

水泵变频调速的节电量计算 及系统设计

姚福来 张艳芳 韦玉堂 编著

科学出版社

159537

—1743
4225

水泵变频调速的节电量 计算及系统设计

姚福来 张艳芳 韦玉堂 编著

科学出版社

1998

BB448/06

内 容 简 介

本书用通俗的语言和简单的计算对水泵变频调速供水应用中大家关心的有关节电量计算、节能条件及节能程度进行了论述;对给排水设计人员在应用变频供水设备时应注意的问题及选型不当造成的严重后果进行了详细的说明;并给出供水系统的简单设计方法和水泵管路中常见问题的解决方法。

本书可作为自来水公司、供水设备生产厂家、厂矿企业、设计研究院、大专院校等单位给排水专业和自动化专业人员、学生及技术工人的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水泵变频调速的节电量计算及系统设计/姚福来等编著.
北京:科学出版社,1998

ISBN 7-03-006313-9

I. 水… II. 姚… III. ①水泵-变频调速-电能-节能-计算②水泵-变频调速-电能-节能-系统设计 IV. TH3

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第21681号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

新蕾印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1998年1月第 版 开本:787×1092 1/32

1998年1月第一次印刷 印张:2 3/4

印数:1-5 000 字数:58 000

定价:6.00元

序

水是生命之本,无论在工厂、在市政部门,还是在单位内部,都会不可避免地面临供水问题,所以供水方法与供水技术的先进与落后也是我们所面临的具有普遍意义的问题之一。工厂供水,它要根据生产负荷的变化情况做出相应的调节,以寻求最佳的生产效率和最大的消耗产出比。城市供水要根据居民在不同季节和不同时间里用水量的变化,作合理的调度和调节,以减少过压和欠压两种非合理状况,并实现最大限度地降低电耗。

很久以来,人们通过对水泵特性和管网特性的了解,以期通过对水泵合理地调度和调速控制来达到以最少的能耗获取最佳的经济效益的努力一直在进行中。人们先后把液力耦合器、电磁滑差离合器、调压调速、串级调速、变频调速等诸多技术应用到供水工程中来,尤其随着大规模集成电路的发展和功率电子器件制造工艺的日趋成熟,在过去认为较难实现的某些技术现在已经变得轻而易举了,像变频调速技术在供水行业中的应用就是自 80 年代以来得到飞速发展的,这一方面归功于集成制造工艺成本的大幅度下降,另一方面以节电、高效和易维护为特征的社会需求也为这一新技术的推广起到了推波助澜的作用。

然而变频调速这一电气自动化专业的技术,应用到供水系统这一给排水专业的领域中来,却受到了来自学校教育中不同学科间严重脱节这一弊端而带来的挑战,电气自动化专业的技术人员只知道你让我怎么控制我就能实现怎么控制,给排水专业的设计人员则只知道要根据国家某些标准去设计

和选择我的供水设备,然而有时在实际应用时,却发现供水系统不能尽最大能力的实现节能,如想实现最大限度地节能,却又发现自动控制系统就无法正常工作。

作为给排水专业的技术人员,当然对水泵的比例定律并不陌生:水泵的流量同转速成正比;水泵的扬程同水泵的转速二次方成正比;水泵的功耗同水泵转速的三次方成正比等。然而在我们接触的很多供水行业的工作者中仍存在着不少矛盾的认识,比如有人曾这样问:“在恒压变频供水中,对应某一流量时,水泵为一定转速,当用水量改变时,水泵为另一转速,为什么转速改变了而压力可以保持不变?”“变频供水系统中,当流量发生变化时,水泵又不能工作于效率曲线的高效段,而节能又是怎么取得的呢?”在对节能最感兴趣的自来水公司和工厂管理者当中,他们常问到的问题是:“都说变频供水能节电 30%—50%,而有的厂家用了以后却并没有节能,这是什么原因?你看我们的水厂应用变频供水能否节电?一年能省多少电?几年能收回投资?”“在常用的多种供水方法中,哪种方法最合算?”等等。

本书的宗旨即在于用通俗的语言和数据回答人们在日常工作中存在的一些误解、疑虑和询问。

本书在编写过程中得到了姚泊生、王红霞、高建国等诸位先生和小姐的大力支持和帮助,马留红小姐为本书的打印付出了辛勤的劳动,在此向他们及所有支持过我们工作的同志们表示衷心的感谢!

本书成书时间较短,限于作者水平和能力,难免有缺点、不足或错误之处,敬请同行专家和广大读者批评指正。

姚福来

1997 年 2 月 26 日

目 录

序

第一章 水泵特性和管路特性.....	(1)
一、水泵特性	(1)
二、水泵的并联	(5)
三、水泵的串联	(7)
四、管路特性	(8)
第二章 供水系统流量和扬程的设计	(11)
一、供水系统最大流量的计算	(11)
二、供水系统扬程的确定	(16)
三、建筑内给水管的管径设计	(18)
四、给水系统水管管径的选择	(23)
第三章 水泵选择和管路设计应注意的问题	(25)
一、水泵的选择和布置	(25)
二、贮水池的容量	(26)
三、水泵选择时应注意的问题	(27)
四、水泵选型和使用中常犯的错误	(28)
五、管路设计应注意的问题	(29)
六、管路中一个常出现的问题	(30)
第四章 水泵调速的方法及意义	(33)
一、水泵转速的调节方法	(34)
二、异步电动机的调速途径	(38)
第五章 变频调速的基本原理	(41)
一、变频的基本原理	(41)
二、变频装置的分类	(43)

三、变频器的其它问题	(48)
第六章 调速供水的节电分析和条件	(50)
一、水泵的比例定律	(50)
二、转速变化对水泵特性曲线的影响	(50)
三、调速供水的节电原理	(53)
四、调速供水的节电条件及节电程度	(56)
第七章 变频调速供水的节电量计算及投资回收期	(59)
一、节电量的精确计算	(59)
二、节电量的估算	(64)
三、使用水泵比例定律应注意的问题	(65)
四、影响变频供水节电的若干因素	(66)
五、变频调速供水是否适合你	(67)
第八章 采用变频供水应注意的问题	(70)
一、给排水专业设计中水泵选取的一般原则	(70)
二、自动控制专业进行变频供水控制的一般原则	(71)
三、实际应用中存在的问题	(71)
四、给排水专业设计人员应注意的问题	(72)
五、水厂应用变频供水应注意的问题	(73)
参考文献	(75)
附录 供水系统常规仪表配置及检验项目	(76)

第一章 水泵特性和管路特性

为了全面地回答本书中提到的问题,我们还必须先对供水所涉及的基本设备——水泵和管路进行必要的分析。下面就让我们来对这两种设备的主要特性作一些简要的说明。

一、水泵特性

先让我们做一个简单的试验:取一个脸盆,其中放入三分之一的水,再取一块中间带有一根固定铁轴的木板,放入脸盆中,在脸盆边缘下面接入一根透明的塑料管。当我们朝一个方向反复转动木板时,会发现脸盆中的水逐渐偏向盆壁,同时,透明塑料管中的水位也会逐渐上升。转速再快,塑料管中的水位就会更高,这是为什么呢?这是因为当木板以某一速度转动时,离轴越远的地方转速越快,原来在盆中央的水会由于板的转动产生向外的离心力,而使水向外流动,水沿着木板越向外流动速度也会越快,离心力也会越大。这样,在脸盆边缘的水就具有了一定的能量,用水管向外引出,就可以输出达到一定高度一定流量的水,这就是离心泵的基本原理。把脸盆密封包住就是水泵的外壳,木板就相当于水泵叶轮,在盆中转轴部开一孔,即为水泵进水口,脸盆引出的塑料管相当于水泵的出水口。从水泵的基本原理可以看出,水泵的进水要从线速度最低的叶轮中央(相当于转轴部分)进入,经过叶轮的加速,在叶轮边缘的泵壳上(相当于脸盆)引出具有一定能量

的水,在我们后面章节中,如无特殊说明,均是指这种我们日常生活常见的离心泵。对水泵知识进一步了解,诸如叶轮形状对流量及扬程的影响等问题,请读者参见其它有关的书籍,在此不再赘述。

当你买回一台水泵,接入你的输水管网(也就是人们常见的进入到千家万户的水管),启动水泵,你将会发现一些很重要的现象:每当居民做饭时间来临时,随着用水量的逐渐增加,有些地方的水压就不足了,更麻烦的是有些更高的地方会发现水没有了,当用水量减少后,水压就会慢慢回升。这就是水泵的出水量同水泵的出水压力之间的关系特性,水泵生产厂家为了得出这一特性的全部面貌,就需要对此作更进一步细致的实验,如图 1-1 所示。

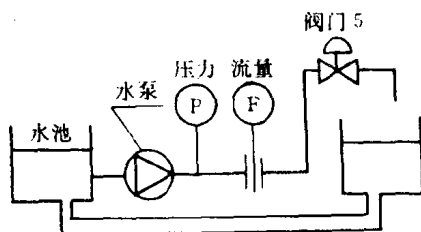


图 1-1

在图 1-1 中,实验人员通过调节阀门,从全关-渐开-全开不同程度时(相当于居民中水龙头打开的多少)记录下流量计的流量和压力表的压力值,然后绘出水泵的流量 Q 和扬程 H 之间的特性曲线, $Q-H$ 特性曲线,如图 1-2 所示:

从图 1-2 可以看出,该水泵出水阀门全关死时,水泵扬程达到最高 H_c (对于有些泵也许不是最高),随着泵出水量的增加,出水口扬程(压力)将会降低,这就是我们常见到的用水

量增多时水压就不足的现象,同时我们也可以看出对于转速固定的水泵,知道了其出水量 $Q(\text{m}^3/\text{h})$ 就知道了其扬程 $H(\text{m})$,一般水泵样本中给出的额定流量 Q_e 和额定扬程 H_e 是指 $Q-H$ 曲线上效率最高(或接近最高)的一点。

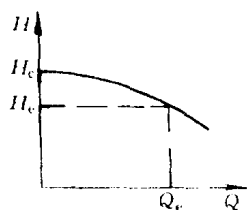


图 1-2

这里的水泵扬程 H 为水泵的总扬程,它包括从进水面到泵出口的吸程再加上泵出口的扬程,对于潜水泵或地下泵房中的水泵,吸程往往为负值,这应引起广大供水工作者注意。人们常存在的误解是把水泵的扬程只看作是泵出口处的扬程或是地面上的扬程。

人们为了合理地使用水泵,还必须对水泵在各种工作状况下的效率和功耗进行测试,以确定该水泵的最佳使用范围和所配电机的功率。一般水泵的功率曲线是这样测出的:对应一定流量 $Q(\text{m}^3/\text{h})$,从水泵的外联接轴看,要输入多大的轴功率 $P(\text{kW})$ 才能完成这一工作,从而得出 $Q-P$ 特性曲线,如图 1-3 所示。

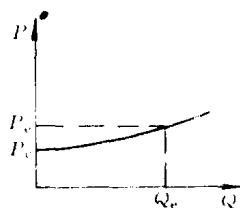


图 1-3

从图 1-3 中我们可以看出,当流量 Q 为零时,水泵也需要消耗一定的功率 P_c ,随着出水量的增加,水泵所需的轴功率也相应增加,设计人员根据水泵额定流量 Q_e 时的轴功率值 P_e 选择该水泵所配电机的功率,一般情况下电机功率的选择应不小于额定轴功率值 P_e ,并且要留有一定的余量,以防水泵出水量稍大于 Q_e 时,因水泵所需轴功率增加致使电机过载而烧坏电机;根据图 1-3 也可以判别出该水泵出水量的最大值 Q_m ,该 Q_m 值为所配电机功率值 P_m 所对应的

流量,如果出水量大于 Q_m ,则电机过载就有烧损的危险。根据 $Q-H$ 曲线,出水量 Q 过大,水泵扬程 H 变低,功耗 P 过大(有些泵可能例外),这是水泵电机烧坏的多数原因。人们在水泵使用中往往忽略这一问题,应该记住的是:水泵应避免在低于额定扬程下使用,如果必须要低于额定扬程使用,应查 $Q-P$ 曲线,以轴功率 P 不大于电机功率为原则。

水泵的效率曲线是这样得出的:对应于一定的流量 Q 和相应的扬程 H ,测出图 1-3 中的轴功率 P 。扬程为 $H(m)$ 、流量为 $Q(m^3/h)$ 的水具有的能量为: $Q \cdot H/367(kW)$,对应于此,水泵所消耗的轴功率为 $P(kW)$,我们可以得出水泵的效率 η ,如式 1-1

$$\eta = \frac{Q \cdot H/367}{P} = \frac{Q \cdot H}{367 \cdot P} \quad 1-1$$

根据式 1-1,从 $Q-H$ 曲线和相应的 $Q-P$ 曲线可画出对应的 $Q-\eta$ 效率曲线如图 1-4。

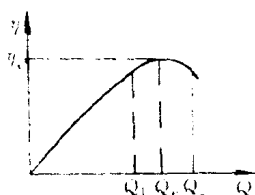


图 1-4

从图 1-4 可以看出,当水泵出水阀全关流量为 0 时,水泵对外做功为 0,但水泵所耗的轴功率仍为 P_e ,所以效率为零。当水泵出水量为 Q_e 时,水泵的效率达到最高 η_e , Q_e 和 η_e 即为水泵样本中给出的额定流量和水泵效率,图中流量在 Q_1-Q_2 间变化时,水泵效率一

直较高,这就是高效段(η_e 为 85%—90%)。设计人员在选择水泵时,就应根据实际中经常性的用水量选择水泵型号,使经常性的用水量处于水泵特性的高效段内,这样可以避免吨水耗电的增加,尤其应该提醒的是过份富余的水泵额定扬程和过份富余的水泵额定流量,都将会使你为吨水电耗多付钱。

一般情况下,水泵生产厂家是在一张图上给出上述三条曲线的: $Q-H$ 曲线、 $Q-\eta$ 曲线和 $Q-P$ 曲线,如图 1-5。

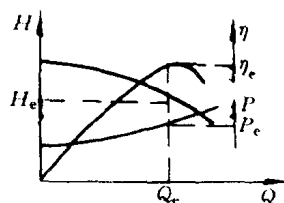


图 1-5

根据图 1-5, 只要我们知道水泵现在的流量 Q , 就可查出此时水泵扬程 H 以及对应的轴功率 P 和效率 η 。

二、水泵的并联

在供水工作中,如果发生用水量过大,一台泵供水已不能满足要求时,就需要再增加一台泵或几台泵同时向管网供水来提高出水量,这就是需要使用水泵的并联方式(如图 1-6)。

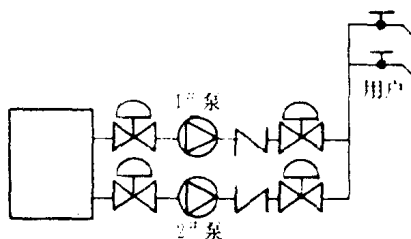


图 1-6

在泵的并联中,为了避免高扬程泵向低扬程泵回灌或低扬程泵不出水,一般并联泵选用的首要问题是各泵扬程尽量一致,同一型号的泵并联时,效率相差不要太大,即不要把用了多年的旧泵同新泵并联使用,一起使用的泵也要经常替换,以免某一台泵长期运行或长期不运行造成水泵效率与其它泵差别太大。

并联泵的目的一般就是为了增加出水量,但有时,也作为备用泵的方式使用(如在消防供水)。

两台泵在一地并联时,由于其共用一个出水管,其扬程是相同的,所以其流量总输出为对应同一扬程两泵的流量之和,并联后系统总的 $Q-H$ 曲线如图 1-7a 所示。

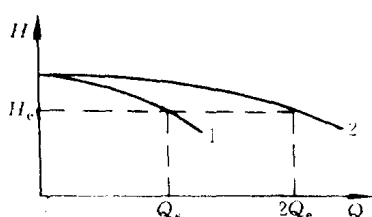


图 1-7a

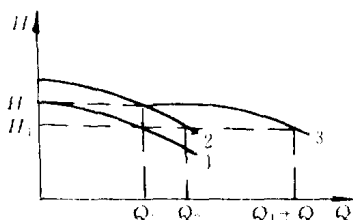


图 1-7b

图 1-7a 为两台同型号泵并联后的情况,曲线 1 为单泵 $Q-H$ 曲线,曲线 2 为两台同型号泵并联时总系统的 $Q-H$ 曲线。当总出水量为两泵额定流量之和,扬程为水泵额定扬程时,该系统中两台泵均工作在高效段。

两台不同额定扬程的泵并联时, $Q-H$ 特性曲线如图 1-7b,图中曲线 1 为 1[#] 泵 $Q-H$ 曲线,曲线 2 为 2[#] 泵 $Q-H$ 曲线,曲线 3 为总 $Q-H$ 曲线。由于 2 台泵 $Q-H$ 曲线不相同,当管网用水量小于 Q_1 ,扬程高于 H_2 时,1[#] 泵由于扬程低,止回阀关闭而流量为零,总 $Q-H$ 曲线同曲线 2;管网用水量大于 Q_1 时,1[#] 泵才逐渐出水,但效率仍很低,总出水量为对应同一扬程时的两泵流量之和。

多台泵并联时, $Q-H$ 特性曲线也可通过上述方法,将对应同一扬程处的各泵流量相加即可。

三、水泵的串联

当供水过程中发生因用户地理位置较高(如山区或城市中的高层建筑),一台泵的扬程达不到,或不便一次加压过高发生爆管或损阀现象,这时就需要再加一台泵或几台泵采用接力的方法把水打上去,这就是泵的串联方式,如图 1-8。

在泵的串联使用中,为了避免因水泵的额定流量不一致造成的互相牵扯,总使有些泵偏离高效区,水泵串联选取的主要问题就是各泵的额定流量要尽量一致,串联的目的就是为了增加扬程。(多级泵,也是水泵串联的一种特殊形式,不同的是各级叶轮是穿在一根轴上,并由同一台电机驱动的,每级叶轮的作用就是为了提高一定的扬程。)

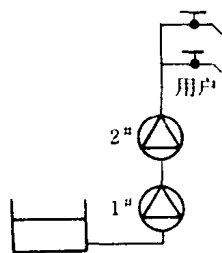


图 1-8

两台水泵串联时,由于两泵是串联在同一条管路中的,所以两泵流量相同,串联后的总扬程为对应同一流量处两泵的扬程之和。图 1-9a 为两台同型号泵串联的情况,图中曲线 1 为单台泵的 $Q-H$ 曲线,曲线 2 是两台泵串联后的 $Q-H$ 曲线,当流量为单泵额定流量 Q_e 时,两台泵均工作在高效段,总扬程为两泵额定扬程之和。

图 1-9b 为两台额定流量不相同的泵串联时的情况,曲线 1 为 1# 泵的 $Q-H$ 曲线,曲线 2 为 2# 泵的 $Q-H$ 曲线,曲线 3 为串联后总系统的 $Q-H$ 曲线,当管路中的流量大于 1# 泵的额定流量时,将有可能烧坏 1# 泵电机,所以两泵串联只能工作于两泵中额定流量最小的那台水泵的额定流量以

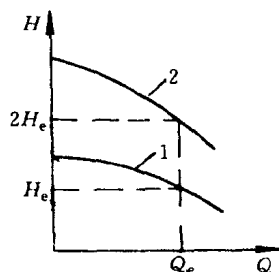


图 1-9a

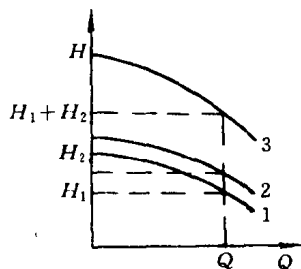


图 1-9b

下,效率总不能同时达到最大,并且要考虑底下的泵流量过小两泵间距又大时的气蚀问题。

多台泵串联时,与上述方法相同,将对应同一流量 Q 处的扬程相加即可。

四、管路特性

我们有了水泵,还必须要有输水的管路才能把水送到千家万户中去,假设管路如图 1-10 所示,在图 1-10 中, H_g 为进水面至出水口总高度(称测地高度),该管路的特性为:

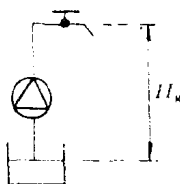


图 1-10

$$H = H_g + (\lambda \cdot l/d + 1) v^2/2g = H_g + R_T Q^2$$

1-2

其中： l ：为管路长度

λ ：为阻力系数

d ：为管道内径

v ：为管内水流速

R_T ：为管路的阻力损失(水头损失)系数

H ：为水泵总扬程

该管路特性用曲线表示如图 1-11。

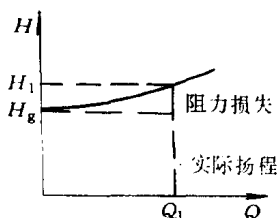


图 1-11

从图 1-11 可以看出,只有水泵提供的扬程 $H \geq H_g$ 时,管路出口才会有水流出,并且要想多出水,要求水泵提供的压力越足越好,这也是我们日常生活中所能感觉到的。水的流速 v 越大,压力损失也越大;管路的内径 d 越小,阻力也越大,全程的扬程损失就越大。

从使用的角度来看,一般管路长度是根据实际用水户的分布来决定的,而不是由设计人员完全决定的,设计人员只能做到合理地优化布局,使达到同样供水效果时的总长度 l 最小,管径 d 是设计人员根据有关经济指标确定的, d 越大,损失到管路中的能量就越小,输出同样的水耗电就越低,但 d 太大,其基建投资也会增大,设计人员在选择管径 d 时,只能是根据资金使用情况、管网寿命、用水量发展情况、电价高低和投资回收期几方面权衡两者的得失,一般的选取规则是,正常供水量 Q 时,以水的流速不大于经济流速 v_e 为原则,根据

$$Q = S \cdot v = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot v_e$$

得：

$$d = \sqrt{4Q/(\pi v_e)} \quad 1-3$$

式中：S：为管路截面积

v_e ：为经济流速

Q：为正常供水量

d：为管径

经济流速 v_e 在不同的供水系统中大小会有所不同，进一步的细节读者可参考其它有关的书籍。

管路厚度要根据管径、管材和管内压力确定，如式 1-4

$$T = \{0.5d(\sqrt{(\sigma + 0.4P)/(\sigma - 1.3P)} - 1) + c\} (m) \quad 1-4$$

式中：d：管内径(m)

σ ：许用应力：铸铁管 $\sigma = 20\text{MPa}$

焊钢管 $\sigma = 60\text{MPa}$

无缝钢管 $\sigma = 80\text{MPa}$

P：管内液体压力(MPa)

c：附加厚度：铸铁管 $c = 0.007 - 0.009\text{m}$

焊钢管 $c = 0.002\text{m}$

无缝管 $c = 0.001 - 0.002\text{m}$