

CNIC-00938
SINRE-0052

CN9501849

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE
AND TECHNOLOGY REPORT

反应堆燃料组件棒束流场的激光测试和计算

FLOW FIELD MEASUREMENTS USING LDA AND
NUMERICAL COMPUTATION FOR ROD BUNDLE
OF REACTOR FUEL ASSEMBLY

(In Chinese)



VOL 27 01

中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press



胡 俊:助理研究员,中国核动力研究设计院反应堆水力研究室副主任。1987年毕业于上海交通大学动力机械工程系。

Hu Jun, Researcher, depute director of Reactor Fluid-dynamics Divisicn, Nuclear Power Institute of China. Graduated from Department of Power Generating Machine Engineering, Shanghai Jiaotong University in 1987.

CNIC-00938

SINRE-0052

反应堆燃料组件棒束流场的激光测试和计算

胡 俊 邹尊予

(中国核动力研究设计院, 成都)

摘 要

采用 DANTEC 55 X 二维激光多普勒测速仪对反应堆燃料组件棒束流场进行了测试, 获得了其不同断面处的紊流速度分布及湍流特性, 并进行了理论模型计算分析, 试验结果与理论计算及他人实验结果符合较好。试验模型为一正方形排列的 4×4 棒束, 节距比 $S/d = 1.315$ 。测量断面位于中间支撑板上下游, 测量的轴向速度正方向与水流方向一致, 试验雷诺数范围 $1.8 \times 10^4 \sim 3.6 \times 10^4$ 。应用激光测速系统, 采用后向接收工作方式, 该系统配有双通道光电频移器, 频移量高达 40 MHz, 从而可以准确地判别流向。在进行统计计算时, 对统计样本进行了滞留时间加权处理。最后, 对激光测速系统的使用, 提出了几点体会和建议。

**FLOW FIELD MEASUREMENTS USING LDA AND
NUMERICAL COMPUTATION FOR ROD BUNDLE
OF REACTOR FUEL ASSEMBLY**

(In Chinese)

Hu Jun Zou Zunyu

(NUCLEAR POWER INSTITUTE OF CHINA, CHENGDU)

ABSTRACT

Local mean velocity and turbulence intensity measurements were obtained with DANTEC 55 X two-dimensional Laser Doppler Anemometry (LDA) for rod bundle of reactor fuel assembly test model which was a 4×4 rod bundle. For this study, the data were obtained from different experimental cross-sections both upstream and downstream of the model support plate. Measurements performed at test Reynolds numbers of $1.8 \times 10^4 \sim 3.6 \times 10^4$. The results described the local and gross effects of the support plate on upstream and downstream flow distributions. A numerical computation was also given, the experimental results are in good agreement with the numerical one and the others in references. Finally, a few suggestions were proposed for how to use the LDA system well.

引言

反应堆燃料组件通常采用棒束结构，棒中核裂变产生的热量由冷却剂流带走，这种燃料元件的设计，要求解决包括流体流动和换热方面的重大问题。为了研究加热棒束紊流流动的对流换热，必须对其流场进行分析研究，本试验就是基于此目的而进行的。

1 实验简介

试验模型为一由 LD₃ 铝板组成的 95×95 mm 的方形通道，中间正方形排列 4×4 不锈钢棒束，棒外径 18 mm，棒间隙 6 mm，节距比 $S/d = 1.315$ 。该模型除两端支撑板外，还装有中间支撑板。测量断面位于中间支撑板上下游，共 6 个（参见图 1~3）。试验介质采用

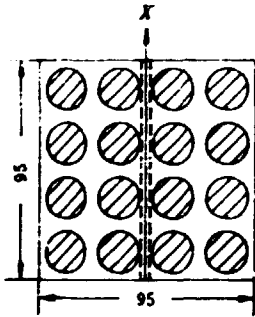


图 1 测量剖面测点示意图

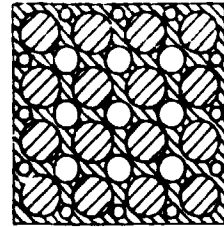


图 2 中间支撑板剖面图

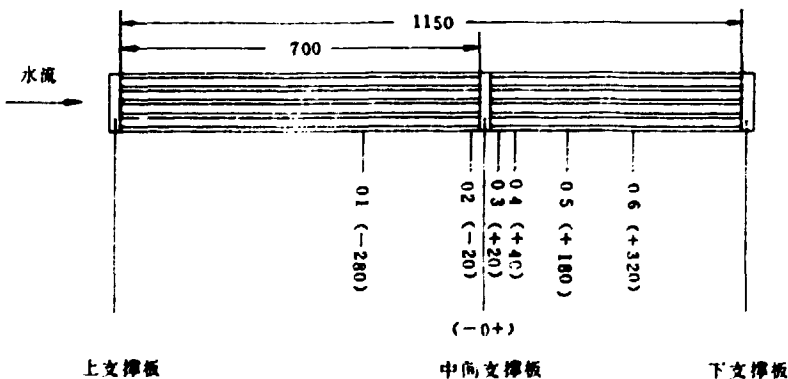


图 3 轴向测量断面分布示意图

自来水，回路压力 1 MPa。测量的轴向速度正方向与水流方向一致，试验雷诺数范围

1.8×10⁴~3.6×10⁴,应用 DANTEC 55 X 激光测速系统,采用后向接收工作方式。该系统配有双通道光电频移器,频移量高达 40 MHz,从而可以准确地判别流向,在进行统计计算时,对统计样本进行了滞留时间加权处理。

2 实验结果分析

为便于比较,速度测量结果以断面平均流速进行了无量纲处理,以 U/\bar{u} 形式给出。01 断面中心线测量结果见图 4,速度梯度较小,在棒束子通道中心线上出现速度峰值,相邻两棒束间隔处,速度相对较小。01 断面偏离中心线的测量结果见图 5,由于离棒束较近,受棒表面摩擦的影响,使得速度分布的上述特点十分明显,与此对应,湍流强度也出现相应的变化。子通道中心线上湍流强度较小,棒束间隔处相对较大。与文献 [1], [2] 的测量结果相比,基本上是一致的。试验结果表明:此断面流场不受支撑板干扰,是一全发展流场。

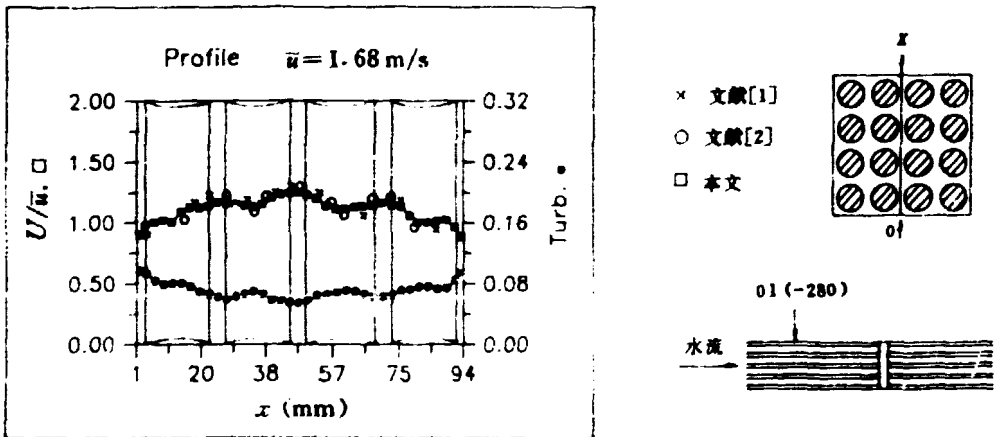


图 4 01 (-280) 断面速度和湍流强度分布 (中心线)

速度测量值的周向变化与计算结果相比偏小,如图 6 所示。这是由于棒束动量中性区域之间实际上存在动量运输。从现在关于紊流结构的理论可知:总的动量运输取决于两个过程,即由分子摩擦和小尺度的紊流旋涡引起的梯度型的动量运输和大尺度的旋涡运动引起的对流动量运输,前者是一扩散过程,后者起源于二次流动。由于动量运输的存在,使得剪应力和速度的周向变化减小了^[3,4],这一点,正好与我们的测量结果相一致。

02 断面测量结果如图 7 所示,由于离支撑板较近,支撑板的阻挡作用使上游阻挡区的流动减小,同时,沿支撑板过流孔的速度增加。速度的这种变化也反应在紊流强度的测量结果上。

03 断面测量结果参见图 8,此断面紊流流动的主要特点是过流孔射流,断面速度梯度很大,最大值在射流孔中心,相应的紊流强度最小。另外,在射流孔间隙处探测到回流现象。在回流区,射流使周围的流体发生剧烈的横向运动,两者之间不断地互相渗混,进行

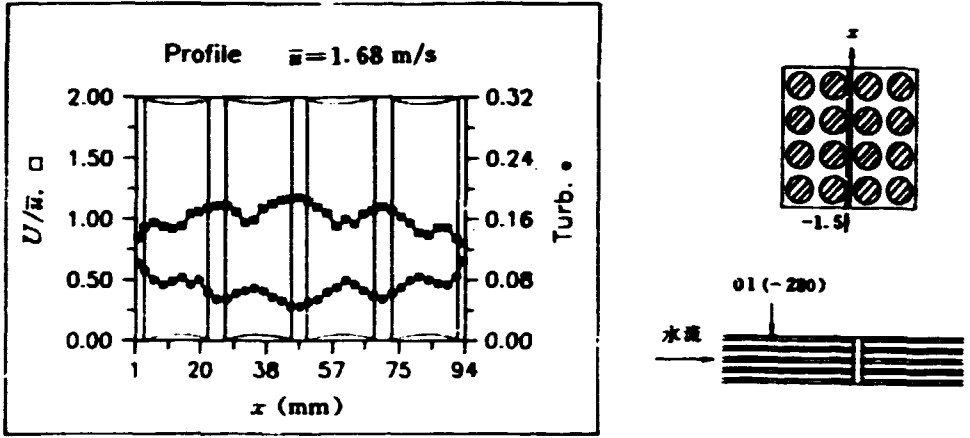


图5 01 (-280) 断面速度和湍流强度分布 (偏心线)

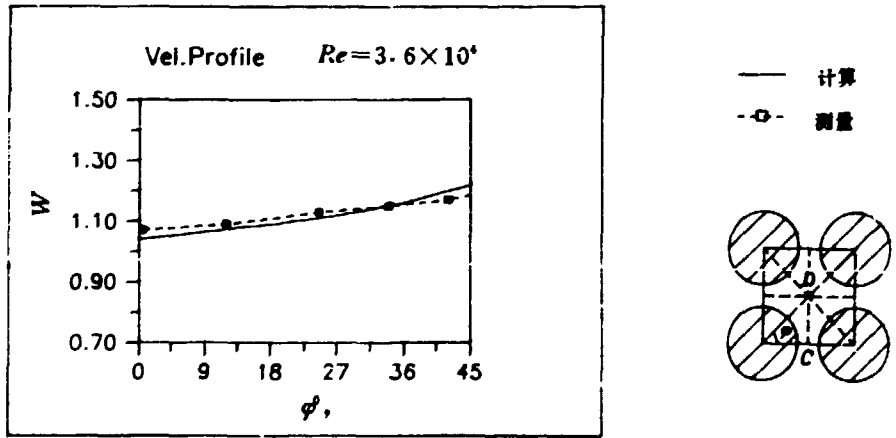


图6 棒束中心子通道中性线CD的速度分布计算值与测量值的比较

质量和动量交换，从而使该区域的紊流强度增大。

图9为回流中心流速随离支撑板轴向距离y的变化曲线，由图可见回流区出现在支撑板下游附近区域内。文献[1]可能受仪器设备的限制而未能测出回流，文献[2]的结果也不如我们的好，但趋势是一样的。在最大回流区，由于强烈的速度脉动和大规模的紊流碰撞，也使文献[2]的信号处理器难以获得可靠的信号，以至于不能工作。而我们采用了BSA等先进的信号处理系统，加上光学系统和电子系统调置准确，故仍然能跟踪处理如此复杂的信号，获得较为满意的结果。回流区对燃料组件的传热有着重要影响，这一点应予

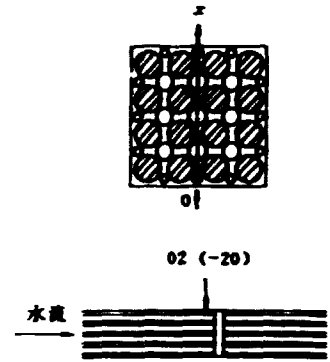
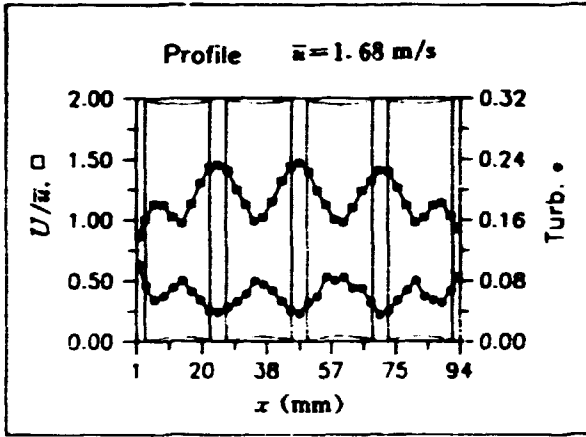


图 7 02 (-20) 断面速度和湍流强度分布

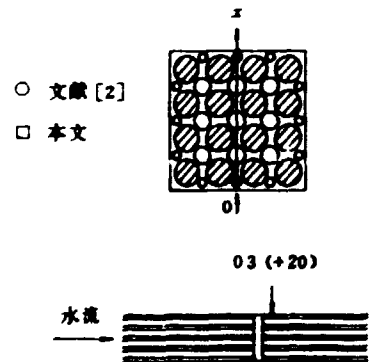
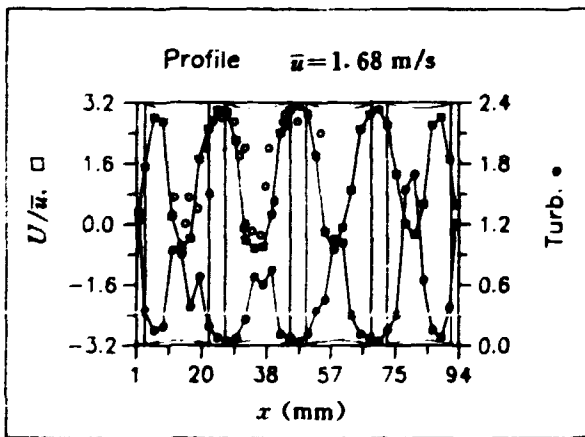


图 8 03 (+20) 断面速度和湍流强度分布

以注意。

04~06 断面这段区域是射流的恢复区，测量结果示于图 10 和图 11，可以看到，小孔径射流比大孔径射流恢复快，小流量下的恢复区比大流量的短。06 断面的测量结果与 01 断面基本相同。说明流态已恢复到全发展紊流。由此可见：离中间支撑板越远流态变化越趋于稳定。

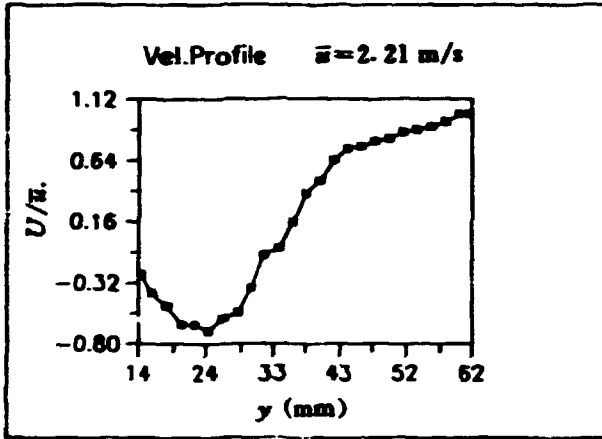


图9 回流中心流速随轴向距离 y 的变化曲线

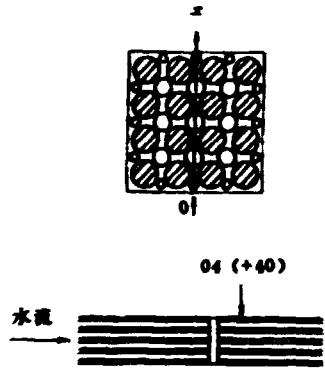
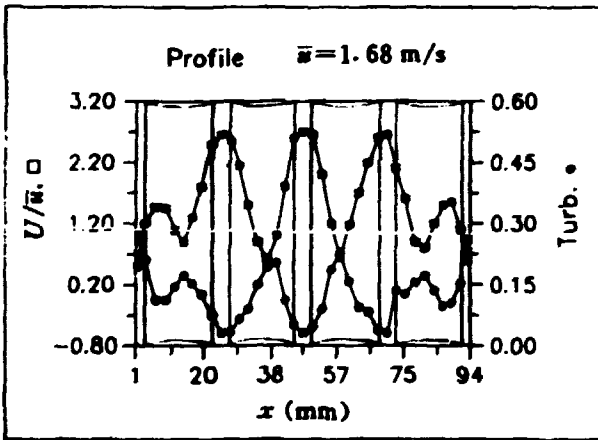


图10 04 (+40) 断面速度和湍流强度分布

3 结论与体会

在我们的试验条件下，可以得到如下结论：

(1) 在试验雷诺数范围内 ($Re = 1.8 \times 10^4 \sim 3.6 \times 10^4$)，雷诺数对速度和湍流强度分布影响不大。

(2) 远离支撑板断面，速度及湍流强度分布较平缓。支撑板对下游流场的影响比上游显著得多。

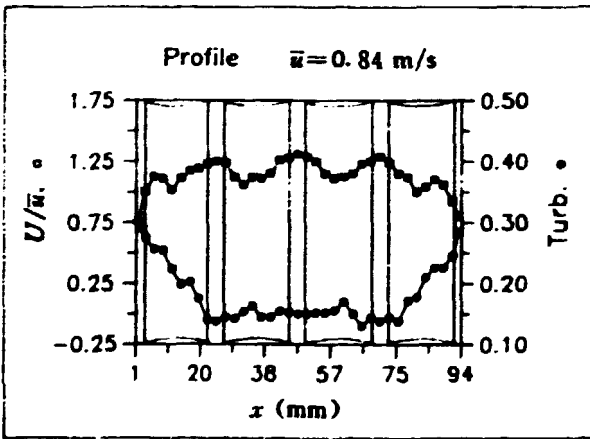
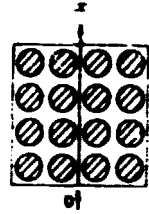
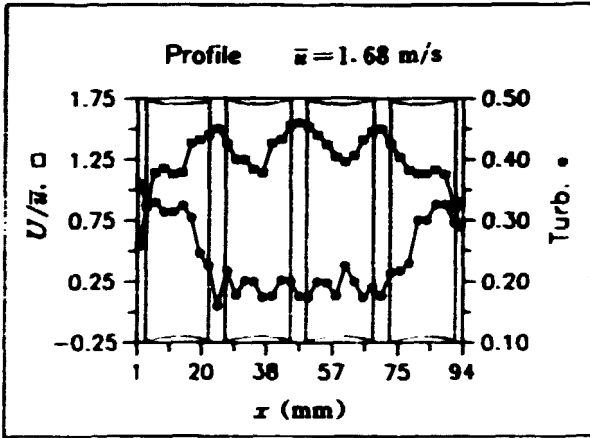


图 11 05 (+180) 断面速度和湍流强度分布

(3) 中间支撑板下游附近区域出现回流，随着流速的减小，回流速度与断面平均速度之比 U/\bar{u} 略为增大。

(4) 高雷诺数下，中间支撑板下游速度分布恢复区比低雷诺数下恢复区要长。

实验中我们得到的几点体会是：

a. 从试验结果看，LDA 的精度很高，只要光路系统和电子系统调整准确及散射粒子施加合理，所得结果是真实而可靠的。

b. 测量前应精细调光，光路系统调节是否合理，对信噪比及测试精度有重要影响。

c. 测量中，使两光束所构成的测量平面和探测窗表面并不完全垂直，而是有一微小偏角，这样，在近壁面测量时，可以减小壁面反射光噪音的影响。

关于计算部分，我们选用了 Jaroslav 等建立的数学模型^[2]，并对其作了一定的修改。这

方面,可参阅另一篇报告^[5]。

对给予此项工作以帮助的宗桂芳教授表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 宋传琳. 应用伽摆差动式激光速度计测量热核反应堆中棒束间流体的速度分布. 清华大学科技报告, 1987. QH67049, 7~27
- [2] Bates J M, Stewart C W, Satey A M. Experimental Study of Single-phase Flow Fields Around Strain Generator Tube Support Plates. ASME Winter Annual Meeting, New York, 1979, CONF79-54431, 41~53
- [3] Janskar Plann. Heat Transfer in Turbulent Longitudinal Flow Through Unbaffled Assemblies of Fuel Rods. Nucl. Eng. & Design, 1973, Vol 3: 68~81
- [4] Nijping R, Gargantini I, Effer W. Analysis of Fluid Flow & Heat Transfer in a Triangular Array of Parallel Heat Generating Rods. Nucl. Eng. & Design, 1966, Vol 4: 375~398
- [5] 杨俊. 反应堆燃料组件棒束流场的数值计算. 中国核动力研究设计院 (内部资料), 1992, 7

(京) 新登字 077 号

图书在版编目 (CIP) 数据

反应堆燃料组件棒束流场的激光测试和计算=FLOW FIELD MEASUREMENTS USING LDA AND NUMERICAL COMPUTATION FOR ROD BUNDLE OF REACTOR FUEL ASSEMBLY/胡俊等著. —北京: 原子能出版社, 1995. 2

ISBN 7-5022-1343-0

I. 反… I. 胡… III. 燃料棒组件-激光多普勒技术-束流-测试技术 IV. ①TL352②TL501

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 02496 号



原子能出版社出版发行

责任编辑: 孙凤春

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092¹/₁₆·印张 1/2·字数 12 千字

1995 年 2 月北京第一版·1995 年 2 月北京第一次印刷

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-1343-0



9 787502 213435 >