

## 第 1 章绪论

随着生产技术的不断发展，直流拖动的薄弱环节逐步显露出来。由于换向器的存在，直流电机的维护量加大，单机容量、最高转速以及使用环境都受到限制。人们开始转向结构简单、运行可靠、维护方便、价格低廉的异步电动机。但异步电动机的调速性能难以满足生产的需要。于是，从 20 世纪 30 年代开始，人们致力于交流调速技术的研究，然而进展缓慢。在相当长的时期内，直流调速一直以其优异的性能统治着电气传动领域。20 世纪 60 年代以后，特别是 70 年代以来，电力电子技术、控制技术和微电子技术的飞速发展，使得交流调速性能可以与直流调速相媲美。目前，交流调速已进入逐步代替直流调速的时代。

### 1.1 变频器的应用

变频器主要用于交流电动机（异步电机或同步电机）转速的调节，是公认的交流电动机最理想、最有前途的调速方案，除了具有卓越的调速性能之外，变频器还有显著的节能作用，是企业技术改造和产品更新换代的理想调速装置。自上世纪 80 年代被引进中国以来，变频器作为节能应用与速度工艺控制中越来越重要的自动化设备，得到了快速发展和广泛的应用。

### 1.2 变频器与节能

变频器产生的最初用途是速度控制，但目前在国内应用较多的是节能。中国是能耗大国，能源利用率很低，而能源储备不足。在 2003 年的中国电力消耗中，60—70 % 为

动力电，而在总容量为 5.8 亿千瓦的电动机总容量中，只有不到 2000 万千瓦的电动机是带变频控制的。据分析，在中国，带变动负载、具有节能潜力的电机至少有 1.8 亿千瓦。因此国家大力提倡节能措施，并着重推荐了变频调速技术。

应用变频调速，可以大大提高电机转速的控制精度，使电机在最节能的转速下运行。以风机水泵为例，根据流体力学原理，轴功率与转速的三次方成正比。当所需风量减少，风机转速降低时，其功率按转速的三次方下降。因此，精确调速的节电效果非常可观。

与此类似，许多变动负载电机一般按最大需求来生产电动机的容量，故设计裕量偏大。而在实际运行中，轻载运行的时间所占比例却非常高。如采用变频调速，可大大提高轻载运行时的工作效率。因此，变动负载的节能潜力巨大。

作为节能目的，变频器广泛应用于各行业。以电力行业为例，由于中国大面积缺电，电力投资将持续增长，同时，国家电改方案对电厂的成本控制提出了要求，降低内部电耗成为电厂关注焦点，因此变频器在电力行业有着巨大的发展潜力，尤其是高压变频器和大功率变频器。

### 1.3 变频器与工艺控制（速度控制）

目前，中国的设备控制水平与发达国家相比还比较低，制造工艺和效率都不高，因此提高设备控制水平至关重要。由于变频调速具有调速范围广、调速精度高、动态响应好等优点，在许多需要精确速度控制的应用中，变频器正在发挥着提升工艺质量和生产效率的显著作用。

## 第 2 章 变频器简介

2.1 变频器基础

（1）VVVF 是 Variable Voltage and Variable Frequency 的缩写，意为改变电压和改变频率，也就是人们所说的变压变频。

（2）CVCF 是 Constant Voltage and Constant Frequency的缩写，意为恒电压、恒频率，也就是人们所说的恒压恒频。

我们使用的电源分为交流电源和直流电源，一般的直流电源大多是由交流电源通过变压器变压， 整流滤波后得到的。 交流电源在人们使用电源中占总使用电源的 95 %左右。

无论是用于家庭还是用于工厂，单相交流电源和三相交流电源，其电压和频率均按各国的规定有一定的标准，如我国大陆规定，直接用户单相交流电为 220V， 三相交流电线电压为 380V，频率为 50Hz，其它国家的电源电压和频率可能于我国的电压和频率不同，如有单相 100V/60Hz ，三相 200V/60Hz 等等，标准的电压和频率的交流供电电源叫工频交流电。

通常，把电压和频率固定不变的工频交流电变换为电压或频率可变的交流电的装置称作“变频器”。

为了产生可变的电压和频率，该设备首先要把电源的交流电变换为直流电（ DC ），这个过程叫整流。

把直流电（ DC ）变换为交流电（ AC ）的装置，其科学术语为“ inverter”（逆变器）。

一般逆变器是把直流电源逆变为一定的固定频率和一定电压的逆变电源。 对于逆变为频率可调、电压可调的逆变器我们称为变频器。

变频器输出的波形是模拟正弦波，主要是用在三相异步电动机调速用，又叫变频调速器。

对于主要用在仪器仪表的检测设备中的波形要求较高的可变频率逆变器， 要对波形

进行整理，可以输出标准的正弦波， 叫变频电源。 一般变频电源是变频器价格的 15 — 20 倍。

由于变频器设备中产生变化的电压或频率的主要装置叫 “ inverter ”， 故该产品本身就被命名为 “ inverter ”， 即：变频器。

变频器也可用于家电产品。使用变频器的家电产品中，不仅有电机（例如空调等）， 还有荧光灯等产品。

用于电机控制的变频器，既可以改变电压，又可以改变频率。但用于荧光灯的变频器主要用于调节电源供电的频率。

汽车上使用的由电池（直流电）产生交流电的设备也以 “ inverter ” 的名称进行出售。

## 2.2 变频器基本原理

简单地讲，变频器是利用交流电动机的转速与所供交流电的频率成正比的原理，改变电动机的供电频率从而达到改变电动机转速的目的。 变频器通常采用交—直—交的方式，即先由交流电整流成直流， 通过计算机芯片的运算， 控制电力逆变元件， 如 GTR （大功率晶体管）、 IGBT （绝缘栅双极型功率管）等，将直流电源逆变成新的频率与电压的交流电源，从而达到控制电动机转速的目的。

## 2.3 变频器的分类

按照不同的分类标准，变频器可以分为若干类别。按照主电路工作方式分类，可以分为电压型和电流型变频器；按照开关方式分类，可以分为 PAM 、 PWM 控制变频器；

按照工作原理分类，主要分为 V/F 控制变频器、转差控制变频器和矢量控制变频器等；

按照用途分类，主要分为通用变频器、专用变频器等。

另外，按照变频器所控制电动机的电压等级，变频器可以分为低压（110V，220V，380V 等）、中压(660V/690V，1140V，2300V)和高压（3KV，3.3KV，6KV，6.6KV，10KV 等）变频器，高压变频器通常采用 IGBT 多级串联的技术，而中压变频器和低压变频器不需要，由于这一技术方面明显的分界线，使得业内人士通常把中低压变频器归为一个大类，和高压变频器分开。

### 第 3 章 变频器在恒压供水领域上的应用

随着变频调速技术和可编程控制器的飞速发展，以及其应用面广、功能强大、使用方便，已经成为当代工业自动化的主要装置之一，在工业生产领域得到广泛使用，在其

它领域（如民用和家庭自动化）的应用也得到了迅速的发展。由于变频调速技术和可编程序控制器的应用灵活方便，在恒压供水系统中亦得到广泛的应用。采用 PLC 作为中心控制单元，利用变频器与 PID 结合，根据系统状态可快速调整供水系统的工作压力，达到恒压供水的目的，提高了系统的工作稳定性，得到了良好的控制效果以及明显的节能效果。介绍恒压供水之前先要了解供水系统的一些基本特性。

3.1 供水系统的基本模型

供水系统的基本模型如图 5-1 所示

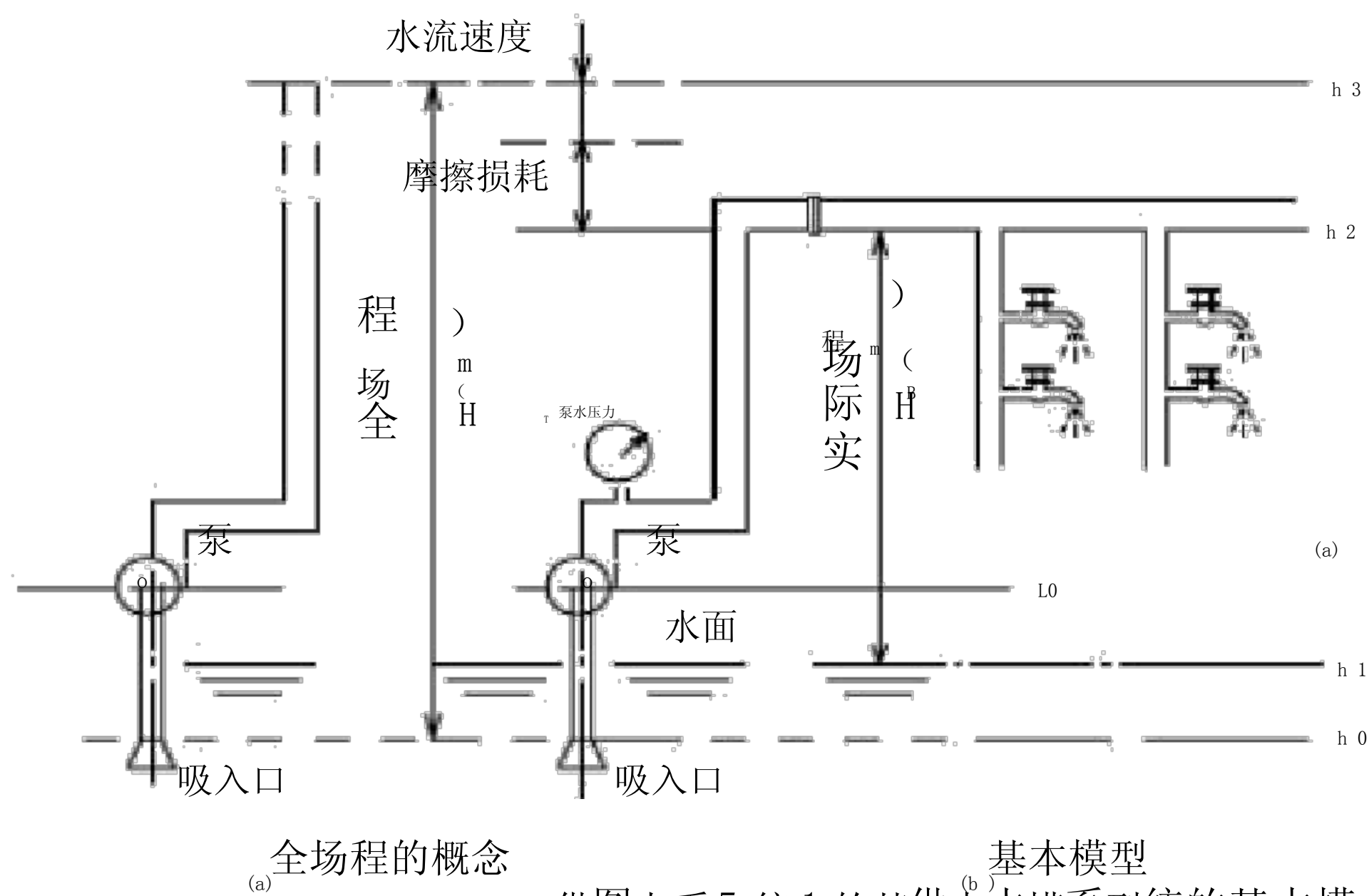


图 1-1 供水系统的基本模型

图中：

- $L_0$ ——水泵中心的位置；
- $h_0$ ——吸水口的水位；
- $h_1$ ——水平面的水位；
- $h_2$ ——管道最高处的水位；
- $h_3$ ——在管道高度不受限制的情况下，水泵能够泵水扬起的最高位置的水位。它可以用来说明水泵的泵水能力，在真实的管道系统中，这个位置并不存在，因而是虚拟的。

这是因为，水泵的泵水能力，只有在大于管道的实际最高位置情况下，才能正常供水。

3.2 供水系统的基本出参数

（1）流量：流量是单位时间内流过管道内某一截面的水流量，在管道截面不变的情况下，其大小决定于水流的速度。符号是  $Q$ 。

（2）扬程  $H$ ： $H$  是供水系统把水从一个位置上扬到另一个位置时的水位的变化量，数值上等于对应的水位差。

（3）实际扬程  $H_B$ ：供水系统中，实际的最高水位  $h_2$  与最低水位  $h_1$  之间的水位差，即供水系统实际提高的水位，称为实际扬程。

（4）全扬程  $H_T$ ：是水泵能够泵水上扬的最高水位  $h_3$  与吸入口水位  $h_0$  之间的水位差。全扬程的大小说明了水泵的泵水能力。

（5）损失扬程  $H_L$ ：全扬程与实际扬程之差，即为损失扬程。供水系统为了保证供水，其全扬程必须大于实际扬程，这多余的扬程主要用于：抵偿各部分管道内的摩擦损失，提高及控制水的流速。

$$H_B、H_T \text{ 和 } H_L \text{ 之间的关系是：}$$
$$H_T = H_B + H_L \tag{5-1}$$

（6）管阻  $R$ ： $R$  是阀门和管道系统对水流的阻力。因为不是常数，难以简单地用公式来定量的计算，通常用扬程与流量间的关系曲线来描述，故对其单位常不提及。

（7）压力  $P$ ：压力是表明供水系统中某一位置水压的物理量。其大小在静态时主要取决于管路的结构和所处的位置，而在动态情况下，则还与流量与扬程之间的平衡情况有关。

3.3 供水系统的特性和工作点

3.3.1扬程特性

以管路中的阀门开度不变为前提，表明在某一转速下，全扬程与流量间的关系的曲线  $H_T=f(Q)$ ，称为扬程特性曲线，如图 5-2 所示。

图 5-2 扬程特性曲线

在供水系统中，水泵是供水的“源”，因此，扬程特性可以看成是“水源特性”，或者说，是“水源”的外特性。意思是说用户用水越多，管道中的摩擦损耗就越大，供水系统的全扬程就越小。

因此扬程特性是反映用户的用水需求状况对全扬程的影响的。在这里，流量的大小取决于用户，因此，是用水流量，用  $Q_u$  表示。

3.3.2管阻特性

以水泵的转速不变为前提，表明阀门在某一开度下，全扬程与流量间关系的曲线  $H_T=f(Q)$ ，称为管阻特性曲线。管阻特性曲线是表明由管阻来控制供水能力的特性曲线。

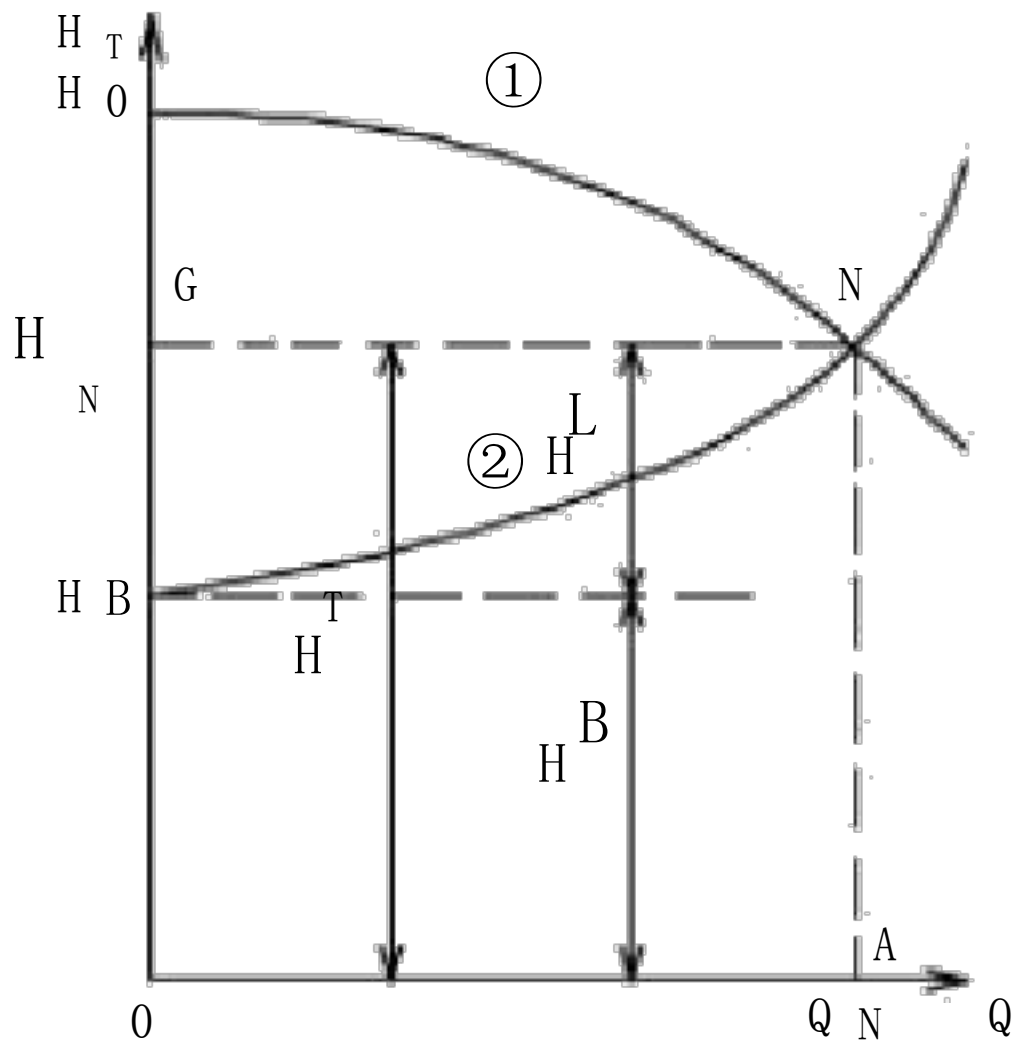
在这里，流量的大小取决于阀门的开度，是由供水来

决定的，故管阻特性的流量可以认为是供水流量，用

$Q_g$  表示。当供水流量  $Q_g$  接近于 0 时，所需的扬程等于实际扬程。其物理意义是：如果全扬程小于实际扬程

的话，将不能供水。因此，实际扬程也是能够供水的基本扬程。

需要说明的是：在实际的供水管道中，流量具有连续性，并不存在供水流量与用水流量的差别。这里的  $Q_g$  和  $Q_u$  是为了便于说明供水能力和用水需求之间的平衡关系假设的量。



供水系统的基本特性

图 1-2

3. 3. 3供水系统的工作点

扬程特性曲线和管阻特性曲线的交点，为供水系统的工作点，如图 5-2中的 N 点。这一点，供水系统既满足了扬程特性，也符合了管阻特性。供水系统处于平衡状态，系统稳定运行，如阀门开度为 100%、转速为 100%，系统处于额定状态，这时的工作点称为额定工作点，或自然工作点，如图中的 N 点即是。

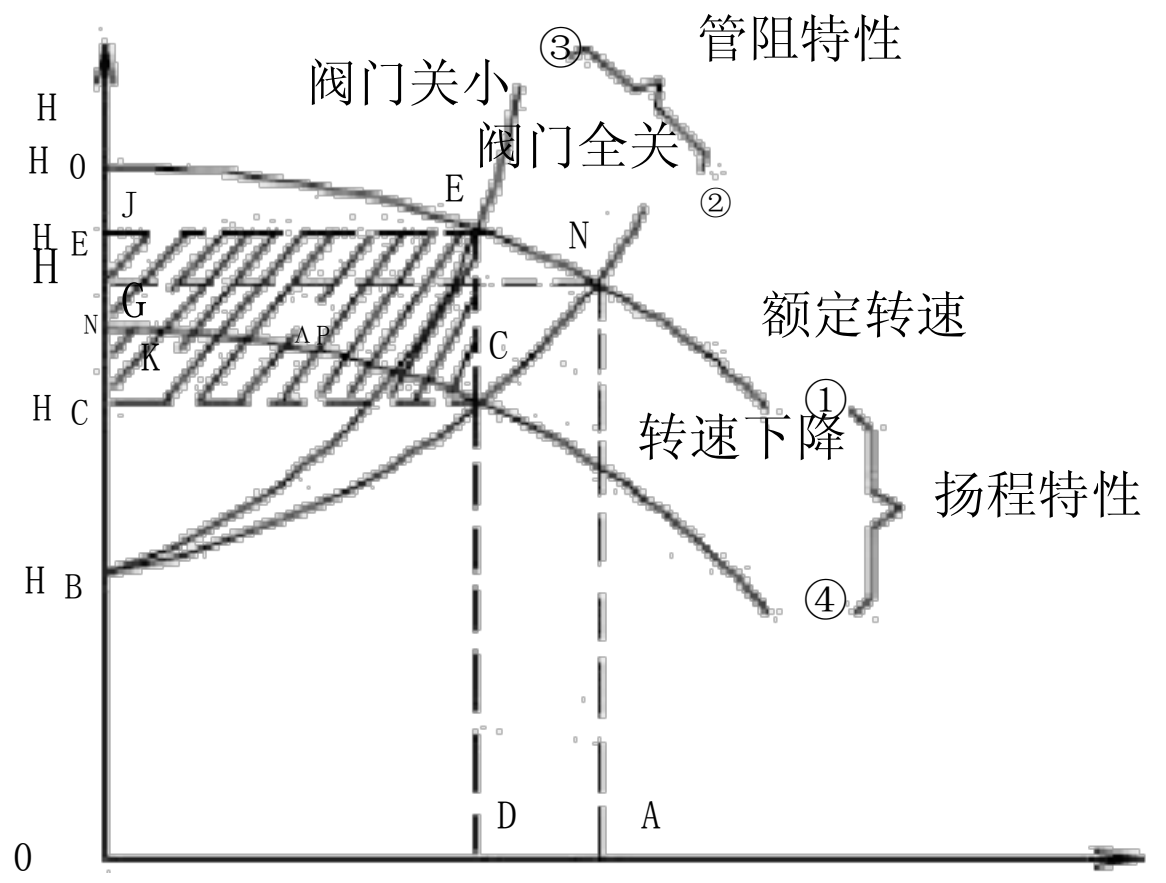


图 5-2 调节流量的方法与比较

称在合稳则工

3. 3. 4供水功率

供水系统向用户供水时所消耗的功率  $P_G$  (KW ) 称为供水功率，供水功率与流量和扬程的乘积成正比：

$$P_G = C_p \cdot H \cdot T \cdot Q$$

( )

5-2

式中  $C_p$ —比例常数。

由图 5-2可以看出：供水系统的额定功率与面积 OANG 成正比。

3. 4 调节流量的方法和比较

如上所述，在供水系统中，最根本的控制对象是流量，因此，要讨论节能问题，必须从考察调节流量的方法入手。常见的方法有阀门控制法和转速控制法两种。

3. 4. 1阀门控制法

图 5-3 调节流量的方法比较

即通过关小或开大阀门来调节流量，而转速则保持不变

阀门控制法是指：水泵本身的供水能力不变，而是通过改变水路中的阻力大小来强行改变流量，以适应用户对流量的需求。这时，管阻特性将随阀门开度的改变而改变，但扬程特性则不变。

如图 5-3所示，设用户需求流量  $Q_x$  为额定流量的 60%，当通过关小阀门来实时，管阻特性将改变为曲线 3，而扬程特性则仍为曲线 1，故供水系统的工作点移至 E 点，这时：流量减小为  $Q_E$ ；扬程增加为  $H_E$ ；由 式（ 5-2）知，阀门开度则保持不变。

3. 4. 2转速控制法

即通过改变水泵的转速来调节流量，而阀门开度则保持不变

转速控制法指的是通过改变水泵的供水能力来满足用户对流量的需求， 当水泵的转速改变时，扬程特性将随之改变，而管阻特性则不变。

仍以用户所需流量等于  $60\%Q_N$  为例，当通过降低转速使  $Q_x = 60\%Q_N$  时，扬程特性为曲线 4，管阻特性则仍为曲线 2，故工作点移至 C 点。

这时，流量减小为  $Q_E$ ，扬程减小为  $H_C$ ，供水功率  $P_G$  与面积  $ODCK$  成正比。

3. 4. 3两种方法的比较

比较上述两种调节流量的方法可以看出，在所需流量小于额定的情况下，转速控制时的扬程比阀门控制时小的多， 所以转速控制方式所需的供水功率也比阀门控制方式小得多。两者之差  $\Delta P$  便是专属控制方式节约的供水功率，它与面积  $KCEJ$  成正比。这是

变频调速供水系统具有节能效果的最基本方面。

3. 4. 4从水泵的工作效率看节能

(1)工作效率的定义

水泵的供水功率  $P_g$  与轴功率  $P_p$  之比，即为水泵的工作效率  $\eta_p$ ：

$$\eta_p=P_g/P_p \tag{ 5-3}$$

这里，水泵的轴功率  $P_p$  指水泵轴上的输入功率，或者说是水泵取用的功率。而水泵的供水功率  $P_g$  是根据实际供水的扬程和流量算得的功率，是供水系统的输出功率。

因此，这里所说的水泵工作效率，实际包含了水泵本身的效率和供水系统的效率。

(2) 水泵工作效率的近似计算公式

据有关资料介绍，水泵工作效率相对值  $\eta_{p*}$  的近似计算公式如下：

$$\eta_{p*}=C_1(Q*/n*)-C_2(Q*/n*) \tag{ 5-4}$$

式中  $\eta_{p*}$ 、 $Q*$ 、 $n*$ —效率、流量和转速的相对值；

$C_1$ 、 $C_2$ —常数，由制造厂家提供， $C_1$  与  $C_2$  之间，通常遵循如下规律：

$$C_1-C_2=1$$

(3) 不同控制方式时的工作效率

由式（ 5-4）可知，当通过关小阀门来减小流量时，由于转速不变， $n*=1$ ，比值  $Q*/n*=Q*$ ，可见，随着流量的减小，水泵工作的效率降低十分明显。

在转速控制方式时，由于在阀门开度不变的情况下，流量  $Q*$  和转速  $n*$  是成正比的，比值  $Q*/n*$ 不变。就是说，采用转速控制方式时，水泵的工作效率总是处于最佳状态。

所以，转速控制方式与阀门控制方式相比，水泵的工作效率要大得多。这是变频调速供水系统具有节能效果的第二个方面。

3. 4. 5从电动机的效率看节能

在设计供水系统时，由于：①对用户的管路情况无法预测；②管阻特性难以准确计算；③必须对用户的需求留有足够的余地。因此，在决定额定扬程和额定流量时，通常裕量较大。

所以，在实际的运行过程中，即使在用水流量的高峰期，电动机也常常处于轻载状态，其效率和功率因数都较低。

采用了转速控制方式后，可将排水阀完全打开而适当降低转速。由于电动机在低频运行时，变频器具有能够根据负载轻重调整输入电压的功能，从而提高了电动机的工作效率。

这是变频调速供水系统具有节能效果的第三个方面。

3. 5 水锤效应和水泵的寿命

3. 5. 1水锤效应

异步电动机在全电压启动时，从静止状态加速到额定转速所需时间只有 0.25 s。这意味着在 0.25 s 的时间里，水的流量从零猛增到额定流量。由于流体具有动量和一定程度的可压缩性，因此，在极短时间内流量的巨大变化将引起对管道的压强过高或过低的冲击，并产生空化现象。压力冲击将使管壁受力而生噪声，图 5-4 异步电动机的机械特性犹如锤子敲击管子一样，故称为水锤效应。

水锤效应具有极大的破坏性：压强过高，将引起管子的破裂。反之，压强过低又会导致管子的瘪塌。此外，水锤效应也可能损坏阀门和固定件。

在直接停机时，供水系统的水头将克服电动机的惯性而使系统急剧的停止，这也同样会引起压力冲击和水锤效应。

3. 5. 2产生水锤效应的原因

产生水锤效应的根本原因，是在启动和制动过程中动态转矩太大。在启动过程中，异步电动机和水泵的机械特性如图 5-4a所示。图中，曲线①是异步电动机的机械特性，阴影部分是动态转矩  $T_J$ （即两者之差）。在拖动系统中，决定加速过程是动态转矩  $T_J$ ：

$$T_J=T_M-T_L$$

(5-5)

由图可知，水泵在直接起动过程中，拖动系统动态转矩  $T_J$  的大小如阴影部分所示，是很大的。所以，加速过程很快。

3. 5. 3水锤效应的消除

采用了变频调速后，可以通过对升速时间的预置来延长启动过程，使动态转矩大为减小，如图所示，图中，曲线簇 1 是异步电动机在不同频率下的机械特性，曲线 2 是水泵的机械特性，中间的锯齿状线是升速过程中的动态转矩。

在停机过程中，同样可以通过对降速时间的预置来延长停机过程，使动态转矩大为减小，从而彻底消除了水锤效应。

3. 5. 4延长水泵寿命的其他因素

水锤效应的消除，无疑可大大延长水泵及管道系统的寿命。此外，由于水泵平均转

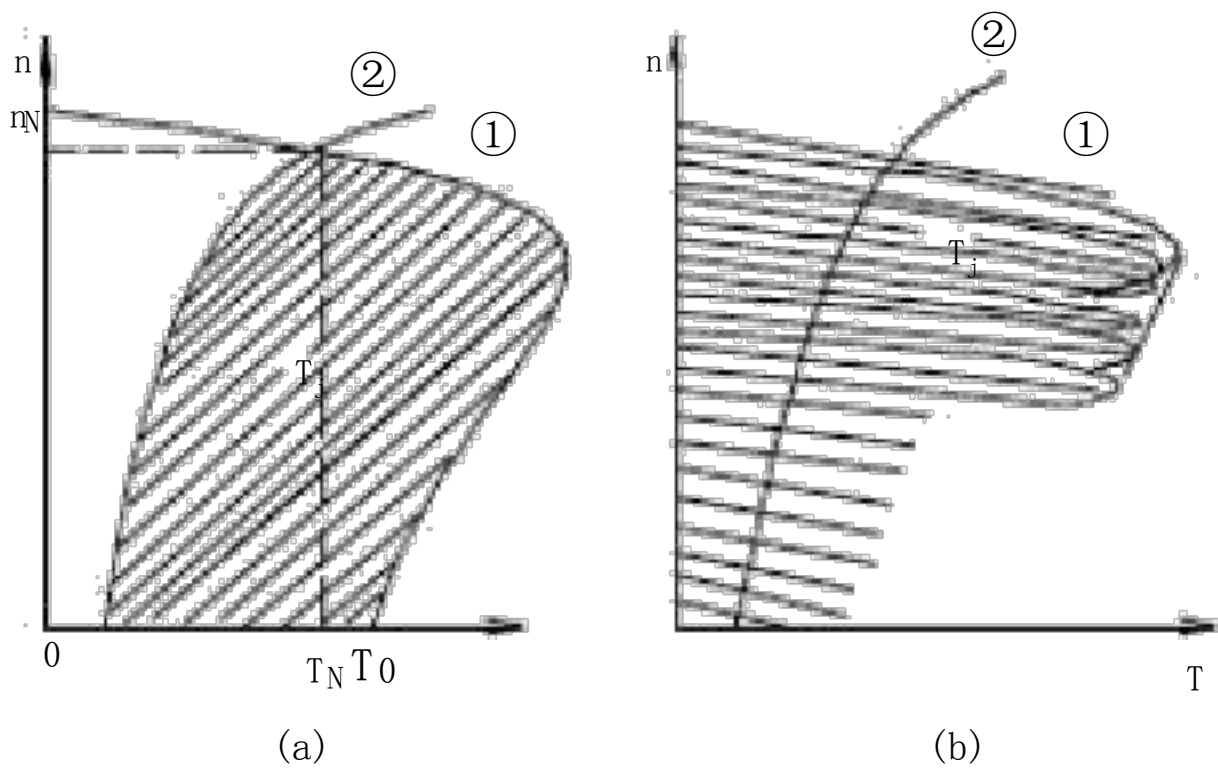


图 1-4 水泵的全电压起动和变频起动  
(a) 全电压起动 (b) 变频起动

速下降、工作过程中平均转矩减小的原因，使叶片承受的应力大为减小；轴承的磨损也大为减小。

所以，采用了变频器调速以后，水泵的工作寿命将大大延长。

### 3.5 恒压供水系统

#### 3.5.1 恒压供水的目的

对供水系统进行的控制，归根结底是为了满足用户对流量的需求。所以，流量是供水系统的基本控制对象。而如上所述，流量的大小又取决于扬程，但扬程难以进行具体测量和控制。考虑到在动态情况下，管道中水压的大小与供水能力和用水需求之间的平衡情况有关。

如：供水能力  $Q_G > \text{用水需求 } Q_U$ ，则压力上升；

如：供水能力  $Q_G < \text{用水需求 } Q_U$ ，则压力下降；

如：供水能力  $Q_G = \text{用水需求 } Q_U$ ，则压力不变。

可见，供水能力与用水需求之间的矛盾具体地反映在流体压力的变化上。从而，压力就成为了用来作为控制流量大小的参变量。就是说，保持供水系统中某处压力的恒定，也就保证了使该处的供水能力和用水流量处于平衡状态，恰到好处地满足了用户所需的用水流量，这就是恒压供水所要达到的目的。

#### 3.5.2 用于恒值系统的控制方案

对于被控对象的数学模型比较复杂，生产工艺提出的恒定值的精确度又不高的变频调速控制系统，如果采用 PID 调节器方案进行调节变频器往往效果不理想，有时还不如

开环控制的效果好。在这种情况下喜爱采用 BANG-BANG 控制方案，效果比较理想。但是对于被控对象的数学模型比较复杂， 生产工艺提出的恒定值的精确度又很高的变频调速控制系统，如果采用大范围用 BANG-BANG 控制、小范围用 PID 调节器进行调节变频器的方法，往往效果也不是那么理想。在这种情况下采用模糊控制方案，效果比较理想。下面简要介绍 PID 算法函数的实现以及 PID 控制整定方法：

（1）PID 算法采用增量式，其算法格式如下

$$e_{(k)}=SV-y_{(k)}$$
$$u_{(k)}=k_c \cdot [e_{(k)}-e_{(k-1)}]+k_{ie(k)}+k_d \cdot [e_{(k)}-2e_{(k-1)}+e_{(k-2)}]$$
$$u_{(k)}=u_{(k-1)}+u_{(k)}$$

——式中积分系数为

$$K_i=\frac{K_cT}{T_i}$$

——式中微分系数为

$$K_d=\frac{K_cT_d}{T}$$

（2） PID 控制整定方法

它主要根据经验直接在控制系统的实验中进行，方法简单、易于掌握。

▲ 速度 PID 比例增益 P 对系统性能的影响：比例增益 P 设定 V/F 闭环控制时误差值的增益，比例增益 P 加大，使系统的动作灵敏，速度加快， P 偏大，振荡次数增多，调节时间加长。当 P 太大时，系统会趋于不稳定、容易产生振荡；若 P 太小，又会使系统动作缓慢。

▲ 速度 PID 积分时间 I 对系统性能的影响：积分环节 I 设定 V/F 闭环控制时 PID 动作的相应速度，以缓解因速度 PID 比例增益设定过大而引起的超调， 通常使系统的稳定性下降。 I 偏大，对系统性能的影响减小。当 I 合适时，过渡过程比较合适。

▲ 速度 PID 微分时间 D 对系统性能的影响：速度 PID 设定 PID 动作的衰减作用， 以缓

解因速度 PID 积分时间设定过大的缺点。微分控制 D 可以改善动态特性，当 D 偏大或偏小时，超调量较大，调节时间也较长，只有 D 合适时，可以得到比较合适的过渡过程。

### 3.5.3恒压供水系统的构成

变频器有两个控制信号：目标信号  $X_T$ ：即给定端 VR 上得到的信号，该信号是一个与压力的控制目标相对应的值，通常用百分数表示。目标信号也可以由键盘直接给定，而不必通过外接电路来给定。反馈信号  $X_F$ ：是压力变送器 BP 反馈回来的信号，该信号是一个反应实际压力的信号。

目标信号的确定：目标信号的大小除了和所要求的压力的控制目标有关外，还和压力传感器的量程有关。举例说明如下：

设：用户要求的供水压力为 0.3MPa，压力传感器的量程为 0-1MPa，则目标值应设为 30%。

### 3.5.4常见的压力变送器

(1) 远传压力表：其基本结构是在压力表的指针轴上附加了一个能够带动电位器的滑动触点的装置。因此，从电路器件的角度看，实际上是一个电阻值随压力而变的电位器。使用时，需另行设计电路，将压力的大小转换成电压或电流信号。

远传压力表的价格较低廉，但由于电位器的滑动点总在一个地方摩擦，故寿命较短。

(2) 压力传感器：其输出信号是随压力而变的电压或电流信号。当距离较远时，应取电流信号，以消除因线路电压降引起的误差。通常取 4-20mA，以利区别零信号和无信号。该控制系统采用压力传感器作为压力变送器。

(3) 电接点压力表：这是比较老式的一种，在压力的上限位和下限位都有电接点。这

种压力表比较直观，为相当一部分用户所熟悉。

3.6 方案论证

以往的供水利用阀门调节供水量，此种供水方案经过多年的使用存在种种弊端，有如下问题制约生产的安全、稳定运行：

- (1) 用户的用水量随季节、时间的变化而变化，使供水量难以控制；而整个供水系统为满足最大供水量的要求，做出了较大的设计余量，这样使得在用水量较低时浪费了大量的电能。
- (2) 操作人员频繁增减泵的运行台数或者通过调节阀门来保持水量的平衡，这样不但增加了操作人员的劳动强度，而且难以保证供水压力的恒定，影响了供水质量。
- (3) 频繁开启水泵增加了对点击泵的机械冲击，缩短了它们的检修周期和使用寿命，增加了设备的检修费用，尤其是当大容量水泵启动时引起的电压波动会对其它设备运行带来不良影响。

而采用变频调速控制的恒压供水可以解决上述问题，下面从经济效益和系统优点两方面进行论证：

(1) 经济效益分析

变量泵的功率  $N_1$ 、供水量  $Q_1$  与泵转速  $n_1$  三者的关系如下式：

$$N_1/Q_1= (n_1/n)^3$$
$$N_1/Q= (n_1/n)$$

式中  $Q$ —额定流量，  $Q_1 < Q$

$N$ —额定流量  $Q$  时的轴功率

$n$ —水泵的额定转速

因额定流量  $Q=100\%$ ，  $n=100\%$ ，  $N=100\%$ ，

若  $n=90\%$  时， $Q_1=90\%Q$ ， $N_1=72.9\%N$ ，

即可以 节约电能 27.01%

(2) 系统优点分析

①恒压供水技术因采用变频器改变电动机电源频率， 而达到调节水泵转速改变水泵出口压力，比靠调节阀门的控制水泵出口压力的方式，具有降低管道阻力大大减少截流损失的效能。

②由于变量泵工作在变频工况，在其出口流量小于额定流量时泵转速降低，减少了轴承的磨损和发热，延长泵和电动机的机械使用寿命。

③因实现恒压自动控制，不需要操作人员频繁操作，降低了人员的劳动强度，节省了人力。

④水泵电动机采用软启动方式，按设定的加速度时间加速，避免电动机启动时的电流冲击，对电网电压造成波动的影响， 同时也避免了电动机突然加速造成泵系统的喘振。

⑤由于变量泵工作在变频工作状态，在其运行过程中其转速是由外供水量决定的，故系统在运行过程中可节约可观的电能，其经济效益是十分明显的。由于其节电效果明显，所以系统具有收回投资快，而长期收益，其产生的社会效益也是非常巨大。

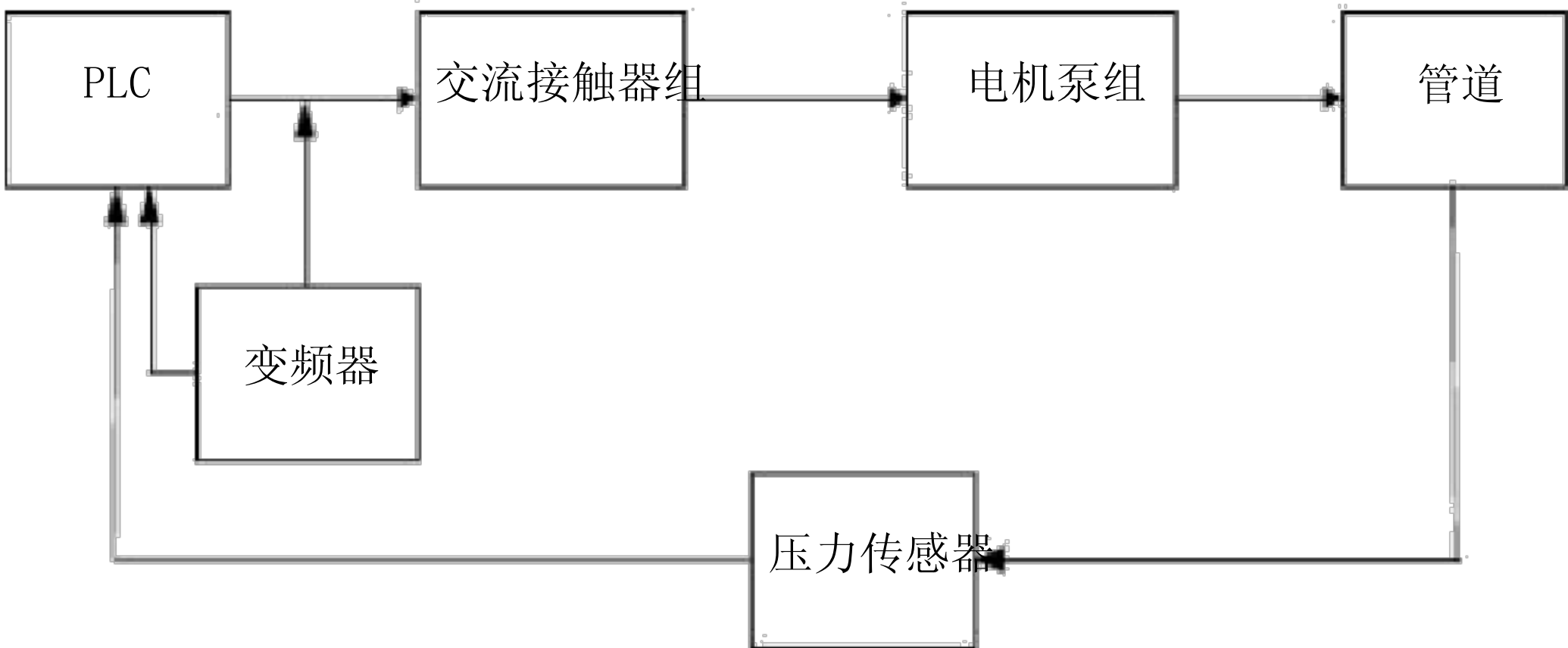


图 5-5 自动恒压供水系统原理图

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/358116110131007023>