



**Allen-Bradley**

交流变频器

## 变频器节能 解决方案

离心式水泵



# 离心式水泵

## 泵的分类:

- 容积式泵
- 叶片式泵(离心泵)

## 离心泵:

泵基本上可以分成两大类，容积式泵和叶片式泵(离心泵)。容积式泵是通过机械的方法改变工作室容积的大小来输送液体的。容积式泵具有恒转矩负载的特性，而离心泵是变转矩负载。离心泵通过浸入在液体中的叶轮旋转时产生的离心力来输送液体。这种动力使液体的压力增加，并沿着排出管流出。这里我们只讨论离心泵。

离心泵通过叶轮片边缘的加速旋转将原动机的机械能转化为液体的动能。这里的关键是产生的能量是动能。传递给液体的能量大小和叶轮的边缘或叶片尖端的速度有关。叶轮转得越快或是叶轮的叶片越大，叶片尖端处产生的液体速度就越高，并且液体获得的能量也就越大。



液体流动时遇到的阻力消耗了从叶轮处流出的液体部分动能。流体首先遇到的阻力是在蜗壳型泵体中，它放慢了流体的速度。当流体在泵体中减速的时候，一部分动能就转变成了压力能。我们从附在压出管道口的压力计读出的数据就是泵内的流体阻力。泵并不能产生压力，它只产生流量，压力只是反映流体阻力的一个参数。

## 流体的扬程损失

在牛顿液体中(这里的液体指非粘性液体, 如水和汽油), 我们用扬程这个术语来衡量泵所产生的动能, 它表示当水泵将动能传递给流体后所能产生的液注的高度。我们使用扬程而不是压力来表示离心泵的能量, 其主要原因是如果流体的比重一旦变化, 泵的压力也随之变化, 而扬程则不会。所以任何牛顿液体, 不管是比重大(含硫的)或是比重小的(汽油), 我们总可以用扬程来衡量泵的性能。我们要记住一点, 那就是扬程是和流经泵体时液体获得的流速相关的。

**例子:**

想象一下用水管将水喷到空气中, 水上升的高度就是扬程

流体力学系统中任何形式的能量都可以用英尺液柱表示。泵类系统必须执行的总扬程取决于系统的各种扬程。各种扬程的定义如下:

**泵类术语**

**吸上高度(Suction Lift):** 当进口液位低于水泵中心线时

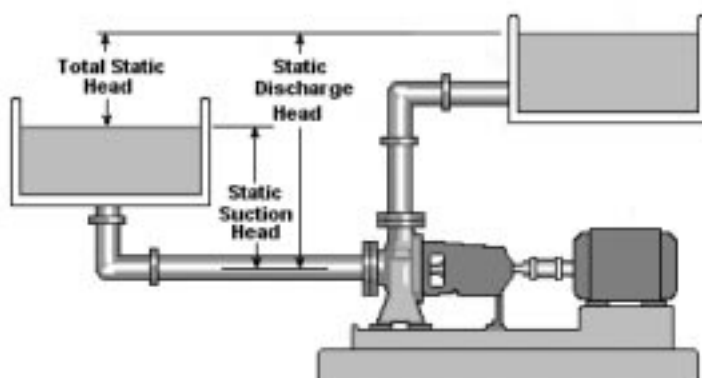
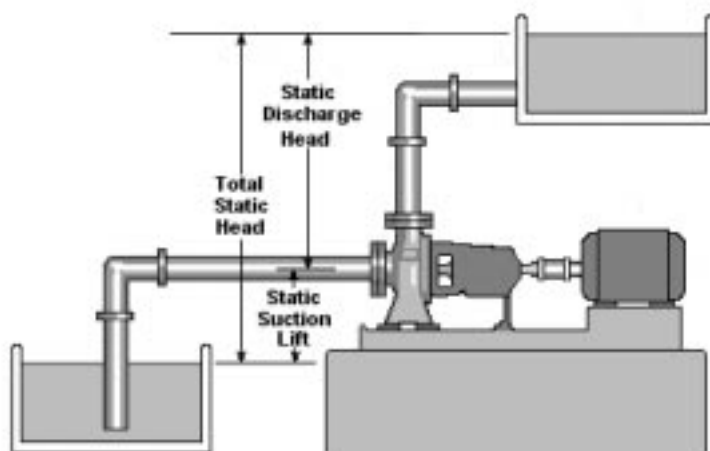
**静吸上高度(Static Suction Lift):** 定义为水泵中心线到进口液位的高度

**吸上扬程(Suction Head):** 当进口液位高于水泵中心线时

**静吸上扬程(Static Suction Head):** 定义为水泵中心线到进口液位的高度

**静压出扬程(Static Discharge Head):** 定义为水泵中心线到压出水管或压出水槽液面的高度

**总静扬程(Total Static Head):** 定义为进口液位到压出水管或压出水槽液面的高度



**摩擦扬程(hf)**: 当液体流经管道时需要克服的损失。它取决于管道尺寸, 类型, 状况, 管件接头的数量和类型, 流速和液体的性质。摩擦数据表格在液体数据表中给出。

**速度扬程(hv)**: 液体以一定的速度V流动时产生的能量, 这相当于液体为了获得相同的速度而降低的扬程高度, 也就是使液体加速所需要的扬程。速度扬程可通过以下公式计算:

$$h_v = \frac{V^2}{2g}$$

这里:

$g=32.2 \text{ ft/sec}^2$

$v=\text{流速 ft/sec}$

在许多高扬程的系统中, 速度扬程是次要的通常可以忽略不计, 然而在低扬程的系统中, 它是一个较大的影响因素, 必须要考虑进去。

**压力扬程**: 当水泵系统放置于有外部压力的环境而不是放置于空气中时, 必须要考虑压力扬程。槽中的压力应换算成英尺液柱的形式, 当吸上槽处于真空或是压出槽处于正压差状态时, 总扬程应该增加相应的值, 而当吸上槽处于正压差状态或是压出槽处于真空状态时, 总扬程应减去相应的值。下面是真空英尺汞柱到英尺液柱的一个简易转换公式:

$$\text{真空, 英尺液注} = \frac{\text{真空, 英寸汞注} \times 1.13}{\text{比重}}$$

以上的各类扬程, 包括静扬程, 摩擦扬程, 速度扬程, 和压力扬程, 组成了一个任意的特定流速系统下的系统总扬程。接下来是这些扬程的各种组合的定义, 在水泵系统中我们也可称之为实际扬程。

**总动态吸上高度( $h_s$ )**: 即静吸上高度减去水泵吸上法兰盘处的速度扬程, 并加上整个吸上管道的摩擦扬程。通过水泵测试确定的总动态吸上高度, 可通过从吸上法兰盘处的表计中读出的数据, 将其转换成英尺液柱并折算到水泵中心线, 减去表计安装处相应的速度扬程得到。

**总动态吸上扬程(hs):** 即静吸上扬程加上水泵吸上法兰盘处的速度扬程, 并减去整个吸上管道的摩擦扬程。通过水泵测试确定的总动态吸上扬程, 可通过从吸上法兰盘处的表计中读出的数据, 将其转换成英尺液柱并折算到水泵中心线, 加上表计安装处相应的速度扬程得到。

**总动态压出扬程(hd):** 即静压出扬程加上水泵压出法兰盘处的速度扬程, 并加上整个压出管道的摩擦扬程。通过水泵测试确定的总动态压出扬程, 可通过压出法兰盘处的表计中读出的数据, 将其转换成英尺液柱并折算到水泵中心线, 并加上表计安装处相应的速度扬程得到。

**总扬程(H)或总动态扬程(THD)** 等于总动态压出扬程减去总动态吸上高度, 或可以表示如下:

$$\text{THD} = h_d + h_s \text{ (包含吸上高度)}$$

$$\text{THD} = h_d - h_s \text{ (包含吸上扬程)}$$

#### 功率

水泵的工作性能是总扬程和在给定的时间内水泵所抽上来的液体重量的函数。在公式中, 我们通常采用GPM和液体的比重来表示水泵的流量, 而不是用水泵所抽上来的实际液体的重量。

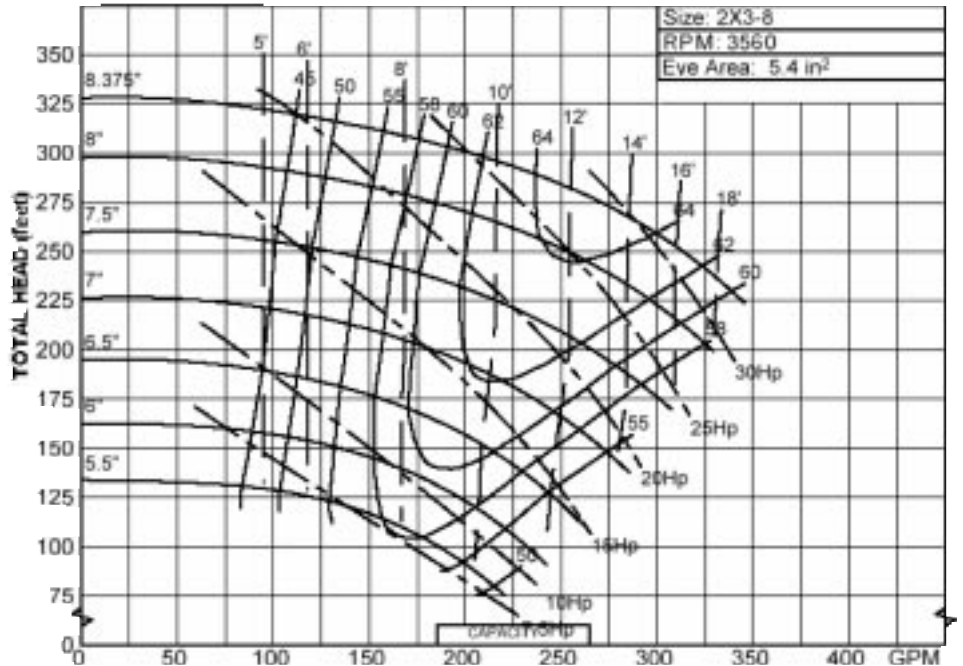
水泵的输入功率或制动功率(BHP)是原动机传递给水泵轴的实际功率(在这里我们称之为轴功率)。水泵输出功率或液压功率是水泵传递给液体的功率。这两个功率可以用以下公式表示:

$$\text{输出功率HP} = \frac{\text{GPM} \times \text{扬程} \times \text{比重}}{3960}$$

$$\text{轴功率HP} = \frac{\text{GPM} \times \text{扬程} \times \text{比重}}{3960 \times \text{泵的效率}} \quad \text{或} \quad \frac{\text{输出功率HP}}{\text{泵的效率}}$$

## 水泵的性能曲线

在水泵曲线图中包括了流量，压力，效率和轴功率这些特性参数。我们首先看一下水泵的尺寸。



在图表的右上方，我们看到水泵的尺寸标注是-8，这表示压出管道口的直径是2英寸，吸入管道口的直径是3英寸，叶轮的直径是8英寸，而有一些公司标注的尺寸可能是-8，前两个数值中较大的一个表示吸入管道口的直径。

在表的右上方也标示出了水泵的速度(RPM),它表明水泵在转速为3560 RPM时的性能。图表中所有给出的水泵信息都是在这个运行速度下给出的。

水泵的流量在曲线图表的下方给出。各种水泵流量的值都是在3560 RPM的转速下给出的，同时也表明了输出流量调节变化对扬程的影响。

性能曲线图的左侧标明了不同的流量值所对应的扬程(ft)。

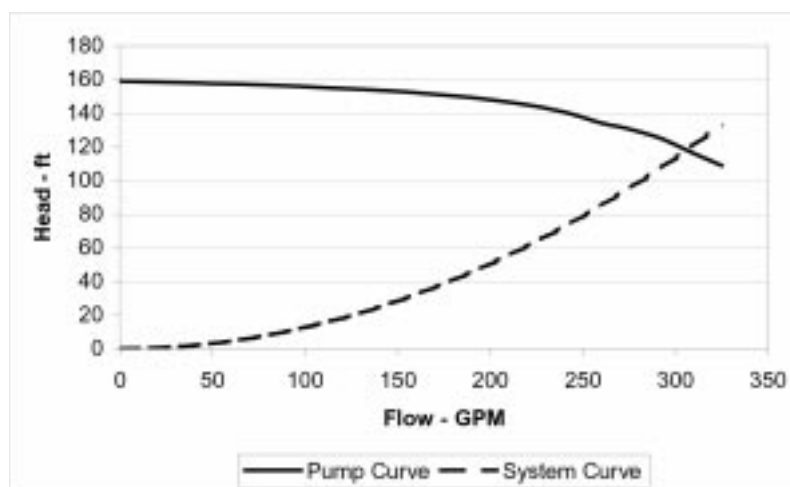
在图表中有多条流量—扬程曲线，每一条曲线的叶轮直径都不相同。对于这里的水泵来说，叶轮的直径范围是5.5~8.375英寸。

水泵的效率曲线也在图表中给出(垂直线)，这个水泵的效率在45%到64%之间。图中表明，当扬程增加的时候，水泵的流量和效率随之减小。

图表中从左上角到右下角的对角折线表示的是轴功率。BHP曲线对应的功率范围是：7.5—30马力。根据图表，在叶轮直径为8英寸，流量为250 GPM时，BHP大约是25马力。

### 水泵和系统曲线

水泵曲线仅仅是水泵的物理特性的函数。系统曲线完全取决于管道尺寸，管道长度，管道弯曲处的位置和数量，还有其他的一些因素。这两条曲线的交点就是水泵的工作点。在这一点上，水泵的压力和系统的损耗相匹配，系统处于平衡状态。



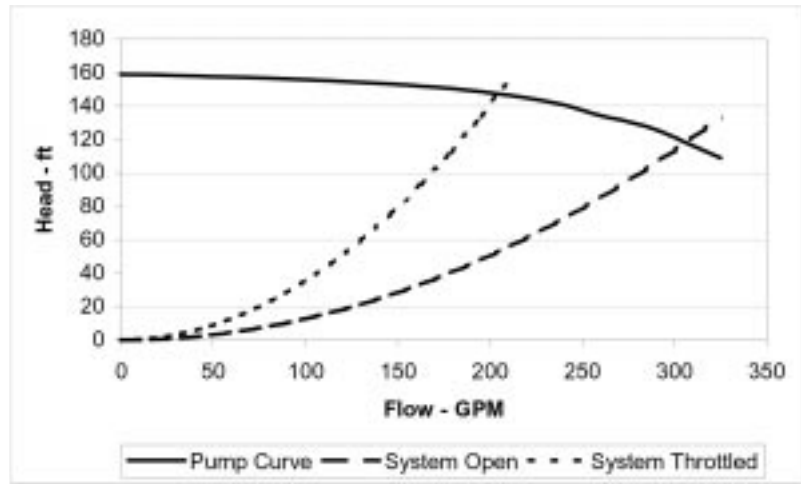
如果系统是连续不断变化的过程的一部分，那么我们就有必要采取一些措施来改变水泵的特性或系统参数。

对于连续变化的液体，我们有两种方法。一种方法是通过控制器或是节流阀改变液体的流量从而改变系统曲线。另一种方法是通过改变水泵的转速来调整水泵曲线。

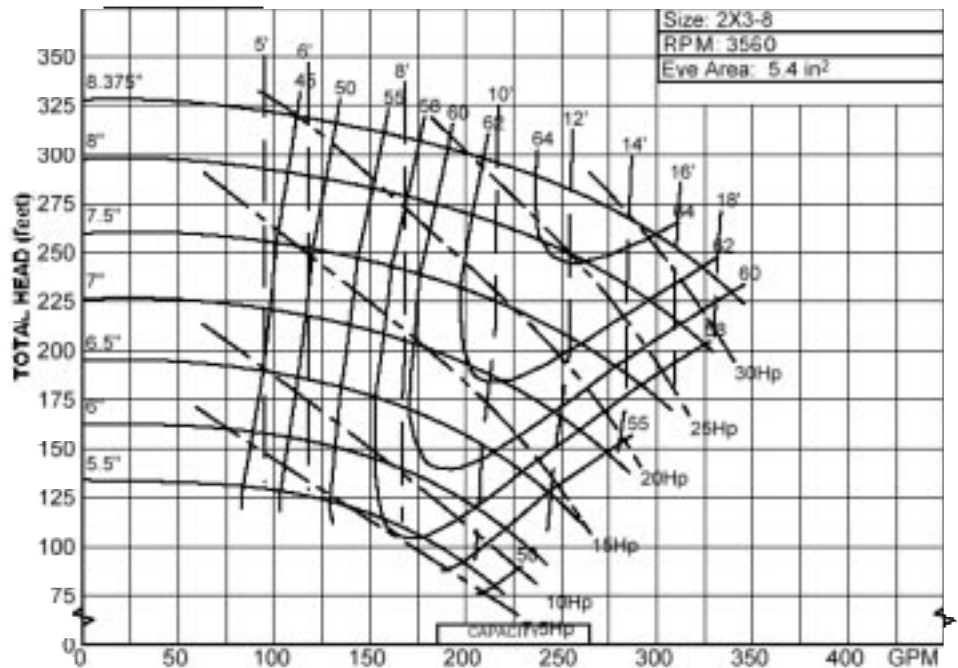
# 离心式水泵

## 阀门控制系统

当采用这种方法时，可通过减小液体流量来增加扬程。下面是在两种不同的阀门设定值下的曲线图。



我们举一个例子来说明阀门控制系统的功率需求，接下来是转速调节系统的功率需求，并对它们进行了比较。这里我们使用了一个运行速度为3560 RPM,叶轮直径为8英寸的水泵。水泵运行时需要的扬程是250 -FT,流量是250 GPM。让我们看下面的曲线图。



根据图表中的信息，对于下表所给出的不同流量值，我们得到了对应的阀门控制系统所需要的不同的功率。

GPM	250	200	150	100
%FLOW	100	80	60	40
BRAKEHP	25	22.5	19	18

$$\text{Water HP} = \frac{\text{Flow} \times \text{Head} \times \text{Specific Gravity}}{3960}$$

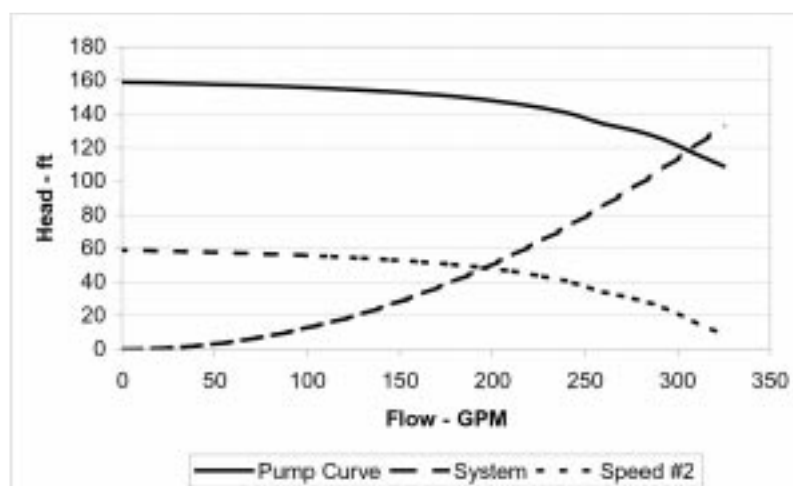
$$= \frac{250 \times 250 \times 1.0}{3960} = 15.78$$

$$\text{Brake HP} = \frac{\text{Water HP}}{\text{Pump Efficiency}}$$

$$= \frac{15.78}{0.64} = 24.67 \text{ BHP}$$

转速调节系统

我们分析一下转速调节系统的功率需求以作比较。当叶轮的转速改变的时候，水泵的特性也随之改变，转速调节的方法就是利用了水泵的这一特点。



由于系统的一部分扬程是由水泵所抽取的液体速度产生的，因此降低流速可以改变水泵曲线。注意到：

## 相似定理

我们可以根据水泵的原始特性参数，通过一套公式来预测离心泵在任何一个运行点的运行参数，这些公式就称之为相似定理。

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{N_1^2}{N_2^2} \quad \frac{HP_1}{HP_2} = \frac{N_1^3}{N_2^3}$$

这里：

N = 水泵转速

Q = 流量(GPM)

P = 压力(英尺)

HP = 功率

我们还是用那个阀门调节系统中的例子，计算出水泵转速变化时的系统功率需求。

GPM	250	200	150	100
% FLOW	100	80	60	40
RPM	3560	2848	2136	1424
BRAKE HP	25	12.8	5.4	1.6

注意：利用  $HP_1 = 25HP$ ， $N_1 = 3560$ ， $Q_1 = 250$  来填充上面的表格

$$RPM \text{ at } 200 \text{ GPM} : \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{200}{250} = \frac{3560}{N_2} \quad \text{therefore } N_2 = 2848 \text{ RPM}$$

$$BHP \text{ at } 200 \text{ GPM} \quad \frac{BHP_1}{BHP_2} = \frac{N_1^3}{N_2^3}$$

$$\frac{25}{BHP_2} = \frac{3560^3}{2848^3}$$

$$12.8 = BHP_2$$

根据相似定理计算出运行点上的其余参数值。

很明显，通过调节速度，系统需要的功率比以前更加少了。为了确定实际的功率需求，变频器的效率必须考虑进去。节省的能量取决于水泵在每一个减速点上的运行时间。

为了计算实际节省的功耗，轴功率的必须转化为瓦特的形式，再乘以运行的小时数，最后将结果乘以每千瓦时的电价，我们就得到了水泵在每一个流量点的运行费用。阀门控制系统的费用值减去转速调节系统的费用值之后，我们可以看到它们在费用上的差异。

在我们的例子中，当把流量控制在200GPM的时候，系统需要22.5马力的功率，相反的，在调速系统中达到同样的流量只需要12.8马力。按照这个流量，每年运行2000小时，每千瓦时的费用按7分考虑，两个系统的费用计算如下：

阀门控制系统：

$$22.5\text{HP} \times 0.746 = 16.785\text{KW}$$

$$16.785 \times 2000 = 33,570\text{KWh}$$

$$33.570 \times 0.07 = \$2,350$$

转速调节系统：

$$12.8 \times 0.746 = 9.5488\text{KW}$$

$$9.5488 \times 2000 = 19,097\text{KWh}$$

$$19.097 \times 0.07 = \$1,377$$

节省的费用：

$$\$2,350 - 1,337 = \$1,013$$

在这个例子中并没有涉及到静扬程。系统中有静扬程时，系统曲线和系统所需求的功率会发生变化。系统的静扬程越大，节能效果越小。这是因为在具有较高静扬程的系统中，系统的曲线更平坦，这样大部分的能量就被用来提升液体。

---

欢迎访问我们的网址：

[www.rockwellautomation.com.cn](http://www.rockwellautomation.com.cn)

[www.rockwellautomation.com](http://www.rockwellautomation.com)

[www.theautomationbookstore.com](http://www.theautomationbookstore.com)



Rockwell Automation Headquarters 1201 South Second Street, Milwaukee, WI 53204, USA, Tel: (1)414 382-2000, Fax: (1)414 382-4444

香港—香港数码港道100号数码港3座F区14楼 电话：(852)28874788 传真：(852)25109436

北京—北京市建国门内大街18号恒基中心办公楼1座4层 邮编：100005 电话：(8610)65182535 传真：(8610)65182536

上海—上海市仙霞路319号远东国际广场A幢7楼 邮编：200051 电话：(8621)62351098 传真：(8621)62351099

厦门—厦门市湖里工业区悦华路38号 邮编：361006 电话：(86592)6022084 传真：(86592)6021832

沈阳—沈阳市沈河区青年大街219号华新国际大厦15-F单元 邮编：110015 电话：(8624)23961518 传真：(8624)23963539

武汉—武汉市青山区和平大道939号13层 邮编：430081 电话：(8627)86543885 传真：(8627)86545529

广州—广州市环市东路362号好世界广场2703-04室 邮编：510060 电话：(8620)83849977 传真：(8620)83849989

重庆—重庆市渝中区邹容路68号大都会商厦3112-13室 邮编：400010 电话：(8623)63702668 传真：(8623)63702558

大连—大连市西岗区中山路147号森茂大厦2305层 邮编：116011 电话：(86411)83687799 传真：(86411)83679970

西安—西安市南大街30号中大国际大厦712室 邮编：710002 电话：(8629)7203577 传真：(8629)7203123

深圳—深圳市深南东路5047号深圳发展银行大厦15L 邮编：518001 电话：(86755)25847099 传真：(86755)25870900

南京—南京市中山南路49号商茂世纪广场44楼A3-A4座 邮编：210005 电话：(8625)86890445 传真：(8625)86890142

青岛—青岛市香港中路36号新世界数码港招银大厦1006室 邮编：266071 电话：(86532)6678338 传真：(86532)6678339

**Rockwell  
Automation**