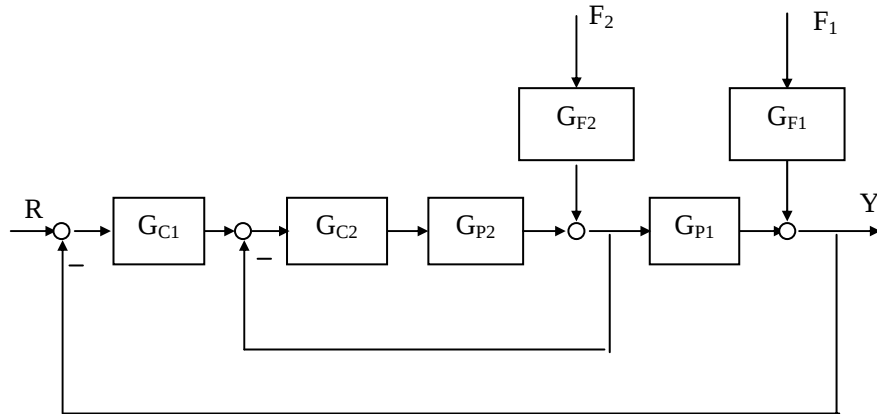


二、复杂控制系统

1. 串级控制系统有哪些主要特点？为什么说串级控制系统能迅速克服进入副回路的扰动？
2. 串级控制系统中的副被控变量如何选择？
3. 串级控制系统中的主、副控制器的正、反作用如何选择？它们与阀门的开关形式有无关系？

4. 如图串级控制系统。该系统在扰动 F_1 和 F_2 作用下，要求输出 Y 无余差。问主、副控制器是否应全部采用具有积分作用的控制器，为什么？（设过程均具有自衡特性）

5. 在一个串级控制系统中，原来采用 $\Phi 20$ 的气开阀。后来因负荷增加，改用 $\Phi 25$ 的气



（题 4 图）

关阀。问：主、副控制器的正、反作用需要改变吗？为什么？如果需要，如何改变？主、副控制器的比例度和积分时间是否需要改变？

6. 在一个串级控制系统中，主被控变量是温度，原用 $0-200^{\circ}\text{C}$ 温度变送器，后改用 $80-200^{\circ}\text{C}$ 温度变送器。问：主、副控制器的比例度和积分时间是否需要改变？如果需要，如何改变？

7. 有附图所示反应器，反应器温度是用冷却水控制的。

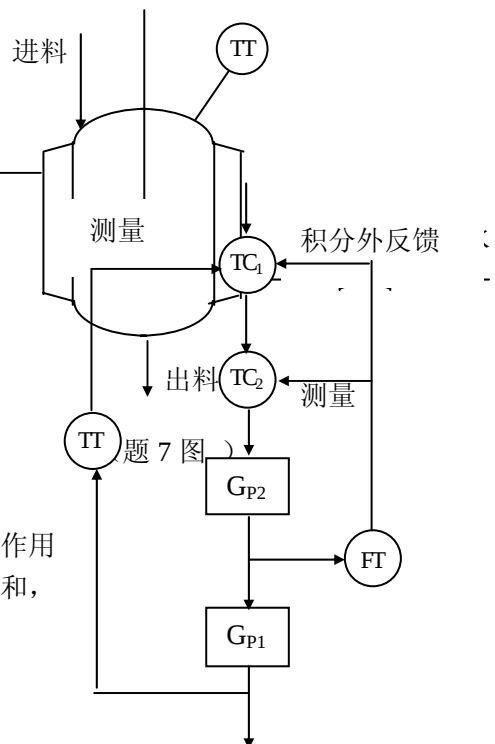
(1) 如果主要扰动是冷却水阀前压力有波动，应组成怎样的串级控制系统回路？画出控制方案。

(2) 画出采用串级控制系统时的流程图。并设控制阀是气开式，那么，两个控制器分别应选正作用还是反作用，为什么？

(3) 如果控制阀为气关式，两个控制器的正反作用是否需要改变？

8. 当串级控制系统采用流量控制回路时，如果用孔板作为测量元件，且不采用开方器，有时会出现负荷小时反而不稳定的现象，为什么？为了避免这种情况，改变阀的流量特性行不行，为什么？如果不行，用什么办法可以解决？

9. 在串级控制系统中，当主、副控制器都有积分作用时，在主控制器达到饱和之后，副控制器也将积分饱和，

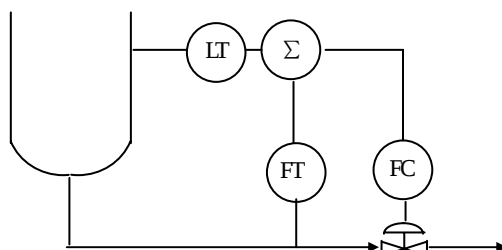


（题 9 图）

情况更严重。采用如图方案，试说明为什么能防止积分饱和，并写出主控制器控制规律式来说明。这样的系统能使主被控变量没有余差吗？

10. 简单均匀控制系统与简单控制系统有何异同点？如何识别简单均匀控制系统？

11. 简述简单均匀、双冲量均匀、串级均匀的应用场合。串级均匀与串级控制系统有何异同点？



(题 12 图)

12. 画出图示双冲量均匀系统的方框图，若控制器采用比例积分作用，在扰动作用后，输出(液位)是否有余差？

13. 试比较比值，双闭环比值和串级比值控制系统的特点，并画出各自的方块图。

14. 在比值控制系统中，用相乘方案较之相除方案有什么优点？

15. 在比值控制系统中，流体 F_1 的流量是不可调的，仪表量程为 $0\sim 50\text{M}^3/\text{h}$ 。流体 F_2 的流量是可调的，仪表量程为 $0\sim 80\text{M}^3/\text{h}$ 。现决定采用除法器($I_0=10\times I_1/I_2$)组成单闭环比值控制系统，画出控制方案，并确定比值系数。

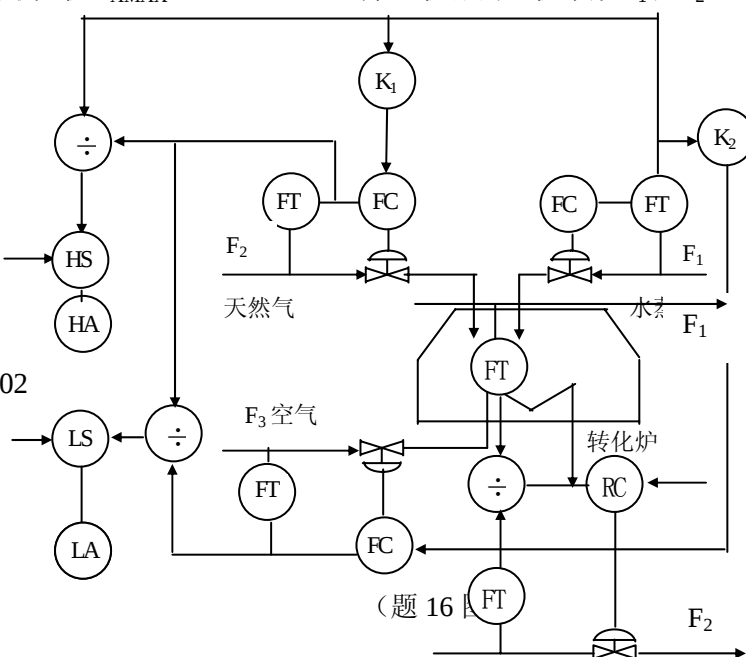
16. 甲烷转化反应中，为了保证甲烷的转化率，就必须保持天然气、蒸汽和空气之间成一定比值 ($1: 3: 1.4$) 且当蒸汽和天然气的比值低于 2.9，空气和天然气的比值高于 1.5 时报警。设计如图所示的控制及报警系统。由电动Ⅲ型比值器构成比值控制系统，用差压法测流量，未经开方运算。蒸汽流量的最大值 $G_{\text{SMAX}}=31100\text{M}^3/\text{h}$ ；天然气流量的最大值 $G_{\text{NMAX}}=11000\text{M}^3/\text{h}$ ；空气流量的最大值 $G_{\text{AMAX}}=14000\text{M}^3/\text{h}$ 。试求比值器的比值系数 K_1 和 K_2 ，以及高限信号和低限信号器的设定值。

17. 工艺要求 $F_1/F_2=1/1.2$ ， F_1 的流量是不可控的，仪表量程为 $0\sim 36000\text{NM}^3/\text{h}$ 。 F_2 的流量是可控的，仪表量程为 $0\sim 2400\text{NM}^3/\text{h}$ 。采用气动乘法器

$$P_0 = \frac{(P_A - 0.02)(P_B - 0.02)}{0.08} + 0.02$$

组成单闭环比值控制系统。画出控制方案，并确定比值系数。

18. 如图所示比值控制系统中，采用除法确定比值，并用孔板测量流量。问：该控制系统的非线性特性来自何处，对控制质量有什么影响，用什么办法可以克服？



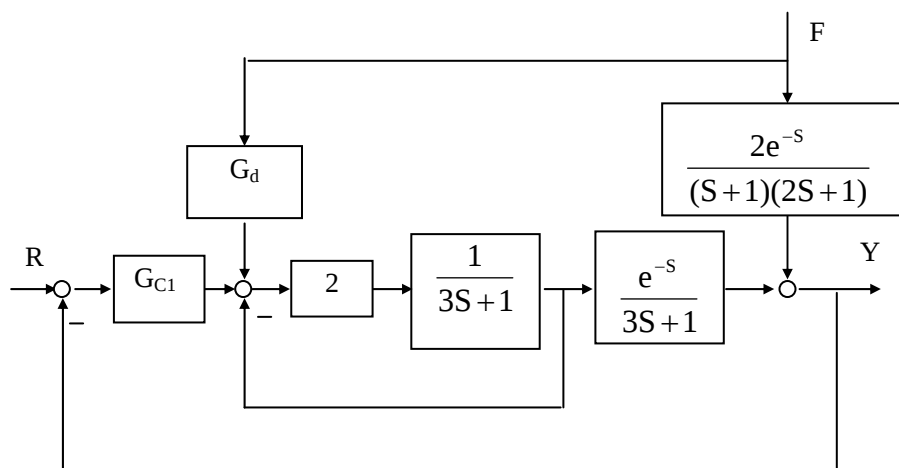
(题 16 图)

(题 18 图)

19. 什么是前馈控制？它有何特点？为什么一般要与反馈控制相结合？

20. 前馈控制有几种结构形式？前馈控制主要应用于什么场合？

21. 对图示的前馈——串级控制系统，试确定前馈补偿装置的传递函数 $G_d(S)$ 。

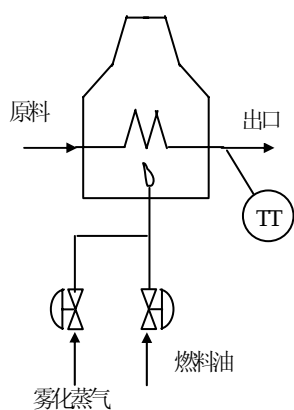


(题 21 图)

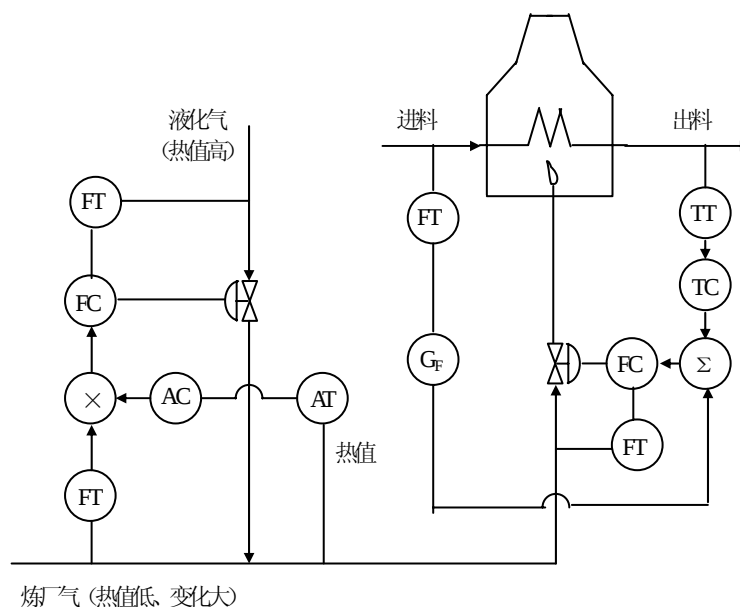
22. 图示加热炉的控制要求为出口温度恒定，燃烧良好。

(1)主要扰动为原料流量(不可控)，试设计合理的控制方案。画出方框图，确定控制器的正反作用。

(2)主要扰动燃料油阀前



(题 22 图)



(题 23 图)

压力，试设计合理的控制方案。

23. 分析图示控制系统的作用。

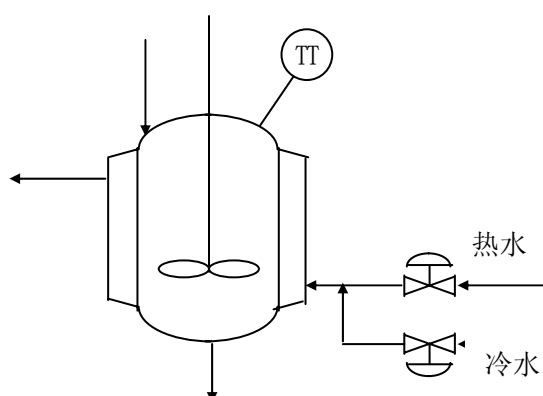
24. 图示反应器的温度用冷水和热水控制。设计分程控制系统，并确定控制器的正反作用。

25. 在一个用燃料气的加热炉控制方案中，为了防止燃料气控制阀后压力过高，准备引入选择性控制回路。

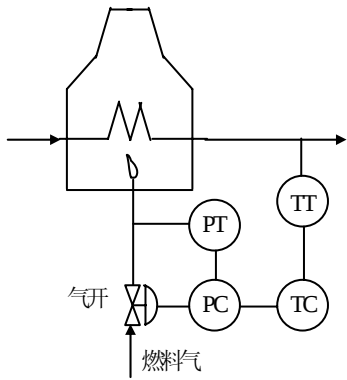
(1)设计它的原理流程图，并简要说明。

(2)说明需要添置的仪器设备。

(3)提出需要采取的防积分饱和措施。



(题 24 图)



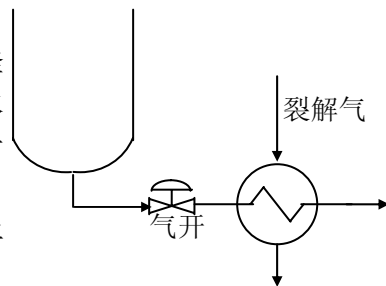
(题 25 图)

26. 工艺要求物料 A、B、C(其中 A 为主物料), 在任何情况下(指任一物料供应不足时), 保持一定比值。试设计满足上述工艺要求的控制系统。

27. 某石油化工厂利用塔釜釜液冷却裂解气, 如图所示。为了整个系统的平稳操作, 必须使塔釜流量保持恒定。当裂解气温度太低时, 将产生烃水化合物堵塞管道, 造成事故。因此裂解气温度低于某一值时, 就改用温度控制系统来控制塔釜流量。

(1) 试设计一个自动选择性控制系统来实现上述要求。

(2) 当两个控制器都具有积分作用时, 画出防止积分饱和的方法。



(题 27 图)

止积分饱和的方法。

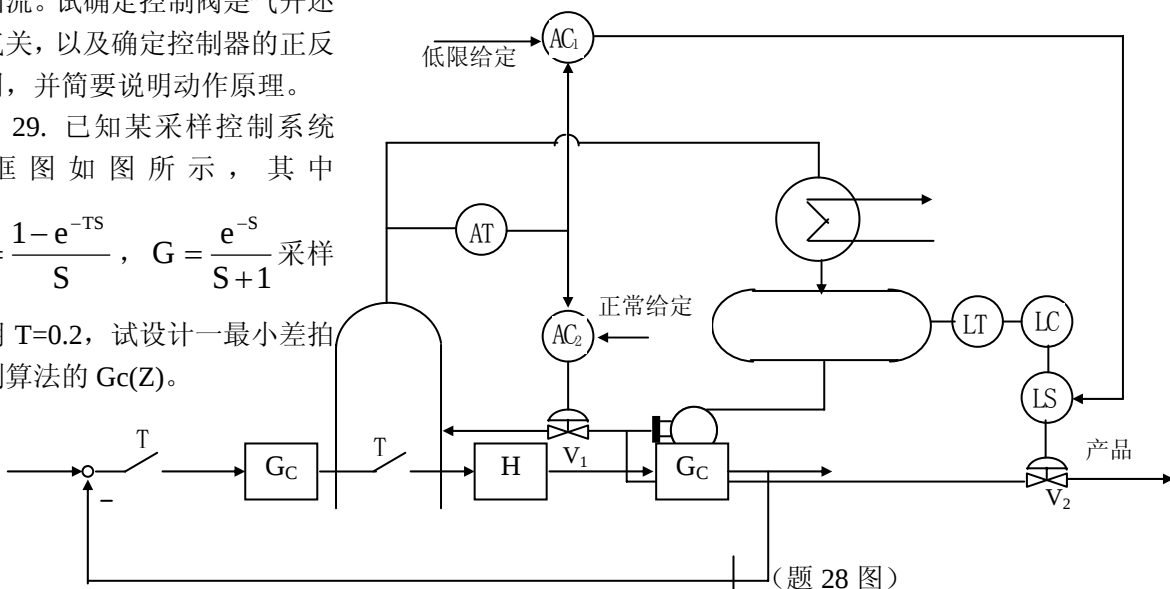
(3) 试问可否用限幅的办法来防止积分饱和, 为什么?

28. 如图所示为保证塔顶成分一定的控制系统。若在产品不合格的情况下, 关闭 V_2 使塔全回流。试确定控制阀是气开还是气关, 以及确定控制器的正反作用, 并简要说明动作原理。

29. 已知某采样控制系统方框图如图所示, 其中

$$H = \frac{1 - e^{-TS}}{S}, \quad G = \frac{e^{-s}}{S + 1}$$

周期 $T = 0.2$, 试设计一最小差拍控制算法的 $G_c(Z)$ 。



(题 28 图)

3

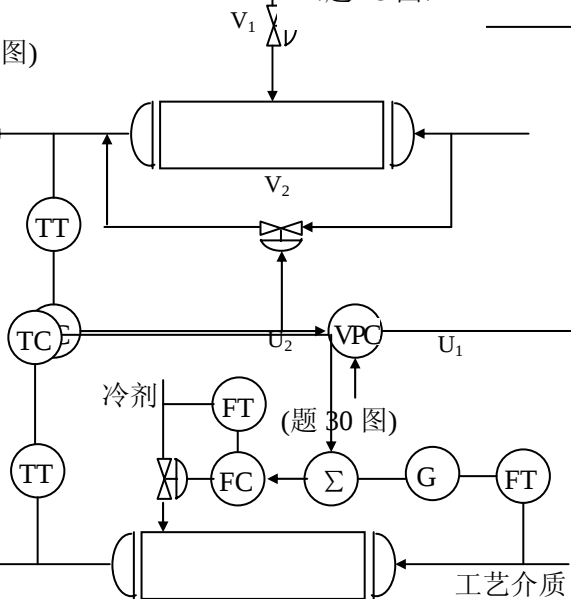
(题 29 图)

0.

图为一复合控制系统, 画出系统(双输入单输出)框图, 并求出闭环系统的传递函数矩阵(已知 $u_1 \rightarrow T$ 的传递函数为 G_{p1} , $u_2 \rightarrow T$ 的传递函数为 G_{p2})。

31. 试分析图示控制系统的作用, 并确定 TC、EC、Gd 的正反作用。控制阀由气开变成气关时, TC、EC、Gd 的正反作用又如何变化? 为什么?

32. 分别在: ①流量控制系统; ②以流量为副环的串级控制系统; ③用除法器组成的单闭环比值控制系统中, 采用差压法测量流量。这三类控制系统中



(题 30 图)

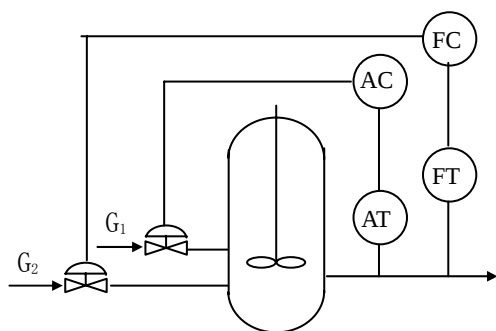
(题 31 图)

的非线性关系各来自何处？是否可采用控制阀流量特性加以补偿？为什么？

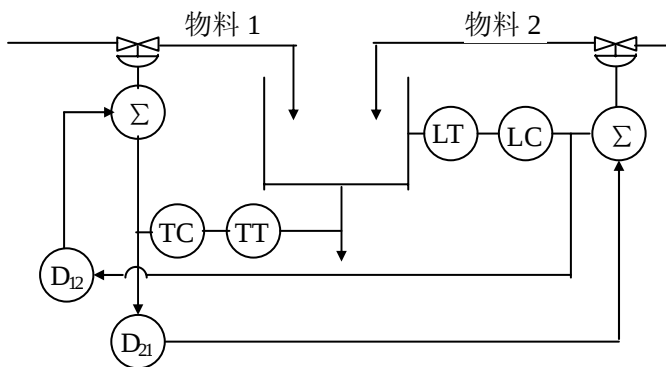
33. 有哪些系统可能会产生积分饱和？如何防止？

34. 什么是关联？举例说明。一般用什么来衡量系统之间的关联程度？简述消除关联(耦合)的途径。

35. 已知图示控制系统存在严重关联，试设计解耦控制系统；画出控制流程图和方框图。



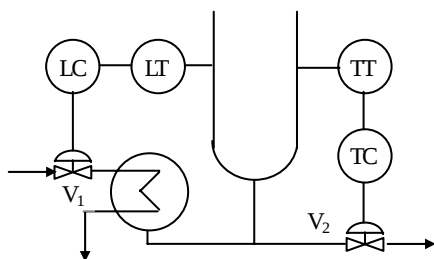
(题 35 图)



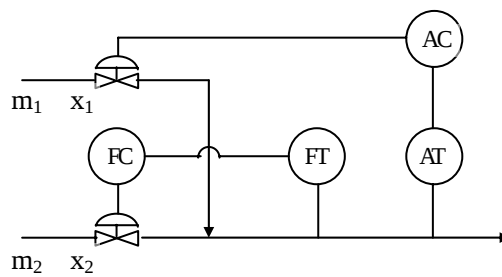
(题 36 图)

36. 已知图示控制系统，画出该控制系统的方框图

图，并说明 D_{12} 和 D_{21} 的作用。



(题 38 图)



(题 39 图)

37. 请解释简易解耦不能由： $\begin{bmatrix} 1 & F_{12} \\ 1 & F_{22} \end{bmatrix}$ 或

$\begin{bmatrix} F_{12} & 1 \\ F_{22} & 1 \end{bmatrix}$ 构成。

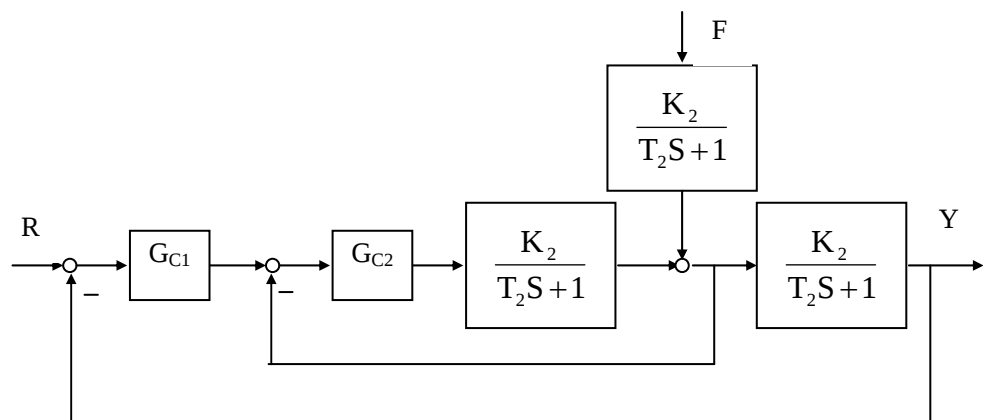
38. 如图所示控制系统中两个回路是否存在着关联？若存在着关联，问：该系统能否实施？其调节质量如何？简要说明原因。

39. 上图为二个支管合并到一个总管的混合系统。设 m_1 、 m_2 是流体的质量流量，它们的成分是 x_1 、 x_2 。试推导出系统的各项相对增益，把结果用 x 表示出来。

40. 已知控制系统方块图如下：

求：(1)若 $G_{C1} = K_{C1}$ ， $G_{C2} = K_{C2}(1 + \frac{1}{T_i S})$ ，在干扰作用下系统是否有余差？

(2)若 $G_{C1} = K_{C1}(1 + \frac{1}{T_1S})$, $G_{C2} = K_{C2}$, 在干扰作用下系统是否有余差?



(题 40 图)

- 1 试述串级控制系统的工作原理，它有哪些特点？
- 2 某加热炉出口温度控制系统，经运行后发现扰动主要来自燃料流量波动，试设计控制系统克服之。如果发现扰动主要来自原料流量波动，应如何设计控制系统以克服之？画出带控制点工艺流程图和控制系统框图。
- 4 液位均匀控制系统与简单液位控制系统有什么异同点？哪些场合需要采用液位均匀控制系统？
- 5 某加热炉出口温度串级控制系统中，副被控变量是炉膛温度，温度变送器的量程都选用 0`500℃，控制阀选用气开阀。经调试后系统已经正常运行，后因副回路的温度变送器损坏，改用量程为 200`300℃的温度变送器，问对控制系统有什么影响？如何解决？
- 7 某反应器有 A 和 B 两种物料参加反应，已知，A 物料是供应有余的，B 物料可能供应不足他们都可测可控。采用差压变送器和开方器测量他们的流量，工艺要求正常工况时 $F_a=300\text{kg/h}$, $F_b=600\text{kg/h}$, 拟用 DDZ-III 型仪表，设计双闭环比值（相乘方案）控制系统，确定乘法器的输入电流，画出控制系统框图和带点工艺流程图。

6.98 什么叫串级控制系统？请画出串级控制系统的典型方块图。

答：串级控制系统是由其结构上的特征而得名的。它是由主、副两个调节器串接工作的。主调节器的输出作为副调节器的给定值，副调节器的输出去操纵调节阀，以实现主变量的定值控制。

串级控制系统的典型方块图如图 6-57 所示。

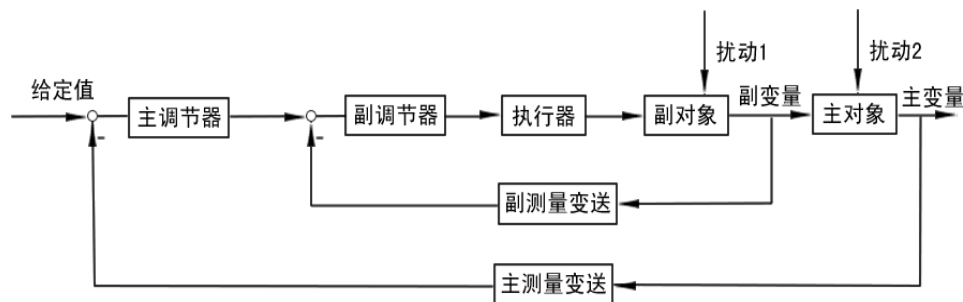


图 6-57

6.99 串级控制系统有哪些特点？主要使用在哪些场合？

答：串级控制系统的主要特点为：

- (1) 在系统结构上，它是由两个串接工作的调节器构成的双闭环控制系统；
- (2) 系统的目的在于通过设置副变量来提高对主变量的控制质量；
- (3) 由于副回路的存在，对进入副回路的干扰有超前控制的作用，因而减少了干扰对主变量的影响；
- (4) 系统对负荷改变时有一定的自适应能力。

串级控制系统主要应用于：对象的滞后和时间常数很大、干扰作用强而频繁、负荷变化大、对控制质量要求较高的场合。

6.100 怎样选择串级控制系统中主、副调节器的控制规律？

答：串级控制系统的目的是为了高精度地稳定主变量，对主变量要求较高，一般不允许有余差，所以主调节器一般选择比例积分控制规律，当对象滞后较大时，也可引入适当的微分作用。

串级控制系统中对副变量的要求不严。在控制过程中，副变量是不断跟随主调节器的输出变化而变化的，所以副调节器一般采用比例控制规律就行了，必要时引入适当的积分作用，而微分作用一般是不需要的。

6.101 如何选择串级控制系统中主、副调节器的正、反作用？

答：副调节器的作用方向与副对象特性、调节阀的气开、气关型式有关，其选择方法与简单控制系统中调节器正、反作用的选择方法相同，是按照使副回路成为一个负反馈系统的原则来确定的。

主调节器作用方向的选择可按下述方法进行：当主、副变量增加（或减小）时，如果要求调节阀的动作方向是一致的，则主调节器应选“反”作用的；反之，则应选“正”作用的。

从上述方法可以看出，串级控制系统中主调节器作用方向的选择完全由工艺情况确定，或者说，只取决于主对象的特性，而与执行器的气开、气关型式及副调节器的作用方向完全无关。这种情况可以这样来理解：如果将整个副回路看做是构成主回路的一个环节时，其方块图可以简化为图 6-58 所示。由图可见，这时副回路这个环节的输入就是主调节器的输出（即副回路的给定），而其输出就是副变量。由于副回路的作用总是使副变量跟随主调节器的输出变化而变化，不管副回路中副对象的特性及执行器的特性如何，当主调节器输出增加时，副变量总是增加的，所以在主回路中，副回路这个环节的特性总是“正”作用方向的。由图可见，在主回路中，由于副回路、主测量变送这两个环节的特性始终为“正”，所以为了使整个主回路构成负反馈，主调节器的作用方向仅取决于主对象的特性。主对象具有“正”作用特性（即副变量增加时，主变量亦增加）时，主调节器应选“反”作用方向；反之，当主对象具有“反”作用特性时，主调节器应选“正”作用方向。

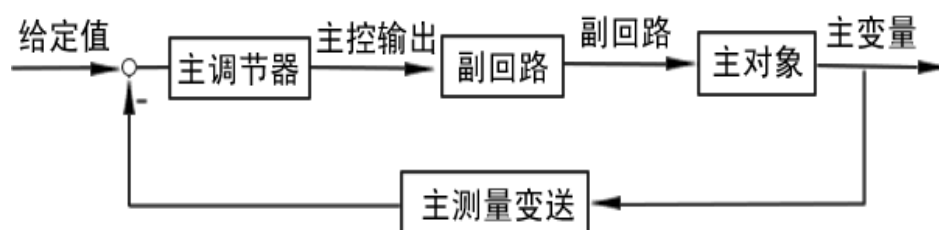


图 6-58

6.104 图 6-61 所示氨冷器，用液氨冷却铜液，要求出口铜液温度恒定。为保证氨冷器内有

一定汽化空间，并避免液氨带入冰机造成事故，采用温度—液位串级控制。

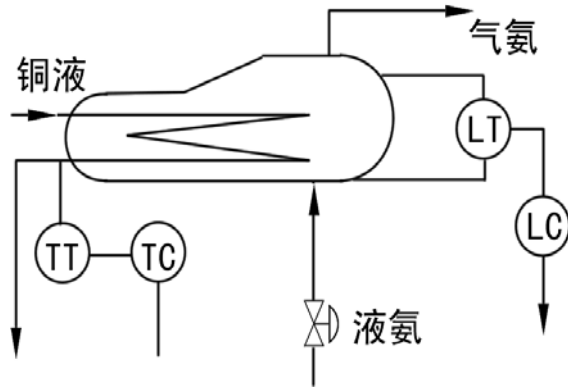


图 6-61

- (1) 试画出温度—液位串级控制系统示意图和方块图；
- (2) 试确定气动调节阀的气开、气关型式；
- (3) 试确定调节阀的正、反作用形式。

答：(1) 串级控制系统示意图见图 6-62，方块图见图 6-63。

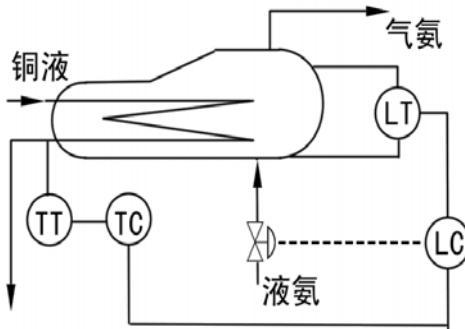


图 6-62

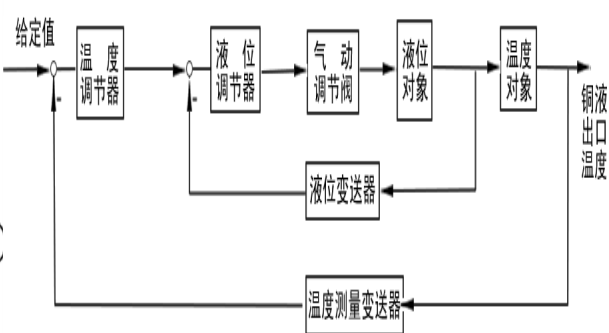


图 6-63

- (2) 气开式调节阀；
- (3) 液位调节器为反作用，温度调节器为正作用。

6.112 什么是均匀控制系统？它有何特点？

答：均匀控制系统是为了解决前后工序的供求矛盾，使两个变量之间能够互相兼顾和协调操作的控制系统。

均匀控制系统的特点是其控制结果不像其它控制系统那样，不是为了使被控变量保持不变，而是使两个互相联系的变量都在允许的范围内缓慢地变化。均匀控制系统中的调节器一般都采用纯比例作用，且比例度很大，必要时才引入少量的积分作用。

6.117 试述均匀控制系统调节器参数的整定方法。

答：均匀调节的目的是允许液面在一定范围内上下波动的情况下，使流量变化比较均匀平稳，以求不至于突然发生大的波动。因此，该控制系统调节器的整定，不必也不可能是定值。对于串级均匀结构形式整定过程，首先把副调节器的比例度放在一适当数值上，然后由小到大变化，使副回路调节过程出现缓慢的非周期性衰减过程。再把主调节器的比例度放在一个适当的数值上，逐步由小到大改变比例度，以求得缓慢的非周期衰减过程。在此调节系统的整定过程中，主、副调节器都不必加积分。最后，视曲线情况，也可以适当加入一点积分。

要指出的是，均匀控制系统从形式上看符合串级控制系统结构，具有主、副调节器，但

在参数整定时却不能按一般的串级控制系统的方法去整定。

6.118 什么是比值控制系统？什么是变比值控制系统？

答：实现两个或两个以上的参数符合一定比例关系的控制系统，称为比值控制系统。通常为流量比值控制系统，用来保持两种物料的流量保持一定的比值关系。

变比值控制是相对于定比值控制而言的。当要求两种物料的比值大小能灵活地随第三变量的需要而加以调整时，就要求设计比值不是恒定值的比值控制系统，称为变比值控制系统。

6.126 选择

单纯的前馈调节是一种能对（ ）进行补偿的控制系统。

- A. 测量与给定之间的偏差；
- B. 被控变量的变化；
- C. 干扰量的变化。

答：C。

因为前馈控制系统和按测量与给定之间的偏差进行调节的反馈控制系统之间的本质区别是前者为开环，后者为闭环，所以它只能对干扰量的变化进行补偿。说它能对被控变量的变化进行补偿也是不正确的。因为工业对象中引起被控变量变化的干扰因素很多，实际上不可能对每一个干扰都加一个前馈补偿装置，只能选择其中的一两个主要干扰进行补偿，而其它干扰仍将使被控变量发生偏差。

6.127 填空

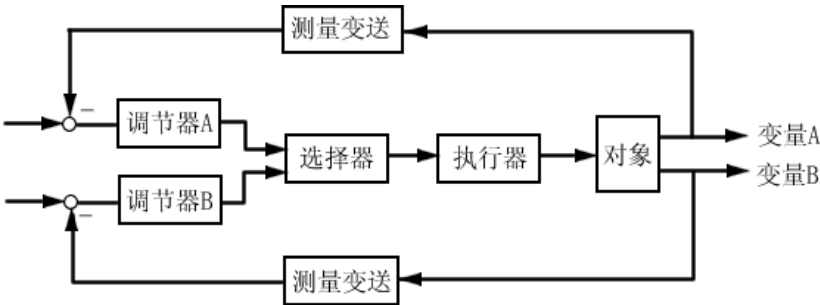
定值控制系统是按_____进行调节的，而前馈调节是按_____进行调节的；前者是_____环调节，后者是_____环调节。采用前馈—反馈调节的优点是_____。

答：测量与给定的偏差大小；扰动量大小；闭；开；利用前馈调节的及时性和反馈调节的静态准确性。

6.132 什么是选择性控制系统？请画出其典型方块图，并说明工作原理。

答：选择性控制又叫取代控制，在该系统中，一般有两只调节器，它们的输出通过一只选择器后，送往执行器。这两只调节器，一只在正常情况下工作，另一只在非正常情况下工作。在生产处于正常情况时，系统由用于正常工作下工作的调节器进行控制；一旦生产出现不正常情况，用于非正常情况下工作的调节器将自动取代正常情况下工作的调节器，对生产过程进行安全性控制，直到生产自行恢复到正常情况，正常情况下工作的调节器又取代非正常情况下工作的调节器，恢复对生产过程的正常控制。其典型方块图见图 6-92。

由方块图可以看出，在取代控制系统中，有两个控制回路，但在任何情况下，总只有一个控制回路在工作，而另一个控制回路处于开环状态，这时，这个回路中的调节器的输出被选择器切断，不再送往执行器。



6.133 什么叫积分饱和？积分饱和对控制系统有什么影响？

答：选择性控制系统中，在正常情况下仅由一个调节器（称甲调节器）起控制作用，另一调节器（称乙调节器）处于开环状态。切换后由乙调节器控制调节阀时，则甲调节器处于开环状态。对于开环状态下的调节器，它的偏差始终存在，由于积分的作用，其输出将不断地上升或下降，甚至超出统一信号的范围，如气动调节器其输出可能超过 100kPa 达到接近 140kPa 的气源压力，也可能低于 20kPa 乃至 0kPa，这种现象称为积分饱和。

设置选择性调节的目的，是为了通过快速的自动选择消除生产中的不安全因素。但由于积分饱和中死区的存在（例如从 140kPa 降到 100kPa 这段时间，自动切入系统的调节器并未真正投用，这段时间称为死区），使调节器不能及时工作，延误了不安全因素的及时消除，危及安全生产。这与设置选择性调节的目的是不相符的，因此，在选择性控制系统中，必须采取防积分饱和的措施。

6.134 在选择性控制系统中防止积分饱和的方法一般有几种？

答：有 3 种。

（1）限幅法。用高值或低值限幅器向调节器引入积分反馈限制积分作用，使调节器的输出信号不超过工作信号的最高或最低限值。

（2）外反馈法。当调节器处于开环状态时，借其它信号对调节器引入积分外反馈信号，使之不能形成偏差积分作用，限制了积分作用，防止积分饱和。

（3）积分切除法。从调节器本身的线路结构上改进，使调节器原有的积分电路在开环状态下暂时被切除而只保留比例作用，从而防止积分饱和。具有这种功能的调节器称为 PI-P 调节规律调节器。

6.135 对某 PI 控制系统，为了防止积分饱和，采取以下措施，问哪一条是不起作用的？

- A. 采用高低值阻幅器； B. 采用调节器外部积分反馈法；
- C. 采用 PI-P 调节器； D. 采用 PI-D 调节器。

答：正确解为 D。

积分饱和现象发生在调节器处于开环状态和偏差存在时。对于 PID 调节器来说，当偏差持续存在时，它的输出会达到上限或下限，以后即使偏差减小，输出信号仍维持为上限或下限值，一直要到偏差改变极性（由正变负或由负变正），调节器输出才起变化。这种由于积分作用而使输出长期处于上限或下限值的现象，叫做积分饱和。

- A. 使调节器的输出信号不超过工作信号的最高或最低限值称限幅法；
- B. 在开环情况下，选用调节器外部积分反馈法，使之不能形成偏差积分作用，称外反馈法。
- C. 改变原调节器的线路结构，使在开环情况下暂时切除积分项，只让比例起作用，称积分切除法；
- D. 有积分作用故会产生积分饱和，更谈不上防止积分饱和。

6.143 何谓分程控制系统？设置分程控制系统的目的是什么？

答：分程控制系统就是一个调节器同时控制两个或两个以上的调节阀，每一个调节阀根据工艺的要求在调节器输出的一段信号范围内动作。

设置分程控制系统的主要目的是扩大可调范围 R 。例如大小调节阀流量系数分别为 $C_1 = 4$ ， $C_2 = 100$ ，其可调范围为 $R_1 = R_2 = 30$ 。如只用一台 $C = 100$ 阀时，

$C_{min}=100/30=3.3$, $R_{max}=30$ 。分程后 $C_{lmin}=4/30=0.134$, $R_{max}=(4+100)/0.134=776$ 。正因为能扩大可调范围, 所以能满足特殊调节系统的要求。如:

- (1) 改善调节品质, 改善调节阀的工作条件;
- (2) 满足开停车时小流量和正常生产时的大流量的要求, 使之都能有较好的调节质量;
- (3) 满足正常生产和事故状态下的稳定性和安全性。