

铁路机械保温车
氟利昂制冷机的运用和检修

王 公 正 编

李建坤 李根宝 审校

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 于 立 封面设计 王毓平

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{4}$ 印张：10.5 字数：229千

1984年6月第1版第1次印刷

印数：0001—3,500册 定价：1.80元

内 容 提 要

本书系统地介绍了铁路机械保温车氟利昂制冷机（包括自动控制装置）的使用操作和检修等方面的知识，其中包括制冷机的运用及维护保养方法，制冷机故障的分析和排除方法，制冷机检修的组织、方法和要求，压缩机和制冷辅机的检修，自动控制系统及仪表的检查和调整，制冷机的组装与调试，电冰箱的检修等。本书是根据作者多年的实践经验，并收集了国内外有关技术资料编写而成的，内容比较丰富，特别是对检修工艺，包括工艺装备、测试方法和各种配件的材质规格等，作了比较全面的介绍，对一般中小型氟利昂制冷机也是适用的。

本书内容切合实际，文字通俗易懂，具有中等文化程度或稍有制冷知识者，即可看懂和掌握，可供各行业从事制冷专业的人员，铁路车辆部门的职工，尤其是机械保温车的乘务员及检修工作者学习参考。

前 言

制冷就是不断地从被冷却物体中取走热量，而使其温度降低到低于环境温度的方法和手段。现代制冷技术都是指“人工制冷”而言。用来制冷的设备就叫作制冷机。

制冷的方式很多，有吸收式制冷、蒸汽喷射式制冷、热电制冷和蒸汽压缩式制冷，应用最广泛的还是蒸汽压缩式制冷。铁路机械保温车采用的就是蒸汽压缩式制冷方式。

自从德国人林德于1875年发明第一台实用氨制冷机以来，仅一个多世纪，制冷技术就有了飞跃的发展，使用的制冷剂也是多种多样的。近年来，氟利昂制冷剂广泛地应用于铁路车辆上，氟利昂12 (R12) 是其中应用最多的一种。虽然目前一些新的制冷剂例如氟利昂 22 (R22)、氟利昂502 (R502) 已在使用，但是铁路机械保温车使用的制冷剂，除了氨 (R717) 之外，主要还是R12。

我国铁路所使用的机械保温车，按制冷形式来分有集中制冷和单车制冷两种。早期进口的B₁₆和B₁₇型机保列车和车组，是采用集中制冷形式的，即用氨制冷机将盐水冷却，然后再将盐水泵至各辆货物车内进行制冷。这种间接制冷的方式使用很不经济，所以这种车型国外也已停造。后期进口的B₁₈、B₂₀型机保车和国产的B₁₉型机保车，则都采用单车制冷的形式，即用氟利昂制冷机直接将货物间空气冷却。这种制冷方式，在工业、商业、日常生活领域中已得到普遍应用。

到目前为止，我国装用氟利昂制冷机的机械保温车已近七百辆，配属在丰台、上海和广州三个机保段使用。在二十

目 录

第一章 机械保温车制冷原理和制冷机结构	1
第一节 制冷原理	1
第二节 机械保温车单级制冷机	10
第三节 机械保温车双级制冷机	15
第二章 制冷机的运用	22
第一节 机保车制冷机的工作过程和特点	22
第二节 开机前的检查准备	35
第三节 制冷机的启动运转	39
第四节 运转中的检查和操作	45
第五节 制冷机的停用	49
第六节 运用保养和安全事项	52
第三章 维护保养方法	55
第一节 充注和抽出制冷剂	55
第二节 添加和放出冷冻机油	62
第三节 抽真空	67
第四节 校漏	71
第五节 除去水分	76
第六节 清除不凝气体与杂质	79
第七节 制冷剂的流量调节	82
第八节 运用中常见的故障	87
第四章 制冷机故障及其排除方法	90
第一节 压缩机故障及处理	90
第二节 制冷机故障的分析与处理	97
第五章 制冷机检修的组织、方法和要求	106
第一节 检修组织	106
第二节 修程和修理方法的确定	110

第三节	一般的拆装和检修程序	116
第四节	检修工艺和质量要求	119
第六章	压缩机的检修	126
第一节	压缩机构造	126
第二节	活塞组的检修	135
第三节	连杆的检修	145
第四节	气缸和缸体的检修	151
第五节	气阀的检修	157
第六节	压缩机润滑系统的检修	163
第七节	曲轴的检修	169
第八节	轴瓦的修配	176
第七章	制冷辅机的检修	182
第一节	蒸发器和冷凝器的检修	182
第二节	膨胀阀的检修	189
第三节	过滤干燥器的检修	205
第四节	油分离器和贮液筒的检修	211
第五节	其它设备及阀门的检修	214
第六节	管道的安装和检修	217
第八章	自动控制系统及仪表的检查和调整	227
第一节	压力表的检测	227
第二节	压力开关的调整	231
第三节	恒温器的调整	235
第四节	电磁阀和一些电器的检查	238
第九章	制冷机的组装和调试	243
第一节	压缩机的组装和调试	243
第二节	制冷机的组装和调试	252
第三节	机保车的试车	255
第十章	电冰箱的检修	260
第一节	开启式压缩机的检修	260
第二节	全封闭式压缩机的检修	264
第三节	电冰箱电路与控制元件	267

第四节	箱体和附件的检修	271
第十一章	运用和检修中的专用材料	274
第一节	制冷剂	274
第二节	冷冻机油	283
第三节	粘结剂	288
第四节	其它材料	292
第十二章	运用和检修中的专用工具及设备	302
第一节	常用工具	302
第二节	吊装和运放工具	306
第三节	清洗烘燥装置	312
附 表		315
附表一	机保车制冷机主要参数	315
附表二	电机和通风机主要参数	316
附表三	蒸发器主要参数	316
附表四	冷凝器主要参数	317
附表五	离油器和冷冻机油主要参数	318
附表六	贮液筒和制冷剂主要参数	319
附表七	膨胀阀等部件主要参数	320
附表八	电磁阀和自控装置主要参数	321
附表九	制冷机管路接头主要参数	321
附表十	各修程压缩机零件最大允许磨损限度	322
附表十一	电冰箱主要参数	323
主要参考资料		325

第一章 机械保温车制冷 原理和制冷机结构

第一节 制 冷 原 理

下面介绍以R12为制冷剂的蒸汽压缩式制冷机工作的基本原理。

一、R12的状态变化

将R12液体贮存在一个密闭的容器内，当容器的阀门未打开时（图1—1a），容器内的温度和外温相同并保持一定的压力，如温度为 30°C ，其对应的压力（绝对压力）为 7.59公斤力/厘米^2 ，R12在容器内处于饱和状态。

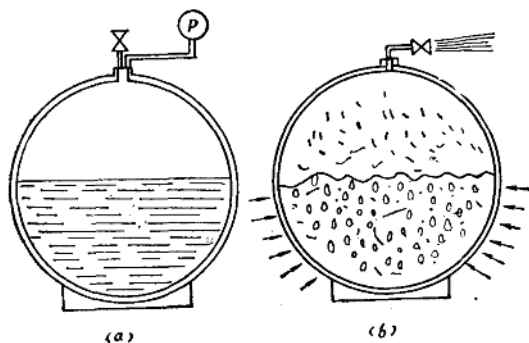


图 1—1 R12在容器内饱和与沸腾

当阀门打开后（见图1—1b），R12气体逸出，容器内压力随之下降，则R12在容器内沸腾，同时吸收外界的热量。

如果重新关上阀门，压力不再下降，沸腾现象停止。

当阀门开度较小时，R12的逸出量也较少，此时容器内压力下降较小，容器内温度比外温略低一些；当阀门开度加大时，容器内压力急剧下降，容器内温度比外温更低。在容器表面温度低于四周空气温度的露点时，便有露水在表面上凝聚出来。如果容器表面温度低于 0°C ，则会结霜（结冰）；当阀门开得足够大时，容器内压力可能降至大气压力，这时容器内温度最低可降至 -29.8°C 。

上述的现象，会出现在一个盛装R12液体的钢瓶上。但当瓶内液体排空后，不会再发生降温的现象。

二、绝热车体的降温

如果我们将一个贮装R12液体的密闭容器安置在一个绝热车体的内部（图1—2a），并使容器内保持1公斤力/厘米²的绝对压力，则容器会从周围空气中吸热而使车体内温度下降。对绝热车体来讲，有可能获得 -29.8°C 的低温，但是由于换热温差的存在，一般总是要高于这一温度的。

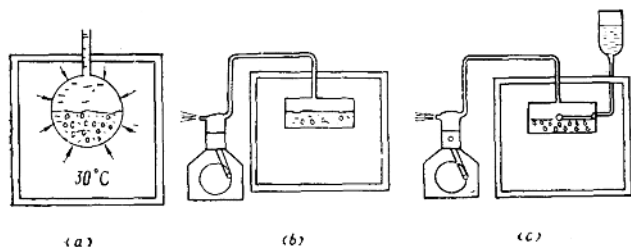


图1—2 绝热车体的降温

换用其它的制冷剂，如R717、R22或R502，则在一个大气压力下可以获得更低的温度（ -33.8°C ， -41.2°C ， -46°C ）。

要想获得更低的温度，可以采用这样的方法（见图1—2b）：将容器与一个真空泵相连接，然后通过该泵将容器内R12压力抽到低于大气压力的状态。譬如绝对压力降低到约0.15公斤力/厘米²时，就有可能获得 -62.2°C 的低温。

为了保持容器内的R12液体不被排光或抽光，我们可以通过加装浮球阀等措施从外部补液（见图1—2c）。

这样一个能不断补液并能调节容器内压力的制冷容器即可以起到一个蒸发器的功能。机械保温车货物间的制冷就是通过蒸发器来冷却周围空气温度的。

三、最简单的蒸汽压缩制冷系统

上述制冷办法并不实用，因为汽化后的R12要不断地逸散于车外，这不仅会污染环境而且也不经济。如果制冷剂价格足够便宜，同时又能进行净化处理时，这种制冷系统就具有结构简单、使用可靠的优点了。目前，国外已出现使用氨（R717）液体节流制冷并将氨蒸汽燃烧处理的制冷系统。

如果在制冷系统中用一台压缩机来取代原有的真空泵并再加装一个冷凝器（图1—3），就可以形成一个使制冷剂闭合循环和连续制冷的最简单的蒸汽压缩式制冷系统。

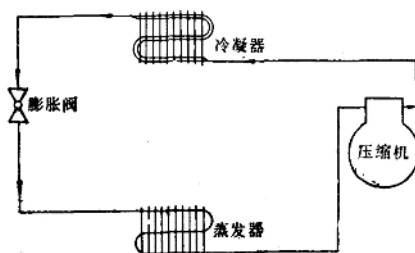


图1—3 最简单的制冷系统

从蒸发器出来的R12蒸汽，在压缩机中被压缩，然后进入冷凝器，向通过冷凝器的外气传热而变成液体，经膨胀阀节流降压，重新循环至蒸发器，在蒸发器内吸收周围空气的热量而再度变成汽体，同时产生了制冷效应。

由此可以看出，一个最简单的制冷系统至少应包括压缩机、冷凝器、膨胀阀和蒸发器四个部件，它们之间用管路连接起来，这四个部件俗称为制冷机的四大件。表1—1示出这四大件的功能和温度状态的变化情况。

制冷系统部件的功能

表 1—1

部件名称	主要功能	制冷剂状态变化	制冷剂压力变化	制冷剂温度变化
压缩机	使用外能（电能）来压缩制冷剂	蒸汽	低压→高压	低温→高温
冷凝器	利用外界空气来冷却制冷剂	蒸汽→液体	高压	高温
膨胀阀	制冷剂节流	液体	高压→低压	高温→低温
蒸发器	制冷剂蒸发吸收外气热量	液体→蒸汽	低压	低温

四、常用的热工图表和制冷术语

这里我们仅介绍制冷技术中一些常用的术语和图表，对于它们的物理意义不准备作深入讨论。

1. 热工图表

为了研究和分析方便清楚起见，经常把制冷剂和空气的参数变化过程在直角坐标的图表上表示出来。常用的图表有：

(1) 压-容图 ($P-V$ 图)：它以压力为纵坐标，以比容为横坐标，用来分析制冷剂和空气压力与容积间的关系，

(2) 温-熵图 ($T-S$ 图)：它以绝对温度为纵坐标，以熵值为横坐标；

(3) 压-焓图 ($\lg p-i$ 图)：它以压力的对数值为纵坐标，以焓值为横坐标；

(4) 焓-湿图 ($i-d$ 图)：它以空气的焓值为纵坐标，以空气的绝对湿度为横坐标，用来分析空气参数的变化过程。

对制冷剂来说，经常使用的是 $T-S$ 图和 $\lg p-i$ 图。最简单的蒸汽压缩制冷系统的 $T-S$ 图和 $\lg p-i$ 图如图1—4和图1—5所示。

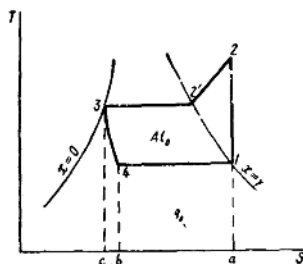


图1—4 最简单的 $T-S$ 图

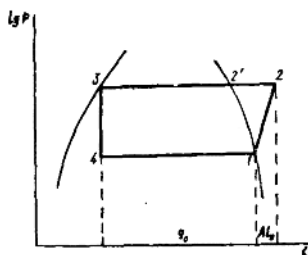


图1—5 最简单的 $\lg p-i$ 图

从图中可以明显看出，制冷剂在压缩机内的压缩过程是等熵的（绝热过程），参数变化曲线在 $T-S$ 图上为一垂直线，在 $\lg p-i$ 图上为一斜直线；制冷剂在冷凝器内的放热冷凝过程是等压的，即在 $\lg p-i$ 图上为一水平线，而在 $T-S$ 图上由一段斜线和一段水平线组成；制冷剂在膨胀阀内的节流过程是等焓的，其参数变化曲线在 $T-S$ 图上为一斜曲线，在 $\lg p-i$ 图上为一垂直线；制冷剂在蒸发器内的吸热蒸发过程也是等压的，在两个图上都为一段水平线。

2. 制冷术语

我们经常遇到的制冷术语如下：

(1) 单位产冷量

所谓单位产冷量是每一公斤制冷剂的流量所能产生的冷量，以 q_0 表示。其数值等于 $\lg p-i$ 图中线段4—1的长度（即1、4点的焓值差），也可用 $T-S$ 图中面积 $a-1-4-b-a$ 来表示（单位为千卡/公斤）。

$$q_0 = i_1 - i_4 = i_1 - i_3$$

(2) 单位功

所谓单位功是压缩机压缩一公斤制冷剂所消耗的理論功，以 Al_0 表示。其数值等于 $\lg p-i$ 图中点2和点1的焓值差，也可用 $T-S$ 图中面积 $1-2-2'-3-4-1$ 来表示（单位为千卡/公斤）。

$$Al_0 = i_2 - i_1$$

(3) 单位冷凝热量

所谓单位冷凝热量是一公斤制冷剂的流量在冷凝器中所能放出的热量，以 q_k 表示。其数值等于 $\lg p-i$ 图中线段3—2的长度（即2、3点的焓值差），也可用 $T-S$ 图中面积 $a-1-2-2'-3-4-b-a$ 来表示（单位为千卡/公斤）。

$$q_k = i_2 - i_3$$

不难看出，单位冷凝热量等于单位产冷量和单位功之和。

$$q_k = q_0 + Al_0$$

(4) 制冷系数

所谓制冷系数为单位功与单位产冷量之比，以 ε 表示（无量纲）。

$$\varepsilon = q_0 / Al_0 = i_1 - i_3 / i_2 - i_1$$

(5) 产冷量和功率

制冷机每小时所能产生的冷量和所消耗的电能称为产冷

量和功率，分别以 Q_0 和 N_0 表示（单位为千卡/小时）。

$$Q_0 = G q_0$$

$$N_0 = G A l_0$$

式中 G ——制冷系统中制冷剂的流量（公斤/小时）。

制冷系数也可以表示成：

$$\varepsilon = Q_0 / N_0$$

这里需要指出，由于压缩机在压缩过程中存在机件摩擦等现象，因此输入到压缩机曲轴上的功率比理论功率要大一些。另外，机保车氟利昂制冷机大都采用半封闭式压缩机，压缩机轴功率难以测定，应用中或试验中都是测定电动机的输入功率。由于电机存在着内耗，所以输入功率（ N ）比压缩机轴功率（ N_0 ）还要大一些。实用中，对于半封闭式压缩机，经常应用的制冷系数用下式表达：

$$\varepsilon_0 = Q_0 / N$$

不言而喻， ε_0 小于 ε 值。

五、实用的蒸汽压缩制冷系统

为了保证制冷机工作的稳定性和可靠性，实用的制冷系统与最简单的制冷系统有许多不同之处，其中主要的是：

1. 系统中设有过滤干燥器、油分离器、贮液筒、电磁阀、手阀、吸入压力调节器、止回阀等等。由于这些元件或多或少的存在一些阻力，有时还与外界发生一些热交换，再加上元件之间的连接管路不可能完全与外界绝热，所以实用的制冷系统结构要复杂得多，制冷剂流过这些元件或管路时会发生压力和温度的变化；

2. 冷凝器和蒸发器内制冷剂的流动也有阻力，因此冷凝过程和蒸发过程不可能是完全等压的；

3. 为了防止压缩机吸入液体发生液击冲缸现象，一般

都使压缩机进口处的制冷剂有点过热（即比蒸发温度提高一些）。同时，为了保证膨胀阀作用稳定，希望膨胀阀入口处的制冷剂有点过冷（即比冷凝温度降低一些）。虽然机保车制冷系统的换热器（冷凝器和蒸发器）都是直接与周围空气发生热交换的，过热和过冷度不会很大，但是毕竟能使相应的参数点发生偏移；

4. 在压缩机的压缩过程中，制冷剂与外界会发生一定的热交换，因此压缩时制冷剂的状态变化不是一个完全的绝热等熵过程，而是一个接近等熵的过程。

由于存在上述的区别，实用的R12蒸汽压缩制冷系统的热工图表要比图1—4、图1—5所示的图表复杂得多。图1—6为机保车制冷系统实测的一张压-焓图。

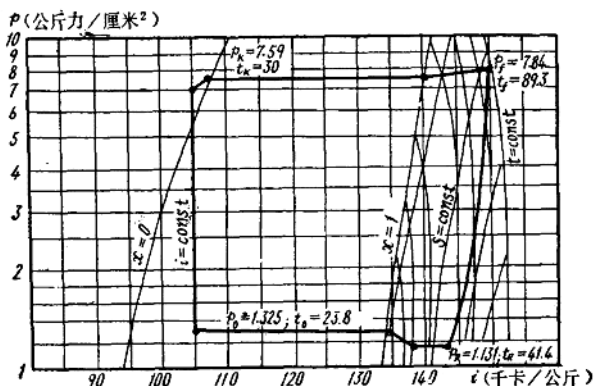


图1—6 实测的压-焓图

我国目前采用氟利昂制冷剂的各型机保车，其结构也是不完全相同的。从压缩机来说，国产机保车（B19型）目前还采用单级压缩的型式，进口机保车（B18和B20型）都采用双级压缩的型式。单级和双级压缩，对制冷机的结构和作

用性能也有不同的影响，下面我们将分别进行介绍。这里，先将我国现用的机保车氟利昂制冷机的结构技术参数列在表 1—2 中。

机保车氟利昂制冷机的结构技术参数 表 1—2

参 数 \ 车 型		B _{1s}	B _{2s}	B _{1s}
制 冷 机 组	型号及国别	315004, 民主德国	FAL056/2, 民主德国	中国
	外形尺寸 (长 × 宽 × 高) 毫米	2000 × 1750 × 1300		
	重 量 公斤	720	880	
	外气工作温度 ℃	-20 ~ +40	±36	-20 ~ +40
	产冷量 (t _K /t ₀) 千卡/小时	8000 (50/-15)	13000 (40/-15)	15450 (30/-15)
	输入功率 千瓦	11	11	约11
	车内最低温度 ℃	-18	-24	-15
压 缩 机	型 号	5	FPH $\frac{2}{2} - \frac{56}{7.5} - \frac{105}{6}$	4FS7B
	压 缩 级	双	双	单
	理论排量 米 ³ /小时	50	60	73.2
	配用电机功率 千瓦	7.5	7.5	10
	重 量 公斤	180	225	309
蒸 发 器	散热面积 米 ²	64	64	75.4
	风量 米 ³ /小时	<4000		约5000
	风机和功率	轴流, 0.8千瓦	轴流, 0.5千瓦	轴流, 0.8千瓦
冷 凝 器	散热面积 米 ²	72	78.5	102
	风量 米 ³ /小时	<4000	<6000	约500
	风机和功率	轴流, 0.8 千瓦	轴流, 0.9千瓦	轴流, 0.8 千瓦

续上表

参 数 \ 车 型		B _{1a}	B _{2a}	B _{1a}
膨胀阀	型 号	TVNEF 6	TEF5-3	TVNEF-6
	容量 (t _K /t ₀)	14900(50/-30) 11000(50/-10)	8800(50/-30) 5800(50/-10)	14900(50/-30) 11000(50/-10)
其它	融霜方法	热汽	热汽	热汽
	加温方式与功率	电热, 6 千瓦	电热, 6 千瓦	电热, 6 千瓦
	车温控范围℃	-18, -10, 4, 12	-24, -12, -2 4, 7, 11	+12~-18

第二节 机械保温车单级制冷机

一、使用特点

我国国产五节机保车组采用单级压缩制冷机。从上一节的分析中我们知道, 制冷机的产冷量与制冷剂的流量有直接的关系, 在相同的工作条件下, 流量愈大产冷量愈大, 而制冷剂的流量与压缩机的理论排量成正比。国产机保车采用 4FS7B 型压缩机, 在单级压缩时四缸同时吸气, 理论排量最大(见表 1—2), 因此在一定的条件下, 单级压缩机产冷量较大。

但是, 产冷量除与理论排量有关外, 还与压缩机的压力比有关。所谓压力比, 即排气压力与吸气压力之比, 也可以认为是冷凝压力与蒸发压力之比 (P_k/P_0)。压力比愈大, 制冷剂流量愈小, 制冷机的产冷量也愈小。单级压缩机的一个很重要的使用特点是, 产冷量受压力比的影响很大, 当压力比加大时产冷量急剧下降, 压力比超过 10 时, 压缩机不能正常工作。

为了便于说明清楚起见, 我们可以把压缩机制冷剂流量

式表示:

$$G = \lambda V \gamma$$

式中 λ ——输气系数;

V ——压缩机理论排量 (米³/小时);

γ ——压缩机吸气比容 (公斤/米³)。

输气系数与压力比 (P_k/P_0) 间的关系如图 1—7 所示。

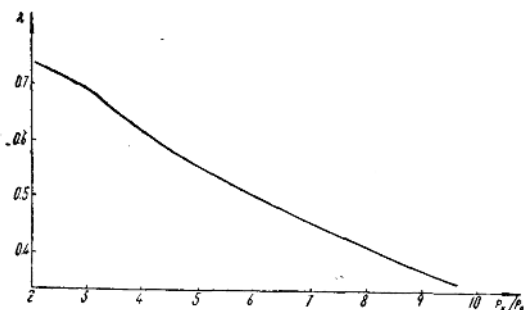


图 1—7 4FS7B 型压缩机输气系数与压力比间的关系

所以, 单级压缩机使用在冷凝压力和蒸发压力相差不大的情况下, 即在车内外温差不太大的条件下, 性能良好, 否则就难以发挥其优点。我国对单级 R12 压缩机规定的极限使用条件为: 蒸发温度介于 $-30 \sim +10^{\circ}\text{C}$ 之间, 冷凝温度 $\leq +50^{\circ}\text{C}$, 排气温度 $\leq 130^{\circ}\text{C}$, 压力比 (P_k/P_0) ≤ 10 , 压力差 ($P_k - P_0$) ≤ 12 , 油压 $\leq 70^{\circ}\text{C}$ (半封闭式压缩机 $\leq 80^{\circ}\text{C}$)。实际上, 当压力比接近 8 时, 制冷机的效能 (即制冷系数) 已下降得很严重了。

在机保车的制冷机中, 还存在一个不利于发挥单级压缩机优势的因素, 那就是在吸气管路中安装了吸入压力调节器。安装这一调节器的目的是为了在压力比小时限制制冷剂