



# 陕西省矿山

## “采选冶”先进适用技术汇编

◎ 陕西省国土资源厅 编

地质出版社

# 陕西省矿山“采选冶” 先进适用技术汇编

陕西省国土资源厅 编

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

陕西省矿山“采选冶”先进适用技术汇编/陕西省  
国土资源厅编. —北京: 地质出版社, 2016. 11

ISBN 978-7-116-09600-4

I. ①陕… II. ①陕… III. ①矿山开采②选矿③冶金  
IV. ①TD82②TD9③TF

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 005306 号

---

责任编辑: 田野 陈磊

责任校对: 李玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 66554528 (发行部); (010) 66554631 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 66554686

印 刷: 北京地大天成印务有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

印 张: 18.25

字 数: 440 千字

版 次: 2016 年 11 月北京第 1 版

印 次: 2016 年 11 月北京第 1 次印刷

定 价: 58.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-09600-4

---

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

# 陕西省矿山“采选冶” 先进适用技术汇编

## 编委会

主 任：王卫华

副主任：雷鸣雄

成 员：陶虎生 负培琪 肖平新

主 编：负培琪

副主编：王明卫

编写人：杨振宏 冯耀挺 张晓平

李 辉 李振林 陈文科

# 前 言

陕西是我国矿产资源大省和重要的能源接续地。改革开放 30 多年来，在加速发展的矿业经济推动下，陕西省经济实现了由欠发达省份向中等发达省份跨越。在当前全面建成小康社会和加快推进供给侧结构性改革的重要时期，树立创新、绿色、和谐、开放、共享发展理念，科学开发利用矿产资源，推进矿业经济转型发展，已经成为陕西省重要的战略问题。陕西省国土资源厅组织专家学者和企业家编写的《陕西省矿山“采选冶”先进适用技术汇编》（以下简称《汇编》）一书，是科学开采、合理保护、高效利用矿山资源经验之大成，技术之精华，行动之导向。《汇编》的付梓成册，必将为陕西省矿产资源深度开发和矿业企业创新发展，提供坚实的技术支撑和丰富的经验借鉴。

能源兴，则陕西兴。这是由陕西资源禀赋决定的特色优势。截至 2015 年底，全省已探明各类矿产 138 种，已查明储量 91 种，资源潜在价值达 43 万亿元，居全国首位。煤炭、石油、天然气、盐、钼等 62 种矿产的保有量居全国前 10 位。黄金、钼、钒、铀、钾等稀有贵重资源地位十分突出，是国家重要的战略资源储备区域。煤炭、石油、钼等重要资源的开采及相关加工制造业，占到全省经济总量的 60% 以上，矿业经济一直是陕西省重要的支柱产业。随着产业结构深度调整和经济发展方式持续转变，陕西省矿业经济存在的产业链不完善、资源利用率不高、整体装备技术较差、产品附加值低和核心竞争力不强等短板日趋突出，生态环境保护、矿山安全生产压力日益加大，对陕西矿业经济转型发展和提质增效提出了严峻的考验。面对挑战和机遇，陕西省委、省政府做出了“矿业经济不能丢、粗放发展的老路不能走、出路在于绿色创新发展”的判断，决定在全省范围内开展为期五年的矿产资源开发“三保三治”专项行动（保发展治粗放、保安全治隐患、保生态治污染），要求各级党委政府和有关企业紧紧围绕供给侧结构性改革任务，大力推广新工艺、新技术、新装备和新管理方式，促进矿业经济实现创新、绿色、和谐、开放、共享发展，加速矿业发展向中高端迈进，促进全省经济持续保持中高速增长。

专业知识、技术技能和成功经验的持续积累，是陕西省经济社会发展最宝贵的财富。这部《汇编》汇集了丰富的专业知识、可靠的实用技术和开展矿产资源保护开发的成功经验，所整理遴选的 77 项专业技术，涵盖了油气、煤炭、金属及其他优势特色矿产资源的“采、选、冶”及综合利用、废弃物循环利用，提高矿产回采率、选矿回收率和综合利用率等关键技术。其中，国际领先的有 8 项，国际先进的有 8 项；国内领先的有 10 项，国内先进的有 23 项。这些先进技术和管理经验，饱含着全省矿业人的心血汗水，凝聚着矿业科技工作者的聪明才智，是陕西省矿产资源开发利用领域重要的理论和实践成果。

加速推动陕西省由矿业资源大省向矿业经济强省转变，既是陕西省委、省政府的坚定努力，也是构建现代矿业产业体系的必然选择。陕西省内各级矿产资源管理系统的负责同志、科技工作者和企业负责同志，要认真研读《汇编》中提出的重要观点、技术参数、行业标准，结合本地资源特点和产业基础，研究制定矿业经济发展战略，加速矿业产业转型升级，促进“老产业”焕发出“新活力”。要进一步建立健全以企业为主体的科技创新体制机制，坚持科学发展、安全发展，不断提升矿产资源的附加值，努力构建矿业产业的中高端价值链。矿产资源领域的广大科技工作者，要继续在核心技术和关键环节上组织科技攻关，依靠科技推进矿业经济转型发展和提质增效，在追赶超越的历史征程中续写新的华彩篇章。

陕西省副省长：庄长兴

2016 年 6 月 28 日

# 目 录

## 前 言

### 第一篇 油气类

|    |                                 |    |
|----|---------------------------------|----|
| 1  | 特低渗透油藏油气密闭及综合利用技术·····          | 2  |
| 2  | 致密油井有效开发利用技术·····               | 5  |
| 3  | 鄂尔多斯盆地东部致密砂岩气有效开发技术·····        | 7  |
| 4  | 低渗透岩性油气藏叠前有效储层描述技术·····         | 10 |
| 5  | 低渗透致密油藏测井精细评价技术·····            | 13 |
| 6  | 低渗岩性气藏气井稳产技术·····               | 16 |
| 7  | 低渗透水平井水力喷砂分段压裂技术·····           | 19 |
| 8  | 下古生界气藏多井高压常温集输工艺技术·····         | 21 |
| 9  | 特低渗透油藏生物活性复合调驱油技术·····          | 24 |
| 10 | 陆相页岩气水平井井壁稳定及压裂技术·····          | 27 |
| 11 | 特低渗透油藏生物活性复合驱油技术·····           | 30 |
| 12 | 低渗透油田生物化学法驱油技术·····             | 33 |
| 13 | 鄂尔多斯盆地中部下组合油田勘探技术·····          | 37 |
| 14 | 特低渗透气藏排水采气技术·····               | 40 |
| 15 | 浅层水平缝油藏压裂技术·····                | 43 |
| 16 | 空气泡沫驱油提高采收率技术·····              | 45 |
| 17 | 特低-超低渗透裂缝油藏控水压裂技术·····          | 49 |
| 18 | 分层系开发井网完善技术·····                | 51 |
| 19 | 高密度射孔提高采收率技术·····               | 53 |
| 20 | 长2油层微生物采油技术·····                | 56 |
| 21 | 延长探区山西组沉积微相研究·····              | 58 |
| 22 | 低成本CO <sub>2</sub> 捕集及驱油技术····· | 60 |
| 23 | 延长气田开发准备关键技术·····               | 63 |
| 24 | 低渗透油藏机抽井优化配套技术·····             | 66 |
| 25 | 膨胀管裸眼井增套完井技术·····               | 69 |

### 第二篇 煤炭类

|    |                              |    |
|----|------------------------------|----|
| 26 | 7m大采高综采工作面开采技术·····          | 73 |
| 27 | 厚煤层煤巷快速掘进技术·····             | 77 |
| 28 | 1.4~2.2m中厚煤层综采“无人化”开采技术····· | 80 |

|    |                                  |     |
|----|----------------------------------|-----|
| 29 | 薄煤层刨煤机自动化采煤工艺技术 .....            | 83  |
| 30 | 中厚煤层 450m 工作面综采技术 .....          | 86  |
| 31 | 近距离煤层群下煤层开采技术 .....              | 89  |
| 32 | 中厚偏薄煤层综采工作面自动化开采技术 .....         | 93  |
| 33 | 综采工作面调斜开采技术 .....                | 96  |
| 34 | 富水区薄基岩井下顶板注浆加固防溃水溃沙开采技术 .....    | 98  |
| 35 | 小断面岩巷综掘快速掘进技术 .....              | 100 |
| 36 | 高瓦斯易自燃厚煤层一次采全高综采技术 .....         | 103 |
| 37 | 水资源保护采煤技术 .....                  | 106 |
| 38 | 0.9m 复杂薄煤层综采自动化开采技术 .....        | 108 |
| 39 | 奥灰水承压开采技术 .....                  | 110 |
| 40 | 容易自燃厚煤层窄煤柱留设技术 .....             | 113 |
| 41 | 风积砂似膏体机械化充填采煤技术 .....            | 116 |
| 42 | 煤与瓦斯突出矿井极不稳定薄煤层综合机械化煤岩同采技术 ..... | 119 |
| 43 | 煤与瓦斯突出矿井采煤工作面柔模混凝土沿空留巷技术 .....   | 122 |
| 44 | 复杂条件下综合机械化采煤技术 .....             | 125 |
| 45 | 采空区处理矿井水技术 .....                 | 128 |
| 46 | 井下水复用除铁除锰技术 .....                | 132 |
| 47 | 煤矿井下水超磁分离处理技术 .....              | 135 |
| 48 | 煤矿通风瓦斯发电技术 .....                 | 137 |
| 49 | 抽采瓦斯综合利用技术 .....                 | 140 |
| 50 | 煤与瓦斯突出矿井极薄煤层上保护层瓦斯抽采安全高效技术 ..... | 143 |
| 51 | 地面井组瓦斯预抽采技术 .....                | 147 |
| 52 | 煤泥输送技术 .....                     | 150 |

### 第三篇 金属类

|    |                                |     |
|----|--------------------------------|-----|
| 53 | 浅井矿山高浓度管道自流胶结充填技术 .....        | 154 |
| 54 | 低品位厚大矿体无底柱分段崩落采矿法 .....        | 157 |
| 55 | 长锚索支护顶板采矿技术 .....              | 160 |
| 56 | 低品位多金属矿体无底柱房柱法采矿技术 .....       | 163 |
| 57 | 原地爆破落矿采场布液浸出采矿技术 .....         | 166 |
| 58 | 深部 (1000m) 金矿床开采技术 .....       | 168 |
| 59 | 隔段房柱式留矿采矿法及选冶技术 .....          | 171 |
| 60 | 菱铁矿、褐铁矿的选矿方法 .....             | 174 |
| 61 | 橄榄岩铬铁矿综合开发提高回收率技术 .....        | 176 |
| 62 | 低品位铁矿石采选矿回收利用技术 .....          | 178 |
| 63 | 高效新型选矿药剂组合—磁选联合回收利用 .....      | 181 |
| 64 | “立式钒矿焙烧炉”及“曝气蒸发装置”冶钒环保工艺 ..... | 183 |
| 65 | 电位调控快速浮选法 .....                | 187 |

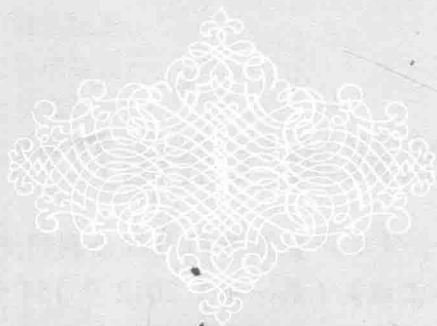
|    |                          |     |
|----|--------------------------|-----|
| 66 | 低品位高氧化铅锌矿综合回收利用·····     | 190 |
| 67 | 57 钼精矿新工艺及产业化技术·····     | 192 |
| 68 | 浮选—氰化联合选矿技术·····         | 195 |
| 69 | 选矿富氧浸出技术·····            | 198 |
| 70 | 选矿工艺优化改造技术·····          | 200 |
| 71 | 低品位多金属难选矿采选综合回收利用技术····· | 203 |
| 72 | 尾渣脱水干式筑坝回水利用工艺·····      | 206 |

#### 第四篇 其他

|    |                   |     |
|----|-------------------|-----|
| 73 | 地热资源综合利用技术·····   | 209 |
| 74 | 地热水开采与尾水回灌技术····· | 213 |
| 75 | 定向钻井水溶岩盐开采技术····· | 216 |
| 76 | 岩盐开采资源综合利用技术····· | 218 |
| 77 | 废渣综合利用技术·····     | 221 |

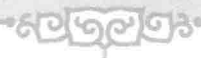
#### 附件 陕西省矿山“采选冶”先进适用技术调查报告

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 前言·····                        | 224 |
| 第一章 矿产资源及开发利用现状·····           | 229 |
| 第二章 调查工作开展情况及质量评述·····         | 237 |
| 第三章 先进适用技术确定原则·····            | 240 |
| 第四章 先进适用技术选取情况·····            | 243 |
| 结论·····                        | 269 |
| 附件 陕西省矿山“采选冶”先进适用技术先进性评价表····· | 271 |
| 后记·····                        | 279 |



## 第一篇

# 油 气 类



油气资源是现代工业发展的动力和资源支持，它在人类经济社会发展中具有十分重要的地位。陕西省是中国重要的石油、天然气资源大省，油气资源主要集中在陕北地区。其开采先进适用技术主要集中在中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司和陕西延长石油（集团）有限责任公司。此次调查经审核精选最终确定 25 项油气类开发利用先进适用技术，主要涉及油气综合勘探技术、油气田开发技术、强化提高采收率技术和油气地面集输技术等。

油气综合勘探技术有 4 项，主要包括油气成藏规律和目标优选技术研究、油气藏描述、测井评价及沉积微相研究。油气藏开发技术有 12 项，主要包括致密油气藏有效开采技术、多层油藏细分层系技术、天然气井合理开发及稳产技术、页岩气钻采工艺技术、水平井分段压裂技术、浅层油藏水平缝压裂优化技术、天然气井排水采气技术、底水油藏控水压裂技术、利用膨胀管改造裸眼井技术和低渗油田机械采油工艺技术等。强化提高采收率技术 7 项，主要包括微生物复合调驱技术、微生物化学驱油技术、空气泡沫驱油技术、微生物采油技术和  $\text{CO}_2$  捕集与驱油技术。油气地面集输技术 2 项，为特低渗油藏密闭集输与综合利用技术和下古生界气藏多井高压常温集输工艺技术。

# 1 特低渗透油藏油气密闭及综合利用技术

(国土资源部关于《矿产资源节约与综合利用先进适用技术推广目录和汇编》(第一批) 2012 年 154 号公布)

## 1.1 推荐单位名称

中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司

## 1.2 技术类型

油气资源高效开采技术

## 1.3 适用范围

适用于特低渗透油藏开发。

## 1.4 技术内容

### 1.4.1 技术原理

数字化集成技术是指以大井组、橇装站场、井站共建、多站合建为主要建设方式,通过井组单管不加热密闭集输、站点混输、井站串接等方式,实现从井场-联合站的全密闭油气混合输送。

该项技术的主要特点可以概括为:橇装化、集成化、数字化。橇装化是指通过机械技术、信息技术、自控技术等有机结合,将原有站场高度集成在一个橇座上。集成化是指在建设模式上实现从丛式井场到大井组的转变、从单座站场独立建设到多座站场共同建设的转变、从井站分别建设到井站合一建设的转变。数字化是指围绕井、站、管线等组成的基本生产单元进行过程管理,以生产过程监控为主,完成数据采集、过程监控、动态分析,实现电子巡井,使示范基地从有围墙变成没有围墙的工厂。

### 1.4.2 关键技术

#### 1.4.2.1 数字化橇装集成技术

综合运用一体化集成技术、小型化橇装技术、三维仿真模拟技术、智能化控制技术、多层安全防护技术等,成功研制并应用各类新型一体化集成装置 14 种,具体如下:

- (1) 数字化橇装增压集成装置;
- (2) 原油脱水一体化集成装置;
- (3) 原油接转一体化集成装置;
- (4) 老油田数字化橇装增压集成装置;
- (5) 新型压缩机伴生气回收装置;
- (6) 采出水处理装置;
- (7) 采出水回注装置;
- (8) 水源井口增压供水装置;
- (9) 智能移动注水装置;
- (10) 智能增压注水装置;
- (11) 清水处理供水集成装置;
- (12) MSVC 无功补偿装置;
- (13) 井场数字化集成监控装置;
- (14) 电控一体化集成装置。

#### 1.4.2.2 泵-泵全密闭输送技术

以泵-泵全密闭为主体工艺,实现油气集输系统、供注水系统全流程密闭,全面提高资源综合利用程度,节能降耗。

#### 1.4.2.3 伴生气全面回收与综合利用技术

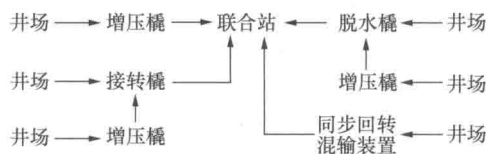
通过伴生气凝液回收、燃气发电、余热利用等方式,实现伴生气全面回收与循环利用。

#### 1.4.2.4 井站智能化技术

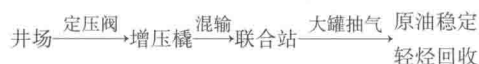
围绕井、站、管线进行过程管理,完成数据采集、过程监控和动态分析,实现电子巡井、人工巡站、远程监控和中心值守,满足油田地面系统智能决策、自动控制。

### 1.4.3 工艺流程

#### 1.4.3.1 原油集输流程



#### 1.4.3.2 伴生气回收流程



#### 1.4.3.3 供水流程



### 1.4.4 主要技术指标

平均每百万吨产能节约土地 500 亩,地面系统投资降低 15%,地面系统建设施工周期缩短 30%。

## 1.5 典型实例

### 1.5.1 企业概况

长庆油田分公司主要从事鄂尔多斯盆地油气勘探、开发、生产、储运和销售等业务，工作区域横跨陕西、甘肃、宁夏、内蒙古、山西 5 省区。矿产资源登记地域范围 7 个盆地。其盆地东部致密砂岩的开采潜力较大。2013 年油气当量达到  $5195 \times 10^4 \text{t}$ ，高水平、高质量建成西部大庆，成为我国油气当量最高的现代化油气田。

长庆油田分公司姬塬油田始建于 2005 年，位于鄂尔多斯盆地北部。姬塬油田罗 1-黄 57 井区 2011 年部署产能  $30 \times 10^4 \text{t}$ ，采油井 427 口井，注水井 142 口井。

### 1.5.2 开采条件

鄂尔多斯盆地呈一向西缓倾的单斜构造，地层平缓，平均坡降  $8 \sim 10 \text{km}$ ，倾角不足  $1^\circ$ ，内部仅发育一些低幅度鼻状隆起，幅度一般小于  $20 \text{m}$ ；盆地东部主要位于黄土高原区，梁峁交错，区内交通、通讯较便利。该区采用菱形反九点注采井网，最大注水井口压力约  $19 \text{MPa}$ 。

### 1.5.3 地质资源概况

姬塬油田是鄂尔多斯盆地近年发现的储量超过  $10 \times 10^8 \text{t}$  的整装低渗透油田，其资源潜力大、综合利用前景好、技术条件基本成熟，是长庆油田油气当量实现  $5000 \times 10^4 \text{t}$  的重要保证。2011 年 5 月姬塬油田被确定为我国首批矿产资源综合利用示范基地，下一步长庆油田将进一步加大成熟技术的推广和新工艺新技术攻关，积极推进姬塬油田特低渗油藏规模建设，推动鄂尔多斯盆地及国内同类的油藏的开发建设。

### 1.5.4 技术应用效果

(1) 节约土地资源：通过大规模推广应用一体化集成装置、站场工艺及设施的优化简化、井站共建模式等，示范基地内共节约土地资源 1120 亩。

(2) 提高建产效率：示范基地内用一体化集成装置代替传统的增压点、接转站、脱水站、注水站、供水站等，地面建设施工周期整体缩短 40% 以上，地面系统提前投运 23d，地面建设速度大幅提升，更好地满足了油田快速上产需求。

## 1.6 推广前景

该技术在节约土地资源、降低投资成本，提高系统效率，提高利用效率方面具有显著的优势，使得地面系统向着低成本、集约化方向发展，适应了大油田管理、大规模建设的战略需要。同时该项技术的成功应用对我国同类油气藏的开发建设具有重要的指导、示范、引领作用，可广泛应用于国内同类油藏开发建设中。



## 2 致密油井有效开发利用技术

国土资源部关于《矿产资源节约与综合利用先进适用技术推广目录和汇编》(第二批) 2013 年 11 号公布

### 2.1 推荐单位名称

中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司

### 2.2 技术类型

油气资源高效开采技术

### 2.3 适用范围

适用于致密油开发。

### 2.4 技术内容

#### 2.4.1 基本原理

集成应用“水平井、体积压裂及井网优化”等主要手段,通过增加原油流动通道,提高泄油体积,建立有效驱替压力系统,提高致密油单井产量,实现致密油田的有效开发利用。

#### 2.4.2 关键技术

- (1) 水平井开发技术;
- (2) “体积压裂”技术;
- (3) 致密油水平井注采井网优化技术。

#### 2.4.3 工艺流程

在致密油层中钻水平井,通过大规模体积压裂,增加原油泄油体积,提高单井产量。

- (1) 综合地质研究,选择水平井部署区;
- (2) 水平井井网优化,水平段长度优化,形成水平井注采井网;

- (3) 关键工具研发, 工艺参数优化, 开展大排量体积压裂, 在储层中形成缝网系统;
- (4) 水平井投产。

### 2.4.4 主要技术指标

水平井水平段长度 800~1500m, 井均压裂 9 段 23 簇, 排量 6~17m<sup>3</sup>/m, 加砂量 500~1400m<sup>3</sup>, 入地液量 5500~15600 m<sup>3</sup>, 单井产量由常规开发手段的 1.6t/d 提高到 10~12t/d。

## 2.5 典型实例

### 2.5.1 企业概况

长庆油田分公司姬塬油田始建于 2005 年, 位于鄂尔多斯盆地北部。已有安 83 井区、马岭油田西 233 井区, 预计可部署水平井 300 口, 2~3 年内可形成百万吨级致密油“水平井体积压裂”开发示范区。

### 2.5.2 开采条件

鄂尔多斯盆地呈一向西缓倾的单斜构造, 地层平缓, 平均坡降 8~10km, 倾角不足 1°, 内部仅发育一些低幅度鼻状隆起, 幅度一般小于 20m; 盆地东部主要位于黄土高原区, 梁峁交错, 区内交通、通讯较便利。

### 2.5.3 地质资源概况

鄂尔多斯盆地是典型的克拉通盆地, 基底为太古宇及古元古界变质岩系, 其上覆盖以中新元古界、古生界、中生界的沉积盖层。盆地东部有利勘探面积约 15000km<sup>2</sup>, 天然气资源丰富, 具有面积大、分布广、复合连片、多层系、埋深浅等特征; 区内发育致密砂岩气、页岩气藏。鄂尔多斯盆地致密砂岩气广泛分布, 资源量约 10.37×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。

### 2.5.4 技术应用效果

2012~2013 年在姬塬油田安 83 长 7、马岭油田西 233 长 7 部署水平井 83 口, 已完钻水平井 36 口井, 投产 30 口井, 平均单井产量达到 10~12t/d。

致密油有效开发利用技术使鄂尔多斯盆地丰富的长 7 致密油难动用的优质资源转化为现实, 预计可建成百万吨致密油开发区, 长 7 致密油已成为长庆油田公司上产、稳产的现实区域。

## 2.6 推广前景

致密油有效开发利用技术的推广应用, 盘活了大批低品位储量, 使以前没有效益或效益较差的低效资源转化为优质可采储量, 该技术应用前景广阔。根据长庆油田致密油开发规划, 到 2015 年预计致密油可新增动用储量 1.5×10<sup>8</sup>t, 原油产量达到 100×10<sup>4</sup>t, 可增加产值 38.04 亿元/年, 可增加石油资源可采储量 2775×10<sup>4</sup>t。

## 3 鄂尔多斯盆地东部致密砂岩气有效开发技术

### 3.1 推荐单位名称

中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司

### 3.2 技术类型

油气资源高效开采技术

### 3.3 适用范围

适用于致密砂岩气藏开发。

### 3.4 技术内容

#### 3.4.1 基本原理

围绕多层系致密砂岩储层改造，研发关键工具和新型压裂液体系，优化工艺技术，形成致密砂岩气储层改造关键技术系列，提高单井产量；开展盆地东部致密砂岩含气富集区筛选及井位优选研究，提高多层系储量动用程度及采收率技术，优化气田开发技术政策，促进了鄂尔多斯盆地东部致密砂岩气经济有效开发。

#### 3.4.2 关键技术

- (1) 直井机械封隔器多层连续分压技术；
- (2) 直井套管滑套多层连续分压技术；
- (3) 水平井不动管柱水力喷砂分段压裂技术；
- (4) 水平井裸眼封隔器分段压裂技术；
- (5) 超低浓度压裂液体系及配套添加剂；
- (6) 多层系致密砂岩气藏布井技术；
- (7) 多层系致密砂岩气藏储层层段优选技术。

### 3.4.3 工艺流程

- (1) 管柱设计、工具结构优化,研发形成直井多层连续分压及水平井分段压裂工具;
- (2) 直井多层连续分压优化设计、水平井分段压裂参数优化、现场试验及压后效果评价,形成直井多层连续分压及水平井分段压裂技术;
- (3) 以“降低残渣伤害、提高液体返排”为出发点,形成超低浓度压裂液体系及配套添加剂。

### 3.4.4 主要技术指标

- (1) 直井多层连续分压及水平井分段压裂技术,实现直井一次连续分压 8 层,水平井一次分压 20 段;
- (2) 形成了低伤害压裂液体系,具有表面张力小、残渣含量低、岩心低伤害、破胶彻底、易返排等优点,岩心伤害率由前期的 23%降为 17.2%;
- (3) 多层系致密砂岩气藏储层层段优选技术, I + II 类储层比例达到 90%。

## 3.5 典型实例

### 3.5.1 企业概况

长庆油田分公司主要从事鄂尔多斯盆地油气勘探、开发、生产、储运和销售等业务,工作区域横跨陕西、甘肃、宁夏、内蒙古、山西 5 省区。矿产资源登记地域范围 7 个盆地。其盆地东部致密砂岩的开采潜力较大。

2013 年油气当量达到  $5195 \times 10^4 \text{t}$ ,高水平、高质量建成西部大庆,成为我国油气当量最高的现代化油气田。

### 3.5.2 开采条件

鄂尔多斯盆地呈一向西缓倾的单斜构造,地层平缓,平均坡降  $8 \sim 10 \text{km}$ ,倾角不足  $1^\circ$ ,内部仅发育一些低幅度鼻状隆起,幅度一般小于  $20 \text{m}$ ;盆地东部主要位于黄土高原区,梁峁交错,区内交通、通讯较便利。

### 3.5.3 地质资源概况

鄂尔多斯盆地是典型的克拉通盆地,基底为太古宇及古元古界变质岩系,其上覆盖以中新元古界、古生界、中新生界的沉积盖层。盆地东部有利勘探面积约  $15000 \text{km}^2$ ,天然气资源丰富,具有面积大、分布广、复合连片、多层系、埋深浅等特征;区内发育致密砂岩气、页岩气藏。鄂尔多斯盆地致密砂岩气广泛分布,资源量约  $10.37 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

### 3.5.4 技术应用效果

应用直井连续分压、水平井分段压裂、低伤害压裂液体系等改造技术,实现了直井一次连续分压 8 层以上,水平井一次分压 20 段,致密砂岩气直井、水平井单井产量大幅提