24 三调谐直流滤波器。直流控制保护系统采用 ABB DCC800 控制保护系统。

复龙换流站接地极与拟建设的溪洛渡左岸换流站采用共用接地极设计，位于四川省宜宾市兴文县共乐镇，距复龙换流站直线距离约为 72km，距溪洛渡左岸换流站直线距离约为 80km。接地极电极布置采用同心双圆环依地势敷设，外环半径 R_1 为 315m(周长为 1978.2m)，内环半径 R_2 为 240m(周长为 1507.2m)，为我国直流输电史上的首个共用接地极设计。复龙换流站换流变压器、高端换

流阀、平波电抗器、旁路开关见图 1-2~图 1-5。

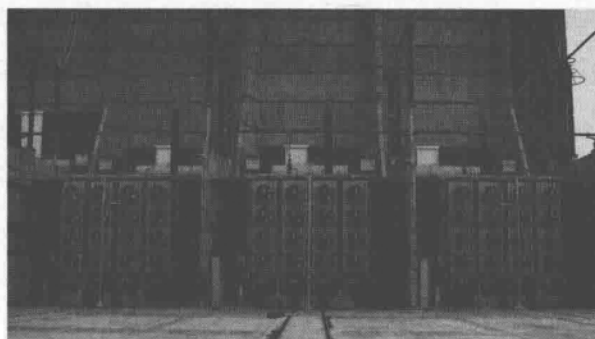


图 1-2 复龙换流站换流变压器

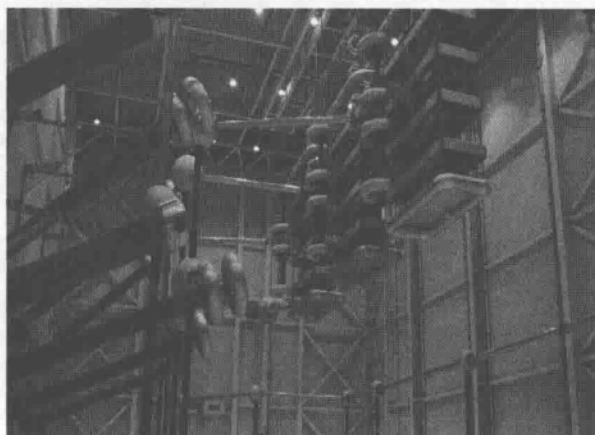


图 1-3 复龙换流站高端换流阀

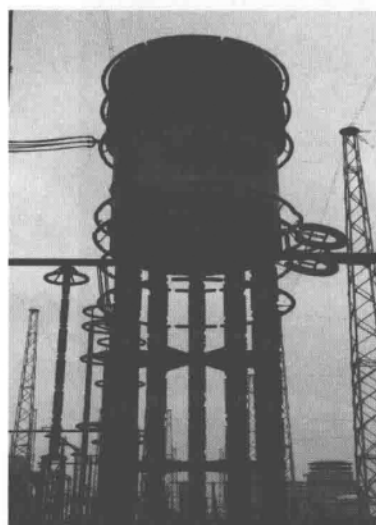


图 1-4 复龙换流站平波电抗器

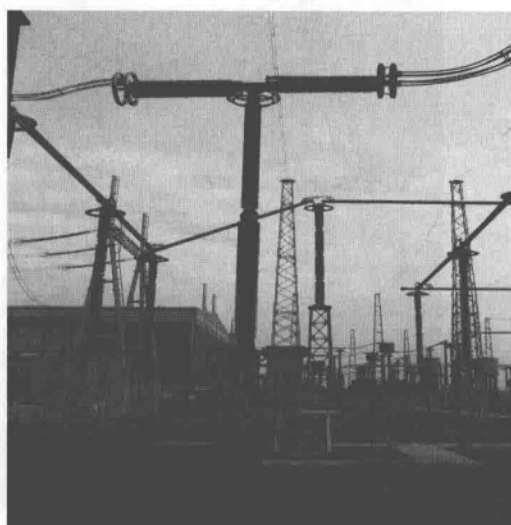


图 1-5 复龙换流站换流阀旁路开关