

广西城市轨道交通车辆技术示范特色专业系列教材

城市轨道交通列车制动系统

主 编 魏秀琴

副主编 丁金玲 金 星 陈桂平

主 审 沈国强

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

前 言

本书根据教育部相关教学标准要求，结合当前职业教育的特点和城市轨道交通专业实用型人才培养的需求编写而成。在编写过程中，行业专家、一线技术骨干全面参与本书的评审，体现了“工学结合、校企合作”的理念；突破了传统教科书式的编写模式，应用二维码技术等移动互联网时代元素，版式生动活泼，便于读者理解掌握。

全书主要分为 6 个项目，共计 21 个学习任务，涵盖了城市轨道交通车辆典型制动系统的风源系统、控制部分和基础制动装置。通过本书的学习可以让读者掌握城市轨道交通列车制动系统相关技术。由于各地城市轨道交通车辆选型及运用情况存在差异，书中一些具体数据不具备通用性，在操作中要根据当地车辆的实际情况而定，敬请谅解。

本书由柳州铁道职业技术学院魏秀琴担任主编，丁金玲、金星、陈桂平担任副主编，南宁轨道交通股份有限公司沈国强担任主审，具体编写分工如下：课题 1 由丁金玲编写，课题 2 由金星编写，课题 3 和课题 4 由陈桂平编写，课题 5 和课题 6 由魏秀琴编写。本书在编写过程中参考了多位专家发表的文章和企业的一些技术资料，编者在此向他们表示诚挚感谢。另外，本书的编写还得到了深圳地铁、南宁地铁等公司的大力支持，在此向提供帮助的有关专家表示衷心的感谢。

由于我国城市轨道交通发展迅速，技术设备也在不断改进更新，书中资料和相关数据与现场车辆设备难免存在差异，加上编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正，以便再版时修订、补充。

编 者

2020 年 12 月

目 录

课题 1	城市轨道交通制动基础知识	1
1.1	车辆制动的基本概念	1
1.2	城轨车辆制动系统的特点及重要作用	5
1.3	制动方式	7
1.4	制动模式	18
课题 2	供风系统	21
2.1	供风系统（风源系统）概述	21
2.2	空压机组结构及原理	24
2.3	空压机组附件	31
2.4	空气干燥器	41
2.5	风缸及其他空气管路部件	46
课题 3	基础制动装置	52
3.1	踏面制动单元	错误!未定义书签。
3.2	盘型制动装置	错误!未定义书签。
课题 4	KBGM 制动系统	错误!未定义书签。
4.1	KBGM 制动系统组成	错误!未定义书签。
4.2	KBGM 制动控制系统作用原理	错误!未定义书签。
课题 5	EP2002 制动系统	错误!未定义书签。
5.1	EP2002 制动系统概述	错误!未定义书签。
5.2	EP2002 阀的结构及功能	错误!未定义书签。
5.3	EP2002 制动系统控制原理	错误!未定义书签。
5.4	EP2002 气路原理	错误!未定义书签。

课题 6 EP09 制动系统 错误!未定义书签。

6.1 EP09 制动系统概述 错误!未定义书签。

6.2 EP09 制动控制单元结构 错误!未定义书签。

6.3 EP09 制动系统控制和作用原理 错误!未定义书签。

6.4 EP09 气路原理 错误!未定义书签。

参考文献 错误!未定义书签。

课题 1

城市轨道交通制动基础知识

1.1 车辆制动的基本概念

【知识目标】

1. 理解车辆制动的基本概念。
2. 掌握列车制动系统的组成以及各部分的作用。

【能力目标】

能够描述列车制动系统的组成以及各部分的作用。

【学习内容】

1. 基本概念

1) 制动

通过人为地外力作用使运动的物体减速(防止其加速)、停止或使静止的物体保持不动，这种作用被称为制动作用，图 1.1 所示为列车减速或停车示意图。制动的实质是将列车的动能转化成别的能量或转移走。对于城市轨道交通车辆来说，为了使运行中的列车能迅速地减速或停车，必须对它实施制动；为了阻止列车在下坡道时由于列车的重力作用导致的列车速度的增加，也需要对它实施制动；即使列车已经停车，为避免停放的列车因重力作用或风力作用溜车，也需要对它实施制动(又称为停放制动)。

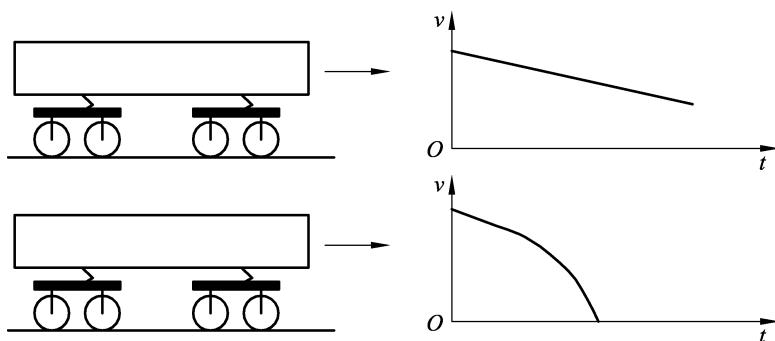


图 1.1 列车减速或停车示意图

2) 缓解

对已经施行制动的列车，为了使其重新起动或再次加速，必须解除或减弱其制动力作用，这些均可称为制动的缓解。

3) 保压

保压是指在制动过程中的一个压力保持的中间状态，即保持制动缸空气压力不变。这就要求，如果有空气泄漏，制动控制装置能够自动补充压缩空气以维持制动缸压力不变。

3) 制动冲击率

制动冲击率是指制动时制动减速度随时间的变化率，本质上是制动力随时间的变化率（力学中，对力的冲击的描述），城轨车辆制动时要求冲击率不得超过 0.75 m/s^3 。

4) 制动率

车辆制动力率是指一台机车或一辆车辆的闸瓦总压力与该机车或该车辆重量的比值。由于地铁车辆乘客上下波动大，对车辆总重影响较大，为了保证车辆在制动时一致性好，要求制动力率不变，因此要求地铁制动系统具有空重车自动调整制动力的功能。

5) 制动装置

为使列车能实施制动和缓解而安装于列车上的一整套装置，总称为列车制动装置。

机车车辆制动装置又分为机车制动装置和车辆制动装置；城市轨道交通车辆制动装置分为动车制动装置和拖车制动装置。一套列车制动装置至少包括两个部分：

- (1) 制动控制部分，主要由制动信号发生与传输装置以及制动控制控制装置组成。
- (2) 制动执行部分，即基础制动装置，主要包括闸瓦制动单元和盘型制动单元。

6) 制动力

由制动装置产生的与列车运动方向相反的外力称为制动力。对城市轨道交通车辆而言，制动力是制动时由制动装置产生作用，而引起的钢轨施加于车轮的与列车运行方向相反的力。这是人为的阻力，它比列车在运行中各种自然原因产生的阻力要大很多。虽然列车在制动过程中，列车运行阻力（自然阻力）也在起作用，但起主要作用的还是列车制动力。牵引力是列车运行时由牵引装置产生作用，而引起的钢轨施加于车轮的与列车运行方向相同的力，制动力与牵引力受力如图 1.2 所示。



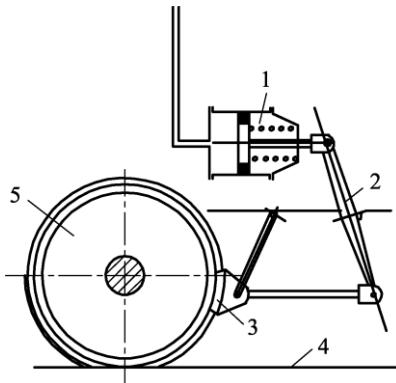
图 1.2 制动力与牵引力受力方向

7) 制动机

制动机是产生制动原动力并进行操纵和控制的部分设备，主要包括制造、储存压力空气的空气压缩机、风缸，以及产生、传递制动和缓解等指令的制动阀等部件。

8) 基础制动装置

基础制动装置是传送制动原动力并产生制动力的执行装置，如图 1.3 所示。



1—制动缸；2—杠杆；3—闸瓦；4—钢轨；5—车轮。

图 1.3 基础制动装置

9) 制动距离

制动距离指从司机施行制动的瞬间（将制动手柄移至制动位），到列车速度降为零时，列车所行驶的距离。它是综合反映列车制动装置的性能和实际制动效果的主要技术指标。各个地铁对列车紧急制动距离都有规定：上海地铁城轨列车在 AW3 状态下，对于任何运行初速度，其紧急制动距离不得超过 180 m；广州地铁规定的制动距离见表 1.1。

表 1.1 广州地铁规定的制动距离

初速度 / (km/h)	常用制动距/m	紧急制动距/m
80	234	200
60	136	118
40	65	56

2. 列车制动系统

将具有制动功能的电子线路、电气线路和气动控制部分归结为一个系统，即列车制动系统。现代轨道交通车辆的制动系统是由动力制动系统、空气制动系统和指令与通信网络系统三部分组成的。

1) 动力制动系统

动力制动系统一般与牵引系统连在一起形成主电路，包括再生反馈电路和制动电阻器，将动力制动产生的电能反馈给供电接触网或消耗在制动电阻器上，牵引主电路如图 1.4 所示。

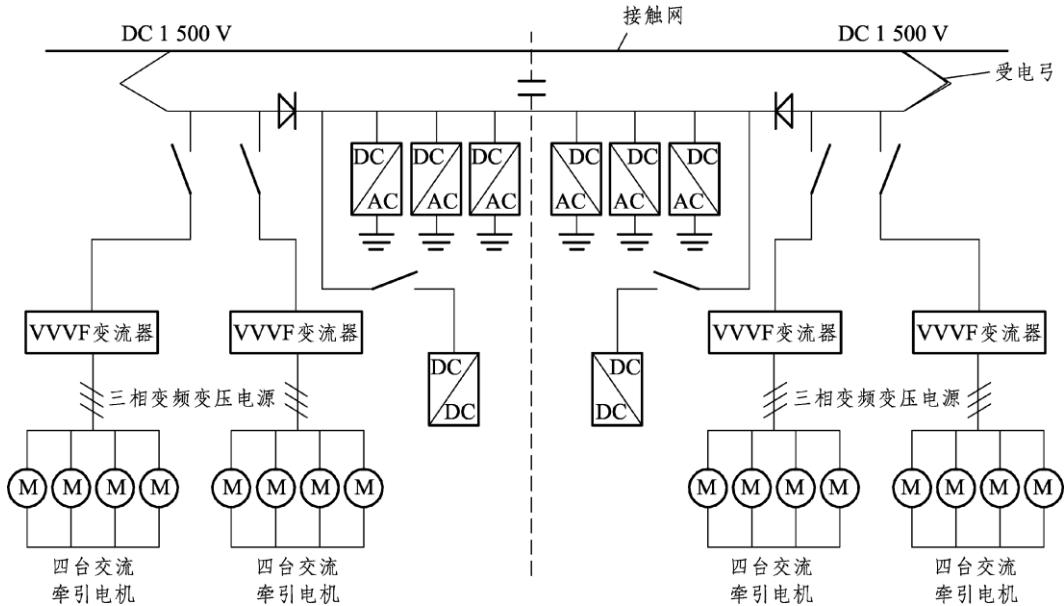


图 1.4 牵引主电路

2) 空气制动系统

空气制动系统由供风系统、控制装置和执行装置等组成。供风系统主要包括空气压缩机、双塔干燥器和精细滤油器等部件，其整体如图 1.5 (a) 所示，它负责为列车储存并提供充足、干燥、洁净、压力合适的压缩空气。控制部分有电子制动控制装置 (EBCU) 和制动控制装置 (BCU)，如图 1.5 (b) 所示。常用的空气制动执行装置是闸瓦制动装置，如图 1.5 (c) 所示。



图 1.5 空气制动系统的组成

3) 指令与通信网络系统

指令与通信网络系统既是传送司机指令的通道，也是制动系统内部数据交换及制动系统与列车控制系统进行数据通信的总线。

3. 制动能力

列车的制动能力是指该列车的制动系统在规定的安全范围内或规定的安全制动距离内，可靠地把列车停下来的能力。一般的，城市轨道交通系统都有明确的车辆运行规程，特别是对列车的制动能力有严格的要求和规定。例如，上海地铁规定，列车在满载乘客的条件下，在任何制动初速度下，紧急制动距离不得超过 180 m，这个距离比启动加速距离短得多。因此，从安全的目的出发，一般列车的制动功率比驱动功率大 5~10 倍。从能量的角度看，制动系统转移动能的能力就是制动功率。在一定的制动距离条件下，列车的制动功率是其速度的三次方函数。

【知识拓展】

我国《铁路技术管理规程》(简称《技规》)旧版规定的列车紧急制动距离不超过 800 m，随着列车速度的提高，制动距离的标准也相应延长。在新版的《技规》中列车紧急制动距离按不同情况分别不超过表 1.2 中的规定。

表 1.2 铁路规定的制动距离

类型	初速度 / (km/h)	紧急制动距离 / m
旅客列车	120	800
	140	1 100
	160	1 400
动车组	200	2 000
	300	3 800
	350	6 500

【思考题】

城市轨道交通列车制动系统主要由哪几部分组成？空气制动系统又由哪几部分组成？

1.2 城轨车辆制动系统的特点及重要作用

【知识目标】

掌握城轨车辆制动系统及其重要作用。

【能力目标】

- 能够描述城轨车辆制动系统的特 点及重要作用。
- 能够描述制动系统应具备的条件。

【学习内容】

1. 城轨车辆制动系统的重要作用

为了使列车能以一定的速度运行，必须对其实施牵引，同时为了让运行的列车能迅速

减速、停车，必须对其实施制动。忽视列车的制动能力建设，将会影响行车安全，甚至造成生命财产的损失。因此，从这个意义上讲，制动是一个与牵引同样重要、甚至更为重要的问题。

由于制动系统设置的目的是使列车能够按照人的意志减速或准确停车，所以制动系统的好坏，不仅影响列车的制动效果，而且影响铁路的运营安全。制动系统对铁路运输的重要性体现在以下3个方面：

- (1) 保证行车安全。
- (2) 充分发挥牵引力，增大列车牵引重量，提高列车运行速度。
- (3) 提高列车的区间通过能力。

2. 城市轨道交通及车辆制动的特点

(1) 城市轨道交通的每条路线不长，一般在20~60 km；站距很短，一般都在1~2 km。例如，南宁地铁1号线线路全长32.1 km，全部为地下线，共设置25座车站，平均站间距为1.34 km，如图1.6所示。



图1.6 南宁地铁1号线

由于站间距离短，列车加速、减速及停车都比较频繁。为了提高运行速度，增加列车运行密度，必须使列车起动快、制动快，制动距离短且停车准确。因此，车辆制动装置应该具有操纵灵活，动作迅速，停车平稳、准确，制动功率和制动力大等特点。

(2) 城市轨道列车的乘客量波动大，无乘客时仅车辆自重，满载时列车质量很大。例如，广州地铁1号线每辆动车在AW0工况下(空载)动车质量为36 t，而在AW3工况下(超载)动车总重为63.92 t，如表1.3所示。

表1.3 车辆质量

单位：t

定义	乘客载荷			车辆质量			列车质量
	A	B	C	A	B	C	
空载 AW0	0	0	0	33	36	36	220
座客载荷 AW1	3.36	3.36	3.36	37.36	41.36	41.36	240.16
定员载荷 AW2	18.60	18.60	18.60	52.60	56.60	56.60	331.60

超员载荷 AW3	25.92	25.92	25.92	59.92	63.92	63.92	375.52
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------

地铁车辆乘客上下波动大，对车辆总重有较大影响，如果制动系统提供的制动力对应的制动极位是一个恒定值的话，那么列车的制动距离将会不可保证。因此，列车在进行制动的时候，制动系统需要根据列车质量的变化值进行调整，从而实现列车制动距离的准确性以及制动过程的平稳性。

(3) 城市轨道电动列车采用电动车组，地铁车辆牵引电传动系统采用先进的调频调压交流感应电机驱动系统，在高速时具有良好的电制动性能。电制动是非摩擦制动，没有摩擦副零件的磨耗和噪声，减少了维护保养的工作量和对环境的污染；使用再生制动材料可以节约能源，具有一定的经济和社会效益。但是电制动的效率随着运行速度的降低而降低（低速时电制动的功能发挥不出来），为了确保安全，在车速降低到一定程度以后必须采用空气制动。

(4) 城市轨道交通行车密度大，乘客要求候车时间短，且快速安全，运营时间长，留给轨道线路和车辆的检修作业的时间很短，车辆的日常维修（日检）一般都在夜间进行。

(5) 我国拥有轨道交通的城市都是社会经济发展较快，人口密度较大（城区人口300万人以上），交通较为拥堵的城市。

3. 制动系统应具备的条件

综合城市轨道交通车辆制动的特点，城市轨道交通车辆的制动系统应满足以下要求：

(1) 具有足够的制动能力，保证车组在规定的制动距离内停车。

(2) 操纵灵活，反应迅速，停车平稳，车组前后车辆制动、缓解作用一致。

(3) 制动系统应包括动力制动（电气制动）和空气制动（机械制动）两种制动方式，并且在正常制动过程中，尽量首先使用动力制动，以减少空气制动对城市的环境污染并降低车辆维修成本。

(4) 制动系统应保证列车在长大下坡道上制动时，其制动力不会衰减。

(5) 电动车组各车辆的制动能力应尽可能一致，制动系统应根据乘客量的变化，具有空重车调整能力，减小纵向冲动，保证乘客乘坐的舒适性。

(6) 具有紧急制动能力。遇有紧急情况时，能使城轨列车在规定距离内安全停车。紧急制动除可由司机操纵外，必要时还可由行车人员利用紧急按钮进行操纵。

(7) 城轨列车在运行中，发生诸如列车分离、制动系统故障等危及行车安全的事故时，制动系统应能自动紧急制动。

【思考题】

城轨列车制动系统应具备的条件有哪些？

1.3 制动方式

【知识目标】

掌握制动方式的类型。

【能力目标】

能够描述不同的制动方式。

【学习内容】

制动方式可按制动时列车动能转移方式、制动力获取方式或制动源动力的不同进行分类。

1. 按列车动能转移方式分类

按照制动时列车动能的转移方式不同可以分为摩擦制动、轨道电磁制动和动力制动。

1) 摩擦制动

通过摩擦将列车的动能转化为热能，从而产生制动作用。城轨车辆常用的摩擦制动方式主要有闸瓦制动、盘形制动，在速度等级高的列车制动系统中还有磁轨制动。

(1) 闸瓦制动，又称踏面制动，它是一种常用的制动方式，适用于 80 km/h 速度等级的城轨列车，如图 1.7 所示。制动时，闸瓦压紧车轮，车轮与闸瓦之间产生摩擦，使列车的动能转变为热能，逸散于大气中。



图 1.7 踏面制动单元

(2) 盘形制动，适用于 100 km/h 速度等级的城轨列车，如图 1.8 所示。盘形制动是在车轴上或在车轮辐板侧面安装制动盘，用制动夹钳将合成材料制成的两个闸片紧压到制动盘侧面，通过摩擦把列车动能转化为热能，消散于大气从而实现制动。

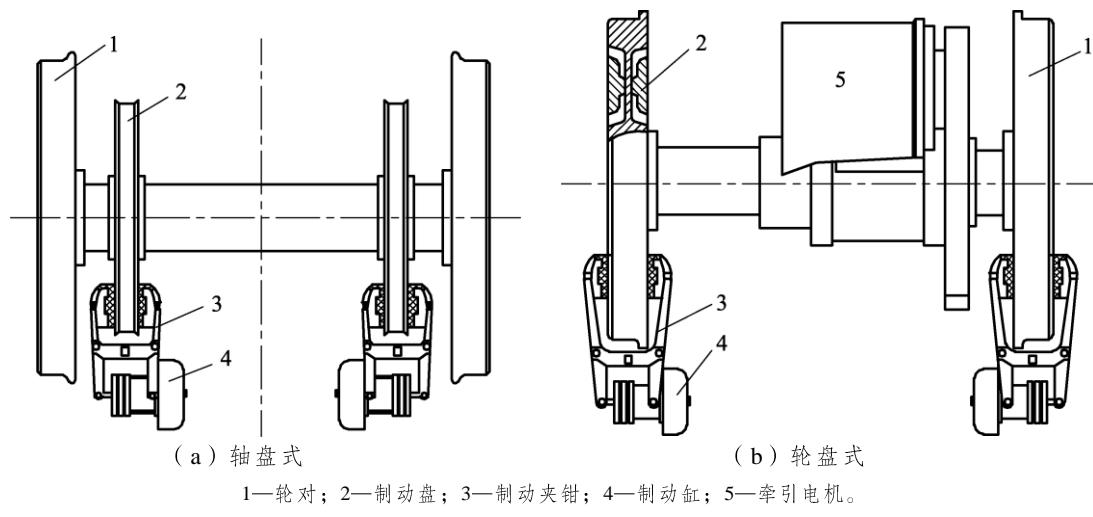


图 1.8 城轨列车制动盘

如图 1.9 (a) 所示, 如果制动盘固定在车轴上, 称为轴盘式盘型制动, 一般拖车大多采用这种结构; 如果制动盘连接在车轮上, 称为轮盘式盘型制动, 如图 1.9 (b) 所示。在动车 (动轴) 上, 由于两轮之间需要安装牵引电机等其他设备, 若不能安装轴盘式盘型制动装置, 可考虑采用轮盘式盘型制动装置。



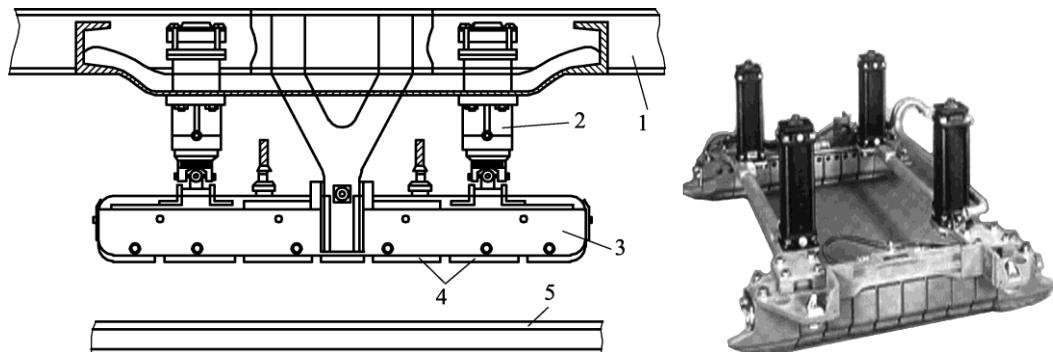
图 1.9 制动盘

2) 轨道电磁制动

轨道电磁制动，又叫磁轨制动，如图 1.10 所示。这种制动方式是在转向架前后两轮对之间的侧梁下安装升降风缸，风缸顶端装有一个电磁铁靴。电磁铁靴包括电磁铁和磨耗板。电磁铁靴悬挂安装在距轨面适当高度处，制动时电磁铁靴落下，并接通励磁电源使之产生电磁吸力，电磁铁靴吸附在钢轨上，使磨耗板与轨道摩擦将功能转化为热能从而产生制动，其制动与缓解状态如图 1.11 所示。这种制动方式的优点是不受轮轨间黏着系数的限制，车轮不易滑行，能在保证旅客舒适度的条件下有效地缩短制动距离。但是磨耗板与轨道摩擦会产生很大的热量，对钢轨磨损太大且增加了车辆的自重。

在高速旅客列车上，电磁制动与空气制动并用（特别是在紧急制动时），可缩短制动距离。磁轨制动一般作为辅助制动手段用于高速列车上，也作为一种应急制动方式用在地面

轨道交通上（如广州的储能低地板车）。



1—转向架构架侧梁；2—升降风缸；3—电磁铁；4—磨耗板；5—钢轨。

图 1.10 磁轨制动

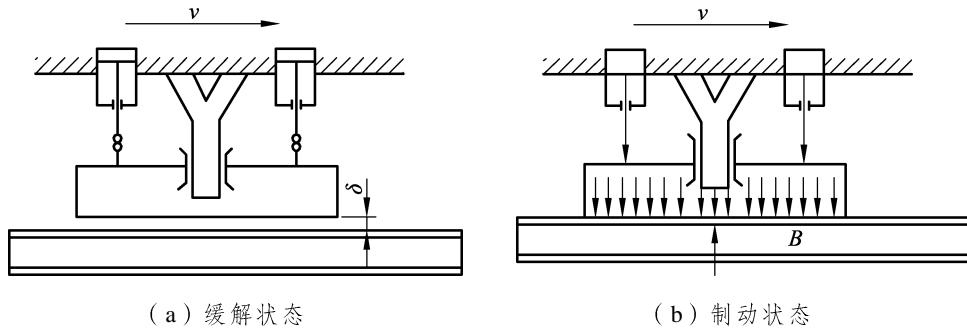


图 1.11 磁轨制动缓解与制动状态

3) 动力制动

动力制动也称电制动。列车制动时，将牵引电机变为发电机，使动能转化为电能，对这些电能的不同处理方式形成了不同的动力制动。城轨车辆上采用的动力制动的形式主要有再生制动和电阻制动，它们都是非接触式制动方式。

(1) 再生制动。

再生制动时，动车的电动机转变为发电机，将列车制动产生的电能经过转换，变成直流电输送回车辆供其他负载使用或反馈回电网供给别的列车使用。显然，这种方式既能节约能源，又减小了制动时对环境的污染，并且基本上无磨耗。这是一种较为理想的制动方式，是目前在地铁车辆上普遍采用的一种制动方式。

(2) 电阻制动。

在制动时，把列车的动能通过电机转化为电能后，将发出的电能消耗于电阻器上，强迫通风，使热量逸散于大气而产生制动作用。这种制动方式在列车高速时制动力大，低速时效率降低，所以常与空气制动配合使用。电阻制动一般能提供较稳定的制动力，但车辆底架下需要安装体积较大的电阻箱，会增加车辆的自重。

2. 按制动力形成方式分类

根据列车制动力的获取方式不同，可分为黏着制动与非黏着制动。

1) 黏 着

图 1.12 所示为某列动车以速度 v 在平直线上运行时，它的一个动车轮对的受力情况（忽略内部的各种摩擦阻力）。图中为了更清楚地表示各种关系，将实际上互相接触的车轮与钢轨稍稍分开画出。

在图 1.12 中， P_i 为一个动轮对作用在钢轨上的正压力，又称为轮对的轴重。牵引电机作用在动轮对上的驱动转矩 M_i ，可以用一对力形成的力偶代替。力 F'_i 和 F_i 分别作用在轮轴中心的 O 点和轮轨接触的 O' 点，其大小为

$$F'_i = F_i = M_i / R_i \quad (1.1)$$

式中 R_i ——动轮半径。

在正压力 P_i 的作用下，车轮与钢轨的接触部分紧紧压在一起。

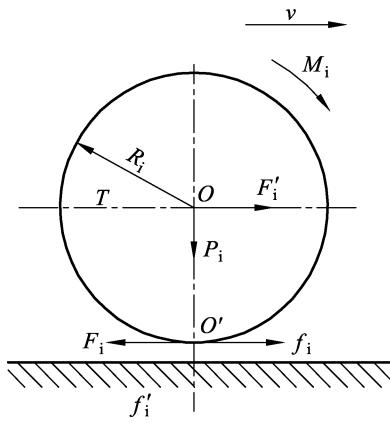


图 1.12 轮对与钢轨受力分析

切向力 F_i 使车轮上的 O' 点具有向左运动的趋势，并通过 O' 点作用在钢轨上。 f'_i 表示车轮作用在钢轨上的力， $f_i = F_i$ 。由于轮轨接触处存在摩擦，车轮上 O' 点向左运动的趋势将引起向右的静摩擦力 f_i ，即钢轨对车轮的反作用力， $f_i = f'_i$ ， f_i 称为轮周牵引力。车轮上的 O' 点受到两个相反方向的力 F_i 和 f_i 的作用，而且 $f_i = F_i$ ，因此 O' 点保持相对静止，轮轨之间没有相对滑动，在力 F'_i 的作用下，车轮对做纯滚运动。

由于正压力而保持车轮与钢轨接触相对静止的现象称为黏着。黏着状态下的静摩擦力 f_i 称为黏着力。

轮轨间的黏着与静力学中的静摩擦的物理性质十分相似。驱动转矩 M_i 产生的切向力 F_i 增大时，黏着力 f_i 也随之增大，并保持与 F_i 相等。当切向力 F_i 增大到某个数值时，黏着力 f_i 达到最大值。此后，切向力 F_i 如果再增大， f_i 反而迅速减小。实验证明，黏着力 f_i 的最大值 f_{\max} 与动轮对的正压力 P_i 成正比，其比例常数称为黏着系数，用 μ 表示，即

$$f_{\max} = \mu P_i \quad (1.2)$$

式 (1.2) 表明，在轴重一定的条件下，轮轴间最大的黏着力由轮轨间黏着系数的大小决定。当轮轨间出现最大黏着力时，若继续加大驱动转矩，一旦切向力 F_i 大于最大黏着力，车轮上的 O' 点将向左移动，轮轨间出现相对滑动，黏着状态被破坏。这时，车轮与钢轨的相对运动由纯滚动变为既有滚动也有滑动。此时，钢轨对车轮的反作用力 f_i 由静摩擦力变为滑动摩擦力，其值迅速减小，并使车轮的转速上升。这种因驱动转矩过大，破坏黏着关系，使轮轨间出现相对滑动的现象，被称为“空转”。当车轮出现空转时，轮轨间只能依靠滑动摩擦力传递切向力，传递切向力的动能大大减小，并且会造成车轮踏面和轨面的擦伤。因此，牵引运行应尽量防止车轮出现空转。因为滑动摩擦系数远小于静摩擦系数，所以一旦发生这种工况，制动力会大大减小，制动距离会延长，危及行车安全。

黏着系数是由轮轨间的物理状态确定的。加大每个动轮对作用在钢轨上的正压力，即增加轴重，可以提高每个动轮对的最大黏着力和牵引力。但是，轴重也受到钢轨、路基和桥梁等各种条件的限制，不可能无限制地增加。城市轨道交通车辆由于采用动车组，动轮对数量比一般铁路列车多，动力和黏着力较为分散，牵引力总量又很容易达到，与铁路列车的动轮对和牵引力都集中在机车头的情况相比，城市轨道交通车辆利用黏着条件相对好很多，这对保护轮轨间的正常作用是很有利的。

2) 制动力

制动力的形成与牵引运行类似，也是通过轮轨间的黏着产生的。下面以闸瓦制动为例，说明通过轮轨黏着产生制动力的过程。图 1.13 所示是一个轮对利用闸瓦制动产生制动力的示意图。

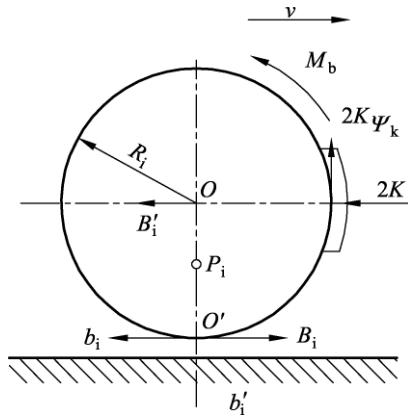


图 1.13 闸瓦制动时轮对与钢轨受力分析

假设一个轮对上有两块闸瓦，在忽略其他各种摩擦阻力的情况下，轮对在平、直道上滚动惰行。若每块闸瓦以力 K 压向车轮踏面，闸瓦和踏面间引起与车轮转动方向相反的滑动摩擦力 $2K\psi_k$ (ψ_k 为车轮踏面与闸瓦间的滑动摩擦系数)。对于列车来说该摩擦力是内力，不能使列车减速，但它通过轮轨间的黏着，引起与列车运动方向相反的外力，以此来实现列车的减速或停车。

摩擦力 $2K\psi_k$ 对车轮的作用效果，相当于制动转矩 M_b ，即

$$M_b = 2K\psi_k R_i \quad (1.3)$$

用类似牵引力形成的分析方法，转矩 M_b 可以用轴心和轮轨接触处的力偶 (B_i 、 B'_i) 代替。力偶的力臂为车轮半径 R_i ，作用力 $B_i=B'_i=M_b/R_i=2K\psi_k$ 。轮轨接触处因轮对的正压力 P_i 而存在黏着，切向力 B_i 将引起钢轨对车轮的静摩擦反作用力 b_i ， $b_i=B_i=2K\psi_k$ 。 b_i 作用在车轮踏面的 O' ，作用方向与列车运行方向相反，是阻止列车运行的外力，称为制动力。制动力 b_i 也是轮轨间的黏着力，因而也受到黏着条件的限制，即

$$b_i \leq P_i \mu_i \quad (1.4)$$

式中 P_i ——动车或拖车轮对的轴重；

μ_i ——制动时轮轨间的黏着系数。

整个列车的总闸瓦制动力为所有轮对闸瓦制动力之和，即

$$B = \sum b_i \quad (1.5)$$

制动力的大小可以采用增加或减小闸瓦压力来调节，但不得大于黏着条件所允许的最大值。否则，车轮被闸瓦“抱死”，车轮与钢轨间产生相对滑动，车轮的制动力变为滑动摩擦力，数值立即减小，这种现象称为“滑行”，是与牵引时的“空转”相对应的一种黏着状态被破坏的现象。滑行时，制动力大大下降，制动距离增加，还会造成车轮踏面与轨面的

擦伤，因此也应尽量避免。

动力制动产生制动力的过程与摩擦制动基本类似，只是制动转矩是由电机（这时电机处于发电状态）产生的，而不是由闸瓦产生的（都是通过轮轨黏着产生的）。因此，牵引力、摩擦制动力和动力（电气）制动力都是黏着力，它们与黏着关系密切。充分利用好黏着条件，不仅是牵引必须注意的，对于制动来说也同样重要。

唯一不受黏着条件限制的制动是电磁制动。磁轨制动应用最多的是高速列车以及磁悬浮列车，也用于欧洲的轻轨车辆或有轨电车紧急制动。

3) 影响黏着系数的因素

目前，轨道黏着系数的研究主要依靠试验，不同的轨道，黏着系数不同，需要经过大量试验和试验数据的计算分析才能得到。试验分析表明，影响黏着系数的主要因素有以下几项。

(1) 车轮踏面与钢轨表面状态。

干燥、清洁的车轮踏面与钢轨表面，它们的黏着系数高（可达 0.3）；如果踏面与轨道受到污染，则黏着系数下降很大，受到雨雪浸湿的轨面，其黏着系数仅为 0.12。对城市轨道交通来说，地铁、轻轨和有轨电车的轨面由于所处环境的不同，其黏着系数有着巨大的差别。晴天里，地面的轨面要比潮湿隧道里的轨面黏着系数高；但雨雪天气里，隧道里的轨面黏着系数反而比地面的要高。冰霜凝结的轨面或被小雨打湿的轨面，黏着系数非常低，但大雨冲刷、雨后生成的薄锈却使黏着系数大大增加。油的污染会使轨面黏着系数下降，撒砂则能使轨面黏着系数增加。

(2) 线路质量。

钢轨越软或道床下沉越大，轨面的黏着系数越小；钢轨不平或直线地段两侧钢轨顶不在同一水平面上，以及动轮所处位置的轨面状态不同，都会使黏着系数减小。

(3) 车辆运行速度和状态。

车辆运行速度增高，加剧了动轮与钢轨的纵向和横向滑动及车辆振动，使黏着系数减小。特别是在车轮和钢轨表面被水污染的情况下，黏着系数随速度增加而急剧下降。车辆运行中由各种因素导致轴重转移，也会影响黏着系数。例如，车辆过弯道时，造成车辆车轮一侧加载，另一侧减载，使黏着系数大幅度下降，曲径半径越小，黏着系数下降就越多。牵引和制动工况对黏着系数也有一定影响，牵引时的黏着系数要比制动时大一些。

4) 改善黏着的方法

改善黏着的方法主要有两种：

- ① 修正轮轨表面接触条件，改善轮轨表面不清洁状态。
- ② 设法改善轨道车辆的悬挂系统，以减轻轮对减载带来的不利影响。

常用的改善黏着的措施：从车辆上向钢轨撒砂；用机械或化学方法清洗钢轨、打磨钢轨；改进闸瓦材料，如用增黏闸瓦；改善车辆悬挂，减小轴重转移等。

3. 按制动原动力分类

在目前列车所采用的制动方式中，制动的原动力主要有压缩空气和电磁力。以压缩空

气为原动力的制动方式称为空气制动，如闸瓦制动、盘形制动等都是空气制动方式。以电磁力为原动力的制动方式称为电制动，如动力制动、轨道电磁制动、轨道涡流制动、旋转涡流制动等均为电制动。另外还有其他的一些制动方式，如机械制动、液压制动、翼板制动等。

1) 空气制动

空气制动是以压缩空气为动力来源，用空气压力来控制单元制动机将闸瓦（闸片）压到车轮踏面（制动盘）产生摩擦力实施制动。

2) 电空制动

电空制动是以压缩空气作为动力来源，用电操纵的制动方式。一般是在空气制动机的基础上加装电磁阀等电气控制部件，用电来操纵制动机的作用。它可以提高列车前后部车辆制动和缓解作用的一致性，减少车辆间的冲击，使制动距离显著缩短。许多高速列车都采用这种制动机。为防止电控系统发生故障使列车失去制动控制，现今的电空制动机仍保留着压缩空气操纵装置，以备在电控系统发生故障时，能自动地转为压缩空气操纵。城市轨道交通车辆电空制动机有 DK 型电空制动机、KBGM（德国 KNORR 公司）和 KBWB（原英国 Westinghouse 公司）模拟式电空制动机、SD 数字式电空制动机、架控式 EP2002 型和 EP09 型制动机等。

3) 轨道涡流制动（又称线性涡流制动或涡流式轨道磁制动）

如图 1.14 所示，轨道涡流制动与磁轨制动很相似，也是把电磁铁悬挂在转向架构架侧梁下面同侧的两个车轮之间。轨道涡流制动的电磁铁在制动时放到离轨面 7~10 mm 处而不与钢轨发生接触。在钢轨内产生交变的磁场，使钢轨头部产生涡流，涡流与电磁铁相互作用，产生一个垂直于钢轨面的吸引力和一个与车辆运行方向相反的制动力。垂直于轨面的力可增加车辆的黏着力，与车辆运行方向相反的力就是电磁涡流制动力。但轨道涡流制动如果要得到很大的涡流制动力，则需要庞大的制动装置。目前，这种轨道涡流制动装置在上海磁悬浮列车的制动控制系统中有应用。

优点：不受黏着限制，没有磨耗问题。

缺点：消耗电能多，约为磁轨制动的 10 倍，电磁铁发热量大，轨道升温对运行安全产生直接影响，还会影响轨道信号的传输，只能作为高速列车紧急制动时的一种辅助制动方式。

4) 旋转涡流制动

旋转涡流制动是在车轴上安装金属盘，电磁铁固定在转向架上，并应防止其转动。制动时金属盘在电磁铁形成的磁场中旋转，盘的表面感应出涡流，圆盘产生与转动方向相反的制动力，原理如图 1.15 所示。图中的感应盘按顺时针转动，如果磁极 S 和磁极 N 靠近感应盘，根据右手法则可知在感应盘上有涡流产生；根据左手法则可知，圆盘受到的涡流产生的洛伦兹力方向为逆时针。这种制动方式的特点是没有制动圆盘与闸片之间的磨耗，制动时还需受到轮轨黏着系数的限制，没有摩擦部件而有利于实现无维修化，但在低速时制动力会急剧衰减。此外，由于是通过在盘中产生涡流来得到制动力的，所以高速时制动产

生的热量很大，因此在盘的中间设有散热孔。

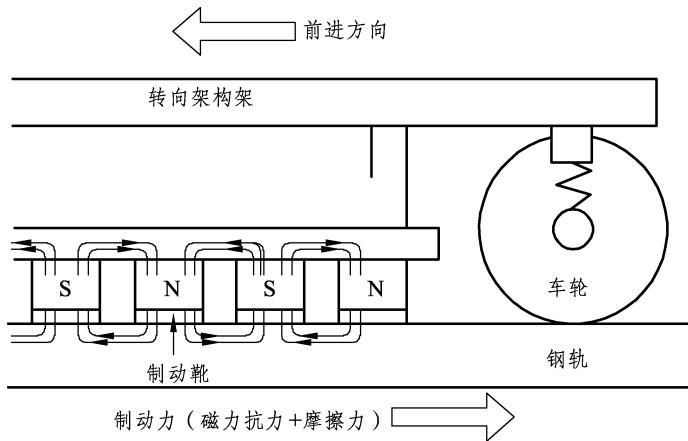


图 1.14 轨道涡流制动原理图

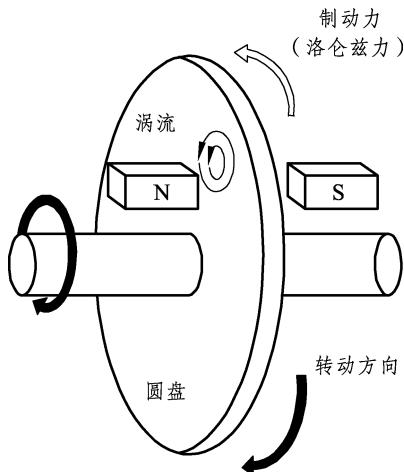


图 1.15 旋转涡流制动原理图

5) 液压制动

为了确保行车安全，在高速动车组上都装有传统的空气制动系统。但是空气制动系统有质量大、体积大和响应速度慢等缺点。为了实现轻量化和高响应特性，将空气制动部件改进为液压部件。与空气制动相比，质量可减小 $1/3$ ，如北京地铁机场线采用了电液盘型制动和磁轨制动混合制动，芜湖跨座式单轨列车上采用了液压制动。

6) 翼板制动

翼板制动尚处于试验之中，是一种从车体上伸出翼板来增加空气阻力的制动方式。图 1.16 为翼板制动示意图，若翼板的安装位置适当，动车组运行时的空气阻力可增加 3~4 倍。2006 年，日本研制出利用空气动力制动的 Fastech 360S 和其改进 Fastech 360Z 型，并已通过 400 km/h 的安全测试，装有空气动力制动装置的列车制动距离在速度 360 km/h 与

275 km/h 时大致相同。

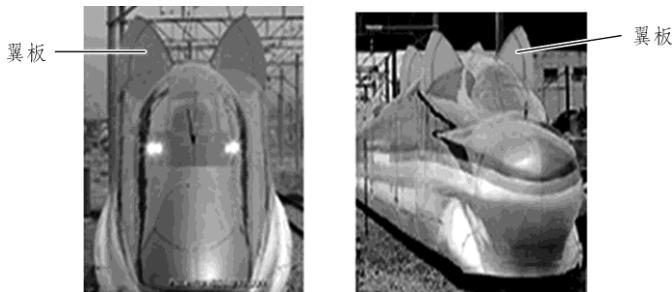


图 1.16 翼板制动

4. 按制动控制方式分类

制动系统制动力的控制以单辆车、转向架或者车轴为最小单元进行控制称为总体控制方式，制动过程中根据制动力最小控制单元的不同，对应的控制方式是不一样的。总体控制方式有车控、架控和轴控三种形式。以单辆车、转向架或车轴为制动力最小单元的控制分别称作车控、架控和轴控。采用车控方式时，每辆车具有 1 个制动控制单元（BCU），以车辆为单位进行制动力的计算和分配。每个 BCU 直接连接至车辆总线（如 MVB 总线等）上，各车直接接收列车的制动指令，适用于牵引控制采用车控形式的车辆进行制动力的混合分配，如图 1.17 所示。

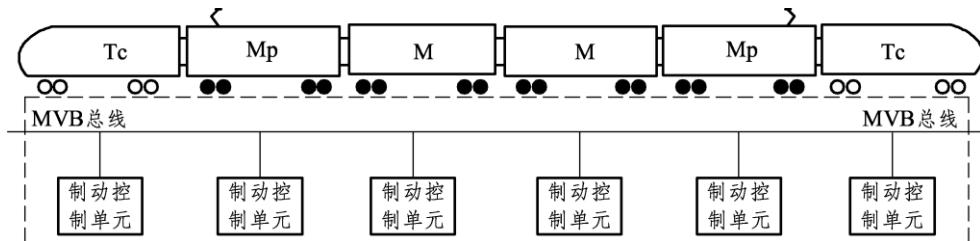


图 1.17 车控制动控制系统

采用架控方式时，每辆车具有两个架控制动单元，以转向架为单位进行制动力的计算和控制。其中部分架控制动单元具有网关功能，负责接收制动指令以及向其他架控单元输出制动信息。其他无网关功能的架控制动单元，通过内部 CAN 总线从具有网关功能架控制动单元获取制动指令。架控制动控制主要是针对同时配有动力转向架和非动力转向架的车辆的，它是以转向架为单元的电制动与空气制动混合控制；也比较适合牵引系统采用架控控制的车辆或者短编组列车，能够充分发挥每个转向架的电制动能力和黏着利用率。架控以 EP2002 和 EP09 为典型，其布局如图 1.18 所示。

KNORR、中国铁道科学研究院集团有限公司(铁科院)、FAIVELEY 公司和 NABTESCO 公司已推出架控制动产品，但技术实现各不相同。KNORR 公司生产的 EP2002 型制动系统和铁科院生产的 EP09 型制动系统，都取消了与原来制动控制独立的空气防滑阀控制，通过气动阀实现制动压力和空气防滑一体化控制。而 FAIVELEY 公司和 NABTESCO 公司的架控控制技术理念是采用每个轴上仍保留独立的防滑阀的控制方式，制动控制部分在车控基

基础上实现了小型化。

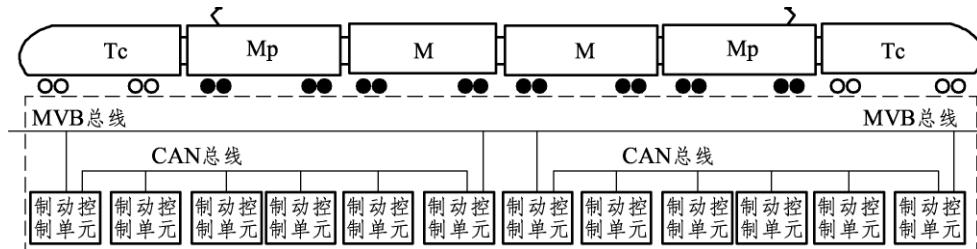


图 1.18 架控制动系统布局

【思考题】

空气制动与电空制动的区别是什么？

1.4 制动模式

【知识目标】

区分不同的制动模式。

【能力目标】

能够描述不同的制动模式的特点。

【学习内容】

1. 制动模式

制动系统具有 5 种制动模式，如表 1.4 所示。城轨列车制动模式设计为可恢复制动和不可恢复制动。可恢复制动就是在任何时候，操作人员均可缓解的制动；不可恢复制动就是列车停止才能缓解的制动。

表 1.4 5 种制动模式

序号	制动模式
1	常用制动
2	紧急制动
3	快速制动
4	保持制动
5	停放制动

2. 制动模式对比

1) 常用制动 (SB)

常用制动是正常运行时，为调整或控制列车速度，包括进站停车所实施的制动，是制动系统最常使用的一种制动模式。由司机将司控器手柄置于常用制动位或ATO（列车自动驾驶系统）施加。如手动施加，需将司控器手柄移至制动位，制动设置点与手柄位置成比例，如图1.19所示。常用制动作用缓和且制动力可以连续调节，制动过程中具有防滑保护和载荷修正功能，受冲击率的限制，冲击率不得超过 0.75 m/s^3 ，可恢复，平均减速度设计为 1 m/s^2 ，电空混合制动。当常用制动力最大时即为常用全制动，也称为100%常用制动。



图1.19 司控器手柄

2) 紧急制动 (EB)

紧急制动(EB)是在紧急情况下或者其他意外情况时，为使列车尽快停车而实施的制动。紧急制动是由列车的紧急制动环路触发，最终由空气制动的基础制动装置执行，是一个由安全回路控制的纯空气制动模式。紧急制动的特点是作用比较迅速、纯空气制动、不可恢复，其平均减速度设计为 1.2 m/s^2 。紧急制动时考虑了脱弓、断钩、断电等故障情况，故只采用空气制动，而且停车前不可缓解，在尽可能减小冲动的情况下不对冲动进行具体限制。

3) 快速制动 (FB)

快速制动是为了使列车尽快停车而实施的制动，快速制动也称非常制动。当司机主控制器位于快速制动位时，列车施加快速制动。快速制动减速的设计与紧急制动减速度相当，但是不断开安全回路，其制动力高于常用全制动（上海、广州地铁快速制动力高于常用全制动22%）。其特点是制动过程主控制器手柄回“0”位，可缓解，冲击率不超过 0.75 m/s^3 ，采用电空混合制动，具有防滑保护和载荷修正功能。

4) 保持制动

对于地铁列车来说，通常把停车前的这一段空气制动过程称为停车制动或保持制动。当停车制动使列车减速到极低速度以后，为减小冲动，制动力会有所降低。上海和广州地铁是在减速至 4 km/h 左右时，一个小于制动指令使制动力降至最大制动指令的70%。停车制动具有常用制动的特点。

5) 弹簧停放制动 (PB)

为防止车辆在线路停放过程中，发生溜车；或是解决在库内停车时，制动缸压力因管

路漏泄，无压缩空气补充而逐步下降到零，使车辆失去制动力的问题，城轨车辆设置了停放制动装置。停放制动通常是将弹簧停放制动器的弹簧压力通过闸瓦作用于车轮踏面来形成制动力。在正常情况下，弹簧力的大小不随时间而变化，由此获得的制动力能满足列车长时间断电停放的要求。对弹簧停放制动的停放制动缸充气时，停放制动缓解；给停放制动缸排气时，停放制动施加；停放制动还具有手动缓解的功能。

【思考题】

1. 快速制动与紧急制动的区别是什么？
2. 紧急制动与常用制动的区别是什么？
3. 常用制动与快速制动的区别是什么？

课题 2

供风系统

2.1 供风系统（风源系统）概述

【知识目标】

1. 了解供风系统的组成及各部分的作用。
2. 掌握空压机工作原理。

【能力目标】

能够识别供风系统气路图。

【学习内容】

1. 供风系统的作用

供风即供气，供给压缩空气。压缩空气在现场通常被称为“风”，所以会有风管、风路、风压、风口、风表、风缸等称呼。

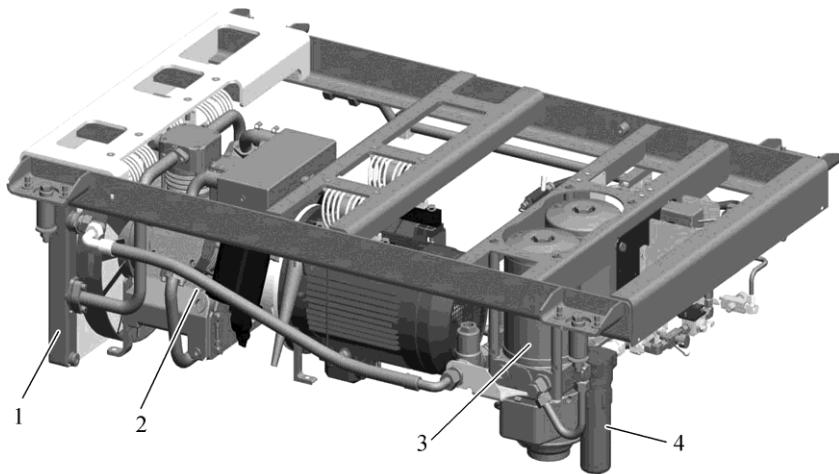
供风系统在整个列车空气管路系统中属于 A 组。城轨列车以单元进行编组，所以供风系统也是以单元来供风的。一般 6 辆编组的列车设置 2 套风源系统，分别布置到每个单元的 Tc 车或者 M 车上，相邻两车的主风管通过截断塞门和软管相连。

供风系统为各个用风系统提供符合系统要求的干燥压缩空气。它不仅针对空气制动系统，而且也为其他用气系统提供气源，如受电弓气动控制设备、汽笛（风喇叭）、空气弹簧、气动车门、刮雨器、车钩操作气动控制设备等。供风系统给用风设备供风存在优先级：第一级，供风系统无条件的为制动系统供风，以确保列车随时能够施加制动，从而保障运营的安全，同时也为汽笛、受电弓执行机构和车钩连接设备供风；第二级，只有当主风管的压力大于空气悬挂系统溢流阀的开启压力值时，才给空气悬挂系统供风。

2. 供风系统的组成

供风系统主要由空气压缩机、冷却器、空气干燥器、风缸、过滤器、安全阀、压力开关等其他管路部件组成。环境中的空气通过空气过滤器进入空气压缩机，压缩后经过空气干燥器单元、油过滤器，使压缩空气的湿度及含油量满足使用要求。

典型的供风系统的组成如图 2.1 所示。供风系统采用模块化设计，吊挂于车辆底架下部，如图 2.2 所示。



1—冷却器；2—空压机；3—双塔式干燥器；4—油过滤器。

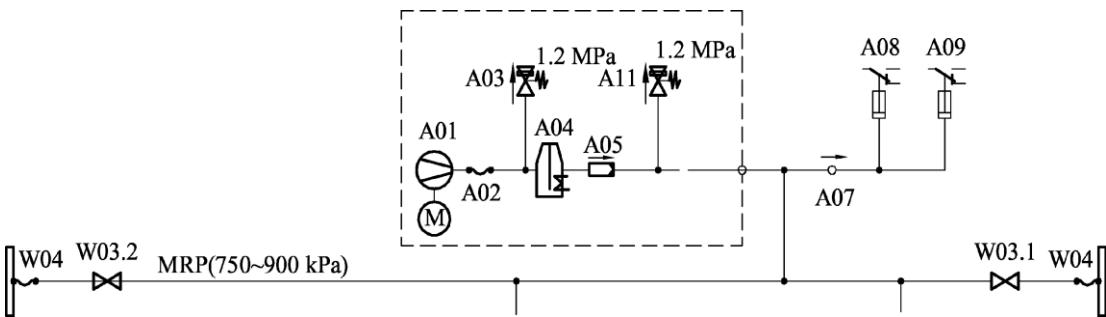
图 2.1 供风系统的组成



图 2.2 供风系统在车辆上的安装位置

3. 供风系统的作用机理

空气压缩机组产生压缩空气，由冷却器冷却后，进入空气干燥器净化、干燥，净化后的压缩空气经过精细过滤器进一步过滤，然后进入总风管，进而经过车钩向相邻列车传输。列车的每节车从总风管获取本车所需要的压缩空气，储存在本车的总风缸供本车使用。典型的供风系统气路如图 2.3 所示。



A01—空压机组；A02—压缩机出风软管；A03, A11—安全阀；A04—双塔式干燥器；A05—精细过滤器；
A07—测试端口；A08, A09—压力开关；W03.1, W03.2—主风管塞门；W04—车钩连接软管。

图 2.3 供风系统气路

4. 空压机的控制

对供风系统输出的压缩空气进行压力控制，也称为调压。总风管的压力在不同的产品中有所不同，常用的压力有以下几种。

- (1) 650 ~ 800 kPa。
- (2) 750 ~ 900 kPa。
- (3) 850 ~ 1 000 kPa。

某地铁一号线主风管的压力范围是 750 ~ 900 kPa，调压是通过调压器输出的控制信号控制空压机的启动和停止。调压器即压力开关（压力继电器）。在采用微机控制技术后，空压机的启停由网络计算机或者是制动计算机控制。总的原则是，在任何情况下，主风管压力达到（900±20）kPa 时，空压机将停止打风。

正常模式：列车两台压缩机的启停由 TCMS（列车控制及管理系统）进行管理。TCMS 通过 Tc 车总风压力传感器接收总风压力信号，根据总风压力值对空压机进行启停控制。两台压缩机采用隔日启动的方式，以保证列车上两套空压机工作时间均衡。单台空压机的设计负荷能满足整车的要求，当有一台空气压缩机出现故障时，车组列车仍能正常运营，列车性能不会受到影响，但仍在工作的那台空气压缩机输出加倍。在列车激活后首次打风，两台空压机一起工作，主风管压力达到（900±20）kPa 时，停止打风；当主风管压力下降为 750 kPa 时，由 TCMS 控制一台主空压机打风，主风管压力上升到 900 kPa 时，停止打风；当主风管压力下降为 700 kPa 时，由 TCMS 控制两台空压机同时打风，主风管压力上升到 900 kPa 时，停止打风。

降级模式：TCMS 控制无效，当主风管压力下降为（700±20）kPa 时，由压力开关控制两台空压机同时打风，压力开关与网络并联控制，对空压机启停自动进行备用控制；当主风管压力上升到 900 kPa 时，停止打风。

此外，在司机操纵台上设置有强迫泵风按钮，可以硬线控制空压机启动。强迫泵风按钮如图 2.4 所示。

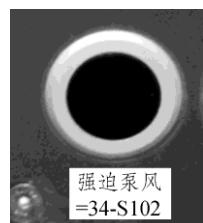
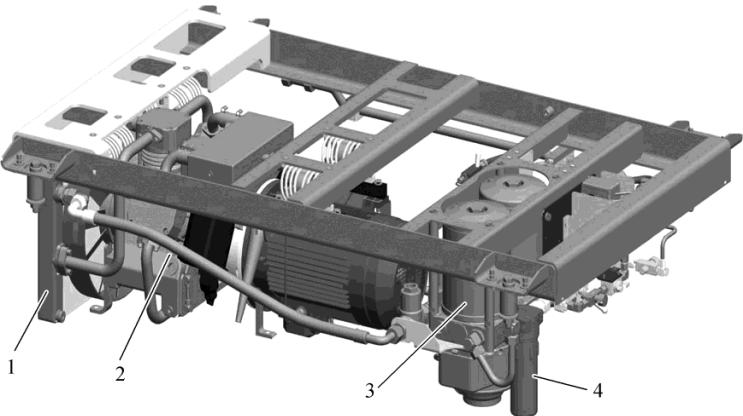


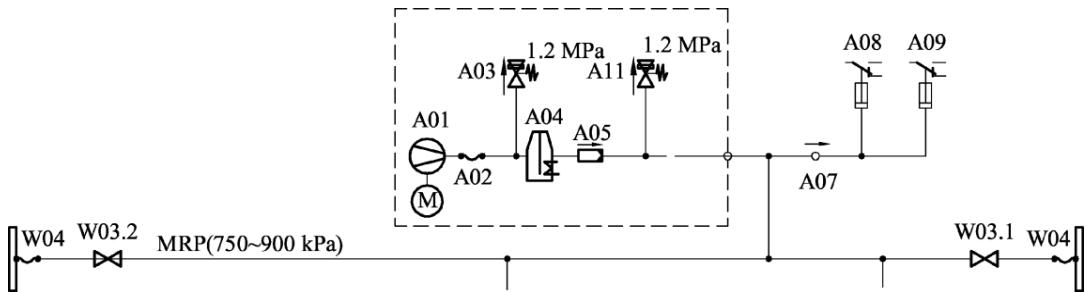
图 2.4 强迫泵风按钮

【实践与训练】

项目任务工作单

工作单	风源系统的组成和作用 能力训练
1. 标出下图中各部件的名称并写出列车上的用风设备有哪些。 	

2. 标出风源系统气路图中各部件的名称，并总结风源系统各部件的作用。



2.2 空压机组结构及原理

【知识目标】

- 掌握空压机组的组成。
- 掌握空压机的工作原理。

【能力目标】

能够描述空压机组的组成及工作原理。

【学习内容】

1. 空压机

空气压缩机（Air Compressor）是气源装置中的主体，它是将原动机（通常是电动机）

的机械能转换成气体压力能的装置，是压缩空气的气压发生装置。

1) 空气压缩机的类型

按可输出压力的大小，空压机可分为低压（ $0.2 \sim 1.0 \text{ MPa}$ ）、中压（ $1.0 \sim 10 \text{ MPa}$ ）、高压（大于 10 MPa ）；按工作原理空压机可分为容积型和速度型。

常见的低压、容积型空压机按结构分，主要有活塞式、叶片式、螺杆式。容积式空压机是直接改变气体容积来提高气体压力的压缩机。

2) 城轨列车采用的压缩机要求

城轨列车上使用的空压机要求噪声低、振动小、结构紧凑、维护方便、环境适应性强等。目前，城轨列车采用的主要是活塞式空气压缩机和螺杆式空气压缩机。

5. VV120 型活塞式空气压缩机

VV120 型活塞式空气压缩机，如图 2.5 所示。此压缩机有 3 个缸，其中两个缸为低压缸，一个为高压缸，3 个缸成 W 形排列，两级压缩，并附带有两个空气冷却器，其排气量为 920 L/min ，输出压力为 1000 kPa ，转速为 1450 r/min ，由 380 V 、三相、 50 Hz 交流鼠笼式异步电动机驱动。

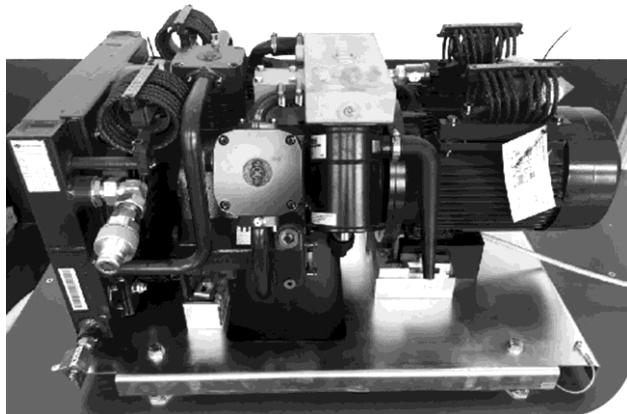
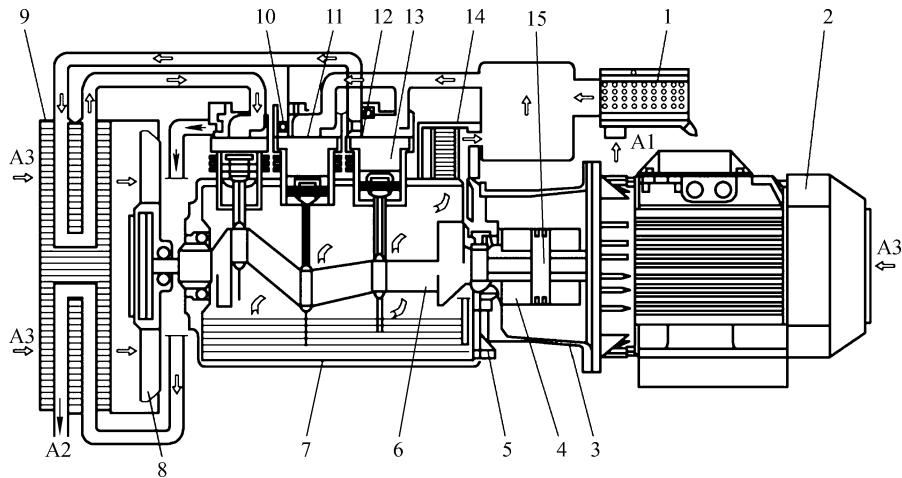


图 2.5 VV120 型活塞式空气压缩机

1) 构造组成

VV120 型活塞式空气压缩机结构如图 2.6 所示，它主要由固定机构、运动机构、进/排气机构、中间冷却装置和润滑装置等组成。其中，固定机构包括机体、气缸、气缸盖；运动机构包括机轴、连杆、活塞；进排气机构包括空气过滤器、气阀；冷却装置包括中间冷却器、后冷却器和带有黏性联轴器的散热风扇。其特征为：3 个气缸，W 形构造，两级密封，低噪声、低振动；优化的浸油润滑式闭合循环油路；无磨损、扭转刚性离合器；带黏液耦合器的风扇叶轮；内置式大功率干式空气滤清器；新式的免维护弹性支座；紧凑型自承式的法兰，模块式结构。

带有黏性联轴器的散热风扇，能够根据环境温度和压缩机出口温度，进行连续并且相互独立的冷却控制，从而确保压缩机在合适的工作温度下运行。



1—进风口过滤器；2—电动机；3—过滤法兰；4—波纹管联轴节；5—油位指示器管；6—曲轴；7—曲轴箱；
8—风扇叶轮；9—冷却器；10—出风阀；11—吸入阀；12—安全阀；13—气缸；14—集油箱；
15—柔性联轴节；A1—进风口；A2—出风口；A3—冷却空气。

图 2.6 VV120 型活塞式空气压缩机的结构

2) 工作原理

电机通过联轴器驱动空压机曲轴转动，曲柄连杆机构带动高、低压缸活塞同时在气缸内做上下往复运动。轴颈以及活塞和气缸均采用喷射润滑油的方法进行润滑。连杆浸入油池中，在每次转动时即会被润滑。润滑油会自流回油池中，无须附加装置如滤油器、油泵或者阀门。通过两侧安装的油位指示器管可以准确地读取曲轴箱中的油位。

当低压活塞下行时，活塞顶面与缸盖之间形成真空，经空气滤清器的大气推开进气阀片进入低压缸，此时排气阀在弹簧和中冷器内空气压力的作用下关闭。

当低压活塞上行时，气缸内的空气被压缩，其压力大于排气阀片上方压力与排气阀弹簧的弹力之和时，压缩排气阀弹簧而推开排气阀片，具有一定压力的空气被排出缸外，而进气阀片在气缸内压力及其弹簧的作用下关闭。

两个低压缸送出的低压空气，都经气缸盖的同一通道进入中冷器冷却后，再进入高压缸，进行二次压缩，压缩后的空气经二次冷却器再次冷却以达到空气干燥器所允许的温度水平。



微课堂——VV120 型活塞式空压机作用原理

VV120 型空气压缩机工作过程如图 2.7 所示。

3. 螺杆式空气压缩机

以某地铁为例，介绍 SL20 型螺杆式空气压缩机组，其空气压缩机组整体结构如图 2.8 所示。

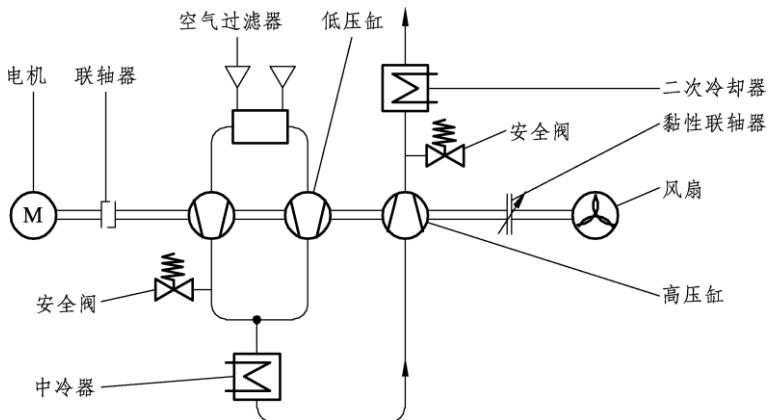


图 2.7 VV120 型空气压缩机工作过程

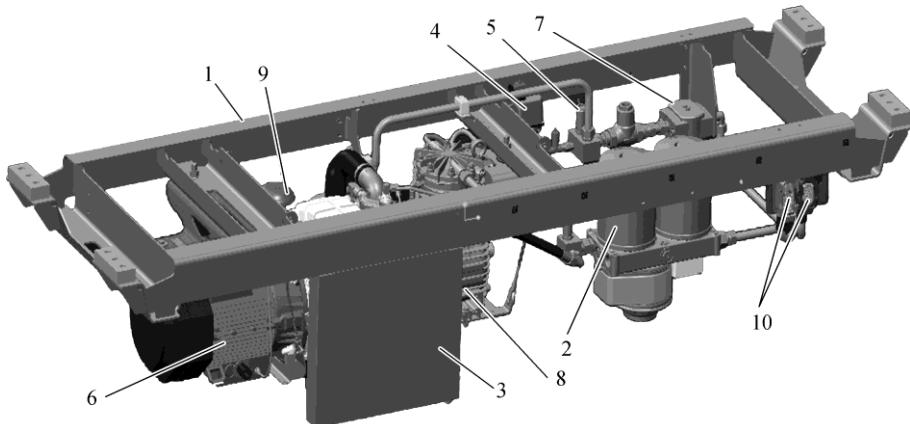


图 2.8 SL20 型螺杆式空气压缩机组结构

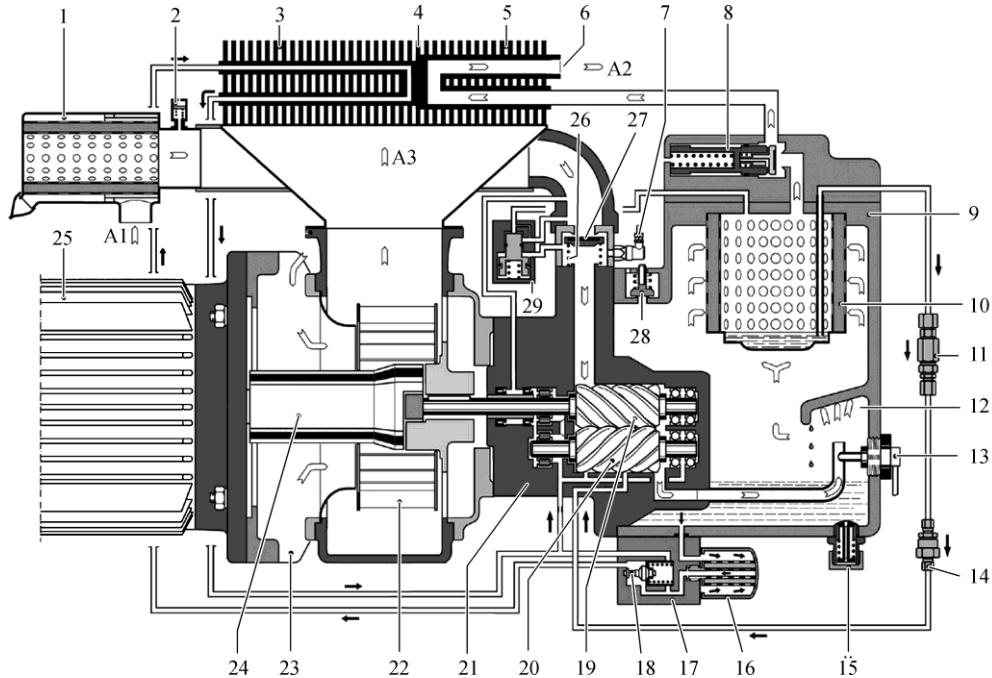
1) SL20 型螺杆式空压机结构

SL20 型螺杆式空气压缩机组主要由驱动装置、空气压缩机体、冷却装置、空气净化装置和吊架组成（见图 2.9），它们利用模块化结构设计，用螺栓连接在一起组成一个紧凑单元，整体吊挂在车体底架上。SL20 型螺杆式空气压缩机由 AC 380 V/50 Hz 交流电动机驱动。压缩机机头（螺杆转子单元）是螺杆空压机的核心，它是一对相啮合的螺杆，如图 2.10 所示。其中，阳螺杆（通常作主螺杆）为凸形不对称齿，而阴螺杆（常用作从动螺杆）为瘦齿形弯曲齿。两螺杆的齿断面形线是专门设计并经过精密磨削加工的，在啮合过程中两齿间始终保持“零”间隙密贴，形成空气的挤压空腔。

2) SL20 型螺杆式空压机的工作原理

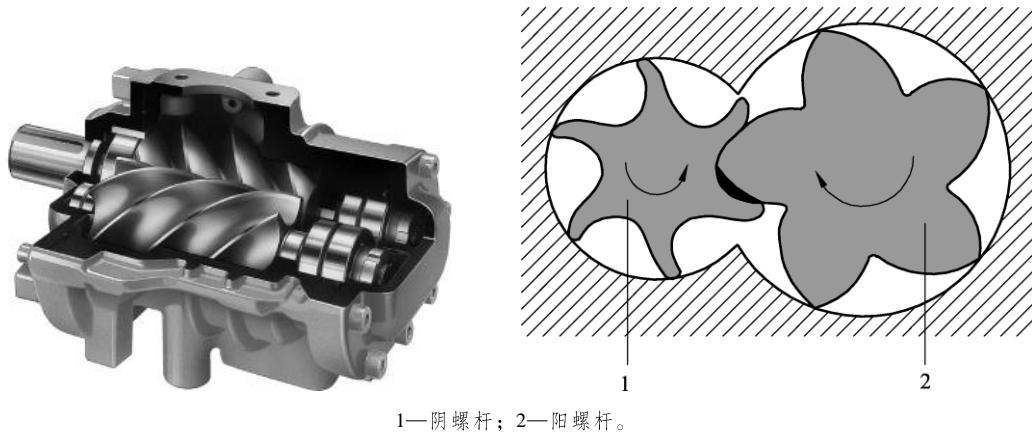
空气经过空气滤清器、进气阀板和压缩弹簧的止回阀功能组进入压缩机单元的进气侧。空气通过固定在压缩机单元上的压力套管被压入压缩机单元外壳内。

压缩机启动后，最小压力阀先关闭，使压缩机单元外壳内迅速建立起压力，实现油路循环。



1—空气滤清器；2—真空指示器；3—油冷却器；4—冷却器；5—空气冷却器；6—冷却空气出口；7—压力开关；
8—最小压力阀；9—压缩机外壳；10—油细分离器；11—吸油管道过滤器；12—折流板；13—温度开关；
14—止回阀；15—卸油阀；16—油过滤器；17—温控阀；18—温控元件；19—主转子；20—副转子；
21—压缩机单元；22—离心式风扇；23—中托架；24—联轴器；25—电机；
26—压缩弹簧；27—进气阀板；28—安全阀；29—泄油阀；
A1—进风口；A2—压缩空气出口；A3—冷却空气。

图 2.9 SL20 型螺杆式空气压缩机组



1—阴螺杆；2—阳螺杆。

图 2.10 螺杆式压缩机螺杆及啮合状态

当压缩机外壳内的压力达到约 650 kPa 时，最小压力阀开启，压缩空气进入下游管路。如果在达到关闭压力时，压缩机组停止运转，则最小压力阀关闭，以防止被压缩的空气从

下游管路中回流到压缩机外壳内。

每次关断压缩机组后，压缩机外壳都通过泄压阀自动泄压。压缩机组停止运转后，最小压力阀和进气阀板首先关闭。接着，进气管道内的压力由于来自压缩机单元的回流空气而升高，泄压阀开启，压缩机单元外壳的空气可由此流经空气滤清器，从而使外壳内的压力迅速降至 300 kPa 以内。最后，空气通过泄压阀内的一个喷嘴将压力慢慢地降到 0 kPa。

两个互相啮合的转子在一个只留有进气口的铸铁壳体里面旋转，螺杆的啮合和螺杆与壳体之间的间隙通过精密加工严格控制。进气阶段：进气口打开，常压空气进入；压缩阶段：进气口随转子啮合而关闭，转子转动，空气升压，压缩空气；排气阶段：出气口打开，压缩空气排出。

空压机在工作时向螺杆内喷压缩机油，使间隙被密封，喷入的机油在螺杆的齿面形成油膜并将两转子的啮合面隔离防止机械接触摩擦。另外，不断喷入的机油与压缩空气混合，可以带走压缩过程所产生的热量，维持螺杆副长期可靠的运转；在油气混合物压力变化时，不可压缩的液态油可以部分地吸收缓和压缩空气膨胀产生的气动高频噪声。



动画——螺杆式压缩机工作原理

3) 螺杆式空压机的主要技术参数

- (1) 额定排气压力：900 kPa。
- (2) 机组工作环境温度：-25+50 °C。
- (3) 冷却方式：风冷。
- (4) 润滑油量：约 6.5 L。
- (5) 输入电源：AC 380 V/50 Hz。
- (6) 干燥后空气质量：固体粒子等级 2 级 (ISO 8573-1)，相对湿度 RH≤35%，含油量等级 2 级 (ISO 8573-1)。
- (7) 轴功率：(8.3±0.58) kW。
- (8) 电机额定转速：1 460 r/min。
- (9) 风源系统最终排量 (900 kPa)：(0.75±0.05) m³/min。

4) 螺杆式空压机特点

与活塞式空气压缩机相比，螺杆式空气压缩机具有如下特点。

(1) 噪声低、振动小。当螺杆式空气压缩机工作时，旋转部件两个螺杆的运动没有质心位置的变动，因而没有产生振动的干扰力。经精密加工和精密磨削制造的阴、阳螺杆和机壳之间，互相密贴和啮合的间隙是通过喷油实现密封和冷却的，并不产生机械接触和摩擦，因而在工作中噪声低，一般不超过 85 dB (A)。另外，其空气压缩过程是连续的，不受气阀开闭的制约，所以，压缩空气流动也连续而且平稳。

(2) 可靠性高和寿命长。螺杆式空气压缩机工作时，除了轴承和轴封等部件外，没有因相对运动而摩擦的零部件。阴、阳螺杆和机壳之间并不产生机械接触，即在工作中不产

生磨损。因此它具有较高的可靠性并可免维护，其检修周期可以保证不短于整车的大修期。

(3) 维护简单。在实际运用中，检查、检修人员只要注意观察螺杆式空气压缩机的润滑油油位不低于油表或视油镜刻线，确保空气滤清器不被堵塞即可保证其能正常工作。

5) 空压机常见故障

(1) 空压机润滑油乳化。

润滑油乳化是一种液体以微小液滴均匀地分散到互不相溶的另一种液体中的作用。通过油位显示管观察润滑油，如发现润滑油呈不透明或有分层现象则表明润滑油已经乳化。造成这种现象的原因是空气潮湿且空压机运行时间较短，油腔温度较低，进入油腔中的水蒸气不能及时排出，从而与润滑油混合在一起。空压机润滑油乳化对比如图 2.11 所示。

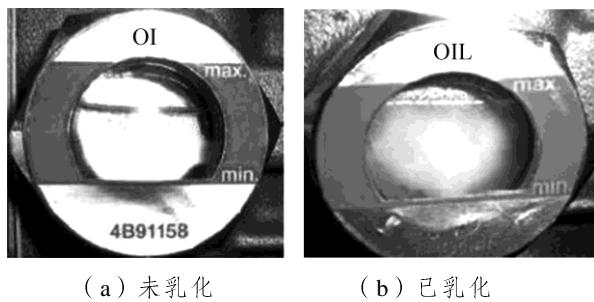


图 2.11 空压机润滑油乳化对比图

空压机润滑油乳化的后果：空压机润滑不良、运动部件磨损加剧、活塞环密封失效、空压机机油失效、水分造成气缸和曲轴腐蚀、空压机的使用寿命缩短。

可以通过定期启动空压机 1~2 h 来预防空压机润滑油乳化。在润滑油已经乳化后，可以运行空压机 2 h，观察乳化现象是否消失，如果乳化现象不消失，则需要更换润滑油。

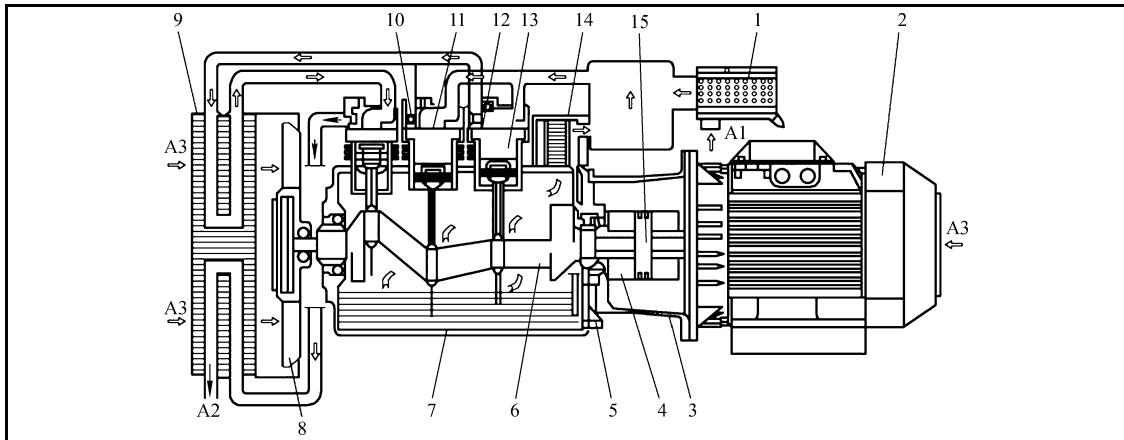
(2) 空压机振动异常。

空压机在运行时，有时会听到机械碰撞的声音，即产生了异常振动。产生此故障的原因可能是空压机的弹性悬挂装置失效或者空压机运动部件缺少润滑。

【实践与训练】

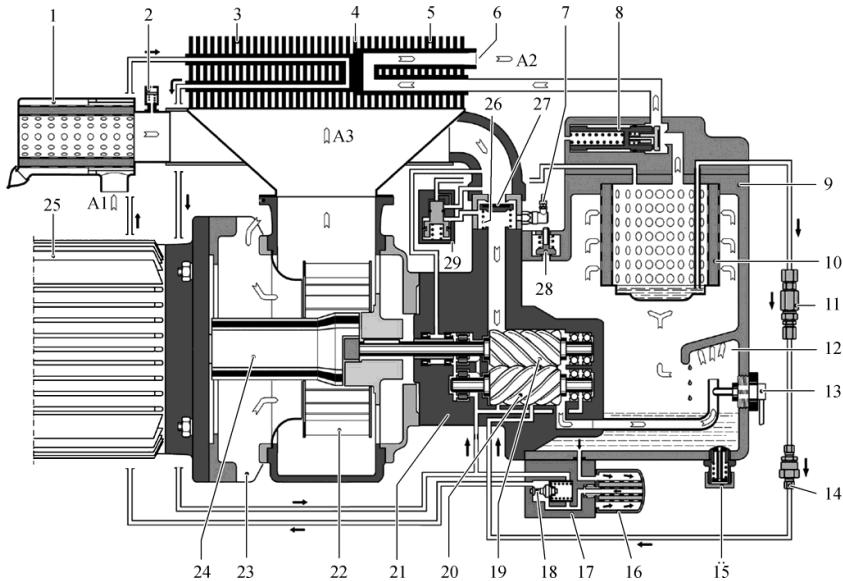
项目任务工作单

工作单	空压机组结构及原理
能力训练	
1. 在 VV120 型活塞式空压机的结构示意图上，标出主要部件的名称并分析各部件的作用。 2. 在图中标出空气从输入到压缩直至最后排出的整个过程。 3. 总结 VV120 型活塞式空压机的工作原理。	



续表

4. 标出螺杆式空压机的主要部件并分析其空气走向和润滑油走向。



2.3 空压机组附件

【知识目标】

掌握空压机组附件结构及作用。

【能力目标】

能够描述空压机组附件的组成及作用。

【学习内容】

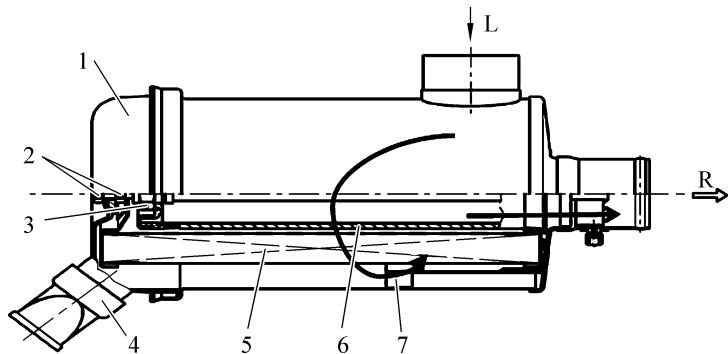
1. 空气滤清器

空气滤清器安装在空气压缩机的进气口处，过滤空气，减少进入空压机内部的尘埃，降低空气压缩机组的磨损，延长其使用寿命。其实物结构如图 2.12 所示。



图 2.12 空气滤清器

空气滤清器主要由外壳、滤芯、进气管、排尘阀等组成，如图 2.13 所示。



1—灰尘罐；2, 3—六角螺母；4—排尘阀；5—滤芯；6—安全元件；
7—导风环；8—真空指示器；L—进气口；R—清洁气出口。

图 2.13 空气滤清器结构

空气滤清器的滤芯为干式纸质过滤器（见图 2.14），它对空气进行精细过滤，干式空气滤清器的分离度为：3 μm 的颗粒为 99.9%；1 μm 的颗粒为 99%。对空气滤清器滤芯进行维护工作时，只需更换滤芯，保养方便；它与油池空气滤清器相比，无需换油，没有附加的清洁工作，节省时间。



2.14 空气滤清器滤芯

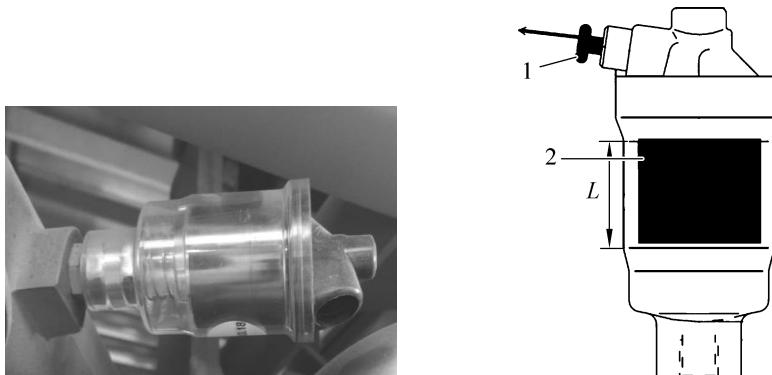
在空气滤清器上装有一个真空指示器，如图 2.15 所示。真空指示器可测出洁净气出口的负压，在滤芯脏污程度加重时此负压值将增高。当指示活塞能全部被看见或箭头指向

5 kPa，且在此位置锁住，并在空气压缩机停机时活塞仍保持完全可见，就应更换滤清器滤芯和倒掉后盖内尘土。重新装上空气滤清器后，按下指示器顶端的复位按钮即可复位。真空指示器可以显示滤芯何时需要维护，有利于最大限度地使用滤芯。

2. 阀件

1) 进气阀

进气阀专门用于连续/间歇工作的空气压缩机组。空气压缩机组工作时，进气阀阀板打开，提供风源。当其停止工作时，阀板关闭，使油气筒内含油气体不能通过，同时其卸压部位工作，油气筒内压力能在很短时间内降到 300 kPa 以下，以免空气压缩机组带压起动。如果空压机起动电流过高，空气开关会为保护机组而跳闸。进气阀实物图如图 2.16 (a) 所示，其结构如图 2.16 (b) 所示。

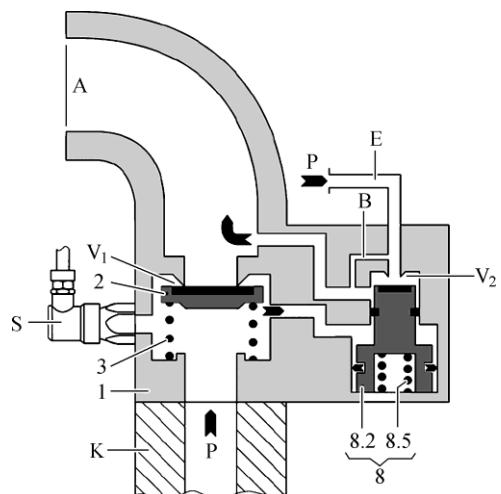


1—按钮（用于滤清器更换后拉拔）；2—指示活塞；L—活塞的行程。

图 2.15 真空指示器



(a) 进气阀实物



(b) 进气阀结构

1—阀体；A—进气通道；2—阀板；B—卸载通道；3—弹簧；E—卸载管；8—卸载元件；8.2—活塞；P—压缩机外壳内的压力；8.5—弹簧；S—压力开关；V—阀座。

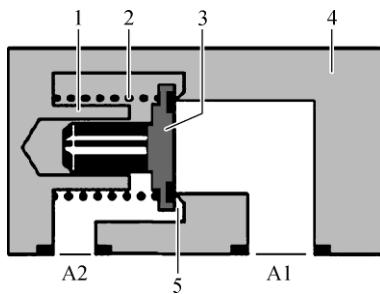
图 2.16 进气阀

2) 止回阀

止回阀也叫单向阀，结构如图 2.17 所示。止回阀主要由阀体、阀芯、弹簧等组成。当进风口 A1 的压力较高时，推动阀芯弹簧，打开阀口，压缩空气由 A1 流经 A2。进风口 A1 的压力下降，阀芯在弹簧力的作用下关闭阀口，防止出风口 A2 处的压缩空气回流。止回阀安装于只允许空气从一个方向流入且反向截止的空气管路，以避免压降。止回阀符号如图 2.18 所示。

3) 双向止回阀（梭阀）

双向止回阀又称梭阀，其结构如图 2.19 所示，主要由阀体、活塞等组成，A1、A3 为进风口，A2 为出风口。活塞在阀体内往复移动沟通气路。根据 A1 和 A3 端口输入压力的大小，推动活塞 b 在阀体内往复移动，使端口 A1 和 A3，交替连接 A2。当两进口端压差大于某一数值时，端口发生转换，较低压力的端口被活塞末端的密封件关闭。双向止回阀符号如图 2.20 所示。



1—导向部；2—弹簧；3—阀芯；4—阀体；5—阀座；A1—进风口；A2—出风口。

图 2.17 止回阀结构

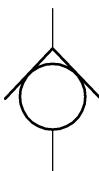
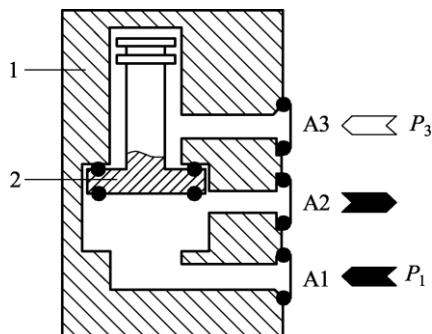


图 2.18 止回阀符号



1—阀体；2—活塞；A—端口；P—入口压力。

图 2.19 双向止回阀结构

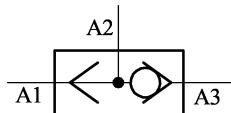


图 2.20 双向止回阀符号



动画——双向止回阀作用原理

4) 安全阀

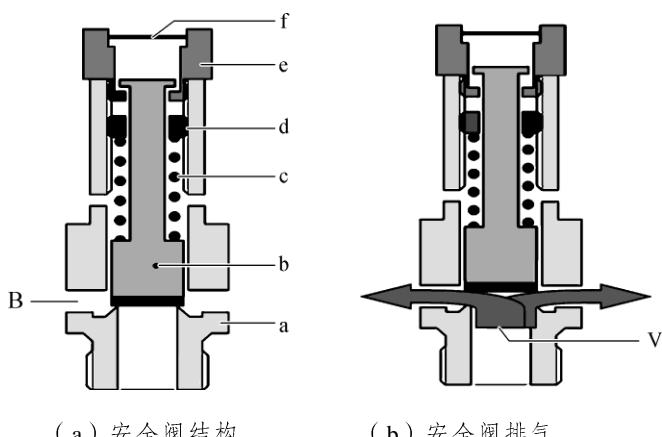
安全阀主要用于空压机系统和后续气路系统的超压保护。系统内超压无法及时排气减压会造成漏油和气路部件寿命减低等。

当压力高于安全阀的限定值时，安全阀向外间断式喷气，起到降压保护管路和提醒的双重作用，安全阀如图 2.21 所示。在供风模块中有两处安全阀分别为：A01.03 整定值为 1.2 MPa，用于保护空气压缩机；A01.11 整定值为 1.05 MPa，用于保护后续的空气管路、制动设备。



图 2.21 安全阀

安全阀由阀体、调节螺栓、排风口、阀杆、手动卸放螺钉、阀座、弹簧组成，如图 2.22 (a) 所示。



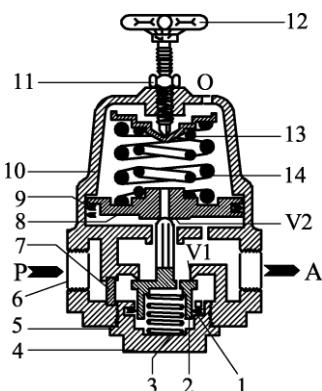
a—阀体；d—调节螺栓；B—排气口；b—阀杆；e—手动卸放螺钉；V—阀座；c—弹簧；f—铅封。

图 2.22 安全阀

当空气压力超过规定压力时，则空气压力抵消弹簧压力，将阀口顶开，释放压力空气，如图 2.22 (b) 所示。有时空气压力没有超过规定压力，但需要释放压力，也可以用工具向上拔起阀杆，即可打开阀门。拧开手动卸放螺钉使阀内的压力足够打开阀门并从排气口卸放空气，排放完毕，再拧紧手动卸放螺钉。安全阀要定期检查阀门动作是否顺畅和清除阀座里积存的尘土。

5) 减压阀

减压阀的作用是调节压缩空气系统中的空气压力至工作压力，且维持稳定。减压阀的结构如图 2.23 所示。



1, 5, 9—密封圈；2—排气阀；3—弹簧；4—阀盖顶；6—进气口；7—过滤网；8—活塞；10—阀体；11—锁紧螺母；12—调节螺丝；13—调整弹簧；14—大弹簧；V1, V2—阀口；A—排气口；P—进气口。

图 2.23 减压阀

压缩空气经 P 口进入减压阀，从 A 口排出，压缩空气流经活塞底部，如果压力足够大，活塞会上升，排气阀也会上升，直到其靠到阀口 V1，这样端口 P 到端口 A 的通路就被切断。如果端口 P 的压力继续推动活塞上升，则活塞上的阀口 V2 被打开，多余的压力空气从端口

O 排出。当压力下降，弹簧把活塞往下推，通过阀杆关闭阀门 V2。如果端口 A 的压力继续下降，则排气阀打开，使更多的压力空气从端口 P 流入。这一过程会一直持续下去，保证了端口 A 的压力恒定。减压阀符号如图 2.24 所示。

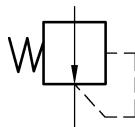


图 2.24 减压阀符号

6) 最低压力阀

最低压力阀（压力维持阀）安装在油气筒上方油气分离器出口处，开启压力设定为 (600 ± 50) kPa。其作用有两方面：

- (1) 建立润滑油循环压力：启动时优先建立起润滑油的循环压力，确保空压机的润滑。
- (2) 止回：当停机后油气筒内压力下降时，防止主风缸内压缩空气回流。

3. 温度开关与温控阀

1) 温度开关

温度开关安装在空压机上，如图 2.25 所示。润滑油失油、油量不足、冷却不良等情况，均可能导致排气温度过高，当排气温度达到温度开关设定温度值时，则温度开关断开而停机。更换温度开关的步骤：先关停空压机并完全卸压；再将油位降低至油标尺的最下限；然后松开螺旋塞上的紧定螺钉，并从螺旋塞上取出，然后小心地拔出温度开关；随后更换一个新的温度开关并将润滑油加至油标尺的上限；最后检查温度开关的功能是否正常。



图 2.25 温度开关

2) 温控阀

温控阀安装在油冷却器前，它维持排气温度在压力露点温度以上，避免空气中的水蒸气在油气筒内凝结而乳化润滑油。润滑油乳化会造成空压机润滑不良，运动部件磨损加剧，活塞环密封失效，空压机油失效，水分会造成腐蚀，缩短空压机的使用寿命。

知识链接——压力露点

湿空气被压缩后，水蒸气密度增加，温度也上升。压缩空气冷却时，相对湿度便增加，

当温度继续下降到相对湿度达 100% 时，便有水滴从压缩空气中析出，这时的温度就是压缩空气的“压力露点”。

4. 油和空气冷却器

油和空气冷却器是铝制的紧凑型冷却器，其结构如图 2.26 所示。冷却器能将其出口的压缩空气温度冷却到高于周围环境温度 10 ℃。冷却风扇直接安装在电机轴上，以产生冷却气流，不需要单独的电机驱动。冷却器叶片必须始终保持干净，杂质必须去除，以避免温度升高和温度开关 (T) 引发的压缩机组停机。空压机每 1 000 个运行小时或者最迟 12 个月要清洁气缸冷却器和散热片。

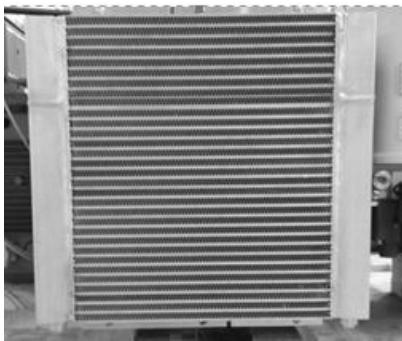


图 2.26 油和空气冷却器

5. 压力开关

压力控制器通过压力变化改变电路，电信号的变化可定性地反映所控制管路的压力变化，压力开关如图 2.27 所示。如果给压力控制器加上压缩空气，当达到相应的上开关压力或下开关压力时，所连接电路即断开或闭合。空压机压力开关受进气阀座内压力控制，当压力小于 300 kPa 时，压力开关恢复接通，此时空压机机组才能再次起动。



图 2.27 压力开关



动画——压力开关作用原理

6. 视油镜

视油镜如图 2.28 所示。它主要用于对油位进行目视检查。压缩机在冷却和卸压状态下，油位应当位于两个标记刻度线之间。如果油位低于下标（最低），或者油位在下一检查周期之前就会达到下标时，就应当加注油。

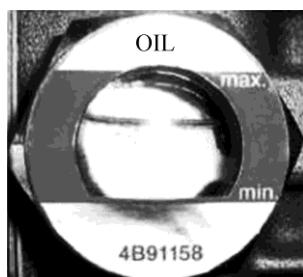
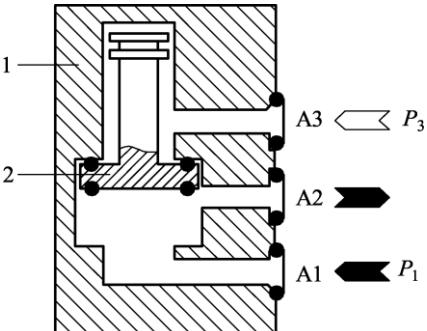
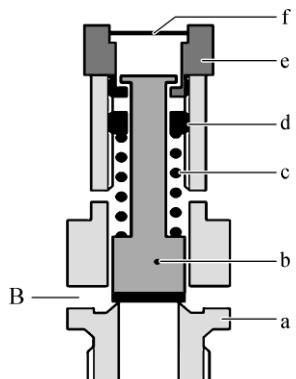
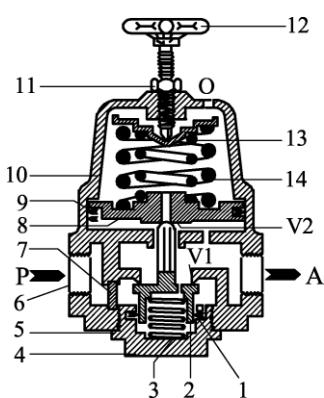


图 2.28 视油镜

【实践与训练】

项目任务工作单

工作单	空压机组附件结构及作用
	能力训练
1. 在双向止回阀示意图中，请写出 1、2 的名称，并分析其工作原理。	
	
2. 在安全阀示意图中，写出 a、b、c、d、e、f 的名称，并分析其工作原理。	
	
3. 标出减压阀各部件的名称，并分析其工作原理。	
	

2.4 空气干燥器

【知识目标】

掌握单塔式、双塔式空气干燥器结构及原理。

【能力目标】

能够描述单塔式、双塔式空气干燥器作用过程。

【学习内容】

1. 空气干燥器的作用

从空气压缩机输出的压缩空气中含有较高的水分、油分和机械杂质等，必须将这些杂质除去，才能达到城轨车辆上用风设备对压缩空气的使用要求。压缩空气中的液态水、油微粒及机械杂质能在滤清器（或油水分离器）中基本被去除；空气干燥器用来去除压缩空气中的水蒸气，使其相对湿度达到35%以下，避免用风过程中出现冷凝水。

知识链接

相对湿度：湿空气的绝对湿度与相同温度下可能达到的最大绝对湿度之比。

空气干燥器一般都做成塔式，有单塔和双塔两种，如图2.29所示。上海地铁一号线直流传动车采用的是单塔式空气干燥器，而交流传动车则使用的是双塔式空气干燥器。相对于直流传动车，交流传动车选用的空气压缩机的排气量较小，它停止工作的间隙不能满足单塔式干燥器再生所需的时间，因此要选用双塔式空气干燥器。



(a) 单塔式空气干燥器



(b) 双塔式空气干燥器

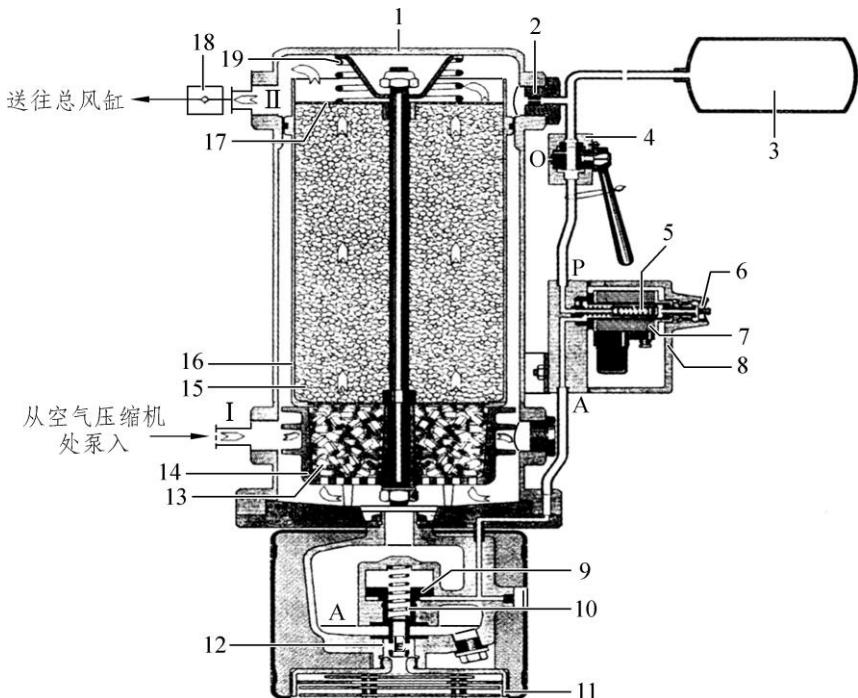
图2.29 空气干燥器

2. 单塔式空气干燥器

1) 结构

单塔式空气干燥器结构如图2.30所示，它由油水分离器、干燥筒、排泄阀、电磁阀、再生风缸和消声器等组成的。在油水分离器中有许多拉希格圈，干燥筒则是一个大圆筒，

其中装满了颗粒状的吸附剂。常用的吸附剂有硅凝胶、氧化铝、活性炭、分子筛、合成铝硅酸盐等。城轨车辆空气干燥器采用的吸附剂一般为合成铝硅酸盐，如图 2.31 所示。这种结晶合成铝硅酸盐由于其特殊的分子结构而具有特别大的比内表面，从而从流经的空气中吸走水蒸气。与其他干燥剂相比较，这种干燥剂的突出优点是对油很不敏感。



1—空气干燥筒；2—节流孔；3—再生储风缸；4—带排气的截断门；5—衔铁；6—排气阀；7—线圈；
8—电磁阀；9—活塞；10, 19—弹簧；11—消声器；12—泄压阀；13—拉希格圈；14—油水分离器；
15—吸附剂；16—干燥筒体；17—带孔挡板；18—单向阀。

图 2.30 单塔式空气干燥器



图 2.31 合成铝硅酸盐

2) 作用原理

空气压缩机输出的压力空气从干燥塔中部的进口管进入干燥塔后，先经过油水分离器。当含有油分的压缩空气与拉希格圈（这是一种用铜片或铝片做成的有缝的小圆筒）相接触时，由于液体表面张力使空气中的油滴很容易地吸附在拉希格圈的缝隙中，这样就能去除

大部分压缩空气中的油分。然后空气再进入干燥筒内与吸附剂相遇，吸附剂能大量地吸收空气中的水分。最后使干燥筒上方输出的压缩空气相对湿度小于 35%，即可满足车辆各用风系统的要求。当洁净而干燥的压缩空气经过单向阀输向主风缸时，分离后留在干燥塔内的油和水还要进一步处理。从空气干燥塔输出的干燥空气有一部分通过干燥塔顶部的节流孔输送至再生风缸。

当总风缸压力达到 850 kPa 时，空气压缩机停止工作，干燥塔顶的压力迅速降低。由于干燥塔与主风缸的通路中有止回阀，主风缸的压缩空气不能倒流至干燥塔内，而这时再生风缸内干燥的压缩空气经节流孔回冲至干燥塔内，并且沿干燥筒、油水分离器一直冲至干燥塔下部的积水积油腔内。在下冲的过程中，干燥空气吸收了吸附剂中的水分，同时还冲下了拉希格圈上的油滴，使吸附剂和拉希格圈都得到再生，在以后的净化和干燥中可以继续发挥作用。再生风缸还有一条管路通向积水积油腔底部的排污阀门，管路中间有一个电磁阀，其电磁线圈与空气压缩机压力开关相接。当空气压缩机关闭时，电磁阀线圈失电，气路导通，再生风缸的压力空气顶开积水积油腔底部的排泄阀门，使积水积油腔内的水和油通过消声器迅速排向大气。

3. 双塔式干燥器

双塔式空气干燥器的工作原理与单塔式空气干燥器的类似，只不过它采取的不是时间分段法，即一段时间排污，下一段时期再生和排污；而是采取双塔轮换法，即一个塔在去油脱水的同时，另一个塔进行再生和排污，过后两个塔的功能对换，以达到压缩空气可连续进行去油脱水的目的。

双塔式空气干燥器没有再生风缸，而依靠两个干燥塔互相提供回冲压缩空气排污。但它设有一个定时脉冲发生器，使两个干燥塔的电磁阀定时地轮流开、关，以使两个塔的功能能够定时进行轮换。

1) 结 构

双塔式空气干燥器的内部构造如图 2.32 所示。

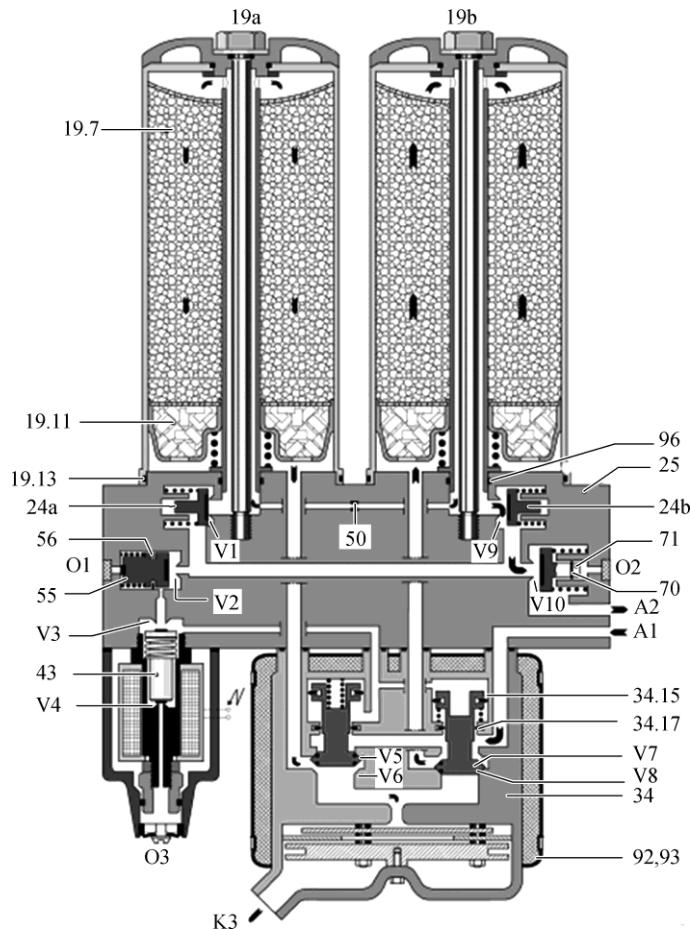
2) 工作原理

双塔式干燥器工作为干燥与再生两个工况同时进行，压力空气在一个筒中流过并干燥时，另外一筒中的吸附剂即再生。从空气压缩机输出的压缩空气首先经过装有拉希格圈的油水分离器，除去空气中的液态油、水、尘埃等；然后，压缩空气再流过干燥筒中的吸附剂，吸附剂吸附压缩空气中的水分。

一部分干燥过的压缩空气（相对湿度 13% ~ 18%）被分流出来，经过再生节流膨胀后，进入另一个干燥塔对已吸水饱和的吸附剂进行脱水再生。再生工作后的压缩空气经过油水分离器时，再把积聚在拉希格圈上的油、水及机械杂质等从排泄通路排出。用于吸油的拉希格圈，可以用碱性清洁剂清洗，再用清水洗涤，最后用压缩空气吹干即可。如果在排泄阀的出口处有白色沉淀物或是干燥剂过饱和，必须检查干燥剂，如有必要则要更换。一般来说，干燥剂每 4 ~ 5 年需要更换一次。

作用过程如下：

空气→进气口 A1→阀 V7→干燥筒 19b 中油水分离器、吸附剂→干燥筒 19b 中心管，由此分两路；一路到止回阀 V9→旁通阀 V10→出气口 A2→总风缸；另一路至再生节流孔→干燥筒 19a 中心管→干燥筒 19a 中吸附剂、油水分离器→阀 V6→消声器→排泄口→大气。

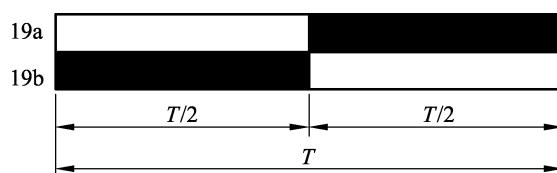


19a—再生阶段的干燥塔；34.15, 34.17, 56, 70—K 环；92, 93—绝缘套；19b—干燥阶段的干燥塔；19.7—干燥剂；
43—电磁阀；96, 19.13—O 形环；19.11—带拉西环的油分离器缸；50—再生塔喷嘴；A1—压缩机前的进风口；
55—先导阀的活塞；A2—通向主风缸的排风口；24—止回阀的阀锥；K3—空气/冷凝水；25—支架；
O—排风孔；34—双活塞阀；71—溢流阀阀盘；V—阀座。

图 2.32 双塔式空气干燥器作用原理

3) 循环控制

循环控制器在空气压缩机起动的同时也开始工作，它根据规定的程序控制电磁阀 43 的开关时间；从而控制双干燥筒工作循环，每 2 min 转换一次工作状态。操作位置的时间顺序和相应的工作阶段如图 2.33 所示。



T—工作循环；19a, 19b—干燥塔。

图 2.33 一个工作循环示意图

2.5 风缸及其他空气管路部件

【知识目标】

1. 识别风缸和其他空气管路部件。
2. 掌握风缸和其他空气管路部件的作用。

【能力目标】

能够识别管路附件的符号。

【学习内容】

1. 风缸及管路

1) 风 缸

风缸是用于储存压缩空气的容器，它用钢板制成，具有很高的耐压性。城轨列车上风缸的作用是储存压缩空气为系统供风，同时减少空气压缩机的频繁起动等。风缸下面应装有排水塞门或排水堵，能定期排出风缸内的冷凝水。风缸容积较大，为了便于风缸的维护，将主风缸、制动风缸、空气悬挂风缸集成为一个模块，如图 2.34 所示。

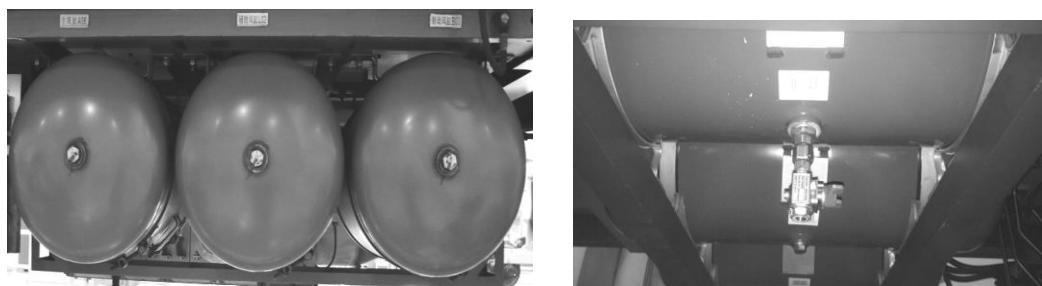


图 2.34 主风缸、制动风缸、空气悬挂风缸

主风缸、制动风缸、空气悬挂风缸符号如图 2.35 所示，其中 A06 为主风缸、B03 为制动风缸、L02 为空气悬挂风缸

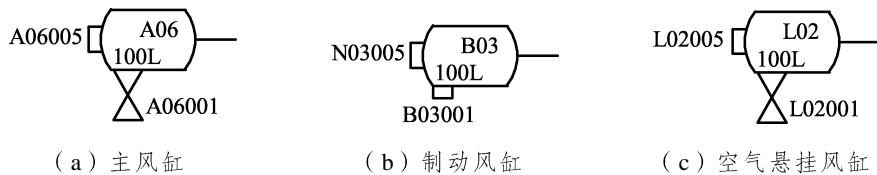


图 2.35 主风缸、制动风缸、空气悬挂风缸符号

2) 空气管路

(1) 不锈钢空气管路。

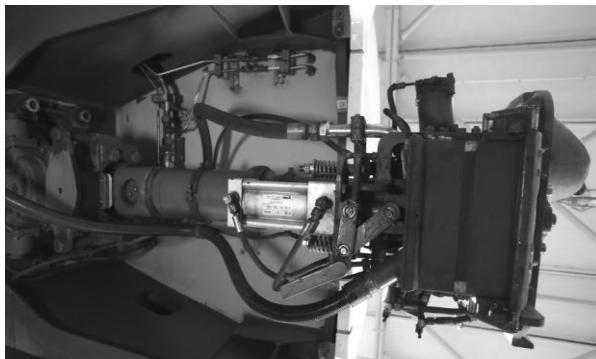
各车空气管路设计大致相同，空气管路采用薄壁无缝不锈钢管、不锈钢卡套式管接头，使用尼龙和不锈钢管卡紧固。空气管路及接头如图 2.36 所示。



图 2.36 空气管路及接头

(2) 软管。

普通软管有阻止振动传递、连接有相对运动的管路和方便接管的作用。常见的有压缩机出风软管、制动软管、停放制动软管、制动缸软管，车钩总风软管等，如图 2.37 所示。软管使用寿命为 6 年，到期需要更换。



(a) 解钩软管



(b) 制动软管

图 2.37 软管

2. 其他空气管路部件

1) 截断塞门

截断塞门安装在制动支管上，当列车中的车辆因特殊情况或列车检修作业需要停止该车辆空气制动箱体的作用时，可以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。

(1) 长手柄球芯截断塞门。

长手柄球芯截断塞门，如图 2.38 所示。此类塞门常用于切断管路内的空气通路，带排风的塞门还可以在切断管路的同时排空后端的压力空气。



微课堂——球阀工作原理

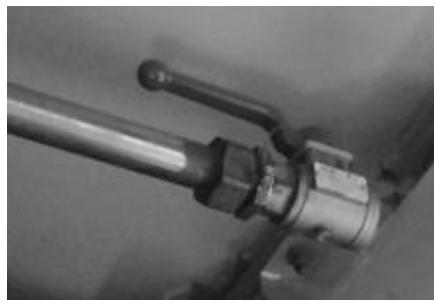


图 2.38 截断塞门实物

截断塞门结构如图 2.39 所示。

通路状态：塞门内部截止球的直通孔位置和塞门体的纵向一致，空气通路打开。也就是当手把置于与塞门体成水平方向时，为开通位置。

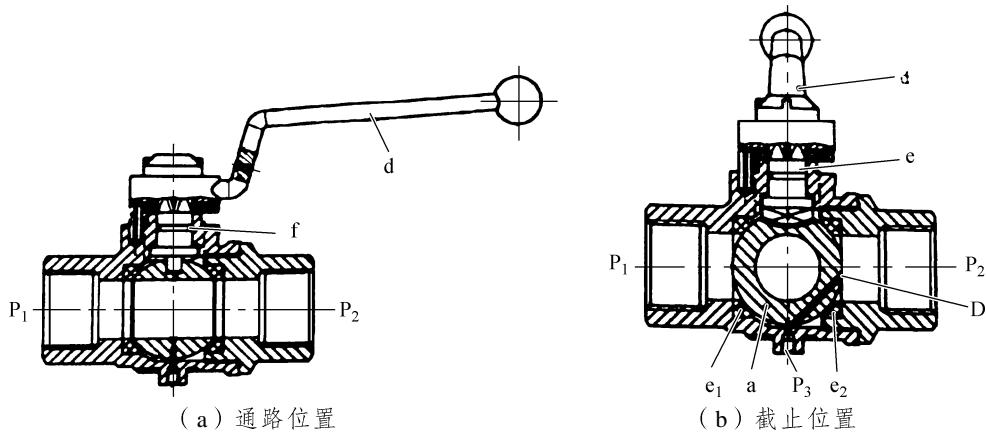


图 2.39 截断塞门结构

截止状态：塞门内部截止球的直通孔位置和塞门体的纵向垂直，空气通路截止。也就是当手把置于与塞门体成垂直方向时，为关闭位置。

(2) 带电触点的截断塞门。

为了实现对空气制动进行人为的制动隔离，在每个客室内设置 B05 箱体，内部有带电触点的截断塞门，该装置能够实现某个转向架制动隔离时，隔离信号将发送给 TCMS，B05 截断塞门如图 2.40 所示。

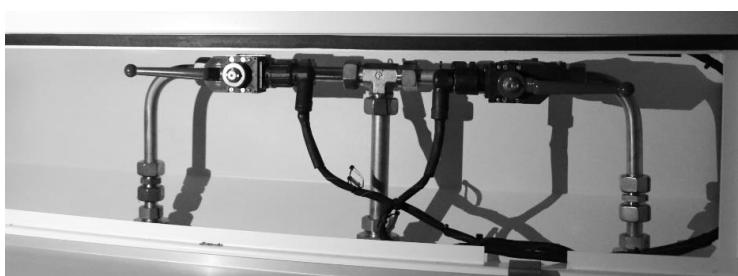


图 2.40 B05 截断塞门

(3) 截断塞门符号。

几种截断塞门的符号如图 2.41 所示。

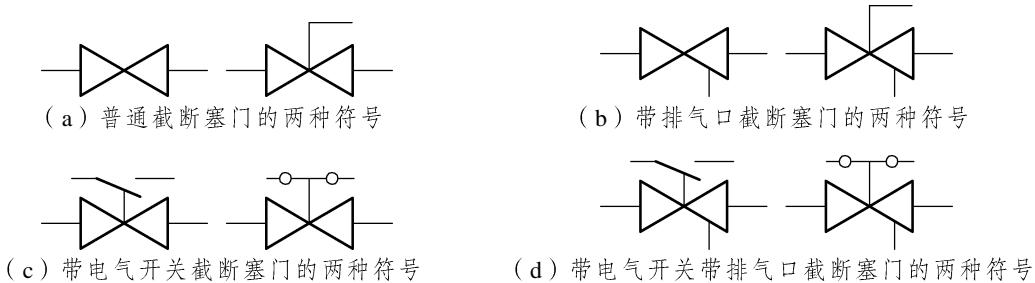


图 2.41 几种截断塞门的符号

2) 双针压力表

在制动系统工作、维护、检修时，有几种方式可以看到主要的压力参数。例如，司机室 HMI 屏显示主要设备的空气压力值，司机室的控制台上设有双针压力表，采用外部指针式压力表通过在预定位置留出的测试口测试管路系统的压力。图 2.42 所示为司机室双针压力表及其符号。

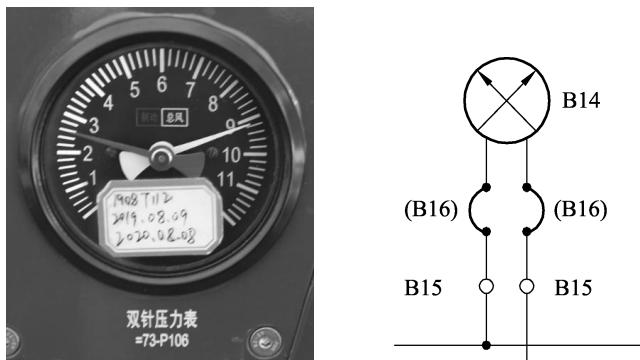


图 2.42 双针压力表及其符号

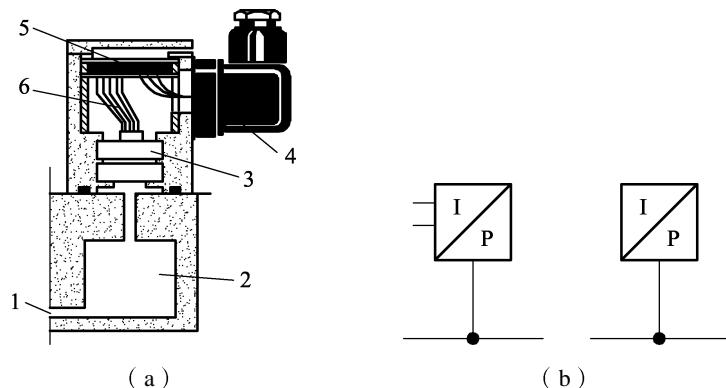
3) 压力传感器

压力传感器 (Pressure Transducer) 是能感受压力信号，并能按照一定的规律将压力信号转换成可用的电信号的器件或装置。压力传感器将空气管路中的压力信息实时地反馈给列车网络控制系统 (TCMS)。

压力传感器通常由压敏元件和附属电路构成，通过空气压力对元件电阻、电容、电感特性的改变而形成电信号，也可由压电元件直接把压力变成电信号，压力传感器结构如图 2.43 (a) 所示，图 2.43 (b) 所示为压力传感器符号。

4) 压力开关

该装置通过压力变化改变电路，即电信号的变化可反映所控制管路的压力变化，其压力整定值根据需要可调，如图 2.44 所示。



1—入口；2—气腔；3—压力传感元件；4—接线盒；5—电子元件；6—内部引线。

图 2.43 压力传感器

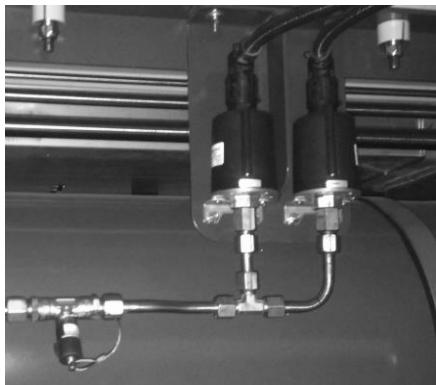


图 2.44 压力开关

在整个系统中有三处用到压力开关，分别为 A01.08、A01.09 和 B22。压力开关符号如图 2.45 所示。

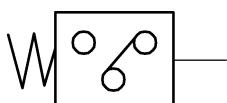


图 2.45 压力开关符号

3. 空气管路常见故障

1) 漏 气

管接头和管路漏气，是供风制动系统最常见的故障，如图 2.46 所示。造成这些故障的原因主要有安装不坚固、橡胶老化、摩擦干涉等，对于此类故障，可以重新紧固漏气的管接头或更换老化损坏的管件来解决。

调配稀释的肥皂水，有毛刷蘸少许肥皂水涂在各处管路螺纹连接处，逐个查找，找到漏点后，紧固螺纹，再用肥皂水检查。如果仍泄漏，排完相近容器或者管路的压缩空气，松开螺纹连接，在螺纹前 3~5 个螺距部分涂上管螺纹密封胶，紧固后再检查。最后用抹布擦净肥皂水残留液。



图 2.46 空气管路漏气

2) 压力开关失效

在实际应用中，常常发生压力开关失效，表现为当主风管或当前风压到达指定条件后，列车对应部件无相关状态的切换，如空压机起动。造成压力开关失效的原因主要是触点老化或弹簧元件失效，可以通过更换压力开关解决此类故障。

【思考题】

压力开关与压力传感器区别是什么？

