

核电厂气动调节阀控制附件安全分级方法研究

闫巨东 苏广超 李晓峰 彭锐 郭辉

中广核核电运营有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i5.16570

[摘要] 为了确保物项在设计工况下可靠执行核安全功能,并优化成本投入,需对核电厂的系统、部件和构筑物进行合理的安全分级。将所有设备按最高要求管理会显著增加设备管理及采购成本,而合理分级既能保障核电厂安全稳定运行,又能优化管理及采购成本。目前,工程设计院已明确对主设备的分级要求,但气动调节阀控制附件的具体分级尚属空白,缺乏现场使用依据。因此,本文基于M310/CPR机型核电厂设计,从分级原则、安全性与经济性角度,研究该领域的安全分级方法,并提出了一种可执行的方法论。

[关键词] 安全分级; 气动调节阀控制附件; 分级方法; 核安全; M310/CPR机型

中图分类号: TP214 **文献标识码:** A

Study on safety classification method of pneumatic control valve control accessories in nuclear power plant

Judong Yan Guangchao Su Xiaofeng Li Rui Peng Hui Guo

CGN Nuclear Power Operation Co., LTD.

[Abstract] To ensure reliable implementation of nuclear safety functions under design conditions and optimize cost allocation, rational safety classification of nuclear power plant systems, components, and structures is essential. Managing all equipment with the highest safety standards would significantly increase operational and procurement costs. Appropriate classification not only guarantees safe and stable plant operations but also streamlines management and procurement efficiency. While engineering design institutes have established classification requirements for primary equipment, specific classification standards for pneumatic control valve accessories remain unaddressed, lacking practical implementation guidelines. This study, based on the M310/CPR nuclear power plant design, investigates safety classification methodologies from three perspectives: classification principles, safety considerations, and economic viability. A practical implementation framework is proposed to address these challenges in nuclear engineering practice.

[Key words] safety classification, pneumatic control valve control accessories; classification method; nuclear safety; M310/CPR model

引言

在核电站的设计、建造及运行过程中,设备起到的安全功能不同,对其要求也不相同。生产现场的系统、部件和构筑物直接关系到核安全、机组可用率和运营成本,因此不仅重要设备的质量需要得到应有的重视,相对次要的也受到适度控制,所以建立完整的理论依据对设备进行分级管理非常有必要,对于尚未明确分级的部件也需要给出一种分级方法也非常有意义。

1 M310/CPR机型核电厂安全分级内容

1.1 设计规范

中广核在运核电机组均采用法标进行设计的压水堆核电厂,核电厂名称及采用标准见表一。

表一 中广核在运核电厂设计标准

序号	核电厂名称	机型	装机容量(MW)	采用标准
1	大亚湾核电厂	M310	2×960	RCC系列
2	岭澳一期核电厂	M310+	2×960	RCC系列
3	岭澳二期核电厂	CPR1000	2×1030	RCC系列
4	红沿河核电厂1、2、3、4、5、6#	CPR1000	6×1030	RCC系列
5	宁德核电厂1、2、3、4#	CPR1000	4×1030	RCC系列
6	阳江核电厂1、2、3、4、5、6#	CPR1000	6×1030	RCC系列
7	防城港1、2#	CPR1000	2×1030	RCC系列

1.2 设备分级体系

1.2.1 安全级别。核电厂的设备分级主要是为保证核安全,即保持三大安全功能,以维护公众健康和环境安全。核电厂三大安全功能如下:

- (1)核反应性控制;
- (2)堆芯余热排出;
- (3)包容放射性物质和控制运行排放,以及限制事故释放。

核电厂的设备主要是机械类和电气/仪控类设备。针对机械类设备,RCCP^[1]对执行安全功能的机械系统的设备和部件进行安全分级,主要分为五个等级:

(1)安全1级:适用于其故障会引起工况Ⅲ或工况Ⅳ(见注释)失水事故的设备及构成反应堆冷却剂系统压力边界的设备以及在正常运行过程中由于其故障将妨碍用正常系统实现反应堆停堆的那些设备,属于安全1级;

(2)安全2级:适用于输送反应堆冷却剂但不属于安全1级的设备和部件,或适用于在失水事故时为封闭放射性物质所需的系统设备和部件,属于安全2级;

(3)安全3级:适用于对安全有重要作用的设备和部件,但这类部件的故障不会有直接的放射性后果,也适用于其他故障会导致正常存放衰变的放射性气体释放的那些设备和部件,属于安全3级。

(4)LS级:适用于非承压的、但具有安全功能的设备,它们包括:

不直接执行安全功能,但其失效会引起有安全功能设备的失效的非承压设备;

限制1、2、3级或LS级设备失效后果的所有设备。

LS级机械设备具体包括:

反应堆内部构件;

乏燃料装运和贮存设备;

承压的安全级容器的支撑件;

某些具有安全功能的通风系统中使用的某些设备。

(5)NC级:不属于安全1、2、3级和LS级的设备,安全分级确认为NC级。

针对电气/仪控类设备,RCCP对在事故工况后参与保护公众的电气/仪控类设备和部件进行安全分级,只有一个安全级别,即1E级。这种分级对冗余、丧失厂外电源时运行,以及环境条件或地震情况下的质量鉴定等方面作出了规定。其他电气/仪控类设备和部件的安全分级确认为NC级。

另外,某些承压或非承压的机械、电气/仪控设备可能参与安全功能,即在“可能发生的运行工况”或“极不可能发生的运行工况”下,其失效会影响到安全功能的完成,这些设备被称为无安全级的安全重要设备(IPS-NC: Important Pour Surete-nonclassification,其意义为“安全重要-无分级”)。但是IPS-NC概念在M310和CP1000系列机型设计阶段并不存在,是运行电厂根据运行经验提出的一个概念,所以不适合于设备的设计分类。

1.2.2 抗震级别。对于安全1、2、3级和LS级的机械设备和部件,以及1E级电气/仪控系统的设备和部件均具有抗震级别,即抗震1类。对于其他设备和部件,可根据其重要性进行抗震性能校核。

抗震1类设备和部件包括下列两类:

(1)在安全停堆地震载荷下应保持其完整性(即不丧失密封性)的那些设备和部件;

(2)在地震后,仍要求执行其功能的那些设备和部件。对此类设备和部件进行应力分析时,应选用比保证完整性时更为严格的应力极限。

对于抗震1类的机械设备又可细分为以下三类:

—1I类:在安全停堆地震载荷下仅要求保证其壳体完整性的设备,没有提出对变形的限制要求。计算中对4类工况采用D级准则校核。

—1F类:在安全停堆地震载荷下不但要保持其壳体完整性,还应保持功能性的设备。计算中对4类工况采用C级准则校核,这里的应力限制要求比1I类更严一些,以限制其变形,从而确保要求的流体流量。

—1A类:它是对于有可运行能力要求的能动设备而言,在安全停堆地震载荷下,用以保证其运动部件或机构的良好运行功能。这些部件或机构的动作对保证这些设备执行其安全功能是必须的。计算中对4类工况采用B级准则校核,通常还需要通过抗震试验验证这些设备在SSE地震下执行其安全功能的能力。

对于NC级的机械设备和部件,以及NC级电气/仪控系统的设备和部件,抗震级别确认为N0级。

1.2.3 鉴定级别。对于1E级电气/仪控类设备,一般按照RCCE^[2]规范进行设备质量鉴定等级的划分。依据使用条件的不同可以区分为三种鉴定级别,即K1、K2和K3级。对于NC级电气/仪控类设备,鉴定等级确认为N0级。

但是对于安全1、2和3级机械类设备,无鉴定分级,根据安全等级和使用的负荷工况来确认满足RCCM1、RCCM2和RCCM^[3]级。

2 调节阀控制附件分级

2.1 气动调节阀控制附件分级困难点

根据上述论述,机械类设备和部件只有承压,或者非承压但属于特定的四类设备才符合机械类安全分级的要求,电气/仪控类设备和部件只对于电气类设备才有明确的安全等级要求。但是对于气动调节阀控制附件,部分设备即无法按照机械类设备进行分级,也无法按照电气/仪控类设备分级,存在分级困难的情况。

2.2 控制附件类别

气动调节阀控制附件主要用于调节阀上,通过调节压缩空气的通断、多少,实现阀门开度调节,且可监视阀门的开关位置。根据附件设备是否带电信号的特点,大致分为如下情况:

带电附件:阀门定位器、电气转换器、电磁阀、限位开关等。

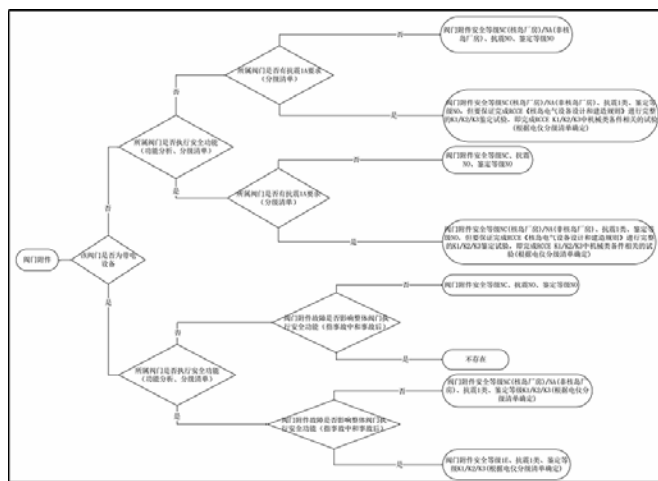
不带电附件:减压阀、油雾器、流量放大器、气气定位器、快速释放阀、锁气器等

2.3 控制附件分级原则

气动调节阀控制附件的安全分级是依据整体阀门的安全分级来确定的,基本原则是按照控制附件是否影响整体阀门实现安全功能,如果影响则具有安全等级,如果不影响则不具有安全等级。

对于带电的控制附件,可按照电气/仪控类设备的分级确定安全等级。对于不带电的控制附件,其属于非承压设备,无法按照机械类设备进行安全分级,同时其为纯机械类备件,无法按照电气/仪控类设备的分级确定。考虑到其属于气动调节阀的仪控类控制部件,如果设备失效后影响整体阀门实现安全功能,则安全分级可确定按照电气/仪控类分级确认为NC级,但是同时需要满足的抗震级别,以及鉴定级别中机械类鉴定试验内容,如热老化试验、抗机械振动试验、耐辐照试验等。

根据控制附件的类别以及所执行的功能,总结气动调节阀控制附件分级原则及流程指引,见图一。



图一 气动调节阀控制附件分级原则及流程

2.4 典型事例

事例1 阀门ASG012/013/014/015/016/017VD减压阀附件的分级分析

2.4.1 设计要求。机械分级清单要求,该阀门的安全等级为安全3级,抗震类别为1A;电气/仪控分级清单要求,该阀门的安全等级为1E,抗震类别为抗震1类,鉴定等级为K3。

2.4.2 安全功能分析。辅助给水流量调节阀当正常给水系统失效时,需要投运ASG001/002/003PO,以及ASG012/013/014/015/016/017VD,保证堆芯余热得到有效排出。在事故工况中或事故工况后,该阀门需处于调节状态,避免堆芯过冷。减压阀作为阀门气控回路的一级减压阀,如果故障(漏气或堵塞),会影响下游定位器、电磁阀等电气零部件的功能正常执行,从而影响主阀的调节功能,将导致主阀安全功能水平的降低。

2.4.3 分级要求分析。安全分级:该减压阀为非承压设备(无需按机械类设备进行安全分级),且为纯机械类备件(不应具有1E级要求),所以该减压阀设备的安全分级(电仪类)为NC级;

抗震分级:该主阀的抗震分级为1A,为保证主阀在地震事故工况中及地震事故工况后情况下具有可正常动作的性能,

减压阀的抗震性能需与主阀抗震性能保持一致,即抗震分级为抗震1类;

鉴定分级:综合安全分级及抗震分级,该减压阀作为纯机械类备件无法按照RCCE进行完整的K3鉴定试验,即完成RCCE K3中机械类备件相关的试验即可,如:热老化试验、循环试验、振动试验、抗地震试验。所以该减压阀设备的鉴定等级为NA,但需完成机械类设备所涉的鉴定试验相关内容及评价。

阀门RCP001/002VP减压阀附件的分级分析:

(1) 设计要求。机械分级清单要求,该阀门的安全等级为安全1级,抗震类别为1I;电气/仪控分级清单要求,该阀门的安全等级为NC级,抗震分级为N0级,鉴定等级为N0级。

(2) 安全功能分析。主喷淋调节阀,当汽轮机功率以10%FP阶跃下降时,启动主喷淋系统,保证稳压器压力不能达到第一个安全阀开启的整定值,即绝对压力16.6MPa。因主喷淋调节阀下设有挡块,即在阀门关闭的时候也有230L/h的喷淋流量,限制喷淋水开启时对管道和阀门的热冲击、保证稳压器内水温的均匀性,以及稳压器内水与一回路水的硼浓度和化学添加剂浓度一致。在事故工况中或事故工况后,RCP-001/002-VP阀门如果无法调节,则会导致稳压器压力上升,但稳压器会通过安全阀实现稳压器的压力平衡。但是如果RCP-001/002-VP阀门完整被破坏,会导致放射性物质外泄,影响核安全,其中减压阀作为气控回路阀门附件,对阀门完整性无影响,所以与核安全无关。

(3) 分级要求分析。安全分级:该减压阀为非一回路承压设备(无需按机械类设备进行安全分级),且为纯机械类备件(不具有1E级要求),所以该减压阀设备的安全分级(电仪类)为NC级;

抗震分级:该主阀的抗震分级为1I,即保证整体阀门完整性即可,阀门附件对阀门完整性无影响,所以抗震分级为N0;鉴定分级:鉴定等级为N0。

3 结语

本文基于M310/CPR机型核电厂的设计规范,从分级原则、功能分析和失效后果分析三个维度,系统总结并提出了一套针对气动调节阀控制附件的安全分级方法,并提供了切实可行的操作指引。该研究不仅有效填补了该领域安全分级要求的空白,更优化了核电厂对控制附件的安全分级实践。应用此方法,既能确保核电厂安全稳定运行的核心需求,又能实现对设备管理及采购成本的合理优化。

[参考文献]

[1] 国家核安全局,RCC-P法国900MWe压水堆核电站系统设计和建造规则[S],1991。

[2] 法国核岛设备设计建造规则协会,RCC-E压水堆核岛电气设备设计和建造规则[S],2012。

[3] 法国核岛设备设计建造规则协会,RCC-M压水堆核电厂核岛机械设备设计规范[S],1996。

作者简介:

闫巨东(1992--),男,汉族,内蒙古呼和浩特市人,工程师,大学本科,研究方向:备件安全分级。