

# 扁平矩形多通道内流动交混实验研究

熊万玉, 李勇, 王飞, 王红庆

(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:**采用示踪剂法和称重法研究扁平矩形多通道内单相流动交混现象, 流动工质为常温常压去离子水, 示踪剂为分析纯 NaCl 溶液。示踪剂法和称重法的试验结果相互验证, 两者的试验结果吻合得较好, 且具有较好的可重复性。试验结果表明, 流体以不同入口流量流入 4 个子通道, 经过 4 段无肋段后, 流体基本交混均匀, 4 个子通道间的流量达到均衡。

**关键词:**扁平矩形多通道; 流动交混; 示踪剂法

**中图分类号:** TL33      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-6931(2007)S0-0120-03

## Study on Mixed Flow in Thin Rectangular Multi-Channels

XIONG Wan-yu, LI Yong, WANG Fei, WANG Hong-qing

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

**Abstract:** Single-phase mixed flow in thin rectangular multi-channels was experimentally studied by using tracer technique and weigh method. Deionized water was used as a working fluid, and NaCl solution was used as tracer reagent. The test results from the tracer technique and the weigh method are able to inter validate, and the front one is in good agreement with the latter. The test result shows the flux of four sub-channels at the four non-tappings is equality as given different inlet flux for a test section with seventh-tamping.

**Key words:** thin rectangular multi-channels; mixed flow; tracer method

凭借高效的传热能力、较低的流道线速度和极其紧凑的外形结构, 扁平矩形流通结构形式在各种工业领域的换热装置(如板式换热器、板型燃料元件等)中得到了广泛应用。为增加流道板间的结构强度, 往往在流道板的窄边处焊接一定长度的加强肋, 因此, 扁平矩形通道间就形成了半封闭式的流通结构形式。本工作采用示踪剂法、称重法和染色剂法研究 4 个半封闭式矩形通道间的流动交混现象, 流动工质为

常温常压去离子水, 示踪剂为分析纯 NaCl 溶液, 染色剂为纯高锰酸钾溶液。

### 1 试验装置

试验装置为常温常压开式回路, 试验回路主要由离心泵、试验段、NaCl 溶液注射装置、进出口电导率在线测量装置和文丘利流量计、阀门、管路等组成。回路去离子水由额定流量 17 m<sup>3</sup>/h、扬程 55.4 m 的离心泵供给; NaCl 溶液

收稿日期: 2007-05-08; 修回日期: 2007-07-02

作者简介: 熊万玉(1973—), 女, 湖北公安人, 副研究员, 硕士, 核科学与工程专业

注射采用定流量注射泵,注射泵最高流量为 0.6 L/h;本体进出口介质电导率变化通过电导率在线监测仪监测。回路中布置 5 条试验支路,其中,1 条试验支路为本体两侧边流道提供入口流量,其余 4 条试验支路为 4 个扁平矩形子通道提供入口流量,并在 NaCl 溶液注射点和本体进口间留有长约 4 m 的充分混合管路。

试验回路流程示于图 1。

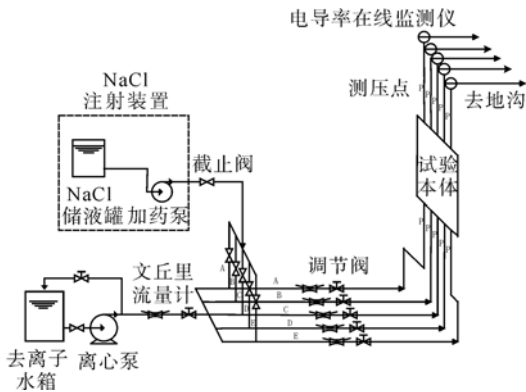


图 1 试验装置流程图

Fig. 1 Schematic diagram of experiment facility

试验段为可视化结构,外部的试验筒体由两块透明的有机玻璃和两块不锈钢板围成,采用紧固螺栓连接;内部的子通道由 5 块不锈钢板和侧边的肋条焊接成半封闭式的流通结构。

## 2 试验方法

给定 4 个子通道入口流量,采用加药泵把一定浓度的 NaCl 溶液分次从各支路上游足够长的管路上注入回路,经试验件 4 个子通道间的流动交混后,每个子通道出口支路上的在线电导率电极可连续监测 4 个子通道的出口电导率,然后通过公式换算成 NaCl 浓度,进而得到 4 个子通道出口流量。示踪剂法测量各通道出口流量的同时,采用传统的称重法进行校验。为定性地观测各通道流量沿轴向在无肋条处之间的流动交混现象,本实验还采用染色剂法进行了观测。染色剂采用饱和高锰酸钾溶液,经定流量注射泵将溶液连续注入到 4 个子通道中的某一通道,通过透明的有机玻璃外筒观察试验件无肋处各子通道间的流动交混现象,并采用数码相机进行拍摄。

## 3 试验结果

图 2 给出了 4 种入口流量分配条件下 4 个半封闭式扁平通道无量纲流量沿轴向的分配关系。通道无量纲流量指各子通道流量与该工况下入口平均流量的比值。图 2 表明:在各通道入口流量很不均匀的情况下,流体流经第 1 段无肋处时交混最为强烈,经过 2 段无肋后,各子通道流量交混量较少;而经过 3 段无肋后,交混基本均匀,且通道 1、2、3 的流量均大于入口平均流量;主通道入口流量的分配比例是影响组件内流体相互交混程度的重要因素。当通道 2 和通道 3 给定平均流量、通道 1 和通道 4 按 80%-120% 或 60%-140% 平均流量的比例给予流量时,流体经过 1 段无肋段后各通道交混就基本均匀;当各通道入口流量按偏离平均流量的比例给予时,流体需经过 3 段无肋后才基本趋于均匀。在单元组件某一通道入口加入饱和的高锰酸钾染色剂,可直观观察到试验件各通道在无肋处的流量重新分配状况。

图 3 为向大流量通道 2 中注入染色剂后在整个轴向无肋处观察到的现象。从图中可发现,流体在第 1 段无肋处各通道的颜色差异较大,说明通道间流量极不均匀,经过 2 段无肋段后各通道颜色之间的差异较少,说明在前两段流体发生了剧烈的交混,到第 4 段后通道之间的流量达到平衡。

## 4 结论

本工作采用在试验段上游去离子水中注入示踪的 NaCl 溶液,流体流经试验段时,在各子通道间进行流动交混,然后在通道出口用在线电导率仪进行实时监测各通道电导率,从而获得各子通道的出口流量。该项试验研究为扁平多通道内水动力设计提供了试验依据。通过本项试验研究,得到了如下结论:

1) 采用示踪剂法和称重法均能较准确地观测扁平子通道间的流动交混特性;

2) 扁平矩形多通道内流体在无肋处发生流动交混,组件各通道间的流动交混与流体的平均流速无关,主要与主通道入口流量分配比例有关,即当单元组件各通道按 80%-100%-100%-120% 或 60%-100%-100%-140% 平均流量的比例分配入口流量的情况下,通道间流

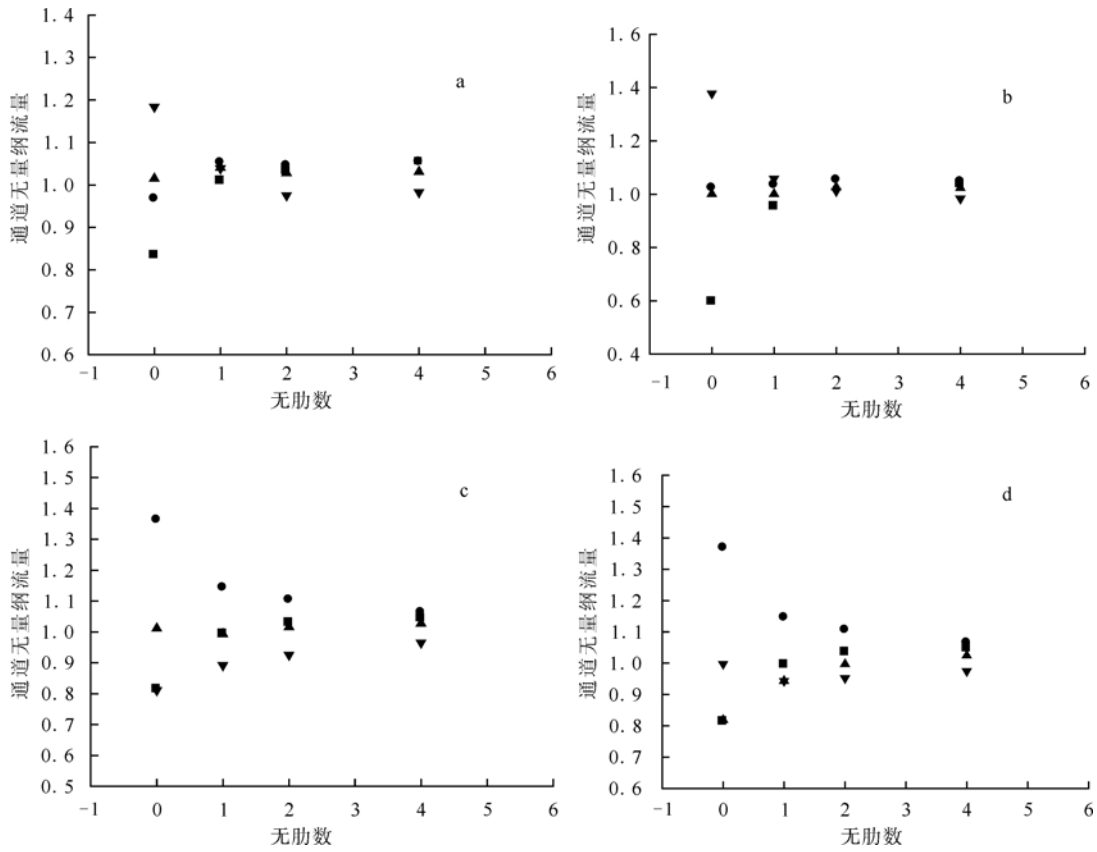


图2 各种入口流量分配条件下4个子通道沿流动方向的流量分配关系

Fig.2 Flow rate distribution relation of four sub-channels along flow direction at various entrance flow rate distributions

4个入口流量分配关系:a—0.73 : 1.01 : 1.00 : 1.26;b—0.52 : 0.99 : 1.03 : 1.46;  
 c—0.73 : 1.44 : 0.98 : 0.84;d—0.75 : 1.43 : 0.80 : 1.02  
 ■——通道1;●——通道2;▲——通道3;▼——通道4;

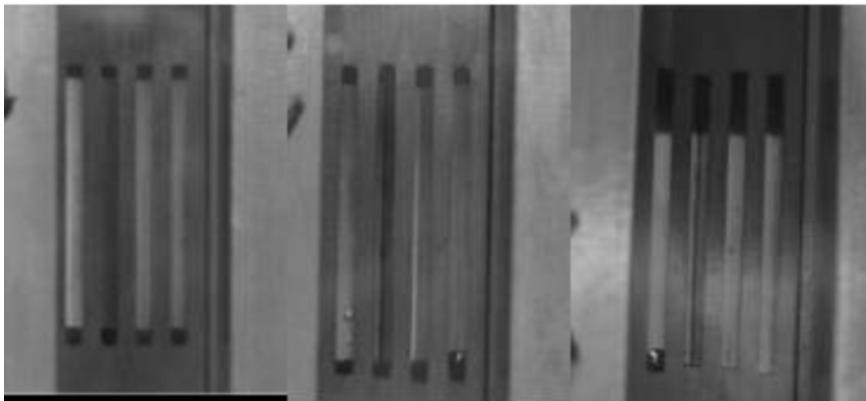


图3 染色法观测结果

Fig.3 Observed result of dye method

体流动交混主要发生在前2段无肋处,经过4段无肋后流体交混基本均匀;通道间入口流量差别越大,越需经更多无肋段才能交混均匀;

3) 对于4个半封闭式并联扁平矩形通道,给定不同的入口流量分配形式,经通道间4段无肋处的流动交混后,各通道流量基本趋于均匀。