

石油开采中结盐的预测及防治

В.Е.КАЩАВЦЕВ

(苏) Ю.П.ГАТТЕНБЕРГЕР 著

С.Ф.ЛЮШИН

石油工业出版社

京)

登录号	087416
分类号	TE358
书次号	010

(复)

石油开采中结盐的预测及防治

В.Е.КАЩАВЦЕВ

[苏] Ю.П.ГАТТЕНБЕРГЕР 著

С.Ф.ЛЮШИН

张瑞年 李海金 毛贵琳 涂仁怀 译



200349097

石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

本书论述了在注水开发油田过程中结盐的主要原因和条件, 及解决无机盐类沉积问题的经验, 介绍了在各种条件下开采油田时盐类沉积的预报和监测方法。书中还分析研究了应用各种盐沉积抑制剂防止盐类沉积, 保护油井及石油矿场设备的方法, 同时还详细叙述了利用多种非化学手段解决盐类沉积问题的方法。

本书可供油田开发设计及采油的科研和现场技术人员参考。

本书由张瑞年(第 1、2、6、7 章)、李海金(第 3 章)、毛贵琳(第 4 章)、涂仁怀(第 5 章)译。

В.Е.Кашавцев
Ю.П.Гаттенбергер С.Ф.Люшин
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ СОЛЕОБРАЗОВАНИЯ
ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ
МОСКВА "НЕДРА" 1985

*

石油开采中结盐的预测及防治

В.Е.КАШАВЦЕВ

[苏] Ю.П.ГАТТЕНБЕРГЕР 著

С.Ф.ЛЮШИН

张瑞年 李海金 毛贵琳 涂仁怀 译

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 32 开本 9 印张 198 千字 印 1--2,000

1992 年 1 月北京第 1 版 1992 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0577-8 / TE · 550

定价: 2.75 元

序 言

石油开采的过程常常伴随着无机物固体颗粒的沉淀。这些沉淀物通常聚积在井壁、升举管的管壁、泵抽设备及原油收集和处理的管汇系统中。沉淀物中的大部分由钙的硫酸盐（石膏和硬石膏）、钙的碳酸盐（方解石）、钡的硫酸盐（重晶石）、锶的硫酸盐（天青石）及钠的氯化物（岩盐或食盐）等构成。盐类的聚积使石油开采遇到困难，造成贵重设备的损坏，增加了繁重的修井工作，最终造成相当多的原油损失和欠产。据美国权威人士 O. Веттера 估计，在美国每年由于井下和地面油矿设备的盐类沉积造成的经济损失超过 10 亿美元。

盐类的析出主要来源于采油伴出水。其化学成分随原油储量的动用程度而不断变化，从而造成盐类沉积物的组成随时间演变的多样性和多变性。在苏联 90% 的原油是从注水开发的油田中开采出来的。盐沉积主要出现在边内注水开发的油藏，同时也出现在天然水驱油藏和使用某些化学药剂及二氧化碳气的时候。

防治采油过程中盐类沉积各种方法的有效性，取决于处理该问题时的综合途径。必须了解在各种不同的石油埋藏条件及油层开发条件下盐类形成及沉积的物理-化学过程和原因，要能先期预告、可靠监测，并及时防止在油井开采过程中可能出现的盐类沉积。应该特别注意正确地选择防治盐类沉积的方法，在具体油田的条件下，这种方法必须在考虑经济合理的前提下达到最佳的使用效果。

由于采油过程中盐类沉积这一内容广泛的问题在实用中的重要性和复杂性，导致了对一些局部问题大量研究工作的

开展和有关文章的发表。然而，到目前为止，还没有提出一篇全面的综合性文献。本文作者希望通过本书在一定程序上完成这一任务，那么现在写作本书的必要性就是非常明显的了。

目 录

第一章 油田开采时无机盐类的沉积	(1)
一、油井及矿场集油和处理系统中盐类的沉积	(1)
二、油井近井底地带及储油层内的结盐过程	(11)
第二章 油田开发过程中伴出水化学成分的变化	(23)
一、水溶液中所含物质浓度的各种表达方式	(23)
二、天然能量驱动开发时伴出水化学成分的变化	(27)
三、注水开发时水的化学变化	(34)
四、水与储油层的岩石及原油的碳氢化合物 相互作用时成分的变化	(50)
第三章 油田开发过程中盐类沉积的原因和条件	(57)
一、固体物质在水中的溶解度及呈沉淀析出的条件	(57)
二、盐类沉积的主要原因	(62)
三、硫酸钙的溶解度及石膏和无水石膏 沉淀物沉积的原因	(65)
四、钡和锶硫酸盐的溶解度及重晶石和 天青石沉淀物沉积的原因	(76)
五、碳酸钙的溶解度及碳酸盐类沉淀物沉积的原因	(80)
六、氯化钠的溶解度及岩盐沉淀物沉积的原因	(87)
七、盐类沉积物形成的机理	(91)
八、工艺因素对生产井结盐的影响	(98)
第四章 油藏开发及开采过程中无机盐类沉积 的预测及监测	(107)
一、盐沉积预测的主要发展方向	(107)
二、硫酸钙沉积预测	(109)
三、硫酸钡和硫酸锶沉积预测	(135)
四、碳酸钙沉积预测	(146)
五、氯化钠(岩盐)沉积预测	(169)
六、对生产井和集输系统出现盐类沉积的监测	(171)
七、沉淀物矿物成分的矿场诊断	(179)

八、运用提高油层原油采收率方法时 对结盐过程的预测	(180)
第五章 无机盐类沉积的预防	(188)
一、预防盐类沉积的工艺方法	(189)
二、预防无机盐类沉积的化学方法	(189)
三、筛选药剂的实验室试验方法	(203)
四、应用盐类沉积抑制剂的工艺技术	(217)
五、地层水和淡水中所含有机磷化合物型盐沉积 抑制剂浓度的检定	(228)
六、预防无机盐类沉积化学方法的工业应用	(231)
七、使用盐类沉积抑制剂时对保护周围环境的要求	(255)
八、预防盐类沉积的物理学方法	(257)
第六章 清除无机盐垢的方法	(262)
第七章 采油中盐类沉积防治措施的 工艺-经济效果评价	(271)
一、确定盐类抑制剂效果的方法	(271)
二、对采油中防治盐垢措施经济效果的评价	(275)
参考文献	(279)

第一章 油田开采时无机盐类的沉积

一、油井及矿场集油和处理系统中盐类的沉积

油田开发和开采过程中，在井下和设备表面上经常发生钙和镁的碳酸盐，钙、钡、锶的硫酸盐，各种氯化物等盐类的沉积。方解石（ CaCO_3 ）等碳酸盐类经常在西西伯利亚、阿塞拜疆、克拉斯诺达尔及斯塔夫罗波尔边区等地的油田上见到；石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）及硬石膏（ CaSO_4 ）等钙的硫酸盐则经常在乌拉尔-伏尔加及哈萨克各油田上见到；岩盐 NaCl 等属于氯化物的盐类经常出现在白俄罗斯和乌克兰的油田上；重晶石（ BaSO_4 ）等钡的硫酸盐及天青石（ SrSO_4 ）等锶的硫酸盐常见于哈萨克的曼格什拉克（Мангышлак）地区及北高加索各油田。重晶石和天青石的盐类沉积物还出现在西西伯利亚和其它地区的油田上。实际上盐类沉积物的类型总是由其中占优势的（60~80%）一种无机化合物来表征。

无机盐类的沉积发生在所有的各种采油方法——自喷的、抽油的或气举的方法开采井中，但其中最多的是抽油井。在全部有盐类沉积的井中，有杆泵井占45%以上，电动潜油泵井近35%。这是因为机械采油井开采的是含水最高的产物的缘故。

盐类沉淀常使电动潜油泵井的开采工作遇到很大困难。在西西伯利亚各油田这种井约占60%，在乌拉尔-伏尔加油田区的油田上这类井超过了全区盐类沉积井总数的50%。

由于西西伯利亚各油田广泛使用大排量的电动潜油泵，泵内结盐就成了最大的危险。在电动潜油泵的工作部件和泵的表面上形成分散的、紧硬的、岩块状的沉淀，其厚度可达0.6~1mm，从而阻碍了正常的热交换，造成电机遇卡，机轴断裂，以至使泵报废。

据统计，免修期为一年的电动潜油泵装置，由于在工作表面上产生盐类沉积的结果，使其平均免修期大大缩短。如在西西伯利亚油田的条件下，泵的平均免修期缩短到90天，有时一台新泵只工作了10~20天就报废了。

巴什基里亚各油田有杆泵井中，有盐类沉积的井数约占结盐井总数的60%，在曼格什拉克地区约占70%，阿塞拜疆约占80%。这主要是由于油田开发到了晚期，油井含水率急剧上升造成的。

在有杆泵井的生产套管内，油管柱吸入口以下的部分常会形成盐堵。如在乌拉尔-伏尔加地区的油田上，盐堵段长度可达500m甚至更长，由于结盐可使油管柱的内径缩小到10~12mm。而生产套管和井下设备中盐垢的聚积，导致泵的彻底报废，造成抽油杆的频繁断脱，油管柱的破断和其它严重事故，从而使油井长时间不能正常工作。

盐类的沉积是气举井设备报废的主要原因之一。由于这一原因使50~60%的气举设备停止工作，从而造成产量下降。例如萨莫特洛尔油田，井的日产量由860t下降到了50t。在这个油田的气举井中2000m深处的油管壁上，盐类沉积的厚度达到30mm。

存在盐类沉积的气举井数最多的（占全苏气举结盐井50%以上），是曼格什拉克的乌晋（Уэнь），热提拜（Жетыбай）油田。

曼格什拉克各油田气举井盐类沉积物样品的化验分析资料表明,在油管柱下部沉积的主要是钙和钡的硫酸盐,而在井口和出油管线中则是钙和镁的碳酸盐。在井下 600~800m 深处(乌普油田)和 1500~1600m 处(热提拜油田)沉积碳酸盐和硫酸盐类沉淀物的程度大致相同。

现已查明,在白喷井中,盐类沉积是在日产量 50~1000t 及以上和含水在 10~70%的情况下发生的。

与井下发生盐类沉积的同时,在井口设备中,矿场集油的出口管线、量油设备、原油处理装置以及地层压力保持系统的设备中,都出现严重结盐的情况。例如,曼格什拉克各油田的《卫星》型量油装置在结盐速度为每月 10mm 的情况下免修期只有 20~30 天。

苏联某些油区油田开采时形成的主要无机盐类型及最普遍的沉积位置列于表 1。

表 1 无机盐类沉积的位置

油 区	无机盐类 沉积类型	盐类沉积位置
西西伯利亚	$\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$ CaSO_4	近井底地带、套管、电动潜油泵、油管、 《卫星》型量油装置
巴什基里亚	$\text{CaSO}_4, \text{BaSO}_4$ CaCO_3	近井底地带、套管、油管、抽油杆、电动 潜油泵、原油收集和处理系统
鞑 靼	$\text{CaSO}_4, \text{BaSO}_4$	地层近井底地带、套管、油管、泵、热交 换装置
曼格什拉克	$\text{CaCO}_3, \text{CaSO}_4$ BaSO_4	地层近井底地带、井下设备、原油收集 和处理系统
阿塞拜疆	$\text{CaSO}_4, \text{CaCO}_3$ MgCO_3	套管、井下设备、集油系统

续表

油 区	无机盐类 沉积类型	盐类沉积位置
奥伦堡	CaSO_4	近井底地带,套管,井下设备,原油收集和 处理系统
彼尔姆	CaSO_4	近井底地带,套管,井下设备,原油收 集和处理系统
白俄罗斯	NaCl	套管,井下设备

采油过程中形成的盐类沉积物,从总体看成分很复杂,其中既含有矿物的成分,同时也含有有机物的成分(表2~表6)。根据西伯利亚石油科学研究所(СибНИИ НП)^[1]对萨莫特洛尔,梅吉翁(Мегион),特列霍泽尔(Трехозер),玛尔蒂米娅-捷捷列夫(Мартымя-Тетерев),乌斯奇-巴雷克(Усть-Балых)及西苏尔古特(Западно-Сургут)等油田盐类沉积物的研究结果表明,出现最频繁的是碳酸钙^①,可达60~90%;碳酸钙镁^②和碳酸铁比较少;在某些情况下还可以见到20%的岩盐,5~25%的石膏;有时沉淀物基本上全部由重晶石构成。在盐类的沉淀物中还会遇到为钙和镁的碳酸盐所胶结的硅石及为钙的碳酸盐所胶结的腐蚀产物。有机杂质(以烃类为主)的含量最多不超过25%。

西哈萨克的乌晋和热提拜油田开采时的盐类沉积物样品分析结果表明,其成分包括钙和镁的碳酸盐,钙、钡、锶的硫

①根据表2~表6所列数据该沉积物应为碳酸钙及硫酸钙。——译者

②应为碳酸镁。——译者

酸盐、硅的氧化物与少量的钠和钾的氯化物及铁的氧化物^[2]等。

表 2 萨莫特洛尔油田开发和开采时
形成的盐沉积物

取样部位	沉淀物的成分, %				
	CaCO ₃	MgCO ₃	Fe ₂ O ₃ 及 腐蚀产物	石油 产物	不溶性 沉淀物
3166 井油管, 深 1600m 处*	49.5	36.1	0.2	—	4.8
2535 井油管底部	54.0	5.0	1.5	6.5	32.6
4684 井油管底部	79.2	5.0	1.6	11.3	2.7
4681 井油管表面	85.0	6.1	1.3	6.4	1.2
4683 井电动潜油泵	85.8	3.0	2.8	6.7	0.8
6181 井电动潜油泵	81.9	3.3	3.0	7.6	2.2
315 井电动机表面	71.8	4.1	6.1	14.0	2.1

* 成分中还有 1.5% 的 NaCl 及 7.9% 的带杂质的 SiO₂。

表 3 罗马什金油田开发和开采时
形成的盐类沉积物

取样部位	沉淀物的成分, %		
	CaSO ₄	Fe ₂ O ₃ 及腐蚀产物	不溶性沉淀
油藏 1,10408 井	99.2	0.13	0.2
15478 井	73.6	2.16	11.9
15491 井	98.0	0.66	—
原油处理加热炉	94.2	1.20	—
罐部冷却器*	—	38.50	2.1
商品罐底	95.1	0.22	0.4

* 成分中包括 46.2% 的 CaCO₃。

表 4 巴什基里亚各油田开发和开采
时形成的盐类沉积物

油田、取井部位	沉淀物的成分, %					
	CaSO ₄	MgCO ₃	MgSO ₄	Fe ₂ O ₃ 及腐蚀 产物	石油 产物	不溶性 沉淀
杜马兹油田 鲍勃里科夫层426井,电泵 π-II层,69井 π-I层,1220井,电泵 π-I+π-II层,1305井,电泵*	83.8	0.3	—	0.2	15.0	0.2
	83.1	0.2	—	0.3	16.0	0.1
	79.7	0.4	—	0.5	19.0	0.3
	2.2	—	—	1.2	2.7	0.1
	64.5	—	7.1	—	21.6	—
曼恰罗夫湖出 104井 98井 杜马兹油田 41井 1209井 阿尔兰油田 411井 6122井	63.1	—	10.0	—	21.3	—
	64.6	—	6.1	—	20.0	—
	68.6	—	6.0	—	22.8	—
	60.0	—	10.5	—	22.0	—
	63.9	—	3.2	—	24.1	—

* 沉积物中含有93.8%的CaCO₃。

表 5 古比雪夫, 奥伦堡油区各油田

开发和开采时形成的盐沉积物

油田, 取样部位	沉积物成分, %			
	CaSO ₄	CaCO ₃	倍半 氧化物	不溶性 沉淀
亚库什金, 121 井, 生产套管	99.4	—	0.1	0.4
121 井, 700m 深处	98.7	0.2	0.2	0.3
171 井, 油管	95.1	—	0.9	1.0
85 井, 960m 深处	92.3	0.2	1.4	1.3
库列绍夫, 801 井, 有杆泵	93.9	—	0.7	0.4
225 井, 油管	86.1	0.2	2.7	0.8
科兹洛夫, 66 井, 油管	89.3	—	0.3	0.6
25 井, 电潜泵	83.9	2.3	0.8	1.1
雅勃隆涅夫, 493 井, 油管	97.9	—	0.4	0.3
集油管	87.1	—	1.9	7.7
波克罗夫, 集油管	89.5	1.9	0.5	1.0
穆汉诺夫, 323 井, 油嘴	0.6	95.0	0.2	0.6
苏勒坦占洛沃-札格利亚金,				
232 井, 生产套管	76.5	1.7	1.0	0.8
电脱盐装置 (ЭЛОУ)	87.1	—	2.8	1.5
庞诺马廖夫, B-I 层, 油管	77.2	1.7	3.3	2.3
克拉斯诺亚尔, B-I 层, 113 井, 油管	78.2	3.7	5.9	1.7
87 井, 油管	78.5	—	4.6	0.5
塔尔汉, B ₂ 层, 电潜泵	78.3	—	0.4	0.4
巴依图甘, 换热器管	75.8	5.5	2.2	10.1
油管	95.4	—	0.6	1.7

表 6 曼格什拉克油区各油田开发和开
采时形成的盐类沉积物

油田, 取样部位	沉淀物的成分, %					
	CaCO ₃	CaSO ₄	BaSO ₄	NaCl	石油 产物	SiO ₂ 及杂质
乌晋, 229 井, 油管 1300m 处	2.9	16.8	74.8	0.5	1.6	2.0
607 井, 油管 100m 处	89.4	0.2	—	—	3.0	2.1
607 井, 油管 650m 处	65.3	20.8	7.1	0.1	2.9	2.5
1158 井, 井口	87.1	—	—	6.1	3.1	0.2
热提拜, 407 井, 《尾管》	0.5	26.2	66.3	0.1	0.6	5.4
503 井, 油管 160m 处	95.5	—	—	—	2.7	0.3
503 井, 油管 400m 处	93.8	2.0	—	—	4.4	—
503 井, 油管 2000m 处	44.2	19.3	23.8	4.1	6.9	0.5
408 井井口	—	2.2	—	96.4	1.0	—
408 井有杆泵	1.1	5.4	88.0	—	2.2	2.2
《卫星》型装置	—	—	95.0	3.4	1.4	1.9
773 井, 油管 ^①	89.7	—	—	1.0	0.3	1.0

① 成分中有 7% 的 Fe₂O₃ 及腐蚀产物。

乌拉尔-伏尔加的盐类沉淀物为夹杂有腐蚀产物及其它杂质的无机成分和有机成分的混合物。正如对沉淀物的大量化学分析所表明的那样, 其中 75~95% 为钙的硫酸盐类, 而其余 25~5% 为钙、镁的碳酸盐、二氧化硅及有机物等。

在盐类沉淀物的有机高分子成分中含有沥青、胶质、硫化物、难溶的石蜡及其它各种物质 (见表 7)。整个有机成分中的水溶性化合物不超过其质量的 0.5%。

井中及矿场设备上盐类沉积物的外观见图 1。无论盐类沉淀的主要成分如何, 都具有一定的晶体结构, 由大的明显的晶体颗粒 (见图 2) 到由微晶体构成的, 致密的、坚硬的、石块状的沉淀物 (见图 1, 2)。

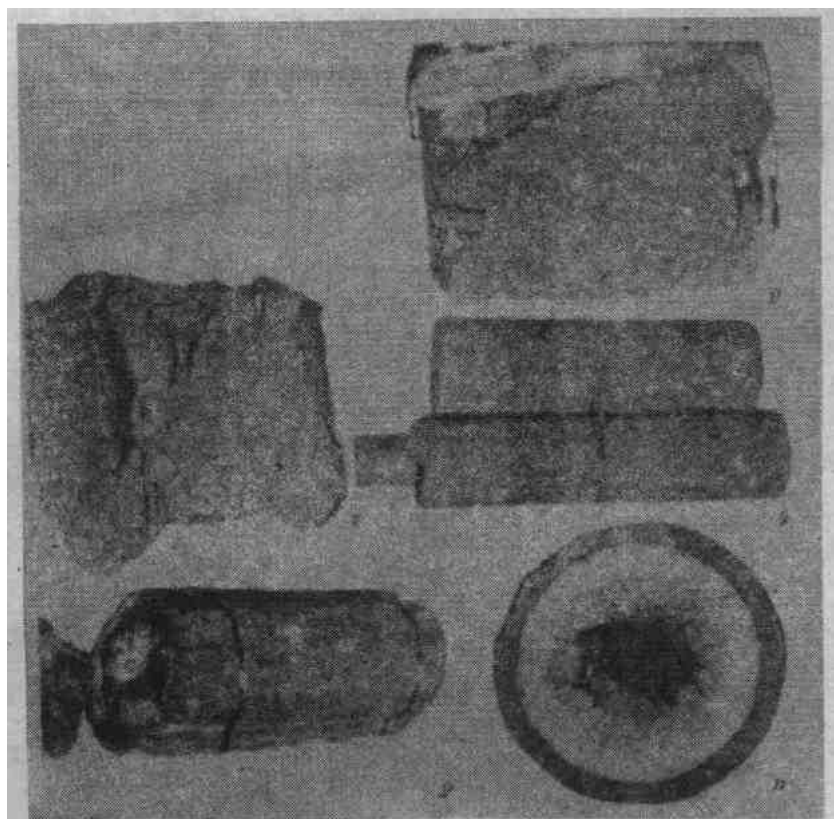


图1 无机盐类的沉积

a—在升举管中；*b*—在油管柱中；

c—在抽油杆上；*e*—在生产套管里；

d—在集油管线中

在油管中的沉淀物多半为层状结构。直接附着在管壁上的一层沉淀物，通常是由多机物及其它杂质固结而成的微晶结构。晶体颗粒由管壁向管子的轴心变粗，夹杂的有机物随

之减少（见图 1, 6）。盐类沉淀层在油管内壁上粘附的强度随深度的增加而增大。

表 7 盐类沉淀物中有机物的组成

油区、油田	成分, %			石蜡熔点 ℃
	沥青	胶质	石蜡	
伏尔加中部地区				
1 号样品	0.93	2.04	1.54	81
2 号样品	1.13	2.16	2.10	90
3 号样品	1.41	1.40	1.26	70
4 号样品	1.82	1.17	1.72	55
斯塔夫罗波尔边区	0.6	2.2	11.4	—

1. 伏尔加中部油区油田的盐沉淀基本类型是石膏，斯塔夫罗波尔边区是 CaCO_3 ；

2. 斯塔夫罗波尔边区油田的有机物沉淀中硫的含量为 0.15%。

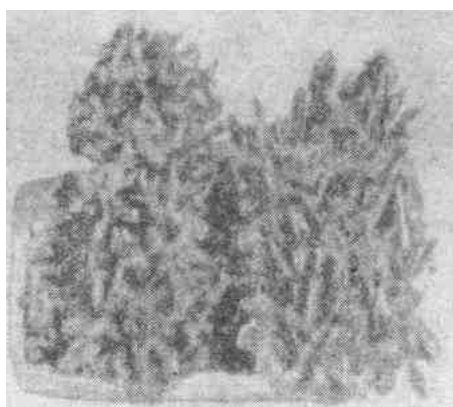


图 2 在油矿设备表面形成的石膏晶体