

潘爱芳 马润勇 杨彦柳 著

油田

注水开发防垢 现状及新技术研究

石油工业出版社

油田注水开发防垢现状 及新技术研究

潘爱芳 马润勇 杨彦柳 著

石油工业出版社

内 容 提 要

通过对国内油田进行实地调研,结合国内外文献报道的研究成果,对油田注水开发中的防垢现状、国内外油田结垢伤害特征、常见阻垢剂的阻垢机理、性能及应用进行了系统全面的研究;并以华 152 区作为典型区块,以钡、锶结垢为主要研究对象进行了华 152 区钡、锶垢结垢成因分析;在此基础上提出了防垢领域研究中目前存在的主要问题,并针对这些问题开发了“注水开发油田水源混配防垢技术”,合成了新型绿色阻垢剂聚环氧琥珀酸盐,对其阻垢机理进行研究,对其阻垢性能进行了系统评价与现场应用研究。

本书可供从事油田开发方面的科技人员和现场相关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

油田注水开发防垢现状及新技术研究 / 潘爱芳, 马润勇, 杨彦柳著. —北京: 石油工业出版社, 2009. 2
ISBN 978 - 7 - 5021 - 6792 - 9

I. 油…

II. ①潘…②马…③杨…

III. 油田注水 - 油田开发 - 防垢 - 研究

IV. TE357. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 148740 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 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523720

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

889 × 1194 毫米 开本: 1/32 印张: 7

字数: 188 千字 印数: 1—1000 册

定价: 40.00 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

结垢伤害是油田注水开发所普遍面临的问题之一，到目前为止，仍然是尚未解决的世界性难题。针对油田注水开发中的这一现实问题，我们对国内油田结垢现状进行了现场调研，查阅了大量的国内外相关文献资料，并收集了国内部分油田注水开发中结垢防治的技术资料。通过对文献中所涉及到的防垢方法进行统计、对比、分析、研究和总结，向该研究领域的权威和专家进行多方咨询，总结前人研究成果、了解目前的研究现状、研究过程的经验和教训，找出了能够真正解决油田结垢的关键问题，并针对这些问题提出了水源混配防垢新技术、合成了新型绿色阻垢剂聚环氧琥珀酸盐。且以长庆油田华 152 区作为实验基地，针对钡锶结垢成因、聚环氧琥珀酸盐的阻垢机理等的研究，根据阻垢性能评价工作的需要，采集了储层岩石、地面集输管线上附着的成垢物、油田水及注入水等样品，进行了成垢物及相关的微量元素分析测试，对这些样品进行了钡、锶结垢物含量以及微量元素的分析。在此基础上，开展了油田注水开发中的钡、锶结垢成因分析；通过大量的研究，开发了水源混配防垢技术和新型绿色阻垢剂聚环氧琥珀酸盐，合成了供室内和生产现场评价所需的聚环氧琥珀酸盐阻垢剂样品。通过室内实验，研究了聚环氧琥珀酸盐的阻垢机理，并对其阻垢性能进行了全面评价。最终提出了聚环氧琥珀酸盐绿色阻垢剂在长庆油田注水开发工程实际应用中的最佳剂量的投加原则，制定了现场实验研究方案，进行了现场应用实验研究，取得了良好的实验效果，为解决油田注水开发中出现的硫酸钡、硫酸锶垢的结垢伤害问题提出了相应对策，为进一步提高油田开发经济效益找到了有效途径。

本书第一作者从 2003 年开始，即对注水开发中油田结垢伤害进行了系统研究。分别与长庆油田勘探开发研究院、长庆油田

油气研究院、采油二厂合作进行了“油田注水开发中的防垢现状及华池油田 152 区油层防垢对策”、“聚环氧琥珀酸盐的性能评价与应用研究”、“聚环氧琥珀酸盐阻垢性能的综合评价与应用工艺研究”等项合作，该书是对近几年有关方面研究成果的总结。

本书第一至三章由马润勇执笔，其余章节由潘爱芳编写，全书由潘爱芳最后修改并定稿。

在野外调查、样品采集和资料收集过程中，先后得到长庆油田采油二厂工艺研究所惠会明所长、南天界主任，长庆油田油气研究院杨全安主任，张明霞工程师，长庆石油管理局井下技术作业处黎荣剑硕士、楚远军高级工程师、陈平高级工程师、韩红旭高级工程师和吕莉工程师的帮助，在此一并表示感谢。

感谢西北大学教育部大陆动力学重点实验室、中国地质科学院北京地质测试中心、国土资源部西安矿产资源监督检测中心长安大学环境地球化学实验室等所做的样品测试工作。

由于笔者水平有限，书中难免有欠妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
第一节 研究背景	(1)
一、油田开发中面临的主要问题	(1)
二、华池油田结垢现状	(2)
三、研究意义	(2)
第二节 与结垢伤害研究相关的基础理论	(4)
一、油田地质地球化学与油层结垢伤害	(4)
二、结垢物的物理化学性质与结垢物的形成	(8)
三、油田水结垢的化学理论基础	(13)
第一章 文献研究综述	(15)
第一节 油田结垢伤害形成机理研究	(15)
一、人工模型、合成油田水模拟试验	(15)
二、真实砂岩模型—真实油田水静态、动态试验	(17)
三、成垢物来源与碳酸钙垢的认识	(19)
第二节 结垢预测技术的开发研究	(20)
一、静态试验预测	(20)
二、化学基础理论简单计算	(21)
第三节 防垢、除垢对策研究	(23)
一、物理化学清垢	(24)
二、添加防、除垢剂	(24)
三、水质改性技术	(30)
四、油田结垢腐蚀防治技术研究	(31)
第四节 油田污水处理技术研究	(36)
一、油田污水主要来源及其特点	(36)
二、油田污水的性质	(36)
三、油田污水对注水系统的危害	(37)
四、油田污水处理后的利用效果	(38)

五、现行油田废水处理工艺及存在的问题	(39)
第二章 国内外油田结垢伤害特征	(41)
第一节 国内油田结垢伤害特征	(41)
一、长庆油田	(41)
二、大庆油田	(47)
三、中原油田	(50)
第二节 国外油田结垢伤害特征	(53)
一、前苏联油田	(53)
二、苏伊士湾油田	(58)
三、北海油田	(59)
四、Brent 和 Dunlin 油田	(64)
第三章 常见阻垢剂的阻垢机理、性能及应用	(70)
第一节 常见阻垢剂的阻垢机理	(70)
一、螯合作用	(70)
二、分散作用	(70)
三、晶格畸变作用	(71)
第二节 常用的水处理技术	(71)
一、磷系水处理技术	(71)
二、钼系水处理技术	(72)
三、钨系水处理技术	(72)
四、硅系水处理技术	(72)
五、全有机系水处理技术	(72)
第三节 常见阻垢剂的性能	(73)
一、聚磷酸盐类	(73)
二、有机磷酸酯类	(74)
三、有机磷酸盐类	(75)
四、复合水质处理剂	(75)
五、高分子聚合物阻垢分散剂	(75)
六、天然阻垢分散剂	(76)
七、天然聚合物阻垢剂	(76)
八、羧酸类聚合物阻垢剂	(77)

九、磷基羧酸聚合物阻垢剂	(78)
十、含磺酸基团聚合物阻垢剂	(79)
十一、环境友好聚合物阻垢剂	(80)
第四章 华 152 区钡、锶结垢成因研究	(86)
第一节 储层岩石与油田水钡锶特征分析	(86)
一、储层岩石中钡锶的基本特征	(86)
二、油田水中钡锶离子特征	(87)
第二节 地层水中钡锶来源及其迁移特征分析	(89)
一、地层水中钡锶来源分析	(89)
二、地层水中钡锶迁移特征分析	(92)
三、水与周围介质间的元素迁移机制分析	(97)
第三节 钡锶垢的结垢成因机制分析	(107)
一、油田水垢的生成顺序	(108)
二、结垢特征分析	(109)
第五章 油层结垢伤害防治新技术研究	(114)
第一节 防垢领域研究中目前存在的主要问题	(114)
一、结垢机理研究	(114)
二、结垢预测方法研究	(116)
三、防垢对策研究	(117)
第二节 油田注水开发水源混配防垢技术	(118)
一、结垢机理分析	(119)
二、试验研究	(120)
三、实验结果	(123)
四、水源混配防垢技术及其特点	(125)
第三节 聚环氧琥珀酸盐的阻垢机理研究	(126)
一、阻垢剂研究开发现状	(126)
二、影响聚环氧琥珀酸盐稳定性的主要因素	(130)
三、影响聚环氧琥珀酸盐阻垢性能的因素	(131)
四、阻垢机理的实验研究	(135)
第四节 聚环氧琥珀酸盐的阻垢性能评价与应用研究	(144)

一、阻垢剂评价原理、依据	(144)
二、阻垢剂性能评价	(146)
三、阻垢剂应用研究	(168)
四、对环境的影响及其配伍性分析	(188)
第五节 聚环氧琥珀酸盐的应用工艺研究	(192)
一、聚环氧琥珀酸盐的现场投加工艺研究	(192)
二、聚环氧琥珀酸盐对生产现场钡、锶垢阻垢性能 评价	(196)
结论	(198)
一、油田注水开发中的防垢现状	(198)
二、长庆油田钡、锶垢结垢成因	(199)
三、油层结垢伤害防治对策	(200)
参考文献	(203)

绪 论

第一节 研究背景

一、油田开发中面临的主要问题

石油开发过程中提高原油采收率是一个颇具普遍性的问题。在我国低渗透油藏储量约有 $40 \times 10^8 \text{t}$ ，一些老油田含水率已达 80% ~ 90%，但此时仅采出地下石油储量的 1/3，还有 2/3 的石油储量用常规的办法无法开采。目前我国投入开发的低渗透油田的储量占总动用储量的比例越来越高，而未动用地质储量中所占的比例更大。

注水开发是目前保持地层压力和提高采收率的主要手段之一，已为国内外广泛采用，我国大部分油田也都采用注水开发的方式。然而我国的油田注水开发过程中存在许多亟待解决的问题，油层结垢伤害就是其中常见的严重问题之一（尹先清等，2002）。事实上，防垢、除垢也是世界性的一大难题。

目前普遍认为，油田注水工艺需要考虑的主要问题是堵塞、结垢、腐蚀三大因素（武翔，1999），尤其是油田结垢本身就是导致注水井和油层堵塞、腐蚀的重要因素。随着低渗透油藏开采规模的逐步扩大，注水采油方式的持续进行，采油井含水量不断上升，特别是在开采进入到中、高含水期以后，地面集输系统、油井及注水地层的结垢问题会变得更为严重，结垢造成管道和地层的堵塞会严重影响原油的开发（Vetter, *et al.*, 1982；朱义吾等，1995）。油层结垢伤害可引起设备的磨损或垢蚀，严重的可造成管道报废。更重要的是油层结垢会堵塞油层孔隙，降低油气井产出和注入能力、缩短注水井作业周期、降低采收率，甚至会

不同程度地损害宝贵的油气资源，乃至提前结束油田的生产寿命（李化民，1992；王风平等，1999；罗明良等，2000）。

事实上，大多数结垢与水的注入有密切关系，只要使用水，结垢现象就会发生。目前我国的大庆油田、中原油田、吐哈油田、胜利油田、长庆油田、青海油田以及新发现并投入生产的南海涠洲油田等所属油井，都存在不同程度的油层、采油设备和地面集输管线的结垢伤害问题。

二、华池油田结垢现状

长庆油田华 152 区块，实际开井 217 口，已发现近井底地层结垢的井就有 184 口，井筒结垢 49 口，集输系统结垢也十分严重，部分管线不得不因结垢严重而重新更换。在油田不同设施的不同部位采样进行分析表明，结垢物成分主要有： CaSO_4 、 BaSO_4 、 CaCO_3 、 MgCO_3 、 FeCO_3 、 SiO_2 及水份和有机物等，几乎囊括了油田所有常见的结垢物类型。严重的结垢问题，造成了采油指数的大幅降低，采油成本大大提高，个别井因结垢严重而无法维持生产，开井才半年就被迫关井。

三、研究意义

由于油田结垢问题给石油开发造成了极大的经济损失，从而引起了人们的高度重视，并将防垢、除垢作为解决油田结垢问题的重点加以研究。然而，由于结垢问题的复杂性、成垢物理化学条件的多变性、成垢场所的特殊性等众多因素的制约，目前所能采用的一些技术措施只能使结垢现状得到缓解，尚不能从根本上得以解决。因此，深入系统研究储层中设备与管线上结垢物的形成规律，找出合适的防垢、除垢方案具有重要的现实意义。其中阻垢剂的研发，特别是针对非常难溶的硫酸钡、硫酸锶垢的阻垢剂的研究与开发，成为解决油田水防垢问题的重要措施之一，尤其是无磷的绿色缓蚀阻垢剂的开发和研究更是人们当前关注的重点。

我国国内目前常用的缓蚀阻垢剂有聚磷酸盐、磷酸酯和有机

磷酸，其中聚磷酸盐类是最有效的兼有缓蚀与阻垢双重功能的水处理剂。聚磷酸盐易水解为正磷酸盐，不仅能降低这些阻垢剂的使用效果，而且若控制失当，还可能使不太严重的 CaCO_3 垢问题转变为十分严重的 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 垢问题。据统计，全国每年用于缓蚀阻垢剂生产的磷近 $10 \times 10^4 \text{t}$ ，这些磷化合物最终将作为废物排放，造成严重的环境污染，尤其是对水的污染。随着人类环保意识的提高，环保法规进一步严格，许多国家已开始限制磷的排放，推动了低磷、无磷配方的迅速发展，使得绿色水处理剂成为国内外水处理剂研制方面的热点课题。

近年来，伴随着我国经济的迅速发展，环境污染问题日益突出，生活环境质量逐步下降，甚至已经严重影响到人们的生活质量、身体健康和生产活动。面对这一严重的现实问题，国家也在逐步加大环境保护力度。为此，我国国内也在积极开展绿色缓蚀阻垢剂的研究，并对聚环氧琥珀酸类阻垢剂的性能做了一定的评价，结果表明，该类阻垢剂对环境无污染，与无机聚磷酸盐类阻垢剂相比，它们具有良好的化学稳定性、不易水解，对多种垢有极优良的抑制作用，同时能耐高温，分散性能好，稳定、抗氧化性好，与其他药剂配伍性能好等优点。因此，非常适合在高水温、高硬度、高碱度、高 pH 值等苛刻条件下使用。为此，国家经贸委于 2001 年第 5 号公告将其列入《当前国家鼓励发展的节水设备（产品）目录》的第一批产品之中。基于此，国内不少科研院所投入力量研究开发这种新型阻垢剂，期望尽快结束对该阻垢剂的进口。

事实上，注水开发油田中的钡、锶结垢问题是亟待解决的世界性难题。因此，此项目的研究既可获得实用的、可操作的、绿色的工业化的防垢除垢新技术、新工艺，同时还可填补该研究领域的空白。该项目研究成果的应用，能同时减少储层伤害，解决油田集输系统和采油设备结垢和腐蚀的两大难题，有力配合油田产能建设的实施，从而提高采收率、降低环境污染、提高石油开发的经济效益。

第二节 与结垢伤害研究相关的基础理论

一、油田地质地球化学与油层结垢伤害

(一) 地下水的溶滤与溶解作用

溶滤作用是岩石或者其所含的若干种组分借助于水溶液运移到溶液当中去的过程。这种作用过程中的化学反应常常是在有气体参加的情况下进行的，气体常作为氧化剂或还原剂。溶滤作用实际上是岩石被地下水分解的作用。溶滤作用与溶解作用有着本质的区别，溶滤过程中所发生的是复杂的不可逆反应，以化学反应为主，而溶解过程中所发生的反应则为可逆反应，以物理反应为主。自然因素对溶解作用和溶滤作用的影响都很大。而地下水溶液中的气体及水溶液性质所起的作用最大。譬如， CO_2 在地下水中的大量存在，会提高方解石、白云石的溶解度，而使得这类岩石和矿物更容易溶解于水中。同时又会增强陆源碎屑岩石的溶滤作用。水中氧气的存在，会增加水的氧化作用强度，便提高了组分从富含金属硫化物的岩石中脱离的可能性等等。在含水岩层和含水岩组里，如果溶滤作用占优势，则遭到溶滤的岩石会有：陆源碎屑岩、碳酸盐与硫酸盐类的沉积岩、喷出岩和结晶岩等。因此，高温、高压条件下含有较高氧和二氧化碳的注入水进入储层的孔隙中后的运移过程中，必然会与储层岩石不断发生溶滤或溶解反应，使得大量的成垢离子从岩石进入到地层水中。溶滤作用和溶解作用发生的同时，时常又伴随着沉淀结垢作用的产生。一方面，在相同的温压条件下，由于水中组分含量的差异，不同的矿物分别呈现出溶解或沉淀趋势；另一方面，在储层孔隙中运移的注入水随着运移时间的推移、运移距离的增大，其温度、压力条件发生较大的变化，会直接影响水岩作用的化学平衡，改变矿物的溶解与沉淀趋势。总体而言，由注入井进入储层的水首先以溶解侵蚀为主，在这个过程中使某些成垢离子发生富集，其后是结垢作用再逐渐增强。溶蚀作用扩大储层的孔隙，破坏储层的

骨架，而结垢作用则充填孔隙，堵塞流体运移的通道，这也是注水开发油田地层水中成垢离子含量随开发进程增高而增高的主要原因。

已经知道的溶滤作用有多种类型，在地下水里分布最广的有：碳酸溶滤型、水解溶滤型、氧化溶滤型、具有较高离子力溶液的溶滤型。之所以把这些作用都归属于溶滤作用，是因为其中的每一种溶滤型均具有溶滤作用本身所固有的一些基本性质和特征：地下水与岩石的相互作用、岩石被地下水分解并伴随着岩石组分向水里的运移；地下水化学成分的变化；岩石物理性质的变化，如渗透率、孔隙度的变化等。

水溶液中的化学组分与岩石间的相互作用总是以一定的存在形式进行的。要研究水、岩之间的化学作用，必须弄清楚水溶液中化学组分的具体存在形式及其含量（李云蜂等，1996）。天然水是多组分的水溶液，水中化学组分的存在形式是多种多样的，化学分析结果仅给出溶液中化学组分的总含量。根据水的化学分析结果，同时结合水中化学组分各存在形式间的化学平衡关系，使用质量作用定律及质量守恒定律，对水中化学组分各种存在形式的含量及其平衡分布百分数进行计算。在此基础上，根据注水前水中各组分存在形式的含量变化，及其与矿物的对应关系，计算出在注入水进入储层之后所发生的水岩反应中各物质的含量变化关系，找出不会造成垢离子富集的注入水配方，在地表处理注入水，从而找到解决因水岩反应造成的结垢问题，应是一种值得尝试的方法之一。

（二）储层、水、结垢物中微量元素赋存特征

微量元素是指在地球物质组成中含量在 0.1% 以下的元素，虽然它们在岩石或矿物中的含量甚微，但在地质地球化学过程中它们的浓度可以发生明显的变化，因而可以作为地质地球化学过程的“指示剂”或“示踪剂”（赵振华，1992）。在成垢元素中的微量元素最主要的是 Ba 和 Sr。

Ba 是碳酸盐中重要的微量元素，它在自然界中主要以二价离子存在，往往形成重晶石（ BaSO_4 ）和毒重石（ BaCO_3 ）。对储层

中所取的大多数岩样分析表明,钡含量大大低于地壳平均丰度(中国科学院地球化学研究所,1998),这表明油田水的淋滤作用使岩石中钡的含量降低。其差异程度与成岩环境和有机质含量有关;锶也是碳酸盐中重要的微量元素之一(中国科学院地球化学研究所,1998),通常在文石中的锶含量最高,高镁方解石次之,低镁方解石最低。当碳酸盐在沉积或成岩过程中有淡水加入时,就会影响锶的含量,而后期的风化、淋滤作用同样会影响到锶的含量。

微量元素在岩石与油田水中的差异与溶滤作用有关,随着 CO_2 分压的增加,岩石的饱和指数降低,溶解度升高。由于长期的水岩作用,钡、锶等微量元素由岩石迁移至水中形成富集。油田水样中钡、锶等元素的含量值较注入水的要高(冯启言,韩宝平,2001),这表明在储层内进行的水岩相互作用的过程中曾发生了微量元素之间的交换,致使强渗透段储层中的锶、钡等微量元素贫化,并在油田水中出现相对富集。长期的水岩相互作用,必然伴随着微量元素的交换,特别是在油田环境中,由于温度高、水流滞缓加之有机酸的存在,水岩作用充分,因而油田水可以淋滤岩石中的微量元素,使其相对富集。

(三) 元素在地下水中的迁移

地球化学研究表明,元素本身在地下水中、地下水与岩石、地下水与其他环境如大气圈、生物圈等所构成的体系中均会发生迁移,这种迁移是在元素的性质和不同环境的影响之下进行的,结果导致地下水的水质发生变化。常见的地下水—环境体系有以下三种:

- (1) 地下水—岩石—气体—有机物体系;
- (2) 地下水—岩石—气体体系;
- (3) 地下水—岩石体系。

元素的迁移除了在上述体系里进行外,还可以局限在地下水里进行。在不受到人为影响的情况下,元素的迁移是在漫长的地质时期中实现的。但在石油开采中,每时每刻都有人为因素存在,所以,元素迁移状态也被人为的改变了。

在迁移过程中,化学元素的迁移能力与化合价和离子半径有

着较为直接的关系。总的说来，元素的化合价越大，它们的迁移能力则越低。这是因为离子半径相对较小的高价元素（少数例外）形成的绝大多数化合物溶解度低、容易沉淀；而离子半径越大且化合价越低的元素溶解度较高，迁移能力较强。因此，地下水中分布最广的阳离子，按照化合价的高低和离子半径等因素，其迁移能力具有如下规律： K^+ ， $Na^+ > Ba^{2+}$ ， Sr^{2+} ， Ca^{2+} ， Mg^{2+} ；同样地下水中分布最广的阴离子为 $Cl^- > SO_4^{2-}$ ， CO_3^{2-} 。

对元素迁移的定性评价有利于判定地层水的各种化学成分，以便推断元素在地层水里的运移状态。地层水化学成分的变化也是了解和掌握岩石、气体以及其他介质参与元素迁移信息、迁移特征和程度的基本依据。元素迁移的定量评价，是借助于元素在地层水及由它所构成的体系中运移的数量指标来进行的。

为了比较元素在地层水—岩石体系中迁移的数量特征，A. M. 佩列利曼（1972）提出可用水迁移系数来计算元素在水中的迁移强度。它是一个元素含量的比值，是元素在水的矿物残渣中的含量与其在含水岩石里的含量之比值：

$$K_x = 100 \cdot m_x / (a \cdot n_x)$$

式中 m_x ——某种元素 x 在水里的含量（g/L）；

n_x ——某种元素 x 在岩石里的含量（按%）；

a ——水里的矿物质总量（g/L）。

根据该公式我们可以计算出元素由岩石向水中迁移的强度，从而评价成垢离子的来源。

（四）地层水物质成分的来源及注入水开发对其所造成的影响

地层水中物质成分的来源有多种渠道，与注水开发关系较密切的有以下几种。

（1）岩石：岩石是地下水物质成分的最主要来源。在地下水常量和微量元素成分的形成中，岩石所起的作用远远超过了大气降水、沉积水以及其他影响因素所起的作用。如碳酸根，常常存在于碳酸盐类岩石的矿物成分之中，如方解石和白云石；镁，主要赋存在白云岩里，在其他碳酸盐类岩石如石灰岩以及陆源碎屑

岩石里也有少量富集；钙，绝大部分赋存于石灰岩里，少量的在白云岩和砂岩里；锶，在岩石中基本上以矿物形式分布，在硫酸盐类岩石中呈天青石的形式赋存，在碳酸盐类岩石中呈菱铁矿形式赋存，而在陆源碎屑岩石中，锶赋存在硫酸盐类和碳酸盐的杂质中内。所以了解储层岩石及其矿物类型，对预测成垢离子的类型和结垢倾向具有重要意义。

(2) 岩石中的有机质：当有机物分解时，可以直接富集在地下水，而且这些有机化合物中还往往富集一系列的微量元素。在油田注水开发中，由于外来水的注入，引起储层中水的成分、温度、水动力条件等众多因素的变化，打破了储层中原有的化学平衡，使得岩石中的有机物质和其他元素从岩石向地层水中迁移，从而增加了地层水中的有机质含量，而这些有机质中所含的大量细菌对岩石和水体间元素的迁移具有重要意义。

(3) 原油：注水开发中，地层水与原油是混在一起的，而原油内本身也含有丰富的微量元素，因此原油和岩石里的有机质一样，在一定的条件下可以成为地层水里的有机化合物和其他元素的物质来源，目前已经证实与油层相接触的地层水体里有机质含量较高。

总之，当注入水与地层水混合使水的成分发生变化时，这种水与储层及其周围环境的介质就会处于不平衡状态，必然导致新化学反应的发生。所以，尤其要注意以下几个方面的研究：

(1) 研究注入水与地层水混合作用特征；

(2) 研究两种水的化学成分、混合水的化学成分、在含水组的不同地段以及受混合水影响的范围内所形成混合水的化学成分；

(3) 查明混合水的时间和空间上的分布规律，以及所引起的温度、压力、pH 值等的变化特征；

(4) 查明储层特征、矿物质及其胶结物等因素对混合水的影响，研究混合水与岩石之间的相互作用。

二、结垢物的物理化学性质与结垢物的形成

(一) 结垢物的物理化学性质

通过对现有资料中油田结垢物的统计及研究结果表明：油田