

高性能低扬程轴流泵水力模型开发与应用

刘 超 汤方平 袁家博 周济人 成 立 杨 华

(扬州大学 江苏省水利动力工程重点实验室; 225009)

摘要: 针对南水北调和平原水网地区泵站建设需要大量低扬程轴流泵的要求, 介绍了新近开发的一批高性能轴流泵水力模型。这些模型具有流量大、效率高和汽蚀性能好的显著特点。其中部分水力模型已经应用在重点泵站工程中。实践表明, 这些水泵的水力性能优良。

关键词: 泵站 高比转数轴流泵 水力模型 研制

1 概 述

我国沿江滨湖、河网圩垸地区需要大量的低扬程泵站, 用于抗旱排涝、减灾防灾, 以确保农业生产乃至整个经济的发展。除需新建泵站外, 尚有大批老泵站亟待改造, 这些老泵站的水泵性能普遍较低且大多到了更新期。无论是新建泵站还是更新改造老泵站, 都需要大量的低扬程水泵。而国内现有产品尚不能满足发展的需要, 尤其对高比转数的低扬程泵更感缺乏。江苏省处江淮下游, 居国家南水北调东线工程的重要首段, 目下南水北调应急工程已经启动; 另外, 在长江、太湖、淮河治理方面, 不论是防洪保安、排涝降渍, 还是调水灌溉、防旱抗旱等方面都需要一批低扬程泵站工程。

为满足建设的需要, 国内有关高校、科研

院所多年来在轴流泵水力模型开发方面, 相继取得了一批优良的水力模型。这批水力模型的性能指标同比达到或接近当时的国际先进水平, 这里列举几种有代表性的国内优秀水力模型, 如表 1。

上述水力模型大多已获得实际应用, 总体反映较好, 实践证明这是一个重要的技术进步。根据国外一些大型水泵公司在国内工程投标中提供的水力模型参数, 可知国外在高比转数轴流泵水力模型方面, 近十多年来新开发的也很少, 原因在于高比转数低扬程泵水力模型性能难以显著提高, 故趋向采用降速、增大叶轮直径、降低 nD 值的方法来获取低扬程大流量的性能。这不失为一种实用的方法, 但毕竟不能充分发挥机泵设备的能力。

综合分析国内外现有模型资源情况, 根据国内泵站工程的规划建设和发展, 确定研发高比转数的低扬程轴流泵水力模型的性能指标(对最高效率点)如下。

- 1、比转速范围 700 ~ 1400
- 2、扬程范围 3.0 ~ 7.5 m
- 3、流量范围 > 350 L/s
- 4、汽蚀比转速 > 1000

2 水力模型研究成果

表 1 国内现有几种优秀水力模型性能参数

($D_{\text{叶}} = 300 \text{ mm}$, $n = 1450 \text{ r/min}$)

型 号	比转速	扬程(m)	流量(L/s)	效率(%)	汽蚀比转速
14ZM-70	700	7.67	362	85.5	1100
14ZM-85	850	6.05	380	84.9	1165
ZBM-791	1000	4.43	350	84.5	1170
14ZM-120	1200	3.42	354	83.4	1100
14ZM-150	1500	2.67	330	82.0	1062

经过几年的努力,共完成8种轴流泵水力模型的研制,均已通过江苏省科委组织的专家鉴定。其综合性能指标已达到国际先进水平,其中部分水力模型已经成功地用于大型泵站的建设和改造工程,经数年运行考验,证明其性能优良,受到一致好评,并获得部省级科技进步奖。表2列出这8种水力模型最高效率点的性能参数。

表2的数据表明,新开发的水力模型综合性能指标已经达到或超过国内优秀水力模型水平,且流量系数较大,汽蚀性能较好。表2中部分水力模型的详细性能见附图1~8。

表2 新开发的轴流泵水力模型性能参数

型 号	比转速	扬程(m)	流量(L/s)	效率(%)	汽 蚀 比转速
ZM7.4-380	700	7.4	380	84.5	1056
ZM7.8-360	700	7.87	360	84.8	1112
ZM6.5-Y971	800	6.68	426	83.6	1078
ZM6.0-Y972	850	6.19	427	84.3	1119
ZM6.0-Y981	880	6.0	409	85.5	1350
ZM4.5-Y973	1050	4.56	394	85.1	1215
ZM3.5-Y974	1200	3.74	403	84.2	1175
ZM3.0-Y991	1350	3.35	390	83.9	1183

注:上述水力模型试验段均包括60度弯管在内。

就流体工程来说,湍流模型理论已成为解决工程实际问题的比较有效的现实手段,尤其对具有固定边界(如管道)的流动问题的求解是比较成功的。然而各种湍流模型均有其适用条件因而有一定的局限性,还不能摆脱对经验

3 水力模型研究思路和方法

3.1 设计理论

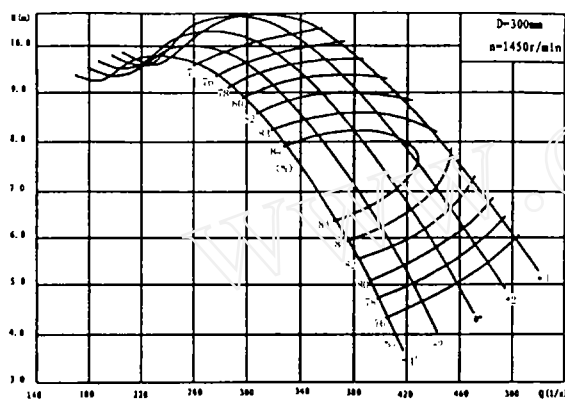


图1 ZM7.4-380模型泵段通用性能曲线

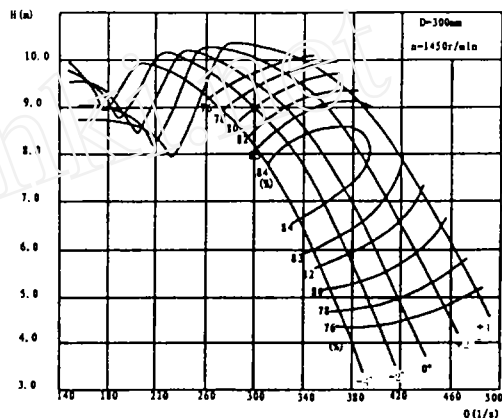


图2 ZM7.8-360模型泵段通用性能曲线

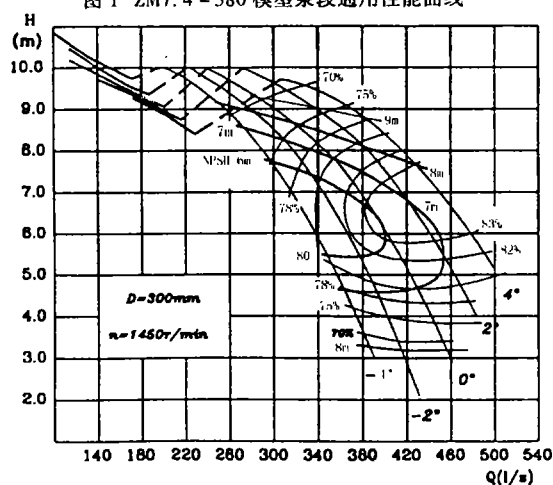


图3 ZM6.5-Y971模型泵段通用性能曲线

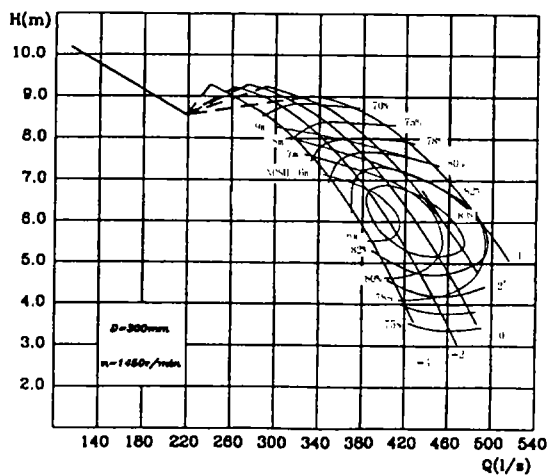


图4 ZM6.0-Y972模型泵段通用性能曲线

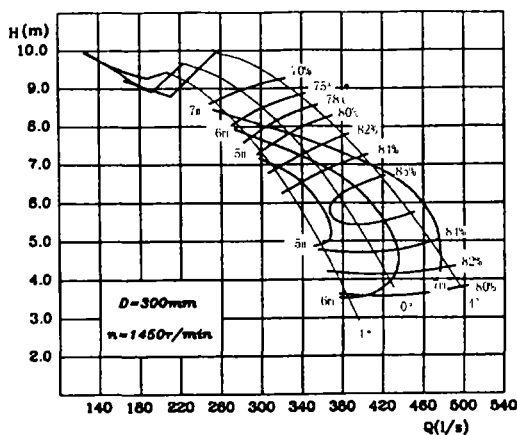


图5 ZM6.0-Y981 模型泵段通用性能曲线

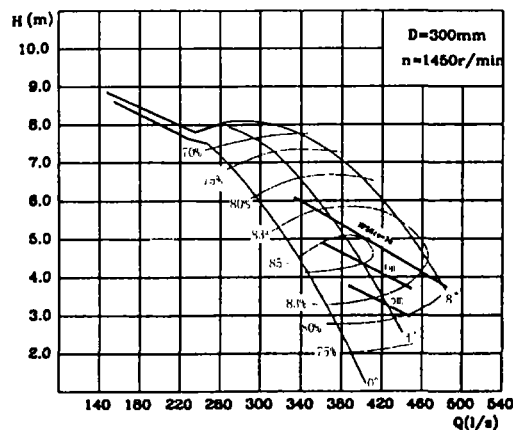


图6 ZM4.5-Y973 模型泵段通用性能曲线

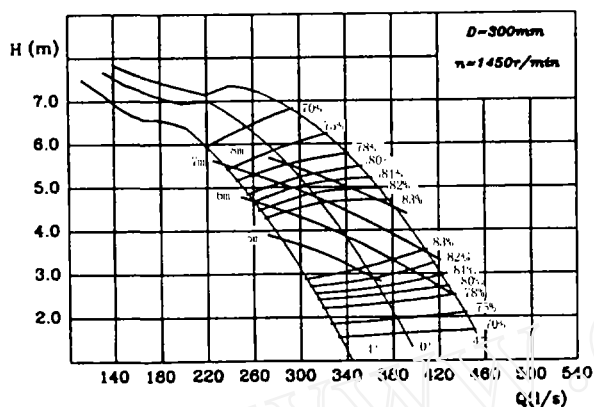


图7 ZM3.5-Y974 模型泵段通用性能曲线

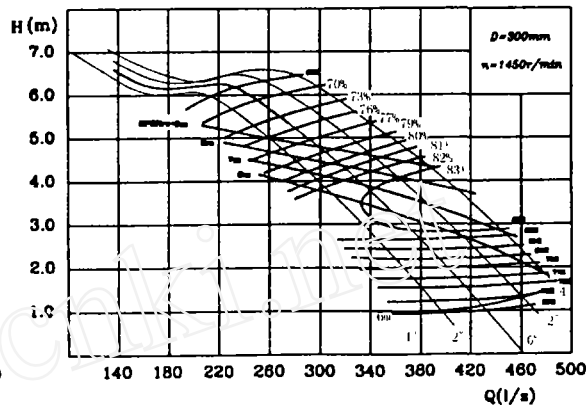


图8 ZM3.0-Y991 模型泵段通用性能曲线

系数的依赖,其模拟结果与实际情况还有一定的差距。特别是在旋转机械中,现有的湍流模型还达不到工程实用的程度;而根据实际需要进行反问题求解则有待进一步研究。当然这一工作仍在不断深入,有望在近年内取得较大的突破。

因此在设计过程中,对叶轮内部流动采用径向平衡方程来描述;对流体的粘性只考虑其历史影响,不考虑当地影响,针对设计流量和设计扬程,有流量和总能量两个约束条件。轴面流动求解时,通过控制环量沿径向的合理分布来考虑间隙造成的三维粘性效应的影响,进一步调整叶轮的汽蚀性能。

3.2 设计方法

叶轮设计采用平面叶栅法和升力法,平面

叶栅法引用的是二维水叶栅试验数据,这种方法设计点较准确,能量性能较好,适用于扬程4 m 以上的模型设计。升力法引用的是单翼型试验数据,需要引入较多的经验系数,由于单翼型试验数据丰富,翼型选择空间较大,设计出的水力模型汽蚀性能较好,适用于扬程为4 m 以下的模型设计。

水力损失直接影响模型性能,在各种水力损失当中,叶轮翼型损失所占的比重最大,对模型性能影响最大。设计中成功引用了平面叶栅试验结果中总结出的半经验半理论的Liebleins 公式。汽蚀性能的预测采用平面叶栅粘性绕流数值预测。

设计中进行一些非传统的有益尝试,取得不少第一手资料,对进一步改进和丰富水力模型设计理论和方法打下基础。水力模型设计已

从传统手段完全转入计算机辅助设计,研制出轴流泵水力模型 CAD 程序。该程序已经过多副水力模型试验数据的校准,表明该程序可靠实用。预测效率偏差为 $\pm 1\%$, 流量偏差为 $\pm 5\%$, 汽蚀余量偏差为 $\pm 4\%$ 。因此设计出的水力模型其性能基本符合设计要求,做到一次成功,既节省时间,又降低成本。

从水力模型设计图纸到完成实物制作是又一个极为重要的过程,须保证实物的准确性,这就要求高质量的模型加工。为此,在用专用点钻机手工加工的基础上,与电子部 14 所合作,应用美国 EDS 公司的 Unigraphics(UG) 软件和从德国进口的数控机床加工中心开发了泵叶片加工程序,实现了叶片的计算机数控加工,从而实现了水力模型 CAD 和 CAM,保证叶型加工较高精度。叶型坐标偏差 $\pm 0.4 \text{ mm}$, 叶片表面粗糙度为 $3.2 \mu\text{m}$, 加工质量有了质的飞跃。

水力模型的设计是为泵站建设服务的,其性能最终在泵站的装置中实现的。对于用户来说所提出的设计参数也是装置的扬程和装置的流量。如何有针对性地进行设计,使相应的泵装置性能最佳是又一类重要的问题,为此,在总结多年经验的基础上,对扬程较低的装置,提出等扬程加大流量的设计方法,有效地控制了设计点扬程的偏移,由于大型水泵都采用可调叶片,故流量的调整比较方便。这样设计的水力模型较好地符合工程实际需要。

4 工程应用

新开发的水力模型都是结合有关工程的新建和改造进行的,为了确保较高的泵性能,在开发过程中进行适当的方案比选,部分水力模型已经用于实际工程,如江都第一、第二抽水站更新改造工程 16 台机组采用比转速 700 的 ZM7.8-360 的水力模型生产的 1.75ZLQ-6.0 大泵,叶轮直径 1.64 m,已投产 3 年多,单台运行累计 1 万多小时,抽水数十亿 m^3 ,运行平稳,噪音降低,汽蚀性能良好,流量增加

25% 以上,效率提高 6 个百分点以上,取得显著经济效益。广东省东江-深圳工程太园抽水站采用 ZM6.0-Y972 水力模型生产 2.4ZLQ20-9.5 大泵 6 台,叶轮直径 2.2 m,投产运行近 2 年,单台机运行万余小时,抽水 20 多亿 m^3 ,运行稳定,性能良好,上述泵装置均为肘形进水流道、虹吸出水流道,最高装置效率达 75% 以上,经武汉大学在现场实测机组装置最高效率达到 85% 以上。

上述两工程的 24 台水泵,其叶片均采用数控、仿形技术用铣床进行加工,因而水泵叶片的尺寸、形状准确,与模型一致,经现场测试,大泵性能和水力模型性能吻合。

此外,ZM3.5-Y974, ZM3.0-Y991 也已用于工程建设,已制成 900 mm 口径的 ZLB 型泵,机组运行平稳,经同站对比运行,比同类水泵少耗电 5%~10%。

5 结 语

在轴流泵水力模型研究开发方面取得一些成果,在技术上有所进步。然而无论在理论上还是方法上均还有很多值得探索的问题,例如:扩大高效区,特别是提高低扬程区的效率;导叶对水力模型性能的影响及其最优组合;适用低扬程的最佳翼型;突破传统设计理论和方法的创新等。我校已引进具有国际领先水平的粒子图象速度场仪(PIV)等一批现代化仪器、设备和先进的计算流体软件,在水泵水力模型方面作进一步深入研究,并竭诚与建设单位、水泵厂和水泵用户合作。

参 考 文 献

- 1 江苏省水利动力工程重点实验室. 水力模型(泵段)试验报告. 1998. 8
- 2 武汉水利电力大学. 东深供水工程太园抽水站现场测试报告. 1999. 11
- 3 江苏机电排灌工程研究所. 江都第二抽水站现场测试报告. 1998. 6

(本文编辑 王振华)

水泵技术 2001. 3