

蒸汽发生器下封头/主泵连接 处流动特性试验研究

黄伟¹; 张文其¹; 陶文铨²; 何劲松¹; 黄海¹; 张富源¹; 刘小兵³

(1. 中国核动力研究设计院, 成都 610041; 2. 西安交通大学, 西安 710049; 3. 四川工业学院, 成都 611744)

摘要: 在先进压水堆核电站的设计中将蒸汽发生器和主泵直接连接, 取消了蒸汽发生器和主泵之间过渡段, 并在蒸汽发生器下封头出口腔室设置了改进的出口挡板, 使蒸汽发生器出口接管的流场变得十分复杂。因此对蒸汽发生器下封头/主泵连接处的流动特性进行了试验研究, 进行了无挡板的风洞试验和有挡板的水回路试验。研究表明采用自行设计的出口挡板可以消除出口接管的轴向回流, 使出口流场均匀。

关键词: 先进压水堆; 蒸汽发生器; 下封头; 出口接管挡板; 流动特性

中图分类号: TL334 **文献标识码:** A

1 引言

中国非能动型先进压水堆核电站的蒸汽发生器相对于传统的立式自然循环式蒸汽发生器有一系列的设计改进: ①为了简化系统, 提高安全性和维修性, 将蒸汽发生器和主泵直接连接, 取消了蒸汽发生器和主泵之间过渡段, 需对出口挡板的结构进行改进, 这使得蒸汽发生器一次侧出口接管由一个改为两个, 且由径向接管改为接管的轴线与蒸汽发生器中心轴线相平行, 如图 1; ②在蒸汽发生器下封头出口腔室内设置改进的出口挡板, 出口挡板为三面开孔的三棱锥台, 在蒸汽发生器的在役检查时, 用挡板将下封头空腔与主管道隔离, 使蒸汽发生器的在役检查可以与换料等操作同时进行, 缩短了停堆周期。由此蒸汽发生器出口接管的流场变得十分复杂, 将对主泵的运行带来直接的影响, 为此需要对蒸汽发生器出口接管的流场进行研究。美国西屋公司在先进压

水堆核电站设计中, 在蒸汽发生器下封头出口腔室设置出口挡板, 对蒸汽发生器下封头/主泵连接

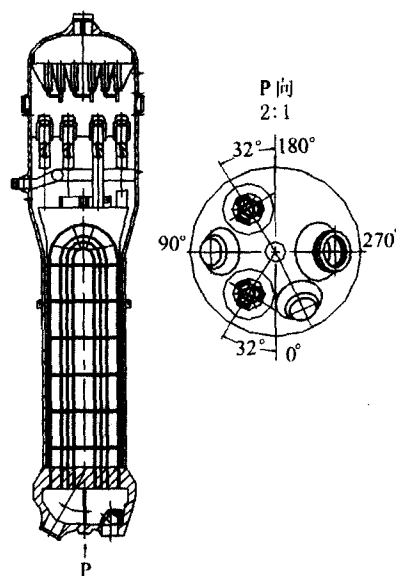


图1 蒸汽发生器总图

收稿日期: 2002-1-8; 修回日期: 2002-2-25

基金项目: “九五”先进压水堆关键技术项目《蒸汽发生器下封头/主泵连接处流动特性整体试验研究》, 计划编号: H592201

处的流动特性进行过研究，但其研究结果及出口挡板的设计未见公开报道。为此，我们自行设计出口挡板时，必须通过蒸汽发生器下封头不带挡板的风洞试验和蒸汽发生器下封头带挡板的水回路试验研究，弄清出口挡板对出口接管流场的影响，使出口接管的流场有利于主泵的运行。

2 试验研究

2.1 风洞试验

2.1.1 风洞系统 为了比较出口挡板对出口接管流动特性的影响，进行了不带出口挡板的风洞试验。本试验的风洞系统实验台可以分为五大部分：测试段、集流段、稳定段、转换段及风源(图2)。速度(流量)是在稳定段用笛形总压管测气流总压、在同一测量截面开壁面测压孔($\phi 0.8\text{mm}$)测得截面气流静压来确定的。笛形管前后均留有 $12D_0$ 长度的直段(D_0 为安装笛形管管道的内径)，保证流体流经笛形管前后时没有明显的扰动，以提高测速的准确性。在实验中，气流的总、静压均采用倾斜式微压计测量。风源采用一可调速风机提供，调节风机转速，即改变了风洞的气流速度。试验模拟体如图3所示。

2.1.2 测量系统 测量系统如图4所示。流场测定采用激光测速仪(LDV)，激光测速仪的优点是获取的信号(多普勒频率偏移)与速度之间有完全的线性关系。测量是非接触式的，对原流场无任何干扰。激光测速测量系统不能测量纯净流体的速度，而只能测量悬浮在流体中的杂质颗粒的速度。因此测量时必须要有示踪粒子，且要求示踪粒子具有良好的跟随性，较强的散射能力，外形为准球状。在本实验中，若采用粒子形状均匀的SiC、环氧树脂等粒子，回收困难，费用昂贵；

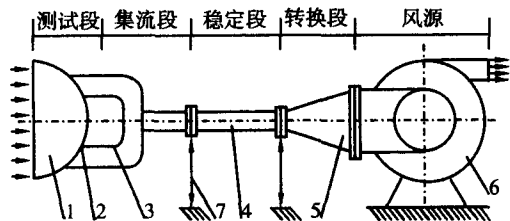


图2 风洞实验台示意图

1——球柱体实验段；2——出口管嘴；3——集流段；
4——笛形管；5——锥形管；6——通风机；7——可调支撑

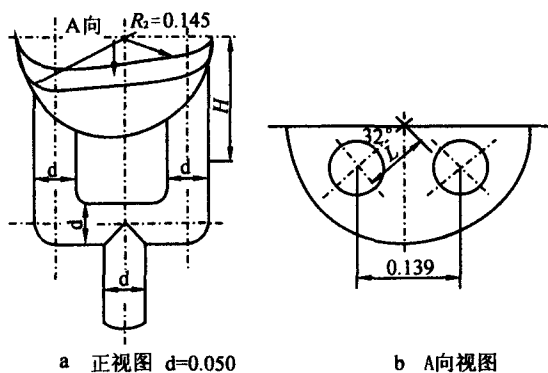


图3 实验模拟体(单位:m)

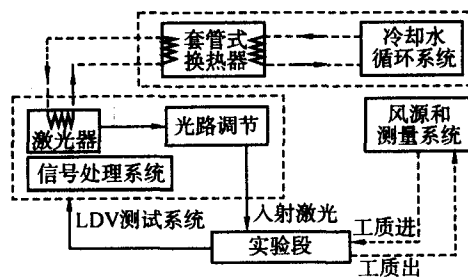


图4 测量系统

虽然烟雾较容易实现，也有一定浓度，但粒子直径范围太宽，产生的多普勒信号分布也宽，噪声大；若丹明为有毒物质，只适用于封闭系统的测量。甘油水溶液(1~2%)是一种较理想的粒子，通过雾化器可喷出 $2\mu\text{m}$ 左右的雾状粒子，本试验采用了甘油水溶液雾化粒子解决了示踪粒子问题。雾化器由一容积式压缩机产生实验要求的压力以喷出不同浓度的粒子。

2.2 水回路试验

采用模化技术进行试验。

2.2.1 试验回路 试验回路如图5所示。试验装置主要由两台离心泵、1:2的模拟体、电磁流量计、阀门、管路等组成。测量装置有五孔球形探针和数据采集系统。

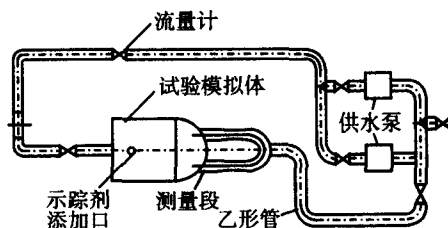


图5 试验回路

2.2.2 试验模拟体 模拟体由蒸汽发生器管板、下封头、隔板、进、出口接管及接管挡板等组成,其中管板开孔 4640 个,出口接管处挡板为侧面开孔的三棱锥台。模拟体如图 6 所示。

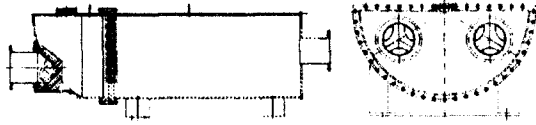


图 6 试验模拟体

2.2.3 测点布置 在出口接管相距 60° 的三个径向截面的每个主流横截面上布置测点(图 7)

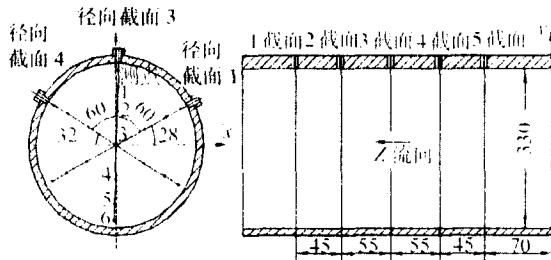


图 7 测点布置

3 试验结果

3.1 风洞试验

图 3 所示的 32° 径向截面的速度分布见图 8。

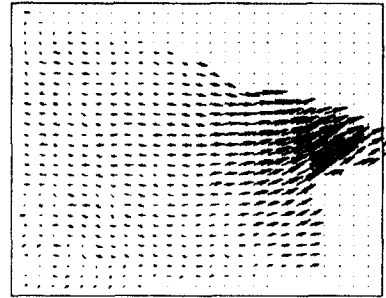
图 8 显示,如果在蒸汽发生器下封头不设置出口挡板,出口接管的速度分布不均匀,并容易在出口接管中形成轴向回流。

3.2 水回路试验

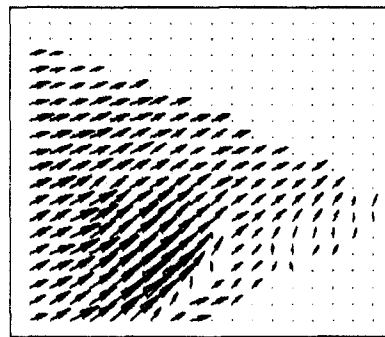
图 9 给出了图 7 所示的径向截面 1、3、4 在回路不同流量下的速度分布。

图 9 表明,出口接管在靠近封头处,轴向速度有畸变,随着流体在出口接管中的流动,在靠近出口接管的出口处,轴向速度分布近似呈抛物

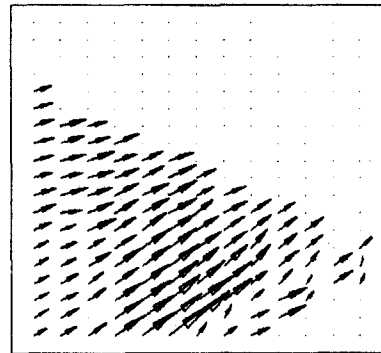
线性分布,在整个出口接管中不存在轴向回流,速度分布较均匀。



a 下封头和出口接管流场
($Re=46122$)



b 出口接管流场
($Re=45057$)



c 出口接管流场
($Re=39642$)

图 8 流场分布

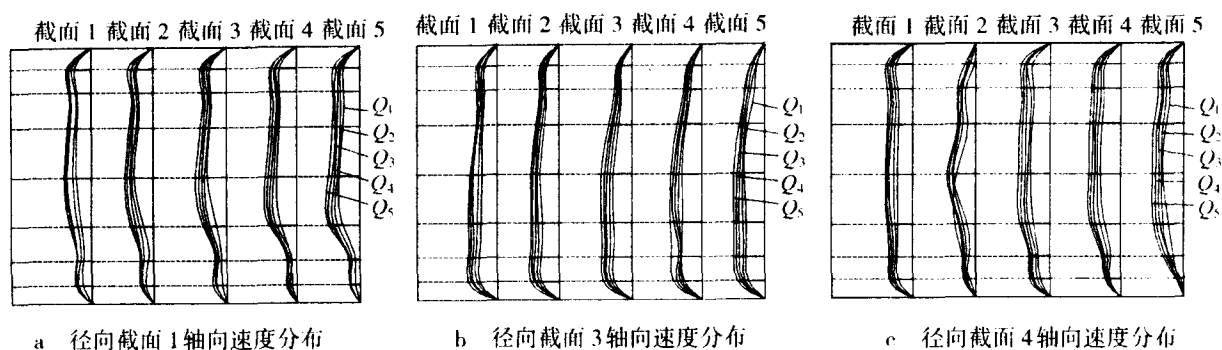


图9 轴向速度分布

$$Q_1 = 1\,230\text{m}^3/\text{h}; Q_2 = 1\,230\text{m}^3/\text{h}; Q_3 = 1\,435\text{m}^3/\text{h}; Q_4 = 1\,845\text{m}^3/\text{h}; Q_5 = 2\,050\text{m}^3/\text{h}$$

4 结束语

通过风洞试验和水回路出口接管流动特性的试验研究, 研究表明在先进压水堆蒸汽发生器下封头设置改进设计的出口挡板后, 可以消除不设置出口挡板时在出口接管中存在的轴向回流。

参考文献:

- [1] 聂建虎. 三维复杂区域内湍流流动的试验研究及数值研究[D]. 西安交通大学博士论文, 2001, 16~45

Flow Characteristics Experimental Study within Connection between Steam Generator Channel Head and Pump Suction

HUANG Wei¹, ZHANG Wen-qi¹, TAO Wen-quan², HE Jing-song¹,
HUANG Hai¹, ZHANG Fu-yuan¹, LIU Xiao-bing³

(1. Nuclear Power Institute of China, Chengdu 610041, China; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

3. Sichuan University of Science and Technology, Chengdu 611744, China)

Abstract: In APWR reactor coolant pump is both directly attached to steam generator channel head and elbow is eliminated. And nozzle dams are mounted on steam generator channel head outlet chamber. So the flow vector within steam generator channel head outlet nozzle is quite complex. Flow characteristics experimental study within connection between steam generator channel head and pump suction has been done by air test without nozzle dams and water loop test with them respectively. It is shown that axial vortex is eliminated and velocity is uniform in outlet section of outlet nozzle of steam generator channel head.

Keywords: APWR; Steam generator; Channel head; Outlet nozzle dam; Flow characteristics

作者简介:

黄 伟(1966—), 男, 高级工程师, 1993年西安交通大学工程热物理专业毕业, 获硕士学位, 现从事蒸汽发生器热工水力设计。

张文其(1965—), 男, 高级工程师, 1991年成都科技大学化工机械专业毕业, 获硕士学位, 曾获《AC600蒸汽发生器水室挡板研制》部级科技进步三等奖, 现从事核动力装置回路系统、设备设计。

陶文铨(1939—), 男, 教授, 1966年西安交通大学工程热物理专业研究生毕业。曾获国家教委科技进步二等奖, 现从事强化传热及数值模拟。

(上接第37页)

in advanced PWR, Nuclear Power Institute of China has built the passive core emergency cooling system facility on the base of AC600 core makeup tank facility, by adding some components. A series of experiments were conducted in the facility, simulating transients initiated by different size cold leg breaks, different pressure balance lines and different Automatic Depressurization System(ADS) actuation logic. These experiments indicated the adequate core cooling performance of the Passive Core Emergency Cooling System.

Keywords: Passive Safety; Reactor; Emergency Cooling System; Loss of coolant accident(LOCA)

作者简介:

郑 华(1969—), 男, 副研究员, 1991年毕业于哈尔滨船舶工程学院核动力装置专业。现从事动力设备实验研究。

钟艳敏(1967—), 女, 工程师, 1987年毕业于四川大学电子工程专业。现从事自动控制工作。

马 戟(1970—), 女, 工程师, 1991年毕业于攀枝花大学工业自动化专业。现从事电气控制工作。