



高压直流输电

现场实用技术问答

中国南方电网超高压输电公司 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

高压直流输电 现场实用技术问答

中国南方电网超高压输电公司 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是中国南方电网超高压输电公司在总结多年“西电东送”交、直流并联电网建设、运行、检修、管理和研究实践经验的基础上,组织了南方电网公司一批长期从事直流技术引进、消化、吸收工作的中青年技术专家对现场实用技术的提炼和加工,从而形成的一本对现场实际工作具有较高指导作用的技术专著,它对我国直流输电工程的运行、维护技术的提高具有重要的意义。

本书共 12 章,主要包括:直流输电发展史、高压直流输电技术基础理论、高压直流主设备、换流站辅助设备、高压直流输电系统运行方式、直流极控系统、直流站控系统、直流保护、高压直流监视系统、谐波和滤波器、高压直流新技术及换流站运行注意事项。

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师生参考,同时还能满足社会各界对高压直流输电技术感兴趣的非电力专业人士的学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

高压直流输电现场实用技术问答 / 中国南方电网超高压输电公司编. —北京: 中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-6495-7

I. 高… II. 中… III. 高电压-直流-输电技术-问答
IV. TM726.1-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 195998 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 3 月第一版 2008 年 3 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 347 千字
印数 0001—3500 册 定价 39.00 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

《高压直流输电现场实用技术问答》

编 委 会

顾 问：牛保红 尚 春

专 家 组：洪 潮 王 钢 束洪春 傅 闯 吴小辰

黎小林 李 剑

主 任：曾宪刚

副 主 任：杨泽明 杨启蓓

主 编：曹继丰

审 核 组：（排名不分先后）

任达勇 吕伟权 邓本飞 罗培辉 刘江华

罗玉金 常开忠 杨海峰

编 写 组：（排名不分先后）

李耀钟 蒙健明 王金雄 孙恒明 李标俊

黎张文 王志滨 桂 勘 王电处 郭 峰

吴胜鹏 冯 鹤 罗海志 张 杰 李家羊

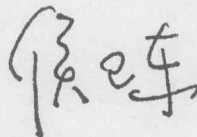
方 野 唐海名 甘 鹏 冯战武

序

高压直流输电技术自从 20 世纪 50 年代第一次出现在电力系统中以来,经过半个多世纪的发展,在远距离大容量输电、海底电缆工程以及电力系统联网工程中得到了广泛的应用,目前世界上已有 70 多项直流输电工程投入商业运行。随着新型半导体器件在直流输电工程中的广泛应用,新的直流技术如轻型直流输电等将进一步延伸到配电网领域,从而进一步推动直流输电技术的发展。

国内的高压直流输电虽然起步较晚,但发展十分迅猛,自 1987 年舟山直流工程投入运行以来,到 2007 年底已有葛洲坝——南桥、天生桥——广州、三峡——常州、三峡——广东、三峡——上海、贵州——广东第一回直流输电工程,灵宝背靠背直流输电工程,贵州——广东第二回直流输电工程等多项直流工程投入运行。目前还有云南——广东第一回 ±800kV 特高压直流输电工程等多回直流工程正在建设或规划之中,我国已成为世界上直流工程最多、直流输送容量最大的国家之一。但我国在高压直流输电的运行维护、检修试验等方面的行业标准相对缺乏,研究工作相对滞后,一定程度上制约了我国高压直流输电技术的发展。因此,编写有关直流输电工程技术方面的书是当前工程建设和运行所急需,对于提高我国电网运行水平具有重要的意义。

中国南方电网超高压输电公司作为建设、运行、维护和管理南方电网跨省(区)骨干网架的专业化输电公司,目前负责运行维护南方电网“六交三直”共九条西电东送大通道,在多年来的实践中,对于交直流并联电网运行技术、直流设备的运行维护、检修试验等方面积累了丰富的经验和成果。此次我们组织了一批高压直流输电方面的专家和技术人员,编写了理论结合实际、全面系统、实用性强的《高压直流输电现场实用技术问答》一书,该书的出版发行将为从事直流输电工程建设、设计、调试、运行维护的专业技术人员和管理人员提供一本很好的参考书,希望它能够对我国高压直流输电工程技术的提高起到重要作用,为我国的电力工业的发展做出贡献。



二〇〇八年元月

前言

本书是在全面总结天广直流输电工程七年的运行维护经验的基础上，兼顾高肇和兴安直流输电工程的技术改进，参考龙政直流和江城直流输电系统，按照直流输电发展史、直流输电基础理论、高压直流主设备、换流站辅助系统、直流控制保护系统、监视系统、直流新技术、运行管理经验总结等为主线，采用按系统设备进行章节编排，让读者对直流技术的了解和掌握有一个由浅入深、循序渐进的过程。

本书针对换流站运行工作实际情况和以往的运行经验总结，将问题按四个难度等级进行分级：初级篇、中级篇、高级篇、拓展篇，其中没有任何标记的题目为初级篇内容，“*”标记的题目为中级篇内容，“#”标记的题目为高级篇内容，“☆”标记的题目为拓展篇内容。初级篇内容主要针对运行副值班员以下岗位所必须掌握的直流基础理论知识、调度规程、现场运行规程、安全作业规范等内容，掌握初级篇内容就能胜任换流站副值班员岗位；中级篇内容为正值班员在掌握初级篇内容后所需掌握的直流相关专业知识和调度业务、事故处理等全能值班员所需内容，掌握初级篇和中级篇的内容即可胜任换流站正值班员岗位；高级篇内容为值长岗位所需掌握的专业技能知识、事故预想、事故分析处理等内容，以及相关高压直流工程设计相关的内容，通过初级篇、中级篇和高级篇内容的学习就能胜任值长岗位；拓展篇作为直流工作者拓宽视野，了解行业动态和直流技术发展趋势，内容为国内外最新直流技术发展动态，如特高压直流技术、CCC换流技术、背靠背直流、电压源换流器、轻型直流输电技术等相关内容。

本书共十二章，具体内容及编写情况如下：

第一章直流输电发展史由王志滨、曹继丰编写，曾宪刚审核，主要内容为阐述直流输电技术的发展历程，让读者认识整个直流输电的艰难发展历程和广阔的市场前景。

第二章高压直流输电基础理论由桂勘、黎张文编写，刘江华审核，主要内容为高压直流输电系统结构、换流原理、控制理论基础等，让读者对直流输电技术有一个总体认识。

第三章直流系统主设备由孙恒明、方野、甘鹏编写，罗玉金审核，主要内容为高压直流输电系统主要设备原理、结构，运行经验等。

第四章换流站辅助设备由郭峰、冯战武编写，王志滨审核，主要内容为换流站必不可少的阀冷系统、站用电系统、消防系统、中央空调系统等换流站重要的辅助系统的原理、结构和运行维护注意事项等。

第五章高压直流系统运行方式由王电处、黎张文编写，杨海峰审核，主要内容为直流系统的接线方式、运行方式和相关运行经验等。

第六章极控系统由李标俊、罗海志编写，邓本飞审核，主要内容为直流控制原理、极控功能、运行经验等。

第七章直流站控系统由王金雄、冯鹤、李家羊编写，任达勇审核，主要内容为直流站控功能、直流场连锁逻辑、无功控制、运行经验等。

第八章直流保护系统由李耀钟、罗海志、吴胜鹏编写，罗培辉审核，主要内容为高压直流系统故障分析、直流保护原理及配置、直流保护动作逻辑等。

第九章高压直流监视系统由蒙健明、罗远峰编写，常开忠审核，主要内容为高压直流监视系统结构、配置情况、运行人员工作站、故障录波系统、谐波监视系统、直流线路及接地极线路监视等。

第十章谐波与滤波器由张杰、唐海名编写，杨启蓓审核，主要内容为谐波的危害、换流站谐波特性分析、滤波器配置以及设计原则、运行经验等。

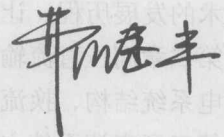
第十一章高压直流新技术由曹继丰编写，杨泽明审核，主要内容为特高压直流输电技术、CCC换流技术、背靠背直流工程、电压源换流器、轻型直流输电技术等。

第十二章换流站运行注意事项由黎张文、杨海峰编写，吕伟权审核，主要内容为换流站运行值班注意事项、换流设备巡回检查及其定期轮换管理、缺陷管理、安全技术管理等相关注意事项等内容。

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人员使用，也可供高校电力相关专业的师生参考，同时还能满足社会各界对高压直流输电技术感兴趣的非电力专业人士的学习参考，对于只需要对高压直流输电技术作基本了解的读者，只阅读第一章和第二章即可。

本书在编写过程中得到了南方电网研究中心电网仿真专家、教授级高工洪潮博士，高级工程师傅闯博士、吴小辰专家、黎小林专家，华南理工大学电力学院王钢教授，昆明理工大学电力学院院长束洪春教授，重庆大学李剑教授，超高压输电公司牛保红副总经理、尚春总工、林志波处长、王志勇处长、顾振洁科长等领导的大力支持和帮助，谨在此表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，书中错误和不足之处在所难免，恳请读者不吝赐教。



二〇〇八年元月

英文缩写词汇表

(按在文中出现的先后顺序编排)

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| HVDC——高压直流输电 | MACH 2——ABB 公司工业控制平台 |
| SCR——晶闸管 | LAN——局域网 |
| PWM——脉宽调制技术 | DC-SC——直流站控系统 |
| TVM——晶闸管电压监测模块 | DC-PC——直流极控系统 |
| ETT——电触发晶闸管 | DC-WS——直流工作站 |
| LTT——光直接触发晶闸管 | PODC——功率指令计数器 |
| BOD——晶闸管后备触发保护 | COCD——电流指令计算器 |
| MSC——多模星型耦合器 | PPT——极间功率转移 |
| RPU——阀反向恢复期保护单元 | CBC——电流平衡控制 |
| VBE——阀基电子设备 | CMC——电流裕度补偿 |
| OLTC——有载调压开关(分接头) | PCOC——极电流指令配合 |
| SIMADYN D——西门子工业控制平台 | P-mode——直流定功率控制模式 |
| HVDC Divider——直流分压器 | I-mode——直流定电流控制模式 |
| CT Shunt——直流分流器 | PrefAC——交流功率参考值 |
| MRTB——金属回线转换开关 | VDCL——低压限流功能 |
| HSGS——高速接地开关 | ECE——电流误差控制 |
| HSNBS——高速中性母线开关 | ESOF——直流紧急停运程序 |
| MRS——金属回线开关 | DCP——直流保护 |
| ACF——交流滤波器 | WFPDL——直流线路行波保护 |
| DCF——直流滤波器 | SCADA——数据采集与监视系统 |
| GR-Mode——单极大地返回运行方式 | HMI——人机接口 |
| MR-Mode——单极金属返回运行方式 | I&M——直流启动与监视系统 |
| BP-Mode——双极方式 | RCI——远方控制接口 |
| OLT-Mode——空载加压试验方式 | Filedbus——现场总线 |
| Deblocked——解锁状态 | Dispatch Center——调度中心 |
| Blocked——闭锁状态 | OLM——光连接模块 |
| Standby——备用状态 | Master Station——主控站 |
| Stopped——停运状态 | Slave Station——从控站 |
| Earthed——接地状态 | GPS——全球卫星定位系统 |

UPS——不间断电源系统

SER——事件顺序记录

TFR——暂态故障录波系统

PEMO2000——接地极监视系统

UHVDC——特高压直流输电

CCC——电容强迫换相换流器

BTB——背靠背换流站

VSC——电压源换流器

HVDC-Light——轻型直流输电 (ABB 公司)

SPWM——正弦脉宽调制技术

MACH 3——ABB 公司工业控制平台

LAN——局域网

DC-SC——直流调速系统

DC-PC——直流调速系统

DC-WS——直流工作站

PODC——功率指令计算机

COCD——电流指令计算机

PPI——极间功率转移

CBC——电流平衡控制

CMC——电流裕度补偿

PCOC——极间电流指令配合

P-mode——直流运行控制模式

L-mode——直流运行控制模式

RefAC——交流频率参考值

VDCI——电压限值功能

ECE——电流裕度控制

ESOP——直流紧急停运程序

DGP——直流保护

WFPDL——直流滤波器运行策略

SCADA——数据采集与监控系统

HMI——人机接口

L&M——直流运行监视系统

RCT——远方控制接口

Friedrich——双极输电

Dispatch Center——调度中心

OLM——光速传输站

Master Station——主控站

Slave Station——从控站

GPS——全球定位系统

HVDC——高压直流输电

SCR——晶闸管

PWM——脉宽调制技术

TVM——晶闸管电压源换流器

ETT——电触头受晶闸管

LTT——光直流感应晶闸管

BOD——晶闸管过流保护装置

MSC——多极星型耦合器

RPU——阀反吹装置控制单元

VBE——阀基电子设备

OLTC——有载调压开关 (分接头)

SIMADYN D——西门子工业控制平台

HVDC Divider——直流分流器

CT Split——直流分流器

MRTB——金属回路转换开关

HSGS——高速接地开关

HSNBS——超高中压接地开关

MRS——金属回路开关

ACE——交流滤波器

DCF——直流滤波器

GR-Mode——单极大地返回运行方式

MR-Mode——单极金属回运行方式

BP-Mode——双极方式

OLT-Mode——空载加压试验方式

Locked——闭锁状态

Blocked——闭锁状态

Standby——备用状态

Stopped——停止状态

Entered——接地状态

目 录

序	1
前言	1
英文缩写词汇表	1
第一章 直流输电发展史	1
1. 电力科学应用技术的发展是从交流还是直流开始的？试举例说明。	1
2. 19世纪中期为什么交流输电会迅速崛起并占据了输电的主导地位？	1
3. 哪个直流输电工程的成功商业应用标志着直流输电的崛起？	1
4. #如何比较交流输电和直流输电的经济性？	1
5. 什么是交直流等价距离？我国目前的交直流等价距离大约是多少？	2
6. ☆为什么说当前我国的电力工业迎来了一个高压直流发展的春天？	2
7. ☆我国已建的高压直流输电工程有哪些？规模如何？	2
8. ☆我国的高压直流输电是从什么时候开始起步的？	2
9. ☆舟山直流工程的建设历程给我国的直流输电带来什么启示？	3
10. ☆我国首批引进国外直流输电技术的工程有哪些？	3
11. 高压直流工程的建设中，全部依赖进口技术有什么弊端？	3
12. 高压直流输电设备国产化的目的和意义何在？	4
13. 何为我国高压直流技术自主化之路？效果如何？	4
14. 哪些直流输电工程的建设迈出了我国高压直流技术自主化的第一步？	4
15. 高肇、龙政和江城直流工程建设的自主化思路是什么？	4
16. 我国高压直流技术自主化的目标是什么？目前进展如何？	5
17. ☆高压直流输电在我国的发展前景如何？	5
第二章 高压直流输电基础理论	6
第一节 高压直流输电系统的构成	6
18. 高压直流输电系统是怎样构成的？	6
19. 换流站有哪些交流变电站没有的主要设备？	6
20. 相对交流输电系统而言，直流输电有什么优点？	7
21. 采用高压直流输电系统有哪些缺点？	7
22. 高压直流输电有哪些用途？	7
23. 高压直流输电系统根据结构可以分为哪些类型？	7
24. 双端直流输电系统由哪几部分构成？	8
25. 双端直流输电系统有哪些类型？各种类型又有哪些接线方式？	8

26. 高压直流联络线有哪些分类?	8
27. 单极联络线是怎样构成的?	8
28. 双极联络线是怎样构成的?	8
29. 同极联络线是怎样构成的?	9
30. 什么是多端直流输电系统? 其特点是什么?	9
31. 换流变压器的作用是什么?	9
32. 换流变压器与普通变压器相比有什么特点?	9
33. 什么是换流阀? 其主要作用是什么?	9
34. 换流器的工作机理是什么?	9
35. 为什么换流站要装设交流滤波器?	10
36. 直流滤波器的作用是什么? 背靠背换流站为什么可以不装设直流滤波器?	10
37. 平波电抗器主要作用是什么?	10
第二节 换流原理	10
38. 什么是换流器? 其作用是什么?	10
39. 什么是整流和逆变?	10
40. 试述晶闸管 (SCR) 的工作原理。	11
41. *6 脉动换流器是如何构成的?	11
42. #试述理想状态下 6 脉动整流器的工作原理。	11
43. #整流器实际换相过程与理想状态有什么区别?	13
44. #试述 6 脉动逆变器的工作原理。	13
45. 什么是换相重叠? 它是如何产生的?	15
46. #为什么换流器要吸收无功功率?	15
第三节 高压直流输电系统控制理论基础	16
47. 直流控制系统通常分为哪几个级别?	16
48. 直流控制系统为什么采用分层控制结构?	16
49. 分层控制的直流系统具有什么特点?	16
50. 直流输电工程中有功功率控制方式主要有哪几种?	16
51. 什么是定功率模式?	16
52. 定功率控制模式如何控制有功功率?	16
53. 简述定功率模式的两种控制方式。	17
54. 什么是定电流模式? 定电流模式控制有什么好处?	17
55. 定电流模式如何控制有功功率?	17
56. 定功率模式与定电流模式在线切换有什么原则?	17
57. 有功功率控制模式与极解锁条件有什么样的关系?	17
58. 整流站有哪些基本控制功能?	17
59. 最小触发角 α_{\min} 控制功能是怎样实现的?	17
60. 逆变站有哪些基本控制功能?	18

61. 什么是直流输电系统的启停控制?	18
62. 简述正常情况下直流输电系统的启动步骤。	18
63. 简述正常情况下, 直流输电系统的停运步骤。	18
64. 直流系统的紧急停运功能是怎样实现的?	18
65. 直流线路故障再启动功能的作用是什么?	19
第三章 直流系统主设备	20
第一节 换流器	20
66. ☆换流技术的发展经历了哪几个时期?	20
67. #简述电力电子器件按开关控制性能分类并举例说明。	20
68. #简述电力电子器件按内部载流子参与导电的种类分类并举例说明。	20
69. #简述电力电子复合型器件按门极驱动信号的种类分类并举例说明。	20
70. *为什么目前绝大多数直流输电工程都采用 SCR 晶闸管元件作为换流阀?	21
71. 目前高压直流工程中广泛采用的 12 脉动四重阀换流器是怎样构成的?	21
72. 换流器阀塔安装结构有几种? 各有什么特点?	23
73. 换流器晶闸管阀的冗余设计是如何考虑的?	23
74. 换流器晶闸管阀冗余数量设计有什么要求?	23
75. 晶闸管级由哪几部分组成?	23
76. 阀塔上的均压电容器的作用是什么?	23
77. 阳极电抗器的结构及其作用是什么?	24
78. 晶闸管级中 RC 阻尼回路的作用是什么?	24
79. *阀避雷器是如何布置的?	25
80. *什么是 ETT 和 LTT?	25
81. *与 ETT 相比, LTT 有什么优点?	25
82. 直接光控晶闸管 LTT 和传统电控晶闸管 ETT 主要区别有哪几点?	25
83. *试述光控晶闸管 LTT 的阀基电子设备 VBE 的原理。	25
84. *什么是 BOD 保护? 有什么用途?	26
85. *反向恢复期保护单元 RPU 及其作用?	26
86. #简述反向恢复期保护单元 RPU 的安装、拆卸和维护注意事项。	26
87. LTT 晶闸管电压检测电路 TVM 板有什么作用?	27
88. 多模星形耦合器 MSC 的作用是什么?	27
89. 换流阀的损耗主要有哪些?	27
90. 晶闸管元器件损耗主要有哪些?	27
第二节 换流变压器及平波电抗器	28
91. 简述换流变压器与普通变压器的区别。	28
92. *换流变压器按结构可分为几种?	28
93. #举例说明换流变压器设计如何选型。	28
94. 换流变压器一般采用什么接线方式?	28

81	95. #换流变压器直流偏磁产生的原因是什么?	28
81	96. *举例说明换流变压器冷却器的组成和运行方式。	29
81	97. *换流变压器有载调压定电压和定角度控制方式有什么区别?	29
81	98. #有载调压开关(OLTC)工作原理是什么?	29
91	99. #有载调压开关(OLTC)调压回路的工作原理是什么?	30
05	100. #有载调压开关(OLTC)选择回路的工作原理是什么?	30
05	101. *用图表述有载调压开关(OLTC)动作过程并说明换流变压器为什么要 专门配备分接头滤油装置。	30
05	102. 换流变压器油过滤装置由什么组成?其作用是什么?	31
05	103. 换流变压器油过滤装置运行维护过程中有哪些需要特别注意的事项?	31
05	104. *试述有载调压开关装置油流保护继电器结构及其工作原理。	32
15	105. *试述气体继电器的结构和工作原理。	32
15	106. *试述压力释放阀的配置及工作原理。	33
65	107. 换流变压器套管有哪些特点?	33
65	108. 天广、高肇和兴安直流工程中换流变压器设计有哪些告警信号?	33
65	109. 天广、高肇和兴安直流工程中换流变压器设计有哪些跳闸信号?目前南方 电网的反措要求怎样处理这些信号?	33
65	110. 换流变压器运行过程中哪些情况下需立即停电或与调度联系停电?	34
45	111. 换流变压器油位下降如何处理?	34
45	112. 换流变压器的巡视检查项目有哪些?	34
25	113. 换流变压器一般采集哪些部位的油样做色谱分析?	35
25	114. *举例说明平波电抗器有哪几种?其特点是什么?	35
25	115. #平波电抗器按结构分为哪几类?各有何优点?	35
25	116. *举例说明平波电抗器的连接有什么特点?	35
25	第三节 直流开关场设备	36
05	117. 简述高压直流分流器(光TA)的结构。	36
05	118. *简述高压直流分流器(光TA)的工作原理。	36
05	119. 光TA与传统的电磁型互感器有何优缺点?	37
75	120. 直流分流器的主要特征是什么?	37
75	121. ☆试述零磁通直流电流互感器工作原理。	37
75	122. *试述直流电压分压器的工作原理。	38
75	123. *试述直流电压分压器的基本结构和类型。	39
85	124. *简述高压直流开关的功能和原理。	39
85	125. 金属回线转换开关MRTB与金属回线开关MRS的作用是什么?	40
85	126. 简述高压直流开关高速接地开关HSGS的作用。	40
85	127. #简述直流避雷器工作原理。	40
85	128. ☆高压直流输电系统对直流避雷器有哪些性能要求?	40

1	第四节 直流线路及接地极	41
82	129. 简述高压直流输电线路的类型及其特点。	41
82	130. ☆简述高压直流架空输电线路按结构方式分类。	41
12	131. 什么是高压直流线路绝缘子的“静电吸尘效应”？	42
42	132. 为什么直流线路的外绝缘特性较相同电压等级的交流线路复杂？	42
42	133. 高压直流线路和交流线路运行时遭受雷击所采取的对策有什么不同？	42
42	134. 为什么直流线路在雷电冲击下的绝缘裕度选择要比交流线路大一些？	42
42	135. 架空直流线路的绝缘有哪些基本要求？	42
42	136. 直流输电线路的绝缘配合设计主要考虑哪些方面的问题？	42
42	137. 直流输电线路的绝缘子片数是如何确定的？	43
42	138. 如何进行高压直流输电线路导线型式的选择？	43
82	139. 如何确定高压直流输电线路的走廊宽度？	43
44	140. 高压直流线路邻近民房时一般采取什么措施？	44
82	141. 建设特高压直流输电线路尤其需要研究哪三方面的关键技术问题？	44
82	142. ☆直流电缆与交流电缆相比有何优势？	44
82	143. #与交流线路相比，直流架空线路的防雷有什么特点？	44
82	144. 直流接地极阴极和阳极如何定义？	45
82	145. ☆简述直流接地极线路的设计原则。	45
82	146. ☆简述直流接地极的设计原则。	45
82	147. ☆如何选择直流接地极极址？	45
46	148. #直流接地极寿命由哪些因素确定？	46
82	149. *简述接地极直流电流在地下的分布特点。	46
82	150. #简述直流接地极的运用与种类。	46
82	151. ☆直流接地极一般采用哪些电极材料？	46
72	152. #海水电极的特征是什么？	47
72	153. #海岸电极的特征是什么？	47
72	154. #陆地电极的特征是什么？	47
72	155. #圆环形陆地接地极的特征是什么？	48
72	156. #星形陆地接地极的特征是什么？	49
82	157. #直线形陆地接地极的特征是什么？	49
82	158. #垂直形陆地接地极的特征是什么？	49
82	159. *高压直流输电系统采用大地回路的优点是什么？	50
	第四章 换流站辅助系统	51
02	第一节 阀冷却系统	51
02	160. *换流站阀冷却系统在高压直流输电系统中的作用是什么？	51
02	161. *阀的绝缘与冷却方式有哪些？水冷方式有什么特点？	51
02	162. 阀冷却系统主要由哪些设备组成？	51

113	163. 晶闸管模件的水路的布置有什么特点?	51
113	164. *为什么要在冷却水回路中安装电极?	53
114	165. 主水路电极位置设置在什么地方?	53
114	166. 高压直流输电系统对阀冷却系统的内冷水有什么要求?	54
114	167. 阀冷却系统为什么需要两台主循环泵?	54
114	168. 阀冷却系统两台循环泵如何运行?	54
114	169. 内冷水离子交换器在阀冷系统中起什么作用?	54
114	170. 内冷水主回路上为什么要装过滤器?	54
114	171. 补水箱和补水泵在阀冷系统中的作用是什么?	54
114	172. 当补水泵频繁启动, 应注意什么问题?	54
114	173. 膨胀箱在阀冷系统中的作用是什么?	54
114	174. 阀冷却系统内冷水第一次充水应注意什么问题?	55
114	175. *阀冷却系统重要的测量值为什么要采用冗余配置? 如何保证跳闸信号 的可靠性?	55
114	176. 喷淋水为什么要进行软化处理?	55
114	177. 内冷水管道在冷却塔中如何布置?	55
114	178. 喷淋水系统运行过程中为什么要弃水?	55
114	179. 阀冷却系统控制系统是按什么要求配置的?	55
114	180. 阀冷却系统两路动力电源切换如何实现?	55
114	181. 直流系统投运前, 内冷水系统为什么要提前投入运行?	56
114	182. 天广、高肇和兴安直流工程中阀冷却系统设计有哪几种情况会引起 直流闭锁?	56
114	183. 直流系统在投运前, 阀冷却系统应满足哪些条件?	56
114	184. 阀冷却系统日常巡视工作有哪些?	56
114	185. 在哪些情况下要对阀冷却系统进行特殊巡视?	57
114	186. 工业水泵停止运行对直流系统有什么影响?	57
114	第二节 换流站站用电系统	57
114	187. 简述换流站站用电的一般结构。	57
114	188. *换流站对站用电的可靠性有什么要求?	57
114	189. #换流站为什么对站用电的可靠性要求比普通变电站高?	58
114	190. 请画出兴安直流工程兴仁换流站站用电备自投的接线方式。	58
114	191. *兴安直流工程兴仁换流站备自投有哪些自投方式?	58
114	192. 试述备自投充电条件和放电条件。	58
114	193. *兴仁换流站 10kV 备自投和 400V 备自投如何配合?	59
114	194. 倒换站用电后, 为什么要对站内设备进行巡视?	59
114	195. 低压直流系统有哪些电压等级? 其作用分别是什么?	59
114	196. 充电机有哪几种运行方式?	59

197. 蓄电池和充电机是如何带负荷运行的？	59
198. 低压直流母线电压正常变动范围是多少？	59
199. 110V 直流系统对绝缘有什么要求？	59
200. 正常运行时单体电压保持在多少范围内？	60
201. 进入蓄电池室应遵守什么事项？	60
第三节 换流站消防系统	60
202. ☆换流站作为国家消防安全重点单位应当履行哪些消防安全职责？	60
203. ☆换流站消防供电应符合哪些规定？	60
204. *换流站火灾应急照明和疏散标志应符合哪些规定？	61
205. 换流站主要建筑物和设备有哪些火灾探测器？	61
206. 换流站的电缆沟或电缆隧道采用哪些防止电缆火灾蔓延的阻燃或分隔措施？	61
207. 换流变压器、平波电抗器消防系统动作的条件是什么？	61
208. 换流变压器、平波电抗器消防系统动作的后果是什么？	61
209. 设有消防系统的阀厅消防系统动作的条件是什么？	62
210. 设有消防系统的阀厅消防系统动作的后果是什么？	62
211. ☆国际标准 ISO3941—1977 中规定火灾是怎么分类的？	62
212. 泡沫灭火器适用的火灾范围是什么？	62
213. 酸碱灭火器适用的火灾范围是什么？	62
214. 干粉灭火器适用的火灾范围是什么？	62
215. 消防供水系统有哪些设备？	63
216. 消防稳压泵的作用是什么？	63
217. 当接到消防启动信号，消防供水系统如何动作？	63
218. 在发生火灾时，消防系统和空调系统如何联动？	63
第四节 换流站中央空调系统	63
219. 阀厅空调的作用是什么？	63
220. 阀厅空调如何运行？	63
221. 阀厅空调系统冷水机组和空气处理机有哪两种运行模式？正常运行时采用哪种运行模式？	63
222. 阀厅通风及排烟装置是如何工作的？	64
第五章 高压直流输电系统运行方式	65
223. 高压直流接线方式是指什么？	65
224. 高压直流系统的运行方式指什么？	65
225. ☆两端双极高压直流接线方式主要有哪几种？	65
226. 双极中性点接地方式有什么特点？	65
227. ☆双极一端中性点接地方式有什么特点？	66
228. ☆双极金属中性点接地方式有什么特点？	66

229.	双极高压直流系统接线方式中常用的接线方式有哪几种?	66
230.	单极大地回线接线方式有什么特点?	68
231.	单极金属回线接线方式有什么特点?	68
232.	单极双导线并联大地回线接线方式有什么特点?	68
233.	空载加压试验接线方式有什么特点?	68
234.*	对于双极直流系统来说各种接线方式的线路损耗如何?	68
235.	什么是双极对称运行方式?其有何优点?	69
236.	什么是双极不对称运行方式?	69
237.#	在双极接线方式中为什么要设计一定长度的接地极线路?	69
238.*	接地极大地中长期流过直流电流有什么危害?	69
239.*	接地极大地中长期流过直流电流对交流系统有什么影响?	70
240.*	一般对于接地极中通过电流有什么要求?	70
241.	双极系统中一般配置几个直流开关?各起什么作用?	70
242.	直流接线方式和极状态之间存在什么关系?	70
243.*	HSGS 在什么情况下会合上?	70
244.	直流接线方式自动配置是指什么?	70
245.	手动配置直流接线方式需要注意什么问题?	71
246.	直流接线方式与直流保护系统之间有什么关系?	71
247.☆	对于多个换流器串联或并联起来构成的换流站来说,其接线方式有什么不同?	71
248.	直流系统的主控站是如何定义的?	71
249.	什么是全压运行与降压运行方式?各有什么运行特点?	71
250.	在什么情况下才会采用降压运行方式?	71
251.	降压运行通常如何选择电压?	72
252.	直流系统运行中直流功率输送方向指什么?	72
253.	直流输电系统的潮流反转是指什么?	72
254.*	直流输电系统的潮流反转是如何实现的?	72
255.	交直流并联运行系统有哪几种运行方式?	72
第六章 极控系统		75
第一节 极控系统的基本概念和构成		75
256.☆	简述直流输电的基本控制策略。	75
257.*	简述实际直流输电工程的基本控制策略。	76
258.#	简述高压直流输电工程的控制特性曲线。	76
259.☆	简述直流控制系统的分层结构及其作用?	76
260.☆	简述直流控制系统的分层结构的主要特征。	77
261.	直流输电控制系统一般分为哪几个层次等级?	77
262.	极控主要负责哪个层次?	77