

075986



87.1727
KLN

87.1727
KLN

高等学校教学用书

自动制动机基本理论

Б. Л. 卡洛瓦茨基 著

人民铁道出版社

高等学校教学用书

自动制动机基本理论

Б. Л. 卡洛瓦茨基 著

刘 之 彬 等 译

人 民 铁 道 出 版 社

一九五九年·北 京

本書闡明了自动制動机的基本理論：列車制動动力学，摩擦理論，空气制動机列車管，空气壓縮机的計算；并列举了高速列車制動机的特性，及自动制動机定置試驗与运行試驗方法。

本書除可作为鐵道学院教学参考書外，并可供科学研究人員，以及有关設計、制造和运用工程技術人員参考。譯文經樊毓华、邵且华校閱。

自动制動机基本理論

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ

АВТОТОРМОЗОВ

苏联 Б. П. КАРВАЦКИЙ 著

苏联国家铁路運輸出版社（一九四七年莫斯科俄文版）

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ

Москва 1947

刘之彬等譯

人民鐵道出版社出版

（北京市霞公府17号）

北京市書刊出版业營業許可證出字第010号

新华書店发行

人民鐵道出版社印刷厂印

（北京市建国門外七鄰亩）

書号 1296 开本 787×1092 1/16 印数 16千 字数 380千

1959年3月第1版

1959年3月第1版第1次印刷

印数 0,001—1,700册 定价 (9) 1.70元

著者的話

現代鐵路列車离开有效的自动制动机系統，是不可想像的。自动制动机在保證行車安全上起着重大的作用。除此以外，自动制动机使提高列車重量及速度成为可能，并可对于采用最完善的自动閉塞裝置等等起促进作用。我們的工业不仅胜利地完成了貨物列車及旅客列車改为連續的自动制动的任务，而且还創造了用于貨运機車車輛上的本国的馬特洛索夫型制动机，此种制动机的运用質量基本上超过了外国公司的制动机。

党和政府所提出的任务，要求工程师及設計师广泛展开制动机制造方面的科学研究工作。因此自动制动机力学理論的研究具有非常重大的意义。至今在全世界技术書籍中关于制动理論的問題不是根本未涉及，就是仅限于經驗研究，因此这种研究更有必要。

在这本書中，作者力求填補一般書籍中这一空白点。本書是1938年第一次出版的“自动制动机理論”教程的进一步发展。本書的特点，是根据試驗及理論上的研究，对全部資料彻底地重新加以整理。本書是根据铁路运输高等工业学校教学大綱編写而成的。

書中非常詳尽地敘述了以下几章：第一章“列車制动动力学”，第二章“干摩擦理論”，第四章“空气制动机列車管理理論”及第五章“蒸汽空气压缩机”。

作者深深感謝B. Ф. 叶果尔森柯教授，作者曾多次与他討論了写这本书的过程中发生的一些最复杂的問題，同时更感謝他在校对原稿时所給予的帮助。

作者将以感激的心情接受讀者对本書取材的一切意見。

卡洛瓦茨基 B. Л.

目 录

著者的話

緒論	1
§ 1. 自动制动机的发展	1
§ 2. 本書內容的排列	2
§ 3. 自动制动机的作用原理及作用方式	2
§ 4. 总論	6
a) 各种制动的图解形式	6
b) 制动力、制动力率及制动距离	8

第一章 制动动力学

§ 5. 基本概念	10
a) 定义及內容	10
b) 反作用的外部表现及其大小与性質分析方法	11
c) 列車反作用划分为静态反作用、准静态反作用及动态反作用	12
§ 6. 制动阶段及其意义	13
§ 7. 研究第一制动阶段中产生的准静态反作用	15
§ 8. 在第二制动阶段中产生的动力反作用	19
a) 总說	19
b) 制动列車的動力方程式	19
§ 9. 純动反作用是簡諧振动的結果	25
§ 10. 列車的壓縮速度	29
a) 彈性波的速度	29
b) 列車壓縮速度	31
§ 11. 第二制动阶段中列車制动动力作用的終結公式	32
§ 12. 第三及第四制动阶段中的反作用	35
a) 《反冲》	35
b) 列車內最大反作用範圍	36
c) 由于各車輛单位制动力分布不均造成的反作用	37
§ 13. 制动动力学的基本公式及其导出与結論	41
§ 14. 制动机間及連結器間力的相互作用	45

及實驗資料	45
車制動時，由自動連結器的自由游間引起的反作用	47
非常制動時美國閘缸內壓力上升的三段速度曲線的理論分析	54
制動時車輪作用于鋼軌上的壓力	57
а) 二軸車	57
б) 四軸車	59
в) 制動車輪上的作用力及軸瓦的反作用力	61

第二章 干摩擦理論在列車制動問題上的應用

§ 16. 干摩擦的現代意義	66
§ 17. 閘瓦摩擦的實驗資料	67
а) 概論	67
б) 葛里通實驗獲得的閘瓦摩擦係數	68
в) 米茨闊夫實驗獲得的閘瓦摩擦係數	69
г) 美國實驗資料的閘瓦摩擦係數	69
д) 全蘇鐵路運輸科學研究院實驗的閘瓦摩擦係數	73
е) 摩擦係數與摩擦開始的延續時間的關係	73
ж) 摩擦係數與閘瓦發熱的關係	75
з) 濕度對於摩擦係數的影響	76
и) 依公式求得的摩擦係數	76
к) 鑄鐵閘瓦的磨耗與硬度、速度及壓力間的關係	78
§ 18. 摩擦理論	79
А、摩擦過程及其功變為熱的機構與原理	79
а) 概念	79
б) 摩擦作用的粘著	80
в) 摩擦	82
Б、摩擦基本方程式及公式的推導	84
В、對於導出的公式的分析及評定	94
§ 19. 干摩擦定律及其根據	97
а) 庫倫—莫林摩擦定律及其基本原理	97
б) 干摩擦的新定律及根據理論和實驗得出的結論	98
в) 摩擦定律的理論根據	99
§ 20. 研究閘瓦及輪周在制動時的發熱	103
а) 閘瓦及輪周的温度狀態	103
б) 輪周摩擦表面的温度狀態	113
в) 摩擦表面的發熱對輪周的影響	122
§ 21. 車輪與鋼軌的粘著	124

A、車輪与鋼軌的粘着系数	124
B、滑行現象的研究	128
a) 概論	128
b) 滚动时粘着系数与滑行时的摩擦系数的比較	131
c) 造成长距离滑行的情况	132
z) 造成滑行的原因的分析	133
d) 列車运行中滑行的稳定程度	141
e) 一般結論	
§ 22. 在导出制动列車运动方	

第三章

§ 23. 基本概念及定义	128
§ 24. 制动率	131
§ 25. 制动倍率	155
§ 26. 杠杆傳动装置設計的說明及例题	160
§ 27. 閘瓦	167

第四章 空气制动机列車管的理論

§ 28. 列車管及其特性	170
§ 29. 空气波与制动波的理論研究	178
A、空气波	178
a) 总論	178
b) 空气波速度	179
B、制动波	183
a) 总論	183
b) 列車管中各点压力降落的速度	186
c) 分配閘开始作用的时间及制动波速度的計算	191
z) 制动机作用下，均力鞣鞣运动阻力变化的意义	196
§ 30. 列車管排气的特殊情况	197
a) 列車管緩慢的减压及与其有关的制动机之『穩靜』	197
b) 制动时列車管的临界长及其附加排气	201
c) 列車分离时列車管的排气	202
z) 列車分离时列車管压力的傳播	204
§ 31. 制动机空气管系	205
a) 列車管中空气流动理論公式的导出	206
b) 压力的局部損失	211
c) 空气在管内流动的实际資料	212

§ 32. 制动机空气消费量	215
a) 在运行途中制动作用的空气消费量及需要的空气压缩机 工作能力的计算	215
б) 机车总风缸容积的计算	220
в) 压缩装置及自动制动机充气与试验用的检查所内管系的计算	222

第五章 蒸汽空气压缩机

§ 33. 空气的物理性质概论	223
a) 空气的状态	223
б) 空气湿度	226
в) 空气压缩消费的功	228
§ 34. 空气压缩机的型式、构造方式及作用	229
a) 蒸汽空气压缩机的一般特性	229
б) 单式及串式空气压缩机	233
в) 复式空气压缩机	236
§ 35. 蒸汽空气压缩机压缩能力与蒸汽消费量的计算。其性能的比较评价	239
a) 容积效率	239
б) 空气供给系数	240
в) 蒸汽空气压缩机的蒸汽消费量与空气压缩能力的计算	241
г) 空气压缩机最有利的工作方式	244
д) 根据单位蒸汽消费量对蒸汽空气压缩机作比较评价	246
§ 36. 制动空气的质量	247
a) 总论	247
б) 制动空气的湿度	248
в) 一些实际观察	249
г) 制动空气的容许湿度	250
д) 总风缸中空气的湿度	251
e) 制动空气的湿度与总风缸内空气状态的关系	253
ж) 冷却总风缸内空气的措施	256

第六章 高速列车用的制动机

§ 37. 制动机的作用及其运用	256
a) 总论	256
б) 高速度列车的固有阻力	258
в) 高速制动机技术条件的一般特性	259
г) 高速度列车的制动技术	259

d) 美国高速制动机 (AHSC) 的一般性能.....	261
e) 圆盘式制动机.....	264

第七章 制动机的試驗

§ 38. 制动机定置試驗及运行試驗的方法.....	264
a) 制动机的单独試驗.....	266
b) 制动机組合定置試驗.....	266
c) 制动机的运行試驗.....	268

第八章 制动机設計的一些有关知識

§ 39. 概說.....	275
a) 鞣鞣的各种严密法.....	275
b) 膜板工作面积計算公式的推导.....	275
c) 繁阻气槽式或非纏繞式封严.....	279
d) 滑閥.....	283
e) 空气閥.....	285

緒 論

§1. 自动制动机的发展

从1869年制动机产生，直至1908年这段时期内，全世界铁路自动制动机的生产及销售一直被美国“韦斯汀好司”股份公司所独占。韦斯汀好司公司掌握着大量收买的专利权，为了阻碍其他公司拥有这种权利，便人为地阻碍了制动机的推广。

有关制动机构造方面的科学发明及新的设计，由于资本主义社会的严重社会矛盾，未能得到实际应用。

В. И. 列宁在其所著“帝国主义是资本主义的最高阶段”书中，举出许多现代资本主义不采纳新的发明而将其置诸度外的停滞、腐朽的显明例子。

韦斯汀好司公司对于实现新设计之制动机并不感到兴趣，因为新的设计威胁着它而使它的利润降低及资本贬值，由此可见，为什么在将近半个世纪中制动机的应用及理论一直是停滞不前。

关于在铁路运输中占重要地位之制动机科学，仅限于根据此公司出版的指南所记载之制动机构造及动作原理的研究。

现在列举一些理论落后于实际的例子。

1887年在白令顿（美国）进行了制动机的试验，该试验委员会的报告指出，根据近似计算，制动时冲动力比列车中车辆数的平方增加得更快。

由此可见，这是制动机的改进及发展中的一个重要事实，因为制动机的型式首先决定于列车的长度。但是由于缺少理论研究，此定律的性质及物理意义直至现在尚未阐明。

在葛里通关于闸瓦摩擦试验的另一个报告(1878年)中指出，尽管试验进行得很仔细，也未能说明速度与摩擦系数之间存在何种规律，因为“总存在着某种无法估计的误差”。

此种规律仅在不久以前才被查明，现在理论上已经完全证实了，摩擦系数的大小不仅与速度有关，而且在很大程度上与压力有关。

类似的例子可以举出许多，它们完全可以说明必须深入地并及时地研究制动机制造上的理论问题。

在有计划发展国民经济获得成功的苏联，社会主义的胜利开辟了进一步提高并繁荣科学及技术的最大可能。我们的国家在科学研究上支出了大量资金。

为了使把苏联各地区联系成统一整体的铁路运输得到进一步发展，必须使其每一环节的改善完全与整个运输技术的发展相适应。这些环节中之一就是自动制动

机，其生产及构造需要不断改善。所以自动制动机的进一步的理论研究，就成为我们的任务。

§2. 本書內容的排列

制动过程是很复杂的，一般都伴随着许多性质不同的现象，这些现象总合在一起，便产生我们所看到的列车制动的效果。为了使我们要研究的问题能走在正确的科学研究途径上，我们以采用依次研究每一个别的机械现象及其相互作用的方法为主。

遵循这一方法，由制动机对机车车辆的主要作用及由直接参与作用的零件开始研究制动机是较为适宜的。

按照本书的目的，对任一制动系统的叙述和研究必须使其合于下面的排列顺序。

1. 制动动力学，这是解决与列车制动问题有关及设计制动系统时可能产生之各种问题的基本理论。
2. 有关于摩擦及车轮与钢轨间粘着方面的定律，这些定律在制动问题中有着非常重要的意义。该章对改善闸瓦、消除长距离滑行及设计快速制动机具有重要意义。
3. 动力机构——传动装置、闸缸及闸瓦，以及它们的设计与计算方法。
4. 补助装置组——制动机列车管内的气体力学。操纵及制动装置的动作。制动用空气消费量。管道。
5. 补助设备。空气压缩机。空气压缩机工作的分析。总风缸。制动空气质量之优劣。
6. 检查制动机作用的试验设备。
7. 尚未解决的一些问题。

§3. 自动制动机的作用原理及作用方式

现在假定读者对于普通教程中所详细讲述的自动制动机的构造及作用已有相当理解。然而，为了充实本书内的理论论述并使其完整，以及为了在对于制动机的构造及作用使著者与读者具有一致的概念起见，再简要叙述一下还是好的。

现代的铁路列车的特征是：首先有用連結器（有自由间隙，有弹簧摩擦装置）連結的重量大和数量多的车辆；第二，当速度相当大时，列车运动的阻力较小（约2~10公斤/吨）。

因此，每一列车必须有强力的制动机，司机可以在必要时利用它们将列车停止于防护信号之前或有发生事故的危险时将列车停住，而且可以在要到站或停于预定的地点时减低列车的速度。

在铁路上，使用压力空气的摩擦闸瓦制动机。此种制动机利用摩擦力来实现列车的制动，这摩擦力是由于闸瓦压在车轮滚动表面上而产生的，此种压力的大小决

定于压力空气在閘缸鞣轆上之压力的大小。

如果車輪与鋼軌間不存在接触面，則这些装置及其所造成之力（对运动的列車而言，都是內力）对整个列車的運動不会起任何作用。这种接触面正是产生阻止列車运动之外力的地方。

这就是为什么当研究制动机的构造及作用时，必須考虑車輪及鋼軌的影响。沒有車輪及鋼軌，不可能发生制动效果的。

为了使被压力空气驅動的制动机按需要来減慢列車的運動，这里必須引用图 1 所示的下列八个基本要素。

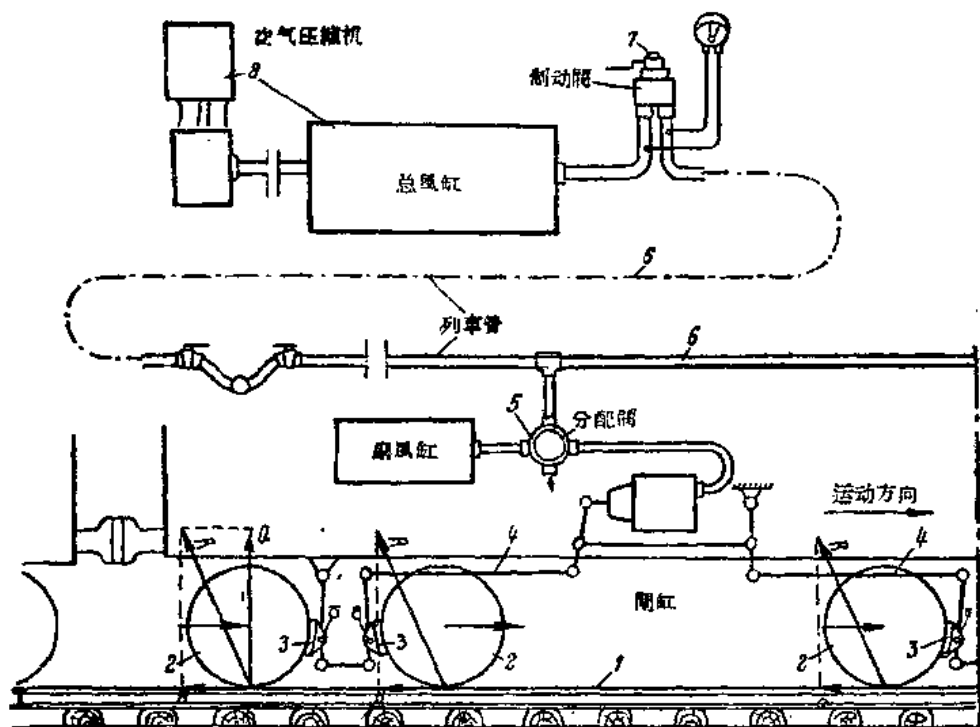


图1 空气制动机系统的基本组件的略图

1. **鋼軌**。这是支点，它造成与車輪压力平衡的反作用力。在緩解制动时，此反作用力 Q 是垂直的（或大体垂直的），而在制动过程中，是由垂直位置偏向于列車运动的相反方向，这是因为在車輪与鋼軌的接触点上产生了水平制动力所致。

閘瓦压在車輪上的力愈强，則偏斜得愈大；然而，为了避免車輪停止轉动，此偏斜角不許大于摩擦角，或較正确些說，不許大于車輪与鋼軌的粘着角。

2. **車輪**。車輪的直接用途是減少列車的運動阻力；然而在制动时，即在人为地增加車輪轉动阻力时，車輪便变成了制动要素，它在鋼軌上建立与运动方向相反的活动的支撑点。

3. **閘瓦**。这是制动装置在增加車輪轉动阻力方面最有效的要素。閘瓦与車輪一起，利用摩擦将运动列車的动能变成热；此热量然后逸散至周圍的介质中。

4. **橫杆傳動裝置與閘缸**用來將空氣壓力轉變為閘瓦在車輪輪周上的壓力。

5. **分配閥**，位於每一制動車輛的下邊，根據司機對列車管中空氣壓力變化的操縱，進行工作。它們在列車管 6、副風缸及閘缸之間分配壓力空氣。

6. **列車管**。這是供給全部制動系統壓力空氣的主要空氣管路，同時為連接分配閥與制動閥的導管。

7. **制動閥（司機閥）**。這是用來操縱制動機並以總風缸中經常儲有的壓力空氣供給制動系統的裝置。

8. **空氣壓縮機與總風缸**用以製造及貯存供給整個制動系統用的壓力空氣。

現在概括地研究一下列車上制動機的動作。

在緩解制動狀態下，整個列車管及借分配閥與其相連的副風缸都充滿適當為 5 個大氣壓的壓力空氣。此壓力稱為列車壓力，有時亦稱為充氣壓力。儘管存在有不可避免的漏洩，借助於制動閥，無論在列車管中或在副風缸中，此壓力都保持在同一水準上。保持此壓力是靠著由總風缸出來的壓力空氣自動進行的。此時閘缸通過分配閥與大氣相通，因此閘缸的鞣鞣在彈簧作用下保持在最初的極端位置。此時，與鞣鞣杆端相連的傳動裝置的杠杆將閘瓦由車輪拉開，這正是制動機的緩解制動狀態。

為了列車制動，必須使列車管中的空氣壓力有某些降低，對於輕微制動減低得少些，而對於強力制動減低得多些。此種減壓應按照一定的速度進行，減壓速度是決定於制動閥本身的構造。

在列車管減壓的影響下，分配閥開始動作，而將分配閥的分配機構置於經一定的時間間隔副風缸與閘缸相通的位置。由於分配閥動作的特殊原理，列車管中及閘缸中的壓力彼此有一定的關係。這使司機有可能根據列車管中壓力的變化來調整制動力。

機車上總風缸內儲有的空氣，不直接參與上述制動過程。空氣壓縮機保證總風缸中的壓力較列車管中的壓力高 2~3 大氣壓，第一，是為了補充制動機管系中的可能漏洩（此種補充，在一些型式的制動機中僅在緩解制動狀態下產生，而在另外一些型式的制動機中，則在制動過程中產生）；第二，是為了制動作用完畢後緩解制動以及恢復副風缸的充氣而應貯存較高壓力的空氣。

緩解制動是以相反的順序進行，即以提高列車管中之壓力達 5 個大氣壓的方法進行。

所有上述型式的制動機，都許可進行小階段制動或全制動。而僅有幾種型式的制動機（例如馬特洛索夫型）可以獲得階段緩解或完全緩解。至於其它型式的制動機，僅能完全緩解。具有階段緩解性能的制動機，由於長的列車管端部壓力增高很慢，一般是緩解遲鈍，即時間長，緩慢。

上述制動機的作用，可用圖 2 的圖解表示。圖中表示列車管中壓力的變化及由此而引起的閘缸壓力的變化與時間的關係。圖中表示的是一個制動車輛的作用。

進行階段制動時，司機第一次對列車管的減壓不得少於 0.4 大氣壓（ M_{cr} 級）。

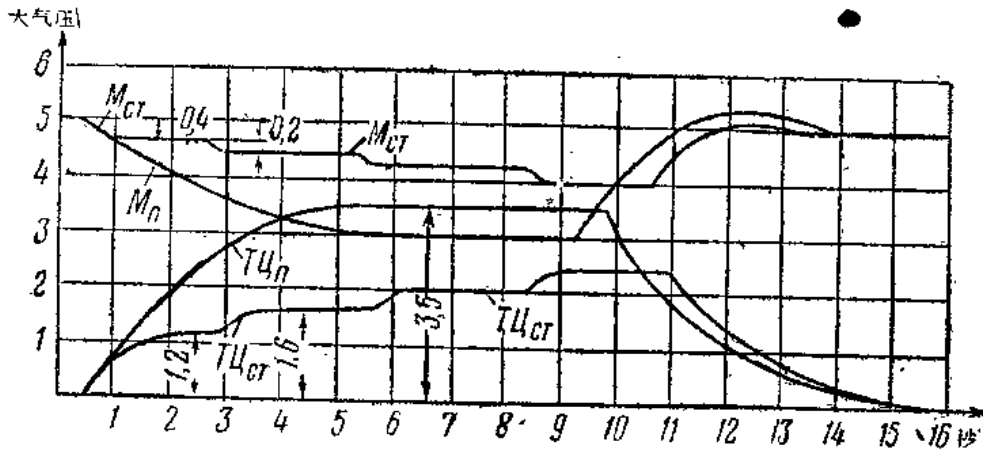


图2. 全制动及阶段制动图解

下一次减压的程度可以进行0.20甚至0.15大气压的减压；如果制动机是没有毛病的及足够完善的，则将感受这种减压。

随着列车管的阶段减压，闸缸压力 TU_{cr} 相应地呈现出阶段增高。

在全制动情况下，当列车管压力一下子就减低很多时（ M_n 线），闸缸压力充分增高到最大值，例如，到1.5或4.0大气压。虽然列车管压力继续减低，闸缸压力已不再增高。因此，在常用全制动时，为了节省空气，如果制动作用由5个大气压的充气压力开始，则不允许减至低于3.5大气压的压力。但是如果非常制动时，则列车管压力一般减低到零，这种减压是利用由制动阀中的大孔排气的方法来实现的。

列车的每一种制动，都是由列车管减压较早的地方开始。正常减压是由列车前部开始，以一定的速度传播到列车尾部。制动作用的这种传播称为制动波。常用制动时，制动波的速度一般由60到150公尺/秒，而当非常制动时，由150到250公尺/秒。此种速度决定于列车长度对制动波传播时间之比值。时间的计算，一般是由制动阀手柄回转到制动位置的瞬间，到列车尾部的制动机开始制动的瞬间来计算。

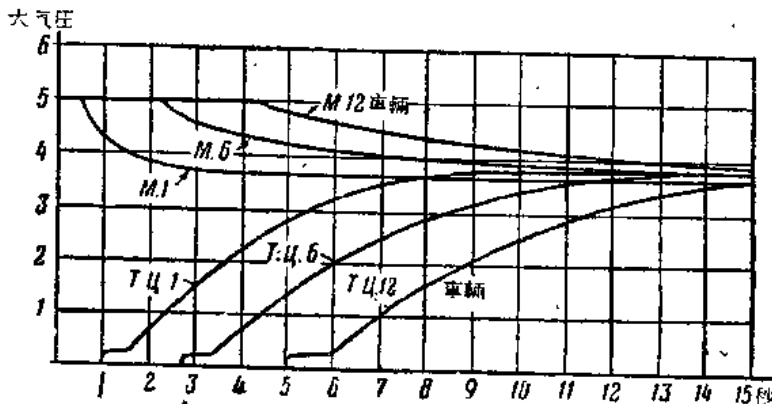


图3. 旅客列车常用全制动时闸缸压力图解

还应指出以下情况。每一制动机在一定程度上应规定其开始动作的敏感度；若是列车管压力的减低速度为每分钟约0.3大气压时，则制动机对此种减压不应有所

动作。这是为了在运用情况下，列车管压力发生缓慢变化时，例如，在机车由列车摘开以后，使制动机不致动作。

§4. 总 论

a) 各种制动的图解形式

由实际应用的各种制动方法中，我们选出以下三种基本的方法来研究：1) 常用全制动，2) 阶段制动，3) 非常制动。其余的制动方法有如：调整制动、再制动、最初阶段制动后的非常制动，以及这些方式的综合制动等。

在研究制动过程及其获得的制动效果时所产生的的一系列问题，应与上述的制动方法及这些制动方法的图解联系起来。因此，应该对它们作一些说明。首先必须注意，常用全制动乃是假定的。实际上，它仅在非常情况下，当该型制动机不适合于非常制动时才使用。这样的制动机仅应用在货物列车上，例如，因茨-克那尔型及马特洛索夫型制动机等等。

一般，此种制动机的作用是缓慢的，因为它适合于机车车辆的螺旋拉杆（在长大货物列车上）不能经受非常制动时所产生的应力的情况。在苏联，随着机车车辆全部改装为自动车钩，货物列车的制动机将是快动的。

客车制动机在全世界各国都是采用快动的，即当非常制动时，能使制动机的列车管发生有非常的额外减压。非常制动在短的列车中（12~15辆以下），甚至当压力空气向闸缸很快地充气时，所发生的制动也不会过于急骤。

如果制动机系统是按照非常制动计算的，则运用中在任何情况下都不使用常用全制动，这不仅是因为对于快速停车具有更有效的非常制动，而且也是因为此种制动机进行常用制动时，其闸缸的充气极为迅速。

常用全制动借回转制动阀手柄到适当的位置，而使列车管中压力减低1.2~1.5大气压（图3及4）。这足可使闸缸内的压力达到最大值。

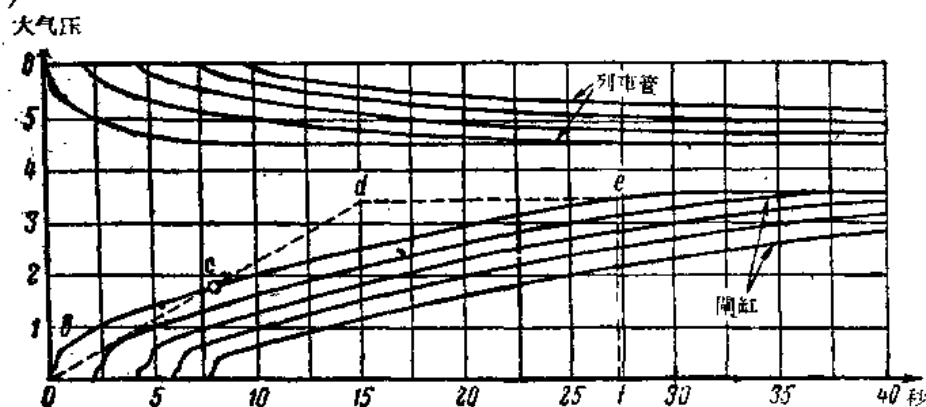


图4. 货物列车常用全制动图解

阶段制动 (图5)。制动机在阶段制动时的动作特征，与全制动时的区别是：司机不是一下子就把所有的制动力全都使用出来，而是部分地及分段地使用制动力，以便造成所需要列车运动的减速。

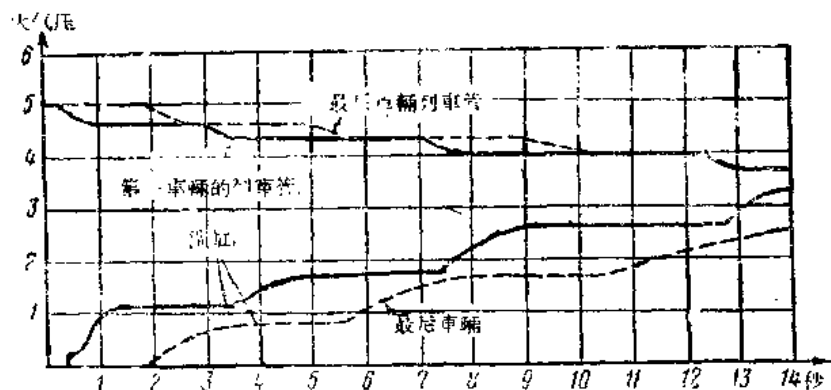


图5. 旅客列车阶段制动图解

快速进入车站的旅客列车，使用质量优良的制动机时，使用二个或三个阶段的制动即可，货物列车速三个阶段的制动也很少使用。在日常实践中，多半是使用阶段制动，在极少数情况下，才使用完全常用或非常制动。

非常制动 (图6) 的特征是当制动系统的列车管借制动阀快速排气时，会促使在靠近机车的车辆上分配阀的非常制动加速器发生作用，此分配阀在短時間內可使列车管与闸缸或大气相通（在最新结构的制动机中）。因此在第一种情况下，由列车管經由大孔进入闸缸中的一些空气，使其中的压力很快升高到約1.0~1.5大气压（跃升綫 *a b*），并使列车管中发生相应的压力降落（*d e* 綫）。这又促使下一车辆的制动机开始动作，上述过程会这样地重复下去，而依次波及列车管的末端。因而，在每一个制动机处由列车管急剧地排出空气，则就非常快地产生整个列车管中的减压效果，因此制动机很快地开始动作。

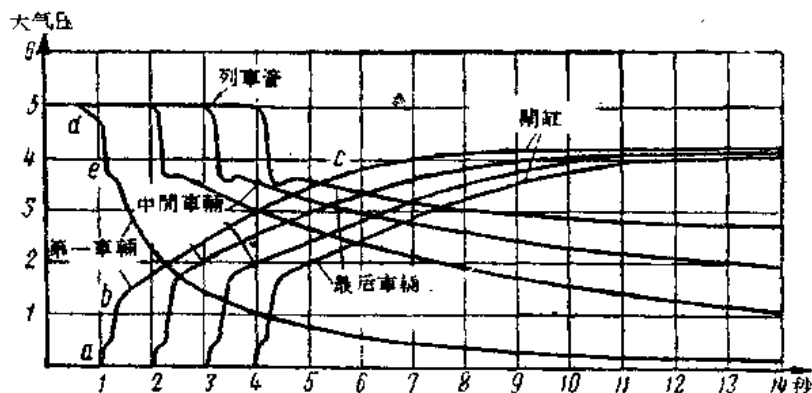


图6. 非常制动图解

美国在长大货物列车上的非常制动，是按照特殊的方式实现的，此种方式的图解如图7所示，其意义在 §14 內的 *a* 及 *b* 段中有所说明。

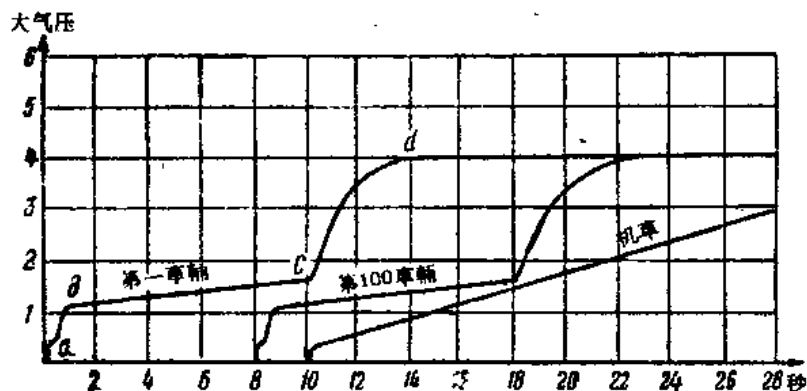


图7. 非常制动时貨物列車閘缸充气图解 (美国《AB》型制动机)

理論图解。閘缸內的压力变化曲線主要是下列两个压力的平均曲線：副风缸內的压力及閘缸內的压力；因此，按照形状，它們接近于对数曲線。

但是，在总的情况下，为了簡化待求之公式，以及研究一般現象及曲線的性質起見，都将曲線划成直線的形式，如图8所示。

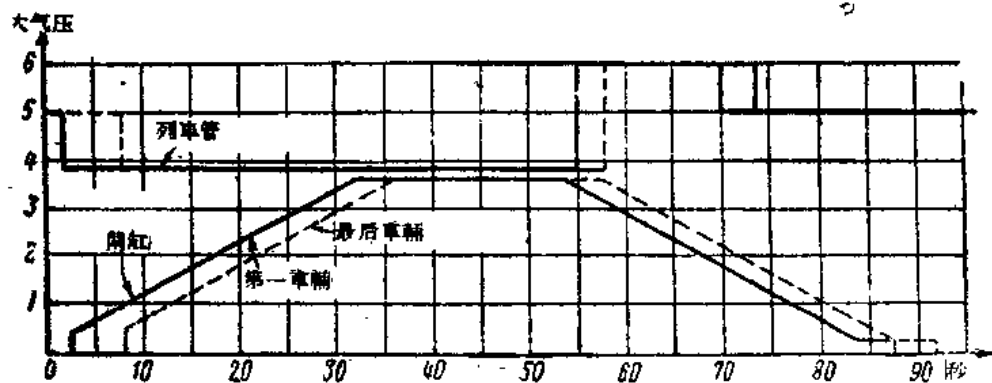


图8. 制动及緩解的理想图解

6) 制动力、制动率及制动距离

当已知閘瓦作用在車輪上的总压力为 α 及閘瓦摩擦系数为 φ 时，列車中每一制动单位（車輛、煤水車及機車）的制动力 b 用下式表示

$$b = \alpha \varphi。$$

然而摩擦系数 φ 是随着速度及閘瓦压力的变化而变化的变数。当进行非常制动及全制动时，如可把閘瓦压力看作是一个最大值的常数时，則对于速度來說，作出这个假定是不可以的：当制动时它减小并接近于零。故制动力 b 可認為是速度的函数。因此在牵引計算学中为了算定制动距离的长度，必須在已知速度的範圍內，进行制动力的积分，这可用图解法或分析方法进行（参照 §22）。于此，应求出全列車制动力的总和 B ，此总和可以表示如下：

$$\sum b = B = \varphi \sum \alpha。$$