



防蝕工程學會

防蝕工程

期刊網址：<http://www.anticorr.org.tw>

防蝕工程



10.6376/JCCE.201806_32(2).0003

基於步進法的全氣動多缸順序動作氣壓控制迴路設計 Study on the Design Method of Total Pneumatic Sequential Control Circuit of Multi-cylinder Based on Step forward Method

馬國清*、田元青、馬興會、郭勇

Ma Guo-qing *, Tian Yuan-qing, Ma Xing-hui, Guo Yong

中文摘要

本文針對多缸行程程序控制迴路中易出現障礙信號的問題提出了一種新型可靠的解決方法，控制迴路採用氣動順序控制器，並對氣動順序控制器的結構和工作原理進行了分析；提出了基於步進法的全氣動多缸順序動作迴路設計方法及多缸順序動作控制迴路的標準設計步驟，使全氣動控制設計變為有規可循的簡單設計。

關鍵詞：全氣動控制；多缸；順序動作；氣動順序控制器；障礙信號

Abstract

In order to avoid the obstacle signals that emerged in sequential control circuit, a resolve method of using programmable air controller was put forward in this paper, and the working principle and structure of programmable air controller were analyzed also. The method and standard design procedure of total pneumatic sequential control circuit of multi-cylinder based on step forward method was researched in this paper, which made the design of total pneumatic sequential control circuit easier.

Keywords: Total Pneumatic control, Multi-cylinder, Sequential Operation, Programmable Air Controller, Obstacle Signal.

收到日期：2018 年 05 月 10 日 修訂日期：2019 年 02 月 22 日 接受日期：2019 年 05 月 10 日

中國山東省烟台大學機電汽車工程學院

School of Electromechanics & Automobile Engineering, Yantai University, Shandong Province, China

*聯絡作者：magq020303@126.com

1. 引言

在氣動控制迴路中通常會涉及到行程程序控制的迴路，但在具有多個氣動執行元件的行程程序控制迴路中，有時會有相關的氣動執行元件因受控制系統中產生的障礙信號的影響而無法正常工作，因此在設計氣動控制迴路時如何排除障礙信號使得系統中多個氣動執行元件的動作之間協調工作是相關設計人員面臨的一項關鍵問題。

多缸行程程序氣壓控制迴路的設計若採用電-氣控制，則相對於全氣動控制要簡單的多，但在某些要求防燃、防爆、防靜電等一系列等級較高的不適宜電-氣控制的工作領域，全氣動控制卻依然適合使用。多缸行程程序氣壓控制迴路的設計若採用電-氣控制，則相對於全氣動控制要簡單的多，但在某些要求防燃、防爆、防靜電等一系列等級較高的不適宜電-氣控制的工作領域，全氣動控制卻依然適合使用。

全氣動多缸行程程序氣壓控制迴路的設計，以往較常用的設計方法如卡諾圖法、信號-動作(X-D)狀態圖法等設計方法適用於氣動執行元件較少時，但對於多缸多重行程程序氣壓控制迴路的設計卻相對比較複雜繁瑣。除此之外，目前已有多位學者或研究人員分別提出基於梯形圖的全氣動系統快速設計方法、基於圓環法、最多級數法等全氣動系統快速設計方法等。本文現介紹一種採用新型氣壓控制元件—氣動順序控制器的全氣動多缸順序動作氣壓控制迴路快速設計方法—“步進法”，最大的優點是設計過程簡單清晰、完全可以根據氣動順序控制器的輸入、輸出信號的順序自動調節系統中各氣動元件的動作順序，減少相關設計人員對設計技巧以及經驗的依賴；從

而為實現快速有效的全氣動多缸順序動作氣壓控制迴路的設計提供了一種新的設計途徑。

氣動順序控制器(也稱序列閥模塊)是近年來發展起來的一種比較先進的新型氣動控制元件，借鑒了順序控制和排列組合的設計思想，在工作過程中，各氣動執行元件完全可以按照氣動順序控制器預先設定的順序自動有序的完成一系列動作要求，而不會產生影響動作正常進行的障礙信號^[1]，是一種符合現代化氣壓傳動控制在自動化領域發展趨勢的微型化、集成化、模塊化的新型智能氣動控制元件。

順序控制就是將系統工作過程的一個工作週期依次分解為多個前後順序相連的工作狀態，而步序是依據系統工作狀態的變化來劃分的，工作時同一個步序內所產生的輸出信號的狀態是不變的，而相鄰的兩個步序各產生的輸出信號總的狀態必須是不同的，並且只有在上一步的順序動作已全部完成並已檢測到，下一步順序動作才會開始^[1-2]。

2. 氣動順序控制器的結構

氣動順序控制器採用模塊式結構，是由一系列按照先後順序依次疊加於同一個基座上的微型模塊（也稱組件）構成的，其主要功能是依靠每一組件中不同氣控元件之間的邏輯組合實現一個順序循環的分步操作要求。

單一微型模塊的結構如圖 1 所示：每一個模塊均由一個“或”門型梭閥、一個“與”門型雙壓閥和一個採用壓差和彈簧機構的“憶”功能的雙氣控換向閥構成。具有“記憶”功能的雙氣控換向閥構成。

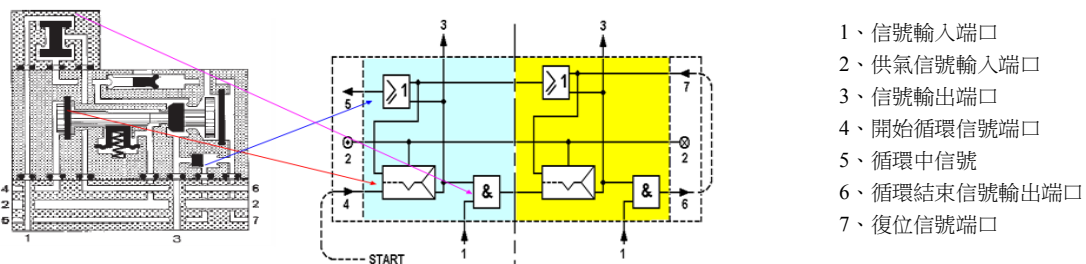


圖 1 氣動順序控制器的模塊結構圖。
Figure 1 Structural diagram of programmable air controller.

3. 氣動順序控制器的工作原理

圖 2 所示的為單一氣缸自動伸出、縮回的氣壓控制迴路的設計，該控制迴路的周期循環可以簡寫為:PB 啟動→C 伸出→LS2→C 縮回→LS1 停止。現以圖 2 為例來詳細介紹氣動順序控制器的工作原理。

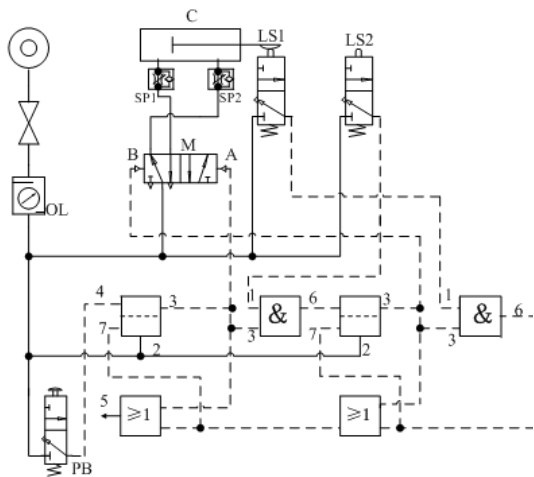


圖 2 氣動迴路圖。
Figure 2 Pneumatic circuit diagram.

現結合圖 1 和圖 2，對氣動順序控制器的工作原理說明如下：按下啟動開關閥 PB，氣源氣體通過 PB 後在其工作壓力（開始循環信號 4）的作用下，首先驅動模塊 1 中的雙氣控換向閥左位工作使其閥芯右移，壓縮氣體通過 2 口進入雙氣控換向閥左腔，經 3 口輸出後分成兩支路，其中一支路的壓縮氣體分別行至模塊 1 的“與”門氣控元件和“或”門氣控元件的輸入端口，而一般情況下會對模塊 1 中“或”門單元的輸出端加以封堵，通常不會在其輸出端連接任何氣控元件（即輸出端沒有氣體輸出）。而與此同時，經 3 口輸出的另一支路的壓縮氣體通過模塊 1 的氣控信號輸出端則行至主控閥 M 處，使主控閥的工位換向到 A 端，壓縮氣體由此通過主控閥 M 的右腔行至氣缸 C 的左腔，在其腔內工作壓力的作用下推動氣缸活塞向右側伸出，直至達到行程終點，活塞桿末端的擋

塊壓下行程開關閥 LS2 的工作觸點；氣源信號經過 LS2 後行至模塊 1 中“與”門氣控元件輸入端口，與之前經 3 口早已輸入到“與”門氣控元件另一輸入端口的氣控信號共同作用於“與”門氣控元件的不同輸入端，從而完成了“與”的邏輯功能，其隨之產生的氣壓控制信號則經“與”門單元輸出後按照順序傳遞到模塊 2，開始推動模塊 2 中雙氣控換向閥的左側工位工作使其閥芯右移，壓縮氣體經模塊 2 中雙氣控換向閥輸出以後，分別進入模塊 2 的“與”門單元、“或”門單元，壓縮氣體經模塊 2 的“或”單元輸出以後，首先反饋到模塊 1 中，推動模塊 1 中的雙氣控換向閥換向到右位工作使其閥芯左移，由此切斷主控閥 M 的右側端口供氣信號，同時壓縮空氣經模塊 2 的氣控信號輸出端行至主控閥 M 的左側端口，推動主控閥 M 換向到 B 使其閥芯右移，壓縮氣體由此通過主控閥 M 的左腔行至氣缸 C 右腔，在其腔內工作壓力的作用下推動氣缸活塞向左側縮回，當氣缸活塞縮回至起點位置後，擋塊壓下行程開關閥 LS1，氣源信號經過 LS1 進入模塊 2 中的“與”門單元輸入端口，與早前到達“與”門元件另一輸入端口的信號就實現了“與”的邏輯功能，產生的信號經“與”門元件輸出後循環結束。

此時，模塊 2 中雙氣控換向閥的左側工位及該閥控制的氣壓控制迴路仍然處於帶壓工作狀態，如果該控制迴路中的壓力無法得到有效釋放，那麼該雙氣控換向閥必然會在下一個工作循環過程中產生障礙信號，導致主控閥 M 無法換向而影響整個工作循環過程，因此可將模塊 2 中的循環結束信號輸出端連接到“或”門單元的另一輸入端，在復位信號 7 的作用下驅動模塊 2 中雙氣控換向閥換向到右位工作，在其右腔工作壓力作用下推動閥心向左移動使該級控制迴路處於排氣狀態，以消除障礙信號，這樣整個順序控制器的各個模塊都恢復到初始狀態，為下一個循環做好了準備。

4. 基於“步進法”的全氣動控制迴路的設計

採用“步進法”實現全氣動控制迴路的設計核心是將氣動順序控制器的每個模塊中的雙氣控換向閥作為“記憶”功能元件按照邏輯順序依次來改變各模塊氣控信號輸出端的輸出氣壓，即在周期循環工作過程中的任意時刻，氣動順序控制器各個模塊的氣控信號的輸出端會按照先後順序依次只有一組模塊的氣控信號輸出端能夠輸出壓縮氣體，而其餘模塊的氣壓控制信號輸出端則均無氣壓控制信號的輸出；這樣有效避免了在系統中決定氣動執行元件工作狀態的主控閥兩端同時受壓的工作狀態，從而不會產生障礙信號影響氣動執行元件的正常工作。

構成氣動順序控制器的多組微型模塊的疊加數量則是由按照各氣動執行元件在周期循環工作過程中不同的工作狀態而依次列出的步序數來決定，即氣動執行元件的工作狀態在一個循環週期中若有 N 步順序動作要求則構成氣動順序控制器的微型模塊的數量為 N 組，在周期循環工作過程中，第 $k(1 < k < N)$ 組模塊的氣控信號輸出端能夠輸出壓縮空氣的前提條件是：第 $k-1$ 組模塊的輸出端輸出氣壓控制信號與經過因氣動執行元件執行第 $k-1$ 步序的動作要求而觸發的行程開關閥的氣源信號實現“與”邏輯，從而引發觸動第 $k(1 < k < N)$ 組模塊中雙氣控換向閥輸出的開關信號而使得第 $k(1 < k < N)$ 組模塊的控制信號輸出端輸出氣壓控制信號；當第 $k(1 < k < N)$ 組模塊的氣控信號輸出端輸出氣壓控制信號的同時又使得其前一個模塊的氣壓控制信號輸出端處於排氣狀態；這樣依次遞推連續進行切換，直至週期循環結束。在周期循環結束以後，根據氣動執行元件所需執行相關動作的具體要求，可以停止循環也可以重複循環^[3]。

5. 全氣動控制迴路的設計步驟

採用“步進法”實現的全氣動控制迴路的設計步驟可依次分為時序圖→迴路圖兩部分，其具體設計步驟結構如圖3所示：

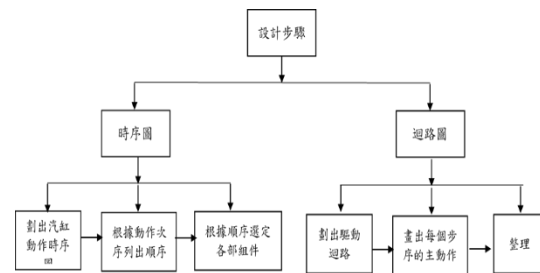


圖 3 設計步驟結構圖。
Figure 3 Structural diagram of design steps.

5.1 時序圖

以圖 2 所示的是以單一氣動執行元件（氣缸 C）的活塞依次伸出、縮回的不同的動作狀態要求為例繪製的時序圖，該時序圖如圖 4 所示。

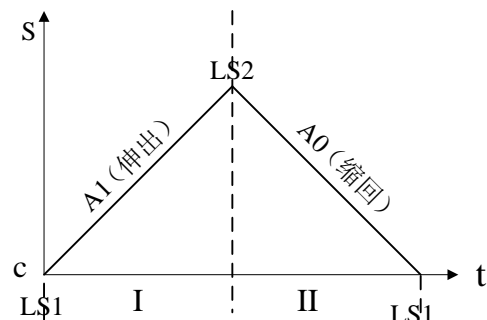


圖 4 時序圖。
Figure 4 Time charts.

繪製時序圖時需要充分體現出系統一個週期工作循環過程中多個順序相連的工作狀態，對於上述氣動執行元件的具體動作要求，在時序圖中按照先後順序可依次將其分成 $A1$ （氣缸活塞伸出）， $A2$ （氣缸活塞縮回）兩個工作狀態，因此系統在整個順序循環工作過程中可劃分為兩個步序

(I 和 II)，其中間的虛線為分序線；故只需要選定上述提到兩組組件進行依次疊加構成氣動順序控制器即可完成一個順序循環的工作過程。

5.2 時序圖

繪製迴路圖時只需要相關的設計人員將各氣控元件的相應配管口按照氣動順序控制器各個模塊輸出或輸入的邏輯關係進行連接即可構成具有一定順序邏輯的多級氣壓控制迴路。即設計人員只需要根據時序圖中繪出的氣動執行元件各步序的動作狀態將控制該氣動執行元件各步序動作狀態的主控閥的兩端配管口按照邏輯順序依次連接氣動順序控制器各模塊的氣控信號輸出端口；而氣動執行元件執行相應的動作要求而依次觸發相應的行程開關閥所產生的氣源輸出信號則作為向下一個模塊輸出的開關信號之一，應將其依次接入與其相應的氣動順序控制器各模塊的氣控信號輸入端口。迴路圖參見圖2。總之，配管時應力求做到不僅簡單且易於操作。

依次切換→10000 (C1完全伸出)→01000(C2、C3完全伸出)→00100(C3完全縮回)→00010 (C2完全縮回)→00001 (C1完全縮回)；經循環結束信號6將最末的組件置“0”後，序列閥各組件的運行狀態以及所對應三支氣缸的工作狀態轉換為初始狀態，以利於下一次週期循環重新開始。

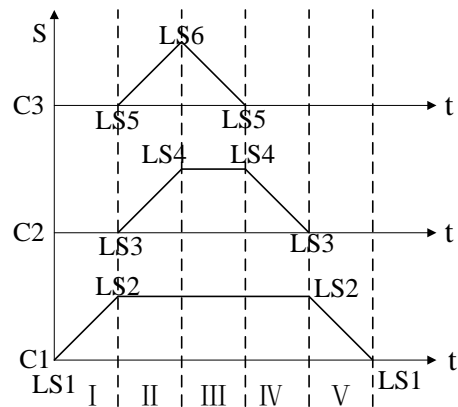


圖 5 時序圖。
Figure 5 Time charts.

6. 實例迴路

三支氣缸的動作迴路：

工作循環單個週期簡寫為：PB按下→C1伸出→LS2→C2、C3伸出→LS4、LS6→C3縮回→LS5→C2縮回→LS3→C1縮回→LS1停止。

如圖6所示的是圖5中所示的三支氣缸單週期循環的氣動迴路圖，為了便於表達工作循環過程中序列閥模塊各組件的依次輸出狀態，在這裡借鑒二進位運算邏輯思想，採用邏輯“0”表示無信號輸出，邏輯“1”表示存在信號輸出；圖6所示的控制迴路工作原理如下：按下啟動開關閥PB，系統由此進入工作狀態，氣源氣體通過PB在其工作壓力（循環開始信號4）的作用下，序列閥模塊的五組組件的輸出狀態以及所對應的三支氣缸的動作狀態由初始狀態00000(C1、C2、C3活塞完全縮回)

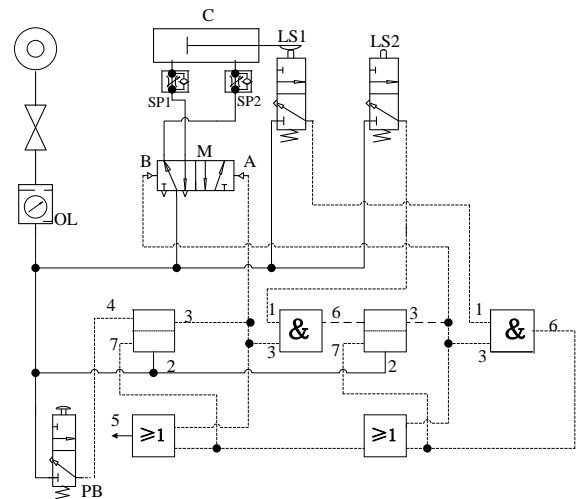


圖 6 回路圖。
Figure 6 Circuit diagram.

針對圖6中三支氣缸單週期循環的全氣動控制迴路，作如下說明：

1. 在系統工作運行過程中因工作狀態要求氣缸

C2、C3 的活塞同時伸出，以便實現“同步”運行狀態，因而在序列閥模塊中只需一組組件即可完成該步序控制迴路的要求。故在整個氣控迴路中僅用了五組組件構成序列閥模塊來完成相應的單週期循環。

2. 上述“同步”運行的兩支氣缸，若其中的一支氣缸 C2 執行上述動作比另一支氣缸 C3 執行上述相應動作產生的返回信號率先返回到模塊 2 中的“與”門單元，那麼勢必觸發下一個模塊（模塊 3）的輸出，而模塊 3 的輸出會導致模塊 2 中各氣控單元立刻處於排氣狀態，但由於控制氣缸 C3 執行相應動作的主控閥 M3 所具有的“記憶”功能，氣缸 C3 執行上述相應的動作產生的返回信號仍然可以返回到模塊 2 中的“與”門單元，因此可採取的解決方案為：在氣控迴路中額外添加一個“與”門元件，將氣缸 C2、C3 的活塞伸出而依次觸發的相應行程開關閥（LS4、LS6）所通過的氣源氣壓信號通過該“與”門元件返回到模塊 2 中的“與”門單元。

7. 結論

本文所介紹的全氣動多缸順序動作氣壓控制

迴路的快速設計方法適用於實現兩步及兩步以上連續循環的順序動作程序的要求，較以往常用的信號-動作(XD)狀態圖法、卡諾圖法等氣壓傳動控制迴路的設計方法直觀、簡單，同時可以不需要掌握梯形圖和圓環法；在設計多缸行程程序控制迴路時無需考慮障礙信號對系統工作狀態的影響，有效地簡化了對氣壓控制迴路的分析、設計和調試過程。

參考文獻

- [1] “節拍器在氣動行程控制迴路中的應用”，胡海清，第16期，2008，第91-92頁。
- [2] SMC(中國)有限公司, in: “現代實用氣動技術”, 機械工業出版社(中國, 北京, 2003)。
- [3] “設計多氣缸順序動作控制回路的最可靠、最直觀的方法——“最多級數法””，朱光力，液壓與氣動，第1期，2005，第71-74頁。
- [4] “基於梯形圖的全氣動系統快速設計方法研究”，熊偉、王海濤等，機床與液壓，第8期，2006，第132-134頁。
- [5] “圓環法——一種全氣動多缸程序控制迴路的設計方法”，朱梅，組合機床與自動化加工技術，第6期，2003，第70-71頁。