



李占辉 朱 丹 王国丽 编著

油田采出水处理设备选用手册



石油工业出版社

油田采出水处理设备选用手册

李占辉 朱丹 王国丽 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书编入了一批技术性能优良的设备,为老油田的技术改造和新油田的产能建设提供设备选型参考。本手册编辑了15大类,60多个品种,300多种规格的油田采出水处理设备。内容包括标准规范要求的采出水处理技术指标,不同采出水处理工艺及流程模式,设备工作原理,技术性能和主要技术规格等。

图书在版编目(CIP)数据

油田采出水处理设备选用手册/李占辉,朱丹,王国丽编著.
北京:石油工业出版社,2004.3

ISBN 7-5021-4525-7

I. 油…

II. ①李…②朱…③王…

III. 石油开采-水处理设备-手册

IV. TE35-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第125505号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号楼 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004年3月第1版 2004年3月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:7.25

字数:145千字 印数:1—2000册

书号:ISBN 7-5021-4525-7/TE·3166

定价:22.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

目前国内很多老油田已经进入高含水开采阶段,截止到2002年底,中国石油天然气股份有限公司所属油田采出液平均综合含水率已达到83%,采出水量达到 $138 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。随着低渗透油田的相继开发和国家环境保护要求的提高,对油田采出水处理后的标准要求也越来越严格。由于我国油田分布广阔,受地理条件、油层性质、人文因素等客观条件的制约,油田采出水性质差别较大,因此各油田选用的采出水处理工艺和设备技术参数也不同。为了降低油田采出水处理成本、合理利用水资源、提高油田采出水处理后的达标率、保护生态环境。我们受中国石油天然气股份有限公司勘探生产分公司的委托,对油田用户、设计单位和采出水处理设备生产企业进行了广泛深入的调研,经分析对比,优选出了一批使用性能较好、技术针对性较强、经济实用的采出水处理设备,供设计单位、油田用户和管理部门在设备选型时参考。

本手册收集了15大类,60多个品种,300多种规格的油田采出水处理设备系列产品。内容包括标准规范要求的采出水处理技术指标,不同采出水处理工艺及流程模式,设备工作原理,技术参数和主要技术规格等。

本手册由中国石油规划总院李占辉、朱丹、王国丽编著,参加编写的人员有:乔玉芬、贺琴、常秀英、黎冲、朱荣改、赵乐晋、管伟等。

手册初稿形成后经刘飞军、王怀孝、孟宪杰、黄新生、翁维珑、李明义、王矩仁、陈忠喜、张效羽、苏春梅、汤林、陈茂祥、吴明胜等专家的认真审阅,并提出了很多宝贵意见,在此表示感谢。在编写过程中也得到了各油田设计院的帮助和支持,以及各设备生产企业的积极配合,在此也一并表示感谢。虽几经校改,恐仍有错漏之处,希望读者给予批评指正。

编 者
2003年12月

目 录

1 概述	(1)
1.1 油田采出水处理水质参考指标	(1)
1.2 油田采出水处理工艺典型流程	(6)
2 除油设备	(11)
2.1 气浮法除油设备	(11)
2.2 水力旋流器除油设备	(32)
2.3 其他处理装置	(43)
3 过滤设备	(52)
3.1 核桃壳过滤器	(52)
3.2 双层滤料过滤器	(65)
3.3 纤维球(束)及改性纤维球(束)过滤器	(69)
3.4 无机陶瓷膜超滤装置	(84)
3.5 纤维素预膜过滤器	(86)
3.6 烧结管过滤器	(87)
3.7 井口高压过滤器	(90)
4 污泥处理设备	(93)
4.1 XAZY 型压榨过滤机	(93)
4.2 NP 型带式压滤机	(95)
5 辅助设备	(97)
5.1 除垢、杀菌装置	(97)
5.2 洗井车	(102)
附录 1 设备与制造单位对照表	(106)
附录 2 设计与制造单位通信录	(109)

1 概述

目前国内很多老油田已经进入高含水开采阶段,截止到 2002 年底,中国石油天然气股份有限公司所属油田采出液平均综合含水率已达到 83%,采出水量达到 $138 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。随着低渗透油田的相继开发和国家环境保护要求的提高,对油田采出水处理后的达标要求也越来越严格。为了降低油田采出水处理成本、合理利用水资源、提高油田采出水处理后的达标率、保护生态环境,我们对油田用户、设计单位和采出水处理设备生产企业的调研、分析,优选出了一批使用性能较好、技术针对性强、节能、高效、实用的采出水处理设备及一些新型采出水处理设备,供设计单位、油田用户和管理部门在设备选型时参考。由于水处理技术是不断发展的,因此,油田采出水处理设备的优选将是一项长期的工作。

1.1 油田采出水处理水质参考指标

油田采出水经处理后,首先用于油田回注用水、注汽锅炉给水,若有富余再考虑外排水。根据净化水在总体规划中的平衡结果,分别采用不同的水质指标。

1.1.1 回注水水质指标

由于各油田采出水的物理及化学性质差异较大,油田的地层渗透率也不同,因此,对注水水质的要求也不相同,回注水的控制指标详见表 1-1。

表 1-1 碎屑岩油藏注水水质推荐主要控制指标

注入层平均空气渗透率 (μm^2)		<0.1			0.1~0.6			>0.6		
标准分级		A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
控制 指标	悬浮物固体含量 (mg/L)	<1.0	<2.0	<3.0	<3.0	<4.0	<5.0	<5.0	<7.0	<10.0
	悬浮物颗粒直径中值 (μm)	<1.0	<1.5	<2.0	<2.0	<2.5	<3.0	<3.0	<3.5	<4.0
	含油量 (mg/L)	<5.0	<6.0	<8.0	<8.0	<10	<15	<15	<20	<30
	平均腐蚀率 (mm/a)	<0.076								

续表

注入层平均空气渗透率 (μm^2)		<0.1			0.1~0.6			>0.6		
标准分级		A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
控制 指标	点腐蚀	A1、B1、C1 级：试片各面都无点腐蚀； A2、B2、C3 级：试片有轻微点腐蚀； A3、B3、C3 级：试片有明显点腐蚀								
	SRB 菌 (个/mL)	0	<10	<25	0	<10	<25	0	<10	<25
	铁细菌 (个/mL)	$n \times 10^2$			$n \times 10^3$			$n \times 10^4$		
	腐生菌 (个/mL)	$n \times 10^2$			$n \times 10^3$			$n \times 10^4$		

注：此表摘自（SY/T 5329—1994）碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法。 $0 \leq n < 10$

1.1.2 注汽锅炉给水水质指标

由于稠油油田开发需注蒸汽，所以锅炉需要大量的水，为节约水资源可将采出水处理达到注汽锅炉给水水质标准后回用。采出水处理后用于注汽锅炉给水水质条件详见表 1-2。

表 1-2 注汽锅炉给水水质条件

序 号	项 目	单 位	数 量	备 注
1	溶解氧	mg/L	<0.05	—
2	总硬度	mg/L	<0.1	以 CaCO_3 计
3	总铁	mg/L	<0.05	—
4	二氧化硅	mg/L	<50	—
5	悬浮物	mg/L	<2	—
6	总碱度	mg/L	<2000	—
7	油和脂	mg/L	<2	建议不计溶解油
8	可溶性固体	mg/L	<7000	—
9	pH 值	—	7.5~11	—

注：此表摘自（SY/T 0097—2000）稠油油田采出水用于蒸汽发生器给水处理设计规范。

1.1.3 外排水水质指标

陆上油气田采出水污染物最高允许排放浓度应遵循 GB 8978—1996《污水排放综合标准》（1999 年局部修订）规定。该标准将排放的污染物按其性质及控制方式不同分为两类。对于第一类污染物，不分行业和污水排放方式，也不分受纳水体的功能类别，一律在车间或车间处理设施排放口采样。第一类污染物种类及最高允许排放浓度详见表 1-3。对于第二类污染物，应在排污单位排放口

采样，其最高允许排放浓度详见表 1-4，表 1-5。

表 1-3 第一类污染物最高允许排放浓度

序号	污 染 物	最高允许排放浓度 (mg/L)	序号	污 染 物	最高允许排放浓度 (mg/L)
1	总汞	0.05	8	总镍	1.0
2	烷基汞	不得检出	9	苯并(a)芘	0.00003
3	总镉	0.1	10	总铍	0.005
4	总铬	1.5	11	总银	0.5
5	六价铬	0.5	12	总 α 放射性	1
6	总砷	0.5	13	总 β 放射性	10
7	总铅	1.0			

注：总 α 放射性、总 β 放射性单位符号为 Bq/L。

表 1-4 第二类污染物最高允许排放浓度

(1997 年 12 月 31 日之前建设的项目)

序号	污 染 物	最高允许排放浓度 (mg/L)		
		一级标准	二级标准	三级标准
1	pH 值	6~9	6~9	6~9
2	色度 (稀释倍数)	50	80	—
3	悬浮物 (SS)	70	200	400
4	五日生化需氧量 (BOD_5)	30	60	300
5	化学需氧量 (COD)	100	150	500
6	石油类	10	10	30
7	动植物油	20	20	100
8	挥发酚	0.5	0.5	2.0
9	总氰化合物	0.5	0.5	1.0
10	硫化物	1.0	1.0	2.0
11	氨氮	15	25	—
12	氟化物	10	10	20
13	硝酸盐 (以 P 计)	0.5	1.0	—
14	甲醛	1.0	2.0	5.0
15	苯胺类	1.0	2.0	5.0
16	硝基苯类	2.0	3.0	5.0
17	阴离子表面活性剂 (LAS)	5.0	10	20

续表

序号	污 染 物	最高允许排放浓度 (mg/L)		
		一级标准	二级标准	三级标准
18	总铜	0.5	1.0	2.0
19	总锌	2.0	5.0	5.0
20	总锰	2.0	2.0	5.0
21	元素磷	0.1	0.3	0.3
22	有机磷农药 (以 P 计)	不得检出	0.5	0.5

表 1-5 第二类污染物最高允许排放浓度

(1998 年 1 月 1 日后建设的项目)

序号	污 染 物	最高允许排放浓度 (mg/L)		
		一级标准	二级标准	三级标准
1	pH	6~9	6~9	6~9
2	色度 (稀释倍数)	50	80	—
3	悬浮物 (SS)	70	150	400
4	五日生化需氧量 (BOD ₅)	20	30	300
5	化学需氧量 (COD)	100	150	500
6	石油类	5	10	20
7	动植物油	10	15	100
8	挥发酚	0.5	0.5	2.0
9	总氰化合物	0.5	0.5	1.0
10	硫化物	1.0	1.0	1.0
11	氨氮	15	25	—
12	氟化物	10	10	20
13	硝酸盐 (以 P 计)	0.5	1.0	—
14	甲醛	1.0	2.0	5.0
15	苯胺类	1.0	2.0	5.0
16	硝基苯类	2.0	3.0	5.0
17	阴离子表面活性剂 (LAS)	5.0	10	20
18	总铜	0.5	1.0	2.0
19	总锌	2.0	5.0	5.0

1 概述

续表

序号	污 染 物	最高允许排放浓度 (mg/L)		
		一级标准	二级标准	三级标准
20	总锰	2.0	2.0	5.0
21	彩色显影剂	1.0	2.0	3.0
22	显影剂及氧化物总量	3.0	3.0	6.0
23	元素磷	0.1	0.1	0.3
24	有机磷农药 (以 P 计)	不得检出	0.5	0.5
25	乐果	不得检出	1.0	2.0
26	对硫磷	不得检出	1.0	2.0
27	甲醛对硫磷	不得检出	1.0	2.0
28	马拉硫磷	不得检出	5.0	10
29	五氯酚及五氯酚钠 (以五氯酚计)	5.0	8.0	10
30	可吸附有机卤化物 (AOX) (以 Cl 计)	1.0	5.0	8.0
31	三氯甲醛	0.3	0.6	1.0
32	四氯化碳	0.03	0.06	0.5
33	三氯乙烯	0.3	0.6	1.0
34	四氯乙烯	0.1	0.2	0.5
35	苯	0.1	0.2	0.5
36	甲苯	0.1	0.2	0.5
37	乙苯	0.4	0.6	1.0
38	邻二甲苯	0.4	0.6	1.0
39	对二甲苯	0.4	0.6	1.0
40	间二甲苯	0.4	0.6	1.0
41	氯苯	0.2	0.4	1.0
42	邻-二氯苯	0.4	0.6	1.0
43	对-二氯苯	0.4	0.6	1.0
44	对-硝基氯苯	0.5	1.0	5.0
45	2,4-二硝基氯苯	0.5	1.0	5.0
46	苯酚	0.3	0.4	1.0
47	间-甲酚	0.1	0.2	0.5
48	2,4-二氯酚	0.6	0.8	1.0

续表

序号	污 染 物	最高允许排放浓度 (mg/L)		
		一级标准	二级标准	三级标准
49	2,4,6-三氯酚	0.6	0.8	1.0
50	邻苯二甲酸二丁脂	0.2	0.4	2.0
51	邻苯二甲酸二辛脂	0.3	0.6	2.0
52	丙烯腈	2.0	5.0	5.0
53	总硒	0.1	0.2	0.5
54	总有机碳 (TOC)	20	30	—

1.2 油田采出水处理工艺典型流程

根据净化水的去向不同,可选用不同的采出水处理工艺。按采用的处理工艺,选用或设计不同的处理设备和必要的处理药剂,使净化水达到相应的注水水质标准、注汽锅炉给水水质标准或外排水水质标准。通过多年油田污水处理的实践证明,要选择经济、合理、有效的处理工艺,必须进行水质分析和不可缺少的工艺试验。

1.2.1 “三段常规”处理工艺流程

采出水处理基本的流程是“三段常规”处理工艺流程。

第一段为缓冲调节段。该段主要设备是自然除油调储罐,它不仅对来水进行均质处理,为后续流程提供稳定的水质、水量,同时对来水中油珠大于 $100\mu\text{m}$ 的浮油及大颗粒的悬浮物进行初步分离。

第二段为沉降分离除油段。油田采出水所含悬浮杂质中,大约有25%~50%为浮油,这些浮油可以用自然沉降法去除。其他杂质,如分散油、乳化油、溶解油、泥质、粉质及悬浮物约占50%~75%,这些物质有较好的稳定性,单靠自然沉降是很难分离的,必须辅以化学方法才能加速其分离过程。此段工艺,根据采出水的性质,可选用不同的沉降分离除油设备,根据沉降分离除油设备的差异,可分为重力沉降除油(如混凝除油罐、斜板除油罐等);压力沉降除油(如粗粒化罐、压力斜板混凝除油罐及压力合一设备等);气体浮选机除油、水力旋流器除油等。在处理工艺上以此段为代表分别形成了重力流程、压力流程、气浮选流程、水力旋流流程及各类组合流程。

第三段是去除微粒杂质和乳化油的压力过滤段。该段主要设备有石英砂过滤器、核桃壳过滤器、双层滤料过滤器、改性纤维球(束)过滤器等。它是常规处理流程的关键环节,也是水质能否达标的主要设备。

1.2.2 回注水处理工艺流程

1.2.2.1 用于回注中、高渗透油层的工艺流程

用于回注中、高渗透油层时采用“三段常规”流程。如大庆杏十六污水站、大港羊一污水站、华北霸一联等除油流程，见图 1-1。

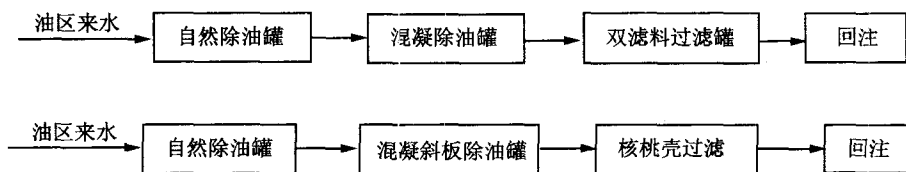


图 1-1 混凝除油“三段常规”流程图

1.2.2.2 用于回注低渗透油层的工艺流程

用于回注低渗透油层的工艺流程一般为“三段常规”处理加“精细过滤”流程，精细过滤段大多选用双滤料过滤器或改性纤维球（束）过滤器，少数选用 PEC 烧结管过滤器。

采出水中油珠粒径较小时，可采用混凝除油加精细过滤流程，见图 1-2。

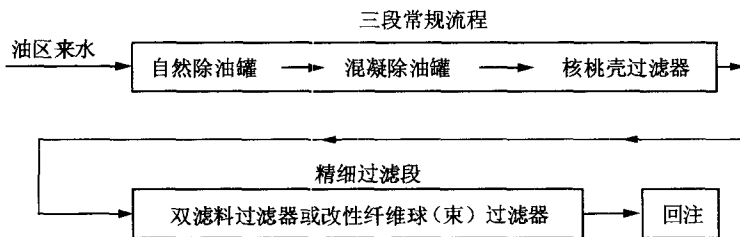


图 1-2 混凝除油加精细过滤流程图

如：大庆龙一联污水站、大港马西污水站、华北岔北联等。

当油水密度差较大时可采用水力旋流加精细过滤处理流程，见图 1-3。如大港南三站、塔中四联合站、鄯善污水站、吉林新木污水站、彩南污水站、东河塘联合站等。

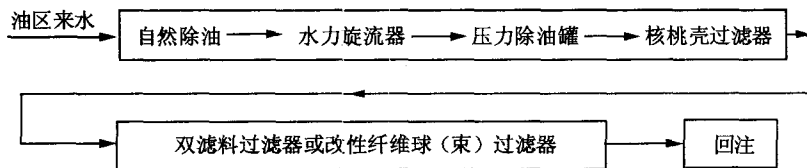


图 1-3 水力旋流加精细过滤处理流程图

当油水密度差较小时，一般选用气体浮选处理加精细过滤流程，见图 1-4。如大港南一污水站、辽河欢三联、曙一联、洼一联、大庆南六联、温米污水站、百口泉联合站、广西百色塘寨污水站等。

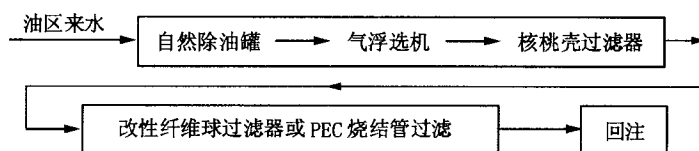


图 1-4 气体浮选加精细过滤处理流程图

1.2.3 外排水处理工艺流程

采出水经“三段常规”流程处理后，油和悬浮物含量一般可达到外排标准，但是 COD 的去除量受“三段常规”流程处理工艺条件的限制，难以达标，还必须进行深度处理，即物理吸附和生化处理。常用的物理吸附方法有活性炭吸附、活化沸石吸附和 AC 煤体材料过滤等。生化处理法主要有活性泥法、SBR 法、稳定塘法、厌氧法、好氧法等。以下选编了一些油田的成熟处理工艺，供参考，见图 1-5、图 1-6。

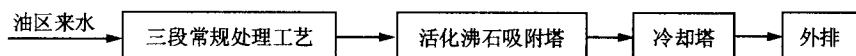


图 1-5 胜利乐安油田采出水外排处理工艺流程图

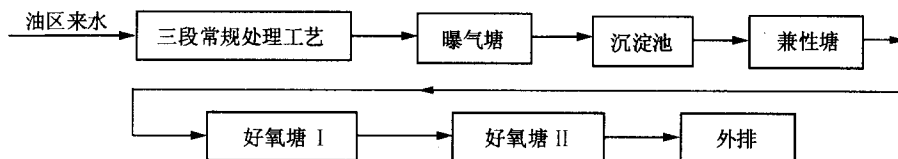


图 1-6 大港油田东二污外排水处理工艺流程图

1.2.4 回用热采锅炉用水工艺流程

采出水经“三段常规”流程处理后，必须再经过精细过滤和软化处理，各项指标达到锅炉用水标准后，才可作为回用热采锅炉用水。下面举例说明。

胜利乐安油田采出水深度处理站工艺流程，见图 1-7。该站全套设备从美国 ICT 集团公司引进。1999 年底投产，运行后各项指标均达到设计要求。

新疆克拉玛依油田六·九区稠油污水处理站流程。该站处理规模 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，分两期建设。一期工程处理后 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 用于采油二厂回注用水，剩

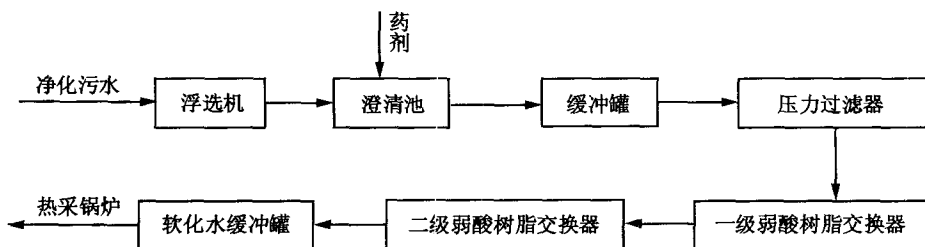


图 1-7 胜利乐安油田采出水深度处理站工艺流程图

余的 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 经再次过滤后临时外排。二期工程将外排水经软化处理后作为热采锅炉用水。

一期工程 2001 年 4 月开工，同年 9 月建成并投产。二期工程 2002 年底投运，初期规模为 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，该站工艺流程见图 1-8、图 1-9。

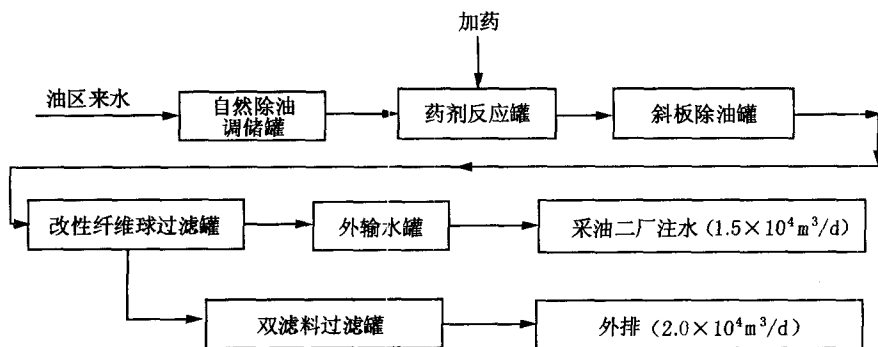


图 1-8 六·九区稠油污水处理站一期工程流程图

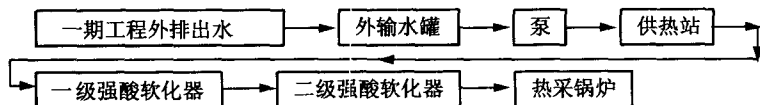


图 1-9 六·九区稠油污水处理站二期工程流程图

采出水经处理后均达到或接近克拉玛依油田注水企标和国家二级排放标准。油 $0.8 \sim 1.5 \text{ mg/L}$ ；悬浮物 $1.0 \sim 3.5 \text{ mg/L}$ ；硫化物 $0.7 \sim 2.1 \text{ mg/L}$ ；铁 $0.1 \sim 0.4 \text{ mg/L}$ ；腐蚀率 $0.026 \sim 0.058 \text{ mm/a}$ ；COD $74 \sim 146 \text{ mg/L}$ 。

二期工程中，采用了强酸软化器，从而简化了软化器的再生工艺。出水水质也达到了热采锅炉进水水质标准。

辽河油田欢三联污水深度处理站工艺流程，见图 1-10。该站规模为 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，2002 年投产。浮选机、多介质过滤罐为引进设备。

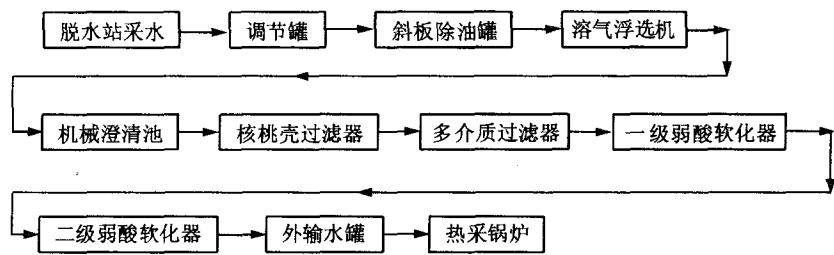


图 1-10 辽河油田欢三联污水深度处理站工艺流程图

来水水质：含油 200~400mg/L；悬浮物 300~500mg/L。出水水质：含油 0.1~1.0mg/L；悬浮物 0.2~1.8mg/L；硬度为 0。均达到了热采锅炉用水水质标准。

1.2.5 污泥处理工艺流程

污泥排放是间断进行的，污水先进排污池，用污泥泵抽送到浓缩池，进行浓缩，有时需加入高效混凝剂加快浓缩过程。浓缩后的污泥送到压滤机等脱水设备进行脱水，此时也须投加脱水剂以改变污泥性质，然后靠机械外力强制脱水，使污泥由液态变为固态泥饼，并进行无害化处理，工艺流程见图 1-11。

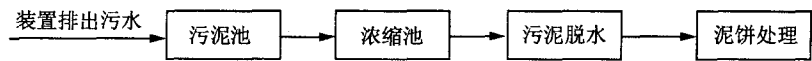


图 1-11 污泥处理工艺流程图

如：辽河欢三联、克拉玛依六·九区稠油污水处理站等。

2 除油设备

除油设备主要有立式自然除油罐、立式斜板除油罐、粗粒化（聚结）除油罐、混凝除油罐、气浮机（罐）、水力旋流器及其他处理装置等。前四类设备均为常规非标准设备，没有定型产品，一般由设计单位根据工程的具体情况进行设计，本手册没有优选具体产品，仅作定性介绍。

（1）立式自然除油罐。立式自然除油罐主要起调储作用，同时靠重力沉降也可进行油水分离。除油罐内，由于油珠的浮升方向与水流方向相反，当罐内横截面积和处理水量一定时，罐越深，油珠在罐内停留时间越长，油珠间碰撞聚结的机会越多。因此，除油效率与罐深成正比。立式自然除油罐具有较大的罐深，可以提高除油效率，同时可给后续处理工艺提供压能。

（2）立式斜板除油罐。立式斜板除油罐的结构形式与普通立式除油罐基本相同，主要区别是在普通除油罐中心反应筒的分离区加设了斜板组。含油污水从中心反应筒出来后，先在上部分离区进行初步的重力分离，较大的油珠先分离出来，然后污水通过斜板区，油水进一步分离。分离后的污水在下部集水区流入集水管，汇集后的污水由中心柱管上部流出除油罐。在斜板区分离出的油珠上浮到水面，进入集油槽后由出油管排出到收油装置。

（3）粗粒化（聚结）除油罐。粗粒化（聚结）除油罐主要用于污水中粒径为 $10\sim 100\mu\text{m}$ 分散油，浮油在沉降罐中几分钟便可浮到液面。乳化油则必须用化学混凝法经破乳后被去除。而分散油虽不用混凝可以靠自然沉降去除，但沉降时间较长。采用粗滤化除油技术，可以使小油珠凝聚成大油珠，在除油罐中能在 $1\sim 2\text{h}$ 内上升到水面被去除，从而达到提高除油效率，缩小除油罐体积的目的。

（4）混凝除油罐。混凝除油罐当污水中油珠粒径大于 $10\mu\text{m}$ 时，利用油水密度差，靠物理方法可将大部分油去除，但当小于 $10\mu\text{m}$ 的油珠在水中所占比例较大时，必须辅以化学方法，加入混凝剂（如硫酸铝、聚合氯化铝、硫酸亚铁、高分子混凝剂等）。对水包油的乳状液进行破乳后，再经混凝形成大颗粒的凝聚物。这时水中油成分散状态，很快上浮，缩短了油水分离过程。混凝剂加入到混凝除油罐进水管道上，与水充分混合后，在除油罐中心筒内进行反应。水从上部配水管流出，靠密度差进行沉降分离。

2.1 气浮法除油设备

气浮法除油设备是利用溶气气浮和诱导气浮原理在特定的条件下，采用不

同的装置向污水中溶入一定量的气体，产生细小气泡。利用气泡吸附污水中的油珠和悬浮物，形成比水轻得多的絮状物，这些絮状物很快上浮至污水表面，达到污水与油和悬浮物分离的目的。浮选机具有除油效率高、停留时间短（5~7min）、占地面积小等优点。特别适合处理稠油采出水，除油效率高达 90% 以上。气浮设备主要有叶轮浮选气浮机、喷射气浮罐机和溶气气浮装置等。

气浮技术根据产生气泡方式不同，可有多种气浮工艺，其中被广泛应用的是“加压溶气气浮法”。按其溶气方式和加压方式的不同，又可分为：全流溶气气浮工艺、分流溶气气浮工艺及回流溶气气浮工艺。

气体浮选罐（机）从结构上可分为喷射式和叶轮式；外形有圆形和方形之分。圆形气浮罐又分卧式和立式两种。

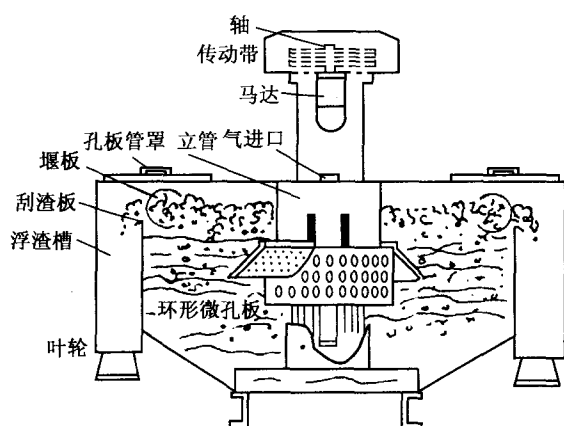


图 2-1 叶轮气体浮选机结构示意图

（1）叶轮式诱导气浮机。20 世纪 80 年代初，辽河、中原、胜利、新疆等油田，全套引进了美国的韦姆柯叶轮气体浮选机。后经消化吸收研制出了我国产品。

它是由四级转动的叶轮组成的四个气浮室。采出水依次通过四个室完成气浮过程。外形为方形。其结构示意图意见图 2-1。

叶轮气浮机工作原理如图 2-2 所示。向水中通入气体，使水中颗粒为 $0.25\sim 20\mu\text{m}$ 的浮化油、分散油及悬浮物粘附在气泡上，均在 4~6min 内可随气泡上浮到水面被除去。

气体从气浮室的上部气顶进入液体中，这就是通路 A。同时液体从气浮室下部向上循环，这就是通路 B。液体向上循环到两相混合区与气体混合。混合区对于该工艺非常重要，必须注入足够的气体，在足够量的剪切力下破碎为微细气泡，微细气泡在混合区与液体充分接触，形成气泡附着有油和固体颗粒的絮凝体，并很快上浮到液面被除去。

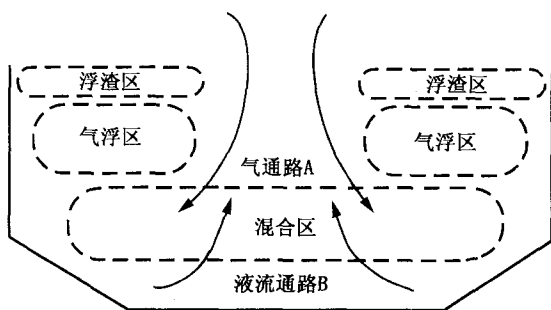


图 2-2 叶轮气体浮选机气浮室水力图

叶轮式气体浮选比全流加压溶气气浮的溶气量大 50 倍，停留时间缩短 5 倍。当二者除油效率相同时，叶轮气浮机造价仅为溶气气浮的 60%。但叶轮式