城市取水泵站进水池进水流态的改善

陆晓如[1]，佟宏伟[1]，冯建刚[2]
(1.上海青草沙原水工程有限公司,上海 200120；2.河海大学,江苏 南京 210098)

摘 要：在介绍城市取水泵站进水建筑物布置特点的基础上,结合上海市长江引水三期工程取水泵站水力模型试验,针对单台泵运行和多台泵组合运行等多种运行条件,对进水池表面流态和典型过流断面流速分布进行了量测;并据此分析了进水池产生主流居中,底坎附近和底坎前区域产生回流区,进水流道前产生由池壁流向中间机组的斜向流,以及在边机组进水流道进口处产生间歇性漩涡等不良流态的原因。提出了取消底坎,在进水池扩散段设置八字形导流墩和边机组进水流道前设置消涡板等改善不良进水流态的措施。试验结果表明:改善措施可以有效地改善进水池进水流态,提高水泵运行工作效率。

关键词：泵站；城市取水；进水池；进水流态
中图分类号：TV131 **文献标志码**：A **文章编号**：1005-6254(2007)05-0024-05

Measures of improving flow patterns for entrance bays of city intake water pumping stations

LU Xiao-ru[1], *TONG Hong-wei*[1], *FENG Jian-gang*[2]
(1. Shanghai Qingcaosha Raw Water Engneering Co. Ltd., Shanghai 200120, China; 2. Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

Abstract: Based on the hydraulic characteristic of the intake water pumping station in the Third Period Shanghai Intake Yangtzi River Water Project, we have measured the inlet flow patterns and the influence of the inlet flow patterns. We have also proposed the method to ameliorate the flow pattern. The model test results showed that the measures were valuable in ameliorating flow patterns and the efficiency of the pump was enhanced.

Key words: pumping stations; city intake water; entrance bays; inlet flow patterns

在城市取水泵站中,进水池是衔接取水、进水管(涵)与进水流道或进水喇叭口之间的衔接段。进水池流态的优劣,直接影响到进水流道或进水喇叭口内的水流流动状态,从而对水泵机组的安全高效运行产生影响,不良流态严重时将导致机组剧烈震动,影响到泵站的安全[1-10]。笔者主要结合上海市长江引水三期工程中取水泵站工程(以下简称“取水泵站”)整体模型试验,研究进水池流态及改善措施。

1 取水泵站概况

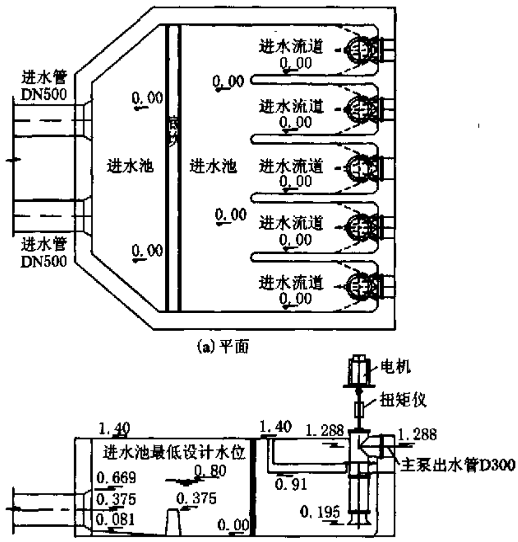
取水泵站是上海市长江引水三期工程三大内容(取水工程、陆域水库和输水工程)之一。取水泵站设计取水量为每天4.3×10^6 m^3(约50 m^3/s),泵站装机总容量为7 000 kW,属大型城市水源泵站。取水头部为蘑菇型取水头,两根DN3600重力式进水管进入泵房进水池。泵房内设置5台88LKSA-8.2

收稿日期：2007-05-16
作者简介：陆晓如(1960-),男,江苏吴江人,工程师,主要从事工程建设管理的研究。
佟宏伟(1976-),男,辽宁北镇人,工程师,主要从事水务工程建设管理的研究。

型立式导叶式斜流泵，四用一备，5 台主泵共用进水池，进水池总长度 18.30 m。主水泵单泵性能参数为：流量 $Q = 12.00 \sim 13.70\ \mathrm{m^3/s}$，扬程 $H = 7.30 \sim 9.10$ m。考虑到取水泵站采取的是重力式进水管集中进水，可能因此在进水池内导致不良的进水流态，从而对水泵机组安全高效运行产生影响，甚至对城市取水安全产生威胁，所以有必要对取水泵站的进水流态及其对水泵性能的影响进行分析研究，提出切实可行的改善流态的工程技术措施。

2 水力模型设计

取水泵站水力模型试验采用自循环、开敞式的水工正态模型。根据对进水池进水流态及改善措施研究的要求和实际需要，确定模型线性比尺为 $\lambda_L = 8$。取水泵站进水管、进水池及水泵机组段模型布置见图 1。



(a) 平面　(b) 剖面

图 1　取水泵站进水池段模型布置

对于取水泵站进水池进水流态的模拟，因进水池中为具有自由表面的无压水，主要以重力相似准则进行模拟，按佛汝德相似准则作为模型试验的基础，即 $Fr_m = Fr_p$。按照相似律计算可得：原型与模型的流速比尺为 $\lambda_v = \lambda_L^{0.5} = 2.83$；流量比尺为 $\lambda_Q = \lambda_L^{2.5} = 181.02$；时间比尺为 $\lambda_t = \lambda_L^{0.5} = 2.83$；原型与模型进出水建筑物的糙率比尺为 $\lambda_\Delta = \lambda_L^{1/6} = 8^{1/6} = 1.414$。原型进出水建筑物为钢筋混凝土制作，若施工质量良好，其糙率为 0.013 ~ 0.014；模型进出水池过流面采用纯水泥抹面，其糙率可达 0.011，基本可满足糙率相似的要求。原型进水管为钢管，糙率为 0.013 ~ 0.014，根据糙率相似比尺可得进水管模型糙率应为 0.009 19 ~ 0.009 90。有机玻璃糙率为 0.008 ~ 0.010，进水管段采用有机玻璃制作，基本满足糙率相似的要求。

进水池内流速分布采用光电流速流向仪进行量测，由计算机进行数据采集，可同时测得多点流速。对于典型断面部分测点，采取三维流速剖面仪（Vectrino）进行流速大小和流向量测。泵站流量及单泵流量由安装在出水管上的电磁流量计进行量测，在回水渠中安装薄壁全宽堰对单泵流量进行比测、率定，并量测和校验多泵运行时的总流量。

3 原设计方案进水池流态分析

泵站进水池进水流态试验，首先对原设计方案进水池的水流流态进行测试，分析原设计方案中存在的缺陷，提出改善措施并对其进行试验验证，以不断完善，最终提出保证进水池进水流态良好，泵站运行安全高效的工程技术措施。

为全面反映泵站进水池进水流态，进水流态量测包括表面流态观测和典型过流断面流速分布量测两部分。在表面流态量测中，利用悬浮示踪物显示表面流态，结合摄像资料对比分析；在典型过流断面流速分布量测中，首先确定典型过流断面，再在典型过流断面上布置测线和测点，用流速流向仪量测各测点的流速和流向，据此分析典型过流断面的流速分布。典型断面测点布置见图 2。

3.1 进水池流态

针对单台泵运行和多台泵组合运行多种工况，对原设计方案进水池表面流态进行了测试。试验结果表明：

1）单机组运行时，由于进水池水位较高，进水池表面水流比较平顺，流速较小，无明显的回流区存在，但是，受到进水流道隔墩及胸墙的影响，在边机组独立运行时，在流道进口处隔墩背水侧间歇性地产生漩涡，见图 3。

2）多机组运行时，进水池表面水流流速随着开机台数的增多而增大，水流自进水管进入进水池后，在底坎的作用下，一部分水流翻越底坎在坎后形成强烈翻滚，另一部分水流受底坎阻挡，在底坎前沿着底坎向两侧流动，碰池壁后向上翻滚，产生向中间机组方向的斜向流，从而造成边机组配水不均匀，进流

量偏小。多机组运行时,进水流道前表面没有旋涡和回流区出现,但是在底坎附近和底坎前区域有一定范围的回流区和斜向流。以4台机组($1^{\#}+2^{\#}+4^{\#}+5^{\#}$泵)组合运行工况为例,进水池Ⅰ-Ⅰ典型断面流速分布见图4。

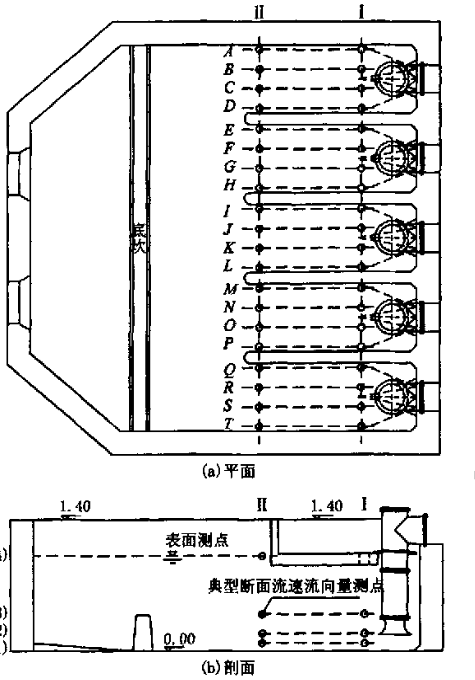


图2 进水池典型断面流速测点布置

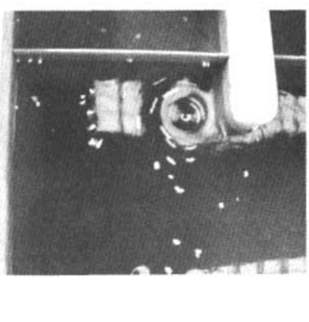


图3 边机组进水流道前水流表面流态

3.2 进水池产生不良流态分析

通过分析研究,造成进水池内产生不良流态的主要因素有以下两方面:

1)进水池扩散角偏大,底坎调整流态作用不明显。由于原设计方案采取的是对称布置的2根进水管重力式进水,从进水管进入进水池的水流主流居中,流速偏大,在进水池两侧池壁附近易产生回流等不良水力现象。原设计方案虽然考虑到进水池扩散角偏大,在进水池底部设置了底坎,水流在底坎的整流作用下,主流居中现象有所缓解,但由于坎前的部分水流沿底坎流向两侧后,在进水池边壁处形成强度较大的立面翻滚,在边机组侧形成流向中间机组的斜向流,造成了边机组进流量不足。因此,原设计方案的底坎对调整流态的作用并不明显。

2)底坎坎顶偏高。水流由进水管进入进水池后,在底部斜坡的导流作用下,主流直冲向前,以较高流速与底坎碰撞,一部分水流翻越底坎在坎后形成强烈翻滚,另一部分水流受底坎阻挡,在底坎前沿着底坎向两侧流动,并在进水池侧壁处形成较强的立面翻滚,一方面造成了进水池配水的不均匀,另一方面也产生了较大的水力损失。

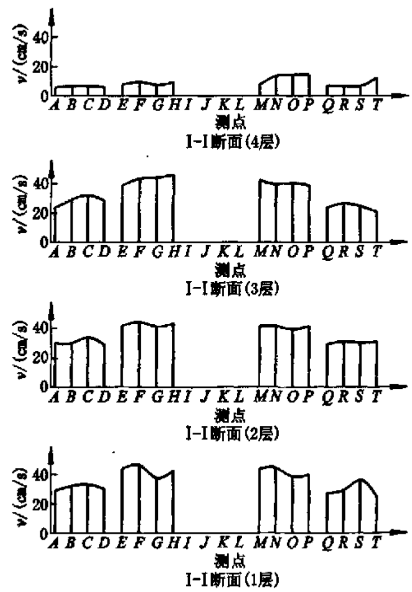


图4 原方案4台泵运行时Ⅰ-Ⅰ横断面(1)~(4)层的断面流速分布

4 改善进水流态措施

根据原设计方案试验结果,结合城市取水泵站的要求,以对泵站建筑物结构不作较大调整的原则,对取水泵站进水建筑物的流态改善措施进行了深入研究,通过采取加设导流墩等措施调整进水池流态,使进水流态得到明显改善。

4.1 进水流态改善措施

针对泵站进水池结构和进水方式等进行分析,提出如下改善进水流态措施(见图5):①取消原设计方案在进水池设置的底坎;②在边机组进水流道

前设置消涡装置；③在进水池扩散段设置八字形导流墩。

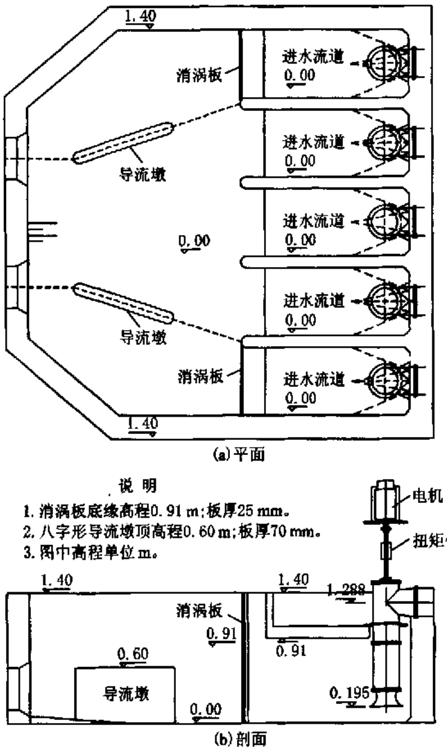


图5　改善进水流态措施布置

4.2　进水流态改善措施分析

采取改善措施后，通过对泵站多种开机组合运行工况的试验分析，可以得出以下两点结论：

1）在边机组单独运行和多机组高水位运行时，由于设置了消涡装置，在边机组进水流道进口前隔墩间无漩涡产生。

2）在多机组各工况运行时，由于八字形导流墩的导流作用，使得进水池水流主流居中现象得到有效缓解，基本消除了进水池侧壁处产生的大范围回旋区，使得水流在导流墩的导流作用下比较均匀地分配至各进水流道，在进水池表面基本消除了斜向流，进水池流态得到明显优化。以4台机组（1# +2# +4# +5#泵）组合运行工况为例，采取改善措施后进水池Ⅰ－Ⅰ典型断面流速分布见图6。

4.3　改善措施前后进水池进水流态对水泵性能的影响

在研究中，对单台和多台水泵各种组合的运行工况进行了水泵性能试验，并着重对中间机组与边机组的性能差异进行了分析。水泵性能试验结果表明，采用改善措施后，边机组的水泵性能明显提高，与中间机组之间的性能差异明显减小。以模型泵的各项工作参数为例，如1#水泵在4台泵（1# +2# +4# +5#）组合工况运行时，采取流态改善措施后，流量和效率分别比原设计方案条件下增长了1.43 l/s和0.46%，见表1。试验结果说明，采用改善措施后，进水池流态得到明显改善，有效地改善了水泵的吸水条件，提高了水泵的运行效率。

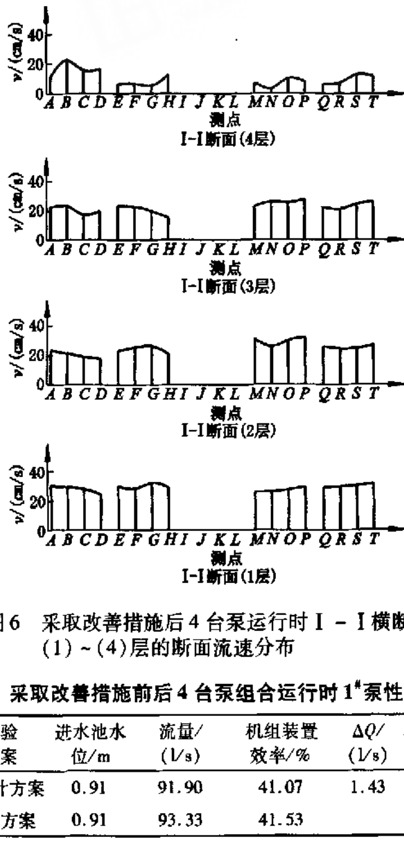


图6　采取改善措施后4台泵运行时Ⅰ－Ⅰ横断面(1)～(4)层的断面流速分布

表1　采取改善措施前后4台泵组合运行时1#泵性能比较

试验方案	进水池水位/m	流量/(l/s)	机组装置效率/%	ΔQ/(l/s)	$\Delta\eta_{装置}$/%
原设计方案	0.91	91.90	41.07	1.43	0.46
修改方案	0.91	93.33	41.53		

注：表中数据为模型泵运行参数。

5　结　论

1）取水泵站原设计方案的进水池中存在主流居中、底坎附近和底坎前区域产生回流区及斜向流等不良水力现象，进水建筑物不能向每台机组均匀配水，进水条件较差；多机组运行时，边机组的性能明显降低，与中间机组相比，下降幅度明显偏大。采取修改工程的措施后有效地改善了进水池进水流态，改善了水泵的进水条件，有效地提高了水泵装置性能。

2）导流墩是取水泵站进水池改善流态的一种

结构简单,水力损失小的有效措施。

3)该研究成果对城市取水同类型泵站的结构设计和进水流态的改善有一定的参考价值。

参考文献(References)

[1] 刘竹溪,刘景植.水泵及水泵站[M].北京:中国水利水电出版社,2006.

[2] 徐韶华,张凤琴,华丽琴.改善泵站前池运行工况的措施[J].排灌机械,2006,24(1):11-13.

[3] 陈卫平.谏壁泵站改造进出水流道设计方案试验研究[J].排灌机械,2006,24(3):17-19.

[4] 陈松山,葛 强,周正富,等.大型泵站双向进水流道三维湍流数值模拟[J].江苏大学学报:自然科学版,2005,26(2):102-105.

[5] 汤方平,耿卫明,杨国平.进水池流态对泵进口流场的影响[J].排灌机械,2004,22(5):12-14.

[6] 徐月江,冯建刚,陈毓陵.侧向进水多机组泵站进水流态改善措施研究[J].排灌机械,2004,22(4):5-8.

[7] 周龙才,刘士和,丘传忻.泵站正向进水前池流态的数值模拟[J].排灌机械,2004,22(1):23-27.

[8] 冯建刚,徐 辉,陈毓陵,等.泵站圆形进水池进水流态及水泵性能研究[J].排灌机械,2003,21(5):8-10.

[9] 徐 辉,段志强,于永海.泵站有压前池流态改善措施的研究[J].排灌机械,2003,21(4):13-16.

[10] 周济人,刘 超,汤方平,等.泵站复杂进水池内的流态改善研究[J].江苏农学院学报,1998,19(4):93-96.

(责任编辑 张文涛)