

陕甘宁扬黄工程渠首泵站出水流量低的原因分析与优化策略研究

周金军 黄立

宁夏回族自治区盐环定扬水管理处 宁夏 吴忠 751100

摘要：本文围绕泵站出水流量低的问题，首先对论文的研究背景进行了简要阐述，明确了该问题在扬水工程中的重要性和普遍性。随后，通过深入分析水泵转速、叶片安装角度、过流部件磨损、进水条件和水质等因素，揭示了出水流量低的主要原因。针对这些问题，本文提出了包括从设计水位优化、进出水流道优化、拦污栅改进、磨损部件处理更换和采用新技术等优化策略，旨在提高泵站出水流量，保障供水系统稳定运行。

关键词：泵站；出水流量；原因分析；优化策略

陕甘宁盐环定扬黄工程是国家八五重点建设项目，为陕西定边、甘肃环县和宁夏盐池、同心县等部分地区人畜饮水提供了有力保障，作为一项扶贫扬黄工程，在预防地方性病害、改善当地生态环境、发展现代化农业灌溉等方面做出了很大贡献，被誉为“亚洲最大的人畜饮水工程”。自工程运行以来，特别是2009年9月实施的续建和2018年4月完成的大泵改造后，极大地缓解了陕甘宁3省（区）9县（区）经济社会发展、生态环境治理、乡村振兴的刚性需水矛盾，发挥了巨大的经济效益、生态效益和社会效益。

渠首泵站是陕甘宁盐环定扬黄工程水源泵站，装备机组6台，水泵采用HLZ直联型立式混流泵，总装机容量2012千瓦，设计流量11立方米/秒，总扬程9.58米，净扬程7.92米。厂房机组一列式布置，正向进水，直管薄壁堰式出水，出水管6排，长度34.48米。然而，在实际运行中，渠首泵站出水流量低的问题时有发生，严重影响了供水系统的正常运行，不能保证三省（区）的工业用水、人畜饮水及农业灌溉用水的安全供水。因此，对渠首泵站出水流量低的原因进行深入分析，并制定相应的优化策略，具有重要的现实意义。

1 泵站出水流量低的原因分析

1.1 水泵转速偏低

混流泵抽水流量与其转速成正比，转速越高，流量越大，反之流量小。因此当水泵在运行中的实际转速达不到水泵额定转速时，出水量也达不到额定流量。如果电机发生故障引起转速降低，应对电机各部件进行检查维护，使电机能够工作于额定转速下，使水泵达到额定流量。

1.2 水泵叶片安装角度偏小

混流泵的叶片安装角度与流量呈现正相关关系，即角度越大，过流通道的有效截面积相应增大，流量也就越大；反之，叶片安装角度越小，流量则越小。当水泵正常运行时，若电机电流数值较小，通常表明此时水泵的流量处于偏小状态，而这很可能是由于叶片安装角度过小所导致的，这种情况下可对水泵的叶片安装角度进行针对性调节。

1.3 水泵过流部件磨损较严重或部分叶片损坏

在黄河多泥沙的特殊工况下，水泵过流部件因长期受泥沙冲刷磨损极为严重，这会使密封环间隙逐渐变大，进而导致水泵效率快速下降。同时，叶片的严重磨损会直接影响出水流量，使得水泵的整体使用寿命大幅缩短。

1.4 渠道杂物多，导致水泵出水量减少

盐环定扬黄工程渠首泵站建在宁夏青铜峡东干渠36km+200m处，进水在黄河青铜峡大坝上游，水源流进东干渠没有有效拦污装置加之渠道沿线有很多村庄，因此黄河水中的大型漂浮物、渠道两侧树枝、树叶以及沿线村庄生活垃圾会进入渠道，严重影响水泵出水。

1.4.1 垃圾堵塞进水流道 泵站虽然设有格栅清污机，但因多种因素，还有部分垃圾杂物等进入泵站进水前池，造成水泵流道变小或堵塞，影响水泵出水水量。其措施是：（1）保证水源供给，清除进水渠道内阻水障碍物。（2）及时打捞进水流道和进水前池杂物，保持水泵吸水顺畅^[1]。

1.4.2 垃圾堵塞造成进水前池水位过低 由于渠首泵站进水口与东干渠交汇区域存在凹陷地形，这种特殊构造使得拦污栅前方容易成为木棍、柴草等杂物的堵塞聚集区。随着杂物持续堆积增多，会造成进水流道水位逐

渐降低,在此情况下,水泵所需扬程会相应增高,同时也会直接导致水泵的出水流量无法达到设计预期值。

1.4.3 地理位置影响 渠首泵站毗邻东干渠而建,由于东干渠受黄河来水丰枯变化、灌溉用水需求波动等多重因素影响,其水位呈现显著的动态变化特征,进而导致进水池水位波动幅度较大,难以维持在稳定区间。当池内水位处于低位时,机组运行状态会偏离高效区间,或处于高效区下限,或陷入超扬程工作状态,此时不仅机组出水量明显减少,还会伴随较为剧烈的振动现象。

1.5 水质条件影响泵站出水量减小

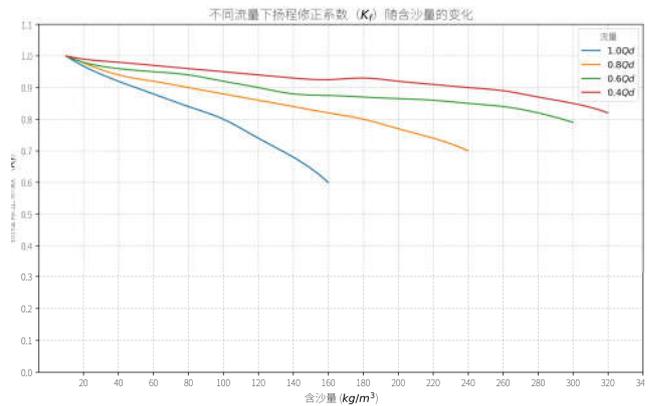
黄河作为一条多泥沙河流,根据水文资料显示,其多年平均含沙量可达 $37.7\text{kg}/\text{m}^3$,清水期平均含沙量达 $4.7\sim 6.21\text{kg}/\text{m}^3$,汛期高达 $70\sim 96\text{kg}/\text{m}^3$,最高值达到 $382\text{kg}/\text{m}^3$,当黄河水含沙量较高时,过流水质摩擦力增加,会加剧水泵过流部件的磨损,导致水泵使用寿命短、能耗高、运行效率低等问题。通过黄河流域扬水工程的实践和试验印证,泥沙除了对水泵过流部件产生磨损破坏外,还对水泵的流量、扬程、效率、轴功率、空蚀余量有着明显的影响,尤其是对水泵扬程和流量的影响最为突出。

1.5.1 对水泵扬程的影响 水泵在运行过程中会产生离心力,抽送的水流含沙量较高时,通过受力分析可以得知,固体泥沙颗粒在水泵中受到的离心力比水质点的离心力大,所以固体泥沙颗粒在受迫运动中的径向速度大于水质点的径向速度。对固体颗粒和水质点进行运动分析,得知,固体颗粒的切向速度小于水质点的切向速度。因此,叶轮出口处的含沙水流平均切向分速度减少,其水质含沙理论扬程小于清水时的理论扬程。如果清水时泵的扬程为 H_0 ,在含沙水流中工作的扬程为 H ,则可以建立水泵在含沙水流中工作的扬程修正系数见图1。其公式如下:

$$H = KhH_0$$

式中, Kh 为水泵在含沙水流中工作时的扬程修正系数,此修正系数随流量与含沙量的不同而变化。

对设计新泵站水泵流量扬程的选择必须考虑含沙量及流量对扬程的影响。对于已经建成的泵站,通过计算可以得到泵站几何扬程,但是泵站前池、出水池等位置是无法改变的,因此已经无法通过改变前池、出水池的位置去改变几何扬程。通过几何扬程和损失扬程计算可以得到水泵的扬程,我们不难发现,已建成的泵站无法通过改变扬程去增加水泵的流量^[2]。所以,当水流中含沙量增大后水泵流量会减少。



1.5.2 含沙量对流量和扬程的影响 水泵的设计扬程由损失扬程和几何扬程计算得到,泵站在建设过程中,泵房的位置和管线分布位置确定后,水泵扬程便可确定。水泵运行过程中的扬程一般变化不大,所以研究含沙水流含沙量与水泵流量大小的关系,是在水泵设计扬程下,其流量与含沙量变化的互动关系。根据试验数据进行分析,得到不同含沙量对流量的修正公式:

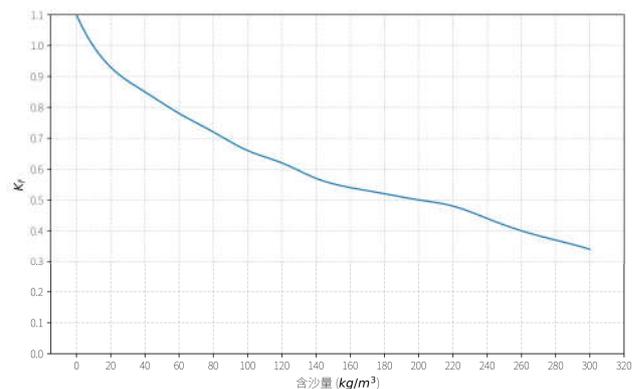
$$Q = KqQ_0$$

式中, Kq 为不同含沙量时流量修正系数;

Q_0 为清水条件下水泵设计流量;

Q 为某一含沙量时水泵出水流量。

图2为试验得出的不同含沙浓度时的流量修正系数 Kq 的关系曲线。从中可以查出,当含沙量为 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 时, $Kq=0.665$,也就是说出水量为设计流量的66.5%,影响极为可观,不可忽视。



黄河上运行的扬水工程实践和试验印证资料比较充分的说明含沙水流对水泵出水量和扬程的影响,因此在决定泵的扬程和流量时,必须在原设计基础上,针对具体泵站环境,考虑含沙修正值,使之供水安全可靠。

2 优化策略研究

2.1 设计水位优化

优化设计水位是确保泵站高效运行的关键举措,通过科学设定水位参数,可使泵站在运行时精准处于最佳

效率点。实际应用中,需依据来水流量、机组特性等具体情况,合理调整前池与后池的设计水位,以此减小泵站运行扬程,降低能源消耗,同时显著提高出水流量,实现泵站性能的优化提升。

2.2 进出水流道优化

进出水流道的设计对后期泵站运行过程中出水流量有很大影响。优化进出水流道和管路的设计,可以减小水流阻力,提高出水流量。具体措施包括:优化进水流道的形状和尺寸、减少水流旋涡和湍流、优化出水流道的扩散角等,采用更合适的管道材质、减少管道弯曲和变径等,以减小水流阻力,提高出水流量。

2.3 采用新材料

为使水泵过流部件能够适合黄河高含沙水质,采用新材料对过流部件进行耐磨处理,延长水泵使用寿命。

2.3.1 叶轮采用堆焊硬质合金 叶轮在水泵运行周期内,叶片的进、出口处是磨损最严重的,所以为了让叶轮的耐磨性得到提升,在叶片进、出口处采用德国UTP61抗严重磨损铬合金铸铁堆焊焊条堆焊,堆焊长度距外圆50mm,区域深度为3mm,焊态硬度为55~60HRC之间,提高其耐磨性。

2.3.2 密封环(耐磨口环)耐磨处理 泵体口环配合面易磨处超音速喷涂碳化钨耐磨涂层。

2.4 磨损部件更换

泵在长时间连续运行过程中,叶片、密封环等过流部件因持续受到介质冲刷、摩擦等作用,极易出现磨损老化现象,这会直接导致泵的整体效率逐步下降,出水流量也随之减小。因此,通过建立定期检查机制,及时发现并更换磨损超限的部件,能够有效恢复泵的工作性能,显著提高出水流量。

2.5 加强运行管理,保证正常运行

作为水源泵站的运行人员,保证前池水位是运行管理的关键环节。首先,为应对大量的漂浮物、树干、和生活垃圾堵塞流道,及时开启清污机。其次,要对从拦

污栅流进的杂物及时清理,防止杂物堵塞进水流道。最后,要与渠道管理单位加强沟通协调,尽可能保证前池水位保持在设计水位或高于设计水位,以弥补含沙量大对水泵出水量的影响。

2.6 优化运行方式

根据系统供水需求的动态变化,可通过灵活调整机组配置来优化泵站运行方式,从而有效提高出水流量^[3]。实际操作中,需依据实时用水需求合理增减水泵数量,针对性选择适配的泵型规格,并对水泵的并联或串联运行方式进行优化设计,以实现泵站出水流量的精准调控与效能提升。

2.7 采用新技术

随着科技的进步和智能化水平的提高,控制系统在泵站运行中的作用越来越重要。通过更新控制系统,引入先进的控制技术和算法,可以实现泵站运行的智能化和自动化,提高出水流量和运行效率。

3 结语

本文通过对泵站出水流量低的原因进行深入分析,并结合实际情况从设计水位优化、泵组配置调整、采用新材料、磨损部件更换、加强运行管理、优化运行方式和控制系统更新等方面提出了相应的优化策略。这些策略旨在提高泵站设备的运行效率和出水流量,保障供水、灌溉等系统的正常运行。在工程实际应用中,应根据泵站的具体运行情况,选择合适的优化策略,并结合运行情况进行调整和完善。

参考文献

- [1]路金喜、杜贵荣.泥沙对水泵参数的影响[J].《排灌机械期刊》,2003.
- [2]沈俊江、焦清勇,盐环定渠首泵站立式机组改造方案探讨[J].《宁夏工程技术期刊》,2012.
- [3]胡国华,水利泵站进出水流道优化设计探讨[J].《中国水运(下半月)期刊》,2017.