

第 1 章 绪 论

1.1 现场总线仪表的产生

最早期的自动化仪表是基地式仪表，它安装在生产设备附近，所以也可以称为现场仪表。基地式仪表的测量、显示、控制和执行等部件组合成一个整体，并安装在一个表壳里。这种基地式仪表成套性很强，若有某一功能结构损坏，会使整套装置全部报废。为了克服这一缺点出现了单元组合式仪表，有人称单元组合式仪表为积木式仪表。在自动控制系统中，任一单元仪表损坏时，只需更换被损坏单元，其他单元照常使用。在这一阶段开始时，气动单元组合仪表占优势。因为气动信号传输速度的极限是声速，所以如果生产设备过于大型化，中央控制室所发出的控制指令抵达被控对象附近有较大的时间延迟。后来，出现了电动单元组合式仪表和组件组装式仪表。电气信号传输速度的极限是光速，这样一来，无论是中央控制室将信号送到被控对象，还是被控对象的被控参数送到中央控制室，都可以看成没有时间延迟。电动仪表存在两大问题：一是电噪声的问题比较严重，为克服噪声影响，不得不采用极为复杂的电子线路；二是监控困难问题，由于所有仪表单元几乎都安装在中央控制室，监控表盘可以长达几十米，使运行操作人员的监控发生困难，来回走动的时间将导致事故的发生。计算机直接控制系统（DDC）的出现可使中央控制室的监控面积大大缩小，一台计算机可以代替许多台仪表并能完成同样的控制任务。但是，由于一台计算机控制着几十个甚至几百个回路，一旦计算机发生故障，就会使整个生产陷于瘫痪。由于危险集中，DDC 又被淘汰。随着微处理机技术的高速发展，过去由一台大型计算机完成的控制功能可以由几十台甚至几百台微处理机来完成，各微处理机之间可以用计算机网络连接起来，从而构成一个完整的控制系统。这种结构形式，一台微处理机只控制少量的几个回路，危险比较分散，因而被称为分散控制系统（DCS）。DCS 还不是真正的分散控制，在很多控制系统的设计中，DCS 的一台微处理机仍控制着一定数量的控制回路。DCS 的通信标准不统一，阻碍了信息的传递与共享，因而形成了一个自动化孤岛。DCS 的现场测量级或执行级仍采用 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ DC 不但电缆消耗量巨大而且安装维护费用高，远远满足不了对现场仪表状态监测和管理的深层次要求，而现场总线仪表正是为解决这些问题而产生的。

现场总线仪表的产生主要来自两个方面：一是智能变送器出现，二是网络技术的发展。由于 CPU 的不断降价在 20 世纪 80 年代初出现了带 CPU 的变送器，即智能变送器，这就是现场总线仪表的雏形。智能变送器不但需要把现场测量的过程变量和仪表本身的自诊断信息向中央控制室的上位机报告，而且还需要上位机对其进行量程、零点、线性、阻尼等参数的设定，由此产生了现场仪表与上位机的通信要求。因特网的出现，使得企业通过因特网将全世界的各个工厂与其总部连接在一起，生产与其他企业功能的协调已成为信息技术结构的一个有机部分。网络可以从工厂中收集更多的信息并使之广泛而远距离

地传遍整个企业。然而,因 DCS 的检测、变送和执行等现场仪表仍然采用模拟的 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 信号连接,无法满足网络系统对现场信息的需求,限制了网络的视野,因而产生了网络系统与现场仪表的通信要求。正是在上述两种因素的驱动下,要求建立一个现场仪表与上位机或网络系统的数字通信链路,这条通信链路就是现场总线,而挂接在现场总线上的电子设备,一般被称为现场总线设备或现场总线仪表。

1.2 现场总线仪表的含义

Device 可以译成设备,也可以译成仪表。设备一般指机械部位,大而重,如火力发电设备 仪表一般指机电产品 小而轻 如机械电子表。挂在现场总线上的电子器件 也属于机电一体化产品。目前生产的变送器质量大约为 1kg 可谓小巧玲珑。因此 本书在多数情况下称现场总线设备为现场总线仪表,这也是为了与书名取得一致。现场总线仪表与现场总线设备无严格区别,可以混用。

根据国际电工委员会 IEC611 58-2 的定义,现场总线是指安装在制造或过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、串行、多点通信的数据总线。

IEC 给现场总线下了定义,但是却未明确地给现场总线仪表和现场总线控制系统(FCS)下定义。这是因为惟一的现场总线国际标准难以制定,目前是多种类型现场总线标准共存的时期。某一类型的现场总线控制系统是以某一类型的现场总线为基础的,只要现场总线类型一经确定,其系统的体系结构也就确定了。因此,某一类型的现场总线控制系统与其同一名称的现场总线类型之间有着确定的,而且是惟一的对应关系。

在自动控制原理中,自动控制系统的定义是由控制仪表和控制对象组成的能够完成自动控制任务的系统。显然,现场总线控制系统是指控制仪表,是不包括控制对象在内的。因而,在狭义上,现场总线仪表是指内置微处理机具有数字计算和通信能力的控制仪表或装置;在广义上,现场总线仪表指的是各现场总线仪表以现场总线为纽带而形成的更大规模的网络控制仪表,有人称之为现场总线控制系统(Fieldbus Control System)即 FCS。因此在广义上现场总线仪表与 FCS 的含义是相同的,本书也不加区别。

1.3 现场总线仪表的特点

现场总线仪表与以前的控制仪表相比,具有许多优点,现阐述如下。

1.3.1 全数字性

模拟通信方式是用 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 直流模拟信号传送信息,即一对线只能接一台现场仪表,传送方向具有单向性。因此,接收现场仪表信息的信号线和发给现场仪表信息的信号线是分开的。

混合通信方式是在 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 模拟信号上,把现场仪表信息作为数字信号叠加的通信方式,加上模拟通信方式的功能,可以进行现场仪表量程的设定和零点调整的远程设定。

但是,混合通信方式是厂家个别开发的,厂家不同的仪表之间不能进行信息交换。HART 是一种典型的混合通信协议,采用 HART 协议的表称为 HART 表。即使 HART 协议

已在混合通信方式中占统治地位,但它也不被 DCS 厂家所接受。因此,HART 表在与 DCS 的通信中,仍然以模拟 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 通信为主体 而且 HART 的通信速度比现场总线的通信速度低。

现场总线通信方式与模拟通信和混合通信方式不同,是完全的数字信号通信方式。现场总线通信方式可以进行双向通信,因此与模拟通信方式和混合通信方式不同,可以传送多种数据。在现场总线通信方式中,从变送器的传感器到最后的控制阀,信号一直保持数字性 具有全数字性。

现场总线作为一种数字式通信网络,从控制室一直延伸到现场,使过去采用一对一的模拟量信号传输变为多点一线的串行数字式传输。在现场总线仪表中,不论是传感器,还是转换器电路,都是数字的。不像 HART 表那样,既有数字电路,又有模拟电路。因而,现场总线仪表的全数字性使得仪表的硬件结构更加简单,其分辨力、测量速度、稳定性都高于 HART 表。

1.3.2 精度高

现场总线可以消除模拟通信方式中数据传送时产生的误差,如图 1-1 所示。

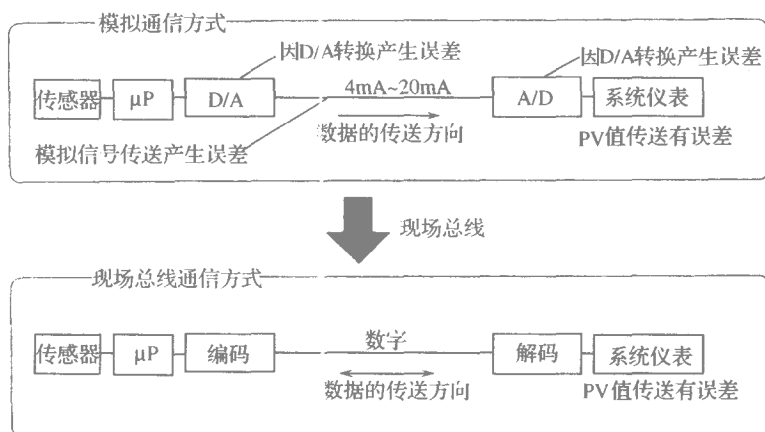


图 1-1 两种通信方式精度的比较

模拟通信方式产生误差的原因有以下三个方面：现场仪表中 D/A 转换产生误差 模拟信号传递产生误差；系统仪表的 A/D 转换产生误差。

在现场总线通信方式中 不存在 D/A 和 A/D 转换电路,所以不会产生 D/A 和 A/D 的转换误差,因而信号的传输精度有所提高。故现场总线通信方式要比模拟通信方式精度高。编码的作用是把微处理机 μP 输出的数字信号变换为适合传送的数字信号,反之就是解码。

在 HART 仪表中,传感器有的不是直接转换成数字的,而是把差压或压力作用在膜片上 使其产生位移 改变电容或电阻 先输出电压 再经过 A/D 转换变成数字信号后 送微处理机。若按模拟信号传送,还需经过 D/A 转换。这样,在 HART 表本身就经过了两次转换,再加上送到系统仪表去,就经过了三次转换,其信号传输精度在反复的 A/D 和 D/A 转换中有所降低。

1.3.3 抗干扰能力强

如图 1-1 所示的模拟通信方式中, 还存在着模拟信号传递产生的误差。在模拟通信方式中 信号是以 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 的连续变化形式存在的, 信号值的变化可以无限小, 因此, 噪声和信号畸变在模拟信号传输中是无法避免的。也就是说, 现场仪表传输模拟信号时稳定性较差, 信号误差只会将一个有效信号变为另一个有效信号, 即使从最精确的模拟仪表送来的信号, 当它到达控制器时也可能已变得完全不准确。而在现场总线仪表中, 信号的有效值只有 0 或 1 两个, 所以它非常坚实可靠, 一般的噪声很难扭曲它。它可以直接传送或者以某种方式进行编码。因此, 与模拟信号相比, 其抗干扰或抗畸变的能力强。更为重要的是, 检错机制可以检测数字信号失真, 一旦发现失真, 就可以废除相关报文, 并可能要求再重新传送一次。在模拟通信方式内不可能检测到信号的畸变, 这是因为一个畸变的信号看起来仍然像是一个有效的过程信号。例如, 一个 19mA 的模拟信号, 由于噪声干扰可以在 $18.97\text{mA} \sim 19.03\text{mA}$ 之间变化或者由于电源电压的下降而固定在 18mA 。由于它仍然属于一个有效的信号, 因此没有一种方法可告知操作员信号存在的误差。操作员可以怀疑信号受到了干扰或者限制, 但是没有办法确定究竟是畸变还是过程发生了变化。然而, 一个接收到的数字信号则忠实于起始被传送的信号。例如, 若信号高电平为 5V 代表数字“1”, 信号低电平为 0V 代表数字“0”。若因为干扰使高电平降到 4V 或使低电平升到 1V 时 4V 仍代表数字“1”, 1V 仍代表数字“0”, 数字信号并没有失真。数字信号优越的保真度正是它们被光盘和自动化领域采用的原因, 它不但带来了较高的精度, 而且带来了较高的置信度。

1.3.4 内嵌控制功能

在每台现场总线仪表中都内嵌有 PID 控制、逻辑运算、算术运算、积算等模块 用户通过组态软件对这些功能模块进行任意调用, 以实现过程参数的现场控制。

如图 1-2 所示为模拟控制回路。过程变量阶跃变化后, 经过时间 τ_1 延迟后由变送器送入控制室中的控制器, 又经过时间 τ_2 延迟后由控制器送入终端控制元件。总的延迟

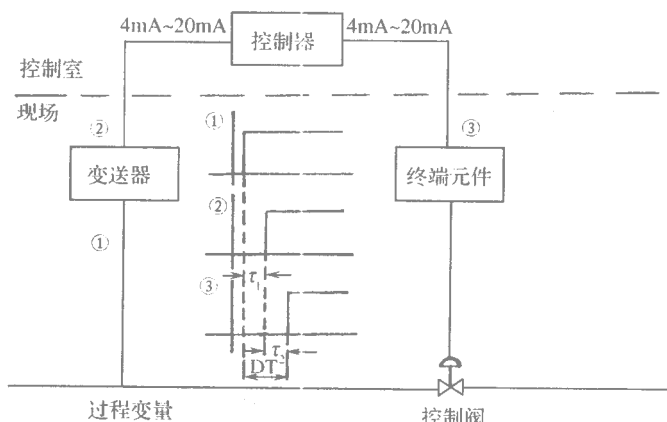


图 1-2 模拟控制回路

时间 $DT = \tau_1 + \tau_2$ 。如图 1-3 所示为现场总线控制回路。过程变量阶跃变化后，经过时间 τ_1 延迟后由变送器送到现场总线上，又经过时间 τ_2 延迟后由现场总线仪表的发送端送入终端控制元件接收端。图 1-3 中的现场总线传输延迟 τ_2 大大小于控制室中控制器的运算及传递延迟 τ_2 。由于现场总线仪表就安装在生产设备附近，使信号传输的距离大大缩短。这不但提高了回路的控制质量，降低了回路的不稳定性，而且还可取消控制柜，进一步节省了控制室的空间。

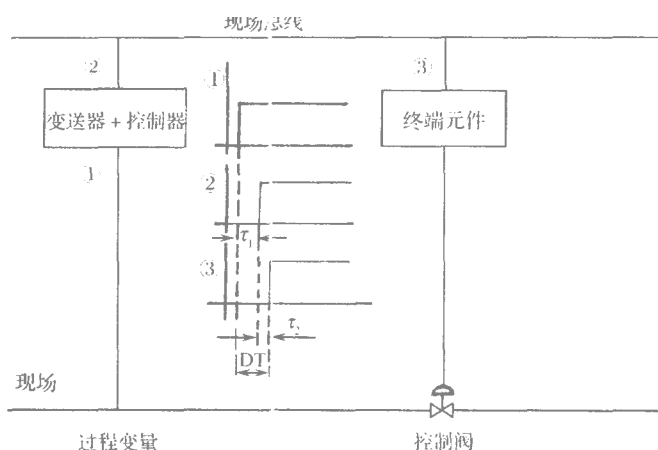


图 1-3 现场总线控制回路

1.3.5 高速通信

一般来说，HART 仪表通信速度不高，因此，不能有效地实现实时控制。现场总线仪表要像 4mA ~ 20mA 系统那样实现闭环实时控制需要更高的通信速度。由于高速需要高功率，即需要更大的电源功率消耗，这个要求与本质安全产生了矛盾，因而现场总线仪表的通信速度不能过高。这就要求现场总线的通信速度适中，并且尽量减少系统的通信负荷。

现场总线仪表采用通信调度系统来控制变量的采样、算法的执行和通信系统的优化。如把数据分为周期性和非周期性两部分：对周期性数据必须在系统所需的周期内处理完毕，而对非周期性数据可以在传输周期性数据空闲时传输。有了这样的通信调度，就使得现场总线仪表具有了与模拟控制系统一样的控制速度，因而也达到与模拟控制系统一样的高速闭环控制性能。

1.3.6 多变量测量

所谓多变量测量，是指一台现场总线仪表可以同时测量多个过程变量。在过去的模拟通信方式中，测量一个变量就需要一对导线，因此每台变送器只能测量一个过程变量。采用了现场总线通信方式后，由于每台现场总线变送器内配有多个感测元件，它就可以同时测量多个过程变量，并通过现场总线传输出去，因此一台现场总线变送器可以当作多台变送器使用。例如现场总线差压变送器，除可用于测量流体流量以外，还可用于测量过程压力、温度等。再例如，在现场总线密度变送器中，除了测量密度外，还可测量过程温度。一台有两个独立输入的现场总线温度变送器可以取代两台变送器。

1.3.7 多变量传送

如图 1-4 所示为一台带阀门定位器的调节阀。阀上有控制器的输出信号，即位置控制信号、阀位上限信号、阀位下限信号、阀门开度信号。模拟通信方式下的这台调节阀至少需要四对线连接，而现场总线只需要一对线即可替代。利用现场总线仪表的多变量传送特性，还可以实现一些特殊的系统功能，例如对变送器周围的环境温度和导压管的堵塞监测等。正是现场总线多变量的传送特性，才使电缆数量得到大大减少，电缆敷设的工作量也大大降低。

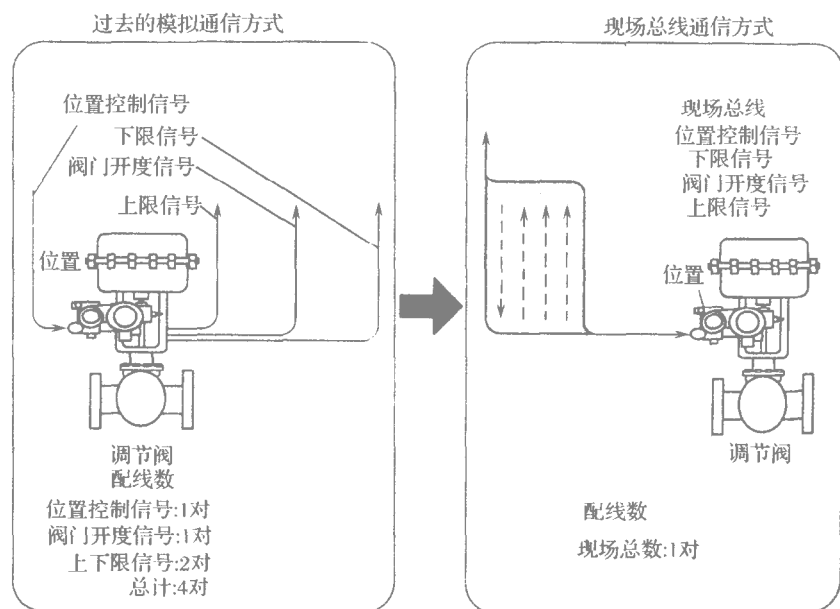


图 1-4 多变量传送

1.3.8 系统综合成本低

在 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 通信方式下，变送器只能测量一个物理变量，如果要将这个测量变量转换为控制上必要的的数据，还需要其他附属的仪表。例如，测量带有温度和压力补偿的蒸汽流量时，需要三台变送器分别测量温度、压力和差压（流量）。而在现场总线控制系统中，则只需要一台现场总线变送器就可以了，这不但使系统结构大大简化，而且还降低了系统的综合成本，减少了系统安装和调试费用。

由于现场总线仪表能直接执行传感、控制、报警和计算功能，因而可减少变送器的数量，已不再需要单独的调节器和计算单元等，也不再需要 DCS 系统的信号调理、转换、隔离等功能单元及复杂接线，还可以用工控 PC 机作为操作站，从而节省了大量的硬件投资，并可减少控制室的占地面积。

现场总线接线十分简单，一对双绞线或一条电缆通常可挂接多个设备，因而电缆、接线端子、槽盆、槽架的用量大大减少。当需要增加现场总线仪表时，无需增加新的电缆，可就近连接在原有的电缆上，既节省了投资，又减少了设计、安装的工作量。

1.3.9 真正的互可操作性

数字通信的一个潜在问题是可以有许多不同的协议。表征编码与传输数据的方法称为协议。制造厂商已经制订了许多不同的协议，然而，根据一种协议所设计出的仪表是不能与按另一种协议所设计出的仪表一起工作的。标准化委员会的目的之一就是要定义出一种标准的协议，让各种仪表都能遵守，以使得不同制造厂商所生产的仪表可以互可操作，或者说可以在一起工作。关键一点在于系统的能力不应该靠系统中仪表各自的功能来确定，而应该由这些仪表相互通信的能力来决定。一台具备最好功能的仪表，如果不能无缝地集成在一起，其产生的效果还不如两台虽功能较差但却能无缝地集成在一起的仪表。

现场总线通信方式正在向国际化推进，标准化确保了互可操作性的实现。所谓互可操作性，是指来自不同厂家的仪表可以互相通信，并且可以在多厂家的环境中完成功能的能力。互可操作性使不同厂家的仪表可以互相使用，其控制系统的组成是自由的。凡是符合现场总线国际通信标准的现场总线仪表，不论是哪一个厂家制造的，都可以互相交换信息。这样，用户就不必围绕着某一仪表制造厂选择仪表，控制系统构成的自由度大大增加，用户能够以最优的性能/价格比构成符合自己要求的控制系统。互可操作性与互用性是有区别的，互可操作性是指实现互联仪表间、系统间的信息传送与沟通，而互用性是指不同制造厂家的性能类似的仪表，可实现相互替换。

1.3.10 真正的分散控制

现场总线控制系统 能够把原先 DCS 中处于控制室的控制模块和各类输入输出模块置入现场总线仪表，再加上现场总线仪表具有通信能力，现场总线变送器可与现场总线执行器直接传送信号，因而控制系统功能能够不依赖控制室的计算机或控制仪表而直接在现场完成 实现了真正的分散控制 如图 1-5 所示。

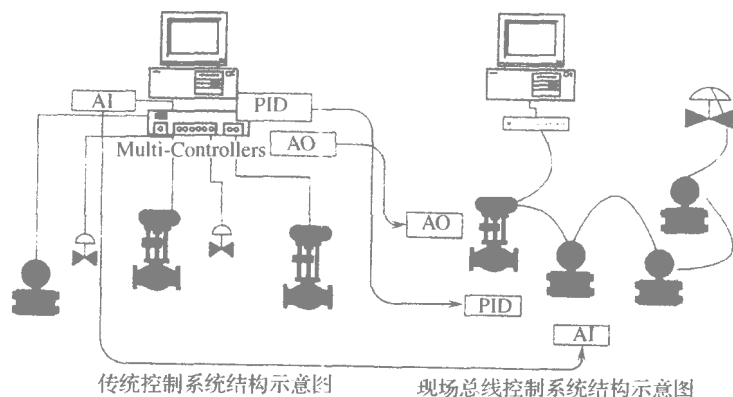


图 1-5 现场总线控制系统与传统控制系统结构的比较

从 DCS 的结构看，它并不是一个真正的分散控制，而是一个半分散系统。DCS 系统中的现场仪表主要指的是模拟变送器和模拟执行器，当然也可以指的是 HART 表而控制器或过程控制单元则集中安装在控制室。它把控制功能分散到一些控制模板上，每个控制模板可控制一个或多个回路 属于“神散形不散”的控制方式。而 FCS 则是真正的分散

控制，它的控制功能下放到现场，每个控制回路完全由分散安装的现场总线仪表控制，属于‘神散形也散’的控制方式

如图 1-6 所示显示了 DCS 结构与 FCS 结构的主要区别。在 DCS 中控制站的功能被分散到现场总线仪表和操作站中从而减少了一层即由 DCS 的三层结构简化为 FCS 的两层结构。原来不开放的内部总线变为开放的现场总线。在 FCS 中，控制功能虽然分散到现场总线仪表中，但仍允许在控制室操作站上用数字通信方式对现场总线仪表进行操作和调整。

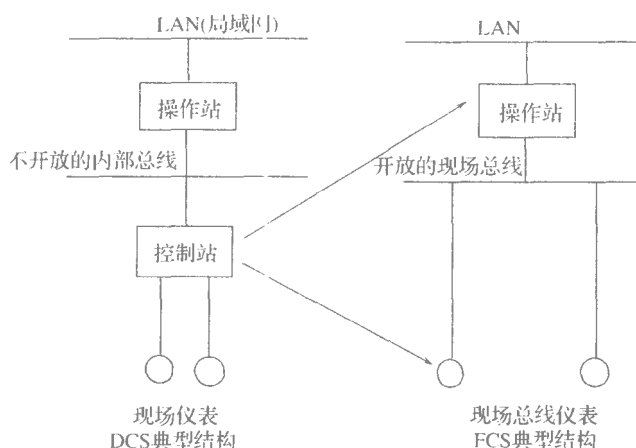


图 1-6 DCS 与 FCS 的主要区别

1.3.11 组态操作一致

现场总线仪表的组态操作很简单，操作员只需按按键或点点鼠标即可完成。然而，为实现这按按点点操作的幕后工作量（软件制作）是巨大的，它是几代科技人员不懈努力的结果。由于现场总线仪表的组态操作是规范和标准的，所以不会因为仪表的制造厂家不同而重新进行学习和培训。

1.3.12 采用预测维护技术

在控制领域采用预测维护技术，而不是在问题发生后再做出反应，能够使现场总线仪表和控制系统更好地工作。当今现场总线仪表的强大功能，不仅局限于闭环回路控制、先进的连续控制和间断性控制，而且还能实现预测诊断维护功能。例如，对于具有多变量输出的现场总线气动执行器，当阀门的行程超过一定的距离（如 2km）时 当腐蚀性介质流过阀门到一定的数量（如 2000m³）时 当运行的时间超过一定年限（如 2 年）时 当阀门已经损坏时，中央控制室只要得到上述四个信息中的任何一个，就要采取措施修理阀门了。

预测维护的好处是很多的。预测维护能够延长仪表的运行寿命，允许预先校正，减少由于仪表和程序问题而发生的停机（工）时间，减少部件和人工上所花的费用，提高运行的安全性和经济性。火力发电厂状态检修的实现，在很大程度上要依赖于控制仪表的预测维护功能。现场总线仪表能够准确地检测整个工厂内生产或制造过程的状态，这种检测是可重复的。通过检测漂移、偏差、噪声等信号，再将这些信号与过程控制信息相结合，就能更为广泛地对生产或制造设备和过程状态进行检测。现场总线仪表提供的重要信息，

不仅包括整个生产过程的情况，而且还不包括仪表本身的情况。把这些信息与先进的控制结合起来，可以大大降低过程偏差，增强过程可用率。

1.4 现场总线仪表的产品

不少检测仪表虽然在习惯上未被称作变送器，但是，就其功能来说仍有变送器的功能，例如氧量分析仪、电磁流量计、涡街流量计、超声流量计等。如果它们输出的也是现场总线数字信号，那么，这些表计也可称为现场总线仪表。

目前，世界各大仪表厂都相继推出了现场总线变送器、现场总线执行器或阀门定位器。通过 FF（现场总线基金会）认证的现场总线仪表已经有了 100 多种。常见的 FF 现场总线仪表如表 1-1 所列。

表 1-1 常见的 FF 现场总线仪表

序号	名称	型号	厂商
1	HI/HSE 链接设备	DF 51	Smar
2	HI/PLC 接口	LD 292	Smar
3	HI/4mA ~ 20mA 接口	FI 302	Smar
4	4mA ~ 20mA/HI 接口	IF 302	Smar
5	HI/20kPa ~ 100kPa 接口	FP 302	Smar
6	阀门定位器	FY 302	Smar
7	压力变送器	LD 292	Smar
8	压力变送器	LD 302	Smar
9	温度变送器	TT 302	Smar
10	压力变送器	2000T	ABB
11	压力变送器	2600T(262/264 型)	ABB
12	压力变送器	600TEN	ABB
13	HI/HSE 链接设备	FIO - 100	ABB
14	电磁流量计	FXE 4000	ABB
15	HI/HSE 链接设备	LD 800HSE	ABB
16	电导率、浓度变送器	TB 82EC	ABB
17	PH、ORP 变送器	TP 82PH	ABB
18	电导率变送器	TP 82TE	ABB
19	温度变送器	TF 02/102/202	ABB
20	阀门定位器	TZ10 - C120/220	ABB
21	涡街流量变送器	V_ 1000/S_ 1000	ABB
22	ELQ 1/4 转电动执行器	EI - O - Matic 0990	Emerson
23	电动执行器	EI - O - Matic 22CO	Emerson
24	ELQ 电动执行定位器	EI - O - Matic 7630	Emerson
25	压力变送器	3051C	Emerson
26	压力变送器	3051S	Emerson
27	温度变送器	3244MV	Emerson
28	8 输入温度变送器	848T	Emerson
29	压力变送器	EJA	Emerson
30	温度变送器	YTA - 320	Emerson
31	阀门执行器	FF - 01	Rotork

1.5 名词术语

现场总线仪表是从变送器演变过来的，因此有关变送器的名词术语同样适用于现场总线仪表；又由于现场总线仪表具有控制功能，因此有关控制器的名词术语同样也适用于现场总线仪表。下面对有关名词术语进行介绍。

1.5.1 测量范围、上下限及量程

每个用于测量的仪表都有测量范围，它是该仪表按规定的精度进行测量的被测变量的范围。测量范围的最小值（Lower Range Value, LRV）和最大值（Upper Range Value, URV）分别称为测量下限和测量上限，简称下限和上限。

仪表的量程可以用来表示其测量范围的大小，是其测量上限值与下限值的代数差，即：

$$\text{量程} = \text{测量上限值} - \text{测量下限值} \quad (1-1)$$

使用下限与上限可完全表示仪表的测量范围，也可确定其量程。如一个温度测量仪表的下限值是 -50°C ，上限值是 150°C ，则其测量范围可表示为 $-50^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ ，量程为 200°C 。由此可见，给出仪表的测量范围，便知其上下限及量程；反之，只给出仪表的量程，则无法确定其上下限及测量范围。

1.5.2 零点迁移和量程迁移

仪表测量范围的另一种表示方法是给出仪表的零点（即测量下限值）及仪表的量程。由前面的分析可知，只要仪表的零点和量程确定了，其上限和测量范围也就确定了。因而这是一种更为常用的表示方式。

在实际使用中，由于测量要求或测量条件的变化，需要改变仪表的零点或量程，为此可以对仪表进行零点和量程的调整。通常将零点的变化称为零点迁移，而量程的变化则称为量程迁移或量程调整。

以被测变量值相对于量程的百分数为横坐标标记为 X ，以仪表输出变量值相对于输出量程的百分数为纵坐标标记为 Y ，可得到仪表的输出与输入之间的静态特性曲线。倘若是线性关系，特性曲线为直线，否则为曲线。假设仪表特性是线性的，其特性曲线如图 1-7 中的线段 1 所示。考虑单纯的零点迁移情况，如线段 2 所示。此时仪表量程不变，其斜率亦保持不变，线段 2 只是线段 1 的平移。理论上零点迁移到了原输入值的 -25% ，终点迁移到了原输入值的 75% ，而量程则仍为原来的 100% 。考虑单纯的范围迁移情况如线段 3 所示，此时零点不变，线段仍通过坐标原点，但斜率发生了变化，理论上量程迁移到了原来的 70% ，显然量程变小了。同理，考虑图中线段 4 所示的范围迁移情况，理论上其零点没有迁移，量程迁移到原来的 140% ，量程增大了。用图形表示仪表输出与输入的特性，不仅能一目了然地看出输出与输入关系是否线性，而且可以借助这种图形说明测量范围的改变情况及其效果。若图 1-7 中的直线 1 变为直线 2 则称为“零点迁移”或“零点负迁移”，简称负迁。若图 1-7 中的直线 1 变为直线 5 则称为“零点正迁移”，简称正迁。经过正迁移之后，当输出达到其最大值时，所对应的输入也发生了变化，不再是 100% ，而是

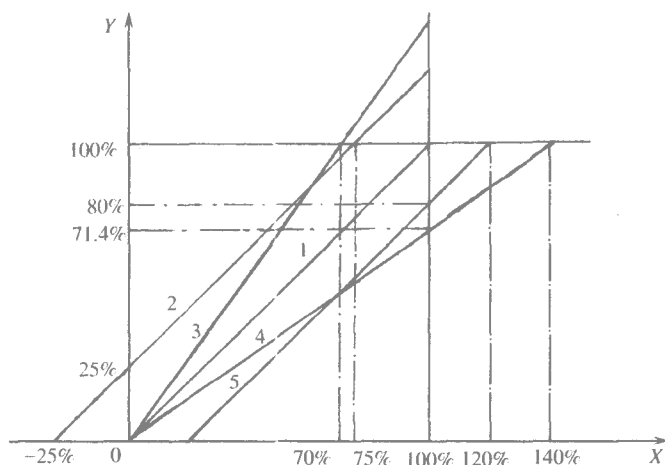


图 1-7 零点迁移和量程迁移示意图

120%。测量范围是 20% ~ 120% 它的量程仍然是 100% 没有改变。由此可见 平移静态特性线的调整或操作称为零点迁移，改变静态特性线斜率的调整或操作称为量程迁移或量程调整。零点迁移分为正迁移和负迁移，量程迁移分为量程增大迁移和量程减小迁移。

在某些情况下，也可能需要在零点迁移的同时进行量程迁移，其效果即为以上两种情况的综合。零点迁移和量程迁移措施可以使仪表增大通用性。

量程比是指仪表的最大量程与最小量程的比。量程比越大，仪表的测量范围越大，适用范围越广 有利于减少仪表 变送器 的品种和备品备件。

1.5.3 调节和控制

英语中的 Control 一词既可以译为控制，也可以译为调节。同样，Controller 一词既可译为控制器，也可译为调节器。然而，一般人习惯在开环（无反馈的系统）中叫做控制和控制器 在闭环（有反馈的系统）中叫做调节和调节器。例如，“遥控”、“程控”、“可编程控制器”等多半是工作在开环状态的，“温度调节”、“转速调节”、“比例积分调节器”等多半是工作在闭环状态的。但是也不尽然，比如“自控”一词就包含了各种形式的自动控制，没有人叫它“自调”。调节原理和控制理论也都是指同一学科，两者并无闭环开环之分。总之，控制和调节两者含义很相近，都是指为达到预期目的，作用在对象上或系统中的有计划的动作。所以，在本书中涉及调节和控制时，一律按照习惯用法，不进行严格区分，调节与控制可以混用。

1.5.4 被调对象和被调参数

工业生产用到的各种设备，多半有物质或能量进出。例如，储罐就是有物质进出的设备，电动机就是有能量进出的设备，热交换器就是既有物质流又有能量流进出的设备。为了保证这些设备工作在安全经济状态，必须对其中的某个参数进行调节，如储罐里的液位、电动机的转速、热交换器的出口温度等。这些参数就是“被调参数”或称为“被调变量”、“被控变量”，有关的设备就是“被调对象”或“被控对象”。

1.5.5 设定值

设定值也叫给定值，是为了达到安全高效生产的目标，希望被调参数保持的数值。如果实际被调参数偏离了这个值就需要进行调节，而调节的最终结果应该将它调回到这个目标值上来。如果设定值是恒定不变的，希望自动调节系统把被调参数维持在恒定的数值上，这样的自动调节称为“定值调节”。如果设定值随时间连续变化，希望被调参数靠自动调节系统跟着设定值一起改变，这样的自动调节就称为“随动调节”。

1.5.6 扰动

如果被调对象和外界没有物质或能量的进出，或者虽有进出却处于稳定的平衡状态，就没必要进行调节。例如，当储罐没有液体进出时，其液位永远不会改变；即使有进有出但是进出平衡时，液位也不会改变。电动机的电源和负载都稳定时，其转速不会改变。热交换器的进口流量、温度、出口流量都不变时，出口温度也不会变化。但实际运行中的生产设备总免不了受到各种各样的干扰。例如，负载的变化、电源电压的波动、原料质量或数量的变化，甚至环境条件的改变等，归根到底是物质流或能量流的波动，这些都会破坏被调参数的稳定。所有这一切对稳定不利的消极因素统称为“扰动”。如果扰动产生在系统的内部，称为内部扰动；反之，当扰动产生在系统的外部时，则称为外部扰动。外部扰动是系统的输入量。

1.5.7 偏差

出现扰动的结果是使被调参数偏离设定值。偏离的程度用“偏差”的大小来衡量，偏差的方向用偏差的符号来表示。例如，被调对象是过热器，被调参数是温度，设定值是 540°C ，实际温度是 535°C ，偏差就是 -5°C 。可见，偏差的定义是：

$$\text{偏差} = \text{实际被调参数} - \text{设定值} \quad (1-2)$$

如果是人工调节，首先应该判断被调参数是否合适，才能决定要不要加以调节，往哪个方向调节，调节多少。实际上就是根据偏差指导人的调节行为，从而及时有效地抑制扰动，使被调参数恢复正常。自动调节也是如此，只不过是用检测仪表代替人的观察，用自动调节器里的运算代替人的判断和决策，用执行器代替人手操作。总之，偏差是调节动作的依据。偏差的有无决定要不要调节，偏差的正负决定往哪个方向调节，偏差的大小决定调节多少。绝大多数自动调节任务实质上就是要使偏差自动减少甚至消除。经过自动调节如果仍没有把偏差完全消除，则其剩余部分叫做“残余偏差”，也叫“余差”、“静差”。

1.5.8 控制仪表

控制仪表以前称做调节仪表或调节设备。这里所指的控制仪表包括变送器、调节器、执行器、运算器、转换器、操作器、显示器等。如图 1-8 所示表示了由控制仪表与被控对象组成的简单控制系统。图中被控对象代表生产过程中的某个环节，被控对象输出的是被控变量，如压力、流量、温度、液位等工艺变量。这些被控变量首先由检测元件变换为易于传递的物理量，再经变送器转换成相应的电信号。该信号送到调节器中，与给定值进行

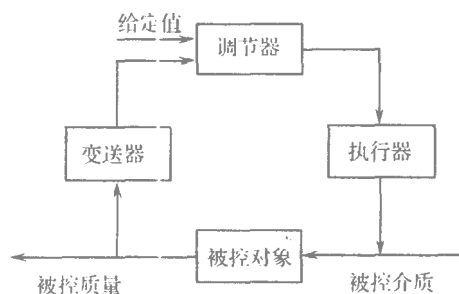


图 1-8 控制仪表与被控对象

比较调节器按照比较后得出的偏差，以一定的调节规律（如 PID）发出控制信号，控制执行器的动作，改变被控介质物料或能量的大小，直至被控量与给定值相等为止。

现场总线变送器和现场总线执行器都内装 PID 功能块，所以在现场总线仪表中看不见单独的调节器，但是控制仪表之间信号作用原理是一致的，控制信号都是从变送器开始，经调节器或 PID 功能块到执行器，最后由执行器作用到被控对象上，形成闭环控制。由于执行器是控制信号在传递过程中控制仪表的最后一个仪表，所以也称终端元件或终端设备。因此，控制仪表也可以定义为是从被控变量到执行器输出之间的全套自动化仪表的总称。

1.5.9 PID 控制

PID 控制表示比例 (P) - 积分 (I) - 微分 (D) 控制。理想 PID 控制的数学表示式为：

$$u(t) = K_C \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1-3)$$

式中： $u(t)$ 为控制器输出； $e(t)$ 为控制器输入（测量值与设定值的差值，即偏差）； K_C 为控制器比例增益； T_I 为积分时间； T_D 为微分时间。

现场总线仪表是内装微处理机的仪表，微处理机内只能直接按差分方程运算，所以要先将微分方程改写成差分方程，这只要把式 (1-3) 中的积分项用 $T \sum_{i=0}^n e(i)$ 代替，微分项用 $[e(n) - e(n-1)]/T$ 代替，就可以得到离散形式的 PID 算法公式：

$$u(n) = K_C \left\{ e(n) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^n e(i) + \frac{T_D}{T} [e(n) - e(n-1)] \right\} \quad (1-4)$$

式中： T 为采样周期； $e(n)$ 为第 n 次采样的偏差值 ($n=1, 2, 3$)； $e(n-1)$ 为第 $n-1$ 次采样的偏差值； $u(n)$ 为第 n 次采样的控制器输出。

目前的内装微处理机仪表的采样周期为 $0.1s \sim 0.2s$ ，现场总线仪表的宏周期为几百毫秒，由于它们比被控对象的时间常数小得多，因此控制效果非常接近于模拟调节器，使用中可以和模拟仪表一样对待。

PID 调节器有三个整定参数，了解这三个整定参数对控制性能的影响是非常重要的。

(1) 增益 K_C 比例调节依据偏差的大小来动作，其输出与输入偏差的大小成正比。比例调节及时、有力，但有余差。可以用增益 K_C 来衡量其作用的强弱， K_C 愈大，调节作

用愈强。所谓增益，是指调节器的输出相对变化量与相应输入的相对变化量之比。如控制器的增益为 5 意味着控制器输入变化 10%(相对于测量范围而言) 将会导致控制器的输出变化 50%(相对于输出的全范围而言) 比例控制加大增益 使系统动作灵敏 速度加快 但增益偏大 振荡次数增加 调节时间加长。过大的增益会引起振荡 过小的增益会使调节过程变得太慢。有时也用比例度或比例带 δ 表示比例作用的强弱，比例带等于增益的倒数乘以 100% ($\delta = 100\% / K_C$)。

(2) 积分时间 T_I 积分调节依据偏差是否存在来动作，它的输出与偏差对时间的积分成比例 只有当余差消失时 积分作用才会停止(抗积分饱和时除外) 积分的作用是消除余差，但积分作用使最大动态偏差增大 (因为纯积分控制器作用的相位滞后为 90°) 延长了调节时间。积分作用用积分时间 T_I 来表示其作用的强弱 单位一般为 MINUTES/REPEAT。积分时间可以理解为：在阶跃偏差输入作用下，调节器的输出达到比例输入两倍时所经历的时间 即为“重定”时间。积分时间越小 表明积分作用越强。积分作用太强也会引起振荡。积分时间的选择是与控制过程的时间常数密切相关的。一般而言，控制过程的时间常数越短，选择的积分时间越小。积分控制通常与比例控制或微分控制联合作用 构成 PI 或 PID 控制。积分控制能消除系统的稳态误差，提高控制系统的控制精度。但积分控制通常使系统的稳定性下降。 T_I 太小，系统将不稳定； T_I 偏小，振荡次数较多； T_I 太大 对系统性能的影响减小 当 T_I 合适时，过渡过程特性比较理想。

(3) 微分时间 T_D 微分控制依据偏差变化速度来动作。它的输出与输入偏差变化的速度成比例，其作用是阻止被控变量的一切变化，有超前调节的作用，对滞后大的对象有很好的效果。它可以克服被控对象的惯性滞后 (用对象时间常数 T 表示) 容量滞后 τ_C 但不能克服调节对象的纯滞后 τ_0 。因为在 τ_0 时间内，被控参数的变化速度为零。某些控制过程的时间常数较大，操纵变量的改变要经过较长的时间后才能反映到被控变量上。过热器出口温度的控制就是一个典型例子。在适当引入超前微分作用后可以明显地改善控制品质。当被控变量远离设定点时，随着远离速度的增加，控制器的增益也随之增加。这样可以促使被控变量尽快回到设定点，又不至于引起过大的振荡。微分作用使控制过程偏差减小，时间缩短，余差也减少，但不能消除。它用微分时间 T_D 来表示其作用的强弱， T_D 越大表明微分作用越强，但 T_D 太大会引起振荡。微分控制通常与比例控制或积分控制联合作用 构成 PD 或 PID 控制。微分控制可以改善动态特性，如超调量减少、调节时间缩短 允许加大比例控制 使稳态误差减小 提高控制精度。对于时间常数较小，而负荷又变化较快的被控对象，不易引入微分作用，因为如果引入微分作用容易引起振荡。

1.5.10 操纵变量

操纵变量也称调节变量或操作量、控制变量、控制量。决定被控变量的物理量称为操纵变量或由控制 (调节) 作用改变去控制被控变量的物理量称为操纵变量。操纵变量是调节器对生产设备施加影响以抑制扰动的操纵信号。有相当多的调节器用于调节管路里的流体 其操纵变量决定阀门的开度 这时的操纵变量也叫“阀位”。

1.5.11 前馈调节与反馈调节

反馈调节是根据被控变量的偏差进行调节的。当系统受到扰动后，只有等到被控变

量变化并出现偏差时调节器才起作用，而被调对象总是存在惯性和迟延的，所以从扰动出现到被控变量出现偏差要有一定的时间，故调节作用落后于扰动，调节过程中必然会产生动态偏差。

前馈调节不是根据偏差而是根据扰动进行调节的，因此，前馈调节就有可能及时地消除扰动的影响而使被控变量基本保持不变。直接根据造成被控变量偏差的原因进行的调节称为前馈调节。

前馈调节与反馈调节的差别如下：

(1) 调节的依据不同 前馈调节根据扰动的大小和方向产生相应的调节作用，反馈调节根据被控变量偏差大小和方向产生相应的调节作用。

(2) 调节的效果不同 前馈调节根据扰动进行调节，所以调节快速及时，从理论上讲可实现完全补偿而使被控变量在调节过程中保持不变；反馈调节根据被调量偏差进行调节，要实现调节结束的无差效果，首先要有偏差才行。

(3) 系统的结构不同 前馈调节为开环调节，不存在系统的稳定性问题；反馈调节为闭环调节，必须考虑系统的稳定性，而系统的稳定性和准确性两者之间又存在矛盾，所以反馈调节的精确度被稳定性要求所限制。

(4) 实现的经济性和可能性不同 前馈调节必须对每一个可能出现的扰动单独构成一个相应的前馈调节系统，这样做既不经济也不现实；反馈调节采用一个或两个闭合回路就可以克服多个扰动，易于实现。

前馈—反馈调节系统（或称复合调节系统）将前馈调节与反馈调节互相结合，因而可以构成高品质的调节系统。

1.5.12 正作用和反作用

如果调节器的输出变量随输入变量的增大而增大，就叫做正作用。反之，若调节器的输出变量随输入变量的增大而减小，就叫做反作用。设置调节器正反作用的目的是保证控制系统成为负反馈。负反馈准则要求控制系统开环总增益为正。组成控制系统的各环节增益的正负由该环节输入输出之间的关系确定。当该环节的输入增加时，其输出也增加，则该环节的增益为正，反之为负。开环总增益是各组成环节的增益之积。

1.5.13 检定与校准

运行中的测量仪表由于各种原因，可能会导致测量性能的改变，因而有必要对其进行定期检定和校准。

检定是为评定测量仪表的测量性能（准确度、稳定度、灵敏度等），并确定其是否合格所进行的全部工作。校准也称校验，是确定测量仪表示值误差（必要时也包括确定其他测量性能）的全部工作。

检定和校准是两个不同的概念，但两者之间有密切的联系。校准一般是用比被校测量仪表精度高的测量仪表（称为标准仪表）与被校仪表进行比较，以确定被校仪表的示值误差，有时也包括部分测量性能，但往往进行校准的仪表只需确定示值误差。如果校准是检定工作中示值误差的检定内容，那么校准可以说是检定工作中的一部分，但校准不能视为检定，而且校准对条件的要求亦不如检定那么严格，校准工作可在生产现场进行，而检

定则必须在检定室内进行。

习 题

- 1-1 解释 FCS、DCS、DDC、FF、A/D、D/A、HART 等符号的意义。
- 1-2 促使现场总线仪表产生的两个因素是什么？
- 1-3 简述现场总线仪表有哪些优点？
- 1-4 写出 Smar 公司各产品的型号，并说明其含义。
- 1-5 如果 LRV 是 -200, URV 是 500, 那么量程是多少？
- 1-6 如果 LRV 是 -200, URV 是 500。若零点迁到 50 那么 URV 会是多少？零点迁移的百分数是多少？是正迁还是负迁？
- 1-7 有一台差压变送器，它的测量范围为 $0 \sim 31.1/186.8\text{kPa}$ ，试求最小量程、最小测量范围、最大量程、最大测量范围和量程比。
- 1-8 一台气动比例温度控制器，测量范围为 $0 \sim 1000^\circ\text{C}$ 。当指示为 100°C ，控制器比例带为 50% 时，求相应的控制器输出将变化多少千帕（输出气压为 $20\text{kPa} \sim 100\text{kPa}$ ）和输出为多少千帕。

第 2 章 通信基础

现场总线仪表与早期的基地式仪表的最大不同是具有智能和通信功能。从一定意义上说,各台现场总线仪表相当于一台微型计算机,它们以现场总线为纽带,互连成网络系统,完成数字通信任务。可以说现场总线仪表的通信系统,实际上就是计算机的局域网络,因此在介绍现场总线仪表技术之前,先介绍一下通信的基础知识。

2.1 通信原理

2.1.1 通信系统的构成

现场总线仪表之间或现场总线仪表与控制室计算机之间的数据交换称为通信。一个数据通信系统由以下五部分组成(如图 2-1 所示)。

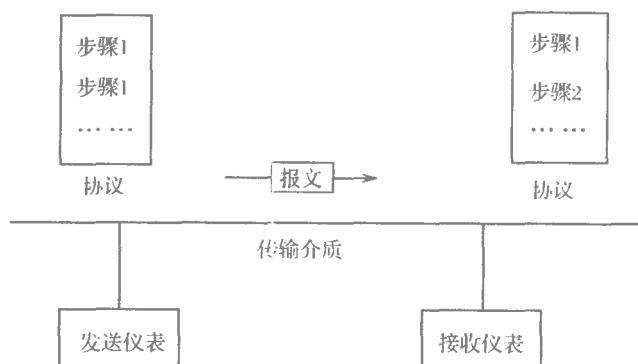


图 2-1 数据通信系统的构成

(1) 报文 即需要传送的数据,它可以是文本、数字、图像、声音等,也可以是文本、数字、图像、声音等的组合。

(2) 发送仪表 可以指现场总线变送器。

(3) 接收仪表 可以指现场总线执行器。

(4) 传输介质 即发送仪表与接收仪表之间的物理通路,如双绞线、同轴电缆、光纤、无线电波等。

(5) 通信协议 即控制数据通信的一系列规则。发送仪表与接收仪表都按相同的通信协议工作,就像两个谈话的人使用同一种语言一样。

2.1.2 并行与串行通信

基本通信方式有并行通信和串行通信两种。