

大型供水泵站吸水池模型流场 PIV 测试

李连超 常近时

(中国农业大学水利与土木工程学院)

摘要 针对大型自来水系统使用的供水泵空蚀严重问题, 结合北京自来水九厂的实际情况, 按比例制造了吸水池模型, 采用 PIV 测量技术测量和分析了该吸水池中水流流态。根据试验结果分析了吸水池设计中水管和水泵吸入管在布置上不对称, 以及在低水位运行时淹没深度过小等问题对水泵空化性能产生的影响。为优化水泵空化性能, 针对泵站吸水池的设计提出建议: 来水管和水泵吸入管在结构布置上要一一对应; 水泵吸入管入口应平行于吸水池底面。

关键词 吸水池; PIV; 流动测量; 空化

中图分类号 TV 131.32; TH 3

Using PIV Method to Measure Flow Field in Model Cistern of Large-scale Pumps Station

Li Lianchao, Chang Jinshi

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract To the question of the frequent appearance of cavitations in the pumps used in the large-scale waterworks, combining with the real working surroundings of pumps station in the Beijing Ninth Water Supply Plant, the cistern model by appropriate scale was set up, take advantage of the PIV measuring technology to measure and analyze the flow field in the cistern model. According to the experiment result, the impact on the cavitations in pumps caused by the inapposite structure disposition of input and output of pipe and run-time inpropriety of insufficient submerge depth was analyzed, advices for the cistern design are as follows: input and output of pipe in cistern should be arranged correspondingly; the entrance plane of input pipe in cistern should be parallel to the underside of cistern.

Key words cistern; PIV; flow measurement; cavitation

大型供水泵站水泵运行中经常出现空化现象, 研究并解决水泵空化问题对泵站运行的经济性和稳定性有很大意义。引起水泵空化的原因很多, 吸水池设计是否合理是其中一个重要因素^[1], 而目前国内有关吸水池设计方法多源于经验, 尚无严格的设计规范。笔者通过试验对北京自来水九厂泵站吸水池的设计进行了审核, 并对吸水池内水的流态进行了分析, 为确定合理的泵站吸水池设计规范提供了试验依据。

1 吸水池结构设计合理性检验

北京自来水九厂吸水池的结构布置与经验设计不符之处如下^[2]:

收稿日期: 2002-02-28

李连超, 北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)230 信箱, 100083

1) 吸水池上端的淹没深度小。泵站吸水池设计中一般要求吸入管中心线的最小淹没深度 S 满足: $S \geq 1.3d$, d 为吸入管直径。自来水九厂的水泵吸入管直径为 1.8m, 即 $S \geq 2.34$ m, 而根据运行记录, 泵站运行最低水位对应的最小淹没深度仅为 1.86m, 这样将可能使空气在吸水过程中进入吸入管, 从而改变抽送介质的特性, 并诱发空蚀。

2) 经验设计中, 吸入管喇叭口的上端应该远低于吸入管中心线, 并且吸入管的进口平面应平行于吸水池底面^[3], 这一点自来水九厂的吸水池设计也未能满足。

3) 来水管与吸入管在布置上未满足对称条件。自来水九厂泵站吸水池的 3 条来水管, 配备了 6 条吸入管, 这样会造成吸水池水偏流而产生旋涡。

自来水九厂吸水池设计中存在着结构布置上的问题, 这一点是确定的, 但这样的布置是否就导致了水泵运行中空蚀的产生, 尚未有理论或试验依据。为此笔者采用 PIV 流量测量方法进行了水的流态测定。

2 PIV 的基本原理和模型流场测量

PIV (Particle Image Displacement Velocimetry) 为荧光粒子图像测速技术, 即用一个平面脉冲片光源照亮一个放有示踪粒子的流场, 形成一可见流动平面, 用垂直于该平面的摄影机或 CCD 摄影机拍摄各个脉冲时刻流场中粒子的位置图, 随后输入计算机进行图像处理。计算机通过统计分析或粒子跟踪得到粒子位移信息, 并根据脉冲时间间隔得到粒子速度。只要保证粒子足够小并且密度适中, 其速度就能基本代表该点的流场速度。根据自来水九厂的吸水池实际尺寸并结合试验室的装置条件, 笔者设计制作了比例为 1:100 的吸水池模型^[4]。试验装置系统见图 1。

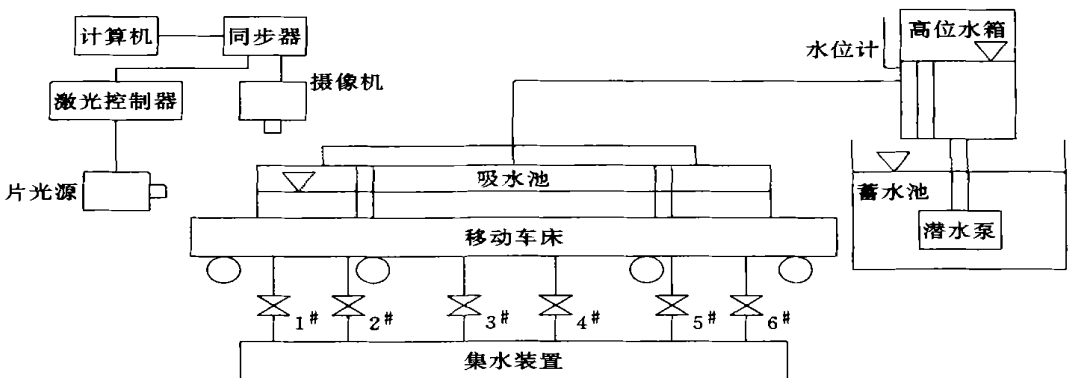


图 1 试验装置系统示意图

试验装置各部分说明: 1) 吸水池: 5mm 厚有机玻璃制作, 可保证良好的透光性; 2) 泵吸入管: 0.2mm 厚透明薄塑料制作; 3) 台架: 吸水池装在台架上可在 x, y, z 3 个方向移动; 4) 潜水泵: 潜水泵将蓄水池的水抽送至高位水箱, 并保证水箱中水位恒定, 这样试验过程中整个系统水流即为稳定流; 5) 集水装置: 吸水池流出的水流入集水装置, 再输送至蓄水池。

试验过程说明: 1) 打开潜水电泵, 抽送水至蓄水池溢流水位; 2) 调节 2#, 3#, 5# 管路阀门和进水管上的阀门开度, 保证吸水池的预定水位不变, 然后固定 2#, 3#, 5# 阀门开度, 使得通过阀门的流量为计算流量; 3) 打开同步器、激光控制器和计算机; 4) 调整台架上的位移装置, 使

得片光源照射到的平面为要测定的截面; 5) 调整 CCD 摄影机位置至要测定的截面; 6) 调节 CCD 摄影机镜头、片光源强度以及时间间隔等, 使得计算机上流动图像清晰; 7) 采集图像, 进行图像处理, 生成速度图。

3 测试分组和测试截面

试验模拟 2 组工况下吸水池内的水流运动, 1 组为低水位, 即水厂一年中泵站运行的最低水位, 41.27 m; 另一组为高水位, 即设计水位, 43.8 m。对应于每组水位, 2[#], 3[#], 5[#] 泵流量均为 $4.0 \text{ mL} \cdot \text{s}^{-1}$ 。本次试验采用空间直角坐标系, 在不同方向各选取多个测量截面, 测量截面位置示意图见图 2。

测试截面说明: 1) 沿 y 轴移动片光源, 在 xOz 平面调整摄像机测量不同吸入管在 y 方向截面的流态; 2) 沿 z 轴移动片光源, 在 xOy 平面调整摄像机测量不同吸入管在 z 方向截面的流态; 3) 沿 x 轴移动片光源, 在 yOz 平面调整摄像机测量不同吸入管在 x 方向截面的流态。

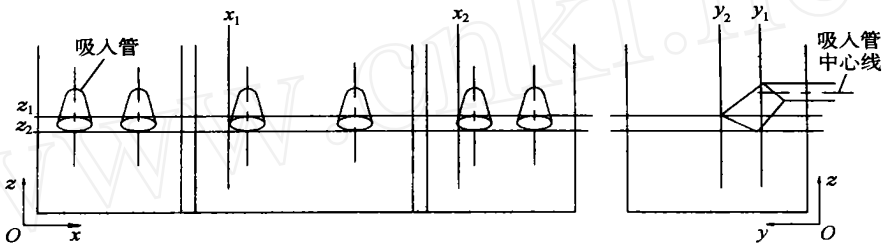
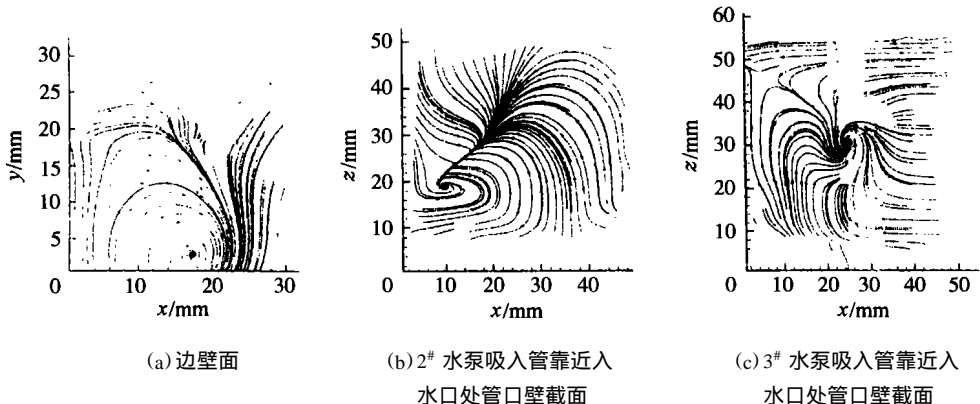
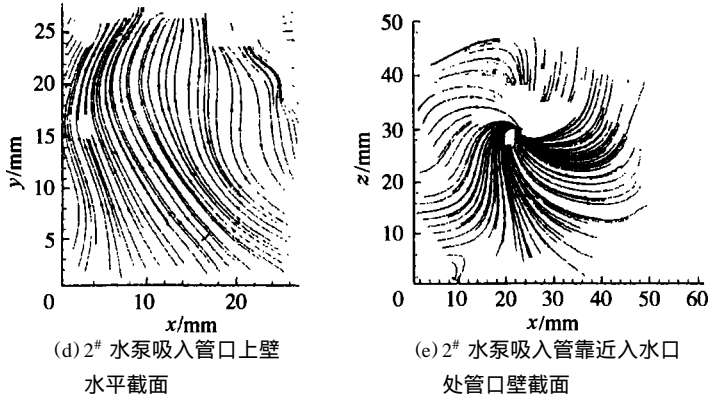


图 2 测量截面示意图

4 流场测量结果和分析

试验得到沿水泵吸入管入口及吸水池边壁面等各试验截面 x, y, z 方向的速度流线图。图 3 示出典型测试截面速度流线图, 图 3(a)~(d) 为低水位流线图, (e) 为高水位流线图。可以看出: 边壁面有旋涡(图 3(a)); 2[#] 水泵吸入管入口流态不对称, 管口处有旋涡(图 3(b)); 3[#] 水泵吸入管入口流态不对称, 管口处有旋涡(图 3(c)); 吸水池中水流有明显的偏流现象(图 3(d)); 2[#] 水泵吸入管入口流态不对称, 管口处有旋涡(图 3(e)); 从低水位各流线图图 3(a)~(d) 可见, 2[#] 和 3[#] 水泵吸入管入口流线完整, 无中断现象。





图(a)~(d)为低水位
(41.27 m)时, (e)为高
水位(43.8 m)时

图 3 测量截面速度
流线图

5 结 论

通过对各测量截面的速度流线图的分析, 可得出如下结论:

1) 吸水池设计中来水管和水泵吸入管布置未能满足对称条件, 造成水泵吸入管入口偏流严重, 管口处产生旋涡; 这必然对泵的空化性能产生不良影响。

2) 从 xOz 截面速度图(图 3(b), (c))可知, 流线没有出现中断现象, 这样就可以排除柱状旋涡产生的可能性, 说明水泵运行中没有夹带空气进入水泵吸入管的现象, 进而排除了水泵直接产生空蚀的可能。

对自来水厂泵站吸水池设计的建议:

1) 吸入管应保证一定长度, 使得进入吸入管的水流得到充分整流, 消除吸入管入口紊乱的流态, 使水泵进口压力分布均匀, 减少发生空化的可能性。

2) 水泵吸入管入口应平行于吸水池底面, 这样可以在一定程度上防止入口处旋涡的产生, 优化吸入管入口流态。

3) 为保证进水池水流尽量均匀到达水泵吸入管, 防止发生偏流和旋涡, 来水管和入口管在结构布置上要一一对应。

参 考 文 献

- 1 常近时, 寿梅华, 于希哲. 水轮机运行. 北京: 水利电力出版社, 1983. 140~ 142
- 2 关醒凡. 泵的理论与设计. 北京: 机械工业出版社, 1987. 82~ 84
- 3 卡列林 弗 亚. 离心泵和轴流泵中的汽蚀现象. 北京: 机械工业出版社, 1985. 43~ 44
- 4 盛森芝, 徐月亭, 袁辉靖. 日新月异的现代流动测量技术. 北京: 北京大学出版社, 1995. 79~ 80