

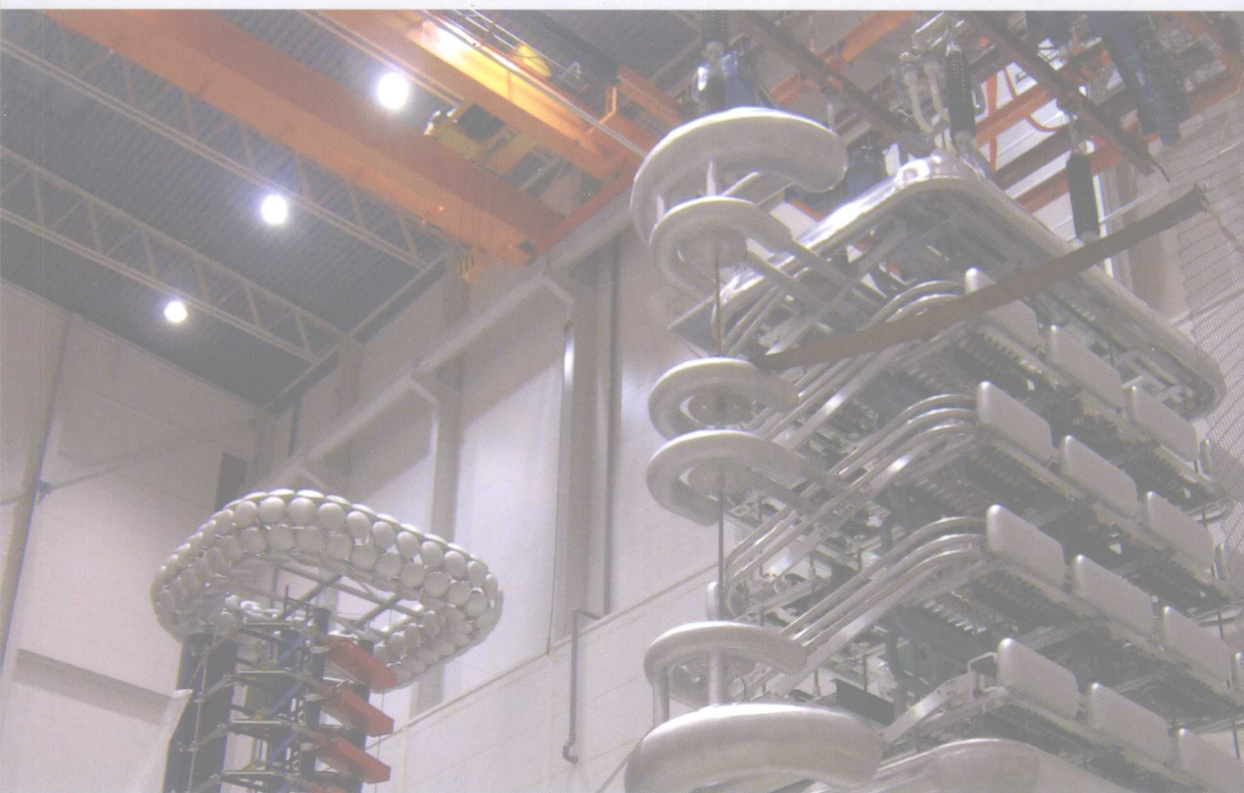
---

特高压直流输电工程换流站主设备监造手册

---

# 晶闸管换流阀

主编 刘泽洪 副主编 常浩 高理迎



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

特高压直流输电工程换流站主设备监造手册

# 晶闸管换流阀

主编 刘泽洪 副主编 常浩 高理迎



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://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《晶闸管换流阀》, 描述了特高压换流阀的型式、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。在附录中给出了向上直流工程换流阀的技术规范、送端复龙换流站和受端奉贤换流站的例行试验和型式试验项目及具体参数, 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

晶闸管换流阀/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 978-7-5083-8616-4

I. 晶… II. 刘… III. 晶闸管—换流站—技术手册  
IV. TN34-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第040750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 6.75印张 105千字

印数0001—1000册 定价26.00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±800kV 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的，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《晶闸管换流阀》，描述了特高压换流阀的型式、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。在附录中给出了向上直流工程换流阀的技术规范、送端复龙换流站和受端奉贤换流站的例行试验和型式试验项目及具体参数，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

<b>1</b>	<b>设备概况</b>	<b>1</b>
1.1	设备名称、型号和数量	1
1.2	设备的主要技术参数	2
1.3	设备主要特点	2
<b>2</b>	<b>监造总则、要点、依据及方式</b>	<b>3</b>
2.1	监造总则	3
2.2	换流阀监造要点	3
2.3	监造依据	4
2.4	监造方式	5
<b>3</b>	<b>设计审查</b>	<b>6</b>
3.1	图纸审查	6
3.2	主要参数审查	7
3.3	元器件	10
3.4	设计报告/计算书	11
3.5	触发系统	12
3.6	控制、监视与保护	13
3.7	冷却系统	14
3.8	防火	14

3.9	检修要求 .....	15
3.10	试验 .....	15
3.11	设计评价 .....	15
3.12	生产计划审查 .....	16

## 4 制造过程 17

4.1	作业环境检查 .....	17
4.2	质量控制程序检查 .....	18
4.3	工装设备 .....	19
4.4	原材料、零部件的验收 .....	20
4.5	组装 .....	26

## 5 试验 32

5.1	例行试验 .....	32
5.2	型式试验 .....	34

## 6 存栈检查 52

6.1	装运前的最终质量文件审查 .....	52
6.2	包装、存栈 .....	52

## 附录 A 向上直流工程晶闸管换流阀主要参数 54

## 附录 B 向上直流工程换流阀设备试验参数 59

B.1	例行试验 .....	59
B.2	型式试验 .....	61

## 附录 C 监造表格 87

C.1	监造内容和监造方式 .....	87
C.2	监造项目评价表 .....	95



# 设备概况

直流输电系统由整流站、直流线路和逆变站三部分组成。目前的特高压大容量直流输电系统，大多采用三相双 12 脉动换流器。双极直流系统包括 2 个完整单极，每个完整单极每端由两个电压相等的 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。

换流阀是实现直流输电系统中交、直流相互转换的关键设备。从最初的汞弧阀发展到现在的电控和光控晶闸管阀，换流器的单位容量在不断增大，体积逐渐缩小，成本进一步降低，可靠性得到了提高。通过对晶闸管的控制，可实现整流或逆变功能。

## 1.1 设备名称、型号和数量

晶闸管换流阀设备名称、型号和数量见表 1-1。

表 1-1 晶闸管换流阀设备名称、型号和数量

序号	设备名称及型号	数量(台)	制造厂
1	阀塔		
2	阀组件		
3	阀电抗器		
4	VCU(阀控制单元)/VBE(阀基电子设备)		

续表

序号	设备名称及型号	数量(台)	制造厂
5	阀内冷系统(按阀厅填写)		
6	阀避雷器		

## 1.2 设备的主要技术参数

晶闸管换流阀主要技术参数表见表 1-2。

表 1-2 晶闸管换流阀主要技术参数表

序号	项 目	数值	序号	项 目	数值
1	触发形式		8	冷却方式	
2	系统容量		9	每极 12 脉动换流器数量	
3	直流电流额定值		10	阀塔形式	
4	直流电压额定值		11	12 脉动换流器中阀塔数量	
5	晶闸管标称电压		12	阀塔内单阀的数量	
6	晶闸管标称电流		13	单阀内组件的数量	
7	阀短路电流峰值		14	组件内晶闸管数量	

## 1.3 设备主要特点

特高压直流输电工程晶闸管换流阀一般采用空气绝缘、纯水冷却, 安装结构一般均为悬吊式以提高抗震性能, 触发方式为电触发(ETT)或光触发(LTT)。±800kV 每极包括 2 个串联的 12 脉动桥; 每个 12 脉动桥额定电压 400kV, 由 2 个串联的 6 脉动桥组成, 悬吊于阀厅顶部。每极分为高、低压两个阀厅, 其中高压阀厅需要更大的绝缘距离。

# 监造总则、要点、 依据及方式

## 2.1 监 造 总 则

为提高产品制造质量,保障电网安全运行,监造单位应遵循科学性、公正性及对委托方负责的原则,对产品的设计方案、质量体系、制造工艺、材料及附件选用、产品制造过程、工厂试验以及包装运输、现场调试等关键点实施质量监造,监督制造厂把好出厂质量关,使产品缺陷和隐患得以及时发现,并消除在制造过程中,确保产品质量。

监造工作不代替承制方自行检验的责任,也不能代替合同设备的最终检验,更不能减免承制方的质量责任。产品的质量和生产进度始终由承制方全面负责,监造方承担监造工作所应承担的质量责任。

## 2.2 换流阀监造要点

从目前国内外直流输电工程的晶闸管换流阀运行情况看,整体设计比较完备。在制造和运行中,常发生的故障主要有:内冷却水系统漏水、内冷却水系统水质、阳极电抗器故障、均压电容器损坏、电子触发板烧坏、晶闸管元件击穿、光缆烧坏等。因此在监造过程中,应加强对上述元件的设计、制造和供货环节的检查。

对于向家坝—上海 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电示范工程,因其首次采用 6in 4000A 晶闸管元件,尚无工程经验,因此在监造过程中,应重点审查阀供应商对晶闸管元件的质量控制环节,晶闸管元件的设计和试验等应满足规范要求,

换流阀的损耗及设计计算正确，母线及连接部位具有足够的通流能力，冷却装置具有足够的冷却容量。

## 2.3 监 造 依 据

特高压直流输电工程晶闸管换流阀的监造依据为订货技术协议、相关会议纪要、相关国家标准、行业标准和国际标准，以及制造厂相关文件。

### 2.3.1 相关标准（见表 2-1）

表 2-1 晶闸管换流阀监造相关标准

序号	标准代号	标 准 名 称
1	GB/T 20990.1	高压直流输电晶闸管阀 第 1 部分：电气试验（idt. IEC 60700—1）
2	GB/T 16927.1	高压试验技术 第 1 部分 一般试验要求（idt. IEC 60060—1）
3	GB/T 16927.2	高压试验技术 第 2 部分 测量系统（idt. IEC60060—2）
4	GB 10237	电力变压器绝缘水平和绝缘试验、外绝缘空气间隙
5	GB/T 7354	局部放电测量
6	GB 11032	交流无间隙金属氧化物避雷器
7	GB/T 11604	高压电器设备无线电干扰测试方法
8	IEC 60071—5	绝缘配合 第 5 部分：高压直流换流站工作程序
9	IEC 60747—6	半导体装置 第 6 部分：晶闸管
10	IEC 60076—9	端子和分接标志
11	IEC 61803	高压直流换流站功率损耗的测定
12	IEEE 1158	确定高压直流换流站损耗的推荐方法
13	GB/T 19001	质量管理体系 要求（idt. ISO 9001）
14	GB/T 24001	环境管理体系 要求及使用指南（idt. ISO 14001）
15	GB/T 28001	职业健康安全管理体系 规范

注 应引用标准的最新版本。

### 2.3.2 相关文件（见表 2-2）

表 2-2 晶闸管换流阀监造依据相关文件

序号	文件名称
1	订货合同及其订货技术协议（规范书）
2	相关会议纪要及设计修改批准文件
3	制造厂相关工艺及检验规范等技术文件

## 2.4 监 造 方 式

根据制造厂的质量控制程度，监造采取文件见证（R 点）、现场见证（W 点）或停工待检（H 点）的方式进行。

### 2.4.1 文件见证（R 点）

审查有关材料及附件的检验证书、试验报告等内容，了解有关设计任务书、制造加工图纸；了解制造厂的质量保证体系、工艺卡、质量记录等内容，查看是否符合合同的要求。

### 2.4.2 现场见证（W 点）

实地参与各个关键工序的质量验收工作或抽查部分部件或材料的质量见证。检查产品的各个部件是否达到应有的质量要求。

### 2.4.3 停工待检（H 点）

停工待检项目必须有用户代表参加，现场检验并签字后，才能转入下道工序。

# 设计审查

换流阀设备的设计审查应根据设备供货合同、相关的行业标准、国家标准和国际标准，结合所监造工程换流阀的特点，对工厂相关组织管理体系，产品的设计、制造、试验等方面的输出文件进行全面审查。

监造方应先期了解产品前期的试验研究情况和取得的成果、相关计算、重点解决的问题和初步设计方案。查验产品制造所需的相关工艺文件，特别是新工艺、新措施的落实点与检验环节，以及相应的工厂装备。了解原材料和配套件的制造情况、质量控制标准及文件等。根据国内外高压直流输电工程的运行经验，在调查的基础上，对换流阀在设计、制造中的薄弱环节进行统计分析。

设计审查将从制造厂商的技术研究和设计开始，对换流阀的电气设计、机械设计、控制保护、冷却系统、防火保护和试验检验等方面进行审查。目标是证实所建议的设计解决方案符合技术规范中的要求，防止不合格的发生。

针对特高压换流阀的组件数量较多，且晶闸管、阀组件结构与已往常规工程不同，但其基本设计原则没有实质改变的情况，根据我国 500kV 及以下常规直流工程已有的成熟运行经验进行“差异化审查”，主要审查在设计上作了哪些改进及其改进的依据。

## 3.1 图纸审查

换流阀图纸审查项目见表 3-1。

表 3-1 换流阀图纸审查项目

序号	审查项目	审查内容	审查结果
1	总装图	换流阀的总体结构以及外形尺寸、重量	
2	接口图	外部的安装条件和要求以及连接接口	
		吊装和连接所用的全部金具和连接件的规格, 机械应力能否满足负荷的需求以及抗震要求	
		检查内水冷系统和阀连接的接口要求, 关键连接件的规格	
		检查换流阀悬吊绝缘距离是否合理并满足技术规范要求	
3	组件图	外形尺寸、重量, 电气原理	

注 见证方式为 R。

## 3.2 主要参数审查

主要参数审查见表 3-2。

表 3-2 主要审查参数

序号	审查项目	审查内容	监检要求	审查结果
1	电流 额定值	额定直流电流 $I_{dN}$	见技术规范	
		最小持续运行直流电流	见技术规范	
		持续运行直流电流 (含误差)	见技术规范	
		过负荷电流	见技术规范	
2	电压 额定值	额定直流电压 (极对中性点) $U_{dRN}$	见技术规范	
		最大持续直流电压 (运行中)	见技术规范	
		最大持续直流电压 (设备设计值)	见技术规范	
		降压运行直流电压	见技术规范	
		中性母线上最大持续直流电压	见技术规范	

续表

序号	审查项目	审查内容	监检要求	审查结果
2	电压 额定值	空载直流电压： —额定空载直流电压 $U_{\text{dioN}}$ ； —最大空载直流电压 $U_{\text{dio abs max}}$	见技术规范	
		暂时过电压用负荷系数： —双极闭锁； —阀解锁，不超过 3 个周期； —阀解锁，不小于 3 个周期	见技术规范	
3	控制角	整流运行时的触发角 $\alpha$ ： —额定值 $\alpha_N$ ； —额定功率时的最小值； —额定功率时的最大值； —最小值； — $\alpha$ 的变化	见技术规范	
		逆变运行时的关断角 $\gamma$ ： —额定关断角 $\gamma_N$ ； —额定功率时的最小值； —额定功率时的最大值； —最小值； — $\gamma$ 的变化	见技术规范	
4	电感压降	—正常状态时(包括 PLC 滤波器的 0.2%)； —正常状态下的最小值 (-7%)； —正常状态下的最大值 (+5%)	见技术规范	
5	交流 网频率	稳态： —稳态时频率最小值； —额定频率； —稳态时频率最大值	见技术规范	
		暂时的频率变化	见技术规范	
6	晶闸管阀 的暂态 电流	交流线路侧短路电流： —最大值； —最小值	见技术规范	



续表

序号	审查项目	审查内容	监检要求	审查结果
6	晶闸管阀的暂态电流	阀短路电流峰值： —单个短路电流峰值，带后续闭锁	见技术规范	
		带后续闭锁的恢复时间	见技术规范	
		带后续闭锁的断态电压峰值	见技术规范	
		不带后续闭锁的3个电流峰值： —第1个峰值； —第2个峰值； —第3个峰值	见技术规范	
		不带后续闭锁第1个峰值反向重复电压峰值	见技术规范	
7	绝缘水平	跨阀绝缘水平： —SIPL/SIWL； —LIPL/LIWL； —FWPL/FWWL	见技术规范	
		下12脉桥低压端对地绝缘水平： —SIPL/SIWL； —LIPL/LIWL	见技术规范	
		上12脉桥高压端对地绝缘水平： —SIPL/SIWL； —LIPL/LIWL	见技术规范	
		2个12脉桥间母线对地绝缘水平： —SIPL/SIWL； —LIPL/LIWL	见技术规范	
		上12脉桥阀中点母线对地绝缘水平： —SIPL/SIWL； —LIPL/LIWL	见技术规范	
		下12脉桥阀中点母线对地绝缘水平： —SIPL/SIWL； —LIPL/LIWL	见技术规范	
8	过负荷	过负荷	见技术规范	

注 见证方式为R。