

# 炼油厂循环水系统节能降本措施的探索与应用

孙拥军 (中海沥青股份有限公司, 山东 滨州 256600)

**摘要:** 本文主要探究了各种节能降耗措施在工业循环水系统中的应用, 并以某炼油厂为例, 重点介绍了高效节能技术在其供水工段循环水系统技术改造中的应用情况。该技术改造主要通过分析了原循环水泵的运行工况及系统管路的特性, 设计出了最适应管路特性和用水变化的最优水力模型, 并根据系统实际运行数据定制并更换了4台高效率的节能循环水泵, 解决了原系统设备偏离设计工况运行的问题。此应用经过实施以后, 设备实际运行效率达到87%以上, 每台高效节能循环水泵的功率比原机泵节约电耗14.8%, 设备节电效果明显, 经测算, 自2020年1月份正式投运以来, 设备运行平稳, 截止2023年7月共计节约运行成本约为130余万元。

**关键词:** 炼油厂; 高效; 循环水泵; 节能降本; 措施

## 0 前言

循环水系统是工业生产中非常重要的生产环节, 其高效运行直接影响到全厂的能耗, 同时也是影响企业经济效益的关键因素之一。有研究表明, 工业循环水系统的运行效率在我国仅为50%, 比其它先进国家低20%, 普遍存在能耗较高的情况。

另外, 国内循环水泵在进行设计时, 设计点一般会参照装置的满负荷点, 存在较大的设计余量, 所以在实际运行过程中, 很多都会存在“大马拉小车”的现象, 由此带来了能源利用效率低下的问题。因此, 迫切需要寻找循环水系统节能降耗的有效措施。

## 1 常见的节能降耗措施

### 1.1 风机驱动改造技术

水轮机是将水流的动能转化为机械能来驱动叶轮转动的一种风机设备。用水轮机代替电动机, 相当于直接利用水流能量代替电能, 可以显著减少电能的消耗。除此之外, 与电机驱动叶轮相比, 水轮机还具有很强的稳定性与可靠性, 因为水轮机受外界因素(如电网波动、电力供应不稳定等)的影响较小, 能够提供稳定的能量输出。

现阶段, 大多数炼厂的循环水冷却风机都为传统的电力驱动式风机。但是, 也有部分炼厂, 如中捷石化、大庆石化、扬子石化等采用的是水轮机。中石化青岛石油化工有限公司采用水轮机替代了传统的电力驱动风机。经测试表明, 这一转换过程并未增加系统的能耗, 同时, 水轮机风机的运行效率与电机风机相当, 有效地降低了电能的消耗, 最终降低了整个系统的能耗<sup>[1]</sup>。以水轮机每年工作8000h、电费0.72元/KWh计算, 该公司使用水轮机代替电力驱动风机后, 每年可节省约60万元电力成本, 这一技术的应

用减少了能源的损耗, 节约了企业的生产成本。

虽然水轮机能直接利用水能, 减少电能的消耗, 但是, 水轮机技术是否能在循环水系统中长期实现节能, 还取决于多种因素, 包括水源条件的限制、水轮机的实际效率、与现有循环水系统的兼容性、以及水轮机的安装和维护成本等。因此, 在考虑使用水轮机之前, 需要综合考虑上述因素, 并进行详细的技术和经济评估, 以保证该技术在循环水系统改造中的可行性和经济性。

### 1.2 叶轮切削技术

叶轮切削技术通常是指在泵或涡轮的叶轮上进行物理切削, 以改变叶轮的几何形状和尺寸, 从而调整设备的性能参数, 如流量、扬程、效率和功率等。这种技术通常用于修复或调整已经制造完成的叶轮, 以适应实际应用中的特定需求。这一过程能够显著降低水泵在运行过程中的能耗, 从而实现节能的效果。

使用叶轮切削技术的机泵, 通常是由于装置设计初期机泵选型不合适, 导致机泵长期在低于其最佳工作点的情况下运行。而当系统实际所需流量偏低时, 操作工人会通过关小调节阀来降低实际流量, 此时, 机泵的出口压力会增加, 为了能让机泵在处于较高的压力下仍然能够正常工作, 则需要增加更多的能耗来克服额外的阻力, 由此造成了机泵的能耗增加, 不利于设备的节能降耗。

某循环水场对其循环水泵进行了叶轮切削改造, 切削之前, 循环水泵的出口压力为0.75MPa, 水泵的运行电流为53A, 切削之后, 水泵的出口压力降低至0.6MPa, 运行电流也降低至47A。按该水泵按照每年运行300天, 电价为0.73元/KWh计算, 这一优化每年可节省约60万元的电力成本<sup>[2]</sup>。

叶轮切削技术通过物理方法改变了水泵叶轮的几何尺寸,从而影响泵的流量和扬程,进而影响功率,具有改造时间短、改造成本低、改造灵活性强、改造难度小等特点。但是,在实际应用中,叶轮切削技术也存在一些局限性。比如,切削精度要求高,如果切削不均匀或角度偏差过大,可能会导致泵的使用性能下降,产生震动和噪声。再比如,适用范围有限,并非所有类型的水泵都适合使用叶轮切削技术,对于一些高压或大流量的泵,切削可能无法达到预期的效果。还比如,可能影响泵的稳定性,叶轮的切削可能会改变泵的水力特性,导致泵的稳定性下降。特别是在高压力工况下,叶轮的改动可能会引起泵的振动,影响泵的运行稳定性。因此,虽然叶轮切削技术在理论上是一种有效的节能方法,但在实际应用中需要综合考虑成本、技术、和实际需求等多方面的因素,以确保其能够发挥预期的效果。

### 1.3 变频调速技术

变频调速技术是在机泵节能领域中被广泛采用的一种节能技术措施。该技术节能降耗的关键点在于变频器的输出频率与电机转速之间存在显著的线性相关性。根据流体力学的基本原理,风机的风量和水泵的流量与电机的转速呈线性关系,风压或泵的扬程与转速呈平方关系。这意味着风量或流量会随着电机转速的增加而增加,风压或扬程会随着转速的平方增加而增加。最为关键的是,机泵的轴功率和机泵的转速的三次方成正比关系,这意味着,当系统的流量需求减少而降低机泵的转速时,将导致机泵的功率按照转速的三次方比例急剧下降。所以,通过精准调控变频器的输出频率,能够精确地控制水泵的流量和扬程,从而显著降低电能的消耗。

某钢铁厂循环水系统通过应用变频调速技术,根据循环冷却水的给水温度和实际回水温度,并结合冷却水泵的实际运行情况,得出了实际生产所要求的冷负荷量,然后,对循环冷却水泵的运行数量进行了自动优化,实现了节能最大化的目的,按照每天24小时不间断运行,全年工作300天,电费单价0.62元/KWh来计算,该厂全年共节约电费约为3356763.76元<sup>[3]</sup>。

变频调速技术尤其适合应用于那些设备参数波动比较频繁的场所。其核心优势在于,这种技术无需对现有设备进行大规模改造,从而避免了干扰设备的正常运行,同时减少了改造后设备与循环水系统不匹配的风险。

通过应用变频调速技术,我们能够实现对电机转速的精确控制,以适应不断变化的工艺需求。这种灵

活的调节方式不仅降低了改造的复杂性和成本,还减少了设备的停机时间,确保了生产过程的连续性和稳定性。此外,变频调速技术的动态调整能力还有助于优化整个系统的性能,避免了因设备性能与循环水系统不匹配而引起的效率下降和能耗增加的问题。

然而,变频调速技术在实际应用中也有其自身的局限性。比如,初始投资成本可能很高,变频器的购买和安装通常需要一定的投资,对于小型或低成本设备,这可能会影响到投资回报率。再比如,运行环境要求高,变频器对运行环境有一定的要求,如温度、湿度、尘埃等,极端环境还可能会影响变频器的性能和寿命。再比如,维护保养要求高,变频器需要定期进行维护,包括散热器清洁、电路检查等,以确保其长周期稳定运行。因此,在考虑采用变频调速技术时,需要综合考虑这些局限性,并评估其对特定应用场景的适用性和经济性。

### 1.4 高效节能技术

在流体输送领域,高效节能技术已成为一种先进的系统优化方法,主要解决流体输送系统中普遍存在的效率低下和能耗过高等问题,该技术通过实时监控系统的实际运行数据,能够精确诊断出导致高能耗的根本原因,并通过深入分析与研究,确定出最优的工作点,进而提出最佳的设备匹配方案<sup>[4]</sup>。

某铝业公司采用了高效节能技术,在未改变其系统压力及流量的前提下,对其生产车间三套循环水系统进行了改造。技术改造前后的电耗数据显示,循环水冷却系统的年耗电量从改造前的1520996KWh,降低至了875560KWh,由此得出,每年可以节约645436KWh的电量。电费以0.45元/KWh计算,该公司年节约运行成本约为29万元。

高效节能技术的应用也存在一定的局限性,以高效节能泵为例,首先,定制高效率的节能水泵可能需要较高的初始投资。其次,新装的节能泵可能需要对现有的循环水系统进行一定的改造,以确保与系统的兼容性。最后,高效节能水泵可能需要更复杂的维护和保养,这可能会使维护成本增加。因此,在考虑采用这种高效节能技术时,需要综合考虑这些局限性,并评估其对特定应用场景的适用性和经济性。

## 2 早期循环水系统运行状况

### 2.1 循环水系统工艺简介

某炼油厂公用工程供水工段循环水系统利用各有关生产装置冷却器产生的循环热水进入循环水场,采

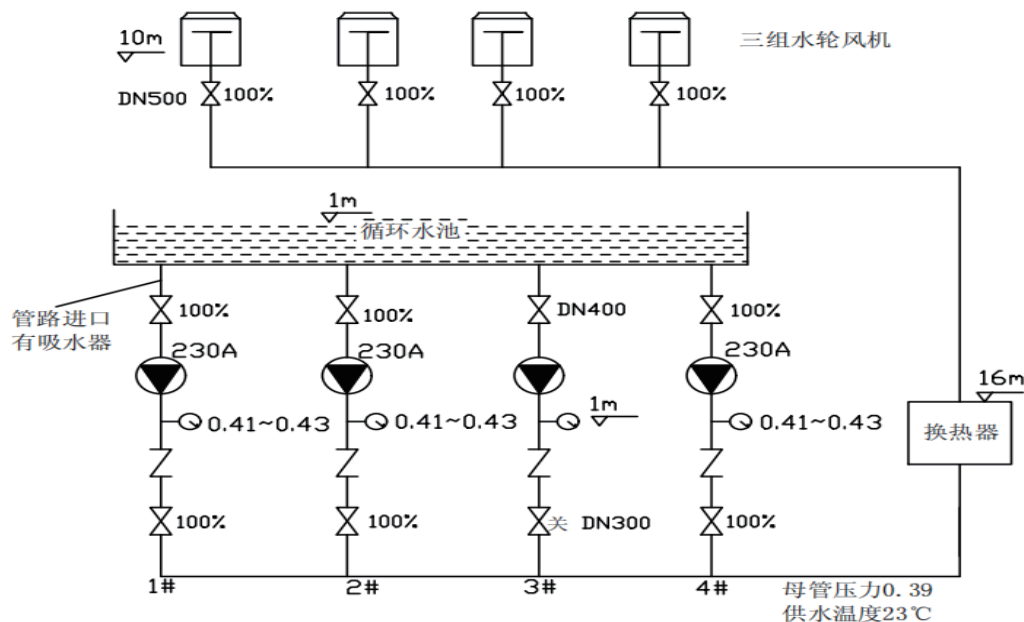


图1 循环水系统运行工艺简图

用冷却塔冷却方式进行冷却，然后，调配水质进行水质稳定处理，控制PH在7.0-9.2范围内，达到工业用冷却水使用要求后，再经冷水泵进行加压，最后供给各有关生产装置继续循环利用。该炼厂的早期4台循环水泵全部为SH型号水泵，全年三泵运行。其工艺流程简图如图1。

## 2.2 早期循环水泵运行参数诊断

首先，原循环水泵为J系列水泵，而J系列是我国的早期产品，体积过大，耗能过大，浪费资源，比Y系列和YX电机平均要耗能4~7%。其次，SH型号水泵由于老化，本身效率偏低。最后，该炼厂的早期循环水泵额定扬程为H=49m，流量为720m<sup>3</sup>/h，而实际运行扬程在41-43m，水泵出口压力波动较大，进口管路吸水条件也不佳，水泵叶轮容易出现气蚀，运行电流偏低，功率偏低的现象，水泵流量较铭牌流量偏差也较大。其运行工况参数如表1。

## 3 循环水系统技术改造步骤

### 3.1 技术改造的前提条件

循环水系统技术改造的前提条件是，不能影响冷

换设备的冷却效果。循环水系统的控制参数对冷换设备的冷却效果有着直接的影响，这些参数主要包括循环水供水温度、冷换设备流量、水程污垢系数。如果改变循环水系统的控制参数后，导致了冷换设备流量下降、循环水供水温度升高，和水程污垢系数的增加，这些都会给安全生产埋下隐患。因此，循环水系统技术改造方案至少应满足以下三个前提条件。

#### 3.1.1 较低的冷换设备供水温度

在许多生产工艺过程中，保持特定的温度对于生产过程至关重要，如果供水温度过高，则可能意味着无法及时从系统取走热量，轻则影响产品质量，严重时，还可能导致换热器结垢，超温，缩短设备使用周期，造成非计划停工。优化循环水系统的目标之一，就是降低供水温度，同时保持或提高换热效率，这也是评估改造方案是否为最优方案的一个重要指标。

#### 3.1.2 较大的冷换设备流量

当冷换设备如换热器的流量增加时，冷流体会更快地流过换热表面，从而能更有效地带走热量，整体换热效率就会更高。而进入换热器的流量与循环水泵

表1 循环水泵运行工况参数

水泵	扬程 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /h)	电机型号	额定功率 (Kw)	转速	运行电流 (A)	运行功耗 (kW)
1# 泵	49	720	JS116-4	155	1450	230	131.7
2# 泵	49	720	JS116-4	155	1450	230	131.7
3# 泵	49	720	JS116-4	155	1450	230	131.7
4# 泵	49	720	JS116-4	155	1450	230	131.7

的扬程成正比,如果循环水泵的扬程降低之后,进入换热器的最大流量仍然不受影响,那么可以认为系统的设计余量很大,可以安全地减少扬程。然而,需要注意的是,即使降低水泵扬程后换热器的最大流量没有变化,也必须确保系统中的其他设备在所有操作条件下都能获得足够的水流量和压力。

### 3.1.3 较小的水侧污垢系数

污垢系数反映了流体侧污垢对换热效果的影响,污垢系数越大,流体(比如循环水)侧的换热阻力越大,换热效率越低。由于换热效率降低,为了达到相同的换热效果,则需要更多的能量输入。这样会导致能耗的增大。因此,在优化和改造循环水系统前,必须考虑到污垢系数的影响,必要时,可采取措施尽可能地降低污垢系数,如改进水处理工艺、使用防污垢涂层、在线除垢等,以达到提效和节能的效果。

### 3.2 管网的优化

根据实际生产经验,结合管网各段实际流量及压力的变化状况,进行了流量和压力平衡分析,然后,基于分析的结果,建立了管网的水动力学模型,并根据现有管网的输送能力制定出了系统的最优运行方案,同时,加强了对管网薄弱点处的控制,预留出了足够的富裕量来满足安全生产。而且,在此基础上,还保证了系统性能曲线和管网性能曲线的匹配,实现了系统阻力的优化。优化后,水泵进出口阀门及冷却塔上的阀门全开或部分打开,减小了出口局部的阻力,以保证水泵进出口流态达到了最优化的状态,提高了水泵的运行效率。

### 3.3 循环水动力装置的优化

根据生产需要,循环水系统技术改造的前提条件是,不能影响换热设备的冷却效果。所以在此前提下,结合原循环水泵的运行工况及系统管路的特性,对运行工况进行了模拟和流场分析,通过对原有水泵内的介质进行流动状态分析,设计出了最适应管路特性和用水变化的最优水力模型。为了设计出高效节能循环水泵,将现场实际运行状况和 CFD 设计技术相结合,引进并更换了 4 台高效率循环水泵,更换前后整个循环水系统运行参数与原参数相同。

## 4 循环水泵改造后的效果

### 4.1 使用性能的变化

该炼油厂循环水泵与改造之前相比,改造后的高效循环水泵具有以下优点,首先,由于是针对装置进行的量身定制,因此,机泵始终能在最佳工况点处工

作。其次,高效节能泵叶片宽、阻尼系数低、流量大,这使得机泵的高效区范围更宽,工况点效率可达 88%,能够更好地适应各种负荷的变化。再其次,因为采用了最新的 CFD 叶轮技术,并配套设计了循环水泵蜗壳和泵体,最大程度地减少了机泵泵体内的损失,因此,提高了机泵的实际运行效率,增强了设备的可靠性。最后,由于更换了高效节能电动机,实际生产中可以节能 4% ~ 7%,直接降低了能量的消耗。

### 4.2 经济效益

该炼油厂的供水工段循环水系统共改造四台水泵及四台电机,改造后,运行模式为开三备一,改造前循环水泵电机功率为 155KW,改造后,高效节能循环水泵电机功率为 132KW,按 8000h/年运行时间计算,电费按 0.65 元/KWh 计算。自 2020 年 1 月份正式投运以来,设备运行平稳,截止 2023 年 7 月共计节约运行成本约 130 余万元。

## 5 结语

某炼油厂在其公用工程供水工段循环水系统节能降耗技术改造中,通过分析了原循环水泵的运行工况及系统管路的特性,设计出了最适应管路特性和用水变化的最优水力模型,并根据系统实际运行数据定制并更换了 4 台高效率的节能循环水泵,解决了原系统设备偏离设计工况运行的问题。此应用经过实施以后,设备实际运行效率达到 87% 以上,每台节能泵的功率比原泵节约电耗 14.8%,该项目投用后,设备节电效能明显,经测算,自 2020 年 1 月份正式投运以来,设备运行平稳,截止 2023 年 7 月共计节约运行成本约为 130 余万元。

### 参考文献:

- [1] 高莹,李军.水轮机节能技术在石化行业循环水冷却塔中的应用[J].中外能源.2014,19(10),98-101.
- [2] 夏亮,刘锦程,袁文博.石油化工循环水系统节能优化技术探析[J].化工管理.2017(19),112-114.
- [3] 朱燕.变频节能在循环水系统中的应用[J].医药工程设计.2010,31(04),53-57.
- [4] 邓永春,向波.流体高效节能技术在冷却循环水系统的应用[J].四川有色金属.2013(03),54-57+66.

### 作者简介:

孙拥军(1970-),男,汉族,山东滨州市人,工程师,大学本科,单位,中海沥青股份有限公司,研究方向,石油化工。