

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtk.2015.04.022

Rampura 雨水泵站水力模型试验研究

雷 恒^{1,2}, 陶永霞^{1,2}, 罗全胜^{1,2}

(1. 黄河水利职业技术学院, 河南 开封 475004; 2. 小流域水利河南省高校工程技术研究中心, 河南 开封 475004)

摘要: 针对 Rampura 雨水泵站开敞式进水池可能出现的流态问题, 采用 1:6 几何比尺建立了正态整体物理模型, 对其进行水力试验研究。通过对典型工况进行试验, 分析了进口段、前池段、泵室段和喇叭口处不同断面的水流流态、流速分布及沿程水位变化。结果表明, 各部位设计与布置较为合理, 运行中没有出现明显的不利流态, 但低水位运行会对流态造成一定影响。该物理模型测试方法合理、可行, 对于类似泵站的设计测试具有一定的参考价值。

关键词: 水力特性; 模型试验; 流态; 流速; Rampura 雨水泵站

中图分类号: TV131.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)04-0708-05

Research on hydraulic model test of Rampura rainwater pumping station

LEI Heng^{1,2}, TAO Yong xia^{1,2}, LUO Quan sheng^{1,2}

(1. Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng 475004, China; 2. Engineering Technology

Research Center of Small Watershed Conservancy University of Henan Province, Kaifeng 475004, China)

Abstract: In terms of the flow regime problems of open suction sump in Rampura rainwater pumping station, a normal physical model was built with 1:6 ratio of geometric scale for the study and its hydraulic test was conducted. Several typical working conditions were analyzed to determine the flow regime, velocity distribution, and water level variation in the intake section, fore bay section, pump chamber section, and different sections of bell mouth were obtained. The results showed that the design and layout of each section are reasonable and unsatisfactory flow regime does not occur during the operating period of the rainwater pumping station, but the flow regime can be affected under the operation of low water level. The physical model test is feasible and reasonable, which can provide reference for the design of similar pump stations.

Key words: hydraulic characteristics; model test; flow regime; flow velocity; Rampura rainwater pumping station

雨水泵站开敞式进水池的水流流态对水泵运行时的效率、汽蚀程度、振动及噪声产生较大影响, 不良的流态会严重影响水泵的性能。李传奇等^[1]通过试验研究, 分析了泵站水流特性, 提出了优化方案; 陈松山等^[2]对泵站流道水力优化设计进行了研究; 施高萍^[3]、史志鹏等^[4]对泵站开敞式进水池和轴流泵叶轮进口断面的轴向流速分布进行了模拟研究。本文以孟加拉国 Rampura 雨水泵站为例, 通过物理模型试验方法^[5-11]对开敞式进水池水力特性进行了研究, 测量典型过水断面流速分布, 观测进口段、前池段、泵室段和喇叭口处的水流流态、漩涡发生的位置及种类, 保证运行时不会发生重要问题, 水流无有害漩涡, 并不会对原型泵的运行造成影响。

1 工程概况

Rampura 雨水泵站位于孟加拉国达卡市东部地区, 泵站

受纳水体为 Begunbari 河道, 受纳水体洪水位为 7.09 m (绝对标高), 汛期最高、最低及正常水位分别为 5.5 m、2.5 m 和 3.5 m。泵站设置 5 台轴流泵, 单泵流量 $Q_p = 5 \text{ m}^3/\text{s}$, 进水采用明渠进水, 长度约 76 m, 进口处设自动除污格栅, 出水消能池 1 座, 5 根 DN1500 mm 出水钢管。

2 模型设计与工况选择

2.1 模型设计标准

泵站模型的整体布置在试验场按原地形制作, 主要包括原河道、引渠、泵房等。根据泵站参数及任务的特点, 采用正态整体模型^[12], 实际模型设计采用几何比尺为 $L_p/L_m = \lambda_L = 6$, 模型按弗劳德准则^[13-14]设计。模型雷诺数及模型韦伯数经计算分别为 4.2×10^5 和 9.714×10^3 , 模型尺寸 300 mm, 最小

收稿日期: 2015-03-08 修回日期: 2015-04-16 网络出版时间: 2015-07-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150724.1125.008.html>

基金项目: 河南省高等学校青年骨干教师资助项目(2013GGJS-197)

作者简介: 雷 恒(1980-), 男, 河南驻马店人, 讲师, 主要从事水力学及水泵(电)站建筑物方面研究。E-mail: leiheng2003@126.com

通讯作者: 罗全胜(1970-), 男, 河南南阳人, 教授, 主要从事水力学试验方面研究。E-mail: hhsylqs@126.com

水深超过 150 mm, 泵吸入口直径 > 80 mm, 符合国外标准^[15]《水泵进水设计》第 9. 8. 5. 3 条要求。主要比尺见表 1。

表 1 模型主要比尺

Tab. 1 Main Scales of physical model

几何比尺	流速比尺	流量比尺	糙率比尺	时间比尺	密度比尺
λ_L	λ_v	λ_Q	λ_n	λ_t	λ_ρ
6	2.45	88.18	1.35	2.45	1.00

2.2 模型布置与测试方法

模型采用断面法制作地形, 泵室部分采用有透明机玻璃制作, 河床采用混凝土砂浆硬化, 砂浆厚度达到 4 cm。边墙采用 500 mm × 240 mm 砖墙砌筑, 内外墙面使用混凝土砂浆粉面, 见图 1。

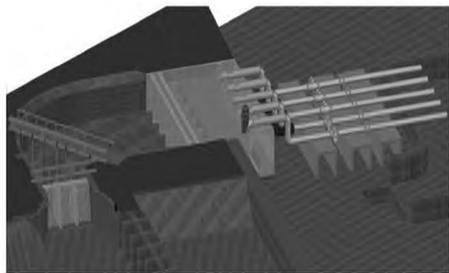


图 1 泵站模型整体布置

Fig. 1 Overall layout of model

模型共设置 9 个流速测试断面, 12 个水位测点, 见图 2。进口段格栅前后布置 S1、S2 两个过水断面, 三个流道共对称布设六条垂线; 前池段布置 S3~ S5 三个过水断面, 每个过水断面布设五条垂线; 进水前池及泵室段布置 S6~ S9 四个过水断面, 三个流道共对称布设六条垂线; 以上每条垂线均采用五点法测流速。试验采用 LGY 0 型多功能智能流速仪进行测速。表面流态观测采用浮子、高锰酸钾有色试剂拍照结合摄像对比分析的方法, 观察前池中死水区及回流区的分布情况、涡流和涡带发生的位置及种类、水流是否平顺、均匀等。

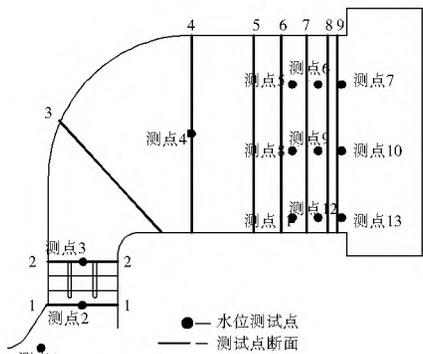


图 2 流速断面与水位点布置

Fig. 2 Layout of velocity section and water level points

2.3 工况选择

根据泵站实际工作水位可能出现的工况, 选择多泵和单泵运行模式, 结合是否设置格栅以及运行水位, 选择了 12 种典型工况进行试验, 具体见表 2。

3 模型试验结果及水力特性分析

3.1 模型试验结果

通过所建立模型分别对表 2 中的 12 种工况进行模型试

表 2 模型试验工况

Tab. 2 Working conditions of model test

工况	水泵运行	机械格栅	水位	工况	水泵运行	机械格栅	水位
1	多泵	设格栅	高	7	多泵	无格栅	高
2	多泵	设格栅	正常	8	多泵	无格栅	正常
3	多泵	设格栅	低	9	多泵	无格栅	低
4	单泵	设格栅	高	10	单泵	无格栅	高
5	单泵	设格栅	正常	11	单泵	无格栅	正常
6	单泵	设格栅	低	12	单泵	无格栅	低

验, 获得泵站进口段不同断面、进水前池、泵室段和喇叭口处流速分布等。由于篇幅所限, 在此仅给出高水位多泵有格栅工况(工况 1)和低水位单泵有格栅工况(工况 6)试验结果, 见图 3- 图 9。

3.2 水力特性分析

(1) 典型工况(工况 1 和工况 6)流速分布分析。

通过进口段及前池段的流速图分布(图 3)可以看出, 水流过栅流速小于 1.0 m/s。a. 高水位多泵工况运行时, 进口段 S1、S2 两个过水断面受主河道主流及宽阔河床形态影响, 主流基本居中进入进水口, 沿河宽过水断面流速分布基本均匀。有无格栅高水位时对进口段流速大小影响不大, 但低水位时无格栅减小了局部阻力, 使 S1、S2 两个过水断面沿河宽流速分布比有格栅稍趋于均匀。前池段 S3、S4、S5 三个过水断面主流居中偏左。b. 低水位单泵工况运行时, 进口段 S1、S2 两个过水断面和前池段 S3、S4、S5 三个过水断面有格栅时主流居中偏左, 流速沿河宽分布不甚均匀。无格栅时主流居中偏右, 流速沿河宽分布基本均匀。

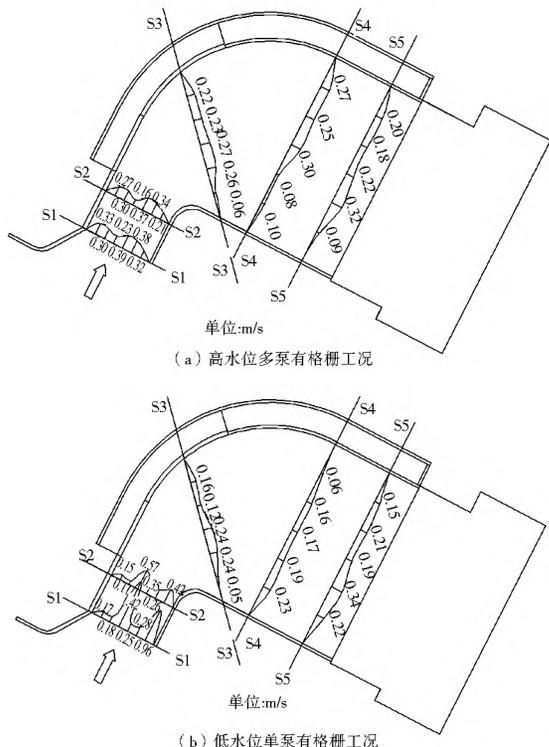


图 3 进口段及前池段不同断面处流速分布

Fig. 3 Velocity distribution in the intake section and forebay section

通过进水前池及泵室段的流速图分布(图 4)可以看出,

在 S6、S7、S8、S9 四个过水断面: a. 高水位多泵工况运行时, 主流居中, 但在同一流道中过流不甚均衡。高水位多泵有格栅时进水池进口处 S6 断面水面流速均大于无格栅时水面流速, 各种工况下进水池段水面最大流速一般不大于 0.50 m/s。b. 低水位单泵工况运行时, 进流基本均衡, 有无格栅对泵室流速影响不明显。

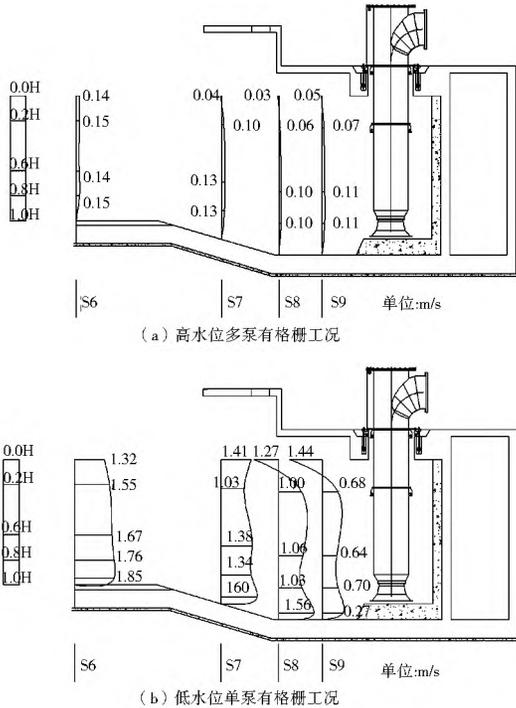


图 4 进水前池、泵室段左 3 流道左侧面垂线流速分布

Fig. 4 Velocity distribution in the forebay and left side of left 3 channel

通过吸水管喇叭口处径向、垂向流速分布图(图 5、图 6)可以看出, 高水位多泵、低水位单泵运行时吸水管喇叭口外环径向流速分布均匀, 不均匀度基本不超过 10%; 吸水管喇叭口的整个内环进流状况不甚均匀, 各工况水位下流道左侧垂向流速均大于流道右侧垂向流速。各种典型工况运行时, 吸水管喇叭口的流速分布特征值见表 3。由表可知, 在典型工况下, 左右流道径向进流、垂向进流状况基本良好。

(2) 典型工况(工况 1 和工况 6)流态分析。

1 高水位多泵工况运行时, 进口段水面平稳、进流通畅, 进水口左侧翼墙处稍有不明显且不连续的涡流; 随着水位降低, 进水口左侧翼墙处表面涡纹强度增加, 左侧的扰流强度及范围逐渐增强, 见图 7(a)。设置格栅后, 进水口水流较无格栅平顺流畅。前池水流受弯道影响明显, 表层水流靠近凹岸(左岸), 进入过渡段直河段后表层水流向凸岸(右岸)偏移靠近流向模型泵室右流道, 在右流道进口处受右岸翼墙影响, 在右岸形成回流, 然后主流潜入水下向左偏移, 使前池段主流基本居中稍偏左, 见图 7(b)。进水前池主流基本居中, 三个流道进口处均出现不同程度的绕流现象, 流道进口左侧的绕流强度逐渐增强。泵室右侧三个流道均有回流, 从中间流道至右侧模型泵所在流道, 回流强度减弱。

2 低水位单泵工况运行时, 进口段进水口左侧翼墙处可见连续的表层旋流, 设置格栅后, 进水口水流较无格栅平顺

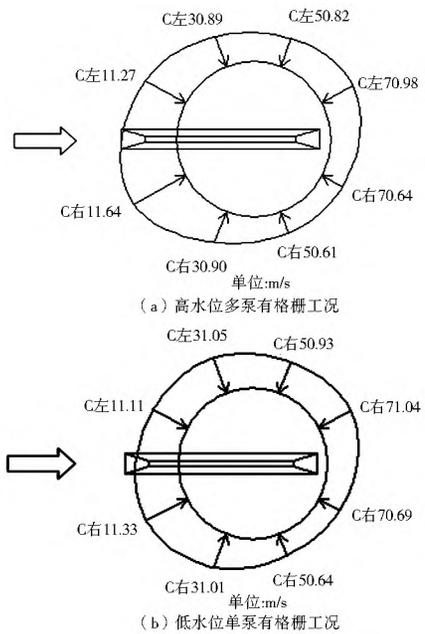


图 5 喇叭口径向流速分布

Fig. 5 Radial velocity distribution in the bell mouth

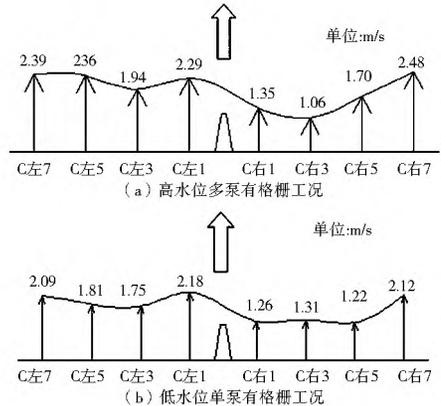


图 6 喇叭口垂向流速分布

Fig. 6 Vertical velocity distribution in the bell mouth

表 3 模型泵流道喇叭口流速分布特征值表(部分)

Tab. 3 Characteristic values of the velocity distribution in the bell mouth of model pump channel

工况	流道	流速形式	平均流速/(m·s ⁻¹)	
			外环	内环
高水位多泵有格栅(工况 1)	右	径向	0.95	
	右	垂向		1.65
	左	径向	0.99	
	左	垂向		2.24
高水位多泵无格栅(工况 7)	右	径向	1.03	
	右	垂向		1.67
	左	径向	1.00	
	左	垂向		2.03
低水位单泵有格栅(工况 6)	右	径向	0.92	
	右	垂向		1.48
	左	径向	1.04	
	左	垂向		2.01
低水位单泵无格栅(工况 12)	右	径向	0.92	
	右	垂向		1.32
	左	径向	1.11	
	左	垂向		2.11

流畅,见图 7(c)。前池段水面平稳无表层旋流,见图 7(d),在左右岸回流区水面有微凹陷,仅见表浅层存在连续缓慢旋流(为 2 类漩涡)。进水前池进口左岸有绕流现象,右岸有回流,水面较平稳,低水位时偶见 2 类漩涡,见图 7(e)。泵室回流强度增强,水面偶尔出现 3 类漩涡,未观测到 4 类漩涡,见图 7(f)。表面漩涡形态分类见图 8,表面漩涡分类判别特征见表 4。

水流在吸水管前至 S9 断面间下潜进入喇叭口,喇叭口处径向、垂向进流条件较好,各种工况下水下无附壁涡带和附底涡带产生,水下仅见旋转涡线,吸水管后无明显垂向螺旋流。

(3) 典型工况(工况 1 和工况 6)沿程水位分析。

1 高水位多泵工况运行时,进口段由于流态平稳,水位落差约 2 cm,受格栅阻力影响,有格栅情况下的进水口上下游水位落差比无格栅时大。前池段、泵室段有无格栅水位基本不变。° 低水位单泵工况运行时,进口段水位落差较小,约 1 cm。其他各段有无格栅水位基本不变(图 9)。

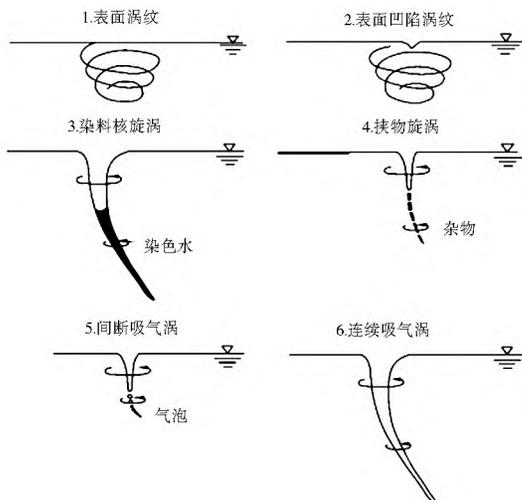


图 8 表面漩涡形态分类示意图
Fig. 8 Types of surface vortex

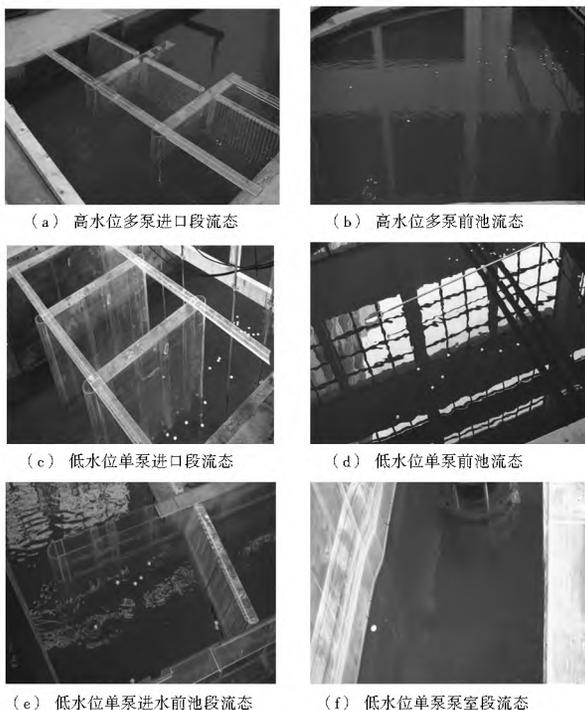


图 7 典型工况泵站各段流态

Fig. 7 Flow regime of pump station sections under typical working conditions

表 4 表面漩涡分类判别特征

Tab. 4 Classification features of surface vortex

表面漩涡类型	判别特征
第 1 类	水面无凹陷,表层旋流不明显且非连续
第 2 类	水面微凹陷,仅见表浅层存在连续缓慢旋流
第 3 类	水面凹陷,染色示踪可见有连续染色核至进水口
第 4 类	水面明显下陷,漩涡吸漂浮物入进水口,无吸气现象
第 5 类	水面深陷,漩涡间歇挟带气泡入进水口
第 6 类	涡心形成贯通气柱,空气连续进入吸水管

4 结论

通过 Rampura 雨水泵站正态模型对不同运行工况进行水力试验,得出以下结论:

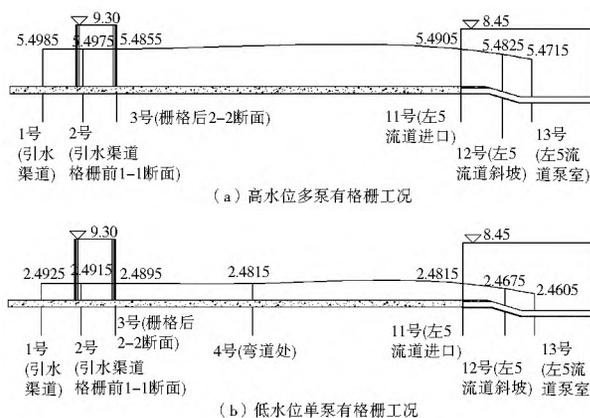


图 9 水位沿程变化(m)

Fig. 9 Variation in water level (unit: m)

(1) 泵站进口段在各种工况下水面宽阔,水流平稳,水面波动很小,过水能力基本能满足设计要求,仅低水位时左岸翼墙处有不明显的绕流。前池段纵横断面设计满足正常过流能力要求,前池内平均流速除个别不利工况外基本小于 0.6 m/s,水面基本无凹陷。

(2) 由于喇叭口及导流槽型式、尺寸、布置合理,它们对水流起到了较好的调整、导引作用,高水位、正常水位运行时吸水管喇叭口在径向、垂向进流状况均衡。喇叭口周边进流顺畅,受泵室末端垂向螺旋流影响,喇叭口后侧小部分进流不如前侧顺畅,但能满足吸水管进流要求。

(3) 经实际试验证明,该模型试验是可行的,对其它类似雨水泵站的设计及试验有一定的参考意义。在此基础上,下一步安排必要的流动数值计算(CFD)研究、泵站优化运行研究等。

参考文献(References):

[1] 李传奇,龚洁,赵新来,等.南水北调东线工程双王城水库泵站水流特性试验与数值模拟研究[J].水利水电技术,2010,41(11):29-33. (LI Chuan qi, GONG Jie, ZHAO Xir lai, et al. Experiment and numerical simulation study on flow characteristics of pumping station of Shuangwangcheng Reservoir for East Route of South to North Water Transfer Project[J]. Water Resources and

- Hydropower Engineering, 2010, 41(11): 29-33. (in Chinese)
- [2] 陈松山, 颜红勤, 周正富, 等. 泵站前置竖井进水流道三维湍流数值模拟与模型试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(2): 63-70. (CHEN Song-shan, YAN Hong-qin, ZHOU Zheng-fu, et al. Three-dimensional turbulent numerical simulation and model test of front shaft tubular inlet conduit of pumping station[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(2): 63-70. (in Chinese))
- [3] 施高萍. 轴流泵站开敞式进水池的数值模拟与技术改造[J]. 水电能源科学, 2013, 30(1): 192-194. (SHI Gao-ping. Numerical simulation and technical transformation for open suction sump of axial flow pump station[J]. Water Resources and Power, 2013, 30(1): 192-194. (in Chinese))
- [4] 史志鹏, 刘家春, 尹伟, 等. 泵站开敞式进水池水流水力特性研究[J]. 水电能源科学, 2013, 31(4): 153-155. (SHI Zhi-peng, LIU Jia-chun, YIN Wei, et al. Research on flow characteristics in open inlet sump of pump station[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(4): 153-155. (in Chinese))
- [5] 刘超. 水泵及水泵站[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009. (LIU Chao. Water pump and water pump station[M]. Beijing: China Water Power Press, 2009. (in Chinese))
- [6] GB/T 50265-2010, 泵站设计规范[S]. (GB/T 50265-2010 Standard for the design of pumping stations[S]. (in Chinese))
- [7] 陈方旒, 沈颖, 白玉川. 水泵站进水池物理模型试验研究[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(2): 155-159. (CHEN Fang-lu, SHEN Ying, BAI Yu-chuan, Experiment on physical model of intake at pumping station[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2013, 24(2): 155-159. (in Chinese))
- [8] 郑亚军, 蔡付林, 雷兴春. 水泵进水流道水工模型试验研究[J]. 人民长江, 2008, 29(24): 77-80. (ZHENG Ya-jun, CAI Fu-lin, LEI Xing-chun. Experimental study on water intake pipe of pump by hydraulic model[J]. Yangtze River, 2008, 29(24): 77-80. (in Chinese))
- [9] 孙永明, 陈宝华. 梅梁湖泵站进水引渠水工模型试验研究[J]. 江苏水利, 2007(3): 25-26. (SUN Yong-ming, Chen Baohua. Experimental study on water intake channel of Mei liang lake pumping station by hydraulic model test[J]. Jiangsu Water Resources, 2007(3): 25-26. (in Chinese))
- [10] 沈磊. 虹桥枢纽 2 号雨水泵站水力特性与整流优化[J]. 中国市政工程, 2010(6): 36-38. (SHEN Lei. A Research of hydraulic characteristics & rectification optimization of no. 2 rainwater pumping station, Hongqiao Comprehensive Transport Hub[J]. China Municipal Engineering, 2010(6): 36-38. (in Chinese))
- [11] 甄峰. 乌江泵站水力模型选择及泵装置模型试验研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2013. (ZHEN Fen. Hydraulic model selection and model experimental study on pump sets of Wujiang pumping Station[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2013. (in Chinese))
- [12] 左东启. 模型试验的理论和方法[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984. (ZUO Qidong. [SZZI] Theory and Method of Model Experiment[M]. Beijing: Water conservancy and electric power press, 1984 (in Chinese))
- [13] 牛权, 储训. 瘦西湖引水泵站输水管道系统水力模型试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(3): 121-123. (NIU Quan, CHU Xun. Hydraulic model test research of water distribution pipeline system of pumping station in slender west lake[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(3): 121-123. (in Chinese))
- [14] 朱红耕. 进水池对水泵进水条件影响的数值模拟和试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(6): 57-60. (ZHU Hong-geng. Numerical simulation and model test for the influence of pump intake design on pump flow conditions[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery, 2005, 36(6): 57-60. (in Chinese))
- [15] ANSI/HI 9.8-1998, American National Standards Institute. Pump Intake Design[S].

(上接第 698 页)

- [13] GB/T 50123-1999, 《土工试验方法标准》[S]. (GB/T 50123-1999, Standard for soil test method[S]. (in Chinese))
- [14] 梅国雄, 宰金珉, 殷宗泽, 等. 沉降时间曲线呈“S”型的证明[J]. 岩土力学, 2004, 25(1): 20-22. (MEI Guo-xiong, ZAI Jin-min, YIN Zong-ze, et al. Proof of s t curve appearing “S” shape based on one dimensional consolidation theory[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(1): 20-22. (in Chinese))
- [15] 梅国雄, 宰金珉, 殷宗泽, 等. 沉降时间曲线呈“S”型的证明及其应用[J]. 岩土力学, 2005, 26(S1): 21-24. (MEI Guo-xiong, ZAI Jin-min, YIN Zong-ze, et al. Proof of settlement-time curve appearing “S” shape with ramp load and its application base on stress-strain relationship[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(S1): 21-24. (in Chinese))