

大型低扬程泵装置现状及发展方向

戴启璠

(江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223200)

摘要: 大型低扬程泵站在江苏得到广泛的应用。低扬程泵装置型式多样, 已经在水力模型、进水流道、出水流道设计和优化方面积累了丰富的经验。为了进一步提高低扬程泵装置的性能, 需要加强理论创新、试验技术、性能研究等方面的工作。

关键词: 低扬程; 泵装置; 性能; 研究

中图分类号: TV675 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839 (2018) 06-0054-05

Current situation and development direction of large-scale low-lift pumping station device

DAI Qifan

(Main Irrigation Channel Management Division of Jiangsu Province, Huai'an 223200, Jiangsu)

Abstract: Large-scale low-lift pumping stations have been widely applied in Jiangsu. There are various types of low-lift pump units, which have accumulated rich experience in hydraulic model, inlet channel and outlet channel design and optimization. In order to further improve the performance of low-lift pump unit, it's necessary to strengthen theoretical innovation, test technology, performance research and so on.

Key words: low lift; pump device; performance; research

江苏省平原面积和水域占全省国土面积85.7%, 其占比之大居全国各省区之首。江苏独特的自然条件决定了低扬程泵装置在江苏泵站工程中得到了广泛的应用。自20世纪60年代江都排灌站建成以来, 江苏已建成各种类型的大型低扬程泵站数百座, 在跨流域调水、城市水环境改造、区域排涝等方面发挥了重要作用。

1 低扬程泵装置的分类和特点

低扬程泵装置按照机组结构分为立式泵装置、斜式泵装置和卧式泵装置, 3种泵装置型式见图1。

立式泵装置按进水流道分类, 立式泵装置

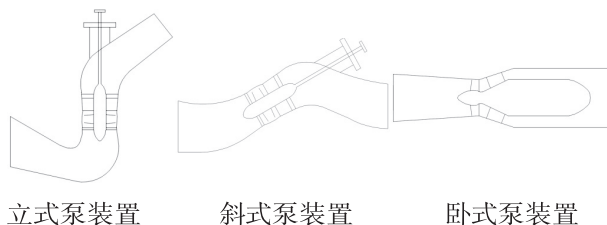


图1 3种泵装置型式

的进水流道按水流方向可分为单向进水流道和双向进水流道, 出水流道按水流方向可分为单向出水流道和双向出水流道。立式泵装置是大型泵站应用最多的一种型式, 江都排灌站的4座泵站都是单向立式泵装置。斜式泵装置按倾斜角度分类: 斜式泵装置的倾斜角度有15°、30°、45°和75°。江苏新厦港泵站安装斜15°的斜式泵, 上

收稿日期: 2018-03-13

作者简介: 戴启璠 (1964-), 男, 工学硕士, 研究员级高级工程师, 主要从事水利工程管理工作。

海张家塘安装斜 30° 的斜式泵, 内蒙古红圪卜安装斜 45° 的斜式泵。卧式泵装置有贯流式、轴伸式、竖井式。贯流式有全贯流式、前置灯泡式、后置灯泡式。轴伸式有前轴伸式和后轴伸式, 有立面轴伸式和平面轴伸式。竖井式有前置竖井式和后置竖井式。图 2 是全贯流式泵示意图。图 3 是淮安三站后置灯泡贯流泵示意图。

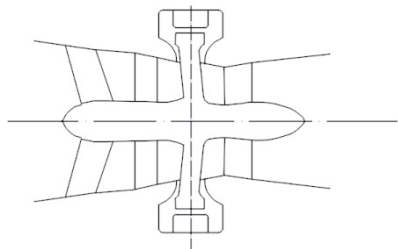


图 2 全贯流式泵示意图

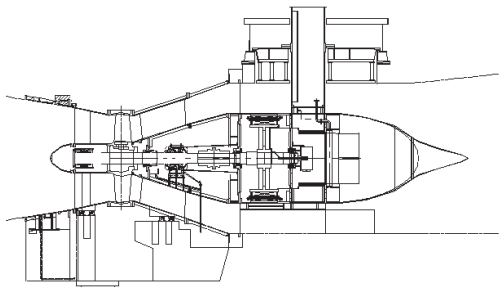


图 3 淮安三站后置灯泡贯流泵示意图

不同型式的泵装置具有各自的优点和缺点。立式泵装置具有电机工作环境好, 水泵导轴承荷载较小, 安装检修相对方便, 设计和制造技术成熟等优点, 但水流从立式泵装置进水流道入口到出水流道出口, 有 2 个接近 90° 的转弯, 水流流向的改变容易引起水流脱流, 不均匀的流速分布可能会产生旋涡、涡带等。立式泵装置的高度较大, 不适合用于特低扬程的大型泵站。斜式泵装置具有构造简单紧凑, 开挖量较小, 厂房高度低, 泵房底板受力均匀等优点。相对于立式泵装置而言, 斜式泵装置的进水流道水流转向角度小于 90° , 阻力损失小, 其出水流道转角也小于 90° , 水力性能相对较好。斜式机组的电动机位置较高, 具有与立式泵装置类似的通风良好的优点。卧式泵装置的进进出水流道比较平顺, 水流条件好, 水力损失小, 装置效率高, 土建开挖量小。但结构复杂, 其造价也比立式泵装置、斜式泵装置高。双向泵装置可分为双向流道泵装置和双向转轮泵装置。双向流道泵装置通过双层流道 4 个闸门的启闭来调节水流的方向, 达到双向抽引抽排的目的, 江苏常熟望

虞河泵站是双向流道泵站; 双向转轮泵装置则通过叶轮的正反向运行来实现泵装置的抽引抽排的功能。江苏新沟河遥观北枢纽泵站采用 S 型叶轮双向泵, 以满足正反方向双向引水需要。

2 低扬程泵装置的现状

低扬程泵装置包括进水流道、泵段及出水流道 3 部分。泵段对低扬程泵装置的性能有决定性的影响, 进水、出水流道对低扬程泵装置的性能也有重要的影响。

2.1 进水流道

进水流道是指泵站进水前池至泵进口的一段过水通道, 它的作用是为了使水流在从前池进入水泵叶轮室的过程中更好地转向和加速, 以满足水泵转轮对转轮室进口所要求的水力条件。进水流道是泵装置的重要组成部分, 进水流道选型或设计不当, 不仅可能减少水泵的流量、降低水泵的效率, 还会引起水泵的气蚀和振动, 严重时危及泵站的安全运行。江都三站和刘老涧泵站都曾因为进水流道问题严重影响了泵站的正常运行。

大型卧式泵, 容易设计成水流条件较好的进水流道。大中型立式泵通过进水流道从前池中取水, 进水流道要在较短的范围内转过不大于 90° 的角, 还要保证水流平稳, 为水泵进口创造良好的水力条件, 它的型式和尺寸非常重要。

江都站多次模型试验结果表明^[1], 改变进水流道的尺寸和形状, 譬如改变进水流道的高度, 对进水流道的水头损失没有明显的影响, 进水流道的设计不能单纯着眼于水头损失, 而应力求使水流进出水流道后均匀进入转轮, 保证转轮各叶片在同一工况下运行。如果在进水流道中放置前导叶, 前导叶与转轮的距离对水泵效率有影响。文献^[4-5]认为, 前、后导叶与转轮的距离对水泵效率均有影响。文献^[2]认为, 水流在肘形弯管中转弯时受到的离心力对进水流道出口流速分布影响很大, 采用不同曲率半径的断面渐缩肘形弯管, 可以使出口流速分布均匀, 减小水力损失。陆林广^[3]提出进水流道出口流速分布平均度和水流入泵平均角 2 个目标函数作为进水流道流场优劣的考核指标。江都三站进水流道建站时为平面涡壳钟形流道, 建成后水泵气蚀严重, 有间歇性的强烈振动和噪音, 在 20 世纪 70 年代作了 2 次改造, 1 次是将涡壳钟

形流道后部用混凝土填补,改为半肘形流道,1次是用块石混凝土充填流道后部两侧旋涡区,并在流道后部中间高置钢筋混凝土隔板。改造后,进水流道出口流速分布平均度 88.48%,水流入泵平均角 84.48° ,流场仍然很差。2005 年,江都三站改造,对肘型弯曲段的型线进一步优化,使得进水流道出口流速分布平均度达到 97.36%,水流入泵平均角 86.27° ,达到正常进水流道水平。南水北调新建的洪泽站肘形进水流道出口流速分布平均度 97.5%,水流入泵平均角 88.6° 。淮安二站肘形进水流道出口流速分布平均度 93.3%,水流入泵平均角 87.83° ,进水流道水力损失 9.8cm,流态较为平顺,由于流道高度偏小,流道宽度方向收缩偏快,造成出口流速分布平均度略差,根据改造泵站“只填不凿”的要求,淮安二站进水流道改造时没有再作优化。

立式泵装置的进水流道按进水方向可分为单向进水流道和双向出水流道,其中单向进水流道有肘形、钟形及簸箕形 3 种基本型式,见图 4。

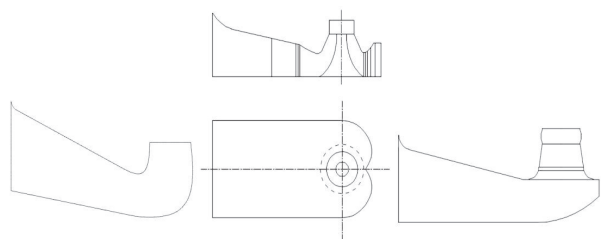


图 4 肘形进水流道、钟形进水流道、簸箕形进水流道

肘形进水流道是大型泵站最常见的型式,江都排灌站、淮安二站都是肘形进水流道,它的缺点是地基开挖深度较大,工程造价较高,不适合特低扬程大型泵站。

钟形进水流道由进口段、吸水蜗室、导水锥喇叭管组成,由于水泵进口喇叭下悬如钟形,故称为钟形进水流道。这种型式的流道高度较小,故机房底板可以抬高。

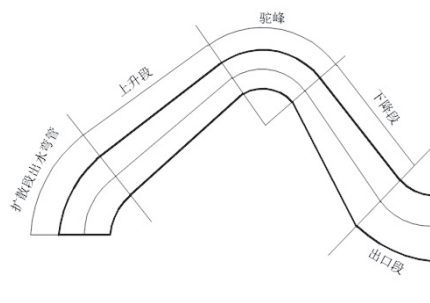
簸箕形进水流道形状简单,于 20 世纪 90 年代从荷兰进入我国。簸箕形进水流道在基本尺寸方面与钟形流道十分接近,也是高度较小、宽度较大,但前者对宽度的要求没有后者那样严格,不易产生涡带。上海郊区首次将簸箕形流道应用于小型泵站的节能技术改造,江苏刘老涧泵站首次将簸箕形流道应用于大型泵站,但是,效果不理想。

双向进水流道的泵装置应用于灌排结合的泵

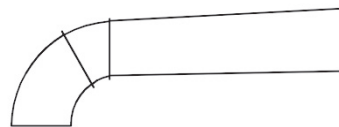
站,可以节省投资,节约土地。早期建成的双向流道泵站有南京武定门抽水站、镇江谏壁抽水站、安徽凤凰颈抽水站,以及后来的常熟泵站、高港泵站、魏村泵站等。我国已建泵站的双向进水流道形式大体可分为肘形对拼式双向进水流道(例如镇江谏壁抽水站)、箱涵式双向进水流道(例如南京武定门抽水站)及平面蜗壳式双向进水流道(例如安徽凤凰颈抽水站)。

2.2 出水流道

出水流道的作用是使水流在从水泵后导叶出口流入出水池的过程中更好地转向和扩散,在不发生脱流和旋涡的条件下最大限度的回收动能,有虹吸式和直管式 2 种型式,见图 5。



虹吸式出水流道



直管式出水流道

图 5 出水流道形式

在采用虹吸式出水流道不能满足驼峰顶部真空度的要求时,采用直管式出水流道,流道的出口不能被水淹没的情况下,可采用屈膝式出水流道,如图 6。其进口与出水弯管出口相连,管道中心线沿流向下降,截面面积和几何形状逐步扩大、变化,出口淹没于最低运行出水水位以下。典型的如湖北凡口泵站,虹吸式流道采用真空破坏阀配合拍门断流的方式,即在设计流道时将驼峰位置定在一般高水位以上,在正常运行时由真空破坏阀断流,将拍门吊平;当外河水位超过驼峰高程时,由设在流道出口的拍门断流,这样驼峰可以定得低一些,就能适应水位变化较大的情况,从而可较好地改善机组启动条件。

双向出水流道型式大体可分为三通式、肘形对

拼式、直锥喇叭出水室式、曲线喇叭管出水室式、平面蜗壳式、伞形虹吸式、矩形有压涵洞式、双向平面对称蜗壳式和开敞水槽式等。图7是工程实践中的几种双向进、出水流动。

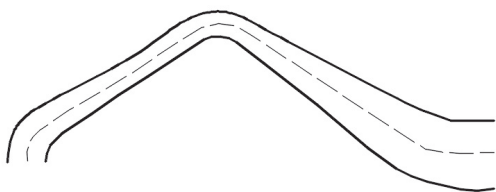
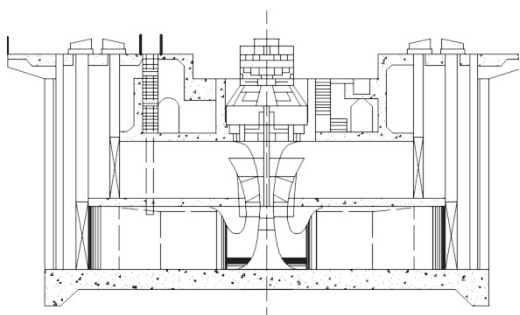
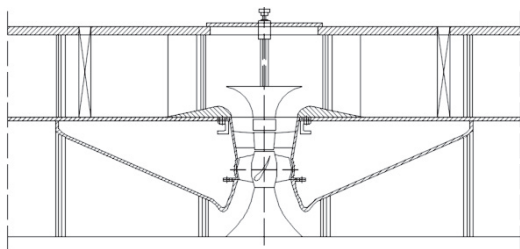


图6 屈膝式出水流动



江苏常熟泵站X型开敞式双向进、出水流动



广东上僚泵站矩形有压涵洞式双向进、出水流动

图7 工程实践中的双向进水、出水流动

2.3 泵段

泵段包括叶轮、叶轮室和前、后导叶体。水流在经过泵段时,叶片的机械能转化为水流的机械能,泵段是泵站的心脏。为了便于模型试验对比,通常在模型泵段后导叶体出口加接1个 60° 弯管,统称为水力模型装置。从20世纪江都排灌站兴建、20世纪90年代大型泵站改造,到2013~2017年南水北调东线工程建设,低扬程水力模型装置已形成比较完整的系列,可以适用不同扬程泵站的需要。泵段最高效率达到86%,对应的叶轮效率已经达到93%左右,技术指标已达到国外同类水泵的水平。其标志性的工程有:淮安二站的2台国内最大的轴流泵,转轮直径4.5 m,单泵流量 $60\text{ m}^3/\text{s}$;皂河泵站2台国内最大的立式混流泵,转轮直径

6.0 m,单泵流量 $100\text{ m}^3/\text{s}$;淮安三站2台可逆式灯泡贯流泵,转轮直径3.1 m,单泵流量 $30\text{ m}^3/\text{s}$,在设计扬程3.3 m下,最高效率77.6%;宝应站在设计扬程7.6 m下,最高效率85.3%;睢宁二站在设计扬程8.3 m下,最高效率83.5%;引淮入石泵站在最大扬程10 m下,最高效率78.4%。

3 低扬程泵装置的发展方向

经过60多年的发展,我省大型低扬程泵装置取得了很大的进步,为了使大型低扬程泵装置更好地服务于国民经济的发展,还需要在以下几个方面努力,以提高大型低扬程泵装置的性能:

3.1 开展泵装置的特性全方位的研究

泵装置特性的研究应当包括效率、空化性能、稳定性和过渡过程几个方面。但目前研究主要集中在效率方面,其它方面研究的不够、甚至很少去研究。主要表现在泵的效率不断地提高,对泵装置考核的主要指标也是效率,现场验收时效率能够达到事先预估的数值。尽管对空化性能也有要求,但事实上几乎没有考核。虽然泵站的空化余量都满足要求,但水泵依然受到空蚀破坏。在稳定性方面,仅在模型试验时测量压力脉动,并没有硬性考核的指标,并且原模之间如何换算还没有足够的理论支撑,尚不能根据模型试验的结果准确预测真机的稳定性。在过渡过程方面,迄今为止,对泵装置的过渡过程研究较少,且现有的研究多数都基于一维流动理论,局限性明显。应用三维流动理论研究泵装置过渡过程的成果较少,至于现场过渡过程的测试更少。但过渡过程对泵装置的危害远大于稳态过程。因为过渡过程中泵装置内部的流速和压力急剧的变化,其值可数倍于设计工况,对泵装置的危害较大,根据测试,江都二站启动时的最大扬程11.5 m,江都三站启动时的最大扬程14 m,远大于江都站的设计扬程。

3.2 加强理论创新

目前泵装置的理论基础仍是19世纪欧拉根据动量矩定理推导出来的欧拉方程,欧拉方程称为水泵的基本方程。应用欧拉方程可以分析一些水流现象对泵装置运行的影响,分析泵叶片的形状变化,推导出许多有用的计算公式。但是,欧拉方程不适用于多相流和过渡过程,而泵装置的多相流和过渡过程是当前泵装置研究的短板,需要

理论上的创新为多相流和过渡过程的研究提供基础。

3.3 提高计算能力, 缩短泵装置的设计周期

目前很多学者运用数值计算开展泵装置性能的研究。囿于计算能力限制, 多数情况下都是分别以进水、出水流动道、泵段为对象进行计算, 而没有或者很少以整个泵装置为对象进行计算, 泵装置内不同部件的相互干涉因素依靠学者的经验事先假定, 这样的计算结果难免与实际有误差。如果以整个泵装置为对象进行计算, 耗时较长, 如果是过渡过程的计算, 则耗时更长。由于泵装置的设计或优化周期较长, 因而很少为具体的泵站量身定制泵装置, 而是拿已有的转轮和流动道组合来设计新的泵站, 目前不论是设计单位还是生产厂家, 基本上都是在南水北调同台对比的二十几个转轮中择优选取, 这样组合产生的泵装置有可能并不完全适合某个具体的泵站, 应当以某个具体的泵站的水位、流量为约束条件, 开展整个泵装置的优化设计。

3.4 进一步提高泵装置的测试技术

目前泵装置的测试都是在试验室的模型试验台上测试模型泵装置的外特性, 主要是能量特性和空化特性。现场测试主要是能量特性测试, 受现场条件限制, 所测的范围有限。而对其内部的三维流场分布难以测试, 进出水流道有一些测量流场的方法, 而导叶和转轮内的三维流场测试还没有有效的方法, 其内部流场的分析主要依赖于CFD的计算结果。而至少就目前的科学水平, CFD的计算结果只是近似结果, 因为N-S方程组解的存在性依然是数学家们需要努力解决的难题。尽管CFD计算是目前泵装置优化比较流行的方法, 但是, CFD的计算准确度与计算者的经验有很大的关系。比如: 在计算进出水流道时, 环量就是计算者凭经验人工给定的; 在最优工况下CFD的计算结果与试验结果比较接近, 偏离最优工况后则误差较大。至于应用计算机软件计算的流固耦合、声振耦合、模态分析等的计算结果还难以用试验结果进行验证。这些都说明现有的测试技术远远落后于计算技术, 不能满足行业发展的需要。

3.5 进一步提高特低扬程、双向泵装置性能, 扩展贯流泵的应用范围

近几年, 在江苏南部地区兴建的特低扬程泵

站, 扬程在1 m左右, 这些泵站的效率普遍较低, 不到70%, 双向转轮泵的效率更低, 且可供选择的水力模型较少, 需要加强特低扬程水力模型的开发与研究。

贯流式泵装置由于进出水流道比较顺直, 水力损失小, 所以泵装置的水力效率比立式装置高, 并且贯流式泵装置的流道是水平顺直, 其开挖深度也比立式泵装置小。但是, 目前贯流式泵装置的扬程通常都在4 m以下。水轮机行业已研制出比转速100~350, 适应水头20~300 m的贯流式水轮机, 极大地拓宽了贯流式水轮机的应用范围。作为贯流式水轮机的鸾生兄弟贯流泵完全可以提高使用扬程。总渠管理处和河海大学已联合研制了一种可用于7~10 m扬程的贯流泵装置。在有自流要求的情况下, 立式装置下层进水流道可作为过流通道。但现有的贯流式泵装置不具备这样的功能。因此, 有必要开发具有泄水功能的贯流式泵装置。如果能够开发高效双向抽水、双向发电、双向泄水、高扬程的贯流式泵装置, 将扩大贯流式泵装置的使用范围。

4 结语

为了进一步提高大型低扬程泵装置的性能, 更好地服务于国民经济的发展, 我们要认真总结在大型低扬程泵装置方面取得的成绩和存在的问题, 组织力量, 集中攻关, 争取在提高大型低扬程泵装置的性能方面有突破性的进展, 为江苏经济的发展作出新的贡献。

参考文献:

- [1] 沈日迈. 江都排灌站[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986(12).
- [2] 戴景. 前导叶叶片位置对灯泡贯流泵水力性能影响[J]. 排灌机械工程学报, 2017(9): 761-766.
- [3] 戴景. 扩散导叶位置对灯泡贯流泵装置水力性能的影响[J]. 水电能源科学, 2017(1): 168-171.
- [4] 华东水利学院. 抽水站[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986(2).
- [5] 陆林广. 高性能大型低扬程泵装置优化水力设计[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013(4).