

C2 弹簧式稳压器安全阀性能试验 RELAP5 程序模拟分析

刘 逊, 卓文彬, 郑 华

(中国核动力研究设计院 空泡物理和自然循环国家级重点实验室, 四川 成都 610041)

摘要: 本文利用 RELAP5/MOD3.2 程序对弹簧式稳压器安全阀完全开启(90 t/h)性能试验进行模拟分析。结果表明, 90 t/h 以上流量持续时间大于 10 s。能够保证试验时有充足的时间监视升压速率、阀门开启时及排放过程中的进口流体工况、进口压力的最大值等参数, 试验装置能够满足全排量试验(90 t/h)的要求。

关键词: RELAP5/MOD3.2 程序; 稳压器安全阀; 升压速率; 全排量

中图分类号: TL33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6931(2007)S0-0187-04

RELAP5 Code Simulation for C2 Spring Pressurizer Safety Valve's Performance Test

LIU Xun, ZHUO Wen-bin, ZHENG Hua

(National Key Laboratory of Bubble Physics and Natural Circulation,
Nuclear Power Institute of China, Chengdu 610041, China)

Abstract: This paper uses RELAP5/MOD3.2 code to simulate absolute unseal (90 t/h) performance test of spring pressurizer safety valve. The results indicate that the time when flow rate is larger than 90 t/h lasts more than 10 s. The parameters such as speed of pressure rise, fluid condition when opening the valve and dumping, maximum value of inlet pressure could be tracked in time. The test sets completely satisfy the requirements of the spring pressurizer safety valve's full discharge test.

Key words: RELAP5/MOD3.2 code; pressurizer safety valve; speed of pressure rise; full discharge

稳压器安全阀是压水堆核电厂反应堆冷却剂系统的超压保护装置。当系统发生异常情况, 系统压力上升到稳压器的开启压力时, 稳压器安全阀自动开启, 排放稳压器上部蒸汽, 使系统卸压。当系统压力降低到稳压器安全阀的回

座压力时, 稳压器安全阀应自动关闭。从而对反应堆冷却剂系统的管道和设备起到安全保护的作用。

美国核管理委员会在 1979 年三里岛事故后就建议建造和运行核电站的单位要进行稳压

收稿日期: 2007-05-08; 修回日期: 2007-07-02

作者简介: 刘 逊(1981—), 男, 吉林白城人, 研究实习员, 工程热物理专业

器安全阀动作性能试验。现拟根据 C2 弹簧式稳压器安全阀性能试验装置的初步设计,采用 RELAP5/MOD3.2 程序对弹簧式稳压器安全阀完全开启(90 t/h)性能试验进行试验前预算,获得阀门的排量、排放时间、阀门前后压力等数据,从而指导试验装置的建造。

1 试验装置

1.1 设计要求

按《恰希玛核电厂 2 号机组稳压器安全阀设备规范书》提供的稳压器弹簧式安全阀技术参数,性能试验参数如下:开启压力(17.16 ± 0.17) MPa;全开压力 ≤ 17.16 × 1.03 MPa;回座压力 ≥ 17.16 × 0.95 MPa;开启时间 < 1 s;背压(正常时) 0 ~ 0.98 MPa;背压(排放时) 3.43 MPa;排量 90 t/h。

1.2 装置描述

图 1 为完全开启(90 t/h)性能试验装置示意图。试验系统主要由 2 个高温高压蓄能容器、1 个中压背压容器,以及相应管道阀门组成,在容器 1 的上下两端分别设置稳压器安全阀试验段,分别满足排放蒸汽和排放液体试验的要求。

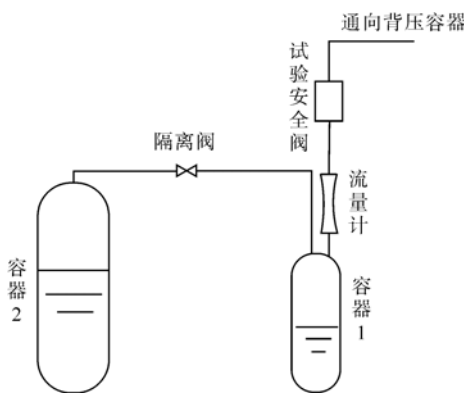


图 1 完全开启(90 t/h)性能试验装置示意图

Fig. 1 Sketch of absolute unseal(90 t/h) performance test

背压容器设计压力为 6.4 MPa,设计温度为 350 °C,容积为 5 m³。容器 1、容器 2 和其余管道及部件的设计压力为 22.4 MPa,设计温度为 371 °C。

容器 1 容积初步设计为 10 m³,模拟压水

堆稳压器的热工水力工况;容器 2 容积初步设计为 20 m³,通过其内部流体的蒸发和膨胀作为容器 1 升压的压力源。

初始工况下容器 1 与容器 2 隔离,分别由电热元件升温升压。试验前容器 2 中的温度控制在 360 °C 左右,压力 19 MPa 左右;容器 1 中的温度控制在 349 °C,压力 16.5 MPa,低于弹簧式稳压器安全阀的开启压力。然后以一控制好的速度打开隔离阀,在压差的驱动下,容器 2 中液体迅速进入容器 1 的下部液体空间或进入容器 1 上部的蒸汽空间发生闪蒸,产生一升压瞬变过程。当容器 1 中的压力高于弹簧式稳压器安全阀的开启压力后,安全阀自动打开。

试验阀进口侧的升压由两容器间的初始压差以及隔离阀的开启特性控制。这种操作方法模拟了事故工况。在上下两试验段前设置流量计、压力测点用以监视升压速率、阀门开启时及排放过程中的进口流体工况、进口压力的最大值等参数。通过试验安全阀的流体最终排入背压容器。

2 RELAP5/MOD3.2 程序计算模型

2.1 程序简介

本工作用 RELAP5/MOD3.2 程序对该试验系统进行初步模拟,为性能试验装置设计提供初步依据。RELAP5/MOD3.2 程序是目前世界上最先进的反应堆热工水力最佳估算程序之一,由美国 Idaho 国家实验室开发,用于分析核电站系统瞬态热工水力特性。该程序不涉及多维的系统模拟方法,模拟计算时只考虑一维,汽、液两相,不平衡态模型的应用。RELAP5/MOD3.2 程序所采用的两流体不平衡态模型的基本场方程由两个相的连续性方程、两个相的动量方程和两个相的能量方程(共 6 个方程)组成。这些方程均写成微分形式,自变量为时间和一维空间坐标,因变量为对时间平均和对流动面积求平均的量。其计算结果的可靠性得到了 SEMISCALE 和 LOFT 等大型系统实验的验证。

2.2 程序模型

程序模拟中,容器 1、容器 2 均通过管部件进行模拟,各划分 80 个控制体。其中,容器 2 初始压力为 19.6 MPa,初始温度为 358~360 °C;

容器1 初始压力为 16.5 MPa, 初始温度为 349 °C。隔离阀通过阀门部件中的触发阀进行模拟, 开启条件为 20 s 后自动全开。试验安全阀也通过阀门部件中的触发阀进行模拟, 其开启条件为压力 ≥ 17.2 MPa 时自动全开。容器 2 与隔离阀间以及隔离阀与容器 1 间的管道长度均为 10 m, 均由管部件进行模拟, 背压容器通过时间相关部件进行模拟, 压力设定为额定背压 3.43 MPa。

3 计算结果及分析

3.1 不同大小隔离阀下的计算结果

分别取大小不同的隔离阀 (DN100, DN120, DN140) 进行计算, 计算数据示于图 2 及图 3。

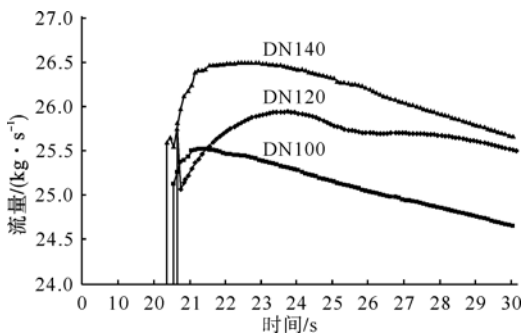


图 2 不同大小隔离阀下通过试验安全阀的流量数据

Fig. 2 Flow data through test safety valve with different valve sizes

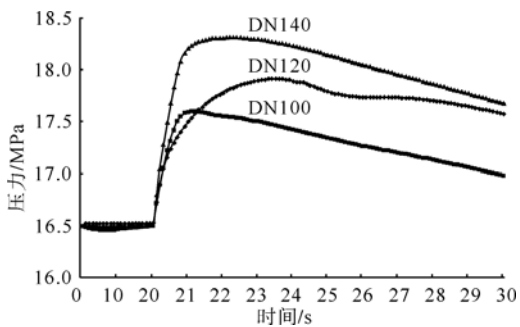


图 3 不同大小隔离阀下容器 1 中的压力数据

Fig. 3 Pressure data in vessel 1 with different valve sizes

力能高于试验安全阀的全开压力且持续时间为 1.2 s, 容器 1 中的最高压力为 17.6 MPa, 90 t/h 以上流量持续的时间为 6.5 s。

当隔离阀大小为 DN120 时, 容器 1 中压力能高于试验安全阀的全开压力且持续时间为 6.2 s, 容器 1 中的最高压力为 17.9 MPa, 90 t/h 以上流量持续的时间大于 10 s。

当隔离阀大小为 DN140 时, 容器 1 中压力能高于试验安全阀的全开压力且持续时间大于 10 s, 容器 1 中的最高压力为 18.3 MPa, 90 t/h 以上流量持续的时间大于 10 s。

可见, 当隔离阀大小为 DN100 时, 容器 1 中的压力虽能高于试验安全阀全开压力, 但持续时间过短, 仅稍大于试验安全阀的开启时间。同时 90 t/h 以上流量持续时间仅为 6.5 s, 不能保证有充足的时间监视升压速率、阀门开启时及排放过程中的进口流工况、进口压力的最大值等参数。而当隔离阀大小为 DN140 时, 容器 1 中高于试验安全阀全开压力的时间, 以及 90 t/h 以上流量持续的时间虽均满足要求, 但容器 1 中的压力偏高, 接近容器 1 的设计压力, 且从经济性角度不如 DN120 的阀门。

综上所述, 大小为 DN120 的隔离阀无论从满足试验要求还是经济性方面考虑是较为合理的选择。

3.2 不同气液比下计算结果

在暂定隔离阀大小为 DN120 的前提下, 分别对容器 1 取不同的气体体积分数 (75%, 62%, 56%) 进行计算, 计算数据示于图 4 及图 5。

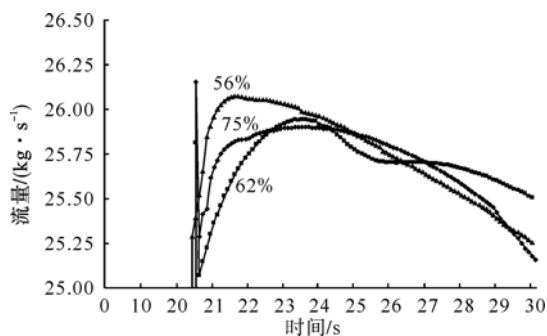


图 4 不同气液比下通过试验安全阀的流量数据

Fig. 4 Flow data through test safety valve with different initial percentages of gas in vessel 1

当隔离阀大小为 DN100 时, 容器 1 中的压

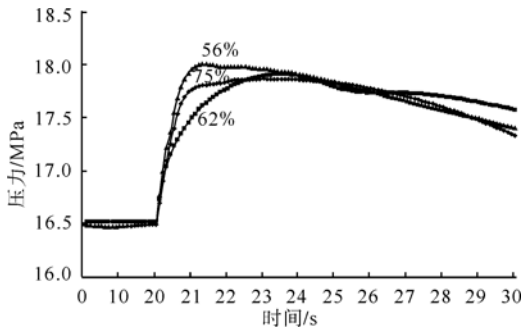


图5 不同气液比下容器1中的压力数据

Fig. 5 Pressure data with different initial percentages of gas in vessel 1

当容器1中气体体积分数为75%时,容器1中压力能高于试验安全阀的全开压力且持续时间为7.7 s,容器1中的最高压力为17.9 MPa,90 t/h以上流量持续的时间大于10 s。10 s后容器1中的气体体积分数为42.5%。

当容器1中气体体积分数为62%时,容器1中压力能高于试验安全阀的全开压力且持续时间为6.2 s,容器1中的最高压力为17.9 MPa,90 t/h以上流量持续的时间大于10 s。10 s后容器1中的气体体积分数为32.5%。

当容器1中气体体积分数为56%时,容器1中压力能高于试验安全阀的全开压力且持续时间为7.6 s,容器1中的最高压力为18.0 MPa,90 t/h以上流量持续的时间大于10 s。10 s后容器1中的气体体积分数为13.75%。

可见,在3种气体体积分数下,容器1中高于试验安全阀的全开压力的时间、最高压力以及90 t/h以上流量持续的时间3个参数变化不大,且均满足试验要求,但初始气体体积分数为56%的工况10 s后气体体积分数为13.75%,液体接近容器1顶部,在排放蒸汽试验时无法满足要求。气体体积分数为75%和62%两工况相比,前者在容器1中初始液体高度约为1 884 mm,而电热元件在稳压器内部的高度为1 500 mm,两者较为接近。

综上所述,从满足试验要求及安全性角度分析,容器1中初始气体体积分数为62%时较为合理。

4 结论

对于C2弹簧式安全阀完全开启(90 t/h)的性能试验,利用容积分别为 10 m^3 和 20 m^3 的高压蓄能器、部分辅助设备,可使90 t/h以上流量持续时间大于10 s,能够保证试验时有充足的时间监视升压速率、阀门开启时及排放过程中的进口流工况、进口压力的最大值等参数,能够满足全排量试验(90 t/h)的要求。同时由计算结果比较可看出,选用大小为DN120的隔离阀,以及容器1中初始气体体积分数62%,从满足试验要求、安全性以及经济性方面考虑为最佳选择。