

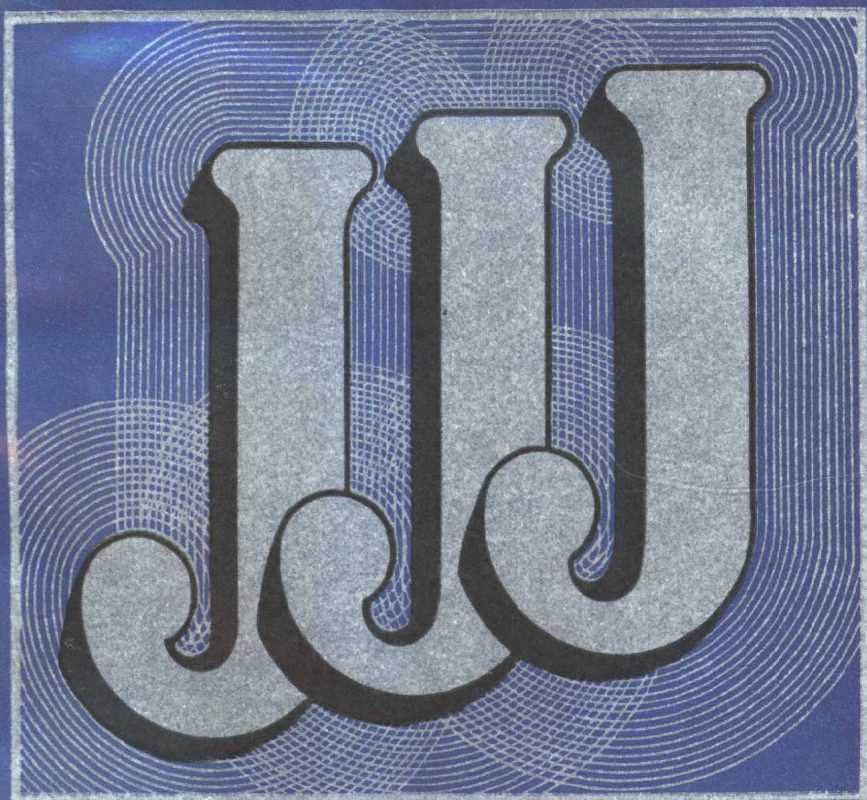
国家机械工业委员会统编

发生炉煤气生产原理

(高级煤气工适用)

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

发生炉煤气生产原理

(高级煤气工适用)

国家机械工业委员会统编

机械工业出版社

本书内容包括化工基础知识；煤气生产及其过程中的各种技术问题；解决生产关键问题的有效改进措施；主要工艺设备及管道的技术改造和安装施工知识；煤气生产的气化新方法和自控原理；煤气副产品的综合利用和环境保护知识。

本书主要供高级煤气工学习之用。

本书由东北煤气化设计研究所上官治圣、胡凤菊、陈洪彦编写，刘维范、蔡树东审稿。

发生炉煤气生产原理

(高级煤气工适用)

国家机械工业委员会统编

责任编辑：崔世荣 责任校对：贾立萍
封面设计：林胜利 方 芬 版式设计：罗文莉
责任印制：张俊民

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $10^{1/4}$ · 字数 225 千字
1988年10月北京第一版 · 1988年10月北京第一次印刷
印数 00,001—11,000 定价：3.50元

ISBN 7-111-01175-9/TU·8

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准（通用部分）》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》（初、中、高级），于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材149种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以基本

概念和原理为主,突出针对性和实用性,着重讲授基本知识,注重能力培养,并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发,努力做到理论联系实际,通俗易懂,具有工人培训教材的特色,同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接,便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位,组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人,在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际,谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员,各地的组织领导者,以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意!

编好、出好这套教材不容易;教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误,我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题,及时提出批评和指正,以便再版时修订,使其更完善,更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

期 限 表

于下列日期前

本教材适用于高级煤气工

本工种需学习下列课程

初级：机械识图、钳工常识、电工常识、发生炉煤气生产原理（初级煤气工适用）

中级：发生炉煤气生产原理（中级煤气工适用）

高级：发生炉煤气生产原理（高级煤气工适用）

为便于企业开展培训，国家机械工业委员会教育局和机械工业出版社还组织编写出版了与以上教材配套的习题集，并摄制出版了机械识图、电工常识两门课的电视教学录像片。

395387

目 录

前 言

第一章 化工基础	1
第一节 流体力学基本常识	2
第二节 化工管道计算	8
第三节 热交换理论基础	15
第四节 吸收与蒸馏的概念	27
复习题	32
第二章 煤气生产的分析化验	36
第一节 原料煤分析及计算	36
第二节 煤气分析	54
第三节 煤气中硫化氢、氨含量的测定	59
第四节 废水分析	64
第五节 焦油分析	73
复习题	86
第三章 煤气发生炉的物料、能量平衡	87
第一节 物料、能量平衡的知识	87
第二节 煤气发生炉物料、能量的平衡项目及计算	89
第三节 煤气发生炉物料、能量衡算实例	104
第四节 煤气发生站物料、能量平衡项目及计算	122
复习题	132
第四章 煤气生产的新工艺	133
第一节 煤的气化分类	133
第二节 固定床气化	136
第三节 流化床气化	153

第四节	气流床气化	161
第五节	煤的气化工艺控制原理	167
复习题		178
第五章	煤气副产品的回收利用	179
第一节	发生炉煤气副产品种类	179
第二节	发生炉焦油的性质	181
第三节	发生炉焦油的利用途径	189
第四节	灰渣的理化特性及利用	190
复习题		197
第六章	煤气生产的环境污染及处理	198
第一节	煤气生产中的污染源及污染物	198
第二节	煤气发生站污染物的减轻和防止	202
第三节	煤气站含酚污水的处理	208
第四节	煤气站噪声控制	216
复习题		219
第七章	新煤种气化试验	220
第一节	气化原料的物化性质差别	220
第二节	不同气化原料对气化的影响	224
第三节	煤种更换时操作条件的调整	229
第四节	试烧方法	232
复习题		237
第八章	煤气发生站主要设备与管道	
的验收试车		238
第一节	试车组织	238
第二节	试车必须具备的条件	239
第三节	运转设备的单体试车	239
第四节	煤气发生站的冷态联动试车	242
第五节	煤气发生站的热态联动试车	244
复习题		249

第九章 煤气生产设备和管道的

施工安装与改造	251
第一节 设备和管道施工安装知识	251
第二节 工艺管道种类及选用的经济性	264
第三节 设备能力与效率	268
第四节 设备选择原则及示例	272
复习题	276

第十章 煤气的生产管理

第一节 煤气发生站的岗位责任制	277
第二节 煤气发生站的工艺操作规程	279
第三节 煤气发生站的设备操作规程	295
第四节 煤气发生站的安全技术规程	308
第五节 煤气发生站的通讯联络	316
第六节 调度日志	317
第七节 煤气发生站定员及组织机构	318
复习题	319

第一章 化工基础

“化工过程及设备”是化学工程技术科学领域中的一项基础技术学科。随着人类生产斗争的不断发展和进步，特别是18世纪末叶工业革命以后，大型工业生产的出现，逐渐形成了与各部门工业生产相适应的工程技术科学，即掌握与运用各种不同物质运动的客观规律，对天然产物或农产物进行加工，以制造社会所需要的各种生产资料及生活资料的技术科学。

化学工程技术科学的特点，是它所研究的工业制造过程中的所有物料，不仅在物理性质上发生变化，而且在化学性质上也发生变化。这种以化学变化或化学处理为主的工业制造过程称为化学工业制造过程。在研究这些过程时，化学工程学总的任务是不仅要保证能够制造出所需的生产资料及生活资料而且还要经常注意到改进生产技术，制定并采用新的工艺过程和设备以及强化现有的过程及设备，并且努力改善劳动条件，使操作机械化、生产控制及调节自动化、降低成本、充分利用副产品及废料、提高产品的质量和数量等等，以满足人民对化工产品日益增长的需要。

化工过程及设备按其基本规律，可分为如下几类：

1. 流体动力过程及设备 包括以体现流体动力学基本规律为主的过程及设备，如流体的流动及输送、气溶胶（即气相悬浮系）的分离、液相悬浮系的分离、物料的搅拌等等。

2. 传热过程及设备 包括以体现热交换基本规律为主的过程及设备，如传热理论及设备、蒸发、结晶等。

3. 传质 (扩散)过程及设备 包括以体现扩散基本规律为主的过程及设备, 如气体的吸收、液体的蒸馏及精馏、溶剂萃取、吸附及离子交换、固体的干燥及气体的增湿与减湿、固体流态化技术等。

4. 机械操作及设备 包括以体现固体力学基本规律为主的过程及设备, 如固体的粉碎、筛析和加料等。

5. 冷冻过程及设备 包括以体现热力学基本规律的过程及设备, 如冷冻及深度冷冻等。

6. 化学反应过程及设备 包括以体现化学变化基本规律为主的过程及设备, 如氧化、还原、磺化、硝化、水解等。

本章仅对流体力学基础知识、化工管道计算、热交换理论基础和吸收与蒸馏的概念加以简单的叙述。

第一节 流体力学基本常识

一、流体静力学

1. 流体的静压强及其特性

(1) 流体的静压强

人站在水池中, 当胸部浸没在水中时, 感到胸部受压, 有些“憋气”, 这就说明水静止时也是有压强的。在气象预报时常提到高气压、低气压, 表明空气也有压强。

假设在一个水槽中装满水, 水槽底面积为 $F(\text{m}^2)$, 它承受水的全部重力为 $P(\text{N})$,

$$\text{则} \quad \frac{P}{F} = p_{\text{平均}} (\text{Pa})$$

(2) 流体静压强的特性

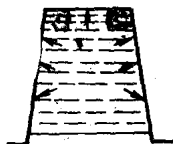
1) 流体静压强总是垂直于其作用面(与该面上的法线重合), 且指向作用面, 如图1-1。

2) 任意一点上各个方向的流体静压强均相等。

2. 有关的单位和单位换算 (见表1-1)

在工程上为简便起见, 取:

$$\begin{aligned} 1(\text{at}) &= 1(\text{kgf/cm}^2) = 10000(\text{kgf/m}^2) \\ &= 10(\text{mH}_2\text{O}) \\ &= 0.1 \times 10^6 \text{Pa} = 0.1 \text{MPa} \end{aligned}$$



3. 流体静力学基本方程式 流体静力学基本方程式是研究重力作用下的流体静止时的规律, 应用它可以确定流体内任何一点的静压强。流体静力学基本方程式:

图1-1 静压强的特性
注: $P_{\text{平均}}$ 代表单位面积上的压力, 称为流体的平均静压力强度, 或简称流体平均静压强

表1-1 有关的单位及单位换算

量的名称	量的符号	单位名称	符 号	换 算 关 系
质量、重量	m	千克(公斤)	kg	
		吨	t	$1\text{t} = 10^3 \text{kg}$
密度	ρ	千克每立方米	kg/m^3	
		吨每立方米	t/m^3	$1\text{t/m}^3 = 10^3 \text{kg/m}^3$
		千克每升	kg/L	$1\text{kg/L} = 10^3 \text{kg/m}^3$
		立方米每千克	m^3/kg	
比容 (比体积)	V	升每千克	L/kg	$1\text{L/kg} = 10^{-3} \text{m}^3/\text{kg}$
		立方米每吨	m^3/t	$1\text{m}^3/\text{t} = 10^{-3} \text{m}^3/\text{kg}$
压力、压强	P	帕(斯卡)	Pa	$1\text{atm} = 101325 \text{Pa}$ $1\text{bar} = 10^5 \text{Pa}$ $1\text{at} = 98066.5 \text{Pa} = 0.1 \text{MPa}$ $1\text{mmH}_2\text{O} = 9.80665 \text{Pa}$ $1\text{mmHg} = 133.322 \text{Pa}$ $1\text{lbf/ft}^2 = 47.8803 \text{Pa}$ $1\text{lbf/in}^2 = 6894.76 \text{Pa}$
(动力)粘度	$\eta(\mu)$	帕(斯卡)·秒	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	$1\text{泊} = 1\text{P} = 10^{-1} \text{Pa} \cdot \text{s}$ $1\text{厘泊} = 1\text{cP} = 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$

(续)

量的名称	量的符号	单位名称	符 号	换 算 关 系
运动粘度	ν	平方米每秒	m^2/s	西斯托克斯 = $1\text{cSt} = 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$
体积流量	Q_V	立方米每秒	m^3/s	$1\text{L}/\text{s} = 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$
质量流量	Q_m	千克每秒	kg/s	$1\text{L}/\text{min} = 1.66667 \times 10^{-5}\text{m}^3/\text{s}$
		吨每秒	t/s	
		吨每小时	t/h	$1\text{t}/\text{s} = 10^3\text{kg}/\text{s}$
质量速度	G'	千克每平方米秒	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	$1\text{t}/\text{h} = 2.77778 \times 10^{-1}\text{kg}/\text{s}$
重度	γ	牛顿每立方米	N/m^3	
速度	u, v	米每秒	m/s	
	w, c	千米每小时	km/h	$1\text{km}/\text{h} = 0.277778\text{m}/\text{s}$

$$p = p_0 + \gamma h$$

式中 p ——深度 h 处的液体静压强 (Pa);

p_0 ——作用于液面上的外压强 (Pa);

γ ——该液体的重度 (N/m^3);

h ——自液面起至液柱底部的深度 (m)。

上式说明:在液体深度为 h 处的静压强,等于作用于自由表面上的外压强加上液柱 h 作用在该处的压强。所以,由上式可见,凡液面以下同一深度的地方(即在同一水平面上),压强均相等。换句话说,液体内部的静压强与液体的重度和位置高低有关。在连续的同一种液体内部(即重度 γ 值相同)液体的静压强仅与位置高低有关。

二、流体流动的连续性方程式

1. 稳定流动和不稳定流动 讨论流体流动时,首先应弄清流体流动是否稳定。什么叫稳定流动,什么叫不稳定流动,可从水塔供水的例子来说明,如图1-2所示。当水塔不断进水并使水位维持不变,将供水管出口阀开至一定大小,则由此

管流出的水量也恒定不变，同时管内的流动速度也不随时间而变，这种流动称为稳定流动。

这里要注意，所谓稳定流动就是指在供水管某一断面或某一点的水的流速、压强以及影响水流动的其它参数（例如水的物理性质等）均不随时间而变。但是，在稳定流动时不同断面或者不同点的流速、压强等是可能不同的。

在水塔不进水，供水阀门打开后，水塔的水位将逐渐下降，供水量及流速等也会随时变化，称为不稳定流动。在化工厂连续生产中，

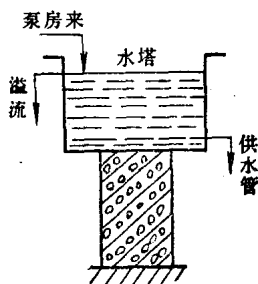


图1-2 水塔供水图

大多是稳定流动，所以我们以后讨论的问题，除非特别指明，都是指稳定流动。

2. 流体的流量与流速 根据生产的需要，流量与流速可有各种表示法和不同的单位。

(1) 体积流量 单位时间通过管道截面的流体体积称为体积流量，或简称流量，常用 q_v 表示，它的单位是(m^3/s)。所谓截面是，在管道内与流体流动方向垂直的截面。

(2) 质量流量 单位时间通过管道截面的流体质量称为质量流量，常以 q_m 表示，它的单位是(kg/s)。

质量流量与体积流量的关系为：

$$q_m = q_v \rho$$

式中 ρ ——流体的密度(kg/m^3)。

(3) 流速 流体单位时间所流过的距离称为流速。实际上，在同一截面上流体各质点的流速并不相同（如江河中心与岸边的流速不等），但为方便起见，常取平均速度来代表

某一截面的流速。所以一般说的流速都是指该截面的平均流速，用 w 表示，它的单位是 (m/s)

流体的流速 w 与体积流量 q_v 的关系为：

$$w = \frac{q_v}{F} \text{ 或 } q_v = Fw$$

上式通常叫做流量方程式，式中 F 为截面积 (m^2) 。

(4) 质量速度—单位时间内通过单位截面积的流体质量称为质量速度，常以 G' 表示，它的单位是 $(\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$ 。

质量速度与质量流量和流速间的关系为：

$$G' = \frac{q_m}{F} = \frac{q_v \rho}{F} = w\rho$$

流体流速大小的合理选定在化工生产中是很重要的。对一定的流量 (q_v) ，当 w 选得大，管道截面减小，可节约材料，但流速大时，相应的流体阻力也要大些，这样输送流体的泵或风机所消耗的动力也要大些，故应根据经济核算来选定合适的流速。

3. 流体稳定流动时的连续性方程式 图1-3为异径的导管，当流体流过此导管时，在截面1、2二处流速和流量是否相等？要回答这一问题可由质量守恒定律来解决。

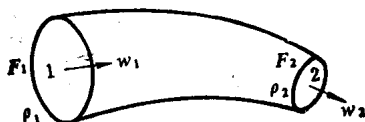


图1-3 异径的导管

只要上述导管壁密封不漏，且流体充满管道，根据质量守恒定律（即物质不灭定律），两个截面的质量流量 q_{m1} 、 q_{m2} 应该相等。

$$q_{m1} = q_v \rho_1 = w_1 F_1 \rho_1$$

$$q_{m2} = q_v \rho_2 = w_2 F_2 \rho_2$$

由上式可得 $w_1 F_1 \rho_1 = w_2 F_2 \rho_2 = w F \rho = \text{定值}$ (1-1)

式中 F_1 、 F_2 ——分别为各截面的截面积。式(1-1)称为流体的连续性方程式(即物料衡算方程式)。由上式可求得管道截面改变时流速变化的规律。

对于液体(不可压缩的流体)

$\rho_1 = \rho_2$ (定值) 则由式(1-1)可得

$$F_1 w_1 = F_2 w_2 \text{ 或 } \frac{w_1}{w_2} = \frac{F_2}{F_1} \quad (1-2)$$

式(1-2)表明, 对于液体在管中流动时, 流速与截面积成反比。当管道为圆管时, 则

$$F = \frac{\pi d^2}{4}$$

由式(1-2)可得: $\frac{w_1}{w_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$ (1-3)

式(1-3)表明, 对不可压缩的流体, 在圆管中流动时, 流速与管径的平方成反比。

三、流体流动能量方程式——柏努里方程

柏努里方程式及各项能量的意义和单位

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma_1} + \frac{w_1^2}{2g} + L = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma_2} + \frac{w_2^2}{2g} + \sum h_{\text{阻}}$$

上式是流体动力学的一个基本方程式, 称为柏努里方程式。

对于液体, 在流动系统中, $\gamma_1 = \gamma_2$, 上式可写成:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma_1} + \frac{w_1^2}{2g} + L = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma_2} + \frac{w_2^2}{2g} + \sum h_{\text{阻}}$$

称为不可压缩流体的柏努里方程式, 实际上它就是液体的机械能守恒定律的一种数学表达式。

式中 Z_1 、 Z_2 ——代表单位流体的位能, 单位是 ($\text{kg} \cdot \text{m} / \text{kg}$) 或简写作 (m), 用 h_z 表示。此处 (m) 代

表高度的意思，在水力学中常用测压管中水柱高度来表示单位重量流体的能量，习惯上称为“水压头”或“压头”。单位重量流体的位能叫做“位压头”或简称“位头”，其单位用（米液体柱）表示；

p_1/γ_1 、 p_2/γ_2 ——代表单位重量流体的静压能，故称“静压头”，其单位也是（米液体柱），用 h_p 表示；

$w_1^2/2g$ 、 $w_2^2/2g$ ——代表单位重量流体的动能，故称“动压头”或称“速度压头”，其单位也是（米液体柱），用 h_w 表示；

L ——代表泵（或风机）对每千克流体所做的机械净功，故称“泵的压头”或“泵的扬程”（对风机则称为风压），其单位是（米液体柱）；

$\Sigma h_{\text{阻}}$ ——代表流动系统中单位重量流体克服内摩擦而损失的机械能，故称“摩擦压头”，其单位是（米液体柱）。

第二节 化工管道计算

化工管道计算包括两方面的设计计算，即管路设计，包括管路种类、规格及长度、管件、阀件（如阀门、弯头等），以及管路的合理布置。不论是前者还是后者，它们都涉及柏努里方程式和连续性方程式的具体运用，不过其主要的的问题是应该首先解决管道的阻力问题。

一、流体阻力

1. 流体阻力的概念 流体流动的动力与流体的阻力是一对矛盾。没有流体流动就没有流体阻力，也就不需要消耗