

# 红寺堡扬水更新改造工程水泵节能技术应用研究分析

冯玉平<sup>1</sup> 岑少奇<sup>2</sup>

1. 宁夏水利水电工程咨询有限公司 宁夏 银川 750000
2. 宁夏回族自治区红寺堡扬水管理处 宁夏 银川 750000

**摘要:** 随着全球能源危机的加剧和个人环保意识的提升,节能减排已成为各行各业关注的焦点。在水利工程领域,水泵作为能量转换的重要设备,其能效水平直接影响到整个泵站的运行成本和能源消耗。本文以红寺堡扬水三泵站改造为研究对象,深入分析了水泵节能技术的应用方案,并通过实际案例探讨了CFD技术、喷涂高分子材料、机械密封、变频调速技术等先进技术在泵站改造中的应用效果,旨在为同类泵站的节能改造提供参考和借鉴。

**关键词:** 水泵; 节能技术; 改造泵站; 能源单耗

## 1 工程概况

### 1.1 基本信息

红寺堡灌区位于宁夏中部干旱带,涉及吴忠市的红寺堡区、利通区、同心县,以及中卫市的中宁县。红寺堡扬水工程始建于1998年,是上世纪为解决脱贫致富,宁夏建设的“一号工程”重点项目,2016~2020年间对一至五泵站进行了改造,其设计灌溉面积101.4万亩。红寺堡扬水工程将黄河水高扬远送到宁夏中部干旱带,为宁夏百万群众实现小康发挥了关键作用,为社会稳定、民族团结、生态改善发挥了巨大作用。

### 1.2 改造前水泵存在的问题

红寺堡扬水泵站更新改造前经过近20年的运行,水泵机组主要存在以下等问题:

- (1) 泵壳锈蚀严重,过流部件磨蚀、气蚀严重;
- (2) 水泵口环间隙变大,填料函漏水、密封不严;
- (3) 水泵关键零部件的严重磨蚀,致使机组效率下降,出水流量减小,能源单耗增高;
- (4) 运行时振动、噪音变大大,且无法改善;
- (5) 维修养护时间间隔缩短,维修养护工作量大,且检修和管理费用随之增大。

### 1.3 改造的必要性

泵站水泵进行改造的必要性主要体现在以下几个方面:

- (1) 经济效益: 水泵作为泵站的核心设备,其能耗占据了泵站运营成本的很大一部分。通过改造,可以有效降低水泵的能耗,减少电力费用支出,从而带来显著的经济效益。
- (2) 技术进步与设备老化: 随着科技的进步和新型节能技术的出现,老旧的水泵设备无法达到最新的能效标准。同时,随着设备使用年限的增加,性能逐渐下降,能效比降低。通过更新换代设备,采用更高效的技术。

(3) 供水安全保障: 经过近20年的运行,水泵不同程度的存在带病运行的情况,无法保障供水安全,无法适应高质量发展,通过泵站改造对设备进行更新换代,有效保障供水安全。

## 2 水泵节能技术方案

红寺堡扬水更新改造工程设计过程中采用了文献调研、实地考察和数据分析等方法。首先,通过查阅相关文献资料,了解国内外水泵节能技术的研究进展和应用现状;其次,对红寺堡扬水泵站进行实地调研,了解水泵设备的运行状况、能耗情况以及存在的问题;最后,结合泵站实际情况,针对宁夏黄河水高含沙量的特征,分析并提出了水泵设计采用CFD技术、优先选用转速低的水泵、提高过流部件材质并喷涂高分子材料、采用机械密封、增加变频装置等多种节能技术的综合应用方案。

### 2.1 水泵在前期设计采用CFD技术

(1) 水泵性能预测。采用CFD技术模拟水泵在不同工况下的流体流动情况,从而预测水泵的性能。通过CFD模拟,获得水泵的流量、扬程、效率等性能指标,为水泵的设计提供理论依据。

(2) 水泵内部流动分析。CFD技术可以清晰地展示水泵内部流体的流动情况,包括速度场、压力场、涡旋等。通过对这些流动现象的分析,了解水泵内部流体的流动规律,为水泵的优化设计提供指导。

(3) 水泵结构优化。基于CFD模拟结果,对水泵的结构进行了优化设计。结合本工程实际边界条件及技术参数,在模拟过程中通过调整叶片形状、进出口角度、流道形状等参数,优化水泵的性能,经过不断迭代和优化,最终获得性能更优的水泵设计方案。

(4) 故障诊断与改进。通过CFD技术模拟水泵在故障状态下的流体流动情况,找出故障产生的原因,并提

出相应的改进措施。结合本工程技术参数,针对水泵运行中的振动、噪音问题,可以通过CFD模拟找出问题的根源,并进行针对性的改进,优化水泵结构体型。

## 2.2 选择低转速水泵

在流量和扬程满足运行要求的情况下,尽量选择高效率 and 低转速的水泵,降低叶轮旋转线速度,减轻高泥沙水质在高速旋转中对水泵过流部件的冲击,减轻水泵磨损,延长水泵过流部件的使用寿命,提高泵站运行可靠性。

| 序号 | 部件名称      | 部件材料                | 备注                     |
|----|-----------|---------------------|------------------------|
| 1  | 泵壳(泵体/泵盖) | 铸钢ZG270-500         |                        |
| 2  | 叶轮        | 双相不锈钢(DIN1.4460)    | 双相不锈钢(ZG00Cr22Ni5Mo3N) |
| 3  | 主轴        | 锻双相不锈钢(DIN1.4462)   | 双相不锈钢00Cr22Ni5Mo3N     |
| 4  | 水泵密封环     | 抗磨蚀双相不锈钢(DIN1.4460) | 双相不锈钢00Cr22Ni5Mo3N     |

(2) 关键过流部件喷涂高分子材料。关键过流部件喷涂高分子材料是一种有效的节能措施。通过在叶轮表面喷涂高分子材料,可以改善叶轮的耐磨和防腐性能,降低摩擦系数,减少能量损失,增加使用寿命。同时,高分子材料还具有良好的导热性能,可以有效地降低叶轮的温升,提高水泵的运行效率。本工程关键过流部件采用喷涂改性聚氨酯弹性涂层,厚度2~5mm。

## 2.4 采用机械密封

(1) 机械密封的原理。机械密封是指利用一对或数对垂直于旋转轴线的端面,在流体压力和补偿机构弹力的作用下,以及辅助密封的配合下,保持贴合并相对滑动而构成的防止流体泄漏的装置。其工作原理主要是通过动环和静环的端面在流体压力和补偿机构弹力的作用下相互贴合,并相对旋转,从而构成防止流体泄漏的密封装置。

(2) 机械密封有以下优点。

1) 密封性好:机械密封在长期运转中密封状态很稳定,泄漏量很小,约为填料密封泄漏量的1%以下。

2) 使用寿命长:机械密封端面由自润滑性及耐磨性较好的材料组成,具有磨损补偿机构,可连续使用1-2年,特殊的可用到5-10年以上。

3) 运转中不用调整:由于机械密封靠弹簧力和流体压力使摩擦副贴合,即使磨损后也能自动保持贴合,因此无需经常调整,使用方便,适合连续化、自动化生产。

4) 功率损耗小:机械密封的端面接触面积小,摩擦功率损耗小,仅为填料密封的20%-30%。

5) 轴或轴套表面不易磨损:机械密封与轴或轴套的接触部位几乎没有相对运动,因此对轴或轴套的磨损较小。

6) 耐振性强:机械密封具有缓冲功能,能在一定范

## 2.3 提高水泵材质标准并喷涂高分子材料

(1) 提高水泵材质标准。过流部件的材质和防护是应对泥沙磨损的关键,也是水泵使用寿命的关键。泵站改造前水泵泵壳、叶轮采用球墨铸铁、主轴采用碳钢。在宁夏高泥沙黄河水的长时间运行过程中发现,水泵效率降低明显,过流部件检修间隔短,需要投入大量人力和财力维修养护。在泵站更新改造过程中通过设备厂家调研,数值模拟分析,运行管理单位考察等方式,确定各个部件材质表如下:

围内的振动下保持良好的密封性能。

7) 密封参数高,适用范围广:可适用于各种工况,尤其在高温、低温、强腐蚀、高速等恶劣工况下更显优越性。

## 2.5 变频调速技术

变频调速技术是通过改变电机的工作频率来实现水泵转速的调节,进而实现对水泵流量、扬程等参数的调节。在传统的水泵控制系统中,水泵通常是以恒定的转速运行,而实际需求流量往往会随着生产工况的变化而变化。当实际需求流量小于水泵的额定流量时,水泵会运行在低效区,造成能量的浪费。而变频调速技术可以根据实际需求流量的变化,实时调整水泵的转速,使水泵始终运行在高效区,从而实现节能。变频调速技术的节能原理主要体现在以下几个方面:

(1) 减少泵启动时的能耗:在泵启动时,由于需要克服系统的静摩擦力和惯性力,启动电流通常很大,造成能量的浪费。而变频调速技术可以实现软启动,减少启动时的能耗。

(2) 降低电机运行能耗:通过降低电机的转速,可以减少电机的输出功率,从而降低电机的运行能耗。同时,由于电机转速的降低,电机的运行温度也会降低,有利于延长电机的使用寿命。

(3) 提高系统效率:变频调速技术可以实现流量的精确控制,使水泵的输出流量与系统的实际需求流量相匹配,避免了流量的浪费。同时,由于水泵始终运行在高效区,系统的整体效率也得到了提高。

## 3 节能效果分析

本文以红寺堡三泵站为典型案例进行分析总结。

### 3.1 红寺堡三泵站基本情况

红寺堡三泵站设计流量26.66m<sup>3</sup>/s，总扬程55.5m，安装9台大泵、1台小泵。9台大泵中4台配套3150kW同步电机、3台配套3150kW异步电机、2台配套3150kW变频电机、小泵配套1600kW型异步电机。泵站总装机容量29950kW，总运行容量25200kW。

3.2 红寺堡三泵站运行数据

对2013年~2023年11年的数据进行分析，其中2013年~2017年为改造前数据，2018年~2023年为改造后数据。2013年~2023年间年月水电量统计见表1；2013年~2023年能源单耗统计表见表2；多年平均能源单耗曲线见图1。<sup>[1]</sup>

表1 红寺堡三泵站2013年-2023年月水电量统计

单位：万kwh 万m<sup>3</sup>

| 月  | 名称 | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4  | 电量 | 1056  | 979   | 978   | 983   | 983   | 921   | 931   | 1011  | 803   | 1045  | 921   |
|    | 水量 | 4505  | 4537  | 4535  | 4289  | 4531  | 4428  | 4412  | 4839  | 3701  | 4928  | 4309  |
| 5  | 电量 | 732   | 486   | 451   | 596   | 536   | 463   | 456   | 534   | 380   | 717   | 442   |
|    | 水量 | 2558  | 2240  | 2120  | 2424  | 2366  | 2188  | 2157  | 2500  | 1686  | 3350  | 2078  |
| 6  | 电量 | 1299  | 1232  | 1176  | 1306  | 1257  | 1225  | 1314  | 1316  | 1341  | 1399  | 1294  |
|    | 水量 | 5522  | 5599  | 5254  | 5329  | 5470  | 5846  | 5805  | 6217  | 6194  | 6514  | 6079  |
| 7  | 电量 | 1498  | 1334  | 1391  | 1472  | 1421  | 1301  | 1260  | 1407  | 1466  | 1444  | 1401  |
|    | 水量 | 5493  | 6087  | 6171  | 5908  | 6141  | 6033  | 5960  | 6571  | 6625  | 6672  | 6588  |
| 8  | 电量 | 1459  | 1453  | 1384  | 1270  | 1094  | 854   | 1183  | 1046  | 1396  | 1225  | 1424  |
|    | 水量 | 5598  | 5714  | 6140  | 5035  | 4692  | 3853  | 5617  | 4791  | 6442  | 5567  | 6682  |
| 11 | 电量 | 499   | 421   | 453   | 567   | 453   | 447   | 383   | 411   | 345   | 418   | 382   |
|    | 水量 | 2089  | 2000  | 1992  | 2189  | 1910  | 2110  | 1717  | 1795  | 1577  | 1866  | 1800  |
| 合计 | 电量 | 6544  | 5904  | 5833  | 6194  | 5744  | 5212  | 5526  | 5725  | 5730  | 6249  | 5864  |
|    | 水量 | 25765 | 26177 | 26212 | 25174 | 25110 | 24458 | 25668 | 26712 | 26225 | 28897 | 27535 |

表2 红寺堡三泵站2013年-2023年能源单耗统计表

| 能源单耗kW·h/Ktm | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 4月           | 4.23 | 3.89 | 3.88 | 4.13 | 3.91 | 3.75 | 3.80 | 3.76 | 3.91 | 3.82 | 3.85 |
| 5月           | 5.16 | 3.91 | 3.83 | 4.43 | 4.08 | 3.82 | 3.81 | 3.85 | 4.06 | 3.85 | 3.83 |
| 6月           | 4.24 | 3.96 | 4.03 | 4.41 | 4.14 | 3.78 | 4.08 | 3.82 | 3.90 | 3.87 | 3.84 |
| 7月           | 4.92 | 3.95 | 4.06 | 4.49 | 4.17 | 3.88 | 3.81 | 3.86 | 3.99 | 3.90 | 3.83 |
| 8月           | 4.70 | 4.58 | 4.06 | 4.55 | 4.20 | 3.99 | 3.80 | 3.93 | 3.90 | 3.97 | 3.84 |
| 11月          | 4.58 | 4.06 | 4.01 | 4.43 | 4.12 | 3.84 | 3.88 | 3.86 | 3.94 | 3.90 | 3.84 |
| 年平均          | 4.63 | 4.06 | 3.98 | 4.41 | 4.10 | 3.84 | 3.86 | 3.85 | 3.95 | 3.88 | 3.84 |

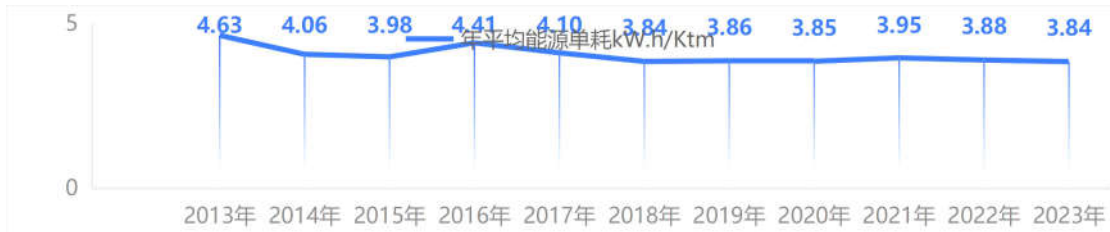


图1

3.3 红寺堡三泵站能源单耗分析

根据表2和图1中的多年平均能源单耗可以看出，在2018年进行节能改造之后，能源单耗下降到4以下。且通过分析2013年至2017年平均能源单耗为4.24kW·h/Ktm，

2018至2023年平均能源单耗3.87kW·h/Ktm，减少0.37kW·h/Ktm。

3.4 红寺堡三泵站节约电能分析

根据表1可以分析得出单方水所需电能如下：<sup>[2]</sup>

| 年                   | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| kW.h/m <sup>3</sup> | 0.254 | 0.226 | 0.223 | 0.246 | 0.229 | 0.213 | 0.215 | 0.214 | 0.218 | 0.216 | 0.213 |
| 平均                  | 0.236 |       |       |       |       | 0.215 |       |       |       |       |       |

2013年至2017年平均每方水所需电能为0.236kW.h/m<sup>3</sup>，2018至2023年平均每方水所需电能为0.215kW.h/m<sup>3</sup>，减少0.0208kW.h/m<sup>3</sup>（约8.8%）。红寺堡三泵站近11年平均供水量26176万方，本次改造后红寺堡三泵站年平均节约电能544.46万kW.h。

#### 4 结论

红寺堡扬水更新改造工程水泵节能技术采用的综合方案起到了明显效果，节约电能约8.8%，年平均节约电能544.46万kW.h。按照折标准煤系数0.1229kg标煤/kW.h计算，年平均节约煤量为669.14t。泵站节能改造的重要

性和必要性是不言而喻的，通过节能改造，不仅可以提高泵站运行的安全性和可靠性，还提高了经济效益和环保效益，促进供水工程可持续发展。同时，随着技术的不断进步和环保要求的不断提高，泵站节能改造也将成为未来的必然趋势。

#### 参考文献

- [1]红寺堡扬水一至三泵站更新改造工程初步设计报告（宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司）。
- [2]红寺堡三泵站运行管理数据统计表（宁夏回族自治区红寺堡扬水管理处）。