

温排水模型试验中变态率对流场和温度场的影响

袁方^{1,3}, 罗敏², 纪平³, 袁珏³, 秦晓³

(1. 南水北调中线干线工程建设管理局, 北京 100038; 2. 国核电力规划设计研究院, 北京 100095; 3. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要: 通过设计一系列温排水模型试验, 研究不同模型几何变态率对典型环境流条件下流场和温度场的影响。结果表明: 变态率 ε 的增大 ($\varepsilon \leq 3$) 对典型流场的纵向流速以及水流特征点分布均有所影响, 但都没有改变原有工况 ($\varepsilon = 1$) 的流态特征和分布结构。随着变态率 ε 增大 ($\varepsilon \leq 3$), 温排水向上游发生偏转, 表面温度场温升包络面积逐渐变大, 主流区垂向温度分布规律基本没有发生变化, 但垂向温度梯度加大, 热水层厚度趋向变薄。

关键词: 温排水; 变态率; 流场; 温度场; 模型试验

中图分类号: TV137

文献标识码: A

文章编号: 1000-0860(2013)07-0138-04

Impact from distortion ration on flow field and temperature field in thermal effluent model test

YUAN Fang^{1,3}, LUO Min², JI Ping³, YUAN Jue³, QIN Xiao³

(1. Administration Bureau of Mid-Route of South-to-North Water Transfer Project, Beijing 100038, China;
2. State Nuclear Electric Power Planning Design & Research Institute, Beijing 100095, China;
3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Through a series of thermal effluent model tests, the impacts from the geometric distortion ratios of various models on the flow field and temperature field under the condition of the typical environmental flow. The result shows that the increase of the distortion ratio ε ($\varepsilon \leq 3$) has a certain impact on both the longitudinal velocity and the distribution of feature point of flow, but the characteristics of flow pattern and the distribution structure under the original working condition are not changed by the impact. Along with the increase of the distortion ratio ε ($\varepsilon \leq 3$), the thermal effluent is deflected to the upstream and then the temperature rising envelope area of the surface temperature field gradually becomes larger. Meanwhile, the law of the vertical temperature distribution of the main flow region has basically no any change, but the vertical temperature gradient increases and the layer thickness of the hot water is inclined to be more thinner as well.

Key words: thermal effluent; distortion ratio; flow field; temperature field; model test

1 研究背景及目的

目前, 物理模型试验是针对火、核电厂温排水问题的主要预报方法之一, 可较好地重现原型实际情况。但受到试验场地、成本等客观条件限制, 模拟范围一般仅限于取排水口近区水域, 且往往需采用变态模型。模型变态率的选取会对模拟研究成果的准确性、精度产生明显影响。对此, 拟利用现有

模拟方法、检测手段等方面的有利条件, 在前人已有研究成果基础上进一步开展模型变态影响的试验研究, 以便为今后物理模型试验模型变态率选择以

收稿日期: 2012-05-21

基金项目: 中国水利水电科学研究院科研专项——滨海及内河火、核电厂温排放扩散机理试验研究。

作者简介: 袁方(1985—), 男, 工程师。

及成果修正提供依据。

2 模型设计

本试验重点观测对象是取排水口近区及其主要影响区域的流场和温度场,模型比尺见表1和表2。

表1 模型比尺对应关系

模型比尺	Q_r	V_r
对应关系	$L_r \cdot H_r^{\frac{3}{2}}$	$H_r^{\frac{1}{2}}$

注: Q_r 为流量比尺; V_r 为流速比尺; L_r 为水平比尺。

表2 各种情况模型比尺

项目	ε	L_r	H_r	V_r	Q_r
指标	1	A	A	$A^{1/2}$	$A^{5/2}$
	2	A	A/2	$2^{-1/2} A^{1/2}$	$2^{-3/2} A^{5/2}$
	3	A	A/3	$3^{-1/2} A^{1/2}$	$3^{-3/2} A^{5/2}$

注: H_r 为水深比尺; ε 为变态率, 设 ε 为 1 时, 水平比尺为 A。

本试验在专用水槽中进行, 水槽布置见图1。试验最大水深 12 cm, 最大来流流量 32.475 L/s, 温排水最大流量 324.75 cm³/s。为减少边壁导热影响, 模型底部设有隔热保温层。

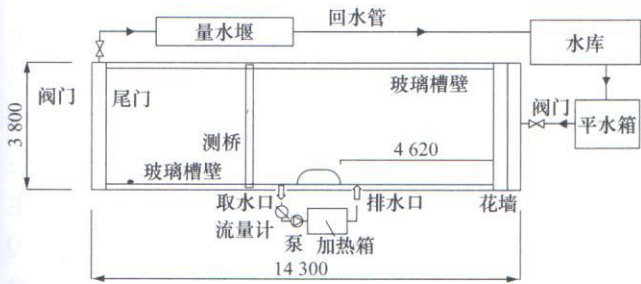


图1 水槽布置示意(单位: mm)

3 结果与分析

3.1 变态率对流场的影响

试验保持 $\alpha^* = \bar{u}_\infty / v_1 = 0.7$ 不变, 研究二维流场的分布变化 (α^* 为来流流速与排水口流速比, \bar{u}_∞ 为来流平均流速, v_1 为排水口平均流速)。

对于凸体附近水流的特征用凸体前、后回流中心以及分流点位置表示, 图2为反映凸体前、后回流区、分流点等特征点示意图, 同时, 取凸体上游侧 B 点作为对比分析的标志点。表3为不同 ε 时特征点相应特征值。

由以上分析数据可见: (1) 试验水槽固壁边界条件以及取、排水, 通过对均匀流的影响, 改变了原有水流结构, 较好地模拟了一种典型流场, 能够反映一

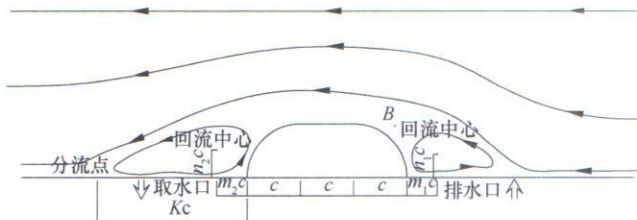


图2 特征点示意

表3 不同 ε 特征值

项目	ε	K	m_1	m_2	n_1	n_2	$\tan\alpha$
指标	1	3.36	0.49	0.51	0.45	0.48	0.34
	2	3.21	0.46	0.52	0.44	0.45	0.39
	3	2.52	0.48	0.40	0.37	0.40	0.4

注: $\tan\alpha$ 为 B 点特征值, $\tan\alpha = \frac{y \text{ 向速度}}{x \text{ 向速度}}$ 。

种典型的工程布置边界条件; (2) 随着变态率 ε 的增大, 射流对环境流造成的局部影响范围有减小的趋势; 射流在凸体前发生偏转的角度逐渐变大。

变态率 ε ($\varepsilon \leq 3$) 的增大, 对典型流场的纵向流速以及水流特征点分布均有所影响, 但都没有改变原有工况 ($\varepsilon = 1$) 的流态特征和分布结构。可见, 较小范围的变态率 ($\varepsilon \leq 3$) 对典型环境流条件下流场的影响可接受。

3.2 变态率对温度场的影响

实际中的表面浮射流沿射流槽流入河、湖或港湾等水域后, 即沿底部和两侧扩展成为三维流动。在近距离时, 惯性力起主导作用, 射流受动量支配, 基本上按动量射流的模式运动, 在侧边卷吸周围流体向两侧扩展, 在底面也卷吸下部流体发生垂向掺混。由于浮力作用, 以及自由表面的存在, 结果使射流断面不断变形, 横向不断扩展而垂向则逐渐薄弱^[1]。

本项研究采用全断面出流, 这样在试验中避免出现分层流动。

3.2.1 表面温度场分布

试验时尽量保证气候条件(如气温、湿度等)等影响试验的气候因素保持一致, 图3为表面温度场红外热成像示意, 图4为表面温度场相对温升等值线示意。

对于由变态率 ε 不同而带来的影响, 使用特征值 A_x/A_1 表示(见表4, 其中 A_x 为不同 ε 时, 相应包络线的面积, $x = 1, 2, 3$; A_1 即为 $\varepsilon = 1$ 时, 不同值对应的包络面积)。

当 $\varepsilon = 1$ 时, 水深较浅, 可认为射流进入环境水体

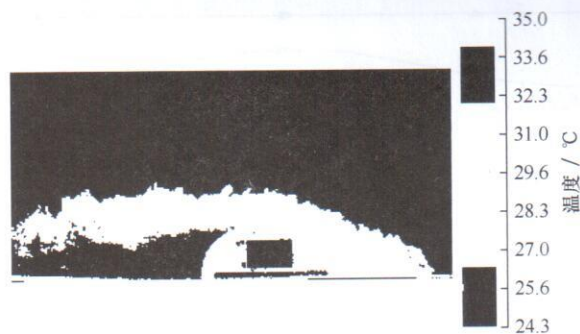


图3 表面温度场红外热成像示意

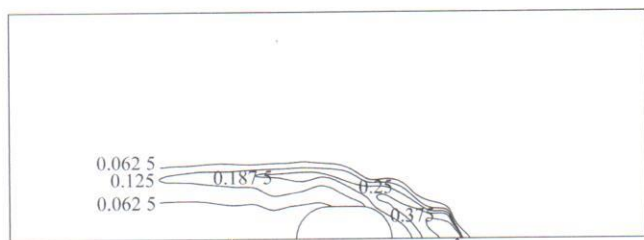


图4 表面温度场相对温升等值线示意

表4 水流特征值 A_x/A_1

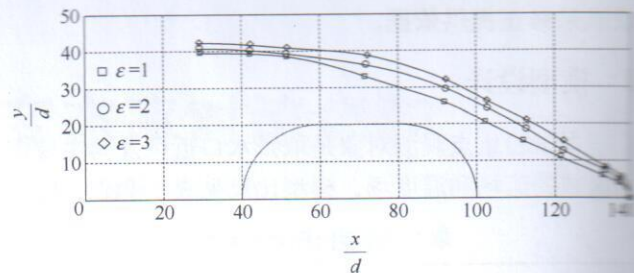
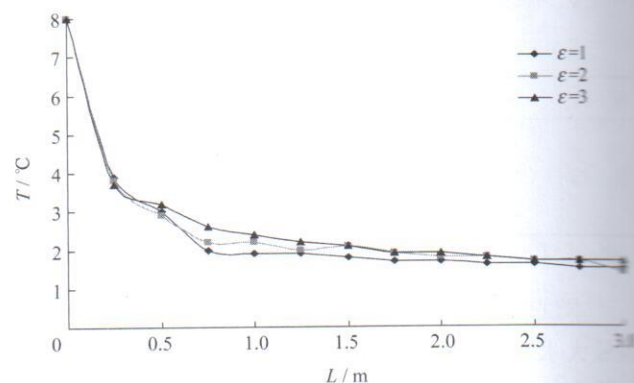
ε	$\left(\frac{A_x}{A_1}\right)_{0.0625}$	$\left(\frac{A_x}{A_1}\right)_{0.125}$	$\left(\frac{A_x}{A_1}\right)_{0.1875}$	$\left(\frac{A_x}{A_1}\right)_{0.25}$	$\left(\frac{A_x}{A_1}\right)_{0.375}$
1	1	1	1	1	1
2	1.077	1.056	1.108	1.124	1.131
3	1.155	1.145	1.247	1.203	1.216

后的掺混、卷吸属于平面二维问题。随着 ε 的增大,水深逐渐加大,垂向水温不再平均分布,掺混、卷吸变得更加复杂,热水的浮力效应逐渐发生作用,热水逐渐向上运动,浮在环境水体之上,由此,给表面温度场带来了一定的变化,即随着 ε 的增大,从排水口至凸体下游,温排水影响面积均有所增大,但其增量控制在 25% 以内;温排水射流的轴线走向向上游稍有偏转;凸体上游回流区温升面积有所增大,凸体下游取水口附近温升面积影响不明显。

3.2.2 射流浓度轨迹线

本试验目的在于研究模型变态率 ε 对温度场的影响,在此不妨将三维运动简化为温度沿水深平均分布的平面二维运动,这样就可通过简化后的二维运动参数来反映温度场变化。

将各断面温度等值线的最大点连线,既是射流浓度轨迹线(见图5)。图6为射流浓度轨迹线的沿程温降线。

图5 不同 ε 时射流浓度轨迹线(d 为排水口宽度)图6 不同 ε 时射流浓度轨迹线的温降线

根据图5和图6可以看出,射流射出后,遇垂直方向的环境流逐渐弯曲,热水与环境流强烈掺混,温度迅速下降。随着进一步调整,射流方向与环境流趋向一致,温度下降趋向缓慢。结果表明:(1)随着 ε 的增大,射流浓度轨迹线逐渐向上游发生偏转,与3.1节中的结论相一致;各测点温度升高 $\sim 0.3^\circ\text{C}$ 。(2)排水口附近,不同变态率下的温降趋于一致,无明显变化。

3.2.3 主流区温度垂向分布

热水进入环境水体后,首先表现为惯性力起主导作用,射流受动量支配,在垂向和两侧发生掺混、卷吸;接下来,浮力逐渐起主导作用,导致出流逐渐上浮,垂向卷吸逐渐减弱,随着水深的加大,将会对水体垂向温度分布产生影响,对此,需进一步开展研究分析工作。

在平面温度场测点选取主流区附近特征点,采集特征点垂直方向(z 方向)温度进行分析。特征点分布见图7(图7中画圆点即为特征点,数字为测量断面)。

如图8所示,对 $\varepsilon = 1$ 的特征点,垂直方向均匀取4个点; $\varepsilon = 2$ 的特征点,垂直方向均匀取4个点; $\varepsilon = 3$ 的特征点,垂直方向均匀取6个点。为方便比较,在此将热水层定义为温度明显高于底部的水体,

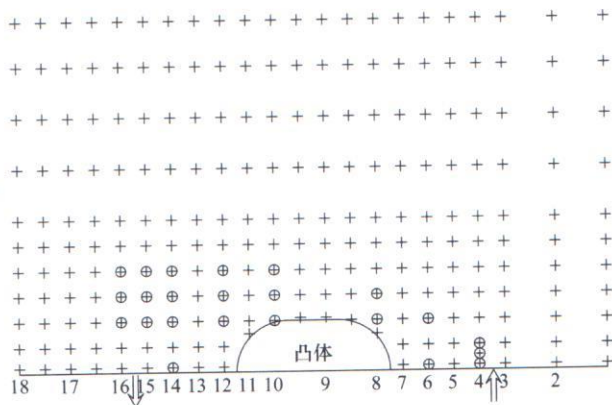


图7 特征点分布

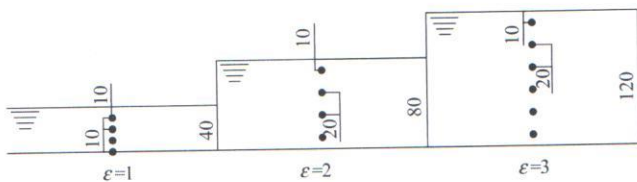


图8 垂向测点示意图(单位: mm)

表5 各特征点热水层厚度 cm

点号	$\varepsilon=1$	$\varepsilon=2$	$\varepsilon=3$	点号	$\varepsilon=1$	$\varepsilon=2$	$\varepsilon=3$
4-1	2	1.5	1.3	12-5	2	2.4	1.7
4-1.5	3	2.5	2.3	14-1	0	0	0
4-2	3.2	2.5	1.8	14-3	2	1.5	1.7
6-1	2	1.5	2.3	14-4	2	1.6	1.7
6-3	2.4	2.4	2.6	14-5	3	2.6	3
8-3	3	2.5	2.9	15-3	3	2.5	2.3
8-4	2.2	1.8	1.8	15-4	3	2.5	3
10-4	2	1.8	1.7	15-5	3	2.3	1.7
10-5	2.3	1.8	1.7	16-3	2.2	2.5	2.3
12-3	3	2.5	2.4	16-4	3	2.5	2.3
12-4	2.5	2.6	2.4	16-5	3	2.5	2.3
取水口	2	1.5	1				

各特征点热水层厚度见表5。

经比较:(1)排水口附近射流轴线附近水体表面温度相差较大,垂直方向温度梯度较大,分层现象较为明显;射流外侧冷热水交界面周围水体温度较低,垂直方向温度分布较均匀,表底温度相差不大,依然存在温度分层;由于凸体前回流区的影响,热水带内侧水体温度较外侧稍高,表底温差较小,温度分层现象不明显。(2)温排水经过前段的掺混、卷吸以及表面散热,在经过凸体以后,整个水体温度均有所下降;射流轴线周围以及热水带外侧水体表面温差变小,垂向温度梯度亦变小,依然有温度分层;热水带内侧受凸体后回流区的影响,

表底温差更小,基本不存在温度分层;取水口垂向温度很均匀,表底基本不存在温差。(3)随着 ε 的增大,各特征点垂向温度分布规律基本没有发生变化,但垂向温度梯度加大,热水层厚度趋向变薄;取水温升基本不变。

3.2.4 小结

(1)试验水槽条件较好地模拟了一种典型温排水温度场分布,能够反映一种实际工程布置条件。

(2)随着 ε 的增大,温排水向上游方向发生一定偏转;表面温度场温升包络面积逐渐变大;主流区垂向温度分布规律基本没有发生变化,但垂向温度梯度加大,热水层厚度趋向变薄;取水口垂向温度分布较均匀,表底温差不大,取水温升没有变化。

(3)变态率的增大对水平以及垂直方向的温度场均有所影响,但热水带形状和温度分布规律没有发生变化。可见,较小程度的变态率($\varepsilon \leq 3$)对典型环境流条件下温度场的影响是可接受的。

4 结论

针对变态率对流场和温度场的影响,进行了不同变态率的试验,得出以下结论:

(1)变态率 ε 的增大,对典型流场的纵向流速以及水流特征点分布均有所影响,但都没有改变原有工况($\varepsilon=1$)的流态特征和分布结构。可见,较小范围的变态率($\varepsilon \leq 3$)对典型环境流条件下流场的影响可接受。

(2)随着 ε 的增大(本次研究变态率 $\varepsilon \leq 3$),温排水向上游方向发生一定偏转;表面温度场温升包络面积逐渐变大;主流区垂向温度分布规律基本没有发生变化,但垂向温度梯度加大,热水层厚度趋向变薄;取水口垂向温度分布较均匀,表底温差不大,取水温升没有变化。

参考文献:

- [1] 余常昭. 环境流体力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.
- [2] 陈惠泉, 等. 冷却水模型的几何变态问题[R]. 北京: 水利水电科学研究院, 1988.

(责任编辑 陈小敏)

