

黄河三角洲深层卤水 高效开采关键技术

崔兆杰 主编



科学出版社

黄河三角洲深层卤水 高效开采关键技术

崔兆杰 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书通过对黄河三角洲的特殊地形地质,深层卤水开采存在的能耗高、结盐、结垢、腐蚀及其潜在的环境污染和风险等关键难点问题研究,形成了黄河三角洲深层卤水高效开采的防腐、抑垢除垢、减阻降耗等系列关键技术;开发了抑垢剂、管道输送减阻剂,并获得相关的自主知识产权;准确识别了黄河三角洲深层卤水资源开采过程中的污染来源、污染特征和环境影响,建立了有效的生态环境风险评价和预警技术体系;建立了单井示范工程,从而增强了我国深层卤水资源的开采能力,降低了深层卤水的开采成本,为黄河三角洲深层卤水资源的保护性开发与高值高效利用提供技术保障与支撑,为黄河三角洲生态高效战略目标的实现奠定基础。

本书可作为环境科学、环境工程、环境管理等专业领域的研究生、本科生的参考用书,也适合从事资源环境领域研究的科研人员、工程技术人员和管理人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

黄河三角洲深层卤水高效开采关键技术/崔兆杰主编. —北京:科学出版社,2015.10

ISBN 978-7-03-046040-0

I. ①黄… II. ①崔… III. ①黄河-三角洲-地下卤水-地下开采-土壤污染-污染防治 IV. ①X754

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 247916 号

责任编辑:朱 丽 杨新政 / 责任校对:赵桂芬
责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年10月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015年10月第一次印刷 印张:23

字数:450 000

定价:118.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《黄河三角洲深层卤水高效开采关键技术》
编委会及项目研究成员

崔兆杰 洪静兰 魏云鹤 谭现锋
宋婷婷 孙晓梅 冯守涛 张鑫
邵倩倩 宋国栋 陈伟 宋其亮

前 言

黄河三角洲位于渤海南部黄河入海口沿岸地区,其自然资源丰富、生态系统独特、产业基础良好、区位条件优越,被誉为我国最具开发潜力的大河三角洲。卤水资源是黄河三角洲的特色优势资源,呈带状平行分布,面积 3000 多平方公里。黄河三角洲盐化工产业基础雄厚,是全国最大的盐化工基地,具有产业规模大、产能高、产业关联性强等特点。国家高度重视黄河三角洲的可持续发展,明确要求这一地区要大力发展高效生态经济。2009 年 11 月国务院批复的《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》,将黄河三角洲地区的发展上升为国家战略,成为国家区域协调发展战略的重要组成部分,是国家区域协调发展战略的先行区和示范区,是后备土地资源开发区。

尽管该地区深井卤水资源储量和丰度远优于浅层卤水,但由于受储量分布不明和开采技术的制约,尚未得到有效利用,卤水资源短缺已成为制约黄河三角洲相关产业持续发展的重要瓶颈。因此,开展深井卤水资源的高效开发利用有利于破解深层卤水资源高效开发利用的关键技术瓶颈,有利于实现消除卤水资源短缺对国民经济持续发展的制约,有利于为黄河三角洲高效生态战略目标的实现提供重要支撑,有利于形成科学创新、人才培养基地。

本书内容为国家高技术研究发展计划(“863”计划)资源环境技术领域“深井盐卤资源综合利用技术研究”项目“黄河三角洲深层卤水高效开采关键技术”课题(2012AA061705)的主要研究成果,并在该项目资助下出版。

全书共 5 章,以黄河三角洲深层卤水高效开采关键技术为主要研究内容展开。第 1 章介绍研究背景和意义、研究目标及研究思路和总体方案。第 2 章在掌握国内外钻探成井工艺、开采方式和设备以及设备结盐、腐蚀处理工艺的基础上,开发了适合黄河三角洲深层卤水高效开采的钻头和护壁钻井液,通过对比确定最佳的适合黄河三角洲深层卤水钻探与成井工艺技术。第 3 章研究了深层卤水对采卤设备、输卤管线和取卤构筑物的结垢与腐蚀机制,建立了采卤设备、输卤管线和取卤构筑物的防腐、抑垢、除垢技术体系。第 4 章研究了输卤过程的减阻机理和减阻技术,研发出新型高效减阻剂。第 5 章在卤水开采全过程中进行生态环境风险预防和控制。

本书是项目组集体智慧的结晶,感谢国家高技术研究发展计划资源环境技术领域“深井盐卤资源综合利用技术研究”项目对本书出版的资助!感谢项目实施过

程中相关专家和管理人员给予的指导和建议！感谢科学出版社的编辑，是他们的努力和耐心促成了本书的出版。

由于各种局限，书中遗漏、不当之处在所难免，恳请各位专家和读者批评指正。



2015年7月

目 录

前言

第 1 章 引言	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 研究目标	2
1.3 研究思路和总体方案	2
第 2 章 黄河三角洲深层卤水钻探成井关键技术	4
2.1 高效仿生耦合 PDC 钻头	4
2.1.1 仿生学与 PDC 钻头	4
2.1.2 牙轮钻头和常规 PDC 钻头调研与评价	7
2.1.3 仿生原型选择	9
2.1.4 黄河三角洲地层钻进用仿生耦合 PDC 钻头研制	11
2.1.5 仿生耦合 PDC 钻头性能测试及野外试验	14
2.1.6 结论	22
2.2 黄河三角洲深层卤水高效钻进钻具组合及工艺优化	23
2.2.1 卤水钻探钻具组合研究现状及进展	23
2.2.2 黄河三角洲深层卤水高效钻进钻具组合要求	25
2.2.3 黄河三角洲地区卤水钻探钻具组合优选	27
2.2.4 结论	38
2.3 黄河三角洲深层卤水地层钻探钻井液	38
2.3.1 卤水地层钻进施工钻井液概述	38
2.3.2 黄河三角洲深层卤水高效开采护壁钻井液	42
2.3.3 结论	58
2.4 深层卤水完井方法及滤水管测试平台	58
2.4.1 完井方法及滤水管概述	58
2.4.2 深层卤水钻探完井方法与滤水管选材	64
2.4.3 滤水管性能测试平台及评价	66
2.4.4 示范工程完井及滤水管应用	80
2.4.5 结论	81
第 3 章 采卤设备、取卤构筑物的结垢与腐蚀的控制及消除技术	82
3.1 黄河三角洲深层卤水资源情况普查	82

3.1.1	普查区域概况	82
3.1.2	普查内容及结果	90
3.1.3	普查结论	94
3.2	黄河三角洲重点区域深层卤水资源现状调查	94
3.2.1	重点调查区域概况	94
3.2.2	重点调查内容及结果	98
3.2.3	调查结论	100
3.3	黄河三角洲典型深层卤水井永 89 # 现状调查	100
3.3.1	调查方法	101
3.3.2	调查结果	102
3.3.3	调查结论	104
3.4	卤水的析盐结垢机理与控制技术	104
3.4.1	卤水的析盐结垢机理研究	104
3.4.2	卤水的析盐结垢控制技术研究	113
3.5	腐蚀研究现状	125
3.6	采输卤设备在卤水中的腐蚀机理研究	131
3.6.1	材料与方法	131
3.6.2	结果与讨论	132
3.6.3	结论	140
3.7	采输卤设备在卤水中的防腐技术研究	141
3.7.1	耐卤水腐蚀材料的筛选与性能研究	141
3.7.2	耐卤水腐蚀的电沉积 Ni-W-P 表面防腐技术研究	146
3.7.3	耐卤水腐蚀的化学沉积 Ni-W-P 表面防腐技术研究	155
3.7.4	耐卤水腐蚀的有机高分子涂层表面防腐技术研究	162
3.7.5	卤水防腐技术应用效果分析	165
第 4 章	深层卤水采输卤过程减阻降耗技术	169
4.1	流体管道阻力成因及减阻降耗技术对策	169
4.1.1	流体管道阻力成因分析	169
4.1.2	影响流体管道阻力大小的主要因素	171
4.1.3	现行采输卤管道存在的问题	172
4.1.4	采输卤管道减阻降耗技术对策	173
4.2	减阻剂减阻技术及卤水管道减阻剂性质预测	174
4.2.1	减阻剂减阻技术	174
4.2.2	减阻剂减阻机理	175
4.2.3	深层卤水开采过程减阻剂减阻技术适用性分析	177

4.2.4	卤水管道减阻剂性质预测与分子设计	178
4.3	析盐晶粒控制技术	179
4.3.1	研究方法	179
4.3.2	研究结果与讨论	180
4.3.3	结论	186
4.4	减阻率测试环道设计、安装和调试	186
4.4.1	设计原理	187
4.4.2	设计参数	187
4.4.3	环道组成	188
4.4.4	环道流程图	189
4.4.5	环道安装和调试	189
4.4.6	减阻率测试方法	189
4.4.7	减阻率测试环道和测试方法可行性论证	191
4.5	内涂层表面光滑减阻技术	191
4.5.1	研究方法	192
4.5.2	测试结果与讨论	194
4.5.3	结论	203
4.6	卤水管道减阻剂的制备及减阻性能测试	204
4.6.1	聚丙烯酰胺减阻性能测试	204
4.6.2	聚氧化乙烯减阻性能测试	211
4.6.3	磺甲基化聚丙烯酰胺(SPAM)的制备及其减阻性能测试	219
4.6.4	P(AM/AMPS)的合成及其减阻性能测试	224
4.6.5	结论	230
4.7	减阻技术现场应用试验	231
4.7.1	在黄河三角洲深层采卤试验井中的应用	231
4.7.2	在黄河三角洲浅层采卤井中的应用	236
4.8	本章结论	240
第5章	深层卤水资源开采过程中的生态环境风险预防及控制技术	243
5.1	国内外研究现状	245
5.1.1	生命周期评价	245
5.1.2	生命周期成本评价	250
5.1.3	生态风险评价	252
5.1.4	环境风险预警	253
5.2	开采区环境质量现状调查	257
5.2.1	调查评价范围	257

5.2.2	开采区所在区域环境概况	258
5.2.3	开采区环境质量现状调查	262
5.3	深层卤水开采全过程生命周期清单构建研究	266
5.3.1	研究目的	266
5.3.2	研究方法	266
5.3.3	研究内容	266
5.3.4	研究结果	267
5.3.5	结论	277
5.4	生命周期评价和源头减量控制技术	277
5.4.1	研究目的	277
5.4.2	研究内容	278
5.4.3	研究方法	278
5.4.4	研究结果	279
5.4.5	结论	303
5.5	多污染因子共存条件下的生态毒性特征化评价	303
5.5.1	研究目的	303
5.5.2	研究内容	303
5.5.3	研究方法	304
5.5.4	研究结果	313
5.5.5	结论	323
5.6	深层卤水开采生命周期成本分析	323
5.6.1	研究目的	323
5.6.2	研究内容	324
5.6.3	研究方法	324
5.6.4	研究结果	324
5.6.5	结论	327
5.7	深层卤水开采全生命周期生态环境风险防控和预警	328
5.7.1	研究目的	328
5.7.2	研究内容	328
5.7.3	研究方法	329
5.7.4	研究结果	331
5.7.5	结论	337
参考文献		338
附录 发表的相关论文		354

第 1 章 引 言

1.1 研究背景和意义

黄河三角洲位于渤海南部黄河入海口沿岸地区,包括山东省的东营、滨州和潍坊、德州、淄博、烟台市的部分地区,共涉及 19 个县(市、区),总面积为 2.65 万平方公里,占山东省陆域面积的 1/6。其自然资源丰富、生态系统独特、产业基础良好、区位优势优越,被誉为我国最具开发潜力的大河三角洲。

卤水资源是黄河三角洲的特色优势资源,呈带状平行分布,面积 3000 多平方公里。据调查,区内浅层卤水资源总量约为 $8.08 \times 10^9 \text{ m}^3$,深井卤水资源净储量超过 $1.0 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 。具有分布广、储量大、资源丰度高等特点。据调查,黄河三角洲深井卤水资源的分布面积约 1300 km^2 ,埋深 2500~3100 m,矿化度约为 150~250 g/L,品质优,含丰富的钠、氯、钙、碘、溴、锂等元素,原盐(氯化钠)、钾盐(氯化钾)、碘、溴的预计可开采量分别为 $73\ 865.6 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $2826.4 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $14.81 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $55.03 \times 10^4 \text{ t}$ 。

黄河三角洲盐化工产业基础雄厚,是全国最大的盐化工基地,具有产业规模大、产能高、产业关联性强等特点。据统计,2008 年该区卤水化工行业工业增加值占山东省工业增加值总量的 9.3%,其原盐、纯碱产能分别占全国的 2/5 和 1/6,溴素产能超过 90%。

国家高度重视黄河三角洲的可持续发展,明确要求这一地区要大力发展高效生态经济。2009 年 11 月国务院批复的《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》,将黄河三角洲地区的发展上升为国家战略,成为国家区域协调发展战略的重要组成部分,是国家区域协调发展战略的先行区和示范区,是后备土地资源开发区。

尽管该地区深井卤水资源储量和丰度远优于浅层卤水,由于受储量分布不明和开采技术的制约,尚未得到有效利用,卤水资源短缺已成为制约黄河三角洲相关产业持续发展的重要瓶颈。

因此,开展深井卤水资源的高效开发利用有利于破解深层卤水资源高效开发利用的关键技术瓶颈,有利于实现消除卤水资源短缺对国民经济持续发展的制约,有利于为黄河三角洲高效生态战略目标的实现提供重要支撑,有利于形成科学创新、人才培养基地。

1.2 研究目标

针对黄河三角洲的特殊地形地质,深层卤水开采存在的能耗高、结盐、结垢、腐蚀及其潜在的环境污染和风险等关键难点问题,形成了黄河三角洲深层卤水高效开采的防腐、抑垢除垢、减阻降耗等系列关键技术;开发出抑垢剂、管道输送减阻剂,并获取相关的自主知识产权;准确识别了黄河三角洲深层卤水资源开采过程中的污染来源、污染特征和环境影响,建立了有效的生态环境风险评价和预警技术体系;建立单井采卤量 500 m³/d 的示范工程,从而增强我国深层卤水资源的开采能力,降低深层卤水的开采成本,为黄河三角洲深层卤水资源的保护性开发与高值高效利用提供技术保障与支撑,为黄河三角洲生态高效战略目标的实现奠定基础。

1.3 研究思路和总体方案

本书课题研究将按照关键技术研究 and 示范带动相结合的思路进行,首先在掌握国内外钻探成井工艺、开采方式和设备以及设备结盐、腐蚀处理工艺的基础上,开发适合黄河三角洲深层卤水高效开采的钻头和护壁钻井液,通过对比确定最佳的适合黄河三角洲深层卤水钻探与成井工艺技术;研究深层卤水对采卤设备、输卤管线和取卤构筑物的结垢与腐蚀机制,建立采卤设备、输卤管线和取卤构筑物的防腐、抑垢、除垢技术体系;研究输卤过程的减阻机理和减阻技术,研发新型高效减阻剂;在卤水开采全过程中进行生态环境风险预防和控制;同时通过对卤水地质条件、矿化度、富水性等的分析,结合课题关键技术的研究成果,建立黄河三角洲深层卤水高效开采示范工程并进行推广应用。本书课题总体研究思路见图 1-1。

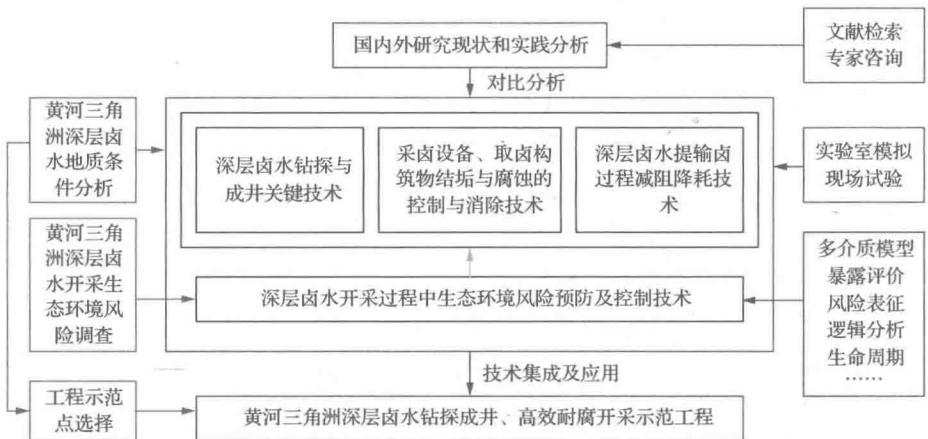


图 1-1 本书课题总体研究思路

本书课题研究过程中整体采用实验室模拟和野外钻探试验相结合的方法,并充分利用化学分析、仪器分析等技术方法。此外,课题研究过程中还用到了以下原理、机理、算法、模型等,主要包括:依据极限抑制机理、结垢抑垢机理进行抑垢防垢技术研发;依据腐蚀机理研究腐蚀的控制与消除技术;依据范宁公式、减阻机理、减阻剂室内环道评价系统进行减阻剂的开发及评价;依据生命周期影响评价方法、生命周期基本函数演变法、蒙特卡罗模型、多介质模型、模糊数学和逻辑分析方法、泰勒系列展开衍生方程以及质量平衡原理等进行生态环境风险预防及控制技术的研究。

第 2 章 黄河三角洲深层卤水钻探成井关键技术

黄河三角洲地区拥有丰富卤水资源,但浅层卤水(埋深 100 m 以浅)已无法满足市场的需求。同时浅层卤水在开发过程中易形成降落漏斗,使卤水浓度降低,产能下降,产生环境地质问题等。因此,深层地下卤水的开发利用开始受到关注。但由于深层地下卤水埋藏深,地质状况复杂,勘探和开采难度大,需要专门研发匹配的钻探工艺和设备开展钻探、成井等施工。

针对黄河三角洲卤水矿藏地层特点,钻探及成井施工中需要对钻进钻头、钻具组合、钻井液及完井工艺开展系统的研究和开发,从而为该地区深层卤盐矿资源的勘探开发提供技术支撑。

2.1 高效仿生耦合 PDC 钻头

钻头是钻井施工的重要工具,其性能的好坏直接影响钻井质量、钻井效率和钻井成本。根据钻进地层和钻进工艺要求,目前应用比较广泛的有牙轮钻头、PDC (polycrystalline diamond compact) 钻头、孕镶金刚石钻头、表镶金刚石钻头等。PDC 钻头是在钻进软—中硬岩层中最有效的碎岩工具,而卤水地层多为沉积地层,属于软—中硬岩层,且易造成钻头泥包、钻进效率低等难题。因此针对上述难题,本项目开展了一种将仿生学和钻头结构设计相结合的新型 PDC 钻头的研究。

2.1.1 仿生学与 PDC 钻头

随着生产的需要和科学技术的发展,从 20 世纪 50 年代以来,人们已经认识到生物系统是开辟新技术的主要途径之一,自觉地把生物界作为各种技术思想、设计原理和创造发明的源泉。人们用化学、物理学、数学以及技术模型对生物系统开展了深入的研究,促进了生物学的极大发展,对生物体内功能机理的研究也取得了迅速的进展。此时模拟生物不再是引人入胜的幻想,而成了可以做到的事实。生物学家和工程师们积极合作,开始将从生物界获得的知识用来改善旧的或创造新的工程技术设备。生物学开始跨入各行各业技术革新和技术革命的行列,而且首先在自动控制、航空、航海等军事部门取得了成功。于是生物学和工程技术学结合在一起,互相渗透孕育出一门新生的科学:仿生学(马祖礼,1984)。

仿生学是指通过模仿生物来建造技术装置的一门科学,它是在 20 世纪中期才出现的一门新的边缘科学。仿生学通过研究生物体的结构、功能以及它们的工作

原理,并将这些原理移植到现有的工程技术之中,发明出性能优越的仪器、装置和机器,创造出新型技术(任露泉和丛茜,1997;任露泉等,2005,1995)。从仿生学的诞生、发展到现在短短几十年的时间内,它的研究成果已经非常可观。仿生学的问世开辟了独特的技术发展道路,它为科学技术创新提供了新思路、新原理和新方法,也就是向生物界索取蓝图的道路,大大开阔了人们的眼界,显示了极强的生命力。

1960年在美国俄亥俄州举办的第一届全美国仿生学研讨会标志着仿生学已经作为一门新的学科诞生了。随后许多国家如英国、日本、德国、俄罗斯等相继对仿生学的研究投入大量人力和物力,我国也加入研究仿生学的行列,在仿生学方面的研究也有了很大的进步,从而推动了仿生学的快速发展。仿生学作为一门多学科交叉的典型新领域,很大程度上推动了科学发展和技术进步,比如:基于鸟类翅膀剖面而生产的飞机翼型;基于蜂巢和龟背形状以及功能的仿生洗衣机;基于土壤洞穴动物表面特征以及功能的仿生防粘和仿生减阻技术;基于壁虎足形态的仿生附着技术;基于昆虫感受器的应变测量;基于鲨鱼皮表面形态的流体作用下的减阻结构而制造出的人工仿生鲨鱼皮;等等。

仿生耦合是近几年才兴起的一个叫法,它的前身就是仿生非光滑理论。仿生非光滑理论是仿生耦合理论的一个研究方向,它仅仅是从结构或形态方面对生物的几何非光滑体表进行模仿。除了对生物几何非光滑体表的研究,仿生耦合理论还包括对生物材料和生物功能等方面的研究。例如光滑表面与非光滑表面的接触耦合,超硬材料与软材料的耦合,韧性材料与脆性材料的耦合等。生物的几何结构、躯体材料和它的功能是一个完整的体系,如果单单对某一个方面进行研究,就会存在很多考虑不到的因素,得不到满意的结果。因此对仿生耦合理论的研究,应该系统全面地掌握每一个研究因素,达到最优的模仿效果(林雁,2002;Sensosian,2003;黄河,2008)。

PDC钻头,是美国石油钻井工程20世纪70年代末80年代初的一项重大技术成就。实践证明,PDC钻头在钻进软至中硬的低研磨性地层中,钻速快,平均机械钻速很高,可达10~30 m/h,单个钻头的寿命更是高达3000 m,体现了PDC钻头良好的钻进效率和长久的寿命,是钻头界的一次技术革命。有资料显示,2000年,PDC钻头的钻井进尺仅占世界钻井总进尺的26%;到2003年,这一数字已增加到50%;2006年,更是上升到了60%。

对PDC钻头的改进,主要包括增加PDC齿的强度和合理的布齿方式。影响钻头性能的因素主要有钻头稳定性、机械钻速、耐用性及导向性。美国史密斯钻头公司本着以上四点因素,对钻头进行整体性能的改进。该公司推出的ARCS钻头上带有两种不同规格的切削齿,每种齿都能在不同的精密集合形状条件下实现单独和完全的井底覆盖,这种独特的切削结构改善了PDC钻头的稳定性,提高了其机械钻速且同时又不损失其耐用性,而常规PDC钻头是不可能实现这种效果的。

为了补充 ARCS 钻头的性能,史密斯钻头公司同时推出了新型 GeoMax 系列优质 PDC 切削齿,对碳化钨界面以及齿的烧结工艺都作了改进,以便减小碳化钨和金刚石层内部的应力。通过这些改进,最大限度地减小了 GeoMax 齿上 PDC 金刚石层的掉块、剥落和脱层现象,而且这种齿比其他 PDC 齿上的金刚石量要多 50%~80%,所以其耐用性要比其他齿好很多。史密斯钻头公司典型的刚体 PDC 钻头还包括 Velocity 钻头和 Geodiamond 钻头,Velocity 是新一代的刚体 PDC 钻头,为了提高机械钻速,此种钻头上使用 22 mm 的 PDC 齿,除了在其整个碳化钨界面上拥有更一致的金金刚石层以外,这种新型切削齿的金金刚石层厚度也特别厚,鉴于此,Geodiamond 钻头正在刷新过去钻井工业界所创下的机械钻速记录。

美国休斯·克里斯坦森公司推出的称为 Genesis XT 的新型 PDC 钻头,采用新一代切削齿和已获专利的切削深度控制技术,在恶劣的钻井环境中提高钻头的稳定性和耐用性,能够用于钻进硬度和研磨性更大的地层;其新一代切削齿称之为 Odyssey™ 系列齿,工程技术人员对齿上碳化钨基体与人造金金刚石层之间的界面进行了优化,从而使这种齿的韧性大为改善;由于采用了 EZSteer™ 切削深度控制技术,该钻头在钻进一般地层时更为平滑和稳定;另外该新型钻头因采用了多层式金金刚石层技术而具有优良的耐磨性能,这些技术的综合应用延长了钻头寿命、提高了钻井效率。

美国得克萨斯州 Waskom 的 Bit-Tech 公司推出的钻头系列 45X™ 是该公司 B2™ 系列八翼 PDC 钻头的更新换代产品,其结构为五翼,钻头上装有 13 mm 的非平面型 PDC 齿、5 个喷嘴并具有其他一些特殊结构功能,其刮刀呈凸出、大间距和曲线形,以前冲方向定位,或者说是相对于钻头中心有一定的曲率,钻头刀翼上镶嵌的圆柱形切削原件能有效地刮削地层并使钻井液以最优的方式流动;与其他 PDC 钻头相比,45X 钻头通用性更强,并已在多次现场使用中创下了性能记录。

美国史密斯钻头公司的 SHARC 高耐磨结构 PDC 钻头在棉花谷等高度研磨性和有夹层的地层中的钻井性能一直都很优良。该公司用专有钻头设计软件设计出的钻头切削结构极为稳定,能够最大限度地减小齿的损坏与磨损,实现最大的钻井进尺,同时还不牺牲钻头的机械钻速。SHARC 钻头每个刀翼上有两排齿,能够最大限度地提高钻头头部和肩部的耐用性。双排切削齿的定向还有助于保持钻头水力的清洗和冷却效率。该公司独家拥有一系列用于钻研磨性地层的耐磨切削齿,钻头的内在稳定性也使其拥有优良的耐磨性能(申守庆,2002;罗肇丰等,1984;申守庆和南继春,2001;Beims,1999;彭军生和杨利,2001;申守庆,2006;卢芬芳等,2004;邹德永和梁尔国,2004)。

PDC 钻头在油气钻井软一中硬岩层中钻进是最有效的碎岩工具,但在高研磨性和硬地层中,PDC 钻头使用效果却很差。中原油田在四川普光 E-3 井钻进中生界三叠系须家河组地层(硬、研磨性强地层)时,引入美国贝克休斯公司生产的

Φ314 mm HC509ZX 型 PDC 钻头(价格 50 万元人民币),钻进 10 h,进尺不到 10 m,即出现掉齿、胎体严重磨损等问题而不得不宣布钻头报废。因此,钻进硬且研磨性强的地层,一般不选择 PDC 钻头。

由于东方蝾螈能在稀泥里钻洞而不沾泥,独特的挖掘足有很高的掘土效率,因此通过分析东方蝾螈的形态学特征,可以得出其特性规律,在学术上有很重要的研究价值,在钻探工程工作部件上也会带来重要的应用前景。本书项目研究将以东方蝾螈爪趾作为仿生对象。

动物的仿生一般分以下几种:形态仿生、结构仿生、材料仿生、分子仿生、功能仿生。按照研究领域又可以分为运动仿生、工程仿生、化学仿生、数学仿生等。随着科学技术的进步,仿生学也得到了飞速的发展,在许多领域也得到极大发展,同样也扩展到了钻探领域,但正式将钻探与仿生学结合起来尚不多见。国外有苏联曾经按照古代恐龙牙齿配置了二重“钻头”,使钻探速度提高一倍半到两倍。国内有吉林大学建设工程学院孙友宏教授带领的课题组系统地仿生金刚石钻头进行了研究,包括对仿生学原理及金刚石钻头做系统的研究。经过大量的试验证明,仿生金刚石钻头不论是钻进时效还是钻头寿命都优越于普通金刚石钻头。在此背景下,仿生 PDC 钻头也成了一种新型的研究方向。

目前,全世界各种大口径深井钻井广泛使用的是 PDC 钻头(屠厚泽,1990;赵尔信等,2010;马保松等,1998;邹德永和梁尔国,2004;彭军生和杨利,2001;Ohno et al.,2002),尤其是在软—中—硬地层中,与牙轮钻头相比,机械钻速、钻井成本和单只钻头进尺优势都很明显,尤其在深井和高压井下,优势更加明显。然而,目前国内外 PDC 存在如下不足:一是 PDC 聚晶层表面要磨成镜面,使得 PDC 复合片制造成本大幅度提高;二是 PDC 钻头随着 PDC 工作部位磨损成平面,复合片与岩石的接触面积在加大,致使其切削岩石速度下降和磨损加快;三是 PDC 钻头在水基泥浆中钻进时,钻头容易吸附岩屑产生泥包,导致扭矩增加,切削能力减弱,钻速下降,水力效率降低,甚至发生卡钻现象。以上三点是 PDC 钻头寿命短、破岩效率低、泥包和单位进尺费用高的主要原因。

2.1.2 牙轮钻头和常规 PDC 钻头调研与评价

黄河三角洲地区深层卤水地层岩性具有研磨性强、泥砂互层等特点,易造成钻头磨损及泥包现象,影响钻进速度、能耗和使用寿命等,因此把相关的仿生耦合理论应用到 PDC 钻头的 PDC 齿的设计中。研究钻速快、能耗低、耐腐蚀的仿生耦合 PDC 钻头,可以解决黄河三角洲地区深层卤水开采的卡钻、缩径、泥包等技术难题。

1. 牙轮钻头的使用效果调研与评价

根据黄河三角洲的地质构造和地质特征的调查结果,结合深层油井钻探、地热