

一种快速确定水泵工况点的方法

曾映雪 江 辽

(清远市供排水处理中心, 广东 清远 511500)

【摘要】 在泵站设计工作中,水泵工况点的确定是校核所选水泵是否合适的重要方法。水泵工况点的确定方法有多种,一般图解法使用较多。本文基于数据读取软件,介绍了一种可以大大提高利用图解法求解水泵运行工况点精度的方法。最后以老鸭滩排涝泵站工程为例,验证了该方法的合理性,并利用该方法快速且精准地确定了该算例所选水泵的工况点,校核出所选水泵处于该水泵的高效率区,说明该泵站选择该水泵是合适的,同时也说明该方法合理可行。

【关键词】 水泵选型;工况点;图解法;误差;精度

中图分类号: TV675

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2023)01-069-05

A method for quickly determining the operating point of pump

ZENG Yingxue, JIANG Liao

(Qingyuan Water Supply and Drainage Treatment Center, Qingyuan 511500, China)

Abstract: In the design of pump station, the determination of pump operating point is an important method to check whether the selected pump is suitable. There are many ways to determine the pump operating point, and the general graphic method is most commonly used. Based on the data reading software, this paper introduces a method which can greatly improve the accuracy of pump operating points by using the graphic method. Finally, the rationality of the method is verified by taking Laoyatan drainage pump as an example, and the operating point of the pump selected in the example is determined quickly and accurately by using the method, and it is checked that the selected pump is in the high efficiency area of the pump, which shows that it is appropriate to select the pump for the pumping station, and also shows that the method is reasonable and feasible.

Keywords: selection of water pump; operating point; graphic method; deviation; accuracy

在泵站设计工作中,水泵选型是很重要的一个环节。水泵选得过大,将会出现“大马拉小车”的问题,造成资源浪费;水泵选得太小,达不到使用要求。无论上面哪一种情况,水泵都不会在高效区运行,势必会造成泵站工作效率低下,还会出现水泵运行不稳定的现象,对水泵产生较大损害,影响水泵的正常使用寿命。

因此,选择一台合适的水泵尤为关键。水泵工况点的确定是校核所选水泵是否合适的重要方法,通过水泵工况点的确定可以检验所选水泵是否经济合理,可以通过水泵工况点的确定来指导泵站的设计工作。

确定水泵工况点的方法主要有图解法、计算法、数学模型法等。朱莹等^[1]、李苏航等^[2]对水泵并联运行

收稿日期: 2022-05-14

作者简介: 曾映雪(1987—),女,硕士,主要从事水利技术管理等工作。

时的工况点的推求方法进行了研究。谭丽红等^[3]利用水泵并联曲线以及管网特性曲线研究了校核水泵工况点的方法。李永民^[4]介绍了算法在矿井主排水泵选型工况点校核中的应用。成一雄^[5]周伟三^[6]介绍了利用计算机求解水泵工况点的方法。刘兴华等^[7]张丙华等^[8]对中小型水泵并联运行工况点的计算及水泵选型进行了研究。孙宝玺^[9]对变频水泵运行工况点的确定进行了研究。

1 水泵工况点的确定原理

水泵在泵站的实际运行中,所具有的实际出水量、扬程、轴功率、效率等瞬时值在水泵的 $Q-H$ 曲线、 $Q-N$ 曲线、 $Q-\eta$ 曲线的具体位置,称为其瞬时工况点。^[10]

工况点往往是根据所选水泵的性能、泵站中的管路系统、进出水池的水位综合确定的。管路系统特性曲线与水泵性能曲线的交点即为水泵运行时的工况点。

分别求出管路系统的沿程水头损失和局部水头损失之后,两者之和即为泵站的总水头损失,即

$$h_{损} = h_{沿} + h_{局} \quad (1)$$

沿程水头损失 $h_{沿}$ 和局部水头损失 $h_{局}$ 可以分别表示为

$$h_{沿} = S_{沿} Q^2 \quad (2)$$

$$h_{局} = S_{局} Q^2 \quad (3)$$

式中: $S_{沿}$ 为沿程阻力系数,可以根据管材、管长和管径等确定; $S_{局}$ 为局部阻力系数,可以根据管路系统的管径和附件类型等确定。

因此,泵站的总水头损失可以表示为

$$h_{损} = S_{沿} Q^2 + S_{局} Q^2 = SQ^2 \quad (4)$$

一般进出水池的流速水头差较小,可忽略。根据进出水池的水位关系可以求出泵站的净扬程 $H_{净}$, 加上管路系统的总水头损失,可以得到管路系统的特性曲线方程为

$$H_{总} = H_{净} + SQ^2 \quad (5)$$

由此可以得到管路系统的特性曲线 ($Q-H_{总}$ 曲线),此曲线为流量 Q 的二次抛物线,顶点为 $Q = 0$, $H_{总} = H_{净}$, 见图 1。

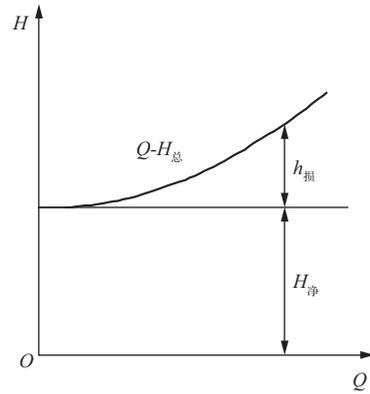


图 1 管路系统特性曲线

水泵的性能曲线 ($Q-H$ 曲线) 可以从厂家提供的样本中得到, 见图 2。

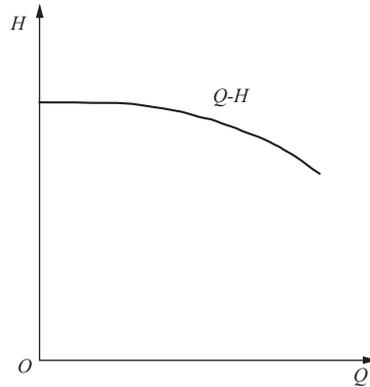


图 2 水泵性能曲线

将两条曲线绘制在同一个坐标系中, 两条曲线的交点 A 即为水泵运行时的工况点, 见图 3。 A 点对应的流量 Q_A 和扬程 H_A 即为水泵实际运行时的流量和扬程。

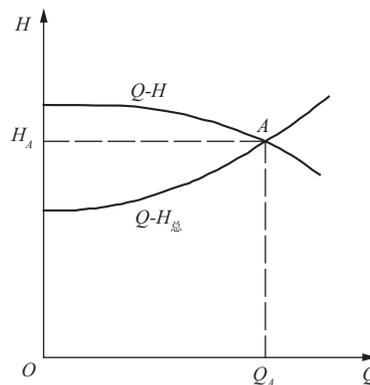


图 3 水泵工况点的确定示意图

2 图解法在实际应用中存在的一些问题

水泵工况点的确定方法多种多样,由于图解法比较直观、物理概念明确、便于理解,在中小型泵站设计工作中被广泛应用。

由于设计人员通常根据水泵样本进行选型及工况点校核,很多时候水泵样本中的性能曲线上没有精确的点数据,性能参数也仅仅是几个点的参数,见图4。此时,利用图解法确定工况点的难度较大,可以采用的

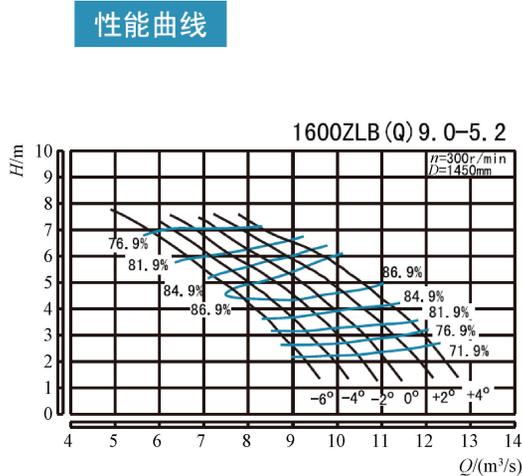


图4 1600ZLB(Q)9.0-5.2型水泵性能曲线及参数

图4中性能曲线纵横轴上的一个刻度分别表示1m和 $1\text{m}^3/\text{s}$,肉眼从图上读取的流量和扬程数值的精度比较低,读数误差较大。如果可以准确地得出曲线上任意点的坐标值,就可以比较准确地将水泵性能曲线和水泵管路系统特性曲线绘制在同一个坐标系中,也可以实现将图上纵横轴上的一个刻度分别细化为0.1m和 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ 甚至更细,可以降低上述过程中的人为误差和读数误差,提高精度。

3 快速确定水泵工况点的方法

下面以一个排涝泵站工程为例,简要介绍在实际设计工作中基于图解法如何准确快速确定水泵工况点。

老鸭滩排涝泵站,设计排涝流量为 $18.4\text{m}^3/\text{s}$,设计净扬程为4.0m。根据相关规范规定,水力损失初步按设计净扬程的0.2倍计算,初步得出总扬程为4.80m,

一种方法是将相应工况下的流量-扬程曲线进行拉伸缩放,使其纵横坐标与水泵性能曲线的纵横坐标重合,确保两条曲线的坐标系一致,两条曲线的交点即为相应工况下的工况点。但该过程人为误差较大、准确性差,特别是对于有多台水泵并联的泵站,存在单台泵独立运行、两台泵并联运行以及多台泵并联运行等多种工况,需要针对不同工况分别进行工况点校核,此时误差可能更大。

性能参数

1600ZLB(Q)9.0-5.2

| 叶片安放角 | 流量 Q | | 扬程 H m | 转速 n r/min | 功率 P/kW | | 效率 η % | 叶轮直径 mm |
|-------|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------------|------------------|------|----------------|------------|
| | m^3/h | m^3/s | | | 轴功率 | 电机功率 | | |
| -6° | 32680.1 | 9.0778 | 2.45 | 300 | 290.5 | 560 | 75.1 | 1450 |
| | 27935.6 | 7.7599 | 4.6 | | 402.3 | | 87 | |
| | 19381.3 | 5.3837 | 7.38 | | 537.8 | | 72.5 | |
| -4° | 34893.7 | 9.6927 | 2.46 | | 312 | 630 | 75 | |
| | 30050.3 | 8.3473 | 4.6 | | 431.9 | | 87.2 | |
| | 21512.9 | 5.9758 | 7.36 | | 579.9 | | 74.4 | |
| -2° | 37143.7 | 10.3177 | 2.52 | | 339.8 | 710 | 75.1 | |
| | 31722.5 | 8.8118 | 4.8 | | 474.7 | | 87.4 | |
| | 22450.7 | 6.2363 | 7.58 | | 639.8 | | 72.5 | |
| 0° | 39314.9 | 10.9208 | 2.42 | | 358.3 | 710 | 72.4 | |
| | 32572.1 | 9.0478 | 5.2 | | 526.4 | | 87.7 | |
| | 24735.2 | 6.8709 | 7.48 | | 685.3 | | 73.6 | |
| +2° | 41918.4 | 11.644 | 2.46 | 391.9 | 800 | 71.7 | | |
| | 35000.6 | 9.7224 | 5.19 | 563.9 | | 87.8 | | |
| | 26818.9 | 7.4497 | 7.4 | 726.5 | | 74.4 | | |
| +4° | 43690 | 12.1361 | 2.58 | 426.9 | 800 | 71.9 | | |
| | 37358.6 | 10.3774 | 5.22 | 601.9 | | 88.3 | | |
| | 29611.4 | 8.2254 | 7.19 | 754 | | 76.9 | | |

初选2台1600ZLB(Q)9.0-5.2(0°)立式轴流泵,该泵的性能曲线及性能参数见图4。下面以2台泵并联运行的工况为例进行说明,此时单台泵的设计排涝流量为 $9.2\text{m}^3/\text{s}$,设计净扬程为4.0m。

初步选定水泵之后,即可根据管道的管壁粗糙度、直径、长度,局部阻力附件的布置以及泵站运行工况等条件,利用式(1)~式(5)求解出对应工况下管路系统的沿程阻力系数和局部阻力系数以及水泵实际所需要提供的总扬程 $H_{\text{总}}$,也就可以得出管路系统的特性曲线 $Q-H_{\text{总}}$ 曲线。

计算得出两台泵并联运行时总阻力系数 S 值为0.01128,得到本工况条件下管路系统特性方程为 $H_{\text{总}}=4.0+0.01128Q^2$ 。为了提高精度,需要得到水泵性能曲线上详细点坐标数据,即图4水泵性能曲线中 0° 曲线上点的数据。本例中,单台泵的设计排涝流量为 $9.2\text{m}^3/\text{s}$,设计净扬程为4.0m,初步估计总扬程为



4.80m左右。可以初步判断该工况点对应的流量在9~10m³/s的范围内,所以性能曲线中有很大部分曲线在进行工况点校核时是多余的,为了提高精度和工作效率,可以只读取流量为9~10m³/s范围内曲线部分的点坐标数据。

此时,需要利用数据读取软件(如plot_digitizer等软件)从图上读取数据点,从水泵性能曲线上读取三个坐标很明显的点作为校准点,完成坐标校准、横纵坐标

定义等工作之后,即可读取曲线上的坐标数据,为了提高精度,应选取尽可能多的数据点,全部完成后,输出数据即可。通过以上方法得出图4中0°曲线上流量为9~10m³/s范围内点的坐标数据(见表1中“流量”列与“性能曲线上的扬程”列数据),根据管路系统特性方程 $H_{总} = 4.0 + 0.01128Q^2$,得到与表1中“流量”列数据所对应的管路系统总扬程(见表1中“实际总扬程”列数据)。

表1 水泵性能曲线数据与管路系统的特性曲线数据

| 序号 | 流量/(m ³ /s) | 性能曲线上的扬程/m | 实际总扬程/m | 序号 | 流量/(m ³ /s) | 性能曲线上的扬程/m | 实际总扬程/m |
|----|------------------------|------------|---------|----|------------------------|------------|---------|
| 1 | 9.00329 | 5.25374 | 4.91435 | 34 | 9.56955 | 4.51892 | 5.03298 |
| 2 | 9.02191 | 5.23516 | 4.91813 | 35 | 9.57941 | 4.49843 | 5.03511 |
| 3 | 9.03505 | 5.21655 | 4.92081 | 36 | 9.59803 | 4.47425 | 5.03914 |
| 4 | 9.05476 | 5.18864 | 4.92483 | 37 | 9.60789 | 4.45749 | 5.04127 |
| 5 | 9.06791 | 5.17190 | 4.92752 | 38 | 9.62979 | 4.42772 | 5.04603 |
| 6 | 9.09091 | 5.14586 | 4.93223 | 39 | 9.63965 | 4.40910 | 5.04817 |
| 7 | 9.10624 | 5.12353 | 4.93538 | 40 | 9.66046 | 4.38120 | 5.05270 |
| 8 | 9.12924 | 5.09563 | 4.94011 | 41 | 9.66922 | 4.36444 | 5.05461 |
| 9 | 9.14348 | 5.07516 | 4.94304 | 42 | 9.69003 | 4.33840 | 5.05915 |
| 10 | 9.15991 | 5.04724 | 4.94644 | 43 | 9.70099 | 4.31978 | 5.06155 |
| 11 | 9.17744 | 5.03611 | 4.95006 | 44 | 9.72180 | 4.29001 | 5.06611 |
| 12 | 9.19934 | 5.00448 | 4.95460 | 45 | 9.73384 | 4.27139 | 5.06875 |
| 13 | 9.22015 | 4.98216 | 4.95893 | 46 | 9.75356 | 4.24348 | 5.07309 |
| 14 | 9.24644 | 4.95614 | 4.96440 | 47 | 9.76670 | 4.22488 | 5.07598 |
| 15 | 9.26177 | 4.93381 | 4.96760 | 48 | 9.78532 | 4.19883 | 5.08009 |
| 16 | 9.28149 | 4.90777 | 4.97173 | 49 | 9.79847 | 4.18022 | 5.08299 |
| 17 | 9.29463 | 4.89289 | 4.97448 | 50 | 9.81599 | 4.15603 | 5.08687 |
| 18 | 9.31325 | 4.86871 | 4.97839 | 51 | 9.82585 | 4.14487 | 5.08905 |
| 19 | 9.32749 | 4.85383 | 4.98138 | 52 | 9.84228 | 4.12255 | 5.09270 |
| 20 | 9.35159 | 4.82594 | 4.98646 | 53 | 9.85323 | 4.10580 | 5.09513 |
| 21 | 9.36583 | 4.80734 | 4.98947 | 54 | 9.86966 | 4.08347 | 5.09879 |
| 22 | 9.38554 | 4.78129 | 4.99364 | 55 | 9.87842 | 4.06858 | 5.10074 |
| 23 | 9.39759 | 4.76827 | 4.99619 | 56 | 9.89704 | 4.03506 | 5.10489 |
| 24 | 9.41731 | 4.74036 | 5.00038 | 57 | 9.90800 | 4.02391 | 5.10734 |
| 25 | 9.42935 | 4.72175 | 5.00293 | 58 | 9.93866 | 3.99604 | 5.11420 |
| 26 | 9.45016 | 4.69198 | 5.00737 | 59 | 9.95181 | 3.97743 | 5.11715 |
| 27 | 9.46112 | 4.67709 | 5.00970 | 60 | 9.97700 | 3.94768 | 5.12282 |
| 28 | 9.48083 | 4.64918 | 5.01392 | 61 | 9.99343 | 3.92162 | 5.12652 |
| 29 | 9.49507 | 4.63058 | 5.01696 | 62 | 10.01640 | 3.88999 | 5.13170 |
| 30 | 9.51260 | 4.60266 | 5.02072 | 63 | 10.04050 | 3.86023 | 5.13716 |
| 31 | 9.52355 | 4.58777 | 5.02307 | 64 | 10.05370 | 3.83789 | 5.14015 |
| 32 | 9.54107 | 4.55985 | 5.02684 | 65 | 10.07670 | 3.81558 | 5.14537 |
| 33 | 9.55312 | 4.54124 | 5.02944 | 66 | 10.08980 | 3.80257 | 5.14835 |

根据表 1, 得出在同一个坐标系下的水泵性能曲线 $Q-H$ 曲线和管路系统特性曲线 $Q-H_{\text{总}}$ 曲线, 见图 5。

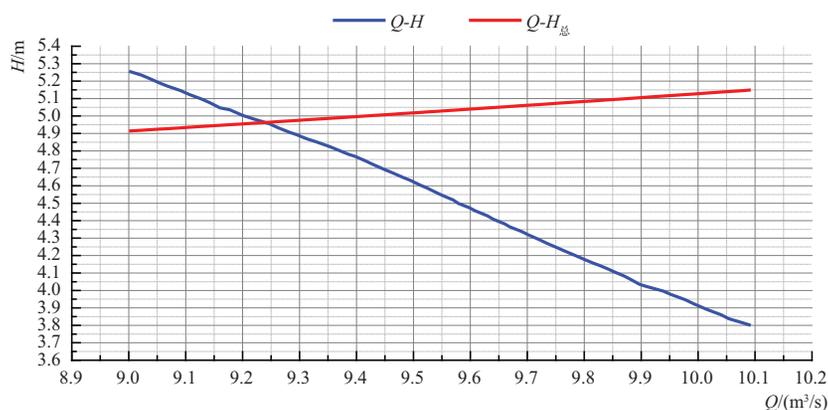


图 5 水泵工况点确定

图 5 中两条曲线的交点即为水泵在该工况下运行时的工况点, 再次利用数据读取软件精确读取出该工况点参数为: $Q=9.23978\text{m}^3/\text{s}$, $H=4.96301\text{m}$, 该精度远大于常规方法得到的数据。从图 4 可知, 该工况点对应的水泵效率大于 86.9%, 处于该水泵的高效率区, 因此本例选择该水泵是合适的。

4 结 论

本文基于水泵工况点的确定原理, 根据泵站管路系统特性方程计算出泵站管路系统特性曲线参数表, 利用数据读取软件快速准确从水泵性能曲线图上读取大量点数据, 然后即可将泵站管路系统特性曲线和水泵性能曲线绘制在同一个坐标系中, 再次利用数据读取软件精确读取出两条曲线的交点即可得到相应工况点对应的工况参数。此方法操作简单、逻辑明确、容易理解, 可以大大提高利用图解法求解水泵运行工况点的精度, 提高工作效率。◆

参考文献

[1] 朱莹, 陈晓明. 并联运行水泵工况点的确定[J]. 森林工程, 2005, 21(4): 18-20.

- [2] 李苏航, 苏玉婷, 刘冬冬. 古城区金安桥提水工程一级泵站水泵并联工况校核点推求[J]. 陕西水利, 2021(7): 14-16, 20.
- [3] 谭丽红, 肖丹, 等. 管网特性曲线用于校核水泵工况点的研究[J]. 城镇供水, 2017(3): 78-80.
- [4] 李永民. 浅谈算法求解并联水泵工况点流量及扬程[J]. 煤炭技术, 2003, 22(2): 83-84.
- [5] 成一雄. VB 编程软件模拟计算水泵稳定工况点实用方法[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(3): 34-39.
- [6] 周伟三. 水泵工况点的计算求法[J]. 工程设计与研究, 1992(78): 41-42.
- [7] 刘兴华, 袁芳. 中小型水泵并联运行工况点计算浅析[J]. 陕西水利, 2014(6): 114-116.
- [8] 张丙华, 李昌红. 浅谈盐卡泵站水泵选型设计[J]. 水利建设与管理, 2020(6): 14-19.
- [9] 孙宝玺. 变频水泵性能曲线的绘制与运行工作点的确定[J]. 河南水利与南水北调, 2021(3): 68-70.
- [10] 姜乃昌. 泵与泵站[M]. 5 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 33.

(上接第 68 页)

- [3] 徐进忠. 引水发电洞压力钢管洞内运输与安装方法[J]. 黑龙江水利科技, 2014, 42(11): 52-54.
- [4] 冯亚军, 周张萍. 大口径超长螺旋钢管定向穿越施工技术应用[J]. 水利建设与管理, 2019, 39(3): 39-43.
- [5] 孟宪岭. 东阿鲁西供水管道 TPEP 防腐钢管特点及施工技术浅析[J]. 水利建设与管理, 2018, 38(8): 14-17.
- [6] 李峰. 长距离高压输水管道钢管焊接质量控制[J]. 水利建设与管理, 2018, 38(5): 42-45.

- [7] 付用坤. 钢管柱贝雷支撑现浇机架桥在溢洪闸施工中的应用[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(1): 42-45.
- [8] 杨联东, 杨建军, 秦俊兰. 复杂地质条件下洞内压力钢管吊装设计及运用[J]. 中国电力企业管理, 2020(24): 78-79.
- [9] 张明祥. 泸定水电站压力钢管施工技术的研究[J]. 云南水利发电, 2021, 37(11): 138-141.
- [10] 沈晓勇, 施雷. 水电站竖井段压力钢管安装施工工艺探究[J]. 内蒙古水利, 2021(8): 54-57.