

空氣制動工程學

劉之彬編著

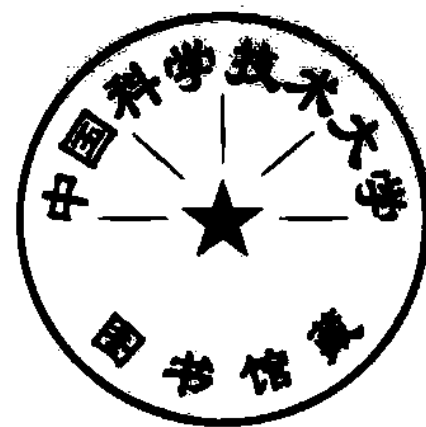


機械工業出版社

空氣制動工程學

(機車車輛用)

劉之彬編著



機械工業出版社

1955

空氣制動工程學

(機車車輛用)

劉之彬編著



機械工業出版社

1955

出版者的話

本書敘述了機車車輛應用的空氣制動裝置的構造、作用、原理、性能試驗和計算方法，同時也扼要說明了制動操縱和故障處理方法等。並且介紹了蘇聯最新型的空氣制動機——馬特洛索夫型 M-320 與 MT3-135 分配閥。

本書特點是與我國目前情況相結合，可解決一般的實際問題。

本書可用為高等工業學校機車車輛製造專業或鐵路運輸機械專業制動裝置的參考書，及中等技術學校機車車輛制動專業教師或同學參考；並可作為從事機車車輛製造、鐵路運輸有關制動工程技術人員的參考書。

書號 0923

1955 年 9 月第一版 1955 年 9 月第一版第一次印刷

787×1092^{1/16} 字數 394 千字 印張 17^{7/8} 插頁 4 0.001—4.000 冊

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價(8) 2.78 元

前 言

制動技術在鐵路機車車輛上佔有最重要的地位。制動技術發展水平之高低，可直接影響國家機車車輛製造工業之前進及鐵路運輸之安全。譬如機車車輛的牽引性能以及與之有關的鐵路運輸能力，在很大的程度上皆取決於制動技術之發展與進步程度如何。

在我國不斷前進中的機車車輛製造工業與鐵路運輸業對目前繼續增加列車牽引重量及提高技術速度一項，單靠現在國內運用中的各種型式的制動裝置，已經受到了一定程度的限制，而向制動技術界提出了新的要求，如車輛制動的空重位置調整、K型三通閥與M型分配閥之混編以及如何提高制動力與縮短制動距離等問題皆有待解決。因此，也就有必要對我國機車車輛的制動技術來進行一番根本的改進。

在現代化的自動制動裝置上，不僅保留了全部舊型制動機的優點，而且具有新的空重位置的調整作用，也有了平道調整、坡道調整及客車調整位置的轉換；無論怎樣長的列車，因制動波速的增高，亦可獲得列車制動的平均作用，而進一步發揮了現代制動技術的效果。

本書為結合我國機車車輛制動裝置的實際情況，內容敘述如下：

(1) 機車方面以 ET-6 型空氣制動機為主；WH 型為次，僅作為 ET-6 型發展過程概要介紹；

(2) 客貨車方面以一般型式的 KC 型及 PM 型空氣制動機為主；關於我國流線型車輛（即和平號列車編成用客車）所採用的 LN 型空氣制動機亦加以說明；其他如馬特洛索夫型空氣制動機——M-320 型與 MT3-135 型分配閥尤為機車車輛製造與鐵路運輸制動工程技術人員學習蘇聯先進經驗迫切需要，故亦譯入；這樣，對改進我國機車車輛的制動裝置來講多少是有些裨益的。

列車操縱一章多以原則性論述為主，以期闡發理論藉省篇幅；試驗一章為期符合我國目前應用，除第 6 號 ET 試驗台與 3-T 試驗台外，並採取了單車試驗裝置及試驗台車，其他概從略。

書中解式大部採用代數法及微積分法兩種證明。其用代數解式者多為實際應用公式；而用微積分解式者則為理論證明之基礎。故對未習高等數學者微積分解式可省略不閱，其在內容之領會及應用上並不妨礙系統性。

書中採用的名詞皆遵照中華人民共和國鐵道部出版之機車車輛名詞兩書，另外亦間有用現場之通俗名稱或已譯出者，但為數甚尠。至於公式中之常數、試驗數字及設計條件等皆以適合於我國機車車輛目前之應用範圍為採取標準。

編者才疏學淺，脫離現場的期間較長，對實地工作經驗尤感不足，乃在任教之餘不揣簡陋草輯此書，尚希制動工程界博學人士及現場先進諸同志予以批評指導，不勝歡迎之至。

劉之彬 一九五五年六月一日

目次

第一章 制動裝置概論	9
1. 制動機的意義	9
2. 制動機的發明	9
3. 制動機的種類	10
4. 空氣制動機的沿革與發展	11
5. 手動制動機的傳動作用概念	12
第二章 空氣制動機	12
6. 直通空氣制動機	12
7. 自動空氣制動機	14
第三章 三通閥	17
8. 三通閥原理	17
9. F 型三通閥	18
10. P 型三通閥	19
11. K 型三通閥	24
12. L 型三通閥	35
第四章 餵閥及減壓閥	48
13. 餵閥	48
14. 減壓閥	53
第五章 空氣壓縮機	54
15. 空氣壓縮機	54
16. 空氣壓縮機的附屬裝置	62
17. 空氣壓縮機的運轉	64
18. 空氣閥揚程的測量標準	65
第六章 壓力調整器	65
19. 壓力調整器	65
20. 壓力的調整	69
第七章 WH 型空氣制動機	69
21. WH 型空氣制動機的梗概	69
22. WH 型空氣制動機的作用說明	71
23. G-6 型自動制動閥	72
24. 機車重聯時的條件	76
25. 列車管的減壓作用	76
第八章 6-E 型分配閥	77
26. 分配閥的原理	77
27. 分配閥的構造	80
28. 分配閥的作用	82
29. 分配閥保安閥	86

30. 分配閥作用的綜合說明	88
第九章 ET 型空氣制動機	89
31. 總說	89
32. ET-6 型空氣制動機的概念	92
第十章 制動閥	93
33. S-6 型單獨制動閥	93
34. H-6 型自動制動閥	97
35. K-14-C 型制動閥	105
36. 制動閥在各制動作用所要的時間	106
第十一章 制動閥在各位置的制動作用	106
37. H-6 型自動制動閥	106
38. S-6 型單獨制動閥	110
第十二章 制動傳動裝置	121
39. 概論	121
40. 機車制動傳動裝置	122
41. 手動制動機	122
42. 制動倍率	129
43. 機車制動傳動裝置力的傳達	130
44. 手動制動機的制動倍率	131
45. 開缸鞴行程與開瓦間隙之關係	133
46. 制動倍率的範圍	134
47. 開缸鞴行程	137
第十三章 制動理論	138
48. 空氣的壓力與容積的關係	138
49. 空氣的等溫變化	139
50. 空氣制動機各部分的增壓或減壓需要的空氣量	140
51. 空氣制動機各部的容積比	141
52. 列車管的減壓範圍	142
53. 列車管的減壓速度	142
54. 列車管減壓量與開缸壓力的關係	144
55. 開缸壓力的實驗值	147
56. 開瓦壓力	147
57. 制動率	150
58. 制動率的最大限度	151
59. 現行車輛的制動率	152
60. 軸制動率與全車制動率之關係	154
61. 車輪與開瓦間摩擦係數的變化	156
62. 平均摩擦係數	159
63. 制動力	163
64. 制動力與黏着力及減速度的關係	164
65. 下坡道維持等速運轉的必要制動力	166

66. 列車行駛阻力、坡道阻力及曲線阻力	167
67. 空走時間及空走距離	169
68. 實制動距離及實制動時間	171
69. 全制動距離及全制動時間	180
70. 下坡道的極限速度	185
71. 反轉機反轉制動	188
72. 制動波與其變動的性質	189
73. 閘瓦懸吊	196
第十四章 客貨車空氣制動機	203
74. 閘瓦間隙自動調整裝置	203
75. 高速度減壓閥	205
76. 客貨車空氣制動機	208
77. 客貨車制動傳動裝置	209
78. 閘缸鞣鞣行程調整法	213
第十五章 空氣制動機附屬裝置	214
79. 總風缸	214
80. 均力風缸	215
81. 機車、煤水車閘缸	215
82. 旋渦濾塵器	219
83. 機車無火裝置	219
84. 空氣壓力計	220
85. 塞門	220
86. 列車軟管連結器	222
87. 緩解閥	222
88. 濾塵網	223
89. 車長閥	223
90. 客貨車閘缸	224
91. 副風缸與附加風缸	227
第十六章 列車操縱	228
92. 列車制動	228
93. 旅客列車制動法	229
94. 貨物列車制動法	230
95. 充氣及緩解	231
96. 下坡道的制動	232
97. 機能檢查	233
98. 故障處理	236
第十七章 試驗	244
99. 第6號E T試驗台	244
100. 3-T試驗台	253
101. 單車試驗器	263
102. 客貨車空氣制動機試驗台車	269

第十八章 馬特洛索夫型分配閥	272
103. M-320馬特洛索夫型分配閥	272
104. 分配閥的基本性質	286
105. 列車管的減壓量與開缸壓力的關係	288
106. 分配閥的特徵	289
107. 分配閥的故障	292
108. MT3-135 馬特洛索夫型分配閥	293
109. 分配閥 (MT3-135) 的基本性質	312
110. 馬特洛索夫型分配閥 (MT3-135) 的故障	313

第一章 制動裝置概論

1 制動機的意義

機車車輛為鐵路運輸的原動力，為使列車得任意停車或減速，必須裝設制動機。又鐵路行車以安全為第一原則，無論其運行方法如何完善，亦莫如使進行中的列車停車最為重要。設如列車因故障不能出發，並無何等危險，若在進行中發生故障以至不能停止時，則其結果將不堪設想。制動機不僅為行車安全而設，並為能使列車迅速停止藉以縮短運行時刻，亦其重要任務，是以列車在未運行之先須將制動機構裝置完善，空氣制動機即為應此需要而設。然為增加列車次數及高速度運行以提高運輸效率，又必需一種具有優良性能的空氣制動機。故列車用的空氣制動機其性能雖因車輛使用的目的而有多少不同，然其正確的設計一般必須具備以下諸條件：

1. 列車中的全部車輛須得到平均制動作用。
2. 作用敏速正確，處理簡易。
3. 制動力在相當廣範圍內得任意增減。
4. 列車分離時全列車得以自然發生制動作用。
5. 由其必要得於機車以外的車輛上很容易的施行全列車的制動作用。
6. 空重車輛的制動力在一定的範圍內可得到調整。

現今使用的種種空氣制動機皆不外以閘瓦壓迫車輪，藉其摩擦而變車輛的運動能力為熱能力，放散於空間，以期達成制動目的。閘瓦壓迫車輪之力叫閘瓦壓力；閘瓦與車輪間發生的摩擦力叫制動力。制動力予車輪以回轉抵抗遂得達成停車之目的。今設閘瓦壓力為 P ，制動力為 F ，車輪與閘瓦間之摩擦係數為 f ，則得其關係式如下：

$$F = Pf, \quad f = \frac{F}{P}, \quad P = \frac{F}{f}。$$

制動機在鐵路行車上之重要性已如上述，故從事機車車輛工作者應充分研究其構造、作用、原理及列車制動之方法，俾便臨機處理，運用得當。

2 制動機的發明

制動機的發明遠在 1848 年，沙米耳里斯達氏首先創造空氣制動機，藉車輪的回轉力，帶動空氣壓縮機運轉，製造高壓空氣，直接送於各車輛的閘缸內，使各車輛發生制動作用。待至 1853 年庫雷馬氏發明彈簧制動機，係利用彈簧的壓力，使閘瓦壓於車輪上，而發生制動作用之裝置。1855 年洛立吉氏發明索鍊制動機，在各車輛上用彈簧隔置兩對滑車，藉索鍊之縮短，使滑車互相接近，而發生制動作用；並於全列車通連索鍊，在司機室內牽動槓桿能操縱全列車的制動。以上所述幾種制動機多以效能低下及

操縱不便，不甚實用。直至 1867 年韋斯汀好司發明以機車之蒸汽力，直接運轉空氣壓縮機之制動裝置，是為直通空氣制動機，而具備了現時通用空氣制動機之雛形。1884 年開木斯那斯美及賈列斯美兩氏共同發明真空制動機，利用大氣壓力推動閘缸內鞴發生制動作用，構造雖較簡單，然因大氣壓力有限，不能維持制動狀態，已為擯棄不用。此外尚有利用蒸汽壓力之制動機，然僅少數舊型機車使用，並多用於機車單獨裝置；蒸汽制動機係司蒂芬孫於 1833 年獲得專賣特許，實為動力制動機的嚆矢。現今一般地下鐵路電車及高速度電車等尚有用電力制動機者，即所謂電磁制動機，然皆與空氣制動機合併使用。電磁制動裝置的特徵為應用於長大列車時全部車輛可得到一致平均的緩解與制動。近來鐵路車輛對高速度列車逐漸有採取電磁制動機與空氣制動機合併使用之傾向。

3 制動機的種類

鐵路車輛使用的制動機種類很多，茲按其原動力分類如下：

1. 手動制動機

由人力回轉手柄，經過其傳動機構，並藉槓桿作用使閘瓦壓迫車輪發生制動作用。現在鐵路車輛一般皆與空氣制動機併用。

2. 空氣制動機

機車壓製空氣存儲，由列車管導送於各連接車輛，藉空氣壓力的增減，可得到制動或緩解之作用，且可很簡易的得到強大制動力；並於長大列車（如貨物列車）亦可為貫通式裝置，且作用正確，實為其特徵，為現今鐵路車輛所廣為採用。按其作用分類為（1）直通空氣制動機，（2）自動空氣制動機，（3）直通自動空氣制動機。又按其用途分類為（1）機車用空氣制動機，（2）客車用空氣制動機，（3）貨車用空氣制動機，（4）電車與動車用空氣制動機。

我國現今機車車輛主要使用的空氣制動機的类型如表 1 所示：

表1 機車車輛空氣制動機的类型

機車車輛類別	現在使用型式	標準型式
蒸汽機車	WH, ET-6, NY, LT, BWH	ET-6
電氣機車	EL-14	EL-14
重油機車	EL-14	EL-14
客 車	PM, LN, BWH	
貨 車	KC, KD, BWH	KC, KD
動 車	SM, AMP, AMA, GPS, AML	AMP, AMA

3. 真空制動機

機車上裝有蒸汽真空排氣器，排出閘缸內空氣，閘缸鞴上下兩側保有高度真空，則鞴因其自重下落，制動機即可發生緩解作用。若向閘缸內送入大氣壓力空氣，則因鞴上下兩側的壓力差，遂將鞴推上，發生鞴下部制動作用。然因大氣壓力

有限，不能產生強大的制動力；且使用於長大列車亦不可能，現在應用不廣。

4. 蒸汽制動機

蒸汽制動機利用鍋爐蒸汽直接送入開缸，發生制動作用，將開缸內蒸汽排出則發生緩解作用。因僅在制動時使用蒸汽，故較經濟。此種制動裝置在機車之單獨制動使用時動作殊甚簡便，保護亦易，故主要為調車機車採用。然蒸汽有因冷凝結之缺點，又使用於貫通式制動機亦甚困難。

5. 電磁制動機

電磁制動機與空氣制動機併用，而稱為電磁空氣制動機。在各車輛上裝設電磁閥，而藉電氣回路與制動閥連絡使用；快動式三通閥藉電磁閥之作用，各車輛列車管可與制動閥同時施行減壓，而縮短其空走時間，衝動亦甚小或可為完全防止。現今一般地下鐵路電車，使用此種制動裝置為 J 型三通閥或 A V 制動裝置與電磁閥合併裝設使用。快動空氣制動機當機車施行列車管減壓時，除機車外編成車輛無論在常用制動或非常制動之際，皆引起局部減壓作用，故制動作用傳播迅速及開缸壓力增大，從而制動距離縮短及列車的衝動可被防止，現今使用的三通閥在構造上皆具有此種作用。

4 空氣制動機的沿革與發展

沙米耳里斯達氏最初創設空氣制動機，且曾供實際使用，實為今日空氣制動的基礎，後經韋斯汀好司繼續研究改良，並開設韋斯汀好司空氣制動機公司，開始製造。

空氣制動機的構造自 1869~1872 年間皆屬直通式，其後於 1872 年發明自動空氣制動機，遂在空氣制動機的發達上劃一新時代。

機車空氣制動機的最初應用是直通式，由三通塞門（J-3 制動閥）管理全車輛的制動、緩解作用。J-3 制動閥有三個位置，即緩解位置、中立位置及制動位置。由手柄開閉其逆止閥可使總風缸的壓力空氣送入開缸或將開缸的壓力空氣排出於大氣。因列車管容積大小，客貨列車不同，由同一氣孔排氣施行制動，而須變換其處理方法頗為不便，故有 G-6 制動閥的考案產生，此閥在施行制動作用時與列車管的長度無關，因其設有均力風缸，制動時先減均力風缸的壓力，則列車管自動減壓至與均力風缸壓力平均為止。故由一定容積的均力風缸的減壓，即可發生制動作用。於是由制動閥的處理可得到一致的動作，而與列車管的容積無關。19 世紀末機車開始使用三通閥及副風缸，其構造簡單，且無論單行機車或牽引列車運行，皆可得到極適當的制動作用。直通式與自動式合併成為 E T 型（採取機車與煤水車原文名第一字母命名），並經數次改造而供實際應用，有 E T-5 型及 E T-6 型兩種。E T-6 是將 E T-5 的 H-5 自動制動閥、S F 單獨制動閥及 5 號分配閥等改造為 H-6 自動制動閥、S-6 單獨制動閥及 6 號分配閥而成。E T-6 型空氣制動機是韋斯汀好司公司的代表出品，一般採用頗廣。社會主義國家蘇聯鐵路所採用者有卡贊斯夫型空氣制動裝置；最近又有馬特洛索夫 M 型分配閥之發明，然多用在貨車制動裝置上。M 型分配閥的最大優點是能

調整空重車輛的制動力，此點頗適合於現代車輛制動裝置之要求條件。

5 手動制動機的傳動作用概念

手動制動機的作用如圖 1 所示。回轉制動手輪時，制動臂繞制動軸回轉，牽動制動拉桿，使閘瓦壓緊車輪互相摩擦，將車輛動能力變為熱能消散空中，列車遂停止進行。制動時回轉手輪之力多以 50 公斤為計算標準，傳至閘瓦處最大不能超過其 1200 倍。

設 p = 手回轉力
 P = 閘瓦壓力
 m = 螺絲上升距離(螺旋距)
 η = 傳動效率
 F = 螺絲上升之力

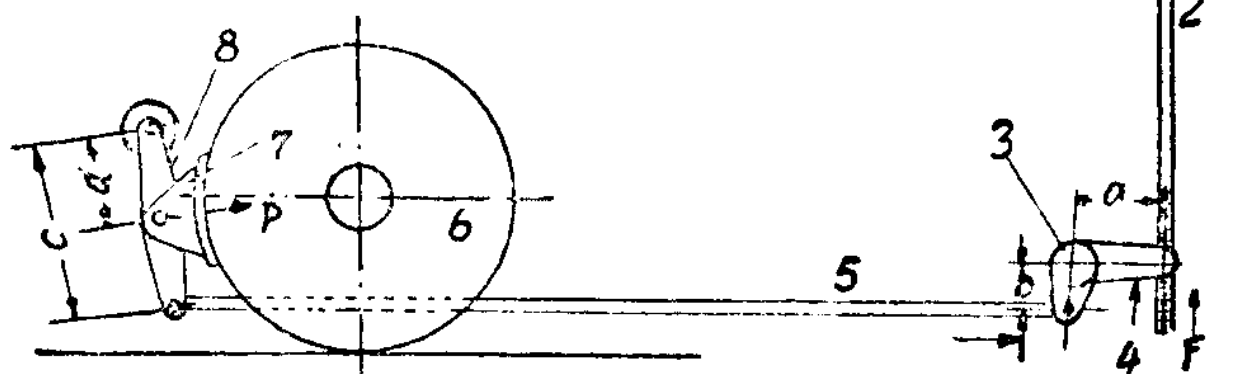


圖 1 手動制動機的傳動作用：

1—手輪；2—手動制動桿；3—制動軸；4—制動臂；
 5—制動拉桿；6—車輪；7—閘瓦；8—閘瓦吊。

由工作原理則得

$$2\pi R p = m F$$

故

$$F = \frac{2\pi R p}{m}$$

再由槓桿原理並考慮其傳動效率時，則得

$$P = \frac{2\pi R p}{m} \times \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} \times \eta$$

故

$$\frac{P}{p} = \frac{2\pi R}{m} \times \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} \times \eta$$

今稱 $\frac{P}{p}$ 為制動倍率。手動制動機因其不能發生強大的制動力及不能防止重大事故，且操勞過甚，所以不被重視，僅作調車時之用。

第二章 空氣制動機

6 直通空氣制動機

構 造

直通空氣制動機構成的主要部分如下：

(1) 空氣壓縮機，(2) 總風缸，(3) 餵閥，(4) 制動閥，(5) 列車管，(6) 閘缸。

其中空氣壓縮機、總風缸、餵閥及制動閥安裝在機車上，列車管及閘缸安裝在機車及各車輛上。由空氣壓縮機壓製壓力空氣存貯總風缸內，經餵閥調整一定壓力至制

動閥，自機車制動閥至最後部車輛間裝設貫通列車管，在各車輛上分設列車枝管，並於管端安裝閘缸。餵閥係將總風缸壓力空氣調整一定壓力送往列車管之裝置。

作 用

直通空氣制動機有制動、中立及緩解三個作用，分述如下：

a. 制動作用 施行制動時，將制動閥手柄放於制動位置，則總風缸內的壓力空氣由餵閥調整為一定的壓力經制動閥內通路流入列車管，再經各車輛下的列車管送入閘缸內，推動鞴，拉動閘瓦壓緊車輪，發生制動，如圖 2 所示。

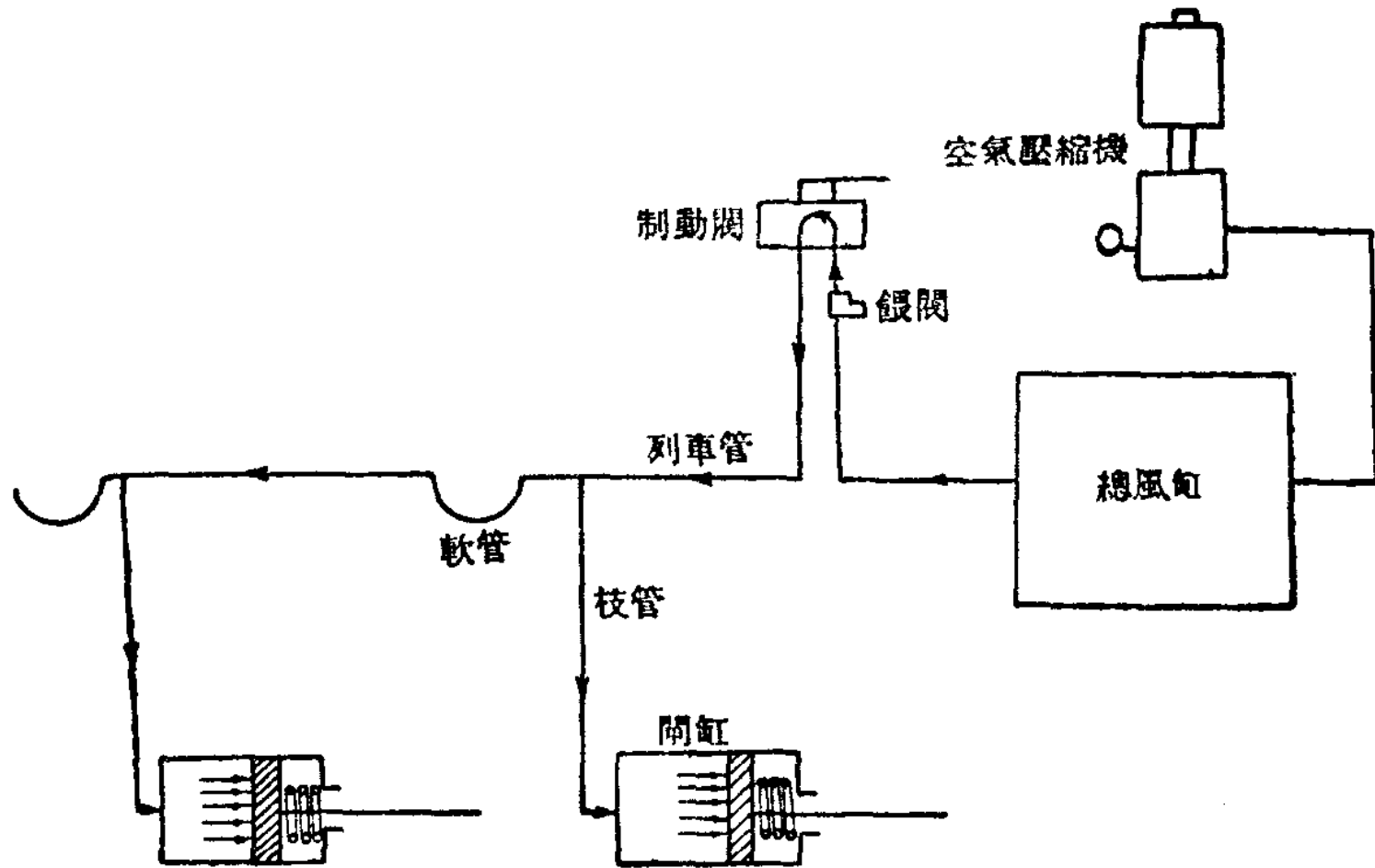


圖 2 制動位置。

b. 緩解作用 欲緩解制動時，將制動閥手柄移置緩解位置，則總風缸與列車管之連絡中斷，停止向閘缸內送入壓力空氣，同時列車管由制動閥與大氣相通，故閘缸內之壓力空氣經列車管由制動閥排氣口排出，則閘缸鞴受緩解彈簧之張力而被推回，緩解制動，如圖 3 所示。

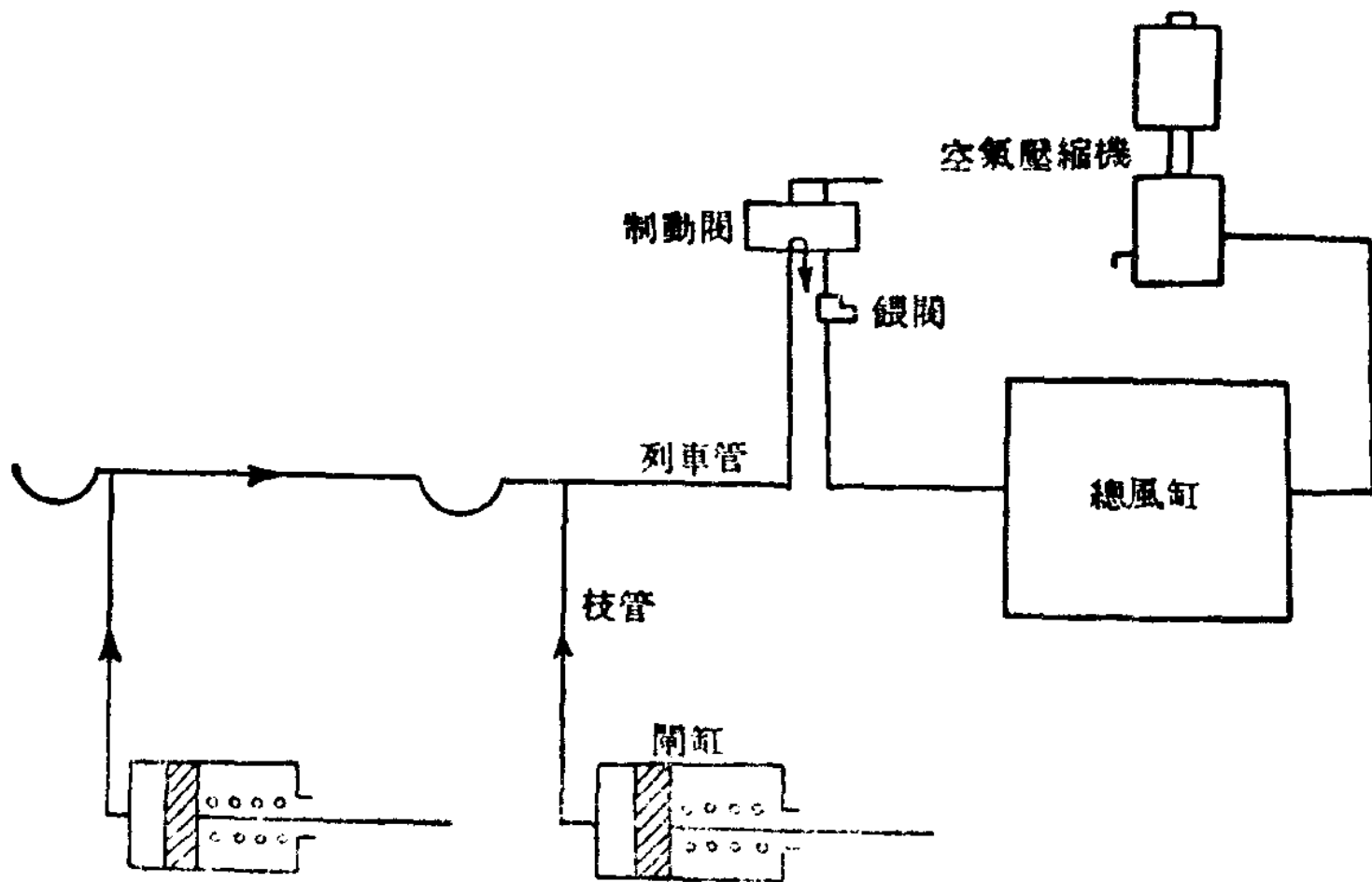


圖 3 緩解位置。

6. 中立作用 制動後將制動閥手柄移置中立位置時，各部通路連絡中斷，故除閘缸有漏洩外，仍得繼續保持其原來制動狀態。又於緩解制動時，將手柄移於中立位置，則列車管與大氣的連絡遮斷，故閘缸內的壓力空氣中止排出，可保持閘缸內的剩餘壓力，如往返施行此種動作時，謂之階段緩解。如圖 4 所示。

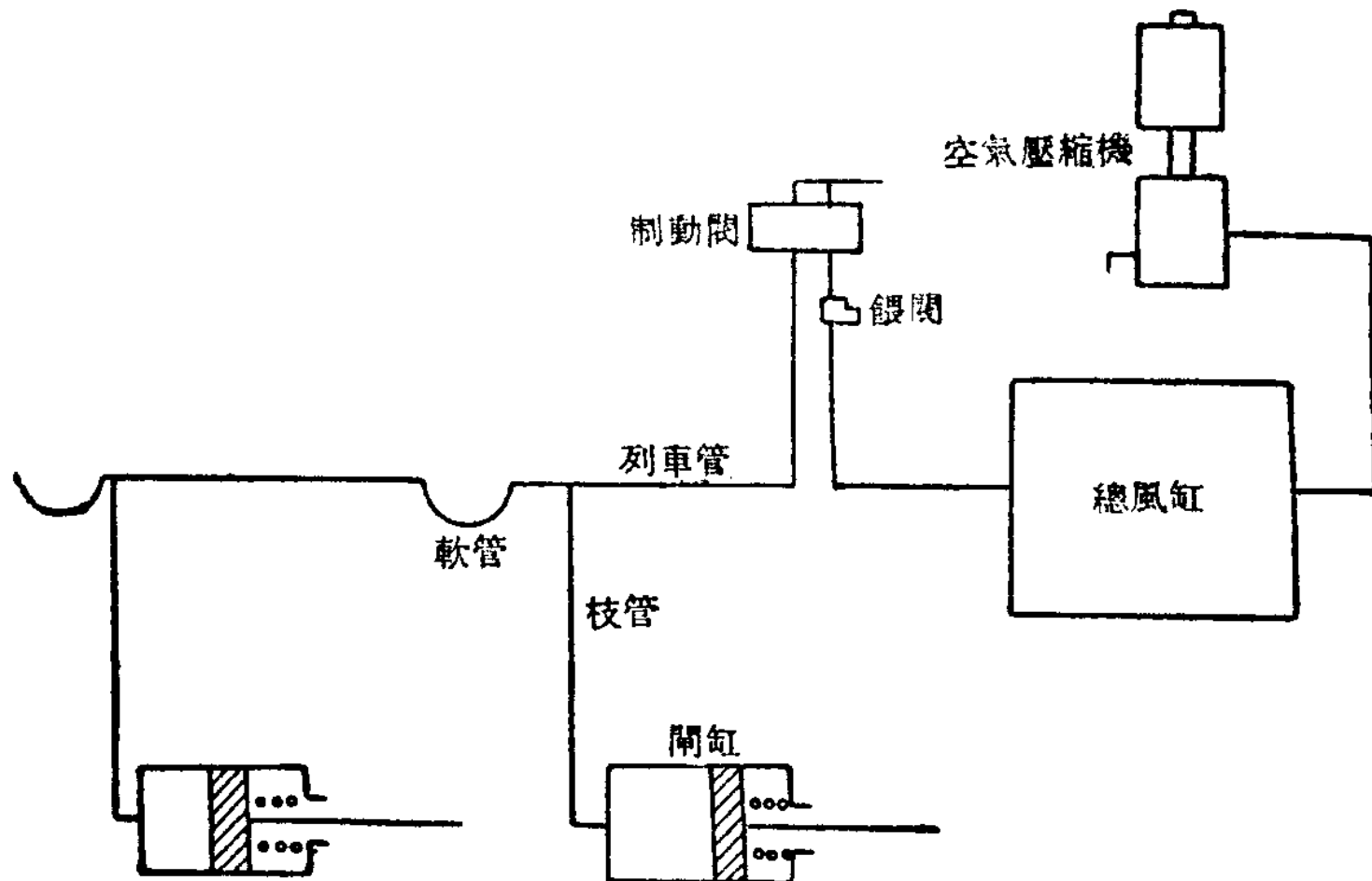


圖 4 制動後中立位置。

直通空氣制動機裝設簡單，保養修理容易及處理簡便，並可任意增減閘缸內的空氣量以調整制動力；惟在列車分離時，不能自然制動，並失去制動之效能；又在長大列車將壓力空氣送入後部車輛或排出皆須要相當的時間，其前後車輛的制動或緩解時間不能一致，相差甚大，故當制動或緩解時容易發生衝動，過甚則有列車分離之危險。再當制動或緩解時，須完全充入或排出全列車管之壓力空氣，致壓力空氣之消費量甚大，故必須備有甚大容積的總風缸；且浪費煤水殊不經濟，故直通空氣制動機不適於連結運轉，除單車運轉的街市電車或輕油動車外很少使用。

7 自動空氣制動機

構 造

自動空氣制動機構成的主要部分如下：

(1) 空氣壓縮機，(2) 總風缸，(3) 餵閥，(4) 制動閥，(5) 列車管，(6) 閘缸，(7) 三通閥，(8) 副風缸。

上述部分中，自動空氣制動機與直通空氣制動機比較，多一三通閥及一副風缸。空氣壓縮機、總風缸、餵閥及制動閥皆安裝於機車上，而列車管由機車制動閥一直貫通至列車最後部車輛。各車輛列車管上分枝設有列車枝管，於其管端裝設三通閥。而三通閥更與閘缸及副風缸連絡，即三通閥與列車枝管，閘缸及副風缸三者相通。

作 用

自動空氣制動機有充氣、制動、中立及緩解諸作用，與直通空氣制動機的作用比

較有以下不同之點:

(1) 直通空氣制動機於施行制動時, 是將壓力空氣送入列車管發生制動; 而緩解是將列車管中壓力空氣由排氣口排出於大氣, 則緩解制動。自動空氣制動機恰相反, 係將列車管的壓力空氣排出時, 則發生制動作用; 向列車管內充入壓力空氣時, 則緩解制動。上述由於列車管與副風缸的空氣壓力差, 使三通閥發生動作, 而可得到制動及緩解。

(2) 自動空氣制動機有充氣作用, 即能向列車管及副風缸內充氣, 茲述自動空氣制動機各作用的概略如下:

a. 最初的充氣作用(即在列車運行中的情況) 當制動裝置的各部分未存有壓力空氣, 而欲向其中充入壓力空氣時, 先將機車上的制動閥手柄移置於運轉位置, 則自空氣壓縮機壓製而存貯在總風缸內的壓力空氣, 由餵閥調整為一定的壓力, 而經制動閥的通路流入車列管中; 並經各車輛的列車枝管到三通閥, 此壓力空氣並藉三通閥的動作, 而充入副風缸。故向列車管及副風缸的充氣皆應達到與餵閥調整的相同壓力為止。如是向制動裝置各部分充入壓力空氣, 以備行施制動作用, 叫做最初的充氣作用。在列車行走中的情況與此相同, 如圖 5 所示。

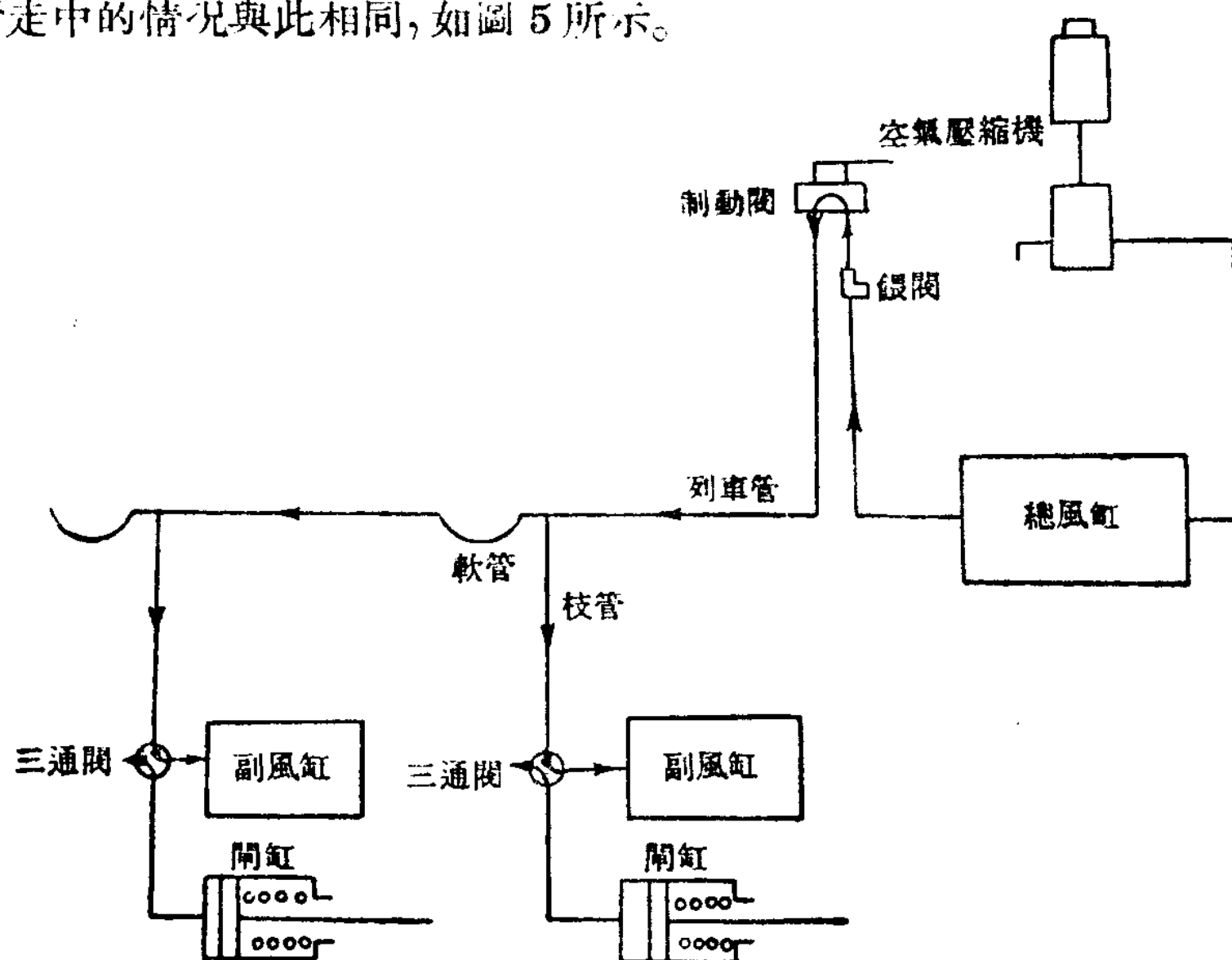


圖 5 充氣位置。

b. 制動作用 施行制動時, 將制動閥手柄移置於制動位置, 則列車管經由制動閥與大氣相通; 於是列車管中的壓力空氣排出於大氣, 列車管呈減壓狀態。由於列車管的減壓, 而與副風缸間生有壓力差, 能使三通閥發生動作, 而令副風缸內壓力空氣進入閘缸發生制動作用。如圖 6 所示。

c. 中立作用 制動閥手柄由制動位置移於中立位置, 仍可繼續保持制動狀態; 此時列車管與大氣的連絡遮斷, 中止列車管的減壓; 一方面因副風缸的壓力空氣送入閘缸, 故其壓力降低, 直到列車管與副風缸兩者間的壓力平衡時為止。由此壓力差的變