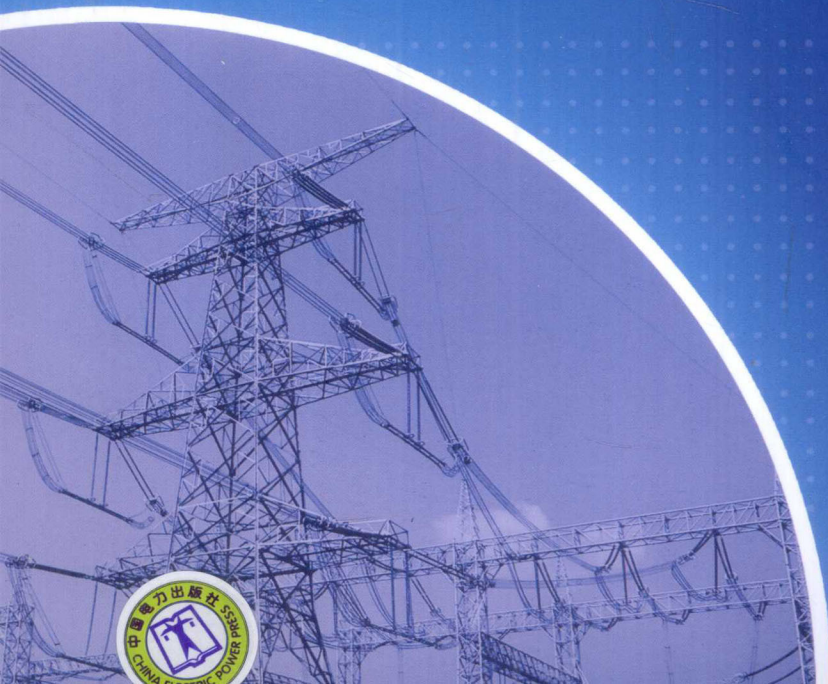


特高压

直流输电控制保护系统 配置及现场运行

中国南方电网超高压输电公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

特高压

直流输电控制保护系统 配置及现场运行

中国南方电网超高压输电公司 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《特高压直流输电控制保护系统配置及现场运行》是对±800kV云广特高压直流输电工程控制保护系统的现场运行特性、运行风险、现场预控措施以及改善控制保护系统的建议进行的总结分析。

全书共分五章，主要内容包括特高压直流输电的系统构成，特高压直流输电通信系统，特高压直流输电控制系统，特高压直流输电保护系统，特高压直流输电控制保护系统间的相互影响及风险预控，并且汇编了±800kV云广特高压直流输电工程控制保护系统调试和投产以来的典型事故以及相应的处理方法，对现场运行维护人员具有重要指导意义。

本书可供从事特高压直流输电工作的运行维护人员在学习工作中使用，也可作为对其他相关人员进行培训的教材，还可作为大专院校相关专业的参考教材。

图书在版编目（CIP）数据

特高压直流输电控制保护系统配置及现场运行 / 中国南方电网超高压输电公司组编. —北京：中国电力出版社，2011.10

ISBN 978-7-5123-1834-2

I. ①特… II. ①中… III. ①特高压输电：直流输电—电流保护装置—配置 ②特高压输电：直流输电—电流保护装置—运行 IV. ①TM723

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 125828 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>）

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 10 月第一版 2011 年 10 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 8.5 印张 130 千字

印数 0001—3000 册 定价 28.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
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

前言

±800kV 特高压直流输电技术是当今世界电力行业内最先进的输电技术，自±800kV 云广特高压直流输电工程（以下简称云广工程）建设以来，中国南方电网运行维护单位投入了大量的人力物力，在工程验收、调试、运行各阶段都积累了大量宝贵的现场经验。在“十二五”期间，我国还将会有更多的特高压直流输电工程相继落成投产，随着特高压建设的不断深入，将为我们带来更多新的课题。

本书是对±800kV 云广特高压直流输电工程验收、系统调试以及运行经验的总结，以大量的现场经验为蓝本，在深入研究了厂家设计规范和控制系统软件的基础上，就特高压直流输电控制保护系统的现场运行特性、运行风险、现场预控措施以及改善控制保护系统的建议进行了总结分析。本书共分五章，第一章介绍了特高压直流输电的系统构成以及控制保护系统的设计思路和配置原则；第二章介绍了特高压直流输电通信系统，分别阐述了各种总线的配置、功能等；第三章介绍了特高压直流输电控制系统的运行特性、运行风险以及预控措施等；第四章介绍了特高压直流输电保护系统的运行特性、运行风险以及预控措施等；第五章介绍了特高压直流输电控制保护系统间的相互影响，以及由此产生的特殊运行方式下的运行风险和各种预控措施等。

本书还汇编了云广工程系统调试和投产以来的典型事故以及相应的处理方法，并进行了详细分析，可作为现场运行维护人员培训以及同类事故处理的参考。

感谢西门子公司和许继集团技术人员在研究设计规范和控制系统软件时给予的支持和帮助，使得本书前期编制工作得以顺利进行。但限于编者水平有限，时间仓促，书中难免存在不足之处，敬请读者指正。

编 者

2010 年 12 月

序

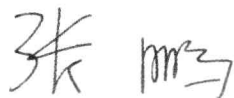
这本书是随着 $\pm 800\text{kV}$ 云广特高压直流输电系统投产诞生的，第一眼看到它的时候，我对拥有这样一支年轻、高学历的优秀员工队伍而倍感骄傲。他们的成功不仅仅在于特高压直流输电系统的圆满投运，当他们的技术观点再次得到西门子专家认同，并作为修改、完善系统依据的时候，令在场所有人肃然起敬。有理由相信，未来我国高压直流输电顶尖技术人才必将在他们当中产生。

$\pm 800\text{kV}$ 云广特高压直流输电系统是目前世界上电压等级最高的直流输电系统，西电东送主网架的安全、稳定、可靠性指标对特高压直流输电系统的运行维护提出了十分苛刻的要求。国内外虽然也曾进行过一些研究，但谈不上实际工程和运行经验。由于 $\pm 800\text{kV}$ 云广特高压直流输电系统对我国东西部地区经济社会发展中发挥着重要作用，深入掌握特高压直流输电系统的运行特点，及时总结现场运行维护经验，成为我们的迫切任务。

$\pm 800\text{kV}$ 云广特高压直流输电系统成就了一批专家型技术人才，在建设、生产运行过程中积累了大量宝贵经验。本书内容涵盖了特高压直流输电控制保护系统基本配置、基础原理、运行维护过程中的风险以及应对风险的预控措施等，方便广大工程技术人员深入了解和掌握特高压系统的配置原理以及现场运行特性，为广大技术人员和运行维护人员提

供了重要的学习参考。本书也可以作为高等院校相关专业结合工程实际学习理论原理的教材。

期待这本特高压技术专著能给大家的工作学习带来有益的帮助。

Handwritten signature in black ink, consisting of the Chinese character '张' (Zhang) followed by a stylized '明' (Ming), likely representing the name Zhang Ming.

2011年3月20日

《特高压直流输电控制保护系统配置及现场运行》

编 委 会

顾	问	李立涅					
主	任	张 鹏					
副	主	任	王远游				
审	核	组	林志波	高锡明	张海凤	蔡泽祥	刘 森
			汪 洋	宋述波	周翔胜	王 超	王朝硕
			王海军	贺 智	张 鹏 (小)		李 鹏
主	编	张志朝					
副	主	编	徐攀腾	刘茂涛			
编	写	组	余荣兴	严进军	蒋峰伟	黄俊波	罗 炜
			姚自林	周登波	陈灿旭	张怀晟	邓光武
			张 文	莫文斌	张 锐	石 健	熊双成

目 录

序

前言

➡ 第一章 特高压直流输电的系统构成	1
第一节 特高压直流输电的发展概况	1
第二节 特高压直流输电接线方式	2
第三节 特高压直流输电运行方式	4
第四节 特高压直流输电控制保护系统分层结构和功能分配	9
➡ 第二章 特高压直流输电通信系统	15
第一节 特高压直流输电控制总线系统	16
第二节 特高压直流输电现场总线系统	18
第三节 特高压直流输电 TDM 总线系统	21
第四节 特高压直流输电 LAN 网通信系统	25
第五节 特高压直流输电 MPI 总线系统	26
第六节 特高压直流输电总线系统典型事故分析	26
➡ 第三章 特高压直流输电控制系统	34
第一节 监控系统	34
第二节 直流站控系统	35
第三节 极控系统	45
第四节 阀组控制系统	61
第五节 交流站控系统	75
第六节 就地控制单元 6MD66	78
第七节 特高压直流输电控制系统典型事故分析	81
➡ 第四章 特高压直流输电保护系统	86
第一节 设计要求	86
第二节 功能配置	88

第三节	风险分析	101
第四节	特高压直流输电保护系统典型事故分析	101
 第五章	特高压直流输电控制保护系统间的相互影响及风险预控	114
第一节	概述	114
第二节	极控系统间的相互影响及风险预控	115
第三节	阀组控制间的相互影响及风险预控	116
第四节	保护系统间的相互影响及风险预控	120
第五节	控制系统与保护系统间的相互影响及风险预控	121
附录	英文缩写词汇表	122
参考文献		123

第一章 特高压直流输电的系统构成

第一节 特高压直流输电的发展概况

从 20 世纪 70 年代初期开始,美国、苏联、巴西、巴拿马、南非等国考虑到特大容量、超远距离输电的要求,在进行特高压交流输电研究的同时,也启动了特高压直流输电的研究工作。CIGRE、IEEE、美国 EPRI、巴西 CEPEL、加拿大 IREQ、瑞典 ABB 等科研机构和制造厂商,在特高压直流输电关键技术研究、系统分析、环境影响研究、绝缘特性研究和工程可行性研究等方面取得了大量的成果,其主要结论有:

(1) 在 1400~3000km 的距离输送大量的电力,从经济和环境等角度考虑,高于 $\pm 660\text{kV}$ 的特高压直流系统是首选的输电方式。

(2) $\pm 800\text{kV}$ 直流输电系统的设计、建设和运行在技术上是完全可行的,但应开展一些工程研究以进一步优化系统的性能和经济指标。

(3) 基于目前的技术及可预见性的发展, $\pm 1000\text{kV}$ 的特高压直流输电系统在理论上是可行的,但必须进行大量研究、开发工作。

(4) 目前看来,发展 $\pm 1200\text{kV}$ 直流输电系统是不切合实际的,即便将来通过大量深入细致的研究工作会有更好的设计,但仍然需要有重大技术突破,才有可能进行较为经济的设计,前景难以预测。

以上研究结论说明, $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电技术已具备工程应用的基本条件,目前可以制造出 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电所需的所有设备, $\pm 800\text{kV}$ 直流输电技术用于实际工程是完全可行的。苏联曾规划建设从埃基巴斯图兹到唐波夫的 $\pm 750\text{kV}$ 、输送功率 6000MW、输送距离 2400km 的直流工程。该工程的所有设备都已通过了型式试验,并已建成 1090km 线路,但最终停止了建设。虽然他们的研究成果、设计、设备制造、线路等的建设经验,可供我们建设 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程参考,但是我国 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程建设会面临高海拔、重污秽、覆冰、高地震烈度地区等特点,而且还需解决线路电磁环境、过电



压与绝缘配合、高海拔地区空气间隙外绝缘特性、绝缘子污闪特性、换流站接线方式、主设备技术规范、大件运输等关键技术问题。经过我国电力科研人员的不懈努力,目前,我国已经具备了进行 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电工程关键技术研究的能力,且已取得了一系列具有创新性的重大成果,为工程建设打下了坚实的基础。

第二节 特高压直流输电接线方式

直流输电工程是以直流电的方式实现电能传输的工程,直流输电和交流输电相互配合构成了现代电力传输系统。目前,电力系统中的发电和用电绝大部分均采用了交流电,要采用直流输电必须进行换流。也就是说,在送端将交流电整流成直流电,经过直流输电线路将电能输送至受端,在受端站再逆变回交流电,然后送到受端的交流系统中,供用户使用。送端进行整流变换的变电站称为整流站,而受端进行逆变变换的变电站称为逆变站。整流站和逆变站可以统称为换流站,实现整流和逆变的装置分别称为整流器和逆变器,统称为换流器。

直流输电的系统结构可以分为两端直流输电系统和多端直流输电系统两大类,两端直流输电系统只有一个整流站和一个逆变站,它与交流系统只有两个连接接口,是结构最为简单的直流输电系统,有以下三种接线方式:

- (1) 单极线路方式;
- (2) 双极线路方式;
- (3) “背靠背”换流方式。

通常认为交流电压在 1000kV 及以上、直流电压在 800kV 及以上的输电工程称为特高压输电工程。特高压直流输电采用与常规高压直流输电基本相同的接线方式,换流站主要由换流器,换流变压器,交、直流滤波器,直流电抗器,无功补偿装置以及保护、控制装置等构成。

由于特高压直流输电工程输送容量大、电压等级高,要求其具有更高的可靠性,其接线方式通常采用双极两线中性点两端接地方式。以 $\pm 800\text{kV}$ 电压等级的特高压直流输电工程为例,可供选择的换流站接线方式有以下三种。

- (1) 每个极只有 1 组 12 脉动换流器;
- (2) 每极由两组 12 脉动换流器并联;
- (3) 每极由两组 12 脉动换流器串联。



由于特高压直流设备的单台容量、制造工艺、运输条件等限制，前两种运行方式尚未应用于特高压直流输电工程。目前，已经投入运行的云南—广东±800kV 特高压直流输电工程和向家坝—上海±800kV 特高压直流输电工程均是采用每个极两组 12 脉动换流器串联，双 12 脉动阀组串联接线方式如图 1-1 所示。

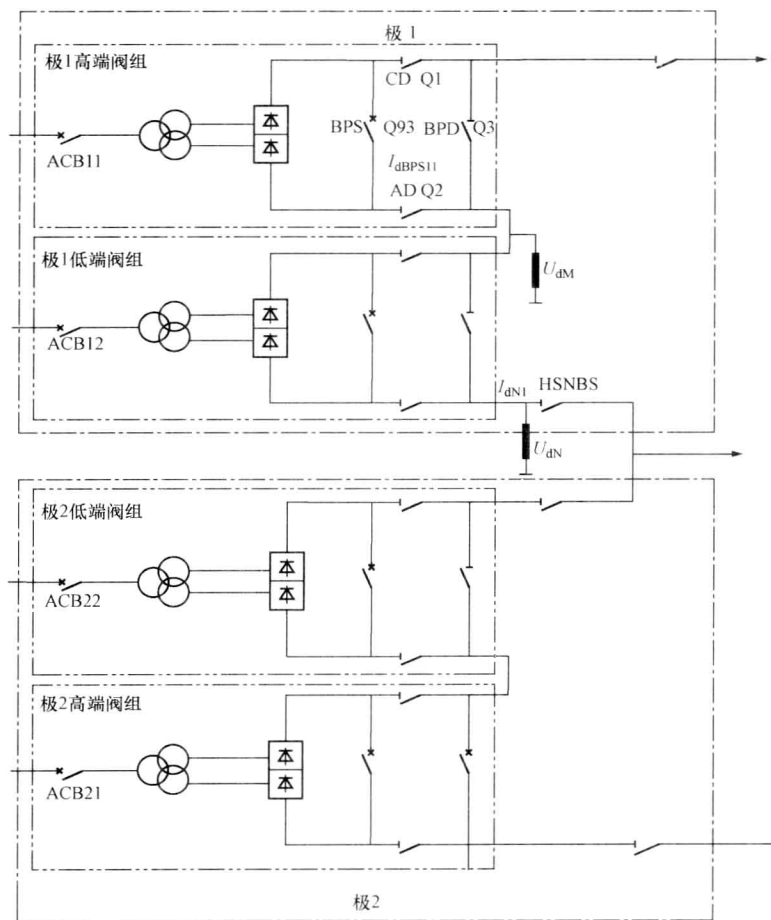


图 1-1 双 12 脉动阀组串联接线方式

BPS—High Speed Bypass Switch, 高速阀组旁路开关; BPD—Bypass Disconnect, 阀组旁路开关;

AD—Anode Disconnect, 阳极开关; CD—Cathode Disconnect, 阴极开关;

HSNBS—High Speed Neutral Bus Switcher

在±800kV 云广特高压直流输电系统中，每极采用高低端阀组串联结构，其中，换流站低端阀组指中性母线至 400kV 母线之间的 12 脉动阀组，高端阀



组则是 400~800kV 母线之间的 12 脉动阀组, 如图 1-1 所示, 每个阀组均配置了阳极隔离开关 Q1、阴极隔离开关 Q2、旁路开关 Q3 和阀组旁路开关 Q93, 通过对上述设备的操作, 每个阀组均可实现独立的投入或退出运行的操作。

第三节 特高压直流输电运行方式

特高压直流输电系统采用单极双 12 脉动阀组串联的接线方式, 为了使每一个阀组的解、闭锁顺序能独立于同极另外一个阀组, 如图 1-1 所示, 每个阀组均配置有一个阀组旁路断路器 (BPS)、一个阴极隔离开关 (CD)、一个阳极隔离开关 (AD) 和一个阀组旁路开关 (BPD) 进行旁路或隔离。采用这种结构后, 特高压直流输电系统主回路会有更多运行方式可以选择, 提高了整个系统运行的灵活性和可用率。

特高压直流输电系统的运行方式灵活多样, 总体上可分为两大类:

- (1) 单极运行;
- (2) 双极运行。

按照两个换流站运行阀组的对应关系及每个极所投入运行的阀组数目, 又可以分为:

- (1) 完整单极运行方式 (见图 1-2、图 1-3);

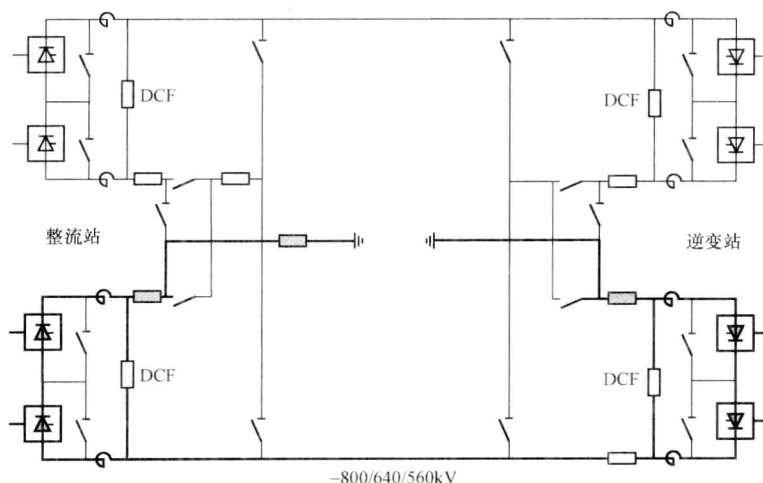


图 1-2 完整单极大地回线运行方式 (GR 方式)

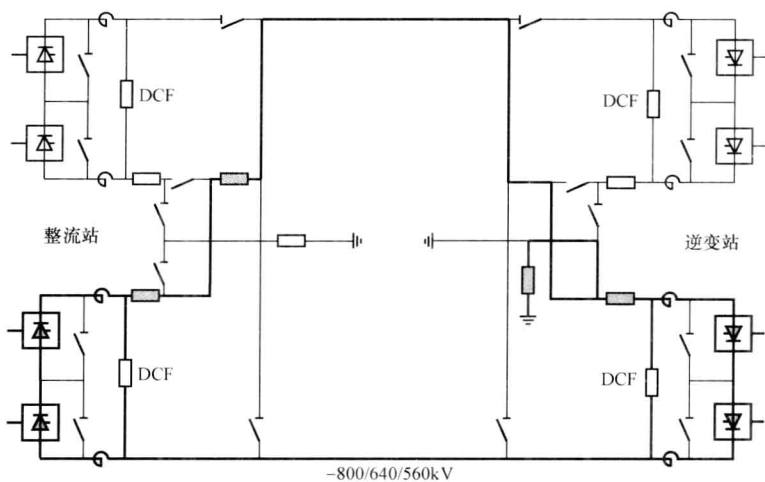


图 1-3 完整单极金属回线运行方式 (MR 方式)

(2) 1/2 单极运行方式 (见图 1-4、图 1-5);

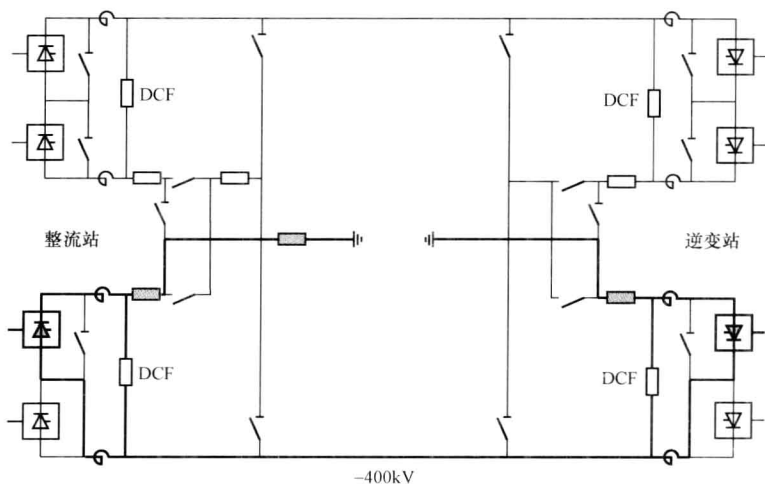


图 1-4 1/2 单极大地回线运行方式 (极 2 低端阀组与对称型)

(3) 完整双极运行方式 (见图 1-6);

(4) 1/2 双极平衡运行方式 (见图 1-7);

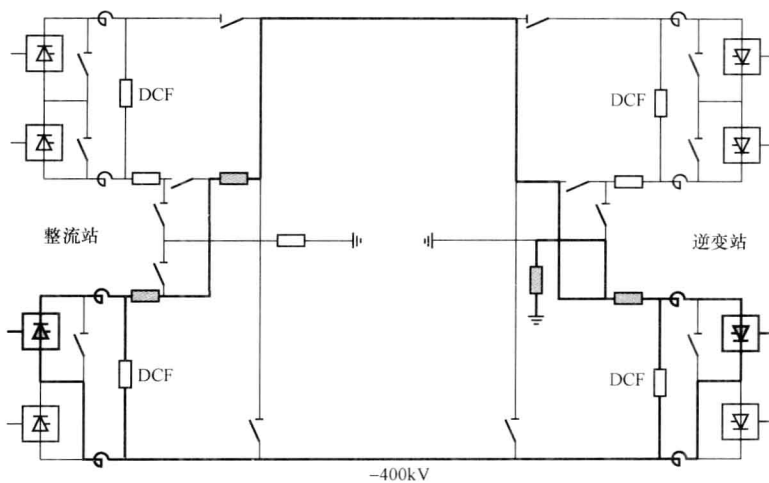


图 1-5 1/2 单极金属回线运行方式（极 2 低端阀组与对称型）

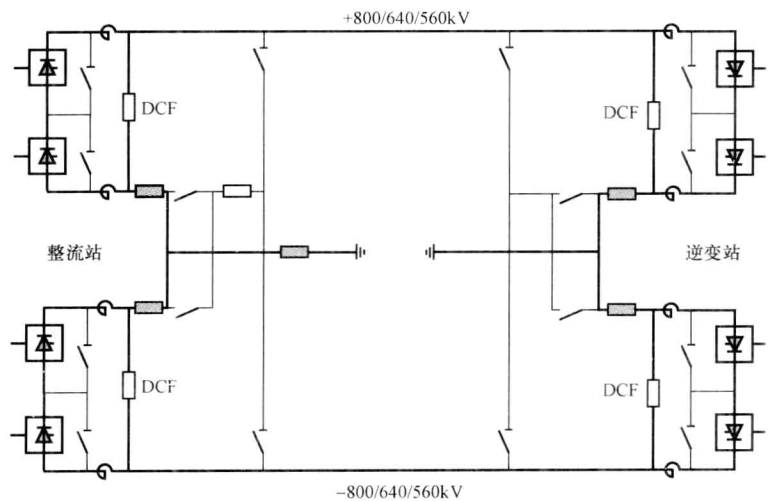


图 1-6 完整双极运行方式（BP 方式）

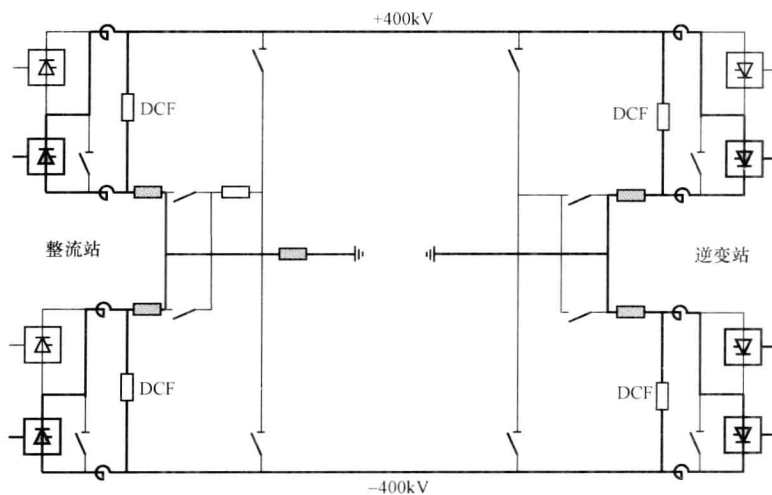


图 1-7 1/2 双极平衡运行方式（极 1 低端阀组、极 2 高端阀组）

(5) 3/4 双极（一极完整运行，另一极 1/2 方式运行）不平衡运行方式（见图 1-8）。

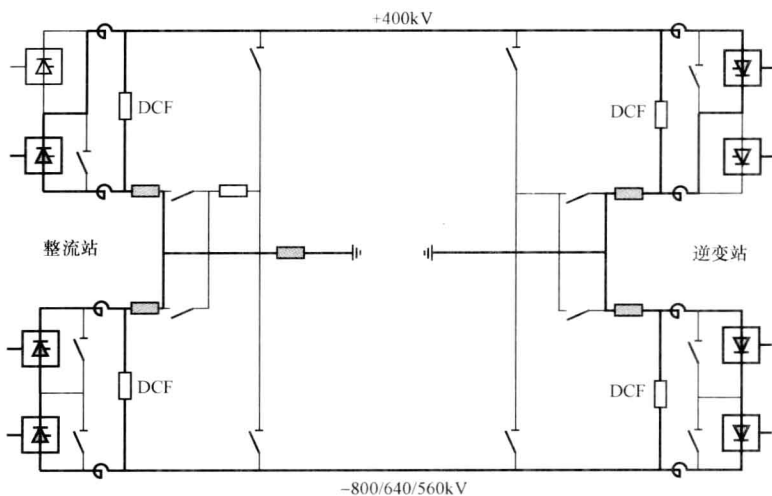


图 1-8 3/4 双极不平衡运行方式（极 1 单阀组与交叉型）

特高压直流输电系统具体运行方式与所对应阀组的投退如表 1-1 所示：



表 1-1 特高压直流输电系统具体运行方式与所对应阀组的投退汇总表

序号	运行方式		对应的 阀 组 投 退
1	完整单极运行		两站极 1 双阀组投入、大地回线
2			两站极 2 双阀组投入、大地回线
3			两站极 1 双阀组投入、金属回线
4			两站极 2 I 双阀组投入、金属回线
5	1/2 单极运行	对称型	两站极 1 高端阀组投入、大地回线
6			两站极 1 低端阀组投入、大地回线
7			两站极 2 高端阀组投入、大地回线
8			两站极 2 低端阀组投入、大地回线
9			两站极 1 高端阀组投入、金属回线
10			两站极 1 低端阀组投入、金属回线
11			两站极 2 高端阀组投入、金属回线
12			两站极 2 低端阀组投入、金属回线
13		交叉型	整流站极 1 高端阀组与逆变站极 1 低端阀组投入、大地回线
14			整流站极 1 低端阀组与逆变站极 1 高端阀组投入、大地回线
15			整流站极 2 高端阀组与逆变站极 2 低端阀组投入、大地回线
16			整流站极 2 低端阀组与逆变站极 2 高端阀组投入、大地回线
17			整流站极 1 高端阀组与逆变站极 1 低端阀组投入、金属回线
18			整流站极 1 低端阀组与逆变站极 1 高端阀组投入、金属回线
19			整流站极 2 高端阀组与逆变站极 2 低端阀组投入、金属回线
20			整流站极 2 低端阀组与逆变站极 2 高端阀组投入、金属回线
21	3/4 双极不平衡运行	对称型	两站仅极 1 高端阀组退出运行
22			两站仅极 1 低端阀组退出运行
23			两站仅极 2 高端阀组退出运行
24			两站仅极 2 低端阀组退出运行
25		交叉型	整流站仅极 1 高端阀组退出运行, 逆变站仅极 1 低端阀组退出运行
26			整流站仅极 1 低端阀组退出运行, 逆变站仅极 1 高端阀组退出运行
27			整流站仅极 2 高端阀组退出运行, 逆变站仅极 2 低端阀组退出运行
28			整流站仅极 2 低端阀组退出运行, 逆变站仅极 2 高端阀组退出运行