

内容提要 本书以实践为基础，对可控气氛热处理自动线的主要设备及操作方法做了综合介绍。

全书包括六个部分：一、自动线的主要结构；二、吸热式可控气氛发生器；三、自动线的主要特点；四、工艺参数的选择与制定；五、气体碳位自动控制与炉气分析；六、技术经济效果；此外，还有附录。

本书可供热处理工人和技术人员参考。

可控气氛热处理自动线

沈阳风动工具厂 编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $3 \frac{1}{8}$ · 字数 65 千字
1977 年 3 月北京第一版·1977 年 3 月北京第一次印刷

印数 00,001—20,000 · 定价 0.24 元

*

统一书号，15033·4406

出 版 说 明

在毛主席无产阶级革命路线指引下，机械工业技术革新和技术改造的群众运动蓬勃开展，先进经验层出不穷。为及时总结推广这些先进经验，我们组织编写了“机械工业技术革新技术改造选编”。

“机械工业技术革新技术改造选编”将陆续出版，内容包括：铸、锻、焊、热处理、机械加工、电工、仪器仪表、改善劳动条件、三废处理等方面，每本讲一个专题，内容少而精，便于机械工业的广大工人和技术人员阅读参考。

在组织编写过程中，得到有关领导部门和编写单位的大力支持，对此我们表示感谢。欢迎广大读者对这些书多提宝贵意见。

前 言

在毛主席无产阶级革命路线的光辉照耀下，我厂广大热处理工人和技术人员，高举“鞍钢宪法”的伟大旗帜，坚持“独立自主、自力更生”的方针，在生产斗争中，经过反复实践，在较短时间内建成了一条可控气氛热处理自动线，进一步提高了产品质量、生产效率，降低了成本，改善了劳动条件。

为了总结推广可控气氛热处理方面的新装备、新技术，在沈阳市机电工业局的领导和组织下，我们编写了《可控气氛热处理自动线》这本书。

本书重点介绍了可控气氛热处理自动线的主要结构、设备的设计制造、操作方法及碳势的测定与控制等。

由于水平有限，加之时间仓促，错误之处请广大读者批评指正。

编 者

一九七五年九月

目 录

前 言

一、自动线的主要结构	1
二、吸热式可控气氛发生器	5
(一) 吸热式气氛的制备原理	7
(二) 吸热式气氛的制备流程	10
(三) 原料气的减压汽化装置	12
(四) 发生器的主要附件	22
三、自动线的主要特点	39
(一) 可控气氛加热炉	39
(二) 淬火机构	51
(三) 清洗机	53
四、工艺参数的选择与制定	55
(一) 原料气和渗碳气的要求和选择	55
(二) 催化剂的使用规范	59
(三) 空气和原料气的混合比	64
(四) 影响产气质量的因素	65
(五) 各区加热温度的确定	67
(六) 换气次数与排气比	68
(七) 渗碳质量的控制及测定	69
(八) 可控气氛渗碳加热炉的使用	70
五、气体碳位自动控制与炉气分析	72
(一) 可控气氛碳势的测量与自动调节	72
(二) 气氛的色谱分析	76
(三) 气氛的奥氏分析法	80
(四) 露点杯	81

一、自动线的主要结构

可控气氛热处理自动线主要由吸热式气体发生器、渗碳加热炉、淬火机构、清洗机及回火炉等五部分组成。它将进料——加热——渗碳——淬火——回火——出料等工序，组成一条“口”字形封闭热处理自动线，使热处理过程全部实现自动连续操作（见图1）。

应用该自动线可完成渗碳、碳氮共渗、淬火、正火、退火、回火等多种热处理工序。

该自动线的外貌和技术规范见图2及表1。

可控气氛渗碳加热炉为该线的主要组成部分之一，其加热总功率为405千瓦，炉内分四个加热区：第一区为加热区（分两个加热段），它将零件加热至工艺要求温度；第二区为渗碳（或碳氮共渗）区，零件在浓度、成分可以调节和控制的气氛内进行渗碳（或碳氮共渗）；第三区为扩散区，使零件表层在吸收活性原子后，向内部扩散；第四区为预冷淬火区，将零件预冷至工艺要求温度，然后进入密封淬火罩内进行冷却，最后再进行清洗及回火，从而完成零件热处理的全过程。

渗碳加热炉炉内无渗碳罐，炉体由含铁量小于1%的抗渗碳砖砌成，各区之间以拱门隔开。

加热元件选用Cr20Ni80电阻板（其主要技术规格见表2，并使用10台变压器进行低压供电。电阻板表面涂有防渗碳釉，进行表面保护。

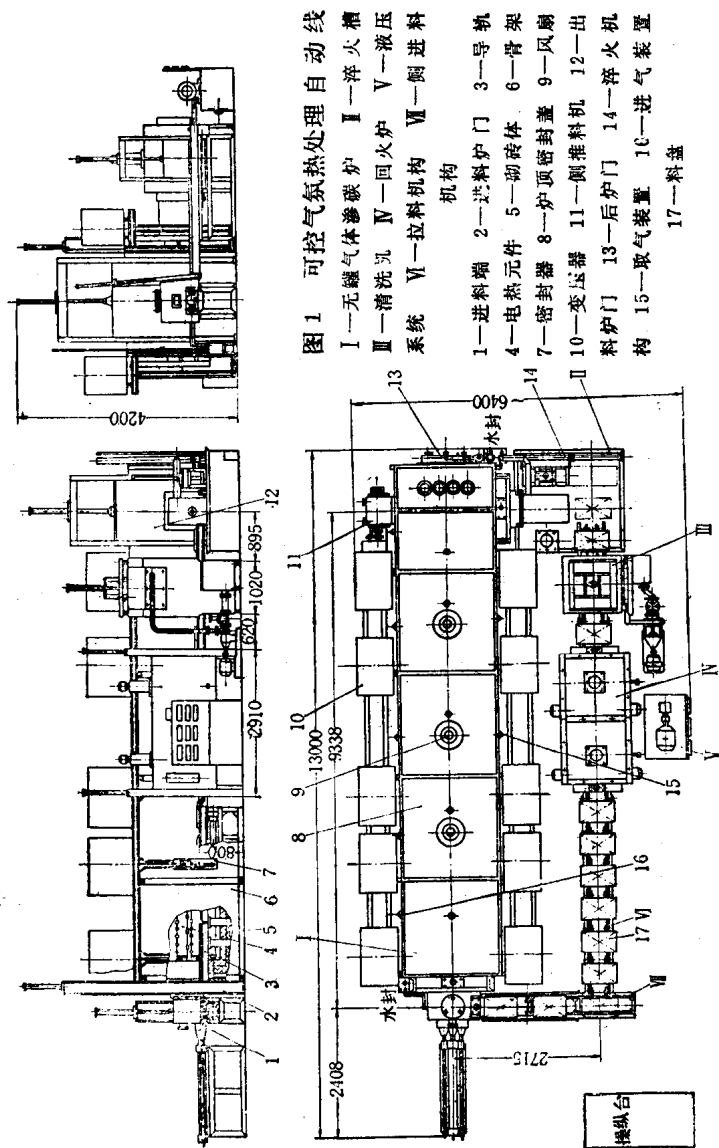


表 1 可控气氛热处理自动线主要技术规范

外形尺寸	长12.6米, 宽4.5米, 高3.5米
占地面积	60米 ²
总重量	60吨
总功率	470千瓦
生产能力	300~450公斤/时
炉膛尺寸	8880×1090×1140毫米
回火炉	2470×690×450毫米
渗碳炉炉膛容积	10米 ³
最大装载高度	400毫米
推料料盘排数	单排
加热区段	五个区段
最高工作温度	960°C
渗碳气体消耗量	保护气: 30~35米 ³ /时 液化石油气: 0.3~1.2米 ³ /时
渗碳炉炉气压力	5~8毫米汞柱
炉气循环方式	顶部风扇
渗碳炉供气方位	一侧单点供气
料盘规格	650×405×50毫米
料盘数量	共40盘(渗碳炉20盘, 回火炉6盘)
淬火槽容积	6米 ³

炉内气氛采用吸热式可控气氛做为保护气或载气, 丙烷做为富化气进行可控制表面含碳量的气体渗碳, 进行碳氮共渗时再通入氮气。渗碳加热炉采用单侧供气, 在炉子各区的一侧设有进气孔, 可控制地通入保护气和富化气。为使炉内气氛和温度分布均匀, 在加热区、渗碳区及扩散区的顶部均设有循环风扇。炉内废气则经前后两个水封逸气装置排除。

为确保生产安全, 避免可燃性气体爆炸及一氧化碳中毒, 炉子前后均设有防爆盖, 并在废气排出孔及侧进料炉门处设置点火嘴。

自动线淬火机构由淬火升降台、油封淬火罩，油冷却循环装置，搅拌风扇等组成。零件经淬火后，由拉料机构拉入清洗机及回火炉内，最后回复到原进料起点，完成一次周期循环。



图2 可控气氛热处理自动线外貌

表2 电热元件技术参数

项 目 \ 区 段	I	II	III	IV	V
展开长度(毫米)	4750	2330	4320	2530	2330
节 数	23	12	22	13	12
负载功率(千瓦)	1.46	1.2	0.85	1.1	1.2
成型长度(毫米)	1484	1005	2175	1365	900
材 料	Cr20Ni80	Cr20Ni80	Cr20Ni80	Cr20Ni80	Cr20Ni80
节距(毫米)	65	85	100	105	75

这条热处理自动线的运转，除渗碳加热炉的出料机构是机械化传动外，其余均由液压传动完成。自动线的整个操作，都由机械化和自动化来实现。自动线的22个程序动作，由步进选线器进行集中控制，自动运行（在设备调整时，亦可用

手动操作)。图 3 为自动线流程图。

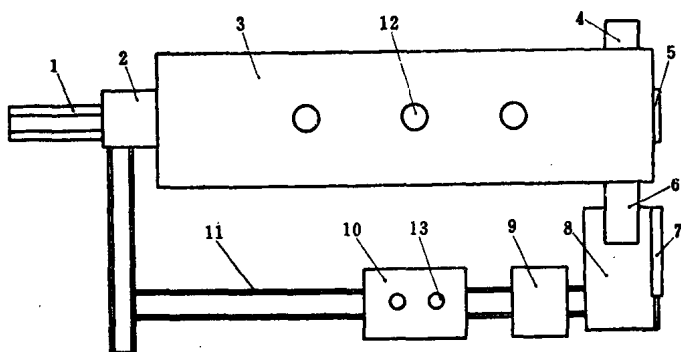


图 3 可控气氛热处理自动线流程

- 1—进料推杆 2—前室 3—大炉体 4—侧推料机构 5—后炉门
6—油封罩 7—淬火机构 8—淬火油槽 9—清洗缸 10—回火炉
11—拉料机构 12—大炉风扇 13—回火炉风扇

二、吸热式可控气氛发生器

可控气氛热处理就是在热处理加热炉中充入某种或某几种气体，把空气赶走防止零件在加热过程中的氧化、脱碳，并控制其表层含碳量，加速化学热处理过程，提高热处理质量的一项新技术。

可控气氛的种类很多。供热处理使用的主要有吸热式气氛、放热式气氛及分解氨气氛。

吸热式气氛是一种用天然气（主要是甲烷）或石油液化气（主要是丙烷和丁烷）等气体和空气混合进行吸热式反应所产生的，以 CO 、 H_2 、 N_2 三种气体为主要成分的露点可以控制的气氛，其中还有少量的甲烷和微量可调的二氧化碳和水蒸气。

我厂生产的吸热式气氛的成分如下:

露点 (-1°C) $\sim$ (-5°C)

CO 21~23%

H_2 31~33%

N_2 44~48%

CH_4 0.4%

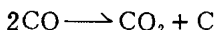
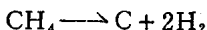
CO_2 <0.4%

吸热式气氛是一种很重要的保护气氛。由于它制备简单,容易控制,原料气资源丰富,适合我国情况,所以很有发展前途。又因为它能控制碳势,所以应用范围较广。它可作为中碳钢、低碳钢渗碳、碳氮共渗等化学热处理的稀释气;可用于低碳钢的钎焊、烧结和穿透渗碳;中、低碳钢短时加热的光洁淬火;还可用于钨钢、钼钢、高速钢的光洁淬火。如果经水蒸气处理和分子筛过滤的再处理以后,还可以用于低碳钢的表面氧化物还原及不锈钢、硅钢的光亮退火。

使用吸热式气氛进行热处理应该具备如下条件:

1. 工作炉应具有良好的密封性和封闭冷却装置,以保证零件在加热、淬火过程中不与空气接触,从而达到保护加热和淬火的目的。

2. 在 $482\sim 704^{\circ}\text{C}$ 温度范围内,吸热式气氛中会发生如下反应:



而生成碳黑,造成不良效果。并且吸热式气氛在 500°C 左右和空气混合会发生爆炸现象,所以使用吸热式气氛进行热处理时,工作炉的温度应该在 760°C 以上才能通入保护气。

吸热式气氛是用吸热式可控气氛发生器制备的。图4是

我厂自制的吸热式可控气氛发生器。发生器的结构与井式电炉相似。为了便于拆装检修，炉体采用前后对半型式。反应管用 CrMnN 耐热钢铸造成型，两管并列，交替使用。反应管尺寸：内径 204 毫米，长 1920 毫米。管内装有镍催化剂。用直径为 5 毫米的 Cr25Al5 电阻丝加热。电压 380 伏功率 75 千瓦，工作温度 950°C ，产气量 $35 \text{ m}^3/\text{时}$ 。制备气体出反应管后立即在水冷却器中进行冷却，水冷却器冷却面积为 500 厘米^2 采用露点仪实现碳势自动控制。



图 4 吸热式可控气氛发生器

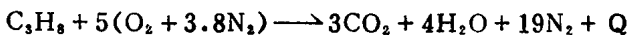
(一) 吸热式气氛的制备原理

液化石油气、天然气、城市煤气、甲醇、乙醇等很多碳氢化合物都可以制备吸热式气氛。人们通常把液化石油气等称为原料气。我厂是采用液化石油气作为原料气的。液化石油气的主要成分是丙烷，分子式为 C_3H_8 ，其中含有少量的丁烷和烯烃。

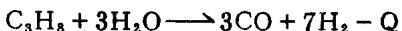
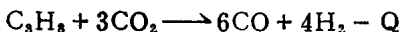
1. 吸热式气氛的化学反应

将丙烷和空气以 1:7.2 的比例混合，通过高温 ($950 \sim 1100^{\circ}\text{C}$) 的装有镍催化剂的反应管，在反应管内开始复杂的反应，其中有热裂反应，燃烧反应及产物间的互相反应等，但是总的反应可简化成两步：

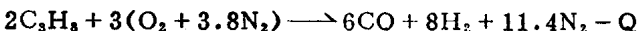
第一步，丙烷和空气的燃烧反应



第二步，过剩的丙烷和燃烧产物的反应



把两步反应总和起来



第一步反应是放热反应，第二步反应是吸热反应。第一步反应所放出的热量不足以进行第二步的吸热反应。所以总的反应是吸热的，必须由外界供热反应才能进行，吸热式气氛亦由此而得名。

从总的反应式上可以算出原料气和空气的混合比：

$$\text{丙烷:空气} = 2:3 \times (1 + 3.8) = 1:7.2$$

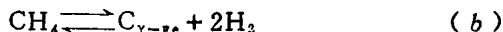
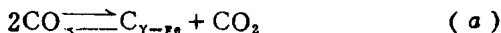
也可以算出生成物和反应物的体积比：

$$\frac{\text{生成物体积}}{\text{反应物体积}} = \frac{6 + 8 + 11.4}{3 \times (1 + 3.8) + 2} = 1.55$$

如果在丙烷和空气的混合气中增加丙烷的含量，则在反应产物中，CO 和丙烷的热裂产物 CH_4 就随之增加， CO_2 的含量就随之减少，反应气的碳势就随之提高。反之，反应气的碳势就随之降低。靠控制气氛的碳势就能得到我们所需要的吸热式气氛。

2. 吸热式气氛的可控性

吸热式气氛的碳势决定于以下两个化学反应：



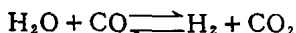
根据化学平衡理论得知，碳的浓度和 CO 、 CO_2 、 CH_4 、 H_2 的浓度有关系。

$$[C] = k_a \frac{[CO]^2}{[CO_2]} \quad k_a \text{ 是 (a) 式的化学平衡常数;}$$

$$[C] = k_b \frac{[CH_4]}{[H_2]^2} \quad k_b \text{ 是 (b) 式的化学平衡常数。}$$

这也就是说，在不同的温度下，(a)、(b) 两个反应有着不同的化学平衡常数，对应于一定的温度，化学平衡常数是一定的，不变的，所以在一定的温度下，气氛的碳势就决定于 CO 、 CO_2 、 CH_4 、 H_2 的浓度。对于吸热式气氛来说， CO 和 H_2 浓度是一定的，而 CO_2 和 CH_4 是可调节的。如果降低 CO_2 的浓度，碳势就随之增高，反之，碳势则降低。同样，如果增加 CH_4 的浓度，碳势就随之增高，反之，碳势则降低。换一句话说，如果混合气中原料气的含量多一些，或者说空气的含量少一些，则吸热反应（即第二步反应）进行得就完全一些，使第一步放热反应的产物—— CO_2 和 H_2O 少些， CH_4 多些，气氛的碳势也就高些。反之，如果混合气中原料气的含量少一些，或者说空气的含量多一些，那么第一步放热反应的产物—— CO_2 和 H_2O 则不能完全参加第二步吸热反应， CO_2 和 H_2O 就多一些， CH_4 就少一些，气氛的碳势就低一些。

在吸热式气氛中还存在着如下的可逆反应：



这个反应在一定的温度下也有一定的不变的平衡常数 $k = \frac{[H_2O] \cdot [CO]}{[H_2] \cdot [CO_2]}$ 。对于吸热式气氛来说， $[CO_2]$ 和 $[H_2]$ 是一定的，那么我们如果知道了 H_2O 的浓度，也就可以知道 CO_2 的浓度，也就可以找到 H_2O 的浓度和碳势的关系。利用这个关系就可以实现碳势的自动控制。

(二) 吸热式气氛的制备流程

我厂吸热式气氛的制备流程如图 5 所示。为了便于说明，我们可以把全部流程分为四个部分：汽化系统，反应系统，碳势控制系统及供气系统。

首先，原料气进行汽化。我厂使用的原料气是液化石油气，因为目前使用的液化石油气纯度不高，所以如果直接从烃罐中取气相使用，就会出现开始是丙烷气，后来是丁烷气的现象，造成前后原料气成分不均的后果，给生产增加麻烦。为了克服这种不良现象，采取使用液相，由外界加热使之汽化的方法。

使用液相时的流程如下：

液相的石油气由烃罐的液相口出来，经截止阀到减压阀，由减压阀出来压力降到 $1\sim 2$ 公斤/厘米²，再经过流量计、单向阀进入汽化室，汽化后的气体经汽液分离器、电磁阀到反应系统，这时它的压力应在 $1\sim 3$ 公斤/厘米²，低于 0.7 公斤/厘米² 是不好的。汽液分离器使气体得以缓冲，并使未能汽化的液珠得以集聚，而分离出来。

如果液化石油气的成分比较纯净，丙烷含量高，可以直接使用气相。气体不经过汽化器和汽液分离器，只经过电磁阀到反应系统。

由汽化系统过来的原料气，经过过滤器过滤机械杂质和再一次过滤残液（残液进入反应会造成成分不稳、压力不稳的不良现象），再经过减压阀减压至 $400\sim 500$ 毫米水柱。然后在罗茨泵的吸引下，通过流量计、零压调节阀进入比例混合器。

同时空气也在罗茨泵的吸引下，通过空气过滤器、流量

计到恒湿器。

在零压调节阀的调节下，原料气模拟着由恒湿器出来的空气的压力变化和空气等压地进入比例混合器，按比例混合以后，在罗茨泵的作用下，经过单向阀，灭火器，进入反应管。在反应管中充分反应后，通过冷却器，迅速降温到 300°C 以下，压力在350毫米水柱左右。

由反应系统出来的气体就是吸热式气体。它有一小部分经过过滤器滤出炭黑，进入碳势控制仪，通过调节二次空气进行碳势自动控制。绝大部分吸热式气体通过供气系统分配，进

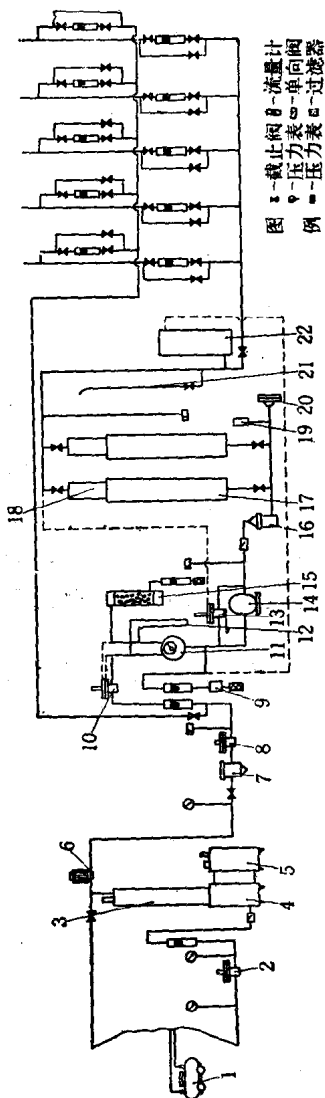


图 5 吸热式气氛制备流程

- 1—液化烃罐 2、8—减压阀 3—汽液分离器 4—汽化器 5—热水发生器 6—电磁开关 7—过滤器 9—电
动调节阀 10—零压阀 11—比例混合器 12—压差计 13—旁通调节阀 14—罗茨泵 15—恒温器 16—灭
火器 17—反应罐 18—冷却器 19—压力继电器 20—防爆膜 21—放散管 22—碳势自动控制仪

入工作炉。供气系统由流量计和一些为了调节流量和便于拆换流量计而设置的截止阀所组成。作用就是为了分配保护气和富化气。

在反应管的下端还有一个压力继电器和防爆头。汽化系统中的电磁阀是压力继电器的一个执行机构。当反应管中压力增高或发生回火时，压力继电器立即可以关闭电磁阀和罗茨泵，停止供气。与此同时被单向阀堵住的高压气流冲破防爆头的薄膜，压力迅速降低，发生器则得到保护。

在冷却器的出口管路上还有放散管，当工作炉用气量暂时变化时，打开放散管，放掉一部分保护气，可使发生器不致为此而停止工作。

目前，国内外吸热式气氛的制备流程虽然多种多样，然而也都大同小异。整个流程看起来好象比较长，其实还是比较简单的，主要解决三个问题：一、保证原料气和空气的混合比；二、保证反应完全；三、保证安全生产。

(三) 原料气的减压汽化装置

原料气的减压汽化装置就是上节讲的汽化系统。它由三部分组成：液态烃罐，汽化器，减压阀。

1. 液态烃罐

液态烃罐是用来贮存运输液化石油气的容器。由于丙烷在常温下压力较高，且易燃易爆，所以液态烃罐需要有一定的安全装置和技术要求，以保证贮存运输和使用的安全。

我厂自制的液态烃罐可装 1.5~1.7 吨丙烷。罐本身自重 1.9 吨，容积 3.3 米³，水压试验压力 32 公斤/厘米²，安全阀的动作压力 21 公斤/厘米²。其结构如图 6 和图 7 所示。

选择和设计液态烃罐要根据本厂的具体条件，如对丙烷

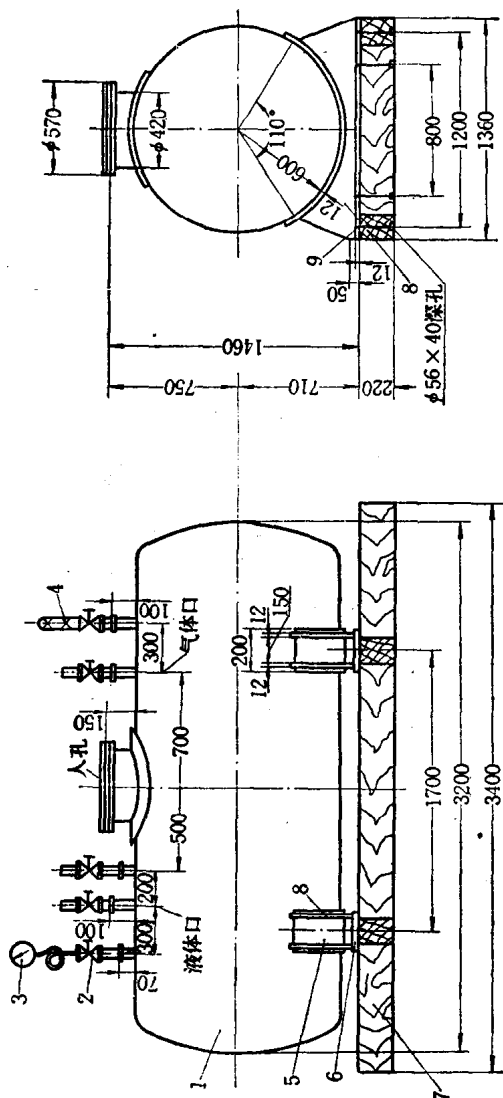


图6 液态烃罐外形

1—罐体 2—截止阀 3—钢管弹簧压力表 4—全启弹簧安全阀 5—垫板 6—钢板
7—枕木 8—托板 9—螺钉