

高等学校教学用书

# 石油厂机器与设备

下 册

北京石油学院炼厂机械教研室編



中国工业出版社

本书是在多年教学的基础上，结合我国实际，为炼厂机械专业的。

本书是“石油厂机器与设备”教学用书的下册，共有六篇十七要阐述石油厂常用的活塞式压气机和泵、离心式泵和压气机、过滤破碎筛分运输机械等机器的基本工作原理、操作调节、选择和结构并对机器的修配与装配，尤其对易损件的损坏和修复，作了较详细的

本书可作为炼厂机械专业的主要专业课教材，也可供石油厂机人员参考。

## 石油厂机器与设备

下 册

北京石油学院炼厂机械教研室编

\*

石油工业部编辑室编辑（北京北郊六铺炕石油工业部）

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）

中国工业出版社第四印刷厂印刷

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 $19^{3/8}$ ·插页2·字数449,000

1961年9月北京第一版·1962年6月北京第二次印刷

印数588—1,830·定价（10-5）2.35元

\*

统一书号：K 15165·479（石油-71）

石油厂机器与设备 (下册) 勘誤表

| 頁   | 行     | 誤                                                           | 正                                                                   |
|-----|-------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 13  | 2     | $P_2$ ——該地区的大气压力,                                           | $P_2$ ——标准的大气压力,                                                    |
| 13  | 9     | $T_a$ ——当地当时的空气绝对温度, °K;                                    | $T_a$ ——标准温度, °K;                                                   |
| 13  | 倒11   | $\lambda' = 0.01 \sim 0.029^\circ\text{C}$                  | $\lambda' = (0.01 \sim 0.029)\tau$                                  |
| 15  | 11    | 弹簧系数 $\alpha$ 即可求得                                          | 弹簧系数 $\alpha$ 及示功图折算高度 $h_i$ 即可求得                                   |
| 15  | 18    | $F$ ——活塞面积, 米 <sup>2</sup> ;                                | $F$ ——活塞面积, 厘米 <sup>2</sup> ;                                       |
| 15  | 倒3    | 会使 $\lambda = 0$                                            | 会使 $\lambda_0 = 0$                                                  |
| 15  | 倒1    | $\lambda = 1 - \epsilon(\tau^{\frac{1}{n}} - 1) = 0$        | $\lambda_0 = 1 - \epsilon(\tau^{\frac{1}{n}} - 1) = 0$              |
| 16  | 20    | 一般压气机的                                                      | 一般大、中型压气机的                                                          |
| 21  | 20    | 及连杆质的其余部分。                                                  | 及连杆的一部分质量。                                                          |
| 29  | 图9-23 | 8T-K 气体电动机压气机……                                             | 8ГK 气体发动机—压气机……                                                     |
| 45  | 4     | 主要目的在于                                                      | 但主要目的在于                                                             |
| 48  | 倒4    | 应当注意在同一压力降时,                                                | 应当注意在同一压力时,                                                         |
| 60  | 倒5    | 阀片厚度可取 1—3 毫米,                                              | 阀片厚度可取 0.8—3 毫米,                                                    |
| 69  | 倒9    | 压力损失在图上用曲线 $d'e'$ 来表示。                                      | 能量损失在图中为面积 $b'e'd'a'$ 。                                             |
| 70  | 8     | $P_1, P_2$ ——分别表示作用在汽缸活塞上的新蒸汽和排出乏汽的压力;                      | $P_1, P_2$ ——分别表示新蒸汽与乏汽作用在汽缸活塞上的活塞力;                                |
| 70  | 9     | $A_1, A_2$ ——分别表示作用在泵缸活塞上排出和吸入压力;                           | $A_1, A_2$ ——分别表示排出和吸入时液体作用在泵缸活塞上的活塞力;                              |
| 71  | 14    | 当冲程数增加时,                                                    | 当冲程数急剧下降时,                                                          |
| 75  | 10    | $\frac{u^2}{2g}$ ——使液体在吸入管中以流速 $W_B$ 随活塞而流动所消耗的动能(即速度头),    | $\frac{u^2}{2g}$ ——液体在吸入管中以流速 $W_B$ (相当于活塞速度 $u$ ) 而流动所消耗的动能(即速度头), |
| 75  | 倒3    | 而需要在泵结构不改变的条件下来操作, 则可以通过下列几个方法                              | 则必须改变泵安装位置及操作条件, 一般可以通过下列几个方法                                       |
| 76  | 10    | $P_0$ 来输送的。                                                 | $P_0$ 及灌注头 $H_{\text{вп}}$ 来吸入的。                                    |
| 79  | 1     | 常用在常减压装置中输送油品温度较高的常压蒸馏塔底的重油。                                | 常用在氧化沥青、丙烷脱沥青装置中输送温度高粘度大的重油。                                        |
| 90  | 倒1    | 升举液体的高度或泵所产生的压力,                                            | 升举液体高度及克服沿途阻力的单位重量能量,                                               |
| 91  | 1     | 泵工作时所需的能量,                                                  | 泵单位时间内工作时所需的能量,                                                     |
| 97  | 倒8    | $h'_r = C_k Q^2$                                            | $h'_r = C_k Q^2 = f(Q^2)$                                           |
| 97  | 倒3    | $h''_r = C_k \left(1 - \frac{Q}{Q_m}\right)^2$              | $h''_r = C_k \left(1 - \frac{Q}{Q_u}\right)^2 = f(Q^2)$             |
| 105 | 1     | $n_s = K_s \frac{n \sqrt{Q_{\text{нор}}}}{H^{\frac{3}{4}}}$ | $n_s = K_s \frac{n \sqrt{Q_{\text{нор}}}}{H^{\frac{3}{4}}}$         |
| 109 | 倒3    | $H = \left(\frac{3.65 \sqrt{Q}}{n_s}\right)^{\frac{4}{3}}$  | $H = \left(\frac{3.65 n \sqrt{Q}}{n_s}\right)^{\frac{4}{3}}$        |
| 145 | 倒2    | $\frac{P}{\rho u_2^2} = K K_s \eta_r = \overline{H}$        | $\frac{P}{\rho u_2^2} = K K_s \eta_r = \overline{H}$                |
| 146 | 7     | 和 $\eta$ 都是不变的,                                             | 和 $\eta$ 都是近似不变的。                                                   |
| 157 | 倒11   | $K$ ——管路内单位阻力;                                              | $K$ ——管路内阻力系数;                                                      |
| 158 | 23    | 空气通过管间空,                                                    | 空气通过壳程,                                                             |
| 168 | 倒5    | 在常减压塔上                                                      | 在减压塔上                                                               |
| 173 | 倒2    | 8 个大气压                                                      | 8 大气压                                                               |

| 頁   | 行   | 誤                                                                                     | 正                                                                |
|-----|-----|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 186 | 12  | $K = \frac{H - H_{\text{нф}}}{H_{\text{нф}}} \times 100\%$                            | $K = \frac{H_{Q=0} - H_{\text{額定}}}{H_{\text{額定}}} \times 100\%$ |
| 190 | 倒9  | $R_e = \frac{Q_{\text{пор}}}{D_{\text{экр}} \nu} \cdot i \cdot 10^3$                  | $R_e = \frac{Q_{\text{пор}}/i}{D_{\text{экр}} \nu} \cdot 10^3$   |
| 196 | 5   | 选用图(16-6)                                                                             | 选用, 如图16-7                                                       |
| 208 | 倒11 | $P_0 \geq F \cdot \sigma = \frac{1}{2} D \cdot \sin \alpha \cdot L \cdot \sigma_{cy}$ | $P_0 \geq F \sigma = \frac{1}{2} D \sin \alpha L \sigma$         |
| 216 | 11  | $V = \frac{2d_1 + S}{2} n \cdot b$                                                    | $V = \frac{(2d_1 + S)}{2 \tan \alpha} \cdot S \cdot b$           |
| 228 | 9   | 篩分在实际上是可能将物料                                                                          | 篩分在实际上的不可能将物料                                                    |
| 230 | 12  | 3)运动惯性力 $F = -mj$ ,                                                                   | 3)运动惯性力 $F = mj$ ,                                               |
| 249 | 10  | 皮带速度为 $v = 0.5 - 0.8$ 米/秒,                                                            | 皮带速度为 $v = 0.8 - 2.0$ 米/秒,                                       |
| 274 | 2   | 以免滑閥当磨損后由于液流的冲击发生歪倒而漏洩。如果閥座磨平时,                                                       | 以免滑閥座磨損后, 滑閥因气流冲击而发生歪倒洩漏。故当閥座被磨平时,                               |
| 298 | 13  | 如蒸汽机汽缸用潤滑油,                                                                           | 如蒸汽泵汽缸用潤滑油,                                                      |
| 310 | 倒5  | 处于自由悬挂自由支承情况下, 其重心                                                                    | 处于自由支承下, 其重心                                                     |

原  
书  
缺  
页

原  
书  
缺  
页

# 目 录

## 第三篇 活塞式压气机和泵

### 第九章 活塞式压气机 ..... 7

#### 第 1 节 活塞式压气机的工作过程 ..... 7

一、活塞式压气机的理论工作过程 ..... 7

二、活塞式压气机的实际工作过程 ..... 9

#### 第 2 节 压气机的排量 ..... 10

一、理论排量和实际排量的计算 ..... 10

二、提高排量的途径 ..... 13

#### 第 3 节 压气机的功率和效率 ..... 14

#### 第 4 节 多段压缩 ..... 15

一、多段压缩的必要性 ..... 15

二、压缩比的确定 ..... 17

三、高压压缩的特点 ..... 18

#### 第 5 节 石油气体及化学气体压缩的特点 ..... 19

#### 第 6 节 活塞式压气机的动力学 ..... 20

一、惯性力产生的规律 ..... 20

二、压气机运转中受力分析及其影响 ..... 23

三、惯性力的均衡及减小的途径 ..... 23

四、装配质量及零件间配合尺寸对机器运转的影响 ..... 29

#### 第 7 节 压气机的结构 ..... 31

一、空气压气机 ..... 31

二、8FK 型压气机 ..... 34

三、氨压气机 ..... 36

四、循环压气机 ..... 41

五、氢压气机 ..... 44

#### 第 8 节 压气机主要零件和计算 ..... 44

一、气缸 ..... 44

二、活塞与胀圈 ..... 48

三、盘根箱 ..... 52

四、配气阀 ..... 55

#### 第 9 节 压气机的操作与调节 ..... 62

一、压气机的操作 ..... 62

二、压气机排量的调节 ..... 64

### 第十章 往复式蒸汽泵 ..... 68

#### 第 1 节 往复式蒸汽泵的工作原理 ..... 68

#### 第 2 节 往复式蒸汽泵的流量与压头 ..... 70

一、往复式蒸汽泵的流量和流量系数 ..... 70

二、往复式蒸汽泵的压头 ..... 71

三、往复式蒸汽泵特性曲线 ..... 72

#### 第 3 节 往复式蒸汽泵的功率、效率和蒸汽消耗量的计算 ..... 73

一、往复式蒸汽泵的功率 ..... 73

二、往复式蒸汽泵的效率 ..... 73

三、往复式蒸汽泵的蒸汽消耗量计算 ..... 74

#### 第 4 节 往复式蒸汽泵的工作过程 ..... 74

一、往复式蒸汽泵的吸入过程 ..... 74

二、往复式蒸汽泵的排出过程 ..... 77

#### 第 5 节 往复式蒸汽泵的结构分析 ..... 78

一、4HT 型双缸双作用蒸汽直接作用泵结构分析 ..... 78

二、PH 型单缸双作用蒸汽直接作用泵的结构分析 ..... 80

三、单缸蒸汽泵和双缸蒸汽泵的比较 ..... 81

#### 第 6 节 往复式蒸汽泵的零部件 ..... 82

一、配汽阀和配汽机构 ..... 82

二、密封盘根箱 ..... 84

三、顶杆 ..... 85

#### 第 7 节 柱塞泵 ..... 85

一、卧式直压三柱塞泵 ..... 85

二、比例泵 ..... 87

## 第四篇 离心式泵和压气机

### 第十一章 离心泵 ..... 90

#### 第 1 节 离心泵的工作原理及特性曲线 ..... 90

一、离心泵的工作原理 ..... 90

二、离心泵的特性曲线 ..... 90

#### 第 2 节 离心泵的基本方程式 ..... 91

一、液体在叶轮中的流动 ..... 91

二、离心泵的基本方程式——欧拉公式 ..... 92

三、离心泵的理论特性曲线 ..... 93

#### 第 3 节 离心泵的实际工作特性曲线 ..... 93

一、叶片形状的选定 ..... 93

二、叶片数目有隙时对理论压头的影响 ..... 95

三、离心泵的各种损失 ..... 95

四、离心泵实际工作特性曲线的分析 ..... 98

#### 第 4 节 离心泵的相似理论与比转数 ..... 99

一、离心泵的相似理论 ..... 99

二、离心泵的比转数 ..... 103

#### 第 5 节 离心泵的汽穴现象和允许吸入高度 ..... 110

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 一、汽穴现象                          | 110 |
| 二、离心泵的允许吸入高度                    | 110 |
| 三、离心泵汽穴现象的减少和防止的方法              | 111 |
| 第 6 节 泵的管路工作特性和流量调节             | 112 |
| 一、泵的管路工作特性                      | 112 |
| 二、离心泵流量的调节                      | 114 |
| 第 7 节 离心泵的结构分析                  | 116 |
| 一、石油厂生产对泵的要求                    | 116 |
| 二、5D—5×2(相当苏联型号 5H—5×2)冷油泵的结构分析 | 116 |
| 三、石油厂用热油泵                       | 121 |
| 四、石油厂用输送液化气泵                    | 126 |
| 五、石油厂用酸碱泵                       | 127 |
| 六、离心泵的主要零部件及其计算                 | 130 |
| 第十二章 离心式通风机                     | 139 |
| 第 1 节 离心式通风机的作用原理               | 139 |
| 第 2 节 离心式通风机的风压、风量、功率和效率        | 139 |
| 一、通风机的风压计算                      | 139 |
| 二、通风机的风量计算                      | 140 |
| 三、通风机的功率及效率                     | 141 |
| 四、吸入气体状态对通风机工作特性的影响             | 141 |
| 第 3 节 离心式通风机的特性曲线               | 142 |
| 一、离心式通风机的单独特性                   | 142 |
| 二、离心式通风机的叶片形状与特性的关系             | 142 |
| 三、通风机的通用特性及无因次特性                | 144 |
| 第 4 节 离心式通风机的管路工作               | 146 |
| 一、管路密封性的影响                      | 147 |
| 二、气体重度的影响                       | 147 |
| 三、气体中固体杂质的影响                    | 147 |
| 四、通风机工作的跳动现象                    | 148 |
| 五、离心式通风机风量的调节                   | 149 |
| 第 5 节 离心式通风机的结构及主要零件            | 149 |
| 一、离心式通风机的结构型式                   | 149 |
| 二、离心式通风机的主要零件                   | 150 |
| 第 6 节 轴流通风机                     | 152 |
| 第十三章 离心式鼓风机和压气机                 | 154 |
| 第 1 节 离心式鼓风机和压气机的工作原理           | 154 |
| 一、离心式鼓风机气体压缩过程                  | 154 |
| 二、具有冷却的透平压气机压缩过程                | 156 |
| 第 2 节 透平鼓风机和透平压气机的特性和风量调节       | 157 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第 3 节 透平鼓风机和透平压气机的结构  | 158 |
| 第十四章 特殊泵和压气机          | 162 |
| 第 1 节 转子泵             | 162 |
| 一、齿轮泵                 | 163 |
| 二、螺杆泵                 | 164 |
| 三、滑板泵                 | 166 |
| 四、径向柱塞泵               | 167 |
| 第 2 节 其他型式泵           | 168 |
| 一、喷射泵                 | 168 |
| 二、旋涡泵                 | 168 |
| 第 3 节 迴转式压气机          | 170 |
| 一、活片式压气机              | 170 |
| 二、罗茨鼓风机               | 170 |
| 三、水环式真空泵              | 171 |
| 第五篇 泵和压气机的系列化和选择      |     |
| 第十五章 泵和压气机的系列化        | 173 |
| 第 1 节 概述              | 173 |
| 第 2 节 活塞式压气机的系列       | 173 |
| 第 3 节 往复式蒸汽泵的系列化原则和方案 | 176 |
| 第 4 节 离心泵的系列化的方案      | 178 |
| 第 5 节 离心式通风机系列化方案     | 179 |
| 一、分类及使用范围             | 179 |
| 二、基本参数及型号             | 179 |
| 第十六章 泵和压气机的选择         | 185 |
| 第 1 节 石油厂用泵的选择        | 185 |
| 一、泵的选择原则              | 185 |
| 二、泵的选择方法和步骤           | 187 |
| 三、泵的选择例题              | 192 |
| 第 2 节 石油厂用压气机的选择      | 195 |
| 一、压气机的选择原则            | 195 |
| 二、活塞式压气机的选择方法和步骤      | 196 |
| 三、离心式压气机的选择方法和步骤      | 197 |
| 四、活塞式压气机的选择例题         | 198 |
| 五、离心式通风机的选择例题         | 199 |
| 第六篇 固体处理机械            |     |
| 概述                    | 202 |
| 第十七章 破碎机              | 205 |
| 概述                    | 205 |
| 第 1 节 滚式破碎机           | 206 |
| 一、概述                  | 206 |
| 二、滚式破碎机的动力学           | 206 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 三、滾式破碎机的结构        | 211 |
| 第 2 节 顎式破碎机       | 213 |
| 一、顎式破碎机的结构及作用原理   | 214 |
| 二、顎式破碎机的动力学       | 214 |
| 三、顎式破碎机的结构类型      | 217 |
| 四、主要零件结构及计算       | 218 |
| 第 3 节 其他型式的破碎机    | 221 |
| 一、概述              | 221 |
| 二、冲击式破碎机          | 221 |
| 三、錐式破碎机           | 224 |
| 四、球磨机             | 224 |
| 第 4 节 破碎机的选择      | 224 |
| 一、我国破碎机的系列        | 224 |
| 二、破碎机的选择          | 227 |
| 第十八章 篩分机          | 228 |
| 第 1 节 概述          | 228 |
| 第 2 节 固定篩         | 228 |
| 一、固定篩             | 228 |
| 二、滾軸篩             | 229 |
| 第 3 节 摆动篩         | 229 |
| 一、摆动篩的简单结构及工作原理   | 229 |
| 二、摆动篩的动力学         | 229 |
| 三、摆动篩的篩分能力及功率计算   | 231 |
| 四、BKT式摆动篩的结构分析    | 231 |
| 第 4 节 振动篩         | 234 |
| 一、振动篩的结构及工作原理     | 234 |
| 二、振动篩的动力学         | 234 |
| 三、TTP型半振动篩        | 237 |
| 四、簡易篩分机           | 238 |
| 五、振动篩的篩分能力        | 239 |
| 第 5 节 篩网及篩分机的选择   | 239 |
| 一、篩条              | 239 |
| 二、篩板              | 239 |
| 三、篩网              | 240 |
| 四、篩分机的选择          | 240 |
| 五、篩子的易損零件及检修      | 242 |
| 第十九章 連續式运输机械      | 243 |
| 第 1 节 皮带输送机       | 243 |
| 一、皮带输送机的简单结构及工作原理 | 243 |
| 二、皮带输送机的工作条件      | 244 |
| 三、结构分析            | 245 |
| 四、皮带输送机的计算        | 248 |
| 第 2 节 其它型式的输送机    | 250 |
| 一、斗式提升机           | 250 |
| 二、板式输送机           | 251 |

|          |     |
|----------|-----|
| 三、螺旋式输送机 | 251 |
| 四、气力输送   | 252 |

## 第七篇 过滤与混合机器

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第二十章 过滤机              | 255 |
| 第 1 节 过滤与混合设备的概述      | 255 |
| 一、过滤概念及过滤在石油厂中的应用     | 255 |
| 二、各种过滤方法与设备的类型简介      | 255 |
| 三、对过滤设备的要求            | 256 |
| 四、混合搅拌机简单介绍           | 257 |
| 第 2 节 板框式过滤机          | 258 |
| 一、工艺过程及总体结构           | 258 |
| 二、压紧装置                | 262 |
| 三、板框过滤机的强度计算          | 262 |
| 第 3 节 真空过滤机           | 264 |
| 一、过滤机总体结构简单介绍及其工艺操作过程 | 264 |
| 二、主要零部件的结构及材料         | 266 |
| 三、真空过滤机的功率计算          | 268 |

## 第八篇 石油厂机器的修配和装配

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 概述                | 270 |
| 第二十一章 往复式机器的修配    | 271 |
| 第 1 节 气缸組的修配      | 271 |
| 一、气缸的修配           | 271 |
| 二、閥件的修配           | 272 |
| 三、活塞环(漲圈)的修配      | 275 |
| 四、活塞及活塞銷的修配       | 276 |
| 五、密封件的修配          | 276 |
| 第 2 节 运动机构組及机架的修理 | 277 |
| 一、曲軸的修理           | 277 |
| 二、連杆的修理           | 277 |
| 三、軸瓦的修理           | 278 |
| 四、十字头与活塞杆的修理      | 282 |
| 五、机架的修理           | 283 |
| 第二十二章 旋轉式机器的修配    | 283 |
| 第 1 节 軸、軸套和軸承的检修  | 283 |
| 一、弯軸的矫直           | 284 |
| 二、軸套的磨損及修复        | 285 |
| 三、軸承的检修           | 288 |
| 第 2 节 叶輪及口环的检修    | 289 |
| 一、泵的叶輪及口环的检修      | 289 |
| 二、鼓风机、通风机翼輪的检修与制造 | 290 |
| 第 3 节 密封件的检修      | 292 |
| 一、填料密封            | 292 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 二、迷宫密封.....                 | 292        |
| <b>第二十三章 其它机器的修配 .....</b>  | <b>293</b> |
| <b>第 1 节 破碎机的修配 .....</b>   | <b>293</b> |
| 一、概述.....                   | 293        |
| 二、破碎机的修理.....               | 293        |
| <b>第 2 节 連續式过滤机的修配.....</b> | <b>294</b> |
| 一、概述.....                   | 294        |
| 二、轉鼓部分的检修.....              | 295        |
| 三、分配头的检修.....               | 296        |
| 四、其他部件的检修.....              | 296        |
| 五、检修中的安全措施及試漏.....          | 296        |
| <b>第二十四章 石油厂机器的潤滑及潤滑</b>    |            |
| <b>油的选择 .....</b>           | <b>297</b> |
| <b>第 1 节 各种工作条件对潤滑油的要求</b>  |            |
| .....                       | 297        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| <b>第 2 节 石油厂常用的潤滑油及其牌号</b>  |            |
| .....                       | 298        |
| <b>第 3 节 潤滑油的配制 .....</b>   | <b>299</b> |
| <b>第二十五章 石油厂机器的装配 .....</b> | <b>303</b> |
| <b>第 1 节 零件表面的检查 .....</b>  | <b>303</b> |
| 一、一个零件的表面平与直的检查方法及工具        |            |
| .....                       | 303        |
| 二、一个零件平面水平度的检查.....         | 304        |
| 三、平面間的平行度和垂直度的检查.....       | 305        |
| 四、孔的同心度的检查(找中心和对中心).....    | 306        |
| 五、軸的同心度之检查.....             | 308        |
| <b>第 2 节 动静平衡 .....</b>     | <b>309</b> |
| 一、靜平衡的測量方法及工具.....          | 310        |
| 二、动平衡的測量方法与工具.....          | 311        |

## 第三篇 活塞式压气机和泵

### 第九章 活塞式压气机

压气机远在古代就被采用了，钢铁生产中所用的风箱就是最简陋的活塞式压气机。随着生产的发展，其结构和型式有了不断的改进，应用也日益广泛。现在我国已成批生产适用于各种不同介质的大中小型压气机，并已制定出一套系列。

活塞式压气机按工作压力可分为：低压（2—10压力）；中压（10—100压力）；高压（100—1000压力）三类。石油厂中常用压气机的工作介质除空气外，尚有氢气、石油气体、氨气等。压气机的压力范围从几个压力直到几百个压力；其形式也极其多样，有立式、卧式、角型等。

#### 第1节 活塞式压气机的工作过程

为便于研究压气机的工作过程，首先讨论单级单作用压气机的理论工作过程。它阐明了在充分利用气缸工作容积的情况下，如何使所需功耗最省。

##### 一、活塞式压气机的理论工作过程

图9—1为单级单作用活塞式压气机的工作示意图。上部是相应的理论工作循环压容图。

活塞向右移动时，吸气阀被打开，新鲜气体在压力 $P_1$ 下被吸入气缸；活塞返回时，气体由于受到活塞的压缩，体积变小而压力升高，当压力稍大于排气管的压力 $P_2$ 时，排气阀被打开，气体排入排气管内。

图中 $a-b$ 表示吸气过程； $b-c$ 表示压缩过程； $c-d$ 表示排气过程。

应该指出，以上所述只是理论工作过程，它必须在以下几个假定的前提下才能实现。

1) 在吸气或排气开始到终了的整个过程中，气体状态保持不变。

2) 气缸内没有余隙空间，即被压缩气体全部被活塞排出。

3) 工作过程中没有任何能量损失，即没有摩擦损失与漏损。

根据理论示功图，可以求出单位重量气体被压缩时的理论功耗。

总功耗 = 吸气功 + 压缩功 + 排气功

$$L = -\text{面积 of } ba + \text{面积 of } oecd + \text{面积 of } efbc \quad (9-1)$$

由于气体在压缩过程中可能有三种过程，即等温压缩过程、多变压缩过程与绝热压缩过程，它们的压缩功的数值是不相等的。

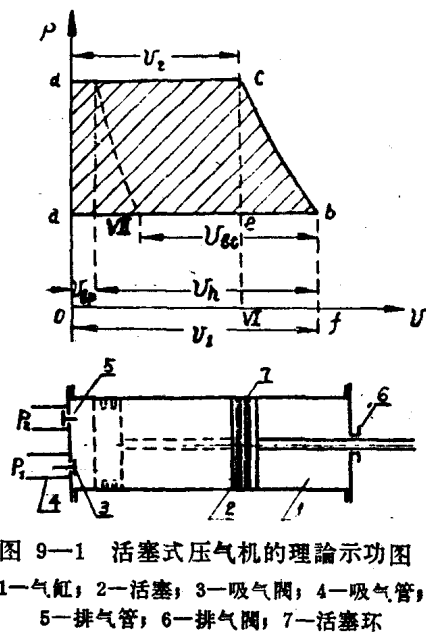


图 9—1 活塞式压气机的理论示功图  
1—气缸；2—活塞；3—吸气阀；4—吸气管；  
5—排气管；6—排气阀；7—活塞环

### 1. 等温压缩过程

当压缩过程中气体温度保持不变, 即假设压缩过程产生的全部热量都被取走, 此过程称等温压缩过程。实际上, 尽管用最完善的冷却设备也不可能实现等温压缩过程, 所以它只是理论的过程而已。

每公斤气体的等温压缩功为:

$$L_{H3} = RT \ln \frac{P_2}{P_1} = RT \ln \frac{V_1}{V_2}, \text{ 公斤-米/公斤} \quad (9-2)$$

式中  $R = \frac{848}{M}$  —— 气体常数, 公斤-米/公斤·°C;

$M$  —— 气体公斤分子量;

$T$  —— 气体在吸入状态时的绝对温度, °K。

或每米<sup>3</sup>气体的等温压缩功为:

$$L_{H3} = -\frac{RT}{V_1} \ln \frac{V_1}{V_2} = -\frac{RT}{V_1} \ln \frac{P_2}{P_1}, \text{ 公斤-米/米}^3 \quad (9-3)$$

### 2. 绝热压缩过程

当压缩过程中气缸内热量保持不变, 亦即气缸与外界没有热交换, 此过程称绝热压缩过程。实际上由于压缩过程进行的很快, 热量来不及传导, 故某些实际压缩过程里有可能接近于绝热过程。

绝热压缩过程时, 绝热曲线方程式为

$$PV^k = P_1 V_1^k = P_2 V_2^k = \text{常数} \quad (9-4)$$

式中  $k = \frac{C_p}{C_v}$  —— 绝热指数。

绝热指数  $k$  对单原子气体为 1.67; 对双原子气体为 1.4; 对三原子及多原子气体为 1.2—1.3。

由绝热压缩的基本关系可导出绝热压缩功为

$$L_{H3} = \frac{k}{k-1} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \text{ 公斤-米/公斤} \quad (9-5)$$

每米<sup>3</sup>气体的绝热压缩功为:

$$L_{H3} = \frac{k}{k-1} P_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \text{ 公斤-米/米}^3 \quad (9-6)$$

### 3. 多变压缩过程

实际的压缩过程既不能做到等温, 也不会是绝热过程, 因此, 气体压缩过程实际上是多变压缩过程, 此时, 气体状态方程式为:

$$PV^m = P_1 V_1^m = P_2 V_2^m = \text{常数} \quad (9-7)$$

多变压缩过程与绝热压缩过程计算公式只是指数  $m$  与  $k$  的差别, 每公斤的气体的多变压缩功为:

$$L_m = \frac{m}{m-1} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{m-1} - 1 \right] = \frac{m}{m-1} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right]$$

$$= \frac{m}{m-1} P_1 V_1 \left[ \frac{T_2}{T_1} - 1 \right], \text{ 公斤-米/公斤} \quad (9-8)$$

或每米<sup>3</sup>的气体的多变压缩功为

$$L_m = \frac{m}{m-1} P_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right], \text{ 公斤-米/米}^3 \quad (9-9)$$

气体的压缩功亦可用热量的单位表示。

对于等温过程，相当于压缩功的热量为：

$$q_{\text{等温}} = T(S_2 - S_1''), \text{ 仟卡/公斤} \quad (9-10)$$

对于绝热过程，相当于压缩功的热量为：

$$q_{\text{绝热}} = C_p(T_2 - T_1), \text{ 仟卡/公斤} \quad (9-11)$$

对于多变过程，相当于压缩功的热量为：

$$q_m = C_p(T_2' - T_1) + (S_1 - S_2) \frac{T_2 + T_1}{2}, \text{ 仟卡/公斤} \quad (9-12)$$

将这三种过程分别以  $P-V$  图， $T-S$  图表示，可作分析比较。

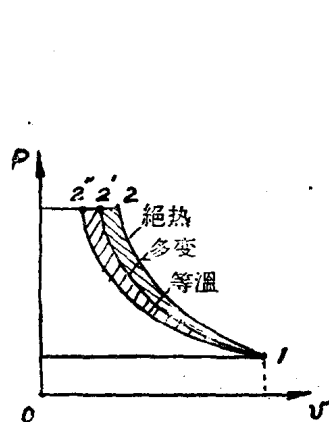


图 9-2 压容图

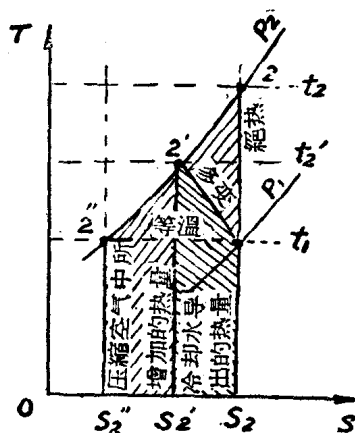


图 9-3 温熵图

从  $P-V$  图、 $T-S$  图均可看出，单对压气机本身而言，等温过程的功耗最少，绝热过程的功耗最大，而多变过程则居中。因此常用等温过程功耗作为标准，与实际功耗比较，来评价压气机工作过程的完善程度及能量转换的经济性。但实际设计中，必须看到，即使有完善而昂贵的冷却系统装置，也不可能实现等温过程。故实际生产中是多变压缩过程。对单级压气机由于冷却较多级压气机为差，因此更接近于绝热过程。

## 二、活塞式压气机的实际工作过程

压气机的实际工作过程是不符合以上几点假定的。用示功器绘制的示功图表示了压气机的实际工作过程，并可用来计算实际功耗。实际示功图如图9-4。

实际过程与理论压缩过程的主要区别在于：

- 1) 实际压缩过程中进气和排气过程由于存在热交换，因此，在整个过程中气体的状态是变化的，多变指数  $m$  也有变化；
- 2) 实际工作中由于存在余隙空间，压缩过程中，残留在余隙空间的气体，在吸入过

程开始时沿4—1綫产生膨胀, 因此气体吸入是在1点开始, 使吸气量减少;

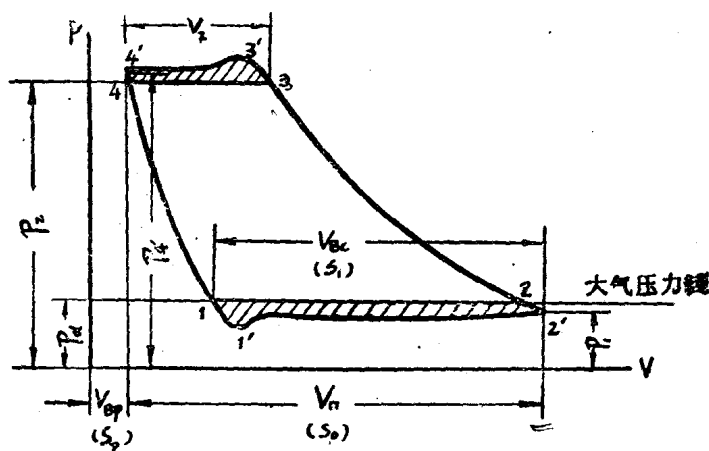


图 9-4 实际示功图

3) 实际工作过程中, 必须克服进气阀、排气阀和管路的阻力损失。因此, 排气时缸内压力应稍大于排气管压力; 而膨胀终了时, 吸气压力应稍低于吸气管压力; 故示功图上吸入綫比理論的低, 排出綫則比理論的高, 同时在1'、3'两点有尖角; 又由于通过阀的气流随活塞运动速度的变化而变化, 故阀的损失亦有变化, 气体在管路内流动时又有冲动, 因此吸入綫和排出綫都是波形曲綫。

## 第2节 压气机的排量

### 一、理論排量和实际排量的計算

活塞式压气机的理論排量, 即指每分鐘它所吸入的气体量。理論排量的計算公式是:

对于单作用压气机

$$V_T = V_n n = S F n, \text{ 米}^3/\text{分}; \quad (9-13)$$

对于双作用压气机

$$V_T' = V_n n = (2F - f) S n, \text{ 米}^3/\text{分}; \quad (9-14)$$

对于多缸单作用压气机

$$V_T'' = V_n n = F S n i, \text{ 米}^3/\text{分}; \quad (9-15)$$

式中  $V_n$ ——活塞排容, 米<sup>3</sup>;

$F$ ——活塞面积米<sup>2</sup>, 对于多段压气机,  $F$ 为第一段活塞面积;

$f$ ——活塞杆断面积, 米<sup>2</sup>;

$S$ ——活塞冲程, 米;

$i$ ——缸数;

$n$ ——每分鐘軸轉数, 一般对于低速压气机  $n = 80 - 300$  轉/分, 对于高速压气机  $n = 300 - 750$  轉/分, 或更高一些。

由于压气机的結構不可能是理想的, 除有余隙空間外, 还有盘根箱的密封不良以及吸入状态的影响, 所以实际排量  $V_{TK}$  总是小于理論排量  $V_T$ 。

$$V_{TK} = \lambda V_T = \lambda V_n n = \lambda F S n i, \text{ 米}^3/\text{分} \quad (9-16)$$

式中  $\lambda$  为排量系数, 它综合地考虑了各种因素的影响, 是实际进入排气管的气体量与活塞理论排容的比值。

下面分析影响实际排量的因素

### 1. 压气机结构引起的影响

压气机结构所带来的影响有两种, 一为余隙空间的影响; 一为气体漏泄的影响; 分述如下。

压气机的余隙空间由三部分组成, 第一部分是防止活塞与缸盖相碰而必须留有的空间, 第二部分是吸气阀与排气阀和气缸之间的余隙空间, 第三部分是阀本身的余隙空间。通常我们不用余隙空间的绝对值, 而用余隙空间与活塞排容的比值, 称之为相对余隙空间, 以  $\epsilon$  表示之。

$$\epsilon = \frac{V_{BP}}{V_{\Pi}} \% \quad (9-17)$$

一般  $\epsilon = 3-8\%$

由于余隙空间内被压缩残余气体的存在, 在气缸吸气时, 必然影响到气缸吸入新鲜气体的量, 我们以  $\lambda_o$  表示这个影响。

$$V_{BC} = \lambda_o V_{\Pi} \quad \text{或} \quad \lambda_o = \frac{V_{BC}}{V_{\Pi}} \quad (9-18)$$

式中  $\lambda_o$ ——容积系数, 其值为  $0.82-0.92$ ;

$V_{BC}$ ——实际吸入空气量;

$V_{\Pi}$ ——活塞理论排容。

$\lambda_o$  值可由计算得到, 令膨胀前残余气体的体积为  $V_{BP}$ , 膨胀后残余气体的体积为  $(V_{BP} + V_{\Pi} - V_{BC})$ , 二者之比为膨胀前后比容之比。

$$\frac{V_{BP} + V_{\Pi} - V_{BC}}{V_{BP}} = \frac{V_1}{V_2}$$

以  $\lambda_o = \frac{V_{BC}}{V_{\Pi}}$  代入, 化简

$$\therefore \lambda_o = 1 + \frac{V_{BP}}{V_{\Pi}} \left( 1 - \frac{V_1}{V_2} \right) = 1 - \epsilon \left( \frac{V_1}{V_2} - 1 \right) = 1 - \epsilon \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] \quad (9-19)$$

式中  $m$ ——多变指数;

$\lambda_o$  亦可从示功器绘制的实际示功图上(图9-4)测得即,

$$\lambda_o = \frac{V_{BC}}{V_{\Pi}} = \frac{S_1}{S_0}$$

$\lambda_o$  与  $\epsilon$  的关系还可由图9-5和图9-6确定。

另一个问题是气体漏泄的影响。工作中气体通过压气机的盘根箱、进气阀、排气阀、活塞与气缸间的胀圈等都会产生气体漏损, 因而也会降低排量, 这一影响用密封系数  $\lambda_r$  表示即

$$\lambda_r = \frac{V_{\Pi K}}{n V_{\Pi}} \quad (9-20)$$

式中

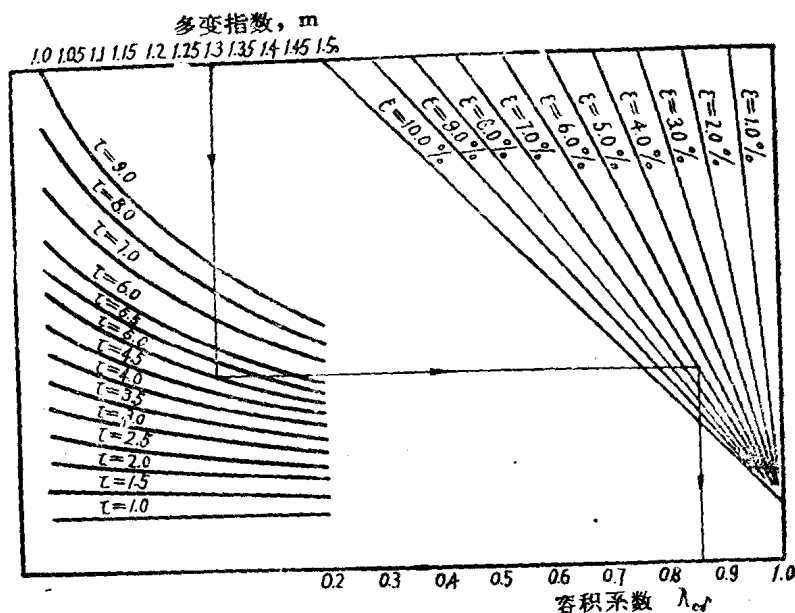
 $V_{\text{实}}$ ——压气机的实际排量, 米<sup>3</sup>/分; $V_B$ ——活塞每一次往复进入一段吸气管中气体的体积, 米<sup>3</sup>/转; $n$ ——压气机的转速, 转/分。

图 9-5 确定容积系数的计算图表

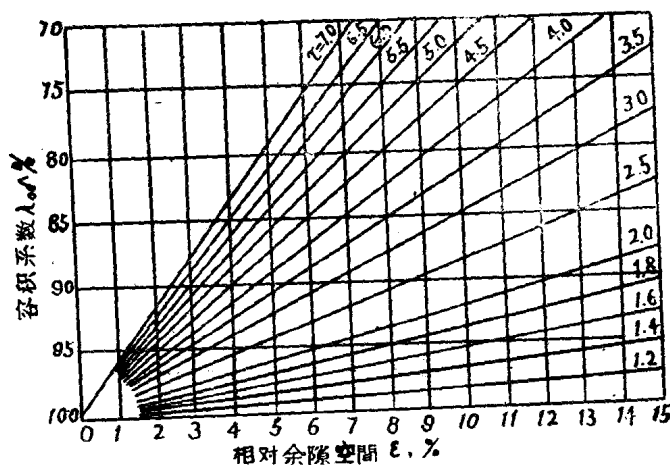


图 9-6 双原子气体的容积系数与相对余隙空间的关系

一般 $\lambda_r$ 为0.95—0.98, 制造或装配质量较差的压气机和使用已久的压气机 $\lambda_r$ 较低。

## 2. 气体吸入状态的影响

### 1) 吸入压力的影响

压气机将气体吸入气缸时的压力比大气压力略低, 这是因为气体在进入气缸时要克服滤尘器、吸气管和吸气阀及气体的惯性等阻力损失, 如图9-4所示。

这一压力损失使压气机排量降低, 其影响可用压力损失系数 $\lambda_p$ 表示

$$\lambda_p = \frac{P_1}{P_2} \quad (9-21)$$

式中  $P_1$ ——吸气过程終了时的气体压力, 公斤/厘米<sup>2</sup>;

$P_2$ ——該地区的大气压力, 公斤/厘米<sup>2</sup>。

一般常用的  $\lambda_P = 0.95 - 0.98$ 。

## 2) 吸入終了时温度的影响

吸入的新鲜气体与残余热气体及热的气缸壁接触后, 发生气体的热膨胀, 在同样压力下, 气体比容增大, 重度下降, 因而降低了重量流量, 有时可降低达10%, 但其体积排量仍保持不变。此影响以預热系数表示, 即:

$$\lambda_T = \frac{T_a}{T_1} \quad (9-22)$$

$T_a$ ——当地当时的空气绝对温度, °K;

$T_1$ ——吸气終了时气体绝对温度, °K。

一般  $\lambda_T = 0.96 - 0.98$ 。

## 3) 气体湿度影响

被吸入气体不是绝对干燥的, 湿气体的重度比干燥气的重度小, 而且必須扣除在冷却器里的冷凝水重量, 故会影响到压气机的生产能力, 降低重量排量, 这一影响以  $\lambda_\phi$  表示。

$$\lambda_\phi = \frac{r_c}{r_b} \quad (9-23)$$

式中  $r_c$ ——在吸入压力与温度下, 1 米<sup>3</sup>的湿气体的重量;

$r_b$ ——在同样压力和温度下, 1 米<sup>3</sup>的干燥气体的重量。

一般  $\lambda_\phi = 0.98$ 。

綜合考虑以上各項影响可得:

$$\lambda = \lambda_o \lambda_P \lambda_T \lambda_\phi \quad (9-24)$$

一般  $\lambda = 0.75 - 0.9$  左右。

小型压气机的  $\lambda$  值較低一些, 氢气压气机的  $\lambda$  值較高, 可达 0.9 左右。

其中, 后四种系数可以綜合成

$$\lambda' = \lambda_P \lambda_T \lambda_\phi \quad (9-25)$$

式中  $\lambda'$ ——吸气有效系数, 其值大約可按下式求得:

$$\lambda' = 0.01 - 0.029^\circ\text{C} \quad (9-26)$$

式中  $\tau$ ——压缩比。

## 二、提高排量的途径

随着生产的发展, 要求不断提高生产能力, 降低能量消耗, 因此就要挖掘潜力, 尽可能消除各种不利因素, 提高压气机排量。提高排量的方法很多, 現根据上面所述各項影响来分述如下。

在结构上余隙空間的存在是不可避免的。但余隙空間越大, 每次排气时, 残留在气缸中的气体越多, 吸入的新鲜气体就越少, 影响了压气机的排量。因此, 尽可能减小余隙空間是提高排量的方法之一。实际工作中常常从改进閥的结构以及閥与气缸的相互位置方法来减少余隙空間。

提高压气机的轉数能显著地提高排量。但是活塞式压气机轉数的提高必須要考虑振动