

110年專門職業及技術人員高等考試建築師、
24類科技師（含第二次食品技師）、大地工程技師
考試分階段考試（第二階段考試）、公共衛生師
考試暨普通考試不動產經紀人、記帳士考試試題

代號：01540
頁次：8-1

等 別：高等考試

類 科：化學工程技師

科 目：程序控制

考試時間：2 小時

座號：_____

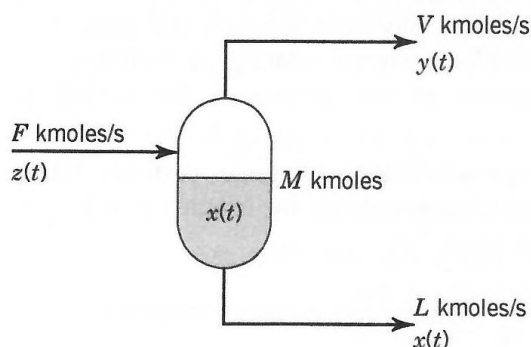
※注意：(一)可以使用電子計算器。

(二)不必抄題，作答時請將試題題號及答案依照順序寫在試卷上，於本試題上作答者，不予計分。

(三)本科目除專門名詞或數理公式外，應使用本國文字作答。

一、考慮在圖一的閃蒸槽（flash drum）。 $z(t)$ 、 $x(t)$ 與 $y(t)$ 分別為進料（ F ）、液體（ L ）物料流、與蒸氣（ V ）物料流，其揮發性最高物種的莫耳分率。槽中累積的液體與蒸氣的總質量、溫度、與壓力可全部假設為常數不變。若假設離開閃蒸槽的蒸氣與液體已達到平衡，下列 $y(t)$ 與 $x(t)$ 間的關係式可建立：

$$y(t) = \frac{\alpha x(t)}{1 + (\alpha - 1)x(t)}$$



圖一

穩定狀態與其他的程序資訊如下：

$M = 500$ kmol/s; $F = 10$ kmol/s;

$L = 5$ kmol/s; $\alpha = 2.5$; $x(0) = 0.4$

(一)推導線性化之微分方程式（linearized differential equation），以建立出口液體組成 $x(t)$ 與進料組成 $z(t)$ 間的動態關係。（10 分）

提示： $y(t)$ 與 $x(t)$ 間的非線性關係，經線性化（linearization）後，可近似為以下的線性關係：

$$y(t) \cong \bar{y} + \alpha / [1 + (\alpha - 1)\bar{x}]^2 (x(t) - \bar{x}) = \bar{y} + a(x(t) - \bar{x})$$

其中 $a = \alpha / [1 + (\alpha - 1)\bar{x}]^2$ ，而 $\bar{x} = 0.4$ （在原有的穩態操作條件下， $x(t=0) = \bar{x} = 0.4$ ）。

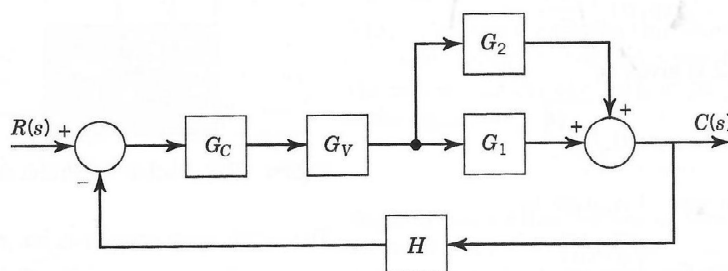
(二)推導出口液體組成 $[x(t)]$ 與進料組成 $[z(t)]$ 間的轉移函數 $X(s)/Z(s)$ 。
將此轉換函數改寫成具穩態增益（steady-state gain）及時間常數（time constant）的標準型式。（5分）

(三)求算在轉移函數中，所有參數及常數的數值。（5分）

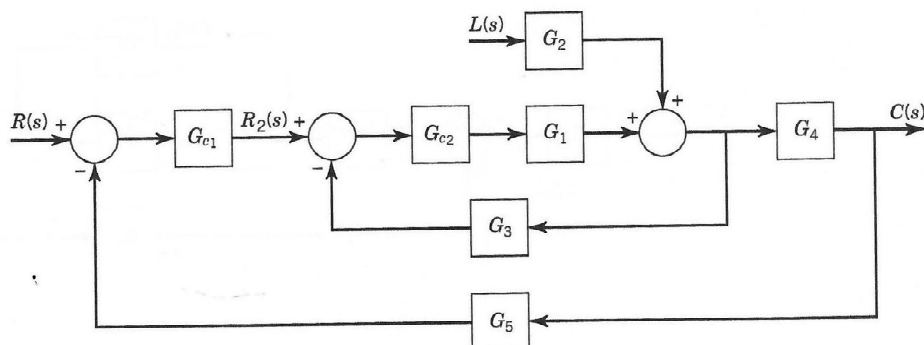
(四)若進料組成 (z) 在 $t=0$ 時，產生0.1單位的步階變化（step change），即 $\Delta z = 0.1$ ，試問出口液體組成 $x(t)$ 的最後穩態值為何？（5分）

二、試推導以下的轉移函數， $C(s)/R(s)$ 與 $C(s)/L(s)$ 。

(一) $C(s)/R(s)$ （10分）

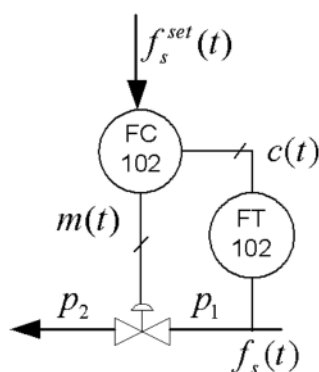


(二) $C(s)/R(s)$ 與 $C(s)/L(s)$ （15分）



三、有關氣體流動控制迴路（gas flow control loop）設計的問題：

一個流動控制迴路，係由與控制閥（control valve）串連的一個小孔計（orifice）、一個微分壓力傳遞器（differential pressure transmitter）、及一個控制器（controller）所組成，擬用於輸送公稱程序流率（nominal process flow）為 180,000 scfh（standard cubic feet per hour，標準立方英尺/小時）的空氣而設計。閥的進口條件為 100 psig 與 60°F，而出口壓力為 80 psig。閥的流動特性為線性，傳遞器內建有一個平方根處理器，以使得輸出訊號和流量呈線性關係。閥的時間常數為 0.06 min，而傳遞器的時間常數則可忽略。一個比例積分（PI）控制器則用來控制流量。儀器裝置的示意圖，如圖二所示。



圖二 儀器裝置示意圖

(一)試計算閥容量因子（valve capacity factor） C_v 及閥的增益值（gain）。

試以 100%超容量（overcapacity）設計閥的大小（size），並假設 $C_f = 0.9$ （Masoneilan 公司）。假設壓力不隨流量而改變，且控制閥為失效關（fail-closed）。

參考表一之 Masoneilan 公司的閥目錄，指出應採用多少英吋（inch）大小的閥，其相對應的 $C_{v,max}$ （以 $\text{gpm/psi}^{1/2}$ 為單位）為何，及根據此數值所計算的閥增益值 K_v （以 $\text{scfh}/\%CO$ 為單位）為何？（%CO 代表 %Controller Output，控制器輸出百分比）（10 分）

提示：Masoneilan 公司所採用之氣體或蒸氣流量（在 1 atm，60°F 的標準條件下，以 ft^3/hr 為單位）如下：

$$f_s = 836 C_v C_f p_1 / (GT)^{1/2} (y - 0.148 y^3) \quad (1)$$

其中

f_s = 氣體流量，以 scfh 為單位（scfh = ft³/hr, 是在 1 atm, 60°F 的標準條件下）

G = 相對於空氣的氣體比重，可以氣體的分子量除以 29（空氣的平均分子量）得之。

T = 閥進口處的溫度，°R(= °F + 460)

C_f = 臨界流動因子。此因子的數值在 0.6 與 0.95 間

p_1 = 閥進口處的壓力，psia

f_s 計算公式中的 y ，表示其對流動的可壓縮因子，定義如下

$$y = 1.63/C_f(\Delta p_v/p_1)^{1/2}$$

其中

$\Delta p_v = p_1 - p_2$ ，通過閥前後的壓力降落，psi

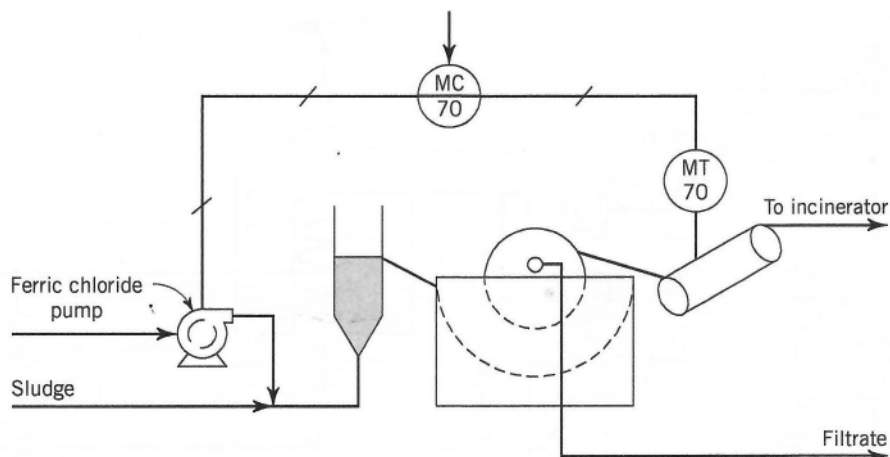
p_2 = 閥出口處的壓力，psia

表一 Masoneilan 公司的閥目錄示例

Valve size (閥尺寸， inch)	Orifice diameter (小孔計直徑， inch)	Percent of travel (行程百分比)	Rated C_v (校正後 的 C_v 值)
0.75	0.812	100	12
1	0.812	100	12
1.5	1.25	100	25
2	1.625	100	46
3	2.625	100	110
4	3.5	100	195
6	5	100	400
8	6.25	100	640

- (二)若傳遞器是在 0 至 250,000 scfh 的流量範圍進行校正，試計算傳遞器的增益值 K_T (以 %TO/scfh 為單位)。(%TO 代表 %Transmitter Output，傳遞器輸出百分比) (5 分)
- (三)試繪製流量控制迴路的塊解圖 (block diagram)，示出控制器、控制閥、和流量傳遞器的特定之轉移函數。(10 分)

四、圖三為真空過濾裝置。此程序是廢棄物處理廠的一部分。污泥 (sludge) 以約 5% 的固體含量進入過濾機。在真空過濾機中，污泥被除水至約 25% 固體含量。在旋轉過濾機中的污泥可過濾性，視其進入過濾機時的 pH 值而定。控制污泥進入焚化爐 (incinerator) 的水分的一種方法是在污泥進料中添加化學試劑 (氯化鐵 ferric chloride) 以維持必需的 pH 值。圖三中的水分傳遞器 (moisture transmitter, MT) 的測量範圍為 55 至 95%。



圖三 真空過濾裝置

下列水分含量（moisture, %）數據是由一項以+12.5%CO 控制器（MIC70）的輸出（controller output, CO）之步階測試（step test）所獲得：

Time, min	Moisture, %	Time, min	Moisture, %
0	75.0	10.5	70.9
1	75.0	11.5	70.3
1.5	75.0	13.5	69.3
2.5	75.0	15.5	68.6
3.5	74.9	17.5	68.0
4.5	74.6	19.5	67.6
5.5	74.3	21.5	67.4
6.5	73.6	25.5	67.1
7.5	73.0	29.5	67.0
8.5	72.3	33.5	67.0
9.5	71.6		

當進入過濾機的水分含量改變 0.5%時，獲得的水分含量數據如下：

Time, min	Moisture, %	Time, min	Moisture, %
0	75	11	75.9
1	75	12	76.1
2	75	13	76.2
3	75	14	76.3
4	75.0	15	76.4
5	75.0	17	76.6
6	75.1	19	76.7
7	75.3	21	76.8
8	75.4	25	76.9
9	75.6	29	77.0
10	75.7	33	77.0

- (一)繪製這個水分控制迴路的塊解圖 (block diagram)，將可能的擾動變數 (disturbances) 列入。(5 分)
- (二)以一階時延 (first-order-plus-dead-time) 的擬合法 3 (fit 3) 模型，來估算兩個轉移函數中的參數。重新繪製塊解圖，示出每一個方塊的轉移函數。(10 分)
- (三)出口水分 (output moisture) 的可控制性 (controllability) 如何，請說明。控制器的正確驅動 (controller action) 為何？(5 分)
- (四)試決定最小 IAE (integral of the absolute value of the error, $\int_0^{\infty} |e(t)| dt$) 應答為準則之比例控制器 (proportional controller) 的增益值 (gain)。計算在入口水分 (inlet moisture) 改變 1% 下的偏值 (offset)。(5 分)

提示：

1. 針對比例控制器的擾動輸入，以 minimum IAE 為準則的控制器調控公式如下：

$$K_c = 0.902/K(t_0/\tau)^{-0.985}。$$

2. 一階時延 (first-order-plus-dead-time, FOPDT) 的擬合法 3(fit 3)模型如下：

$$C(s) = K e^{-t_0 s}/(\tau s + 1) \Delta m/s$$

上式中的 2 個模型參數 τ and t_0 ，可用下列方程式求出：

$$\tau = 3/2(t_2 - t_1), \text{ and } t_0 = t_2 - \tau,$$

其中

t_1 = 在 $C = 0.283 \Delta c_s$ 的時間

t_2 = 在 $C = 0.632 \Delta c_s$ 的時間

$\Delta c_s = c(t)$ 的穩態改變量

Δm = 輸入訊號的步階變化