

基于提高泵站效率的运行管理关键技术探讨

王兵

(山东省调水工程运行维护中心莱州管理站, 山东 莱州 261400)

摘要: 泵站是水资源调配工程的枢纽, 随着水利事业的发展, 泵站数量越来越多。在确保安全、可靠运行的基础上, 提高泵站运行的效率, 对节能降耗意义重大。通过对影响泵站运行效率的多因素分析, 以及对南水北调东线工程东宋泵站的设备运行数据分析, 结合日常运行维护管理, 提出了控制合理的负载率、运行水位, 降低损耗的维护维修技术, 提高泵站运行效率的关键技术方法, 对提高类似泵站的运行效率和进行节能改造具有一定的借鉴意义。

关键词: 效率; 管理; 关键技术

中图分类号: TV675

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2020) 07—0138—04

目前, 中国现有大、中、小型各类固定式排灌泵站 50 多万座, 装机容量突破 8700 万千瓦, 尤其是近年来南水北调等大型引调水工程的建设, 泵站的建设和规模越来越大, 泵站作为水资源调配工程的枢纽, 在防洪、排涝、供水等方面发挥重要作用。但由于设计标准低、设备老化、工程缺乏有效维护、管理薄弱等原因, 大中型泵站平均装置效率仅为 40% ~ 50%, 能源单耗 6 ~ 7kW.h/(kt.m), 距部颁标准 $e \leq 5\text{kW.h}/(\text{kt.m})$

相差甚远, 不符合建设节约型社会的需要。因此, 在确保安全运行的基础上, 泵站应以提高效率为目标, 加强技术管理, 达到节能降耗的目的。

1 泵站效率影响因素分析

泵站效率是泵站的有效功率与输入功率比值的百分数, 是由动力设备效率、传动效率、水泵效率、管道效率、进出水池效率、辅机设备效率等各环节组成的综合效率。

表 1 平台表层土壤信息和钢桩总体情况

平台编号	场地所属海域	表层土壤描述	钢桩重量、桩长、直径
KQT-WHPA	东海	地表以下 0-3.8 m 粉质细沙, 与桩壁摩擦角仅为 15°; 3.8-4.8 m 软的黏土; 4.8-7.6 m 中密粉质细沙, 与桩壁摩擦角仅为 20°; 7.6-9.7 m 硬粉质黏土; 9.7-11.4 m 中密粉土, 与桩壁摩擦角仅为 15°; 11.4-55.9 m 硬到非常硬的粉质黏土	509 MT、123.6 m、2438 mm
KQT-WHPB	东海	地表以下 0-4.9 m 粉质黏土, 与桩壁摩擦角仅为 20°; 4.9-5.9 m 稍硬的粉质黏土; 5.9-7.4 m 中密粉质细沙, 与桩壁摩擦角仅为 25°; 7.4-42.4 m 硬到非常硬的粉质黏土	372 MT、110.2 m、2134 mm
DF1-1 PRP	南海	地表以下 0-50.6 m 深度主要以粉质黏土为主, 黏土硬度由非常软到非常硬; 中间加两层粉土、砂质粉土, 粉土与桩壁摩擦角仅为 15°	369 MT、118.5 m、2134 mm
DF13-2 CEPB	南海	地表以下 0-74.8m 深度主要以粉质黏土为主, 黏土硬度由非常软到非常硬; 中间加两层粉土、粉质细沙, 两层非粘性土相对较薄厚度 2-3 m	574 MT、146.5 m、2438 mm
DF13-2 WHPA	南海	地表以下 0-102.9m 深度主要以粉质黏土为主, 黏土硬度由非常软到非常硬; 中间加一层中密粉土, 层厚度 4.6 m	368 MT、120.5 m、2134 mm
WC92-93 CEP	南海	地表以下 0-1.4 m 粉质细沙, 与桩壁摩擦角仅为 15°; 1.4-27.9 m 稍硬黏土; 27.9-31.1 m 粉质黏土中加粉质细沙, 与桩壁摩擦角仅为 20°; 31.1-37.9 m 稍硬粉质黏土	569 MT、141.7 m、2438 mm

现场实测数据, 规范法和软件数值模拟估算钢桩自由入泥深度列于下表:

表 2 现场实测, 规范法和数值模拟估算钢桩自由入泥深度

平台编号	钢桩自由入泥深度 (m)		
	现场实测数据	规范法估算值	数值模拟估算值
KQT-WHPA	38	12.8	39.4*
KQT-WHPB	36-37	10.2	37.2*
DF1-1 PRP	46-47	16.4	30.1
DF13-2 CEPB	42	18.9	40.7
DF13-2 WHPA	54-56	24.4	33.5
WC92-93 CEP	38	16.2	35.5

注: 自由入泥深度软件数值模拟计算中, 土壤对桩侧摩阻 SCR 进行折减。“*”

根据地质调查报告中提供折减系数对 SCR 进行折减, 其余数值模拟根据规范采用 50% 的折减系数对 SCR 进行折减。

以上计算结果对比总结如下:

- (1) 规范计算值远小于实测值, 估算偏于保守;
- (2) 相比较数值模拟估算值更接近于实测值;
- (3) 数值模拟采用地质调查报告中提供折减系数估算结果, 相比采用规范规定的折减系数估算结果更接近于真实值;
- (4) 表层土壤以粘性土为主的场地钢桩自由入泥深度, 相比于粘性土与砂土相互叠层的场地要大。

4 结语

钢桩自由入泥深度的准确估算, 对钢桩打桩施工安全性、工程的经济性有重要的影响。合理地估算钢桩自由入泥深度一直是钢桩设计中的难点。本文结合工程实际, 对钢桩自由入泥深度估算进行了有限的探讨, 在工程实际中要想准确估算还需结合具体情况进行分析。

参考文献:

- [1] API RP 2A WSD 2007 Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design.
- [2] API RP2 GEO 2011 Geotechnical and Foundation Design Considerations.
- [3] GRLWEAP 软件说明帮文件。

1.1 动力设备效率的影响因素

1.1.1 变压器

变压器效率是变压器二次输出的有功功率与一次输入的有功功率的比值。二次输出有功功率 $P_2 = \beta S_N \cos \Phi_2$ ，其中 β 为负载系数，是变压器二次侧负载电流与额定电流的比值， S_N 为变压器视在功率， $\cos \Phi_2$ 为负载的功率因数。同时，变压器二次输出有功功率也等于一次输入有功功率减去变压器损耗。变压器损耗包括铁损耗 P_{fe} 和铜损耗 P_{cu} ，铁损耗为不变损耗，额定电压下近似等于空载时有功功率 P_0 ，即 $P_{fe} \approx P_0$ ，铜损耗 P_{cu} 随负载变化，称为可变损耗，额定电流下铜损耗近似等于短路试验电流为额定值时输入的有功功率 P_{kn} ，负载不为额定负载时，铜损耗与负载系数的平方成正比，即 $P_{cu} = \beta^2 P_{kn}$ 。这样变压器效率公式为：

$$\eta = \beta S_N \cos \Phi_2 / (\beta S_N \cos \Phi_2 + P_0 + \beta^2 P_{kn}) \quad (1-1)$$

β 为负载系数， S_N 为变压器视在功率， $\cos \Phi_2$ 为负载的功率因数。从变压器效率公式可知，对于一台给定的变压器，运行效率的高低与负载的大小和负载的功率因数有关。当 β 一定时，即负载的电流大小不变时，负载的功率因数 $\cos \Phi_2$ 越高，效率 η 越高。当负载功率因数一定时，效率与负载系数的大小有关。对式 (1-1) 取 η 对 β 的微分，其值为零时的 β 即为变压器最高效率时的负载系数 β_m ，可以得出当 $P_0 = \beta_m^2 P_{kn}$ 时，变压器效率最高。也就是说，当变压器 $\beta < \beta_m$ 时，输出电流增加，输出功率也增加，铜损耗也增加，由于此时 β 值较小，铜损耗较小，铁损耗相对较大，因此总损耗虽然随 β 值增加，但是没有输出功率增加得快，因此效率也是增加的。当铜损耗随着 β 的增加，等于铁损耗时，效率达到最高值。当 $\beta > \beta_m$ 后，铜损耗成了损耗中的主要部分，而且由于铜损耗与电流的平方成正比，输出功率与电流成正比，因此变压器效率随着 β 的增加反而降低。

表 1 为南水北调东线胶东干线东宋泵站主变运行的数据，直观地反映出主变效率与负载系数的关系。

表 1 东宋泵站 2 号主变负载与效率关系表

变压器低压侧电流/A	低压侧额定电流/A	负载系数	高压侧有功功率/KW	低压侧有功功率/KW	变压器效率/%
1.17	289	0.004	28.42	20.3	71.43
1.52	289	0.005	30.19	22.33	73.96
36.5	289	0.126	479.51	472.92	98.63
57.54	289	0.199	928.84	921.48	99.21
72.2	289	0.250	925.28	921.48	99.59
77.58	289	0.268	1347.97	1343.65	99.68
110.16	289	0.381	1841.69	1836.87	99.74
135.23	289	0.468	2310.55	2303.7	99.70
159.38	289	0.551	2735	2725.9	99.66

从表 1 运行数据可以看出，负载系数小于 0.1 时，效率 70% 左右，负载系数为 0.2 以上时，效率可达到 99%。

1.1.2 电动机效率的影响因素

电动机效率是电动机输出有功功率与电源输入有功功率比值的百分数。电源输入的有功功率减去定子铜耗、转子铜耗、铁损耗、机械损耗、附加损耗就是电动机转轴上输出的功率。正常运行范围内，铁损耗、机械损耗变化很小，称为不变损耗，定、转子铜损耗与电流平方成正比，变化较大，称为可变损耗。当电动机的不变损耗等于可变损耗时，电动机效率达到最大。电动机空载时，转子电流很小，可认为输出功率为零，电动机效率为零。当负载增大时，输出功率增加，效率也增加。额定负载时，不变损耗等于可变损耗，效率最高，如果超过额定负载，可变损耗增大大于输出功率增加，效率降低。

1.2 水泵效率的影响因素

水泵效率是水泵有效功率与电动机轴功率之比，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 为水泵扬程。电动机轴功率是电机传给水泵轴的输入功率，减去水泵内的能量损失功率即为水泵的有效功率。影响水泵效率的主要原因是水泵在运转时，存在着机械损失、容积损失和水力损失。机械损失是指泵轴转动时与轴密封填料、轴承及叶轮表面与水体间等的摩擦消耗。容积损失是指泵内水流经高压处经缝隙向低压处的内漏和从轴封装置等处的外漏造成的损失。水力损失是指水流进入泵体后经吸水室、叶轮流道等全部流程中的沿程损失和局部损失及水体本身在流程中挤压、碰撞等造成的损失。水泵长期运行效率下降的原因：一是由于水流的冲刷，水泵流道内壁和叶轮过水面变得粗糙不平，水泵内流道的摩擦系数增大，水力损失增加。二是由于水质硬度高等原因使泵壳内严重积垢。泵壳内积垢使泵壳壁厚增加，水泵内壁形成垢瘤，泵体容积缩小，抽水量减少，并且流道粗糙，容积损失和水力损失增大。三是水泵汽蚀、磨蚀、腐蚀和化学浸蚀等原因造成泵流道内产生空洞或裂纹，水流动时产生旋涡而造成能量损失，水力效率降低。四是由于泵运行时间长，机械不断磨损，产生水量漏失和阻力增大使容积效率和机械效率降低。五是杂物缠绕或阻塞阻力增大，影响叶轮和泵轴转动，降低效率。

1.3 管道效率的影响因素

影响管道效率的原因是管道输水过程中主要的损失包括水头损失和水量损失。水头损失包括沿程水头损失、局部水头损失，主要与管道长度、管道的内管壁光滑程度和中间有无阀门、弯道及进出口的形式和流速有关。管道水量损失是管道漏水造成。

1.4 传动设备效率影响因素

机械传动效率主要与传动方式有关。机械传动方式通常有联轴器、带传动、链传动、齿轮传动等方式，不同的传动方式效率不同。

1.5 进出水池效率影响因素

影响进出水池效率的因素主要是进水池的形状、尺寸设计不当，或者进出水池流道、导流设施不合理，导致池内发生旋涡、回流，水流流态紊乱，水力损失较大。

2 泵站各环节效率对泵站综合效率影响的权重分析

泵站综合效率是各环节效率的乘积。在不同的运行状态下，各环节效率变化范围不同，对泵站综合效率的影响大小不同。通过对各环节效率的影响因素分析可以得出，变压器的效率随负载系数变化很大，理论上可以从0到接近99%以上。电动机的效率从空载到额定负载的变化可以从0至90%以上变化，一般异步电动机在额定负载下其效率为75%~92%。不同类型水泵的效率不同，正常使用和维护的情况下，水泵效率一般在65%~90%之间，大型泵可达90%以上。管道效率主要取决于管道的水头损失，对于泵站来说，管道长度一般不长，沿程水头损失占扬程的比例很小，泵站管道的进出口处流速不大，进出口局部水头损失几乎可以忽略，泵站管道能量损失很小，对泵站综合效率影响不大。传动设备效率与传动方式有关，弹性联轴器传动效率0.99~0.995，带传动效率0.97~0.98，链传动0.96~0.98，6至7级精度齿轮传动效率为0.98~0.998，泵站电动机与水泵一般采用联轴器直联，传动设备的效率对泵站综合效率影响不大。泵站进出水池池内水位的跌差一般不大，在泵站进水池和出水池池内水位跌差不大或相对于泵站扬程可以忽略不计，进出水池的效率可以近似认为100%^[3]，因此进出水池效率变化对泵站综合系统效率影响较小。通过分析可以得出，对泵站运行效率影响较大的是动力设备的效率和水泵的效率，提高泵站效率的关键是加强对泵站动力设备和水泵的运行技术管理。

3 提高泵站效率的运行管理关键技术

3.1 提高变压器运行效率

3.1.1 调整变压器负载率

在保证泵站过水量的前提下，通过变压器并列或单独运行，可以调整变压器的负载率，一般 β_m 的值为0.5~0.77，当达到0.8时，需要增大变压器的容量，低于0.2时，考虑降低变压器容量，提高变压器的运行效率。

3.1.2 提高负载功率因数

利用同步电动机无功功率补偿特性，采用同步机和异步机组合运行，可以大大减少无功功率，提高负载功率因数，提高变压器运行效率。

3.2 提高电动机的运行效率

提高电动机的运行效率，一是确保电动机和水泵功率合理配套。一般要求电动机的负载率应大于0.7，在负载率低于0.5时，应进行调整或更换。从运行安全角度考虑，负载率也不一定要在额定负载下运行，如绕线式异步电动机采用同步化运行时其最大允许负载率为0.85。二是清理电动机内的灰尘积垢，改善通风，减小温升。因为电机线圈温度升高，电阻增大，损耗增多，降低效率。三是经常对电动机进行日常维护，润滑轴承，减少摩擦，减少损耗，提高电动机效率。四是异步电动机可通过变极、变转差率、变频等方法实现变速调节，从而达到调节水泵运行工况，实现经济运行的目的。

3.3 提高水泵的运行效率

提高水泵的效率，要从水泵选型、安装、运行等各方面着手，减少水泵运行的机械损失、容积损失和水力损失。

3.3.1 合理选择泵型，使水泵运行在高效区间

水泵设备的选型、制造、安装合理是水泵高效运行的基础。应根据泵站工程的设计流量、扬程和水泵的性能曲线选择合理的泵型，使水泵在高效区间运行。水泵的性能曲线，是水泵厂家根据试验数据绘制的流量与扬程、轴功率、效率、允许吸上真空高度或汽蚀余量等参数之间相互变化曲线，性能曲线中 $Q \sim \eta$ 曲线上的最高点，是水泵运行时的最高效率点。在日常运行管理时，水泵很难达到完全在最高效率点上工作，一般在最高效率点左右下降5%~7%作为水泵的工作范围，在满足过水量的基础上，通过调整机组设备的运行组合方式，避免进水池水位过高或过低，使水泵在高效区间运行。

3.3.2 加强设备运行管理和维护，及时处理缺陷

(1) 提高设备安装和大修质量。水泵安装或大修时，同心、水平、摆度、间隙等指标的安装精度要达到规范要求，填料函松紧适度，因水源泥沙含量较大造成叶轮磨损的，要及时修复磨损的叶轮，提高叶轮或泵壳及管道内壁的光滑度。

(2) 预防和减轻水泵汽蚀。水泵汽蚀的危害很大，产生汽蚀过程中，由于水流含有气泡，破坏水流的正常流动方向，减小了流道内的过流断面，可引起水泵流量、扬程和效率的迅速下降，甚至达到断流的状态。气泡溃灭时，水流高速冲向气泡中心，产生强烈的冲击力，冲击频率可达2万~3万次/秒，冲击力可达33~5700MPa，水泵产生剧烈振动和噪声，造成水泵金属表面塑性变形和硬化变脆，叶片击穿，影响设备安全运行。汽蚀预防应根据产生汽蚀的原因采取针对性的措施：一是进水池水流要平稳，流速均匀，避免出现旋涡。流态紊乱时，可通过改造进水池、进水流道等方法改善流态。二是对可以调节叶片的水泵，当水泵偏离设计工况时，可通过对叶片角度的调节来改变水泵的运行

安仁枢纽边坡防护综合处治浅析

程施

(杭州市交通规划设计研究院, 浙江 杭州 310006)

摘要: 结合临金高速公路临安至建德段工程第6标段安仁枢纽互通区工程实例, 提出公路边坡综合防护措施, 重点论述植草防护、锚杆喷射砼防护等新型防护形式, 为公路建设提供参考和借鉴。

关键词: 公路建设; 边坡; 综合处治

中图分类号: U416.1+4

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2020) 07—0141—03

1 工程概况

安仁枢纽是杭新景高速公路交叉设置的枢纽互通, 连接道路为现有的杭新景高速, 互通区内清渚港纵向贯穿互通区, 地形处于山地与平原之间的过渡地形, 西北和东南象限房屋分布广泛, 东北象限为山体, 西南象限分布了较多农田。

通过对安仁互通区内挖方边坡规模、岩土性质综合分析, 确定对杭新景高速拼宽段的两处高边坡或地质条件不良边坡进行详细工程设计。主要问题是确定边坡形式(坡度), 稳定性验算, 防护加固工程, 排水工程及景观的绿化、美化设计。

2 工程地质分析

路堑区地貌为丘陵斜坡, 线路横穿山体坡脚, 植被发育, 自然坡度 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$, 强风化基岩直接出露, 岩性为奥陶系下统印渚埠组(O1y)泥岩。

勘探深度内岩土工程地质层组如下:

① 10: 填土, 灰色, 松散, 主要以粘性土及中风化

状碎石、块石组成, 为普通土(II);

⑨ 11: 含碎石粉质黏土, 褐黄色, 硬塑~可塑, 含少量碎石, 粒径 10~20cm, 岩性为泥岩, 岩质软, 其余为黏性土充填, 局部夹有块石, 为普通土(II);

⑩ 12/11: 强风化泥岩, 灰黄, 风化强烈, 岩心破碎多呈碎块状、块状, 为软石类(IV);

⑩ 13/11: 中风化泥岩, 灰色, 节理发育, 泥质胶结, 岩芯较破碎多以块状为主, 少量呈 10~40cm 不等柱状, 为次坚石(V)。

边坡岩体节理裂隙发育, 层理①产状 $335^{\circ} \angle 30^{\circ}$; 节理②产状 $38^{\circ} \angle 58^{\circ}$, 7-8条/m; 节理③产状 $170^{\circ} \angle 85^{\circ}$, 7-8条/m。

路堑区水文地质条件简单, 主要为基岩裂隙水, 水量贫乏。

根据赤平投影图分析, 左侧边坡存在顺坡层理, 对边坡稳定性不利, 可能发生顺层滑移。

工况, 使之与实际工况进一步接近。三是运行过程中避免进水池水位过低, 保证水泵进水有足够的淹没深度。

(3) 预防和减轻水泵磨蚀。水泵部件一直处在部件与水流、部件与部件的摩擦之中, 减少磨蚀, 提高抗磨蚀能力, 可以延长设备的使用寿命。轴瓦和轴套是最容易发生磨蚀损坏的地方, 预防轴瓦和轴套异常磨损, 一是保证二者之间间隙合理, 间隙太大运行时振动会较大, 不能很好地约束异常偏大振动。间隙过小润滑介质不易进入间隙, 容易引起轴瓦与轴套的干磨, 引起轴瓦与轴套损坏。二是使用抗磨损能力较强的部件。如水导轴瓦采用赛龙材料内衬代替橡胶内衬, 轴颈采用硬度更大的材料或耐磨轴套。三是及时更换填料函处的封水填料, 避免填料时间过长浸泥变硬, 增加对轴的磨损。

4 结语

泵站的运行效率与多种因素有关, 在运行过程中, 需要抓住影响泵站效率的关键环节, 通过对设备运行数据的分析总结, 采取有针对性的设备运行管理和维修方

法, 以实现泵站的高效运行。一是变压器、电动机、水泵等主设备都有各自的运行效率最高点, 合理的负载率是变压器和电动机高效运行的关键, 合理控制运行水位是水泵在高效区运行的保证。二是不同机组的运行方式组合, 效率不同, 应根据过水量的要求, 综合考虑动力设备和水泵高效运行需要的水位、负载、同步和异步电动机的优化组合等条件, 制定合理的机组运行组合方案并运用。三是加强设备设施的维修维护和改造, 通过针对性的维修维护管理技术, 降低变压器、电动机、水泵等设备的能量损失, 提高整个泵站的运行效率。

参考文献:

[1] 李发海, 朱东起. 电机学[M]. 北京: 科学出版社 2018.10:35-36.

[2] 吴持恭. 水力学[M]. 成都: 高等教育出版社 2002.5:175-185.

[3] 李端明. 泵站运行工[M]. 郑州: 黄河水利出版社 2014.12:692.