

# 两种油田水 处理系统

蒸汽驱水处理

油田采出水处理

[美] B.W.布雷德利

● 石油工业出版社

**(京) 新登字082号**

**内 容 简 介**

本书着重阐述了蒸汽驱水处理与油田采出水除油净化两种水处理系统的有关技术及设备性能,并通过对大量的现场数据资料的分析和研究,加深了读者对有关技术的基本知识的认识和理解。

本书第一部分由刘良坚翻译,第二部分由张兴儒翻译。

本书可供从事油田水处理的工程技术人员和研究人员阅读使用。也可供大专院校有关专业的师生参考。

**Two Oilfield Water Systems**

**Bryant W. Bradley**

**ROBERT E. KRIEGER PUBLISHING COMPANY 1987**

**两种油田水处理系统**

**蒸汽驱水处理 油田采出水处理**

**[美] B.W. 布雷德利**

**张兴儒 刘良坚 译**

\*

石油工业出版社出版

(北京安苑门内安华里二区一号楼)

北京延庆计量印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 32 开本 95/8 印张 206 千字 印 1—1,500

1992年6月北京第1版 1992年6月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0674-X/TE·641

定价 2.00 元

## 前 言

本书是关于蒸汽驱水处理<sup>●</sup>与油田采出水除油净化这两个主题的专著，它分析和解释了来自大量技术报告以及设备制造厂商的产品说明书的数据资料。本书可供熟悉水化学并了解如何控制和监测油田水系统中悬浮固体物质、结垢、腐蚀和微生物生长繁殖的工程师阅读。各章节都提供了有关这些问题的基本知识。

蒸汽驱水处理及其蒸汽制备，是工业锅炉水处理与高干度蒸汽制备的一个变种。但是，它们之间存在显著的差别。在某些蒸汽驱作业中，必须使用微咸性的水来产生蒸汽，而这种水作为工业锅炉的给水则不合适。此外，蒸汽驱的蒸汽发生器（注汽锅炉），是一种不含蒸汽鼓（汽包）的直流式装置，它在各连续的时间周期内都自动地运行，它产生一种由约80%的高压蒸汽与未蒸发水组成的混合物。其给水必须经过处理，以使它不会在蒸汽发生器炉管（沸腾管）中产生水垢。另外，混合的未蒸发水中不应含有可能堵塞蒸汽注入井的悬浮固体物质。这些设计要求与基本思想，导致了离子交换技术新成果的应用，例如两级钠离子交换软化、第二级的向上流动盐水处理和弱酸树脂软化等。同样，这种基本思想还导致了一种产生高压蒸汽的新装置——直流式蒸汽发生器的产生和改进。

---

● 实指注蒸汽热采过程中的水处理（注汽锅炉用水处理）。——译注

本书第一部分描述了潜在的蒸汽驱给水腐蚀与结垢问题。用来建立一个蒸汽驱工程水质标准的方法，是作为一个设计指南提出来的，这个指南应能帮助确定在其他的蒸汽驱工程中如何避免结垢和腐蚀。这一部分包括了两级钠离子交换与弱酸树脂水软化器设计的详细论述。

本书第二部分描述了目前在油田使用的油/水分离装置。这种讨论包括了以4种不同的分离机理为基础的设备，这些设计总共有15个变种。这些装置的大多数是为了提高油田出水除油净化效果，在过去15~20年中发展起来的。多年来，油田污水除油只是添加一些去乳化剂（破乳剂）并为重力分离提供足够的沉降时间而已。然而，随着提高采收率工程项目的增多和海上开采技术的大规模发展，要求更有效和更经济的油/水分离器。1972年的联邦水污染控制修正案和其随后的清水法案，为水处理技术的进步提供了原动力。

本书第二部分为现场可能用到的每一种油/水分离器提供了工程设计公式和标准，重点放在如何获取实用的现场性能数据，以帮助读者正确评价各种类型的油/水分离器的性能。书中还举了一个如何优化采用3种或3种以上除油机理的油/水分离器的性能的例子。

本书是作者在过去的25年中与许多同事共同工作所获得的经验总结。

# 目 录

## 第一部分 蒸汽驱水处理

1 蒸汽驱	( 3 )
1.1 引言	( 3 )
1.2 蒸汽驱水处理系统	( 4 )
1.2.1 不含油与悬浮固体的水	( 5 )
1.2.2 油田采出水	( 6 )
2 蒸汽驱给水的腐蚀问题	( 8 )
2.1 氧	( 8 )
2.2 EDTA ( 乙烯二胺四乙酸 )	( 8 )
2.3 二氧化碳	( 9 )
3 蒸汽驱给水的结垢问题	( 12 )
3.1 蒸汽发生器炉管结垢	( 12 )
3.2 钙垢与镁垢	( 13 )
3.2.1 $\text{CaCO}_3$ 结垢试验结果	( 15 )
3.2.2 钙对其他垢的影响	( 16 )
3.2.3 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 结垢试验结果	( 17 )
3.2.4 镁对其他垢的影响	( 17 )
3.3 铁垢	( 18 )
3.3.1 铁垢试验结果	( 18 )
3.3.2 铁对其他垢的影响	( 18 )
3.3.3 铁的来源	( 20 )
3.3.4 铁污染的控制	( 20 )
3.4 钙、镁、铁垢的预防	( 22 )

3.5	硅垢	( 23 )
3.6	钠盐沉淀	( 25 )
3.6.1	在高 TDS 水中钠盐沉淀的可能性	( 26 )
4	降低硬度防止结垢	( 27 )
4.1	离子交换概述	( 27 )
4.2	交换剂的交换能力	( 29 )
4.3	离子交换过程	( 30 )
4.4	离子交换技术的改进	( 31 )
4.5	钠离子交换	( 32 )
4.6	树脂性能评价	( 33 )
4.7	再生剂浓度与用量	( 34 )
4.8	树脂损害	( 35 )
5	蒸汽驱水软化	( 37 )
5.1	溶解固体总量低的水	( 37 )
5.2	软化器的性能	( 38 )
5.3	溶解固体总量高的水	( 43 )
5.4	树脂堵塞	( 44 )
5.4.1	油的影响	( 44 )
5.4.2	铁的影响	( 45 )
6	串联式软化器初滤器的计算	( 46 )
6.1	引言	( 46 )
6.2	例 A	( 48 )
6.2.1	初滤器的软化工作量	( 48 )
6.2.2	初滤器的直径	( 49 )
6.2.3	每个循环所软化的水的体积	( 50 )
6.2.4	每个循环的软化工作时间	( 53 )
6.3	小结	( 54 )
6.4	结论	( 55 )
7	精滤器的计算与残余硬度	( 56 )
7.1	引言	( 56 )

7.2	残余硬度	( 57 )
7.3	精滤器的残余硬度	( 59 )
7.4	例 B	( 59 )
7.4.1	原水的阳离子浓度 $C$	( 60 )
7.4.2	20%盐水的阳离子浓度 $\hat{C}$	( 60 )
7.4.3	20%盐水中硬度的当量分数 $\hat{X}_B$	( 60 )
7.4.4	精滤器的残余硬度 $[B^{2+}]$	( 60 )
7.5	商品盐硬度对残余硬度的影响	( 62 )
7.6	结论	( 63 )
8	串联式软化器的再生时间与流量	( 64 )
8.1	引言	( 64 )
8.2	反洗要求	( 64 )
8.3	精滤器的反洗	( 66 )
8.4	再生盐的用量	( 66 )
8.5	10%、20%、25%盐水的用量	( 67 )
8.6	稀释用水和阻挡用水的体积	( 67 )
8.7	再生时间与盐水、稀释用水和阻挡用水的流量	( 68 )
8.7.1	再生时间	( 68 )
8.7.2	25%盐水的流量	( 69 )
8.7.3	稀释用水的流量	( 69 )
8.7.4	阻挡用水的流量	( 69 )
8.8	置换盐水的软水用量与置换时间	( 69 )
8.9	首次清洗和末次清洗的流量与时间	( 70 )
8.10	小结	( 71 )
9	设计总结与变更	( 72 )
10	高 TDS 水的软化器设计	( 75 )
10.1	引言	( 75 )
10.2	弱酸树脂水软化	( 75 )
10.3	弱酸树脂再生	( 76 )
10.4	弱酸树脂水软化装置设计	( 77 )

10.5	例 C	( 78 )
10.5.1	树脂的最大工作能力	( 80 )
10.5.2	树脂床体积与罐直径	( 81 )
10.5.3	每个循环所软化的水的体积	( 83 )
10.5.4	每个循环的软化工作时间	( 83 )
10.6	设计变量的选择	( 84 )
10.7	结论	( 85 )
11	弱酸树脂水软化器的再生时间与流量	( 86 )
11.1	引言	( 86 )
11.2	例 C(续)	( 86 )
11.2.1	反洗流量	( 87 )
11.2.2	盐酸的体积与流量	( 88 )
11.2.3	清洗酸用水的体积与流量	( 89 )
11.2.4	氢氧化钠的体积与流量	( 90 )
11.2.5	清洗	( 91 )
11.3	总结	( 91 )
12	弱酸树脂再生过程中氢氧化钠调理的替更方案	( 94 )
12.1	引言	( 94 )
12.2	从初滤器流出液中可得到的钠离子浓度	( 96 )
12.3	每次再生要求脱气的水的体积	( 97 )
12.4	脱气后水的近似 pH 值	( 97 )
12.5	恢复原来的 pH 值所需的 NaOH	( 98 )
13	串联式软化器的自动监控、验收试验与常见故障	( 100 )
13.1	串联式软化器的自动监控	( 100 )
13.2	验收试验	( 102 )
13.3	再生故障	( 103 )
附录 1	定义与缩写	( 105 )
附录 2	蒸汽 驱用直流式蒸汽发生器的结垢沉积现场试验	( 109 )
附录 3	计算结垢沉淀作用或蒸汽发生器中铁脱除	



速率的物料平衡方程 .....	( 117 )
附录 4 用化学法确定的蒸汽干度 .....	( 118 )
附录 5 蒸汽发生器炉管不发生钠盐沉淀而允许的 最大蒸汽干度 .....	( 119 )
附录 6 锅炉水处理与蒸汽驱水处理之对比 .....	( 120 )
附录 7 NaCl 溶液、NaOH 溶液、HCl 溶液的物 理性质 .....	( 124 )
附录 8 蒸汽驱用蒸汽的干度 .....	( 129 )
参考文献 .....	( 136 )

## 第二部分 油田采出水除油净化

1 油从油田水中的分离 .....	( 141 )
1.1 油水分离装置 .....	( 143 )
1.2 预处理 .....	( 144 )
2 沉降池和沉降罐 .....	( 146 )
2.1 API 矩形多道分离器 (沉降隔油池) .....	( 146 )
2.1.1 设计 .....	( 148 )
2.1.2 例 A .....	( 151 )
2.1.3 性能 .....	( 152 )
2.2 沉降罐 .....	( 154 )
2.2.1 设计 .....	( 156 )
2.2.2 例 B .....	( 158 )
2.2.3 性能 .....	( 160 )
3 聚结器 .....	( 162 )
3.1 板式聚结器 (PPI 和 CPI 装置) .....	( 162 )
3.1.1 横向流构件 .....	( 164 )
3.1.2 设计 .....	( 165 )
3.1.3 CPI 和 API 分离器的比较 .....	( 168 )
3.1.4 例 C .....	( 169 )
3.1.5 性能 .....	( 170 )
3.1.6 不同制造厂的特点 .....	( 171 )

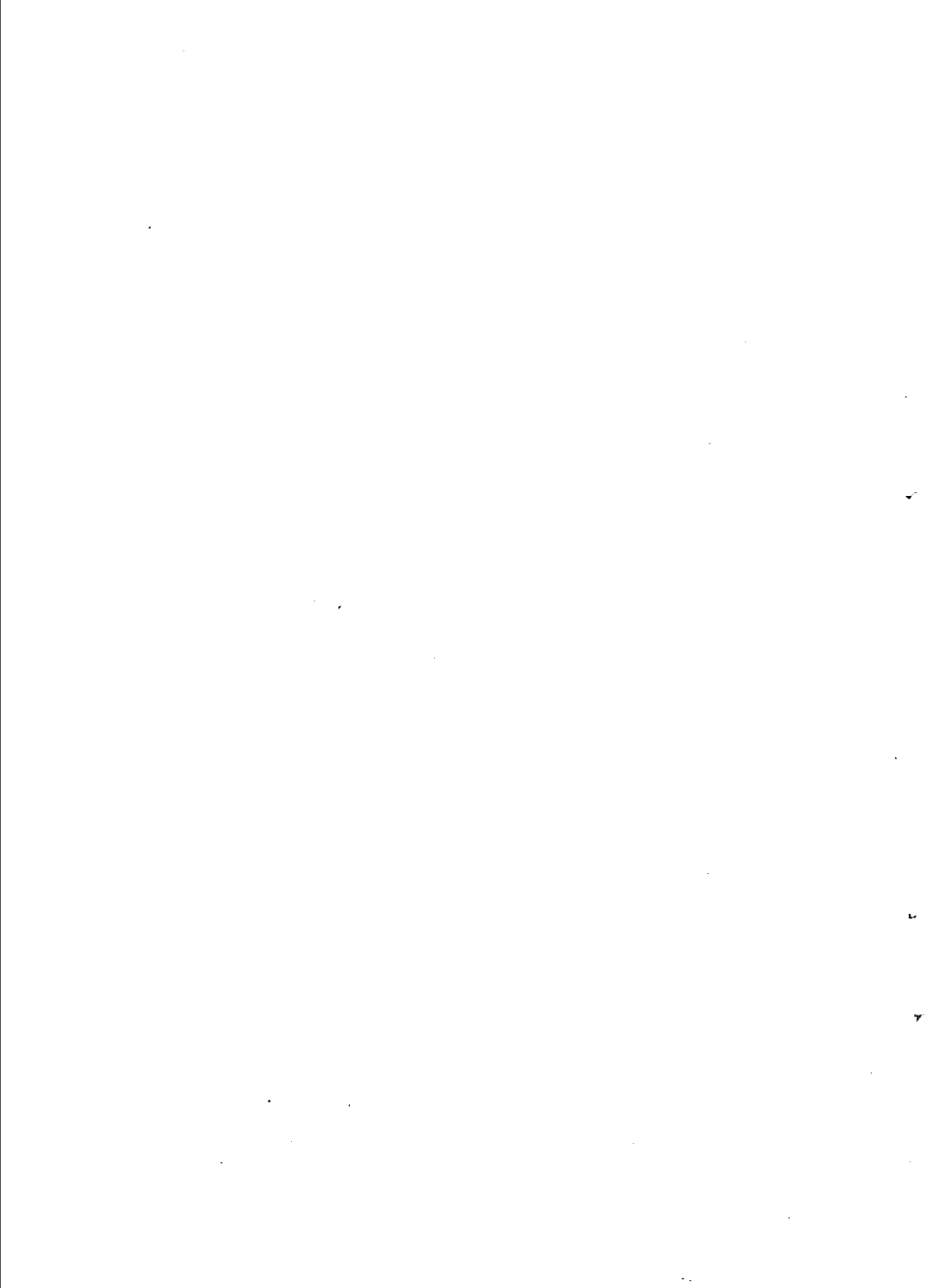
3.2	固定滤料聚结器	(175)
3.2.1	聚丙烯泡沫海绵聚结器	(175)
3.2.2	油聚结筒形过滤器	(178)
3.3	活动滤料聚结器	(180)
3.3.1	油聚结过滤器	(182)
3.3.2	油聚结分离器	(185)
3.3.3	小结	(195)
4	浮选	(196)
4.1	溶解气浮选	(196)
4.1.1	设计	(202)
4.1.2	性能	(202)
4.2	分散气浮选	(203)
4.2.1	转轮式分散气浮选	(203)
4.2.2	喷射式分散气浮选	(217)
4.3	浮选变量对除油的影响	(223)
4.3.1	天然气浓度	(223)
4.3.2	含盐量与油的回收率的关系	(224)
4.3.3	含盐量与气泡大小的关系	(225)
4.3.4	化学浮选助剂	(225)
4.3.5	进口含油浓度	(225)
4.3.6	原油类型	(226)
4.3.7	pH 值和温度对油的回收率的影响	(226)
4.4	小结	(227)
5	组合式分离装置	(228)
5.1	波纹板——溶解气浮选组合装置	(229)
5.2	平行板——固定滤料组合装置	(231)
5.3	两级活动滤料组合装置	(232)
6	油水分离方法的优选	(235)
6.1	变量——其级次和范围	(238)
6.1.1	例 D	(239)

6.1.2	四变量的经验设计	(239)
6.1.3	表 12 的使用	(240)
6.1.4	统计工作	(243)
6.1.5	运行图的应用	(245)
<b>7</b>	<b>除油设备的选择</b>	<b>(247)</b>
7.1	API 分离器	(248)
7.2	沉降罐	(248)
7.3	板式聚结器	(248)
7.4	聚氨酯泡沫聚结器	(249)
7.5	油聚结过滤器	(249)
7.6	油聚结分离器	(249)
7.7	溶解气浮选器	(250)
7.8	分散气浮选器	(250)
7.9	组合式装置	(250)
<b>8</b>	<b>测试方法</b>	<b>(253)</b>
8.1	红外分析法 (EPA 法 413.2, 见附录 A)	(253)
8.2	重量分析法 (EPA 法 413.1, 见附录 B)	(253)
8.3	红外/硅胶分析法 (APHA 法 502E, 见附录 C)	(254)
8.4	萃取—比色分析法 (Hach 法, 见附录 D)	(256)
8.5	油滴尺寸分布	(256)
8.6	浊度法	(256)
<b>9</b>	<b>监测</b>	<b>(258)</b>
9.1	可见光散射分析	(258)
9.2	超声波反射分析	(259)
9.3	连续溶剂萃取红外分析	(261)
<b>10</b>	<b>附件</b>	<b>(264)</b>
10.1	泵—喷射器式分散气浮选	(264)
10.2	组合式分离装置	(267)
10.2.1	活动滤料—固定滤料联合过滤器	(267)
10.2.2	CPI—泵—喷射器组合装置	(270)

附录 A	油和脂, 总量回收方法413.2(红外分光光度法).....	( 271 )
附录 B	油和脂, 总量回收方法413.1 (重量分析法, 分液 漏斗萃取) .....	( 276 )
附录 C	适用于水中极性有机化合物的红外—硅胶 分析法 ( APHA 法 E) .....	( 280 )
附录 D	水中含油 (0~60ppm) 的1, 1, 1-三氯乙 烷萃取法——用于水和海水的比色分析法 .....	( 286 )
参考文献	.....	( 290 )

# 第一部分

## 蒸汽驱水处理



# 1 蒸汽驱

## 1.1 引言

蒸汽驱是一种相当新的提高原油采收率的工艺方法，这种方法是为增加粘稠重质原油的产量和最终采收率而设计的。美国在本世纪 50 年代末和 60 年代初进行了第一批蒸汽驱现场试验。为了提高排液量（排液能力）和最终采收率，现在已经对各种不同的井距和布井法进行了试验。

蒸汽驱工艺过程中的第一步，是把蒸汽注入油藏，以加热注入井周围的原油。在注入 5000~10000 桶转化为约 80% 的蒸汽的水后，使井浸泡吸热（使蒸汽冷凝）约 2~3 天，然后开始采油，这种方法被称为循环蒸汽注入法或蒸汽吞吐法。在加热之前，典型油藏温度处于 80~100°F 的范围内，而油的粘度可能高达 500~10 000 cP。通过注入蒸汽（其压力高达 250 psia），原油可被加热到 400~500°F，这样的温度将使油的粘度降低到 2~5 cP。由于原油产量与其粘度成反比，因此，产量将会大大提高。例如，如果其他因素保持不变，粘度减少为原来的 1/100，产量就会增加到原来的 100 倍。

随着加热的原油被采出，地层冷却。由于高粘度冷油达到井筒，因而产量降低。在冷却后，井将被再次注入蒸汽，以至重复循环。在循环注入蒸汽几年后，各井之间的相互窜

流程度通常较高，这时可以采用蒸汽驱方法，以提高最终采收率。

## 1.2 蒸汽驱水处理系统

世界上首批蒸汽驱工艺使用的常规工业水处理及其蒸汽发生系统由下列两部分组成：(a) 在水进入锅炉之前的水处理，以使形成水垢的离子（钙和镁）沉积成块；(b) 锅炉内部水处理，以使剩余的硬离子作为不结垢的磷酸盐淤泥在锅炉中沉积下来（其定义与术语见附录 1）。锅炉产生蒸汽和少量含有各种悬浮固体的污水（作为污泥排掉）。图 1 表示的即为首批蒸汽驱工艺所使用的蒸汽锅炉的型式，因为其蒸汽鼓中存在压力，为了安全，这些锅炉需要有人连续看管。

1960 年~1961 年间，在美国为蒸汽驱设计了一种新的

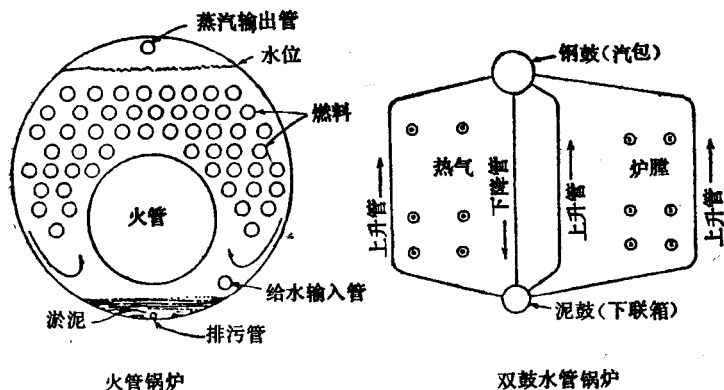


图 1 1959~1960 年期间大规模应用于美国首批蒸汽驱先导试验的典型锅炉剖面图



水处理及其蒸汽发生系统，该系统包括软化给水，使其硬度接近为零，然后在一个直流式蒸汽清洁型装置中把80%~90%的水转化为蒸汽<sup>(1, 2)</sup>。一个典型的美国蒸汽驱蒸汽发

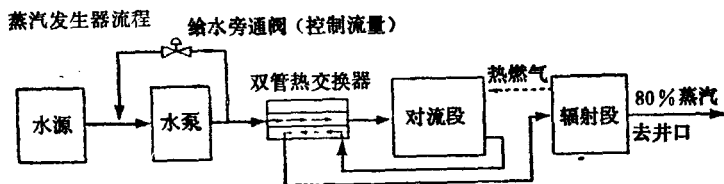


图 2 使用总溶解固体含量高的软水来产生 80%~90% 蒸汽的典型直流式高压蒸汽发生器流程图

生器的流程图如图 2 所示。这些装置昼夜自动运行而无需看管。蒸汽和水的这种混合物被注入油层中，原来溶解在给水中的固体物质，作为可溶性化合物被浓缩在未蒸发的水中。

水处理的目的是为了预防炉管结垢和沉积物的形成。经过处理的水使蒸汽发生器可以安全运行而不致产生炉管失效，不含悬浮固体的水被注入井中而不致使井堵塞。

### 1.2.1 不含油与悬浮固体的水

在许多情况下，水源是城市供水或井水，这时水处理工艺比较简单，只包括对给水除氧和将其软化到硬度接近于零这两个步骤。除氧是锅炉水处理系统和注水系统中众所周知的一道工序；用于蒸汽驱的“零硬度软化”通常是通过使用一个特殊的两级钠离子交换器来达到。当这种高质量的水可以得到时，水处理过程可以表示如下：