

压气站简介

一、压气站的主要工艺流程

1. 离心式压缩机站工艺流程

压气站的流程由输气工艺、机组控制和辅助系统三部分组成。输气工艺部分除净化、计量、增压、等主要过程外，还包括越站旁通、清管器收发、安全放空和管路紧急截断等设施。机组控制部分有启动、超压保护、防喘振循环管路等。辅助系统还包括燃料气供给、自动控制冷却、润滑等系统。

2. 活塞式压缩机站的工艺流程

活塞式压缩机站的工艺流程，从总体上讲与离心式压缩机站并无太大的区别，但由于活塞式压缩机自身的特点，机组之间不能串联运行，只能采用并联运行。这样的压气站多数用于输气量较小、压力较高的场合。

3. 调压计量站的工艺流程

调压计量站的作用是调节天然气输送压力和测量天然气的流量。其主要设备有压力调节阀、计量装置、气体除尘器等。如果在压力调节过程中，因压力下降过多造成降温过大而冻结，则需要在调压前设加热装置给气体加热。

调压计量站主要设在气体分输处和输气管的末站。不需要加压的起点输气站也是一个调压计量站。来自净化厂的天然气，经除尘、调压、计量后输往干线。

4. 截断阀室工艺流程

二、压气站的主要设备和工艺系统

在压气站，除了压缩机作为主要的动力设备之外，一般在压气站还包括气体净化工艺系统、压缩机驱动装置、冷却系统、天然气计量和调压系统等，下面将介绍这些主要的设备与工艺系统。

1. 压缩机组的类型及特性

驱动压缩机的动力机可以用电动机、蒸汽轮机、燃气轮机、柴油机和天然气发动机等。天然气输送管内所输送的介质本身就是一种十分优越的动力燃料，使得燃气轮机和天然气发动机在天然气压气站的使用上占有绝对的优势。压气站驱动装置的类型及其装机功率取决于输气管道的通过能力和压气站的压力比。用于压气站的离心式输气机组按驱动装置的类型主要分为三类：燃气轮机输气机组、电动机输气机组、燃气发动机输气机组。

燃气轮机输气机组的优点：单位质量上的单位功率高，可以通过改变燃气轮机动力涡轮转速的办法来调节天然气流量，可以利用所输的天然气作为燃料，水和润滑油的耗量较少，可直接传动，有进一步提高燃气轮机主要指标的实际可能

性。其缺点是：效率较低，从而使用于输气的燃料气耗量过多；噪声大，特别在燃气轮机空气进气室附近。

电动机输气机组的优点：保持生态环境干净，操作简单，维护工作量小。其缺点是：必须输入电能，不能通过改变动力轴的转速来调节天然气流量。

活塞式燃气发动机输气机组的优点：允许的压力比变化范围大、机组的效率比较高。其缺点是：结构复杂、金属耗量大，润滑油和冷却水耗量较高，必须有很厚的基础。

对用于输气管道上的任何一类输气机组应满足下列基本要求：在较大的范围内改变压力比的可能性（特别是在首站压气站）、机组的工作可靠性、最大程度的独立性、较高的经济性、符合环境生态要求。燃气轮机输气机组符合这些条件，因此在输气管道上获得了最广泛的应用。

2. 压气站天然气冷却系统

从离心式压缩机出来的天然气温度可能达到 40-60℃，甚至超过 60℃，如果没有空冷器，天然气以这样的温度被输入输气管道。虽然在两压气站之间的输气管段中，天然气的温度会有一定的降低，但到达下一压气站进口时，其温度会高于上一站进口的温度。随着输气距离的增加，其温度将连续不断的升高，而这将增加输气的功率消耗，在许多情况下，还将导致管道稳定性的丧失、破坏绝缘层、降低输气管道的通过能力等。如果输气管道通过永久冻土地带，管道中天然气的温度很高，会使土壤融化，使管道丧失稳定性。所有这一切都说明，天然气在压气站上经压缩后，在将其输入输气管道之前，必须对其冷却。

压气站最普遍采用的是空冷器冷却天然气。与其他类型的换热器相比，空冷器具有一系列优点，如操作可靠、保持洁净的生态环境，可以相当简便的接通压气站的管网等。

压气站上采用的天然气空冷器，由于散热片系数的数值高，因此具有极为充足的外部热交换面，散热片系数是指外部表面对光面管表面积之比。

空冷器的热交换段相对于地平面的位置可以是水平的、垂直的、倾斜的和“之”字形的，因此有不同结构配置的空冷器。根据在输气管道中对这些空冷器的使用经验，应用最多的是热交换段为水平配置和“之”字形配置的空冷器，这种结构大大简化了空冷器的安装维修，而且使热交换段中的空气气流的分布更为均匀。

3. 天然气流量计量系统

计量在天然气工艺中占有极为重要的地位，精确的计量不仅可以避免天然气贸易中上、中、下游的诸多矛盾，而且还可以提高管道的管理水平。天然气计量

方法按照测量参数可分为体积测量、质量测量和热值测量。20世纪80年代以后，热值计量技术的应用在西欧和北美日益普遍，已成为当今天然气计量技术的发展方向。天然气热值计量是比体积或质量计量更为科学和公平的计量方式。由于天然气成分比较稳定，按热值计价可以体现优质优价。

常用的计量仪表包括：标准孔板流量计、涡轮流量计、涡街流量计、气体腰轮流量计、气体罗茨流量计和超声波流量计。

国内天然气计量，从计量仪表上来说，差压式流量计无论是过去还是现在都是用量占居首位的仪表。其中流量测量节流装置是使用最为广泛的一类检测元件。在天然气流量测量仪表中，标准孔板节流装置则是目前使用最多的达到标准化的检测元件，它在严格按照标准制造、安装和使用的条件下，不必进行实流检定。这是其技术成熟程度的标志，也是获得大量应用的主要原因。

近年来，随着西气东输、川气东送等大型输气管道的建成，气体超声波流量计的应用越来越广泛。

(1) 标准孔板流量计

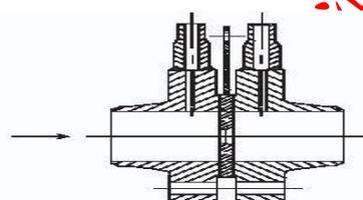


图1 标准孔板节流装置结构简图

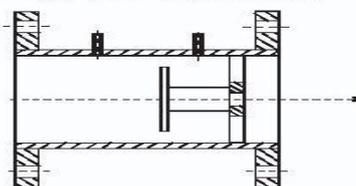
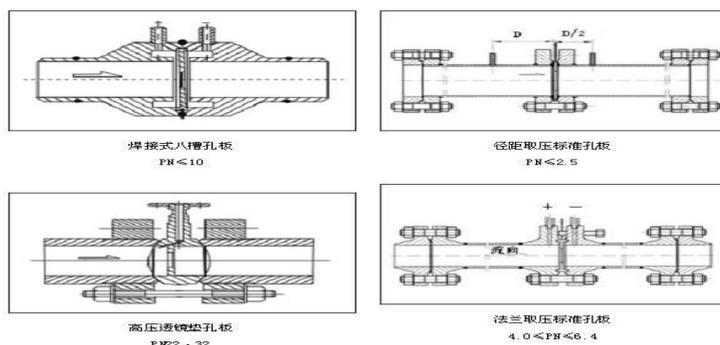


图2 环形孔板节流装置结构简图



目前，天然气流量计大多采用标准孔板节流装置构成的孔板流量计，这主要是由于它具有坚固耐用，性能可靠，维修方便，按标准制造等优点。标准孔板流量计是测量流量的差压发生装置，配合各种差压计或差压变送器可测量管道中各种流体的流量。标准孔板流量计节流装置包括标准环室孔板，喷嘴等。孔板流量计节流装置与差压变送器配套使用，可测量液体、蒸汽、气体的流量，标准孔板

流量计广泛应用于石油、化工、冶金、电力、轻工等部门。

充满管道的流体，当它们流经管道内的节流装置时，流束将在节流装置的节流件处形成局部收缩，从而使流速增加，静压力低，于是在节流件前后便产生了压力降，即压差，介质流动的流量越大，在节流件前后产生的压差就越大，所以孔板流量计可以通过测量压差来衡量流体流量的大小。这种测量方法是以能量守恒定律和流动连续性定律为基准的。

(2) 超声波流量计

超声流量计是通过检测流体流动对超声束(或超声脉冲)的作用以测量流量的仪表。超声流量计主要由安装在测量管道上的超声换能器(或由换能器和测量管组成的超声流量传感器)和转换器组成。超声流量计和电磁流量计一样，因仪表流通通道未设置任何阻碍件，均属无阻碍流量计，是适于解决流量测量困难问题的一类流量计，特别在大口径流量测量方面有较突出的优点，它是发展迅速的一类流量计之一。

它的工作原理是，根据对信号检测的原理，超声流量计可分为传播速度差法(直接时差法、时差法、相位差法和频差法)、波束偏移法、多普勒法、互相关法、空间滤法及噪声法等。

➤ 时差法

测量顺逆传播时传播速度不同引起的时差计算被测流体速度。它采用两个声波发送器(SA 和 SB)和两个声波接收器(RA 和 RB)。同一声源的两组声波在 SA 与 RA 之间和 SB 与 RB 之间分别传送。它们沿着管道安装的位置与管道成 θ 角(一般 $\theta=45^\circ$)。由于向下游传送的声波被流体加速，而向上游传送的声波被延迟，它们之间的时间差与流速成正比。也可以发送正弦信号测量两组声波之间的相移或发送频率信号测量频率差来实现流速的测量。

➤ 相位差法

测量顺逆传播时传播时由于时差引起的相位差计算速度。它的发送器沿垂直于管道的轴线发送一束声波，由于流体流动的作用，声波束向下游偏移一段距离。偏移距离与流速成正比。

➤ 频差法

测量顺逆传播时传播时的声环频率差。当超声波在不均匀流体中传送时，声波会产生散射。流体与发送器间有相对运动时，发送的声波信号和被流体散射后接收到的信号之间会产生多普勒频移。多普勒频移与流体流速成正比。图 2 中被测流体的区域位于发射波束与接收到的散射波束的交叉之处。要求波束很窄，使两波束的夹角 θ 不致受到波束宽度影响。也可只采用一个变换器既作为发送器又作为接收器，这种方式称为单通道式。在单通道多普勒血液流量计中，发送器间隔地发送声脉冲信号，在两个声脉冲间隔的时间中，接收从血管壁和血管内红血

球反射回来的声脉冲信号。采用控制线路选择给定距离处的红血球反射信号，通过比较后得到多普勒频移，它与血液流速成正比。在已知血管横截面时可得到血液流量。

4. 清管系统

4.1 清管设备组成

清管设备是管道在施工和运行过程中需要用到的设备之一。其作用包括：提高管道效率；测量和检查管道周向变形，如凹凸变形；从内部检查管道金属的所有损伤，如腐蚀等；对新建管道在进行严密性试验后，清除积液和杂质。

清管设备主要包括：清管器收发筒和盲板；清管器收发筒隔断阀；清管器收发筒旁通平衡阀和平衡管线；连接在装置上的导向弯头；线路主阀；锚固墩和支座。此外，还包括清管器通过指示器、放空阀、放空管和清管器接收筒排污阀、排污管道以及压力表等。

4.2 清管器发送和接收过程

4.2.1 清管器发送过程

- (1) 关闭发送筒，隔断阀门和平衡阀门；
- (2) 打开放空阀，卸掉发送筒中的压力，在发送筒中压力未达到大气压之前，不能急于打开盲板；
- (3) 打开盲板，放入清管器，直到清管器到达发送筒颈缩管处，并在该处紧紧地贴合；
- (4) 关闭盲板；
- (5) 轻微地打开平衡阀排出发送筒中的空气；
- (6) 关闭放空阀，并慢慢使发送筒中的压力增加到管线压力；
- (7) 关闭平衡阀，若没有关闭平衡间就打开清管器发送筒的隔断阀门可能会损坏清管器；
- (8) 打开清管器发送筒隔断阀门；
- (9) 打开平衡阀，关小线路主阀，使清管器通过发送筒；
- (10) 打开线路主阀；
- (11) 关闭发送筒隔断阀门和旁通平衡阀。

4.2.2 清管器接收过程

- (1) 关闭放空阀和盲板；
- (2) 在清管器来到这之前，先打开平衡阀，然后打开接收筒隔断阀门，若清管器没有进入接收筒，应慢慢关闭线路主阀直到清管器被压入接收筒为止；
- (3) 一旦清管器进入接收筒，应打开线路主阀阀门；
- (4) 关闭接收筒隔断阀门和平衡阀门；

-
- (5) 打开放空阀，排出筒中的压力，待接收筒中压力下降到大气压；
 - (6) 打开盲板并取出清管器；
 - (7) 关闭盲板；
 - (8) 轻微地打开平衡阀，排出接收筒中的空气；
 - (9) 关闭放空阀，并慢慢使接收筒中压力上升到管线压力；
 - (10) 关闭平衡阀，若要接收下一个清管器，平衡阀和接收筒隔断阀应打开着。

5. 阀门

阀门是天然气管道输送中不可缺少的控制设备，是一种涉及门类多、品种繁杂、量大面广的产品。阀门的用途广泛、种类繁多，分类方法也比较多。总的可分为两大类：

第一类自动阀门：依靠介质（液体、气体）本身的能力而自行动作的阀门，如止回阀、安全阀、疏水阀、减压阀等。

第二类驱动阀门：借动手动、电动、液动、气动来操作动作的阀门，如闸阀、截止阀、节流阀、蝶阀、球阀、旋塞阀等。

6. 天然气净化

6.1 天然气净化的原因

从地层中开采出来的天然气往往含有砂和混入的铁锈等固体杂质，以及水、水蒸气、硫化物和二氧化碳等有害物质。

砂、铁锈等尘粒随气流运动，磨损压缩机、管道和仪表的部件，甚至造成破坏。有时还会积聚在某些部分，影响输气的正常运行。

水积聚在管道低洼处，减少管道输气截面，增加输气阻力。水又能在管内壁上形成一层水膜，遇酸性气体形成酸性水溶液，对管内壁腐蚀极为严重，是造成输气管道破坏的重要原因之一。水在一定温度和压力条件下还能和天然气中的某些组分生成冰雪状水合物，造成管路冰堵。

天然气中的硫化物分为无机的和有机的两种。无机的主要是硫化氢，有机的主要是二硫化碳、硫氧化碳等。硫化氢及其燃烧产物二氧化硫都具有强烈的刺鼻气味，对眼粘膜和呼吸道有破坏作用。硫化氢和二氧化碳一种腐蚀剂，尤其在有水存在时更是如此。

二氧化碳遇水生成碳酸，除腐蚀管壁外，还影响天然气热值。

因此，天然气进入输气管道之前必须净化，除去尘粒、凝析液、水及其他有害组分。

6.2 气质标准

商品天然气净化以管道送往用户，因用户对气质的要求不同，天然气的质量指标也有区别。我国颁布的国家标准《天然气》（GB17820-1999）对天然气的质

量要求如下:

高热值: MJ/m ³	A 组	>31.4
	B 组	14.65-31.4

总硫含量: mg/m ³	<150	<270	<480	>480
硫化氢含量: mg/m ³	<6	<20	实测	实测
二氧化碳含量: % (体积分数)	<3	<3	实测	实测
水分 (固体): 无游离水				

此外,《输气管道工程设计规范》(GB 50251-2003)中规定:水露点应低于输送条件下最低管输气体温度 5℃。

我国对烃露点的控制较松,规定比水露点高 5-8℃。因为天然气中重烃的凝析会使管道积液,降低管道的输送能力,但少量凝析油附在管壁上形成油膜,有利于防腐。

我国对硫化氢含量的要求,目前输气中建议的标准是:硫化氢含量不大于 10mg/m³。

6.3 天然气的分离与除尘

天然气输送系统中的液体和团体杂质主要来自于 3 个方面:采气时井下带来的凝析油、凝析水、岩屑粉尘;管道施工时留下的脏物和焊渣;管内的锈屑和腐蚀产物。输气管道中气体的含尘量一般为 1-2mg/m³,除尘不好的可高达 7-10mg/m³。粉尘中以氧化铁最多,占 90% 以上。

天然气的含尘量,根据国家标准规定:生活用气含尘量小于 1 mg/m³。工业用气小于 4-6 mg/m³。但是天然气压缩机的要求远比这些规定严格得多,一般是:含尘量小于 0.2-0.55mg/m³,含尘粒径小于 10-30 μm,有的更要求含尘量小于 0.05 mg/m³,最大粒径不超过 5 μm。

为了减少粉尘和防止仪表、调压阀的指挥机构等因为堵塞而失灵,常采取如下措施:

- (1) 脱除天然气中的水蒸气、氧、硫化物、二氧化碳等组分,减少管内腐蚀;
- (2) 采用管内撞防腐涂层,保护管材;
- (3) 定期清管和扫线;
- (4) 在允许的情况下,采用所能达到的最低流速输气,减少气流冲击腐蚀和携尘能力;
- (5) 在集气站、压气站、配气站、调压计量站等处设分离器、除尘器和过滤器,脱除各类固(液)体杂质。

常用的分离器有重力式分离器、旋风分离器、多管旋风分离器、过滤分离器。

6.4 天然气的脱水

在长距离输送过程中，含水量较多的天然气常常发生下列问题：

- (1) 水汽与天然气的某些组分生成冰雪状的水合物，堵塞管道和仪表；
- (2) 凝结水积聚在管道的低洼部位，降低管道的输气能力，增加动力消耗；
- (3) 酸性气体，如硫化氢， CO_2 溶于水中，造成内壁腐蚀。

因此，天然气长距离输送前必须有效地脱除其中的水分。所谓有效地脱除，就是指在输送的最高压力和最低温度下，天然气中的水分尚处于不饱和状态，相对湿度为 60%-70%，或者在输送压力下天然气的露点比最低输送温度低 5-10℃。

随采用的天然气净化处理工艺的不同，脱水要求的深度也不同。常见脱水方法如下：

(1) 低温脱水

天然气凝液回收一般都要在不同程度的低温下进行。预先脱水是为了防止在生产过程中产生水合物堵塞。如果向气流中注入水合物抑制剂，在很多场合下也可以取代预先脱水。如果冷冻温度不低于 -35°C ，可采用甘醇(EG)作为抑制剂。更低温度下采用甲醇也能代替其他方法用于深冷分离。如果天然气中含硫化氢及二氧化碳，亦可用甲醇作溶剂来脱除。

(2) 吸附法

采用的吸附剂(干燥剂)有分子筛、硅胶和活性氧化铝。分子筛脱水最常用的方法，适用于需要将水露点降到 $-70\sim-100^\circ\text{C}$ 的场合。硅胶适用于需要将水露点降到 $-40\sim-60^\circ\text{C}$ 的场合。吸附是在充填着干燥剂的容器中进行的，吸附完成后转为再生，再生包括加热和冷却两步，为此至少需两台吸附器轮流操作。

(3) 甘醇脱水

采用的液体吸收剂有三甘醇(TEG)、二甘醇(DEG)。其中三甘醇脱水是最常用的方法，适用于需将水露点降到 -30°C 左右的场合。吸收是在吸收塔中进行的，吸收完成后甘醇需要在再生器中再生循环使用。

6.5 天然气脱硫和脱二氧化碳

天然气按含 H_2S 和 CO_2 的多少可分为 4 类：

- (1) 无硫或微含硫天然气， H_2S 和 CO_2 含量符合管输要求，不需净化。
- (2) 低含硫天然气， H_2S 的体积分数为 0.000 1%~0.5%。
- (3) 中含硫天然气， H_2S 的体积分数为 1%~1.5%， CO_2 的体积分数为 6%~8%。
- (4) 高含硫天然气， H_2S 的体积分数一般为 4%~8%。

随着天然气工业、化学工业的发展和对环境污染问题提出新的更高要求，脱硫技术也不断取得新进展。针对不同原料气提出的脱硫和二氧化碳方法不下数十种，大致可分为 6 大类：

(1) 化学溶剂法

采用某种溶于水的溶剂和酸性气体（ H_2S 和 CO_2 ）反应生成"复合物"，溶剂以化学结合的方式"吸住"酸性组分——净化;"吸住"了酸性组分的富液因温度上升和压力下降，"复合物"分解放出酸性组分——溶液再生。这类方法中，乙醇胺法获得了最广泛的应用，20 世纪 60 年代针对其缺点又发展了二乙醇胺法和二甘醇胺法。

(2) 物理溶剂法

它以有机溶剂为吸收剂，依靠物理吸附作用除去酸性组分。酸性组分分压越高，越易被溶剂吸收。溶剂再生可采用减压闪蒸、惰性气体气提或者适当升温的方法。

物理溶剂法的共同优点是吸收剂的酸气负荷（单位体积的溶剂能吸收的酸气量）高，处理量大，循环量小，有良好的经济效益，而且溶剂本身的稳定性好，损耗少，对碳钢腐蚀性小。主要缺点是对 C_4 以上的烃类，尤其是芳烃的亲合力大，不仅影响净化气的热值，也影响硫磺回收装置的产品质量，因而一般要附设处理装置。另一方面，大部分物理溶剂法使用的有机溶剂价格昂贵。20 世纪 60 年代，物理溶剂法有了很大发展，特别是环丁砜法获得了广泛应用。

(3) 直接转化法

这类方法是使 H_2S 直接转化为元素硫。它主要用于低含硫气体的净化，其中最为成功的蒽醌法和萘醌法。

直接转化法的主要优点是溶液无毒，工艺过程简单，容易操作，净化度高，蒸汽耗量低，对设备的腐蚀性小，基建投资和生产费用低，可选择性脱除 H_2S 。但这类方法的硫负荷低，一般在 1 g/L 以下，需要较大的再生设备，不宜用于处理量大及酸性气体含量高的天然气。同时，生产的硫磺质量也比直接氧化法（克劳斯法）差。

(4) 干式床层法

它是用固体物质固定床吸附或者和酸性组分反应而脱硫或脱二氧化碳的方法。所用固体物质包括天然泡沸石、分子筛、活性炭和海绵状氧化铁等。

(5) 膜分离法

利用气体各组分通过薄膜渗透性能的区别，将某种气体组分从气流中分离和提浓，达到天然气脱酸性气的目的。目前已工业化的方法有 AVIR、Cy-nara、杜邦(DuPont)、Grace 等，适用于从天然气内分离出大量 CO_2 的场合。目前仅用膜分离法尚不能使天然气中的酸性组分含量达到管输要求，在膜分离下游需设海绵铁或其他脱酸装置，进一步脱除 H_2S ，才能达到管输质量标准。

(6) 变压吸附法

它的特点是，工艺简单；装置操作弹性大；能适合原料气量和组成有较大波动；原料气中有有害微量杂质；可作深度脱除；无溶剂和辅助材料消耗；无三废

排放，对环境不会造成污染；与膜分离相比，变压吸附技术对原料气杂质组分要求较宽；吸附剂使用寿命可达 10 年；运行费用较低。

中国石油大学(北京) 油气储运系