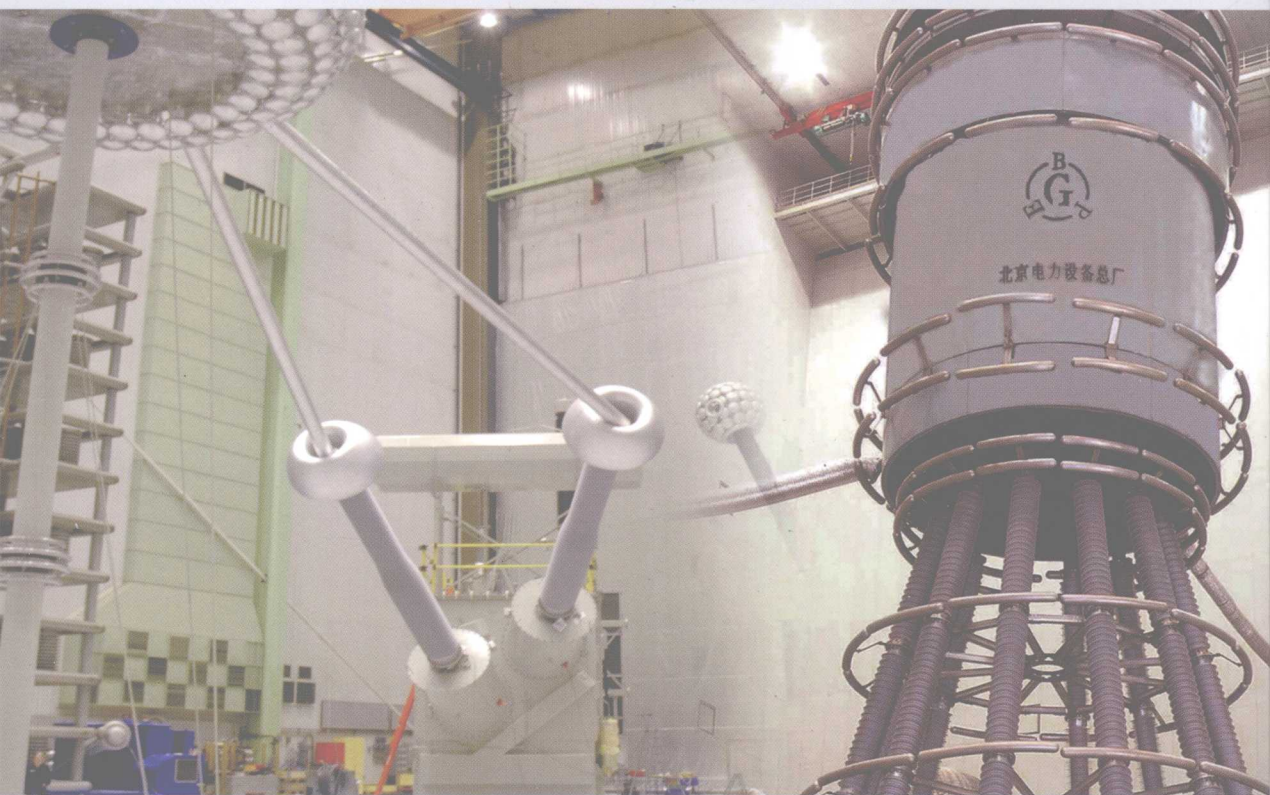


特高压直流输电工程换流站主设备监造手册

换流变压器 和平波电抗器

主编 刘泽洪 副主编 常浩 高理迎



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

特高压直流输电工程换流站主设备监造手册

换流变压器和平波电抗器

主编 刘泽洪 副主编 常浩 高理迎



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

特高压直流输电是实施我国“西电东送”战略的重要措施。国家电网公司特高压建设部策划组织国网直流工程建设有限公司监造代表处编写了《特高压直流输电工程换流站主设备监造手册》(简称《手册》),以向家坝—上海±800kV特高压直流输电示范工程(简称向上直流工程)设备制造为依托,用以指导特高压直流设备的现场监造。

《手册》包括《换流变压器和平波电抗器》、《晶闸管换流阀》、《直流控制保护系统》三个分册。本书为《换流变压器和平波电抗器》,描述了特高压换流变压器和平波电抗器的型式、主要参数和特点,按全过程监造的流程,从监造依据、设计审查、制造过程、试验以及存栈等方面详细介绍了开展监造工作内容、具体的监造方法和手段。本书重点在于阐述特高压换流变压器和平波电抗器的制造过程,按监检要求提出监造方法,易于监造人员实际使用。在附录中给出了向上直流工程送端复龙换流站和受端奉贤换流站的换流变压器和平波电抗器的具体技术参数,不仅可供向上直流工程监造人员监造时采用,也为今后其他特高压工程监造提供了典型参数。

图书在版编目(CIP)数据

换流变压器和平波电抗器/刘泽洪主编. —北京:中国电力出版社, 2009

(特高压直流输电工程换流站主设备监造手册)

ISBN 978-7-5083-8615-7

I. 换… II. 刘… III. ①整流变压器—技术手册②平波电抗器—技术手册 IV. TM422-62 TM478-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第040751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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年5月第一版 2009年5月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 12.25印张 190千字

印数0001—1000册 定价48.00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

《特高压直流输电工程换流站主设备监造手册》

编写人员名单

主 编 刘泽洪

副 主 编 常 浩 高理迎

编写人员	鲍 瑞	郑 劲	卢理成	丁一工	陶 瑜
	赵大平	石 岩	黄 勇	张燕秉	李明华
	孙立时	李安伟	章旭雯	刘 娜	马玉龙
	张 民	张喜乐	郭香福	宓传龙	孙 勇
	范彩云	刘 宁	张 望	刘海彬	廖志超
	邵震霞	黄利军	张占省	常忠廷	王 平
	冯萍莉	刘玉仙	王国刚		

特高压直流输电是实施我国“西电东送”战略的重要措施。利用其长距离、大容量、低损耗的特性,可为建设坚强的国家电网、实现我国大范围资源优化配置、推动能源高效开发利用、建设节能型社会、促进经济社会可持续发展和全面建设小康社会提供重要保障,特高压直流输电工程的建设是国家电网公司落实科学发展观的重要例证。

目前正在建设的向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程(简称向上直流工程),承担着西南水电外送和全面验证特高压直流输电技术的重任,必须确保工程安全可靠地按期投运。特高压直流输电在世界输电史上前所未有,国内外均无现成的实际设计、制造经验,设备能否顺利通过各种试验检验,保证按时、高质量地交付使用,事关特高压直流示范工程的成败,影响特高压输电技术发展应用的大局。这不仅需要组织专家把好评前期的技术论证和设计关口,还需要在制造过程中完全、彻底、严格执行各项生产工艺标准,把所有的质量隐患消灭在产品出厂之前。正如扁鹊所言:“上医医未病之病,中医医将病之病,下医医已病之病”。

为了实现上述目标,必须加强直流输电工程设备制造质量的监造力度。同时为贯彻设备监造集中管理的模式,国家电网公司在国网直流工程建设有限公司内设置了直流监造代表处,统一负责组织实施直流设备监造工作。本套《特高压直流输电工程换流站主设备监造手册》(简称《手册》),是在国家电网公司特高压建设部的策划和直接组织下,由监造代表处具体负责编写的,它以向上直流工程设备制造为依托,用以指导特高压直流设备的现场监造。

特高压直流工程设备品种多,数量大,生产周期长,工作点多面广,监造参与人员多,编写《手册》的目的,主要是为了实施特高压直流设备监造工作的标准化、程序化作业,同时力图让现场监造人员明晰各制造环

节,搞清怎样执行监造和为什么这样做等问题。《手册》综合考虑了制造厂的实际条件和现场监造人员的工作过程,兼顾到对特高压直流工程设备监造的通用性,是兼顾监造、制造双方的具有可操作性的监造指导性书籍。在实际工程实践中,还应根据工程的要求和设备的特点,参照本套《手册》内容制订相应的监造大纲和实施细则。

参加本套《手册》编写的单位有北京网联直流工程技术有限公司、特变电工沈阳变压器集团有限公司、保定天威保变电气股份有限公司、西安西电变压器有限责任公司、许继柔性输电系统公司、西安西电电力整流器有限责任公司、西安高压电器研究所有限责任公司、北京电力设备总厂、南瑞继保电气有限公司、许继电气股份有限公司等单位。

本套《手册》包括《换流变压器和平波电抗器》、《晶闸管换流阀》、《直流控制保护系统》三个分册。本书为《换流变压器和平波电抗器》,描述了特高压换流变压器和平波电抗器的型式、主要参数和特点,按全过程监造的流程,从监造依据、设计审查、制造过程、试验以及存栈等方面详细介绍了开展监造工作的内容、具体的监造方法和手段。本书重点在于阐述特高压换流变压器和平波电抗器的制造过程,按监检要求提出监造方法,易于监造人员实际使用。在附录中给出了向上直流工程送端复龙换流站和受端奉贤换流站的换流变压器和平波电抗器的具体技术参数,不仅可供向上直流工程监造人员监造时采用,也为今后其他特高压工程监造提供了典型参数。

执行监造工作的监理单位和执行生产任务的制造厂都有着一个共同的目标,就是要生产出能满足特高压直流安全稳定运行的优质设备。设备制造厂家应积极配合,把监造人员的工作理解成又一道质检环节,共同把设备监造工作做好,为圆满完成特高压直流工程建设目标而努力。

谨以本套《手册》献给为我国特高压直流工程主设备的生产和监造工作付出努力的建设者们,并向为本套《手册》的顺利出版提供支持和帮助的单位和个人表示感谢!

编者
2008年12月

前言

第一部分 换 流 变 压 器

1	设备概况	2
→	1.1 设备名称、型号和数量	2
	1.2 设备的主要技术参数	3
	1.3 设备特点	4
2	监造总则、依据和方式	6
→	2.1 监造总则	6
	2.2 监造依据	6
	2.3 监造方式	8
3	设计审查	9
→	3.1 换流变压器主要性能参数、设计方案、产品结构的审查	9
	3.2 基本特性的设计计算检查	23
	3.3 主绝缘设计	25
	3.4 短路耐受能力审查	26
	3.5 噪声计算及降噪措施	27
	3.6 设计评价	27

4 制造过程监造

29

4.1 生产车间定置管理	29
4.2 作业环境检查	29
4.3 质量控制程序检查	31
4.4 主要设备	31
4.5 原材料、组件、部件验收	34
4.6 绕组制造	38
4.7 绕组组装检查	40
4.8 铁心叠装检查	42
4.9 油箱检查	43
4.10 绝缘装配检查	45
4.11 引线装配检查	47
4.12 组件、部件检查	49
4.13 干燥处理	50
4.14 总装配	50

5 产品试验

53

5.1 产品试验项目及试验类型	53
5.2 产品绝缘试验项目的试验顺序	55
5.3 试验主要过程与验收准则	55

6 产品存栈

65

附录 A 换流变压器的材料和附件监造内容和监造方式	66
附录 B 换流变压器的器身装配、总装、试验监造内容和 监造方式	71
附录 C 换流变压器监造项目评价表	78
附录 D 换流变压器见证表	86

附录 E	换流变压器检测见证表.....	87
附录 F	换流变压器监检记录表.....	106
附录 G	向家坝—上海±800kV 直流输电工程换流变压器技术 参数表	121

第二部分 平 波 电 抗 器

1	设备概况	126
----------	-------------	------------

1.1	设备名称、型号和数量	126
1.2	设备的主要技术参数	127
1.3	设备特点	128

2	监造总则、依据和方式	130
----------	-------------------	------------

2.1	监造总则	130
2.2	监造依据	130
2.3	监造方式	131

3	设计审查	133
----------	-------------	------------

3.1	平波电抗器主要性能参数、设计方案、产品结构的审查.....	133
3.2	基本特性的设计计算检查	137
3.3	主绝缘设计	138
3.4	短路耐受能力和抗震性能	139
3.5	噪声计算及降噪措施	140
3.6	设计评价	140

4	生产过程监造	142
----------	---------------	------------

4.1	作业环境检查	142
4.2	生产车间定置管理.....	142
4.3	质量控制程序检查.....	143

4.4	主要设备.....	143
4.5	原材料、零部件验收	144
4.6	线圈制造.....	146
4.7	总装配	147

5 产品试验 149

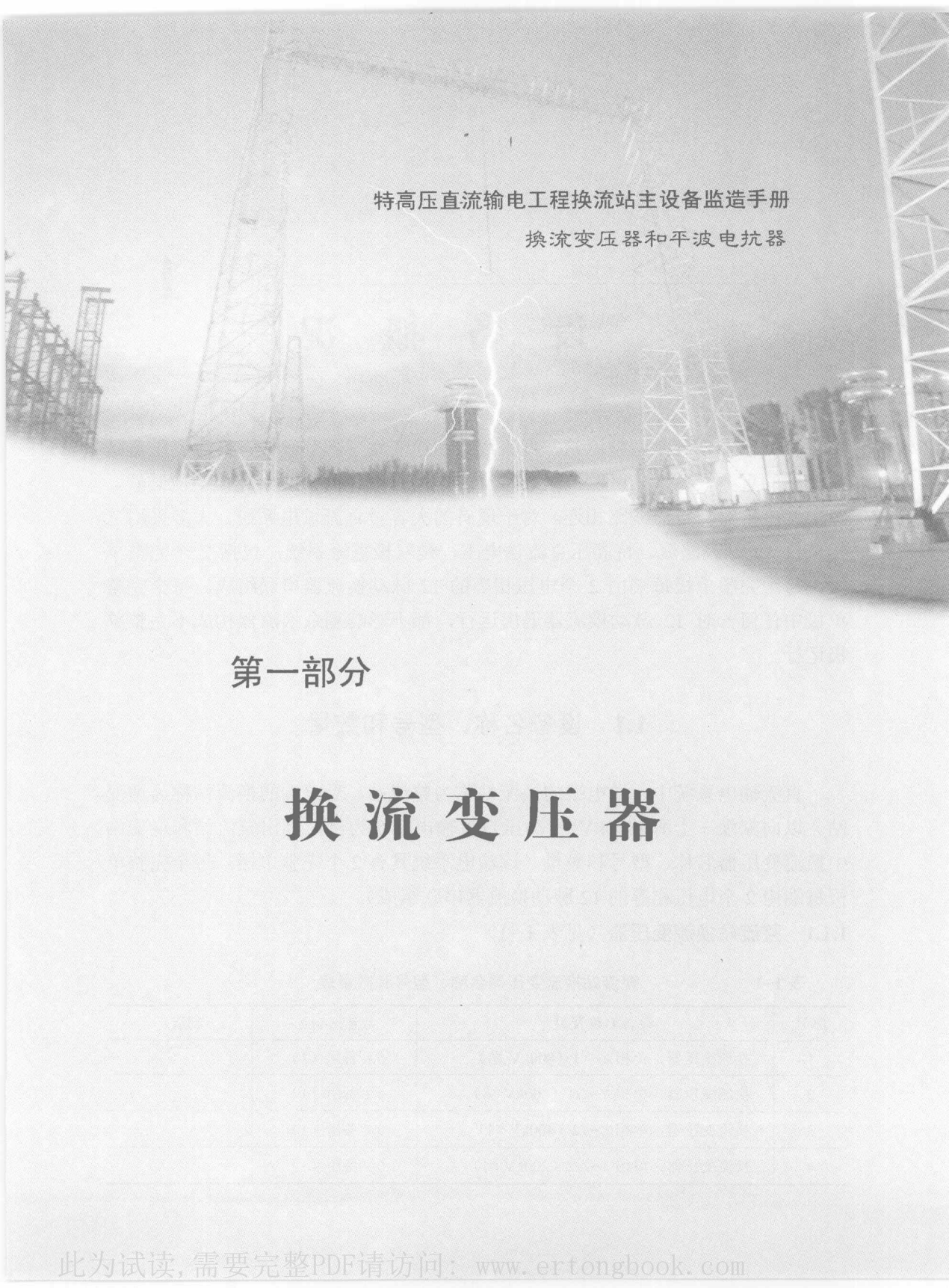


5.1	产品试验项目及试验类型.....	149
5.2	产品绝缘试验项目的试验顺序	150
5.3	试验主要过程与验收准则.....	150

6 产品存栈 156



附录 A	质保体系和设计的监理内容	157
附录 B	干式平波电抗器的材料和附件监理内容	158
附录 C	干式平波电抗器的生产、试验监理内容	160
附录 D	平波电抗器监造项目评价表	163
附录 E	平波电抗器见证表.....	167
附录 F	平波电抗器检测见证表	168
附录 G	平波电抗器现场检查记录.....	176
附录 H	向上直流工程平波电抗器主要技术参数表	180



特高压直流输电工程换流站主设备监造手册

换流变压器和平波电抗器

第一部分

换流变压器

设备概况

直流输电系统是由整流站、直流线路和逆变站三部分组成，换流变压器是换流站的重要设备，其网侧绕组连接交流电网系统，阀侧绕组连接整流装置，经平波电抗器与直流线路相连。对于现有的大容量直流输电系统，大多采用三相双桥 12 脉波整流。特高压直流输电工程是双极直流系统，包括 2 个完整单极，每个完整单极每端由 2 个电压相等的 12 脉动换流器串联组成。每个完整单极中任何一对 12 脉动换流器退出运行，都不影响剩余换流器构成不完整单极运行。

1.1 设备名称、型号和数量

直流输电系统中，送电端的换流站称为整流站，受电端的换流站称为逆变站。以向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电系统为例，列出整流站和逆变站中换流变压器名称、型号和数量（该输电系统具有 2 个完整单极，每个完整单极每端由 2 个电压相等的 12 脉动换流器串联组成）。

1.1.1 整流站换流变压器（见表 1-1）

表 1-1 整流站换流变压器名称、型号和数量表

序号	设备名称及型号	数量（台）	制造厂
1	换流变压器，单相 Y-Y1（800kV 端）	6+ 备用（1）	
2	换流变压器，单相 Y- Δ 1（600kV 端）	6+ 备用（1）	
3	换流变压器，单相 Y-Y2（400kV 端）	6+ 备用（1）	
4	换流变压器，单相 Y- Δ 2（200kV 端）	6+ 备用（1）	

1.1.2 逆变站换流变压器（见表 1-2）

表 1-2 逆变站换流变压器名称、型号和数量表

序号	设备名称及型号	数量（台）	制造厂
1	换流变压器，单相 Y-Y1（800kV 端）	6+ 备用（1）	
2	换流变压器，单相 Y-△1（600kV 端）	6+ 备用（1）	
3	换流变压器，单相 Y-Y2（400kV 端）	6+ 备用（1）	
4	换流变压器，单相 Y-△2（200kV 端）	6+ 备用（1）	

1.2 设备的主要技术参数

特高压换流变压器的主要技术参数见表 1-3。

表 1-3 特高压换流变压器的主要技术参数表

序号	项 目	数 值
1	型式	见技术规范
2	冷却方式	见技术规范
3	网侧中性点接地方式	见技术规范
4	绕组联结方式	见技术规范
5	额定容量（MVA）	见技术规范
6	网侧额定电压（kV）	见技术规范
7	调压方式及分接范围	见技术规范
8	阀侧额定电压（kV）	见技术规范
9	额定频率（Hz）	见技术规范
10	电流额定值（A） （包括额定连续电流值和过负荷电流值）	见技术规范
11	短路阻抗（%）	在额定分接：见技术规范 在最小分接：见技术规范 在最大分接：见技术规范 最大相间阻抗偏差：见技术规范

续表

序号	项 目	数 值
12	直流偏磁电流 (A, DC)	见技术规范
13	阀绕组谐波电流频谱	见技术规范
14	绝缘水平和试验电压	见技术规范
15	温升限值 (K)	见技术规范
16	空载损耗 (kW)	见技术规范
17	空载电流 (%)	见技术规范
18	负载损耗 (kW)	见技术规范

1.3 设 备 特 点

与普通电力变压器比较,换流变压器特殊的运行环境要求其短路阻抗大,多以此来限制短路电流,国内特高压直流输电系统中网、阀侧额定分接阻抗达到16%或更高。

直流输电系统中的换流变压器是个谐波源。无论是换流变压器的网侧,还是阀侧电流都不是交流正弦波。在换流变压器的直流侧也不是平滑的直流波形,它们都是周期性的非正弦波。这种周期性的非正弦波可分解为不同频率的正弦波分量,这些谐波分量将会使变压器的负载损耗增加,因此换流变压器需要进行谐波损耗计算。

换流变压器在换相过程中,由于晶闸管触发相位不相同,造成直流分量流过换流变压器;阀绕组直流侧电流的谐波也使阀绕组中出现直流电流;大地作回路时,也使变压器绕组中出现直流分量。以上的直流磁通造成换流变压器铁心严重饱和,励磁电流畸变严重,产生大量谐波,使换流变压器无功损耗增加,输电系统电压降低,甚至造成系统保护误动作。换流变压器本身铁心由于磁通趋于饱和,漏磁会非常严重,可能导致内部金属结构件的局部过热,破坏绝缘系统,甚至降低产品使用寿命。因此设计换流变压器时,需要特别注意直流偏磁对空载特性的影响。

换流变压器中电场分布复杂,承受交、直流电场的共同作用,在换流变压器设计过程中,需采用先进的专用计算机软件程序进行电、磁、力、热的精确分析计算,来确定合理的主、纵绝缘结构以及整体布置,保证产品具有足够的绝缘裕度。根据漏磁场计算结果采用合理的屏蔽结构以降低杂散损耗,防止产品出现局部过热现象。

特高压换流变压器电场、磁场分布复杂,对硅钢片、电磁线原材料的性能,对有载分接开关、套管和引线出线装置设计制造质量要求都非常严格。选用优质的原材料、附件会为换流变压器长期可靠运行提供保障。

监造总则、依据和方式

2.1 监 造 总 则

为提高换流变压器制造质量，保障电网安全运行，监造单位遵循科学性、公正性及对委托方负责的原则对换流变压器设计方案、质量体系、制造工艺、材料及附件选用、产品制造过程、工厂试验及包装运输等关键工序实施质量监造，监督制造厂把好出厂质量关，使产品缺陷、隐患得以及时发现，并消除在制造过程中，协助促进产品的质量。

2.2 监 造 依 据

特高压直流输电工程中换流变压器以表 2-1 所列标准作为监造依据，此外还应包括技术规范中规定的执行标准。其他有关的文件见表 2-2。

表 2-1

相 关 标 准

序号	相关标准名称（应引用标准的最新版本）
1	GB/T 18494.2 换流变压器 第二部分：高压直流输电用换流变压器
2	GB 1094.1 电力变压器 第 1 部分：总则
3	GB 1094.2 电力变压器 第 2 部分：温升
4	GB 5273 变压器、高压电器和套管的接线端子
5	GB 1094.3 电力变压器 第 3 部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙

续表

序号	相关标准名称（应引用标准的最新版本）
6	GB/T 1094.4 电力变压器 第4部分：电力变压器和电抗器雷电冲击波和操作冲击波试验导则
7	GB 1094.5 电力变压器 承受短路的能力
8	GB/T 1094.10 电力变压器 第10部分：声级测定
9	GB/T 16927.1 高压试验技术 第1部分：一般试验要求
10	GB/T 16927.2 高压试验技术 第2部分：测量系统
11	GB 2536 变压器油
12	GB 311.1 高压输变电设备的绝缘配合
13	GB/T 4109 高压套管技术条件
14	GB/T 5582 高压电力设备外绝缘污秽等级
15	GB/T 7252 变压器油中溶解气体分析和判断导则
16	GB/T 7354 局部放电测量
17	GB/T 7595 运行中变压器油质量标准
18	GB 1208 电流互感器
19	GB 10230 有载分接开关
20	GB 50150 电气装置安装工程电气设备交接试验标准
21	GB 11604 高压电器设备无线电干扰测试方法
22	GB/T 13499 电力变压器应用导则
23	GB/T 17468 电力变压器选用导则
24	DL/T 572 电力变压器运行规程
25	IEC 62199 直流套管