

肘形进水流道在有压侧向进水 泵站技术改造中的应用*

朱红耕¹ 刘超¹ 周济人¹ 费平屏¹ 高立宝²
张新义² 周平² 鲍俊华² 马传华³

(1. 扬州大学水利与建筑工程学院水利水电工程系, 江苏扬州, 225009;

2. 江苏省句容市水利农机局, 江苏句容, 212400; 3. 江苏省镇江市水利农机局, 江苏镇江, 212000)

摘要: 在模型试验的基础上, 优化水力设计, 采用施工新工艺和新方法, 使得泵站技术改造取得了极大的成功, 消除了泵站振动危害, 提高了装置效率, 产生了一定的经济和社会效益

关键词: 泵站技术改造; 侧向进水; 肘形进水流道

中图法分类号: TV 675

文献标识码: A

文章编号: 1007-824X(2001)01-0070-04

肘形进水流道能明显地改善水泵的进水条件, 提高泵站的装置效率。但由于进水流道的施工工艺和工程造价要比普通进水池的大得多^[1], 需根据不同的泵型、地质条件及进水条件进行相应的分析和优化设计^[2], 因此进水流道在中型泵站中应用很少。在泵站技术改造中, 人们大多是从缩短进水管长度、加大进水管管径、减少弯头、取消阀件、设隔流墩、防涡板等方面入手, 通过调换水泵、调整泵机配套、变间接传动为直接传动等措施来提高水泵装置效率, 而在改善水泵进口流态方面所做的工作不多, 仅有过正向进水时用肘形进水流道替代进水池的报导^[3,4], 未见有侧向进水情况下采用肘形进水流道的研究。本文中技术改造的泵站为有压侧向进水, 由于受到地形条件的限制, 在其它措施都难以奏效的特殊情况下, 采用了肘形进水流道。在进行了模型试验和流道水力设计优化的基础上, 泵站技术改造获得了成功, 取得了较好的经济和社会效益^[5]。

1 工程背景

句容市北山水库泵站(图1), 位于北山水库大坝脚下, 安装3台36ZLB-70型半调节立式轴流泵, 泵站设计流量为 $6\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。泵房分为墩墙温室(水泵)层、联轴节(出水弯管)层和电机层3层, 利用一条长130多米的压力涵洞从水库取水。压力涵洞的截面积仅为 3.0 m^2 , 却要向泵站的3台机组和2台水轮发电机组供水(每台水轮发电机的额定流量为 $1.7\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)。在泵站和发电机组同时工作时, 理论上涵洞内的流速高达 $3.08\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (实际上由于泵站抽水流量远小于设计流量, 故流速没有那么多高, 但仍有 $2.0\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右), 水力损失很大。由于受当时设计水平的影响, 泵站枢纽布置不合理, 加上地形条件的限制, 泵站与涵洞的布置相隔仅3m, 属典型的侧向有压进水泵站。涵洞与封闭的墩墙式进水池之间用混凝土管道相连(图2), 水流要经过1个渐扩、2个弯头和1个突然扩大后, 才能从涵洞进入温室, 进水池内的水流非常紊乱, 水泵的进水条件极差。泵站建成后, 振动非常剧烈, 机组无法正常运行。提水能力仅为 $2.7\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 只有设计流量的45%, 无法满足灌区内工农业生产和人畜生活用水的要求。对泵站进行技术改造, 提高泵站的提水能力和装置效率已成为迫切需要。

收稿日期: 2000-02-28

* 该研究成果获1997年江苏省镇江市人民政府科技进步二等奖(972064)

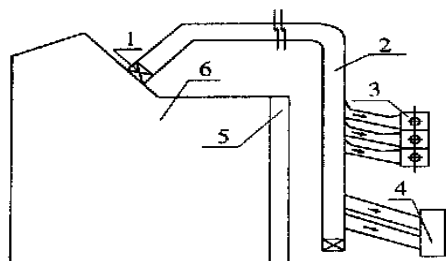


图1 泵站枢纽布置示意图

Fig 1 Schematic diagram of layout of the pumping station

1 进水闸; 2 涵洞; 3 泵站;
4 水力发电站; 5 大坝; 6 水库

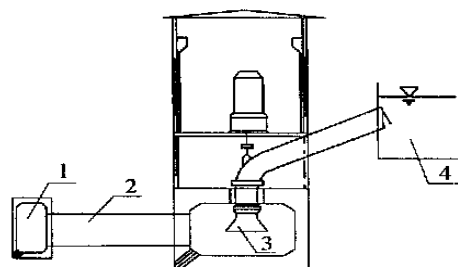


图2 改造前泵站剖面示意图

Fig 2 Schematic section of the pumping station before innovation

1 涵洞; 2 进水管; 3 喇叭口; 4 出水池

2 肘形进水流道模型试验和水力优化设计

2.1 模型试验

涵洞和进水流道内的水流主要受压力的支配, 故模型试验按欧拉相似准则进行模拟。由于流道的高度和长度受到了涵洞及涵洞与泵房之间距离的限制, 试验时只能通过改变肘形进水流道的设计参数, 如宽度及弯曲半径等, 或改变流道与涵洞的连接形式进行。筛选后确定用4种不同的肘形进水流道设计方案进行优化试验。对应每一种设计方案, 试验时通过调节试验装置中闸门和闸阀的开度, 改变涵洞总过水流量及泵站和水电站之间的流量分配比例, 同时也实现了水电站和泵站之间不同流量组合的联合运行试验。模型试验采用定性观察和定量测量相结合的方法。对于每一种试验组合, 用示踪物定性地观察流道内水流流态和回流区范围; 用CSY直读式数字流速仪, 分别测量肘形进水流道直段进口和出口断面的流速大小及分布, 观察和测量的结果作为方案比较和择优的依据。模型试验的详细资料见参考文献[5]。

2.2 水力优化设计

1) 为了减少进口水头损失, 给水泵提供良好的水流条件, 国内外大型泵站肘形进水流道宽度 B 与叶轮直径 D 的比值通常在2.0~2.8左右, 进口流速一般在 $0.5 \sim 1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内选择。由于研究的泵站采用了涵洞引水有压侧向进水, 宽度的选择对肘形进水流道的影响就特别大。方案1采用的 B/D 比值为2.0, 但试验结果表明, 流道内回流区范围大, 流态非常紊乱, 机组之间抢水现象严重, 速度分布极不均匀, 通过3台水泵的流量差异也很大。采用常规参数设计的流道效果不好的根本原因就在于泵站为侧向进水, 涵洞内水流速度高, 当流道进口宽度较大时, 流速较低, 使得水流突然减速, 流速梯度 dv/ds 过大, 加之水流急剧转弯, 从而形成偏流、回流和涡流。

2) 为了控制流道内横向流速分布的不均匀度, 减小回流区范围, 应尽量减小流道进口宽度和适当增大进口高度, 但流道进口高度受到涵洞高度的限制, 进口宽度又不能无限制地减少, 必须考虑到肘形进水流道的设计要求, 即不能小于水泵与流道连接的底座直径(底座为锥台形, 通常有 5° 左右的锥角), 所以方案2~4中均取流道进口(直段)宽度为1.1倍叶轮直径。试验结果表明, 方案2~4中回流区的范围与流速分布均匀程度都优于方案1。

3) 肘形进水流道与涵洞的连接形式直接影响到流道内水流速度的分布, 当采用方案4设计时, 流道与涵洞直线交接, 水流进入流道必须急剧转弯。由于水流的惯性作用, 在水流拐弯处, 形成大范围回流, 不仅恶化了流态, 还增加了水头损失。方案2和方案3在流道进口处设置了圆弧形进口, 使得水流能较平顺地进入流道, 有利于流速分布的调整和流态的改善, 回流区减小25%左右, 3台水泵的流量均匀度提高了30%以上。

4) 方案2仅在流道进口来水侧有圆弧, 而方案3在进口两侧均有圆弧。就施工难易程度而言, 两

种方案都较容易实现,方案2比方案3更简单一些。当2台水轮发电机组与2台泵机组或3台泵机组联合运行时,其流速分布的均匀性,方案2略优于方案3;当水轮发电机组停止工作,涵洞引水全部用于泵站时(其引水流量仅为最大引水流量的68%),涵洞内流速降低,水头损失减少,从而使得肘形进水流道内流速分布均匀性普遍变好,机组之间流量相对不均匀程度降低。由于流速分布的均匀程度对水泵的进水条件和正常运行有决定性的影响,故最终确定方案2为优选水力设计方案。

3 工程应用与经验

3.1 定向爆破和人工拆除相结合

原有的进水管为现场浇筑混凝土,由于管壁厚、配筋率高,加之施工场地狭小,施工无法同时展开。若采用人工拆除,难度大,费用高,工期长,故在施工中,采用了小范围定向爆破技术,仅在靠近泵站和涵洞部位,有可能危及泵房和涵洞安全时,才实施人工拆除,从而缩短了工期,节省了工程费用。

3.2 流道结构计算

施工时将流道的管壁与泵房的墩墙和涵洞的边壁联结在一起,钢筋重新焊接,组成一个整体结构。这样有利于提高泵房的整体稳定性和建筑物的抗震性能,而且施工简单,流道的设计仅需作管道横断面静力计算及抗裂计算。静力计算时荷载主要考虑:①混凝土管壁结构自重;②流道承受的内水压力。由于进水流道为水下结构,水库的水位变幅较大,故按水库最高水位计算;③流道两侧及上部全部填土,故要承受侧土压力及上部的土压力;④活荷载及其他荷载等,根据实际情况而定。具体设计时,按箱式结构计算双向受力配筋即可。

3.3 采用膨胀水泥防渗漏

新旧混凝土之间接缝处理不好,会造成渗漏问题。施工中,按设计要求对混凝土的骨料粒径、水泥标号、水灰比严格控制。混凝土工程分两期进行,即在主体流道浇筑结束后,对所有新老混凝土结合部位进行处理,凿成狗牙状,再使用膨胀水泥浇筑2次混凝土,杜绝接缝渗漏,确保工程质量和安全。

3.4 巧妙利用喇叭口

36ZLB-70型立式轴流泵没有单独的喇叭口,而是与半个叶轮室连在一起,改用肘形进水流道后,喇叭口不再使用,必须制作一个底座,上部应有半球形的叶轮室与泵体相连,下部与嵌在流道顶部的底座环连接。叶轮室球面的加工需要专门的机械设备和技术,非一般工厂能完成。如果到原生产厂家定制加工,长途往返运输及加工费用必然很高,周期也很长,会影响到来年的春耕灌溉。为了方便安装检修,又尽量节省工程投资,在设计时,巧妙地利用了原喇叭口:即保留喇叭口上部的球形叶轮室,仅截去下部的圆弧喇叭部分,插入下面专门设计的底座(由两个哈夫组成,制作较容易)。在保留的原喇叭口部分的外围开槽,配以“O”形密封圈止水(图3)。安装检修或调整叶片安装角度时,只要把底座哈夫拆下,接下来的工作就和以前拆装“喇叭口”一样,操作非常方便。

3.5 设置进人孔

以前采用的是有压侧向进水,检修时需先关闭涵洞进水闸门,然后检修人员从涵洞的另一端用爬梯进入,沿着涵洞钻过进水管,到达封闭了的墩墙式湿室内,才能进行水泵检修。采用了肘形进水流道后,原进人通道已由肘形进水流道所代替,故需专门设置进人孔(图4),零配件也可以从进人孔吊入,使得施工、安装、调试及检修进行都很便利。

4 泵站技术改造成果与效益

在模型试验的基础上,按照肘形进水流道水力设计优选方案,于1995年对老泵站进行了技术改造。工程竣工后,再次对泵站进行了现场实测。测试结果表明,机组运转平稳,原有的振动危害已彻底消除,无任何异常的振动和汽蚀噪音,完全达到了进水流道预期设计要求和泵站技术改造的目标。泵站提水能力从原来的 $2.7\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 提高到 $6.0\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,水泵装置效率平均提高了24.2%,充分挖掘了现有工程的潜力,相当于新建了一座提水能力为 $3.3\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的泵站。按建设 $1\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 提水

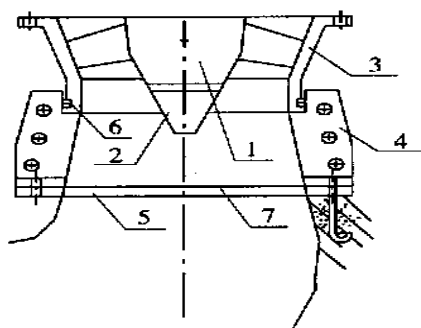


图3 流道与泵体联接安装示意图

Fig 3 Connection of the inlet passage to the pumping housing

1. 轮毂头; 2. 导水锥; 3. 车削后的喇叭口;
4. 底座; 5. 底座环; 6. O型密封圈; 7. 橡胶垫

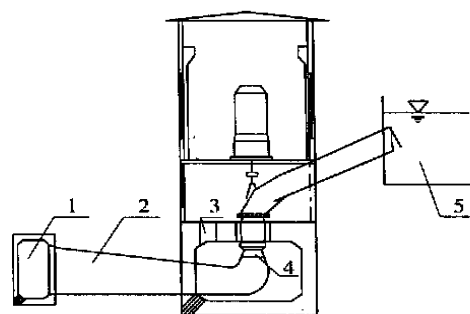


图4 采用肘形进水流道的泵站剖面示意图

Fig 4 Schematic diagram of the pumping station with inlet passage

1. 引水涵洞; 2. 肘形进水流道; 3. 进入孔;
4. 底座; 5. 出水池

能力的泵站投资 30 万元计算, 技术改造一项就节省了建设投资 100 万元。技术改造后的泵站不仅增强了灌区的抗旱能力, 还可以扩大灌溉面积 1 000 hm², 为农业高产、稳产提供了保证。技术改造后的泵站还可以为灌区内工业和第三产业的发展提供充足的水源, 创造更大的经济和社会效益。

5 参考文献

- [1] 张新平, 吴娟. 进水流道对低扬程轴流泵站装置效率的分析[J]. 西北水资源与水工程, 1997, (3): 25~29
- [2] 刘光临, 刘贵友. 大型轴流泵肘形进水流道 CAD 研究[J]. 泵站技术, 1993, (1): 31~32
- [3] 徐伟平. 肘形进水流道在中小型轴流泵站建设与改造中的应用[J]. 排灌机械, 1993, (3): 31~32
- [4] 夏重庆. 肘形进水流道在中小型轴流泵站中的应用[J]. 农田水利与小水电, 1993, (7): 35~37
- [5] 朱红耕, 刘超, 费屏屏, 等. 有压侧向进水泵站肘形进水流道的试验研究[J]. 江苏农学院学报, 1997, 18(2): 82~85

APPLICATION OF ELBOW INLET PASSAGES IN THE TECHNICAL INNOVATION OF PRESSURED LATERAL INTAKE PUMPING STATION

ZHU Hong-geng¹ LU Chao¹ ZHOU Ji-ren¹ FEI Ping-ping¹ GAO Li-bao²
ZHANG Xing-yi² ZHOU Ping² BAO Jun-hua² MA Chuan-hua³

(1. Dept of Hydr and Hydroelec Engin, Hydr and Civil Engin Coll, Yangzhou Univ, Yangzhou, 225009; China

2. Bur of Water Cons and Fam Machinery Adm in, Jurong, 212400, China;

3. Bur of Water Cons and Fam Machinery Adm in, Zhenjiang, 212000, China)

Abstract: On the basis of model tests and optimizations of hydraulic design, the innovation of the pumping station has achieved a great success by adopting new construction technologies and methods. Vibration hazards of the station are eliminated and the efficiency of the pumping sets raised, resulting certain engineering, economic and social benefits.

Keyword: pumping station technical innovation; lateral intake; elbow inlet passage

(本文责任编辑 晓文)