

国家双高“铁道机车专业群”系列活页工作手册式立体化教材  
——铁道车辆技术专业

# 车辆制动装置 (含实训手册)

主 编 © 李西安 王亦军 葛 磊

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

---

图书在版编目 ( C I P ) 数据

车辆制动装置: 含实训手册. 1, 车辆制动装置 / 李西安, 王亦军, 葛磊主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2022.8

ISBN 978-7-5643-8733-4

I. ①车… II. ①李… ②王… ③葛… III. ①铁路车辆—车辆制动—制动装置—高等职业教育—教材 IV. ①U270.35

中国版本图书馆 CIP 数据核字 ( 2022 ) 第 104019 号

---

Cheliang Zhidong Zhuangzhi (Han Shixun Shouce)

车辆制动装置 ( 含实训手册 )

责任编辑 / 王 旻

主 编 / 李西安 王亦军 葛 磊

特邀编辑 / 孟苏成

封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行  
( 四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031 )  
发行部电话: 028-87600564 028-87600533  
网址: <http://www.xnjdcbs.com>  
印刷: 四川玖艺呈现印刷有限公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

总印张 26

总字数 645 千

版次 2022 年 8 月第 1 版

印次 2022 年 8 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-8733-4

套价 68.00 元

课件咨询电话：028-81435775  
图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

## 前言

随着铁路建设的高速发展,大量现代化的新技术、新设备、新工艺已用于铁道车辆行业,这对铁道车辆检修运用部门提出了更高要求,铁道车辆专业相关人员必须不断学习铁路行业新标准,按标作业,精检细修,以适应铁路运输高速重载的发展战略目标。

本教材根据铁道车辆专业人才培养目标并结合教学改革的要求,采用“项目导向、任务驱动”的职业教育理念,通过岗位职业能力分析,提出每一项目的学习目标,使学生在学之前能够清楚岗位的职业要求。教材的编写采取教师与企业职教专家共同参与研讨教材内容的方式,将教学过程和企业的生产过程紧密结合,校企共建共同规划车辆制动系统课程。项目一通过经典故障案例引出制动的重要性,项目二通过企业生产案例引出货车制动系统知识,项目三通过企业生产案例引出客车制动系统知识,项目四通过制动机性能试验验证企业安全生产。本课程实作知识部分采用灵活方便的活页式教材配合项目化教材互溶式教学,将抽象问题简明化,便于自学者理解和掌握,凸显出学生是教学的主体。根据教学内容及培训要求,本套教材适用于教学学时 56~96。高职教学、中职教育和企业顶岗教育均可选学相关内容。

本教材在编写过程中,得到了郑州铁路职业技术学院“双高”建设专业群的支持,郑州铁路职业技术学院车辆工程学院为该系列教材的编写投入了大量的人力、物力及财力,中国铁路郑州局集团有限公司(以下简称郑州局)车辆段、郑州局北车辆段、郑州局焦作车辆段的职教专家、工程师等直接参与了编写和审稿工作,在此一并表示感谢。

本教材由郑州铁路职业技术学院李西安、王亦军和郑州局车辆段葛磊主编,具体分工为:郑州铁路职业技术学院李西安编写项目一、项目四中任务一,郑州铁路职业技术学院王亦军编写项目二中任务二,郑州局北车辆段程园龙编写项目二中的任务四,郑州局北车辆段马大健编写项目二中的任务一,郑州局焦作车辆段吕艳明编写项目二中的任务三,郑州铁路职业技术学院张龙华编写项目二中的任务六、七,郑州局车辆段王天顺编写项目二中的任务五,郑州局车辆段葛磊编写项目三中的任务八、九,郑州局车辆段张志辉编写项目三中的任务十、十一,郑州局车辆段张震宇编写项目三中的任务七,辽宁铁道职业技术学院宋少文编写项目三中的任务六,郑州铁路职业技术学院智雷勇编写项目三中的任务二、四,郑州局车辆段张凯编写项目三中的任务五,郑州局车辆段姚斌编写项目三中的任务一、三,郑州局北车辆段田小龙编写项目四中的任务二。

由于翻译和编写及审校水平所限,加之编写时间仓促,书中难免有疏漏和不当之处,恳请读者给予批评指正,提出宝贵意见。

编者

2022年8月



## 数字资源目录

序号	资源名称	资源类型	页码
1	制动力与区间速度关系	视频	11
2	摩擦制动	动画	11
3	直通空气制动机	直通空气制动机(动画); 直通空气制动机的结构、特点(视频2)	12
4	自动空气制动机的结构、特点	视频(2)	12
5	三通阀工作原理	动画	14
6	再生制动	动画	15
7	二压力机构	视频(3)	17
8	三压力机构	三压力机构 视频(5) 三压力机构阀 视频	17
9	ST-600 结构组成	动画	81
10	ST-600 作用原理	动画	84
11	货车脱轨自动制动装置结构	视频	94
12	货车脱轨自动制动装置分解、组装	视频	97
13	120 型控制阀作用原理	动画(3)	102
14	120 型控制阀主阀结构组成	动画(5)	106
15	120 型控制阀半自动缓解阀结构组成	动画	115
16	120 型控制阀紧急阀结构组成	动画	118
17	充气缓解位	动画(5)	120
18	减速充气缓解位	动画	123
19	减压制动位	动画(6)	125
20	紧急制动位	动画	128
21	半自动缓解阀工作原理	动画(2)	130
22	SP2 型单元制动缸的结构、原理和故障	视频(8)	173
23	104 型分配阀作用原理	动画(3)	182
24	104 型分配阀结构组成	视频	185

25	充气缓解位	动画（3）	198
----	-------	-------	-----

续表

序号	资源名称	资源类型	页码
26	减压制动位	动画（7）	201
27	制动保压位	动画	204
28	紧急制动位	动画	206
29	104型电空制动机的结构组成	视频	210
30	104型电空制动机原理	视频	213
31	F8型分配阀构造组成	视频	216
32	充气缓解作用	动画（4）	222
33	常用制动作用	动画（2）	224
34	制动保压作用	动画	226
35	阶段缓解保压作用	动画	229
36	紧急制动作用	动画	229
37	F8型电空制动机	F8型电空制动机结构组成 视频 F8型电空制动机原理 视频	233
38	USA空重车自动调整阀的结构及原理	视频（7）	245
39	防滑器的结构组成	视频	256
40	防滑器的工作原理	视频	261
41	防滑器故障维修	视频	261
42	高度调整阀的构造及原理	动画（1）、视频（3）	273
43	差压阀结构及原理	视频（4）	277



# 目录

项目一 车辆制动系统性认识 .....	1
任务一 制动机发展史 .....	3
任务二 车辆制动装置的概念及分类 .....	9
任务三 制动基础理论 .....	16
任务四 车辆制动机主要附件 .....	28
项目二 货车制动机 .....	41
任务一 货车基础制动装置 .....	43
任务二 货车人力制动机 .....	66
任务三 制动缸活塞行程调整 .....	75
任务四 ST型双向闸瓦间隙自动调整器 .....	78
任务五 货车脱轨自动制动装置 .....	93
任务六 120型控制阀 .....	99
任务七 空重车自动调整装置 .....	139
项目三 客车制动机 .....	164
任务一 基础制动装置 .....	166
任务二 人力制动机 .....	177
任务三 104型分配阀构造和作用性能 .....	180
任务四 104型电空制动机 .....	210
任务五 F8型分配阀 .....	215
任务六 F8型电空制动机 .....	233
任务七 空重车自动调整装置 .....	243
任务八 防滑检测装置 .....	253
任务九 制动监测系统 .....	264
任务十 高度调整阀/差压阀 .....	272
项目四 制动机性能试验 .....	281
任务一 单车制动性能试验 .....	282
任务二 列车制动性能试验 .....	298
参考文献 .....	324





## 项目一 车辆制动系统性认识



### 思政课堂

2021年12月3日，“一带一路”标志性工程中老铁路正式开通运营，钢铁巨龙飞驰在中老友谊之路上，这对中国铁路昆明局集团有限公司昆明北车辆段检车员陈向华来说，是一件特别值得骄傲的事。早在2021年10月，他便接到为中老铁路挑选试运行货运车辆的紧急任务。作为该段技能大师工作室负责人，陈向华带领团队制作了18类、270余件车辆检修专用工具送到老挝，并针对热轴调查处置、空气制动故障、钩缓故障等制作了“车辆救援房”所需全套工具，为中老铁路货运列车日常检修和沿途应急处置提供保障。

2004年时，工作13年的陈向华完成了28.8万辆铁路货车的安全检修，发现9000多个安全隐患，解决2000多个典型故障，成为这个段唯一实现连续“十年无漏检”的金牌检车员。陈向华的工作室先后完成了科技创新项目42项，完成车辆空气制动故障调查处理等技术革新改造128项次，取得两项国家实用新型专利。这些科研成果不仅为企业发展提供了不竭动力，更使得队伍得到了锻炼、技能得到了提升。

在日常工作中，陈向华始终严格要求自己，干一行钻一行，为确保行车安全贡献力量。车辆检修是一个复杂的系统工程，多年的现场实践经验让他认识到，要想把车辆检查到位、提高检修质量，除了练就过硬本领外，还需要掌握实用、管用的工作方法，即把繁琐的检修作业分解为简单易学的口诀步骤。通过交流探讨、摸索尝试，他吃透了货车构造和运用检修规程，梳理出车辆六大部位、156个必检点，优化成“二十三步”作业流程图并推广运用，不仅提升了作业效率，而且大幅提高了故障发现率，开启了一条由掌握标准向创造标准转变的创新之路。

2021 新时代·铁路榜样——陈向华回顾30多年的工作经历，沉甸甸的荣誉背后更多的是责任和压力。他说：“其实我也没干什么惊天动地的事情，也就是本本分分地干好了自己的工作。凭我个人是不可能有这么大的进步的。虽然荣誉是颁发给我个人的，我觉得应该是（属于）整个集体。”



### 项目导入

1988年6月27日，一列双编组（8节车厢）的Z5300列车从默伦经科贝伊埃松前往里昂车站，由于晚点，新城圣乔治以北的几个停靠站都被临时取消，列车从那里直达巴黎（如

同夏季列车时刻表上所写,但并非人人都晓得)。到了绿景苑站,有一位前往学校接孩子的女乘客见列车不停,担心误点,便拉下了车内的紧急制动手闸,列车被迫停下,该乘客随即下车离站。

列车停下后司机将处于制动锁定状态下的列车进行复位操作,而由于 Z5300 列车各种型号的不一致性,使司机在进行复位操作时犯下错误,关闭了车头和车厢之间空气压缩制动阀的电路开关(就在复位扳手的旁边),结果锁定状态当然无法解除。司机心想,锁定状态仍未解除应该是系统内气压过高引起的(Z5300 偶尔遇到的问题),于是在车长的帮助下,司机把后面 7 节车厢的制动压缩空气全部放光,相当于解除了全车 7/8 的制动力。当司机回到驾驶室以后,仪表盘上显示当前压力值为正常值,不过他忽略了一点:这个仪表盘上的压力值仅代表车头的制动压缩空气压。之前空气压缩制动阀的电路已被关闭,相当于后面 7 节车厢已经和车头隔绝开来。这样,这辆压缩空气制动已经失效的列车重新起动,直接开往里昂车站,不再停靠沿途其他车站,以免再额外增加通勤时间。

当列车到达里昂车站前 2 km 处的减速信号灯时,司机发现刹车失灵。由于情况紧急,司机没有想方设法去使用驾驶室的电阻器刹车,而是立即通知了里昂车站的控制室,但没有说清楚是哪一辆列车,发生了什么故障,结果中央控制室当然没法弄清楚是哪一辆车出了问题。然后,这位肇事司机启动了车内警报器,结果附近 10 km 内所有信号灯接到警报后转为红灯,附近 10 km 内列车随之停驶,那些列车司机则询问控制室到底发生了什么情况,控制室再度呼叫肇事列车司机,但他已经和乘客躲到车尾去避难了。车站转辙器也进入人工紧急状态,糟糕的是,这种转辙器在紧急状态下会停止工作,之前的预设自动转辙程序全部失效,最终导致失控的列车错误驶入西面已经被另一班晚点列车占用的轨道。更致命的是,列车进站之前要经过一个坡度为 4.3% 的下坡,由于制动失效,列车进站时速已达 70 km,而月台上的那班列车由于晚点已经满载,特别是正对来车方向的第一节车厢,司机来不及疏散乘客,只好紧急广播把他们转移到车厢尾部。几秒钟之后失控的列车猛烈地撞击过来,把晚点的那班列车向路轨尽头撞出 30 m 远,由于路轨尽头是个死胡同,没有足够的缓冲余地,第一节车厢就这样被撞成碎片。

安全大如天,制动无小事,作为铁路车辆系统安全技术员、车辆检车员、职工教育员,担负行车安全和检修责任,通过本教材的学习,对车辆制动系统你将会有全新的认识,犹如站在巨人的肩上向前迈出一小步。



## 知识目标

- (1) 了解车辆制动机的发展史;
- (2) 熟知制动机的分类及特点;
- (3) 掌握制动机主要附件及维护。



## 能力目标

- (1) 整体认识车辆制动系统;
- (2) 根据企业案例能关联到制动相关知识点;
- (3) 熟记《铁路技术管理规程》(以下简称《技规》)车辆篇要求。

## 任务一 制动机发展史



### 任务描述

回顾新中国创立以来我国铁路机车车辆制动技术的发展变化，介绍了货运列车、提速旅客客车、重载货运列车、高速列车制动技术的自主研发情况及关键技术、性能参数，分析了制动技术在我国铁路发展过程中所起到的重要作用。



### 任务目标

#### 1. 知识目标

- (1) 客车空气制动机的发展史；
- (2) 货车空气制动机的发展史。

#### 2. 能力目标

熟知制动机更新换代的技术创新。

#### 3. 职业素养目标

- (1) 安全第一、预防为主、严规细操；
- (2) 协作意识、环保意识、节约意识。



### 知识储备

1825年9月27日，在英国的斯多克顿至达林顿之间建成了世界上第一条铁路，世界上第一列由蒸汽机车牵引的列车开始运营。当时所使用的制动机是人力制动机，即手制动机。当运行中需要制动时，由设置在列车上的若干名制动员根据司机所给信号操纵每一节车上的手制动机来完成制动。可见，人力制动不仅使工作在较恶劣环境中的制动员的劳动强度增大，更主要的是大大降低了列车中各车辆制动的同时性，从而造成严重的制动冲击，影响列车制动效果。

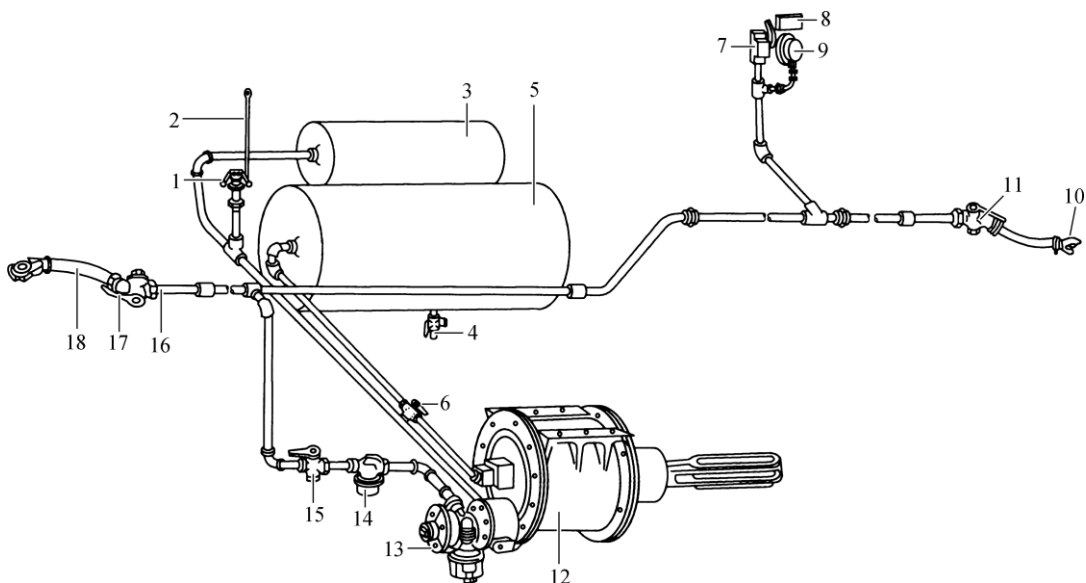
1869年，美国工程师乔治·韦斯汀豪斯发明了世界上第一台空气制动机——直通式空气制动机。直通式空气制动机属于气动装置，并且由司机单独操纵，所以与人力制动机相比，大大提高了列车制动的同时性，减小了制动冲击，改善了列车的制动效果。但是，由于直通式空气制动机自身的工作机理，使其在运用过程中存在着致命的弱点——当列车分离时，列车将失去制动作用。

1872年，乔治·韦斯汀豪斯在直通式空气制动机的基础上，研制出了一种新型的空气制动机——自动空气制动机。自动空气制动机克服了直通式空气制动机的致命弱点，从而在铁路运输中得到了广泛的应用，直到科技高度发展的今天，世界各国铁路运输的列车所使用的空气制动机，其工作原理均源于自动空气制动机。

## 一、客车空气制动机

### (一) LN 型空气制动机

LN 型空气制动机如图 1-1-1 所示，由 L 型或 GL3 型三通阀 13，N 型制动缸 12，副风缸 3，附加风缸 5，缓解阀 1，紧急制动阀 7，压力表 9，远心集尘器 14，截断塞门 15，折角塞门 11、17，制动软管连接器 10 等组成。该型空气制动机的组成特点是，设有一个较大的附加风缸 5，其容积是副风缸容积的 2.5 倍，以备阶段缓解和紧急制动增压时使用。阶段缓解时副风缸可实现迅速再充气，有利于施行连续制动。紧急制动时可实现制动缸的增压作用，保证旅客列车安全运行。



1—缓解阀；2—缓解阀拉杆；3—副风缸；4—排水塞门；5—附加风缸；6—附加风缸截断塞门；7—紧急制动阀；8—“危险请勿动”牌；9—压力表；10、18—制动软管连接器；11、17—折角塞门；12—制动缸；13—三通阀；14—远心集尘器；15—截断塞门；16—补助管。

图 1-1-1 LN 型空气制动机

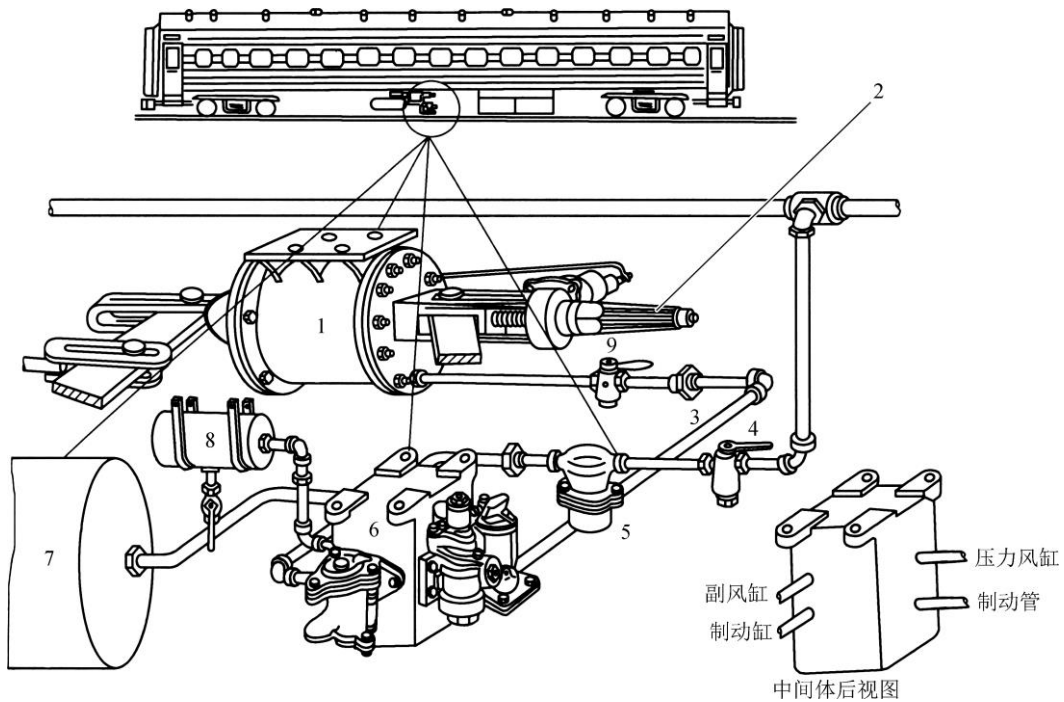
### (二) 104 型空气制动机

104 型空气制动机是以我国自行设计制造的 104 型分配阀而命名的，该空气制动机是以 104 型分配阀和压力风缸、制动缸为主配套组成的自动式空气制动机。104 型分配阀结构组成如图 1-1-2 所示，它由 104 型分配阀 6、容积为 11 L 的压力风缸 8、副风缸 7、制动缸 1、截断塞门 4、远心集尘器 5、制动缸排气塞门 9 和制动管等零部件组成。104 型分配阀 6 由中间体、主阀、紧急阀 3 部分组成，中间体分别与副风缸、制动缸、压力风缸、制动管相连接。104 型分配阀内的活塞采用了橡胶模板结构，减少了阻力，减少了漏泄现象的发生。

### (三) 104 型电空制动机

104 型电空制动机的结构型式是在 104 型空气制动机的基础上设计而成的，主要是增设了电磁阀安装座，并将其安装在 104 型制动机的主阀和中间体之间，原主阀与中间体的相关

气路依旧相通。104型电空制动机还增加了一个容积为40 L的缓解风缸，用来加快制动管的增压速度，使各车辆迅速处于缓解状态。104型电空制动机主要由制动管、制动软管连接器、远心集尘器、截断塞门、104型分配阀（包括主阀、中间体、紧急阀）、电磁阀安装座、压力风缸、副风缸、缓解风缸、制动缸、缓解显示器等组成，其结构组成如图1-1-3所示。在电磁阀安装座上依次装有保压电磁阀、制动电磁阀、缓解电磁阀。



1—制动缸；2—闸瓦间隙自动调整器；3—制动缸管；4—截断塞门；5—远心集尘器；  
6—104型分配阀；7—副风缸；8—压力风缸；9—制动缸排气塞门。

图 1-1-2 104 型空气制动机

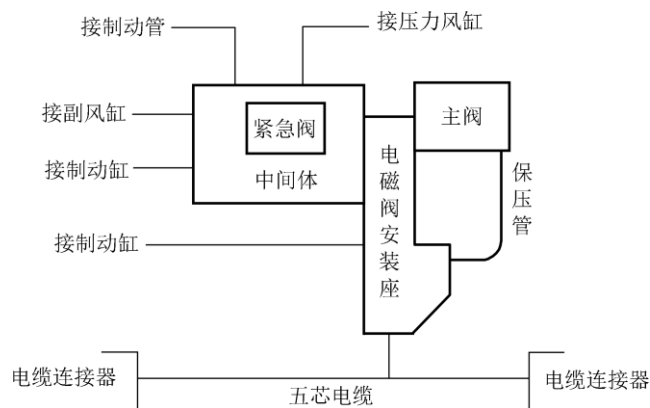


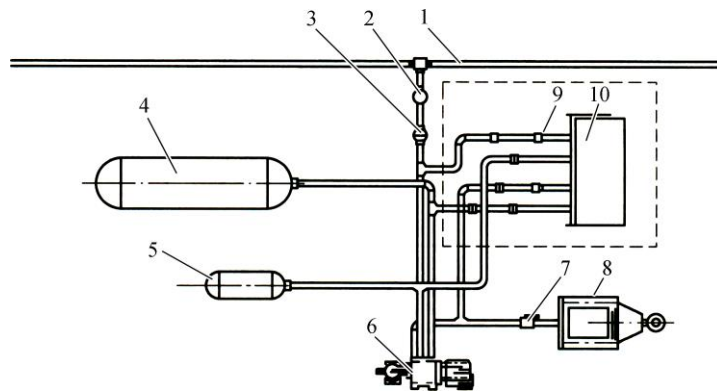
图 1-1-3 104 型电空制动机组成示意图

104型电空制动机大多采用双管制供风系统，一为制动管，另一为总风管，制动主管与总风主管的直径均为25 mm。在正常运用中，空气弹簧、气动冲水便器、污物箱等设备用风

由总风管供给，车辆制动系统用风由制动管供给。在车辆两侧设有制动/缓解显示器，它可以 将车辆制动机所处的工作状态清楚地显示给站检及列检人员。车辆缓解时显示绿色，并显示 “缓解” 字样，制动时显示红色，并有“制动” 字样。车上一位端设有紧急制动阀和制动管与 总风管风表。在车辆中部附近还设有从车上和车下都能操纵的缓解装置。制动用风管全部采 用不锈钢管，所有管件材质均为不锈钢，所有风缸内部均做了磷化防锈处理。

#### (四) F8 型电空制动机

F8 型电空制动机是为了适应铁路客车提速和扩大列车编组的需要而设计的新型客车制 动机。F8 型电空制动机包括空气制动和电空制动两部分，由制动管 1、截断塞门 2、远心集 尘器 3、副风缸 4、压力风缸 5、F8 型分配阀 6、缓解塞门 7、制动缸 8、电空制动截断塞门 9（4 个）和电空阀箱 10 等组成。F8 型分配阀 6 由主阀、辅助阀和中间体 3 部分组成，中间 体分别与副风缸、制动缸、压力风缸、制动管相连接。F8 型电空制动机在电空阀箱 10 内装 有缓解电磁阀、常用制动电磁阀和紧急制动电磁阀，实现了快速列车中各车辆同时制动同时 缓解的性能，避免了列车的纵向冲击。同时该电空制动机也加速了制动和缓解作用的发生。 F8 型电空制动机结构组成如图 1-1-4 所示。



1—制动管；2—截断塞门；3—集尘器；4—副风缸；5—压力风缸；6—F8 型分配阀；  
7—缓解塞门；8—制动缸；9—电空制动截断塞门；10—电空阀箱。

图 1-1-4 F8 型电空制动机的组成简图

F8 电空制动机采用自动式电空制动方式。电空制动部分只控制制动管的充气 and 减压，制 动机的制动、保压和缓解等作用还是通过 F8 型分配阀来实现的。实际上空气制动部分就是 独立的 F8 型客车制动机，具有客车制动机的制动、保压、缓解等基本性能。因此，当电空 制动部分发生故障时，可关闭电空制动截断塞门，切断电空制动作用，成为独立的空气制 动作用系统。同样，F8 型电空制动机也可以与一般的客车制动机混编运行。

## 二、货车空气制动机

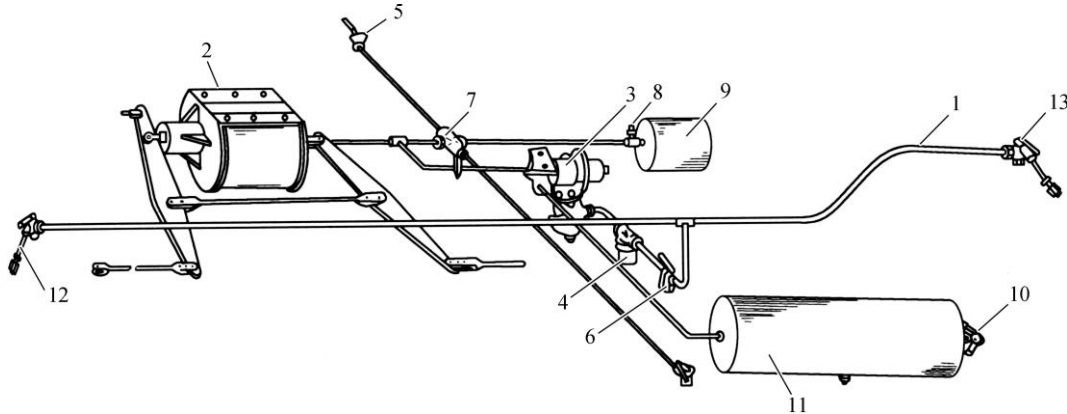
### (一) GK 型空气制动机

GK 型空气制动机是在原安装 K<sub>2</sub> 型三通阀的制动机的基础上改造而成的，使用在载重 50 t 及其以上的大型货车上。“G” 是汉语拼音“改”字的第一个字母，K 表示 K 型三通阀，



“GK”就是改造K型制动机的意思。该空气制动机是以GK型三通阀为主的货车用自动式空气制动机，并具有两级制动力的手动空重车调整装置。

GK型空气制动机如图1-1-5所示。GK型空气制动机由制动软管连接器12、制动主管1、制动支管、截断塞门6、远心集尘器4、GK型三通阀3、副风缸11、制动缸2等组成。其组成特点是：使用能与直径356mm制动缸配套使用的GK型副风缸，并设置空重车调整装置（包括降压气室9、空重车转换塞门7、安全阀8、空重车指示牌及调整手把5等）。GK型空气制动机现已被列为淘汰型空气制动机，但由于全路货车装备其数量多，在使用中还需逐步淘汰。



1—制动主管；2—制动缸；3—GK型三通阀；4—远心集尘器；5—空重车指示牌及调整手把；6—截断塞门；7—空重车转换塞门；8—安全阀；9—降压气室；10—缓解阀；11—副风缸；12—制动软管连接器；13—折角塞门。

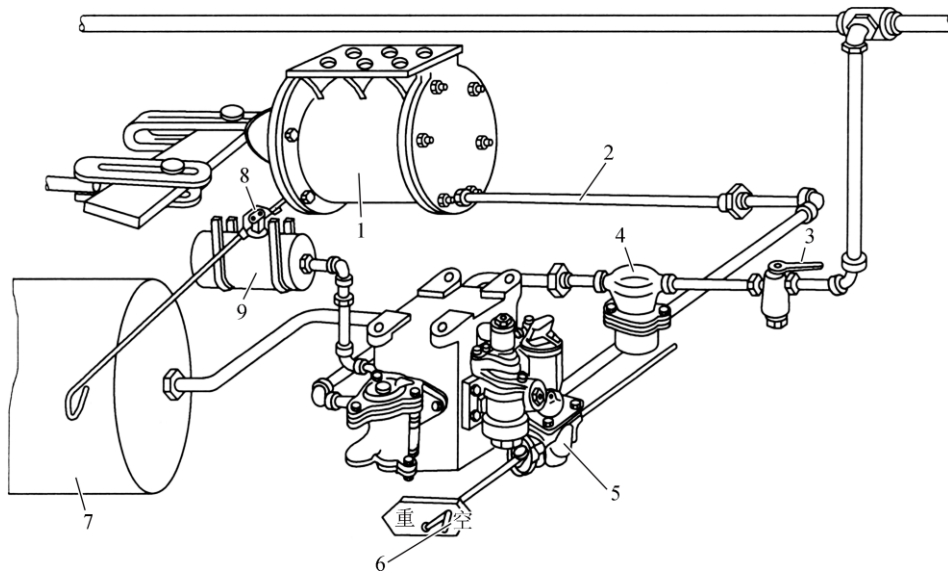
图 1-1-5 GK 型空气制动机

由于货车载重能力的提高，空重车重量相差很大，因此要求闸瓦压力能随着车辆载重状态加以改变。为了使车辆在不同载重的状态下具有不同的闸瓦压力，GK型空气制动机安装了手动二级空重车调整装置。

空重车调整装置的调整方法：当车辆每轴平均载重未达6t时，将空重车调整手把置于空车位；当车辆每轴平均载重在6t及其以上时，将空重车调整手把置于重车。这种手动调整空重车制动力的装置结构虽然简单，但需要根据车辆总重依靠人工进行调整，实际运用不方便，易造成漏调、误调。

## (二) 103型空气制动机

103型空气制动机是以我国自行设计制造的103型货车分配阀命名的，如图1-1-6所示。103型空气制动机由制动软管连接器、制动主管、制动支管、截断塞门3、远心集尘器4、103型分配阀5、副风缸7、制动缸1、压力风缸9、缓解阀8等组成。其组成特点是以103型分配阀5代替了旧型制动机中的三通阀，设有一个容积为11L的压力风缸9，分配阀本身设有空重车调整部，其调整装置是通过伸向车体两侧的杠杆和手柄配套使用的，扳动手柄即可调整为空车位或重车位。103型空气制动机其他部件与旧型制动机基本相同。由于103型分配阀通用于各种大小型号的副风缸和制动缸，所以，103型空气制动机可以根据车辆载重吨位的大小来选配制动缸和副风缸。目前，103型空气制动机主要安装在载重50t以上的货物车辆上，使用直径为356mm的制动缸，选用副风缸容积为100L。



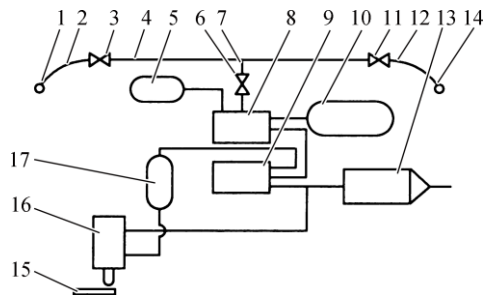
1—制动缸；2—制动缸管；3—截断塞门；4—远心集尘器；5—103型分配阀；6—空重车指示牌及调整手把；7—副风缸；8—缓解阀；9—压力风缸。

图 1-1-6 103 型空气制动机

### (三) 120 型空气制动机

鉴于现有的 GK 型空气制动机和 103 型空气型制动机均已不能适应重载列车的要求，铁道部科学研究院和眉山车辆工厂共同研制出了 120 型空气制动机。

120 型空气制动机由制动管 4、制动支管 7、截断塞门和远心集尘器组合装置 6（也有分成两个独立部件的）、120 型控制阀 8、副风缸 10、加速缓解风缸 5、制动缸 13，空重车自动调整装置（包括传感阀 16、限压阀 9 和降压气室 17）、折角塞门 3 和 11、制动软管 2 和 12 等零部件组成，如图 1-1-7 所示。



1、14—制动软管连接器；2、12—制动软管；3、11—折角塞门；4—制动管；5—加速缓解风缸；6—截断塞门和远心集尘器组合装置；7—制动支管；8—120型控制阀；9—限压阀；10—副风缸；13—制动缸；15—挡铁；16—传感阀；17—降压气室。

图 1-1-7 120 型空气制动机组组成简图

120 型空气制动机设置了加速缓解阀和加速缓解风缸。在列车缓解时，加速缓解阀动作，制动机产生制动管局部增压作用，从而加快了制动管的充气速度，提高了列车的缓解波速。120 型制动机还设置了半自动缓解阀，它是靠人工拉动该缓解阀的手柄后，就可以使制动缸的压缩空气直接排入大气，达到制动机缓解的目的。使用时在拉动半自动缓解阀手柄约 3~5 s

听到制动缸的排气声后，即可松开手柄，制动缸的压缩空气会自动排尽，不需要长时间拉着手柄或在手柄处夹放木楔。

为了保证空、重货车制动率趋于一致，在 120 型制动机上安装了 TWG-1 系列或 KZW-4G 系列空重车自动调整装置，可根据车辆实际装载重量自动调整制动缸的压力，保持与载重相适应的车辆制动力。当车辆载重不同摇枕挠度变化时，挡铁位置不同，传感阀据此将一部分制动缸压缩空气分流进入降压气室，并控制调整阀的输入与输出之比，从而使制动缸压力随车辆载重而无级地、成比例地变化，实现空重车自动无级调整。空重车自动调整装置在调整阀上装有空重车显示牌，当 KZW-4G 型空重车显示牌翻起时显示重车位，表面为白色；落下显示牌为空车位，表面为红色。

## 任务二 车辆制动装置的概念及分类



### 任务描述

本节课以制动机的概念和分类为任务驱动，分组讨论，分层次教学，重视学员职业素质的培养，配合主型客车、货车实物制动机系统和 3D 视频动画，理论和实践相融合，制作一个制动基本知识教学课件，使学生达到学以致用目的。假如你是一位制动教育工作者，通过本节知识的学习将为学员打开制动大门，使学员深入浅出理解制动机的概念和制动机的使用特点。



### 任务目标

#### 1. 知识目标

- (1) 制动的基本概念；
- (2) 制动机的分类及原理。

#### 2. 能力目标

将制动机的基本知识引入到企业生产运用中，加深制动系统理解。

#### 3. 职业素养目标

- (1) 安全第一、预防为主、严规细操；
- (2) 协作意识、环保意识、节约意识。



### 知识储备

#### 一、制动基本概念

制动就是刹车。车辆制动是指人为地将力施加于机车车辆，使运动中的机车车辆减速（含

防止加速)至停止运动,或使静止的机车车辆保持其静止状态的过程。这里的“力”就是制动力。这种作用为制动作用。解除制动作用的过程为缓解。

制动过程实质上就是能量转化的过程。机车车辆上必须装设制动功率足够大的制动装置,以实现列车有控制地进行减速、在预定的时间及指定的地点停车、在非常情况下的紧急停车。同时,机车车辆具有性能良好的大功率制动装置,是提高列车运行速度、提高铁路通过能力的有力保障。

车辆制动装置:是指安装在机车车辆上实现制动作用的,由相关零、部件所组成的一整套机构。它通常包括:空气制动机、基础制动装置、人力制动机。

空气制动机是指利用压缩空气作为制动动力来源,以制动主管的空气压力变化来控制分配阀产生动作,进而实现制动和缓解作用的装置。它包括从制动软管连接器至制动缸间的所有制动部件。在客车制动装置中,空气制动机受司机直接控制。

人力制动机是指利用人力作为制动原动力,通过转动手轮或手把,代替压缩空气作用于制动缸活塞的推力,进而实现制动作用的装置。只有在不能使用空气制动机的情况下才使用人力制动机。如调车作业、车辆停放在坡道等。

基础制动装置通常是指从制动缸活塞推杆到闸瓦间所使用的一系列杠杆、拉杆、制动梁等各种零部件所组成的机械装置。其作用是把作用在制动缸活塞上的压缩空气推力增大适当倍数后,平均地传递给各块闸瓦(片)。

制动距离:从机车的自动制动阀置于制动位起,到列车停车,列车所走过的距离称为制动距离。制动距离愈短,列车的安全系数就愈大。《铁路主要技术政策》规定:列车紧急制动距离按不同情况分别不超过:

旅客列车	120 km/h, 800 m
	160 km/h, 1 400 m
	200 km/h, 2 000 m
	250 km/h, 2 700 m
	300 km/h, 3 700 m
	350 km/h, 4 800 m
货物列车	90 km/h, 800 m
	120 km/h, 1 100 m
	(25 t 轴重 120 km/h, 货物列车, 1 400 m)
	160 km/h, 1 400 m

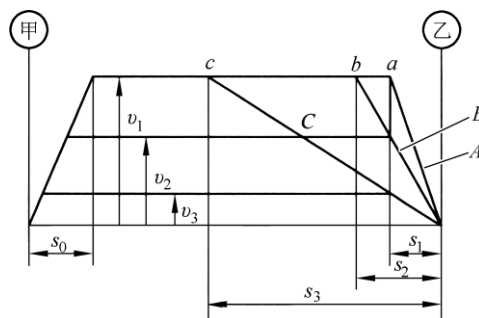
## 二、制动在铁路运输中的作用

制动装置对于铁路运输的意义可通过下例来理解:

如图 1-2-1 所示,列车运行于甲、乙两站之间。列车由甲站发车,行驶了  $s_0$  距离加速至  $v_1$ ,  $s_0$  为起动加速距离,其长短决定于机车牵引功率的大小。若需要列车在乙站停车,制动功率较大的 A 列车,开始施行制动的地点可在距乙站较近的 a 点处,其制动距离为  $s_1$ 。若另一 B 列车的制动功率较小,则需提前于 b 点开始施行制动,制动距离为  $s_2$ 。因而 B 列车减少了高速行驶的时间,于是, B 列车的技术速度低于 A 列车。若另有 C 列车没有制动装置(或

制动装置失效), 仅靠自然的阻力使之停车, 则该列车必须在距乙站更远的  $c$  点开始惰行, 它的惰行距离为  $s_3$ 。显然,  $C$  列车的技术速度更低。为了保障行车安全, 在《技规》中规定: 列车在限制下坡道上的紧急制动距离, 例如货车以  $90 \text{ km/h}$  速度运行时规定为  $800 \text{ m}$ 。假如上例中的  $s_1$  等于  $800 \text{ m}$ , 则对于  $B$ 、 $C$  列车在此区间的运行速度, 必须分别限制为  $v_2$  和  $v_3$ 。这样, 就降低了列车的区间运行速度, 降低了铁路的通过能力。

所以, 制动装置的重要作用在于: 一方面是使列车在任何情况下减速、防止加速或停车, 确保行车安全; 另一方面也是提高列车的运行速度, 提高牵引重量, 即提高铁路运输能力的重要前提条件。衡量一个国家的铁路运输水平, 首先要看能制造多大牵引功率的机车, 但牵引与制动是互相促进和制约的, 无先进的制动技术就没有现代化的铁路运输。



制动力与  
区间速度关系

图 1-2-1 制动力、区间速度与制动距离的关系

### 三、车辆制动机的种类

车辆制动机是实现将列车运行过程中巨大的动能转化为其他形式的能量, 从而使列车减速或停车的一种装置。目前我国应用最为广泛的是摩擦制动方式, 即闸瓦压车轮踏面或闸片压制制动盘产生摩擦力, 通过车轮踏面与钢轨之间的作用, 从而产生制动力。摩擦制动是将列车的动能转化为热能散发于大气中, 从而达到制动的目的。车辆制动机有以下几种:

#### (一) 手 (人力) 制动机

以人力作为动力来源, 用人力来操纵实现制动和缓解作用的制动机叫手 (人力) 制动机。手 (人力) 制动机结构简单, 不受动力的限制, 任何时候都可使用, 但制动力小。目前只作为辅助制动装置, 一般仅用于原地制动或在调车作业中使用。



摩擦制动

#### (二) 真空制动机

以大气压力作为动力来源, 用对空气抽真空的程度 (真空度) 来操纵制动和缓解的制动机叫真空制动机。真空制动机, 其压力最高只能达到  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 制动力小; 气密性要求高。要增大制动力只能通过扩大制动缸的直径或者提高制动倍率来实现。这样, 不仅增加了车辆自重, 调整制动缸活塞行程的工作量将大量增加, 而且列车编组长度也受到限制。我国只在部分援外车辆上安装这种制动机。如 20 世纪 70 年代我国援助坦桑尼亚—赞比亚的铁路车辆安装的为真空制动机。

### (三) 空气制动机

空气制动机是以压缩空气为动力来源，用空气压力的变化速度来操纵的制动机。我国机车车辆上均安装空气制动机。

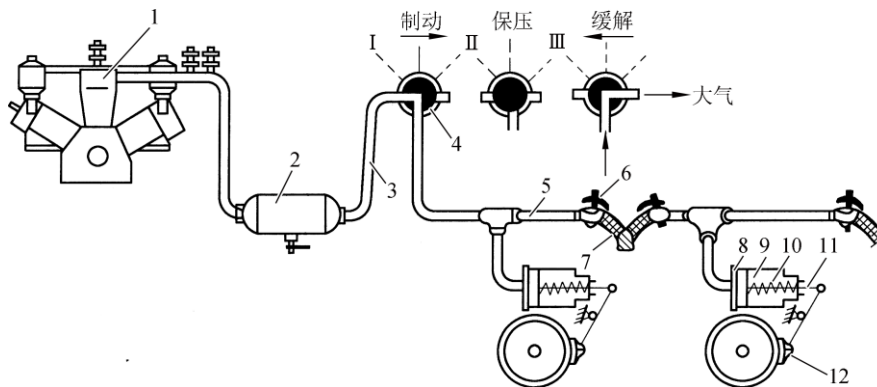
空气制动机根据不同的作用原理又可分为直通空气制动机和自动空气制动机。



直通空气制动机

#### 1. 直通空气制动机

直通空气制动机基本组成形式如图 1-2-2 所示，由制造压力空气的空气压缩机 1，储存压力空气的总风缸 2，操纵列车制动机作用的制动阀 4，贯通全列车的制动管 5 和将空气压力转换为机械推力的制动缸 8 等组成。



1—空气压缩机；2—总风缸；3—总风缸管；4—制动阀；5—制动管；6—折角塞门；7—制动软管；8—制动缸；9—制动缸活塞；10—制动缸缓解弹簧；11—制动缸活塞杆；12—闸瓦。

图 1-2-2 直通空气制动机原理图

作用原理：制动阀手把有制动、保压和缓解 3 个作用位。制动阀手把置 I 位（制动位）时，总风缸的压力空气经制动阀、制动管进入各车辆的制动缸，使制动缸活塞杆推出，闸瓦压紧车轮，列车产生制动作用；制动阀手把移至 II 位（保压位）时，总风缸、制动管和大气之间的通路均被遮断，制动缸和制动管保持压力不变；制动阀手把移至 III 位（缓解位）时，制动管及所有制动缸压力空气经制动阀排气口排出，制动缸活塞被缓解弹簧推回，闸瓦离开车轮踏面，列车制动状态得到缓解。

直通空气制动机的特点：构造简单，用制动阀可直接调节制动缸压力，具有阶段制动和阶段缓解作用性能，对于很短的列车，操作方便灵活。但不适用于较长列车。因为，其一，机车上总风缸无法储存供应较长列车各车辆制动机制动时制动缸所需压力空气；其二，制动和缓解时各车辆制动缸的压力空气都要由机车上的总风缸供给和机车上的制动阀排气口排出，所以，制动时距离机车近的制动缸充气早、增压快，距离机车远的制动缸充气晚、增压慢；缓解时距离机车近的制动缸排气早、缓解快，距离机车远的制动缸排气晚、缓解慢。造成列车前后部车辆的制动和缓解作用一致性差，列车纵向冲动大。特别在当列车发生车钩分离事故时，整个列车就失去制动控制。

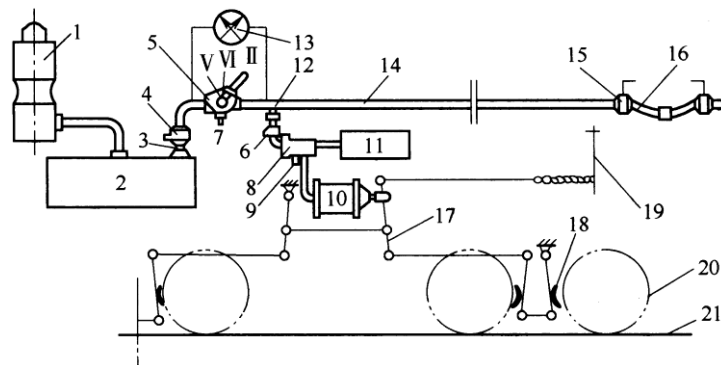


自动空气制动机的结构、特点

#### 2. 自动空气制动机

自动空气制动机在每辆车上增加了三通阀（分配阀或控制阀）及副风

缸。副风缸在缓解位储存好本辆制动机制动时所需的压力空气，制动时，各制动缸的压力空气就近取自本车的副风缸；缓解时，各制动缸的压力空气经本车的三通阀排气口排出。因而列车前后部各车辆的制动作用和缓解作用的产生过程均较快，一致性比较好，可有效地缩短制动距离，减小列车的纵向冲击力，适用于编组较长的列车，现在我国车辆上均采用的是自动空气制动机，如图 1-2-3 所示。自动空气制动机的特点：制动管减压时制动，增压时缓解。当列车发生车钩分离事故或拉动紧急制动阀时，制动管即减压，全列车均能够自动产生制动作用而停车。



1—空气压缩机；2—总风缸；3—总风管；4—给风阀；5—自动制动阀；6—远心集尘器；7—制动阀排气口；  
8—三通阀（分配阀或控制阀）；9—三通阀（分配阀或控制阀）排气口；10—制动缸；11—副风缸；  
12—截断塞门；13—双针压力表；14—制动管；15—折角塞门；16—制动软管；  
17—基础制动装置；18—闸瓦；19—手制动装置；20—车轮；21—钢轨。

图 1-2-3 列车空气制动系统的组成

空气压缩机 1 和总风缸 2：是列车空气制动装置的动力源系统。空气压缩机制造 800 ~ 900 kPa 的压力空气；总风缸用来储存空气压缩机制造的压力空气，供全列车制动系统使用；给风阀 4：将总风缸的压力空气调整至规定压力后，经自动制动阀充入制动管；自动制动阀 5：是操纵列车空气制动系统的部件。通过它向制动管充入压力空气或将制动管压力空气排向大气，以操纵列车制动系统产生不同的作用；制动管 14：是贯通全列车的空气导管。通过它向列车中各车辆的制动装置输送压力空气，并通过自动制动阀控制制动管内压力空气的压力变化来实现操纵列车各车辆制动机产生相应的作用；三通阀（分配阀或控制阀）8：三通阀（分配阀或控制阀）是车辆空气制动装置的主要部件（在机车上也有分配阀），它和制动管连通，根据制动管空气压力的变化情况，产生相应的作用位置，从而控制向副风缸充入压力空气的同时把制动缸内压力空气排向大气实现制动机缓解作用或者将副风缸内压力空气充入制动缸产生制动机的制动作用；副风缸 11：缓解位储存压力空气，作为制动时制动缸的动力源；制动缸 10：制动时，用来把副风缸送来的空气压力变为机械推力；基础制动装置 17：制动时，将制动缸活塞推力放大若干倍并传递到闸瓦，使闸瓦压紧车轮产生制动作用，缓解时，依靠其自重使闸瓦离开车轮实现制动机的缓解作用；闸瓦 18、车轮 20 和钢轨 21：是制动时的能量转换部分，是实现制动作用的三大要素。制动时，闸瓦压紧转动着的车轮踏面后，闸瓦与车轮间的摩擦力借助钢轨，钢轨在与车轮接触点上产生与列车运行方向相反（与钢轨平行）的反作用力即制动力。

三通阀（分配阀或控制阀）属二压力机构阀，是自动空气制动机的关键部件。现以三通阀为例介绍二压力机构阀的作用原理。

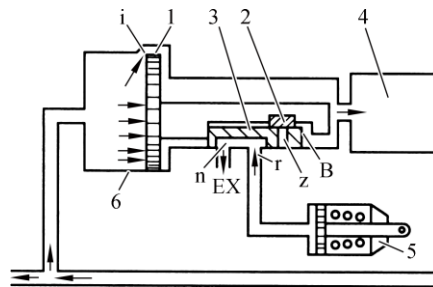
三通阀与制动管、副风缸和制动缸相通。三通阀内有一个气密性良好的主活塞和带孔道的滑阀及节制阀。主活塞外侧通制动管，内侧通副风缸。当制动管内压缩空气的压力发生增或减变化时，主活塞两侧产生压力差（制动管与副风缸的空气压力差），当克服移动阻力后，推动主活塞带动滑阀、节制阀移动，形成不同的作用位置，实现以下各种作用。

1) 充气、缓解作用（见图 1-2-4）

当操纵自动制动阀使总风缸的压力空气向制动管充气时，三通阀内主活塞外侧压力增高，主活塞被推动，连同滑阀、节制阀向内移动，开放了充气沟 i，制动管的压力空气经充气气路进入副风缸储存起来（其压力最后可达到与制动管规定压力相等），准备制动时使用。同时，滑阀移动后将制动缸和三通阀排气口连通，若制动缸内有压力空气，则经排气口排入大气。这就实现了制动机充气及缓解作用。



三通阀工作原理



1—主活塞及主活塞杆；2—节制阀；3—滑阀；4—副风缸；5—制动缸；6—三通阀（分配阀或控制阀）；  
i—充气沟；B—间隙；z—滑阀制动孔；r—滑阀座制动缸孔；n—滑阀缓解联络槽；EX—排气口。

图 1-2-4 充气缓解位作用原理

2) 制动作用（见图 1-2-5）

当操纵自动制动阀使制动管内压缩空气排入大气时，三通阀主活塞外侧压力下降，主活塞被副风缸压力推动，连同节制阀、滑阀向外移动，移动到滑阀与滑阀座上的孔路将副风缸和制动缸连通时，副风缸内压缩空气经滑阀上的制动孔 z 与滑阀座上制动缸孔 r 进入制动缸，实现制动机的制动作用。

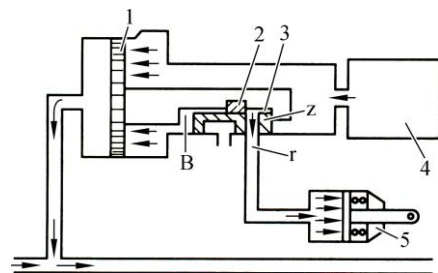


图 1-2-5 制动位作用原理  
(图注同图 1-2-4)

3) 制动保压作用（见图 1-2-6）

制动后，当制动管停止向外排气，由于三通阀仍处在制动位置，所以副风缸内压力空气通过滑阀与滑阀座上的孔路继续充入制动缸，副风缸（滑阀室）的压力继续下降，当降到稍低于制动管压力时，主活塞带动节制阀向内移动间隙 B 距离（滑阀未动），节制阀将滑阀上的副风缸与制动缸通路遮断（滑阀制动孔被节制阀盖住），停止了副风缸向制动缸充气，制动缸内压力不再上升，也不减少，即形成制动保压作用。



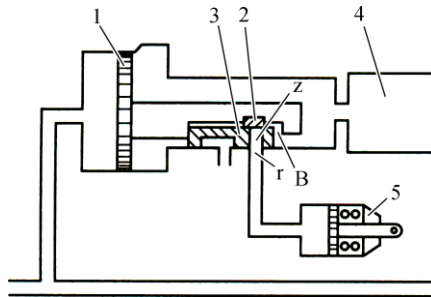


图 1-2-6 制动保压位作用原理 (图注同图 1-2-4)

#### (四) 电空制动机

电空制动机是以压力空气作为原动力, 利用电控系统电信号通过电磁阀来操纵的制动机。机车上电空制动系统设备, 每一辆车的空气制动装置配套有电控电磁阀箱。机车上的司乘人员分别操纵电空制动系统设备的制动或缓解等作用的按钮, 电信号同时控制每一辆车电控电磁阀箱的相应的电磁阀动作, 实现其制动装置产生相应的作用。为防止电控系统发生故障时, 列车失去制动控制, 现今的电空制动机仍保留着压力空气操纵装置, 以备在电控系统发生故障时, 能自动地转为压力空气操纵。这种制动机的主要优点是全列车能迅速发生制动和缓解作用, 列车前后部制动机动作一致性较好, 列车纵向冲动小, 制动距离短, 适用于高速、重载列车。

#### (五) 轨道电磁制动机

在每一个转向架上设有可起落的电磁铁, 司机操纵制动时, 将悬挂在转向架上导电后起磁感应的电磁铁放下压紧钢轨, 使它与钢轨发生摩擦而产生制动力。在高速旅客列车上与空气制动机并用。其优点是制动力不受轮轨间的黏着系数限制, 避免车轮滑行, 但重量较大, 增加了车辆的自重并加速了钢轨的磨耗。

#### (六) 线性涡流制动

在每一个转向架上设有可起落的电磁铁, 司机操纵制动时, 将悬挂在转向架上导电后起磁感应的电磁铁放下距离轨面上方几毫米处, 利用它和钢轨的相对运动使钢轨表面产生感应电磁涡流, 从而产生阻力并使钢轨发热, 变列车动能为热能, 由钢轨和电磁铁将热量逸散于大气。

#### (七) 再生制动

列车制动时, 使电力机车或电力牵引的摩托车组的牵引电动机转变为发电机, 将运行中的列车动能通过发电机转变为电能反馈回电网 (供电网范围内的其他列车牵引使用), 使列车的动能转变为可利用电能的制动方式。



再生制动

#### (八) 电阻制动

电力机车、用电力传动的内燃机车、摩托车组或地下铁道车辆。制动时, 变牵引电动机为发电机, 将运行中的列车动能通过发电机转变为电能消耗于电阻, 用以控制速度。其优点是效率高, 不会发生长时间抱死车轮的现象, 高速时制动力大, 但低速时它的效率就减低,

并且一般列车（除动力分散性的城市轨道交通车辆）带电动机的车辆比率不大，故受到一定限制，平常均与空气制动机同时配合使用。

## 任务三 制动基础理论



### 任务描述

在铁路运输中，机车车辆是编组成列车运行的，制动管又细又长，空气又是弹性物质，司机在车头撘闸制动，空气在制动管中的传播具有延迟性，造成车辆制动前后一致性差，纵向冲击大，只有学懂车辆制动系统理论，才能更好地操纵使用好制动机。假如你是制动专家，制动力的大小直接关系到行车安全和高速重载的发展，制动理论知识的学习将为你解答制动设计系统朦胧的面纱。



### 任务目标

#### 1. 知识目标

- (1) 会计算分析制动缸压力和制动倍率；
- (2) 掌握制动管最小有效减压量的确定原则，会确定分析制动管最小有效减压量；
- (3) 掌握制动管最大有效减压量的确定原则，会确定分析制动管最大有效减压量。

#### 2. 能力目标

- (1) 理解制动管减压量和制动力的关系；
- (2) 区分直接作用式和间接作用式制动缸压力计算。

#### 3. 职业素养目标

- (1) 安全第一、预防为主、严规细操；
- (2) 协作意识、环保意识、节约意识。



### 知识储备

#### 一、制动名词术语

##### (一) 压力与压强

理论上，压力与压强是两个不同的物理量。压力是指物体间的相互作用力，其单位为牛顿（N）；而压强则是指单位面积上所受力的大小，其单位为帕（Pa，N/m<sup>2</sup>）。

在空气管路系统中，人们习惯将“压强”称为“压力”，但其含义不变，只是名称的更换。例如，制动管“压力”为 500 kPa，实际上指制动管“压强”为 500 kPa。

##### (二) 绝对压力及表压力

由物理学可知,大气对地球表面作用着一定压力,这一压力称为大气压。人们定义 760 mm 高水银柱的压力为一个标准大气压,一般以 1 atm 计量,换算成国际单位制为 101.333 3 kPa。工程上为计算方便,一般取 100 kPa。

绝对压力是指压力空气的实际压力。若气体未压缩而呈自由状态,其绝对压力即为大气压力,若处于绝对真空状态,则其绝对压力为零。

表压力是指压力表指示的压力值。由于一般压力表只指示高于大气压力数值(真空压力表则例外),所以绝对压力与表压力的差值为大气压力值。

可见,绝对压力等于表压力与大气压之和。



二压力机构



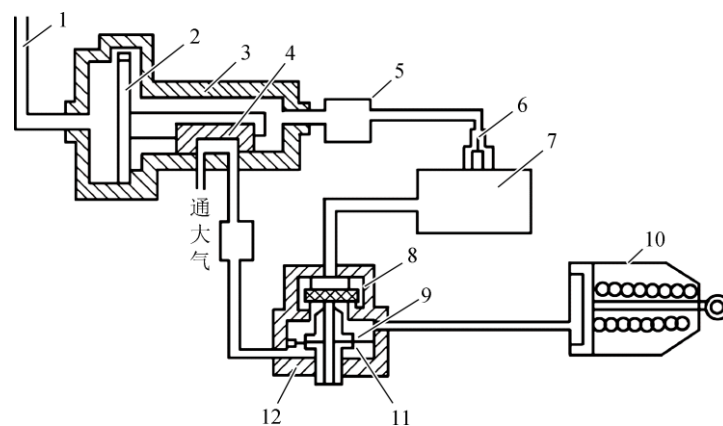
三压力机构

### (三) 二压力机构及三压力机构制动机

凡是根据两种压力之间的变化来控制三通阀或分配阀的主活塞动作,以实现制动、缓解与保压作用的制动机,称为二压力机构制动机。如, GK 型三通阀主活塞两侧的压力空气分别来自制动管与副风缸; 109 型分配阀的主阀活塞两侧的压力空气分别来自制动管和工作风缸。这种制动机只具有—次缓解性能,而不具备阶段缓解性能。即当制动管充气至高于副风缸或工作风缸—定压力时,就推动三通阀(或分配阀)主活塞至充气缓解状态,直至实现制动机的完全缓解为止。

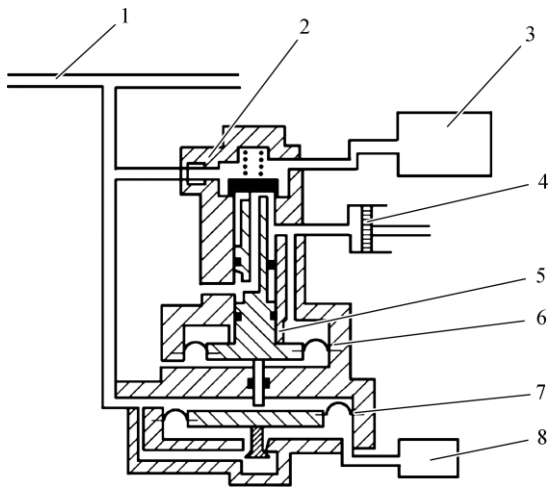
为适应铁路运输发展的需要,制动机应具备阶段缓解性能与自动补风性能。因此,目前对分配阀进行了改造,即在主活塞上除保留制动管与工作风缸的作用外,另增加制动缸压力的作用。这种根据 3 种压力之间的变化来控制分配阀的主活塞动作,以实现制动、缓解与保压作用的制动机,称为三压力机构制动机。如国产的 JZ-7 型、美国生产的 26-L 型制动机均为三压力机构制动机。

有时为了满足二压力机构制动机与三压力机构制动机混编的需要(前者缓解较后者快),通常在三压力机构制动机上加装转换装置,以实现二、三压力机构制动机的转换。例如 JZ-7 型和 26-L 型制动机均属二、三压力可调式制动机。各种压力机构制动机的作用示意图如图 1-3-1、1-3-2 和 1-3-3 所示。



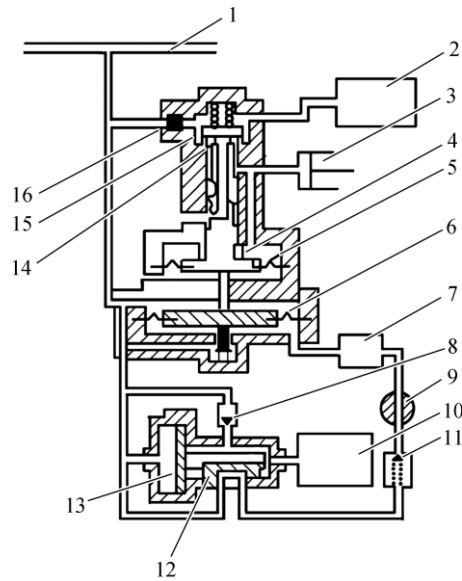
1—制动管; 2—主活塞; 3—分配阀; 4—滑阀; 5—工作风缸; 6—止回阀; 7—副风缸;  
8—均衡阀; 9—均衡活塞; 10—制动缸; 11—容积室; 12—中继阀。

图 1-3-1 二压力机构分配阀作用示意图



1—制动管；2—分配阀；3—副风缸；4—制动缸；  
5—缩孔；6—小膜板；7—大膜板；  
8—工作风缸。

图 1-3-2 三压力机构分配阀作用示意图



1—制动管；2—副风缸；3—制动缸；4—弹簧；5—小活塞；  
6—大活塞；7—定压风缸；8—充气止回阀；9—转换塞门；  
10—工作风缸；11—止回阀；12—滑阀；13—活塞；  
14—排风阀口；15—进排风阀；16—止回阀。

图 1-3-3 二、三压力可调式分配阀作用示意图

#### (四) 空气波和空气波速

##### 1. 空气波

制动管有两种功能：一是向列车制动系统充风（包括漏泄时的补风）；二是通过充风或排风，引起制动管空气压力的增减，从而控制全列车制动机的动作。在铁路运输中，由于机车车辆是编组成列车运行的，制动管又细又长，空气又是个弹性的物质。所以，当司机在列车前端控制制动管充风或排风时，并不是全列车制动管立即同时、同步地增压或减压。以施行制动为例，首先是列车前端制动阀附近的制动管空气压力开始下降，使其原有的压力平衡遭到破坏。然后，这一压降沿着制动管以一定的速度逐渐向后传播，直到列车尾端制动管封闭处的压力也开始下降。当这一压降由前向后传播时，制动管前端的空气压力继续下降，新的压降也不断向后传播。这种空气的压力波动沿制动管长度方向由前向后传播所形成的波，称为空气波。它的传播如同投石于湖中引起的水面波纹不断向外扩散一样，也是一种机械波。不过，它是沿制动管传播的一种空气波，其性能与声波等其他空气波相似。

在列车前端排风减压并且不断地向后传播的过程中，制动管内的压力空气不断地膨胀，它的压能不断地转化为动能。因此，它不断地由后向前连续流动，经由制动阀排气口排向大气。显然，气体的连续流动与压降的传播不是一回事。压降的传播（空气波）属于一种振动波，它按振动的规律在介质中进行传播；空气在管内的连续流动则不是一种波，而是介质的一种连续运动，故周围（如管壁）阻力对它的影响很大。另外，在减压时气流方向与压降的传播方向是相反的（充风增压时空气波传播方向与气流方向虽然相同，但也不是一回事）。

由于空气波在传播过程中能量有损失，所以空气波动强度实际上是逐渐减弱的，就如投石于湖中激起的水波在向外扩展中逐渐减弱一样，因此制动管的减压速度也是越往后越低。

## 2. 空气波速

通常，以物理量“空气波速”来衡量空气波传播的快慢，所谓空气波速是指空气波的传播速度。可用下列公式计算

$$v_{kb} = \frac{L_{kb}}{t_{kb}}$$

式中  $v_{kb}$ ——空气波速 (m/s)；  
 $L_{kb}$ ——空气波传播的距离 (m)；  
 $t_{kb}$ ——空气波传播的时间 (s)。

一般地，空气波速为 330 m/s 左右。

目前，要想大幅度提高空气波速，使列车前后部的制动管减压速度达到最大限度的一致性，采用电气控制的电空制动机是一个有效的途径。

## (五) 制动管减压量与减压速度

制动管减压量为列车管减压前后的压力差。

空气波传到列车中任一分配阀后，该阀主活塞外侧（制动管一侧）即开始减压。但是，要使主活塞动作，还必须使主活塞两侧形成一定的压力差，而且压力差要累积到大于主活塞的移动阻力，主活塞才能移到制动位，才能沟通作为风源的副风缸压力空气进入制动缸的通路，从而实现制动作用。此压力差的建立取决于制动管的减压速度。减压速度大，压力差建立就快，反之就慢。如果减压速度过低，由于副风缸压力空气经充气通路逆流入制动管，主活塞两侧的压力差就建立不起来，阀就不能产生动作。

在列车中各车辆的分配阀处的减压速度，受到距排风口的远近、制动管长度、车辆制动支管的长度及主活塞外侧容积、制动阀排气方式和制动管定压等许多因素影响。

## (六) 制动波和制动波速

### 1. 制动波

如前所述，当司机施行制动时，由于空气波的存在，列车中各制动机的制动作用并不是全列车立即同时、同步地发生，而是有一个陆续发生的过程。在理想情况下，制动作用沿列车长度方向由前向后逐次发生，这种制动作用沿列车长度方向由前向后逐次传播的现象，人们把它叫作“制动波”。

实际上，由于各制动机的结构、性能和状态的影响，制动作用有时就不是完全由前向后逐次发生，而是存在某种“跳越”现象。即，列车中某车辆或某几辆车的制动作用可能比其后的车辆发生得还要晚。这说明，制动波并不是一种波，只是习惯上那么叫罢了。

### 2. 制动波速

衡量制动波传播速度的物理量，称为制动波速。一般以“m/s”为计量单位。

制动波速  $w_{zb}$  通过试验由下式求得

$$w_{zb} = \frac{L_{zb}}{t_{zb}} = L_{zb} / (t_{kb} + t_d)$$

式中  $w_{zb}$ ——制动波速 (m/s);  
 $L_{zb}$ ——制动波传播距离 (一般以制动管长度计算, m);  
 $t_{zb}$ ——制动波传播时间 (从开始减压至最后一台制动机开始动作时为止, s);  
 $t_{kb}$ ——空气波传播时间 (s);  
 $t_d$ ——制动机动作时间 (s);

由于制动波的传播速度受到空气波传播快慢、三通阀 (分配阀) 动作灵敏性及制动机性能好坏等因素的限制, 所以, 制动波速总比空气波速要小。

制动波速是综合评定制动机性能的重要指标。制动波速越高, 表明列车前、后部制动作用的同时性越好, 有利于减轻制动时的纵向动力作用和缩短制动距离; 同时制动波速越高, 则制动作用的传播长度可更大些, 即能适应长大列车的要求。目前我国性能较好的制动机, 紧急制动波速可达 250 m/s 以上, 一般在 150 ~ 280 m/s; 常用制动波速可达 225 m/s 以上, 常用制动波速一般在 60 ~ 255 m/s。

近年来, 有关部门研制了新型车辆制动机和机车制动机。各种阀类采用橡胶膜板活塞、柱塞结构, 使其气密性好, 灵敏度高, 动作时间短, 从而使制动机性能更加优越, 适应了客观要求。但仍需研究如何进一步提高制动波速, 以适应高速、重载列车发展的需要。

### (七) 缓解波和缓解波速

与制动波和制动波速相似, 当司机操纵制动机进行缓解时, 缓解作用沿制动管长度方向由前向后逐次传播的现象, 称为缓解波。其传播的速度称为缓解波速。

同样, 缓解波速也受到空气波传播快慢、三通阀 (分配阀) 动作灵敏性及制动机性能好坏等因素的影响, 所以, 如何提高缓解波速也成为亟待解决的问题之一。目前, 国产 120 型控制阀的缓解波速已达到 150 m/s。

### (八) 制动机的稳定性、安定性与灵敏度

#### 1. 稳定性

当制动管减压速率低于某一数值范围时, 制动机将不发生制动作用的性能, 称为制动机的稳定性。也就是说, 要使制动机可靠地产生制动作用, 除了要有一定的制动管减压量外, 还需要一定的减压速率, 两者缺一不可。其数值范围因各型制动机而不同。我国规定: 制动管减压速率或漏泄小于 20 kPa/min。

#### 2. 安定性

常用制动时不发生紧急制动作用的性能, 称为制动机的安定性。即当制动管减压速率为 10 ~ 40 kPa/s 时, 紧急阀不应动作。

#### 3. 灵敏度

当制动管减压速率达到一定数值范围时, 制动机必须产生制动作用的性能, 称为制动机的灵敏度。一般地, 常用制动灵敏度为 10 ~ 40 kPa/s; 紧急制动灵敏度为 70 kPa/s。

上述三者之间相互联系，在同一制动机上必须协调一致，保证三者之间有明显的隔离区间，否则将使制动机无法正常工作。

## 二、制动缸压力的计算

### (一) 空气制动机的工作过程

空气制动机的工作过程是利用压力空气的压力与容积的变化关系来实现的。如果空气制动机的型号一定，那么空气的压力与容积之间保持着一定的关系。

根据热力学的推论认为，克拉贝隆理想气体状态方程

$$PV = GRT$$

式中  $P$ ——气体的压力 (Pa, N/m<sup>2</sup>);

$V$ ——气体的容积 (m<sup>3</sup>);

$T$ ——气体的温度 (K);

$G$ ——气体的摩尔数 (mol);

$R$ ——普适气体恒量,  $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。

该公式同样适用于实际气体。气体的变化又分为绝热、等温、等压以及多变等变化过程。

在空气制动机的工作过程中，一方面，虽然空气压缩机产生的压力空气具有一定的温度，但压力空气须经散热管进入总风缸，并且总风缸又置于大气之中，所以当总风缸向制动管及各风缸充入压力空气时，压力空气都已经过充分冷却，使其温度与外界接近于相等。另一方面，在制动过程中，随着制动管减压速度的不同，副风缸向制动缸（或工作风缸向容积室）充风速度也不相同，致使气体因动能的变化而造成气体温度的波动和压力的波动。但待风缸的压力稳定后，其气体温度与大气温度也接近于相等（有关试验资料表明，制动机工作过程受到温度的影响约为 1℃），同时，在制动机中存在着各种漏泄和间隙，对计算精确度也有影响。所以，为简化计算起见，可以忽略温度变化对计算结果的影响，即把压力与容积的变化过程看作是等温变化过程。根据波义耳-马略特定律，空气压力与容积之间的关系为

$$PV = \text{常量}$$

式中  $P$ ——压力空气的压力（绝对压力，Pa, N/m<sup>2</sup>);

$V$ ——压力空气的容积 (m<sup>3</sup>)。

即

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

上式说明压力空气的绝对压力与体积的乘积为常量，即等温过程变化前与变化后，其压力与体积乘积相等。

### (二) 制动缸压力的计算

常用制动过程中，分析制动机制动管、副风缸和制动缸之间的变化关系时，应考虑下列因素：

(1) 当制动管的减压量非常小时，三通阀的充气沟作为制动管与副风缸的连通路并未

被主活塞切断时，制动管与副风缸的空气压力是平衡的。

(2) 制动时，进入制动缸的空气量等于副风缸排出的空气量，而副风缸减压后的压力与制动管压力相平衡。

(3) 在制动计算中，副风缸与制动缸的容积之比选取 3.25 : 1 (即  $V_f : V_z = 3.25 : 1$ 。该比值并不是副风缸和制动缸的实际比值，而是考虑到各空气通路所占有的容积和漏泄量诸因素后的换算比值)。

下面，以副风缸内的压力空气为研究对象，根据波义耳-马略特定律列方程式

$$P'_0 V_f = (P'_0 - r) V_f + P'_1 V_z$$

化简得 
$$P'_1 = \frac{V_f}{V_z} \times r \quad (1-3-1)$$

或 
$$P_1 = P'_1 = \frac{V_f}{V_z} \times r - 100 \quad (1-3-2)$$

式中  $V_f$  ——副风缸容积 ( $m^3$ );  
 $V_z$  ——制动缸容积 ( $m^3$ );  
 $P'_0$  ——列车管定压、绝对压力 (kPa);  
 $P'_1$  ——制动缸压力，绝对压力 (kPa);  
 $P_1$  ——制动缸压力，表压力 (kPa);  
 $r$  ——制动管减压量 (kPa)。

式 (1-3-1) 或 (1-3-2) 说明制动缸压力与副风缸和制动缸的容积之比以及制动管的减压量有关。当副风缸与制动缸的容积比值一定时，制动缸的压力正比于制动管的减压量  $r$  值，所以司机操纵列车时，通常是通过控制制动管减压量  $r$  值来控制列车制动力的大小。

下面，我们具体讨论 GK 型车辆制动机和使用 104 型分配阀制动缸压力的计算问题。

### 1. GK 型车辆制动机

对于 GK 型车辆制动机，其副风缸与制动缸的容积比为  $\frac{V_f}{V_z} = 3.25$ ，则有

$$P_1 = 3.25r - 100 \quad (\text{kPa}) \quad (1-3-3)$$

可见，制动管减压量  $r$  值取不同值时，便可得到相应的制动缸压力。

**【例 1-1】** 设制动管减压量为 50、100 和 140 kPa 时，制动缸压力分别是多少？

**解：**(1)  $r = 50$  kPa 时， $P_1 = 3.25 \times 50 - 100 = 62.5$  (kPa)

(2)  $r = 100$  kPa 时， $P_1 = 3.25 \times 100 - 100 = 225$  (kPa)

(3)  $r = 140$  kPa 时， $P_1 = 3.25 \times 140 - 100 = 355$  (kPa)

### 2. 104 型分配阀

104 型分配阀属于二压力机构分配阀，制动缸的压力取决于容积室的压力，而容积室的压力则与制动管定压、制动管减压量、容积室的大小及工作风缸容积等有关。按照其作用原理，根据波义耳-马略特定律，经必要的参数修正得到下式

$$P_1 = P_r = 2.6r \quad (1-3-4)$$





图 1-3-4 制动倍率计算简图

根据图 1-3-4，各轴制动倍率计算如下：

1. 第 II 轴制动倍率  $\beta_2$

制动缸活塞推力传达到第 II 位轴闸瓦，经过制动缸前杠杆和一位转向架的制动杠杆两个杠杆，其制动倍率计算如下：

由于  $P_r \times l_1 = P_1 \times l_2$ （以  $a$  为支点）

所以  $P_1 = P_r \cdot \frac{l_1}{l_2}$

又由于  $P_1(l_3 + l_4) = K_2 \cdot l_4$

所以  $K_2 = P_1 \cdot \frac{l_3 + l_4}{l_4} = P_r \cdot \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{l_3 + l_4}{l_4}$

令  $\beta_2 = \frac{K_2}{P_r}$

则  $\beta_2 = \frac{K_2}{P_r} = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{l_3 + l_4}{l_4}$

作用于第 II 位制动梁的闸瓦压力为

$$K_2 = P_r + \beta_2$$

计算说明从制动缸到第 II 轴闸瓦的制动倍率，等于作用力传递所经过的传动杠杆的主动臂乘积与从动臂乘积的比值。因此，同理可以求出其他各轴的制动倍率。

$K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 、 $K_4$  分别为 I 位、II 位、III 位、IV 位制动梁两块闸瓦的压力。

2. 第 I 轴制动倍率  $\beta_1$

制动缸活塞推力传达到第 I 位轴闸瓦，经过制动缸前杠杆，一位转向架的制动杠杆和固定杠杆 3 个杠杆，其制动倍率为

$$\beta_1 = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{l_3}{l_4} \cdot \frac{l_3 + l_4}{l_3} = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{l_3 + l_4}{l_4}$$

作用于第 I 位制动梁的闸瓦压力为

$$K_1 = P_r + \beta_1$$

3. 第 III 轴制动倍率  $\beta_3$

制动缸活塞推力传达到第 III 轴闸瓦，经过制动缸前杠杆，制动缸后杠杆和二位转向架的制动杠杆等 3 个杠杆，其制动倍率为

$$\beta_3 = \frac{l_1 + l_2}{l_2} \cdot \frac{l_5}{l_5 + l_6} \cdot \frac{l_3 + l_4}{l_4}$$

因为  $\frac{l_1}{l} = \frac{l_5}{l_6}$

所以  $\frac{l_6}{l_5} = \frac{l_1}{l_2}, \frac{l_5+l_6}{l_5} = \frac{l_1+l_2}{l_2}$

将  $\frac{l_5}{l_5+l_6} = \frac{l_1}{l_1+l_2}$  代入上式得

$$\beta_3 = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{l_3+l_4}{l_4}$$

作用于第Ⅲ位制动梁的闸瓦压力为

$$K_3 = P_r \times \beta_3$$

#### 4. 第Ⅳ轴制动倍率 $\beta_4$

制动缸活塞推力传达到Ⅳ轴闸瓦，经过制动缸前杠杆，制动缸后杠杆，二位转向架的制动杠杆和固定杠杆等4个杠杆，其制动倍率为

$$\beta_4 = \frac{l_1+l_2}{l_2} \cdot \frac{l_5}{l_5+l_6} \cdot \frac{l_3}{l_4} \cdot \frac{l_3+l_4}{l_3} = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{l_3+l_4}{l_4}$$

作用于Ⅳ位制动梁的闸瓦压力为

$$K_4 = P_r \cdot \beta_4$$

从上述计算结果可知，各轴的制动倍率相等，即  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$ ，每一轴的制动倍率都等于制动缸杠杆对上拉杆传力的倍率  $\frac{l_1}{l_2}$  与转向架制动杠杆向中部制动梁传力的倍率  $\frac{l_3+l_4}{l_4}$  的乘积。

#### 5. 全车制动倍率

如果不计闸瓦悬挂的影响，则一辆车的制动倍率为

$$\beta = \frac{\sum K}{P_r} = \frac{K_1+K_2+K_3+K_4}{P_r} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 4 \cdot \frac{l_1(l_3+l_4)}{l_2 \cdot l_4}$$

制动倍率是基础制动装置的重要特性，制动倍率的大小与制动缸活塞行程及闸瓦与车轮之间的间隙（闸瓦间隙）大小无关，仅与基础制动装置各杠杆的孔距尺寸有关。选择制动倍率应适中，制动倍率过小，要保证足够的闸瓦压力，必须考虑提高制动管定压，或增大制动缸直径，则会造成空气制动系统耐压强度及漏泄严重的问题，或者增大制动缸直径带来不便安装布置的困难；制动倍率过大，又会带来闸瓦磨耗，引起制动缸活塞行程显著伸长，影响制动效果，检修工作量大的问题。我国客货车的制动倍率，一般客车在7~9，货车在8~10。

### （二）基础制动装置的制动效率

在制动过程中，由于基础制动装置中的各杠杆、拉杆销接处的摩擦，制动缸缓解弹簧和制动梁缓解弹簧的抵抗作用，制动缸活塞与制动缸壁的摩擦等，使得作用在各闸瓦上的实际压力值小于理论计算出来的闸瓦压力值。实际闸瓦压力值与理论闸瓦压力值的比值称为制动效率，一般用  $\eta$  表示，即

$$\eta = \frac{\text{全车实际闸瓦压力}}{\text{制动缸活塞推力} \times \text{制动倍率}}$$

制动效率的大小，与各杠杆和拉杆的结构型式、销套连接的多少、制动缸的直径大小，以及制动装置保养的好坏，气候条件等都有着直接的关系。同时，在车辆处于静止和运转的不同状态时，对制动效率  $\eta$  值也有较大影响。

目前，根据我国的具体情况，在计算闸瓦压力时，制动效率的取值如下：在运行时，紧急制动客车取 0.85，货车取 0.90；在停车时，制动效率大为降低，只有 0.70 左右。

## 四、制动管最小及最大有效减压量确定

### (一) 制动管最小有效减压量

根据理论分析，由式  $P_1 = \frac{V_1}{V_z} \cdot r - 100$  可知，制动管不论减压多少，制动缸均应得到相应的压力，但在实际上是有差异的。

无论何种类型的机车制动机，都以控制全列车实现制动、缓解与保压为目的，而只有全列车的闸瓦均压紧车轮，才有效地产生了制动作用。实际工作表明，制动缸充风后将制动缸活塞推出使闸瓦压紧车轮的过程中，需要克服制动缸弹簧对活塞的背压及相关的摩擦阻力，因此制动缸存在最小有效制动缸压力，那么相对应地存在一个制动管最小有效减压量（简称制动管最小有效减压量） $r_{\min}$  值。下面，以 GK 型车辆制动机为例，介绍最小有效减压量  $r_{\min}$  的确定方法。

实践表明，只有制动缸压力达到 35 kPa 以上时，才足以克服制动缸弹簧对活塞的背压以及各种摩擦等阻力，产生有效的制动作用。则有

$$P_{1 \min} = 35 \text{ (kPa)}$$

将  $P_{1 \min}$  值代入式  $P_1 = 3.25r - 100$  中可得

$$P_{1 \min} = 3.25r_{\min} - 100$$

所以

$$r_{\min} = 41.5 \text{ (kPa)}$$

以上计算结果说明：当制动管减压量小于 41.5 kPa 时，GK 型车辆制动机不足以产生有效制动。工作实践中，制动管最小有效减压量的确定，还要考虑其他因素的影响，例如，制动管减压值在车列中不是完全一致的，车列越长其尾部制动管减压值比首部越小，因此要求制动管减压量不能过低，避免后部车列无制动作用，以影响行车安全。一般地，单机时，最小有效减压量选取 40 kPa；牵引列车时，最小有效减压量选取 50 kPa；牵引 60 辆以上时，最小有效减压量选取 70 kPa。例如 DK-1 型电空制动机，在设计初制动时，考虑到最初制动管减压量的要求，制动管定压为 500 kPa 时，制动管最小有效减压量选取 36 kPa；制动管定压为 600 kPa 时，制动管最小有效减压量选取 56 kPa。

### (二) 制动管最大有效减压量

由式  $P_1 = \frac{V_f}{V_z} \times r - 100$  可知, 制动缸压力随制动管减压量的增加而正比例增加。但当制动管

减压量增大到(即制动管压力降到)一定程度时, 副风缸与制动缸的压力将达到平衡状态, 此时若制动管继续减压, 制动缸压力也不会上升, 因此, 制动缸存在制动缸最大压力  $P_{1\max}$  值, 而相应于制动缸最大压力  $P_{1\max}$  值的制动管减压量则被称为制动管最大有效减压量  $r_{\max}$  值。

### 1. 直接式 GK 型车辆制动机制动管最大有效减压量的确定

以副风缸内的压力空气为研究对象, 根据波义耳-马略特定律列方程

$$P'_0 V_f = P'_{1\max} (V_f + V_z)$$

所以  $P'_{1\max} = V_f \times P'_0 / (V_f + V_z)$  或  $P'_{1\max} = V_f \times P'_0 / (V_f + V_z)$

式中  $P'_0$ ——列车管定压, 绝对压力 (kPa);

$P'_{1\max}$ ——制动后制动缸与副风缸的平衡压力, 绝对压力 (kPa);

$P_{1\max}$ ——制动后制动缸与副风缸的平衡压力, 表压力 (kPa)

$V_f$ ——副风缸的容积 ( $\text{m}^3$ );

$V_z$ ——制动缸的容积 ( $\text{m}^3$ );

将  $\frac{V_f}{V_z} = 3.25$  代入上式得

$$P'_{1\max} = 0.765 P'_0 \quad \text{或} \quad P'_{1\max} = 0.765 P'_0 - 100$$

(1) 取制动管定压为 500 kPa (表压力) 时

$$P'_{1\max} = 0.765 \times (500 + 100) = 459 \text{ (kPa)}$$

即  $P_{1\max} = 0.765 \times (500 + 100) - 100 = 359 \approx 360 \text{ (kPa)}$

将  $P_{1\max} \approx 360$  代入式  $P_1 = 3.25r - 100$  中得

$$r_{\max} = (360 + 100) / 3.25 \approx 140 \text{ (kPa)}$$

(2) 取制动管定压为 600 kPa (表压力) 时

$$P'_{1\max} = 0.765 \times (600 + 100) = 535.5 \text{ (kPa)}$$

即  $P_{1\max} = 0.765 \times (600 + 100) - 100 = 435.5 \approx 436 \text{ (kPa)}$

将  $P_{1\max} \approx 436$  代入式  $P_1 = 3.25r - 100$  中得

$$r_{\max} = (436 + 100) / 3.25 \approx 170 \text{ (kPa)}$$

### 2. 间接式制动管最大有效减压量的确定

以工作风缸内的压力空气为研究对象, 根据波义耳-马略特定律列方程

$$P'_0 V_g + 100V'_r = P'_{r\max} (V_g + V_r)$$

可得  $P'_{r\max} = (P'_0 V_g + 100V'_r) / (V_g + V_r)$  或  $P'_{r\max} = (P'_0 V_g + 100V'_r) / (V_g + V_r) - 100$

式中  $P'_0$ ——列车管定压 (即制动前工作风缸压力), 绝对压力 (kPa);

$P'_{r\max}$  ——制动后工作风缸与容积室（即制动缸）压力，绝对压力（kPa）；

$P_{r\max}$  ——制动后工作风缸与容积室（即制动缸）压力，表压力（kPa）；

$V_g$  ——工作风缸容积（ $m^3$ ）；

$V'_r$  ——制动前容积室容积（ $m^3$ ）；

$V_r$  ——制动后容积室容积（ $m^3$ ）。

$$\begin{aligned}P'_{r\max} &= \frac{2.6}{2.6+1} P'_0 + 100 \times \frac{1}{2.6+1} \\ &= 0.722 P'_{r\max} + 27.8 \quad (\text{kPa})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P'_{r\max} &= P'_0 - 100 = 0.722 P_{r\max} + 27.8 - 100 \\ &= 0.722(P'_0 + 100) - 72.2 \\ &= 0.722 P_0 \quad (\text{kPa})\end{aligned}$$

(1) 取制动管定压为 500 kPa（表压力）时

$$P_{1\max} = P_{r\max} = 0.722 \times 500 \approx 360 \quad (\text{kPa})$$

将  $P_{1\max} = P_{r\max} \approx 360$  代入式  $P_1 = P_r = 2.6r$  中得

$$r_{\max} = 360/2.6 \approx 140 \quad (\text{kPa})$$

(2) 取制动管定压为 600 kPa（表压力）时

$$P_{1\max} = P_{r\max} = 0.722 \times 600 \approx 430 \quad (\text{kPa})$$

将  $P_{1\max} = P_{r\max} \approx 430$  代入式  $P_1 = P_r = 2.6r$  中得

$$r_{\max} = 430/2.6 \approx 170 \quad (\text{kPa})$$

可见,由于制动管的定压不同,其制动管最大有效减压量也不同。当制动管压力为 500 kPa 或 600 kPa 时,则其制动管最大有效减压量分别为 140 kPa 或 170 kPa。制动管减压量超过制动管最大有效减压量时即为过量减压,一般情况下应尽量避免,因损失压力空气而未能使制动力增加,并将延长充风时间,带来安全隐患。

综上所述,尽管制动缸压力正比于制动管减压量,但却是在一定范围内成立。实际工作过程中,制动缸压力受有效制动作用的限制,因而,制动管的减压量范围也就受到了相应的制动管最小、最大有效减压量的限制。

## 任务四 车辆制动机主要附件



### 任务描述

××××年4月4日0时40分××线×××次司机汇报:列车不保压,1时00分扣停××站6道,经检查机后31位车辆C70×××制动主管法兰处漏风,3时05分列检通知甩车,4时29分甩车完毕后开车,影响本列。根据《铁路交通事故调查处理规则》第十五条规定,

构成铁路交通一般 D21 事故。假如你是一名货车检车员，行车途中出现故障，列车是否继续前行，本节制动附件知识将为你解答故障处理流程和安全行车标准。



## 任务目标

### 1. 知识目标

- (1) 熟知列车主要附件的结构和功能；
- (2) 掌握制动机主要附件检修。

### 2. 能力目标

- (1) 熟知车辆《技规》篇，运用中按规则维修；
- (2) 具备检车员应急故障处理能力。

### 3. 职业素养目标

- (1) 安全第一、预防为主、严规细操；
- (2) 协作意识、环保意识、节约意识。

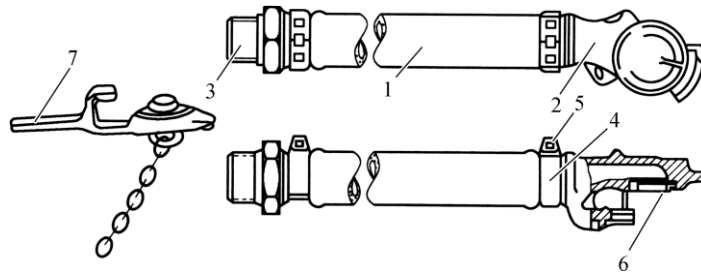


## 知识储备

### 一、制动软管连接器

#### (一) 制动软管连接器的构造

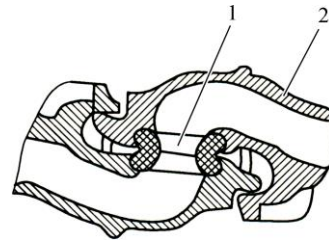
制动软管连接器是由制动软管及软管连接器等组成，它的用途是连接相邻各车辆的制动主管，能在列车通过曲线或各车辆间距变化时，不妨碍压缩空气的畅通，其构造如图 1-4-1 所示。



1—软管；2—软管连接器；3—软管接头；4—卡子；5—螺栓和螺母；6—垫圈；7—防尘堵。

图 1-4-1 制动软管连接器

制动软管的一端装有软管连接器,另一端装有软管接头,与折角塞门连接,软管连接器和软管接头都是用卡子和螺栓与制动软管紧固在一起。制动软管的长度以 560 mm 为标准,公差不得超过  $\pm 10$  mm,内径一般是 35 mm,外径是 52 ~ 54 mm。为保持两根软管的连接器互相连接后严密不漏,在连接器内嵌入一个软管垫圈,如图 1-4-2 所示。



1—垫圈; 2—软管连接器。

图 1-4-2 两根制动软管连接器连接状态

## (二) 制动软管连接器的风、水压试验

制动软管组装后以及车辆施行厂修、段修、辅修时,都必须按下列规定进行风、水压试验,合格后才准使用。

### 1. 风压漏泄试验

软管风压漏泄试验在特制的水槽中进行,软管内充入 600 ~ 700 kPa 的风压,保持 5 min 不发生下列情况之一者为合格:

- (1) 软管外围局部凸起,或周围膨胀有显著差异者。
- (2) 软管破裂或接头部分漏泄(但在软管表面或边缘发生小气泡,逐渐减少,并在 10 min 内即消失者不算漏泄,可以使用)。

### 2. 水压试验

软管在风压试验后,再进行水压强度试验,即在软管内充以 1 000 kPa 的水压保持 2 min 不发生下列情况之一者为合格:

- (1) 软管外径膨胀超过原型 8 mm。
- (2) 软管外径局部凸起以及局部膨胀有显著差异者。
- (3) 软管破损、漏水。

### 3. 风、水压试验标记

经过风压和水压试验合格的软管,应按 TB1—77 用白磁漆在中央部顺连接器方向涂打试验标记,如图 1-4-3 所示。

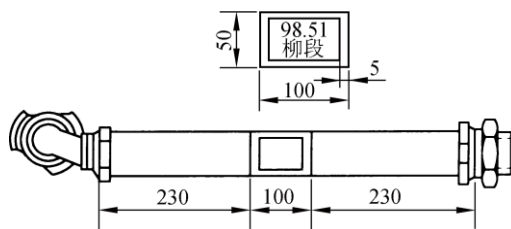


图 1-4-3 制动软管连接器的试验标记

## 二、制动管

制动管的用途是贯通车辆制动系统的压缩空气通路。通常包括制动主管和制动支管等。



贯通全车辆的制动管路称为制动主管。货车制动主管的直径为 32 mm；客车制动主管的直径为 25 mm，都是用钢管制成。制动主管的中央部分制成弯曲状，伸延到车辆两端梁的右侧，稍露出端梁外部。由于使用中制动主管两端腐蚀较多，为了便于更换，在两端各安装 250 ~ 300 mm 长的补助管。制动主管必须用卡子和螺栓并加弹簧垫圈固定在车底架上，以防因振动而磨伤。

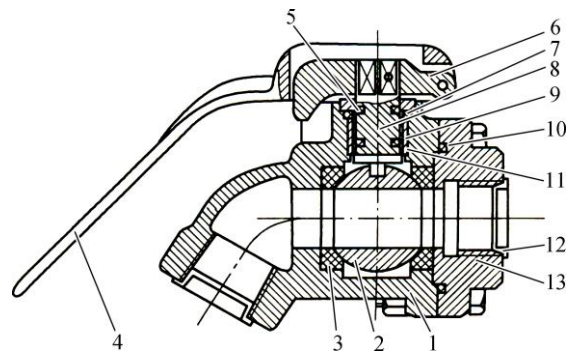
在制动主管中部，用 T 形三通接头接出一根制动支管，与三通阀或分配阀等部件连接。

客货车制动支管的直径均为 25 mm。对车辆制动主、支管连接最好采用法兰连接，以保证主、支管的强度。在改装时，法兰体焊接位置要端正，两法兰面要平行，防止漏气。法兰密封橡胶垫应防止老化、过薄，避免制动主、支管漏泄压缩空气。法兰体变形、裂纹时更换，密封垫圈须更换新品；组装后各螺栓不得松动。

### 三、折角塞门

折角塞门安装在制动主管的两端，用以开通或关闭主管与软管之间的通路，以便于关闭空气通路和安全摘挂机车、车辆。球芯式折角塞门的构造作用分述如下，其构造如图 1-4-4 所示。

球芯式折角塞门由塞门体 1、塞门芯 2、密封垫圈 3、塞门芯轴 8、手把 4、套口 6、盖 13 和密封圈等组成。塞门芯为 45 钢制成外径为 55 mm 的圆球，表面镀铬并抛光，上面开一个  $\Phi 32.5$  mm 的贯通孔，通孔面积为锥芯式的 1.21 倍，而且和制动管同为圆形通径，这样便减少了空气流通阻力。为保证塞门良好的气密性，球形塞门芯的两侧各设一个耐油耐寒并具有自润滑性能的橡胶密封垫圈，与球芯的接触面也为球面，形成两个半球形橡胶密封垫圈，包住一个球芯的结构。由于橡胶密封垫圈具有一定预压量，利用其弹性可补偿因温度变化所造成的球芯塞门与橡胶密封垫圈胀缩不同的差别，故其密封性能良好，不会向任何方向窜风而造成漏泄。此外，为防止塞门向上窜风，在塞门芯轴与塞门芯轴套之间及塞门芯轴套与塞门体之间，分别装有  $\Phi 20$  mm 和  $\Phi 35$  mm 的 O 形密封圈。在塞门体与塞门盖之间也装有  $\Phi 75$  mm 的 O 形密封圈。



1—塞门体；2—球形塞门芯；3—密封垫圈；4—手把；  
5、7、9、10—O形密封圈；6—套口；8—塞门芯轴；  
11—塞门芯轴套；12—防尘堵；13—盖。

图 1-4-4 球芯式折角塞门

球芯折角塞门的手把，也有开通与关闭两个作用位置，当手把置于与塞门体成水平位置时，为开通位置，在这位置球芯塞门芯的圆形通孔完全连通制动主管与制动软管，使压缩空气有较好的通过面积。当手把置于与塞门体成垂直方向的位置时，塞门芯的球面正好堵住了制动主管与制动软管的通路，成关闭位置。

段修时，球芯折角塞门须经风压作用试验，不良时，须分解检查 O 形密封圈，橡胶密封垫圈、球形塞门芯等部件。组装时应将各零部件清洗干净，涂抹适量的硅脂，并按规定进行漏泄及作用试验。

## 四、截断塞门

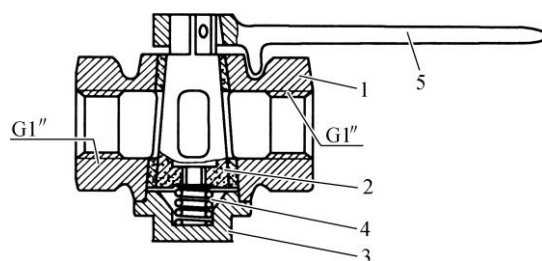
截断塞门安装在制动支管上远心集尘器的前方，当列车中的车辆因装载货物的特殊情况或列车检修作业需要停止该车辆制动机的作用时，关闭该车的截断塞门，切断车辆制动机与制动主管的压缩空气通路，同时排出副风缸和制动缸的压缩空气，使制动机缓解，以便于检修人员的安全操作。

列车中关闭截断塞门的车辆称为“制动关门车”，简称“关门车”。

《技规》第 202 条对制动关门车有如下规定：货物列车中因装载的货物规定需停止制动作用的车辆，自动制动机临时发生故障的车辆，准许关闭截断塞门（简称关门车），但主要列检所所在站编组始发的列车中，不得有制动故障关门车。编入列车的关门车数不超过现车总辆数的 6%（尾数不足一辆按四舍五入计算）时，可不计算每百吨列车重量的换算闸瓦压力，不填发制动效能证明书；超过 6% 时，按规定计算每百吨列车重量的换算闸瓦压力，并填发制动效能证明书交与司机。关门车不得挂于机车后部三辆车之内；在列车中连续编挂不得超过两辆；列车最后一辆不得为关门车；列车最后二、三辆不得连续关门。旅客列车不准编挂关门车。在运行途中如遇自动制动机临时故障，在停车时间内不能修复时，准许有一辆关门车，但列车最后一辆不得为关门车。

截断塞门也有两种不同的结构形式，一种为锥芯独立式，一种为球芯组合式。

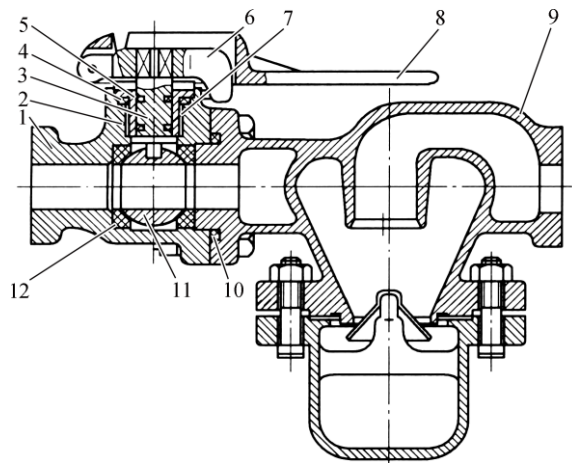
锥芯独立式截断塞门的构造与锥芯折角塞门的构造基本相同，仅外形及尺寸有所区别，如图 1-4-5 所示。手把与制动支管平行时为开通位置；手把与制动支管垂直时为关闭位置。



1—体；2—塞门芯；3—盖；4—弹簧；5—手把。

图 1-4-5 锥芯独立式截断塞门

球芯组合式截断塞门，就是球芯截断塞门与远心集尘器组合成一体。其塞门部分与球芯折角塞门基本相同，只是外形及尺寸有所差异，如图 1-4-6 所示。塞门芯用 45 钢制成，直径为 45 mm 的圆球，表面镀铬抛光，球芯的通孔直径为 25.5 mm，球芯通孔面积为锥形的 1.18 倍，且和制动支管同为圆形直径，减少了空气流动的阻力。为防止漏泄，在塞门芯轴上套装两个密封圈，在塞门芯轴套的丝扣根部、塞门体与远心集尘器体的连接处各装有一个密封圈。



1—塞门体；2—塞门芯轴套；3—塞门芯轴；4、5、7、10—密封圈；6—套口；  
8—手把；9—远心集尘器；11—塞门芯；12—防尘堵；12—密封垫圈。

图 1-4-6 球芯组合式截断塞门

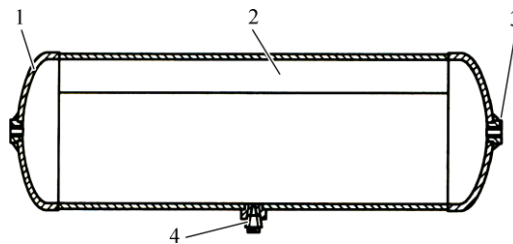
## 五、风 缸

### (一) 副风缸

副风缸是储存供制动缸用的压缩空气的容器。在制动时，通过三通阀或分配阀的动作，将其压缩空气送入制动缸，产生制动作用。

#### 1. 货车用副风缸

货车用副风缸常见的有 GK 型、103 型。GK 型副风缸是用钢板焊制成的，容积为 59 L，两端有管接头，分别安装连通管及缓解阀，中央部下方还有一个装排水堵的管接头，用来安装排水堵，如图 1-4-7 所示。



1—端盖；2—缸体；3—管接头；4—排水堵。

图 1-4-7 GK 型副风缸

103 型空气制动机所使用的副风缸，其容积的大小，是根据制动缸尺寸的大小来选配的，当制动缸的直径为 356 mm 时，副风缸的容积为 100 L。它的结构与 GK 型副风缸相似，但只在一端有螺孔，用以安装连通管。120 型空气制动机所使用的副风缸容积有 40 L 和 60 L 两种，分别与 254 mm 和 356 mm 制动缸相配，其结构也与 CK 型相似。

#### 2. 客车用副风缸

客车用副风缸容积较大，也是用钢板焊接而成，如图 1-4-8 所示。两端各设有一螺孔，以备从任意一端和三通阀或分配阀连通。中央部下方也设有一个螺孔，用来安装排水塞门。使用排水塞门可排除副风缸内的凝结水，也可兼作缓解阀用，其构造如图 1-4-9 所示。排水塞门与截断塞门的组成基本相同，仅外形较小，其手把的开闭位置与截断塞门相反，即手把与管路平行时为关闭位，垂直时为开通位。

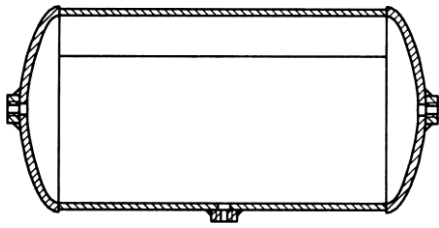
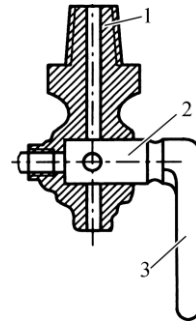


图 1-4-8 客车用副风缸或附加风缸



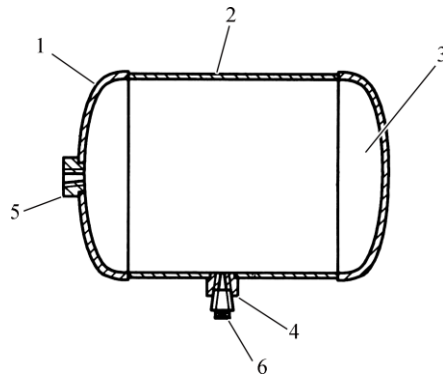
1—体；2—塞门芯；3—手把。

图 1-4-9 排水塞门

104 型制动机所使用的副风缸，其形状也和 GK 型相似，其容积有 120 L 和 180 L 两种，分别与直径 356 mm 和直径 406 mm 的制动缸相配。

## (二) 降压气室

降压气室用于 GK 型空气制动机。它是靠空重车转换塞门与制动缸连通，空车时用以扩大制动缸容积来降低制动缸压力的容器，其构造如图 1-4-10 所示。它用钢板焊接而成，一端设有安装连通管的管接头，中央部设有安装排水堵的管接头。有的降压气室在排水堵接头的对称位置上还有一个螺孔，用以安装空车安全阀，降压气室的容积为 17 L。



1—前盖；2—缸体；3—后盖；4、5—管接头；6—排风堵。

图 1-4-10 降压气室

## (三) 压力风缸

压力风缸是 103 型、104 型分配阀平时储存在压缩空气作为容积室制动时的压力源，并在充气时通过充气部控制副风缸的充气速度。它用钢板焊制而成，端部设安装连通管的接头，中部有安装缓解管的管接头，其容积为 11 L。各风缸、降压气室须进行 900 kPa 的水压试验，

裂纹时焊修，腐蚀深度超限时更换；各螺堵须分解，清除内部积水和尘砂；焊修后，各风缸须重新进行 900 kPa 的水压试验，保持 3 min 不得漏泄。

## 六、制动缸

制动缸是将压缩空气的压力转换为机械推力的部件。制动时，通过三通阀或分配阀的作用，制动缸接受副风缸送来的压缩空气，将制动缸活塞向外推出，变空气压力为机械推力，从而使基础制动装置动作，最后使闸瓦压紧车轮，产生制动作用。

缓解时，制动缸内的压缩空气经三通阀或分配阀排向大气，制动缸缓解弹簧使制动缸活塞复位，基础制动装置也随之复位，实现制动缸缓解作用。

### (一) N 型制动缸

客车用 N 型制动缸是由前盖、后盖、缸体、活塞、活塞杆及缓解弹簧等组成。N 型制动缸后盖上设有闸瓦间隙自动调整器的杠杆托，下部铸有三通安装座。

在制动缸缸体内壁靠后盖端上部设有一条漏风沟（75 mm × 3 mm × 1.5 mm），以防止因三通阀的故障轻微漏泄而引起自然制动。漏风沟长度应比制动缸活塞厚度稍大一些，过长将浪费压缩空气并影响制动效果；过短则不起漏风作用，不能防止自然制动。

### (二) 密封式制动缸

上述制动缸的结构都比较陈旧，特别是前端没有防尘装置，容易吸入灰尘，影响皮碗的使用寿命并降低气密性。当制动缸漏泄严重时，将造成列车制动力衰减，影响行车安全，在长大下坡道上运行时，问题尤为严重。密封式制动缸的结构如图 1-4-11 所示。

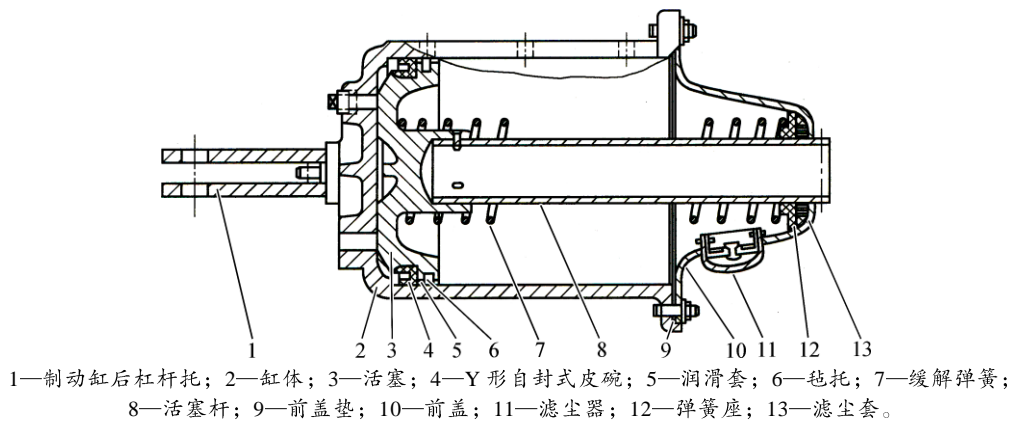


图 1-4-11 密封式制动缸（一体式压型前盖）

密封式制动缸和 N 型制动缸的区别是：制动缸缸体与后盖铸成一体（也有分开的）可提高气密性，Y 型自封式皮碗、润滑套、毡托、前盖设有滤尘器、滤尘套，取消了漏风沟。

为此，我国近年已研制推广使用一种密封式制动缸，由制动缸后杠杆托、缸体、活塞、Y 型自封式皮碗、润滑套、毡托、缓解弹簧、活塞杆、前盖垫、前盖、滤尘器、弹簧座、滤尘套组成。制动缸缸体与后盖铸成一体（也有分开的）可提高气密性；缸体内壁的粗糙度要

求达到  $R_a = 08 \mu\text{m}$ ，以减轻皮碗的磨损；前盖用钢板压型，质量仅为铸铁前盖的一半；前盖与活塞杆配合处加装毛毡滤尘套，并在前盖下方设滤尘器，使缓解时吸入缸体内的空气经过过滤，以保持缸内清洁；在活塞的整个圆周上开有两条槽，分别套装 Y 型皮碗和润滑套，润滑套和毡托组成润滑环，以保证皮碗与缸体间的润滑状态良好，并在活塞移动过程中起清扫作用；皮碗采用 Y 型自封式皮碗，目的是在制动过程中，靠空气压力的作用起自封作用，以保证良好的气密性，同时也方便检修。

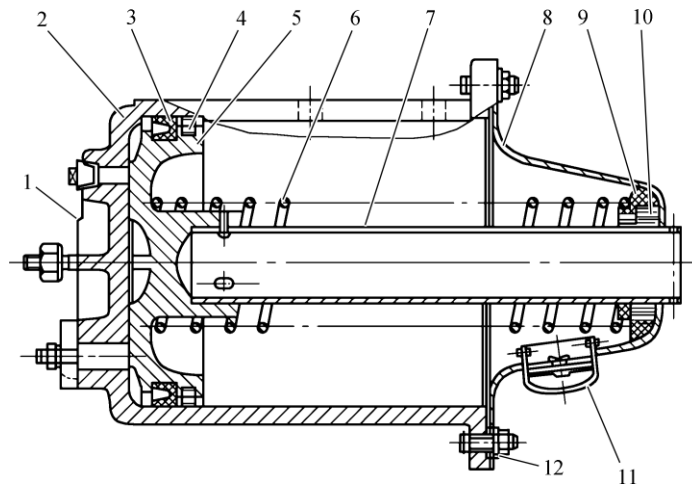
目前货车用的制动缸有普通型、密封式和旋压密封式制动缸。

普通型制动缸：由制动缸体、制动缸盖、活塞、活塞杆及缓解弹簧等组成。普通式制动缸在制动缸后盖进风口处的缸壁的顶端设有长 75 mm、宽 3 mm、深 1.5 mm 的漏风沟，当制动管有轻微漏泄或制动阀有故障时可避免产生自然制动。

密封式制动缸：目前有 254 mm × 254 mm 和 356 mm × 254 mm 两种规格。

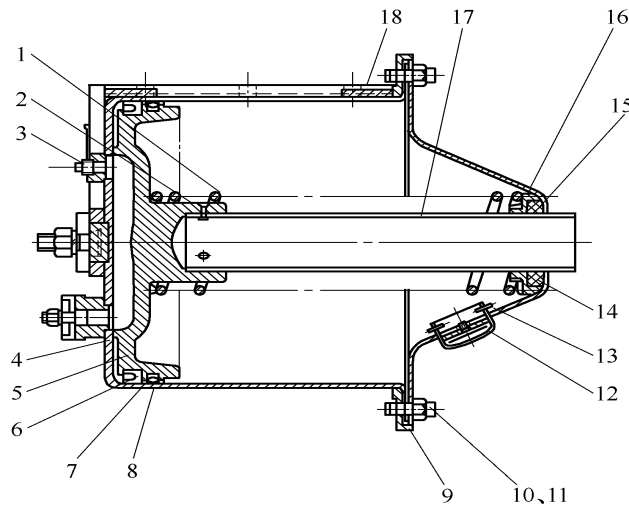
254 mm × 254 mm 规格的制动缸的缸体结构有一体式和分开式，一体式是把制动缸后盖与缸体铸造在一起，制动缸前盖则有铸铁件和钢板压型件两种。密封式制动缸在前盖与活塞杆之间装有滤尘套（铸铁前盖为滤尘器），其结构如图 1-4-12 所示。

旋压密封式制动缸：称压型密封式制动缸，主要由缸座组成、缸体组成、前盖组成、活塞等部件组成，如图 1-4-13 所示。目前有 254 mm × 254 mm 和 356 mm × 254 mm 两种规格。



1—后盖；2—缸体；3—皮碗；4—润滑套；5—活塞；6—缓解弹簧；7—活塞杆；8—前盖；  
9—弹簧座；10—前盖滤尘套；11—滤尘器组成；12—前盖垫。

图 1-4-12 密封一体式制动缸



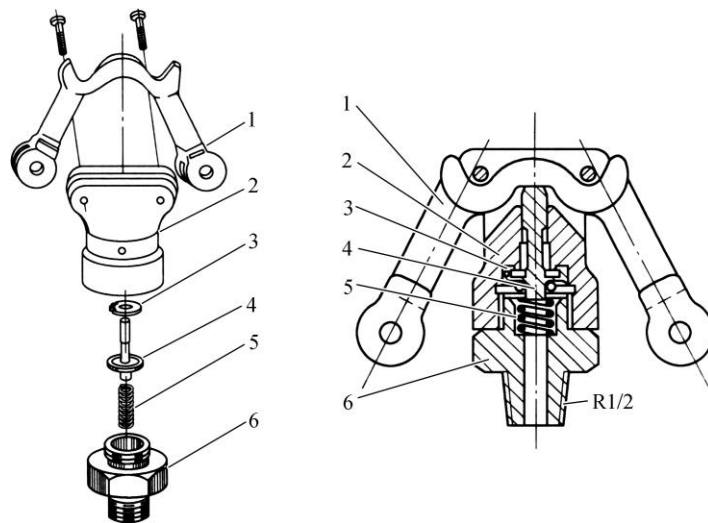
1—缓解弹簧；2—铆钉；3—螺堵；4—缸体组成；5—活塞；6—Y形皮碗；7—毡托组成；8—润滑套前盖；  
9—前衬垫；10—T形螺栓；11—螺母；12—滤尘器组成；13—销；14—前盖滤尘套组成；  
15—前盖组成；16—弹簧座；17—活塞杆；18—缸座组成。

图 1-4-13 旋压密封式制动缸

## 七、缓解阀

缓解阀是用于排出副风缸或压力风缸内压缩空气，使车辆制动机产生缓解作用的部件。一般安装在副风缸或压力风缸上，其构造如图 1-4-14 所示，它由阀上体 2、阀下体 6、阀 4、弹簧 5、缓解杆 1、阀垫 3 等组成。

在缓解杆的两侧各安装有直径为 10 mm 的铁棒作拉杆，并延至车体的两侧。拉动任意一侧的拉杆，都可使阀在缓解杆的作用下离开阀座，副风缸或压力风缸内的压缩空气便经过此阀口排向大气；当松开拉杆时，阀在弹簧的弹力作用下关闭阀口，停止排气。



1—缓解杆；2—阀上体；3—阀垫；4—阀；5—弹簧；6—阀下体。

图 1-4-14 缓解阀

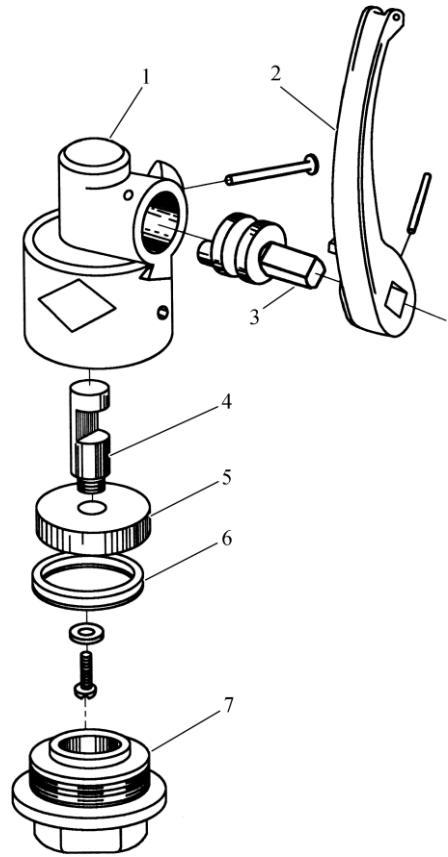
缓解阀有时由于阀与阀座有夹杂物或胶垫破损、弹簧衰弱、折损等原因，造成漏气；也有时由于排气孔堵塞、缓解杆折损以及阀杆顶部磨损等原因而产生不排气的故障。发现上述故障应及时修换。

## 八、紧急制动阀

紧急制动阀又称“车长阀”，安装在客车和货车特种车的车厢内，用红线绳铅封，紧急制动阀排风口须与墙板平行，在其附近的墙上须涂打或安装“危险请勿动”警示牌。它的用途是当列车在运行中遇有危及行车和人身安全等紧急情况时，由运转车长或有关乘务人员拉动此阀，使列车产生紧急制动作用，迅速停车，以保证行车安全。

### （一）紧急制动阀的构造及作用

紧急制动阀由阀体 1、手把 2、偏心轴 3、阀杆 4、阀 5、阀垫 6、阀座 7 等组成，如图 1-4-15 所示。其手把有直形和弯形两种。阀体上有排气孔，阀座下端与制动支管连接。平时手把处于上方位置，偏心轴在下方位置，阀与阀座密贴，遮断排气通路。使用时，拉动手把，偏心轴向上移动，带动阀上移，使之离开阀座，制动管内的压缩空气便经过阀与阀座间隙排向大气，使列车制动机发生紧急制动作用。如将手把向上移恢复原位，则偏心轴向下方移动，恢复关闭位置，停止排气。紧急制动阀的作用如图 1-4-16 和图 1-4-17 所示。



1—阀体；2—手把；3—偏心轴；4—阀杆；  
5—阀；6—阀垫；7—阀座。

图 1-4-15 紧急制动阀的构造

紧急制动阀的作用如图 1-4-16 和图 1-4-17 所示。



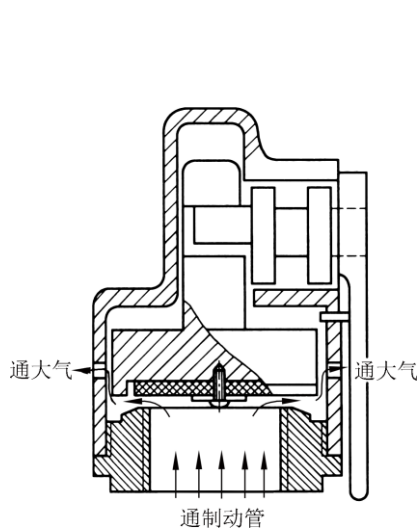


图 1-4-16 紧急制动阀的排风位

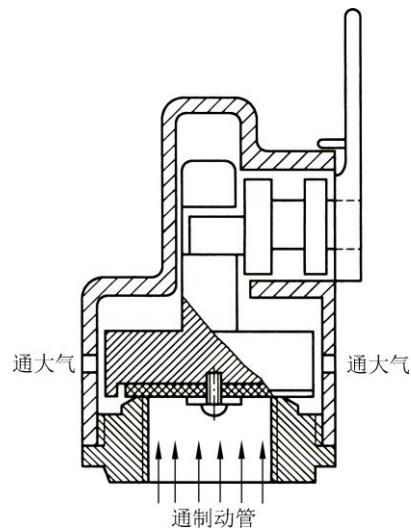


图 1-4-17 紧急制动阀的停止排气位

## (二) 紧急制动阀的使用时机

《技规》第 271 条规定，在列车运行中，发现下列危及行车和人身安全情形时，运转车长应使用紧急制动阀停车。

(1) 车辆燃轴或重要部件损坏时。

(2) 列车发生火灾。

(3) 有人从列车上坠落或线路上有人死伤时（快速旅客列车不危及本列车运行安全时除外）。

(4) 其他危及行车和人身安全必须紧急停车时。

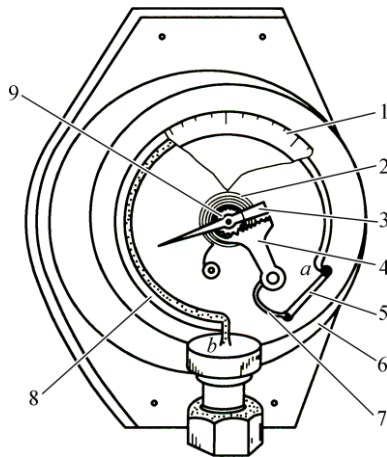
使用车辆紧急制动阀时，不必先行破封，立即将阀手把向全开位置拉动，直到全开为止，不得停顿和关闭。若为弹簧手把时，列车停车前，不得松手。在长大下坡道上，必须先看压力表，如压力表指针已由定压下降 100 kPa，不得再行使用紧急制动阀。

## 九、压力表

压力表简称“风表”，安装在客车车厢内紧急制动阀支管上，供列车乘务人员观察制动管内空气的压力。压力表分为单针或双针两种，车辆制动装置使用的是单针压力表。双针压力表可以指示两个不同部位的空气压力，一般用在机车和制动机试验设备上。

单针压力表的构造如图 1-4-18 所示。表内装有一根弯成环状的弹性扁铜管 8，它的截面类似一个椭圆，椭圆的长轴和环面垂直，短轴和环面平行。铜管自由的一端 *a* 是封闭的，固定的一端 *b* 与要测的容器相通。*a* 端通过连杆 5、杠杆 7、扇形齿轮 4、圆形齿轮 9、游丝 2 等装置和指针 3 相连接。如果所测的气体压力正好等于大气压力，扁铜管壁内外所受压力相等，整个扁铜管所受合力等于零，扁铜管自由端的位置不变，指针指着零点。当压缩空气进入扁铜管时，由于管的内壁各处所受的压力大于外壁所受的压力，又由于接近于

环心的半个管壁的总面积小于外圈的半个管壁的总面积，所以扁铜管受到一个沿半径向外的合力，它促使管环半径扩张，也就是要使管环伸直一些。因为扁铜管 *b* 端固定不能移动，*a* 端就要向外移动，同时带动连杆、杠杆及扇形齿轮转动，扇形齿轮拨动中央轴上的圆齿轮转动，指针则上升。进入扁铜管的空气压力越大扁铜管向外移动量也越大，指针上升值就越高。通过指针指示表盘上的刻度和字码可以读出压缩空气的压力大小。当指针指向 100 kPa 时，表示管内压力比大气压力高出 100 kPa，以此类推。当空气压力降低时，扁铜管因弹性作用向里收拢，指针则下降。为消除齿轮间的间隙误差，使指针恢复原位，在中央转轴上装有一盘游丝。



1—表盘；2—游丝；3—指针；4—扇形齿轮；5—连杆；6—表框；  
7—杠杆；8—扁铜管；9—圆形齿轮。

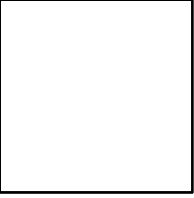
图 1-4-18 压力表的构造

双针压力表的构造基本上与单针压力表相同，只是比单针压力表多一套扁铜管、连杆、杠杆、扇形齿轮等装置。车辆制动装置所用的空气压力表的精度是 1.5 级，表示当量程为 100 kPa 压力时，绝对误差为  $\pm 1.5$  kPa。



### 单元习题

1. 总结客车、货车制动机发展史。
2. 试解释制动、缓解、制动机、制动距离及制动波速的概念及意义。
3. 车辆制动装置有哪些种类？我国广泛使用的铁道车辆制动机是哪一种？
4. 画简图解释车辆制动机的基本作用原理。
5. 制动缸压力计算。
6. 制动倍率计算。
7. 列车管最大、最小有效减压量计算。
8. 制动软管连接器有何用途？它由哪些配件组成？
9. 球芯折角塞门由哪些配件组成？
10. 试述远心集尘器的构造和作用原理。

- 
11. 制动缸的用途是什么？一般由哪些零部件组成？
  12. 什么是制动关门车？《铁路技术管理规程》对制动关门车有哪些规定？
  13. 《铁路技术管理规程》对紧急制动阀的使用有哪些规定？