

农村电力排灌站电气设备最优配置的研究

赵玉林, 李艳军, 董守田, 高晶晶

(东北农业大学)

摘 要: 该文根据我国目前电气设备的制造水平和控制技术, 以哈尔滨新仁电力排灌站为例, 分析了排灌站供电设备、动力设备、控制设备和无功补偿容量对泵站效益的影响, 进而提出了合理选择这些电气设备的原则和计算公式。

关键词: 电力; 排灌站; 电气设备; 综合自动化; 技术改造

中图分类号: S277.1

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0320061204

电力排灌站(以下简称泵站)的能耗不仅受泵型式和管路几何尺寸的影响, 而且还与供电设备、动力设备的类型和参数以及无功补偿的方式和参数有很大关系。多年来, 泵站电气设备的选型和参数的配置, 一般根据经验从满足供电和驱动要求出发, 以宁大勿小的原则来确定的, 而很少考虑电费的收取方式和设备能耗对泵站费用的影响。所以, 现在运行的泵站几乎都是主变压器的容量偏大, 主电动机没有工作在高效区, 无功补偿电容在主变的电源侧且容量偏小, 从而造成了提水成本过高。本文通过完成哈尔滨市水利局“电力泵站节能技术改造的研究”课题, 就电力泵站电气设备配置问题提一些看法。

1 主电动机的选择

主电动机功率应根据负载功率和使其工作在高效区的原则来确定。GB 50265-97《泵站设计规范》推荐, 主电动机的功率应为 1.05~1.10 倍的水泵轴最大功率, 以满足水泵对配套动力的要求。按照该推荐值, 对进出水池水位差变化不大的泵站, 由于其泵最大轴功率与电机额定功率接近, 即电动机的负载率 K_f (电动机的负载功率 P_z 与额定功率 P_e 之比) 接近 1.0。而从图 1^[1] 的电动机的工作特性曲线可见, K_f 接近 0.9 或更高时, 效率已有所降低, 为使电动机工作在高效区, 可取电动机的额定功率大于《泵站设计规范》的推荐值; 同样当进出水池的水位变化较大时, 为保证电动机工作在高效区, 可取电动机的额定功率等于水泵最大轴功率。Y 系列和 YR 系列的电动机具有体积小重量轻效率高和启动性能好的优点, 是首选机型。

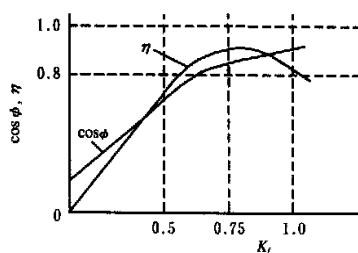


图 1 电动机的工作特性曲线

Fig 1 The working characteristic curve of electric motor

2 变压器的选择

2.1 变压器容量的选择

排灌站主变压器的运行费用由其折旧费、基本电费(按投入运行的变压器的容量收取的费用)和消耗电量费用(按实际消耗的电量收取的费用)等几部分组成。为降低折旧费和基本电费, 在满足动力负荷要求的前提下, 主变容量应尽可能小。但主变容量越小, 在同样负荷的条件下, 变压器的可变损耗越大。所以, 变压器的容量应根据经济技术比较后的结果来确定。

变压器的有功计算功率

$$P_{js} = \frac{K_L}{G} \sum_{i=1}^n \frac{K_{fi}}{G_i} P_{ei} + K_{L2} P_2 \quad (1)$$

式中 K_L ——电动机的同时工作系数; G ——配电线路的平均效率, 当变压器在泵房内时 G 取 1.0, 当变压器在室外时, G 取 0.90~0.98, 距离越远 G 取值越小; K_{fi} ——第 i 台电动机的负载系数; P_{ei} ——第 i 台电动机的额定功率; G_i ——第 i 台电动机的效率; P_2 ——照明等其它用电总负荷; K_{L2} ——其它负荷同时工作系数。

变压器无功计算功率

$$Q_{js} = P_{js} \tan(\arccos U) \quad (2)$$

因在负荷侧补偿, 上式中的 $\cos U$ 应取并联无功补偿电容器后的值。国家规定, 当主变容量小于 3

收稿日期: 2001212228

基金项目: 哈尔滨市水利局资助项目

作者简介: 赵玉林, 教授, 哈尔滨市 东北农业大学电气工程系, 150030

150 kVA 时, $\cos U$ 的值不得小于 0.85; 主变容量为 3 150 kVA 及以上时, $\cos U$ 值不得小于 0.90^[2]。

变压器的视在计算功率

$$S_{js} = \sqrt{Q_{js}^2 + P_{js}^2} \tag{3}$$

变压器的额定容量 S_e 应满足下式要求^[3]

$$S_e > S_{js} \tag{4}$$

2.2 变压器容量的校验

变压器的容量越小, 其漏抗的有名值越大, 在电动机启动时, 产生的电压降越大。而电动机的转矩与电压平方成正比, 所以按式(4) 选择变压器的容量后还必须根据水泵和电动机的启动转矩对主变的容量进行校验。

变压器的漏抗有名值

$$X_d = \frac{U_d}{100} \frac{U_{2e}}{S_e} \tag{5}$$

式中 U_d —— 变压器的漏抗压降百分数, %; U_{2e} —— 变压器的二次侧额定相电压; S_e —— 主变的额定容量。

电动机启动最困难的时刻发生在电网电压最低、无功补偿电容器退出工作、变压器带最大负荷且启动电流最大的电动机最后启动的时刻。这时系统的等值电路如图 2 所示, 图中 \dot{U}_{20} 为变压器二次侧空载电压相量, \dot{U}_2 为电动机承受的实际电压相量, X_d 为变压器折算到二次侧的漏抗值, I_{js} 为变压器带最大负荷时已在稳定运行的电气设备的计算电流相量, I_q 为电动机最大启动电流相量。

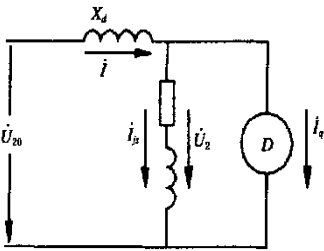


图 2 电动机启动时的等值电路

Fig. 2 Equivalent circuit of the starting electric motor

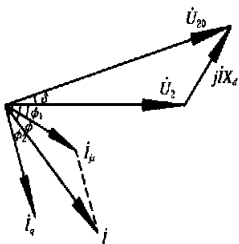


图 3 电动机启动时的向量图

Fig. 3 Vector diagram of the starting electric motor

与图 2 相对应的相量图如图 3 所示, $\cos U$ 在

0.7~0.8 之间变化, $\cos U$ 约为 0.2~0.3。由图 3 可见

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_{20} - j\dot{I}X$$

$$I = I_{js} + I_q = I e^{j\varphi}$$

而

$$I = \sqrt{I_q^2 + I_{js}^2 + 2I_q I_{js} \cos U}$$

实际上 D 很小, 所以

$$U_2 = U_{20} - IX_d \sin U$$

因为启动时有可能系统电压较低, 所以取 $U_{20} = 0.9U_{2e}$, 则上式变为

$$U_2 = 0.9U_{2e} - IX_d \sin U$$

电动机的实际启动转矩为

$$M_q = \left(\frac{U_2}{U_{2e}} \right)^2 M_{eq}$$

式中 M_{eq} —— 电动机在额定电压下的启动转矩。
为保证电动机的顺利启动, 电动机的实际启动转矩应大于水泵的启动转矩, 并应有 10% 的余量, 否则应加大主变的容量。

当泵站的装机容量较小或年负荷比较稳定时, 一般只选一台主变, 以降低工程造价。对灌排泵站, 一般在非洪涝年份仅有部分机组运行, 为节省基本电费, 可选用两台变压器。选用两台变压器时, 每台变压器的容量^[3]

$$S_e = 0.6S_{js} \tag{6}$$

2.3 变压器型号的选择

变压器型号不同, 技术指标和价格也有很大的差异。技术指标越高, 其价格也越高。SJL 系列变压器由于耗能高已属淘汰产品, 应选择 S 系列节能变压器。具体型号应由变压器的价格与年利用小时数进行经济技术比较后确定。

变压器的有功和无功功率损耗分别为

$$\$P_b = \$P_0 + \$P_d \left(\frac{S_{js}}{S_e} \right)^2$$

$$\$Q_b = \frac{I_0\%}{100} S_e + \frac{U_d\%}{100} \frac{S_{js}^2}{S_e}$$

上式中, $\$P_0$ 、 $\$P_d$ 、 $I_0\%$ 、 $U_d\%$ 和 S_e 分别为主变的空载损耗、短路损耗、空载电流百分数漏抗压降百分数和额定容量。

变压器的损耗电量为

$$W = \$P_b \times T$$

式中 T —— 变压器的年利用小时数。

由上式可以看出, 年利用小时数越大, 损耗电量也越大, 越应选择效率指标高的变压器。

2.4 变压器选择的效益分析实例

以哈尔滨市新仁电力灌溉站为例, 该站共有

24sh228a 型水泵 8 台, 其中一台备用, 即同时工作系数 $K_t = 0.875$, 水泵轴功率为 66 kW, 匹配 Y280M 228 型电动机, 未装无功补偿电容时低压侧功率因数 $\cos U$ 为 0.80, 主变是容量为 2 000 kVA 的 SJL 22000ö10 型的高耗能变压器。全年约运行 2 300 h, 泵站年耗电量约为 1 200~ 1 300 (万 kW · h), 由于 $\cos U$ 低于 0.85, 年多交电费 1.0 万元。

应用 2.1 节的相应公式和 2.3 节的方法重新选择 S92630ö10 型节能变压器, 用 2.2 的研究方法进行容量校验, 证明该变压器能保证水泵启动和全部工作要求。而新的变压器与旧变压器相比, 年运行费用下降了 60%, 年节支 6.0 万元, 经济效益十分显著。

3 泵站无功补偿方式及补偿容量的选择

3.1 补偿方式的确定

补偿方式分集中补偿和就地补偿两种方式, 就地补偿是将补偿设备安装在电动机处, 优点是线路传输的电流小, 因而节能效果好, 但占地面积大, 综合投资高, 这是 GB 50265-2007《泵站设计规范》推荐的补偿方式^[2]。笔者认为, 泵站的大功率设备都集中在泵房内, 相互距离较近, 线路损耗较小, 为降低工程造价, 采用在泵房集中补偿较好。人们习惯将补偿设备装在主变 10 kV 的电源侧, 因为这样可以降低补偿电容的个数, 且只要补偿电容选择合适, 就可满足供电部门对月平均功率因数的要求。但这种补偿方式使主变压器传输的无功电流变大, 损耗增加。同时, 由于补偿电容在高压侧, 控制不便, 所以应在变压器的低压侧补偿。并配以功率因数补偿控制器, 实现随负荷的变化自动的改变补偿容量, 使变压器传输的电流最小, 达到节能降耗的目的。

3.2 补偿容量的确定

补偿容量是否合适直接影响泵站的能耗。补偿容量应根据泵站补偿前和补偿后的功率因数计算。泵站的补偿功率因数由主变二次侧的计算负荷和在该负荷作用下变压器的损耗所决定。排灌站的有功和无功计算负荷分别为

$$P_{zjs} = P_{js} + \Delta P_b$$

$$Q_{zjs} = Q_{js} + \Delta Q_b$$

在上式中, P_{js}, Q_{js} 分别为主变二次侧的有功和无功功率; $\Delta P_b, \Delta Q_b$ 分别为在计算功率作用下变压器的有功和无功损耗。排灌站在未补偿时的功率因数为

$$\cos U_1 = \frac{P_{zjs}}{\sqrt{P_{zjs}^2 + Q_{zjs}^2}}$$

补偿后排灌站的功率因数为

$$\cos U_2 = \frac{P_{zjs}}{\sqrt{P_{zjs}^2 + (Q_{zjs} + Q_c)^2}}$$

补偿后功率因数为 $\cos U_2$ 所需补偿容量为

$$Q_c = Q_{zjs} - P_{zjs} \tan(\arccos U_2) \quad (7)$$

3.3 补偿容量的效益分析示例

哈尔滨新仁电力排灌站补偿以前的状况如 2.4 节所示。应用 3.2 节的方法, 并考虑留有一定的裕度, 选用最大补偿容量 120 kvar 的 J(F)3Z224 型自动控制静电屏。该屏具有自动控制补偿容量功能, 总体价格约 1.30 万元。采用在低压侧补偿和该设备, 使泵站的功率因数达到国家规定的要求后。每年可节省因站功率因数低于国家规定要求而多付的 1.0 万元电费, 第二年即可收回投资。由此可见, 安装无功补偿电容器且方式得当, 经济效益显著。

4 控制设备的选择

目前, 电力泵站均由人工控制运行, 劳动强度大, 机组效率较低, 影响了泵站的经济效益和社会效益。采用老式有触点电磁式继电器保护电气设备, 使泵站可靠性较低。新建泵站应装设以电子计算机为核心的综合自动化系统, 实现对排灌站的主机和辅助设备的自动控制, 实现优化运行; 对站用变电所、主机、各种阀门和闸门的电量和非电量的自动巡回检测和记录, 并根据设定值进行越限报警; 对站用变电所、线路、电动机等实现自动保护。

5 结 论

1) 水泵功率变化不大时, 泵站主电动机的功率可以大于《泵站设计规范》的推荐值; 当水泵的功率变化较大时, 为使主电动机工作在高效区, 可选其功率小于《泵站设计规范》推荐的下限值, 但不得小于泵最大功率。

2) 主变压器的选择对泵站的运行费用有很大的影响, 为降低按变压器容量收取的基本电费数, 在保证电动机启动性能的前提下, 应使主变的容量尽可能小。分别给出了单台容量计算及选取方法, 及两台主变, 每台容量的计算及选取方法。

3) 泵站应在主变压器的负荷侧采用集中补偿方式进行无功补偿, 以降低变损, 给出了补偿容量的计算式。

4) 合理的选择电气设备和配置无功补偿装置可以收到明显的经济效益和社会效益。对现有主变容量不合适或无功补偿不合理的泵站应进行技术改造。

5) 泵站应装设以计算机为核心的综合自动化系统, 以使其安全、经济、可靠、高效运行。

[参 考 文 献]

[1] 王桂英, 李艳军, 贾兰英 电机学[M]. 哈尔滨: 东北大学出版社, 1999, 5: 143~ 145
[2] 国家技术监督局, 中华人民共和国建设部 电气设计.

GB 50265-97 泵站设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1997, 8: 56~ 76
[3] 王世新等 农村发电厂变电所电气部分[M]. 北京: 农业出版社, 1993, 5: 57~ 66

Best Disposition of Electrical Equipment of Irrigation and Drainage Pump Station With Electric Power in Rural Areas

Zhao Yulin, Li Yanjun, Dong Shoutian, Gao Jingjing

(Department of Electrical Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: According to current manufacturing level and control technology of electrical equipment, with an example of Harbin Xinren Irrigation and Drainage Pump Station with electric power, the effects of the electric supply equipment, power plant, control equipment and reactive compensating capacitance of irrigation and drainage pump station upon the benefit of pump station were analyzed. Furthermore the principles and calculating formulas used to choose these electrical equipment reasonably were proposed.

Key words: electric power; irrigation and drainage pump station; electrical equipment; comprehensive automation; technical reform

致谢本刊审稿专家

《农业工程学报》是广大农业工程科技工作者的学术交流园地, 本刊的发展离不开广大同仁的关心与支持, 特别是广大编委、专家为本刊做了大量认真细致的审稿工作, 为本刊论文的学术质量把关做出了贡献, 本刊对审稿专家的辛勤劳动表示衷心的感谢。本刊将分批次在“读者、作者和编者”栏目公布近期审稿专家的名单(按姓氏笔划为序)。本刊此次感谢的审稿专家有:

| | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 于志远 | 马廷玺 | 马成林 | 毛志怀 | 王云龙 | 王一鸣 | 王松涛 | 王茂新 | 王革华 | 王爱国 | 王德俊 |
| 王乃信 | 邓 勇 | 邓达华 | 冯广志 | 冯绍元 | 白人朴 | 白友仁 | 白战礼 | 邝朴生 | 田志宏 | 齐 飞 |
| 刘 钰 | 刘昌明 | 刘洪禄 | 华云龙 | 孙忠富 | 庄大方 | 朱 明 | 朱永达 | 朱克勤 | 朱宝馨 | 江荣凤 |
| 何东健 | 林 坚 | 林 培 | 林性粹 | 张仁华 | 张君海 | 张国祥 | 张铁中 | 李久生 | 李长生 | 李世煌 |
| 李必治 | 李秀金 | 李里特 | 李定凯 | 李保国 | 李保明 | 李益农 | 杨邦杰 | 杨诗秀 | 杨振声 | 杨培岭 |
| 汪懋华 | 沈雪民 | 肖明松 | 陈大雕 | 陈侍良 | 陈端生 | 麦康森 | 周一鸣 | 周长吉 | 周祖锬 | 范志书 |
| 郑耀泉 | 封 俊 | 俞明轩 | 南庆贤 | 施世锦 | 施正香 | 段桂芳 | 洪仁彪 | 胡南强 | 费良军 | 赵杰文 |
| 郇文聚 | 徐 泳 | 徐师华 | 郭佩玉 | 陶 兰 | 高灵旺 | 高焕文 | 崔远勃 | 曹崇文 | 梁兆兰 | 黄文彬 |
| 黄兴法 | 喻谷源 | 惠士博 | 焦险峰 | 程 序 | 董红敏 | 蒋卫杰 | 蒋亦元 | 谢崇宝 | 韩北忠 | 韩鲁佳 |
| 韩 捷 | 廉亚平 | 廉镜清 | 窦以松 | 雷之栋 | 雷廷武 | 翟志庆 | 蔡同一 | 蔡典雄 | 裴志远 | |