

H₂O

于忠臣 王松 阚连宝 孙颖◎编著



油田 YOUTIAN

污水处理和杀菌新技术

WUSHUI CHULI HE SHAJUN XINJISHU

哈尔滨地图出版社

油田污水处理和杀菌新技术

YUTIAN WUSHUI CHULI HE SHAJUN XINJISHU

于忠臣 王 松 阚连宝 孙 颖 编著

哈尔滨地图出版社

• 哈尔滨 •

图书在版编目 (C I P) 数据

油田污水处理和杀菌新技术 / 于忠臣等编著. — 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2010.6

ISBN 978-7-5465-0281-6

I. ①油… II. ①于… III. ①油田—污水处理
IV. ①X741②X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 105863 号

哈尔滨地图出版社出版发行

(地址: 哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮政编码: 150086)

哈尔滨天兴速达印务有限责任公司印刷

开本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 12.625 字数: 275 千字

2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5465-0281-6

印数: 1~1 000 定价: 28.00 元

前言

随着美国墨西哥湾原油泄漏事件的发生，人们逐渐对油污染带来的危害有了切身的感受，如何消除油类对水体的污染备受业界关注。在关注的同时，对含油污水处理新技术有了更多的期待。伴随原油开采过程而形成的含油污水，成分非常复杂，含有地层溶滤作用形成的各种离子、地层岩石和黏土矿物颗粒、原油和沥青胶质等有机不溶物，以及采油过程中添加剂等。这些可溶的和不可溶的、有机的和无机的、液体的和固体的、沉淀的和悬浮的物质与水构成了极为复杂的含油污水，实现污水中油水有效分离，是保证油田生产和保护环境、实现可持续发展的关键一环。

我国油田分布广阔，大部分油田已进入开采中后期，利用聚合物驱油提高原油采收率是老区挖潜、增效的有效方法，随之而来产生的含聚污水，使油水分离难度加大，导致传统的油水分离工艺已表现出极大的不适应，成为困扰油田高产和稳产难题。因此加速研发出适应油田含聚污水处理新技术已日益成为我国石油工业领域的重大需求和一个极具世界性的挑战性课题。同时油田开采过程中注采不均衡，使污水的产生量增多，部分污水需要排放到地表水体中，相应地对外排污水的 COD 指标提出了要求，因此使含聚污水实现其达标排放又是油田面临的一项新课题。

为了保护环境和维持地层产能，多年来都是将油田污水处理后回注地层。同时污水中含有多种有害成分如硫酸盐还原菌(SRB)、腐生菌(TGB)、铁细菌(FB)和其他有机物质，为细菌提供了滋生的环境。同时细菌过度增长，会腐蚀管网、堵塞地层、增加注水压力。如何有效控制油田污水细菌造成的危害，不断提高和改进油田污水杀菌技术，已成为势在必行的重要课题。

本书主要介绍了油田污水来源、特点及其传统油水分离方法，阐述了多级内循环浮选油水分离新技术的高效油水分离作用，详细阐述了溶液 pH 值、聚合物浓度、水力停留时间、气含率和表面活性剂浓度对油水分离性能的影响。同时介绍了高级氧化技术和强化生物技术对含聚污水 COD 降解特性，分析了过渡金属和紫外光催化臭氧羟基自由基产生机理，并探讨了含聚污水生物降解的生物学特性。最后对油田污水高铁杀菌技术、油田用铁(IV)基杀菌剂的研制进行了详细探讨，分析了高铁的制备以及影响高铁杀菌效率的因素。

书中汇聚了作者多年的研究成果，同时也参考了许多国内外资料，主要参考文献已列于书后，限于篇幅恕不能尽数列出。在此对各参考文献的作者表示深深的谢意。

本书第一、二、三、五章由于忠臣、阚连宝、孙颖撰写，其余部分由王松撰写。

特别感谢中国石油科技风险创新基金、黑龙江省教育厅科学技术基金和大庆市高新区研发基金的资助。

由于作者水平有限，书中难免有错误或不当之处，恳请同行和读者批评指正。

编 者

2010年3月于大庆

目 录

第 1 章 概 述.....	1
1.1 含水原油产生及脱水方法.....	1
1.2 油田含油污水.....	3
1.3 含聚合物采油污水.....	4
1.4 油田采出水的性质.....	7
1.5 油田采出水的回用、排放与水质标准.....	16
第 2 章 国内外油田污水处理技术的发展现状.....	25
2.1 国内外技术发展概况.....	25
2.2 物理处理方法.....	26
2.3 化学处理方法.....	29
2.4 油田污水处理剂的研究现状.....	39
第 3 章 复合多相内循环油水分离技术.....	42
3.1 复合多相内循环油水分离技术.....	42
3.2 实验结果与讨论.....	49
3.4 多相内循环油水分离效能影响因素及动力学探讨.....	62
第 4 章 悬浮生物膜-催化臭氧微曝气活性滤池含聚污水处理技术.....	67
4.1 含聚污水特点及处理意义.....	67
4.2 含聚污水处理技术的研究现状.....	68
4.3 悬浮生物膜-短时催化臭氧微曝气活性滤池技术.....	72
4.4 悬浮生物膜含聚污水降解性能.....	82
4.5 含聚污水短时催化臭氧实验研究.....	94
4.6 降解效能分析.....	104
4.7 含聚污水升降曝气活性滤池降解研究.....	107
4.8 曝气活性滤池降解 COD 特性研究.....	111
4.9 曝气活性滤池氮素降解特性研究.....	114
4.10 滤池反冲洗功效研究.....	117
4.11 滤池生物载体生物相分析.....	124

第 5 章 油田水微生物及杀菌技术..... 126

5.1 概述..... 126

5.2 油田污水细菌含量测定与分析..... 140

5.3 紫外线杀菌技术研究 145

5.4 超声波杀菌技术研究 147

5.5 高铁酸钾杀菌技术研究 158

5.6 二氧化氯杀菌技术研究 170

5.7 常见油田水处理杀菌剂 174

5.8 油田杀菌剂的研究现状与发展方向 184

参考文献 190

第 1 章 概 述

1.1 含水原油产生及脱水方法

1.1.1 含水原油产生

目前我国油田以向油层注水或聚合物来保持油层压力为主要开发手段。胜利油田日注水量达到 $61 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，采出液含水率高达 90% 左右，平均每开采 1 t 原油约注入 8.4 m^3 水。特别是在稠油区块，温度为 60°C 时，原油运动黏度高达 $1.5 \times 10^4 \text{ mm}^2/\text{s}$ 以上，原油在油层中流动性极差，通常向油层注入高压蒸汽或热水来提高油温，降低原油黏度，来开采稠油。在油田开采后期，需要采取措施使注入水能均衡地向油层推进以减少死油区，降低综合含水率，提高油田采收率。因此水仍是油田开采的重要介质。

在原油开采过程中，由于不断向油层注入水、高压水蒸气或聚合物，这些介质在保持油层压力、提高原油温度的同时，还不断地与原油相互渗透、混合，使不含水的原油或低含水的原油变成含水原油或高含水原油。当然在一些油层边水活跃的油田，也会自然形成含水、含聚原油。原油含水给采油以及原油集输工艺增加许多困难，具体表现在：

（1）油井采出液总量增大

原油含水后油井采出的总液量增加，特别是中、高含水期含水原油的总液量要比纯原油成倍增加，无疑给后续的原油集输、原油脱水等工艺增加技术难度，增大工程建设工作量。

（2）增加了原油输送中的动力消耗

含水原油不仅因液量增加而加大动力消耗，而且含水原油处在油包水型乳化液时，其黏度随原油含水率的上升而显著增加，必然增加管道的阻力和降低油泵效率，这些都增加了动力消耗。

（3）增加了原油集输工艺的燃料消耗

为了保证原油集输、脱水，需要对含水原油进行加热。由于水的比热大于油的比热，在同样升温的情况下，水所吸收的热量约为原油的两倍。

（4）引起金属管道和设备的结垢与腐蚀

原油中所含的地层水一般矿化度高，当环境发生变化时易在原油集输系统中产生结垢、腐蚀现象，造成管道阻塞，金属设备腐蚀损坏，使加热设备的传热效率降低。

综上所述，原油含水给原油集输等地面工程的正常生产增加许多困难。垢、腐蚀产物混入原油还有损油品性质。因此，必须对含水原油进行脱水，要求外输成品原油含水率不

超过 0.5%，脱出的含油污水中含油量不得超过 1 000 mg/L。

1.1.2 含水原油脱水

1.1.2.1 含水原油脱水方法

含水原油不是原油与水的简单机械的混合物，而是油包水型或水包油型的乳状液。含水原油乳状液性质不同，采用的脱水方法也不一样，油田常用的方法可归纳如下：

（1）沉降分离法：依据油与水互不相溶和油与水的密度差异，可以进行自然沉降、加热沉降、离心沉降和斜板、斜管沉降，达到油、水分离的目的。

（2）化学破乳法：是向含水原油中加入化学破乳剂，经搅拌混合使其达到破坏原油乳化状态的目的，破乳后的水珠相互聚结并沉降分离。

（3）聚结脱水法：利用高比表面积亲油或亲水性材料对油与水亲和力的悬殊差异，使原油中的油或水在材料表面聚结并沉降分离。

（4）电力破乳法：用交流电、直流电或交流—直流电的电场力破坏原油乳化状态，使水珠相互聚结，达到油水分离的目的。

1.1.2.2 含水原油脱水设备

（1）沉降脱水罐

常用的沉降分离设备有立式沉降罐和卧式沉降罐。二者都根据油水的密度差进行油水沉降分离。

立式沉降罐是在罐的中部进液，上部出油，下部出水，底部排除泥沙。常用于开式脱水流程，其优点是分离出的油含水量和水中含油量都较稳定，但在罐中停留时间较长。

卧式沉降罐是一种压力罐，采用密闭脱水流程。其优点是停留时间短，但当流量发生变化或操作不当时，常会使油水分离效果不稳定。

为了提高沉降效率，常在沉降罐内加设技术设施，如加斜板时，称斜板沉降罐，加设聚结材料，如陶粒时，称陶粒脱水器。

（2）电脱水器

电脱水器是依靠电场力的作用对原油乳化液进行破乳脱水的设备。一般进入电脱水器原油含水率应低于 30%，并投加适量的破乳剂。脱水温度取决于原油黏度，在稠油脱水时，达到 80℃左右。电脱水器常用的有立式和卧式两种，目前各油田趋向采用卧式电脱水器。

1.1.2.3 原油脱水工艺流程

油田原油脱水工艺流程是根据原油物性、含水率的变化特点、净化油的质量要求，并结合油气集输、采出水处理等，综合考虑确定的。脱水流程可分为开式流程和密闭流程。开式流程是指在脱水过程中，可以使原油和大气接触；密闭流程，是指在脱水过程中不允许原油直接和大气接触，以防止轻组分和溶解气的挥发。

（1）开式流程

油井来油首先进入油气分离器，脱去天然气，然后进含水油罐，加破乳剂经脱水泵加压，加热炉升温，而后至电脱水器，在高压电场作用下进行油水分离，净化油从脱水器顶部进入净化油罐，最后用外输油泵将净化油外输。脱出的采出水从脱水器底部排至采出水处理站，排水压力一般为 0.2 MPa。

这种经过脱水流程的采出水从电脱水器直接进入采出水处理站，由于电脱水器的油水界面不易控制，易造成脱水器出水中含油量变化很大，特别当原油含水率上升到 30%时，很容易破坏电场，影响脱水质量。也给采出水处理带来困难。因而在生产中采取了首先进行一次热化学沉降，将原油含水率降到电脱水器要求的含水率水平后再进行电脱水，简称两段脱水流程。

两段脱水与一段脱水的主要不同点是增加了沉降脱水罐，电脱水器排出采出水与含水原油一并进入沉降脱水罐中部的水层，进行水洗（或叫亲水过滤）。脱水后的原油从罐上部排出，采出水从下部排至采出水处理站。沉降脱水罐可将采出水含油降到 1 000 mg/L 以下，且水中含油量稳定，给采出水处理创造了良好的条件。但采出水的压力仅是沉降脱水罐的静压力（一般在 0.1 MPa 左右）。因此，采出水处理站宜靠近沉降脱水罐建设。当不能依靠重力流入采出水处理站一级处理装置时需要增加提升的设施。

（2）密闭流程

密闭流程的整个工艺过程是在压力容器中的进行的，其脱水原理和开式流程原理不同，含水原油进入三相分离器进行油、气、水三相分离，进入缓冲罐后加入破乳剂，由脱水泵升压、加热炉升温进入热化学沉降，再升温后进入电脱水器进一步脱水，达到含水合格后原油外输。三相分离器、压力沉降罐、电脱水器分离后，采出水靠压力汇合直接排至采出水处理站。

1.2 油田含油污水

油田开采时，注入的水、注入蒸汽凝结的水或原有地层存在的水又随着原油被开采出来，从含水原油中脱出的含油污水称为油田含油污水，或称为油田采出水。它是油田回用水的重要来源，衡量油田含油污水特性时常用以下参数。

1.2.1 采出水水量

当采出原油含水时，生产出相同数量的原油，采出水水量随着原油含水率提高而加大。采用注水方式开采的原油，绝大多数时间是在中、高原油含水期进行（原油含水率在 30%~80%），而无水采油期、原油低含水期采油期限往往很短，到后期，原油含水率可高达 90%以上。例如年产 100×10^4 t 级油田，当综合含水率为 30%时，每天采出水量为

$0.12 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，综合含水率为 80% 时，每天采出水量为 $1.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，综合含水率为 90% 时，每天采出水量为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，含水原油脱出采出水量按公式 (1-1) 计算：

$$Q_1 = \frac{\eta Q_y}{(1-\eta)\rho} \quad (1-1)$$

式中： Q_1 ——原油脱水过程排出采出水量， m^3/d ；

η ——原油含水率，%；

ρ ——采出水密度， t/m^3 ；

Q_y ——净化油产量， t/d ，按式 $Q_y = \frac{\text{原油年产量}}{365}$ 计算。

1.2.2 压力

油田采出水主要来源于含水原油的脱水装置，这部分水将送往采出水处理站处理后回用或外排，送往采出水处理站的采出水的方式、压力与脱水流程和采用装置有关，一般由压力脱水装置分离出的采出水，压力保持在 0.2 MPa 左右，可以直接用输水管道送往采出水处理站；脱水装置为常压沉降罐，脱出采出水压力仅为沉降罐液位的静压头压力，能否利用静压头将采出水用管道送往采出水处理站的处理装置，需要进行详细水力计算方可确定。在工程实践中，为了防止使用水泵输送原水而增加油、水的乳化，并节省原水提取的费用，尽可能合建原油脱水站与采出水处理站，或合理设计装置的高程，来满足自流方式进入采出水处理装置，当必须采用水泵提升输送采出水时，应尽可能采用容积泵或低转速离心泵，以降低油水的乳化程度。

1.2.3 采出水水质

采出水的处理目的是使其达到回用水质或外排水质标准。原水水质随着采出原油油品性质、油层地质条件、采油工艺、油气集输流程和原油脱水方式不断地发生变化，形成各种不同性质的原水。例如有的采出水矿化度每升高达三十余万毫克，而有的仅为几百毫克；有的采出水中所含原油密度在 $0.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ 左右，而有的高达 $0.98 \text{ g}/\text{cm}^3$ 以上，显然采出水水质有着很大的差异，影响采出水水质差异除天然气外，还与人为开采因素相关，如开采工艺与相关投加的各种化学药剂都不同程度地影响乳化油的分布状况，影响水中化学成分状态。由于性质不同，造成处理难、易的差别。

1.3 含聚合物采油污水

目前，我国大部分油田进入几次采油阶段，其中聚合物驱和多元复合驱三次采油技术已成为提高原油采收率的一种重要方法。聚合物主要成分为聚丙烯酰胺类物质，聚丙烯酰胺类物质包括聚丙烯酰胺、部分水解聚丙烯酰胺和阳离子聚丙烯酰胺，主要用做造纸、水

处理、选矿和油田化学品，其中消耗量最大的是三次采油领域。聚合物驱油技术对我国油田藏的物化环境有较强的适应性。经过多年的研究，矿场试验已取得全面成功，至今该技术已在油田进行工业化推广应用，并取得了较好的驱油效果。有关资料表明，我国大规模工业化的聚合物驱油以提高采收率的适宜地质储量有 43.6×10^4 kt，按平均提高采收率 8.6% 计，能增加可采储量达 3.8×10^4 kt，需要聚合 2.24×10^4 kt。目前，三次采油技术在大庆、大港和胜利等油田得到大面积的推广，其技术已达到世界领先水平。

1.3.1 含聚污水

聚合物驱油是通过在注入水中加入一定量相对分子质量高的聚合物，增加注入水的黏度，改善油水流动度比。注入的聚合物溶液具有较高的黏度，通过油层后具有较高的残余阻力系数以及黏弹效应等，黏度越高，残余阻力系数越大，驱替相的流动度就越小，驱替相与被驱替相的流动度比就越小，聚合物驱扩大油层宏观和微观波及效率的作用就越大，采收率提高值就越高。各种水溶性聚合物已经在油气钻采和油层保护等各个环节得到了广泛的应用，由于水溶性聚合物能大幅度地改善流动度比、降低油藏的非均质程度，因而已被油田广泛应用。

聚合物驱技术已经在大庆油田 14 个区块广泛应用，其原油产量每年 9×10^6 t，累计产油为 3.4318×10^7 t，占油田总产量的六分之一，是世界上最大的聚合物驱采油工程。大庆油田注入的聚合物为阴离子型部分水解聚丙烯酰胺（HPAM），水解度为 23%~27%，注入浓度为 1‰。聚合物溶液经注入井渗入约 1 000 m 深的地下油层，并与地层中的原油进行充分接触，将原油驱替到油井，通过油井将原油和聚合物溶液采出，将原油和聚合物在油井的井口处的水溶液称为采出液。采出液中含有大量的污水。

目前，应用于油气田钻采过程中的水溶性聚合物主要有两类：一类是聚丙烯酰胺类；另一类是生物聚合物。由于丙烯酰胺均聚物在使用性能的局限性使得丙烯酰胺多元共聚物有了很大的发展，该类共聚物在油田开发中有广泛的应用市场，是 20 世纪 80 年代发展起来的一类重要的油田处理剂。在加大聚合物驱生产规模的同时，由于聚合物本身是一种黏弹性流体，在注入过程中对油田开发造成的危害也越来越大。特别是含聚合物污水的回注造成近井地带油层污染，注水压力上升，近井及炮眼堵塞，注水困难，产油量下降，含水率上升等一系列问题。

随着油田注聚面积的加大，含聚合物采油污水量也在不断增加，已达 40 Mt，不仅影响油田的生态环境，更不利于油田的开发和生产。

1.3.2 含聚合物采油污水的特点

我国油田含 HPAM 污水主要来自三次采油过程中的采出水。聚合物驱在大庆油田工业性矿场试验已获得良好的增油效果，根据大庆北一区聚合物驱试验区和萨北油田试验区的

先导性试验结果分析，污水含油量和聚合物含量都较高，矿化度和固含量都有明显增加，并且随着聚合物含量增加有所增加，平均油含量为 2 500 mg/L，最高含量可达 5 000 mg/L 以上，聚合物浓度在 400 mg/L 以上，并且在逐渐增加，甚至达到注入浓度 1 000 mg/L。表 1-1 为萨北油田北 1-7p123 井采出水的特性参数。

表 1-1 萨北油田采出水的特性参数

采集位置	CHPAM/ (mg/L)	矿化度/ (mg/L)	含油量/ (mg/L)	悬浮物/ (mg/L)
聚北联合站	800	3 834	1 250	12
北 1-6pZs 井	370	3 825	>2 500	>20
七 1-7p123 井	520	3 560	>2 500	>20

注：此数据来自大庆油田。

与一般采油污水相比，含聚合物采油污水具有以下特点：

(1) 组成除含有石油烃类、固体颗粒、无机物和细菌等常规采油污水含有的物质外，还含有大量残余的聚合物 HPAM。HPAM 是种难生物降解的高分子物质，污水中 HPAM 的相对分子质量为 $2\times10^6\sim5\times10^6$ 。

表 1-2 胜利油田聚驱采油污水水质情况

分析项目	孤二注	11 注聚	8-1 注聚	孤南注	12 注聚
COD/mg/L	2746.5	3500.1	2820.3	3479.2	1029.0
含油/mg/L	561.3	752.5	1161.9	699.4	338.4
悬浮物/mg/L	221.2	150.0	220.5	92.3	133.0
总铁/mg/L	0.2	0	0.2	0.1	0.3
二价铁/mg/L	0.2	0	0.2	0.1	0.3

(2) 污水的黏度增大。污水的黏度主要由 HPAM 引起，并随其浓度的增加而增大。45℃以下，当 HPAM 质量浓度从 80 mg/L 增大到 520 mg/L 时，污水黏度从 0.8 mPa·s 增加到 3.5 mPa·s，水驱采油污水的黏度一般为 0.6 mPa·s。

(3) 污水中油珠的初始粒径小。聚驱与水驱采油污水油珠粒径的差异非常明显，如表 1-3 所示，水驱采油污水中油滴的初始粒径中值为 34.57 μm，聚驱采油污水的油珠粒径更为细小，粒径中值一般小于 10 μm，属于典型的乳化油，单纯用静止沉降法无法去除，油水分离比较困难。

表 1-3 聚驱采油污水与水驱采油污水油珠粒径对比

HPAM 含量/ (mg/L)	黏度/ (mPa·s)	粒径中值/ μm	水样来源	类型
99.3	1.021	2.79	胜利坨一站	聚驱
0	0.843	14.84	胜利坨四站	水驱
603.3	1.057	4.94	大庆喇 360	聚驱
0	0.701	34.57	大庆喇 11	水驱

（4）污水乳化程度高，污水中的 HPAM 集中在油水界面上，与乳化剂一起形成强度较大、弹性良好的复合膜，破乳困难。

综上所述，由于注聚合物驱采出液中聚合物对油水分离的影响，导致油水分离质量变差，沉降分离后污水含油率增高。以水驱油矿场设计的沉降分离时间 20 min 分离后污水含油率低于 1 000 mg/L 的指标相比较，最高超标达 10 倍，而且随着沉降时间的延长，分离后污水含油率降低缓慢。在相同的沉降分离时间下，采出液中聚合物浓度越高，分离后污水含油率越高；采出液含水率越低，分离后污水含油率越高。从上述特点可以看出含聚合物采油污水是一种难度较大、乳化程度较高、难生物降解的有机污水。油田当前普遍采用的“二级沉降（重力沉降和混凝沉降）+二级过滤”处理工艺已不能满足要求，出现了设备处理能力降低、沉降时间过长、出水水质不合格等现象。因此，研究处理含聚合物采油污水的工艺技术成为亟待解决的问题。

1.4 油田采出水的性质

1.4.1 采出水的组成

油田采出水组成比较复杂。采出水不仅被原油所污染，它在高温、高压的油层中还溶解了地层中的各种盐类和气体；在采油过程中，从油层里携带许多悬浮固体；在采油、油气集输、原油脱水过程中还投加了各类化学药剂；采出水中含有大量有机物，有适宜微生物生长繁殖的环境。因此，采出水是含有多种杂质的工业废水。

采出水中污染物质可分为无机物、有机物和微生物。根据这些污染物质分散在采出水中杂质的基本颗粒尺寸可形成悬浮液、乳状液、微乳液、胶体溶液和真溶液五类，水中分散颗粒尺寸见表 1-4。

表 1-4 分散介质大小与分散体系表

分散体系	真溶液	胶体溶液	微乳液	乳状液	悬浮液
介质粒径/ 10^{-9}m	0.1~1	<10	10~100	100~10 000	>10 000
稳定特性	稳定	稳定	稳定	不稳定	不稳定
介质形状	分子或离子	球状、浓溶液或有其他形状	球状	一般为球状	不定

1.4.1.1 悬浮杂质

将分散体微粒较大的一些胶体颗粒和悬浮颗粒统称为悬浮杂质，主要包括下列物质：原油、矿物、微生物和有机物。

（1）采出水中的原油

原油以大小不同的油珠分散在采出水中。从显微镜下观察，绝大部分是以微小的油珠分散在采出水中，形成“水包油”乳状液，根据分散在水中的粒径大小不同，可分为以下

四种状态：

浮油：粒径大于 100 μm ，稍加静置即可浮升至水面；

分散油：粒径为 10~100 μm ，有足够的静置时间油珠亦可浮升至水面；

乳化油：粒径为 0.1~10 μm ，具有一定的稳定性，单纯用静置方法很难使油水分离；

溶解油：粒径小于 0.1 μm ，此类油珠粒径小于可见光的平均波长（0.56 μm ），分散在水中，透过肉眼不可见，故称溶解油。

采出水中往往同时含有以上几种分散状态的油珠，只是所占比例不同而已，现以胜利油田的三个转油站排放的采出水为例，各站采出水中油珠的分散状态见表 1-5。

表 1-5 各站采出水中油珠分散状态

站名	含油量/ (mg/L)	不同油珠的分散度组成/（质量%）		
		浮油 $d > 100 \mu\text{m}$	分散油 $d = 10 \sim 100 \mu\text{m}$	乳化油和溶解油 $d < 10 \mu\text{m}$
辛一	135	36	50.6	13.4
坨六	771	36	51.4	12.6
孤二	584	34.0	61.5	4.5

（2）悬浮固体

在采出水中分散体为矿物杂质的悬浮物，常称为采出水中悬浮固体含量，悬浮固体按粒径大小分为三个基本粒级：泥质（ $d < 10 \mu\text{m}$ ）、粉质（ $d = 10 \sim 100 \mu\text{m}$ ）和砂质（ $d > 100 \mu\text{m}$ ）。悬浮固体的粒径、矿物组成与其总的含量和开采的油层情况、开采工艺有关，各站污泥颗粒粒径组成分析如表 1-6。

表 1-6 滨二污泥颗粒粒径组成百分表

颗粒粒径	粉质（89.7%）		泥质（10.3%）	
	$d = 50 \sim 100 \mu\text{m}$	$d = 10 \sim 50 \mu\text{m}$	$d = 5 \sim 10 \mu\text{m}$	$d < 5 \mu\text{m}$
质量比/%	20.0	69.7	6.2	4.1

辛一含油污水处理站，悬浮物含量为 249.4 mg/L,颗粒粒径组成分析如表 1-7。

表 1-7 辛一污泥颗粒粒径组成百分表

颗粒粒径	粉质（52.3%）		泥质（47.7%）	
	$d = 50 \sim 100 \mu\text{m}$	$d = 10 \sim 50 \mu\text{m}$	$d = 5 \sim 10 \mu\text{m}$	$d < 5 \mu\text{m}$
质量比/%	15	37.3	40.5	7.2

（3）微生物

采出水中常见的微生物是硫酸盐还原菌（SBR）、铁细菌、腐生菌等，这些菌是由多数细胞连接而成单丝状，或具有短侧枝的丝状群体，称为丝状细菌。丝状菌一般宽度为 0.5~2 μm ，长度因种类不同而异。

（4）有机物

油田采出水中存在的有机物组分复杂，水中原油就是各种烃类组成的有机化合物，除

此之外，主要来源于油气集输、采油和井下作业工艺的需要，还以药剂形式向原油中抽回各种有机物，如破乳剂、降黏剂、清蜡剂、缓蚀剂、防垢剂等。据渤海石油公司绥中 36-1 油田在“明珠号”储油轮电脱水器出口采出水取样分析，有机物组分达 69 种，其相对百分含量见表 1-8，总有机碳含量为 102.1 mg/L，COD_{Cr} = 434 mg/L，BOD₅ = 93.6 mg/L。

表 1-8 采出水中有机污染物百分含量表

主要有机污染物	相对百分含量/%
苯酚	37
环芳烃	26
多环芳烃	18
烃类	11
其他（醇、酮、羧、醛类）	8
共计	100

1.4.1.2 溶解杂质

溶解杂质是指溶解于水中形成真溶液的低分子及离子物质，主要包括溶解在水中的气体，如氧气、二氧化碳和氢等气体；溶解在水中的盐类，以离子形式存在于水中。

油田地质条件比较复杂，油层埋藏深度也不一样，岩层温度、压力也不一致，油层地下水流经地层矿床各异，与矿床接触时间也不相同，水中离子含量差异较大，所以各油田的采出水的性质也不一样，一般具有矿化度高，水温高，含有 H₂S，CO₂，O₂ 等有害气体和大量成垢离子等特点。胜利油田部分油田出水水质分析见表 1-9。

表 1-9 胜利油田部分油田采出水水质分析表

采油厂	站名	离子含量 (mg/L)						总矿化度 /(mg/L)
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	总 Fe	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	
孤岛	1 [#] 联	117.4	48.6	2 498.9	0.11	3 716	834.9	7 216
孤东	1 [#] 联	136.2	41.3	2 555	微	3 999	517.4	7 249
东辛	辛一站	1 726	413	12 268	9.4	22 971	359.4	37 738
东辛	辛二站	4 629	664.3	1 998.8	7.0	40 736	342.5	66 361
东辛	102 站	846.3	251.2	645.1	3.4	1 186.3	530.4	11 942
胜采	坨一站	99.4	33.79	432	—	6 574	623.01	11 653
胜采	坨二站	381.5	97.6	6 006	1.8	9 917	512.8	16 916
现河	首站	778.3	147.3	9 661	1.0	16 387	533.9	27 508
现河	王家岗站	1 420.8	125.2	7 045	0.61	13 613	263.6	22 502
河口	首站	20.0	67.8	2 764	0.2	4 545	3 487	10 885
桩西	桩西联	280.5	30.4	2 767	0.1	3 745	875.3	7 699
纯梁	首站	380.6	59.07	7 991	3.7	12 028	1 076.9	21 537
滨南	二首站	451.6	416.3	8 961	1.5	12 647	1 348	20 824
临南	盘二站	2525	728.4	10 044	2.0	21 869	349.7	35 517
备注		水温 45~65℃，pH 值 6.6~8，CO ₂ 含量：0~微量						

(1) 高矿化度

油田采出水一般矿化度都较高,例如大庆、辽河油田在 2 500 mg/L 左右,胜利油田为 500~70 000 mg/L,中原、江汉、新疆有些油区可高达 200 000 mg/L 以上。高矿化度使水的电导率增大,大大加快了水对金属的腐蚀。溶盐类一般极易溶解,并不生成沉淀物或水垢,由于氯离子体积小,活性很大,它对金属表面形成的保护膜穿透力极强,不利于防止金属的腐蚀。

(2) 水温高

胜利油田采出水一般在 45℃左右,稠油采出水温可达到 70℃以上。国内有些油区采出水水温在 30℃以下,但也有高达 90℃。

含有 H_2S , CO_2 , O_2 的采出水是强的阴极去极化剂,造成电化学腐蚀连续进行,促进腐蚀进程, O_2 与 H_2S , CO_2 的协和作用,使采出水腐蚀金属速度成倍的增加。

H_2S 腐蚀具有明显的点蚀性质, H_2S 与水中溶解铁盐反应变成黑色的硫化铁,使水中悬浮物上升,并散发出臭味。采出水中含有超量的侵蚀性二氧化碳时会产生腐蚀,如果游离二氧化碳小于平衡时的含量,水会结垢。

(3) 含有大量的成垢离子

采出水中含有 HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} 和 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} 等易结垢的离子,常见的垢为碳酸盐垢、硫酸盐垢。当水温、水压、PH 值发生变化, CO_2 气体失去平衡时,很容易产生碳酸盐垢;当 Sr^{2+} , Ba^{2+} 离子与 SO_4^{2-} 相结合时,立即产生硫酸盐垢。

总之,以上离子的存在是造成采出水易腐蚀、易结垢的基本原因。准确的原水成分分析资料是选择合理的水处理流程、适当的化学药剂及剂量,进行水处理工艺设计的重要基础资料。

1.4.2 物理性质

1.4.2.1 密度

影响采出水密度的因素是水中溶解物质的含量、水的温度、水所承受的压力。采出水的密度随水温升高而降低,随含量的增多而升高,API RP45 的数据表示温度每变化 1℃,密度变化为 0.000 2 g/mL,含盐量每变化 1 000 mg/L,密度变化为 0.000 8 g/L。

如无实测数据,可按式 (1-2) 计算采出水密度

$$\rho_t = 1000 + 0.0008 S - 0.0002 (t - 4) \quad (1-2)$$

式中: ρ_t ——温度为 t 含盐量为 S 时采出水密度, kg/m^3 ;

S ——采出水含盐量, 1 000 mg/L;

T ——采出水温度 ($t \geq 4^\circ\text{C}$)。

1.4.2.2 黏度

黏度是液体分子间的摩擦力,是液体层间相对运动时阻力大小的一个指标。它是导致