



团 体 标 准

T/ZZB XXXX—XXXX

核电厂用安全级变频机柜

1E frequency converter electric device for nuclear power plants

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

浙江省品牌建设联合会 发布

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 级别与基本参数.....	2
5 使用条件.....	3
6 基本要求.....	4
7 技术要求.....	4
8 试验方法.....	10
9 检验规则.....	30
10 标志、包装、运输、贮存.....	32
11 质量承诺.....	33

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由浙江省品牌建设联合会提出并归口。

本标准由浙江省标准化研究院牵头组织制订。

本标准主要起草单位：浙江佳乐科仪股份有限公司。

本标准参与起草单位：#####（排名不分先后）

本标准主要起草人：#####。

本标准评审组长：#####。

本标准由###负责解释。

核电厂用安全级变频器

1 范围

本文件规定了核电厂用安全级变频器（以下简称变频器）的术语和定义、级别及基本参数、使用条件、基本要求、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志、储运及运输和质量承诺。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 A：低温
- GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 B：高温
- GB/T 2423.4—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Db：交变湿热（12h+12h 循环）
- GB/T 2423.8—1995 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Ed：自由跌落
- GB/T 2423.10—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）
- GB/T 2423.17—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Ka：盐雾
- GB/T 2423.21—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 M：低气压
- GB/T 2423.22—2012 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 N：温度变化
- GB 4208—2008 外壳防护等级（IP 代码）
- GB 7251.1—2013 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则
- GB/T 7267—2003 电力系统二次回路控制、保护屏及柜基本尺寸系列
- GB/T 8567—2006 计算机软件文档编制规范
- GB/T 9386—2008 计算机软件测试文档编制规范
- GB/T 12668.2—2018 调速电气传动系统 第2部分：一般要求 低压交流变频电气传动系统额定值的规定
- GB/T 12668.501—2013 调速电气传动系统 第5~1部分：安全要求 电气、热和能量
- GB/T 12668.502—2013 调速电气传动系统 第5~2部分：安全要求 功能
- GB/T 12727—2002 核电厂安全系统电气设备质量鉴定
- GB/T 13625—1992 核电厂安全系统电气设备抗震鉴定
- GB 14048.2—2008 低压开关设备和控制设备 第2部分：断路器
- GB 14048.3—2008 低压开关设备和控制设备 第3部分：开关、隔离器、隔离开关以及熔断器组合电器
- GB/T 15395—1994 电子设备机柜通用技术条件
- GB/T 15473—2011 核电厂安全级静止式充电装置及逆变装置的质量鉴定
- GB/Z 17625.6—2003 电磁兼容限值 对额定电流大于16 A的设备在低压供电系统中产生的谐波电流的限制
- GB/T 17626.2—2006 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3—2006 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4—2008 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5—2008 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
 GB/T 17626.6—2008 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
 GB/T 17626.8—2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
 GB/T 17626.9—2011 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验
 GB/T 17626.10—1998 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验
 GB/T 17626.11—2008 电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试

验

GB/T 17626.12—2013 电磁兼容 试验和测量技术 振铃波抗扰度试验
 GB/T 17626.16—2007 电磁兼容 试验和测量技术 0 Hz~150 kHz 共模传导骚扰抗扰度试验
 GB 17799.4—2012 电磁兼容通用工业环境中的发射标准
 GB/T 20138—2006 电器设备外壳对外界机械碰撞的防护等级（IK 代码）
 HAF 003—1991 核电厂质量保证安全规定
 HAF—J0053—1995 核电设备抗震鉴定试验指南
 NB/T 20019—2010 核电厂安全级仪表和控制设备电子元器件老化筛选和降额使用规定
 NB/T 20040—2011 核电厂安全级电气设备抗震鉴定试验规则
 NB/T 20055—2011 核电厂安全重要仪表和控制系统执行 B 类和 C 类功能的计算机软件(B 类标准)
 NB/T 20298—2014 核电厂安全重要数字仪表和控制系统硬件设计要求
 IAEA 50—C/SG—Q (1996) 核电厂和其他核设施安全质量保证
 IEEE 627—2010 核电厂安全系统设计鉴定标准 (IEEE Standard for Design Qualification of Safety Systems Equipment Used In Nuclear Power Generating Stations)
 IEEE 649—2006 核电厂用 1E 级电动控制中心鉴定 (IEEE Standard for Quality Class 1E Mocoey Control centers for Nuclear Power Generating Stations)
 IEEE Std 1012—2004 IEEE 软件的验证和确认标准 (IEEE Standard for Software Verification and Validation)
 IEEE Std 1028—1997 软件评审标准 (IEEE Standard for Software Reviews)
 IEC60980—1989 Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations (Edition 1.0) [核电厂安全系统电气设备抗震鉴定的推荐规程]
 RCC—E—1993 压水堆核电站核岛电气设备设计和建造规则 (Design and Construction Rules for Electrical components of unclear islands)

3 术语和定义

GB 7251.1、GB/T 12668.2、GB/T 17799.4、HAF 003、IEEE 323、IEEE 344、IEEE 627、IEEE 649 界定的术语和定义适用于本文件。

4 基本参数

4.1 型号

□□□□

□□/□□

□□

□□

高性能变频机柜系列

级别

输出功率(kW)

机柜类型

示例：系列：Safe Driver 级别：1E/K3 输出功率：7.5kW 机柜类型：A1

4.2 基本参数

变频机柜基本参数应符合下列要求：

- 输入频率范围：50Hz±4Hz；
- 输入电压范围：AC323V~AC418V；
- 过载能力：150%/60s，180%/3s；
- 加减速时间：0s~6500s；
- V/F 曲线：直线型、多点型、N 次方型；
- 输入侧功率因数：>0.9；
- 效率：>95%；
- 输出电压总畸变率：<3%；
- 输出电流总畸变率：<2.5%；
- 过流、过压、过载、过温、短路、缺相等保护参数。

5 使用条件

5.1 电气使用条件

变频机柜的电气使用条件应符合下列要求：

- 电压持续波动不超过额定输入电压的±15%；短暂波动不超过±20%；
- 频率波动不超过±5%；频率的变化速度每秒不超过±1%；
- 三相交流输入电源的电压失衡率不超过基波额定输入电压的3%；
- 核电厂的电源使用条件详见 RCC-E-1993 D2300 章节的规定。

注1：电压短暂波动超过规定值可能引起工作中断或跳闸，若需要连续地工作，由供需双方进行协商。

注2：频率的负波动与电压的正波动不能同时发生。

5.2 环境条件

5.1.1 使用环境条件

变频机柜的使用环境条件应符合下列要求：

- 正常运行条件下环境温度：4℃~35℃
- 异常运行条件下环境温度：35℃~40℃
- 相对湿度：≤70%
- 大气压：96kPa~106kPa
- 盐分：盐雾
- 灰尘：可见
- 安装点的振动：频率：10Hz~500Hz；振幅：0 μm~30 μm；加速度：0.2g。

5.1.2 安装和启动前的环境条件

变频机柜在安装和启动前，环境条件应符合下列要求：

- 储存场所：存放在干净、干燥的室内场所。
- 环境温度：0℃~40℃
- 相对湿度：5%~95%

- 盐分：盐雾
- 灰尘：大量

5.1.3 运输环境条件

- 运输工具：可采用汽车、火车、飞机、轮船等相近的工具运输。
- 环境温度： $-25^{\circ}\text{C}\sim+55^{\circ}\text{C}$ ； $-25^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ ，最长 24h；
- 相对湿度： $+40^{\circ}\text{C}$ 时， $<90\%$ ；

注：温度与湿度的某些组合可能会引起凝露。

6 基本要求

6.1 研发设计

- 6.1.1 应采用标准化变频模块对变频机柜进行设计。
- 6.1.2 应对变频机柜的抗震设计进行有限元分析。

6.2 材料和零部件

- 6.2.1 风机和水泵应采用高性能变频控制技术控制技术驱动。
- 6.2.2 电机应使用F级或者H级绝缘等级的电机。
- 6.2.3 机柜的电子元器件采用国内军级产品或国外工业级的成熟产品，断路器、开关、继电器、电抗器、接触器等采用成熟并具有核电运行经验的产品。
- 6.2.4 变频机柜的主体框架选用材料为 SPCC 的 9 折型材；底座采用材料为 Q235B；支撑件和安装板采用强防腐性能的覆铝锌钢板；侧板、顶板和前后门采用材料为 ST12 的冷扎板。A3 变频机柜的主体框架选用材料为 Q235B，支撑件和安装板采用强防腐性能的覆铝锌钢板。
- 6.2.5 软件应达到 IEEE1012-2004 标准中 SIL3 等级的要求，并符合 NB/T20055-2011 标准 B 类功能软件的要求。

6.3 工艺及装备

- 6.3.1 材料加工应使用激光切割，数控折弯；
- 6.3.2 机柜整体由螺栓连接，关键部位采用焊接连接。
- 6.4 检验检测（补充原材料、生产过程、成品检验三个方面所需要的必须的或重要的设备要求）
 - 6.4.1 应具备出厂检验项目所需的设备设施。

7 技术要求

7.1 基本性能

7.1.1 目视和机械检查

按 RCC-E MC 2000 的要求进行目视和机械检查，核实机柜与下列项要求的一致性：

- a) 装配布置与图纸应符合；
- b) 机械设计质量；
- c) 总体的生产质量；

d) 使用和维护的简易操作。

7.1.2 绝缘电阻

按 RCC-E MC 3200 的要求测量机柜绝缘电阻，绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ 。

7.1.3 耐压强度

按 RCC-E MC 3100 电解质试验的要求，测量耐压强度。

7.1.4 机械接地连续性

按 RCC-E MC 3300 的要求测量各测试点与主接地点之间的电阻，电阻 $\leq 0.1\Omega$ 。

7.1.5 电气间隙与爬电距离

变频机柜的电气间隙与爬电距离符合 GB/T7251.1-2013 第 8.2.5 条款的规定。

7.1.6 外壳防护等级

机柜外壳的防护等级为 IP55，符合 GB4208-2008 的规定。

7.1.7 碰撞防护等级

外壳的机械碰撞要求为 IK07，符合 GB/T20138-2006 的规定。

7.1.8 自由跌落

按 GB/T2423.8-1995 方法（一）的要求，产品在搬运期间由于粗率装卸遭到跌落的适应性或确定安全要求的最低牢固等级。

7.2 电气性能

7.2.1 工变频空载

变频机柜在空载情况下正常工作。

7.2.2 工变频负载

变频机柜在额定负载下正常工作。

7.2.3 工变频额定输出电压

变频机柜具备额定输出电压。

7.2.4 变频额定输出频率

电源电压在规定范围内变化时，输出频率不受影响。

7.2.5 变频输出电压不对称度

输出电压不对称度小于 5%。

7.2.6 变频频率调节范围

频率调节范围内，变频机柜可以稳定的输出所设定的频率。

7.2.7 变频频率稳定精度

频率稳定精度为最高频率的±1%。

7.2.8 变频频率分辨率

频率分辨率应小于 0.02 Hz。

7.2.9 变频起动时间测定

起动时间与设定时间误差应不超过 5%。

7.2.10 变频效率

η 应不小于 95%

7.2.11 变频输出电压谐波

V_{thd} 应不大于 12%

7.2.12 变频输出电流谐波

I_{thd} 应不大于 8%

7.2.13 变频输入侧功率因数

输入侧功率因数 $\cos \phi$ 应不小于 0.9。

7.2.14 工变频噪声测试

最高点噪声应小于 85dB。

7.2.15 变频1Hz力矩特性

1Hz 输出力矩能达到电机额定力矩的 150%（4 级电机）。

7.2.16 变频速度控制范围

满足 1:10 调速范围。

7.2.17 变频Modbus通讯

可实现变频机柜状态监控、参数读写。

7.2.18 工变频输入电压范围

电压变化范围在 323V~418V。

7.2.19 工变频输入频率范围

电源频率变化范围在 50 Hz±4 Hz，变频机柜应在其变化范围内正常运行。

7.3 保护性能

保护性能分为报警和故障停机两类，前面 4 项为报警保护，其余为故障停机。

7.3.1 变频PID反馈失效保护

变频机柜运行时 PID 反馈失效功能。

7.3.2 220V主控制电源失电报警

220V 主控制电源丢失，辅电源自动切换。

7.3.3 变频单元过热保护

变频机柜变频单元具备过热保护功能。

7.3.4 变频电机过温保护

变频机柜具备电机过温保护功能。

7.3.5 变频直流母线欠压保护

变频机柜直流母线（输入电压）欠压故障保护功能。

7.3.6 变频直流母线加速过电压保护

变频机柜直流母线加速过电压保护功能。

7.3.7 变频直流母线减速过电压保护

变频机柜直流母线减速过电压保护功能。

7.3.8 变频直流母线恒速过电压保护

变频机柜直流母线恒速过电压保护功能。

7.3.9 变频加速过电流保护

变频机柜加速过电流保护功能。

7.3.10 变频减速过电流保护

变频机柜减速过电流保护功能。

7.3.11 变频恒速过电流保护

变频机柜恒速过电流保护功能。

7.3.12 工变频机柜过载保护

变频机柜过载保护功能

7.3.13 变频电机过载保护

变频机柜具备电机过载保护功能。

7.3.14 变频接地故障保护

变频机柜具备对地短路保护功能。

7.3.15 变频输出短路保护

变频机柜具备输出短路保护功能。

7.3.16 工变频输入缺相保护

变频机柜具备输入缺相保护功能。

7.3.17 变频输出缺相保护

变频机柜具备输出缺相保护功能。

7.3.18 变频单元主回路直流接触器故障保护

变频单元具备检测主回路直流接触器故障功能。

7.3.19 变频EEPROM存储故障保护

变频单元具备检测存储器故障的功能。

7.4 电磁兼容性

7.4.1 工变频浪涌（冲击）抗扰度

变频机柜对由开关和雷电瞬变过电压引起的单极性浪涌（冲击）的抗扰度符合 GB/T17626.5-2008 的规定。

7.4.2 工变频电快速瞬变脉冲群抗扰度

变频机柜对重复性电快速瞬变脉冲群的抗扰度符合 GB/T17626.4-2008 的规定。

7.4.3 工变频静电放电抗扰度

变频机柜遭受直接来自操作者和对邻近物体的静电放电的抗扰度符合 GB/T17626.2-2006 的规定。

7.4.4 工变频射频电磁场辐射抗扰度

变频机柜受到射频电磁场辐射的抗扰度符合 GB/T17626.3-2006 的规定。

7.4.5 工变频电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度

变频机柜在经受电压暂降，短时中断和电压变化的抗扰度符合 GB/T17626.11-2008 的规定。

7.4.6 工变频射频场感应的传导骚扰抗扰度

变频机柜在 150kHz~80MHz 频率范围内，对来自射频发射机电磁骚扰的传导抗扰度符合 GB/T17626.6-2008 的规定。

7.4.7 工变频工频磁场抗扰度

变频机柜对工频磁场的抗扰度符合 GB/T17626.8-2006 的规定。

7.4.8 工变频脉冲磁场抗扰度

变频机柜对脉冲磁场的抗扰度符合 GB/T17626.9-2011 的规定。

7.4.9 工变频阻尼振荡磁场抗扰度

变频机柜对阻尼振荡磁场抗扰度符合 GB/T17626.10-1998 的规定。

7.4.10 工变频振铃波抗扰度

变频机柜对衰落振荡瞬态现象（振铃波）的抗扰度符合 GB/T17626.12-2013 的规定。

7.4.11 工变频1Hz~150kHz共模传导骚扰抗扰度

变频机柜对共模传导骚扰的抗扰度符合 GB/T17626.16-2007 的规定。

7.4.12 变频额定电流大于16A的设备谐波电流限制

变频机柜产生的谐波符合 GB17625.6-2003 的规定。

7.4.13 变频电源端口骚扰电压

变频机柜电源端口产生的骚扰电压符合 GB/T12668.3-2012 的规定。

7.4.14 变频机壳端口的辐射

变频机柜机壳端口的辐射符合 GB/T12668.3-2012 的规定。

7.5 环境适应性

7.5.1 低温存储

变频机柜在存储、运输过程中对低温的抵抗能力符合 GB/T2423.1-2008 的规定。

7.5.2 低温工作

变频机柜在运行过程中对低温的抵抗能力符合 GB/T2423.1-2008 规定。

7.5.3 高温存储

变频机柜在存储、运输过程中对高温的抵抗能力符合 GB/T2423.2-2008 的规定。

7.5.4 高温工作

变频机柜在运行过程中对高温的抵抗能力符合 GB/T2423.2-2008 的规定。

7.5.5 交变湿热工作

变频机柜在高湿度与温度循环变化组合时,通常会在试验样品表面产生凝露的条件下使用的适应性符合 GB/T2423.4-2008 的规定。

7.5.6 温度快速变化

变频机柜在一次或连续多次温度变化对其产生的影响符合GB/T2423.22-2012的规定。

7.5.7 低气压

变频机柜在低气压条件下使用的适应性符合 GB/T2423.21-2008 的规定。

7.5.8 中性盐雾

变频机柜在中性盐雾环境下使用的适应性符合 GB/T2423.17-2008 的规定。

7.5.9 振动

变频机柜在运输或使用期间产生共振情况下的适应性符合 GB/T2423.10-2008 的规定。

7.6 耐久性

7.6.1 运行老化

断路器、接触器、端子、开关、继电器运行老化时间等效 10 年。

7.6.2 加速热老化

电路板热老化时间等效 5 年。

7.7 抗震性

变频机柜在合格寿命期内发生的运行基准地震（OBE）和安全停堆地震（SSE）期间及之后保持和执行安全功能的完整性，应符合 GB/T 12727-2002 及 HAF-J0053-1995 的规定。

8 试验方法

8.1 基本性能试验

8.1.1 目视和机械检查试验

按 RCC-E MC 2000 的规定，目视和机械检查核实机柜与下列项要求相一致：

- a) 装配布置与图纸应符合
- b) 机械设计质量
- c) 总体生产质量
- d) 使用和维护的简易操作

检查下列各项：

- a) 变频机柜标识是否正确、清晰、齐全、且易于识别、安装位置正确；
- b) 变频机柜表面涂层是否均匀，颜色是否符合要求，在距离设备 1m 处观察不应有明显的色差和反光，涂层整洁美观，不应有起泡、裂纹和流痕；
- c) 变频机柜与所提供的电路、接线图和技术数据是否相符；
- d) 变频机柜内部元器件、部件安装接线应牢靠、端正、正确，应符合图纸和相关标准要求；
- e) 变频机柜内部元器件的连接导线端部标识应清晰、齐全，且符合图纸要求；
- f) 铜排、导线的颜色是否符合要求；
- g) 变频机柜的铜排、导线的规格、尺寸和排列布置是否符合要求，铜排端接应自然吻合，不应有应力；
- h) 变频机柜的过门导线是否有足够的裕度、避免损伤导线；
- i) 变频机柜的螺钉和导线连接应紧固，尤其是保护电路应采取措施保证接触良好；
- j) 变频机柜的门开启是否灵活，角度不小于 90°；
- k) 变频机柜中的所有机械操作部件、连锁、锁扣等运动部件是否灵活，动作效果是否正确。

8.1.2 绝缘电阻测量试验

试验要求：按 RCC-E MC 3200 的规定，使用 500V 兆欧表测量机柜的绝缘电阻。

施加电压位置：

a) 三相对地：短接三相输入/输出、整流桥输出端和 IGBT 正负直流电源输入端，短接端对地施加电压。

b) 三相之间：三相输入与整流桥断开连接，断开多功能继电器、断开变压器。

验收准则：绝缘电阻 $\geq 10M\Omega$ 。

8.1.3 耐压强度试验

试验要求：按 RCC-E MC 3100 的规定测量机柜耐压强度。

试验持续时间为 1min，试验电压值：

a) 380V 三相对地及三相之间：2500V；

b) 220V 控制回路：2000V；

c) 24V 控制回路：500V。

验收准则：耐压强度下不能出现局部放电、击穿或闪络，泄漏电流保持低于 10mA。

8.1.4 机械接地连续性试验

试验要求：按 RCC-E MC 3300 的规定进行试验。

下列测试部位测试点数应不少于 5 点：

a) 操作部件与保护导体之间的连续性；

b) 门、覆板与保护导体之间的连续性；

c) 金属框架与保护导体之间的连续性；

d) 安装支架与保护导体之间的连续性。

验收准则：各测试点与主接地点之间的电阻 $\leq 0.1\Omega$ 。

8.1.5 电气间隙与爬电距离测量试验

试验要求：按 GB/T 7251.1-2013 的 8.2.5 条的规定进行。

测量位置：

a) 主回路带电体与裸露导体之间；

b) 主回路各相之间；

c) 不同电压的电路导体之间。

验收准则：电气间隙值 $\geq 14\text{mm}$ ，爬电距离值 $\geq 16\text{mm}$ 。

8.1.6 外壳防护等级试验

试验要求：按 GB 4208-2008 的规定进行。

机柜外壳的防护等级为 IP55。

验收准则：机柜满足 IP55 防护要求。

8.1.7 碰撞防护等级试验

试验要求：按 GB/T 20138-2006 的规定进行试验机柜外壳的机械碰撞要求为 IK07。撞击能量为 2J，撞击应平均分布在壳体的表面，撞击次数如下：

a) 对于尺寸不超过 1m 的正常使用的每个外暴露面冲击 3 次；

b) 对于尺寸超过 1m 的正常使用的每个外暴露面冲击 5 次；

c) 壳体部件（如锁、铰链、手柄等）不进行撞击试验。

验收准则：试验后，外壳应保持原有的防护等级和机械强度，闭锁装置不应损坏，操作器件可以继续使用，门可以打开和关闭，外壳的损伤或变形不得使电气间隙和爬电距离低于要求值，小的裂痕、表面的裂纹或外皮剥落，但不妨碍设备正常运行，则通过该项试验。

8.1.8 自由跌落试验

试验要求：按 GB/T2423.8-1995 方法（一）的规定进行。确定试验样品在搬运期间由于粗率装卸遭到跌落的适应性或确定安全要求的最低牢固等级。

使试验机柜从悬挂的位置自由跌落至混凝土或钢制成的平滑、坚硬的刚性表面，跌落高度 250mm，每个位置跌落 2 次。

验收准则：试验机柜在自由跌落试验后满足目视检查内容和保持性能的完整性。

8.2 电气性能试验

8.2.1 工变频空载试验

试验要求：变频机柜按图 1 接线，用调压器调节输入电压，变频机柜采用键盘单元操作，在 1：10 调速范围内，按表 1 试验条件下运行。

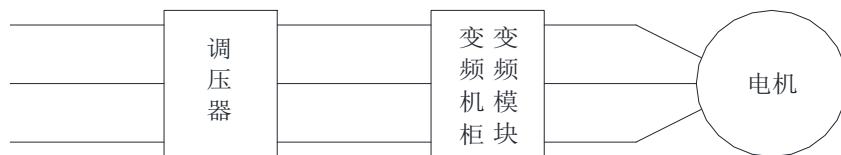


图 1 变频机柜空载试验接线图

表 1 空载运行试验条件

型式试验	运行频率(Hz)	试验时间(min)	输入电压(V)
空载试验	50	20	$(0.85 \sim 1.15) * 380$

注：变频机柜功率超过调压器容量时，直接输入工频电源。

验收准则：变频机柜能正常运行，设置运行频率为 50Hz。输出电压三相平衡。电机无异常振动。VAB、VAC、VBC 在输入电压的 90%~100%范围内（调节电机参数），实际输出频率为 50Hz±0.5Hz。

8.2.2 工变频负载试验

试验要求：变频机柜接额定负载，按图 1 接线，试验条件见表 2。

表 2 负载试验条件

型式试验	运行频率(Hz)	试验时间(min)	输入电压(V)	负载(%)
负载试验	50	20	1.15*380	100
	50	20	1.0*380	100
	50	20	0.85*380	100

注：负载100%代表变频机柜的额定输出电流。变频机柜功率超过调压器容量时，直接输入工频电源。

验收准则：变频机柜能正常运行，设置运行频率为 50Hz。三相输出线电压，三相额定输出电流平衡。电机无异常振动。VAB、VAC、VBC 在输入电压的 90%~100%范围内（调节电机参数），实际输出频率为 50 Hz±0.5Hz。

8.2.3 工变频额定输出电压试验

试验要求：按图 1 接线，试验条件见表 3，测试变频机柜输出电压。

表 3 额定输出电压试验条件

型式试验	运行频率(Hz)	试验时间(min)	输入电压(V)	负载(%)
额定输出电压试验	50	10	0.85*380	100
	50	10	1.0*380	100
	50	10	1.15*380	100

注：负载100%代表变频机柜的额定输出电流。变频机柜功率超过调压器容量时，直接输入工频电源。

验收准则：变频机柜输出电压满足输入电压的 90%~100%（调节电机参数），但是变频机柜输出电压最大不能超过其对应的输入电压范围。

8.2.4 变频额定输出频率试验

试验要求：通过键盘设定频率，按图 1 接线，试验条件见表 4，恒速后测量输出频率。

表 4 额定输出频率试验

型式试验	设定频率(Hz)	试验时间(min)	输入电压(V)	负载(%)
额定输出频率试验	50	10	323~418	100

注：负载100%代表变频机柜的额定输出电流。变频机柜功率超过调压器容量时，直接输入工频电源。

验收准则：输出频率维持在设定频率±0.5Hz，不受输入电压变化而变化。

8.2.5 变频输出电压不对称度试验

试验要求：在输入额定电压、输出额定电流、输出频率分别在 20Hz，30Hz，40Hz，50Hz 的条件下，测量变频机柜输出电压值，计算输出电压不对称度。

根据图 2 计算电压不对称度或则根据 GB/T15543-2008 公式计算输出电压不对称度

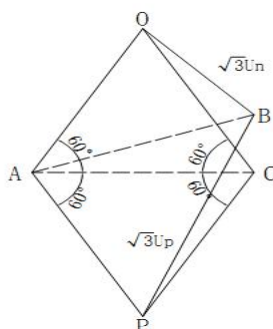


图 2 电压不对称度计算

图 2 中， \overline{AB} 、 \overline{BC} 和 \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。计算输出电压不对称度 K。

$$K = \frac{OB}{PB} = \frac{U_n}{U_p}$$

式中：K：输出电压不对称度； U_p ：输出电压正序分量； U_n ：输出电压负序分量。

验收准则：输出电压不对称度小于 5%。

8.2.6 变频频率调节范围试验

试验要求：变频机柜输出额定电流，调节输出频率，直到被控电机运行在最高和最低频率下难以稳定运行，测量输出频率的调节范围。

验收准则：频率调节范围应满足 5 Hz~50Hz。在频率调节范围之内，变频机柜可以稳定的输出设定的频率。

8.2.7 变频频率稳定精度试验

试验要求：频率稳定精度检验条件见表 5。

表 5 频率稳定精度检验条件

输出频率 (Hz)	输入电压	负载 (%)
50Hz	380V	100

注：负载 100% 代表变频机柜的额定输出电流。

验收准则：采用键盘设定数字频率，频率稳定精度为最高频率的 ±1%。

8.2.8 变频频率分辨率试验

试验要求：输入电压在 323V~418V 范围内变化时，变频机柜输出可调的最小级差频率 Δf_{\min} ，即为频率分辨率。

验收准则：采用键盘设定数字频率，频率分辨率小于 0.02 Hz。

8.2.9 变频起动时间测定试验

试验要求：变频机柜空载 50Hz 运行，以 500 s、250 s、200 s、150 s 和 100 s 加减速时间分别进行起动/停止操作，记录加速时间与减速时间。

验收准则：电机起动平稳，起动时间与设定时间误差不超过 ±5%。

8.2.10 变频效率试验

试验方法：在输出额定电压、额定电流和额定频率的条件下，测试变频机柜输出功率 P_{out} 和输入功率 P_{in} 。计算效率 η 。

$$\eta = (P_{out} / P_{in}) * 100\%$$

验收准则： $\eta \geq 95\%$ 。

8.2.11 变频输出电压谐波试验

试验要求：变频机柜带额定负载运行，用功率分析仪测试变频机柜输出电压的谐波数值，要求记录40次以下的各次谐波数值（可以是百分比）和电压谐波总畸变率 V_{thd} 。频率运行点：50Hz、40Hz。

验收准则： $V_{thd} < 12\%$ 。

8.2.12 变频输出电流谐波试验

试验要求：变频机柜带额定负载运行，用功率分析仪测试变频机柜输出电流的谐波数值，要求记录40次以下的各次谐波数值（可以是百分比）和电流谐波总畸变率 I_{thd} 。频率运行点：50Hz、40Hz。

验收准则： $I_{thd} < 8\%$ 。

8.2.13 变频输入侧功率因数试验

试验要求：变频机柜带额定负载，频率运行在25 Hz ~50Hz，利用功率分析仪测试变频机柜输入侧的功率因数，要求记录有功功率、无功功率、视在功率和功率因数=有功功率 / 视在功率。

验收准则：输入侧功率因数 $\cos \phi \geq 0.9$ 。

8.2.14 工变频噪声测试试验

试验要求：变频机柜不带电动机50Hz运行，在距离变频机柜1m处，离地高度1.5m左右，围绕变频机柜，测试不同点的噪声数值，并取所有测点数据的平均值为测试最终结果。

验收准则：最高点噪声 $< 85\text{dB}$ 。

8.2.15 变频1Hz力矩特性试验

试验要求：运行在1Hz，逐渐增加负载，直到电机输出额定力矩的150%（4级电机）。

验收准则：输出力矩能达到电机额定力矩的150%。

注：稳定运行时间不超过变频机柜过载时间60s。

8.2.16 变频速度控制范围试验

试验要求：在额定负载条件下，记录最高运行频率和最低运行频率，计算速度控制范围。

速度控制范围 = 最低运行频率/最高运行频率

验收准则：应满足1:10调速范围。

8.2.17 变频Modbus通讯试验

试验要求：变频机柜连接到Modbus网络，通过上位机发送命令，进行参数读写操作。

验收准则：可实现变频机柜状态监控、参数读写。

8.2.18 工变频输入电压范围试验

试验要求：电压变化范围在323V~418V。

验收准则：输入电压在一定范围内变化时，对变频机柜无影响，无时间要求，变频机柜无故障，可输出额定电流。

8.2.19 工变频输入频率范围试验

验证试验要求：电源频率变化范围在 50 Hz±4 Hz，变频机柜应在其变化范围内正常运行。

验收准则：输入频率在一定范围内变化时，对变频机柜无影响，变频机柜无故障，可输出额定电流。

8.2.20 工变频极限过载下的温升试验

试验要求：环境温度下，变频机柜在额定电流下达到热稳定后（温度升速率不超过 1K/h），施加 150% 额定负载，至变频机柜发生保护报警，以报警发生时间为温度记录点。测量内部主要发热元器件，其温升不超过表 6 内限值。

表 6 变频机柜在过载情况下的温升要求

序号	元器件或端子连接	温升	序号	元器件或端子连接	温升
1	变频散热器	45K	8	工变频继电器	23K
2	变频电抗器	45K	9	变频铜母线及其连接部件	50K
3	变频滤波器	30K	10	工变频铜螺栓触点	50K
4	各类变频控制电路板、端子	23K	11	变频镀银插头部件	60K
5	工变频按钮开关	23K	12	变频镀锡或镀银的连接端子	65K
6	工变频断路器	35K	13	工变频可触摸金属外壳	30K
7	工变频接触器	30K			

验收准则：变频机柜在过载情况下的温升符合表 6 的要求。

8.3 保护性能试验

变频机柜的保护性能直接影响到整个系统的安全性，在本变频机柜设计中，一旦检测到故障，机柜停止输出，经确认检查后，采用人工干预的方式复位或起动旁路系统。

防止误操作可以通过软件和结构设防两种手段。软件手段主要阻止设定参数被恶意修改，有两种保护方法，一是通过设置参数锁定功能，防止非人为因数引起的参数丢失。二是可以设置权限密码，防止人为因素引起的参数修改。结构设防采取隔离操作平台，并通过锁具封锁。变频PID反馈失效保护试验

试验要求：设置反馈丢失检测值和检测时间，调节 PID 反馈值至小于反馈丢失检测值。

验收准则：变频机柜能报 PID 反馈失效警告，机柜异常，采用备用频率运行或停机。

8.3.2 220V控制电源主辅切换试验

试验要求：220V 主电源丢失，自动切换到 220V 辅电源，并在操作面板上给出警告信号。220V 主电源上电后，自动切换到 220V 主电源。切换时间在 20ms 内。

验收准则：220V 主控制电源丢失，变频机柜能按上述要求自动切换电源。

8.3.3 变频单元过热保护试验

试验要求：关闭变频单元散热风扇或遮挡风道，带额定负载运行。超过过温保护点（85℃）后，变频机柜报变频单元过热故障，机柜不自动调整载波。

验收准则：变频机柜能报变频单元过热故障，停止输出，键盘显示 Err14 故障。温度下降到过温度保护点后，可复位。器件无物理故障。

8.3.4 变频电机过温保护试验

试验要求：电机上装有 PT100 或 PT1000 传感器，设置电机过温度保护值，变频机柜带负载，使电机温度上升。可使用电阻模拟 PT100 或 PT1000。

验收准则：达到阈值后，变频机柜报电机过温故障，停止输出，键盘显示 Err45 故障。电机温度下降到过温度保护值以下时，故障可复位。

8.3.5 变频直流母线欠压故障保护试验

试验要求：变频机柜不带负载，设置母线欠压点，调压器从 380V 开始往下调整节输入电压，监测直流母线电压。当母线电压低于欠压点时，变频机柜报母线欠压故障。

验收准则：变频机柜具有直流母线（输入电压）欠压故障保护功能，变频机柜报欠压故障保护故障，键盘显示 Err09 故障，变频机柜停止输出。

8.3.6 变频直流母线加速过电压保护试验

试验要求：方法一：设置过压点，变频机柜不带负载加速。调节调压器，当高于过压点时，变频机柜停止输出。将调压器回调到额定电压后，故障可复位；方法二：加速过程中，输出对地短路（大电感短路），变频机柜停止输出，故障可复位。

验收准则：变频机柜报加速过电压保护故障，键盘显示 Err05 故障，可复位。器件无过电压引起的物理故障。

8.3.7 变频直流母线减速过电压保护试验

试验要求：方法一：设置过压点，调压器输出整流滤波，接入变频机柜。调节调压器，当高于过压点时，变频机柜停止输出，将调压器回调到额定电压后，故障可复位；方法二：大惯性负载（飞轮），快速减速，变频机柜停止输出，故障可复位。

验收准则：变频机柜报减速过电压保护故障，键盘显示 Err06 故障，可复位。器件无过电压引起的物理故障。

8.3.8 变频直流母线恒速过电压保护试验

试验要求：设置过压点，调压器输出整流滤波，接入变频机柜。变频机柜不带负载恒速状态。调节调压器，当高于过压点时，变频机柜停止输出。将调压器回调到额定电压后，故障可以复位；

验收准则：变频机柜报恒速过电压保护故障，键盘显示 Err07 故障，母线电压回调后，可复位。器件无过电压引起的物理故障。

8.3.9 变频加速过电流保护试验

试验要求：

- a) 关闭变频机柜自动限流功能，带大惯量负载，分档调整加速时间，运行后，造成加速过流故障；
- b) 开启变频机柜限流功能，设置过流点，按条件 1 起动。

验收准则：

a) 变频机柜报加速过电流保护故障，键盘显示 Err02 或 Err40 故障，复位后，调速加速时间，可再次起动。器件无过电流引起的物理故障；

b) 变频机柜降低输出频率，电流小于过流点后，频率恢复正常。满足其中之一即可。

8.3.10 变频减速过电流保护试验

试验要求：

- a) 关闭变频机柜自动限流功能，带大惯量负载，分档调整减速时间，运行后，造成减速过流故障；
- b) 开启变频机柜自动限流功能，设置过流点，按条件 1 减速。

验收准则：满足 a) 或 b) 任一条即可。

a) 变频机柜报减速过电流保护故障，键盘显示 Err03 或 Err40 故障，复位后，调速减速时间，可再次减速，器件无过电流引起的物理故障；

b) 变频机柜缓慢降低输出频率，电流小于过流点后，恢复正常减速。

8.3.11 变频恒速过电流保护试验

试验要求：变频机柜恒速 50Hz 空载运行，突加 160%~200%额定负载，造成过流故障。

验收准则：满足 a) 或 b) 任一条即可。

a) 变频机柜能按上述要求报恒速过电流保护故障，键盘显示 Err04 或 Err40 故障；

b) 变频机柜降低输出频率，电流小于过流点后，频率恢复正常。

8.3.12 工变频机柜过载保护试验

试验要求：变频机柜运行在 50Hz，按表 7 调节负载。

表 7 工变频机柜过载保护倍数

模式	电压来源	时间(s)	负载(%)
变频	电网	60	150
	电网	3	180
工频	电网	30±10	200

注：负载：变频机柜额定电流的150%，180%，200%。

验收准则：变频机柜到达按表 7 的时间保护后，停止输出，键盘显示 Err10 故障。复位后，调节到额定负载，可正常运行。工频：热继电器发生动作，工频停止运行。

8.3.13 变频电机过载保护试验

试验要求：按表 8 的要求调节负载。

表 8 电动机过载保护倍数

电压来源	时间(min)	负载(%)
电网	5	145
电网	2	>155

注：负载为电机额定电流的145%，155%，200%

验收准则：变频机柜在过载时间到达后，报过载保护故障，停止输出，键盘显示 Err11 故障。复位后，调节到额定负载，可正常运行。

8.3.14 变频接地故障保护试验

试验要求：变频机柜上电，未运行，三相输出分别对地短路。

验收准则：变频机柜报对地短接故障，键盘显示 Err23 故障。无法复位。

8.3.15 变频输出短路保护试验

试验要求：变频机柜 50Hz 运行，分别短接 UV、UW、VW、U 对地、V 对地、W 对地，造成输出短路。
验收准则：变频机柜能报输出短路故障，停止输出，键盘显示 Err02\Err03\Err04\Err06\Err07\Err08 或 Err40 故障。复位后正常工作，器件无物理故障。

8.3.16 工变频输入缺相保护试验

试验要求：变频机柜在变频运行时断开任意相输入电源。

验收准则：变频机柜报输入缺相故障，停止输出，键盘显示 Err12 故障或工频停止运行。三相输入正常后，故障可复位。

8.3.17 变频输出缺相保护试验

试验要求：变频机柜在变频运行时断开任意相输出。

验收准则：变频机柜报输入缺相故障，停止输出，键盘显示 Err13 故障。故障可复位。

8.3.18 变频单元主回路直流接触器故障保护试验

试验要求：断开变频单元直流母线接触器线圈或继电器线圈电源，变频机柜带一定负载运行。

验收准则：变频机柜报主回路接触器故障，键盘显示 Err17 故障。充电电阻不得损坏。可复位。

8.3.19 EEPROM存储故障保护试验

试验要求：模拟读写超时和 EEPROM 两参数存储区域写入不同数据。

验收准则：变频机柜报存储故障，键盘显示 Err21 故障，不可复位。

8.4 电磁兼容性试验

8.4.1 变频机柜电磁兼容性概述

本变频机柜采用 PWM 脉宽调制技术，电机调速系统通过功率变换器对电能进行变换，功率变换器件工作在高速开关状态，电压和电流在短时间内发生跳变，其产生的高次谐波，通过连接传导和耦合，形成电磁干扰。

当变频机柜在复杂的电磁环境条件下运行，设计不当，可能会产生各种故障，严重影响变频调速系统的稳定性和执行安全功能的能力。

8.4.2 变频机柜在调速电气传动系统中的环境要求分类

按 GB12668.3-2012 标准环境要求分为：

第一类环境：包括民用房屋的环境，也包括不经过中间变压器而直接连接到向民用建筑物供电的低压供电网的应用环境。

第二类环境：包括除直接连接到向民用建筑物供电的低压供电网的应用环境外的所有环境。

C1 类 PDS: 额定电压低于 1000V，预期用途为第一类环境的 PDS。

C2 类 PDS: 额定电压低于 1000V，既不是插入式设备，也不是移动式设备，并且当用于第一类环境时，规定只能由专业人员安装和调试的 PDS。

C3 类 PDS: 额定电压低于 1000V，其预期用途为第二类环境。

C4 类 PDS: 额定电压高于或等于 1000V 或者额定电流大于或等于 400A，或者其预期用途为第二类环境中的复杂系统中的 PDS。

核电厂用安全级变频机柜属于 C3 类，适用于第二类环境。其 EMC 特性应满足 C3 类的要求。

8.4.3 电磁兼容性试验的基本验收准则

基本抗扰度验收准则定义如下：

准则 A：无需操作人员介入，变频机柜能按预期持续正常工作。不允许出现低于规定的性能等级的性能降低或功能损失，硬件不得有损坏。

准则 B：无需操作人员介入的前提下，试验后变频机柜能按预期继续运行。在试验过程中，性能下降是允许的，但不允许实际运行状态或存储数据有所改变，硬件不得有损坏。

准则 C：在操作人员的干涉下，试验后变频机柜能按预期的情况继续运行，硬件不得损坏。

8.4.4 抗扰度试验期间的负载条件

按 GB12668.3-2012 中 A.2.2 所述，由于电机的负载对变频机柜的 EMC 特性的影响值很小，因此，无需在所有负载下对变频机柜进行试验。负载条件不影响变频机柜对低频骚扰和高频骚扰的抗扰度，因此抗扰度试验的负载可选为电机空载运行，无需模拟满载运行。

8.4.5 发射试验期间的负载条件

8.4.5.1 高频发射

按 GB12668.3-2012 中 A.2.1 所述，由于电机的负载对变频机柜的 EMC 特性的影响值很小，因此，无需在所有负载下对变频机柜进行试验。变频机柜的辐射性发射和传导性发射主要是由产生低频或直流输出功率的输出电压的突变引起的。如 IGBT 高速开关，可产生高于 $1000\text{V}/\mu\text{s}$ 的 dv/dt ，与负载的关系并不密切相关，因此抗扰度试验的负载可选为电机空载运行，无需模拟满载运行。

8.4.5.2 低频发射

按 GB12668.3-2012 中 B.2.3.3 和 B3.2.2 所述，对额定输入电流小于 75A 的变频机柜进行评估时，不考虑过载情况。核电厂用安全级变频机柜 30kW 以下都符合，按额定负载运行。

24 小时内过载条件不超过 5% 的总持续时间，而且在 7 天之内，不超过 1% 的总持续时间，稳态条件就表达最坏条件的条件。37kW 以上的变频机柜应符合该条件，按额定负载运行。

8.4.6 抗扰度试验

8.4.6.1 工变频浪涌（冲击）抗扰度试验

验证变频机柜对由开关和雷电瞬变过电压引起的单极性浪涌（冲击）的抗扰度。

试验要求：负载条件为 8.4.4，按表 9 给定的要求进行试验。

表 9 浪涌要求

输入要求	参考标准	等级
浪涌 $1.2\mu\text{s}/50\mu\text{s}$	GB/T17626.5-2008	2(线对线)
		3(线对地)

电源端口：指连接变频机柜与供电电源的端口。

验收准则：准则 B。

8.4.6.2 工变频电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

验证变频机柜对电快速瞬变脉冲群的抗扰度。

试验要求：负载条件为 8.4.4，按表 10 给定的要求进行试验。

表 10 电快速瞬变脉冲群要求

输入要求	参考标准	等级
快速瞬变脉冲群	GB/T17626.4-2008	3

验收准则：准则 B。

8.4.6.3 工变频静电放电抗扰度试验

验证变频机柜遭受直接来自操作者和对邻近物体的静电放电的抗扰度。

试验要求：负载条件为 8.4.4，按表 11 给定的要求进行试验。

表 11 静电放电要求

输入要求	参考标准	等级
静电放电	GB/T17626.2-2006	3

验收准则：准则 B。

8.4.6.4 工变频射频电磁场辐射抗扰度试验

验证变频机柜受到射频电磁场辐射的抗扰度。

试验要求：按表 12 给定的要求，在 80MHz~1000MHz 下，负载条件为 8.4.4 进行试验。

验收准则：准则 A。

表 12 射频电磁场辐射抗扰度要求

输入要求	参考标准	等级
射频电磁场、调幅	GB/T 17626.3-2006	3

8.4.6.5 工变频电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验

验证变频机柜在经受电压暂降，短时中断和电压变化的抗扰度。

试验要求：负载条件为 8.4.4，按表 13 给定的要求进行试验。

表 13 电压暂降、短时中断和电压变化要求表

输入要求	参考标准	等级
电压暂降	GB/T17626.11-2008	3
短时中断		3
电压变化		70%

验收准则：准则 C。

8.4.6.6 工变频射频场感应的传导骚扰抗扰度试验

试验要求：验证变频机柜在 150kHz~80MHz 频率范围内，对来自射频发射机电磁骚扰的传导抗扰度试验按表 14 给定的要求进行，负载条件见 8.4.4。

表 14 射频场感应的传导骚扰抗扰度要求

输入要求	参考标准	等级
射频场感应的传导骚扰	GB/T 17626.6-2008	3

验收准则：准则 A。

8.4.6.7 工变频工频磁场抗扰度试验

试验要求：负载条件为 8.4.4，按表 15 给定要求进行试验。

验收准则：准则 A。按 GB12668.3-2012 中 A.3.1 的规定，对于含有霍尔电流传感器的变频机柜，这些传感器被设计成能够在高电平磁场的场所工作，其磁场的幅值比 GB/T17626.8-2006 规定的等级高。

表 15 工频磁场要求

输入要求	参考标准	等级	等级
工频磁场干扰	GB/T 17626.8-2006	稳定持续 4	短时持续 4

8.4.6.8 工变频脉冲磁场抗扰度试验

试验要求：负载条件为 8.4.4，按表 16 给定要求进行试验。

表 16 脉冲磁场试验等级

输入要求	参考标准	等级
脉冲磁场干扰	GB/T 17626.9-2011	4

验收准则：准则 B。

8.4.6.9 工变频阻尼振荡磁场抗扰度试验

试验要求：负载条件为 8.4.4，按表 17 给定要求进行试验。

表 17 阻尼振荡磁场试验等级

输入要求	参考标准	等级
阻尼磁场干扰	GB/T 17626.10-1998	4

验收准则：准则 B。

8.4.6.10 工变频振铃波抗扰度试验

试验要求：负载条件为 8.4.4，按表 18 给定要求进行试验。

表 18 振铃波等级

输入要求	参考标准	等级
振铃波干扰	GB/T 17626.12-2013	4

验收标准：准则 B。

8.4.6.11 工变频 0Hz~150kHz 共模传导骚扰抗扰度试验

试验要求：负载条件为 8.4.4，电源频率的试验等级按表 19 给定要求，15Hz~150kHz 频率范围内的试验等级按表 20 给定要求进行试验。

表 19 电源频率共模传导骚扰等级

输入要求	参照标准	持续骚扰等级	短时骚扰等级
共模干扰	GB/T 17626.16-2007	3	3

表 20 15 Hz~150kHz 频率范围内共模传导骚扰等级

输入要求	参考标准	等级
共模干扰	GB/T 17626.16-2007	3

验收标准：准则 B。

8.4.7 发射试验

8.4.7.1 变频额定电流大于 16A 的设备谐波电流试验

试验要求：按 GB/Z 17625.6-2003 的规定，负载条件按 8.4.5.2 要求进行试验。

验收准则：符合 GB/Z 17625.6-2003 表 2 的要求。如果试验单位没有相关设备，可以考虑使有功功率分析仪测试或计算机仿真。

8.4.7.2 变频电源端口骚扰电压试验

试验要求：按 GB/T 12668.3-2012 的规定及表 21 给定的要求，负载条件按 8.4.5 的要求进行试验。

表 21 电源端口骚扰电压

输出要求	规格	频带 (MHz)	准峰值 dB(μV)	平均值 dB(μV)
电源端口骚扰	I ≤ 100A	0.15 ≤ f < 0.5	100	90
		0.5 ≤ f < 5.0	86	76
		5.0 ≤ f < 30.0	90	80
			随频率的对数下降到 70	随频率的对数下降到 60
	I ≥ 100A	0.15 ≤ f < 0.5	130	90
		0.5 ≤ f < 5.0	125	76
5.0 ≤ f < 30.0		115	80	

验收准则：满足表 21 规定限值。

8.4.7.3 变频机壳端口的辐射试验

试验要求：按 GB/T 12668.3-2012 的规定及表 22 的要求，负载条件按 8.4.5 的要求进行试验。

表 22 机壳端口辐射的限值

输出要求	频带 MHz	准峰值限值 dB(μV/m)
机壳端口辐射	30 ≤ f ≤ 230	50

	230 < f ≤ 1000	60
测量距离	10m	

验收准则：满足表 22 的规定限值。

8.5 环境适应性试验

8.5.1 低温存储试验

试验要求：按 GB/T2423.1-2008 试验 Ab 的要求，温度为-20℃，持续时间 72h。

验收准则：经过恢复后，变频机柜满足目视检查内容以及无载运行正常。

8.5.2 低温工作试验

试验要求：按 GB/T2423.1-2008 试验 Ad 的要求，变频机柜空载运行，将温度调节到-5℃，持续时间 16h。

验收准则：经过恢复后，变频机柜满足目视检查内容以及无载运行正常。

8.5.3 高温存储试验

试验要求：按 GB/T2423.2-2008 第 5.2 的要求，将温度调节到 65℃，温度到达稳定后，持续时间 96h。

验收准则：经过恢复后，变频机柜满足目视检查内容以及无载运行正常。

8.5.4 高温工作试验

试验要求：按 GB/T2423.2-2008 第 5.3 的要求，变频机柜空载运行，将温度调节到 45℃，持续时间 16h。

验收准则：经过恢复后，变频机柜满足目视检查内容以及无载运行正常。

8.5.5 交变湿热工作试验

试验要求：按 GB/T2423.4-2008 的要求，将温度调节到 55℃，循环 2 次，选择试验循环方法 2 进行试验。

验收准则：经变频机柜在高湿度与温度循环变化组合时，通常会在试验样品表面产生凝露的条件下使用的适应性，经过恢复后，变频机柜满足目视检查内容以及无载运行正常。

8.5.6 温度变化试验

试验要求：按 GB/T2423.22-2012 试验 Na 的要求，在温度快速变化的空气或合适的惰性气体中，交替暴露于 45℃和-5℃下持续 3h。

验收准则：经过恢复后，变频机柜满足目视检查内容以及无载运行正常。

8.5.7 低气压试验

试验要求：按 GB/T2423.21-2008 的要求，试验气压为 84kPa，持续时间 2h，试验期间变频机柜保持通电状态。

验收准则：经过恢复后，变频机柜满足目视检查内容以及无载运行正常。

8.5.8 中性盐雾试验

试验要求：按 GB/T2423.17-2008 的要求，在盐雾试验箱内带载运行 96h。

验收准则：经过恢复后，变频机柜满足目视检查内容以及无载运行正常。

8.5.9 振动试验

试验要求：按 RCCE D2221、EJ/T1197-2007 及 GB/T2423.10-2008 的要求，频率：10Hz~500Hz，振幅：0~30 μm ，加速度：0.2g。频率在 57Hz 以内时，振动为固定的振幅，超过这个频率后，振动增幅为等加速度。

验收准则：完成后，变频机柜满足目视检查内容及无载运行正常。

8.6 老化试验

变频机柜安装于核电厂和缓环境中（仅考虑地震基准事件），对机柜进行老化模拟，在预期寿命末期经受地震基准事件考验，考核机柜执行安全功能的能力。

核电厂用安全级变频机柜的老化机理分析是在预期合格寿命期内确保能够执行要求的安全功能。变频机柜应能承受寿命期内的环境条件和运行条件下正常运行和异常的累积作用。这些作用包括物理、机械、电气和工艺过程、温度、辐照、压力、湿度、蒸汽、振动和地震、电源条件、流体参数等。

8.6.2 老化机理评定

根据老化机理分析，核电厂用安全级变频机柜不具有显著老化机理，地震是唯一的设计基准事件。但为取得设备性能随时间变化数据，将热老化和运行老化模拟试验纳入鉴定程序，考核元器件在该老化机理作用下可靠执行所需的安全功能。

8.6.3 验收准则

变频机柜在鉴定各阶段保证结构完整性和执行其安全功能。通过老化后基准性能试验，评定机柜中安全相关的元器件的性能状态及其对机柜安全功能的影响。

8.6.4 元器件老化分类

经对变频机柜元器件的老化机理分析和评定，变频机柜的部件分为两类：一类是变频机柜执行安全功能的元器件，必须考虑老化因子对元器件功能的潜在影响。这类元器件包括：

- a) 柜内主电源回路中的断路器、接触器、热继电器等；
- b) 控制回路用的空气断路器、继电器、按钮、控制开关；
- c) 因电解电容具有显著老化机理，主电解电容、主控制板、驱动电源板和风扇电源板。

另一类元器件不参与变频机柜执行安全功能，不必考虑老化因子的影响，但须证明它们不降低变频机柜的安全功能，通过抗震试验验证，如指示灯等。

8.6.5 老化元器件

表 23 老化元器件

序号	元器件名称	老化要求		序号	元器件名称	老化要求	
		热老化	运行老化			热老化	运行老化
1	主电解电容	是		12	热继电器	是	是
2	主控制板	是		13	按钮开关	是	是
3	驱动电源板	是		14	端子	是	

4	风扇电源板	是		15	3 位开关	是	是
5	直流接触器	是		16	2 位开关	是	是
6	开关电源	是		17	绿色按钮	是	是
7	接触器	是	是	18	红色按钮	是	是
8	断路器	是	是	19	蓝色按钮	是	是
9	继电器	是	是	20	急停开关	是	是
10	继电器	是		21	按钮开关	是	是
11	辅助触点	是	是	22			

8.6.6 热老化前元器件基准性能试验

按 GB/T15473-2011, 5.3.1.4 设备必须至少在室温条件下进行 100h 的老练（在满负荷下进行 50h, 在规定的最小负荷下 50h）。老化元器件应在规定的环境条件下, 进行下表所列项目的性能试验, 并记录试验结果作为基准数据, 供各阶段试验比较之用。热老化前元器件基准性能试验要求见表 24。

表 24 热老化前元器件基准性能试验要求

序号	元器件名称	试验项目及要求
1	主电解电容	a) 偏差不得低于标称的容量-25% ; b) 绝缘电阻 > 10M; c) 400V 直流电压下, 无损坏。
2	主控制板 驱动电源板 风扇电源板	a) 根据各电路板功能调试手册, 功能正常; b) 如果有开关电源, 应使开关电源工作在满载状态, 电压正常。
3	交直流接触器	a) 在 85% 和 110% 的额定线圈电压工况下能可靠吸合; b) 在 70% 及以上的额定线圈电压工况下不释放; c) 检查辅助触头通断情况。
4	继电器	a) 在 85% 和 110% 的额定线圈电压工况下能可靠吸合; b) 在 70% 及以上的额定线圈电压工况下不释放; c) 检查触头通断情况。
5	断路器	a) 手动操作; b) 在 200% I_n 下, 脱扣时间符合制造厂提供的“电流/时间曲线”; c) 80%~120% 的最大瞬时脱扣整定电流时的脱扣试验。
6	热继电器	a) 在 200% I_n 下, 脱扣时间符合制造厂提供的“电流/时间曲线”; b) 检查辅助触头通断情况。
7	按钮开关	通 24V 电, 检查触头通断情况

8.6.7 热老化试验

8.6.7.1 热老化模型

核电厂用安全级变频器柜热老化采用阿伦纽斯 (Arrhenius) 模型, 用于预测热老化导致的非金属材料性能的劣化。在一定温度作用下, 发生的主导化学反应与材料性能的劣化程度之间存在关系, 反应

速率取决于运行温度以及材料的特定老化参数（活化能）。在一定的温度范围内，通过提高温度、缩短作用时间的方法来等效地获得材料的热老化后劣化状态。

8.6.7.2 绝缘材料活化能

表征化学反应速率的元件材料活化能数据是确定加速热老化量的关键，可直接引用已公布的数据。老化元器件的活化能见表 25。

表 25 绝缘材料活化能

序号	元器件名称	活化能	序号	元器件名称	活化能
1	主电解电容	0.8ev	6	接触器	1.17ev
2	主控制板	0.8ev	7	继电器	1.17ev
3	电源驱动板	0.8ev	8	热继电器	1.17ev
4	风扇电源板	0.8ev	9	按钮开关	0.913ev
5	断路器	1.17ev	10	端子	0.913ev

8.6.7.3 热老化温度

加速热老化温度取决于材料的允许温度、所期望的老化时间、环境温度和运行时温升。

变频机柜处于和缓环境，常年平均环境温度不超过 30℃。在通风良好的条件下，达到热平衡时（温升率低于 1K/小时）：

不超过 12 K：主电解电容、主控制板、电源驱动板、风扇电源板上的电解电容；

不过 20 K：端子、辅助触头、按钮、开关、继电器；

不超过 30 K：断路器、接触器。

8.6.7.4 热老化时间

按合格寿命的要求，主电解电容、电路板、断路器、接触器、端子、继电器等元器件需要进行热老化模拟试验，试验要求见表 26：

表 26 热老化时间表

序号	元件名称	反应活化能 (ev)	长期运行温度 (℃)	热老化温度 (℃)	热老化时间	
1	主电解电容	0.8	42	100	448	等效 5 年 老化 (h)
2	电路板	0.8	42	100	448	
3	断路器	1.17	60	110	427	等效 10 年 老化 (h)
4	接触器	1.17	60	110	427	
5	继电器	1.17	60	110	427	
6	按钮/端子	0.913	50	110	513	

8.6.8 运行老化试验

通过对元器件设计寿命内操作次数的估计,对样机进行操作循环试验。在参考 IEEE 649-2006 (R2011) 提出的针对相关元器件的运行老化循环数量的基础上,按等效 10 年循环进行运行老化,试验要求见表 27。

表 27 运行老化试验要求

序号	元器件名称	能动部件等效 10 年操作循环要求
1	断路器	a) 断路器进行 4 次 200% 额定电流的过负荷跳闸操作; b) 125 次 100% 额定工况 (电压、电流; 最多 4 次/分钟) 手动操作。
2	交流接触器	在额定电压工况下进行 1500 次操作循环 (最多 6 次/分钟), 通过主触头的负荷电流按 AC-3 类, 辅助触头通过感性负载电流按 DC-13。
3	继电器	额定电压工况下, 通以额定感性负载电流按 DC-13 或 AC-15 (根据实际情况选择使用 AC 或 DC) 进行 1500 次操作循环 (最多 6 次/分钟)
4	开关按钮	额定电压工况下, 通以额定感性负载电流按 DC-13 或 AC-15 (根据实际情况选择使用 AC 或 DC) 进行分、合操作。进行 3000 次操作, 10 次/分钟。

8.7 抗震试验

按 GB/T 12727-2002、GB/T 13625-1992 和 HAF-J0053-1995 的要求,安全停堆地震 (SSE) 之前模拟 5 次运行基准地震 (OBE)。

地震是唯一的设计基准事件,为确保试验结果的通用性,鉴定将采用严酷的具有很大包容性的人造楼面响应谱。按 IEEE323-2003 的要求,设计裕度为地震加速度+10%。

本试验验证如下要求:

- 鉴定机柜在地震过程中及之后的结构完整性;
- 1E 级元器件在地震过程中及之后的安全功能;
- 非 1E 级元器件对鉴定机柜的安全功能不产生负面影响;
- 获得地震模拟过程中,典型元器件安装位置的加速度响应值。

变频机柜采用螺栓和焊接相结合的方式固定在安装支架上,安装支架采用螺栓固定在转接基座上,转接基座的底板采用 M30 螺栓和振动台台面进行刚性连接。

8.7.1 测点布置

布置多个加速度测点,每个测点均含 X、Y、Z 三个方向。

核心位置包括:变频单元处、工变频切换处、逻辑控制面板处、机柜顶部。

触点抖动监视:典型元件状态及触点抖动监视采用常闭节点串联,常开节点并联的方式通过 1.5V 直流电源和负载电阻监视,对于断路器的主触头、以及反应主触头位置状态的断路器辅助开关,由于在抗震的试验过程中他们的位置状态会发生改变,但由于这些辅助接点以及断路器的主触头为机械联动式,因此无需将所有这些接点进行串联或并联,因而只需监视其中每一个部件的一组接点。

8.7.2 试验步骤和方法

8.7.3.1 自振频率和阻尼比测定

采用频率范围为 0.2 Hz~100Hz,幅值为 0.2g 的白噪声随机波分别在 X、Y、Z 三个轴向对变频机柜进行振动激励,以测定变频机柜的自振频率和阻尼比。

8.7.3.2 地震载荷

核电厂标高 39.10m 的楼层反应谱。

8.7.3.3 运行基准地震（OBE）试验

核电厂用安全级变频机柜抗震试验应经受 5 次 OBE（幅值为 SSE 的 50%），以模拟地震疲劳的累积效应。该过程中，对变频机柜施加模拟电气载荷并模拟正常工况下的操作。

- a) 第 1 次 OBE 试验中机柜处于停机运行状态；
- b) 第 2 次 OBE 试验中机柜处于变频运行状态；
- c) 第 3 次 OBE 试验前机柜处于停止状态，地震开始 8s 后机柜处于由停止状态转换到变频状态；
- d) 第 4 次 OBE 试验前机柜处于变频状态，地震开始 8s 后机柜处于由变频状态转换到工频状态；
- e) 第 5 次 OBE 试验前机柜处于工频状态，地震开始 8s 后机柜处于由工频状态转换到变频状态，然后再转换到停机状态。

8.7.3.4 安全停堆地震（SSE）试验

5次OBE试验结束后，变频机柜应经受一次SSE。为考核机柜在地震过程中执行安全功能的能力，应对机柜施加模拟电气载荷并模拟正常工况下的操作（变频运行）。

8.7.3.5 鉴定机柜试验后检验

为验证核电厂用安全级变频机柜在抗震试验期间和之后的功能和性能并进行比较，应在抗震试验之前、期间和之后进行适当的试验。抗震前后试验要求详见表 28。

表 28 抗震前后试验要求

检查和试验项目	验收准则	适用性		
		前	期间	后
目视检查	结构完整，结构的损坏（如果有的话）不会危及变频机柜系统的功能。	√	√	√
分合功能试验	1、带触点元器件必须按要求保持或改变状态。 2、主回路带触点元器件不得有故障，必须可靠运行。 3、控制电路（继电器、接触器）必须可靠运行。 4、变频机柜直流母线侧接触器功能必须正常。	√	√	√
电气性能试验	1、地震不得削弱装置中断路器、接触器、继电器、开关按钮的开断能力和传输连续电流的能力。		√	√
	2、地震不得造成绝缘系统介电强度的降级。		√	√
	3、地震不得造成变频机柜电机控制性能的降低（无载运行正常）。			√

试验结束后，先对机柜进行外观检查，然后按要求进行各项试验，并根据上述检查和试验结果，并再增加8项性能试验，变频频率调节范围试验、变频频率稳定精度试验、变频频率分辨率试验、变频效

率试验、变频输出电压谐波试验、变频输出电流谐波试验、变频输入侧功率因数试验、变频速度控制范围试验，进行最终判定。**检验规则**

9.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验。检验项目见表 29。

9.2 出厂试验

出厂试验是用以检验元器件、材料、工艺上的缺陷和变频机柜是否达到标准的规定。每台变频机柜都要进行出厂试验。

在出厂试验的过程中，若任意一项不合格，均判为该变频机柜不合格。

9.3 型式试验

型式试验的变频机柜应不少于两台。进行型式试验时，若发现任何一项不合格，则应进行返修复检。复检仍不合格，则判为该变频机柜的型式试验不合格。

凡具有下列情况之一的变频机柜，应进行型式试验：

- a) 新产品试制定型鉴定；
- b) 正式生产后，如有结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能；
- c) 正常生产时，定期或积累一定产量后，应周期性进行一次检验；
- d) 产品停产 2 年后，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式试验有较大差异时；
- f) 国家监管部门提出进行型式试验的要求时；
- g) 业主、总承包单位、买方的提出要求时。

表 29 检验项目及要 求

序号	试验项目	型式试验	出厂试验	依据条款
1	目视和机械检查	×	×	8.1.1
2	绝缘电阻测量	×	×	8.1.2
3	耐压强度	×	×	8.1.3
4	机械接地连续性	×		8.1.4
5	电气间隙与爬电距离测量	×	×	8.1.5
6	外壳防护	×		8.1.6
7	碰撞防护	×		8.1.7
8	自由跌落	×		8.1.8
9	工变频空载试验	×	×	8.2.1
10	工变频负载试验	×	×	8.2.2
11	工变频额定输出电压试验	×	×	8.2.3
12	变频额定输出频率试验	×	×	8.2.4
13	变频输出电压不对称试验	×	×	8.2.5
14	变频频率调节范围试验	×	×	8.2.6
15	变频频率稳定精度试验	×		8.2.7
17	变频频率分辨率试验	×		8.2.8

18	变频起动时间测定试验	×	×	8.2.9
18	变频效率试验	×		8.2.10
19	变频输出电压谐波试验	×		8.2.11
20	变频输出电流谐波试验	×		8.2.12
21	变频输入侧功率因数试验	×		8.2.13
22	工变频噪声测试试验	×		8.2.14
23	变频 1Hz 力矩特性试验	×		8.2.15
24	变频速度控制范围试验	×		8.2.16
25	变频 Modbus 通讯试验	×		8.2.17
26	工变频输入电压范围试验	×		8.2.18
27	工变频输入频率范围试验	×		8.2.19
28	工变频极限过载下的温升试验	×	○	8.2.20
29	变频 PID 反馈失效保护试验	×	×	8.3.1
30	220V 控制电源主辅切换试验	×	×	8.3.2
31	变频单元过热保护试验	×	×	8.3.3
32	变频电机过温保护试验	×		8.3.4
33	变频直流母线欠压故障保护试验	×	×	8.3.5
34	变频直流母线加速过电压保护试验	×	×	8.3.6
35	变频直流母线减速过电压保护试验	×	×	8.3.7
36	变频直流母线恒速过电压保护试验	×	×	8.3.8
37	变频加速过电流保护试验	×	×	8.3.9
38	变频减速过电流保护试验	×	×	8.3.10
39	变频恒速过电流保护试验	×	×	8.3.11
40	工变频机柜过载保护试验	×	×	8.3.12
41	变频电机过载保护试验	×		8.3.13
42	变频接地故障保护试验	×	×	8.3.14
43	变频输出短路保护试验	×	×	8.3.15
44	变频输入缺相保护试验	×	×	8.3.16
45	变频输出缺相保护试验	×	×	8.3.17
46	变频单元主回路直流接触器故障保护试验	×		8.3.18
47	EEPROM 存储故障保护试验	×		8.3.19
48	工变频浪涌（冲击）抗扰度试验	×		8.4.6.1
49	工变频电快速瞬变脉冲抗扰度试验	×		8.4.6.2
50	工变频静电放电抗扰度试验	×		8.4.6.3
51	工变频射频电磁场辐射抗扰度试验	×		8.4.6.4
52	工变频电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验	×		8.4.6.5
53	工变频射频感应的传导骚扰抗扰度试验	×		8.4.6.6
55	工变频工频磁场抗扰度试验	×		8.4.6.7
56	工变频脉冲磁场抗扰度试验	×		8.4.6.8
58	工变频阻尼振荡磁场抗扰度试验	×		8.4.6.9
58	工变频振铃波抗扰度试验（）	×		8.4.6.10

59	工变频 0Hz~150Hz 共模传导骚扰抗扰度试验	×		8.4.6.11
60	变频额定电流大于 16A 的设备谐波电流试验	×		8.4.7.1
61	变频电源端口骚扰电压试验	×		8.4.7.2
62	变频机壳端口的辐射试验	×		8.4.7.3
63	低温储存试验	×		8.5.1
64	低温工作试验	×		8.5.2
65	高温存储试验	×		8.5.3
66	高温工作试验	×		8.5.4
67	交变湿热工作试验	×		8.5.5
68	温度变化试验	×		8.5.6
69	低气压试验	×		8.5.7
70	中性盐雾试验	×		8.5.8
71	振动试验	×		8.5.9
72	热老化前元器件基准性能试验	×		8.6.6
73	热老化试验	×		8.6.7
74	运行老化试验	×		8.6.8
75	抗震试验	×		8.7
<p>注1：表1出厂检验项目中“×”表示逐台必检，“○”表示每批抽检一台。没有标记的项目则属于需要本公司与客户协商的项目。</p> <p>注2：对于表格中的可靠性试验，由于试验设备的限制，其可以采用等同试验方法，即试验功率单元或者是变频器柜内部电路板。</p>				

10 标志、包装、运输、贮存

10.1 标志

10.1.1 铭牌

机柜铭牌内容应包括：

- 制造单位名称；
- 核电厂用安全级变频器柜型号、批号、序列号；
- 核电厂用安全级变频器柜主要参数：额定输入电压、额定输入电流、额定输入频率；额定输出电压、额定输出电流、制造日期。

10.1.2 包装标志

包装箱外部应注明下列标志：

- 核电厂用安全级变频器柜型号、名称及出厂序号；
- 收货单位的名称及地址；
- 制造单位名称及地址；
- 产品执行标准号；
- 位置标志“↑”和写在箭头上部的“向上”字样；
- 防雨标志和重叠放置数量标志；

- g) 包装箱外形尺寸；
- h) 包装日期。

10.2 包装

10.2.1 变频机柜包装

必须符合有关包装运输规范要求，保证变频机柜在运输存放过程中不受机械损伤，并有防雨防尘能力。

10.2.2 装箱文件

应有用户手册。

10.3 运输

变频机柜在运输过程中，不应有剧烈振动、撞击和倒放。运输的环境温度和相对湿度应符合表 3 规定。

10.4 贮存

变频机柜不得暴晒及淋雨，应存放在空气流通、无腐蚀性气体的仓库中，贮存的环境温度和相对湿度应符合表2规定，贮存期不超过六个月。

11 质量承诺

11.1 在正常使用状态下，产品使用期为10年。

11.2 自产品出厂之日起24个月内，在产品说明书规定的正常储运、保养、操作条件下，因材料缺陷、制造质量、设计等原因造成的损坏（易损件除外），制造商负责免费保修。产品在使用过程中出现质量问题时，制造商接到客户电话或传真后应在8小时内响应；当需要现场服务时，应在48小时内到达现场进行售后服务。