

87.173
KLL

48255

130161

機車自動制動機

В. И. 克雷洛夫 著

廣州鐵道學院
藏書之章

鐵道
藏書
圖書館



人民鐵道出版社

机 車 自 动 制 动 机

В. И. 克雷洛夫 著

刘之彬 張 渤 譯

張海峯 刘玉瑋 校

人 民 鐵 道 出 版 社

一 九 五 九 年 · 北 京

本書介紹了蒸汽機車、電氣機車、內燃機車和電氣分組摩托車輛的自動制動機的構造、作用及運用。

本書作為鐵道學院、鐵路中等專業學校教學參考書外，並可供現職機車乘務員參考。

機車自動制動機

АВТОТОРМОЗА ЛОКОМОТИВОВ

蘇聯 В. И. КРЫЛОВ

蘇聯國鐵鐵路運輸出版社（1954年莫斯科俄文版）

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ

Москва 1954

劉之彬 張 澍 譯

張海峯 劉玉環 校

人民鐵道出版社出版

（北京市霞公府17號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

北京市印刷一廠印

書號1409 開本787×1092 $\frac{1}{16}$ 印張19 $\frac{1}{2}$ 插頁5 字數417千

1959年6月第1版

1959年6月第1版第1次印刷

印數0001—3,400册 定價（8）1.75元

序

共产党和苏維埃政府經常关怀铁路运输的發展及其技术装备的完善。

采用苏联先进技术，大大減輕了铁路員工的劳动，提高了劳动生产率，展开了进一步提高铁路通过能力及运送能力的广闊远景。

自动制动机在各种运输技术中佔有重要地位。苏联铁路的运用機車車輛装备有人能力及可靠型式的自动制动机，对其正确維修及充分运用，可允許高速度編駛列車。

現代制动裝置具有复杂的結構，因此，只能由熟悉它們構造并熟悉操縱与保养規程的人們来实现自动制动机的正确运用。

从这一点来看，就有必要尽量提高熟練干部、尤其是機車司机培养的质量。

本書作为機車司机学校教科書及铁路机务工作人員参考書，它提供了蒸汽機車、电气機車、內燃機車及电气分組摩托車輛自动制动机的構造、作用及运用的基本概念。

在新版中进行了重要修訂的有：《制动机的运用》、《空气压缩机》各章及《制动原理》一节。

書中敘述了馬特洛索夫型(MT3-135)機車制动裝置、附半自动緩解加速器的卡贊斯夫制动閥及32公厘(1 $\frac{1}{4}$ "')空气导管附屬裝置。

大量修訂并增補了插圖材料。在意义很重要但研究繁雜的制动机零件圖上塗以顏色(Л型蒸汽機車制动裝置略圖、复式空气压缩机略圖、馬特洛索夫M-320及MT3-135制动机略圖及其他)。

在此次出版准备中，曾蒙A. H. 別罗夫，Г. H. 札維雅罗夫，B. M. 維諾哥拉道夫，Г. M. 保罗夫斯基，H. A. 阿尔別闊夫，及E. B. 克雷闊夫制动專家們提供了有益的忠告与宝贵的意見，著者皆予以深切注意，并謹向他們致以衷心的感謝。

對本書的一切批評与建議請惠寄下列地址：莫斯科，巴斯滿街6a，铁路运输出版社。

著 者

目 录

第一章 制动机概論

§ 1.	制动机的用途	1
§ 2.	制动原理	2
	制动力	2
	列車制動率及軸制動率	5
	制動距離	5
	制動作用沿列車傳播的連續	9
	列車管中压力变化的大小及速度	11
§ 3.	制动机發展簡史	12
§ 4.	制动机的分类及其作用原理	15
	非自动直通空气制动机	17
	自动非直通空气制动机	17
	自动直通空气制动机	19

第二章 機車制動裝置

§ 5.	蒸汽機車及煤水車制動裝置	20
	馬特洛索夫型及韋斯汀好司型蒸汽機車制動裝置	24
	蒸汽機車 6-ET 型制動裝置	28
	TЭ型 蒸汽機車制動裝置	29
§ 6.	电气機車制動裝置	33
§ 7.	內燃機車的制動裝置	41
	TЭ1 及 TЭ2 型內燃機車制動裝置	41
	Д ^а 及 Д ^б 型內燃機車制動裝置	46
§ 8.	电气列車制動裝置	49
	电气分組摩托車輛韋斯汀好司制動裝置	49
	电气分組摩托車輛 ЭТ-47型電空制動裝置	51

第三章 蒸汽空气压缩机

§ 9.	串式空气压缩机 (代表符号 №208)	57
§ 10.	魯金克型 MT3 复式空气压缩机	67

§ 11. 橫复式空气压缩机.....76
§ 12. 克那尔 P 型复式空气压缩机80

第四章 空气压缩机

§ 13. 电气機車电动空气压缩机 (Э-500 型)84
§ 14. 电气分組摩托車輛的电动空气压缩机 (Э-400 型)91
§ 15. 內燃機車空气压缩机 (KT-1 型).....94

第五章 蒸汽空气压缩机和电动空气压缩机附屬裝置

§ 16. 蒸汽空气压缩机压力調整器101
 串式空气压缩机压力調整器 (代表符号№279)102
 复式空气压缩机压力調整器 (代表符号 №91)103
 橫复式空气压缩机双压力头压力調整器 (АД-А 型)104
 克那尔型复式空气压缩机压力調整器106
§ 17. 电动空气压缩机压力調整器108
 电动空气压缩机压力調整器108
 內燃機車空气压缩机压力調整器 (代表符号№3PД)110
§ 18. 潤油器112
 压缩机蒸汽部分潤油器(代表符号№202-УТ)112
 空气筒自动潤油器 (代表符号№1053).....113
 压油机 (代表符号№М-5)114
 橫复式空气压缩机潤油器119
§ 19. 濾塵器121
 复式蒸汽空气压缩机及电动空气压缩机的濾塵器121
 空气导管濾塵器123
 分油器及空气冷却器124

第六章 操縱裝置

§ 20. 制动閥126
 卡贊斯夫型制动閥126
 韋斯汀好司型制动閥(代表符号№334H)133
 餵閥(代表符号№350).....138
 H-6 型制动閥140
 M-3-A 型餵閥及 M-3 型减压閥146
 克那尔型制动閥149
 重联塞門及联合閥153
§ 21. 補助制动机制动閥157

塞門式補助制動閥	157
滑閥式補助制動閥 (代表符號№4BK)	158
滑閥式 S-6 補助制動閥	158
克那爾型單獨制動閥	160
§ 22. 單球里式電磁感應共振自動停車器	160
機車自動停車器的構造	163
自動停車器電空塞門 (ЭПК-150)	165
§ 23. 附連續自動停車器的機車自動信號裝置	169
§ 24. 再生電氣機車操縱裝置	172
再生電氣遮斷塞門	172
自動控制切斷器 (ABV)	173

第七章 分配閥

§ 25. 三通閥	175
非常制動作用三通閥 (№5)	176
快動三通閥	178
克那爾型三通閥	186
§ 26. 機車 6-KR 型分配閥	188
§ 27. 馬特洛索夫型 (M-320 分配閥)	192
分配閥的構造	192
分配閥的作用	194
分配閥的基本性質	206
列車管的減壓量與閘缸壓力的關係	207
§ 28. 馬特洛索夫型分配閥 (MT3-135)	210
分配閥的構造	212
非常制動加速器的構造	213
通路的位置及其用途	213
分配閥及加速器的作用	216
分配閥的基本性質	227
§ 29. 電氣分配閥 (代表符號№170)	228

第八章 空氣導管及附屬裝置

§ 30. 導管及連結部分	236
§ 31. 塞門	238
折角塞門	239
車長閥 (緊急停車閥)	240
遮斷塞門	241

§ 32. 閘	241
單式緩解閘 (代表符号№31)	241
附分室复式緩解閘 (代表符号№32)	242
緩解閘 (代表符号№146)	243
保安閘	243
止回閘	244
附濾塵器止回閘	246
轉換塞門(代表符号№3ПК)	246
減壓閘	247
§ 33. ТЭ 型蒸汽機車調整轉換塞門	248
§ 34. 橡膠連結軟管	250
§ 35. 濾塵器及清淨器	252
§ 36. 閘缸	254
§ 37. 風缸及其容積計算	257

第九章 制動傳動裝置

§ 38. 傳動裝置概論	264
傳動裝置的用途及其分類	264
煤水車及車輛制動傳動裝置的構造	265
機車傳動裝置的構造	266
傳動裝置的作用	268
傳動裝置制動倍率	270
§ 39. 機車傳動裝置的構造及略圖	273
傳動裝置基本零件的構造	282

第十章 制動機的運用

§ 40. 機車制動機的保養	291
出庫以前制動機的準備及調整作業	291
制動裝置作用檢查	294
機車向列車的連結	296
列車制動機試驗	297
運行途中制動機的保養	298
附自動停車器的機車自動信號裝置的保養	299
§ 41. 制動機在冬季的保養	301
制動機冬季的保養特點	301
最易遭受到凍結的地方及其加热的順序	303
防止抱死輪的措施	305

§ 42. 制动机的計算及其在列車中連結的順序	305
列車中制动机需要数量的計算	305
制动机計算例題	309
統一的最小閘瓦压力	311
列車制动机的配置与連結	312
§ 43. 制动操縱	313
旅客列車运行时制动机的操縱	316
貨物列車运行时制动机的操縱	317
在起伏縱断面上的制动	319
長大下坡道上制动机的操縱	321
長大旅客列車的制动机操縱	323
合併旅客列車制动机的操縱	324
H-6 型及克那尔型制动閘的制动机操縱	325
列車分离或开放車長閘时的制动机操縱	327
补机运行时制动机的操縱	328
冬季的制动机操縱	329
接近水鶴的制动机操縱	330
电空制动机的操縱	330
由一个操縱室改換另一个操縱室	332
列車在区間綫路上停車时的操作順序	332
§ 44. 制动机零件的修理及試驗	333
修理种类及期限	333
修理組織的基本原則	335
制动机檢查	336
制动机定期修理	338
附录	345

第一章 制动机概論

§ 1. 制动机的用途

在機車牽引力的作用下，列車运行时，牽引力消耗于克服妨碍列車运行的阻力上面。当司机关閉蒸汽機車的調整閥，或閉断电气機車或內燃機車的牽引电动机时，則牽引力停止作用。

但此后列車并不能立刻停止，它将依赖于以前所积累的动能繼續运行。

同时列车的运动速度开始逐漸減低，因为它的动能將消耗于克服运动阻力方面，最后列車停止。

运行中的列車，尤其是在高速度时，动能很大，而列車运动阻力相对的小，因此列車并不能迅速停止，而列車达到停止时将經過很大的距离。为了更清楚地体会这点，試观下例。

設列車重量 $Q=2,000$ 吨 $=2,000,000$ 公斤。速度 $V=72$ 公里/时 $=20$ 公尺/秒。阻力值 w 在比例中假設認為不变（与速度無关），并等于列車重量每吨 3 公斤，即 $w=3 \times 2000=6000$ 公斤。

試求列車惰力通过的綫路長度 S 及至列車停車的时间 t 。

为此，須首先求得列車动能的大小。由力学已知的公式

$$T = \frac{MV^2}{2},$$

式中 T ——列車的动能，公斤公尺；

M ——質量，等于重量 Q (公斤)除以重力加速度 $g=9.81$ 公尺/秒²；

V ——列車速度，公尺/秒。

在本例中：

$$M = \frac{2000\ 000}{9.81} = 204.000 \frac{\text{公斤秒}^2}{\text{公尺}},$$

$$T = \frac{MV^2}{2} = \frac{204000 \times 20^2}{2} = 40,800,000 \text{ 公斤公尺}.$$

列車經過的綫路 S 为

$$S = \frac{T}{w} = \frac{40800000}{6000} = 6,800 \text{ 公尺} \approx 7 \text{ 公里}.$$

列車完全停車前的延續時間 t 可用公式求得：

$$t = \frac{VQ}{g''} = \frac{20 \times 2000000}{9.81 \times 6000} = 680 \text{ 秒鐘，即大于 11 分鐘}.$$

求得的结果証明，如果没有人为增加的抵抗运动的阻力，則列車安全运行是不可能的。

采用于列車中的人为增加阻力的裝置，称为制动裝置（制动机），而它所造成的

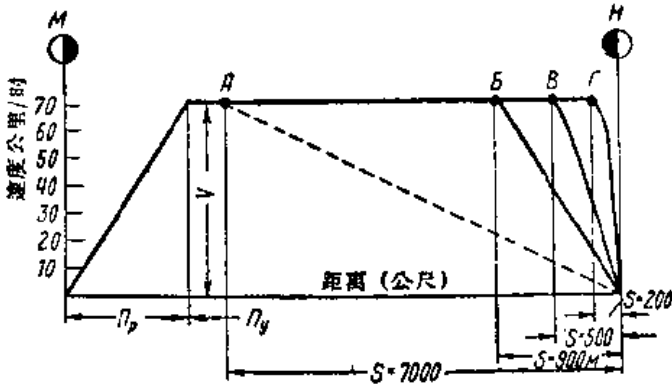


圖 1 列車在區間運行略圖

阻力称为制动力。一般为了获得制动力，或所谓为了列车制动，采用闸瓦制动器，在这种制动器中，由于制动机的闸瓦紧压于迴轉的車輪上，而使機車及車輛的車輪發生制动作用。此时制动力的来源则为闸瓦及輪箍間的摩擦力。制动机闸瓦摩擦力的功变列車的动能为热能。

为了說明制动机对增加鐵路通过能力的效果的影响，試观察 M 和 H 車站區間的列車运行 (圖 1)。

列車在 Π_p 区段上通过的距离叫做加速距离，它基本上决定于機車的功率。列車能以最大規定速度 V 运行的一段距离 Π_y 要决定于機車功率及列車制动手段。为了使以 V 速度运行的列車停于 H 站，必須閉断牽引电动机，或关闭調整閘，并使制动机發生作用，同时考虑到它們的效果。为此，在貨物列車以速度 $V=72$ 公里/时运行时，則應該大約在 B 点使用制动机，而旅客列車則在 B 点，地下鐵道列車則在 F 点。

虛綫表示不使用制动机，只借列車的機車車輛在平道上的运动阻力停車的距离。

如此，制动机能促进列車运行速度的增高，即增加鐵路的通过能力与运送能力，而且是提高安全运行的主要工具。

§ 2. 制动原理

制 动 力

圖 2 表示制动时作用在車輪上的力的略圖。在其他輪对上力的作用与此相同。

作用到一个車輪上的荷重 $\frac{P}{2}$ 由車輪傳到鋼軌。这一荷重与車輪鋼軌間的牽引力 F 作用的結果，产生粘着力 $\Pi = -\frac{P}{2} \psi$ 。車輪鋼軌間的粘着力，在靜止状态及不加牽引力运行时均存在。鋼軌对車輪形成支点，而似乎車輪將从鋼軌被推开。这一現象正类似齒輪在齿条上的运动。如果粘着力不存在，則車輪就不会迴轉而沿着鋼軌滑行。两个相等的互相平行并方向相反的力 F 和 Π 構成所謂力偶，在本文所述情况下力偶导使車輪迴轉。

如从軸箱方面將牽引力 F 傳于車輪时，則与其相等而方向相反的反作用力 T_2 由車輪傳至軸箱，此反作用力即是車輪运动的阻力。以惰力运动的車輪不被閘瓦压紧而由于阻力 T_2 的作用停止运动。当閘瓦压紧在沿鋼軌滾动的車輪上时，則在閘瓦

与車輪間产生摩擦力 T' 。此力在車輪圆周切綫方向，并与車輪迴轉方向相反。

制动力似乎来自車輪及閘瓦間，但是对于机車車輛來說，閘瓦是其內在体，因之根据力学定理，其間产生的力不能引起或改变运动。車輪倚于鋼軌上，鋼軌对列車來說是在外体，因此应该認為鋼軌与車輪間相互作用的力（即外力）就是制动力（与牽引力同）。

摩擦力 T 对軸構成力矩 $M_1 = T'R$ ，
式中 R ——車輪半徑。

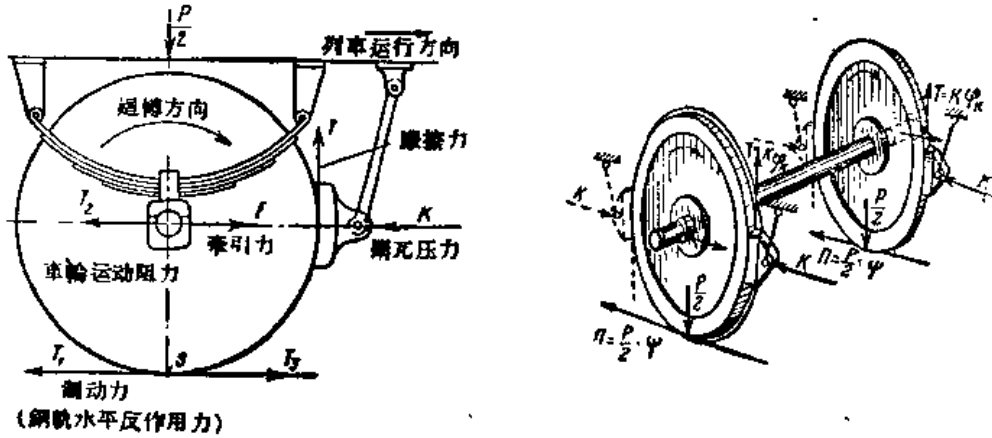


圖 2 制动时作用在車輪上力的略圖

显然，如果車輛或机車車架具有力矩 M_1 作用于車輪上，則車輪具有同样力矩作用于車架上，但方向相反，并等于 $T_1 R$ 。

因为車輪在鋼軌上有支点 S ，則在此支点上（迴轉瞬間中心）作用着已制动車輪具有的縱向力 T_1 （等于摩擦力 T' ），有驱动鋼軌向列車运行方向爬行的傾向。但由于鋼軌固定不动，因之它就造成与列車运动相反方向的反作用力 T_1 。

此力 T_1 相等于摩擦力 T' ，且为制动力。

試以閘瓦压力 K 乘以摩擦系数 φ_k 之积代表摩擦力 T

$$T = K\varphi_k$$

摩擦系数之值决定于許多因素：1) 随速度增加的同时摩擦系数减小；2) 随閘瓦單位压力减少的同时摩擦系数增加；3) 閘瓦硬度按普里納尔硬度增加至高于 250 單位时，則摩擦系数减小；4) 使用同一材料的閘瓦及輪箍可使摩擦系数大于使用不同材料的閘瓦及輪箍；5) 当降露、露及初雨时，摩擦系数稍微减小。当長時間制动，閘瓦發热达到 600° 时，摩擦系数实际上并不改变。

根据全苏铁道运输科学研究院进行的实验，摩擦系数 φ_k 与速度 V 及閘瓦对車輪的压力 K 有关，目前是依照下一公式計算：

$$\varphi_k = 0.6 \frac{16K + 100}{80K + 100} \times \frac{V + 100}{5V + 100}$$

閘瓦对車輪的压力 K 是对各种不同型車輛及制动調整位置（空車的或重車的）

用計算求得：

按照技術管理規程採用的閘瓦壓力計算列車制動距離時，使用以下公式來求出摩擦係數：

$$\varphi_k = 0.27 \frac{V+100}{5V+100}$$

應該指出，利用改善閘瓦摩擦作用的特性以及採用合理的制動方法（例如，在制動時撒砂），則依照上述公式求出的摩擦係數之值將增高。

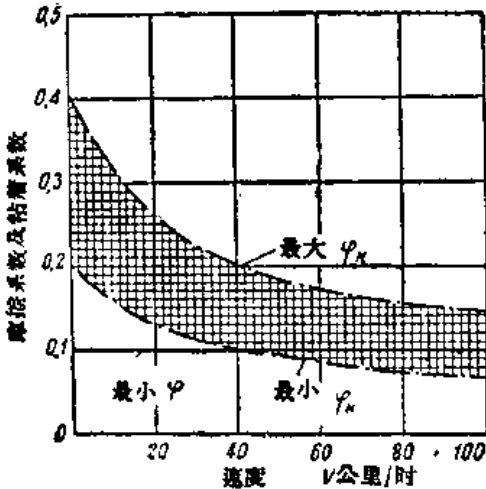


圖 3 摩擦係數隨速度增加的变化曲線及粘着系數的最小值

圖 3 所示摩擦係數 φ_k 的曲線變化與速度有關。

粘着係數 ψ 考慮到鋼軌及輪箍的狀態，而在實際上與速度關係不大。

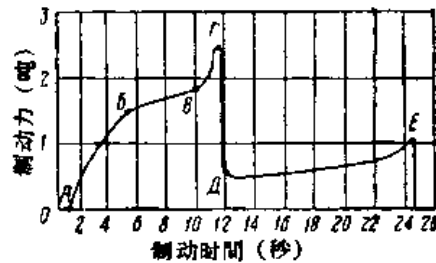


圖 4 車輛輪對抱死輪（滑走）時制動力曲線的变化

在降霧、露或在初雨時，當鋼軌稍濕，則粘着係數減小。當大雨鋼軌濕潤時粘着係數與乾燥的鋼軌相同。當車輪進入彎道地段及從此開出時， ψ 顯著減小。

如果增加 K 力超過容許範圍以上，則閘瓦及車輪間的摩擦力 T 將大於粘着力 Π 。此時車輪停止迴轉，並開始沿鋼軌滑行。

列車儘管繼續運動而車輪停止迴轉的現象，稱為抱死輪或滑走。

因為鑄鐵閘瓦在速度接近零的時候，其摩擦係數永遠平均比粘着係數大 20%。為了避免滑走起見，採用較軸荷重 $2P$ 少 20% 的壓力 K ，即

$$2K \leq 0.8 \times 2P$$

圖 4 表示輪對滑行時制動力變更的曲線。曲線 AB 表示由於閘瓦對車輪的壓力增大而增長的制動力。曲線 BC 表示由於速度降低而 φ_k 增大的緣故，在閘瓦的不變壓力下所增大的制動力。這樣制动力的增大延續到破壞車輪與鋼軌間的粘着為止，此時車輪迴轉速度降低，而 φ_k 增加，制動力急劇增高到最大值，如圖中字母 D 。此時車輪迴轉停止，開始滑走，而制動力急劇降低到字母 A 表示之值。因為車輪迴轉停止，則車輪鋼軌間的滑動摩擦力構成制動力（曲線 AE ）。

車輪抱死輪大部分發生在列車停止之前，而且延續短時間。這樣的短時間的抱死輪危險並不大。在高速度時開始抱死輪很危險，由此車輪造成擦傷（凹陷）。由於制動機不緩解而一些個別車輛的輪對抱死輪的現象最為危險而且有害。

在正确操縱且制动机处于良好状态时，則完全可以避免發生具有一切不良后果的抱死輪。

列車制動率及軸制動率

列車每噸重量的列車閘瓦壓力噸數，稱之為列車制動率 δ 。

$$\delta = \frac{\Sigma K}{Q}$$

輪對閘瓦的壓力 $2K$ （單閘瓦式）或 $4K$ （雙閘瓦式）與加于軸上的荷重 $2P$ 的比值叫做軸制動率，即

$$\delta = \frac{2K}{2P} \quad \text{或} \quad \delta_1 = \frac{4K}{2P}$$

閘瓦壓力與空車重量的比值的百分數定為由 60 至 80%。例如，二軸車的閘瓦壓力在單一調整位置的制動機時，每軸為 3.5 噸，則當車輛空車重 9 噸時制動率為

$$\delta = \frac{2 \times 3.5}{9} \approx 77\%$$

當鋼軌清淨乾燥時，制動率可容許達到 150% 以上，而當鋼軌污垢時，即當粘着係數未超過 0.15 時，甚至在制動率小於 50% 的時候車輪可發生滑走。對於高速度列車，採用不同的制動率；對於速度由 130 至 80 公里/時而摩擦係數 φ_k 為最小時，採取高的制動率約為 200%，速度低於 80 公里/時——採取標準制動率，為 70~80%。只允許在裝有高速度調節器或防止滑行調節器時用大於 150% 的制動率。

在高速度列車中，制動率藉特種器械自動地加以改變，這種器械，當降低制動列車的運行速度時，減少閘瓦對車輪的壓力。

對於裝置馬特洛索夫制動機的貨車，採用兩個制動調整位置：空車調整位置，對空車重量的制動率約為 0.8，而重車調整位置時對空車重量的制動率約為 1.3，或當滿載重量時約為 0.32。

例。試求四軸敞車在空車及重車調整位置的制動率，如敞車空車重量為 22 噸，重車重量為 82 噸。在重車調整位置的閘瓦壓力為 26 噸，空車調整位置為 14 噸。

解。在空車調整位置空車的制動率為 $\delta_n = \frac{14}{22} \approx 0.64$ ，而在重車調整位置為 $\delta_z = \frac{26}{22} \approx 1.3$ 。

在空車調整位置時重車制動率為 $\delta'_n = \frac{14}{82} \approx 0.17$ 及在重車調整位置時為 $\delta'_z = \frac{26}{82} \approx 0.317$ 。

制 動 距 離

列車由制動開始到完全停止中間所經過的最大距離，叫做制動距離。

從迴轉制動閘手柄瞬間起，直到列車完全停止時止，作為制動距離的長度。制動距離 S_m 的組成由，1) 制動前的距離 S_{n0} （空走距離），即由迴轉制動閘手柄瞬間起直到閘瓦對輪箍的計算壓力達至 50% 時列車通過的距離，假設列車制動力不是逐漸地、而是一瞬間地升高，但不在制動開始時，而是經過某些時間 t_0 之後，此 t_0 即所謂空走時間，及 2) 實際制動距離 S_b ，系列車完全制動時通過的距離（圖 5）。

$$S_m = S_{n0} + S_d$$

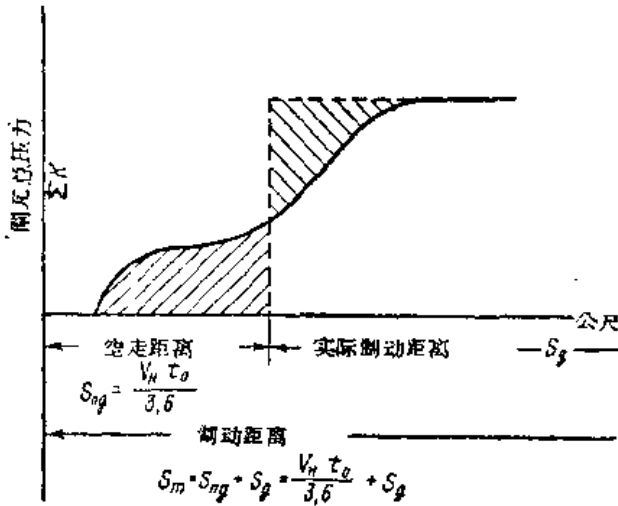


圖 5 列車制動力增高曲線與制動距離組成部分車的時間;

δ ——閘缸充氣到計算壓力的時間;

0.5——司機確認停車信號的時間，以秒計算。

在以秒計的空走時間 t_0 內列車經過的距離:

$$S_{n0} = \frac{1000 V_n t_0}{60 \times 60} = \frac{V_n t_0}{3.6} \text{ 公尺,}$$

$$S_{n0} = 0.278 V_n t_0 \text{ 公尺,}$$

或

式中 V_n ——列車初速度，公里/時。

計算列車于平道停車的制動距離時，採取空走時間 t_0 如下，

1) 旅客列車 $t_0 = 4$ 秒，或 $S_{n0} = 1.1 V_{n0}$

列車通過空走距離 S_{n0} 在平道所需的空走時間 t_0 決定于傳播制動作用于全列車的時間 δ (圖 6) 及各閘缸內壓力的上升時間 δ 及 δ_1 。這一段時間以下式表示:

$$t_0 = 0.5 + \frac{a}{2} + \frac{\delta}{3} \text{ 秒,}$$

式中 t_0 ——空走時間;

a ——由迴轉自動制動閘手柄瞬間起到尾部車輛開始制動，傳播制動作用于全列

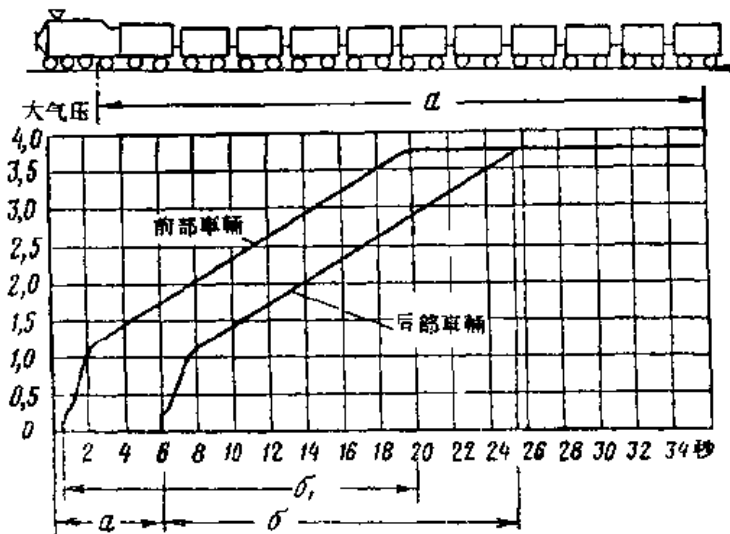


圖 6 制動作用沿列車的傳播

2) 貨物列車 $t_0 = 7$ 秒, 或 $S_{n0} = 1.9V_{n0}$

3) 電空制動機 $t_0 = 2$ 秒, 或 $S_{n0} = 0.55V_{n0}$

下坡道上的空走時間 t_0 以及空走距離由於坡道坡度的關係而稍有增加, 因為在重力的分力作用下列車速度增加。

客車型自動制動機時, 下坡道上的空走時間依下式計算

$$t_0 = 4 - \frac{5i}{1000\varphi_k\psi} \text{ 秒,}$$

貨車型自動制動機

$$t_0 = 7 - \frac{12i}{1000\varphi_k\psi} \text{ 秒,}$$

式中 i ——以%計的坡度大小 (在下坡道用減號, 在上坡道用加號);

φ_k ——摩擦係數;

ψ ——列車制動率。

在貨物列車上, 採取增高閘缸壓力及向其中加速充氣以及列車管非常排氣, 均能使空走時間 t_0 縮短。

當列車沿下坡道運行時, 須勿忘列車制動力應適合於列車車重、運行速度及運行綫路下坡道坡度的情況。

如果列車車重增加到二倍, 則制動力也應增加到二倍。當增加列車運行速度到二倍時, 則制動力應增到約四倍。

下坡道坡度對於制動力的影響如下: 每千分之一的坡度(1%), 即綫路每長 1000 公尺降低 1 公尺, 在 30 秒鐘時間增加列車速度 1 公里/時。

因之, 如列車以固定速度沿 2% 下坡道運行, 則在 12% 下坡道上列車將自然地增加其速度, 每 30 秒鐘增加 $12 - 2 = 10$ 公里/時, 或一分鐘增加 20 公里/時。

如列車以 30 公里/時的速率進入下坡道, 則經過一分鐘後其速率將為 50 公里/時, 而再經一分鐘後為 70 公里/時。

例。當在平道上進行制動時, 列車在 30 秒鐘速度減少 25 公里/時。問速度 50 公里/時的列車在平道上及 15% 的下坡道上停車, 經過的時間若何?

解。以初速度 50 公里/時運行的列車在平道上經一分鐘後停車。在 15% 下坡道上速度經 30 秒鐘減低不是 25 公里/時, 而僅是

$$25 - 15 = 10 \text{ 公里/時, 或一分鐘 } 20 \text{ 公里/時。}$$

如此, 以 50 公里/時的初速度運行的列車在 15% 下坡道停車須經過

$$50 : 20 = 2.5 \text{ 分。}$$

列車中停車需用的制動機數量, 須依照一些相應的表來計算。(參閱 § 42“制動機的計算及其在列車中連接的順序”)。

例。試求旅客列車以初速度 $V_n = 60$ 公里/時在平道上的空走距離, 假設沿列車傳播制動波的時間為 $\alpha = 3.0$ 秒, 且閘缸充氣時間為 $\beta = 6$ 秒。

解。空走時間為

$$t_0 = 0.5 + \frac{a}{2} + \frac{b}{3} = 0.5 + \frac{3}{2} + \frac{6}{3} = 4 \text{ 秒。}$$

在空走時間中列車通過的距離

$$S_{n0} = 0.278 V_n t_0 = 0.278 \times 60 \times 4 = 66.72 \text{ 公尺。}$$

例。試求貨物列車以 $V_n = 70$ 公里/時的速度、當列車重量每 100 噸的制動力為 35 噸 ($\vartheta = 0.35$) 時在平道及下坡道 $i = 10\%$ 的空走距離。

解。貨物列車在平道上的空走距離為

$$S_{n0} = 1.9 V_n = 1.9 \times 70 = 133 \text{ 公尺。}$$

為了計算在坡道 $i = 10\%$ 的空走時間，必須按照以下公式確定最大速度時的摩擦係數

$$\varphi_k = 0.27 \frac{V+100}{5V+100} = 0.27 \frac{70+100}{5 \times 70+100} = 0.102。$$

在 $i = 10\%$ 下坡道的空走時間為

$$t_0 = 7 - \frac{12i}{1000\varphi_k\vartheta} = 7 - \frac{12 \times (-10)}{1000 \times 0.102 \times 0.35} = 7 + 3.4 = 10.4 \text{ 秒。}$$

如此，在 10% 下坡道空走距離為

$$S_{n0} = 0.278 \times 10.4 \times 70 = 202.4 \text{ 公尺。}$$

為了計算實際制動距離的長度，建議利用以下公式：

$$S_{\vartheta} = \frac{4.17(V_n^2 - V_k^2)}{w_0 + b_k + i}，$$

式中 S_{ϑ} ——列車在制動力作用下通過的距離，即不考慮空走距離，以公尺計；

V_n ——初速度，公里/時；

V_k ——終速度，公里/時；在列車完全停車時 $V_k = 0$ ；

w_0 ——列車重量 1 噸的機車車輛單位阻力；為了概略計算，可採用

$$w_0 = 1.5 + 0.05 V_n \text{ 公斤/噸；}$$

i ——決定於下坡道（用減號）及上坡道（用加號）並等於上坡道或下坡道千分數的單位阻力，以公斤/噸計；

$b_k = 1000 \varphi_k \vartheta$ ——單位制動力，以公斤/噸計；

φ_k ——閘瓦及輪箍間的摩擦係數；

ϑ ——列車制動率。

例。貨物列車沿下坡道 $i = 6\%$ 以 $V_n = 70$ 公里/時的速度運行。試求制動距離 S_m 及實際制動距離 S_{ϑ} ，如該制動力對於列車 100 噸重為 35 噸，即 $\vartheta = 0.35$ 。

當計算以速度、 φ_k 及 w_0 之大小為轉移的實際制動距離 S_{ϑ} 時，則採用的速度間隔不大於 10 公里/時，同時在每一間隔範圍內須採取其間隔的平均速度值。

下表所示為按照速度間隔計算的 φ_k 、 w_0 及 b_k 之值。

速度 V 公里/時	0	10	20	30	40	50	60	70
$\varphi_k = 0.27 \frac{V+100}{5V+100}$	0.27	0.196	0.162	0.14	0.127	0.116	0.108	0.102
$w_0 = 1.5 + 0.05V$ 公斤/噸	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
$b_k = 1000\varphi_k\vartheta$ 公斤/噸	94.5	68.6	56.7	49.0	44.5	40.6	37.8	35.7