

[开关设备]

核电站抗震电源柜设计

文/北京中法瑞克核仪器有限公司 李京峰

根据核电站设备的使用环境和安全级别要求,设备分为核级和非核级。其中核级产品定义为安全级1E级设备,其基本的要求是保证设备在正常环境下和地震载荷下能够正常运行,并执行其原有的功能。

核电厂1E级机柜,是属于保证核电站安全可靠运行的安全级设备。

此类设备的作用包括反应堆安全停堆、安全壳隔离、堆芯冷却以及从安全壳和反应堆排出热量,防止放射性物质向环境过量排放等作用。

此类设备的设计要求在正常环境和地震载荷下必须能正常运行,保证其原有的性能,完成对各种仪表、电气的供电,信号的连接或扩展。并且还具具有对现场工况进行显示和控制等功能。

核电厂1E级机柜使用环境要求

1) 抗震:5次,OBE(运行基准地震);1次,SSE(安全停堆地震);地震反应谱最大加速度:5g,频率:5~15 Hz。

2) 产品使用寿命≥40年(针对1E级K1类产品)。

3) 适应正常使用环境条件。

① 温度: -10~40℃。② 相对湿度: 0~100%RH。③ 大气压力: 0.096~0.106 MPa。④ 振动: 10~2 000 Hz, 振幅: 0~30 μm, 加速度: 0.2g。⑤ 剂量率: 0.01~50 rad/h。

4) 适应事故使用环境条件(针对1E级K1类产品)。

① 硼酸: 1.5%。

② 氢氧化钠: 0.6%。

③ 温度20℃时pH值: 9.2。

5) 适应事故后使用环境条件(针对1E级K1类产品)。

① 温度: 100±5℃。② 绝对压力: 200±50 kPa。③ 上述正常及事故环境下的累积辐照剂量:

850 kGy。

6) 电气性能。

① 介电强度试验(方均根值): 2 500 V, 1 min 漏电流<10 mA。② 绝缘电阻试验: 500 V时≥100 MΩ。③ 接地连续性试验: 电阻<0.1 Ω。

核电厂1E级机柜设计中考虑的因素

1. 尺寸要求

根据电子电气元件和各种装置所需的空间来确定基本尺寸和尺寸链的设计,尺寸系列按照通用标准和定型尺寸,并考虑标准化和系列化来解决安装的互换性。

2. 安装要求

考虑用户对产品的要求来设计安装方式,以及安装所采取的固定和锁紧方式。总之,方便施工,便于配布线,便于调试和维护。

3. 强度和刚度要求

要求根据产品的负荷大小、抗震和抗冲击要求来进行强度和刚度的设计验算。在进行强度和刚度设计时要考虑结构件的连接方式,整体是拼装还是焊装等;还要考虑结构件的结构形式。

通常使用以下一些方法:1) 按需要在主要框架部位或者薄弱部分焊加强筋。2) 通过增加折弯或压筋来增加结构件的强度和刚度。3) 柜体的主结构骨架的对角线加装支撑梁,使得方形主框架改变为三角结构的主框架。4) 起支撑作用的零件钢材的材料厚度≥3 mm。5) 插入式设备和滑道安装的设备,必须根据要求提供机械限制器,以便保持定位的牢固性。6) 设计安装抗震底座,保证机柜稳

妥地放置于水泥地面或支架表面,并用合适的紧固件固定机柜。

4. 外壳防护要求

根据设备的使用环境以及设备对防雨、防尘和防异物进入的要求来确定其防护等级。

5. 通风散热方面的要求

根据设备负荷大小和发热量,合理进行通风散热设计,如机壳内产生的热量较大,可考虑采用散热风机等冷却装置;如发热量较小,可采用散热板或在机壳上开孔。在机壳上开孔会和外壳防护及电磁兼容形成矛盾,所以要综合考虑。

具体实例的设计

图1所示的抗震电源柜已经在国内设计并已投产,现应用于国外某电站,已经通过各项相关试验和现场使用环境的验证。如图1所示(内部安装元器件图中没有体现)。

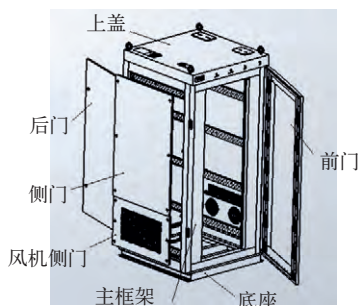


图1 某抗震电源柜结构示意图

1. 主框架设计

主框架设计是抗震机柜设计的重点,如图2所示。除了考虑强度和刚性外,还要考虑整体的安装方式和材质的选择。由于此机柜的宽度和深度均达到850 mm,跨度较大,因此采用整体焊接方式完成主框架的设计,材质选取Q235B钢,含碳量在0.2%左右,此种焊接结构的框架不宜选取含碳量较高的材料,因为含碳量过高,焊接后会产生应力集中,引起焊缝开裂。



图2 某抗震电源柜主框架设计示意图

底座采用10#的槽钢拼接焊接而成,抗震结构的“主立柱”采用壁厚为3.5 mm的方钢管与底座焊接而成。“侧部加强筋”选用2.5 mm厚的优质冷轧钢板,通过折弯进一步提高其刚度,安装方式采用与两侧“主立柱”焊接。

机柜抗震性能的分析、试验等主要是考核机柜抗震结构中主骨架的结构,因此,底座与主立柱的结构设计、加工工艺、材料选取和制造方加工的设备等方面是保证机柜抗震性能的关键。

2. 门板的设计

一般非主要承载部件的材料可以选择较薄的钢板,比如各个门板的设计采用Q235B钢,壁厚2 mm的优质薄钢板,内侧焊接加强筋即可。但是此机柜的前门的宽度较大,如若不进行强度设计,可能会在抗震模拟试验中产生门板畸变,以至于出现卡塞打不开门的现象,因此,可以通过适当折弯和加焊加强筋提高强度和刚度。如图3所示。

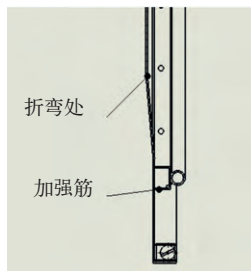


图3 某抗震电源柜门板设计示意图

核电厂1E级机柜抗震的能力的考核

目前,评定与考核设备的抗震能力主要有两种方法:一是对1E级设备进行抗震性分析;二是对1E级设备进行抗震性试验。

抗震性分析共分两个步骤。首先,用专门的结构分析软件建立起设备的钢结构数学分析模型,计算出结构在自重载荷下的结果(自重分析),用响应谱法对结构进行动态地震响应分析,并计算出地震载荷下的结果(地震分析),由此可以得到一个该设备在地震状态下的组合载荷结果(组合分析);然后,根据组合载荷结果,参照相应的规范要求对结构单元进行抗震性能评定。

抗震性试验是根据有关设备规范书的要求,对设备及其内部的设备进行抗震试验考核,通过试验考核设备在地震条件下的结构完整性和安全功能。抗震性试验的内容和要求如下:1)测试设备的自振频率和阻尼比。2)5次OBE地震反应考核试验。3)1次SSE地震反应考核试验。4)性能试验。EA

(收稿日期:2015.04.30)

(编辑:刘群)