

**JB**

**中华人民共和国机械行业标准**

**JB/T 8740—1998**

**电 化 学 用 整 流 器**

**1998-05-28 发布**

**1998-11-01 实施**

中华人民共和国机械工业部 发 布

## 前 言

本标准是根据我国目前电化学工业的现状以及 GB/T 3859.1~3859.3—93 (eqv IEC 146—1—1~3 (1991)), 对原专业标准 ZB K 46 006—88《电化学用整流器》进行修订, 通过对该标准的修订, 以适应目前电化学工业发展的需要。修订后作为机械行业标准。

本标准的附录 A 是提示的附录。

本标准由全国电力电子学标准化技术委员会提出并归口。

本标准负责起草单位: 西安电力整流器厂、西安电力电子技术研究所。

本标准主要起草人: 黄大华、翁锡勇、张大卫、张景玺。

本标准首次发布于 1977 年。

本标准首次修订于 1988 年。

本标准委托全国电力电子学标准化技术委员会负责解释。

## 电 化 学 用 整 流 器

代替 ZB K46 006—83

## 1 范围

本标准规定了电化学用整流器的有关定义、基本参数、技术要求、检验及试验方法。

本标准适用于电化学工业作为电解直流电源使用的大功率电力半导体二级管整流管和晶闸管整流器。

对于类似负载特性的石墨化、碳化硅等大功率电炉用整流器，本标准可参照使用。

## 2 引用标准

下列标准包含的条文，通过在本标准中引用而构成本标准的条文。在标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 2536—90	变压器油
GB/T 2900.32—95	电工名词术语 电力半导体器件
GB/T 2900.33—93	电工名词术语 电力电子技术(eqv IEC 50—551: 1982)
GB 3047.1—82	面板、架和柜的基本尺寸系列
GB/T 3859.1—93	半导体变流器 基本要求的规定(eqv IEC 146—1—1: 1991)
GB/T 3859.2—93	半导体变流器 应用导则(eqv IEC 146—1—2: 1991)
GB 10236—88	半导体电力变流器与电网互相干扰及其防护方法导则 (neq ANSI/IEEE519: 1981)
GB/T 14549—93	电能质量 公用电网谐波
JB 1505—75	半导体电力变流器型号编制方法
JB 4276—86	电力变流器包装技术条件

## 3 定义

这里给出的仅是在本标准中使用的或主要的术语及其定义，有关电力电子技术方面的其它术语和定义可参见 GB/T 2900.32、GB/T 2900.33、GB/T 3859.1 和 GB/T 3859.2。

### 3.1 电力半导体二极管

在电力变流器中使用的、具有不对称电压/电流特性的二端半导体器件。

### 3.2 晶闸管

一种包括三个或更多个结，能从断态转入通态的双稳态半导体器件。

### 3.3 整流装置

由阀器件或堆在电和机械上组合而成，主要起整流作用的总装体，包括机械结构内部的电联结和辅助件。

### 3.4 整流设备

由一个或多个整流装置连同整流变压器、滤波器(如有)、开关装置及其它辅助设备(如有)所组成的、

主要用于整流的设备。

### 3.5 整流器

用于整流的电力变流器，整流装置和整流设备的泛称词。

### 3.6 整流臂

整流联结中的主臂。

### 3.7 整流变压器

整流主电路用的变压器。

### 3.8 相间变压器(平衡电抗器)

用以保证由不同相供电的多个换相组并联工作的电抗器。

### 3.9 饱和电抗器

用改变外加直流控制电流来改变铁磁性材料的非线性特性，从而可以平滑地控制整流器输出特性的一种电磁装置。

### 3.10 同相逆并联整流电路

把整流变压器阀侧每相绕组分为独立的绕组与整流臂同时作逆极性连接，形成两组换相时刻一致、电流相等、方向相反，在结构布置上又相互靠近，从而有效地抵消自身磁场，使阀侧换相感抗明显减小的一种并联整流电路。

### 3.11 电联结

整流臂及对整流器主电路起重要作用的元件电气连接。

### 3.12 功率效率

整流器输出功率对输入功率之比。

### 3.13 波形因数

周期性函数的波形因数是其方均根值与函数在整个周期内的平均值之比。

### 3.14 额定网侧电压 $U_{LN}$

与变压器额定分接(如有)对应的，整流器网侧线电压所规定的方均根值。

### 3.15 变压器阀侧额定电压 $U_{VN}$

变压器网侧处于额定分接及额定电压下，在同一换相组阀侧绕组中两相继换相端子之间的空载电压方均根值。

### 3.16 短路比 $R_{sc}$

在规定的运行条件和规定的网络结构下，网络指定点处的电源的短路容量对整流器网侧表观功率之比。

### 3.17 冷却方式的定义

#### 3.17.1 冷却媒质

从设备或热交换器中把热量带走的液体(例如水)或气体(例如空气)。

#### 3.17.2 热转移媒质

在设备里把热量从热源转移到热交换器的液体(例如水、油)或气体(例如空气)，再由冷却媒质将热量从热交换器中带走。

#### 3.17.3 直接冷却

冷却媒质直接与被冷却的部件相接触而不使用任何热转移媒质的冷却方法。

#### 3.17.4 间接冷却

借助热转移媒质把被冷却部件的热量转移至冷却媒质的冷却方法。

#### 3.17.5 冷却媒质和热转移媒质的循环

##### 3.17.5.1 自然循环(对流)冷却

利用物质的质量(密度)随温度而变化，使冷却流体(冷却媒质或热转移媒质)产生循环的一种冷却方

法。

### 3.17.5.2 强迫循环(强迫冷却)

利用压缩机、风机或泵来循环冷却媒质或热转移媒质的一种冷却方法。

### 3.18 环境和冷却媒质温度

#### 3.18.1 环境温度

在任何相邻设备间的二分之一距离,且距外壳不大于 300 mm,并在设备中部高度位置处所测量的温度,测量时应防止来自设备的直接热辐射。

#### 3.18.2 空气冷却媒质温度

距设备进风口 50 mm 处所测量的设备外部的平均温度。

#### 3.18.3 液体冷却媒质温度

距进液口 100 mm 处所测得的管道内冷却媒质的温度。

## 4 产品型号与额定值

### 4.1 型号

电化学用整流器型号应按 JB 1505 的有关规定编制。

### 4.2 额定值等级

#### 4.2.1 直流电流额定值等级

直流电流额定值应在下列数值中选取: 800、1000、1600、2000、3150、4000、5000、6300、8000、10000、12500、16000、20000、25000、31500、40000、50000、63000、80000、100000、125000、160000 A。

注:对于所配整流器额定电流在 10000 A 以上的大型负载,若表列等级不能满足需要时,应由使用单位与制造单位在 R20 优先数系的基础上协商确定。

#### 4.2.2 直流电压额定值等级

直流电压额定值应在下列数值中选取:

24、36、48、60、72、84、100、125、160、200、250、315、400、500、630、800、1000、1250 V。

注:对所配整流器额定电压在 160 V 以上的大型负载,若表列等级不能满足要求时,应由使用单位与制造单位在 R20 优先数系的基础上协商确定。

#### 4.2.3 网侧电压额定值等级

电化学用整流变压器的网侧额定电压应符合下列电压值之一:

0.38、6、10、35、66、110、220 kV。

一般按表 1 规定的整流设备额定功率大小来选取网侧额定电压。

表 1 网侧额定电压与整流设备额定输出功率

整流设备额定输出功率 kW	网侧额定电压 kV
≤50	0.38
>50~250	0.38、6、10
>250~3150	6、10、35
>3150~10000	10、35、66
>10000~20000	35、66、110
>20000~30000	(35)、66、110、220
>30000	110、220
注:带括号者不推荐使用。	

## 5 技术要求

### 5.1 正常使用的环境条件。

#### 5.1.1 海拔不超过 1000 m。

5.1.2 设备在运行时的环境及冷却媒质的极限温度范围应符合表 2 和 GB/T 3859.1—93 中 5.1.2 的规定，并按 GB/T 3859.2—93 附录 C 的规定考虑无凝露运行条件。

#### 5.1.3 空气相对湿度不低于 15%，不高于 90%（空气温度 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 时）

表 2 环境与冷却媒质温度  $^\circ\text{C}$

名 称		温度极限值	
		最 低 值	最 高 值
环境温度		0	+40
冷却媒质温度	空气	0	+40
	水	+5	+35
	油	-5	+30

注：

- 1 当整流器运行的环境温度和冷却媒质温度高于表 2 温 额定电流  
做适当修正。
- 2 对间接冷却的热交换器及水处理装置(若有)由用户自配时，制造厂应提出热转移媒质的要求和设备的发热量或损耗功率，以保证送入整流器的热转移媒质符合整流器正常运行要求。

#### 5.1.4 环境温度变化率不超过 $5\text{ K/h}$ ，相对湿度变化率每小时不超过 5%。

#### 5.1.5 运行地点无导电爆炸尘埃和过量粉尘，没有腐蚀金属或破坏绝缘的气体或蒸汽。

#### 5.1.6 无剧烈振动或冲击，安装垂直倾斜度不超过 5%。

#### 5.1.7 户内使用(可锁闭的电气操作场所)。

### 5.2 正常使用的电气条件

正常使用的电气条件应符合 GB/T 3859.1—93 中 5.2 的规定，在合同没有专门说明的情况下，整流器对电气条件的适应程度应达到 GB/T 3859.1—93 中 5.2.2 规定的 B 级抗扰等级的要求。

### 5.3 非正常使用条件

如果整流器使用于不符合 5.1 和 5.2 规定的工作条件，用户应在订货时提出并与制造厂取得协议，以保证产品可靠工作。

#### 5.3.1 异常环境条件

- a) 海拔超过 1000 m；
- b) 环境温度和冷却媒质温度过低；
- c) 温度和相对湿度变化率过高；
- d) 冷却水可能引起冷却系统产生腐蚀或阻塞，如海水或硬水等；
- e) 环境空气中含有过量粉尘；
- f) 相对湿度和温度很高，类似亚热带或热带气候条件；
- g) 有益雾(如近海地区)、高度潮湿、滴水或腐蚀性气体的场所；
- h) 暴露在含有爆炸性尘埃或气体混合物中；
- i) 环境温度和冷却媒质温度过高；
- j) 重量和空间方面的限制；
- k) 户外安装；
- l) 不符合 5.1 条正常使用条件的其它特殊使用条件。

表 3 电化学用整流器常用电联结

序号	变压器联结型式		元件联结型式	p	q	$\frac{2\pi}{g}$	网侧电流因数 $I_L/L_d$	阀侧电流因数 $I_v/L_d$	电 压 比		$\frac{d_{a,N}}{e_{a,N}}$
	网侧	阀侧							$\frac{U_{di}}{U_o}$	$\frac{U_{ia}}{U_a}$	
1a				6	3	$\frac{3}{2}$	$0.408 (\frac{1}{\sqrt{6}})$	$0.289 (\frac{1}{2\sqrt{3}})$	$0.675 (\frac{3}{\pi\sqrt{2}})$	$2.09 (\frac{2\pi}{3})$	0.5
1b				6	3	$\frac{3}{2}$	$0.408 (\frac{1}{\sqrt{6}})$	$0.289 (\frac{1}{2\sqrt{3}})$	$0.675 (\frac{3}{\pi\sqrt{2}})$	$2.09 (\frac{2\pi}{3})$	0.5
2				6	3	6	$0.816 (\sqrt{\frac{2}{3}})$	$0.816 (\sqrt{\frac{2}{3}})$	$1.35 (\frac{3\sqrt{2}}{\pi})$	$1.05 (\frac{\pi}{3})$	0.5
3				12	3	3	$0.789 (\frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}})$	$0.408 (\frac{1}{\sqrt{6}})$	$1.35 (\frac{3\sqrt{2}}{\pi})$	$1.05 (\frac{\pi}{3})$	0.52 至 0.26
4				6	3	6	$0.816 (\sqrt{\frac{2}{3}})$	$0.408 (\frac{1}{\sqrt{6}})$	$1.35 (\frac{3\sqrt{2}}{\pi})$	$1.05 (\frac{\pi}{3})$	0.52 至 0.25

表 3 (完)

序号	变压器联结型式		元件联结型式	p	q	$\frac{\partial_{qs}}{g}$	网侧电流因数 $I_L/I_d$	阀侧电流因数 $I_v/I_d$	电 压 比		$\frac{d_{AN}}{e_{AN}}$
	网侧	阀侧							$\frac{U_d}{U_{v0}}$	$\frac{U_m}{U_d}$	
5				6	3	6	$0.816 \left( \sqrt{\frac{2}{3}} \right)$	$0.204 \left( \frac{1}{2\sqrt{6}} \right)$	$1.35 \left( \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$1.05 \left( \frac{\pi}{3} \right)$	0.5 至 0.125
6				6	3	$\frac{3}{2}$	$0.408 \left( \frac{1}{\sqrt{6}} \right)$	$0.145 \left( \frac{1}{4\sqrt{3}} \right)$	$0.675 \left( \frac{3}{\pi\sqrt{2}} \right)$	$2.09 \left( \frac{2\pi}{3} \right)$	0.5 至 0.25
7				6	3	$\frac{3}{2}$	$0.408 \left( \frac{1}{\sqrt{6}} \right)$	$0.0725 \left( \frac{1}{8\sqrt{3}} \right)$	$0.675 \left( \frac{3}{\pi\sqrt{2}} \right)$	$2.09 \left( \frac{2\pi}{3} \right)$	0.5 至 0.125
8				6	3	$\frac{3}{2}$	$0.408 \left( \frac{1}{\sqrt{6}} \right)$	$0.289 \left( \frac{1}{2\sqrt{3}} \right)$	$1.35 \left( \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \right)$	$1.05 \left( \frac{\pi}{3} \right)$	0.5 至 0.25



5.3.2 异常电气条件

不符合正常使用电气条件的用户应向供货方提供如下资料：

- a) 超过规定的电压波动范围和频率变化范围；
- b) 超出 GB/T 3859.1—93 中 5.2.2.4 规定的交流电网波形畸变，包括总谐波含量方均根量(稳态，百分数)，各次谐波含量方均根值(百分数，稳态奇次、偶次和短时小于 1 s)和换相缺口——深度(峰值，百分数)、宽度(电角度)、面积(百分数×电角度)；
- c) 超出规定的交流电压不对称度，以其负序分量对正序分量的百分数表示；
- d) 在供电系统规定点的电源短路比  $R_{sc}$  小于 GB/T 3859.2—93 中 6.6.3 所规定的值(最大和最小值)，并包括供电电缆和供电变压器的技术说明。

5.4 负载条件

产品制造厂应在铭牌和相关技术文件中说明所设计、生产的整流器适用的负载。用户和供货方在合同及相关文件中应明确实际负载类型或详细说明使用特点。

5.5 电联结和计算因数

5.5.1 电化学用整流器的主电路联结型式按表 3 选取，其中变压器的阀侧端子应与元件联结中编号相同的端子相联结，并按电压、电流范围推荐采用表 4 规定的电联结型式。

5.5.2 计算因数，表 3 给出的不同电联结型式的电压比，网侧与阀侧电流因数及电压调整率等主电量计算因数，均符合 GB/T 3859.2—93 中 5.3 的规定。

表 4

序号	额定直流电压范围 V	额定直流电流范围 A	电联结方式(按表 3)
1	≤400	≤25000	序号 1a 或 1b 双星形带平衡电抗器联结
2	≤400	≥25000	序号 6 两套双星形带平衡电抗器联结作同相逆并联联结，也包括一般并联联结
3	≥315	≤16000	序号 2 单桥联结
4	≥315	≥12500	序号 4 双桥同相逆并联联结和一般并联联结
5	≥500	≥12500	序号 3，12 脉波双桥联结
6	≥315	≥25000	序号 5 四桥两组同相逆并联联结和一般并联联结
7	≤400	≥50000	序号 7 四套双星形带平衡电抗器联结的两组同相逆并联联结和一般并联联结

5.6 额定值与负载等级

5.6.1 负载等级应按 GB/T 3859.1—93 中 5.6.3.5 规定的 I、II 两个等级(见表 5)中选用，并在产品技术条件中给出。若用户对负载等级未提出要求，一般按 I 级考虑。

表 5 负载等级

等级	负载条件	典型负载日循环曲线
I	100%额定直流电流连续	
II	100%额定直流电流连续 150%额定直流电流 1 min	

5.6.2 额定直流电流，对于 I、II 负载等级，均取 100%的值作为额定直流电流。设备应能在变压器网

侧电压为额定值及规定电压波动范围内,分接开关(如有)的任意位置,相位控制系统(如有)处于规定的控制范围内时,连续输出额定电流。

**5.6.3 额定直流电压**,是供货单位所规定的,对应于额定运行条件的最大连续工作电压。当变压器网侧端子处于交流电网电压的额定值 $\pm 5\%$ 时,设备在额定直流电流下的直流电压应达到额定值。

## 5.7 电压调节

**5.7.1 对二极管整流设备**应在下列方式中选用。

**5.7.1.1 感应调压器调压**,因其功率因数和效率均较低,整流设备的网侧容量在500 kVA以上者不宜采用。

**5.7.1.2 整流变压器的网侧线圈有载分接调压**,调压范围的下限不宜低于60%额定直流电压,有载分接档数一般应不少于13级。如有必要,经供需双方协商同意,可增加 $\Delta/Y$ 无载倒换来扩大调压范围。

**5.7.1.3 有载自耦变压器和普通(双绕组)有载调压变压器分级调压**,一般在调压范围的下限低于40%额定直流电压时使用,有载分接档数一般应不少于27级。双卷有载调压变压器一般在网侧电压高于110 kV时采用。

**5.7.1.4 整流变压器带第三线圈有载分接的串联调压**,网侧电压在35 kV以下及调压范围低于40%时不推荐使用,有载分接档数一般不低于27级。

**5.7.1.5 饱和电抗器细调**分别与上述5.7.1.2或5.7.1.3或5.7.1.4条的有载分接粗调方式联合调压,饱和电抗器细调范围一般应在覆盖大于1级、小于3级分接调压范围内选定。

注:5.7.1.2或5.7.1.3条的调压方式,在用户提出要求时,可以用无载分接调压代替有载分接调压,或与饱和电抗器联合调压。

**5.7.2 对晶闸管整流设备**,应在下列调压方式中选用。

**5.7.2.1 相位控制调压**,调压范围0~100%额定电压,当电网电压为95%额定值以上而直流电流为额定值,应能使直流电压达到额定值,整流变压器网侧绕组有分接要求时,应在产品技术条件中规定。

在没有无功补偿或补偿容量不足的情况下,应考虑将 $\alpha$ 延迟角(稳态)限制在30°以下。

**5.7.2.2 整流变压器网侧无载或有载分接和相位控制联合调压**,分接调压范围低于50%额定值时,分接档数一般应不多于13级,并优先采用无载分接调压。

注:对分期投产或其它需要长时间深控的设备,可以采用整流变压器网侧绕组三角形——星形转换或无载分接自耦调压器,也可采用串联电联结方式。

## 5.8 调压条件下的极限直流电流

**5.8.1 网侧幅值调压条件下的直流电流**,直流电压不高于额定值的直流电流极限值应等于额定值,并应在整个电压调节范围内持续输出额定直流电流。

**5.8.2 相控调压条件下的极限直流电流**,对一般金属电解和食盐电解负载,当输出直流电压不低于60%额定值时,其连续极限直流电流应等于额定值。

当直流电压低于60%额定值时,其极限直流电流值是否下降、视负载情况而定。对电压较高的铝、锌等金属及食盐电解负载,因其感抗与等效电阻的比(L/R)值较大,通常可在额定运行的调压范围内输出额定直流电流。对L/R比值较小的负载,当在用户要求的相控调压范围内,波形因数变化较大时,其极限直流电流输出特性由供需双方协商确定。

## 5.9 技术性能

### 5.9.1 损耗与效率

#### 5.9.1.1 一般说明

电化学用整流器的效率是指功率效率,功率效率又分为整流设备效率和整流装置效率。整流设备效率和整流装置效率应在产品技术条件中给出,并予以保证。当用户提出效率指标要求时,应在合同中作出规定。当合同中对效率指标作了明确规定时,不必再对半导体器件正向(通态)压降提出要求。

效率可以用在额定负载条件下直接测量交流和直流的功率来确定;也可以用短路试验和轻载试验时

测量内部损耗的办法来确定。若合同或有关技术中没有专门说明,则确定效率的方法由测量内部损耗的办法来确定。用户验收时可以用确认测量结果或计算内部损耗的办法验收,并在合同中予以明确。

注:对于大功率整流器推荐采用损耗测量法,不推荐用直接测量法。

### 5.9.1.2 整流装置效率

产品技术条件中规定的整流装置效率不得低于表6所列数值。

表6 整流装置效率

额定直流电压 V	单拍	125	160	200	250	315	400	—	—
	双拍	250	315	400	500	630	800	1000	1250
二极管整流装置 %		98.0	98.3	98.5	98.8	99.0	99.3	99.5	99.6
晶闸管整流装置 %		97.8	98.2	98.4	98.7	98.9	99.2	—	—

注:表中整流装置效率是针对额定直流电流 $\geq 10$  kA的整流装置而言的

### 5.9.1.3 确定整流装置效率应包括的损耗

应包括的损耗:

装置的内部损耗(如半导体器件、熔断器、均压器、均流器、连接母线、阻容缓冲和浪涌电压吸收器的损耗);

永久接入的风机、泵及继电器辅助部件吸收的功率(另有规定者除外);

触发及控制设备(如有)消耗的功率。

### 5.9.1.4 确定整流设备效率应包括和不应包括的损耗按 GB/T 3859.1—93 中 5.7.1 的规定。

### 5.9.2 功率因数

功率因数在产品技术条件中给出,但只有在合同中作出规定时才予以保证,其计算方法应符合 GB/T 3859.2—93 中 5.5 的规定。确定额定功率因数的运行条件应符合 5.6 规定。要求整流器恒电流运行时,功率因数不予保证。

### 5.9.3 直流电压调整值

直流电压调整值只有在合同或技术协议中作出规定时才予以保证,其计算方法应符合 GB/T 3859.2—93 中 5.7 的规定,当用户要求给出直流电压调整值时除在合同或协议中提出要求外,还应由用户提供交流系统的短路容量和阻抗比。确定直流电压调整值的运行条件应符合 5.6 规定。

### 5.9.4 整流器运行时在网侧产生的谐波

整流器运行时在网侧产生的谐波和谐波的影响、计算、测量、限制等参见 GB/T 3859.1—93 中的 5.7.4、5.7、GB/T 3859.2—93 中的 6.6 条、GB/T 10236—88 中的 4.1 条和 GB/T 14549—93。

有关对谐波的要求只有在合同或有关技术文件中作出规定时才予以考虑。

电化学用整流电源系统抑制谐波电流的方法,应以利用适当的变压器联结增加整流脉波数、采用均匀联结、限制相控深度和提高触发脉冲(如有)对称度等技术措施为主。用户可以在订货时按表7选择适当的调压变压器或整流变压器绕组的移相组合方式。必要时,可以在变压器网侧增设交流滤波器。

### 5.9.5 稳定精度

电化学用整流器可以具有内部闭环控制系统或其它用来稳定其输出电流或电压值的环节,只有在合同或协议中提出要求时才予以考虑。

#### 5.9.5.1 稳流:

在产品技术条件规定的最小直流电流至额定电流范围内的任一工作点,当电网电压或负载特性在合同或技术协议中规定的变化范围内变动时,其正常运行时的稳流偏差一般不超过 $\pm 1\%$ 。

#### 5.9.5.2 稳压:

在产品技术条件规定的最小直流电压至额定值范围内的稳定工作点,当电压或负载特性在合同或技术协议中规定的变化范围内变动时,其正常运行时的稳压偏差不得超过 $\pm 1.5\%$ 。

注：在采用有载分接调压和相位控制（包括饱和电抗器控制）系统联合调压的设备中，当自动调节范围较大，仅采用相位控制系统进行调节会引起无功功率和变压器容量较多的增加时，应采用有载分级调节与相位控制调节的自动稳定系统，此时分级调节系统宜限时延迟动作，而相位调节系统宜随即动作。

### 5.9.6 阀器件的联结与均流

#### 5.9.6.1 阀器件的联结

在直流电压额定值等级范围内，电化学用整流器在表 3 常用电联结型式的各整流臂中的整流二极管或晶闸管可采用并联连接，一般不采用串联连接。

注：

- 1 表 3“元件联结型式”栏中所有均匀联结中均表明为整流二极管，这些联结同样也适应于晶闸管；
- 2 表 3 中某些联结编号标明了变压器的各种联结，表示可以任意选择网侧与阀侧联结之间的组合；
- 3 表 3 中序号 5 的联结型式，当两个或两组阀侧绕组联结型式相同时， $P=6$ ；不同时， $P=12$ ；
- 4 表 3 中序号 6 和 7 的联结型式，当单台或数台整流设备并联运行，其网侧只采用星形联结时，则整流变压器可采取带磁分路的五柱铁芯结构的无平衡电抗器六相星形联结方式，其计算因数不变；
- 5 表 3 中序号 1a、1b、6、7 电联结的阀侧同系单拍六脉波双星形平衡电抗器电路，其计算因数相同，仅结构型式不同，后者更适用于较大容量的整流设备及同相逆并联联结方式。
- 6 表 3 中序号 3~8 的  $d_{XTN}/e_{XM}$  比值，其选用取决于变压器一次电抗与二次电抗之比，当变压器一次电抗可忽略不计时取第一个数值，而当其二次电抗可忽略不计时取第二个数值。

#### 5.9.6.2 并联阀器件的均流

电化学用整流器应在保证半导体器件安装压力均匀一致的条件下，采取选配器件参数（正向特性和开通时间）的措施为主，而晶闸管整流器还可以采用强脉冲触发和串联均流电抗器等均衡措施。

电流均衡度  $K_I$  应在产品技术条件中给出并按下式计算

$$K_I = \frac{\sum I_n}{n_p I_{nm}}$$

式中： $\frac{\sum I_n}{n_p}$ ——为支路所分担的电流平均值，A；

$I_{nm}$ ——电流最大的支路电流值，A；

$n_p$ ——并联支路数；

$I_n$ ——第  $n$  条支路电流值，A。

### 5.9.7 噪声

整流器正常工作时所产生的噪声应符合 GB/T 3859.1—93 中 5.7.11 的规定。

### 5.9.8 故障及保护

有关整流器的故障及保护见 GB/T 3859.1—93 中 5.7.8。

**5.9.8.1 故障电流保护。**整流装置的故障短路主要由器件击穿或晶闸管误通、穿通和换相故障等整流器本身故障所引起，应采取在并联支路串联快速熔断器与所采用的整流器件降低容量使用相配合的措施进行保护，这些措施应能在一个支路发生短路时，保证其它非故障并联支路元件完好无损。

**5.9.8.2 过电压保护**应符合 GB/T 3859.1—93 中 5.7.8.3 的规定。

#### 5.9.8.3 故障指示

整流器应设有区分故障性质的声光指示信号。

**5.9.8.3.1 设备**应能在下列情况下发出紧急处理或切断电源的事故音响报警和灯光及接点指示信号，其动作整定值在产品技术条件中给出。

- a) 冷却媒质或热转移媒质中断（带时限延迟动作）；
- b) 直流电流严重过载，电流超过上限整定值；
- c) 整流臂内器件损坏或断开的并联支路数超过规定值（若有）。

**5.9.8.3.2 设备**应能在下列情况发出预告音响报警及接点、灯光指示信号，其动作整定值在产品技术条

件中给出。

- a) 直流电流轻度过载, 电流超过下限整定值;
- b) 冷却系统温度过高;
- c) 元器件损坏或断开支路数在事故动作规定值以内;
- d) 冷却系统进口液压或出口风压低于规定值;
- e) 接地保护(若有)动作;
- f) 过电压保护(若有)动作;
- g) 母线温度保护(若有)动作。

#### 5.9.9 温升

整流器各部分温升应符合 GB/T 3859.1—93 中表 14、表 15 和有关元器件及部件标准的规定。

#### 5.9.10 部件与辅助设备(含零部件加工与安装)

5.9.10.1 组成整流器的元器件、部件, 外购件和辅助设备应符合其本身的技术条件, 并附有产品合格证明; 外购件中电压表和电流表的精度应不低于 1.5 级; 直流电流测量装置的精度应不低于 0.5 级、防磁性能不低于 3 级。

#### 5.9.10.2 零部件加工和安装

包括一般零件制造、表面处理、主电路连接、控制系统配置、二次配线与电器元件安装的质量, 应符合相关标准及产品技术条件的规定。

#### 5.10 整流器的并联或串联运行

##### 5.10.1 并联运行

5.10.1.1 没有并联直流电压调节措施的单元, 对同一制造厂若干台同型号、同规格的整流装置或设备作并联运行时, 应使各台装置或设备在对称位置作并联连接, 由同一交流电源供电, 并在相同条件下运行。此时, 当在 92% 额定总负载时, 每台装置或设备分担的直流电流与负载电流平均分配值之差应在  $\pm 8\%$  以内, 设备应能按 5.6 条承受额定过载电流。

5.10.1.2 有并联直流电压调节措施的单元, 对同一制造厂具有相同并联调压措施的若干台同型号、同规格整流设备作并联运行时, 如并联的其它条件与 5.10.1.1 相同, 则在 96% 额定总负载时, 各设备分担的电流与负载电流平均分配值之差应在  $\pm 4\%$  以内。设备应能按 5.6 条承受额定过载电流。

5.10.1.3 若整流设备需要在直流侧与具有类似特性的其它直流电源作并联运行时, 供需双方应在合同或协议中, 对负载分配的要求作出规定。

##### 5.10.2 串联运行

当设备或装置串联运行时, 则必须采取保护措施, 使各串联单元均在其额定电压范围内运行。

串联运行时, 对地电压可能显著高于两端子之间的电压, 应以此考虑装置的绝缘并进行试验。

#### 5.11 冷却

##### 5.11.1 冷却方式

- a) 自冷;
- b) 风冷: 直接风冷, 密闭风循环水冷;
- c) 液冷: 直接流水冷却, 强迫水循环水冷, 强迫水循环风冷, 强迫油循环水冷和强迫油循环风冷。

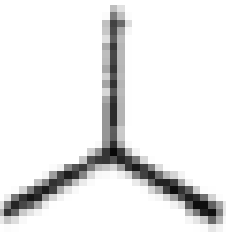
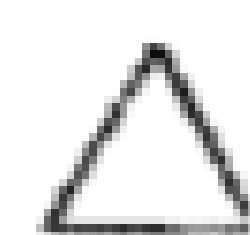
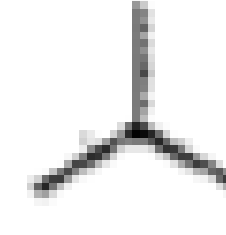
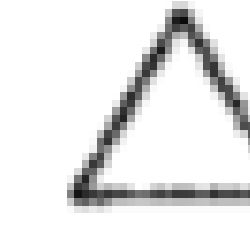
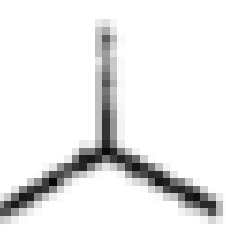
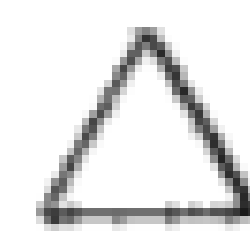
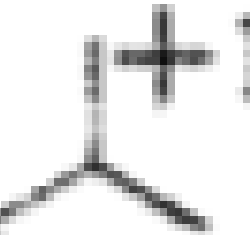

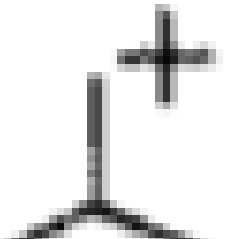
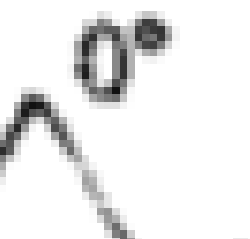
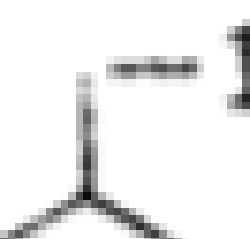
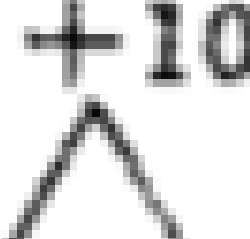
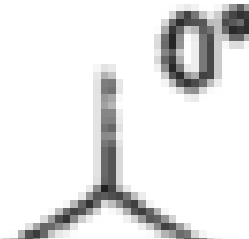
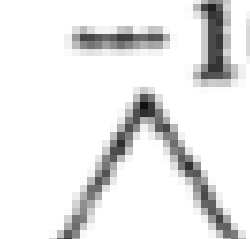
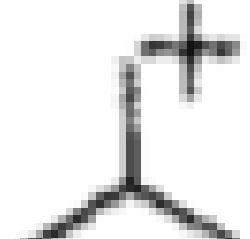
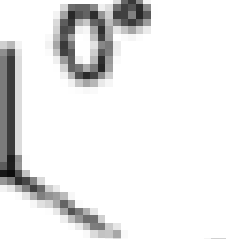

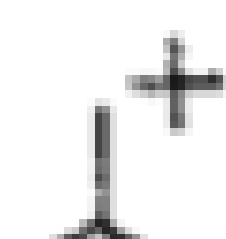
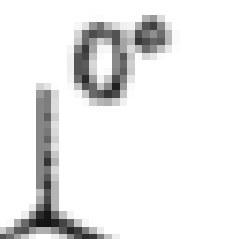
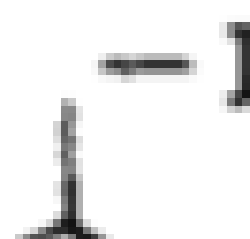
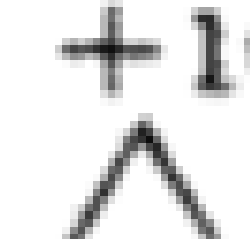
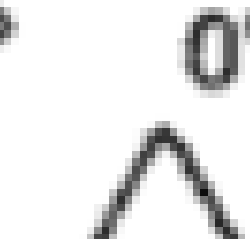

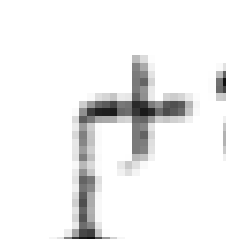

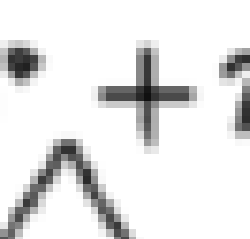

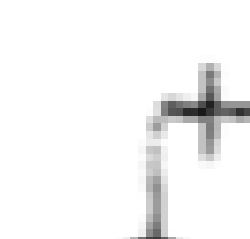
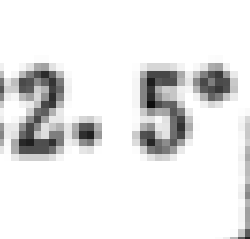

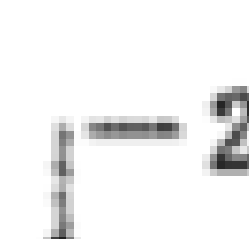
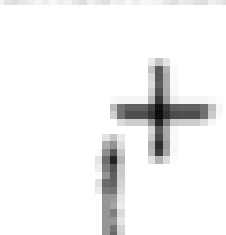

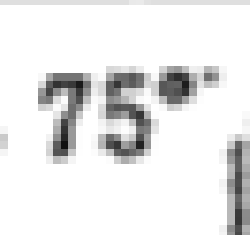




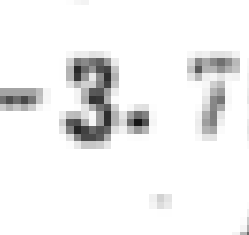
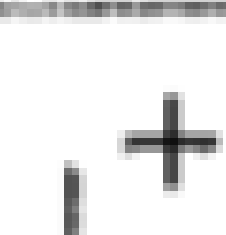





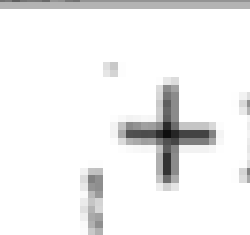







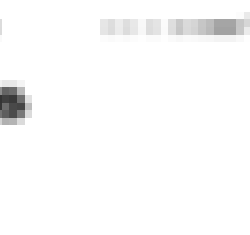



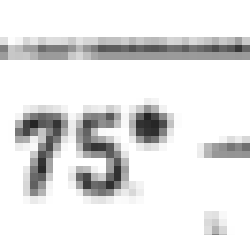

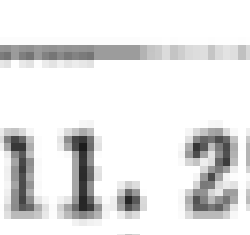
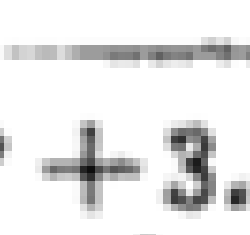
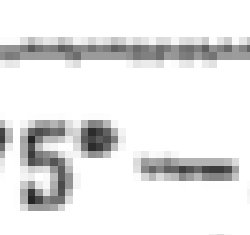

##### 5.11.2 冷却液

5.11.2.1 自然水, 仅限于低压设备使用, 其水质要求如下:

- a) 酸度(pH 值): 6~9;
- b) 硬度(以碳酸钙计): 低于 450 mg/L;
- c) 电阻率: 不低于 10  $k\Omega \cdot cm$ 。



表 7

整流设备 台数	整流 相数	相位差	网 侧 移 相 组 合	备 注
1	6	60°	 或 	—
1	12	30°	 , 	网侧或网侧组合 单台 12 相
2	12	30°	 ,  或  , 	—
3	18	20°	 ,  ,  或  ,  ,  或  ,  , 	—
3	36	10°	 ,  ,  或  ,  , 	单台 12 相
4	24	15°	 ,  ,  ,  或  ,  ,  , 	—
4	48	7.5°	 ,  ,  ,  或  ,  ,  , 	单台 12 相
5	30	12°	 ,  ,  ,  ,  或  ,  ,  ,  , 	—
6	36	10°	 ,  ,  ,  ,  , 	—
8	48	7.5°	 ,  ,  ,  ,  ,  ,  , 	—

5.11.2.2 循环水，大功率整流器应采用去离子循环水作为热转移媒质，其水质按直流电压等级要求如下：

- a) 酸度(pH 值)：6~8；
- b) 硬度(以碳酸钙计)：低于 0.03 mg/L；
- c) 电阻率：见表 8。

表 8

电压等级	100~315 V	>315~630 V	>630~1250 V
电 阻 率	$\geq 50 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$	$\geq 100 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$	$\geq 1000 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$

- 5.11.2.3 用于循环冷却的绝缘液应符合 GB 2536—90 的技术要求。
- 5.11.2.4 当设备中的冷却水在停止运行期间或户外式设备有冰冻可能时，应采用防冻措施，例如，采用带加热器的循环装置或在整流器柜内设置加热器等措施。
- 5.11.2.5 液体系统管路应能在额定工作液压下保证流量不小于产品技术条件的规定值，以两倍于额定值的液压试验 30 min，应无渗漏现象。

5.12 结构

整流器柜及控制柜的结构尺寸一般应符合 GB 3047—82 的规定，对部分超出标准尺寸范围的大型整流器或户外式等特殊结构型式的整流设备可参照标准进行扩展。柜的结构一般可采取封闭或密封结构。为降低损耗和阻抗压降，大中型装置应采取防磁结构且与变压器之间尽可能缩短网侧联结母线的结构型式，并推荐两者靠近安装的户内或户外式变压整流装置的组合结构型式。

5.13 柜壳接地

整流主电路柜体的柜壳是否绝缘安装，用户应在合同中明确提出。若未提及视为柜壳接地安装，对于接地安装的柜壳，用户应将柜壳可靠接地。

#### 5.14 外壳防护与防触电保护

对于外壳防护等级和防触电保护要求只有在合同或技术协议中作出规定时才予以考虑。对无外壳整流装置，用户应在安装现场设置防护措施，并保证室内环境符合正常使用的环境条件。

#### 5.15 质量保证

在使用单位遵守保管、使用、安装和运行规则的条件下，自安装之日起 12 个月内，但不超过制造厂发货日起 18 个月，产品因制造质量不良而发生损坏和不能正常工作时，制造厂有责任为使用单位免费修理或更换零部件。

### 6 检验及试验

#### 6.1 型式试验

型式试验是全面考核产品性能和质量、验证产品是否符合技术要求的一种试验。在下列情况下，应进行型式试验。

- a) 试制的新产品；
- b) 当产品的设计、工艺或所用材料的改变会影响产品的性能保证时；
- c) 不经常生产的产品再次生产时；
- d) 批量生产的产品，每隔五年进行一次抽试；
- e) 同一技术或同一设计转厂生产时。

批量生产抽试的产品不得少于两台，试验时有一台一项不合格者，允许返修复试、复试仍不合格，则该批产品为不合格品，必须在消除缺陷并通过试验后方能继续生产。

#### 6.2 出厂试验

为了考核产品的性能，保证产品性能符合型式试验中相应的试验要求，组装后的产品必须逐台进行出厂试验。

出厂试验合格后，应给予出厂试验合格证明。

出厂试验时，有一项不合格者，则允许返修复试，复试合格后方可给予出厂试验合格证明。

#### 6.3 试验项目

电化学用整流器的出厂和型式试验的项目见表 9。

注：对选做项目，用户要求时才予以实施，并在合同中规定。

#### 6.4 试验方法

##### 6.4.1 一般检验

按 5.9.10 条和 GB/T 3859.1—93 中 6.4.19 的规定进行，元器件检验包括：检查装置所用的晶闸管、二极管各种电器元件的型号、规格和合格证记录，均应符合相关标准或技术条件的规定。

若装置中有并联的晶闸管、二极管，应检查其电气性能参数（以表格形式附于产品出厂合格证书）是否齐全。

##### 6.4.2 绝缘试验

按 GB/T 3859.1—93 中 6.4.1 的规定在室温条件下进行。

##### 6.4.3 轻载试验

按 GB/T 3859.1—93 中 6.4.2 的规定进行，且整流装置在直流侧开路或轻载下，须承受 110% 的额定阀侧电压 10 min，应无任何异常现象。

表9 电化学用整流器的试验项目

序号	试 验 项 目	型 式 试 验	出 厂 试 验	选 做 试 验	试 验 方 法
1	一般检验	✓	✓		6.4.1
2	绝缘试验	✓	✓		6.4.2
3	轻载试验	✓	✓		6.4.3
4	低压全电流试验	✓	✓		6.4.4
5	均流试验	✓	✓		6.4.5
6	损耗功率测量	✓			6.4.6
7	温升试验	✓			6.4.7
8	负载试验			✓	6.4.8
9	辅助装置的检验	✓	✓		6.4.14
10	保护系统的检验	✓			6.4.13
11	过载能力试验	✓			6.4.10
12	控制设备性能检验	✓	✓		6.4.12
13	稳定度试验	✓			6.4.15
14	冷却系统检验	✓	✓		6.4.11
15	音频噪音测量	✓			6.4.16
16	特殊使用条件下的性能			✓	6.4.17
17	设备的并联(若有)运行试验			✓	
18	谐波测量			✓	6.4.18

**6.4.4 低压全电流试验**

按 GB/T 3859.1—93 中 6.4.3 的规定进行。在作型式试验和出厂试验时，通过试验变压器降压，将整流器直流侧短接，使整流器在低电压下通过额定直流电流。

**6.4.5 均流试验**

按 5.9.6 和 GB/T 3859.1—93 中 6.4.9 的规定进行。在作型式试验和出厂试验时，按低压全电流试验方法进行。均流试验时，整流器电流应达到额定值。

**6.4.6 损耗功率试验**

按 5.9.1 和 GB/T 3859.1—93 中 6.4.5 的规定进行。

**6.4.7 温升试验**

按 5.9.9 和 GB/T 3859.1—93 中 6.4.6 的规定进行。

**6.4.8 负载试验**

按 GB/T 3859.1—93 中 6.4.4 的规定进行，当制造厂不具备试验条件时，可在用户现场工业运行试验中进行，并在合同中规定。

**6.4.9 功率因数测定**

按 GB/T 3859.1—93 中 6.4.7 的规定进行。

**6.4.10 过载能力试验**

过载能力试验是负载试验，在规定的時間间隔施加规定的短时过电流值，记录所规定的电压和电流值。按 GB/T 3859.1—93 中 6.4.10 的规定进行。

**6.4.11 冷却系统检验**

按 5.11 和 GB/T 3859.1—93 中 6.4.19.4 的规定进行。



**6.4.12 控制设备性能检验**

按 GB/T 3859.1—93 中 6.4.12 的规定进行。

**6.4.13 保护系统检验(含过流保护检验)**

按 5.9.8 和 GB/T 3859.1—93 中 6.4.13 的规定进行。

**6.4.14 辅助装置检验**

按 GB/T 3859.1—93 中 6.4.11 的规定进行。

**6.4.15 稳定度性能试验**

按 5.9.5 和 GB/T 3859.1—93 中 6.4.18 的规定进行。

**6.4.16 音频噪声测量**

按 GB/T 3859.1—93 中 6.4.16 规定的方法测量

**6.4.17 特殊使用条件下的性能检验**

按合同或有关技术文件的规定进行。

**6.4.18 谐波测量**

按 5.9.4 和 GB/T 14549 中规定的方法测量。

**7 允差**

当对整流器的某些参数提出保证值时,其允差应符合 GB

**8 标志、包装、运输、贮存**

标志、包装、运输、贮存应符合 GB/T 3859.1—93 中第 8 章中的规定。

## 直流电压和电流、电压安全系数的计算

## A1 直流电压的计算

对于六脉波均匀联结, 直流电压  $U_d$  可用如下公式计算:

$$U_d = U_{di} \times \cos \alpha - U_{TO} - (U_{drN} + U_{dxN}) \times \frac{I_d}{I_{dN}}$$

式中:  $U_{di} = U_{vo} \times 3 \sqrt{2} / \pi = 1.35 U_{vo}$  (适用于三相桥式电路)

$U_{di} = U_{vo} \times 3 / \sqrt{2} \pi = 0.675 U_{vo}$  (适用于双星形电路)

$U_{di}$ ——理想空载直流电压, V;

$U_{vo}$ ——变压器阀侧电压, V;

$\alpha$ ——控制延迟角;

$U_{TO}$ ——任何电流通路上, 所有串联联结阀器件门槛电压之和, V;

$I_d/I_{dN}$ ——直流电流标么值;

$U_{drN}$ ——额定电流下阻性直流电压调整值, V。

$$U_{drN} = \frac{P_{rN}}{I_{dN}}$$

式中:  $P_{rN}$ ——电路电阻在额定负载下的功率损耗(包括阀器件、交直流母线, 平衡电抗器和变压绕组的损耗), W;

$U_{dxN}$ ——额定电流下感性直流电压调整值(主要是变压器漏抗和电源系统感抗产生的电压调整值), V。

$$U_{dxN} = \frac{\pi}{6} \times \frac{I_{dN} \times U_{di}^2}{S_{com}}$$

式中:  $\frac{1}{S_{com}} = \frac{e_{xN}}{S_{tN}} + \frac{X_L}{U_{iN}^2} + \frac{1}{S_C}$

$e_{xN}$ ——变压器短路电压感性分量百分值;

$S_{tN}$ ——变压器额定表观容量, MVA;

$S_C$ ——电源短路容量, MVA;

$X_L = 2\pi f_{iN} L$ ,  $\Omega$ ;

$L$ ——电网感抗, H;

$S_{com}$ ——换相臂交流端子处计算的短路容量, MVA;

$U_{iN}$ ——网侧额定线电压, kV。

## A2 电流安全系数计算

电流安全系数  $K_{CI}$  是指稳态运行条件下, 整流器件结温在额定结温下允许通过的电流值与额定电流下实际通过的电流值之比。

$$K_{CI} = \frac{n_p K_I K_F I_T}{I_{dp}}$$

式中:  $I_{dp}$ ——臂电流平均值, A;

$I_T$ ——整流器件以冷却媒质最高温度为基准, 在额定工作结温下的平均正向(通态)电流, A;

$K_I$ ——均流系数;

$K_F$ ——电路波形系数；

$n_s$ ——并联元件只数。

### A3 电压安全系数的计算

电压安全系数  $K_V$  按下式计算

$$K_V = \frac{U_{RRM}}{U_{ARM}} (1 - K_b \%)$$

式中： $U_{RRM}$ ——整流器件重复反向（断态）峰值电压，V；

$U_{ARM}$ ——整流臂反向电压峰值，V；

$K_b \%$ ——电网电压上波动系数（百分比）。

中 华 人 民 共 和 国  
机 械 行 业 标 准  
电 化 学 用 整 流 器  
JB/T 8740—1998

\*

机械科学研究院出版发行  
机械科学研究院印刷  
(北京首体南路2号 邮编 100044)

\*

开本 880×1230 1/16 印张 X/X 字数 XXX,XXX  
19XX 年 XX 月第 X 版 19XX 年 XX 月第 X 印刷  
印数 1—XXX 定价 XXX.XX 元  
编号 XX—XXX

机械工业标准服务网: <http://www.JB.ac.cn>

[www.bzxz.net](http://www.bzxz.net)

免费标准下载网