

改造 DTL-231 调节器为一个 新型的抗喘振调节器

任秀珍

(科研处)

摘 要

当泵或压缩机的工作状态大范围变化时,由于喘振缘故,会产生一种奇特的不稳定现象,这种现象可能破坏生产过程的连续条件.泵或压缩机的压力与(或)流量抗喘振控制系统,可以用改型DTL-231调节器来实现,这种改型的调节器具有两种特殊的组合功能,即选择性调节与抗积分饱和.本文详细介绍改型DTL-231调节器的结构和应用.

一、前 言

泵与压气机是化工生产过程中的一种重要设备,用来输送液体或气体原料.泵与压气机在一定的条件下会发生喘振.对于泵来说,这个条件是泵的输出流量 Q 低于某一个最小流量 Q_{min} ;对于压气机不产生喘振的条件则是

$$\frac{\Delta P}{P_1} \leq C_1 \frac{P_2}{P_1} + C_2 \quad (1)$$

式中, P_1 与 P_2 分别表示压气机的输入压力与输出压力, ΔP 表示 $(P_2 - P_1)$, C_1 与 C_2 均为小于1的正的常数.实际上,式(1)的条件可以转化成

$$P_1 \geq \alpha P_2 \quad (2)$$

式中

$$\alpha = \frac{1 - C_1}{1 + C_2} \ll 1$$

泵喘振的过程由图1说明.图1表示的是离心泵的一般工作特性曲线.泵的工作状态处于 $Q_{min} < Q$ 的流量范围时, Q 越大,输出压力 P_2 越低.当 $Q \leq Q_{min}$ 时,泵输出的流量在管网中过剩,管网压力上升超过泵可能达到的最大压力时,管网的流体会倒流,造成泵的空转.在这种状态下,泵的工作状态就在图中所示的 O_1 、 O_2 与 O_3 点上重复滑行,形成一

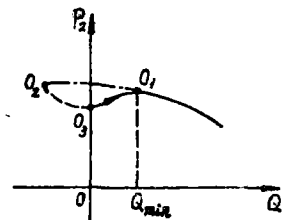


图 1

本文1986年12月1日收到.

种破坏力很强的喘振现象。

对于泵与压气机来说,输出压力 P_2 (或输出流量)常常是主要的控制变量,而输入压力 P_1 (或最小输出流量)则是安全运行必须具备的条件。这种系统若采用现有的工业自动化仪表,则需用的仪表台数较多,我们曾对DDZ-II型的PI调节器进行适当修改,得到一个比较通用的抗喘振调节器。

综上所述,泵或压气机抗喘振的控制系统具有如下三个共同的特点:

(1) 两个检测控制点,其中一个作正常工况控制变量,另一个作安全运行状态的超驰控制变量。

(2) 在正常状态下超驰控制变量不起作用,整个控制系统相当于一个简单的单回路反馈控制系统,当出现危险的状态时,正常控制变量的回路被切断,直接按超驰控制变量进行调节。

(3) 输出压力经常是工艺生产要求控制的变量。

泵与压气机抗喘振控制的区别在于:

(1) 泵的喘振条件是输出流量 Q 低于某一个数量值 Q_{min} ,即 $Q < Q_{min}$,而压气机则是 $\Delta P/P_1 \leq A$,其中 A 同 P_1 与 P_2 有关,同具体的压缩机种类有关,如式(1)所示。

(2) 由于抗喘振条件不同,系统的组成亦有差异:泵以输出压力作主控信号,以输出流量作超驰信号;压气机则以输出压力 P_2 作主控信号,以输入压力作超驰信号。

为了使我们讨论的问题能有普遍使用的意义,下面以泵抗最小流量引起的喘振为例说明,对于压缩机只需作简单更换检测控制点则可以适用,如将泵的压力检测控制点 P 改为压气机检测控制点 P_2 ,将泵的输出流量给定值 Q^* 改为压气机的输入压力控制系统的给定值 P_1^* 。虽然目前微型机应用已日益普遍,从技术的发展看,抗喘振系统应用微机控制是一个方向,但从简单与经济角度看,一台最便宜的微型机虽其价格只有DDZ-II型调节器的两倍多,但配上A/D与D/A转换器后,成本可能达常规仪表的好几倍;再则不少工厂往往藉助外单位协作才能实现微机控制,而DDZ-II型仪表却是他们早已熟悉和摸透了的,所以作者认为至少在当前改造DTL-231调节器为抗喘振的调节器具有现实意义。

二、DTL-231 调节器的修改

图2表示DTL-231调节器的组成方框图。输入比较回路产生给定信号与检测信号的偏差信号。自激式调制放大器的作用是对低电平的直流信号进行放大,经检波放大器与限幅器后得到0—10mA的统一仪表信号,调节器的功能是依靠运算回路来实现的,DTL-231调节器的运算回路是一个惯性微分环节,其传递函数为

$$\frac{U_f(s)}{U_i(s)} = \frac{Tis}{Tis + 1} \quad (3)$$

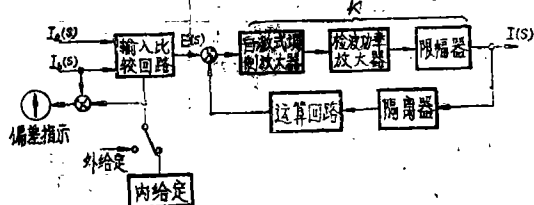


图 2

式中, U_1 为输入电压; U_f 为运算回路的输出电压; T_i 为积分时间, $T_i = R_i C_{i1}$ 。

由于自激调制放大器与检波功率放大器总的放大系数为 $K=200$, 所以有

$$\frac{I(s)}{E(s)} = \frac{K}{1 + \frac{KTis}{Tis + 1}} \approx 1 + \frac{1}{Tis} \quad (4)$$

调节器的比例增益是依靠输入比较回路来调整的。这种 PI 型式的调节器不仅大量生产、价格低, 而且在多数场合容易得到, 只需简单地加以改造, 就可以适用于泵或压气机的抗喘振压力与流量调节系统。对原 $DTL-231$ 调节器进行改造, 包括运算回路的改造和在电流输出端串上一个电流选择回路 I 与检波放大器的电压反馈端串上一个电压选择回路 II 。

$DTL-231$ 调节器的反馈是负反馈。由于 $K=200$, 所以得到式 (4) 的 PI 运算公式。考虑到改造后的调节器必须具备抗积分饱和的性能, 因此将运算回路的传递函数 $Tis/(Tis + 1)$ 修改成 $\alpha/(Tis + 1)$, 反馈的方式亦由负反馈改变成正反馈(即运算回路的两个输出端对调), 并取 $K\alpha = 1$ 。此时, $I(s)$ 同 $E(s)$ 的关系变成

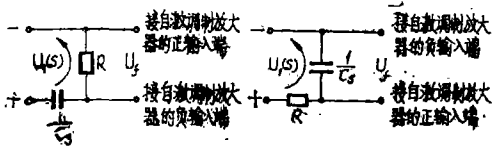
$$\frac{I(s)}{E(s)} = \frac{K}{1 - \frac{K\alpha}{Tis + 1}} = \frac{K(Tis + 1)}{Tis} = K(1 + \frac{1}{Tis})$$

修改后的运算方式同样是 PI 型式。运算回路的反馈方式与传递函数修改的结果, 可以保证当运算回路的输入电压信号钳位时, 阻止在输入偏差信号存在的情况下积分动作趋向深饱和区。

图 3 表示修改前后运算回路的比较。插入的选择性回路为图 4 的虚线框图 I 与 II 所示的部分。

I 部分说明:

I 部分处于检波功率放大器的输出端, 其



(a)原运算回路 (b)修改后的运算回路
图 3

中 R_{s1} 为模拟负载电阻, D_{s1} 为条件导通的二极管。I 部分的作用用图 5 说明: 两台经改造的调节器的输出端子 (1)、(2) 与 (1')、(2') 按图 5 的方式接线 (接线为图中的粗实线)。图 5 线路实现从两台调节器的两个电流信号 I 与 I' 中, 选择一个最大的信号送至负载电阻 (负载电阻相当于电动执行器的输入阻抗或电/

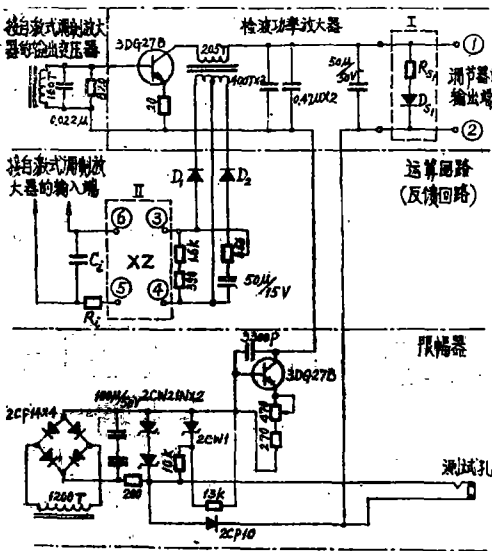


图 4

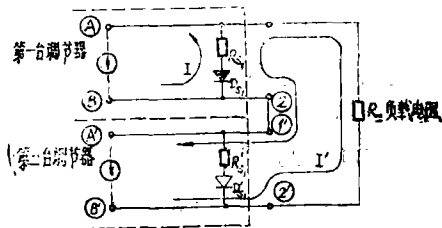


图 5

气转换器的输入阻抗)。譬如 $I' > I$, 即 $U_{B'A'} > U_{BA}$ 。此时 I' 由 (B') 点经 R_{s1} 、 R_{s1} 及 D_{s1} 流至 (A') 点, 由于 D_{s1} 在正向电压作用下导通, 使得 I 由 (B) 点经 D_{s1} 与 R_{s1} 流向 (A) 点。反之, 当 $I > I'$ 时, I 由 (B) 点经 R_{s1}' 、 D_{s1}' 及 R_{s1} 返回 (A) 点, I' 则由 (B') 点经 D_{s1}' 及 R_{s1}' 直接返回 (A') 。

II 部分说明:

I 部分是接调节器的输出端, 相当于接上一个可变的恒流源。由于 DTL-231 的输出负载允许在 $0-3k\Omega$ 的范围内变化, 所以接上一个电阻 R_{s1} (或 R_{s1}') 不会影响调节器原来的工作状态。从检波功率放大器 (通过隔离器) 耦合至运算回路, 同样需要一个选择性电路, 但不能采用图 5 的结构, 原因是隔离器经整流及滤波后所产生的是电压信号, 它不同于输出级的恒流信号 (即负载在 $0-3k\Omega$ 范围内变化, 不影响输出电流的大小), 所以采用图 6 的修改电路, 即在原反馈电路上插入一个 XZ 电路。XZ 电路由二极管 D_{s2} 、 D_{s2}' 与电阻 R_{s2} 组成。当 $E_1 > E_1'$ 时, 二极管 D_{s2} 导通, D_{s2}' 处于反向截止状态, 因此 E_1 可以从 (3) 端通过 D_{s2} 及 R_{s2} 返回 (4) 端, 并在 R_{s2} 产生电压降信号。反之, 当 $E_1' > E_1$ 时, 二极管 D_{s2}' 导通, D_{s2} 处于反向截止状态, E_1' 加至电阻 R_{s2} 上。 R_{s2} 上的电压信号同时接到两台调节器的运算回路上, 使送上的闭合回路具有比例积分调节器的功能, 使设有闭合的回路能够获得抗积分饱和的性能。这里值得提起的是 E_1 同 I 成正比, E_1' 同 I' 成正比, 所以在两个调节器中, 输出电流大的那个调节器, 运算回路同自激式调制放大器及检波功率放大器闭环, 构成一个比例积分调节模式的调节器

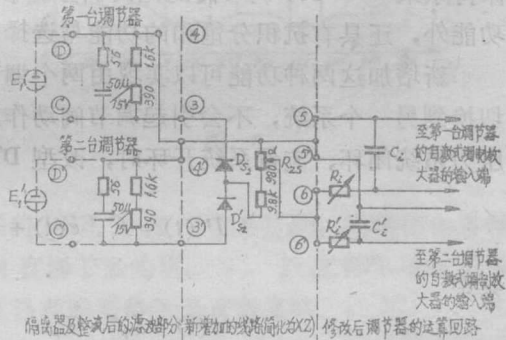


图 6 改造 DTL-231 调节器为一个新型的抗喘振调节器

$$D(s) = \tilde{K}_p \left(1 + \frac{1}{T_{is}}\right) \quad (5)$$

其中

$$\tilde{K}_p = K_p K$$

即输出电流 $I(s)$ 同输入偏差 $e(s)$ 成比例积分关系

$$I(s) = \tilde{K}_p \left(1 + \frac{1}{T_{is}}\right) e(s) \quad (6)$$

输出电流小的那个调节器, 其输出电流 $I'(s)$ 同 $I(s)$ 及该调节器的输入偏差有关

$$I'(s) = \tilde{K}_p' e'(s) + \frac{1}{T_{i's} + 1} I(s) \quad (7)$$

其中

$$\tilde{K}_p' = K_p' K$$

三、抗喘振调节器的应用

DTL-231 调节器经改造后, 由两台这样的调节器可以组成一个泵 (或压气机) 抗喘振

的输出压力调节系统,如图7所示。压力变送器的输出接改型 DTL-231B, 输出流量检测信号接 DTL-231A。在正常工作状态下,压力变送器、改型DTL-231B、电/气转换器、气动调节阀与泵形成闭环,泵的输出压力处于闭环控制状态;而差压变送器、开方器、改型DTL-231A处于开环状态,所以输出流量没有控制,呈现自然变化状态。一旦泵出现异常现象(即输出流量 Q 低于某一个额定的最小值 Q_{min}),则立即将流量回路置于闭环。这种系统是两种控制系统的叠加:(1)经常性调节的压力控制系统;(2)必要时调节的流量控制系统。由两台改型 DTL-231组成的系统,调节器除了保持原来 DTL-231 调节器的比例积分调节功能外,还具有抗积分饱和的功能与选择性调节的功能。

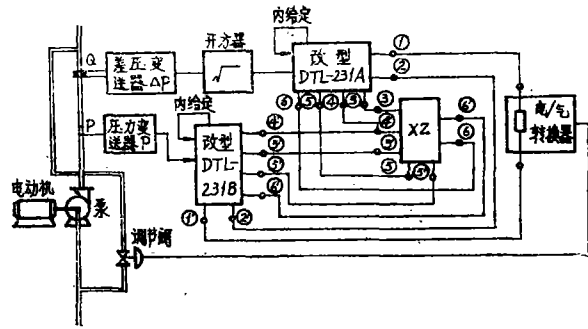


图 7

新增加这两种功能可以实现由两个调节器管理一个调节阀,而且保证从一个系统平滑地切换到另一个系统,不会引起调节阀动作的突变。理论上可证明这种过渡状态的平稳性。当压力系统闭环、流量系统开环时,改型 DTL-231B 输出的变化规律为

$$I'(t) = \bar{K}_p' e(t) + \frac{\bar{K}_p'}{T_i'} \int e(t) dt \quad (8)$$

其中

$$e(t) = I_p^* - I_p \quad (9)$$

式中, I_p^* 为压力控制系统的给定值信号, I_p 为压力变送器的输出信号。

改型 DTL-231A 输出的变化规律为

$$I(t) = \bar{K}_p e'(t) + (1 - e^{-\frac{t}{T_i'}}) I'(t) \quad (10)$$

式中

$$e'(t) = I_q^* - I_q \quad (11)$$

式中, I_q^* 为流量系统的给定值信号; I_q 为开方器输出的信号,即流量的测量信号。调节系统经过一般时间后, $e^{-\frac{t}{T_i'}} \approx 0$, 所以有

$$I(t) \approx \bar{K}_p e'(t) + I'(t) \quad (12)$$

两个系统的切换处于 $I'(t)$ 刚好等于 $I(t)$, 而且即将大于 $I(t)$ 的时候, 所以切换条件为

$$I(t) = I'(t) \quad (13)$$

在满足式(13)的条件下, 式(12)中的 $e'(t) \approx 0$, 这说明由压力调节过渡到流量调节, 流量系统没有调节偏差, 因此切换过程可以自动进行, 而且不存在突变现象。反之, 当流量系统处于闭环状态, 压力系统处于开环状态, 有

$$I'(t) = \bar{K}_p' e(t) + (1 - e^{-\frac{t}{T_i'}}) I(t) \quad (14)$$

以及

$$I(t) = K_p e'(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e'(t) dt \quad (15)$$

两个系统再次切换的条件是 $e(t) \approx 0$, 仍然没有突变现象产生。图8表示在运行状态下两个控制系统调节与切换状态的一段记录曲线。

由两台改型的 DTL-231 调节器组成的压力与流量调节系统, 具有压力经常调节与流量必要时调节的特点, 这个必要的条件是 $Q < Q_{max}$ 。在调节过程中, 这两台调节器只有一台处于闭环, 另一台处于开环, 闭环的调节器有比例积分调节功能, 处于开环的调节器则具有抗积分饱和的功能。

四、结 论

泵或压气机的控制, 目前虽然有些工厂已采用专门设计的微型机抗喘振调节装置, 变送器、电/气转换器、调节阀仍然保留, 仅微型机代替调节器的作用, 因此目前造价较高。若采用 DDZ-III 型仪表来实现, 则需附加多种仪表。从经济的观点与目前工厂大量采用 DDZ-II 型调节器的现状下, 改造 DTL-231 调节器, 用最低的造价实现泵或压气机的安全调节, 在当前的条件下是有意义的。

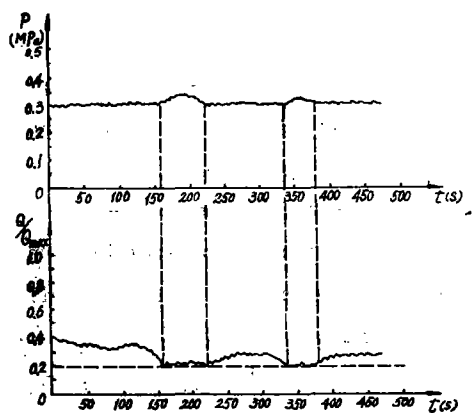


图 8

参 考 文 献

- (1) 王永初、任秀珍著, 工业过程控制系统设计范例, 科学出版社, (1986)。
- (2) 相起行编, DDZ-II型电动单元组合仪表, 机械工业出版社, (1981)。
- (3) Pasahaw, E.J., Linearing Digital Electronics Through Experiments, McGraw-Hill, (1982)。
- (4) Shinskey, F.G., Process Control Systems, McGraw-Hill, (1977)。
- (5) 任秀珍, 批量(或间歇)生产过程的调节装置, 工业仪表与自动化装置, 4 (1983)。

To Remould DTL-231 Regulator into a Surge-Resistant Regulator

Ren Xiuzhen

Abstract

As the operating status of a pump or a compressor changes to a significant extent, a strange and nonsteady phenomenon caused by surging would be emerged. By which the continuous condition of production process would be broken down.

A pressure and/or flow control system of surge-resistant can be realized in the pump or the compressor by remoulding DTL-231 regulator. The modified regulator is characterized by two specific combined functions, i. e. selective control and integrat windups resistant.

The modified DTL-231 regulator is described here in detail with special reference to its construction and applications.