



中国南方电网
CHINA SOUTHERN POWER GRID

高压直流设备 基础

中国南方电网超高压输电公司 编

CHINA
SOUTHERN POWER GRID



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



中国南方电网
CHINA SOUTHERN POWER GRID

高压直流设备 基础

中国南方电网超高压输电公司 编

CHINA SOUTHERN POWER GRID



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书介绍了南方电网公司±500kV天广高压直流工程、高肇高压直流工程、兴安高压直流工程，±800kV云广特高压直流输电工程的换流站一次、二次直流设备及直流线路。以现场的具体设备为例，使用大量实例图片对直流一次设备、直流二次设备、主要辅助系统以及直流线路的原理、结构、应用进行介绍。

本书可供从事高压直流输电技术运行、检修、试验、研究、培训及管理工作的相关技术人员使用，也可供高校电力相关专业的在校本科生、研究生和教师参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高压直流设备基础/中国南方电网超高压输电公司编. —北京: 中国电力出版社, 2011.7

ISBN 978-7-5123-1980-6

I. ①高… II. ①中… III. ①直流输电-高压电气设备
IV. ①TM726.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 156989 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

*

2011 年 11 月第 一 版 2011 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 475 千字

印数 0001—3000 册 定价 45.00 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

编 委 会

主 任 林志波

副主任 钱 海 王志滨 田应富

主 编 杨洁民

审核组 郑 丰 吕家圣 刘江华 邓本飞 罗海志

编写组 (排名不分先后)

田兴旺 冯 鹤 黄代宽 张望平 潘国洪

郭树永 黄章强 郑国书 曹 鸿 湛 毅

李家羊 王 磊 郝江涛 王 振 王浩东

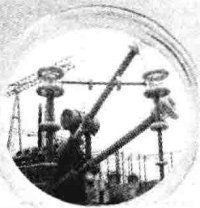
本书以南方电网公司现有运行的 $\pm 500\text{kV}$ 天广高压直流工程、高肇高压直流工程、兴安高压直流工程和 $\pm 800\text{kV}$ 云广特高压直流输电工程设备为基础,紧跟高压直流输电的新技术,以现场设备为例,使用大量实例图片对直流一次设备、直流二次设备、主要辅助系统以及直流线路的原理、结构、应用进行介绍,以便技术人员尽快了解设备、熟悉设备、掌握设备。

本书共十八章,具体内容及编写情况为:第一章高压直流输电概述由田兴旺编写。第二章直流输电的基本运行方式由冯鹤编写。第三章换流变压器、第五章平波电抗器由黄代宽编写。第四章换流阀由张望平编写。第六章直流分流器与直流分压器由潘国洪编写。第七章直流场设备由郭树永编写。第八章交直流滤波器由黄章强编写。第九章换流站现场总线和LAN网由郑国书编写。第十章直流站控系统由曹鸿编写。第十一章极控系统、第十二章阀控系统由杨洁民编写。第十三章直流保护系统由谌毅编写。第十四章交直流滤波器保护由李家羊编写。第十五章交流断路器分合闸控制技术、第十六章接地极线故障定位技术由王磊编写。第十七章阀冷却系统由郝江涛、王振编写。第十八章直流线路由王浩东编写。附录一SIMADYN D控制系统介绍、附录二SIMATIC TDC控制系统介绍由杨洁民编写。附录三南瑞控制保护硬件系统介绍由谌毅编写。

由于时间仓促,文中难免存在不妥和疏漏的地方,希望各相关单位在使用过程中提出修改建议,以便编者逐步修改补充完善。

中国南方电网超高压输电公司

2010.12



前言	
第一章 高压直流输电概述	1
第二章 直流输电的基本运行方式	5
第三章 换流变压器	18
第一节 换流变压器的特点	18
第二节 换流变压器的结构型式	19
第三节 换流变压器的附件	21
第四章 换流阀	33
第五章 平波电抗器	52
第六章 直流分流器与直流分压器	56
第一节 直流分流器	56
第二节 直流分压器	64
第七章 直流场设备	70
第一节 直流断路器	70
第二节 直流隔离开关和接地开关	77
第三节 避雷器	80
第四节 直流 PLC、耦合电容器和冲击电容器	83
第八章 交直流滤波器	86
第一节 谐波	86
第二节 交流滤波器	89
第三节 直流滤波器	99
第九章 换流站现场总线和 LAN 网	105
第一节 现场总线	105
第二节 站内局域网系统	119
第十章 直流站控系统	124
第一节 直流站控系统控制功能	124
第二节 直流站控系统硬件介绍	139

第十一章 极控系统	146
第一节 极控系统控制功能	146
第二节 极控系统硬件介绍	162
第十二章 阀控系统	172
第一节 光触发阀的阀控系统	172
第二节 电触发阀的阀控系统	178
第三节 阀避雷器监视和阀塔漏水监视	186
第十三章 直流保护系统	189
第一节 直流保护的保护功能	192
第二节 直流保护硬件介绍	211
第十四章 交直流滤波器保护	219
第一节 交流滤波器保护	219
第二节 直流滤波器保护	229
第十五章 交流断路器分合闸控制技术	235
第十六章 接地极线故障定位技术	242
第十七章 阀冷却系统	249
第一节 阀冷却系统主设备	249
第二节 阀冷却控制系统	253
第十八章 直流线路	265
第一节 导线	265
第二节 架空地线	266
第三节 绝缘子	267
第四节 金具	270
第五节 杆塔	272
第六节 基础	275
第七节 接地装置	276
附录一 SIMADYN D 控制系统介绍	278
附录二 SIMATIC TDC 控制系统介绍	289
附录三 南瑞控制保护硬件系统介绍	298
参考文献	310



高压直流输电概述

我国能源分布的不均衡性和经济发展的不平衡性，决定了我国能源政策为“西电东送、南北互供、全国联网”。在大规模的西电东送和全国联网工程中，只有直流输电才能解决联网所带来的一系列电网问题已得到了目前国内外电力界专家公认。党的十六大确定了到2020年我国国内生产总值比2000年实现翻两番，全面建设小康社会的目标使电力工业面临新的发展机遇和挑战。据预测，2020年全国发电装机容量将达到9.5亿kW左右。将新建电源的电能安全、稳定、可靠、经济地送出是我国电网建设的基本任务，并应在此基础上逐步改善电网结构、推进全国联网，这使得电网的发展比电源建设更具挑战性。在电网建设中对电网的网络结构、输电方式、输电新技术和电压等级等如何选择，不仅关系到电源建成后的电力输送能力，更关系到电力系统安全稳定、工程效益、电力市场和电力营销等一系列问题。直流输电技术以其独有的特点，将在我国目前乃至将来电网中发挥着独有的作用。

截至2010年底，南方电网已有天广直流工程、高肇直流工程、兴安直流工程3个±500kV高压直流输电工程及楚穗±800kV特高压直流工程相继建成，其中天广直流工程输送容量为1800MW，高肇及兴安直流工程输送容量为3000MW，楚穗±800kV直流工程输送容量将达到5000MW。2012年，溪洛渡水电站送广东从化的双回±500kV直流工程（输送容量共6400MW，线路设计总长约1286km）和糯扎渡水电站送广东江门的±800kV特高压直流工程（输送容量共5000MW，线路设计总长约1451km）的直流工程将相继建成投产。随着电力系统的发展，高压直流输电逐渐被广泛应用于大功率、跨地区、远距离的输电项目，直流输电工程将在我国“十二五”电网建设中发挥积极作用，对“西电东送、南北互供、全国联网”能源战略的稳步推进起决定性作用，直流工程在我国乃至全球的电网建设中有广阔的市场前景。

一、工程简介

1. 天广直流工程

天广直流输电工程西起贵州天生桥，东至广州北郊，电压等级±500kV，双极额定容量180万kW，线路全长960km，天生桥换流站接地极线路长约53km。该工程于1998年4月16日开工，2000年12月底单极投产，2001年6月26日双极投产。整流站为天生桥换流站，位于广西壮族自治区隆林县天生桥镇，距天生桥一级水电站大坝3km，离天生桥二级水电站大坝9.6km。逆变站为广州北郊换流站，位于广州市白云区蚌湖镇。天广直流工程建成后，南方电网成为我国第一个交直流并列输电系统。水力资源丰富的广西、

贵州和云南三省的电力，通过天广直流工程和已投运的天广两回交流工程输送到广东负荷中心，对实现西电东送的大战略、提高天广走廊输送能力和加强南方电网的稳定性都发挥着重要作用。

2. 高肇直流工程

高肇直流输电工程（贵广Ⅰ回直流工程）西起贵州安顺高坡换流站，东至广东肇庆换流站，电压等级 $\pm 500\text{kV}$ ，输电容量为300万kW，线路全长882km。高肇直流输电工程是国务院确定的“十五”期末西电新增向广东送电10GW电网项目中的最后一个工程。该工程2004年7月17日单极投产，2004年9月24日双极投产。高肇直流输电线路与贵广Ⅰ、Ⅱ回交流线路构成南方电网第二个交、直流并联系系统。

3. 兴安直流工程

兴安直流输电工程（贵广Ⅱ回直流工程）西起贵州兴仁换流站，东至深圳宝安换流站，电压等级 $\pm 500\text{kV}$ ，输电容量为300万kW，输电线路1194.08km。在直流输电设备采购和国产化方面，认真贯彻以“我为主、联合设计、自主生产”的方针，全面实现直流系统设计、换流站设备成套设计和直流工程设计自主化和设备制造自主化，国产化率达到70%。该工程于2007年6月极Ⅱ单极投产，2007年12月双极投产。

4. 楚穗特高压直流工程

楚穗特高压直流工程是世界上第一个 ± 800 千伏直流输电工程，是迄今世界直流输电领域电压等级最高的项目，也是我国特高压直流输电自主化示范工程，是我国电网建设史上一个里程碑，在世界电力工程史上也是一个重大突破。该工程是南方电网“十一五”西电东送的主要输电通道，汇集云南小湾、金安桥等水电站的电力输送广东。工程西起云南楚雄州禄丰县，东至广州增城市，线路全长1438km，额定输电电压 $\pm 800\text{kV}$ ，额定输送容量500万kW。2009年12月单极投产，2010年6月双极投产。

二、直流输电的优势

直流输电可远距离大功率输电。直流输电不受同步运行稳定性问题的制约，对保证两端交流电网的稳定运行起了很大作用。

海底电缆送电是直流输电的主要用途之一。输送相同的功率，直流电缆不仅费用比交流省，而且由于交流电缆存在较大的电容电流，海底电缆长度超过40km时，采用直流输电无论是经济上还是技术上都较为合理。

利用直流输电，可实现国内区网或国际间的非同步互联（Back-to-Back HVDC），把大系统分割为几个既可获得联网效益，又可具有相对独立的交流系统，避免了交流电力系统总容量过大所带来的问题。

交流电力系统互联或配电网增容时，直流输电可以作为限制短路电流的措施。这是由于它的控制系统具有调节快、控制性能好的特点，可以有效地限制短路电流，使其基本保持稳定。

利用直流输电快速的调节性能可提高交流系统的稳定性。直流输电具有快速响应特点，当交流系统发生故障时，利用直流输电的调节作用，能有效地提高交流系统的稳定性。

用电密集的大城市供电（HVDC-Light），在供电距离达到一定程度时，用高压直流电缆更为经济，同时直流输电方式还可以作为限制城市供电电网短路电流增大的措施。

三、高压直流输电系统运行特性

1. 功率传输特性

众所周知,随着输送容量不断增长,稳定问题越来越成为交流输电的制约因素。为了满足稳定问题,常需采用串联补偿、静态补偿、调相机、开关站等措施,有时甚至不得不提高输电电压。但是,这将增加很多电气设备,代价是昂贵的。

直流输电没有相位和功角,当然也就不存在稳定问题,只要电压降、网损等技术指标符合要求,就可达到传输的目的。无需考虑稳定问题,这是直流输电的重要特点,也是它的一大优势。

2. 线路故障时的自防护能力

交流线路单相接地后,其消除过程一般为 $0.4\sim 0.8\text{s}$,加上重合闸时间, $0.6\sim 1\text{s}$ 恢复。直流线路单极接地,整流、逆变两侧晶闸管阀立即闭锁,电压降到0,迫使直流电流降到0,故障电弧熄灭,不存在电流无法过零的困难,直流线路单极故障的恢复时间一般在 $0.2\sim 0.35\text{s}$ 以内。从自身恢复的能力看,交流线路采用单相重合闸,需要满足单相瞬时稳定才能恢复供电,直流则不存在此限制条件。若线路上发生的故障在重合(直流为再启动)中重燃,交流线路就三相跳闸了,直流线路则可用延长去游离时间及降压方式来进行第2、第3次再启动,创造线路消除故障、恢复正常运行的条件。对于单片绝缘子损坏,交流必然三相切除,直流则可降压运行,且大都能取得成功。因此,对于占线路故障 $80\%\sim 90\%$ 的单相(或单极)瞬时接地而言,直流比交流具有响应快、恢复时间短、不受稳定制约、可多次再启动和可降压运行来创造消除故障恢复正常运行条件等多方面优点。

3. 过负荷能力

通常,交流输电线路具有较高的持续运行能力,受发热条件限制的允许最大连续电流比正常输送功率大得多,其最大输送容量往往受稳定极限控制。直流线路也有一定的过负荷能力,受制约的往往是换流站,通常分2h过负荷能力、3s过负荷能力和固有过负荷能力等。前两者天广直流工程分别为 10% 和 25% ,后者视环境温度而异。总的来说,就过负荷能力而言,交流有更大的灵活性,直流如果需要具有更大的过负荷能力,则必须在设备选型时预先考虑,此时需要增加投资。

4. 利用直流输电调节作用能提高交流系统的稳定性

如前所述,直流输电具有快速响应的特点,当交流系统发生故障时,利用直流输电的调节作用,能有效地提高交流系统的稳定性。著名的美国BPA 500kV交直流并列运行线路,2回长1521km交流线路共送2860MW,平均1回送电1430MW,直流的调节作用是重要措施之一。

5. 潮流和功率控制

交流输电取决于网络参数、发电机与负荷的运行方式,值班人员需要进行调度,但又难以控制潮流,直流输电则可全部自动控制。

6. 短路容量

两个系统以交流互联时,将增加两侧系统的短路容量,有时会造成部分原有断路器不能满足遮断容量要求而需要更换设备。直流互联时,不论在哪里发生故障,在直流线路上增加的电流都是不大的,因此不增加交流系统的短路容量。

7. 调度管理

由于通过直流线路互联的两端交流系统可以有各自的频率，输送功率也可保持恒定（恒功率、恒电流等）。对送端而言，整流站相当于交流系统的一个负荷；对受端而言，逆变站则相当于交流系统的一个电源。送端、受端之间的干扰和影响小，运行管理简单方便，深受电力管理、运行部门的欢迎，对我国当前发展的跨大区互联、合同售电、合资办电等形成的联合电力系统，尤为适宜。

8. 线路走廊

按同电压 500kV 考虑，1 条 500kV 直流输电线路的走廊约 40m，1 条 500kV 交流线路走廊约为 50m；但是 1 条同电压的直流线路输送容量约为交流线路的 2 倍，直流输电的线路走廊，其传输效率约为交流线路的 2 倍甚至更多一点。

四、经济性比较

交、直流两种输电方式，就其造价而言，各具如下特色：输送容量确定后，直流换流站的规模随之确定，其投资也即固定下来，距离的增加，只与线路造价有关。交流输电则不同，随着输电距离的增加，由于稳定、过电压等要求，需要设置中间开关站。因此，对于交流输电方式，输电距离不单影响线路投资，同时也影响变电部分投资；就变电和线路两部分看，直流输电换流站投资占比重大，而交流输电的输电线路投资占主要成分；直流输电功率损失比交流输电小得多；当输送功率增大时，直流输电可以采取提高电压、加大导线截面的办法，交流输电则往往只好增加回路数。

综上所述，直流换流站的造价远高于交流变电站，而直流输电线路的造价则明显低于交流输电线路。同时，直流输电的网损又比交流的小得多。因此，随着输电距离的改变，交、直流两种输电方式的造价和总费用将相应作增减变化。在某一输电距离下，两者总费用相等，这一距离称为等价距离。这是一个重要的工程初估数据，概括地说，超过这一距离时，采用直流输电有利；小于这一距离时，采用交流输电有利。按目前的物价水平计算，在我国交直流的等价距离大约为 600km。

直流输电的基本运行方式

直流输电工程的运行方式，是指在运行中可供运行人员进行选择的稳态运行的状态。运行方式与工程的直流侧接线方式、直流功率输送方向、直流电压方式以及直流输电系统的控制方式有关。对于具体的直流输电工程，其接线方式是在工程设计时确定的。双极直流输电工程在设计时通常考虑的几种接线方式为：双极方式、单极大地回线方式、单极金属回线方式、单极双导线并联大地回线方式、空载加压方式等。直流输电工程还有全压运行方式和降压运行方式、功率正送方式和功率反送方式等。直流输电工程在稳态运行中的控制方式，主要有定功率控制方式、定电流控制方式等。本章主要从运行的角度讲述直流输电的基本运行方式。

一、运行接线方式

(一) $\pm 500\text{kV}$ 直流运行接线方式

1. $\pm 500\text{kV}$ 直流运行接线方式简介

(1) 单极大地回线方式 (Monopolar Ground Return Mode, 简称 GR 方式), 如图 2-1 所示。正、负两极中仅一极运行, 两侧通过接地极和接地极线路正常接地, 并通过大地构成电流回路。

(2) 单极金属回线方式 (Monopolar Metallic Return Mode, 简称 MR 方式), 如图 2-2 所示。正、负两极中仅一极运行, 以停运极的直流线路作为电流回路, 逆变侧通过高速接地

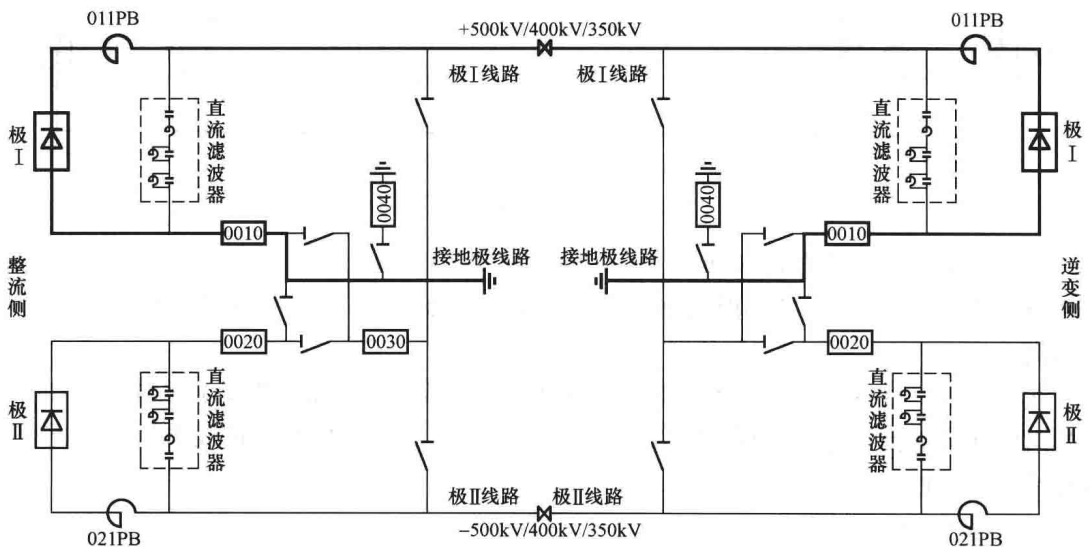


图 2-1 单极大地回线方式 (以极 I 为例)

开关接地，整流侧不接地。

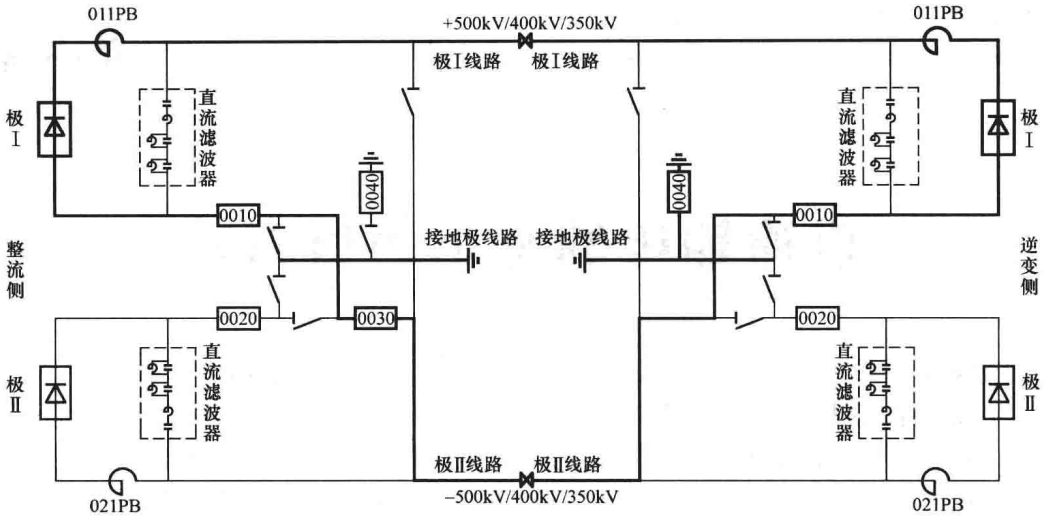


图 2-2 单极金属回线方式 (以极 I 为例)

(3) 双极方式 (Bipolar Mode, 简称 BP 方式), 如图 2-3 所示。正、负两极均投入运行, 两侧通过接地极和接地极线路正常接地。

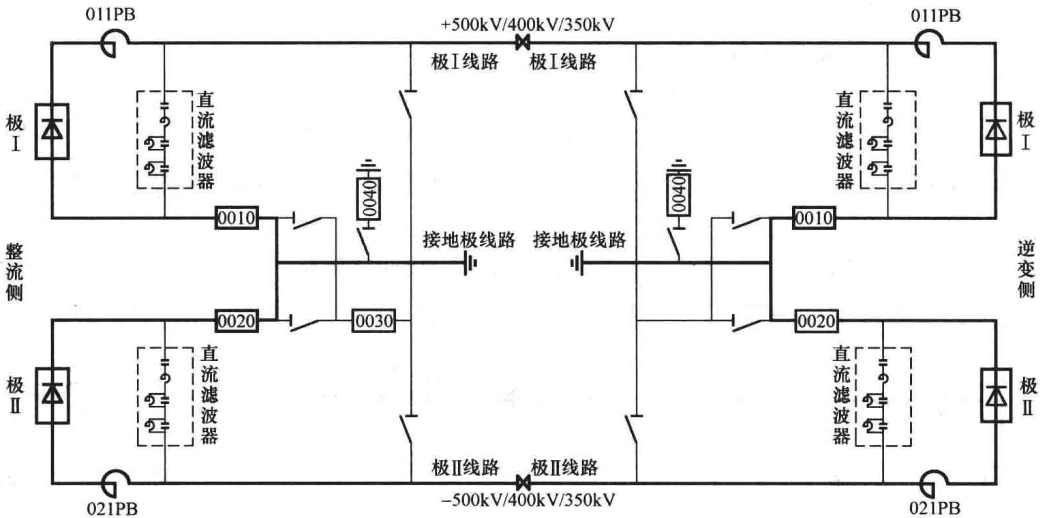


图 2-3 双极方式

(4) 空载加压试验方式 (Open Line Test Mode, 简称 OLT 方式), 如图 2-4 所示。试验侧设定为 OLT 模式, 接地极线路连接, 直流线路本侧接入 (直流线路也可不接入), 对侧隔离。

注: 原天广直流工程还有单极双导线并联大地回线方式, 由于现交流系统不允许直流系统长时间在大地回线方式运行, 所以在 2010 年天广直流工程控制保护改造后, 不再有单极双导线并联大地回线方式。

2. 单极大地回线方式

如图 2-1 所示, 因为在实际运行当中, 单极大地回线方式下, 随着输送功率的增大, 接

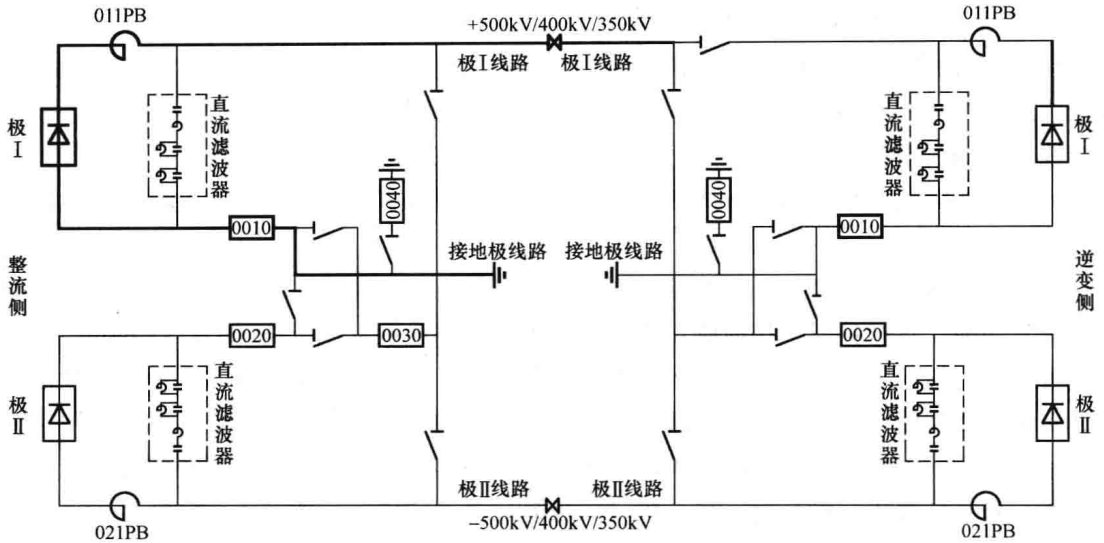


图 2-4 空载加压试验方式（以整流侧极 I 为例）

地极线路的电流也随之增大，会有部分入地电流流入附近变电站中性点接地的电力变压器中。产生的主要影响表现在：流经中性点接地运行的主变压器中性线直流电流大幅增加；变压器运行的噪声异常增大；电网电压总谐波畸变率大幅升高。这将给系统运行和变压器本身带来诸多不利后果，所以一般情况下不采用该接线方式运行。在单极运行时，尽量采用单极金属回线方式，尽管该方式功率损耗较大。当双极均可运行时，则采用双极方式，该方式功率损耗最小。

3. 空载加压试验

主要是检验设备的耐压性能，做试验时，潮流方向必须设定为本站到对站，试验电压可以从 0kV 一直加到 500kV。

4. 运行接线方式与极（I、II）、接地极、直流线路状态关系

兴安直流工程接线方式定义见表 2-1。

表 2-1 兴安直流工程接线方式定义

直流接线方式		单极				空载加压试验方式				双极
		极 I		极 II		极 I		极 II		
		GR	MR	GR	MR	本站	对站	本站	对站	
极连接	极 I	1	1	0	0	1	0	*	*	1
	极 II	0	0	1	1	*	*	1	0	1
直流场设备	极 I 直流线路	1	1	*	1	1	0	*	*	1
	极 II 直流线路	*	1	1	1	*	*	1	0	1
	接地极线路	1	0	1	0	1	*	1	*	1
	逆变站高速接地开关	0	1	0	1	0		0		0
	金属回线断路器/隔离开关	0	1	0	1	0		0		0
	极 I 转换母线隔离开关	0	0	0	1	0		0		0
极 II 转换母线隔离开关	0	1	0	0	0		0		0	

注 1—运行、合上、投入、符合；0—不运行、断开、退出、不符合；*—任何状态。

5. 高压直流系统运行接线方式转换

(1) 转换原则。在双极停运或备用状态下，可以进行直流系统运行方式的配置和转换，在双极运行方式中不能进行任何方式的转换；单极大地回线方式是基本的接线方式，通常直流接线方式的转换都在此基础上进行。单极运行时，在停运极已断开的条件下，运行极可以进行大地回线方式与金属回线方式的转换；单极大地回线方式运行时，通过配置停运极可以形成双极方式。

(2) 运行接线方式原则。运行接线方式的大部分转换只能通过改变极、接地极和转换母线的配置完成。运行接线连接原则：连接接地极线路→连接直流线路(如有线路隔离开关)→连接极；运行接线隔离原则：隔离极→隔离直流线路(如有线路隔离开关)→隔离接地极线路。单极金属回线一般都由单极大地回线转换而成，同时单极金属回线方式也可以转换成单极大地回线方式。单接金属回线和单极大地回线之间的转换可以在单极解锁状态下进行。

当一极(如极 I)运行时，另一极(如极 II)处于“停运”或“备用”状态下，通过连接极 II，也可以配置为双极方式。

(二) ±800kV 直流运行接线方式

1. ±800kV 直流运行接线方式

(1) 双极方式：正、负两极均投入运行，两侧通过接地极和接地极线路正常接地。

双极方式包括：完整双极方式，即整流侧和逆变侧双极均双阀组投入运行的方式；3/4 双极不平衡方式，即整流侧和逆变侧一极双阀组运行、一极单阀组运行的方式；1/2 双极平衡方式，即整流侧和逆变侧双极均单阀组投入运行的方式。其中，两侧换流站同一极相同阀组(同为高端阀组或低端阀组)运行为对称型方式，两侧换流站同一极不同阀组运行为交叉型方式。对于 1/2 双极平衡方式，同一换流站的双极可以不同阀组运行，即一极高端阀组、另一极低端阀组运行。双极方式阀组运行方式见表 2-2。

表 2-2 双极方式阀组运行方式

项 目		完整方式	3/4 不平衡方式						1/2 平衡方式																	
			对称型			交叉型			对称型					交叉型												
整流站	极 I	3	1	2	3	3	1	2	3	3	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
	极 II	3	3	3	1	2	3	3	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
逆变站	极 I	3	1	2	3	3	2	1	3	3	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
	极 II	3	3	3	1	2	3	3	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2

注 1—高端阀组运行；2—低端阀组运行；3—高端阀组、低端阀组同时运行。

(2) 单极大地回线方式：正、负两极中仅一极运行，两侧通过接地极和接地极线路正常接地，并通过大地构成电流回路。

单极大地回线方式包括：完整单极方式，即单极双阀组投入运行的方式；1/2 单极方式，即单极单阀组投入运行的方式。其中，两侧换流站同一极相同阀组运行为对称型方式，两侧换流站同一极不同阀组运行为交叉型方式。单极大地回线方式阀组运行方式见表 2-3。

表 2-3 单极大地回线方式阀组运行方式

项 目	完整方式	1/2 方式									
		对称型				交叉型					
整流站	极 I	3	0	1	2	0	0	1	2	0	0
	极 II	0	3	0	0	1	2	0	0	1	2
逆变站	极 I	3	0	1	2	0	0	2	1	0	0
	极 II	0	3	0	0	1	2	0	0	2	1

注 0—高端阀组、低端阀组同时停运；1—高端阀组运行；2—低端阀组运行；3—高端阀组、低端阀组同时运行。

(3) 单极金属回线方式：正、负两极中仅一极运行，以停运极的直流线路作为电流回路，逆变侧通过高速接地开关接地，整流侧不接地。

单极金属回线方式包括：完整单极方式，即单极双阀组投入运行的方式；1/2 单极方式，即单极单阀组投入运行的方式。其中，两侧换流站同一极相同阀组运行为对称型方式，两侧换流站同一极不同阀组运行为交叉型方式。阀组运行状态参见单极大地回线方式。

(4) 空载加压试验方式：空载加压试验侧设定为 OLT 模式，直流线路接入，接地极线路连接；对侧直流线路隔离，极母线接地开关合上。

高端阀组、低端阀组可以单独进行 OLT 试验，也可以双阀组同时进行 OLT 试验。

2. 直流接线原则

(1) 正常情况下采用 BP 方式。

(2) 一极运行、一极检修（该极线路可运行）时，如输送功率较大且时间较长，应采用 MR 方式；如输送功率较低、时间较短，可采用 GR 方式。

(3) 单极运行时，若作为阳极运行的接地极接近其寿命时，应尽可能采用 MR 方式。

3. 直流接线方式

直流接线方式的配置要求见表 2-4。结合极内高端阀组和低端阀组的状态，可以形成需要的各种直流运行方式。

表 2-4 ±800kV 直流接线方式定义

直流接线方式		单极				空载加压试验方式				双极
		极 I		极 II		极 I		极 II		
		GR	MR	GR	MR	本站	对站	本站	对站	
极连接	极 I	1	1	0	0	1	0	*	*	1
	极 II	0	0	1	1	*	*	1	0	1
直流场设备	极 I 直流线路	1	1	*	1	1	0	*	*	1
	极 I 极母线接地开关	0	0	0	0	0	1	*	*	0
	极 II 直流线路	*	1	1	1	*	*	1	0	1
	极 II 极母线接地开关	0	0	0	0	*	*	0	1	0
	接地极线路	1	0	1	0	1	*	1	*	1
	逆变站高速接地开关	0	1	0	1	0		0		0
	金属回线断路器/隔离开关	0	1	0	1	0		0		0
	极 I 转换母线隔离开关	0	0	0	1	0		0		0
	极 II 转换母线隔离开关	0	1	0	0	0		0		0

注 1—运行、合上、投入、符合；0—不运行、断开、退出、不符合；*—任何状态。

各种典型运行方式如图 2-5~图 2-12 所示。

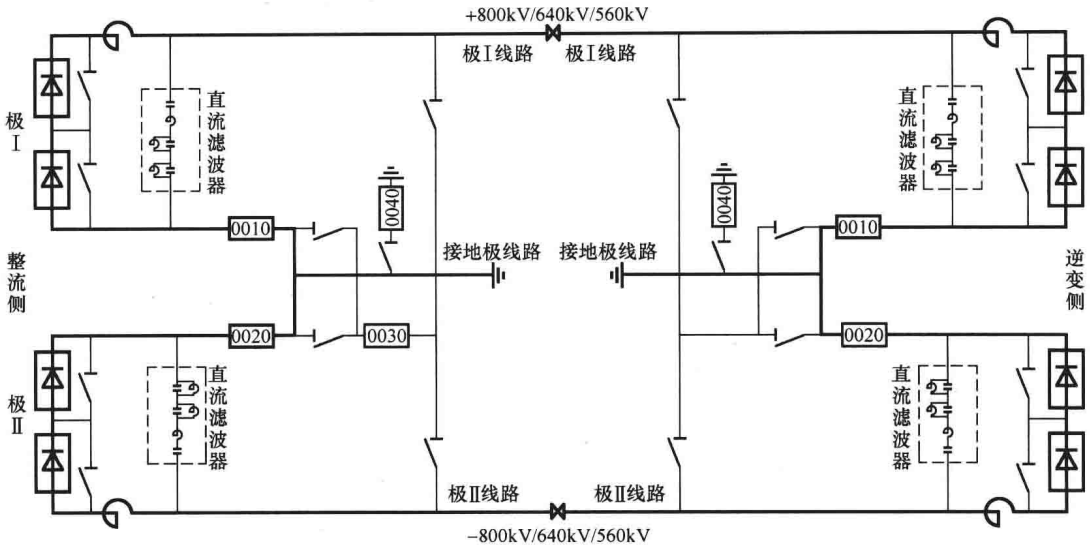


图 2-5 完整双极方式

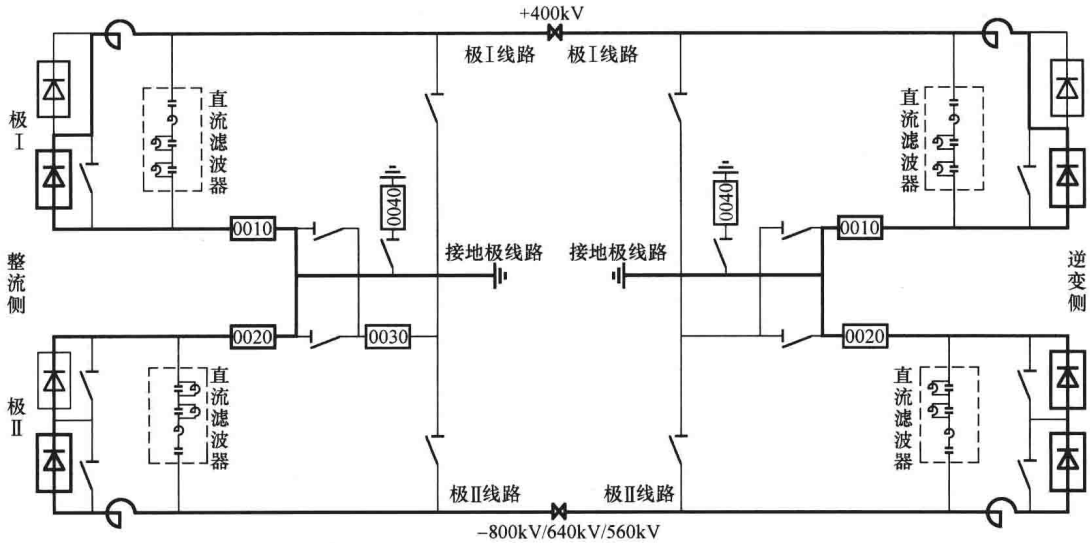


图 2-6 3/4 双极不平衡极方式（极 I 单阀组，交叉型）

二、全压运行方式和降压运行方式

直流输电工程的直流电压，在运行中可以选择全压运行方式（既额定直流电压方式）或降压运行方式。在正常情况下，直流输电系统都选择全压运行方式。由于以下原因要降压运行：①由于绝缘问题需要降低直流电压，在恶劣的气候条件或严重污秽的情况下，直流架空线路如果仍在额定直流电压下运行，则会产生较高的故障率，为了提高输电线路的可靠性和可用率，可以采用降压方式运行。②换流站内高压直流设备绝缘水平降低，为了保护换流站高压直流设备，可以采用降压方式运行。

降压运行方式可以由运行人员控制或通过直流保护启动降压运行。在直流降压运行方式