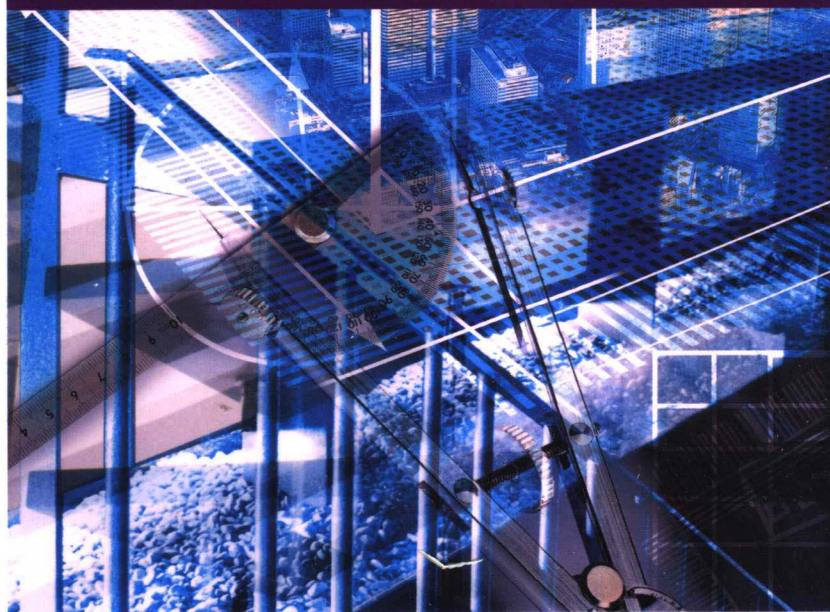


高等学校教材

工业生产与污染控制

曾抗美 李正山 魏文韞 主编



Chemical Industry Press



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

工业生产与污染控制

曾抗美 李正山 魏文韞 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

工业生产与污染控制/曾抗美, 李正山, 魏文韞主编.
北京: 化学工业出版社, 2005.5
高等学校教材
ISBN 7-5025-5907-8

I. 工… II. ①曾…②李…③魏… III. 工业生产-污染
控制-高等学校-教材 IV. X7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 050547 号

高等学校教材

工业生产与污染控制

曾抗美 李正山 魏文韞 主编

责任编辑: 王文峡、满悦芝

文字编辑: 刘莉珊

责任校对: 李 林

封面设计: 潘 峰

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{1}{4}$ 字数 459 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5907-8

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

工业革命在人类发展的历史中起到了重要的作用，带来了经济与社会的巨大进步。同时，工业生产规模的不断扩大，也带来了严重的环境污染和生态破坏。触目惊心的环境问题促使人们追寻问题的根源，寻找能够推动工业与社会持续发展的途径。

循着工业发展与污染产生的轨迹可以看到，严重的污染总是同落后的工艺、落后的设备、落后的管理联系在一起的，总是同资源的浪费和低下的社会投入产出比联系在一起的。因此，控制污染的产生必须同生产过程结合，这是时代发展向人们提出的新要求。从这个意义上讲，不具备工业生产过程基础知识的环境工程师，是不能胜任工业污染控制任务的；而不具备污染产生与控制知识的专业工程师，是不能适应工业发展要求的。

本书选择与国民经济发展和环境保护关系密切的工业行业（如矿产资源开发、化工、轻工、冶金、电子、建材、能源等）中的典型产品为代表，介绍了其生产原理、工艺流程、污染物的产生与处理等内容，并力求反映生产与污染控制中的最新成果与发展动向。我们希望本书的出版能达到以下目的。

（1）帮助环境工程、环境科学及其他环境类专业的学生掌握基本的工业生产知识，使他们能在制定和实施污染控制方案时，与生产过程有机结合，并能从环境保护的角度，参与产品的设计、生产与管理。

（2）帮助具有理工科背景的非环境类学生掌握污染物产生与控制的基础知识，使他们能在产品的设计、生产与管理过程中，融入环境保护的理念，使我国工业生产逐步走上可持续发展的道路。

参加本书编写的有：李正山（第1章第1节、第4章）、董海山（西南交通大学）（第1章第2节、第3章第4节、第6章第3节）、刘勇军（第2章第1节、第6章第1、2节）、魏文韞（第2章第2、3节）、曾抗美（第3章第1、2、3节、第5章），由曾抗美、李正山进行统稿。

“工业生产与污染控制概论”课程在四川大学环境类专业开设了十余年，期间许多前辈与同仁们对该课程的建设做出了贡献，在此表示衷心的感谢。

书中涉及的每一个行业都是一个复杂的系统，所涉及的每一产品的生产与产生的污染的控制都是一个复杂的过程，限于篇幅和编著者水平，本书难免在材料的取舍、组织、编写等方面存在缺点与错误，恳请读者批评指正。

编 者
2005年4月

目 录

1 矿产资源开发及污染控制	1	3.2 造纸	106
1.1 矿山工业	1	3.2.1 造纸工艺及污染状况	106
1.1.1 矿产资源	1	3.2.2 制浆造纸废液的综合利用	117
1.1.2 金属及其分类	2	3.2.3 制浆造纸污染控制	118
1.1.3 采矿	3	3.3 制革工业与污染控制	122
1.1.4 选矿	4	3.3.1 制革工业生产基本工艺流程	123
1.1.5 矿山工业污染	6	3.3.2 制革工业污染控制	138
1.2 石油开采过程与污染控制	8	3.4 啤酒工业与污染控制	148
1.2.1 石油开采过程概述	8	3.4.1 啤酒工业概述	148
1.2.2 油田开采工艺	8	3.4.2 啤酒生产工艺与污染控制	148
1.2.3 钻井废水特点	12	3.4.3 生产废水的处理与利用	155
1.2.4 油田废水处理	16	3.4.4 啤酒生产固体废物处理与处置	158
思考题	19	3.4.5 生产废气的处理	159
参考文献	19	思考题	159
2 化工生产与污染控制	20	参考文献	160
2.1 无机化工	20	4 冶金工业生产及污染治理	162
2.1.1 硫酸工业生产与污染控制	20	4.1 铁冶金	162
2.1.2 合成氨工业	32	4.1.1 概论	162
2.2 有机化工	44	4.1.2 炼铁原料	162
2.2.1 有机化工概述	44	4.1.3 炼铁原理	164
2.2.2 有机化工与环境保护	44	4.1.4 高炉炼铁过程	165
2.2.3 乙烯的生产与污染控制	45	4.1.5 主要产物及指标	166
2.2.4 丙烯腈生产及污染控制	61	4.2 炼钢	167
2.3 精细化工	68	4.2.1 概论	167
2.3.1 精细化工概述	68	4.2.2 炼钢原理	167
2.3.2 精细化工与环境保护	69	4.2.3 炼钢方法	168
2.3.3 表面活性剂的生产与污染控制	70	4.2.4 炼钢产品及指标	170
2.3.4 农药生产与污染控制	78	4.3 铜冶金	171
2.3.5 染料生产与污染控制	86	4.3.1 概述	171
思考题	91	4.3.2 火法炼铜	172
参考文献	91	4.3.3 湿法炼铜	174
3 轻工业与污染控制	93	4.4 铝冶金	175
3.1 纺织印染工业及污染控制	93	4.4.1 概述	175
3.1.1 棉纺织印染工艺与废水的产生	93	4.4.2 氧化铝生产	176
3.1.2 毛纺织品生产工艺与废水的 产生	98	4.4.3 金属铝生产	178
3.1.3 丝绸生产工艺与废水的产生	99	4.5 冶金工业污染及防治	179
3.1.4 其他纺织业及污染的产生	101	4.5.1 冶金工业污染	179
3.1.5 纺织印染工业污染控制	101	4.5.2 冶金工业固体废物处理	181
		4.5.3 冶金工业废水处理	183

4.5.4 冶金工业废气处理	184
思考题	184
参考文献	184
5 电子工业与污染控制	186
5.1 半导体集成电路生产与污染控制	186
5.1.1 半导体集成电路板的生产过程	186
5.1.2 芯片加工工艺	188
5.1.3 砷化镓集成电路工艺	196
5.2 电子电路表面组装与环境污染	198
5.2.1 表面组装技术与表面组装工艺	198
5.2.2 SMT 组装工艺材料	199
5.2.3 表面组装组件清洗工艺	205
5.2.4 表面组装印制板	209
5.3 电子工业污染控制	214
5.3.1 电子工业污染	214
5.3.2 印制电路板生产废水的处理	215
5.3.3 电子废弃物的处理与资源化	215

思考题	226
参考文献	226
6 其他工业与污染控制	228
6.1 建材工业及污染控制	228
6.1.1 水泥的生产过程	228
6.1.2 水泥生产污染物及控制	235
6.2 能源工业生产及污染	238
6.2.1 火力发电厂的生产原理	238
6.2.2 火力发电厂的生产过程	239
6.2.3 火力发电厂的主要污染及治理 方法	241
6.3 电镀及污染控制	247
6.3.1 电镀概述	247
6.3.2 电镀工艺过程	248
6.3.3 电镀过程污染产生及控制	250
思考题	259
参考文献	260

1 矿产资源开发及污染控制

本章学习要点

- (1) 学习和掌握本章基本概念,了解有关矿物、石油等资源开发及清洁生产的概况和发展动态。
- (2) 学习和掌握采矿、选矿、石油开采基本原理、方法、原则及工艺流程。
- (3) 学习和了解矿山工业、石油开采生产的主要污染源及其主要污染、特点和危害。
- (4) 学习和了解有关矿山工业、石油开采的废水、废气和固体废物的处理和资源化的基本方法。

矿产资源是自然资源的重要组成部分,是人类生存、可持续发展必需和最重要的物质基础之一,是大自然赐给人类的极其宝贵的财富。随着国民经济的快速发展,必然伴随着金属矿物、石油和煤炭资源的大量开发和利用,也就必然会产生一系列相应的环境污染问题。矿产资源开发利用的总趋势是矿产资源品种不断扩大、品位或品质越来越低、开发量和消耗量日益增大、而储量却越来越少。

因此,不断提高生产技术,采取切实措施提高清洁生产和资源综合利用水平,保护和合理利用,实现开源节流、防治污染,使资源得到永续开发和利用,仍然是人们今后长期的重要任务。

1.1 矿山工业

1.1.1 矿产资源

矿产资源是指经过漫长的地质年代,在地壳中形成的可供人类利用的自然原料。矿产资源包括金属矿产资源、非金属矿产资源和可燃性矿产资源。

矿产资源是自然资源的一部分,有两方面的含义:一是其时间性,即矿产资源的概念不是永远不变的,它随着人们对自然认识的加深、生产技术水平的提高和国民经济发展的需要而不断扩大和变化;其次是其技术经济性,即在技术经济上具有开采利用价值。有些矿物或者岩石,即使在目前的技术经济条件下,暂时还不能被人类利用,但也有可能在将来成为人类的重要资源。

矿产资源的一个重要特点就是基本不能再生,属于不可再生的自然资源。随着人类对矿产资源的不断开发和消耗,矿产资源会越来越少,直至枯竭。因此,适当保护和合理开发利用矿产资源,是整个矿山工业必须面对的重要课题。要科学地、合理地开发利用矿产资源,就必须开源节流、坚持清洁生产,坚持走可持续发展的道路。

首先必须要进行强化管理,减少人为浪费和损失;其次是加强地质矿产的调查研究,开发新矿区、新矿种,向深部找矿、向海洋找矿、向边陲找矿;再次是研究矿物组分及其赋存状态、嵌布关系,采用先进的采矿和选矿技术,提高矿产资源的采收率和回收率,同时发展冶金新技术、新方法,特别是新矿、贫矿、难处理矿的冶炼新技术、新方法,提高矿产资源的综合利用率、经济效益和环境效益。

我国是世界上矿产资源最丰富、矿物种类最多的国家之一。我国95%的能源和85%的原材料来源于矿产资源。传统能源主要是指化石燃料,如石油、天然气、煤等矿产资源。我国是一个以煤为主要能源的国家,燃煤占总能源的70%以上。因此,金属矿产资源、石油资源和煤炭资源是矿产资源的最重要组成部分。

金属矿产资源是金属矿物的总称，是冶金工业的基本原料。矿物是指地壳中具有固定化学组成和物理性质的天然化合物或自然元素。能被人类利用的矿物叫有用矿物，而其他矿物则称为无用矿物，即脉石杂质。在自然界已探明的矿物有 3000 多种，能够被工业、农业利用的矿物有 200 余种。在现有技术和经济条件下，能够开采利用的有用矿物及无用矿物的集合体叫作矿石（常见矿石、矿物见表 1.1）。在地质过程作用下，矿物积聚于地壳中的某些地段或部位，并达到一定规模和具有开采价值的区域就称为矿带或矿床。

表 1.1 部分常见矿石、矿物

金 属	矿 物	矿物化学式	金属含量/%
铁	磁铁矿	Fe_3O_4	72.3
	赤铁矿	Fe_2O_3	69.9
	菱铁矿	FeCO_3	48.2
	褐铁矿	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	55.2~66.1
铜	黄铜矿	CuFeS_2	34.5
	斑铜矿	Cu_5FeS_4	63.3
	辉铜矿	Cu_2S	79.8
	铜蓝	CuS	66.4
	孔雀石	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57.4
	赤铜矿	Cu_2O	88.8
铝	铝土矿	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	48~85(Al_2O_3)
	霞石	$(\text{KNa})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	31~34(Al_2O_3)
	明矾石	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3$	37(Al_2O_3)
	高岭土	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	34.7(Al_2O_3)
	白榴石	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	23.5(Al_2O_3)
铅	方铅矿	PbS	87.6
	白铅矿	PbCO_3	77.6
	硫锑铅矿	$5\text{PbS} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$	55.4
	脆硫锑铅矿	$5\text{PbS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$	50.8
	彩铅铅矿	PbMoO_4	55.8
	车轮矿	$2\text{PbS} \cdot \text{CuS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	42.6
	闪锌矿	ZnS	67
锌	菱锌矿	ZnCO_3	52
	水锌矿	$\text{ZnCO}_3 \cdot \text{Zn}(\text{OH})_2$	80
	异极矿	$\text{ZnSiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	37
	锌尖晶石	$(\text{ZnMn})\text{Fe}_2\text{O}_4$	—
	红锌矿	ZnO	82.2

根据矿石的性质、组成，可把矿石划分为自然矿石（如元素硫、自然金等）、氧化矿石、硫化矿石、混合矿石等。直接开采出来的天然矿石叫作原矿，经过选矿处理并使其中有用矿物富集并达到一定含量的矿石叫作精矿。矿石中有用成分的质量分数称为矿石的品位。通常矿石的品位越高，矿石开采、分选、冶炼的技术经济性就越好。

1.1.2 金属及其分类

通常将具有金属光泽、导电性、导热性、可塑性的化学元素称为金属。除了汞外，金属在常温下都以固体状态存在，并具有较高的机械强度。

在化学元素周期表中，金属共有 80 种，分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属有铁、锰和铬三种金属。有色金属又分为有色轻金属（密度在 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以下的金属，如铝、镁、钠、钾、钛等）、有色重金属（密度在 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以上的金属，如铜、铅、锌、锡、钴、镍、汞、镉、铬、锑等）、有色稀有金属（如锂、铍、钒、镓、锗、铟、铊、铷、铯、钽、钨、钼、铌）、有色稀土金属和有

色贵金属（金、银、铂等）。

铁是所有金属中生产量和消耗量最大的金属，约占金属总量的 90% 以上。而铝、铜和铅是有色金属中生产量和消耗量最大、用途最广泛的金属。可以说，一个国家钢铁和铜、铝的生产和消耗状况标志着这个国家国民经济和国防的发展水平。

1.1.3 采矿

自然界矿石和煤的形成方式、成矿规模的大小及矿物的积聚特点等，均会受到特定地质成矿条件的制约和影响。绝大部分矿石都埋藏在地下，只有很少部分矿石露于地表。采矿和采煤就是把矿石从矿床挖掘、开采出来的一系列作业过程。根据矿床储藏量的大小、埋藏深度和矿层厚度，将采矿划分为地下开采、露天开采和地下-露天混合开采三大类。

1.1.3.1 露天开采

露天开采是用露天坑道在地面上进行准备和采矿作业的开采方法，包括爆破、挖掘、采装、运输、排土等作业过程。

通常埋藏较浅、床层较厚的矿床，较适合于进行露天开采。露天开采具有开采不受场地和空间的限制、生产效率高、开采成本低、基建时间短、劳动条件好、作业安全、矿石损失贫化少等特点。露天开采较适合于大型矿床开采和中型机械作业生产。相对地下开采，露天开采在经济、技术、安全等方面均具有明显的优势。

1.1.3.2 地下开采

大多数矿石是在地下开采出来的。为了便于组织地下开采生产和管理，常将矿床划分为矿田、井田、矿块、阶段、盘区和采区等各种开采单元。矿田是指划归一个矿山企业开采的全部矿床或部分矿床。而一个矿山企业划归一个矿井或矿坑开采的全部矿床或部分矿床称为井田。通常一个矿田可能包括一个或数个井田。

在井田中运输通道之间的矿石开采范围叫作阶段。而阶段中的矿体在沿着矿脉走向每隔一定距离又进一步划分为更小的开采单元，即矿块或采区。若在开采水平和微倾斜矿床时，如果矿体厚度达不到阶段的要求，此时在井田每隔一定距离的运输巷道间的矿石开采范围，称作盘区。同样，盘区中的矿体沿着矿脉走向每隔一定距离又进一步划分为更小的开采单元，称为采区。矿块和采区是地下开采生产的基本单元。

井田的开采一般包括井田开拓、矿块采切和矿块回采三大步骤。

进行地下采矿生产，首先要进行井田开拓。井田开拓是从地表开始向下掘进一系列通达井田的井巷，使地表与井田之间形成一系列可供井田、阶段服务的运输、通风、供水、排水等井巷系统。根据生产需要，可开拓单一平硐、斜井巷道、竖井巷道、斜坡巷道等不同类型的巷道。

为了开采矿石，还需在已开拓巷道系统的基础上，进一步在阶段中掘进、采准和切割巷道。如阶段运输平巷、溜井、绞场硐室或井底车场硐室、联络巷道、拉底扩漏、切割上山等采准和切割作业。

在完成井田开拓和矿块采切的准备工作后，就可以沿着采矿工作面进行正常的采矿作业，即矿块回采。目前回采主要有空场回采、充填回采和崩落回采三种方法。

回采完成后会在矿区形成许多采矿空区。如果不对这些采矿空区进行适当处理，这些空区会成为矿山生产安全和生态环境的隐患。采矿空区的处理方法可概括为“崩、充、封”三个字，即进行人工或自然崩落围岩；或用废石、尾砂充填空区以减少或支撑岩石的压力，缓和应力集中，使应力形成新的平衡，以达到控制矿山压力、消除隐患、保证矿山安全的目的；而对于矿石与围岩非常稳固，矿体厚度和岩深不大、埋藏不深的分散孤立的盲空区，离主矿体或生产区又较远、地表允许崩落的空区，也可进行封闭保留。采矿空区封闭保留处理是一种简便而经济的方法，但在使用时必须严格控制使用条件，以确保矿山安全。

1.1.4 选矿

1.1.4.1 选矿

自然界直接开采出来的矿石，其品位通常都不高，不能满足冶金工业的技术经济要求，特别是随着数百年，甚至上千年矿产资源的开发利用，矿产资源呈大幅度减少的趋势。另外，在储藏的矿石中，富矿、优质矿越来越少，而贫矿、混（复）合矿、难处理矿越来越多，不少矿石甚至面临着枯竭的危险。

为了降低生产成本，合理开发利用矿物资源，和满足冶金工业的要求，常常需对品位不高的原矿进行选矿处理。选矿的基本目的有三个：一是通过选矿分离、去除原矿中的大量脉石杂质，富集和提高矿石中 useful 矿物的含量；二是将共生的、伴生的其他有用矿物或有价金属分选出来，以便实现矿石中有用矿物或有价金属的综合利用；三是充分降低尾矿中有害矿物或有价金属含量，提高回收率，减少可能的环境污染。

一般而言，选矿作业不会改变矿石中有用矿物的成分，只是改变其中各种矿物成分的相对含量。通常选矿是提高有用矿物或有价金属品位、改善矿物性质、除去脉石杂质和分离共生矿物最经济、最有效的方法之一。我国每年约有 3 亿吨以上的黑色金属矿和有色金属矿，在冶炼前进行了选矿处理。

选矿的基本指标有精矿品位、产率（精矿与原矿的质量之比）、选矿比（原矿与精矿的质量之比）、回收率（精矿中金属与原矿中金属的质量百分比）等。

1.1.4.2 选矿流程

选矿的基本过程是由选矿前的准备作业、选别作业和选后的脱水作业等过程组成。原矿经过破碎、磨细、分选等一系列处理后，就得到了适合工业规模冶炼的品位较高的富矿，即精矿。

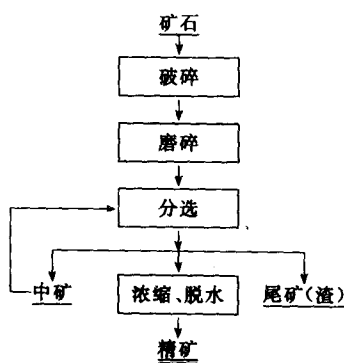


图 1.1 选矿原则工艺流程

选矿生产的原则工艺流程如图 1.1 所示。

选矿前的准备作业包括矿石的破碎、磨碎、筛分和分级等。原矿经过破碎、磨碎、筛分处理后，使矿石的粒度等理化性能达到了选别工艺的要求。同时也使得矿石颗粒中的有用矿物和脉石实现单体解离，有利于提高矿物的选别率。

原矿经过一系列的准备和预处理作业后，就进入了分选工序。通过分选，分别得到了选矿产物、尾矿（渣），有些工艺还会得到选矿中间产物，即中矿。尾矿（渣）是选矿生产的主要固体废物，需进行进一步回收利用、工程回填、处理或处置。由于中矿仍然含有较高的有用成分，既不能当成尾矿（渣）处理，又达不到冶炼金属的要求，所以常常将中矿返回

到上一级分选工序，进行循环分选处理。除干法选矿外，大多数湿法选矿的产物含有较高水分，故需进行精矿浓缩和脱水工序，除去多余的水分后，就成为冶金工业的原料——精矿。

根据矿石目的颗粒的物理性质和化学性质，如粒度、密度、磁性、导电性、表面性质及摩擦性等，选矿方法有重力分选（重选）、浮游分选（浮选）、磁力分选（磁选）、电力分选（电选）、光电分选、摩擦分选、弹跳分选及人工手选等，其中，目前工业上最常用的方法是重选、浮选和磁选三种选矿方法。

1.1.4.3 重选

重选是根据矿物颗粒之间的密度差异和粒度差异进行分选矿物的选矿方法。在特定运动介质中，密度不同的矿物颗粒在重力、浮力和介质阻力的综合作用下，会表现出不同的沉降性能，并按密度、粒度大小在介质和重选装置中分层、分离。

重选通常要满足三个条件：分选矿物颗粒之间存在密度差异、粒度差异；分选颗粒需在运动介质中进行；不同密度、粒度的矿物颗粒能够分层和分离。

目的矿物颗粒重选的难易程度，可用可选性系数 E 进行表示：

$$E = \frac{\delta_2 - \rho}{\delta_1 - \rho}$$

式中 δ_1 ——小密度矿物颗粒的密度， kg/m^3 ；

δ_2 ——大密度矿物颗粒的密度， kg/m^3 ；

ρ ——介质的密度， kg/m^3 。

通常可选性系数 E 值越大，目的矿物颗粒的可选性就越好，该目的矿物颗粒的分选技术、经济性也就越好。

常用的重选有分级、跳汰重选、溜槽重选、摇床重选、重介质重选等方法。

1.1.4.4 浮选

浮选即浮游分选，又称泡沫浮选法，是最重要的选矿方法之一。据统计，有 90% 的有色金属矿是用浮选处理的。浮选是根据矿物颗粒之间的表面物理化学性质差异进行分选矿物的选矿方法。其实质是有选择性地使微小气泡附着在具有疏水性表面的目的矿物颗粒上，并在气泡带动下使目的矿物颗粒向上浮游，从而实现目的矿物颗粒与其他颗粒的选别分离。矿物颗粒可浮性取决于矿物颗粒表面的疏水性或亲气性大小。矿物颗粒表面的疏水性越小、亲气性越大，则该矿物颗粒的可浮性也就越好。在实践中，人们经常通过矿物颗粒表面结构、接触角 θ 、化学键极性或可浮性系数 $(1 - \cos\theta)$ 等判断矿物颗粒的可浮性。

浮选药剂是浮选的核心。通过加入浮选药剂，可以有选择性地改变矿物颗粒的表面性质和矿浆的性质。如使要选出的矿物颗粒表面的疏水性显著改善，提高其可浮性；或者降低某些矿物颗粒的疏水性，使某些矿物颗粒受到抑制。浮选药剂主要有捕收剂（常称作“药”）、起泡剂（常称作“油”）、抑制剂、介质调整剂，如黑药、黄药、杂醇油等。

浮选过程一般由矿石粉碎、制浆、加药调整、充气浮选等步骤组成。习惯上将原矿的第一次浮选称为粗选，对浮选尾矿或尾渣的浮选叫作扫选，而对浮选产物的再浮选称为精选。扫选的目的是为了提高有用成分和有害物质的收率，而精选的目的是为了提高精矿的品位。由粗选、扫选、精选、磨矿等单元作业，可以组合成各种浮选流程，如精矿再磨流程、尾矿再磨流程、中矿再磨流程、一段两循环流程、多段多循环流程、优先浮选流程、混合浮选流程、部分混合浮选流程、等可浮选流程等。

目前工业上常用的浮选机有机械搅拌式浮选机、充气搅拌式浮选机、压气式浮选机、气体析出式浮选机四类。

1.1.4.5 磁选

磁选是利用矿物颗粒磁性差异在磁选机不均匀磁场中进行分选矿物的选矿方法，也是一种应用十分广泛的基本分选技术。特别是随着高梯度磁选、磁流体分选、超导体强磁场磁选等新技术的不断发展，磁选技术的应用已从黑色金属矿、有色金属矿和部分非金属矿的选矿处理扩大到环境污染治理、医药和化学工业等领域。

在磁选过程中，当物料由加料口进入磁选机的磁场时（图 1.2），非磁性的矿物颗粒不受磁场的作用或所受作用力很小，在自身重力等机械力的作用

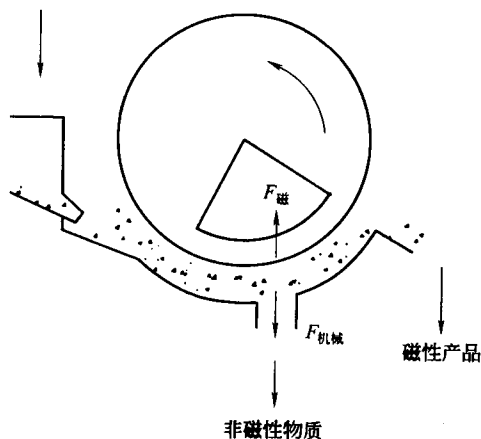


图 1.2 磁选过程示意

下,由出料口排出。而磁性矿物颗粒在磁场的作用下,被吸引到圆筒上,并随着圆筒转动而运动,当这些磁性矿物颗粒到达磁选机的排料端(圆筒内磁极的外端)时,由于所受磁场作用力大大减小而排出,成为磁性精矿。

矿物颗粒能否进行磁选,取决于磁选机和磁性颗粒之间作用力的大小。磁选机和矿物颗粒之间作用力大于该矿物颗粒所受的与磁场作用力方向相反的机械力的合力,是用磁选法分选的必要条件:

$$F_{\text{磁}} > \sum F_{\text{机械}}$$

式中 $F_{\text{磁}}$ ——磁选机磁场和磁性颗粒之间的作用力;

$\sum F_{\text{机械}}$ ——矿物颗粒所受的与磁场作用力方向相反的机械力的合力。

在磁选中,通常根据矿物比磁化系数 χ 的大小将矿物划分为强磁性矿物 ($\chi > 3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$)、中磁性矿物 [$\chi = (0.5 \sim 3) \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$]、弱磁性矿物 [$\chi = (0.013 \sim 0.5) \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$] 和非磁性矿物 ($\chi < 0.013 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$)。在实际磁选过程中,通常要求磁选机和磁性颗粒之间的作用力控制在一定范围,所以分选强磁性矿物颗粒时,应使用弱磁场磁选机;而分选弱磁性矿物颗粒时,应选用强磁场磁选机。

工业上常用的磁选设备有磁选机、磁力脱水槽、磁分析器、预磁器、脱磁器等,磁选机是最基本的磁选设备。根据磁场性质,可将磁选机分为强磁场磁选机、弱磁场磁选机、永磁磁选机、电磁磁选机、高梯度磁选机;根据磁场类型,可将磁选机分为恒定磁场磁选机、脉动磁场磁选机和交变磁场磁选机;根据物料介质,可将磁选机分为干式磁选机、湿式磁选机;根据磁选机机械构造,则可将磁选机分为滚筒式磁选机、盘式磁选机、辊式磁选机、带式磁选机、环式磁选机、笼式磁选机及滑轮式磁选机等。

1.1.5 矿山工业污染

一般矿山工业的主要生产任务是开采矿石。而一些现代大型矿山联合企业除了开采矿石外,还要进行选矿、冶炼生产,同时还设置建筑材料、化工、炼焦、烧结、发电等辅助生产过程。在这一系列生产过程中,都会产生环境污染,如矿山空气污染、矿山水污染、矿山固体废物危害、噪声污染、矿井热湿污染、矿山放射性污染等。

(1) 矿山工业空气污染

由于地下开采作业是在井下空间十分有限的特殊环境下进行;在某种程度上井下空气(地面空气进入矿井后就叫井下空气)是定量供应的,空气中氧含量低,碳氧化物、氮氧化物、粉尘等污染物浓度高。因此,矿山空气污染最突出的就是矿井空气污染。

矿井空气污染物主要有有毒有害气体和粉尘两类。

① 气态污染物包括 CO_2 、 CO 、 NO_2 、 H_2S 、 SO_2 、 CH_4 、 Rn 等。这些污染物主要来源于作业人员呼吸、爆破矿物岩石的氧化和水解、坑木氧化、瓦斯爆炸、煤尘爆炸、地气涌出、硫化物自燃、井下火灾及井下内燃机尾气等。就毒性最小的二氧化碳而言,当井下空气中其含量达到 5% 时,人就会出现耳鸣、无力、呼吸困难等现象;达到 10%~20% 时,人的呼吸就会处于停顿状态,失去知觉,甚至造成生命危险。

② 在矿山工业也将粉尘通称为矿尘。矿尘主要来源于矿石开采的凿岩、爆破、装卸、运输、放料、破碎、刻槽、放顶、充填、取样及喷射混凝土等作业过程。这些矿尘数量大、粒径分布宽、在空气中悬浮时间长,含有各种有毒有害物质,不仅是对人体健康危害严重的污染物,而且其本身就是导致各种职业病[硅沉着病(旧称矽肺)、煤肺、石棉肺、石墨肺等]的元凶。许多矿尘还具有很高的自燃和爆炸活性,是矿井、甚至矿山的重大安全隐患。煤尘、硫化物矿尘等在空气中的浓度达到一定范围时,在高温条件下,或在有明火、电火花、碰撞、摩擦等作用下能发

生爆炸事故。如有色金属硫化物矿尘的硫含量达到 10% 以上时, 矿尘浓度在 250~1500g/m³, 遇到 435~450℃ 明火, 就会发生化学爆炸。

(2) 矿山工业水污染

矿山工业废水也是矿山工业生产的主要污染源之一。未经处理或处理不当的矿山废水, 若排入江河、农田、水库或渗透进地下水系, 会对生态环境造成严重破坏。

矿山工业废水主要来源于天然降水, 地表径流水对矿石和尾矿的冲刷、淋溶废水, 生产用水(如湿式凿岩、喷洒水等), 矿井渗漏水, 回采积水, 选矿废水等。矿山废水通常含有大量悬浮物, 其中的污染物质包括重金属(铅、铬、汞、砷、镉、硒、锌)、无机化合物(如硫化物、氟化物、氟化物、酸、碱)、油类、病原微生物和放射性污染物等。

矿山废水水量和所含污染物质的种类等, 随矿山特点、地理环境、气候、地质、矿物组成以及开采、选冶工艺等不同而存在很大差异。矿山工业生产不仅废水排放量大, 而且污染严重。选矿厂每处理 1t 原矿需耗水 4.87~32.87t 水, 一般为 10~17t 水以上。如浮选-重选厂, 通常每处理 1t 矿石需要消耗 27~30t 水, 矿山废水重金属浓度也可高达每升数百甚至数千毫克以上。

(3) 矿山工业固体废物污染

矿山工业固体废物主要是矿山剥离、爆破、掘进产生的废石、矸石、尾矿及选矿、冶炼排出的各种废渣, 通称为矿山堆积物。采矿矿山固体废物主要由二氧化硅、氧化钙、氧化铝、氧化铁等贱金属和相应金属的各种矿物组成。选矿、冶炼废渣除了二氧化硅、氧化钙、氧化铝、氧化铁及相应金属矿物外, 还可能含有选矿药剂。

矿山工业固体废物具有数量大、种类多、组成复杂、回收困难、污染严重的特点。据文献报道, 我国几种典型金属矿床尾矿的化学组成如表 1.2 所示。

表 1.2 我国典型金属矿床尾矿的化学组成/%

尾矿类型	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	SO ₃	P ₂ O ₅	烧失量
鞍山式铁矿	73.27	4.07	11.60	0.16	4.22	3.04	0.41	0.95	0.25	0.19	0.14	2.18
岩浆型铁矿	37.17	10.35	19.16	7.94	8.50	11.11	1.60	0.10	0.56	0.03	0.24	2.74
火山型铁矿	34.86	7.42	29.51	0.64	3.68	8.51	2.15	0.37	12.46	4.58	0.13	5.52
硅卡岩型铁矿	33.07	4.67	12.22	0.16	7.39	23.04	1.44	0.40	1.88	0.09	0.08	13.47
硅卡岩型铜矿	47.51	8.04	8.57	0.55	4.17	19.77	0.55	2.10	1.55	0.10	0.65	6.46
硅卡岩型金矿	47.94	5.78	5.74	0.24	7.97	20.22	0.90	1.78	—	0.17	6.42	—
斑岩型铜矿	65.29	12.13	5.98	0.84	2.34	3.35	0.60	4.62	1.10	0.28	0.17	2.83
斑岩型铜矿	61.99	17.89	4.48	0.74	1.71	1.48	0.13	4.88	—	—	—	5.94
长石石英矿	85.86	6.64	0.80	—	0.34	1.38	1.01	2.26	—	—	—	—
石英稀有矿	81.13	8.79	1.73	0.12	0.01	0.12	0.21	3.62	0.16	0.02	0.02	—
碱性盐稀有矿	41.39	15.25	13.22	0.94	6.70	13.44	2.58	2.98	—	—	—	1.73

注: 数据引自张锦瑞等编著《金属矿山尾矿综合利用与资源化》, 冶金工业出版社 2002 年出版。

一般而言, 露天采矿每开采 1t 矿石约排出 5~10t 废石, 而部分矿种的露天开采废石产量会在 10t 以上, 如每采出 1m³ 铝土矿, 仅剥离的岩土就达 13~16m³。而且随着矿山机械化程度的不断提高, 露天开采的剥离比还会有逐渐增大的趋势。开采地下矿石, 同样首先需进行地面工程和开拓、切割等各类井巷掘进工程, 会产出各种废石。若按 1×10⁴t 矿石的掘进量是 800m 左右估计, 每开采 1t 矿石就会产出掘进废石 3.6t。全世界每年排出的矿山固体废物高达 100 亿吨左右。我国每年仅矸石产量就达数亿吨之多。大量矿山固体废物的排放, 不可避免地会造成矿产资源的严重浪费。同时, 矿山固体废物的堆放也会占用大量土地, 投入大量资金。我国每年尾矿、废石就占用和浪费土地 2×10⁴km², 并且还以每年 300~400km² 的速度增加。含有多有毒、有害污染物质的固体废物, 也会对生态环境造成严重污染。

(4) 矿山工业其他污染

噪声就是对人具有干扰和妨碍的且不必要的声音。矿山工业生产过程的噪声有很多,如采矿作业的钻眼、凿岩、锯切、爆破、通风、装卸、运输、排水都会产生噪声,选矿过程的破碎、磨碎、筛分等也会产生噪声。矿山工业噪声一般具有声级高、强度大、频谱宽、反(折)射强、干扰时间长等特点。一些作业点的噪声强度可达120dB(A)以上[凿岩机噪声一般均为110~120dB(A)]。

放射性元素在自然界大量广泛存在,储量约为 2.7×10^{23} t,平均含量接近百万分之三。因此,放射性物质,特别是铀和钍,也是矿山工业,尤其是地下采矿生产的重要污染源。矿井空气中的氡主要来源于矿岩和地下水析出,在特殊情况下,也可能由井外空气流入。氡在衰变过程中会产生 α 、 β 、 γ 射线,而这些 α 、 β 、 γ 射线又能使物质产生电离和激发作用。氡对人体健康的危害包括损伤表皮组织、杀死细胞、伤害五官、引起肺癌和血癌等疾病。

此外,在特殊的井下作业条件下,闷热和潮湿也是较严重的环境污染。一些热水型矿床,硫化矿床,或散热、通风条件不好、产热因素较多(人员、机器、照明、爆破、矿物氧化等)的作业场所,井下温度一般为32~40℃,甚至高达45~60℃。井下空气的相对湿度多为80%~90%。人们在闷热和潮湿的矿井下工作,会大量出汗和过度消耗体力,容易导致疲劳、身体不适、感冒、中暑,甚至休克或死亡。

1.2 石油开采过程与污染控制

1.2.1 石油开采过程概述

能源是发展经济、提高人民生活水平的重要物质基础。我国要保持比较高的经济增长速度,实现现代化,在很大程度上取决于能源供应和能源的有效利用。而石油开发生产属于资源开发型建设,其生产活动不可避免地会对生态环境造成影响,有些影响反过来又对石油工艺生产发展有制约作用。因此,合理地解决环境问题既可以防治污染,又可以促进油田的生产发展。油田环境保护工作,对于保证石油工业持续稳定发展,保护和改善油田生态环境,对实现环境与社会经济的协调发展具有重大意义。

油田废水来源于原油开采的生产过程中。油田开发生产的过程,如钻井、采油、运输等,决定了油田废水的产生、分布、排放方式及污染影响的特点。油田废水分布在油田范围内的许多生产点上,如钻井井场、采油井、接转站、联合站等,从而形成了没有具体厂界的区域性污染源,并与地方及石油企业多种经营厂点的污染源相互交叉分布。排放状态以正常生产排放为主,兼有事故性排放;排放方式以间歇排放为主,兼有连续排放。排放的水污染物以石油类的污染物为主,但也有其他污染物。

在原油开采过程中,全国各油田基本都采用注水开发方式,即注入高压水保持油层压力,驱动原油从油井中开采出来。随着开发时间的延长,原油含水率不断上升,油井产出的水量随含水率的不断上升而增加,采出的原油含水量高达60%~70%,个别油田采出液中含水率高达90%,大量的含油废水直接排放到水环境中,一方面造成严重的环境污染,同时也造成宝贵的水资源和油资源的严重浪费。

1.2.2 油田开采工艺

1.2.2.1 完井

完井是指从打开油层开始,直到将油井投入生产为止的全部过程。它包括钻开油气层、确定完井方式、安装井口和井口装置等。它是钻井工程最后的一个重要环节,又是采油工程的开端,与以后采油、注水及整个油气田的开发是紧密联系的,而油井完成质量的好坏直接影响到油井的生产能力与经济寿命,甚至关系到整个油田能否得到合理的开发。

(1) 井身结构

井身结构是指油井钻完后，所下入套管的层次、直径、下入深度及相应的钻头直径和各层套管外部水泥的上返高度等。

(2) 钻开油气层

钻开油气层是完井的首要工序，是钻井工程的关键一步，这一工作的好坏直接影响到一口井的生产能力，关系到是否能够正确迅速地取得油层的各项资料。

当油层被打开时，油层内的油气压力与井筒内泥浆柱的压力出现相互制约的关系。若泥浆柱的压力小于油层的压力，且井口又控制不当时，会造成地层中的水、黏土颗粒以及其他有害物喷发等严重事故；若泥浆柱压力大于地层压力时，则泥浆中的水、黏土颗粒以及其他有害物质，会侵入油层造成损害，使井筒附近的渗透率降低，影响油井产量，有时甚至不出油。因而钻开油层时应以油层压力为准，通常钻高压油层采用密度较大的压井液（性能指标依地层而异），对于压力较低的油层，应当减小压井液的密度，以免损害油层。

(3) 完井方式

完井方式是指油层与井底的连通方式、井底结构及完井工艺。对于不同地层性质、不同类型的井所采取的完井方式是不同的。不论采用哪种方式，都需要满足以下几个方面的要求：

- ① 油层和井筒之间应保持最佳的连通条件，油层所受的损害小；
- ② 油层和井筒之间应具有尽可能大的渗流面积，油气流入井筒阻力最小；
- ③ 应能有效地隔油、气、水层，防止气窜或水窜，防止层间的相互干扰；
- ④ 能有效地防止油层出砂，防止井壁坍塌，确保油井长期生产；
- ⑤ 应具备便于人工举升和井下作业等条件；
- ⑥ 工艺简便、先进、安全可靠，成本低。

不同的完井方式主要区别于油气层与井底的连通方式的不同。连通方式不同，其井底结构和完井工艺也不同。而一口井完成之后，其井底结构就不易改变，所以应根据油气层的具体情况及各井实际经验来选定合理而有效的完井方法。

(4) 井口装置

为了引导和控制油、气流的流动方向和流量的大小，在井口必须安装井口装置。它的作用是悬挂油管，密封油、套管间的环形空间，控制和调节油井产量，保证各种井下作业施工，并且便于录取井口压力资料、测压和清蜡等日常生产管理和测试工作。

井口装置通常由套管头、油管头和采油（气）树三大部分组成。

1.2.2.2 试油

试油是指利用一套专用的设备和工具，对井下油、气进行直接测试，以取得有关目的层的油气产能，压力，湿度和油、气、水样物性资料的工艺过程，是油气勘探开发的重要组成部分，也是检验油气田开发效果的重要手段之一。

随着科学技术的进步，试油工艺也逐步得到改进和发展，到 20 世纪 70 年代末 80 年代初，试油工艺在常规工艺技术的基础上，发展运用了中途测试试油、封隔器分层试油等试油工艺，其工艺方面主要包括压井、射孔、诱喷排液、求产、测压等方面。

1.2.2.3 采油

油井在完井、测试后投入生产，按其举油出井的方法不同，可分为自喷和人工举升（又叫机械采油）采油方法两大类。

(1) 自喷采油

如果油层具有的能量足以从油层驱至井底，并从井底把油举出井口，这种依靠油层自然能量采油的方法称为自喷采油法，这种井称为自喷井。自喷井的地面设备简单、容易管理、产量较

高，是最经济的采油方法。

任何油井的生产可分为三个基本流动过程：从油层到井底的流动——油层中的渗流；从井底到井口的流动——井筒中流动；从井口到分离器——在地面管线中的水平或倾斜管流。对自喷井，原油到井口后，还有通过油嘴的流动——嘴流。所以自喷井从油层流到地面转油站可分为四个基本流动过程：地层渗流、井筒多相管流、嘴流、地面管线流。

(2) 气举采油

当油层的能量较低，不足以维持自喷时，则需利用一定的机械设备给井底的流体补充能量，才能把原油举升出井口，这种采油方法称为人工举升方法。如果补充能量的方式是将天然气加压注入井底进行举油，这种采油方式称为气举采油，这样的生产井称为气举井。

气举采油法的井口、井下设备比较简单，管理调节与自喷井相比，比较方便。特别适合于深井、斜井、水平井、海上采油，以及井中含砂少、含水低、气液比高和含有腐蚀性成分的油井。在选择采用气举方式时，首先要考虑是否有天然气源，一般气源为高压气井或伴生气，在有高压气井作为气源的情况下，优先选择气举方式作为接替自喷的人工举升方式。

由于气举采油需要建压缩机站和大量高压管线，地面设备复杂，一次性投资大；气体能量的利用率较低，需要有足够量的气体；因此，一般油田很少采用这种采油方式。随着气举技术及有关配套工艺的完善、深井和斜井等不宜于机械采油的油井的出现，以及随着海上油田的开发，在高气液比油藏的开发中气举方式已被广泛应用。

气举井与自喷井在流动性质及协调原理方面非常相似，气举井的主要能量是依靠外来高压气体的能量，而自喷井主要依靠油层本身的能量。为了获得最大的油管工作效率，应当将油管下到油层中部，这样可使油管在最大的沉没度下工作，即使将来油层压力下降，也能使气体保持较高的举油效果。

气举采油原理是依靠从地面注入井内的高压气体与油层产出流体在井筒中的混合，利用气体的膨胀使井筒中的混合液密度降低，从而将井筒内流体排除。

(3) 机械采油

目前，我国有原油生产井达7万多口，由于主干油田都已进入高含水期，生产井中绝大部分是机械采油井，全国各油田产油量主要是机械采油方式开采出来的。因此，机械采油技术在我国原油开采中，占有十分重要的地位。

① 游梁式抽油机——深井泵采油系统 该装置由抽油机、抽油泵（又叫深井泵）和抽油杆组成，称为“三抽”系统。抽油机深井泵采油系统就是通过以“三抽”设备为主的有杆抽油系统来实现采油的。即在抽油机的驱动下，通过下入井中的抽油杆带动抽油泵柱塞上下往复运动，将地层流体抽吸至地面。

② 无杆泵采油技术 无杆泵主要有两大类，即电潜泵和水力泵。水力泵又分为水力活塞泵和射流泵。水力泵是以地面注入的高压流体作为动力的一种井下采油泵；而电潜泵是以电为动力，驱动多级离心泵的采油泵。

电动潜油离心泵，简称电潜泵或电泵，是用油管把离心泵和电机下入井口，把油举升到地面的采油设备；水力活塞泵是液压传动的往复式抽油装置，地面高压动力液经动力液通道驱动安装在井下的液马达往复运动，液马达活塞再通过活塞杆带动抽油泵活塞往复运动抽油。

③ 水力喷射泵采油 水力喷射泵跟水力活塞泵一样，是利用地面高压动力液采油的特殊泵。不同的是，水力活塞泵为容积泵，而水力喷射泵则在地面高压动力液通过喷嘴时，将其压能几乎全部变为动能。射流动力液经喷嘴射入与地层连通的混合室，进入混合室中的地层原油则被动力液抽吸，变成混合液进入喉管。

喉管直径大于喷嘴直径，动力液与地层液在此充分混合，进行能量交换，动力液失去动能，

地层液获得动力。

混合流体进入逐渐扩大的扩散管, 由于工作面积扩大, 使得速度(动能)转换为大于静柱压力的静压头, 以举升混合流体到地面。

④ 螺杆泵采油 螺杆泵于 20 世纪 30 年代诞生于法国, 它是一种容积泵, 主要用于工业领域, 泵送黏稠液体。近 30 年来, 作为一种人工举升采油手段用于开采稠油和含砂原油。螺杆泵根据驱动方式可分为地面驱动和井下驱动两大类。其特点为设备比较简单, 运行中可测动液面, 抽出转子即可泄油, 使用费用较低。

1.2.2.4 稠油开采方法

世界上稠油资源极为丰富, 据统计, 世界上查明的常规原油地质储量大约为 $4200 \times 10^8 \text{ m}^3$, 而稠油(包括高凝油)油藏地质储量高达 $15500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。我国目前已在松辽盆地、渤海湾盆地、准噶尔盆地、二连盆地等 15 个大中型含油盆地和地区发现了数量众多的稠油油藏, 预测我国稠油(包括高凝油)油藏地质储量高达 $80 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。由此可知, 稠油分布广、储量大、开采潜力大。但是, 由于原油黏度高, 油层渗流阻力过大, 使得原油不能从地层流入井筒。即使原油能够流到井底, 但在井底向井口流动过程中, 由于降压脱气和散热降温而使原油黏度进一步增加, 严重地影响原油的正常生产, 使得稠油流动性差, 开采难度大。

稠油是指黏度大的原油, 重油是指密度大的原油, 黏度越高的原油一般密度就越大。联合国训练署于 1979 年 6 月在加拿大召开了关于重油和沥青砂的标准的会议。

① 重油是指在油藏原始温度下, 脱气油黏度大于 $10000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 或在 15.6°C (60°F) 及 0.101 MPa 条件下密度为 $934 \sim 1000 \text{ kg/m}^3$ 的原油。

② 沥青砂是指在油藏原始温度下, 脱气油黏度大于 $10000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 或在 15.6°C (60°F) 及 0.101 MPa 条件下密度大于 1000 kg/m^3 的原油。

根据国际稠油分类标准, 我国石油工作者在考虑我国稠油特性的同时, 按开发的现实及今后的潜在生产能力, 提出了中国稠油分类标准, 即将黏度为 $1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^4 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 且相对密度大于 0.92 的原油称为普通稠油; 将黏度为 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 且相对密度大于 0.95 的原油称为特稠油; 将黏度大于 $5 \times 10^4 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 且相对密度大于 0.98 的原油称为超稠油(或天然沥青)。

这里必须弄清稠油与高凝油的区别, 高凝油是指原油的凝固点比较低, 在开发过程中当原油处于凝固点以下的温度状态时, 原油中的某些重质组分(如石蜡)凝固析出, 并沉积到油层岩石颗粒、抽油设备或管线上, 造成油层渗流阻力过高, 或抽油设备正常工作困难。到目前为止, 高凝油尚无统一的划分标准, 我国某些油田有自己的地区性划分方法, 例如有的油田将凝固点大于 40°C , 含蜡量超过 35% 的原油定为高凝油。

1.2.2.5 油田注水

通过注水井向油层注水补充能量, 保持油层压力, 是在依靠天然能量进行一次采油之后, 或油田开发早期为提高采收率和采油速度而被广泛采用的一项重要的油藏开发技术。

在我国, 大部分油田采用早期注水开发。经过多年实践, 在多油层、小断块、低渗透和稠油油藏进行注水开发方面逐步形成了适合油藏特点的配套技术。尤其是近些年来, 对注水油田高含水期为实现“稳水控油”, 发展了以注水井调剖为核心的注水配套新工艺。

(1) 注水方式

① 外部注水方式 外部注水方式是将注水井布置在含水区域油水过渡带上, 从外围向内驱赶油流。这种注水方式适用于构造完整、连通性和流动性均较好的中小型油藏。其优点是油水界面完整, 易控制含水, 无水采油期长; 其缺点是构造顶部得不到能量补充。

② 内部注水方式