

泵站运行效率的关键控制技术研究

项德银, 严凯, 刘涛

(江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223001)

摘要 节能减排是影响我国经济长远发展的必然选择, 也是推进可持续发展理念的必然需求, 节能减排的低能耗是推进国民经济快速发展的源泉, 基于这一理念, 不断提升泵站效率的运行管理核心技术, 并对其进行改进, 是提升泵站节能、高效运营的基本途径。因此, 本论文对泵站的各个重要部件和设备进行了深入的研究和分析, 归纳和讨论了如何提升泵站等水工建筑的综合效率, 以期为同行业人员提供参考。

关键词 泵站; 运行效率; 控制技术

中图分类号: TV67

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)01-0118-03

泵站是水利水电工程、城乡给排水工程和一些行业中不可缺少的设备。到现在为止, 我国仅灌溉水泵就有超过 8700 万千瓦的装机容量。泵站的效率是指泵站消耗的能量与输水能力之间的对比, 影响泵站整体运行效率的因素有很多, 如电机的效率、水泵的型式、变压器的损耗等。改善以上各个环节的局部效率, 是提升整个水泵系统整体效率的重要手段, 具有十分重要的意义。

1 影响泵站效率的因素

1.1 运行效率影响因素

1.1.1 电动机

一些电动机因为生产质量不高或安装精度不高, 在运转中的功率损耗很大, 很可能导致运转中振动大、温度高, 从而加快电机中绝缘材料的老化和破坏。在计算与水泵相匹配的电机时既要考虑电机不能超负荷运行, 也要避免选择过大功率电机造成长期低负荷运行, 使系统整体效率降低。

电机的效率为电机消耗的电能与转换成机械能之比。在正常的工作状态下, 机械损耗和铁损耗基本不会发生变化, 被称为不变损耗, 而定、转子铜损耗会发生变化, 被称为可变损耗。具体来说, 在可变与不变损耗都是一样的情况下, 电动机的效率是最高的, 在空载的时候, 转子电流很小, 它的输出功率和电动机的效率都是零, 当负荷增大的时候, 它的输出功率和电动机的效率都会提高, 如果超出了额定负荷, 那么它的输出功率的增长将会低于可变损耗的增大, 而电动机的总体效率将会降低^[1]。

1.1.2 水泵

导致水泵效率下降的主要原因有: (1) 在长时间

的运转中, 由于水流冲刷, 导致了流道的表面和内部表面的粗糙度增加, 使得流动阻力增加, 水力损耗增加。

(2) 硬化的水质导致泵壳内部出现大量的结垢, 结垢的存在增大了泵壳壁厚度, 在内壁处生成垢瘤, 从而减少了泵体体积, 降低了泵体的抽水量, 同时由于流动通道的不平整, 导致了水力损耗和体积损耗的增大; (3) 长期运转造成水泵机构的持续磨损, 增加了水泵的阻力和水分的损耗, 从而降低了系统的容量利用率; (4) 由于堵塞阻力增加或杂质的纠缠, 使泵轴和叶轮的旋转受到影响, 从而降低了系统的效率^[2]。

(5) 水泵加工工艺等原因导致水泵铸造有缺陷或者水泵安装质量不高, 后期维护管理不到位使得水泵磨损加快导致效率降低。

1.1.3 变压器

变压器的效率是指变压器二次侧的有功与一次侧的有功之比。二次输出有功功率 $P_2 = \beta S_N \cos \Phi_2$, 其中 β 代表的是负荷因子, 它是变压器二次侧的负荷电流与额定电流的比值, S_N 代表的是变压器的视在功率, $\cos \Phi_2$ 代表的是负荷的功率因子。而在此基础上, 将一次侧的有功与一次侧的有功相结合, 得到了一次侧的有功相结合的计算公式。变压器损耗具体包含了两部分, 一部分是铁损耗 P_{Fe} , 另一部分是铜损耗 P_{Cu} , 其中铁损耗属于不变损耗, 在额定电压下, 它大致等同于空载时有功功率 P_0 , 也就是 $P_{Fe} \neq P_0$, 铜损耗 P_{Cu} 会随着负荷发生改变, 被称为可变损耗, 在额定电流下, 铜损耗大致等同于短路试验电流为额定值时输入的有功功率 P_{kn} , 当负载不为额定负荷时, 铜损耗与负荷系数的平方成正比, 也就是 $P_{Cu} = \beta^2 P_{kn}$ 。公式为:

$$\eta = \beta S_N \cos \Phi_2 / (\beta S_N \cos \Phi_2 + P_0 + \beta^2 P_{kn})$$

根据分析结果, 得出了一种计算方法, 即在某一

特定情况下, 变压器的工作效率取决于负荷的大小及负荷的功率因子。在恒定的条件下, 也就是在恒定的负荷中, 随着负荷的功率因子 $\cos \phi_2$ 的增大, 其效率也随之增大。在载荷功率因子不变的情况下, 载荷因子对系统的效率影响较大。在 $P_0 = \beta^2 m P_{kn}$ 时, 变压器的效率是最高的。换言之, 在变压器 $\beta < \beta_m$ 的时候, 输出电流会增加, 输出功率也会随之提高, 同时铜损耗也会提高。因为此时 β 值较小, 铜损耗较小, 铁损耗相对较大, 所以总损耗虽然随 β 值增加, 但是没有输出功率增加的速度快, 所以效率也是提高的。在铜线损失与铁线损失相等时, 其转换效率为最大。在 $\beta > \beta_m$ 时, 铜损耗成为损耗中的主体, 并且因为铜损耗与电流的平方成正比, 输出功率与电流成正比, 所以变压器效率随着 β 的增加反而下降^[3]。

1.2 对综合效率的影响权重

各个阶段的效率之积, 即为整个泵站的整体效率。在不同的工况下, 各个部件的效率变动范围存在很大的差别, 因而对整体效率的贡献率也不尽相同。从对影响各环节效率的因素的分析可以看出, 随着负荷系数变化, 变压器的效率变化明显, 在理论上其变化范围可以达到 0~99% 以上。电机从无载至有载负荷时, 其工作效率可在 0~90% 之间, 有载负荷时, 其工作效率可在 75%~95% 之间。通常来说, 由于水泵的种类的原因, 其效率是不一样的, 在日常维修和工作中, 水泵的效率在 65%~90% 之间, 大型泵的效率可以达到 90%。管道的水头损失对管道的效率起到了重要作用, 对于泵站来说, 通常管道的长度比较短, 在管道出入口处的流速和水头损失比较小, 所以对于进出口局部损失, 几乎可以不用考虑, 泵站的综合效率受到管道能量耗失的影响比较小。传动公式确定了传动设备效率, 通常情况下, 6~7 级精度齿轮、弹性联轴器的传动效率分别为 0.98~0.998 和 0.99~0.996, 联传动效率、带传动效率分别为 0.96~0.98 和 0.97~0.98, 可使用联轴器直接将水泵与泵站电动机进行连接, 泵站综合效率受到传动设备效率的影响比较小。由于一般进、出口池中的水位波动很少, 当在与泵站扬程相比很少或者几乎可以不考虑时, 出入池的效率可以接近 100%, 因此出入池的效率的波动对整个泵站的整体系统的效率的影响很少。

通过以上的研究, 指出了水泵装置及电气装置的工作效率对泵站的工作效率有很大的影响, 因此, 要想使水泵装置及电气装置更好地发挥作用, 就必须要做好对水泵装置、电气装置等的工作。

2 泵站运行效率的关键控制技术

2.1 变压器负载率调整

在维持泵站过水量的前提下, 采用独立运行或并联的方法来对变压器负荷率进行调节, 通常情况下, 变压器负荷率的取值范围为 0.50~0.78, 当负荷率达到 0.8 时, 就应该调高变压器容量, 当负荷率低于 0.2 时, 就应该调低变压器容量, 这样就可以提升其运行效率。利用异步机、同步机的组合运行以及同步机的无功功率补偿特性, 能够对无功功率进行有效地降低, 从而可以提高变压器的负荷功率因数, 提高其运行效率。

2.2 提高水泵的运行效率

想要提高水泵的运行效率, 就要合理地指导、选用、安装水泵装置。在选用水泵装置时, 要综合考虑水泵装置的性能曲线、泵站工程的扬程以及水泵装置的设计流速, 以保证泵装置的有效运转。水泵的有效功率 $P = \rho g Q H / 1000$, 其中, ρ 为水的密度, g 为重力加速度, Q 为水泵流量, H 水泵扬程。水泵的特性曲线是指由水泵生产厂商根据实验资料, 画出的可吸入空气余量或真空高度、效率、轴功率、扬程和其他一些参数随水流速度的改变而改变的一条曲线, 而在实际工作中, 最大的效率点就是 $Q \sim \eta$ 曲线的顶端。在平时的运行管理中, 水泵很少能够完全地在最高效率点上进行工作, 所以, 水泵的工作环境通常是选择在最高效率点下降 5%~7% 之间的区间, 在确保过水量的前提下, 通过调整机组设备的组合方法, 能够有效地处理进池塘的水位过高或者过低的问题, 从而让水泵保持有效的运转。(1) 保证水泵设备安装和维修保养的质量, 在水泵维安装和维修保养时, 要保证安装间隙、摆度、水平、同心度等指标精度符合规范要求, 适当地使用弹性填充剂, 如果由于水质中含有大量的淤泥而造成叶片的磨损, 则要立即维修, 以改善管路的内壁、泵体或叶片的表面光洁度;(2) 防止或缓解水泵的汽蚀, 汽蚀对水泵会造成很大的危害, 汽蚀发生时, 水泵的进口压力小于环境温度下的液体的饱和蒸气压时, 液体中有大量蒸汽逸出, 并与气体混合形成许多小气泡。当气体到达高压区时, 蒸汽凝结, 气泡破裂, 气泡的消失导致产生局部真空, 水流迅速冲向气泡中心, 并产生强大的碰撞力, 最高可以达到 35MPa~5600MPa, 冲击频率可以达到 2 万~3 万次/s, 水泵产生的剧烈晃动导致金属表面硬化变脆、塑性变形, 甚至会击穿叶片, 对设备安全运行造成影响。针对汽蚀现象的成因, 采取以下防止汽蚀现象发生的措施: 一是进水池的流速要均匀, 防止出现旋流, 当流场不稳定时, 可采用

改变进水流动和进水池等方法,减少汽蚀现象;二是叶片可调节式水泵,可以通过调整节叶角度保证水泵能够按照设定的工作条件运行;三是为了确保水泵的进水口浸深,在运转时,要避免进水口液位过低;四是减少或防止水泵磨损,水泵在较长时间内处在零件与零件和水流与零件之间的摩擦中,可以通过增强耐磨损能力,降低磨损等来确保装置的寿命。在这些部位中,最有可能发生磨损损坏的部位就是轴套和轴瓦,为了防止它们的不正常磨损,可以采用以下几种方法:一是对它们进行适当的间隙设计,如果缝隙太大,就会产生很大的震动,如果缝隙太大,就不能很好地起到限制的效果,从而产生不正常的振动,如果缝隙太小,就很难得到有效的润滑和切断,而且在轴套和轴瓦之间很可能会产生摩擦;二是为了确保零件的耐磨性,例如使用具有较高硬度的耐磨性的轴承或用其他材质代替橡胶衬里;三是在密封箱内,应立即更换密封件,防止密封件因长期浸泡而硬化,从而增加密封件对传动箱的磨损^[4]。

2.3 加强水系的维修保养

水泵在一定的工况下,必然会出现一定的磨蚀,这就使泵内部损耗增大。为此,应加大对泵的监控力度,对其进行定期检修和更换损坏的零件,以确保泵的长周期运行。作为水泵最重要的零件级部件,其外形和内部零件是否光滑,将会对水泵的高效运行产生很大的影响。若水泵在出厂时制造不平整,或因长时间的使用而造成损耗,则会导致泵在运转中的动力损耗增大,从而导致泵的效能下降。出水弯头等内壁的处理不光滑,对泵的运行也有不利的影响,因此通常通过对其进行抛光或者粗化处理,从而提升泵的运行效率。针对窄流道离心泵的清洗难度大的特点,通过对其进行研磨(例如碳化硅、二氧化硅等),改善其清洁效果。泵运转时,应随时注意密封圈的开紧度,密封圈过密或过密均会导致泵的效能下降。另外,当填料盒内的填充物丢失后,要立即进行替换,否则不仅无法达到填充物的密封效果,而且还会影响泵的流量和效率。

要确保泵的工作质量,除了其本身的特性以外,还与泵的装配精度密切相关。若装配精度达不到规定的标准,造成机组主轴孔与竖向中心偏差,不但会导致效率下降,而且会造成较大的震动、噪声,造成电动机发热。采用可调节导叶的轴流泵,每一个导叶之间的夹角必须一致,不然在工作过程中,每个导叶受到的压力都不一样,不但会引起振荡,而且会增大水泵的水压损耗。对于具有涡轮型结构的叶栅泵,如果

涡管轴和叶轴有很大的偏差,就会产生震动,进而影响到水泵的流量和效率。

2.4 提高电动机运行效率

通常采用的技术方法有:(1)对水泵与电动机的功率进行适当的匹配,电动机的负荷率通常不低于0.7,当负荷率低于0.5的时候要进行及时的更换或调节。为了确保电动机的安全运转,并不一定要维持在额定负荷下运转,例如使用同步化运转时,异步绕线式电动机的最大容许负荷率为0.85;(2)对污物粉尘进行及时地清除,使空气流通良好,并对因温升过高而使电动机绕组的阻力增加、损失增加而使效率降低的温升进行有效的控制;(3)对电力单元进行周期性维修,并对轴承进行润滑,以降低磨损和能量消耗,从而改善电机的效率;(4)用频率变化、转差率变化、磁极变化等方法来调整泵的工作条件,实现泵的工作条件的调整,使之能够实现经济工作^[5]。

3 结语

泵站在进行过程中受诸多因素的影响,相关人员要对影响泵站效率的主要原因进行重点的控制,提出行之有效的设备操作维护和管理的方法:水泵、电动机和变压器等主要设备都有它们的效率高点,电动机和变压器能够实现高效运转的关键是对负荷率进行合理的设定,而确保水泵高效运转的核心是对运行水位进行合理的控制。各单元的工况组合,其工作效果也是各不相同的,所以要合理地确定各单元的工况组合,包括异步电机与同步电机的最佳组合,计算汇合过水量,以及水泵与动力装置的有效工作所需的负荷与水位。强化设备的技术改造与保养,采用高效的保养与管理技术,降低水泵、电动机、变压器等设备的能耗,提高整个泵站的运行效率。

参考文献:

- [1] 庄伟栋,沈春林.泵站运行效率的关键控制技术研究[J].地下水,2022,44(02):284-286.
- [2] 刘小莲,田雨,雷晓辉,等.梯级泵站群安全高效运行关键技术研究[C]//中国水利学会2018学术年会论文集,2018.
- [3] 王兵.基于提高泵站效率的运行管理关键技术探讨[J].中国水运(上半月),2020(07):138-141.
- [4] 程一鸣.基于提高泵站效率的运行管理关键技术探讨[J].百科论坛电子杂志,2021(12):2076.
- [5] 王志峰.泵站运行存在的问题及对策研究[J].农业科技与信息,2022(05):93-95.