

合理确定水泵工况提高系统装置效率

王福平

江西省煤矿设计院

摘要: 提出在水泵-管路系统中, 水泵的最高效率点不是系统高效点, 以水泵效率最高点为工况点来选择水泵和管路不能达到最佳经济效果, 且在理论上找出泵-管路系统装置效率高效区, 并建议在泵-管路系统设计时应尽量使水泵的工况点处在系统高效区, 以降低系统运行费用。

关键词: 水泵工况; 水泵效率; 系统效率

在城市市政给水排水、民用建筑给水、工业给水、工业循环冷却水、矿井井下排水等水泵-管路系统设计时经常要选择水泵, 《给水排水设计手册》中关于各类用途的水泵选择均是所需流量 Q 和压力 H ($H=H_L+\Delta H+H_p$, 其中 H_L : 用水点到吸水面垂直高程; ΔH : 管路沿程与局部阻力之和; H_p : 用水点所需压力) 来选择相应的水泵, 并使所选水泵额定流量 Q_b (水泵最高效率点流量) 和扬程 H_b 大于或等于系统所需流量 Q 和压力 H 。虽然按此原则选择水泵能使水泵本身工作在高效区, 但由泵和管路构成的系统装置效率并不是最高, 即系统不一定工作在高效区。在以往的泵-管路系统设计中, 设计人员往往忽视这个问题, 导致系统效率低下, 系统电耗较高, 运行不够经济。本文试图从理论上找出泵管路系统中可靠的系统装置高效区以降低运行费用, 并举例说明。

一、水泵-管路系统装置效率特性分析

设离心泵特性曲线和管路特性曲线如图1所示。根据水泵的特性参数和特性曲线可用解析方法 (曲线拟合) 近似写出各水泵的特性曲线的数学函数表达式^[2]:

$$H=a_0+a_1Q+a_2Q^2 \quad (1)$$

$$\eta=b_0+b_1Q+b_2Q^2 \quad (2)$$

设管路特性曲线为:

$$H=H_c+RQ^2 \quad (3)$$

R ——管路阻力损失系数, 主要与管径、管长等管路因素有关

H_c ——高程差, 系统确定后可视为常数

管路特性曲线与水泵 $H-Q$ 曲线相交点即为运行工况点, 其参数为 H_m, Q_m, η_m, η_m 为水泵工况点效率, Q_1-Q_2 为水泵工业利用区即水泵样本提供的流量下限和上限值。

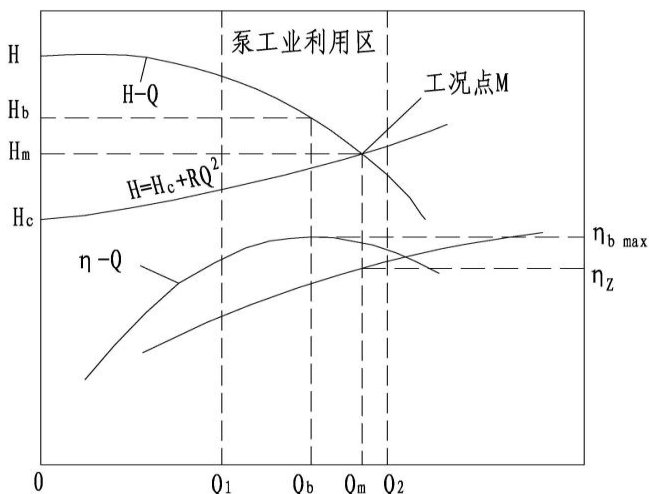


图1 离心泵及管路特性曲线

$$\text{管路效率 } \eta_g = \frac{H_c}{H_m} \quad (4)$$

水泵-管路系统装置总效率:

$$\eta_z = \eta_g \eta_m \eta_d \quad (5)$$

式中 η_d ——电动机工况效率

将式(4)代入式(5)后得:

$$\eta_z = \frac{H_c}{H_m} \eta_m \eta_d = H_c \cdot \eta_d \cdot \frac{\eta_m}{H_m} \quad (6)$$

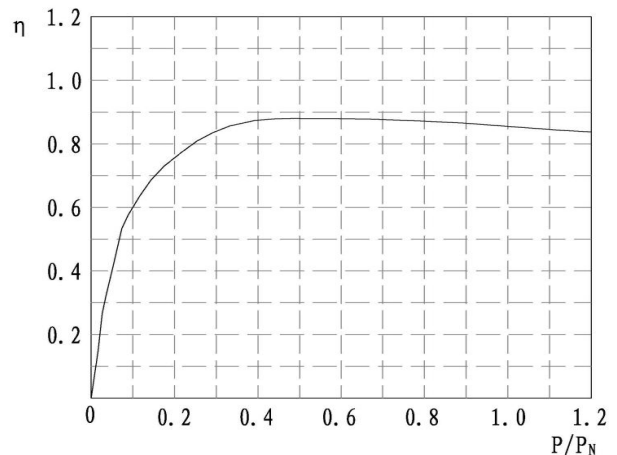


图2 异步电机效率曲线

如图2所示, 异步电动机的效率在0.5倍的额定负载时, 效率达到最大值, 从0.5倍额定负载到额定负载时, 效率下降不明显^[3]。超过额定值以后效率有所下降, 但变化不太大。由于水泵电机大部分为异步电机, 而且水泵所配电动机的额定功率必须大于水泵工业利用区内流量上限即 Q_2 时的轴功率, 或者说水泵工业利用区内轴功率不会超过泵配电动机的额定功率, 因此可以认为电动机效率 η_d 在水泵工业利用区内变化很小, 可视为常数。故系统总效率 η_z 随水泵工况点参数改变而改变, 而式(6)的工况点参数 η_m, H_m 是随管路阻力损失系数 R 的改变而沿水泵特性曲线即式(1)和式(2)而改变, 由于工况点始终是管路特性与泵特性 $Q-H$ 曲线的交点, 所以它必然始终在水泵特性曲线上。即满足下式:

$$H_m = a_0 + a_1 Q_m + a_2 Q_m^2 \quad (7)$$

$$\eta_m = b_0 + b_1 Q_m + b_2 Q_m^2 \quad (8)$$

式(7)、(8)实际上就是式(1)、(2), 故式(6)可写成:

$$\eta_z = H_c \cdot \eta_d \cdot \frac{\eta_m}{H_m} = H_c \cdot \eta_d \cdot \frac{\eta}{H} \quad (9)$$

由式(9)、(1)、(2)可见, 系统装置效率 η_z 是流量 Q 的函数, 将式(9)对 Q 求导数得:

$$\frac{d\eta_z}{dQ} = H_c \cdot \eta_d \left(\frac{H \frac{d\eta}{dQ} - \eta \frac{dH}{dQ}}{H^2} \right) = \frac{H_c \eta_d}{H^2} \left(H \frac{d\eta}{dQ} - \eta \frac{dH}{dQ} \right) \quad (10)$$

现在对式(10)进行讨论, 由于水泵扬程曲线在其工业利用区内一般是随流量 Q 而单调下降的。而水泵的效率曲线在其工业利用区内是随流量 Q 变化呈向上凸的抛物线, 见图1。因此

有以下几种情况^[2]:

(1) 在水泵最高效率 η_{bmax} (水泵额定效率) 点左侧, 即水泵额定流量 Q_0 的左侧:

$$\text{因为 } \frac{d\eta}{dQ} > 0, \frac{dH}{dQ} < 0, \text{ 所以 } \frac{d\eta_z}{dQ} > 0,$$

即在此区域内 η_z 是随 Q 增加而上升;

(2) 在水泵效率 $\eta_b = \eta_{bmax}$ 时, 即水泵效率最高点:

$$\text{因为 } \frac{d\eta}{dQ} = 0, \frac{dH}{dQ} < 0, \text{ 所以 } \frac{d\eta_z}{dQ} > 0,$$

即在该点, 总效率 η_z 仍继续上升;

(3) 在 η_{bmax} 点右侧, 即水泵额定流量 Q_0 的右侧:

$$\text{因为 } \frac{d\eta}{dQ} < 0, \frac{dH}{dQ} < 0, \text{ 所以 } \frac{d\eta_z}{dQ} \text{ 在此区域内有3种情况可}$$

能出现: 即 $\frac{d\eta_z}{dQ} > 0, \frac{d\eta_z}{dQ} = 0, \frac{d\eta_z}{dQ} < 0$ 3种情况, 由式(9)、

(10) 可见, 只要 $H \neq 0$, 则 η_z 为连续函数。在水泵的实际应用上, $H > 0$, 即 η_z 为连续曲线。根据连续函数的定义和特点, $\frac{d\eta_z}{dQ}$ 在此区域内只可能先大于零, 然后等于零, 最后小于零, 即系统装置总效率在水泵扬程大于零时 (即 $H > 0$), 随 Q 增加而上升, 达到最高点, 然后开始下降, 总效率最高点可能在此区域内。

令式(10)等于零, 可获得 η_z 最高时流量, 即

$$\text{令 } \frac{d\eta_z}{dQ} = \frac{H_c \eta_a}{H^2} \left(H \frac{d\eta}{dQ} - \eta \frac{dH}{dQ} \right) = 0$$

$$\text{即 } H \frac{d\eta}{dQ} - \eta \frac{dH}{dQ} = 0 \quad (11)$$

由式(1)、(2)得

$$\frac{d\eta}{dQ} = b_1 + 2b_2 Q \quad \frac{dH}{dQ} = a_1 + 2a_2 Q$$

将上两式和式(1)、(2)代入式(11)后整理得:

$$(a_1 b_2 - a_2 b_1) Q^2 + 2(a_0 b_2 - a_2 b_0) Q + a_0 b_1 - a_1 b_0 = 0$$

解上方程式可得其解为: 改式(12)中变量为斜体

$$Q^1 = \frac{-(b_2 a_0 - a_2 b_0) \pm \sqrt{(a_0 b_2 - a_2 b_0)^2 - (a_1 b_2 - a_2 b_1)(a_0 b_1 - a_1 b_0)}}{a_1 b_2 - a_2 b_1} \quad (12)$$

式(12)表明当 $Q=Q^1$ 时 η_z 有极值。从数学上讲, η_z 有最大值或最小值。但由于此点实际上远远超过了水泵工业利用区范围, 即在水泵可靠使用范围之外, 甚至式(12)没有实数解, 实际应用上 η_z 不可能达到极值。

从以上讨论可以确定, 在水泵的工业利用区内, 系统装置总效率 η_z 是随流量 Q 增大而上升的, 因此在选择水泵和确定管径时应注意使水泵和管路匹配, 尽量使工况点落在水泵工业利用区内靠右侧即 Q_0 至 Q_2 之间, 这一区域虽然水泵效率是下降的, 但整个管路系统效率是上升的, 属系统高效区。

二、实例经济比较

某泵房向某工业设施高位水池供水, 高位水池至吸水水面高差60m, 管路敷设长度90m, 选水泵型号为80D30×3, 水泵特性如图3所示。管径采用DN80时, 水泵工况点为M₁, 水泵工况参数: $Q_{m1}=45\text{m}^3/\text{h}$, $H_{m1}=88.12\text{m}$, $\eta_{m1}=0.665$ 。若管径采用DN100时水泵工况点为M₂, 工况参数: $Q_{m2}=49\text{m}^3/\text{h}$, $H_{m2}=84.37\text{m}$,

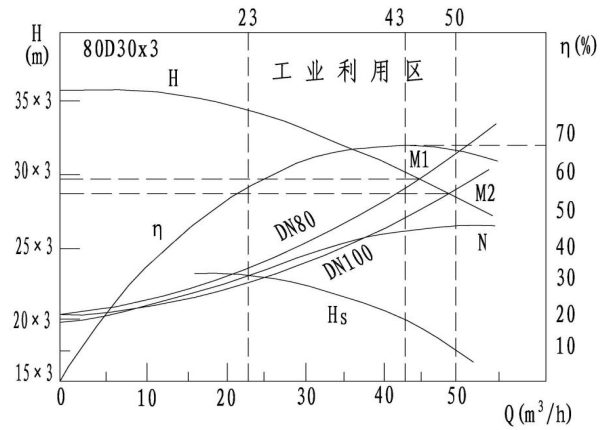


图3 80D30×3型水泵及管路工况

$\eta_{m2}=0.65$ 。设电动机效率 $\eta_d=0.87$, 电网效率 $\eta_w=0.95$ 。

系统每小时供水耗电为:

$$E = \frac{Q \cdot H \cdot Y}{102 \times 3600 \times \eta_m \eta_d \eta_w} \times 1 \quad (\text{kW} \cdot \text{h/h})$$

采用DN80管径时工况点为M₁, 每小时供水耗电为:

$$E_1 = \frac{45 \times 88.12 \times 1000}{102 \times 3600 \times 0.665 \times 0.87 \times 0.95} \times 1 = 19.65 \text{ kW} \cdot \text{h/h}$$

$$\text{系统效率 } \eta_{z1} = H_c \cdot \eta_d \cdot \frac{\eta_m}{H_m} = 60 \times 0.87 \times \frac{0.665}{88.12} = 39.39\%$$

$$\text{供 } 1\text{m}^3 \text{ 水电耗为 } e_1 = \frac{19.65}{45} = 0.437 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$$

采用管径DN100, 工况点M₂每小时供水耗电

$$E_2 = \frac{49 \times 84.37 \times 1000}{102 \times 3600 \times 0.65 \times 0.87 \times 0.95} \times 1 = 20.95 \text{ kW} \cdot \text{h/h}$$

$$\text{系统效率 } \eta_{z2} = 60 \times 0.87 \times \frac{0.65}{84.37} = 40.22\%$$

$$\text{供 } 1\text{m}^3 \text{ 水电耗为 } e_2 = 0.427 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$$

供1m³水, DN80管径与DN100管路电耗差:

$$\Delta e = e_1 - e_2 = 0.437 - 0.427 = 0.01 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$$

90m DN80镀锌钢管材料及安装费F₁, F₁=12617元。90m DN100镀锌钢管材料及安装费F₂, F₂=13558元。DN100管路与DN80管路基建投资费用差额F₂-F₁=941元。高位水池每天须用水350m³, 电费单价为0.62元/kW·h (南昌市一般工商业用电平均单价), 两种管径管路系统年运行费用 (主要是电费) 差额为:

$$\Delta F = 0.01 \times 350 \times 0.62 \times 365 = 792 \text{ 元}$$

$$2 \text{ 年} \times 792 \text{ 元} = 1584 \text{ 元} > 941 \text{ 元}$$

显然, 采用DN100管径与DN80管径相比, 2年不到节省的电费即可回收管路投资费用的差额。

三、结语和建议

(1) 水泵最高效率点不是系统效率最高点。泵-管路系统装置效率较高点流量大于水泵额定流量而位于泵使用范围内额定流量 (水泵效率最高点) 的右侧, 最高点往往超出水泵工业利用区。

(2) 建议在城市市政给排水泵站, 长距离输送水, 民用建筑大型空调机组的冷 (热) 水泵和冷却水泵。工业给水系

(下转第289页)

建筑装饰装修时,装修方案在确定装修材、工艺等要素时,应充分考虑其耐火性。只有这样,才能保证高层建筑防火系统正常运行并发挥作用,有效提高高层建筑整体的防火水平。因此,在高层建筑防火设计过程中,应严格按照高层建筑现行防火规范展开,并结合墙体高度选择保温材料的燃烧性能级别。通常来说,高层建筑高度的不同,所选择的保温材料类型也有所差异。但是从防火安全的角度来讲,应该优先选用耐火性能好的A级不燃保温材料,当条件限制未采用A级保温材料时应当考虑设置防火隔离带,设置的部位一般是每层的层高处,这样能保证防火隔离带交圈。

(五) 优化建筑物内排烟设计

根据相关调查统计,在高层建筑火灾发生之后,受灾人员中绝大多数不是因火直接烧死,而是吸入了由火灾产生的大量烟气,引起窒息、中毒而死亡的。因此,在高层建筑防火设计时,怎么能合理的设计排烟设施将起到了至关重要的作用。优化排烟系统将成为高层建筑防火设计时必经的一个步骤,让其在火灾时能最大效力的将烟气排出,尽可能地减少火灾烟雾对被困人员的伤害。在高层建筑排烟系统设计时,应对整个高层建筑进行防烟分区,且要保证防烟分区不能跨越防火分区,确保两者均能够发挥出效能,以大幅度提高高层建筑防火安全水平。在防烟分区设置时,可采取固定的挡烟垂壁或可升降的挡烟垂帘予以实现,面积一般控制在500平方米至2000平方米,并设计排烟口,且排烟口的设置往往要分布在防烟分区的中心。同

时,在排烟风道设计过程中,必须严格按照要求进行,且保证其安装牢固,同时排烟风道所用材料也必须是耐火材料,才能保证排烟风道在火灾发生后正常使用,确保被困人员不会受到烟雾伤害。

结语

总之,高层建筑是否能够安全运行,建筑消防设计工作始终发挥着重要作用。基于设计期间,有必要结合高层建筑火灾的特点,并把控制防火设计的基本原则,然后优化高层建筑总平面布局,合理设置防火分区,完善自动灭火装置及报警系统,并选择适合的耐火防火材料;此外,还需要对建筑物内排烟设计加以优化,以此提升高层建筑防火设计的整体质量及安全性,进一步保证高层建筑使用运行期间的可靠性及安全性。

参考文献

- [1] 耿亭亭. 高层建筑防火中性化设计方法的运用[J]. 山西建筑, 2018, 44(35): 29-31.
- [2] 刘思青. 超高层建筑防火设计要点与新型防火材料应用[J]. 山西建筑, 2017, 43(06): 29-30.
- [3] 韩东. 高层建筑防火设计要点分析[J]. 住宅与房地产, 2017(17): 105.
- [4] 段国斌. 高层建筑防火设计要点分析[J]. 山西建筑, 2016, 42(01): 18-19.
- [5] 刘琳琳, 曲艺. 高层建筑设计要点暨高层建筑防火设计方法[J]. 中外企业家, 2014, (29): 210+213.

(上接第219页)

直状态,并且支腿是否已浸入水中;料浆输送相同,料浆输送总量不能低于设计要求;料浆携带压力不能太大或太小,应在0.3~1MPa之间储存;钻孔速度不超过0.8m/min,如果土层较难,钻孔速度不应超过0.6m/min,提高了钻孔精度。

五、总结

随着中国经济的快速增长,国家力量的发展以及人民生活水平的不断提高,作为一项水利工程,它关系到人民的生活质量和安全。全国人民。在节水项目中,无论是在发电,抗旱,抗洪,农业灌溉,生活用水还是工业用水等方面,它们都在改善水电寿命方面发挥着积极作用。因此,在节水工程的施工过程中出现的质量问题非常重要。必须从源头上进行控制,从步骤改变到因地制宜的早期阶段,合理有效的计划和检查,以及在施工过程中严格控制优质材料,以及运用先进技术,要做好预防节水工程的漏水工作,提高节水工程的整体质量,为祖国

的发展而努力。

参考文献

- [1] 朱文杰. 水利施工中全段围堰导流技术的应用[J]. 江西建材, 2017(24): 139.
- [2] 任安明. 水利工程堤防技术的应用研究[J]. 电子制作, 2018(24): 212.
- [3] 王涛. 水利施工新技术的应用[J]. 科技创新与应用, 2018(05): 130.
- [4] 辑明岩. 水利施工新技术的应用[J]. 科技创新与应用, 2017(22): 165.
- [5] 陈正波. 水利水电工程施工中防渗处理技术的应用[J]. 湖南水利水电, 2018(06): 10-12.
- [6] 鞠佳伶. 水利工程中防渗施工技术的应用浅谈[J]. 中国新技术新产品, 2016(04): 108-109.

(上接第181页)

统,如电厂锅炉给水泵,工业循环冷却水泵,矿井井下主排水泵等系统设计时,由于这类泵给排水系统一般功率较大或属长时制运行,且工况点较稳定,如果能提高系统效率对降低电耗减少运行费用较为显著。在确定管径和选择水泵时应注意两者的匹配,使工况点处在系统的高效区。如果工况点不在右侧,可适当加大管径或另选水泵使工况点处在泵工业利用区内右侧以提高系统效率,但同时必须注意工况点不能超过工业利用区右侧最大流量点,否则水泵电机可能超过负荷,而且水泵吸水性能降低,易发生汽蚀,反而会大大降低水泵效率。

(3) 在消防水泵和功率较小用水不均匀的生活用水泵的系统设计时不必按上述原则设计,因为消防水泵平常不使用,仅发生火灾时工作几小时。如果加大管径增加了初期投资,而运行费用降低太少反而不够经济合理。

(4) 关于水泵选型原则,以往有关文献主要研究是保证电机不过载和水泵不发生气蚀的基础上争取较小的供(排)水吨水百米电耗。本文探讨了水泵-管路系统装置效率最高点的理论位置及装置效率曲线走向,各行业设计选择水泵时应根据行业用水泵运行特点合理配置管路,使系统长期运行在水泵-管路装置高效区。

参考文献

- [1] 白铭声,陈祖苏. 流体机械[M]. 北京:煤炭工业出版社 1986.
- [2] 吴革新. 合理确定水泵的工况点[J]. 煤矿设计, 1991(11): 17-23.
- [3] 吴大榕. 电机学:下册[M]. 北京:中国水利电力出版社, 1979.