

±800kV特高压直流输电 实用技术问答

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司广州局 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

±800kV特高压直流输电 实用技术问答

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司广州局 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书结合云广特高压直流输电工程及楚雄换流站、穗东换流站的实例，以问答的形式主要介绍了±800kV 特高压直流输电设备、控制系统、保护系统、线路及运行方式等相关知识。本书参考资料多，覆盖面较全，对了解和研究±800kV 特高压直流输电实用技术起到了一定的指导作用。

本书适合对直流输电工程感兴趣的人员阅读，也可供电力相关专业人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

±800kV 特高压直流输电实用技术问答 / 中国南方电网有限责任公司超高压输电公司广州局编. —北京：中国电力出版社，2014.5

ISBN 978-7-5123-3874-6

I. ①8… II. ①中… III. ①特高压输电—直流输电—输电技术—问题解答 IV. ①TM726.1-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 308304 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

*

2014 年 5 月第一版 2014 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 274 千字

定价 45.00 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

编 委 会

主 任 张 鹏

副 主 任 邓庆健 郑望其

委 员 林 睿 左干清

顾 问 洪 潮 张雪波

主 编 林 睿

副 主 编 左干清 刘红太

参 编 (按工作量大小为序)

孙 勇 董跃周 任鑫芳 谢 超 罗宇航 张培东

汲 广 郝志杰 夏成军 盛 康 邵 震 刘茂涛

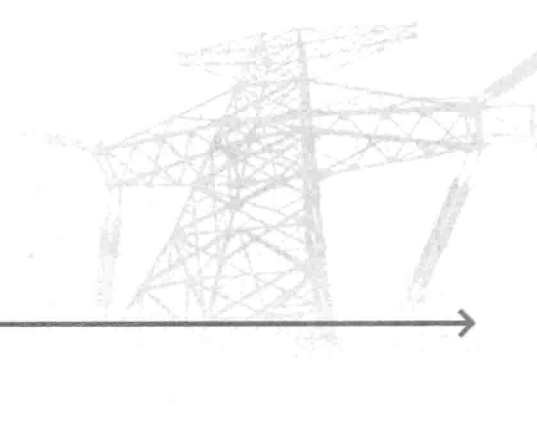
石延辉 叶建铸 梁家豪 胡蕴斌 刘 祥 谢 超

曹小拐 何 平 张志朝 王 颂 李乾坤 刘 航

严进军 郭卫明 张科峰 杨荆林 宋述波 梁秉岗

余思远 毛 熊 李乾坤 周 岩 施鹏程 孙帮新

蔡永梁 宋天奇 杨 帆 牛 峥 赵兴梁



序

近些年，在作业安全措施规范化课题研究过程中，课题组人员数次对我说，研究成果可以发布试行，但每次都没有兑现。他们总是神秘且兴奋地告诉我，工作越深入，问题越多。听上去，似乎距离最初的目标越走越远。

“课题研究越向纵深，问题越多。原来不以为是个问题，现在看问题不小。”一些带有规律性的深层问题，在安全措施规范化研发过程中逐一显露出来。我想这应当是令课题组成员兴奋的原因。

对一项工作越投入、时间越久，越会感觉对这项工作变得不自信。这一现象并不是心理学上所指重复执行单调任务产生厌烦而出现心理饱和（诱发疲劳）导致的工作质量下降。事物总是遵循螺旋上升的发展规律，同样，这本书久酿而后问世就不难理解了。

±800kV 云广（云南—广东）特高压是世界上第一个投入商业运营的特高压直流输电工程，工程获得国家优质工程金奖。本书作者全过程参与了±800kV 云广特高压直流输电系统工程招标、设备监造、现场安装调试、生产准备和运行维护工作。该书是作者在长期从事特高压直流输电设备运维实践中的智慧结晶，是一本难得的实战宝典。以专业态度和按特高压设备类别的全新视角，作为一种尝试，为读者学习特高压直流输电技术开辟了新的途径。供高压直流输电设备运维人员学习设备原理、掌握设备特性参考。对于从事特高压直流设备运行维护人员，带着问题在书中寻找答案的同时，更要系统地学习研究。当把看似一个个独立的问答间存在的必然联系揭示出来的时候，你会感觉再次进入到一个崭新的自由王国，成为知识的主人，而非知识“土豪”。

借此机会，我谈一谈与本书内容密切相关的电力生产安全管理问题，并从管理角度引发读者对书中内容的兴趣和思考。

安全在电力人心目中的神圣地位不言而喻。在电气设备上工作，填写工作票中的安全措施栏尤为重要。根据《电气工作票技术规范》（Q/CSG 1 0004—2004）规定：填写工作票要保证安全措施正确完备；保证工作票所填安全措施正确完备是工作票签发人的责任；值长（工作许可人）的一项责任是审核工作票所列安全措施是否正确完备，必要时应补充安全措施；工作班人员的责任是，发现现场安全措施不适应工作时，应提出异议。国家电网公司《电力

安全工作规程》有关描述也与上述基本一致。但一直以来，规程规范对于填写工作票安全措施的“正确完备”并没有要求统一，甚至没有意识到需要规范，否则不会要求工作许可人“必要时应补充安全措施”和工作班成员认为不适合工作时，应提出异议。当然，该规定是否可以理解为，是指在没有规范安全措施之前，对工作许可人和工作班成员的要求，只有安规编写者具有解释权。

工作票中安全措施不规范，有三种可能的后果，一是安全措施恰当，二是安全措施过度，三是安全措施不完善。只要存在第三种后果的可能，就难保证不发生安全措施不到位的事件。电气或物理距离较恰当的安全措施隔离更远，叫安全措施过度。一般认为，安全措施过度至少可以确保安全的工作。有关人员在工作票填写、办理工作许可和实施工作监护中，始终秉持这一理念。既然过度的安全措施一定能保证安全的工作，那么，规范安全措施就没那么紧迫。其实，安全措施过度不一定能保证安全的工作。这是因为，第一，执行安全措施项目多，不仅使执行成本高，风险增大也是显而易见的；第二，如果因此出现交叉工作，必然违反安规。同一项工作因工作负责人不同，安全措施不同，因工作许可人不同，安全措施也不一样，同一人在不同时间做相同的工作，安全措施可能也有区别。安全措施恰当，是指在一定周期内，忽略除人员之外其他条件发生的变化、保证安全的工作的最小边界条件。并且在同一设备上开展相同工作，执行的安全措施具有唯一性，与谁执行、谁负责、谁许可、谁监护没有关系。唯一性是安全措施的基本属性，尊重安全措施的这一基本属性是开展安全措施规范化课题研发的最初考虑。

“工作票合格率 100%≠工作合格”。这个不等式表明，安全工作的规程不关注工作质量，还是说，如此解读工作票合格有探讨空间。

诚然，经历一个世纪的艰辛探索，几代电力人的不懈努力，形成了诸多提高工作质量的好方法，近 20 年来，影响较大的方法包括标准化作业指导书。但是，由于标准化作业指导书的固有局限，还需要继续探索寻找更有效的途径，以降低工作成果的不确定性。现场工作只需要作业书，但在“标准”和“指导”理念作用下，标准化作业指导书的指向性被弱化。也就是说，标准化作业指导书针对的是某类设备，而不是某个设备。标准化作业指导书与在设备上开展工作具体要求之间存在差别空间。制度有明确规定，执行中也会被打折扣。更何况这里有差别空间，执行中的五花八门，管理者见多不怪才是一大怪。当“指导”成为随意性的理由，“标准”也就徒有虚名。工作质量的不确定性依然存在。在这一背景下，出现了作业表单，其目的是通过规范过程保证工作质量。

上述讨论引申出另一个大家关心但需要学会重视的命题，安全与质量。安全与质量原本是不可分割的一个问题的两个方面。离开质量的安全是什么？工作票合格率 100%，工作质量

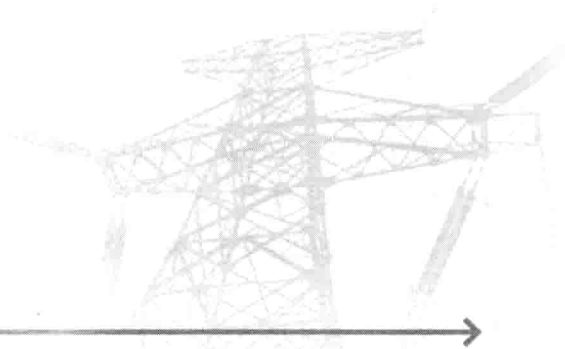
却出现了问题说明什么？执行安规是实现工作目标的先决条件，因此，工作票合格是基本要求。但是，安全的工作（工作票合格）不是目的，否则不工作最安全。实现既定工作目标才是执行安规的目的。那么，“工作票合格率 100%≠工作合格”是个伪命题？或其背后另有研究空间？在此不赘述。

回归本书主旨，无论开展安全措施规范化研究还是完善作业表单，他们有一个共同前提，就是要学习掌握设备原理、特性。同时，安全措施规范化、完善作业表单又可以作为系统掌握设备特性的切入点，把这两个方面结合起来，就能发掘更加丰富的内容，从中认知规律、改进管理。

本书编者是一个阳光、睿智、执着、严谨的年轻团队。他们有幸赶上了国家实施“西电东送”战略的黄金时期，抓住了机遇，成为一个时代的标志。云广特高压直流工程投产以来的运行数据表明，他们无愧是当下运维特高压直流输电设备最富有经验的团队。作为他们的同事，我很自豪。

在您读到这本书的时候，曾经朝夕相处、并肩奋战的作者，有的结合特高压设备运行实践开辟了新的研究课题，有的已经走上更加重要的岗位，有的在糯扎渡送广东特高压等新的直流工程项目中担当中坚。无论各自岗位与职责怎么变，我相信，他们攀登特高压直流输电技术制高点、刻苦钻研的精神没有变，追求特高压直流输电事业的梦想始终不会变。

张明



前言

1972年,加拿大伊尔河直流输电工程首次采用晶闸管技术,随后,直流输电技术在西方得到较大发展。我国直流输电技术虽然起步较晚,自1989年,葛上(葛洲坝—上海) $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程投入运行,到2000年天广(天生桥—广州) $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程投入运行。此后直流输电技术在我国蓬勃发展,高压直流输电技术日臻成熟,其在技术经济上的优势使之成为解决电力资源分布不均衡,实现跨区域电能优化配置的重要手段。目前中国的直流输电系统不论是数量还是规模都已达到世界最高水平。尤其是2009年6月 $\pm 800\text{kV}$ 云广(云南—广东)特高压输电工程投运,将世界直流输电史翻开了新的一页,是我国电网建设史上的一个里程碑,在世界电力工程史上也是一个重大突破。

云广特高压直流输电工程的建成对进一步促进西部地区资源开发、扩大区域能源资源优化配置、实现东西部地区的资源经济优势互补、促进社会经济发展、提高土地资源有效利用率、节约线路走廊资源、带动我国电力科技水平发展、增强我国电力工业自主创新能力具有重大意义,同时为后续发展的西南大规模水电的长距离输送奠定技术基础。

云广特高压直流输电工程建设规模巨大、技术先进、设备复杂、施工难度大。而高压、特高压直流输电技术的广泛应用,深刻影响了电网结构和特征。在南方电网,甚至出现了“强直流、弱交流”情形。无论电网调度部门,还是设备运行单位都面临新课题。

特高压直流输电技术投资比普通直流输电技术大很多,在技术构成和运行管理方面也比普通直流输电技术复杂,并且在全世界都缺少运行管理经验。

为更好的掌握特高压直流输电技术,中国南方电网有限责任公司超高压输电公司广州局自云广特高压工程电气安装阶段开始就深入开展生产准备工作,全面跟踪设备安装、调试、试验、验收等环节。在深入总结、研究云广特高压输电工程建设和运行、维护、检修试验工作的基础上,结合大量运行实例,潜心钻研、分析、论证特高压直流输电技术,所有这些研究成果凝结成本书。

全书共分八章(需说明的是章节划分和归类是按照南方电网的运行维护习惯编排,与国家电网的习惯可能略有差异),各章主要内容如下:

第一章为系统概述,主要讨论特高压直流输电技术特点,特高压直流输电系统的构成,接线和布置方式,一、二次系统主要构成,并根据云广直流输电线路工程介绍主要施工技术,标准体系及评价指标。

第二章为一次设备，详细讨论特高压直流输电技术相关一次设备的技术特点，检修、试验、维护特点及要求。

第三章为控制系统，着重分析讨论控制系统构成、控制策略，介绍主要控制设备及控制方式。

第四章为保护系统，介绍保护配置原则、配置方式、保护范围、保护策略和主要保护设备。

第五章为监测计量与通信系统，对其构成、功能、特点进行详细讨论。

第六章为特高压直流线路与接地极，分析讨论绝缘配合、防雷配置，绝缘子特点及如何取舍；并就安全防护，线路施工进行探讨。

第七章为阀厅及阀冷，分析讨论换流阀的结构、布置方式、特点、冷却方式以及换流阀相关辅助系统设备构成及特点。

第八章为运行方式，就云广特高压输电工程详细讨论、分析了各种不同的运行方式及操作过程、特点。

本书可为特高压工程电力运行、维护人员提供技术指导，也可从事电网规划、电力设计、电力基建、高压直流设备制造方面的专业技术和管理人员，以及高校师生提供技术参考及工程实践范例。

由于编者的理论水平和实践经验有限，书中在理论分析、参数计算等方面难免有考虑不周之处对，对于本书的不足和错漏之处，望广大读者不吝赐教。

编 者

2013 年 12 月

目录

序 前言

第一章 系统概述	1
1. 简述特高压直流输电的发展历史。	1
2. 特高压直流输电和特高压交流输电各有何优缺点？	1
3. 特高压直流输电有哪些技术特点？	2
4. 特高压直流输电面临的技术挑战主要有哪些？	3
5. 我国已投运的高压直流输电工程有哪些？规模如何？	3
6. 我国规划建设的高压直流输电工程有哪些？	4
7. 简述特高压直流输电系统的构成。	5
8. 简述特高压直流输电单极主接线的构成。	6
9. $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电系统换流器的阀组结构有哪几种？各有什么特点？	6
10. 换流站总平面布置的基本要求是什么？	8
11. 特高压直流输电系统换流站的布置方式有哪几种？	8
12. 换流站一字形布置和面对面布置各有什么优缺点？	8
13. 换流站的总平面布置可采取哪些优化措施？	9
14. 简述换流站的典型区域划分。	9
15. $\pm 800\text{kV}$ 换流站的直流侧接线与 $\pm 500\text{kV}$ 换流站有什么区别？	10
16. 特高压直流换流站的直流场采用户内式和户外式各有何优缺点？	10
17. 简述我国高压直流输电电压等级序列的推荐方案及其考虑因素。	10
18. 如何定义特高压交流输电和特高压直流输电的电压等级？	11
19. 请列举高压直流输电系统的可靠性评价指标。	11
20. 简述推荐的特高压直流输电的可靠性指标。	12
21. 提高特高压直流输电系统可靠性的措施有哪些？	12
22. 建立特高压直流输电标准体系应遵循哪些基本原则？	13
23. 简述特高压直流输电标准体系的基本情况。	13
24. 简述云广特高压直流输电工程的基本情况和意义。	14
25. 云广特高压直流输电工程为我国带来哪些技术进步？	14
26. 简述禄丰高海拔直流自然积污试验站的功能。	14
27. 简述我国特高压直流试验基地的功能和建设项目。	15
28. 功能试验（FPT）的目的和作用是什么？	15

29. 动态性能试验 (DPT) 的目的和作用是什么?	15
30. 云广直流输电线路工程基础施工技术主要包括哪些方面?	16
31. 简述特高压直流换流站的二次系统构成。	16
第二章 一次设备	17
32. 简述特高压直流输电的一次设备。	17
33. 简述特高压直流开关场设备。	17
34. 简述特高压直流换流站的过电压保护方案。	17
35. 影响特高压直流换流站绝缘裕度的因素有哪些?	18
36. 简述特高压直流换流站绝缘配合的设计原则。	18
37. 简述换流变压器的作用。	19
38. 简述±800kV 云广特高压直流高端换流变压器的结构特点。	19
39. 简述±800kV 特高压直流输电工程换流变压器的主绝缘结构。	19
40. 为什么换流变压器更容易出现绝缘问题?	20
41. 请列举 ABB 与 Siemens 系列换流变压器在结构特点上的差异。	20
42. 请列举 ABB 与 Siemens 系列换流变压器套管连接方式上的差异。	20
43. 请就 ABB 与 Siemens 系列换流变压器在试验项目上进行对比分析。	21
44. 请就 ABB 与 Siemens 系列换流变压器的检修维护特点进行对比分析。	21
45. 简述换流变压器短路阻抗选择遵循的基本原则。	22
46. 特高压换流变压器与普通变压器相比有哪些设计制造难题?	22
47. 换流变压器有载分接开关的主要功能是什么?	22
48. 简述真空有载分接开关的工作原理。	23
49. 采用真空有载分接开关的优点是什么?	23
50. 简述特高压直流换流变压器压力释放装置的配置和原理。	24
51. 简述特高压换流变压器的 OLTC 油流保护继电器的工作原理。	24
52. 变压器直流偏磁产生的原因是什么? 有什么危害?	24
53. 抑制变压器直流偏磁的主要措施有哪些?	25
54. 简述特高压换流变压器的出厂试验项目。	26
55. 列举特高压换流变压器预防性试验项目、周期和标准。	27
56. 简述特高压换流变压器现场交接试验项目。	30
57. 简述换流变压器阀侧绕组施加直流耐压试验及局部放电量测量的目的、步骤及结果分析。	31
58. 特高压直流换流变压器用油的技术指标有哪些?	31
59. 特高压变压器对变压器油净化设备有什么要求?	32
60. 特高压变压器施工现场控制油品杂质颗粒污染的主要措施有哪些?	32
61. 简述云广特高压直流工程换流变压器的大件运输方式。	33
62. 简述云广特高压直流换流站换流变压器套管的分压测量结构的原理。	33
63. 简述云广特高压直流换流站换流变压器套管的电容介损试验的要求和注意事项。	33
64. 简述干式平波电抗器和油浸式平波电抗器各自的特点。	34
65. 特高压直流工程中平波电抗器的作用是什么?	35

66. 简述云广特高压直流工程中平波电抗器分置的优缺点。	35
67. 干式平波电抗器户内布置、户外布置各有何优缺点?	35
68. 简述设计开发云广特高压直流工程±800kV 干式空心平波电抗器的注意事项。	36
69. ±800kV 干式平波电抗器有哪些型式试验要求?	36
70. 请列举±800kV 干式平波电抗器的预防性试验项目、周期和标准。	37
71. 简述楚雄换流站平波电抗器的配置。	37
72. 简述穗东换流站平波电抗器的配置与功能。	38
73. 干式平波电抗器运行维护需要注意哪些问题?	39
74. 产生非特征谐波的主要原因有哪些?	39
75. 交流滤波器设计需要考虑哪些问题?	39
76. 简述特高压直流输电交流滤波器的配置原则和控制指标。	39
77. 简述穗东和楚雄换流站交流滤波器的配置情况。	40
78. 交流滤波器运行维护中哪些现象要申请停电或停运处理?	42
79. 简述高压直流输电工程所需要的电容器。	42
80. 换流站电容器常见故障有哪些? 产生的原因是什么?	42
81. 简述高压直流输电系统的直流滤波电容器的特点。	43
82. 特高压直流中性母线冲击电容器的作用是什么?	43
83. 特高压直流滤波器的作用是什么?	43
84. 直流滤波器巡检的主要项目有哪些?	43
85. 直流滤波器可能出现哪些故障?	44
86. 换流站投切交流滤波器用的断路器需要满足哪些特殊性能要求?	44
87. 简述高压直流断路器的原理和特点。	44
88. 简述直流断路器的灭弧方式。	44
89. 直流断路器与交流断路器相比, 主要区别是什么?	45
90. 特高压直流换流站采用直流断路器的作用及种类?	45
91. ±800kV 用直流断路器与±500kV 用直流断路器相比有哪些主要差异?	45
92. 特高压直流输电用直流断路器的电流转换试验有哪些?	45
93. 简述中性母线断路器的功能。	46
94. 简述旁路断路器的功能。	46
95. 试分析旁路断路器保护的動作行为。	46
96. 简述云广特高压直流工程的高速直流断路器(每个站)。	46
97. 简述带有过零振荡装置的高速直流断路器的工作原理。	47
98. 简述直流断路器的设计原则。	47
99. ±800kV 云广特高压直流换流站直流避雷器是如何配置的?	47
100. 简述±800kV 户外直流场直流避雷器的技术规范。	48
101. 简述±800kV 楚雄换流站阀厅内直流避雷器的技术规范。	49
102. 特高压直流换流站的主要雷害来源有哪几个方面?	50
103. 特高压直流避雷器的技术特点是什么?	50

104. 特高压直流避雷器研制开发中需要注意哪些关键技术问题？	50
105. 与常规 500kV 直流换流站相比，特高压换流站直流避雷器设计的特殊性体现在哪些方面？	51
106. 特高压换流站在避雷器配置方面需解决哪几个问题？	51
107. 简述特高压换流站避雷器的配置原则。	52
108. 换流阀避雷器配置时需要注意哪些工程问题？	52
109. 简述典型 $\pm 800\text{kV}$ 直流换流站避雷器配置。	52
110. 云广直流工程如何考虑避雷器荷电率？	54
111. 简述穗东换流站防雷接地系统的基本情况。	55
112. 简述穗东换流站站用电的基本配置。	55
113. 简述 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流穿墙套管的结构和性能要求。	55
114. 请列举楚雄换流站直流穿墙套管的技术参数。	58
115. 换流站阀厅穿墙套管封堵材料的基本功能是什么？	59
116. 特高压直流户外直流场有哪几种支柱绝缘子？	59
117. $\pm 800\text{kV}$ 直流输电在瓷、玻璃、复合绝缘子中如何取舍？	59
118. 为什么云广直流工程需相对降低绝缘水平？	60
119. 高海拔、污秽、覆冰地区绝缘子有什么样的闪络特性？	60
120. 云广直流工频过电压有什么特点？控制措施有哪些？	61
121. 交直流谐振过电压有什么特点？控制措施有哪些？	61
122. 特高压直流输电直流电压测量装置的结构特点是什么？	61
123. 请列举特高压直流输电直流电压测量装置的例行试验项目。	62
124. 特高压直流输电直流电压测量装置有哪些型式试验项目？	62
125. 特高压直流输电直流电压测量装置有哪些现场交接试验项目？	63
126. 特高压直流输电直流电压测量装置有哪些特殊试验项目？	63
127. 特高压直流输电直流电流测量装置的结构特点是什么？	63
128. 简述对特高压直流输电直流电流测量装置的要求。	63
129. 请列举特高压直流输电直流电流测量装置的预防性试验项目。	63
130. 特高压直流输电直流电流测量装置有哪些型式试验项目？	64
131. 特高压直流输电直流电流测量装置有哪些现场交接试验项目？	65
第三章 控制系统	66
132. 简述特高压直流输电控制系统的分层结构。	66
133. 特高压直流站控系统实现哪些功能？	67
134. 简述特高压直流站控系统的双极层控制功能。	67
135. 简述特高压直流极控系统的主要功能。	67
136. 简述交流站控系统的主要功能和作用。	67
137. $\pm 800\text{kV}$ 云广特高压直流工程是如何判断“交流母线分裂运行”的？	68
138. 直流系统控制级别之间如何选择与切换？	68
139. 简述特高压直流输电系统的稳定控制功能。	69
140. 直流输电系统调制功能是指什么？	69

141. 云广直流控制系统主要包括哪些部分？	69
142. 云广特高压直流输电控制系统采用的基本控制策略是什么？	70
143. 特高压直流输电控制系统采用了哪些控制器？它们之间如何配合？	70
144. 简述±800kV 云广特高压直流换流站的无功功率控制功能。	70
145. 特高压直流系统换流站的无功控制模式有哪几种？	71
146. 特高压直流换流站顺序控制的基本结构有哪些部分？	71
147. 简述云广特高压直流换流站顺序控制的结构特点。	71
148. 试述高压直流极控系统与安全稳定控制装置接口方案。	72
149. 当双极运行时，如果某极被保护跳闸，此时除了由保护跳开中性母线断路器（HSNBS）外， 为何还需要拉开该极的极线隔离开关（Q9）？	74
150. 金属—大地转换过程中为什么一直要保证有可靠的接地点？ 在转换过程中应该注意什么问题？	74
151. ABB 与 Siemens 的无功控制有什么不同？	74
152. 无功控制 U 模式与过电压控制功能下的电压量如何选择？	74
153. 当直流解锁运行时，如果投入的某小组交流滤波器被保护跳闸时，RPC 如何响应？	75
154. 云广直流站控系统是如何判断不同的降压模式的？相比贵广 II 工程有何改进？	75
155. 特高压直流站控系统直流场连锁功能如何实现？	75
156. 直流系统中控制功能的控制位如何选择与切换？	75
157. 对于直流站控系统来说，为什么每个系统的现场总线分为独立的两段？	76
158. 简述直流场控制模式的切换逻辑。	76
159. 如果某个滤波器小组已经在自动模式，在什么条件下会自动切换到手动模式？	76
160. 直流正常运行时，如果因为某种情况滤波器大组失电，为什么此时 RPC 功能执行切除 该大组仍在投入位置的小组命令仍起作用？	76
161. 在系统层从主站（楚雄）执行极 2 的金属返回顺序时，穗东站有相应的 MR 命令的 事件，但是无任何断路器动作的信息，也无顺序故障的事件，是什么原因？	77
162. 双极层的模拟量哪些是系统层的命令？	77
163. 直流站控执行的二进制命令（包括双极层的命令）哪些是系统层的命令？	77
164. 对穗东站而言，当极 2 单阀组功率在 750MW 的水平运行时，应该投入 1A+1B 就满足 要求，但是实际情况下经常会有 2A+1B 投入，这是什么原因？	77
165. 控制位置的选择遵循什么逻辑？优先级如何？在什么情况下，系统层的控制位置会 自动切到站层？	78
166. 为什么交流场断路器的防跳功能在分系统试验阶段发现不起作用？有什么解决办法？	78
167. 穗东站 P2G2 连到第 2 串的 C 间隔，当执行停运→备用的顺序时，断路器的操作顺序 如何？备用→停运的顺序又会如何？	78
168. 穗东站 P2G2 连到第 2 串的 C 间隔，当执行备用→闭锁的顺序时，断路器的操作顺序 如何？闭锁→备用的顺序又会如何？	79
169. 与完整串相比，不完整串间隔的控制与处理是如何考虑的？目前的设计有何优点？	79
170. 对极 1 高端阀组和极 1 低端阀组而言，其交流侧原边均有 2 个接地开关 Q53 和 Q54，	

那么交流侧接地和不接地的逻辑分别是如何考虑的？与 6MD66 中的逻辑是否相同？	
在执行接地 $\longleftrightarrow$ 停运的顺序操作的操作顺序如何？	79
171. 冗余系统切换的逻辑是如何考虑的？在哪些情况下会发生系统切换？	79
172. 就地控制装置 6MD 的四个通信接口分别起什么作用？	80
173. 就地控制装置 6MD 上哪些硬接点信号是双点通道类型？	80
174. 就地控制装置 6MD 的开关量输出有哪几种形式？	80
175. 就地控制装置 6MD 的模拟量输入能接入哪些量？	80
176. 云广工程穗东站中，所有 6MD 共组建了几个 IRC（也叫 IDC）网络？	
分别是哪些屏柜上的 6MD？	80
177. 云广工程中，直流场就地控制装置 6MD 的两个现场总线接口与交流场的有什么不同？	80
178. 就地控制装置 6MD 装置前面板上有几个钥匙孔？作用分别是什么？	80
179. 当直流站控的两套系统都不能和交流滤波器就地控制装置 6MD 通信时，在后台能否看到交流滤波器场的状态？原因是什么？	81
180. 就地控制装置 6MD 装置采用哪种对时方式？	81
181. 简述某开入信号在从 6MD 到 SER 回路的状态变化。	81
182. 就地控制装置 6MD 装置液晶面板中可以查看自身记录的事件，那么 6MD 装置可以保存多少条事件？如果超过事件的上限，应如何处理？	81
183. 就地控制装置 6MD 装置的前面板上有 14 个 LED 灯，分别可配置给不同的信号，那么第 2、3、4、5、6 号灯分别代表什么含义？	81
184. 就地控制装置 6MD 装置有多少路开入？多少路开出？	81
185. 当 6MD 装置打在解锁/联锁时，对哪些操作有影响？	81
186. 在 6MD 装置的前面板上有一些功能键和数字键，可以实现一些快捷操作。那么，要从面板上看开入的状态的快捷操作是什么组合？	81
187. 云广工程控制保护硬件平台的结构和功能特点是什么，主要包含哪些板卡？	82
188. 简述云广特高压直流工程控制保护系统的分层结构和功能。	82
189. 云广特高压直流输电电极控系统按功能可以分为哪几层，各层的主要功能是什么，每层间主要交换什么信号？	83
190. 简述云广特高压直流输电工程的阀组控制系统。	83
191. 特高压直流阀组控制系统的主要功能是什么？	83
192. 简述特高压串联双阀组的解锁/闭锁设计准则。	83
193. 特高压直流串联双阀组对控制保护系统的设计要求是什么？	84
194. 如何实现特高压串联双阀组电压平衡控制？	84
195. 试述云广特高压直流中解锁第二个阀组的控制顺序。	85
196. 简述云广特高压直流中闭锁第一个阀组的控制顺序。	85
197. 站控级通信正常时，一极的双阀组、第一个阀组、第二个阀组在整流侧和逆变侧的解锁顺序是怎样的？	85
198. 站控级通信异常时，一极的第一个阀组、第二个阀组在整流侧和逆变侧的解锁顺序是怎样的？	85

199. 通信正常时, 一极的双阀组、第一个阀组、第二个阀组在整流侧和逆变侧的顺序闭锁是怎样的?	85
200. 通信异常时, 一极的双阀组、第一个阀组、第二个阀组在整流侧和逆变侧的顺序闭锁是怎么样?	86
201. 简述云广特高压直流工程的紧急停运 (ESOF) 控制策略。	86
202. 云广特高压直流输电系统的紧急停运 (ESOF) 顺序的启动可以分为哪几种情况?	86
203. 健康阀组瞬时移相的意义是什么?	87
204. 特高压直流输电控制系统如何控制旁路断路器的分合?	87
205. 旁路断路器在什么情况下会合上?	88
206. 旁路隔离开关在什么情况下需合上?	88
207. 旁路断路器与旁路隔离开关之间的配合控制主要由哪个控制系统完成?	88
208. 旁通对与旁通回路有什么区别?	88
209. 电流平衡控制 (CBC) 功能是什么?	88
210. 特高压直流输电控制系统低压限流 (VDCL) 的作用是什么?	88
211. 简述换流变压器分接头的控制原理。	89
212. 换流变压器分接头控制功能具体如何实现?	89
213. 试述云广特高压直流工程换流变压器分接开关的控制逻辑。	90
214. 极电流限制功能有哪些主要环节?	91
215. 简述云广特高压直流中极控接口屏的功能。	91
216. 云广特高压直流系统为何设计低功率无功优化功能?	91
217. 极电流指令协调功能的主要作用是什么?	92
218. 特高压直流的极间功率转移 (PPT) 功能的主要作用是什么?	92
219. 特高压直流极控系统是如何处理电压参考值的?	93
220. 简述特高压直流的差电流解锁功能。	93
221. 电压公共回路 N600 两点接地有什么危害?	93
222. 电压公共回路 N600 两点接地有哪些查找方法?	93
223. 简述±800kV 特高压直流阀组运行状态的定义。	94
224. 特高压直流控制中的直流场控制实现哪些功能?	95
225. 简述交流滤波器自动投切的原则和顺序。	95
226. 手动操作交流滤波器应遵循哪些原则?	95
227. 简述交流滤波器的交流母线电压限制控制功能。	96
228. 简述高压直流换流站分合闸控制装置的控制策略。	96
第四章 保护系统	97
229. 特高压直流保护的设计原则是什么?	97
230. 特高压直流输电系统的保护区域是怎样划分的?	97
231. 云广直流工程中, 直流保护系统与极控系统之间怎样进行数据传输? 与贵广直流工程有何区别?	97
232. 简述特高压直流保护系统跳闸预告警功能的实现方式?	98

233. 特高压直流保护动作策略有哪些？与±500kV 直流有哪些区别？	98
234. 特高压直流线路可能出现哪些故障？	98
235. 特高压直流线路的主保护和后备保护是怎样配置的？	99
236. 简述特高压直流保护系统 SIMATIC TDC 装置硬件组成及各模块功能。	99
237. 云广直流 TDC 平台应用了哪些总线，分别有什么作用？	99
238. 请说明云广直流后备差动保护（87DCB）的保护范围及故障类型。	100
239. 简述云广特高压直流线路故障定位系统的配置。	100
240. 简述云广特高压直流滤波器电容器不平衡计数动作原理。	101
241. 简述云广特高压直流保护系统的专业巡视内容。	101
242. 简述云广直流保护系统配置与贵广直流保护系统配置有什么异同。	101
243. 如何判断直流保护系统中 TDM 总线是在运行状态还是在备用状态？	102
244. 直流保护系统中 MFI 总线与现场总线传给控制系统的数据有何区别？	102
245. 同一直流保护屏内极保护的 TDM 总线发生切换时，直流滤波器保护的 TDM 总线是否同时切换？	102
246. 简述 TDC 装置 CPU 板卡的 LED 5X7 显示灯字母含义。	102
247. 与贵广直流相比，云广直流在直流保护逻辑中更多采用了浮动定值与门槛定值相结合的方式，这样做有什么优缺点？	102
248. 简述云广直流工程换流变压器保护的基本配置。	103
249. 简述云广工程交流滤波器小组保护的配置。	103
250. 简述交流滤波器小组断路器失灵保护的原理。	103
251. 整流侧和逆变侧的换流阀出口短路分别有哪些保护动作？	103
252. 换流器断路器保护（角侧）87CSD 和换流器断路器保护（星侧）87CSY 保护对于整流侧和逆变侧分别主要针对哪些故障？	103
253. 高压直流输电系统直流侧谐波有什么危害？	103
254. 简述直流线路电流产生 100Hz 分量的原因及危害。	104
255. 简述直流线路 100Hz 保护 81DC-100Hz 的原理。	104
256. 请说明云广直流保护“TEST MODE”切换把手的功能。	104
257. 交流滤波器大组保护动作时为何要先切小组开关、后切大组开关？	104
258. 高压直流线路行波保护 WFPDL 原理是什么？	105
259. 简述云广直流工程大组滤波器联线保护的配置。	105
260. 什么叫投旁通对？	105
261. 简述高压直流系统换相失败的定义。	105
262. 哪些故障可能导致直流系统发生换相失败？	105
263. 直流系统发生换相失败有什么危害？	106
264. 列举云广特高压直流保护中接地极保护的配置。	106
265. 简述特高压直流母线保护的配置。	106
266. 云广特高压极保护开出命令回路是如何构成的？	107
267. 云广特高压直流测量系统传输回路是如何构成的？	107