

本书系统地阐述压气机的工作理论、构造、压力调节器和冷却装置，压气机站及压缩空气管网，压气设备的安装、运转、检修、试验及总体设计，扼要介绍压气机的拖动及其自动化。对压气机中常更换的部件，如气阀、中间冷却器、压力调节器的设计原理，也有所阐述。

书中反映我国解放以来特别是1958年大跃进以来在矿山压气设备制造与使用方面所取得的成就，同时也介绍国外一些新成就。

本书以论述往复式压气机为主，并用一定篇幅讲述离心式压气机和回转式压气机。本书可作为矿业高等院校矿山机电专业的教材。

矿山压气设备

〔矿山机电专业用〕

成心德编

*

煤炭工业部书刊编辑室编辑(北京东长安街煤炭工业部大楼)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $10^{1/8}$ ·字数237,000

1961年8月北京第一版·1962年2月北京第二次印刷

印数1,588—2,347·定价(10-6)1.25元

、 *

统一书号: K15165·741(煤炭-32)

高等学校教学用书

矿山压气设备

[矿山机电专业用]

成 心 德 編

只限学校内部使用



中国工业出版社

2
2

目 录

緒 論	5	4-5. 自由活塞式压气机	51
第一章 概 論	8	4-6. 压气机的主要零件	52
1-1. 矿山压气设备的主要組成部分	8	4-7. 气閥的构造	55
1-2. 压气机的分类	8	4-8. 气閥的計算	57
第二章 单級往复式压气机的工作		第五章 往复式压气机的調节	61
循环	10	5-1. 压气机調节方法的分类	61
2-1. 往复式压气机的分类	10	5-2. 关闭吸气管的調节法	61
2-2. 往复式压气机的理論工作循环	10	5-3. 打开吸气管的調节法	63
2-3. 等温压缩时的理論工作循环	11	5-4. 改变余隙容积的調节法	64
2-4. 絕热压缩时的理論工作循环	14	5-5. 改变余隙調节法的計算	65
2-5. 多变压缩时的理論工作循环	16	5-6. 往复式压气机各种調节方法的比較	68
2-6. 压气机三种理論工作循环在压容图和		第六章 迴轉式压气机	69
焓熵图中的比較	17	6-1. 迴轉括板式压气机的作用原理	69
2-7. 往复式压气机的实际工作循环	20	6-2. 按照机器尺寸决定迴轉括板式压气	
2-8. 余隙容积对压气机的排气量和功的		机的排气量	69
影响	21	6-3. 迴轉括板式压气机的热力过程	71
2-9. 吸气时压力降低和排气时压力升高		6-4. 迴轉括板式压气机的功率和效率	73
的影响	23	6-5. 迴轉括板式压气机的构造	73
2-10. 吸气終了时空气温度升高的影响	24	6-6. 螺杆式压气机	74
2-11. 余隙容积, 吸气压力和温度及排气		6-7. 迴轉式压气机的調节	74
压力对压气机排气量和功的总影响	25	6-8. 迴轉式压气机的优缺点	75
2-12. 空气温度的影响	26	第七章 离心式压气机	76
2-13. 漏气的影响	27	7-1. 离心式压气机的作用原理	76
2-14. 压气机的供气效率	27	7-2. 离心式涡轮机械的基本方程式	76
2-15. 压气机的功率和效率	28	7-3. 离心式涡轮机械的实际压头、功率	
第三章 兩級及多級压缩	32	和效率	78
3-1. 理論极限压缩比和实际极限压缩比	32	7-4. 离心式压气机的热力过程	81
3-2. 兩級及多級压缩概論	33	7-5. 离心式压气机的特性曲綫及其工况	84
3-3. 最有利的压缩比	33	7-6. 离心式压气机的稳定及不稳定工作	87
3-4. 兩級及多級压气机的实际工作循环	36	7-7. 离心式压气机的調节	88
3-5. 終压力与額定終压力不同时兩級压气		7-8. 离心式压气机的构造	91
机的功	37	7-9. 离心式压气机的优缺点及使用范围	92
3-6. 高压压气机的功	40	第八章 压气机的冷却	94
3-7. 高压級內的容积效率	42	8-1. 压气机的冷却过程	94
3-8. 压气设备在拔海高处的工作	43	8-2. 压气机所需冷却水量的决定	95
第四章 往复式压气机及其主要零件		8-3. 冷却器的构造	96
的构造	45	8-4. 冷却器的計算	97
4-1. 往复式压气机的主要构造型式	45	8-5. 压气机站的供水系統	100
4-2. 单級压气机	45	8-6. 冷却塔的构造及其計算	101
4-3. 兩級压气机	45	8-7. 噴水池的构造及其計算	106
4-4. 移动式压气机	51	8-8. 冷却水泵所需压头的决定	107
		8-9. 冷却装置的运轉及维护	108

第九章 压气机的拖动	110	11-1. 压气机的基础	141
9-1. 往复式压气机的负荷图	110	11-2. 压气机设备的安装	143
9-2. 飞轮转动惯量的决定	113	11-3. 压气机的润滑	144
9-3. 压气机站的拖动及其自动化	114	11-4. 压气机的起动运转和停车	147
第十章 矿山压气机站及压缩空气		11-5. 压气机运转时的不正常现象及其消除方法	148
管网	118	11-6. 压气机的重大事故及其发生的原因	149
10-1. 空气过滤器	118	11-7. 压气设备的检修	150
10-2. 储气器	120	11-8. 提高压气设备的经济性	151
10-3. 水力储气器	123	第十二章 压气设备的试验	152
10-4. 压气机站的布置	124	12-1. 压气机试验的目的	152
10-5. 压缩空气管路的构造	126	12-2. 压气机的测量和试验用仪表	152
10-6. 空气管路的敷设	128	12-3. 压气机排气量的测定	155
10-7. 空气管路的计算	129	12-4. 指示功率及指示效率的测定	160
10-8. 压气设备的设计	134	12-5. 对示功图的分析	160
第十一章 压气设备的安装运转和		12-6. 压缩空气管道漏气量的测定	161
检修	141		

緒 論

在党和政府的正确领导下，在总路线、大跃进、人民公社三面红旗的光辉照耀下，我国的工农业生产获得了飞速的发展。1960年钢的产量已从1957年占世界第九位上升到第六位，煤产量已从第五位上升到第二位。为了进一步促进工农业生产的发展，在重工业方面，应该优先发展采掘工业，更多地增产煤炭、石油、铁矿石、有色金属矿石、化工原料、非金属材料以及木材等，使它们进一步适应加工工业和国民经济发展的需要。为此，在采矿企业中必须继续认真贯彻党的建设社会主义的总路线，大力发动群众，大闹技术革新与技术革命，提高矿山的机械化与自动化程度，以不断提高开采矿物的劳动生产率。

压缩空气一直是金属矿和煤矿所采用的原动力之一。它不但可用来带动凿岩机、风镐等风动工具，还可用来带动风动原动机（俗名风马达），再用风动原动机驱动工作机械。在国外少数超级瓦斯矿井中，有用压缩空气机车来代替电机车的。对于煤的地下气化，压缩空气还可以送到地下煤层中作助燃之用。

用压缩空气作原动力，与利用电力比较，有下列优点：在超级瓦斯矿井中，可以避免电火花引起瓦斯爆炸；凿岩机等风动工具，适于鑽削坚硬的矿岩；风动工具和风动原动机所排出的空气，可以改善井下的通风状况。但是由于风动工具的效率很低，用压缩空气作动力的成本比直接使用电能要高得多。近二十多年来，人们一直在寻找各种新的凿岩工具，已取得一定成就。电动凿岩机在我国经过群众性的研究试验，已取得很大的进展，但还没有广泛使用。热力凿岩外国虽已在工业上应用，但氧和石油的消耗量很大，而且不适用于井下开采的矿井。水电效应及电磁波破碎岩石等方法都还在试验研究阶段。水力凿岩在技术上有困难，成本也较高。所以在目前和今后一定时期内，压缩空气仍是矿山不可缺少的一种原动力。

产生压缩空气的压气机设备，被称为矿山四大固定设备之一。特别是金属矿井与多瓦斯的煤矿矿井，压气机设备更为庞大。金属矿井全年消耗于压气设备的电能，一般占全矿电能总消耗的10~50%，有的达一半以上。目前我国某些矿山压气机站的总排气量达400~500立方米/分，正在兴建中的某些大型金属矿的压气机站还要大得多。由于压气机设备庞大、电能耗量大，所以它的基本建设投资与运转费用较高，对开采矿物的成本有相当大的影响。为此，学习和研究矿山压气设备，提高设备效能对增加生产和降低成本具有现实意义。

在矿山上使用压气设备已有一百年的历史，而在农业和冶金工业上使用送风或鼓风机工具在古代就有了。我国是农业和冶金业发达最早的国家之一。根据汉朝人所著的“吴越春秋”所记，公元前六百年的吴国的农业和冶金业就开始兴盛，而且一开始就使用北方传来的风箱^[28]。当时的风箱是用大皮囊制成的，以后改用木扇，后来又更进一步改用今日的风箱。在1637年（即明崇祯十年）宋应星所著“天工开物”冶铸一章所画的风箱^[1]，已和现在所用的完全一样，可知风箱发明至少有三百多年的历史了，它的构造

非常巧妙，和今日的往复式压气机颇为相似。至于在农村中迄今还使用的“扬壳”用的风车²，远在公元1300年以前就被我国劳动人民使用，实际上它是现代离心式压气机的雛形。

今日矿山和其他工业部門广泛使用的往复式压气机，直到十九世紀中叶才大量制造。至于迴轉式压气机到1910年才問世，离心式压气机在矿山应用还要晚些。目前我国矿山都采用往复式压气机，外国矿山也有采用离心式压气机或迴轉式压气机的。

我国的压气机制造工业是在中华人民共和国成立以后才逐步建立起来的。过去只有少数工厂零星的制造小容量的往复式压气机。矿山使用的大容量压气机完全由国外制造。解放后，在党和政府的重视关怀下，建立了許多专门制造压气机的工厂，很多机器制造厂也生产压气机。在品种方面，不但生产各式各样的动力用往复式压气机，而且生产化学工业和其他工业用的各种大型高压压气机。我国矿用往复式压气机，现在已完全能够自給，产品质量也在不断提高。

自从党中央提出鼓足干劲，力争上游，多快好省地建設社会主义的总路綫以后，我国压气机制造工业发展得更快，新建了很多压气机制造厂。为了满足采矿工业大发展的需要，許多矿山机修厂也开始制造往复式压气机，压气机的产量有了更大的增长。在技术革命中，广大的工人和技术人員在党的领导下，发挥了无比的劳动热情和智慧，大大提高了劳动生产率，在节约原材料、提高产品质量与試制新产品方面也取得了优异的成績。例如采用散热片式中間冷却器代替管式冷却器，大大減輕冷却器的重量。新制造的L-20/8型压气机，它的排气量为20立方米/分，额定压力为8計示大气压。这种压气机与过去生产的1-20/8型W式压气机比較，軸功率由过去的150瓩减为110瓩，重量由过去的3000公斤减为2600公斤，它的性能可与世界上先进的同类型的压气机相媲美。现在这种压气机已开始成批生产。在高压压气机方面，也制造了新产品。某些工厂还制造了自由活塞式压气机。至于适于矿山用的离心式压气机，我国工厂也在开始制造。所有这些成就都是在党的领导下在群众性的技术革新、技术革命运动中取得的。

在压气机制造工业取得伟大成績的基础上，結合我国的具体条件制訂了我国往复式压气机系列化方案，以促进压气机制造工业的进一步发展与提高。目前各制造工厂正逐步走向按系列化方案的規格生产。

除了压气机外，許多工厂还生产矿山及其他工业部門需要的各种风动工具和风动原动机。

在旧中国，由帝国主义者和官僚資本家經營的矿山是非常落后的。他們为了掠夺和榨取利潤，迫使矿工从事极为笨重的劳动。挖煤、岩石鑽眼等繁重工作多数依靠手工劳动。为数不多的压气机设备也很陈旧落后。解放以后，矿山广泛使用凿岩机、风鎚等工具，新建和改建了許多现代化的压气机站，提高了采矿的机械化程度，減輕了矿工的体力劳动。压气机站的运轉维护也有很多改进。例如京西煤矿整理了压气管道和改进了管理工作，就节省电耗58%〔4〕；有些煤矿在防止压缩空气管道漏气方面取得了良好的經驗〔5〕，并創造了断水自动停电装置〔6〕。所有这些改进，大大提高了压气机工作的經濟性和安全性。1958年大跃进以来，由于坚决貫徹了一整套“两条腿走路”的方針在大鬧技术革新、技术革命的群众运动中，創造了很好的經驗。例如在压气机排气閥上部和

排气管与气缸联结处增加冷却水套，解决了排气温度过高的问题。改革以前，压气机工作1.5小时后，排气温度达 $170\sim 180^{\circ}\text{C}$ ；改革以后，压气机连续工作8小时，仍保持温度在 $130\sim 160^{\circ}\text{C}$ 之间⁽⁵⁾。其他如用土办法修补气缸、对润滑油进行冷却以改善机器的润滑条件等都及时解决了生产中的关键问题。

我国矿山压气设备的制造和使用方面虽然取得了巨大成就，但是摆在我们面前的任务还是十分艰巨的。对于往复式压气机，还须要不断提高质量。矿山压气机站在运转中普遍存在的问题，如减少压气管网漏气、改进压气机冷却装置和提高压气机效率等，也要解决。我们要不断把我国的压气机制造工业与矿山机械化程度推向更高的水平。

第一章 概 論

1-1. 矿山压气设备的主要組成部分

矿山压气设备包括下列几部分(图1-1):

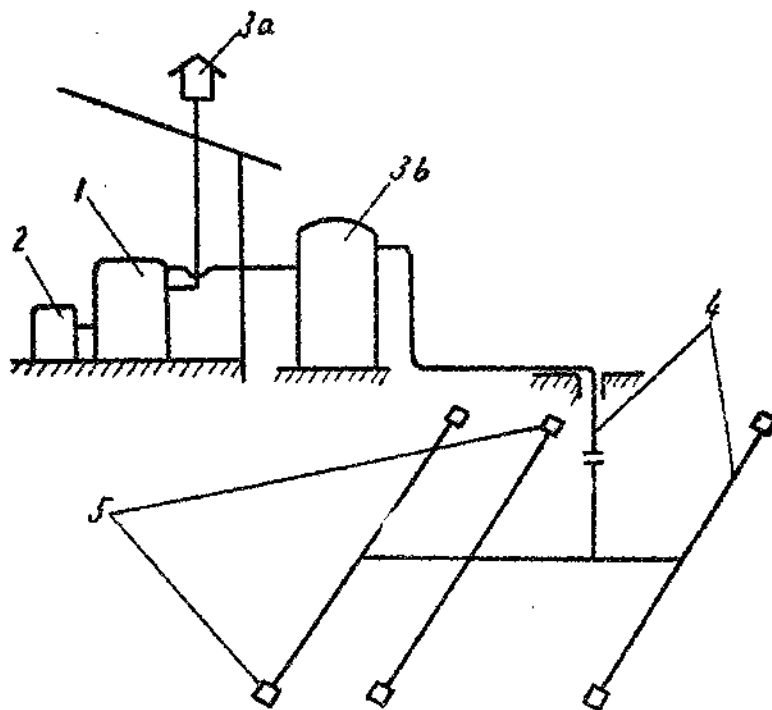


图 1-1. 矿山压气设备的示意图

1—压气机; 2—拖动装置; 3a—空气过滤器; 3b—风包; 4—压缩空气管網; 5—风动机械。

(1) 压气机——除压气机本身外, 还包括中间冷却器、压力调节器等装置。

(2) 拖动装置——一般采用电动机, 附有起动和保护等设备。个别情况下, 采用内燃机及蒸汽原动机。

(3) 辅助设备——包括空气过滤器、风包、冷却水循环系统等。

(4) 压缩空气管網——包括管道及其附件。

本書将依次研究这几部分。

1-2. 压气机的分类

压气机, 按其用途及所产生的压力不同, 可以分为:

(1) 送风机——压力小于0.1計示大气压, 作通风用。

(2) 鼓风机——压力为0.1~3計示大气压, 作吹风用。

(3) 压气机——压力在3計示大气压以上, 作动力用。

本書只研究作动力用的压气机。

由于工作原理和构造不同，压气机可分为：

(1) 往复式压气机或活塞式压气机——主要构成部分为作往复运动的活塞。这种压气机大都用于需要较高压力的场所。

(2) 迴轉式压气机或刮板式压气机——主要构成部分为安装多个刮板的轉动活塞。这种压气机大都应用于空气需要量不大且需要压力不高的场所。

(3) 离心式压气机或渦輪式压气机——空气的压缩在几个装有叶片的轉动工作輪内进行。压缩空气的产生是由于气体与工作輪叶片之間的相互作用。这种压气机应用于空气需要量很大压力不太高的场所。

(4) 軸流式压气机——空气沿軸向流过几个装有翼形叶片的轉动工作輪。空气压力的获得是由于空气流经翼形叶片时产生升力。这种压气机多应用于燃气輪机。

第二章 單級往復式壓氣機的工作循環

2-1. 往復式壓氣機的分類

往復式壓氣機可按下列特征進行分類：

(1) 按壓縮次數分為：1) 單級壓氣機——氣體只壓縮一次；2) 兩級壓氣機——氣體在低壓缸內壓縮後，通過中間冷卻器進行冷卻，再進入高壓缸進行第二次壓縮；3) 多級壓氣機——壓縮次數在三次或三次以上。

(2) 按氣缸內作用次數分為：1) 單動壓氣機——活塞的一側進行壓縮；2) 雙動壓氣機——活塞兩側都進行壓縮。

(3) 按排氣量的大小分為：1) 小型壓氣機——排氣量在 10 立方米/分以下；2) 中型壓氣機——排氣量在 10~30 立方米/分之間；3) 大型壓氣機——排氣量在 30~100 立方米/分以上。

(4) 按所產生壓力的大小分為：1) 低壓壓氣機——終壓力在 8~10 計示大氣壓以下；2) 中壓壓氣機——終壓力在 10~80 計示大氣壓之間；3) 高壓壓氣機——終壓力在 80~1000 計示大氣壓之間。

(5) 按曲軸轉速分為：1) 低速壓氣機——轉速在 200 轉/分以下；2) 中速壓氣機——轉速在 200~450 轉/分之間；3) 高速壓氣機——轉速在 450~1000 轉/分之間。

(6) 按氣缸的排列分為：臥式、立式、角度式、V 形、W 形以及星形等壓氣機。

(7) 按所壓縮的介質分為：空氣、氧、氮等壓氣機。

此外，還可按其他特征分為：水冷式 and 氣冷式；固定式和移動式；單缸、雙缸和多缸壓氣機等。

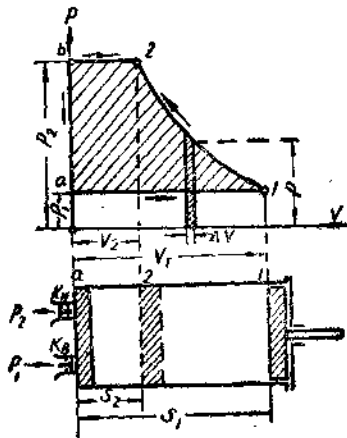


圖 2-1 單級單動壓氣機的气缸略圖及理論示功圖

2-2. 往復式壓氣機的理論工作循環

往復式壓氣機主要是由氣缸和作往復運動的活塞而構成。圖 2-1 表示單級單動壓氣機的气缸略圖及理論示功圖。理論示功圖就是在理想條件下氣缸中氣體壓力隨活塞位置而變化的綫圖。當活塞自左端 a 向右運行時，氣缸內造成真空，外界的空氣以壓力 p_1 推開吸氣閥 K_1 進入氣缸。待活塞至右端 1 時共吸入容積為 V_1 的空氣。隨後活塞返行，吸氣閥關閉，空氣受到壓縮。當活塞行至位置 2 時，空氣被壓縮為 V_2 的容積，其壓力則恰好等於風包中的空氣壓力 p_2 。活塞繼續左行，空氣即推開排氣閥 K_2 進入風包。待活塞行至左端，排氣終了，遂完成一個循環，壓氣機的軸至此恰好轉了一轉。以後，上述過程又重複進行。示功圖中的直綫 $a1$ 為吸氣閥，曲綫 12 表示壓縮過程，直綫 $2b$ 為排氣綫。

压气机的理论工作循环必须具备下列几个条件:

- (1) 没有余隙容积, 排气终了时气缸中没有剩余空气。
- (2) 吸气时气缸内空气压力和温度保持不变, 与周围的大气压力和温度一样。
- (3) 压缩过程为等温过程、绝热过程或多变过程。
- (4) 排气时气缸内空气压力和温度保持不变, 与排气管道及风包中的空气压力和温度一样。
- (5) 不漏气, 空气中不含水分。

一循环内压气机的全功为吸气功、压缩功与排气功的总和。考虑活塞对空气做的机械功为正值, 空气对活塞做的功为负值。

吸气功 L_B 可按式计算:

$$L_B = -P_1 F S_1 = -P_1 V_1,$$

式中 P_1 ——吸气压力, 公斤/平方米;

F ——活塞的面积, 平方米;

S_1 ——吸气过程中活塞所行距离, 米;

V_1 ——吸入空气的容积, 立方米。

排气功为

$$L_H = P_2 F S_2 = P_2 V_2,$$

式中 S_2 ——排气过程中活塞所行距离, 米;

V_2 ——排出的压缩空气的容积, 立方米。

压缩功为

$$L_c = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_2^1 p dV.$$

一循环内压气机的全功为

$$L_K = -P_1 V_1 + \int_{V_2}^{V_1} P dV + P_2 V_2. \quad (2-1)$$

吸气功与排气功可用示功图中直线 $a1$ 下的矩形面积与直线 $2b$ 下的矩形面积表示, 压缩功则用曲线 12 下的面积表示。因此面积 $a12b$ 表示一循环内压气机的全功。

现在来研究压气机按等温压缩、绝热压缩及多变压缩时的理论工作循环。

2-3. 等温压缩时的理论工作循环

在等温过程中,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2.$$

压缩功为

$$L_c = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P_1 V_1 \ln \frac{V_1}{V_2} = P_1 V_1 \ln \frac{P_2}{P_1} = 2.303 P_1 V_1 \lg \frac{P_2}{P_1}.$$

因此等温压缩时压气机一循环内的全功为

$$L_{K1} = 23030 p_1 V_1 \lg \frac{p_2}{p_1} \text{ 公斤} \cdot \text{米}, \quad (2-2)$$

式 p_1 和 p_2 的因次为公斤/平方厘米或绝对大气压。

也就是說，压气机按等温压缩时的全功等于压缩功。

假定一循环内压缩了 G 公斤空气，则压缩一公斤空气的全功为

$$l_{us} = 23030 p_1 \frac{V_1}{G} \lg \frac{p_2}{p_1} = 23030 p_1 v_1 \lg \frac{p_2}{p_1} \text{ 公斤·米/公斤, } (2-3)$$

式中 $v_1 = \frac{V_1}{G}$ —— 吸入空气的比容，立方米/公斤。

取式(2-2)中的 $V_1 = 1$ 立方米，则得压缩 1 立方米吸入空气的全功

$$l_{u, m} = 23030 p_1 \lg \frac{p_2}{p_1} \text{ 公斤·米/立方米。} (2-4)$$

现在用压容图和温熵图来表示压缩 1 公斤空气的全功。图 2-2 中的纵座标代表压力 P ，横座标代表比容 v 。点 1 表示压缩开始时的空气状态，线 12 为等温压缩线，点 2 表示压缩终了时的空气状态。线段 $a1$ 表示吸入空气的比容，线段 $2b$ 表示排出空气的比容。

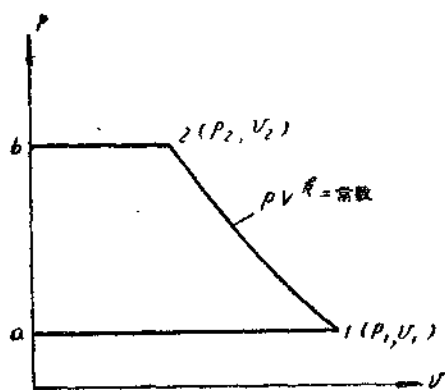


图 2-2 压气机按等温压缩时的温熵图

面积 $a12b$ 代表压缩 1 公斤空气的全功。须特别指出，只有曲线 12 代表气体状态变化过程，因为在压缩过程中空气始终保持 1 公斤，所以热力学中所讨论的等温过程的一切规律都能适用。 $a1$ 和 $2b$ 不代表状态变化过程，不能把它们当做热力学中的等压过程来看待，只不过它们下面的面积恰好代表 1 公斤空气的吸气功和排气功而已。

根据热力学中讨论过的在温熵图中绘制等压线和等容线的方法，我们可以绘制包含好多条等压线和等容线的温熵图。图 2-3 所

示为对 1 公斤空气而言的温熵图。利用此图可求出压缩 1 公斤空气的压气机全功。

根据空气的压力 P_1 和比容 v_1 找出等压线和等容线的交点 1 (图 2-1)，点 1 即代表吸入空气的状态。等温压缩线为与横座标平行的直线。此直线与排气压力线 P_2 相交于点 2，点 2 即代表压缩终了时的空气状态。直线 12 下面的阴影面积代表压缩过程中放出的热量。

其值为

$$q = T_1(S_1 - S_2), (2-5)$$

式中， S_1 和 S_2 表示 1 公斤空气在状态 1 和状态 2 下的熵， $S_1 - S_2$ 的值可由温熵图找出。

根据热力学第一定律，在等温过程中，内能的变化 Δu 为零，压缩时对空气所做的功即等于空气放出的热量。前已证明，等温压缩时压气机的全功等于压缩功。所以压气机按等温压缩时对 1 公斤空气所做的全功等于在压缩过程中放出的热量

$$q = A l_{us},$$

式中 $A = \frac{1}{427}$ —— 热功当量。

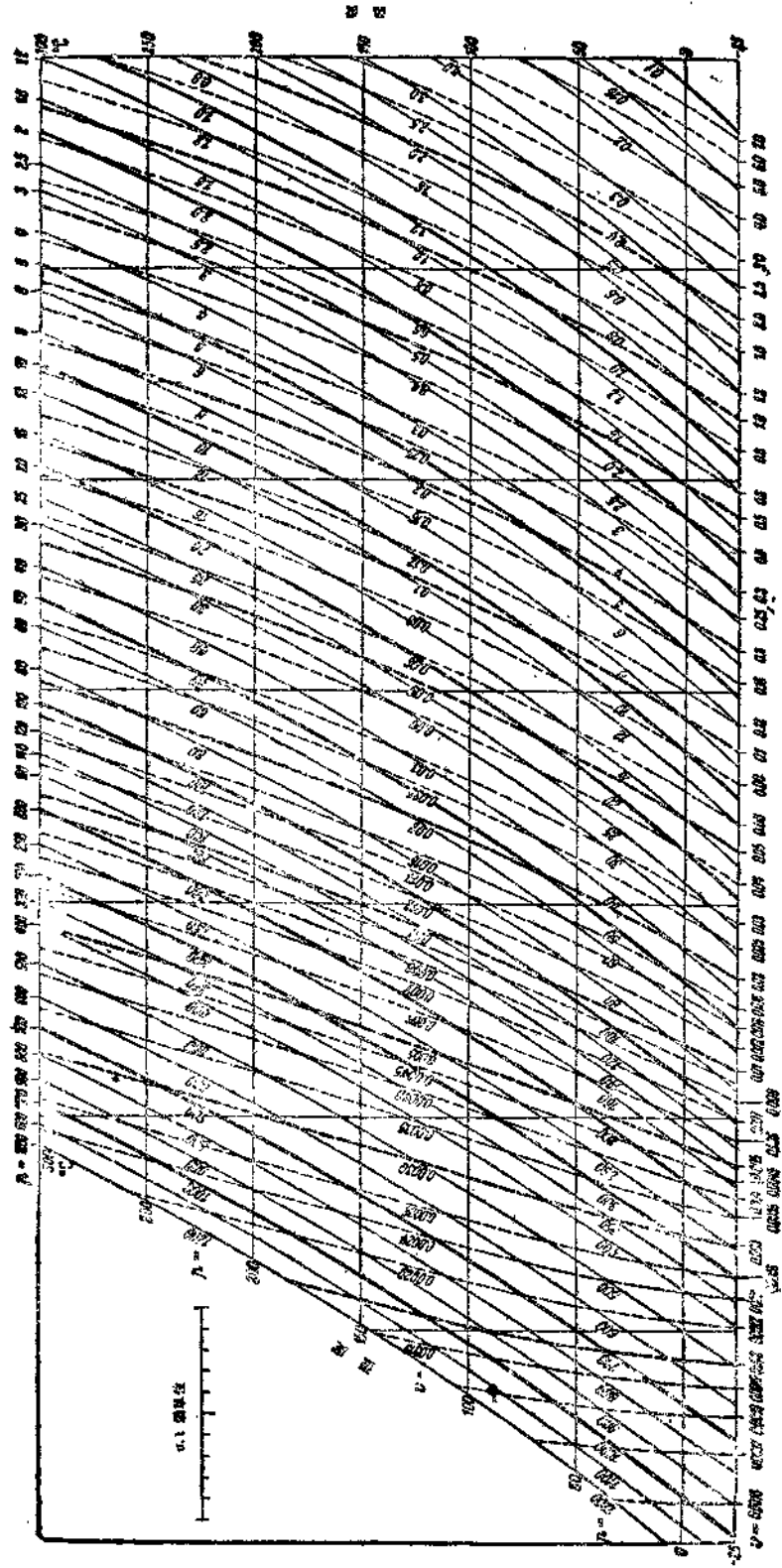


图 2-3 每 1 公斤空气之温度图表

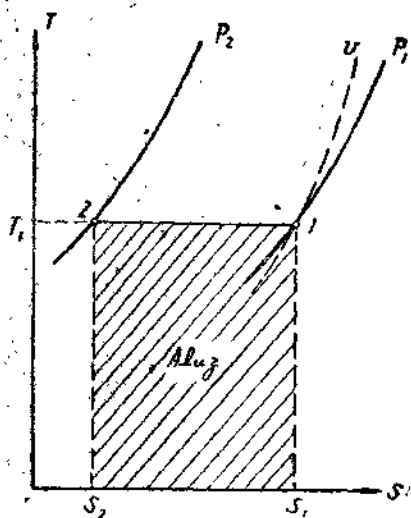


图 2-4 压气机按等温压缩时的温熵图

将式(2-5)代入得

$$l_{ag} = \frac{T_1(S_1 - S_2)}{A} \text{ 公斤} \cdot \text{米/公斤} \quad (2-6)$$

2-4. 绝热压缩时的理论工作循环

在绝热过程中,

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k,$$

式中 $k = \frac{C_p}{C_v}$, 对空气而言, 其值为1.4,

其中 C_p ——空气的等压比热, 大卡/公斤·°C;

C_v ——空气的等容比热, 大卡/公斤·°C.

绝热压缩时的压缩功为

$$\int_{V_1}^{V_2} P dV = \frac{1}{k-1} (P_2 V_2 - P_1 V_1) \text{ 公斤} \cdot \text{米}.$$

压气机按绝热压缩时一循环内的全功为

$$\begin{aligned} L_{ag} &= -P_1 V_1 + \frac{1}{k-1} (P_2 V_2 - P_1 V_1) + P_2 V_2 \\ &= \frac{k}{k-1} (P_2 V_2 - P_1 V_1). \end{aligned}$$

但

$$\frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}},$$

所以

$$L_{ag} = \frac{k}{k-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \text{ 公斤} \cdot \text{米}. \quad (2-7)$$

压缩1公斤空气的全功为

$$l_{ag} = \frac{k}{k-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \text{ 公斤} \cdot \text{米/公斤}. \quad (2-8)$$

取 $V_1 = 1$ 立方米, 则由式(2-7)求得压缩1立方米吸入空气的全功

$$l_{g, ag} = \frac{k}{k-1} P_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \text{ 公斤} \cdot \text{米/立方米}. \quad (2-9)$$

压缩终了时空气的绝对温度为

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}. \quad (2-10)$$

同样, 也可用压容图和温熵图中的面积表示压缩1公斤空气的全功。

图2-5中线段a1和2b代表吸气状态和排气状态下空气的比容, 曲线12为绝热线。面积a12b代表压气机按绝热压缩时对1公斤空气的全功。

图2-6中的点1代表开始压缩时的空气状态, 直线12为绝热线, 点2为压缩终了时

的空气状态。曲线23为等容线。面积51236代表1公斤空气温度由 T_1 升至 T_2 时内能之增加,即

$$\Delta u = C_v(T_2 - T_1).$$

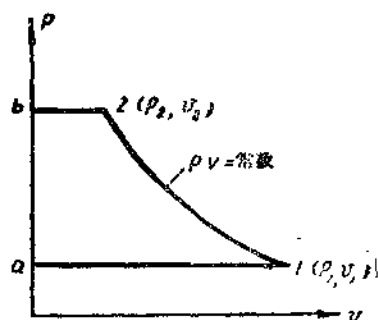


图 2-5 压气机按绝热压缩时的压容图

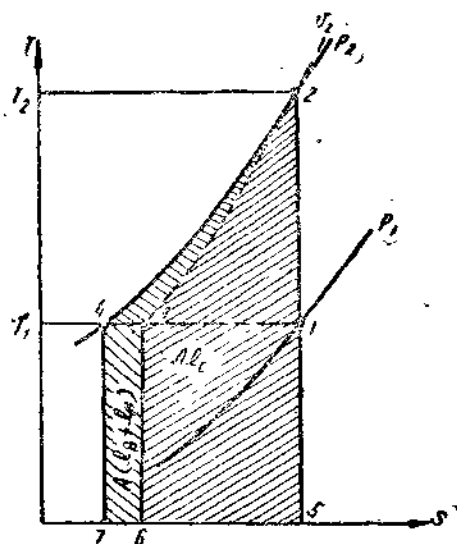


图 2-6 压气机按绝热压缩时的温熵图

我们知道在绝热过程中,压缩时对空气所做的功等于空气内能的增加。所以面积51236即代表按绝热压缩时对1公斤空气的压缩功 Al_0 。

压气机按绝热压缩时对1公斤空气的吸气功 l_B 与排气功 l_H 之和为

$$-P_1 v_1 + P_2 v_2 = R(T_2 - T_1),$$

式中, $R = \frac{C_p - C_v}{A}$ —— 气体常数。

因此

$$A(-P_1 v_1 + P_2 v_2) = C_p(T_2 - T_1) - C_v(T_2 - T_1).$$

可见,图2-6中的面积63247恰好代表吸气功与排气功之和的相应热量。所以总阴影面积512476代表压气机按绝热压缩时对1公斤空气所做全功的相应热量,其值为

$$\begin{aligned} Al_{ag} &= \Delta u + (-P_1 v_1 + P_2 v_2) = C_v(T_2 - T_1) + C_p(T_2 - T_1) - C_v(T_2 - T_1) \\ &= C_p(T_2 - T_1). \end{aligned}$$

于是

$$l_{ag} = \frac{C_p}{A}(T_2 - T_1) \text{ 公斤·米/公斤}. \quad (2-11)$$

如果把对数曲线(等压线)看成直线,也可由下式求功

$$l_{ag} = \frac{T_1 + T_2}{2A}(S_1 - S_2) \text{ 公斤·米/公斤}. \quad (2-12)$$

须特别指出,压容图和温熵图中的曲线12是互相对应的,它们都代表压缩过程。但

是在温熵图中不可能找出与压容图上的1a线和2b线相对应的线,因为它们只代表吸气和排气时气缸中容积与压力的变化关系,而不是气体状态变化过程。

2.5. 多变压缩时的理论工作循环

在多变过程中, $P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$

式中 $n = \text{常数}$, 称为多变指数。

因为多变压缩与绝热压缩的区别, 只是 n 与 k 的不同, 所以计算绝热压缩时压气机全功的公式可完全应用于多变压缩, 只须将 k 换成 n 即可。

一循环内压气机的全功为

$$L_{\text{全功}} = -\frac{n}{n-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \text{公斤} \cdot \text{米} \quad (2-13)$$

压缩1公斤空气的压缩机全功为

$$l_{\text{全功}} = -\frac{n}{n-1} P v_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \text{公斤} \cdot \text{米} / \text{公斤} \quad (2-14)$$

压缩1立方米吸入空气的压气机全功为

$$l_{v \cdot \text{全功}} = -\frac{n}{n-1} P_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \text{公斤} \cdot \text{米} / \text{立方米} \quad (2-15)$$

压缩終了时空气的绝对温度为

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (2-16)$$

压气机按多变压缩时的压容图与图2-5所示绝热压缩时的压容图相似, 只须将图中的绝热线换成多变线即可。现在来研究用温熵图表示多变压缩时压气机全功的方法。

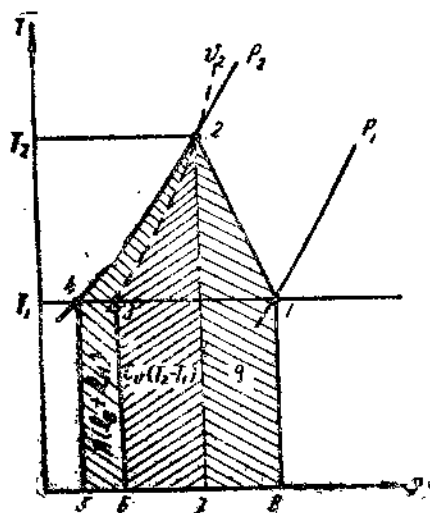


图 2-7 压气机按多变压缩时的温熵图
 $1 < n < k$

图2-7中点1表示压缩开始时的空气状态, 1-2线表示 $1 < n < k$ 时的多变压缩过程, 点2表示压缩終了时的空气状态。

面积 $63276 = C_v (T_2 - T_1)$, 代表一公斤空气在多变压缩过程中内能的增量。面积 81278 代表多变压缩过程中1公斤空气放出的热量 q 。根据热力学第一定律, 在压缩过程中空气内能的增量与放出热量之和等于对空气所做之功。所以面积 8123678 代表按多变压缩时对1公斤空气的压缩功。

前已证明, 面积 632456 代表吸气功与排气功之和。于是, 面积 81245678 代表压气机按多变压缩时对1公斤空气所做全功的相应热量, 其值可由下式求之

$$Al_{\text{全功}} = \text{面积} 724567 + \text{面积} 81278$$