



工业过程与设备丛书

SHUSONG

GUOCHENG YU SHEBEI

# 输送过程与设备

廖传华 周勇军 周玲 主编

中国石化出版社

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

- 54 周洪武, 气力输送系统的设计与应用. 化肥设计, 1998, 36(1): 21-24
- 55 王勇, 气力输送技术. 轻金属, 1994, 1: 15-20
- 56 周洪武, 气力输送工业气力输送系统. 气速度比的理论分析及应用. 木材工业, 1994, 1: 15-20

工业过程与设备丛书

# 输送过程与设备

廖传华 周勇军 周玲 主编

- 57 Han W. L., Zhang Z. N., Chai H. L., et al., Pipeline transport of large particles with Hyperconcentrated Flows Carrying Solid Particles. Science (China), 2002, 41(4): 337-341
- 58 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 59 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 60 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 61 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 62 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 63 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 64 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 65 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 66 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 67 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 68 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 69 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 70 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 71 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 72 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 73 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 74 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 75 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18
- 76 李洪望, 粗粒级伊洛浆体的管道水力输送研究. 水力发电, 2001, 27(1): 15-18

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书在简要介绍流体流动机理及特性的基础上,分别详细介绍了液体输送设备、气体输送设备和粉体输送设备的工作原理、结构组成、工作特性、用途及评价,并对两相流及固体输送过程进行了简要的阐述。

本书系统科学,通俗易懂,是一本具有实用价值的教材及技术参考书,适用于石油、化工、生物、制药、食品、医药、机械等专业的大专院校教师、研究生及高年级本科生,同时对工程技术人员、研究设计人员也会有所帮助。

### 图书在版编目(CIP)数据

输送过程与设备/廖传华,周勇军,周玲主编. —北京:  
中国石化出版社,2008  
(工业过程与设备丛书)  
ISBN 978-7-80229-519-3

I. 输… II. ①廖…②周…③周… III. ①化工过程-物  
料-输送②化工过程-物料-输送-化工设备 IV. TQ022

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 027949 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

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 21 印张 389 千字  
2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷  
定价:48.00 元

## 序

过程工业(Process industry, 也称流程工业)是以流程性物料为处理对象, 经过一系列的化学过程, 通过改变物质的状态、结构和性质, 生产出工业产品的工业过程的总称。过程工业的涵盖面很广, 包括化学工业、石油炼制、石油化工、天然气加工、污水处理、能源工业、冶金工业、建材水泥、核能工业、生物技术工业以及医药工业等, 其产品的种类已逾上万, 它包含了每个国家的大部分重工业, 是一个国家发展生产和改善人民生活的基础。

过程工业的最大特点是原料在生产过程中经过了许多化学变化和物理变化, 因此这类生产过程又称为工业化学过程。工业化学产品的多样性导致了化学加工过程的广泛性、多样性和复杂性。虽然不同过程工业所生产产品的工艺过程各不相同, 但都具有其共性: 一般来说, 一个工业化学产品的生产或加工过程大都可以划分为原料预处理、化学反应和产品后加工三个基本环节。

原料的预处理是化学反应前的准备工作。当使用气体(或液体)原料时, 预处理包括原料气的制备、净化和配制, 要求制得的原料具有一定的组成、浓度和纯度, 尽量少含杂质(特别是有害杂质)。当使用矿物原料时, 预处理包括选矿、配矿、粉碎、筛分, 有时还需用干燥或煅烧。原料矿粉应具备一定的组成(或品位)及一定的细度, 以利于化学反应。

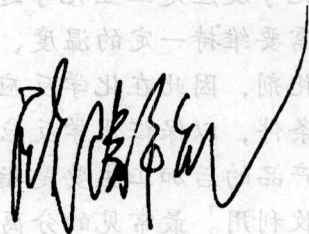
化学反应是工业化学过程的中心环节。为使反应进行得迅速、完全, 需要维持一定的温度、压力和流量等操作条件, 多数情况还要使用催化剂, 因此在化学反应过程中还要创造良好的传热、传质和流体流动条件, 以保证化学反应的顺利进行。

产品的后加工主要是指对产品的分离和提纯以及对未完全反应物的回收利用。最常见的分离方法有冷冻冷凝、精馏分离和结晶分离等。未完成反应物的回收利用常常采取循环作业。此外, 固体产品的造粒成型、干燥和包装也是产品后加工不可缺少的内容。

由此可以看出，按照工艺流程的要求，所有过程工业的生产过程均是“三传一反”不同形式的组合，都涉及到物料的输送、传热(加热或冷却)、热源的组织(燃烧)、反应、分离(或精制)等过程，因此，无论是从事学术研究还是生产过程与设备的操作管理等工作，都必须对相关的过程有一个全面的认识。另一方面，由于科学技术日新月异的发展，新技术、新设备、新流程的不断引进，设备逐步向大型化、单系列、自动化、智能化发展，客观上要求对相关设备的工作原理及运行过程中可能出现的故障有一个全面的了解，并能及时提出相应的防范与解决措施，避免造成经济损失甚至人员伤亡。与此同时，现代过程工业的不断发展与进步，对提高人类生活质量起着十分巨大的作用，但由于人们对生产过程机理及设备运行规律的认识不够深入，因此也带来了许多人类难以解决的问题，如工业生产带来的污染，即使投入大量的人力、物力也常常难以得到很好的解决。

为满足这种需要，南京工业大学和山东省科学院等合作，联合编写了这套实践性很强的《工业过程与设备丛书》(包括《反应过程与设备》、《输送过程与设备》、《传热过程与设备》、《燃烧过程与设备》、《分离过程与设备》及《设备检修与维护》)。这套丛书涵盖了工艺过程与设备两个平台，除详细的理论阐述外，还列举了大量的工业应用实例，力求使读者对目前过程工业中涉及的相关过程及所应用的设备有一个较为全面的了解，能进一步做好自己所从事的工作。对于从事相关过程的工程设计、生产操作和企业管理人员，以及大专院校的师生，都将是十分有益的。

南京工业大学校长  
中国工程院院士





# 前 言

工业过程所涉及的原料和生产的品种多种多样，根据其形态可分为气态物料、液态物料和固态物料。物料输送机械是过程工业中最常见的设备，人们常将其比喻为过程工业生产系统的“心脏”。过程工业生产中输送物料的物性和操作条件有很大的差异，有时甚至会涉及到多相流体的输送。为满足不同的输送需要，生产厂家研究了多种结构与特性各异的输送机械。总体来说，输送机械可分为液体输送机械（统称泵）、气体输送机械（如通风机、压缩机、真空泵等）和固体输送机械（如斗式提升机、带式输送机等）。

《输送过程与设备》的主要目的是针对过程工业生产系统中所需的原料及产品的物态、工艺条件等要求，研究不同物料的输送过程及对所用设备的要求。本书除理论阐述外，还列举了许多工业应用实例，具有很强的实践性，力求使读者能通过本书的学习，对目前过程工业中涉及的输送过程及所应用的输送设备有一个概括性的了解。

本书由南京工业大学廖传华、周勇军和南京凯盛水泥工业设计研究院周玲主编。参加编写工作的还有：南京工业大学黄振仁、朱廷凤、李磊。全书由廖传华统稿。

本书的编写得到了南京工业大学朱跃钊副校长和南京工业大学机械与动力工程学院的大力支持，在此深表感谢。在编写过程中参考了大量的相关资料，但书中没有一一列出，在此谨对原文作者致以衷心的感谢。另外，周青云、董宝君、徐吉富等同学做了大量的文字录入工作，南京朗润机电进出口公司朱海舟提供了大量图片资料，在此一并表示感谢。中国石化出版社的白素萍编辑为本书的顺利出版做了大量的工作，在此谨表衷心的感谢。

由于时间仓促，水平所限，错误之处难以避免，敬请读者批评指正。

编者

# 目 录

第1章 绪论	( 1 )
1.1 工业化学过程的特征	( 1 )
1.2 工业化学过程的原料及产品	( 2 )
1.2.1 无机产品及原料	( 2 )
1.2.2 有机产品及原料	( 3 )
1.3 工业化学过程对输送设备的要求	( 4 )
第2章 流体流动	( 6 )
2.1 流体的有关性质	( 6 )
2.1.1 流体的密度	( 6 )
2.1.2 流体的压力	( 9 )
2.2 流体静力学基本方程与应用	( 11 )
2.2.1 流体静力学基本方程	( 11 )
2.2.2 流体静力学基本方程的应用	( 12 )
2.3 流体动力学	( 14 )
2.3.1 流量与流速	( 14 )
2.3.2 稳定流动与不稳定流动	( 15 )
2.3.3 流体流动的物质衡算——连续性方程	( 16 )
2.3.4 流体流动的能量衡算——柏努利方程	( 17 )
2.4 流体在管内流动时的阻力	( 25 )
2.4.1 牛顿黏性定律与黏度	( 25 )
2.4.2 流体的流动类型	( 28 )
2.4.3 流体的流动阻力	( 31 )
2.4.4 管路计算	( 38 )
2.4.5 管道直径的确定	( 41 )
2.5 流速与流量的测量	( 43 )
2.5.1 测速管	( 43 )
2.5.2 孔板流量计	( 43 )
2.5.3 转子流量计	( 45 )

<b>第3章 液体输送设备</b> .....	( 47 )
3.1 概述 .....	( 47 )
3.1.1 过程工业用泵的要求 .....	( 47 )
3.1.2 泵的分类 .....	( 48 )
3.2 离心泵 .....	( 49 )
3.2.1 离心泵的工作原理和特性 .....	( 49 )
3.2.2 离心泵主要部件的结构与作用 .....	( 56 )
3.3 其他形式泵 .....	( 65 )
3.3.1 往复泵的特性与类型 .....	( 65 )
3.3.2 其他泵的特性与类型 .....	( 69 )
<b>第4章 往复式压缩机</b> .....	( 75 )
4.1 概述 .....	( 75 )
4.1.1 工作原理 .....	( 75 )
4.1.2 适用范围 .....	( 76 )
4.1.3 分类及特性 .....	( 78 )
4.1.4 发展情况 .....	( 82 )
4.2 结构 .....	( 83 )
4.2.1 机体 .....	( 83 )
4.2.2 曲轴 .....	( 85 )
4.2.3 连杆 .....	( 91 )
4.2.4 十字头 .....	( 96 )
4.2.5 轴承 .....	( 100 )
4.2.6 气缸(套) .....	( 102 )
4.2.7 活塞及活塞环 .....	( 111 )
4.2.8 气阀 .....	( 119 )
4.2.9 活塞杆及填料 .....	( 126 )
4.2.10 附件 .....	( 130 )
4.2.11 润滑系统及润滑油(脂) .....	( 135 )
<b>第5章 离心式压缩机</b> .....	( 138 )
5.1 概述 .....	( 138 )
5.1.1 离心式压缩机的基本组成 .....	( 138 )
5.1.2 离心式压缩机的分类 .....	( 139 )
5.2 离心式压缩机的基础理论 .....	( 139 )
5.2.1 压缩机的常用气体性质 .....	( 139 )



5.2.2	压缩机级中的气体流动	(141)
5.2.3	功与压力升高、柏努利方程式	(144)
5.2.4	压缩机中压缩过程和压缩功	(145)
5.2.5	压缩机的级效率	(147)
5.2.6	压缩机的内功、内功率和轴功率	(149)
5.2.7	进气室	(150)
5.2.8	叶轮	(152)
5.2.9	扩压器	(156)
5.2.10	弯道、回流器	(159)
5.2.11	排气室	(160)
5.3	离心式压缩机主要部件的结构特点	(161)
5.3.1	气缸和隔板	(161)
5.3.2	离心式压缩机转子	(164)
5.3.3	离心式压缩机叶轮	(166)
5.3.4	轴向力及其平衡装置	(168)
5.4	离心式压缩机密封的结构	(170)
5.4.1	迷宫型密封	(170)
5.4.2	浮环密封	(172)
5.4.3	机械接触式密封	(175)
5.4.4	干气密封	(177)
5.5	离心式压缩机轴承的结构	(179)
5.5.1	动压轴承工作原理	(179)
5.5.2	支持轴承	(180)
5.5.3	止推轴承	(182)
<b>第6章 风机</b>		(184)
6.1	概述	(184)
6.1.1	风机的组成	(184)
6.1.2	型式分类	(185)
6.1.3	性能用途	(186)
6.2	离心式鼓风机	(187)
6.2.1	离心式鼓风机工作原理	(187)
6.2.2	离心式鼓风机结构特点	(187)
6.3	离心式通风机	(189)
6.3.1	离心式通风机工作原理	(189)

(11) 6.3.2 离心式通风机结构特点 .....	(189)
(6.4) 轴流式通风机 .....	(191)
(2) 6.4.1 轴流式通风机工作原理 .....	(191)
(7) 6.4.2 轴流式通风机结构特点 .....	(192)
(6.5) 罗茨鼓风机 .....	(193)
(07) 6.5.1 罗茨鼓风机工作原理 .....	(193)
(52) 6.5.2 罗茨鼓风机分类 .....	(194)
(28) 6.5.3 罗茨鼓风机结构特点 .....	(194)
<b>第7章 粉体输送设备</b> .....	(195)
(7.1) 胶带输送机 .....	(195)
(10) 7.1.1 胶带输送机的构造 .....	(195)
(16) 7.1.2 胶带输送机的应用 .....	(208)
(40) 7.1.3 胶带输送机的选型计算 .....	(210)
(20) 7.1.4 计算示例 .....	(218)
(7.2) 螺旋输送机 .....	(221)
(01) 7.2.1 螺旋输送机的构造 .....	(221)
(05) 7.2.2 螺旋输送机的应用 .....	(224)
(25) 7.2.3 螺旋输送机的选型计算 .....	(225)
(25) 7.2.4 螺旋输送机选型计算示例 .....	(228)
(7.3) 斗式提升机 .....	(229)
(05) 7.3.1 斗式提升机的构造 .....	(229)
(05) 7.3.2 斗式提升机的应用 .....	(233)
(08) 7.3.3 斗式提升机的装载和卸载方式 .....	(234)
(58) 7.3.4 斗式提升机的选型计算 .....	(236)
(7.4) 链板输送机 .....	(237)
(48) 7.4.1 板式输送机 .....	(237)
(48) 7.4.2 刮板输送机 .....	(238)
(28) 7.4.3 埋刮板输送机 .....	(239)
(68) 7.4.4 FU链式输送机 .....	(241)
<b>第8章 两相流与固体流化输送</b> .....	(244)
(8.1) 两相流的基本性质 .....	(244)
(18) 8.1.1 两相流的浓度 .....	(244)
(08) 8.1.2 两相流的密度 .....	(246)
(08) 8.1.3 两相流的粘度 .....	(246)

8.1.4	两相流的比热容和热导率 .....	(246)
8.2	颗粒在流体中的运动 .....	(247)
8.2.1	颗粒的受力 .....	(247)
8.2.2	颗粒在流体中的运动 .....	(249)
8.2.3	颗粒在流体中的运动方程 .....	(250)
8.3	固体流态化 .....	(250)
8.3.1	基本概念 .....	(251)
8.3.2	流体阻力 .....	(253)
8.3.3	流化床的操作范围 .....	(258)
8.4	气力输送 .....	(260)
8.4.1	气力输送系统与装置的类型 .....	(261)
8.4.2	空气输送斜槽 .....	(264)
8.4.3	螺旋式气力输送泵 .....	(267)
8.4.4	仓式气力输送泵 .....	(269)
8.4.5	气力提升泵 .....	(272)
8.4.6	气力输送系统的主要参数 .....	(274)
8.4.7	固体颗粒在水平管内的稀相输送 .....	(275)
8.4.8	垂直管中稀相输送时的最低气速(噎塞速度) .....	(277)
8.4.9	倾斜管中的最低气速 .....	(278)
8.4.10	稀相气力输送的压强降 .....	(278)
8.4.11	气力输送系统的优化设计 .....	(281)
8.4.12	气力输送系统技术和部件的新进展 .....	(292)
8.5	水力输送 .....	(298)
8.5.1	基本原理与颗粒的受力分析 .....	(299)
8.5.2	输送管道内固体颗粒的运动 .....	(300)
8.5.3	水力输送前后的处理 .....	(304)
8.5.4	水力输送过程中的各种问题 .....	(307)
8.5.5	水力输送管道的压力损失 .....	(307)
8.5.6	水力输送中的管道磨损 .....	(309)
8.5.7	物料水力输送管材 .....	(314)
8.5.8	管道的液击 .....	(320)
参考文献	.....	(321)

# 第1章 绪论

## 1.1 工业化学过程的特征

过程工业(Process industry)也称流程工业,它们由一系列单元操作设备通过管道组合成复杂系统,原料通过一定工艺流程,最终输出产品,它们具有连续运行的特征和工艺、设备、控制、操作、管理等多方面的共同规律,也有易燃、易爆、有毒和易发生事故的工业系统。过程工业包括化学工业、石油炼制、石油化工、天然气加工、污水处理、能源工业、冶金工业、建材水泥、核能工业、生物技术工业以及医药工业等,其产品的种类已逾上万,它包含了每个国家的大部分重工业,是一个国家发展生产和增强国防力量的基础。发展这类工业,需要应用现代化技术和大量投资。

过程工业的最大特点是原料中的物质在生产过程中经过了许多化学变化和物理变化,因此这类生产过程又称为工业化学过程。在国民经济的各个部门中,工业化学过程得到了广泛应用,工业化学产品遍及工农业生产的各个部门和人民生产生活中的各个领域,诸如现代化农业需要的化学肥料、农药、杀虫剂、除莠剂、饲料添加剂和兽药等都是工业化学产品。工业部门中除了化学工业及石油化学工业本身需要的化工原料、催化剂及其他化学品以外,矿山及油田开采需要的炸药、浮选剂和油井化学处理剂;冶金和机械工业需用要的助熔剂、浸取剂、酸洗剂和表面处理剂;石油炼制需要的氢气、酸、碱和催化剂;以及食品加工工业需用要的冷冻剂和防腐添加剂等,都是工业化学产品。此外,许多日常生活用品,如化妆品、药品、肥皂、牙膏、洗涤剂、消毒剂等也都属于工业化学产品。可以说,在当今世界上人民生产生活的各个方面——衣、食、住、行、卫生、通讯、娱乐和安全等都离不开工业化学产品。

工业化学产品的多样性导致化学加工过程的广泛性、多样性和复杂性。虽然不同过程工业所生产产品的工艺过程各不相同,但只需稍加分析就可以看出它们的共性:一般来说,一个工业化学产品的生产或加工过程大都可以划分为原料预处理、化学反应和产品后加工三个步骤或三个基本环节。

原料的预处理是化学反应前的准备工作。当使用气体(或液体)原料时,预处理包括原料气的制备、净化和配制,要求制得的原料具有一定的组成、浓度和纯度,尽量少含杂质(特别是有毒杂质)。当使用矿物原料时,预处理包括选矿、



配矿、粉碎、筛分,有时还需干燥或煅烧。原料矿粉应具备一定的组成(或品位)及一定的细度,以利于化学反应。

化学反应是工业化学过程的中心环节。为使反应进行得迅速、完全,需要维持一定的温度、压力和流量,多数情况还要使用催化剂。因此在化学反应过程中还要创造良好的传热、传质和流体流动条件,以保证化学反应的顺利进行。

产品的后加工主要是指对产品的分离和提纯以及对未反应物的回收利用。最常见的分离方法有冷冻冷凝、精馏分离和结晶分离等。未反应物的回收利用常常采取循环作业。此外,固体产品的造粒成型、干燥和包装也是产品后加工不可缺少的内容。

## 1.2 工业化学过程的原料及产品

工业化学过程的原料及产品种类繁多,特别是化工产品品种成千上万。以石油和天然气为原料生产的各种石油化学品不仅种类很多,而且具有自身的特点,已经形成了一大类重要的化学产品。与此同时,以高技术、深加工、小批量生产的具有特殊功能的精细化工产品也以其种类繁多、性能特殊而独立形成一类化工产品。根据当今世界过程工业生产发展的现状和趋势,可将各种工业化学产品分为无机产品和有机产品两大类。

### 1.2.1 无机产品及原料

主要指传统的基本化工产品,主要包括“三酸”(硫酸、硝酸和盐酸)、“两碱”(纯碱和烧碱)、无机肥料(氮、磷、钾肥)、无机盐和无机非金属材料(水泥、陶瓷)等许多化工产品。其基本特征是以无机矿物作为原料,生产的产品也均为无机物。

矿物原料是许多基本化工产品生产的专用原料,例如,硫酸生产必须使用硫或硫铁矿;磷肥生产离不开磷灰石;钾肥生产要用钾矿;纯碱生产需用盐或盐卤和石灰石;水泥生产需要石灰石。矿物原料品种多,质量和品位各不相同,工业使用之前一般都要进行试验研究,以寻求最恰当的加工路线和最适宜的操作条件。在开发利用某种矿物原料主要成分的同时,应注意综合利用其他成分,并避免污染环境的废料产生。对于一些品位不高的矿物原料,可采用选矿(富集)或配矿(调配)等原料预处理手段来提高品位,使原料得到充分利用。

自然界中蕴藏着大量的含盐水,它包括盐井卤水、盐湖水、油(气)井水和海水,其中含有一定量的氯化钠及其他无机盐类,是制取无机盐产品的天然



原料。

## 1.2.2 有机产品及原料

有机产品及原料又可分为石油化工产品、基本有机化工产品和精细化工产品三大类。

### (1) 石油化工产品及原料

凡是全部或部分以原油(液体石油)或天然气为原料,经过转化反应而制得的新化合物或元素,都可以称为石油化学品。工业上用的石油化工原料主要是天然气、炼油气(或炼厂气)以及液体石油三大类。

石油化学制品从原料开始到最终产品,通常需要经过几个大的阶段,过程中生成一些中间产品,而前一阶段的产品往往就是下一阶段加工的原料。例如,从直馏油分重整制得的芳烃,可以在下一阶段制成己内酰胺,后者又可最终加工为锦纶(尼龙)制品(聚酰胺纤维)。

### (2) 基本有机化工产品及原料

在这些产品中,仍有很多是以天然气或石油为原料,所以它们也属于石油化工产品。

在20世纪初,基本有机化工产品的原料主要是煤。煤通过干馏(或炼焦)生成焦炉气、煤焦油和焦炭,焦炉气和煤焦油中的有机物就是有机化工产品的主要原料。后来,利用煤和石灰制得了电石,由电石可生产乙炔,以乙炔为原料可制造出有关的有机化工产品。与此同时,煤和焦炉气制得含一氧化碳和氢的合成气也是当时有机化工产品的重要原料。由于用石油化工原料生产的有机化工产品品种多,成本低,所以它们逐渐取代了煤焦而大量用于制造有机化工产品。到目前为止,绝大多数有机化工产品都是从石油或天然气制得,因此它们也属于石油化工产品。

煤、空气和水是重要的基本化工原料。除了空气和水以外,煤在自然界中蕴藏量十分丰富。以煤为原料,除了可以制得众多的基本化工产品以外,还可以制得石油化工生产中难以得到的萘、苯酚、喹啉、咪唑等化学产品。由于煤炭资源丰富、用途广泛,所以有人预言,随着石油和天然气的大量消耗,将会出现对煤炭资源充分利用的“第二个黄金时代”。

一些农副产品,如稻秆、麦秆、甘蔗渣、向日葵和桐子壳等,含有纤维素、半纤维素和钾盐,纤维素是多缩己糖,水解可得到单糖,单糖发酵可制得酒精。半纤维素中的多缩戊糖脱水后可转化为糠醛,后者是有机化工重要原料之一,可用于生产树脂和纤维等化工产品。农副产品中的钾盐主要为碳酸钾、氯化钾和硫酸钾,是提取钾盐的理想原料。

### (3) 精细化工产品

精细化工产品的生产是以基本化工原料、有机合成材料和高分子材料为基础,做进一步的深加工,以制得具有某些特殊性能或专门功能的化学品。精细化工产品具有品种多、产量小、纯度高、加工技术特殊、商品性强、更新快等特点,在国民经济各部门和人民物质文化生产中得到广泛的应用。

除此之外,工业上的“三废”(废气、废液和废渣)大都可以回收利用,例如,某些工业废气(包括烟气)含有硫化物,可以作为生产硫酸和硫酸盐的原料;酸洗金属排出的废酸含有大量的硫酸和硫酸亚铁,可以用来提取硫酸亚铁或用于分解磷灰石制磷肥;焙烧硫铁矿排出的废渣含铁的氧化物,可用以炼铁。工业废料的利用不仅可以变废为宝,扩大原料来源,而且还可以消除工业污染,保护环境,具有重大的经济效益和社会效益。

## 1.3 工业化学过程对输送设备的要求

工业化学过程所涉及的原料和生产的产物多种多样,根据其形态可分为气态物料、液态物料和固态物料。物料输送机械是工业化学过程中最常见的设备,人们常将其比喻为过程工业生产系统的“心脏”。物料输送机械在生产系统中的作用主要有以下三个方面:

(1) 为生产系统提供所需的原料

如前所述,工业化学过程的特点是以化学反应为中心,用化学方法和化学-物理方法对原料进行加工处理,通过物理变化和化学反应来制得化学产品、化工原料或其他化学加工产品。所以,任何工业化学过程的发生都必须有特定的原料。物料输送机械的第一个作用就是为生产系统提供所需原料。

(2) 为流体提供动力,以满足输送要求

在生产过程中,往往需要按工艺的要求,将流体从一个设备送至另一个设备,从一个工序送到另一个工序,从低处送往高处,从低压设备送往高压设备。这就必须使用各种流体输送机械从外部对流体做功,以增加流体的机械能,从而满足流体的输送要求。

(3) 为工艺过程创造必要的压力条件

根据过程工业生产的特点,某些过程必须在高压条件下进行(如合成氨生产系统等),某些过程必须在真空状态下进行(如减压精馏系统等),而高压或真空状态往往是通过流体输送机械(如压缩机、真空泵等)来实现的。

过程工业生产中被输送物料的性质和操作条件有很大的差异,有时甚至会涉及多相流体的输送。为满足不同的输送需要,生产厂家研究了多种结构与特性各

异的输送机械。总体来说，输送机械可分为液体输送机械（统称泵）、气体输送机械（如通风机、压缩机、真空泵等）和固体输送机械（如斗式提升机、带式输送机）。

本书的主要目的是针对过程工业生产系统中所需的原料及产品的物态、工艺条件等要求，根据不同物料的输送过程及对所用设备的要求，分别介绍气体、液体与固体的输送过程及相应设备的功能与结构特点，为满足现代过程工业生产中的选型需要奠定基础。

## 2.1 输送机械的概述

输送机械是过程工业中应用最广泛、品种最多的机械之一。它的作用是将物料从一处运送到另一处。物料可以是固体、液体或气体。输送机械的种类繁多，如带式输送机、斗式提升机、螺旋输送机、离心泵、轴流泵、离心风机、轴流风机、真空泵等。在选择输送机械时，应根据物料的性质、输送距离、输送量、输送速度、输送高度、输送环境等因素进行综合考虑。

### 2.1.1 输送机械的流量

单位时间内通过输送机械的物料量称为流量。

(1-1)

$$q = \frac{m}{t}$$

式中： $q$ ——流量， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ ；  
 $m$ ——物料量， $\text{kg}$ ；  
 $t$ ——时间， $\text{m}$ 。

流量是输送机械的重要性能指标之一。在实际应用中，流量会受到物料性质、输送距离、输送速度、输送高度、输送环境等因素的影响。因此，在选择输送机械时，应根据物料的性质、输送距离、输送量、输送速度、输送高度、输送环境等因素进行综合考虑。

(2-2)

$$q = \frac{m}{t}$$

流量是输送机械的重要性能指标之一。在实际应用中，流量会受到物料性质、输送距离、输送速度、输送高度、输送环境等因素的影响。因此，在选择输送机械时，应根据物料的性质、输送距离、输送量、输送速度、输送高度、输送环境等因素进行综合考虑。

(3-3)

$$q = 10001$$

## 第2章 流体流动

流体是气体与液体的总称。在现代过程工业生产中，常需将流体从一处通过管路输送至另一处。流体的流动是按一定的规律进行的。

### 2.1 流体的有关性质

流体的流动一般指流体受外力作用而引起的宏观运动。在研究流体流动时，可以把流体视作无数贴紧的分子集团所组成的连续物质，也就是说流体所占据的空间全部为这种物质充满。把流体视为连续物质的目的在于，可以把无数流体质点的运动所组成的流动视为流体整体的宏观运动，而研究宏观的流体流动的规律，对于过程工业有着更为重要的意义。

为研究这种规律，需要先介绍流体的几个性质。

#### 2.1.1 流体的密度

单位体积流体的质量称为流体的密度。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中  $\rho$ ——流体的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$m$ ——流体的质量， $\text{kg}$ ；

$V$ ——流体的体积， $\text{m}^3$ 。

不同流体的  $\rho$  的数值，通常可在有关手册中查得。

流体的密度随其温度和压力的变化而变化。因液体为不可压缩流体，故压力对液体的密度影响很小，可忽略不计。

一些书中常出现比重，在法定计量单位中该量的名称为相对密度一词，它是指液体的密度与纯水在  $4^\circ\text{C}$  时的密度的比值。相对密度以符号  $d$  表示，即

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{水}}} \quad (2-2)$$

相对密度是没有单位的。纯水在  $4^\circ\text{C}$  时，其密度为  $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ，故液体的密度与相对密度在数量上的关系可表示为：

$$\rho = 1000d \quad (2-3)$$