

本标准参照采用国际电工委员会 IEC 92—304 号出版物《船舶电气设备 设备——半导体变流器》(1980 年版)。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了船用半导体变流器(以下简称变流器)的技术要求、试验方法和检验规则等。

本标准适用于半导体整流二极管、各种类型的晶闸管以及其他电力电子器件所构件的船用静止变流器。

变流器可以是交流变直流、直流变交流、直流变直流及交流变交流。

2 引用标准

- GB 156—80 额定电压
- GB 762—80 电气设备 额定电流
- GB 1980—80 电气设备额定频率
- GB 2900·33—82 电工名词术语 变流器
- GB 3859—83 半导体电力变流器
- GB 6994—86 船舶电气设备一般规定
- GB 7677—87 半导体直接直流变流器
- GB 7678—87 半导体自换相变流器
- GB 10250—88 船舶电气与电子设备的电磁兼容
- JB 1505—75 半导体电力变流器型号编制办法
- CB 1146.2—85 船舶设备环境试验方法 试验 A:低温
- CB 1146.3—85 船舶设备环境试验方法 试验 B:高温
- CB 1146.5—85 船舶设备环境试验方法 试验 Db:交变湿热
- CB 1146.8—85 船舶设备环境试验方法 试验 Ee:倾斜与摇摆
- CB 1146.9—85 船舶设备环境试验方法 试验 Fc:振动
- CB 1146.11—85 船舶设备环境试验方法 试验 J:长霉
- CB 1146.12—85 船舶设备环境试验方法 试验 Ka:盐雾
- CB 1146.15—85 船舶设备环境试验方法 试验 R:外壳防水

3 术语

本标准直接使用 GB 2900.33、GB 3859、GB 7677、GB 7678 及 GB 6994 中规定的术语和定义。

4 型号、基本参数

4.1 型号

变流器的产品型号,应符合 JB 1505 的规定。

4.2 基本参数

- 4.2.1 变流器的额定输入电压等级应符合 GB 156 中有关受电设备额定电压的规定。
- 4.2.2 变流器的额定输出电压等级应符合 GB 156 中有关供电设备的额定电压的规定。
- 4.2.3 变流器的额定输出电流等级应符合 GB 762 的规定。
- 4.2.4 变流器的额定输出频率应符合 GB 1980 的规定。
- 4.2.5 变流器的输出波形为直流或交流,其波形的具体指标应在产品技术文件中给出。

5 技术要求

5.1 使用条件

除非另有说明,变流器在下述条件下应能正常工作。

5.1.1 环境条件

5.1.1.1 环境空气温度

高温:55℃;

低温:-10℃。

5.1.1.2 倾斜、摇摆

横倾:22.5°;横摇:22.5°;

纵倾:10°;纵摇:10°。

5.1.1.3 船舶正常营运中所产生的振动和冲击。

5.1.1.4 潮湿空气、盐雾、油雾和霉菌。

5.1.2 输入电源

5.1.2.1 电压波动范围

直流电源的电压变化为额定电压的+6%~-10%;

交流电源的电压变化为额定电压的+6%~-10%,频率变化为额定频率的±5%;

蓄电池电源的电压变化为额定电压的±20%。

5.1.2.2 直流电压纹波的峰-谷值不超过额定值的15%。

5.1.2.3 波形为正弦,波形畸变率不大于5%。

5.1.2.4 电压对称度

多相系统的电压,负序分量或零序分量不超过正序分量的5%。

不同脉波数均匀联结的变流器,在不同的可接受的波形最大畸变时,所要求的最低短路比(R_{sc})见表1。

表 1

可接受的最大畸变 %	短 路 比 R_{sc}				
	$P^{13}=6$	$P=12$	$P=18$	$P=24$	$P=36$
1.5	230	150	120	100	70
3	115	75	60	50	35
5	70	45	35	30	20
8	45	30	22	18	13

注:1) P 为脉波数。

5.2 主电路联结方式、计算因数和标记符号

变流器主电路的联结方式、计算因数和标记符号,按 GB 3859 中第 4.3 条的规定。

5.3 性能

本标准给出变流器应考核的技术性能项目和有关计算方法、具体参数值应在产品技术文件中予以规定。

5.3.1 功率效率

变流器的功率效率为输出功率与输入功率之比,即:

$$\text{功率效率} = \frac{W_2}{W_1} \dots\dots\dots(1)$$

式中: W_1 ——变流器的输入功率, W 或 kW;

W_2 ——变流器的输出功率, W 或 kW。

5.3.2 额定条件下的电压调整率

5.3.2.1 总电压调整率

变流器的总电压调整率 d_{ZN} 包括固有电压调整率 d_{PN} 和交流系统阻抗产生的直流电压调整率 d_{LN} 两部分,即:

$$d_{ZN} = d_{PN} + d_{LN} \dots\dots\dots(2)$$

总电压调整率只有在有关技术文件或合同中提出要求,并给出交流系统的短路容量及阻抗比时才予以保证。

5.3.2.2 固有电压调整率

变流器的固有电压调整率 d_{PN} 是由变流变压器、电抗器等装置以及半导体元件的直流电压降引起的电压调整率。

固有电压调整率应在技术文件中给出,但只有在技术文件或合同中作出规定时才予以保证。

$$d_{PN} = \frac{U_{d0} - U_{dN}}{U_{d0}} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

式中: U_{d0} ——变流器的约定空载直流电压, V;

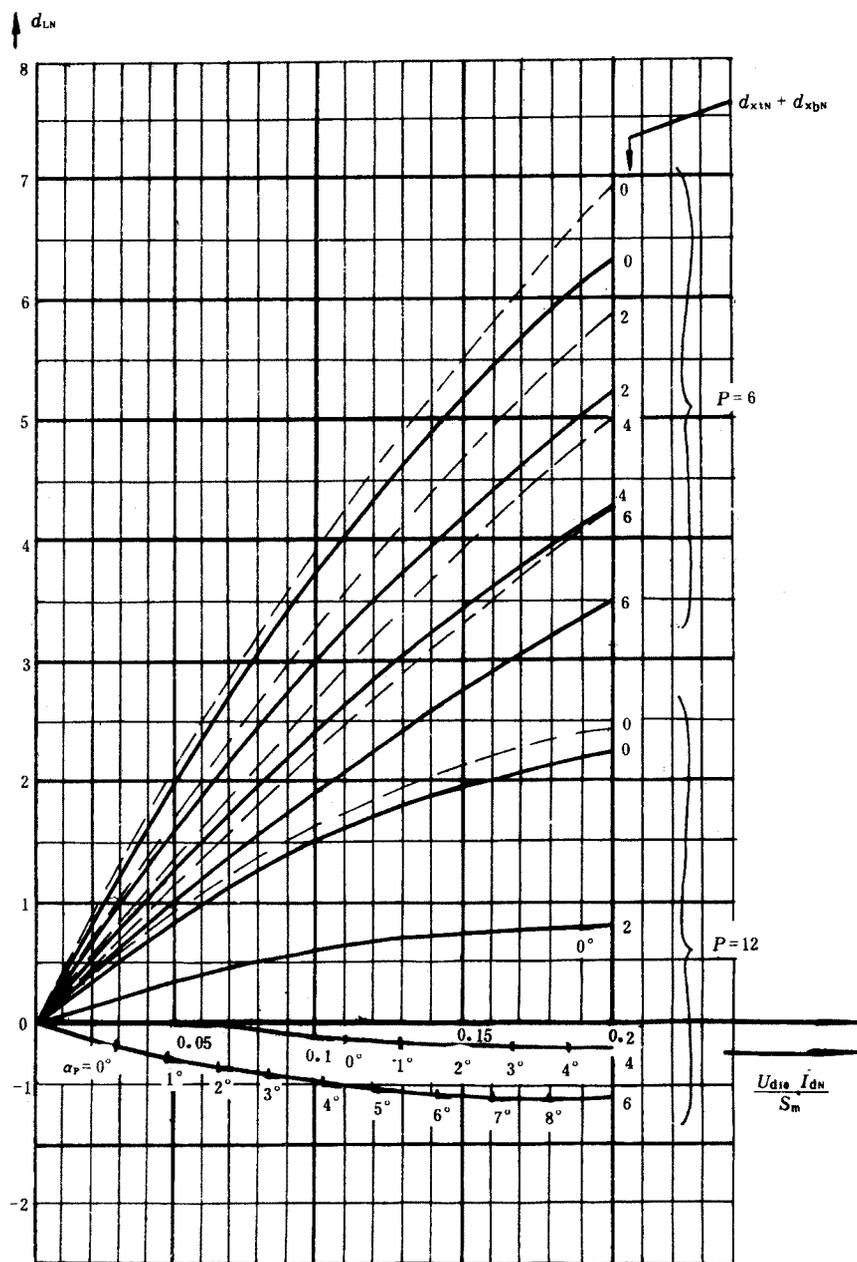
U_{dN} ——变流器的额定直流电压, V;

U_{d0} ——变流器的理想空载直流电压, V;

详细计算方法见 GB 3859 中 4.5.2.2 款。

5.3.2.3 交流系统阻抗所产生的直流电压调整率

变流器交流系统的阻抗所产生的直流电压调整率 d_{LN} , 可由计算法和测定法来确定。图 1 是由计算给出的 d_{LN} 。



——表示交流电网的电阻对电抗之比等于零时。
 -----表示交流电网的电阻对电抗之比等于 0.2 时。

图 1 $d_{LN} = f\left(\frac{U_{dio} I_{dN}}{S_m}, d_{xtN} + d_{xbN}\right)$ 关系曲线

S_m —交流系统的短路容量, VA; U_{dio} —理想空载直流电压, V; I_{dN} —变流器额定直流电流, A;
 P —脉波数; α_p —固有延迟角; d_{xtN} —交流变压器及平衡电抗器所产生的感性直流电压调整率;
 d_{xbN} —电抗器在额定电流下产生的感性直流电压调整率

5.3.3 功率因数

变流器功率因数为网侧有功功率与表观功率之比。

功率因数应在技术文件中给出,但只有在合同或其他技术协议提出要求时才予以保证。在给出功率

因数时,如无其他规定,一律取额定输出条件下的数据。

变流器的功率因数 λ 与延迟角(包括固有延迟角)、交流侧(包括阀侧、网侧)感抗及电流波形有关。前两个因数可用位移因数 $\cos\phi$ 来反映,最后一个因数可用畸变因数 ν 来反映。它们的关系用式(4)表示:

$$\lambda = \nu \cos\phi \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中: ν 和 $\cos\phi$ 应按 GB 3859 中 4.5.3 条的有关规定确定。

5.3.4 电流、电压的均衡度

5.3.4.1 电流均衡度(均流系数)

变流器各并联支路稳态电流均衡度 K_i 用式(5)表示:

$$K_i = \frac{\sum I_n}{n_p I_{nM}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中: $\frac{\sum I_n}{n_p}$ ——各并联支路元件所分担的电流平均值, A;

n_p ——并联支路数;

I_n ——第 n 个并联支路元件所承担的正向平均电流, A;

I_{nM} ——各并联元件中分担最大电流份额的元件所承担的正向平均电流, A。

5.3.4.2 电压均衡度(均压系数)

变流器串联电路各元件之间的稳态电压均衡度 K_u 用式(6)表示:

$$K_u = \frac{\sum U_m}{n_s U_{mM}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中: $\frac{\sum U_m}{n_s}$ ——串联元件承受正(反)向峰值电压的平均值, V;

U_m ——串联元件所承受的正(反)向峰值电压, V;

n_s ——电路中的串联元件数;

U_{mM} ——串联元件中分担最大电压份额的元件所承受的正(反)向峰值电压, V。

5.3.5 静态与动态特性

变流器可以具有内部的闭环控制系统或其他用来稳定其输出量(例如:电压、电流、功率)的装置。

若变流器具有内部闭环控制系统(其基准值可以由电的、机械的或其他方式引入),则应将变流器的稳定系统视作变流器的一部分。此时应在技术条件中明确规定其稳定特性。

若变流器是外部闭环系统的一部分,引入变流器的是来自该环的控制信号,此时可以将变流器看作是外部闭环系统(成套装置)的一个放大器。

5.3.5.1 静态特性

稳定装置的静态特性是指当稳定值或对抗量突然变化所引起的暂态过程消失之后方起作用的特性。

若变流器具有内部稳定装置,应针对所有对抗量,如网侧电压、交流系统条件、负载特性的规定变化范围来确定静态特性。变流器的稳定量的整定范围应在技术条件中给出。

若变流器是外部闭环系统的一个部分,静态特性乃指针对某些量在指定条件下的输入讯号与变流器输出量之间的关系而言。所谓某些量是指可能影响上述关系的各量(如网侧电压、交流系统条件、负载特性)而言。

无论是具有内部闭环控制系统的变流器,或者是作为外部闭环控制系统一个部分的变流器,其稳定精度均按式(7)计算:

$$\text{稳定精度} = \frac{\text{输出量极限值} - \text{规定值}}{\text{规定值}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

5.3.5.2 动态特性

稳定装置的动态特性用装置对阶跃变化量的响应时间或频率来表示,也可以用制造厂和用户之间协商一致的任何方式来表示。

有关动态特性的规定只限于对输出量具有显著影响的量的变化,特别是带定值或控制信号的变化,以及负载的变化。对输出量影响不大的变化可不考虑。

5.3.6 保护

变流器的半导体元件,除了设置一般过电流保护之外,还应考虑故障电流保护和过电压保护措施。

5.3.6.1 故障电流保护

故障电流保护措施包括下列三种类型和它们的合理组合,即:

- a. 降低半导体元件的使用容量;
- b. 采用限时器件;
- c. 采用限流器件

故障电流保护措施的选择,取决于预期的故障电流类型、为使变流器重新工作而采用的办法、安全的经济效果以及保护装置的造价等。

变流器的故障短路有内部短路和外部短路两种。前者乃由换相故障、直通、失通和击穿等变流器本身的故障所引起,其短路电流一般由交流电源供馈,但在某些情况下,例如当双变流器在反电势下作逆变运行时,其内部短路电流由交流电网和直流电路同时供馈。此时,其保护措施应作相应考虑。对外部短路采取保护措施时,应区别下列不同情况:

- a. 短路阻抗与变流器内部阻抗相比可以忽略不计的短路情况,即完全短路;
- b. 短路阻抗大到足以限制故障电流时的情况,即有限的短路;
- c. 负载的支路中发生短路情况(该支路额定直流电流比馈电变压器容量小得多,且具有单独保护器件),称支路短路。

设计变流器时,应针对在运行过程中可能发生的短路形式以及要求变流器恢复正常运行所采用的方法(如有),选取适当的保护措施,供方应在合同或有关技术文件中按上述概念详细说明所采用的措施是针对哪一种故障电流的。

5.3.6.2 过电压保护

由于变流器中的半导体器件对过电压的耐受能力很小,必须注意过电压保护装置与电力半导体器件的电压容量相匹配。

变流器的过电压保护措施,取决于预期的变流器内部浪涌电压和外部浪涌电压。内部浪涌电压乃由诸如熔断器熔断、残留空穴复合现象之类的原因所引起,这类电压一般是可以在设计变流器时加以控制。外部浪涌电压乃是由大气放电、断路器操作、负载通断等原因引起,出现于交流网侧或直流侧的浪涌电压。

为上述过电压采取的措施主要有下列几种类型:

- a. 分合闸引起的过电压保护;
- b. 快速开关引起的过电压保护;
- c. 换相过电压保护;
- d. 大气过电压保护

变流器过电压保护装置应能保护变流器免受可能出现的各种浪涌电压之害而安全工作。对于频繁承受非周期浪涌电压的变流器,以有过电压保护装置有其他特殊要求的变流器,应在合同或有关技术文件中说明。

5.3.7 电磁兼容

变流器的电磁兼容应符合 GB 10250 中 B 组设备的规定。

5.3.8 噪声

在技术文件中应按变流器在船舶上的具体安装场所规定合适的指标。

5.3.9 外壳防护形式

变流器的外壳防护形式一般为 IP23。特殊要求应在产品技术文件中另行规定。

5.3.10 其他指标

其他指标的具体要求应在产品技术文件中予以规定。

5.4 结构与安装

5.4.1 可接近性

变流器的组件或半导体元件,应安装成可从装置中取出而无需拆开整个装置。

5.4.2 冷却方式

变流器的冷却方式最好是干式空气冷却。

5.4.3 安装

5.4.3.1 变流器的组件或设备应使进出于组件、配套设备或外壳(如有)的循环冷却空气不会受到阻碍,进入变流器组件的冷却空气温度不应超过该组件元件所允许的环境温度。

空气自冷式箱体应设计成有足够的通风口,对于全封闭式变流器应具有足够的辐射表面,以使其运行温度不超过允许的限度。

5.4.3.2 变流器组件及其配套设备不应安装在电阻器、蒸气管、发动机排气管等热辐射源的附近。

5.5 应用

5.5.1 强迫冷却

采用强迫冷却的变流器,其电路应设计成如果不能保持有效冷却的话,则功率就不能加到或保持在变流堆上。

5.5.2 与电源或负载系统的相互影响

5.5.2.1 应采取预防措施,防止因电源或负载系统扰动而引起过电流或过电压(若负载能反馈运行的话,则还包括反馈功率)对变流器的有害影响。

5.5.2.2 应采取预防措施,防止变流器本身扰动对电源和负载系统的有害影响。

5.5.3 图

变流器应有示意图和接线图,或应附有说明书。

6 试验方法

6.1 一般检查

6.1.1 元器件检查

检查变流器所用的晶闸管、整流管、各种电器零件的型号、规格和合格证记录,均应符合有关标准或技术条件的规定。

若变流器中有串并联的晶闸管、二极管,应检查这些晶闸管、二极管的电气性能参数(以表格形式附于产品出厂合格证书)是否齐全。

6.1.2 柜体检查

变流器柜体结构的外形尺寸、焊缝、安装孔距等均应符合有关标准或技术文件的规定。金属零件镀层、紧固零件(螺钉、螺帽、垫圈)的安装等均应符合有关标准或技术文件的规定。

6.1.3 装配检查

变流器的电器元件安装,在正常使用情况下,不应危害人身的安全。易损件应便于更换和维修。

变流器主电路电器元件与螺母的连接、母线相序排列和漆色、线端标志等应符合有关标准或技术文件的规定。

二次回路的配线、焊接、接插件、标志和编号等均应符合有关标准和技术文件的规定。

6.1.4 冷却系统的检验

对液冷系统,施加二倍额定值的水压,保持 30 min,应无渗漏现象。油浸式的油箱,施加 35 ± 5 kPa

的油压,保持 12 h,应无渗漏和油箱变形现象。

对冷风系统应检查风道、过滤器等组成部分的安装运行情况。

6.2 绝缘试验

6.2.1 绝缘电阻测量

在绝缘试验前,用 500 V 直流高阻计测量受试部分的绝缘电阻,在环境温度为 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 90% 时,其数值不应小于 $1\text{ M}\Omega$ 。

6.2.2 介电强度试验

6.2.2.1 试验方法

变流器应施加按式(8)计算的工频电压,历时 1 min:

$$U_p = 2 \times \frac{U_m}{\sqrt{2}} + 1\,000 \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中: U_p ——绝缘试验电压有效值, V; 不小于 2 000 V。但当 $\frac{U_m}{\sqrt{2}}$ 不大于 90 V 时,可以取 1 000 V;

U_m ——任何一对端子之间的空载最高峰值电压, V; 如果任一端子对地电压高于此值(例如变流器作串联连接时),则应取较高电压值。

当变流器不便施加交流试验电压时,则可以施加与上述规定峰值电压相等的直流试验电压。

试验电压可取 15~100 Hz 的任何频率,试验电压上升至全电压值的时间应不小于 10 s; 或者由全值的 50% 开始,以每级为全值的 5% 的有级调节方式上升至全值,到达全值后维持 1 min 应无击穿或闪络现象。

6.2.2.2 主电路系统的介电强度试验

试验时,应使变流装置的主端子以及所有半导体器件的阳极、阴极和门极诸端子连接在一起,主电路中的开关器件和控制装置应处于闭合状态或被短路,按 6.2.2.1 条的规定,将介电强度试验电压施加于变流装置中连接在一起的端子和柜体之间进行试验。

6.2.2.3 辅助装置的介电强度试验

辅助装置(例如系统的控制装置、风机、测量仪表)若与主电路系统有电气上的连接,或者虽无电气上的连接但其绝缘破坏时可能有电压通至未与柜体连接的人体易接近部件,或可能有高压侧电位通至低压侧,以及可能引起主电路故障跳闸(例如在辅助变压器、脉冲变压器、饱和电抗器、测量变压器中可能发生此类情况),这时,辅助装置应与主电路系统一起,经受 6.2.2.1 条规定的试验电压试验。

除上述情况外,辅助装置的介电强度试验电压一般低于 6.2.2.1 条规定的试验电压,其值可按有关辅助装置标准规定。试验时,试验电压施加于辅助装置中连接在一起的端子与柜体之间,在进行主电路介电强度试验时,它的端子应与柜体连接。

6.2.2.4 部件的介电强度试验

当装置的部件与主电路之间有电气上连接时,则同样应在部件与柜体之间、部件与双绕组变压器(如有)的网侧绕组之间进行介电强度试验。试验电压按 6.2.2.1 条的规定,试验电压施加于部件连接起来的端子与柜体之间(变压器网侧连接起来的端子与柜体相连接)。

当部件与网侧有连接,而变压器为双绕组时,则应在部件与柜体之间、连接起来的网侧端子与柜体之间进行介电强度试验,试验电压应按变流变压器的有关规定。历时 1 min,应无击穿或闪络现象。此时,应将直流端子连接起来并与柜体相连接。

6.2.2.5 分装于几个柜体内的变流器的介电强度试验

分装于几个柜体内的变流器,其介电强度试验,可在成套设备安装后,只要试验各柜之间电气连接部分的绝缘即可。

6.3 轻载试验

轻载试验的目的在于检验变流器电路的联结是否正确以及静态控制特性是否满足规定要求。

如变流器进行负载试验,有关轻载试验的要求可合并负载试验中进行。轻载试验也可与损耗功率测定中的轻载损耗功率测定同时进行。

轻载试验时,变流器就接到电压等于额定值加规定变化范围的交流电源。

在试验过程中,应测量交流电压、直流电压、交流电流和直流电流;还应在规定的直流电压的全部调节范围内,测出与电压调节有关的信号和指示(例如稳定或调节电流、电压的讯号);还应检验触发系统(限于晶闸管变流器)和辅助器件的功能。所测数据及控制特性应符合产品技术条件的规定。同时验证变流器电路联结是否正确无误。

6.4 均压试验

电压均衡度测定的目的在于检验变流器串联连接的晶闸管或二极管的均压系数。

均压试验可与轻载试验同时进行。

测定瞬态或稳态的电压均衡度时,可使用瞬态电压测试仪、峰值电压表或阴极射线示波器来测量串联连接的半导体器件的反向阻断电压、正向阻断电压(限于晶闸管),以计算电压均衡度。

对晶闸管变流器,电压均衡度的测定应在运行最不利的相位控制条件下进行。一般对应于最大控制率的相位角,但不大于 90° 电角度。当换相过程产生的重复反向或正向阻断峰值电压超过工作反向峰值电压时,应检验两者中较大的电压值的均衡度。

测得的数据应按 5.3.4.2 条规定计算,算得的电压均衡度应符合产品技术条件规定。

6.5 低压电流试验

6.5.1 低压电流试验的目的在于检验变流器能否在额定电流下可靠地工作。如变流器进行负载试验,有关低压电流试验的要求可合并负载试验中同时进行。低压电流试验也可与损耗功率测定中的短路损耗功率的测定同时进行。

6.5.2 试验时应使变流器直流端子短路,并在变流器的交流端子施加足以产生不小于额定直流电流的交流电压。控制装置(如有)和辅助器件应接至电压为额定值的电源。

在试验过程中,采用相位控制(限于晶闸管变流器)或调节外加交流电压使额定的直流电流连续地流过直流端子。检验变流器各部位运行情况,应符合产品技术条件规定。

6.6 均流试验

电流均衡度测定的目的在于检验具有并联连接的晶闸管、二极管的变流臂的电流均衡度。

均流试验可与低压电流试验或负载试验同时进行。

电流均衡度可采用测量电流(例如用钳型安培计)、测量稳态电压降(例如测量熔断器压降,采用此法应注意各熔断器电阻值的差异)或测定器件规定部位温升的方法来确定。

对晶闸管变流器,如果产品在较大控制率下的发热情况有可能超过额定负载条件下的情况,则应使变流器处在较大控制率附近的直流电流值,使之达到最严重的发热情况,然后测量电流均衡度。测得的数据应按 5.3.4.1 条规定进行计算。算得的结果应符合产品技术条件对电流均衡度的规定。

6.7 损耗功率测定

损耗功率测定的目的主要在于确定变流器的效率,测得的数据应按 5.3.1 条规定进行计算。

损耗功率的测试可在通常的环境温度下,并使变流器处于整流状态运行时进行。

正向损耗的测量应在装置中所有各部位的温度达到对应于额定值的平衡温度以后进行。

试验时可采用变流变压器或试验变压器。如采用变流变压器,则测得的是整套设备的损耗功率,这时变流变压器的损耗应修正到 75°C 时的数值;如果采用试验变压器,则要求试验变压器具有与原设计变流变压器相同的脉波数和换相数。

6.7.1 轻载损耗功率的测定

轻载损耗功率的测定按 GB 3859 第 5.9.2 条的规定进行。

6.7.2 短路损耗功率的测定

短路损耗功率的测定应按 GB 3859 第 5.9.3 条的规定进行。

6.8 温升试验

温升试验的目的在于测定变流器在额定条件下运行时各部件的温升是否超过温升极限。

变流器中半导体器件的温升试验可与 6.5 条低压电流试验同时进行。如进行负载试验,则温升试验可与额定条件下的负载试验同时进行。

试验时,所用的测温元件可以是温度计、热电偶、热敏器件、红外测量及其他等效方法。温度应在变流器各部件上的规定部位测取。对于半导体器件应测量若干个器件,其中必须包括那些冷却条件最差的器件。对采用相位控制的晶闸管变流器,还应按产品技术条件规定,在不同控制率的连续直流电流下测取,取其中的最大值。

当一台变流器由多个装置并联组成而同时进行试验有困难时,可对并联的装置分别进行试验,试验电流应取单个装置的额定电流除以产品技术条件所规定的装置的电流均衡度所得的商。

变流器各部件的温升不应超过表 2、表 3 和有关部件标准的规定。

表 2 变流器各部件的温升极限

部位或器件	温升极限	测量方法
晶闸管外壳	按晶闸管标准规定	热电偶或热敏器件法
整流管外壳	按整流管标准规定	
与半导体器件相连接的铜母线的螺钉固定处	35℃(裸铜) 45℃(有锡或镍镀层) 60℃(有银镀层)	热电偶法、热敏器件、温度计法或其他方法
铜母线之远离连接处	25℃(裸铜)	
电阻元件	15℃(距外表 30 mm 处的空气)	
与半导体器件相连接的塑料绝缘导线橡皮绝缘导线	35℃	

表 3 变流变压器的极限温升

变压器类别	绝缘等级	线圈极限温升 K	铁芯表面温升 K	测量方法
干式	A	50	不损伤相接触的绝缘零件	线圈温升可用电阻法。 铁芯表面温升可用温度计法
	B	70		
	F	90		
	H	115		

6.9 负载试验

负载试验的目的在于检验变流器能否承受规定的负载等级而变流器各部件没有超过规定的极限温度。

若进行负载试验,低压电流试验和温升试验可同时进行。

变流器在额定负载条件下连续通电进行试验,试验时依次将电源电压调节为最小值、额定值和最大值,测量各有关参数和特性,应符合产品技术条件规定。

测得的变流器各部位的温升,不应超过表 2、表 3 和有关部件标准规定的极限温升。

6.9.1 输出电压及电压调整率测量

试验的目的是检验变流器的输出电压及电压调整率是否满足规定的要求。

对于固定输出电压的变流器,在轻载和额定连续负载情况下,电源电压在整个规定范围内变化时,测量输出电压的变化,对可变输出电压的变流器,则测量输出电压的变化范围。测得的电压变化值应在产品技术条件的允差范围内。如有要求时,也应对温度等其他条件的变化进行允差范围试验。

测量交流输出电压的仪表,一般是指示正弦波(基波)电压的方均根值。对于输出非正弦波电压的测试,应注意选用合适的交流电压表。

6.9.2. 输出电流测量

测量交流输出电流的仪表,一般是指示基波电流的方均根值。对输出非正弦波电流的测试,应注意选用合适的交流电流表。

在规定的输入电压范围内测量输出电流。

6.9.3 输出频率测量

在规定的电源电压范围内,在轻载、连续额定负载或规定的负载电流范围内,用频率计测量输出频率。

必要时,应在不同环境温度下测量输出频率的变化。

6.9.4 谐波和纹波的测量

6.9.4.1 对于直流输出的变流器,使电源电压为额定值,纹波在规定的范围内,在轻载和额定连续负载两种情况下测量电源电流和负载电流的各项纹波参数。

电流相对峰-谷纹波系数,由示波器测得的最大值和最小值以及电流直流值来确定。

电流纹波系数,由示波器测得的最大值和最小值来确定。

电流波形系数,由电流的方均根值和直流值来确定。

算得的各项纹波系数,应符合产品技术条件的要求。

6.9.4.2 对于交流输出的变流器,在规定的直流电源条件下,在轻载和连续额定负载或规定的负载电流下,由波形分析的读数来确定基波和各次谐波的方均根值。由输出电压的总方均根值和由波形分析仪滤去基波后的读数来确定相对谐波含量。

波形分析仪可以是失真测量仪,或者带有抑制滤波器和带通滤波器的宽频带电压表。

若无特殊说明,本试验在阻性负载下测量电压的谐波分量。在测试过程中,为保证测量的准确,应注意维持波形和测量条件不变。

6.9.5 功率效率测量

功率效率可用功率表测得变流器的输入和输出功率,然后按公式(1)求出。

试验在产品技术条件规定的输入电压、频率和负载下进行。输入直流功率应包括直流中纹波(迭加的交流分量)所产生的功率。输出的交流功率为基波功率。

若需测定空载损耗功率,则将负载断开,在输出电流为零时在输入功率表上读取。

6.9.6 输出电压不对称测量

对有多相输出的逆变器,在所规定的平衡和不平衡条件下测量各相的电压,按图 2 和公式(9)计算电压不对称系数 k 。图中 \overline{AB} 、 \overline{BC} 、 \overline{CA} 为所测得的三相线电压, O 和 P 是以 \overline{CA} 为公共边所作的两个等边三角形的两个顶点。

$$k = \frac{\overline{OB}}{\overline{PB}} \cdot \frac{U_n}{U_p} \dots\dots\dots (9)$$

式中: U_p ——输出电压的正序分量;

U_n ——输出电压的负序分量。

对于平衡负载,应在空载和满载两种情况下测试。对于不平衡负载,若要求给出不平衡负载与电压

不对称的关系,则应分别在各种规定的不平衡负载下测试,否则只在负载最不平衡的情况下测试。

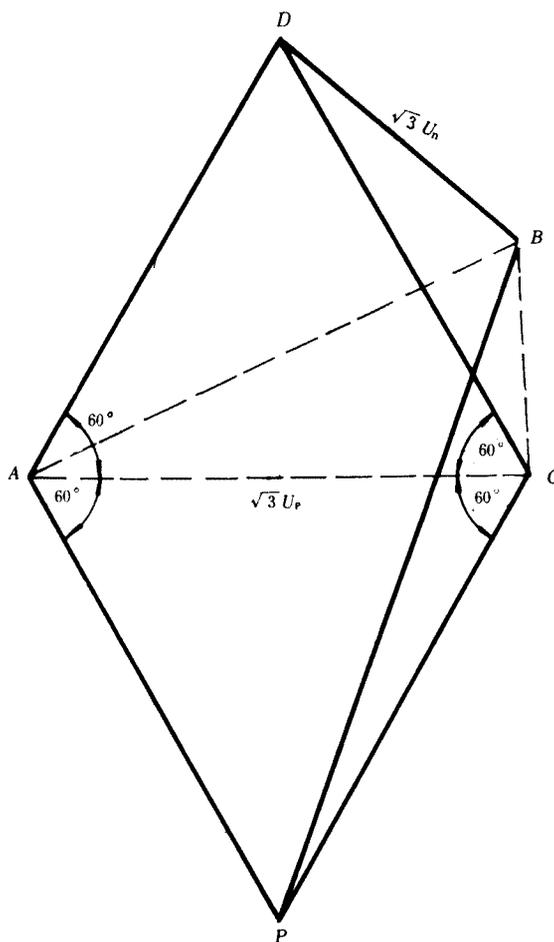


图 2 电压不对称系数的计算

6.10 辅助装置试验

变流器辅助装置的检验主要在于对电气配件、泵、风机等辅助装置的性能进行检验。但只要这些器件具备出厂合格证,可不必按其技术条件进行出厂检验,只须对其在变流器中运行的功能进行检验即可。

辅助装置的检验可与变流器的轻载试验同时进行,将辅助装置接至规定的额定电压,并对其运行功能进行外观检验(起动、停机、安装情况、噪声等)。当变流器在低压电流试验或温升试验过程中有部件超过极限温升时,应测定有关冷却风机的风速或泵的流量。

当这些装置已通过的介电强度试验电压低于变流器内应承受的介电强度试验电压时,则应按第6.2条进一步校验其介电强度。

6.11 触发设备性能试验

触发设备性能试验主要是检验触发设备的静态和动态的性能,其中包括检验触发设备是否能在设计的电源电压变动范围内使变流器可靠地工作。

触发装置性能试验应在实际负载条件下进行。当制造厂无条件进行试验时,可在6.3条轻载试验和6.5条低压电流试验中结合进行。必要时,可与用户协商在安装后进行。

用示波器检验触发设备的静态特性,如脉冲的幅压、对称度、宽度、波前陡度以及在规定的电源变化情况下的可靠性。动态特性的检验应在主电路通电和负载情况下进行,应检验各相始导瞬间间隙的对称

度、调压范围、调压平滑度等。

检验结果应符合有关产品技术条件的规定。

触发装置的动态特性也可用模拟方法进行试验。

6.12 保护系统试验

保护系统的试验主要包括各种过电流保护器件(如过电流继电器、自动开关等限流电器)的过流整定,各种过电压保护器件(如浪涌过电压抑制器、重复过电压阻容吸收器等)的正确工作,装置冷却系统的保护器件(如风速、流量、水压等继电器)的正常动作,安全操作的接地装置和开关的正确设置以及各种保护器件的互相协调。

对保护器件功能的试验,应尽可能在不致使变流器部件(易损件除外)受到超过其额定过载冲击条件下进行。为此,第 6.1.2.2 及第 6.1.2.3 条的试验,除非有关文件提出要求,不是必须进行的试验。

6.12.1 持续过电流保护试验

本试验可与 6.5 条低压电流试验同时进行。调整过电流继电器和自动开关等限流电器的整定值,使与产品技术条件规定值相符,如果设备中采用了保护变流器免受过电流冲击的控制系统,则其性能也应检验。

6.12.2 直流侧短路保护试验

在直流侧作人为短路,检验快速熔断器和快速开关等保护器件的正确动作。

6.12.3 交流侧短路保护试验

在电路臂作人为短路,检验交流侧保护器件的正确动作。

6.12.4 过电压保护试验

装置过电压的测量一般可使用高频示波器,其频率响应须在 40 MHz 以上,有条件时,可与同步开关及峰值电压表配合使用。测量数据应以示波器为准。

6.12.4.1 分合闸引起的浪涌过电压保护措施试验

本项试验可与 6.3 条轻载试验结合进行。测量时将量计接至直流侧正负端子,并在变流器直流侧开路的情况下使变压器网侧开关作分合操作,记取过电压峰值,如此重复至少 5 次。如果变流器直流侧在实际运行时不可能开路,则允许在轻载条件下进行试验。

6.12.4.2 快速开关引起的浪涌过电压保护措施试验

本项试验可与 6.1.2.2 和 6.1.2.3 条的短路保护试验结合进行,或在额定负载下使快速开关动作,测出最高峰值电压,再据以推算事故条件下的过电压。

6.12.4.3 换相过电压试验

本项试验可与 6.9 条负载试验及 6.1.2.2 和 6.1.2.3 条的短路保护试验结合进行,分别测量其正常和事故状态下的数据。

6.13 稳定装置性能试验

稳定装置性能试验,主要是对具有稳定特性的变流器的稳定精度的试验。

本试验应尽可能在实际负载条件下进行。当制造厂无条件进行试验时,可在 6.3 条轻载试验和 6.5 条低压电流试验中结合进行,必要时可与用户协商在安装后进行。

当电网电压、交流系统条件及负载情况在允许波动范围内变动时,测定输出量的变化,按公式(7)计算稳定精度,其结果应符合产品技术条件的规定。

6.14 电源过电压和能量的试验

本试验的目的是考核变流器承受电源瞬态变化的能力。

试验在空载或轻载和正常运行条件下进行。试验时应尽量减少连接线路的阻抗。

6.14.1 整流器试验

整流器承受电源过电压和能量试验,用图 3 所示电路进行。电感 L 的量值应选择等于或大于电源电感量;电容 C₂ 为高效型电容,试验应重复进行不少于 5 次,以保证变流器确实承受了过电压。

试验中不应发生运行中止情况。

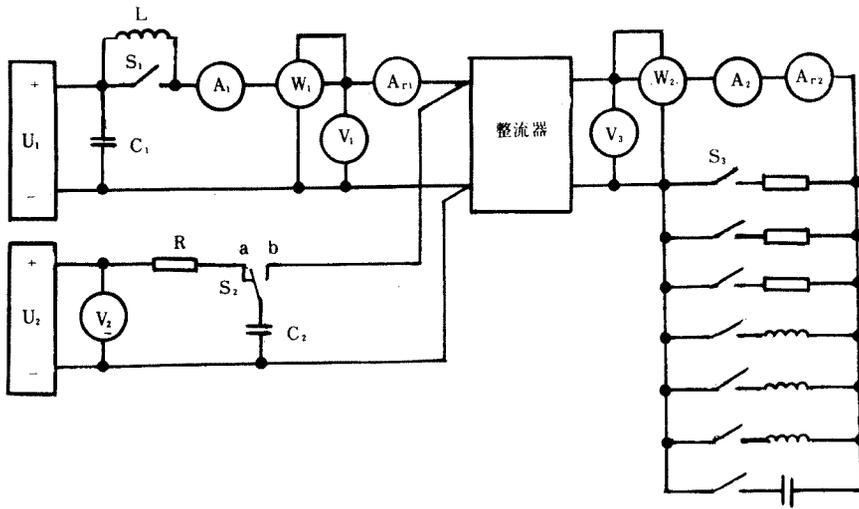


图 3 整流器试验电路

U_1 —可调直流电压源,供稳态试验用; C_1 —电容器组,保证被试变流器低交流阻抗的输入电压; L —阻塞电感,试验电源过电压和瞬变能量时接入电路,以阻塞通向电源 U_1 的通路; S_1 —开关,控制电感 L 是否接入电路的开关; A_1 —指示输入电流平均值的电流表; W_1 —功率表,指示输入功率; V_1 —指示输入电压平均值的电压表; A_{r1} —测量电流纹波指示器,指示电源纹波; U_2 —可调直流电压源,通过电阻 R 给电容 C_2 充电; V_2 —指示平均值的电压表,指示电容 C_2 的充电电压; R —充电电阻; S_2 —开关,控制电容 C_2 的充电或放电; C_2 —充电电容,被充电到电源最高瞬时电压 U_1 以提供试验的电源过电压和瞬变能量,其值按 GB 7677 公式(2)计算; V_3 —指示输出电压平均值的电压表; W_2 —功率表,指示输出功率; A_2 —指示输出电流平均值的电流表; A_{r2} —测量纹波的指示器,指示负载纹波; S_3 —负载开关

6.14.2 逆变器试验

逆变器承受电源过电压和能量的试验,按图 4 所示电路进行,接入电容器 C_2 即可。由于 C_2 的接入削弱了 C_1 的作用,为防止逆变器断流而引起过电压脉冲,电感 L 应接入电路(开关 S_1 处在断开位置)。试验在额定负载或轻载条件下重复进行不少于 5 次,变流器应能正常运行。

电感 L 的量值应选择等于或小于电源的电感量。电容器 C_2 的容量按式(10)计算选择:

$$C_2 = \frac{2W}{U_1^2 - U_{dn}^2} \text{F} \dots\dots\dots (10)$$

- 式中: W ——电源过电压能量(见 GB 7678 第 3.1.2 条规定),J;
- U_1 ——电容器充电后的最高电压,V;
- U_{dn} ——电源额定电压,V。

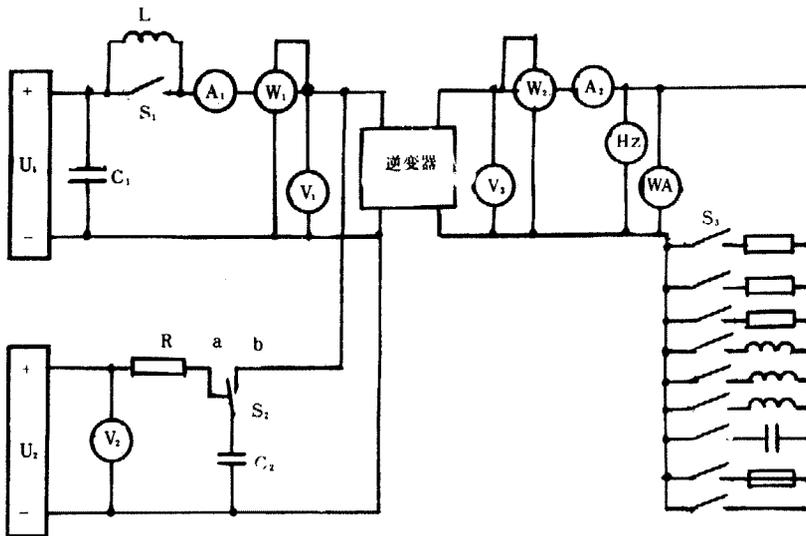


图4 逆变器试验电路

U_1 —可调直流电源； C_1 —使逆变器低阻抗输入的电容器； L —电感，在电源过电压及瞬时能量试验时接入； S_1 —开关，在电源过电压及瞬时能量试验时断开； A_1 —测量输入电流的电流表； W_1 —测量输入功率的功率表； V_1 —测量输入电压的电压表； U_2 —可调直流电源； V_2 —电压表； R —充电电阻； S_2 —开关； C_2 —充电电容； V_3 —测量输出电压的电压表； W_2 —测量输出功率的功率表； A_2 —测量输出电流的电流表； Hz —频率表； WA —波形分析仪； S_3 —负载开关

6.15 过载电流试验

按 GB 7678 第 3.3 条定义的长时和短时过载电流进行变流器的过载能力试验。过载电流值大小和持续时间等，按产品技术条件或供需双方的协议文件所规定的工作制要求。过载电流在变流器各部件的温升达到稳定后施加，变流器在承受过载电流后应运行正常，各部分温升不超过规定值。

6.16 瞬态短路电流保护试验

本试验的目的是测定逆变器在支路中可能产生的 I^2t 值，并检查瞬时短路电流保护装置的性能。试验时，逆变器在额定输入电压和额定连续负载下，用熔断器将其输出端子短路。保护装置应能可靠保护逆变器免受瞬时短路电流的损伤。用示波器或其他贮存记录仪器测量和记录短路电流 I 和时间 t 的关系曲线，以计算 I^2t 值。

本试验应反复进行不少于 3 次，以避免熔断器特性的分散性和短路发生的时刻不同而造成的影响。

对于多相输出的逆变器，本试验可在其中一相上进行。

6.17 重复起动试验

本试验的目的是检验变流器在平衡温度和额定负载下的可靠起动能力。

若无特殊说明，重复起动试验在本标准规定的正常使用条件、变流器各部分温度达到平衡温度时在额定负载条件下进行，相邻两次起动的间隔时间由产品技术条件或供需双方的协议文件规定。重复起动次数为 5 次，每次起动均能可靠投入运行。

6.18 连续运行试验

试验时间由产品的技术条件规定。

6.19 噪声测定

按有关标准规定的方法测定,应符合产品技术条件的规定。

6.20 电磁兼容试验

按 GB 10250 中 B 组设备的有关方法进行试验,试验结果应符合规定要求。

6.21 高温试验

按 CB 1146.3 的有关规定进行试验。

6.22 低温试验

按 CB 1146.2 的有关规定进行试验。

6.23 湿热试验

按 CB 1146.5 的有关规定进行试验。

6.24 盐雾试验

按 CB 1146.12 的有关规定进行试验,试验对象仅为装置中的金属零部件。

6.25 霉菌试验

按 CB 1146.11 的有关规定进行试验。试验对象仅为装置中的非金属零部件。

6.26 倾斜、摇摆试验

按 CB 1146.8 的有关规定进行试验。

6.27 振动试验

按 CB 1146.9 的有关规定进行试验。

6.28 外壳防护试验

按 CB 1146.15 的有关规定进行试验。

7 检验规则

7.1 检验分类

变压器的检验分型式检验和出厂检验两种

7.1.1 型式检验

型式检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检验。有下列情况之一时,一般应进行型式检验:

- a. 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定;
- b. 正式生产后,如结构、材料、工艺有较大改变,可能影响产品性能时;
- c. 产品长期停产后,恢复生产时;
- d. 批量生产的产品,每隔一定时间进行一次抽试,具体期限由产品技术条件规定,但不得超过五年;
- e. 出厂检验结果与上次型式检验有较大差距时。

批量生产抽试的产品不得少于两台,试验时一台一项不合格者,允许返修复试,复试不合格,则该批产品为不合格产品,必须在消除缺陷并通过试验后方能继续生产。

7.1.2 出厂检验

为了考核产品的性能,保证产品性能符合型式检验中相应的检验要求,组装后的变压器必须逐台进行出厂检验。

出厂检验合格后,应给予出厂合格证明。

出厂检验时,有一项不符合规定要求时,允许返修复试。复试合格后方可给予出厂检验合格证明。

7.2 检验项目

变压器的型式检验和出厂检验的项目见表 4。

表 4 变流器的型式检验和出厂检验项目

序号	试验项目	技术要求	试验方法	型式检验	出厂检验
1	一般检查	5.2;5.4	6.1	✓	✓
2	绝缘试验		6.2	✓	✓
3	轻载试验	5.3.5	6.3	✓	✓
4	均压试验	5.3.4.2	6.4	✓	✓
5	低压电流试验 ¹⁾	—	6.5	✓	—
6	均流试验	5.3.4.1	6.6	✓	✓
7	损耗功率测定	5.3.1	6.7	✓	—
8	温升试验	5.4	6.8	✓	—
9	负载试验	5.3.2	6.9	✓	✓
10	辅助装置试验		6.10	✓	—
11	触发设备性能试验	5.3.5	6.11	✓	✓
12	保护系统试验	5.3.6	6.12	✓	✓
13	稳定装置性能试验	5.3.5	6.13	✓	—
14	电源过电压和能量试验	5.3.6.2	6.14	✓	—
15	过载电流试验	—	6.15	✓	—
16	瞬态短路电流保护试验	5.3.6.1	6.16	✓	—
17	重复起动试验	5.3.5	6.17	✓	✓
18	连续运行试验	5.3.5	6.18	✓	—
19	噪声测定	5.3.8	6.19	✓	—
20	电磁兼容试验	5.3.7	6.20	✓	—
21	高温试验	5.1.1	6.21	✓	—
22	低温试验	5.1.1	6.22	✓	—
23	湿热试验	5.1.1	6.23	✓	—
24	盐务试验	5.1.1	6.24	✓	—
25	霉菌试验	5.1.1	6.25	✓	—
26	倾斜、摇摆试验	5.1.1	6.26	✓	—
27	振动试验	5.1.1	6.27	✓	—
28	外壳防护试验	5.3.9	6.28	✓	—

注：① 表中符号“✓”表示需检项目，符号“—”表示不需检项目。

1) 对逆变器不适用。

8 标志、包装和贮存

8.1 标志

在变流器箱柜的明显位置应装有铭牌，铭牌的型式与尺寸应符合有关标准的规定。

铭牌内容如下(视产品情况定)：

a. 型号和产品出厂序号；

- b. 输入相数(或用 DC 标志);
- c. 额定输入电压;
- d. 额定输入电流;
- e. 额定输入频率;
- f. 输入相数(或用 DC 标志);
- g. 额定输出电压;
- h. 额定输出电流;
- i. 额定输出频率;
- j. 负载性质(若限定应标明);
- k. 负载类型或工作制;
- l. 主电路联结(用代号或图形);
- m. 重量;
- n. 制造厂及制造日期。

8.2 包装

8.2.1 随同产品供应的技术文件

- a. 产品合格证明书;
- b. 产品安装使用说明书;
- c. 产品成套及备件一览表。

8.2.2 产品包装

产品包装必须符合有关包装运输规范要求,应保证产品在运输存放过程中不受机械损伤,并有防雨、防尘、防潮能力,并应在包装箱外部注明下列标志:

- a. 产品型号、名称及出厂序号;
- b. 产品净重及包装箱的毛重;
- c. 收货单位的名称及地址;
- d. 制造厂名及地址;
- e. 位置标志“↑”和写在箭头上面的“向上”字样;
- f. 包装箱外形尺寸;
- g. 包装日期。

8.3 贮存

产品不得曝晒、淋雨,应存放在空气流通、周围介质温度不高于 40℃、不低于-40℃、空气最大相对湿度不超过 90%(相当于空气温度 20±5℃时)及无腐蚀气体的仓库中。

9 保证期

变频器的保证期为上船运行一年,但自出厂之日起算不超过二年。

附加说明:

本标准由中国船舶工业总公司提出。

本标准由中国船舶工业总公司第七研究院第 704 所归口。

本标准由 704 所、上海电器科学研究所负责起草。

本标准主要起草人林曦。