

低扬程泵装置优化水力设计的关键问题

徐 磊, 陆林广, 梁金栋, 王 刚, 董 雷

(扬州大学 水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 对低扬程泵装置的优化水力设计问题进行了较为深入的研究. 将低扬程泵装置效率分解为水泵效率和流道效率两个方面, 讨论了泵装置中泵段的概念和泵段效率的修正等问题, 分析了流道水力损失对流道效率及泵装置效率的影响, 通过实例说明了流道内的流速和流态对流道水力损失的影响, 得到以下结论: 在低扬程条件下, 尽可能减小流道水力损失是提高泵装置效率的关键; 减小流道水力损失的关键是降低流道内的流速和改善流道内的流态, 其途径主要包括选择水力性能最优的泵装置型式和流道型式、适当降低水泵的 nD 值、选择更优秀的水泵水力模型、适当放宽流道控制尺寸、对流道型线进行充分的优化水力设计等.

关 键 词: 低扬程; 泵装置; 优化; 水力设计

中图分类号: TV136+.2; TV675 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2012)02-0062-09

低扬程一般指 10 m 以下的扬程, 但有时指 5 m 以下的扬程, 3 m 以下为特低扬程^[1]. 南水北调东线工程抽引长江水送至黄河边, 共分 13 梯级, 提水总高度为 65 m. 各梯级泵站的平均净扬程为 5 m. 一期、二期和三期工程新建泵站分别为 21, 13 和 17 座, 其中扬程在 5 m 以下的分别为 15, 9 和 11 座, 说明南水北调东线工程计划新建泵站的扬程大部分为 5 m 以下. 此外, 在我国的长江中下游、珠江三角洲及松辽流域等地区用于跨流域调水、城市防洪、水环境改善及农业排灌的大量泵站大多为低扬程泵站. 除排涝泵站外, 这些泵站的年运行时间一般都很长, 南水北调东线工程泵站的年运行时间达到 5 000 h. 为了节能减排和降低抽水成本, 要求这些泵站有较高的泵装置效率.

长期以来, 对泵装置效率的考核都采用了泵装置模型试验的方法. 泵装置模型试验是一种“黑箱”方法^[2], 只了解泵装置整体的输入、输出性能, 不了解泵装置各个组成部分的性能. 本文试图将“黑箱”转变为“灰箱”, 将泵装置效率分解为水泵效率和流道效率两个方面分别进行讨论, 初步提出了提高低扬程泵装置效率的关键问题及解决途径.

1 流道水力损失对泵装置效率的影响

1.1 泵装置效率取决于水泵效率与流道效率

水泵效率为水泵有效功率与其轴功率之比, 其表达式为:

$$\eta_{\text{泵}} = \frac{\rho g Q H_{\text{泵}}}{P_{\text{泵轴}}} \quad (1)$$

式中: ρ 为水的密度 (kg/m^3); g 为重力加速度 (m/s^2); Q 为水泵流量 (m^3/s); $H_{\text{泵}}$ 为水泵扬程 (m); $P_{\text{泵轴}}$ 为水泵轴功率 (W).

流道效率为泵装置有效功率与水泵有效功率之比, 其表达式为:

$$\eta_{\text{流道}} = \frac{\rho g Q H_{\text{泵装置}}}{\rho g Q H_{\text{泵}}} = \frac{H_{\text{泵装置}}}{H_{\text{泵}}} \quad (2)$$

收稿日期: 2011-10-20

作者简介: 徐 磊 (1984-), 男, 江苏连云港人, 博士研究生, 主要从事泵站工程方面的研究.

通信作者: 陆林广 (E-mail: yzlul@126.com)

式中: $H_{\text{泵装置}}$ 为泵装置扬程(m).

泵装置效率是泵装置有效功率与水泵轴功率之比,据此定义及式(1)、(2)得:

$$\eta_{\text{泵装置}} = \frac{\rho g Q H_{\text{泵装置}}}{P_{\text{轴}}} = \frac{\rho g Q H_{\text{泵}}}{P_{\text{轴}}} \frac{H_{\text{泵装置}}}{H_{\text{泵}}} = \eta_{\text{泵}} \eta_{\text{流道}} \quad (3)$$

式(3)表明泵装置效率等于水泵效率与流道效率的乘积^[3-6],也表明流道效率与水泵效率对于泵装置效率具有同等重要性.所以对泵装置水力性能的研究,可以从水泵效率和流道效率两个方面展开.

1.2 泵装置中的“水泵”效率

随着南水北调工程的开工建设,为保证该工程泵站的设计质量,水利部调水局组织开展了水泵模型的同台测试工作(以下简称“同台测试”).该项任务由中水北方勘测设计研究有限责任公司承担,2004年共完成了27个水泵模型的同台测试^[7].

大型低扬程泵站的泵装置由进水流道、叶轮及导叶体和出水流道等4个部分组成.图1分别给出了立式轴流泵装置和竖井式贯流泵装置的示意图.叶轮与导叶体的组合体是任何一种型式轴流泵装置(包括贯流泵装置)的基本组成部分,为此,可将这样的组合体称之为“泵段”.可以看到,在各种型式的低扬程泵装置中均具有完整的“泵段”.

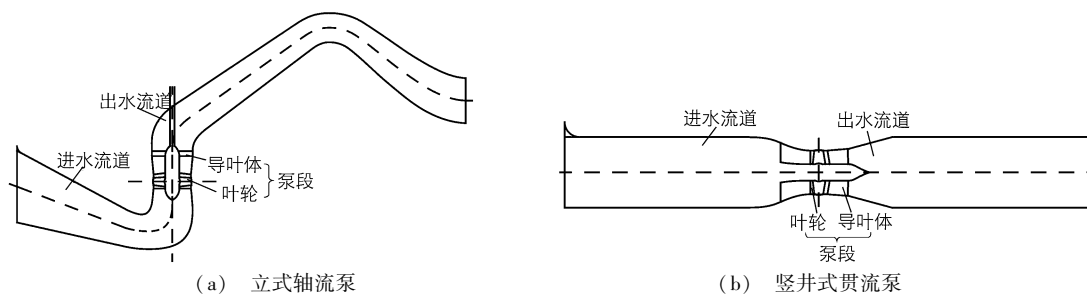


图1 泵装置示意图

Fig. 1 Sketches of the pump systems

在同台测试中,扬程进口测压断面和出口测压断面分别设置于进水直管的进口断面和出水直管的出口断面,且不对测量断面和水泵模型进出口法兰之间水力损失进行修正^[8].故同台测试提供的水泵模型综合特性曲线是包括进水直管段、进水收缩段、出水弯管段和出水直管段在内的测试段的水力性能.图2给出了同台测试的水泵模型水力性能测试段的组成.

在大型低扬程泵装置中,仅包含测试段中的“泵段”而不包含其中的进、出水管,故需在测试段的基础上对“泵段”效率进行修正.

根据水力学基本公式可计算出进水直管段、进水收缩段、出水弯管段和出水直管段的水力损失,以此可对导叶体出口断面和叶轮室进口断面之间的“泵段”扬程进行修正,进而可对“泵段”效率进行修正.部分经同台测试的水泵水力模型“泵段”效率修正结果见表1.

可见,各种比转速的水泵模型修正后的泵段效率较为接近,约为87%.这一结果也说明我国水泵水力模型的研究实际上已接近于国际先进水平.

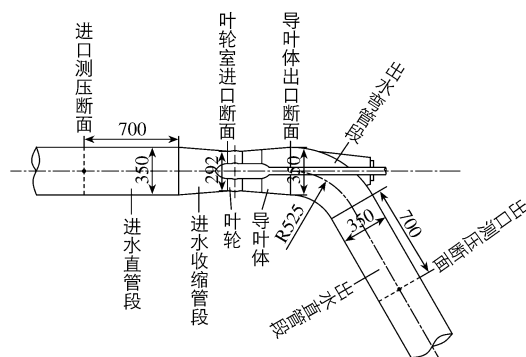


图2 水泵模型水力性能测试段的组成

Fig. 2 Constitution of test sections for hydraulic performance of a pump model

表 1 部分同台测试水泵水力模型高效区效率修正的相关数据

Tab. 1 Related data of efficiency modification in the high efficiency area of partial pump models on the same test bed							
水泵型号号	流 量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	测试段扬程/ m	测试段效率/ %	名义比转速	管道水力 损失/ m	泵段效率/ %	泵段效率 修正值/ %
TJ04-ZL-07	0.360	3.5	83.5	1 250	0.156	87.2	3.7
TJ04-ZL-06	0.350	4.8	85.0	1 000	0.148	87.6	2.6
TJ04-ZL-19	0.370	6.0	85.0	850	0.165	87.3	2.3
TJ04-ZL-20	0.350	6.5	85.0	800	0.148	86.9	1.9
TJ11-HL-05	0.326	7.83	86.0	500	0.139	87.5	1.5

1.3 流道效率取决于泵装置扬程和流道水力损失

泵装置的流道效率可表示为^[5-6]：
$$\eta_{\text{流道}} = \frac{H_{\text{泵装置}}}{H_{\text{泵}}} = \frac{H_{\text{泵装置}}}{H_{\text{泵装置}} + \Delta h_{\text{流道}}} \tag{4}$$
式中： $\Delta h_{\text{流道}}$ 为泵装置中进、出水流道的总水力损失(m). 式(4)表明：在泵装置扬程一定的条件下，流道效率完全取决于进、出水流道的水力损失. 图 3(a)为流道效率与流道水力损失及泵装置扬程的关系. 可见，泵装置扬程愈低，流道水力损失对流道效率的影响愈显著. 图 3(b)为水泵效率为 87% 时泵装置效率与流道水力损失及泵装置扬程的关系. 可见，流道水力损失对泵装置效率的影响非常显著，泵装置扬程愈低，影响愈大. 在泵装置扬程较低的情况下，进出水流道水力损失的相对值较大，导致流道效率较低，增加了提高泵装置效率的困难.

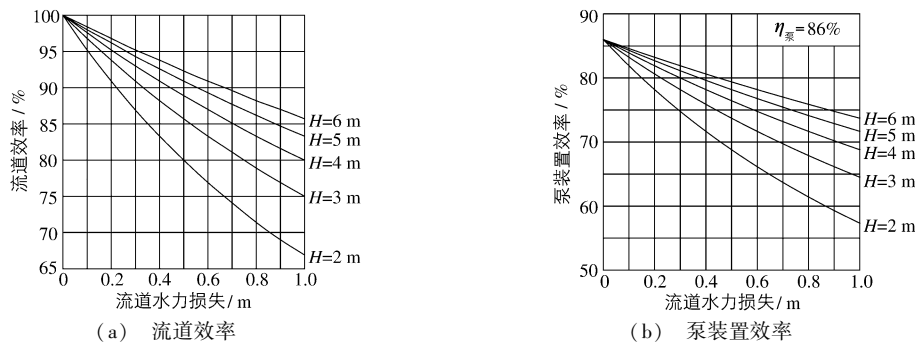


图 3 流道效率及泵装置效率与流道水力损失及泵装置扬程的关系

Fig. 3 Relationships between conduit efficiency and pump system efficiency and conduit hydraulic loss and pump system head

1.4 减小流道水力损失是提高低扬程泵装置效率的关键

在以往的泵站设计中，流道水力损失只是与计算水泵扬程有关的常规参数，一般采用水力学公式计算. 在泵站扬程较高的情况下，流道水力损失对流道效率影响并不大，但在扬程较低的情况下，流道水力损失就成为影响流道效率的显著因素. 在已经采用了最优秀的水泵水力模型后，进一步提高泵装置效率的关键就在于设法减小流道水力损失. 如某泵站的设计扬程为 3 m，选择了泵段效率为 87% 的水力模型，若流道设计流量时的水力损失是 0.5 m，则该站泵装置的流道效率只有 85.7%，泵装置效率只能达到 74.6%；如果通过充分优化水力设计将进出水流道设计流量时的水力损失减小到 0.4 m，则流道效率和泵装置效率分别可以提高到 88.2% 和 76.8%.

低扬程泵装置的流道效率变化范围很大，与泵装置扬程及流道水力损失有关. 在扬程较低和流道水力设计较差的情况下，流道效率可能低于 80%；反之，流道效率可以超过 95%. 由此可见，对于低扬程泵装置效率而言，流道效率的变化范围较大，可挖掘的潜力也较大. 低扬程泵装置优化水力设计研究的关键必然是围绕着如何减少流道的水力损失而展开.

2 流道内的流速和流态对流道水力损失的影响

从流体力学的角度看,可将影响流道水力损失的因素归结为流道内的流速和流态这两个基本方面:流速越小,水力损失越小;流态越好,水力损失越小.在这方面已做了很多研究工作,以下介绍几个研究实例.

2.1 流速对流道水力损失的影响

某泵站采用立式轴流泵装置,单泵设计流量为 $34\text{ m}^3/\text{s}$,对采用不同叶轮直径的3个方案肘形进水流道和3个方案虹吸式出水流道的水力损失分别进行了研究^[9].

2.1.1 肘形进水流道水力损失的比较 3个方案肘形进水流道的控制尺寸相同,但流道出口段的尺寸及型线不同,以与不同叶轮直径的叶轮室进口相衔接.这3个方案的主要参数见表2.

表2 3个方案肘形进水流道设计流量时的主要参数及流道水力损失

Tab.2 Main parameters and conduit hydraulic losses of design discharge of 3 elbow inlet conduits					
进水流道 方案编号	水泵叶轮 直径/ m	流道进口平均流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	流道出口平均流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	流道水力损失 计算值/ m	流道水力损失 试验值/ m
方案1	3.0	0.825	6.45	0.136	0.140
方案2	3.4	0.825	5.02	0.080	0.082
方案3	3.6	0.825	4.48	0.073	0.069

对3个方案的肘形进水流道分别进行了三维湍流流动数值计算和透明流道模型试验,关于进水流道数值模拟和模型试验方法的详细介绍分别见文献[10]和[11].流道设计流量时计算所得的流场见图4,水力损失计算值和试验值见表2.可见,在设计流量一定的条件下,肘形进水流道的水力损失随着流道出口段流速的降低而明显减小.

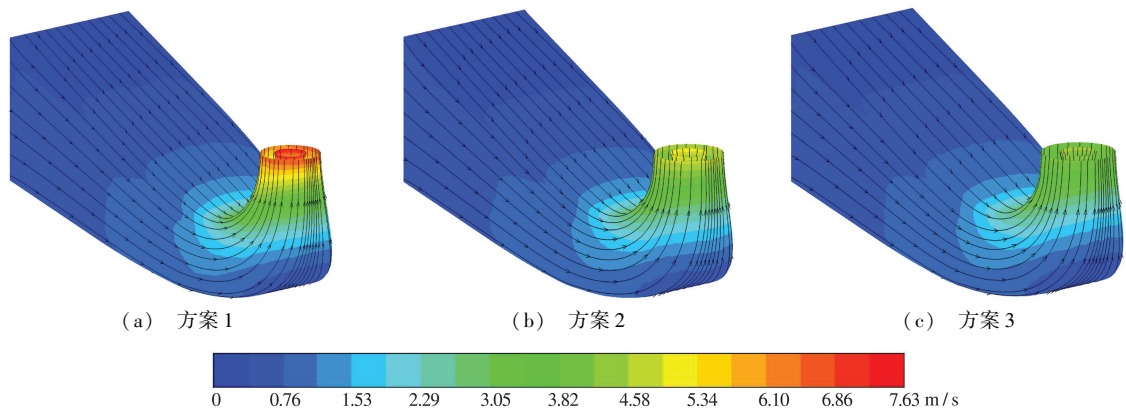


图4 3个方案肘形进水流道设计流量时的流场

Fig.4 Flow filed charts of design discharge for 3 elbow inlet conduits

2.1.2 虹吸式出水流道水力损失的比较 3个方案虹吸式出水流道的控制尺寸相同,但流道进口段的尺寸及型线不同,以与不同叶轮直径的导叶体出口相衔接.这3个方案的主要参数见表3.

表3 3个方案虹吸式出水流道设计流量时的主要参数及流道水力损失

Tab.3 Main parameters and conduit hydraulic losses of design discharge for 3 siphon outlet conduits					
出水流道 方案编号	水泵叶轮 直径/ m	流道进口平均流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	流道出口平均流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	流道水力损失 计算结果/ m	流道水力损失 试验结果/ m
方案1	3.0	5.08	0.925	0.423	0.435
方案2	3.4	3.96	0.925	0.254	0.258
方案3	3.6	3.53	0.925	0.203	0.188

对 3 个方案的虹吸式出水流道进行了三维湍流流动数值计算和透明流道模型试验,关于出水流道数值模拟和模型试验方法的详细介绍分别见文献[12]和[13].流道设计流量时计算所得的流场见图 5,水力损失计算值和试验值见表 3.

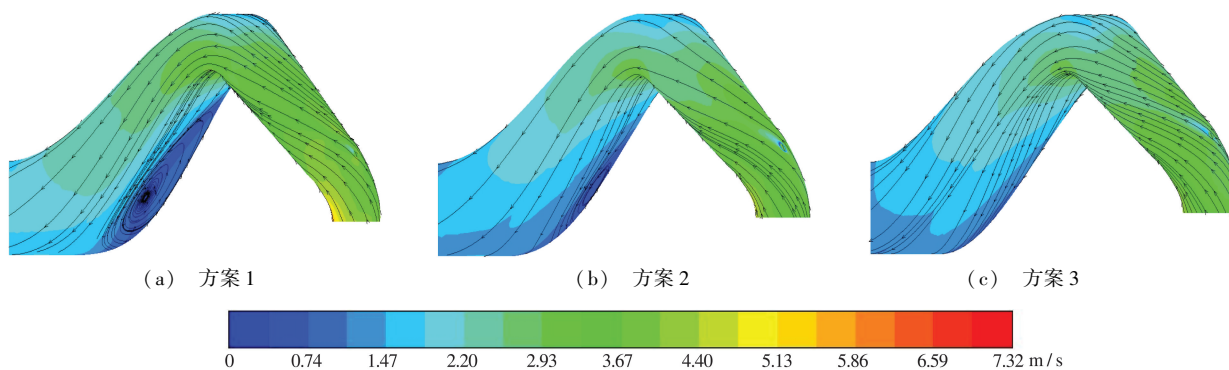


图 5 3 个方案虹吸式出水流道设计流量时的流场

Fig. 5 Flow field of design discharge for 3 siphon outlet conduits

可见,在设计流量一定的条件下,虹吸式出水流道的水力损失随流道进口段流速的降低而明显减小.

2.2 流态对流道水力损失的影响

某泵站设计扬程和平均扬程分别为 3.86 和 3.66 m,选用立式轴流泵装置,单泵设计流量为 $33.5 \text{ m}^3/\text{s}$,水泵叶轮直径为 3.15 m,转速为 125 r/min,采用肘形进水流道和直管式出水流道.

对该站直管式出水流道进行了优化水力设计.初始方案和优化方案的控制尺寸相同,流道进口平均流速均为 3.828 m/s,出口平均流速均为 0.967 m/s,流道水力损失计算值分别为 0.664 和 0.359 m.这 2 个方案计算^[12]所得设计流量时的流场见图 6.对优化方案还进行了透明流道模型试验验证^[13],流道设计流量时的水力损失试验结果为 0.325 m,流道模型照片见图 7.

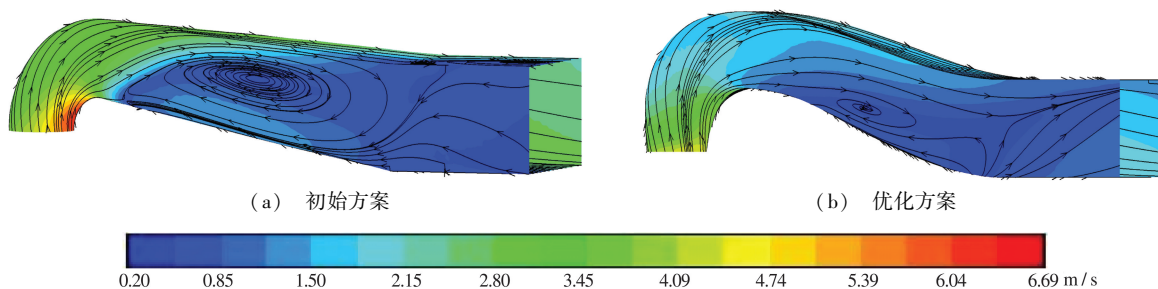


图 6 某泵站直管式出水流道设计流量时的流场

Fig. 6 Flow field of design discharge for straight outlet conduits

出水流道内水流的运动为扩散流动,在转向和扩散的过程中特别容易产生脱流及旋涡.这种不良流态对流道水力损失的影响非常大.该站直管式出水流道的初步方案和优化方案控制尺寸完全相同,但流道水力损失相差很大.2 个方案的不同之处在于:初步方案在作流道 90° 转向时,转弯半径较小,转弯太急,导致流道内产生了较大范围的旋涡区,从而显著增加了水力损失;优化方案不仅加大了流道 90° 转向的转弯半径,同时将其断面逐步加大,使水流在平缓的转向过程中逐步扩散,从而减小了旋涡区的范围和强度,流态得到较



图 7 直管式出水流道模型照片

Fig. 7 Model photo of straight outlet conduit

大改善,水力损失明显减少。

2.3 流速和流态共同影响流道水力损失

南水北调宝应站设计扬程为 7.6 m,选用导叶式混流泵装置,单泵设计流量为 $33.4 \text{ m}^3/\text{s}$,水泵叶轮直径为 2.95 m,转速为 150 r/min. 该站进水流道的初始方案和优化方案的主要控制尺寸相同. 对这 2 个方案进行了三维湍流流动数值计算^[10]和透明流道模型试验^[11]研究,计算所得设计流量时的流场见图 8. 进水流道水力损失模型试验的结果见图 9.

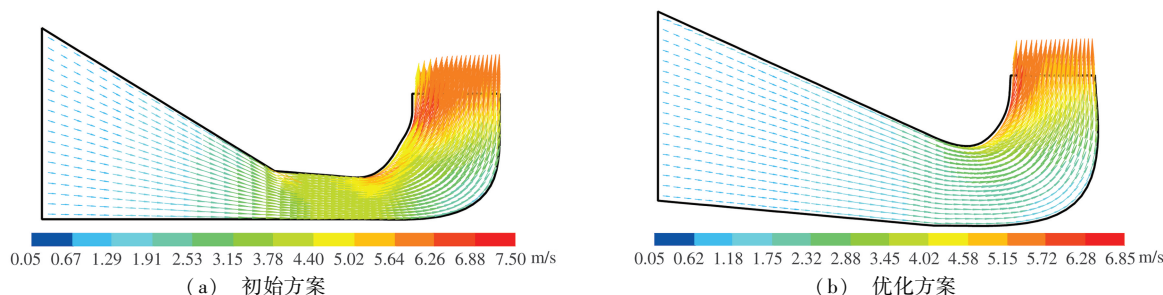


图 8 宝应站进水流道优化前后设计流量时的流场

Fig. 8 Flow field of design discharge for original and optimized inlet conduit of Baoying pumping station

由流场图可以看到:优化方案与初始方案的主要差别在于流道直线段与弯曲段之间的“喉管段”. 初始方案的喉管段压得太低,不仅导致此处的流速明显增大,而且导致该段及其附近的流速分布不均匀. 流道模型试验的结果表明:设计流量时的流道水力损失优化方案较初始方案小 0.105 m. 初始方案压低喉管段的原因是为了减少土建开挖量,未考虑对流道内流速和流态的影响,导致流道水力性能变差^[14].

3 减小低扬程泵装置流道水力损失的途径

3.1 尽可能采用流道水力损失较小的泵装置型式

低扬程泵装置的型式有多种,各种泵装置型式具有各自的特点和适用的场合. 从工程应用情况看,应用前景较好的主要有潜水贯流泵装置、贯流泵装置和立式泵装置.

潜水贯流泵是机电一体化的水泵机组,结构紧凑,具有土建工程量小、安装方便等优点,特别适用于中小型低扬程泵站的排涝、供水和水环境改善等工程. 2008 年开工建设的通榆河北延工程灌北泵站和善南泵站率先采用了叶轮直径为 2 m 的卧式安装的潜水贯流泵装置,在特低扬程下得到了很高的泵装置效率,充分发挥出潜水泵的优点^[15-16]. 受其影响,潜水贯流泵装置的应用将呈现日渐增多的趋势. 电机功率达到 1 000 kW 的潜水泵目前已有较多应用,制造技术已不存在问题. 随着工程需求量的不断增多和要求的不断提高,1 200 ~ 1 500 kW 电机功率的潜水泵应用于工程实际将很快实现.

贯流式泵装置具有进、出水流道顺直、水力损失小、泵装置效率高的优点,适宜应用于 4 m 以下的大中型低扬程泵站. 贯流泵装置有灯泡式和竖井式两种型式,两者的泵装置水力性能相近. 前者采用封闭的灯泡体结构,技术要求较高,安装检修不便,投资较多;后者采用开敞的竖井结构,技术要求与普通卧式轴流泵相近,安装检修较方便、投资相对较省,应用前景广阔. 南水北调东线工程邳州站竖井式贯流泵装置采用了国内研发的水泵水力模型和进、出水流道,在平均扬程 2.7 m 时的泵装置效率达到 83%^[17].

立式泵装置包括立式轴流泵装置和导叶式混流泵装置两种型式,具有技术成熟、运行稳定、可靠性高、安装检修方便、投资省和维护费用少等优点,应用广泛,在低扬程泵站中占有十分重要的地位. 立式泵装置一般

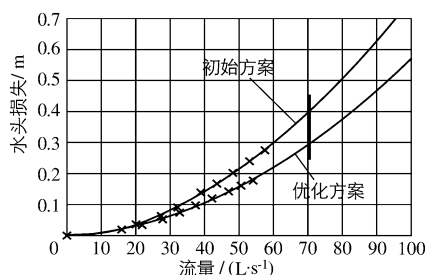


图 9 宝应站进水流道水力损失模型试验结果

Fig. 9 Model test results of hydraulic loss of inlet conduits for Baoying pumping station

适用于 3.5 m 以上扬程的泵站,其主要缺点是流道水力损失相对较大,泵装置效率低于贯流泵装置约 5% 左右^[18]。但对于泵机组而言,由于立式泵机组采用直接传动,而贯流泵机组常常采用间接传动或采用变频器,故立式泵机组的效率与贯流泵机组仅相差 3% 左右。经过深入地优化水力设计研究,立式轴流泵装置在低扬程的条件下也可以得到优异的水力性能,南水北调东线长沟泵站在平均扬程 3.66 m 时的泵装置效率达到了 78.5%^[19]。

3.2 适当降低水泵的 nD 值

nD 值(n 为水泵转速, D 为水泵叶轮直径)是大型低扬程泵站水泵选型中的关键控制参数。在设计流量一定的条件下,选取较小的 nD 值或者适当的“增径降速”,有利于减小流道的水力损失和选用更优秀的水泵水力模型,同时也有利于改善水泵的空化性能,对提高低扬程泵装置的水力性能十分有利。大型泵站进、出水流道的控制尺寸一般要求与水泵叶轮直径成正比,在正常选取的叶轮直径的基础上适当加大叶轮直径不需要增加进、出水流道的控制尺寸,仅需对进水流道出口和出水流道进口附近的型线作适当调整,以便与水泵叶轮室进口和导叶出口实现光滑连接。

3.3 适当放宽流道的控制尺寸

流道的控制尺寸对流道的水力性能和泵站的土建投资都有较大影响。对进水流道而言,较小的收缩角有利于进水流道内水流的均匀收缩,但较小的收缩角往往需要较长的进水流道长度;对于立式泵装置的进水流道,较大的流道高度有利于水流的有序转向,但较大的流道高度需要较大的开挖深度。对低扬程泵站的出水流道而言,一般要求尽可能多地回收流道出口水流的动能,这就需要有较大的流道出口断面尺寸;同时,为了控制出水流道的扩散角在一定范围内,以保证水流平缓扩散而不产生脱流,就需要有较大的流道长度。所以,对于年运行时间长的重要低扬程泵站,需要适当放宽流道的控制尺寸,以获得优异的水力性能。

3.4 对流道型线进行细致的优化水力设计

在水泵装置型式及流道型式、水泵选型和流道控制尺寸确定的过程中,还需要对进、出水流道的型线进行细致的优化水力设计,以求在给定的条件下最大限度地提高流道水力性能。流道型线的优化既影响到流道内的流态,也会影响到流道内的流速;不仅影响到水泵装置的能量性能,有时还会影响到水泵机组的稳定运行^[20]。

4 结 语

在低扬程的条件下,提高泵装置效率的关键是尽可能减少流道水力损失。按这样的思路,从降低流道内的流速和改善流道内的流态这两个方面入手,参照本文提出的途径,对年运行时间长的大型低扬程泵站进、出水流道进行充分的优化水力设计,可取得很好的效果。

参 考 文 献:

- [1] SD 204-86, 泵站技术规范(设计分册)条文说明[S]. (SD 204-86, Technical standard for pumping station (design section) explanation provision[S]. (in Chinese))
- [2] 张文焕, 刘光霞, 苏连义. 控制论、信息论、系统论与现代管理[M]. 北京: 北京出版社, 1990: 31-38. (ZHANG Wen-huan, LIU Guang-xia, SU Lian-yi. Cybernetics, information theory, system theory and modern management[M]. Beijing: Beijing Press, 1990: 31-38. (in Chinese))
- [3] 严登丰. 泵站工程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 363. (YAN Deng-feng. Pumping station project[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2005: 363. (in Chinese))
- [4] 张仁田, 张平易, 阎文立. 大型泵站系统性能参数的换算方法[J]. 农业机械学报, 1999, 30(2): 49-53. (ZHANG Ren-tian, ZHANG Ping-yi, YAN Wen-li. Research on conversion method of performance parameters for large-scale pumping station system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 1999, 30(2): 49-53. (in Chinese))
- [5] 张仁田. 低扬程泵站装置特性的理论研究[J]. 排灌机械, 1993, 11(3): 17-19. (ZHANG Ren-tian. Theory study of pump

- system characteristic for pumping station with low head[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 1993, 11(3): 17-19. (in Chinese))
- [6] 王林锁, 陈松山, 葛强, 等. 泵及泵装置效率预测方法研究[J]. 扬州大学学报: 自然科学版, 2001, 4(2): 66-70. (WANG Lin-suo, CHEN Song-shan, GE Qiang, et al. A study for the calculation method of the efficiency of pump & pump sets [J]. Journal of Yangzhou University (Natural Science Edition), 2001, 4(2): 66-70. (in Chinese))
- [7] 刘宁, 汪易森, 张纲. 南水北调工程水泵模型同台测试[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. (LIU Ning, WANG Yi-sen, ZHANG Gang. Pump model tested on the same bed for South-to-North Water Diversion Project [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2006. (in Chinese))
- [8] SL 140-2006, 水泵模型及装置模型验收试验规程[S]. (SL 140-2006, Code of practice for model pump and its installation acceptance tests[S]. (in Chinese))
- [9] 刘军, 龚玉栋, 王亦斌, 等. 叶轮直径对立式泵装置流道水力损失的影响[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(5): 67-69. (LIU Jun, GONG Yu-dong, WANG Yi-bin, et al. Influence of pump diameter on hydraulic loss of vertical pump system [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, 6(5): 67-69. (in Chinese))
- [10] 陆林广, 徐磊, 梁金栋, 等. 泵站进水流道三维流动及水力损失数值模拟[J]. 排灌机械, 2008, 26(5): 55-58. (LU Lin-guang, XU Lei, LIANG Jin-dong, et al. Numerical simulation for 3D turbulent flow and hydraulic loss of inlet conduit for pumping station[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2008, 26(5): 55-58. (in Chinese))
- [11] 陆林广, 祝婕, 冷豫, 等. 泵站进水流道模型水力损失的测试[J]. 排灌机械, 2005, 23(4): 14-17. (LU Lin-guang, ZHU Jie, LENG Yu, et al. Measurement for hydraulic loss of inlet conduit for pumping station[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2005, 23(4): 14-17. (in Chinese))
- [12] 陆林广, 刘军, 梁金栋, 等. 大型泵站出水流道三维流动及水力损失数值模拟[J]. 排灌机械, 2008, 26(3): 51-54. (LU Lin-guang, LIU Jun, LIANG Jin-dong, et al. Numerical simulation of 3D turbulent flow and hydraulic loss in outlet conduit of large pumping station[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2008, 26(3): 51-54. (in Chinese))
- [13] 陆林广, 吴开平, 冷豫, 等. 泵站出水流道模型水力损失的测试[J]. 排灌机械, 2005, 23(5): 23-26. (LU Lin-guang, WU Kai-ping, LENG Yu, et al. Measurement for hydraulic loss of outlet conduit of pumping station[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2005, 23(5): 23-26. (in Chinese))
- [14] 刘军, 邓东升, 马志华, 等. 宝应泵站流道优化计算与模型试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2005, 3(2): 22-25. (LIU Jun, DENG Dong-sheng, MA Zhi-hua, et al. Optimization by numerical calculation & model test for inlet & outlet conduit of Baoying pumping station[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005, 3(2): 22-25. (in Chinese))
- [15] 谢伟东, 方桂林, 刘建龙, 等. 灌北、善南泵站潜水贯流泵装置的水力特性研究[J]. 中国水利, 2010(16): 13-15. (XIE Wei-dong, FANG Gui-lin, LIU Jian-long, et al. Study on the hydraulic character of diving tubular pump in Guanbei and Shannan pump stations[J]. China Water Resources, 2010(16): 13-15. (in Chinese))
- [16] 方桂林, 谢伟东, 邓梯康. 通榆河北延送水工程灌北、善南泵站泵装置的选型与设计[J]. 江苏水利, 2009(11): 19-20, 22. (FANG Gui-lin, XIE Wei-dong, DENG Ti-kang. Selection and design for pump system of Guanbei, Shannan pumping station in Tongyu river north extended water delivery project[J]. Jiangsu Water Resource, 2009(11): 19-20. (in Chinese))
- [17] 中水北方勘测设计研究有限责任公司工程技术研究院. 南水北调东线一期工程邳州泵站竖井贯流水泵装置模型试验报告[R]. 天津: 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 2010. (Engineering Technology Institute of Beifang Investigation, Design & Research Co. Ltd. Report on the pit tubular pump system model test of Pizhou Pumping Station in the First Stage of Eastern Route of South-to-North Water Diversion Project [R]. Tianjin: Beifang Investigation, Design & Research Co. Ltd., 2010. (in Chinese))
- [18] 郑源, 张德虎, 廖锐, 等. 相同比转速不同装置型式的水泵能量特性试验研究[J]. 水泵技术, 2003(2): 32-35. (ZHENG Yuan, ZHANG De-hu, LIAO Rui, et al. Pump energy characteristic experimental study for different type of pump system with the same specific speed[J]. Pump Technology, 2003(2): 32-35. (in Chinese))
- [19] 中水北方勘测设计研究有限责任公司工程技术研究院. 山东省南水北调长沟泵站水泵装置模型试验研究报告[R]. 天津: 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 2009. (Engineering Technology Institute of Beifang Investigation, Design & Research Co. Ltd. Report on the pump system model test of Changgou Pumping Station in Shangdong South-to-North Water Diversion [R]. Tianjin: Beifang Investigation, Design & Research Co. Ltd., 2010. (in Chinese))

- [20] 谢伟东, 汤正军, 陆林广, 等. 江都三站进水流道优化数值计算及模型试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2005, 3(3): 38-41. (XIE Wei-dong, TANG Zheng-jun, LU Lin-guang, et al. Study on optimization by both numerical calculation & model test for the inlet elbow of Jiangdu No. 3 pumping station[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005, 3(3): 38-41. (in Chinese))

A study of the key problem of optimum hydraulic design for a pump system with low head

XU Lei, LU Lin-guang, LIANG Jin-dong, WANG Gang, DONG Lei

(College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: An in-depth study on the problem of optimum hydraulic design for a pump system with low head has been made in this paper. The efficiency of a pump system with low head is divided into two aspects: one is pump efficiency and the other is conduit efficiency. Some problems about the definition of pump segment in the pump system, efficiency modification for the pump segment and flow pattern of inlet conduit in the pump system are discussed. The influence of conduit hydraulic loss on the conduit efficiency and pump system efficiency is analyzed and the influence of both flow velocity and flow pattern on the conduit hydraulic loss is illustrated by calculation samples, from which the conclusions are drawn as follows: under the condition of low head, the key problem of how to increase the pump system efficiency is to reduce the conduit hydraulic loss as much as possible; The essential way to reduce the conduit hydraulic loss may be to lower the flow velocity and improve the flow pattern in the conduit. The approaches to reduce the conduit hydraulic loss mainly include: to choose the type of pump system and conduit with the optimal hydraulic performance, to suitably lower pump nD value, to choose better pump model, to suitably relax the restrictions for conduit control size, and to sufficiently optimize hydraulic design for conduit shape.

Key words: low head; pump system; optimization; hydraulic design

版 权 转 让 声 明

本刊已加入万方数据数字化期刊群(www.wanfangdata.com.cn)、中国知网(www.cnki.net)、维普资讯网(dx1.cqvip.com)和思博网—中文电子期刊服务(www.ceps.com.tw)等网站,并被中国核心期刊(遴选)数据库、中国期刊全文数据库等收录。凡本刊录用的稿件将同时通过因特网进行网络出版或提供信息服务,稿件一经刊用,将一次性支付作者著作权使用报酬(即包括印刷版、光盘版和网络版各种使用方式的报酬),作者将该论文的复制权、发行权、信息网络传播权、汇编权等在全世界范围内转让给本刊,不再另行签署《论文著作权转让书》。若有异议,请在投稿时作文字说明,编辑部将酌情处理。

特 此 声 明

《水利水运工程学报》编辑部

2012 年 3 月 16 日