

关于核电压力容器设备可靠性的研究

李吉祥

哈电集团(秦皇岛)重型装备有限公司 河北 秦皇岛 066206

[摘要]在压力容器设计与运行期间,可靠性方式的研究能够进一步掌握容器的使用状况,这对于核电厂的安全、可靠运行有着明显的支撑作用。本文基于核电厂当中的充水罐为例,简要分析核电压力容器设备的可靠性研究方法思路,基于可靠性分析过程的重点环节,对于可靠性分析结果进行处理同时基于可靠性分析对核电产品质量的影响进行简要分析,希望能够为相关工作者提供帮助。

[关键词]核电厂;压力容器;设备可靠性

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.10.1675

引言

压力容器属于密封性的仪器设备,其带有耐高压、耐高温的特征,其中承载的材料普遍带有易燃易爆、腐蚀、毒性或高压等特征,一般是以液体或气体为主,可以根据生产需求划分为反应、分离、运输以及换热等不同容器。因为压力容器的依赖在应用期间带有一定的特殊性,所以在安全方面的风险也相对较高,在出现问题时很容易引发火灾、爆炸以及泄漏等事故,不仅会形成环境污染同时对于工作人员的生命安全也会形成严重威胁。对此,探讨关于核电压力容器设备可靠性的研究具备显著实践性价值。

1. 核电压力容器设备的功能解析

本文基于核电压力容器设备中充水罐为例进行简要分析,充水罐从结构来看其组织部件相对较多,为了更好的完成可靠性分析,需要先基于生产可靠性分析的产品结构树,同时基于产品结构树和产品结构进行区分,其不包含无特殊功能与结构的紧固件与标准件、不包含对于产品功能或性能存在负面影响的部件、位置不同但是功能相同的同类型部件可以进行合并。充水罐的产品结构树属于可靠性分析的重要基础,借助构建结构树开展可靠性分析,可以为后续产品可靠性分析提供可靠支持,特别是FMEA等分析环节的支撑作用明显^[1]。

在工况与环境分析方面,核电压力容器设备中充水罐的工作状况与使用条件需要基于设计规范书中设计输入规定,属于重要设计参数,同时也是可靠性分析的重要环节,其对于设备故障模式进行分析时,应当充分考虑设备运行工况以及使用环境,所以针对工况与环境的分析属于核电压力容器设备可靠性分析的基础环节。核电厂充水罐的工况可以划分为设计、使用以及试验三种类型,其中使用工况还可以划分为正常、预计运行以及事故工况三种类型^[2]。基于不同环境条件的分析内容做好对设备运行期间环境湿度的控制,同时基于工作介质等外部条件的控制。可以按照充水罐的环境条件,例如在运行期间充水罐周边空气温度为15至40℃,湿度不超过90%,充水罐当中的装载物为去离子水。

在维护条件与功能分解方面。大多数核电压力容器设备

都属于静设备,其带有不可维修的特征,这也是对于核电压力容器设备开展可靠性分析时方式与结果与其他产品存在较大差异的直接体现,但是为了更好的保障充水罐的可靠性,需要在设备设计期间基于在役检查的需求,从而保障产品全生命周期的可靠性运行。充水罐的功能主要在于储存去离子水以及保障罐体结构的完整性,在运行期间需要随时向核反应堆压力容器内部提供换热介质,从而保障核电厂内部的管路和设备保持高度稳定。针对充水罐进行进行功能的划分,并基于不同功能进行可靠性分析。

为了更好的明确分析对象,需要针对充水罐内外部的接口位置进行梳理,接口用途主要涉及物理接口直接用于物理传输,以固定连接、接触与干涉为主,能量接口,负责传动动能与电能、材料接口负责气体与液体材料的交换。

2. 核电压力容器设备可靠性模型建设

可靠性模型建设与预计属于对于产品可靠性分析的重要环节,在可靠性建模的同时需要做好对附带数据的分析,基于预计、评价产品的卡口性程度指标实现对可靠性分析判断,针对可靠性数据分析贯穿在整个产品言之、试验、生产、使用以及维护等过程,基于可靠性数据分析的任务以及基本目的按照产品言之期间的可靠性工程活动需求所决定^[3]。针对核电压力容器设备而言,因为产品本身带有不可吸附物的特征以及核电产品本身的特殊性,决定了这一类产品的可靠性预计无实际价值。与此同时,核电压力容器设备的可靠性数据相对较少,过少的样本数量决定了可靠性预计的说服力比较小。对此,针对核电压力容器设备而言可靠性定量评价的重点目标在于考察设备的使用寿命,不需要进行可靠性预计分析。

基于故障模式影响分析(FMEA)的分析,其属于核电压力容器设备的可靠性分析重点,分析的目的在于明确核电压力容器设备在设计结构方面的薄弱环节,并提出合理的改进建议,借助上述的改进措施明确设计准则,从而保障产品设计过程的规范化,确保压力容器的综合生产质量与可靠性。FMEA分析面向设备的不同部件进行故障模式分析,应用表格分析方式开展分析,基于充水罐筒体为主,FMEA分析表主要

涉及部件的编号、名称、故障模式、故障原因、影响、预防措施、初始风险、补充设计以及试验验证需求等。需要明确,表格当中故障模式的严酷等级、发生概率的等级以及初始风险等级与S、O、R进行表示,其属于FMEA分析前的定义。针对筒体而言,发生故障的初始风险能够被接受,所以不需要进行补充设计以及补充试验验证。但是针对初始风险相对较高的部件,需要应用仿真分析技术方式进行补充设计,借助试验验证方式降低不仅地风险情况,从而保障设备可靠性运行需求。

充水罐筒体FMEA分析结果方面,故障模式为板材开裂与纵裂缝开裂,其故障原因在于强度设计的错误与余量较小和材料选择不合理。故障影响在于冷却剂泄漏并且会对支撑功能形成直接影响。预防措施在于应用裕度设计原则并选择合理的材料。初始风险中SOR分别为II、D、R3,无补充设计或试验验证需求。另外,借助分析明确具体原因,同时在这一基础上明确设计准则,在今后设计期间可以借助执行这一些设计准则保障筒体设计的可靠性。

3. 核电压力容器设备设计中可靠性方式的应用

核电压力容器设备的可靠性研究方面还可以基于设备设计前期进行应用,其主要方式如下:1、方法。可靠性数学方法作为应用数学的重要分支,可靠性数学可以涉及可靠性问题借助数学模型方式展现出来,通过运筹学与概率学的理论,深入进行研究,针对存在的问题进行处理。在压力容器的设计过程中可以应用可靠性方式,针对压力容器故障进行研究,同时基于故障发生的规律进行统计,这也是核电压力容器设备设计方案分析评估的有效方式,可以为设计工作者提供理论性保障^[4]。在可靠性物理方法方面,可靠性物理方式在压力容器设计方面属于压力容器故障的直接分析体现,故障发生的原理可以实现对故障检测工作的顺利开展,结合相关参数可以构建完善的物理模型,压力容器的失效模型研究方面提出了相应的应对与防范措施,从而保障压力容器在设计期间可以尽可能规避失效问题,从而保障设计的可靠性与合理性。在可靠性工程方面,可靠性工程方式可以基于压力容器的失效现象进行研究,可以促使设计人员更好的掌握压力容器的失效现象发生可能性,从而基于失效现象进行预测,并开展设计模型试验,结合试验结果反向推导设计参数,针对失效现象进行控制,保障最终设计方案的可靠性与合理性;2、应用。伴随着科学技术的持续发展,核电压力容器设备在设计过程中的技术、方法不断丰富,设计人员应当准确掌握压力容器的应用强度与测试水平,从而做好数据调研,基于压力容器的尺寸、强度等因素进行综合分析,明确压力参数的变化规律,同时针对压力容器设计期间的随机变量进行严格控制,从而推动设计模式得以优化^[5]。例如,在设计变化因素方面,设计人员需要基于压力容器的可靠性

设计,针对设计变化因素进行分析,严格控制随机变量,同时做好概率数据的计算,明确压力容器的使用特征尽可能针对容器的失效故障进行规避。与此同时,通过概率学相关因素,针对压力容器的使用可靠性做好记录,准确掌握先决条件,做好实验数据的综合分析,明确压力容器设计期间的相关白能量因素,例如物理量、热荷载以及机械荷载,从而明确设计失败原因做好相应的处理。在产品数值的评定方面,设计人员可以先明确产品参数的变化情况,基于产品数值以及综合性能进行综合评定,掌握压力容器强度以及抵抗力的同时,在分析条件的同时做好数据指标的控制,确保压力容器的整体应用质量。在产品设计与分析期间,应当准确掌握变化因素和容器失效的原因,针对应力作用和抗力变化做好综合分析。在核电压力容器设备设计过程中还需要充分考虑随机事件,基于概率论对随机事件发生率进行印证,明确产品故障发生原因和故障变化机制,做好统计分析 with 概率论,同时基于压力容器的使用可靠性进行评估,针对压力容器使用寿命进行分析,测定具体参数保障压力容器的工作质量;3、注意事项。在信息化技术持续发展背景之下,核电压力容器设备的设计必然会涉及计算机技术,此时在设计过程中对于人员的素质能力要求也会不断提高,要求其熟悉掌握压力容器的设计专业知识,同时还需要具备一定的计算机基础和电脑绘图能力,在压力容器设计过程中如果单纯注重计算结果而忽略了计算的过程,其可能会导致容器形成安全隐患。基于钢材为例,其要求设计人员需要先针对压力容器趁早的压力以及温度进行分析,选择质量相对较好的材料,但是不能过于盲目追求钢材等级,而是需要结合自身实际需求进行选择,规避因为材料选择不合理而导致容器壳体壁厚度增加导致的产品质量问题,从而提升企业的生产经营成本。企业方面可以在材料采购的同时确保质量水平,尽可能降低生产成本,从而保障压力容器的可靠性。

4. 总结

综上所述,核电压力容器设备的可靠性分析对于设备的设计、制造以及运行质量方面的评估与监督有着显著影响力,同时也是核电设备在设计与发展方面的重要趋势。将可靠性概念引入到核电压力容器的设计、制造以及维护管理过程中,能够促使核电压力容器的运行安全水平得到保障,有着不可替代的市场研究价值。

参考文献

- [1]周岩.核电压力容器接管段一体化锻造成形技术[J].一重技术,2020,21(05):20-24.
- [2]荆涛.AP1000核电压力容器的制造与安装[J].一重技术,2019,14(04):60-61+17.
- [3]连占卫,周杨,李家驹.核电压力容器封头锻件低温冲击不合格分析[J].大型铸锻件,2019,32(01):38-40.