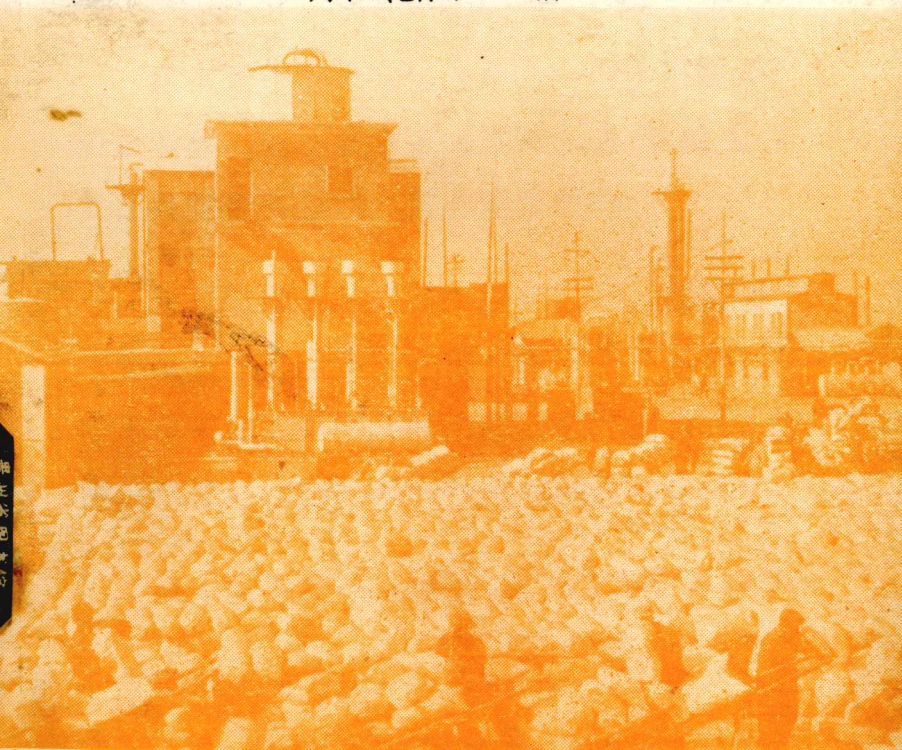


碳化法合成氨流程制碳酸氢铵

# 碳 化

丹阳化肥厂 编



燃料化学工业出版社

烟台联合成炭造粒制磷肥厂

# — 碳 化 —

— 丹阳化肥厂 — 编



燃料化学工业出版社

## 重 印 说 明

碳化法合成氨流程制碳酸氢铵的生产是在两条道路、两条路<sup>斗</sup>激烈的搏斗中产生的。它的试验成功是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利，是毛泽东思想的伟大胜利。这个流程为我国独立自主、高速度地发展化肥工业，开辟了广阔的新途径，对于贯彻落实毛主席“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针和“以农业为基础、工业为主导”的发展国民经济的总方针有着重要意义。这套书正是为了适应发展地方兴办小化肥厂的形势，于1964年组织编写的。经过尖锐的两条出版路线斗争才于1966年陆续出版。在无产阶级文化大革命期间，应各地小化肥厂的要求，重印了四次，及时地配合了小化肥厂的工人培训工作，为迅速发展地方化肥工业起了一定的作用。

革命在发展，人民在前进，经过了史无前例的无产阶级文化大革命，战斗在化肥战线上的广大工人阶级在九大“团结、胜利”旗帜指引下，高举毛泽东思想伟大红旗，活学活用毛主席著作，破除了迷信，解放了思想，开展了群众性的技术革新。在化肥生产的各个岗位上，有着不少改进。例如为充分利用当地原料资源创造的粉煤气化造气装置，是发展小化肥的重要关键；还有氨水液相催化法、改良蒽醌二磺酸钠脱硫；环丁砜—乙醇胺溶液、无毒催化脱除二氧化碳……等新技术都应补充进去，以利积极推广；但由于我们组织工作抓而不紧，本书的修改稿迄今还没完成，未能紧跟上形势的发展，深以为歉！鉴于目前急需这套书籍的单位甚多，只好把原书重印，以供参考。希读者多提意见，使本书不断提高、不断完善。

1971年4月

# 目 录

<b>第一章 碳化車間生产过程和产品概說</b> .....	1
第一节 碳化車間生产流程 .....	1
第二节 碳酸氫铵的性质 .....	3
<b>第二章 变换气的压缩</b> .....	4
第一节 往复压缩机的的工作原理 .....	5
第二节 压缩机的排气量及生产能力 .....	6
(一)排气量 .....	6
(二)生产能力 .....	8
第三节 变换气压缩机 .....	9
(一)3L-20/3.5 型压缩机的結構和作用原理 .....	11
(二)3L-20/3.5 型压缩机的主要零部件及附屬設備 .....	12
第四节 原料气气柜及安全水封 .....	19
(一)原料气气柜 .....	19
(二)安全水封 .....	21
(三)原料气气柜的操作 .....	22
第五节 压缩机的操作控制 .....	24
(一)試运转 .....	24
(二)开车、停車和倒车 .....	25
(三)正常操作管理 .....	27
(四)操作指标 .....	28
(五)不正常情况及其处理 .....	29
<b>第三章 濃氨水的制备</b> .....	35
第一节 氨的物理化学性质 .....	35
第二节 氨水制备原理 .....	37
第三节 工艺流程和設備 .....	40
(一)工艺流程 .....	40

(二)主要设备的结构 .....	41
第四节 正常操作 .....	44
(一)开车停車 .....	44
(二)正常生产的控制要点 .....	45
(三)操作指标 .....	47
(四)不正常情况及其处理 .....	48
第四章 变换气中二氧化碳的清除和 碳酸氢铵的生成 .....	49
第一节 氨水碳化过程原理 .....	49
(一)碳化过程机理 .....	49
(二)溶液和气体浓度的表示方法和计算 .....	52
(三)温度、压力及浓度对碳化过程化学平衡和 扩散平衡的影响 .....	58
(四)温度、压力及浓度对碳化过程速度的影响 .....	59
(五)结晶过程 .....	62
第二节 氨回收原理 .....	69
(一)碳化和回收清洗过程温度对氨及二氧化碳 平衡分压的影响 .....	70
(二)碳化过程压力对回收清洗过程的影响 .....	73
(三)氨水浓度及碳化度对氨及二氧化碳 平衡分压的影响 .....	73
第三节 碳化系统操作条件的选择 .....	74
(一)压力 .....	74
(二)氨水成分 .....	75
(三)变换气中的硫化氢含量 .....	76
(四)原料气成分 .....	76
第四节 碳化系统工艺流程和设备 .....	77
(一)工艺流程 .....	77
(二)主要设备 .....	80

第五节 碳化系统的操作管理 .....	90
(一)开工 .....	90
(二)停車 .....	93
(三)正常操作管理 .....	94
(四)氨平衡和水平衡 .....	105
(五)正常生产控制条件 .....	107
(六)不正常情况及其处理 .....	108
<b>第五章 悬浮液的分离</b> .....	114
第一节 离心分离的原理 .....	114
第二节 $\phi 800 \times 400$ 臥式脉动卸料离心机 .....	115
(一)规格 .....	115
(二)作用原理和结构 .....	116
(三)主要零件部件 .....	117
第三节 $\phi 800 \times 400$ 臥式脉动卸料离心机的操作 .....	127
(一)開車与停車 .....	127
(二)正常运转的控制 .....	130
(三)生产控制指标 .....	132
(四)不正常情况及其处理 .....	132

# 第一章 碳化车间生产过程 和产品概说

原料气经过变换后,除了氨合成所需的氮气和氢气之外,还含有大量二氧化碳等气体。二氧化碳等气体对合成触媒有毒害作用,所以,在进入合成系统之前必须予以清除。

在碳化法合成氨流程中,采用氨水洗滌的方法来清除二氧化碳。这时,氨水与变换气中的二氧化碳起反应生成碳酸氢铵,而碳酸氢铵便是全厂的最終产品——氮肥。因此,这一流程的优越性是,既清除了变换气中的二氧化碳,又将氨加工成固体肥料,一举两得。

碳化操作在碳化車間进行,它包括以下几个工序:变换气的压缩(压缩工序);濃氨水的制备(吸氨工序);变换气中二氧化碳的清除和碳酸氢铵的制造(碳化工序);悬浮液的分离(离心分离工序)。

## 第一节 碳化車間生产流程

图1是碳化車間生产工艺流程示意图。由变换崗位来的压力为200~400毫米水柱、温度30°C左右的变换气,經气水分离器13分离掉气体中所夹带的水分、灰尘之后,进入变换气压缩机1。在压缩机中,把气体压缩到3~3.4公斤/厘米<sup>2</sup>,温度約达到140°C左右。出压缩机的气体送入水冷却器(图中未示出)进行冷却。然后,温度降到30°C左右的变换气依次通过碳化塔2及預碳化塔3。在預碳化塔3通入濃氨水,与变换气逆流接触,初步吸收其中的二氧化碳。出塔3的液体送入碳化塔2,进一步进行碳化。在碳化过程中生成的碳酸氢

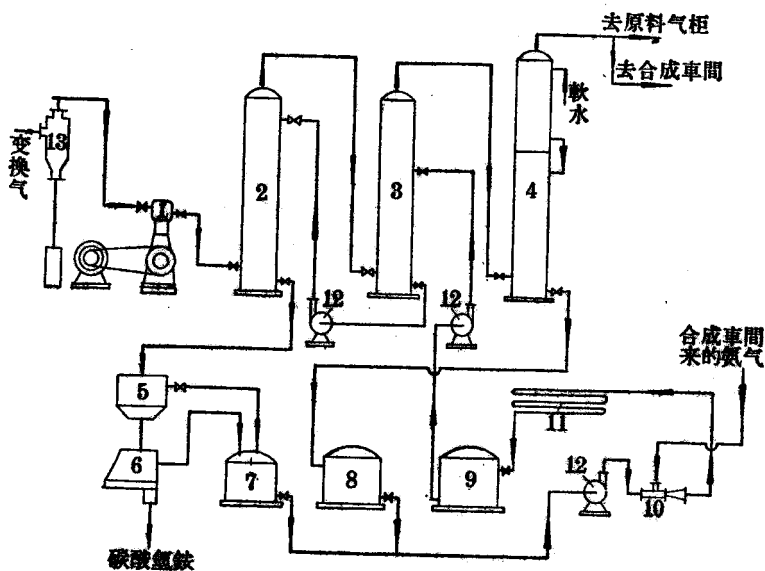


图 1 碳化車間生产工艺流程图

1—变换气压缩机；2—碳化塔；3—预碳化塔；4—氨回收清洗塔；  
5—稠厚器；6—离心机；7—母液贮槽；8—稀氨水贮槽；9—浓氨  
水贮槽；10—喷射吸收器；11—冷却排管；12—泵；13—气水  
分离器

铵固体结晶悬浮液从塔 2 下部排出。悬浮液送入稠厚器 5，停留一定时间，以使结晶继续长大。然后，送入离心机 6，使碳酸氢铵结晶与液体分离。出离心机的碳酸氢铵水分含量小于 5%，含氮量大于 17%，经过干燥或不经过干燥，作为成品包装出厂。

出离心机的液体称为母液，送入贮槽 7 贮存，供制备氨水用。

经过在碳化塔 2 及预碳化塔 3 内洗涤的变换气，其二氧



化碳含量由 27~30% 降低至 0.3% 以下，由塔 3 頂部排出，进入氨回收清洗塔 4，用水洗滌，回收气体中所含的氨，并除去未起反应的二氧化碳气体。經過洗滌回收之后，气体作为原料气送去合成車間或气柜。

回收清洗塔 4 排出的洗滌水送入貯槽 8，并与离心机分离出的母液共同送至噴射吸收器 10，供制备氨水之用。在噴射吸收器內，还通入来自合成車間的氨，与液体混合制备成氨水。氨水經過冷却排管 11 冷却后，送入氨水貯槽 9，并用泵 12 送入預碳化塔內，供洗滌变换气之用。

## 第二节 碳酸氢铵的性质

碳酸氢铵的分子式为  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ，又名重碳酸铵，是一种单斜晶系的白色結晶。分子量为 79.1；真比重 1.57；假比重 0.75；暴露于空气中容易分解，分解速度随温度升高而增加。

湿的碳酸氢铵結晶比干的結晶分解快，小粒結晶比大粒結晶分解快。干的結晶在 20°C 以下基本上是稳定的。表 1 所列為碳酸氢铵干的和湿的样品的分解率。

表 1 分解率比較表

样品名称	温度 °C	不同天数的分解率 (%)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
干燥后的成品	25~30	1.71	1.09	1.47	1.79	2.09	—	2.86	—	—	3.97
含水分 4.8% 的湿成品	25~30	11.85	23.95	37.15	47.3	59.4 (溶化)	—	79.0	—	—	93

由表中的数据可知，干燥后的碳酸氢铵成品在 10 天内只分解 3.97%；而含水 4.8% 的湿成品，在 10 天内几乎全部

分解。因此，在包装应尽可能严密，貯存必須注意干燥，成品含水量应尽量降低。

碳酸氢铵在水中的溶解度随温度的增高而增大，在不同温度下的溶解度列于表 2。

表 2 碳酸氢铵的溶解度

温 度 (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
溶解度(克/100克水)	11.9	13.6	16.0	18.3	21.0	23.7	27.0	31.0	33.2	40.2

碳酸氢铵水溶液的 pH 值为 6.25，略呈酸性 (pH 值是表示酸碱性程度的指标，pH 为 7 时表示中性，pH 值大于 7 时表示碱性，pH 值小于 7 时表示酸性)。

做为化肥用的碳酸氢铵质量标准如下：

干成品：为白色结晶，含氮量  $\geq 17.5\%$ ，含水量  $\leq 0.5\%$ 。

湿成品：为白色或灰白色结晶，一级品含氮量  $\geq 16.8\%$ ，含水量  $\leq 5\%$ ；二级品含氮量  $\geq 16.5\%$ ，含水量  $\leq 6.5\%$ 。

## 第二章 变换气的压缩

压缩工序的任务是将变换气的压力从约 200~400 毫米水柱提高到 3.0~3.4 公斤/厘米<sup>2</sup>，以便克服系统的阻力，使气体能在设备、管道内流动。

变换气的压缩和输送，采用往复式压缩机。因为压缩后的压力较低，变换气压缩机在现场又称低压机。

压缩机包括压缩机构、曲柄连杆机构、滑润系统、冷却系统。

**壓縮机构**由气缸、活塞及进气排气閥組成。活塞在气缸內作往复运动，将变换气从吸入閥吸入，压缩到 3.4 表压后，从排气閥排出。

**曲柄連杆机构**是把旋轉运动轉变成往复运动的机构，由曲軸、連杆、十字头、活塞杆及皮帶輪等部件所組成。由电动机通过皮帶和皮帶輪驅動曲軸旋轉，并通过連杆、十字头、活塞杆的作用而使活塞在气缸內作往复运动。

**潤滑系統**的作用是用潤滑油減輕摩擦部件的磨損和摩擦功消耗，同时兼有冷却运动部件防止过热的作用。

**冷却系統**的作用是用水冷却气缸以及压缩后的气体（因为气体在压缩时产生热量）。

## 第一节 往复压缩机的的工作原理

往复压缩机又称活塞压缩机，依靠活塞在气缸內作往复运动来輸送气体。一个压缩循环分为三步：吸入；压缩；排出。图 2 所示为单动式压缩机的工作原理图。

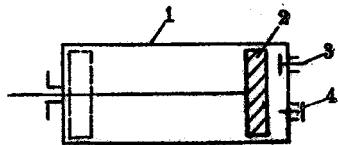


图 2 单动式压缩机气缸筒图

1—气缸； 2—活塞； 3—吸气閥；  
4—排气閥

**一、吸入** 活塞 2 向左移动时，气缸 1 內的空間增大，压力下降。当气缸內压力降到稍小于吸入气体压力时，吸气閥 3 被頂开，气体被吸入气缸內，直到活塞移到左边的末端（又称为下死点）为止。在这个过程中，气缸內气体逐渐增多，而压力保持不变。

**二、压缩** 当活塞調轉方向，向右移动时，气缸內空間开始縮小，气体压力逐渐上升，因吸气閥有止逆作用，气体

不能送出。当活塞继续向右移动时，气缸内气体体积继续缩小，压力继续增加。

三、排出 当活塞再向右移动，被压缩的气体的压力增大到稍高于出口管中的压力时，气缸内的气体便顶开排气阀 4 而排出，并继续压出到活塞移至右边的末端(为上死点)为止。然后，活塞又开始向下移动，重复上述动作。

活塞每来回一次称为一个循环，每来或每回一次，活塞所经之距离叫做行程。活塞来回一次只完成一次吸气过程的压缩机，便称为单动式压缩机。

在压缩岗位使用的气体压缩机是双吸式(双动式)，即在

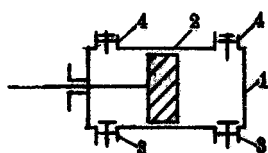


图 3 双吸式压缩机气缸简图

1—气缸；2—活塞；3—吸气阀；4—排气阀

气缸两端都装有吸排气活门(见图 3)。活塞向左移动时，右端处于吸气过程，左端处于压缩排气过程；活塞向右移动时，左端处于吸气过程，右端处于压缩排气过程。由此可见，双动式压缩机气缸的活塞来回一次完成两次吸气过程。

## 第二节 压缩机的排气量及生产能力

### (一)排 气 量

压缩机的排气量是指排气口上单位时间内所排出的气体体积，按吸收状态计算。复动式压缩机的理论排气量可用下公式计算：

$$V_{理} = (2F - f) S \cdot n \cdot i \quad [米^3/分] \quad (1)$$

式中  $V_{理}$ ——理论排气量， $米^3/分$ ；

F —— 气缸內截面积，米<sup>2</sup>；

f —— 活塞杆截面积，米<sup>2</sup>；

n —— 压缩机轉速，轉/分；

S —— 活塞行程，米；

i —— 同一級的气缸数。

$$\text{由于} \quad F = \frac{\pi}{4} D^2; \quad f = \frac{\pi}{4} d^2$$

式中 D —— 气缸直徑，米；

d —— 活塞杆直徑，米。

对于双缸压缩机  $i = 2$

代入式(1)，得

$$V_{\text{理}} = \left( 2 \frac{\pi}{4} D^2 - \frac{\pi}{4} d^2 \right) S n \times 2 = \frac{\pi}{2} (2D^2 - d^2) S n \quad (2)$$

但是，由于气缸存在所謂余隙<sup>①</sup>，使得实际吸入的气体体积比活塞行程終了所扫过的容积为小；填料函、活塞环及閥的不严密处有一定的漏泄；吸气閥門有一定的阻力；气缸的温度高于气体的吸入温度，使气体的体积膨胀，相对地减小了气缸的有效容积；等等；这些因素使得压缩机的实际排气量  $V_{\text{实}}$  比理論排气量  $V_{\text{理}}$  为小，即：

$$V_{\text{实}} = V_{\text{理}} \times \lambda \quad [\text{米}^3/\text{分}] \text{ 或 } [\text{米}^3/\text{小时}] \quad (3)$$

式中  $\lambda$  —— 排气系数，用以計入上述因素的影响。 $\lambda$  值一般取为 0.75~0.9。

将式(2)代入式(3)，得

$$V_{\text{实}} = \frac{\pi}{2} (2D^2 - d^2) S n \lambda \quad [\text{米}^3/\text{分}] \text{ 或 } [\text{米}^3/\text{小时}] \quad (4)$$

① 活塞在行程終点时与缸盖間的間隙、閥座下的空間以及其他死角，合称为余隙。

## (二) 生产能力

上面所述的压缩机的排气量是一个表示压缩机本身特性的量，只和压缩机的尺寸、转速、结构有关。

从物质方面表示压缩机所输送的气体数量的量称为生产能力，这个量以单位时间所排出的干气体的体积表示，并且以标准状况（760 毫米汞柱的压力和 0°C 温度）为基准。生产能力除与排气量有关之外，还与气体的初始压力、温度以及水分含量（即气体中的水蒸气分压）有关。因此，生产能力  $Q_0$  等于：

$$Q_0 = V_{\text{实}} \times \frac{273}{(273 + t_{\text{进}})} \times \frac{P_{\text{大气}} + P_{\text{进}} - P_{\text{水汽}}}{760}$$

[米<sup>3</sup>变换气/小时] (5)

式中  $V_{\text{实}}$ ——压缩机的排气量，米<sup>3</sup>/小时；

$t_{\text{进}}$ ——变换气进压缩机时的温度，°C；

$P_{\text{大气}}$ ——工厂所在地区的大气压力，毫米汞柱；

$P_{\text{进}}$ ——变换气进压缩机时的压力，毫米汞柱

（一般为 30 毫米汞柱）；

$P_{\text{水汽}}$ ——变换气中水蒸气分压；随温度而变；  
毫米水银柱。

每台压缩机折算成碳酸氢铵的生产能力  $Q$  等于：

$$Q = \frac{Q_0}{V_{\text{变}}} = \frac{V_{\text{实}}}{V_{\text{变}}} \times \frac{273}{(273 + t_{\text{进}})} \times \frac{(P_{\text{大气}} + P_{\text{进}} - P_{\text{水汽}})}{760}$$

[吨碳酸氢铵/小时·台] (6)

式中  $V_{\text{变}}$ ——生产每吨碳酸氢铵需要的变换气消耗定额，

标准米<sup>3</sup>/吨碳酸氢铵,通常  $v_{理} = 1000$  标准米<sup>3</sup>/吨碳酸氢铵。

例 1. 计算 3L-20/3.5 型压缩机的排气量:

气缸直径  $D = 300$  毫米 = 0.3 米;

活塞杆直径  $d = 35$  毫米 = 0.035 米;

活塞行程  $S = 200$  毫米 = 0.2 米;

压缩机转速  $n = 500$  转/分;

气缸个数  $i = 2$  个;

取排气系数  $\lambda$  等于 0.75。

根据式(4), 实际排气量为:

$$\begin{aligned} V_{实} &= \frac{\pi}{2} (2D^2 - d^2) S \cdot n \cdot \lambda \\ &= \frac{\pi}{2} (2 \times 0.3^2 - 0.035^2) \times 0.2 \times 500 \times 0.75 \\ &= 28 \times 0.75 = 21 \text{米}^3/\text{分} = 1200 \text{米}^3/\text{小时} \end{aligned}$$

例 2. 某工厂所在地大气压力为 750 毫米汞柱, 变换气进气缸温度为 32°C, 试求在该条件下 3L-20/3.5 型压缩机的生产能力为多少?

由题意可知:  $t_{器} = 32^\circ\text{C}$ ,  $P_{大气} = 750$  毫米汞柱; 由一般水蒸汽分压表上查得, 在 32°C 时,  $P_{水汽} = 35.35$  毫米汞柱。  $P_{总} = 30$  毫米汞柱。

3L-20/3.5 型压缩机吸气量  $V = 1200 \text{米}^3/\text{小时}$

根据式(6),

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1200}{1000} \times \frac{273}{(273+32)} \times \frac{(750+30-35.35)}{760} \\ &= 1.05 \text{吨碳酸氢铵/小时} \cdot \text{台} \\ 1.05 \times 24 &= 25.20 \text{吨碳酸氢铵/日} \cdot \text{台} \end{aligned}$$

### 第三节 变换气压缩机

常用的变换气压缩机有 1-15/3 型立式压缩机和 3L-20/3.5 型 L 型压缩机两种, 而应用较广泛的是 3L-20/3.5 型的。两种压缩机的主要规格列于表 3。

L型壓縮机的两个气缸排列成 $90^\circ$ 直角，类似拉丁字母L的形状。这样的布置，能使活塞往复运动所产生的慣性力在很大程度上被平衡，故基础要比立式的压缩机为小。另外，两气缸间的距离较远，这样就有足够的空间来布置气阀（即活門）；看管也较方便。

下面主要介绍3L-20/3.5型压缩机。

表3 低压压缩机的主要规格

	型 号		1-15/3	3L-20/3.5
	型	式	立 式	L 型
压 缩 机	压缩级数		1	1
	排气量，米 <sup>3</sup> /分		15	20
	最终压力，公斤/厘米 <sup>2</sup>		3	3.5
	气缸直径，毫米		290	300
	活塞行程，毫米		170	200
	轴转速，转/分		480	500
	轴功率，千瓦		70	80
	冷却水消耗量，米 <sup>3</sup> /时		*5	12
	润滑油消耗量，克/时		50	95
	机器净重，公斤		3100	2800
机器外形尺寸 (毫米)		长	1550	1850
		宽	1670	900
		高	1865	1800
电	型 号		JO型6极	JO型6极
	型 式		繞綫型电机	繞綫型电机
机	功率，千瓦		70	100
	转速，转/分		980	980
	电压，伏		220/380	220/380

\* 进出口水温 $10^\circ\text{C}$ 。



### (一) 3L-20/3.5 型压缩机的结构和作用原理

3L-20/3.5 型压缩机的结构如图 4 所示。在 3L-20/3.5 压缩机的机身 1 的垂直方向和水平方向的中间接座 5 上，分别装有立缸 9 和卧缸 12。气缸内的活塞 10 通过活塞杆与十字头连接。曲轴 2 由电机通过皮带轮带动旋转。借助于联在曲轴 2 上的连杆 3 和连杆另一端的十字头 4 的作用，把曲轴

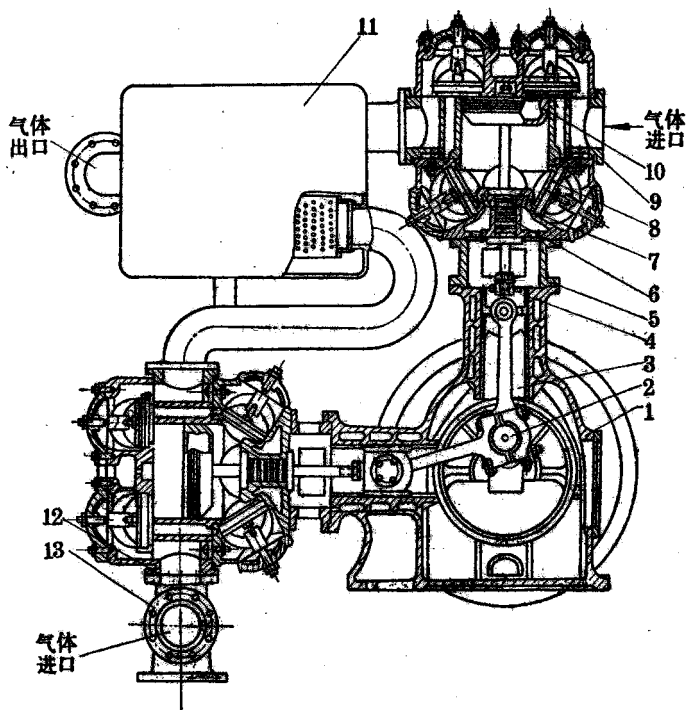


图 4 3L-20/3.5 型压缩机结构

- 1—机身；2—曲轴；3—连杆；4—十字头；5—中间接座；6—排气阀；7—填料函；8—进气阀；9—立缸；10—活塞；11—冷却器；12—卧缸；13—卧缸支座