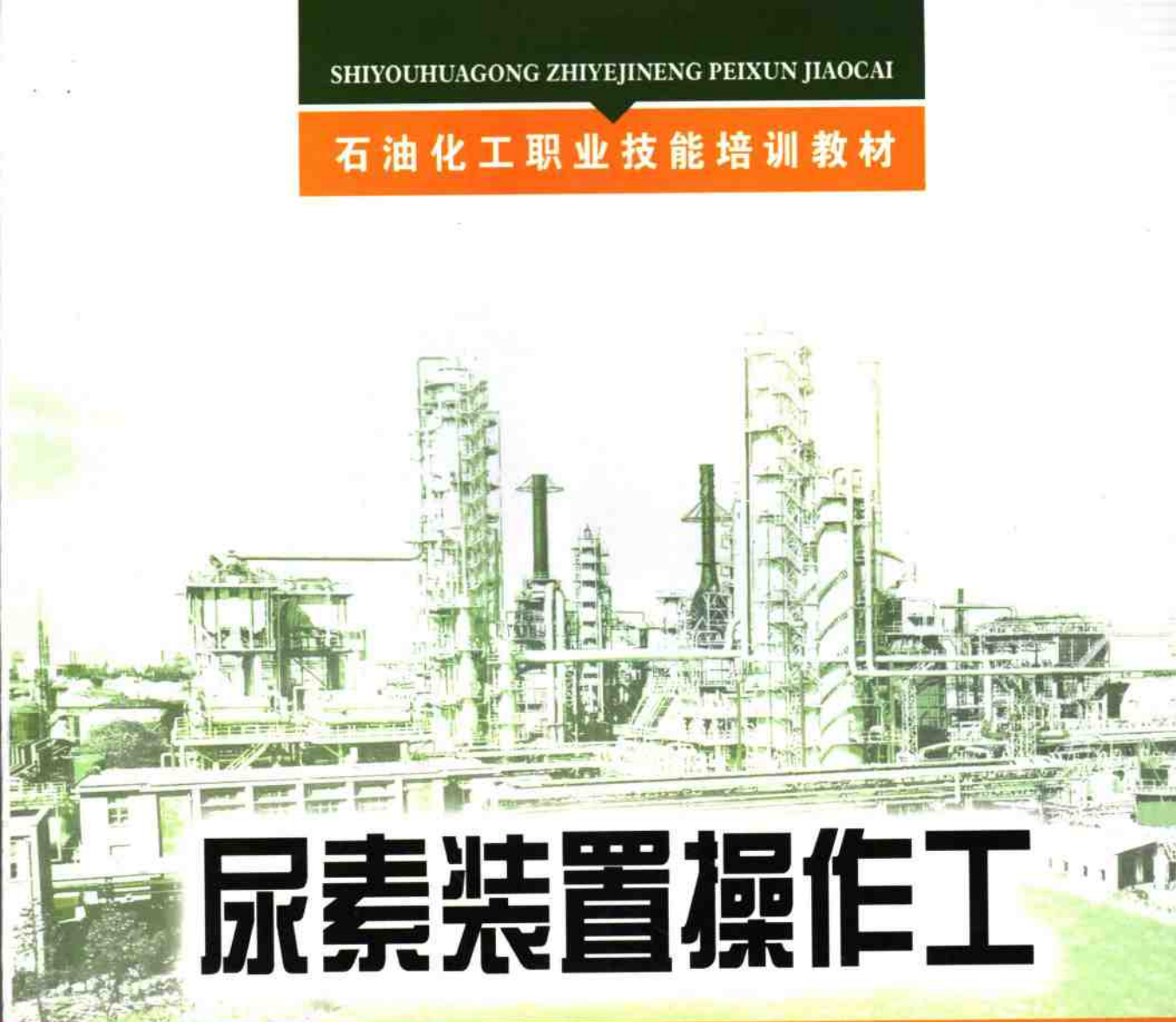


SHIYOUHUAGONG ZHIYEJINENG PEIXUN JIAOCAI

石油化工职业技能培训教材



尿素装置操作工

中国石油化工集团公司人事部 编
中国石油天然气集团公司人事服务中心

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石油化工职业技能培训教材

尿素装置操作工

张五林 编

中国石油化工集团公司人事部
中国石油天然气集团公司人事服务中心

编

中国石化出版社

内 容 提 要

《尿素装置操作工》为《石油化工职业技能培训教材》系列之一, 涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》中, 对该工种初级工、中级工、高级工、技师、高级技师等五个级别的理论知识和操作技能的要求。本书全面介绍了尿素装置操作工应掌握的化工基础知识、尿素工艺基础知识、尿素装置技能操作与相关知识。本书语言通俗易懂, 理论知识重点突出, 内容实用性强, 是尿素装置操作工培训和技能鉴定的必备教材。

本书是尿素装置操作人员进行职业技能培训的必备教材, 也是专业技术人员必备的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

尿素装置操作工/中国石油化工集团公司人事部, 中国石油天然气集团公司人事服务中心编. —北京: 中国石化出版社, 2007

石油化工职业技能培训教材
ISBN 978-7-80229-433-2

I. 尿… II. ①中…②中… III. 尿素生产—技术培训—教材 IV. TQ441.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 148652 号

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010)84271850

读者服务部电话: (010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 24 印张 597 千字

2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

定价: 50.00 元

《石油化工职业技能培训教材》

开发工作领导小组

组 长：周 原

副组长：王天普

成 员：(按姓氏笔画顺序)

于洪涛	王子康	王玉霖	王妙云	王者顺	王 彪
付 建	向守源	孙伟君	何敏君	余小余	冷胜军
吴 耘	张 凯	张继田	李 刚	杨继钢	邹建华
陆伟群	周赢冠	苟连杰	赵日峰	唐成建	钱衡格
蒋 凡					

编审专家组

(按姓氏笔画顺序)

王 强	史瑞生	孙宝慈	李兆斌	李志英	岑奇顺
杨 徐	郑世桂	姜殿虹	唐 杰	黎宗坚	

编审委员会

主 任：王者顺

副主任：向守源 周志明

成 员：(按姓氏笔画顺序)

王力健	王凤维	叶方军	任 伟	刘文玉	刘忠华
刘保书	刘瑞善	朱长根	朱家成	江毅平	许 坚
余立辉	吴 云	张云燕	张月娥	张全胜	肖铁岩
陆正伟	罗锡庆	倪春志	贾铁成	高 原	崔 昶
曹宗祥	职丽枫	黄义贤	彭干明	谢 东	谢学民
韩 伟	雷建忠	谭忠阁	潘 慧	穆晓秋	

前言

为了进一步加强石油化工行业技能人才队伍建设,满足职业技能培训和鉴定的需要,中国石油化工集团公司人事部、中国石油天然气集团公司人事服务中心联合组织编写了《石油化工职业技能培训教材》。本套教材的编写依照劳动和社会保障部制定的石油化工生产人员《国家职业标准》及中国石油化工集团公司人事部编制的《石油化工职业技能培训考核大纲》,坚持以职业活动为导向,以职业技能为核心;以“实用、管用、够用”为编写原则,结合石油化工行业生产实际,以适应技术进步、技术创新、新工艺、新设备、新材料、新方法等要求,突出实用性、先进性、通用性,力求为石油化工行业生产人员职业技能培训提供一套高质量的教材。

根据国家职业分类和石油化工行业各工种的特点,本套教材采用共性知识集中编写、各工种特有知识单独分册编写的模式。全套教材共分为三个层次,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》各职业(工种)对初级、中级、高级、技师和高级技师各级别的要求。

第一层次《石油化工通用知识》为石油化工行业通用基础知识,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》对各职业(工种)共性知识的要求。主要内容包括:职业道德,相关法律法规知识,安全生产与环境保护,生产管理,质量管理,生产记录、公文和技术文件,制图与识图,计算机基础,职业培训与职业技能鉴定等方面的基本知识。

第二层次为专业基础知识,分为《炼油基础知识》和《化工化纤基础知识》两册。其中《炼油基础知识》涵盖燃料油生产工、润滑油(脂)生产工等职业(工种)的专业基础及相关知识,《化工化纤基础知识》涵盖脂肪烃生产工、烃类衍生物生产工等职业(工种)的专业基础及相关知识。

第三层次为各工种专业理论知识和操作技能,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》对各工种操作技能和相关知识的要求,包括工艺原理、工艺操作、设备使用与维护、事故判断与处理等内容。

《尿素装置操作工》包含第二层次、第三层次内容,在编写时采用传统教材

模式，不分级别，在编写顺序上遵循由浅到深、先基础理论知识后技能操作的编写特点，在章节安排上打破了常规操作法按操作顺序编写的惯例，把设备使用(操作)知识和工艺操作知识分开编写，有利于技能操作人员更加容易掌握尿素工艺操作和设备维护技能。

《尿素装置操作工》教材由安庆石化负责组织编写，主编黄海明(安庆石化)，参加编写的人员有倪君帅(镇海炼化)、张朝晖(安庆石化)、刘观正(镇海炼化)、徐绍生(安庆石化)、肖甲荣(安庆石化)、吴伟夫(安庆石化)、方国友(安庆石化)。本教材已经中国石油化工集团公司人事部、中国石油天然气集团公司人事服务中心组织的职业技能培训教材审定委员会审定通过，主审：孙宝慈、严仲彪；参加审定的人员有淦家河、杨吉祥、茅龙龙、谢斌、程晓林、黄劲松，在审定工作中得到了齐鲁石化等单位的大力支持。中国石化出版社对教材的编写和出版工作给予了通力协作和配合，在此一并表示感谢。

由于石油化工职业技能培训教材涵盖的职业(工种)较多，同工种不同企业的生产装置之间也存在着差别，编写难度较大，加之编写时间紧迫，不足之处在所难免，敬请各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议，以便教材修订时补充更正。

目 录

第1章 化工基础知识

1.1 工艺基础知识	(1)
1.1.1 流体的主要物理量	(1)
1.1.2 化工单元操作	(3)
1.1.3 化学反应与化学平衡	(24)
1.1.4 基本化工单元系统	(27)
1.2 设备基础知识	(33)
1.2.1 管道与管件	(33)
1.2.2 阀门	(34)
1.2.3 静设备	(38)
1.2.4 动设备	(42)
1.2.5 润滑	(72)
1.3 电气仪表基础知识	(73)
1.3.1 电气基础知识	(73)
1.3.2 仪表和自动控制基础知识	(79)

第2章 尿素工艺基础知识

2.1 尿素生产中物料的物化性质	(102)
2.1.1 氨	(102)
2.1.2 二氧化碳	(102)
2.1.3 尿素	(103)
2.1.4 氨基甲酸铵	(103)
2.1.5 缩二脲	(104)
2.1.6 水	(104)
2.1.7 双氧水	(104)
2.1.8 甲醛	(105)
2.2 尿素工艺相图的基本知识	(105)
2.2.1 相律	(106)
2.2.2 相图	(107)
2.2.3 单组分相图	(108)
2.2.4 二组分相图	(109)
2.2.5 三组分相图	(112)
2.3 尿素的合成	(123)
2.3.1 尿素的合成反应化学平衡	(123)

2.3.2	影响尿素合成反应化学平衡的因素	(124)
2.3.3	尿素合成反应速度	(127)
2.3.4	尿素合成反应工业生产条件的选择	(129)
2.4	尿素生产过程副反应	(131)
2.4.1	缩二脲的生成	(131)
2.4.2	尿素的水解反应	(133)
2.5	未反应物的分解与回收	(135)
2.5.1	未反应物的减压、加热分解	(135)
2.5.2	未反应物的高压分解	(139)
2.5.3	未反应物的回收	(144)
2.6	尿素溶液的蒸发与造粒	(149)
2.6.1	Ur-H ₂ O 平衡相图与尿素溶液蒸发的工艺条件	(149)
2.6.2	尿素喷淋造粒原理	(151)
2.7	常用计算	(152)
2.7.1	氨碳比(NH ₃ /CO ₂)的计算	(152)
2.7.2	水碳比(H ₂ O/CO ₂)的计算	(153)
2.7.3	水尿比(H ₂ O/Ur)的计算	(154)
2.7.4	CO ₂ 转化率计算	(154)
2.7.5	气提效率计算	(154)
2.7.6	简单物料平衡计算	(155)
2.7.7	简单热量计算	(156)
2.7.8	离心泵有效功率和效率计算	(157)
2.7.9	理想气体计算	(158)

第3章 尿素生产工艺及技术特点

3.1	概述	(159)
3.1.1	尿素的发现与合成	(159)
3.1.2	尿素生产技术发展	(159)
3.1.3	我国尿素工业发展概况	(160)
3.1.4	尿素生产工艺原则流程	(160)
3.2	斯塔米卡邦 CO ₂ 气提法尿素工艺	(161)
3.2.1	工艺流程	(161)
3.2.2	界区条件与消耗定额	(168)
3.2.3	工艺特点	(169)
3.3	斯纳姆氨气提法尿素工艺	(170)
3.3.1	工艺流程	(170)
3.3.2	消耗定额	(174)
3.3.3	工艺特点	(174)
3.4	ACES 尿素装置工艺	(175)
3.4.1	工艺流程	(175)

3.4.2 公用工程消耗	(176)
3.4.3 工艺特点	(176)
3.5 蒙特爱迪生等压双气提 (IDR) 法尿素装置工艺	(176)
3.5.1 工艺流程	(176)
3.5.2 消耗定额	(179)
3.5.3 工艺特点	(179)
3.6 尿素装置公用工程系统	(180)
3.6.1 蒸汽和冷凝液系统	(180)
3.6.2 循环水系统	(182)
3.6.3 仪表风系统	(185)
3.7 尿素造粒方法	(185)
3.7.1 喷淋造粒	(186)
3.7.2 机械造粒——大颗粒尿素制备专利技术简介	(188)
3.8 尿素工艺技术的改进	(193)
3.8.1 尿素合成塔采用高效塔板	(193)
3.8.2 斯塔米卡邦池式反应器工艺 (Urea 2000 ⁺ ™)	(194)
3.8.3 合成塔出液 NH_3/CO_2 自动控制系统	(197)

第4章 尿素设备使用与维护

4.1 常用工具	(199)
4.1.1 “F”扳手	(199)
4.1.2 活扳手	(199)
4.1.3 管子钳	(199)
4.1.4 听棒	(199)
4.1.5 便携式测振仪器	(199)
4.1.6 便携式测温仪	(199)
4.1.7 对讲机	(199)
4.1.8 矿灯	(200)
4.1.9 皮管	(200)
4.1.10 手提式缝包机	(200)
4.2 阀门的操作与维护	(200)
4.2.1 阀门的操作	(200)
4.2.2 阀门的维护	(200)
4.3 管线的操作与维护	(201)
4.3.1 管线的操作	(201)
4.3.2 管线的维护	(201)
4.4 静设备的操作与维护	(202)
4.4.1 换热器	(202)
4.4.2 压力容器	(204)
4.4.3 储槽	(204)

4.4.4	尿素装置主要静设备	(205)
4.4.5	尿素高压设备氨渗漏	(225)
4.5	动设备的操作与维护	(227)
4.5.1	一般离心泵	(228)
4.5.2	小型高速离心泵	(228)
4.5.3	螺杆泵	(229)
4.5.4	齿轮泵	(229)
4.5.5	小型柱塞泵	(230)
4.5.6	活塞式空气压缩机	(230)
4.5.7	罗茨风机	(231)
4.5.8	离心式高压氨泵	(232)
4.5.9	柱塞式高压氨泵	(233)
4.5.10	离心式高压甲铵泵	(235)
4.5.11	柱塞式高压甲铵泵	(236)
4.5.12	汽轮机	(238)
4.5.13	二氧化碳机组	(242)
4.5.14	旋转型造粒喷头	(244)
4.5.15	大颗粒尿素造粒机的日常维护	(244)
4.5.16	刮料机	(245)
4.5.17	皮带机与卸料小车	(246)

第5章 尿素设备腐蚀与防护

5.1	尿素生产腐蚀机理	(247)
5.1.1	中间产物的化学性腐蚀	(247)
5.1.2	电化学腐蚀	(247)
5.2	尿素生产过程介质因素对腐蚀的影响	(248)
5.2.1	均匀腐蚀	(248)
5.2.2	坑蚀	(248)
5.2.3	缝隙腐蚀	(248)
5.2.4	晶间腐蚀	(248)
5.2.5	选择性腐蚀	(249)
5.2.6	应力腐蚀	(249)
5.2.7	冷凝腐蚀	(249)
5.2.8	磨蚀	(249)
5.3	防腐蚀措施	(249)
5.3.1	工艺介质防腐	(249)
5.3.2	耐腐蚀材料	(251)
5.3.3	尿素生产中的防腐蚀措施	(254)

第6章 尿素装置工艺操作

6.1 尿素生产运行记录	(258)
6.2 尿素生产特点与操作注意事项	(258)
6.3 CO ₂ 气提工艺装置操作	(259)
6.3.1 装置开车操作要点	(259)
6.3.2 装置正常操作要点	(271)
6.3.3 装置停车操作要点	(288)
6.4 氨气提法尿素装置工艺操作简述	(294)
6.4.1 开工前准备工作	(294)
6.4.2 化工投料	(295)
6.4.3 合成塔出料前的准备	(296)
6.4.4 合成塔出料和出料后调节	(296)
6.4.5 封塔停工	(296)
6.4.6 封塔停工后开工	(297)
6.4.7 长期停工	(297)

第7章 故障判断与处理

7.1 工艺故障	(298)
7.1.1 CO ₂ 流量突降	(298)
7.1.2 氨量突降	(300)
7.1.3 尿素高压系统常见工艺故障	(300)
7.1.4 循环系统常见工艺故障	(307)
7.1.5 蒸发和造粒系统常见工艺故障	(310)
7.1.6 氨水槽中氨水浓度升高	(314)
7.1.7 装置外输蒸汽冷凝液电导率升高	(315)
7.2 设备故障	(315)
7.2.1 阀门故障	(315)
7.2.2 生产过程中安全阀起跳	(317)
7.2.3 设备、管道汽击振动	(318)
7.2.4 管道堵塞故障	(319)
7.2.5 工艺介质结晶堵塞塔、换热器	(321)
7.2.6 设备静密封点泄漏	(322)
7.2.7 尿素合成塔不锈钢内衬发生泄漏	(323)
7.2.8 尿素合成系统高压换热器壳侧防爆板破裂	(323)
7.2.9 高压洗涤器防爆空间防爆板(泡罩)破裂	(324)
7.2.10 生产过程高压甲铵冷凝器列管泄漏故障	(325)
7.2.11 气提塔列管发生爆管	(326)
7.2.12 高压甲铵泵跳车	(326)
7.2.13 高压氨泵跳车	(327)

7.2.14	CO ₂ 机组跳车	(327)
7.2.15	高速离心氨泵或甲铵泵故障	(328)
7.2.16	柱塞式氨泵或甲铵泵故障	(329)
7.2.17	CO ₂ 机组故障	(331)
7.2.18	一般离心泵故障	(334)
7.2.19	刮料机故障	(335)
7.2.20	尿素输送皮带机故障	(336)
7.2.21	卸料小车故障	(336)
7.2.22	电动机故障	(337)
7.2.23	大颗粒尿素造粒设备故障	(338)
7.3	仪表故障	(339)
7.3.1	仪表运行故障与维护	(339)
7.3.2	仪表故障时的工艺处理	(340)
7.4	公用工程故障	(348)
7.4.1	停晃电	(348)
7.4.2	停蒸汽	(350)
7.4.3	仪表风中断	(350)
7.4.4	循环冷却水中断	(350)

第8章 安全、环保与节能

8.1	安全	(352)
8.1.1	装置有关安全规定	(352)
8.1.2	危险物料的使用与防护	(352)
8.1.3	尿素生产过程爆炸危险	(357)
8.2	环保	(361)
8.2.1	尿素生产过程污染源	(361)
8.2.2	污染控制	(363)
8.3	节能降耗	(366)
8.3.1	尿素生产过程节能降耗措施	(366)
8.3.2	尿素物耗与能耗统计	(367)
8.4	节水减排	(368)
	参考文献	(370)

第1章 化工基础知识

1.1 工艺基础知识

1.1.1 流体的主要物理量

1.1.1.1 流体的密度、相对密度和质量体积

液态和气态物质, 统称为流体。

单位体积流体的质量可用密度、相对密度来表示。密度 ρ 的法定计量单位为 kg/m^3 (千克每立方米)。相对密度(过去称作“比重”), 是指物质的质量与同体积标准物质的质量比。对固体和液体, 标准物质多选为 4°C 的水(密度为 999.973 kg/m^3); 对气体则多采用标准状态(0°C , 1个标准大气压)下的空气。

质量体积(又称比体积, 过去称作“比容”), 即单位质量的体积, 与密度呈倒数关系, 单位为 m^3/kg 。

1.1.1.2 流体的压强

流体的压强(又称压力)是指流体作用在容器壁(或管道壁)单位面积上指向器壁的垂直作用力。压力 p 的单位为帕斯卡(代号为帕, Pa), 即 N/m^2 (牛顿每平方米)。工程上压力的单位多用兆帕(MPa)。

可以间接地以流体柱高度 h 表示流体的压力, 如用米水柱(mH_2O)或毫米汞柱(mmHg)等。 h 与 p 的关系为: $p = \rho gh$ (注: 当以液柱表示压力时, 必须同时指明是何种液体, g 为重力常数 9.81 N/kg)。

以绝对真空为基准测得的压力称为绝对压力, 以大气压力为基准测得的压力称为表压或真空度。

$$\text{表压} = \text{绝对压} - \text{大气压}$$

$$\text{真空度} = \text{大气压} - \text{绝对压}$$

1.1.1.3 流量与流速

(1) 流量

在流体流动过程中, 单位时间内通过导管任一截面的流体量(用符号 V 表示, 单位 m^3/s 或 m^3/h), 称为流量, 有时用质量流量(用符号 W 表示, 单位 kg/s 或 kg/h)表示。流体的质量流量等于体积流量与该流体密度的乘积。

(2) 流速

单位时间内流体在流动方向上流过的距离, 称为流速(用符号 u 表示, 单位 m/s)。实际流体在导管截面上各点的流速并不相同, 管中心流速最高, 离中心越远, 流速越慢, 导管管壁上的流速为零。因此, 通常所说的流速是指流体在整个导管截面上的平均流速(用符号 $\bar{u}$ 表示)。如果管截面积为 A (单位 m^2), 则 $\bar{u} = V/A$ 。

质量流速: 单位时间内流体流过单位截面积的流体质量(用符号 G 表示, 单位 $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$)。因质量流速与流体的温度、压力无关, 故质量流速通常用在气体流动计算中。

1.1.1.4 黏度

流体流动时在分子之间会产生内摩擦力,形成流动阻力。反映流体流动阻力(与流动方向相反)大小的性质称为黏性,而表示黏性大小的量称为黏度(用符号 μ 表示,单位P或cP,读作泊或厘泊)。黏度是流体的重要物性参数之一,流体的黏度越大,则表示流体的流动性越差。

1.1.1.5 流体流动中的机械能

(1) 位能

流体在重力作用下,由于所居位置而具有的能量。 m 千克质量流体所具有的位能为 mgz 乘积(单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$, 即 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 J), 其中 g 为重力加速度, z 为流体所居的位置与基准面间的垂直高度(高出基准面为正,在基准面以下则为负)。

单位重量流体的位能为 $\frac{mgz}{mg} = z$, 单位 m 。

(2) 静压能

在静止的流体内部,任一点都有一定的静压力存在。流动着的流体内部,同样有一定的静压力存在。因此,流体在流动过程中,必将对流体做功以克服此静压力 p 的作用。静压力 p 对体积为 V 的流体所作的功为 pV , 该乘积称作静压能,也称压强能或压力能,单位 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 J 。

单位质量流体所具有的静压能为 $\frac{pV}{m} = \frac{p}{\rho}$, 单位 J/kg 。

单位重量流体所具有的静压能称作静压头,即 $\frac{pV}{mg} = \frac{p}{\rho g}$, 单位 m 。

(3) 动能

流体以一定的流速流动而具有的能量,称作动能。当质量为 m 的流体以速度 u 流动时,所具有的动能为 $\frac{1}{2}mu^2$ 。

单位质量流体的动能为 $\frac{1}{2}u^2$, 单位 J/kg 。

单位重量流体的动能为 $\frac{1}{2g}u^2$, 单位 m 。

1.1.1.6 流体流动的阻力损失

(1) 直管阻力损失和局部阻力损失

流体分子间黏性的存在、流道壁面粗糙不平 and 流道转弯、变径以及流道内存在阻挡物等,都会造成流体流动的机械能损失(用符号 h_f 表示)。

流体在直管中的机械能损失称为直管阻力损失;管件造成的机械能损失称为局部阻力损失。

在均匀直管中,单位重量流体的直管阻力损失 h_f 按下式计算:

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2g} \quad (\text{单位: m}) \quad (1-1)$$

式中, l 为直管长度, d 为直管的内径, λ 为摩擦系数。摩擦系数与流体的流速、黏度、管内壁粗糙度与内径的比值(称相对粗糙度)等有关,可查图或公式计算得到。

因管件种类繁多、规格不一,使局部阻力损失的精确计算比较困难。通常采用以下两种

近似方法。

① 近似地认为局部阻力损失服从平方定律

$$h_f = \xi \frac{u^2}{2g} \quad (1-2)$$

式中, ξ 为局部阻力系数, 由实验测定 (在有些工程书籍中已经制成可查的图表)。

② 近似地认为局部阻力损失可以相当于某个长度的直管, 即

$$h_f = \lambda \frac{l_e}{d} \frac{u^2}{2g} \quad (1-3)$$

式中, l_e 为管件的当量长度。

(2) 机械能守恒

① 不可压缩理想流体管流的机械能守恒 (伯努利方程)

理想流体: 理想流体的黏度为零, 在流动过程中不产生机械能损失。

定态流动: 流体在均匀直管内作定态流动时, 平均流速 $\bar{u}$ 沿程保持定值, 并不因摩擦而减速。

液体的可压缩性比气体小, 在一定的温度下 (低于液体的沸点) 对液体施压时, 其体积变化很小, 通常情况下把液体看成是不可压缩的。

不可压缩的理想流体在定态流动条件下, 从 A 点流到 B 点, 且在流动过程中不与外界进行能量交换, 则 A 点和 B 点的流体所具有的能量是相同的, 即流体的位能 + 静压能 + 动能 = 常数。

对于单位重量的不可压缩理想流体的定态流动, 可用伯努利方程来表示:

$$zg + \frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}u^2 = \text{常数} \quad (1-4)$$

② 不可压缩实际流体管流的机械能衡算

实际流体具有一定的黏性, 在流动过程中会产生机械能损失。

当不可压缩实际流体在定态流动条件下, 从 A 点流到 B 点, 且在流动过程中不与外界进行能量交换时, 机械能衡算式可写成:

$$z_A g + \frac{p_A}{\rho} + \frac{1}{2}\bar{u}_A^2 = z_B g + \frac{p_B}{\rho} + \frac{1}{2}\bar{u}_B^2 + h_f \quad (1-5)$$

式中, h_f 为流体从管道 A 截面流到 B 截面的阻力损失。

1.1.2 化工单元操作

1.1.2.1 流体和固体的输送

流体在位能和压强能的作用下, 通过设备之间连接的管路来输送, 且只能由高位能向低位能流动, 流动过程中将损失部分机械能。固体在设备内可以通过重力作用输送, 也可以通过传送带、料斗或转鼓等机械设备来输送。

(1) 液体的输送

在化工装置上, 液体通过流动实现从一台设备输送到另一台设备。常见的有: 相同压力设备间的液体流动、液体从压力高的设备向压力低的设备流动、液体增压后从压力低的设备向压力高的设备流动。

相同压力设备间的液体流动可以通过位差来实现, 如图 1-1 所示。当位差 ($z_1 - z_2$) 具有的位能够克服设备连接管道 1—2 间 (管道上可安装阀门) 的阻力损失 h_f 时, 液体就可以

从1点流向2点,最终使 z_1 与 z_2 达到相等。流体流动的动力主要是靠位差。

在 $z_2 \leq z_1$ 的情况下,如果图1-1中的液体需要从位置2流向位置1,则需要安装在管道上安装增压设备。

液体从压力高的设备向压力低的设备流动时同样要克服连接设备的管道、阀门等的阻力以及两设备液体位差所具有的位能。流体流动的动力主要是靠压差。

为了实现液体从压力低的设备向压力高的设备的流动,需要在两设备间给液体进行增压。化工装置上,给液体增压的常用设备有泵、喷射器等。图1-2表示包括输送机械在内的简单管路系统。增压所需的能量可由管路两端的机械能衡算求得。设 H 为输送单位重量(通常以单位重量流体作为计算基准)液体需要补加的能量(可通过泵送获得),则:

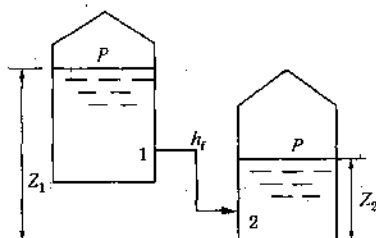


图1-1 液体通过位差的流动

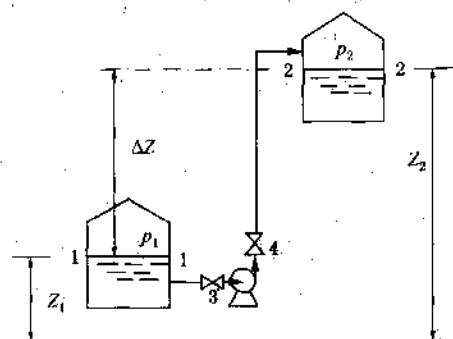


图1-2 液体输送系统简图

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} \bar{u}_1^2 + H = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} \bar{u}_2^2 + \sum h_f \quad (\text{单位:m}) \quad (1-6)$$

式中, $\sum h_f$ 为管路中直管、管件、阀门、输送机械等的阻力损失之和。

将式(1-6)移项可得:

$$H = (z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} (\bar{u}_2^2 - \bar{u}_1^2) + \sum h_f \quad (1-7)$$

在一般情况下,上式中的动能差 $\frac{1}{2g} (\bar{u}_2^2 - \bar{u}_1^2)$ 一项可以略去(因容器内液面处的流速非常小)。

阻力损失 $\sum h_f$ 视管路条件与管道中的流速 $\bar{u}$ 的大小而定,且 h_f 与流速的平方成正比。由于流速是随管径的不同而变化的,为计算方便,在计算 H 时通常用液体的流量 V 替换公式中的流速来计算阻力损失。则:

$$\sum h_f = KV^2 \quad (1-8)$$

式中,系数 K 数值由管路特性所决定,与管路的长度、管径、流速、流体的黏度、管壁粗糙程度等有关,当管内流动为湍流(又称为紊流,其主要特征是流道截面各点处存在径向的速度脉动,使得截面速度分布均匀)时, K 值是一个与流速或流量无关的常数,可以通过理论计算和实验数据计算得到。将式(1-8)代入式(1-7),并忽略动能差值:

$$H = (z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + KV^2 \quad (1-9)$$

此式称为管路特性方程。它表明管路中流体的流量与所需补加能量的关系。按管路特性方程绘制的曲线称为管路特性曲线(图1-3)。图中的A点为 $(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho g}$ 值。曲线的陡峭程度由系数K决定, K值越大则曲线越陡峭,

表明管路阻力损失越大。

(2) 气体的输送

① 气体的状态计算

气体是可压缩流体, 在压缩和膨胀过程中, 不仅气体的压力发生变化, 其体积和温度也随之变化。压力、体积、温度三者之间的关系可以通过气体的状态方程进行计算。

理想气体(假设气体分子不具有体积, 且分子间没有任何作用力)的温度 T 、压力 p 和体积 V 之间的关系可用下式表示:

$$pV = nRT \quad (1-10)$$

式中 n ——气体(可以是单质气体, 也可以是混合气体)的物质的量, 单位 mol (读作摩尔);

R ——通用气体常数, 与气体种类无关, 当 P 单位为 Pa、 V 单位为 m^3 、 T 单位为 K (开尔文温度, 等于摄氏温度值 $^{\circ}C + 273.15$) 时, $R = 8.314 J/mol \cdot K$ 。

尿素生产中的原料 CO_2 为双原子气体, 分子间存在相互作用力, 其行为与理想气体存在一定的偏差。为了表示真实气体与理想气体之间的偏差, 引入物理量压缩因子(用符号 Z 表示):

$$pV = ZnRT \quad (1-11)$$

当 $Z \neq 1$ 时, 就表明实际气体对理想气体有偏差, Z 的值等于相同温度、压力下实际气体与理想气体体积的比值, 即 $Z = \frac{V}{V_{理}}$ 。 Z 值可以通过实验得到。为解决真实气体的热力学性质计算问题, 已经使用了多参数状态方程来计算 Z 值。

② 气体的输送方式

工厂中常见的气体输送方式有加压输送、减压输送和真空抽吸。

为了将气体从压力低的容器输送到压力高的容器中, 在输送前必须对气体进行加压操作。气体的加压输送系统与图1-2所示的液体输送管路相似, 只是加压设备由泵改为压缩机或风机, 也可以用喷射泵做气体输送动力设备。

根据输送机械的构造和操作原理的不同, 气体的输送机械可分为往复式、离心式、旋转式和流体作用式(例如喷射器)等。根据输送设备出口压力或出口压力与进口压力之比(称压缩比)来分类, 则有以下4种:

- (1) 压缩机 压缩比在4以上, 或出口压力在0.3MPa(表压, 下同)以上。
- (2) 鼓风机 压缩比在4以下, 出口压力在0.015~0.3 MPa。
- (3) 通风机 压缩比为1~1.15, 出口压力不大于0.015MPa。
- (4) 真空泵 用于泵前设备内气体的减压, 出口压力为大气压。

目前, 尿素装置上应用的气体输送机械主要有往复式压缩机、螺杆式压缩机、离心式压

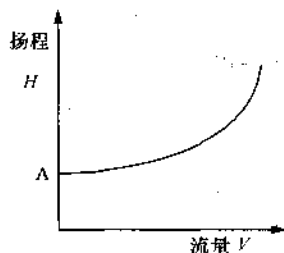


图1-3 管路特性曲线