

中国矿产资源全面节约和 高效利用先进技术实践

ZHONGGUO KUANGCHAN ZIYUAN QUANMIAN JIEYUE HE
GAOXIAO LIYONG XIANJIN JISHU SHIJIAN

国土资源部矿产资源储量司
中国国土资源经济研究院

编著

地质出版社

中国矿产资源全面节约和 高效利用先进技术实践

国土资源部矿产资源储量司
中国国土资源经济研究院

编著



地质出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

中国矿产资源全面节约和高效利用先进技术实践 /
国土资源部矿产资源储量司, 中国国土资源经济研究院编
著. —北京: 地质出版社, 2017. 3

ISBN 978 - 7 - 116 - 09930 - 2

I. ①中… II. ①国… ②中… III. ①矿产资源 - 节
能 - 研究 - 中国 ②矿产资源 - 资源利用 - 研究 - 中国
IV. ①F426. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 067842 号

Zhongguo Kuangchan Ziyuan Quanmian Jieyue he Gaoxiao Liyong Xianjin Jishu Shijian

责任编辑: 赵 芳 孙 灿 陈 磊

责任校对: 王洪强

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) 66554649 (邮购部); (010) 66554613 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 66554607

印 刷: 北京地大彩印有限公司

开 本: 787mm × 1092mm ¹/₁₆

印 张: 36.25

字 数: 840 千字

版 次: 2017 年 3 月北京第 1 版

印 次: 2017 年 3 月北京第 1 次印刷

定 价: 98.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 09930 - 2

(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)

《中国矿产资源全面节约和高效利用先进技术实践》

编 委 会

主 任：于海峰 鞠建华 张新安

副主任：夏木清 陈先达

编 委 （按姓氏笔画排序）：

王海军 王雪峰 尹仲年 文韶丰 冯 聪 朱勃霖

乔江晖 孙德明 李 为 李 鑫 李文超 宋 猛

范继涛 周保铜 赵玉凤 胡燕康 郭均中 黄学雄

程一杰 薛亚洲

前 言

党的十八大把生态文明建设纳入中国特色社会主义事业“五位一体”总体布局，明确提出大力推进生态文明建设，努力建设美丽中国，实现中华民族永续发展。习近平总书记强调，建设生态文明，关系人民福祉，关乎民族未来，是功在当代、利在千秋的事业，节约资源是保护生态环境的根本之策。矿产资源是经济社会发展的重要物质基础，是生态环境的构成要素，是生态文明建设的重要内容。党中央、国务院对生态文明建设做出了一系列重大决策部署，为矿产资源全面节约和高效利用工作指明了前进方向，提出了新的更高要求，提供了动力源泉。

当前，推动矿产资源开发利用方式根本转变、绿色发展、循环发展正处于改革发展的关键时期，既面临重大的机遇，也面临严峻的挑战。国土资源系统深入贯彻习近平总书记系列重要讲话精神和治国理政新理念、新思想、新战略，认真落实党中央、国务院的决策部署，扎实践行“尽职尽责保护国土资源、节约集约利用国土资源、尽心尽力维护群众权益”的工作定位，牢牢抓住推广应用先进适用技术这个提高矿产资源全面节约和高效利用水平的“牛鼻子”，精准发力，综合施策，成效显著。2012年，国土资源部印发了《关于推广先进适用技术提高矿产资源节约与综合利用水平的通知》，建立了先进适用技术推广目录发布制度，健全了激励约束机制，对推广工作进行了全面部署。经省级国土资源主管部门和有关中央企业、行业协会组织推荐，专家优选，连续发布了五批矿产资源节约与综合利用先进适用技术推广目录，合计272项，向社会持续推介，有效推动了先进技术的转化和普及，对提高矿产资源综合利用效益发挥了重要促进作用，受到社会的广泛关注和好评。

为了加快先进适用技术的开放和共享，更加自觉地推动矿业绿色发展、循环发展，提高矿产资源利用效率和效益，在第48个“世界地球日”前夕，国土资源部矿产资源储量司和中国国土资源经济研究院对已发布的五批先进适用技术目录资料进行完善，形成了《中国矿产资源全面节约和高效利用先进技术应用实践》。内容涵盖油气、煤炭、金属、非金属等矿类，采矿、选矿、尾矿资源

化等先进适用技术，并从技术类型、适用范围、主要技术指标、应用现状与典型实例、推广前景等方面进行简要介绍。实践证明，这些先进技术行业领先、成效显著、应用范围广、推广前景好，相信对于引导矿山企业采用先进适用技术，提高矿产资源合理开发利用水平，加快推进生态文明建设，将起到积极的促进作用。

在先进技术遴选和本书编写过程中，得到了各省（自治区、直辖市）国土资源主管部门、有关行业协会、中央企业、科研院所、岩矿测试中心等单位和专家学者的大力支持与协助，在此一并深表感谢！

本书主要供矿山企业、科研院所、技术设备研发部门、金融机构和资源管理部门等阅读参考。需要特别指出的是，技术的先进适用性具有不同的时间效应。本书列举的 272 项技术也不例外，在生产实践中需要读者结合实际情况，具体问题、具体分析。

由于内容涉及面广、专业性强、领域跨度宽，书中难免存在不足和疏漏之处，欢迎广大读者批评指正。

编著者

2017 年 3 月

目 录

第一篇 油气资源

特超稠油藏有效开发动用技术·····	(3)
致密砂岩气藏冻胶阀欠平衡完井技术·····	(4)
砾岩油藏提高采收率技术·····	(5)
特高含水油藏二元复合驱大幅度提高采收率技术·····	(7)
稠油或堵塞油层层内自生热解堵技术·····	(8)
深层低渗低品位储层改造开采技术·····	(9)
特低渗透油藏二氧化碳驱大幅度提高采收率技术·····	(10)
底水油藏化学与机械联合堵水技术·····	(12)
特低渗透油藏数字化集成技术·····	(13)
油页岩综合利用集成技术·····	(15)
特低渗透油藏生物活性复合调驱提高采收率技术·····	(17)
高含水期聚合物驱油开发技术·····	(19)
CO ₂ 驱油与封存技术·····	(21)
陆相页岩气水平井井壁稳定性及大型压裂关键技术·····	(24)
致密油有效开发利用技术·····	(26)
海相页岩气压裂成套新技术·····	(28)
复杂断块油藏立体开发技术·····	(30)
浅层超稠油藏双水平井 SAGD 开发技术·····	(32)
水驱废弃油藏 CO ₂ /水交替驱大幅提高采收率技术·····	(34)
海上平台及陆地终端火炬新型点火系统·····	(36)
海上薄层油藏自流注水技术·····	(38)
空气泡沫驱提高采收率技术·····	(41)
复杂碳酸盐缝洞体雕刻及勘探开发技术·····	(43)
涪陵页岩气田“井工厂”开发技术·····	(45)
低渗透油藏仿水井注水开发技术·····	(47)
气田废弃物综合利用技术·····	(48)
疏松砂岩气藏防砂开发技术·····	(50)
山区煤层气田自动化技术的研究与应用·····	(51)
异常高压特低渗透油藏天然气驱提高采收率技术·····	(52)

污泥填充凝胶颗粒的研制及工业化应用技术·····	(54)
高含硫气田安全高效开采技术·····	(55)
超深生物礁滩气藏精细刻画及高效开发技术·····	(57)
特大型致密气藏大井组集约化开发技术·····	(59)
有杆泵抽油系统高效节能设计技术·····	(62)
高含硫化氢原油净化提质技术·····	(64)
被污原油超声—高频电处理利用技术·····	(65)
定向井井眼抽油管杆防偏磨技术·····	(67)
注水测调一体化工艺技术·····	(68)
一种污水回收再利用的自动化系统·····	(70)
低渗致密油气藏 CO ₂ 压裂改造技术·····	(72)
埋地油气管道非开挖原位换管技术·····	(73)
页岩气钻井岩屑资源化高效利用关键技术·····	(74)
钻机“油改电”技术·····	(76)

第二篇 煤炭资源

露井联合开采技术·····	(81)
露天煤矿抛掷爆破—吊斗铲无运输倒堆工艺·····	(82)
煤矸石井下充填置换煤成套技术·····	(83)
水资源保护采煤技术·····	(84)
7m 大采高综采工作面回采工艺·····	(85)
300m 工作面综采技术·····	(87)
建筑物下综合机械化充填采煤技术·····	(88)
薄煤层综合机械化高效开采技术·····	(89)
刨煤机薄煤层开采技术·····	(91)
薄煤层顺槽控制综采自动化工作面技术·····	(92)
急倾斜中厚煤层综采技术·····	(93)
易选煤复合式干法选煤技术与工艺·····	(94)
贫煤和贫瘦煤高炉喷吹技术·····	(96)
煤矿区煤层气地面钻井抽采技术·····	(97)
煤矿矿井乏风能量利用技术·····	(98)
矸石电厂及瓦斯发电余热热电冷联供技术·····	(99)
急倾斜近距离煤层群瓦斯抽采技术·····	(101)
高水膨胀材料充填采煤技术·····	(102)
村庄下与承压水上膏体充填绿色开采技术研究·····	(104)
急倾斜煤层综放开采顶煤超前预爆弱化技术·····	(106)
高瓦斯厚煤层采煤方法改造项目·····	(109)
分布式地下水库技术·····	(110)

特厚煤层采空区瓦斯地面直井抽采技术·····	(113)
矿井瓦斯发电技术·····	(115)
煤泥管道输送系统新技术·····	(117)
水体下厚煤层有效开采技术·····	(118)
极薄煤层高效综采关键技术·····	(120)
低透气性煤层增透抽采瓦斯技术·····	(121)
煤泥复合循环流化床洁净焚烧利用技术·····	(123)
高硫煤矸石高密度重介分选技术·····	(125)
煤系共伴生油页岩资源综合利用技术·····	(128)
露天煤矿端帮陡帮开采技术·····	(129)
矿井废弃热源综合利用技术·····	(131)
露天煤矿超薄煤层开采提质技术·····	(133)
煤矿通风瓦斯(乏风)发电利用技术·····	(134)
煤层气“三低”集气技术及应用·····	(137)
急倾斜高瓦斯特厚煤层走向长壁综采放顶煤技术研究·····	(139)
超高水材料井下充填开采技术·····	(141)
矿井深部采区高承压水综合治理技术研究·····	(143)
急倾斜特厚易燃煤层长壁倾斜综合开采技术研究·····	(145)
高突矿井信息化建设关键技术与工艺示范·····	(147)
东荣一矿特厚富水砂层“天窗”下安全开采技术·····	(149)
厚煤层综放开采顶煤水压致裂弱化技术·····	(150)
智能化无人开采技术·····	(151)
基于多重探查信息的深部岩溶地热水疏放及综合利用工程配置·····	(154)
西部干旱半干旱煤矿区土地复垦的菌根等微生物修复技术·····	(157)
覆岩隔离注浆充填不迁村采煤技术·····	(158)
厚煤层无煤柱自成巷110工法技术·····	(160)
模块式干法重介质流化床选煤关键技术与装备·····	(162)
煤矿生产系统信息采集与智能识别控制技术·····	(165)
煤矿深埋煤层底板注浆保水采煤关键技术·····	(167)

第三篇 黑色金属

金属、非金属矿石超细碎技术·····	(171)
金属、非金属粗颗粒原矿浆无外力管道输送技术·····	(172)
铁矿山排岩系统高效回收磁铁矿资源技术·····	(173)
鞍山式含碳酸盐赤铁矿石高效浮选技术·····	(174)
黑色金属矿山高压辊磨机超细碎技术·····	(177)
低品位菱、褐铁矿回转窑磁化焙烧—磁选新技术·····	(179)
低品位及难选磁铁矿磁场筛选法分选工艺·····	(181)

超贫钒钛磁铁矿尾矿磷钛资源回收利用技术·····	(182)
低品位钒钛磁铁矿预抛尾及综合利用技术·····	(184)
露天采场第四系砂砾卵石层承压水下开采综合技术·····	(185)
冶金矿山高压辊磨新工艺成套技术与装备·····	(187)
钛铁矿高效回收工艺及装备产业化集成技术·····	(188)
含钒页岩双循环高效氧化提钒技术·····	(190)
铁尾矿梯级分离多元素综合回收技术·····	(192)
弱磁性矿石高效强磁选关键技术及装备·····	(194)
磁铁矿高压辊终粉磨阶段干选抛尾成套技术及装备·····	(197)
镜铁山式难选氧化铁矿提质降杂选矿技术·····	(199)
无底柱分段崩落法爆破单元实体建模技术·····	(201)
利用低贫锰矿和含硫烟气生产高纯硫酸锰及二氧化锰工艺技术·····	(202)
破碎难采矿体诱导冒落高效开采技术·····	(204)
大水矿床近顶板灰岩帷幕注浆堵水采矿技术·····	(205)
含弱磁性微细粒矿物工业废渣分选用新型高效永磁机及综合利用技术·····	(207)
复杂隐患空区转换处置及残矿回收技术·····	(209)
铁矿尾矿生产新型墙材技术·····	(210)
微细粒难选贫铁矿选矿新工艺·····	(212)
悬振锥面选矿机用于金属矿提质降尾技术·····	(213)
尾矿中铁矿物回收利用技术·····	(214)
尾矿全量资源化综合利用技术·····	(216)
铁尾矿磁重分选技术·····	(218)
含铜钴尾矿低温焙烧利用技术·····	(219)
电解金属锰生产节能减排关键技术·····	(221)
黑色金属矿高效预选新技术·····	(224)
金属矿山全尾砂胶结充填资源化利用技术·····	(226)
贫磁铁矿石选矿工艺与新型干式磁选机·····	(229)
地面远程遥控井下电机车运输系统·····	(233)
白云鄂博综合回收铁、稀土、铌、萤石选矿新工艺·····	(235)
大型铁矿山露天井下协同开采及风险防控关键技术与应用·····	(236)
赤铁矿浮选尾矿回收利用技术·····	(237)
低品位含磷铁矿石磷的综合利用技术·····	(239)
悬浮式干式磁选机在超贫磁铁矿选矿应用·····	(240)
电解锰渣高温可控脱硫生产活性微粉关键技术·····	(241)
碳酸锰干选技术与工业示范应用·····	(243)
非煤矿山井下用 LED 节能照明设备·····	(244)
钢铁行业固体废弃物资源化利用技术·····	(245)
全尾砂无动力深锥浓密膏体制备充填技术·····	(247)
特大型露天矿高效开采技术·····	(249)

CFP 系列磁浮选柱及浮选工艺技术	(251)
低钛型钒钛磁铁矿选矿新技术	(253)
缓倾斜—倾斜中厚矿体超大盘区高强度开采技术	(255)
干式粉磨分选集成技术	(257)
高硫低硅铁尾矿的梯级利用技术	(259)

第四篇 有色及稀贵金属

山西式沉积型似层状铝土矿薄矿体分级分层综合开采技术	(265)
金属矿山高浓度及膏体细尾砂充填技术	(267)
采场交替上升无房柱连续开采及宽进路充填采矿技术	(269)
金矿充填开采技术	(270)
低品位金矿高效利用技术	(272)
黄金矿山低品位资源动态评估与利用技术	(273)
铅锌银多金属硫化矿原生电位调控浮选工艺	(275)
特低品位高含泥铜、钼多金属矿山废石高效浮选技术	(278)
高氯咸水替代淡水高效选矿技术	(281)
铜钼尾矿膏体干堆排放技术	(283)
酸性水低浓度铜资源的硫化提取技术	(284)
炼铜废渣资源化综合回收利用技术	(286)
铅锌多金属矿资源高效开发与综合利用关键技术	(287)
低品位硫化铜矿生物提铜大规模产业化应用关键技术	(291)
钼钨金氧化矿综合利用新技术	(292)
CotL's 酸法从含硫氰酸盐、氰化物尾液中综合回收氰化物技术	(294)
黄金矿山含氰尾液处理技术	(295)
地下立体分区大规模控制爆破开采技术	(297)
安全隐患条件下诱导崩落连续开采技术	(299)
无底柱充填联合采矿技术	(300)
57 钼精矿新工艺及产业化技术	(302)
铜冶炼渣资源综合利用	(304)
复杂难处理钨细泥高效选矿新工艺	(306)
原矿焙烧提金技术与工艺	(308)
金属矿山选矿尾砂、干渣和冶炼废渣膏体充填技术	(309)
难浸金精矿细菌氧化预处理工艺技术	(310)
有色金属尾矿萤石综合回收利用关键技术	(311)
高次生铜大型斑岩铜钼矿铜钼分离关键技术	(313)
复杂难选低品位镍矿选矿技术	(315)
露天开采可视化调度管理系统	(317)
黑白钨矿物强磁分离选别技术	(319)

利用黄金尾矿制备陶瓷釉料和加气混凝土材料·····	(320)
矿山粗骨料高浓度流态管输充填关键技术·····	(324)
铝土矿无传动浮选装备技术·····	(325)
金尾矿有价金属综合回收技术·····	(328)
尾矿资源细粒级金属矿物清洁高效回收新技术·····	(329)
尾矿中微细粒钨综合回收技术·····	(332)
高碳镍钼矿高效选矿新技术及应用·····	(334)
矽卡岩型铜尾矿活化浮选硫精矿技术·····	(336)
液态二氧化硫调控铜与铅锌浮选分离技术·····	(337)
极高浓度氰化尾液 3R-O 新技术及成套装备·····	(339)
矽卡岩型低品位白钨矿高效利用新技术·····	(343)
低品位黄金氧化矿资源堆浸回收技术·····	(344)
高浓度大倍线自流胶结充填技术·····	(346)
从铁钼型矿石中回收低品位钼的工艺技术·····	(348)
低品位铜钼矿的柱机联合分选技术·····	(350)
铅锌多金属矿分段浓缩选别节能环保技术·····	(352)
含砷、锑复杂难处理金矿高效提金综合新技术·····	(355)
环保型浸金试剂推广应用技术·····	(356)
矿产资源数字化评价与开采软件·····	(359)
生物提铜矿山生物安全性鉴定技术·····	(360)
复杂难采特大型水平矿柱开采关键技术·····	(363)
斑岩铜矿及伴生元素浮选技术·····	(364)
露天金属矿大规模安全高效开采关键技术·····	(365)
智能图像选矿工艺技术·····	(367)
采选过程信息化集成技术·····	(369)
全尾砂膏体充填技术·····	(371)
分级尾砂胶结充填采矿新技术·····	(373)
铅锌浮选厂废水处理与循环利用技术·····	(375)
极坚硬岩石条件下边坡控制爆破及矿岩爆破技术·····	(377)
有色金属矿山数字化采选技术·····	(379)
矿山低浓度酸性废水低成本无害化处理技术·····	(381)
含悬浮物选矿废水高效絮凝处理及回收用技术·····	(383)
难选高硫铜钴多金属矿清洁高效选矿关键技术·····	(385)
CCGRI 生物氧化提金技术·····	(387)
炭浆尾矿深度净化与综合利用工程化技术及装备·····	(389)
废石就地回填并能提高矿石回收率的采矿方法·····	(391)
黄金矿山低品位资源规模化开发关键技术·····	(393)
难选轻稀土矿低碳高效利用新技术·····	(395)
锑矿(天青石)重—浮联合高效选矿技术·····	(397)

活动空区监控强充协同治理技术·····	(400)
中厚矿体无矿柱连续高效开采技术·····	(402)
常温常压湿法活性炭再生技术·····	(404)

第五篇 非 金 属

固体钾矿浸泡式溶解转化开采技术·····	(409)
磷石膏充填无废高效开采技术·····	(410)
中低品位胶磷矿正反浮选工艺·····	(415)
盐湖卤水钾镁盐反浮选—冷结晶法生产氯化钾工艺·····	(416)
难选硅线石“磁浮磁”选矿新技术·····	(417)
磷矿伴生氟资源综合利用技术·····	(418)
磷矿伴生碘资源回收新技术·····	(420)
高岭土尾矿及其共伴生矿物资源高效综合利用技术·····	(422)
低品位鳞片石墨矿“大型湿法搅拌磨”综合利用技术·····	(424)
人工永久矿柱置换安全高效开采技术·····	(425)
局部胶结充填与空场组合采矿技术·····	(427)
多层薄矿体一次性开采技术·····	(428)
提高高岭土淘洗率及可塑性的技术·····	(429)
低品位滑石光选提纯技术·····	(430)
硬石膏制硫酸废渣联产水泥·····	(432)
含钾尾矿溶解转化热溶结晶法生产氯化钾技术·····	(434)
低品位湖盐生产液体盐工艺·····	(435)
低品位含铈硼铁矿资源综合利用技术·····	(437)
高岭土矿资源高效开发与综合利用关键技术·····	(439)
方解石粉体高效加工技术·····	(440)
冷结晶—正浮选生产氯化钾技术·····	(442)
露天废弃矿坑地质环境综合治理与景观建设技术·····	(444)
吸附法从老卤中提锂技术·····	(445)
低品位石灰石梯级利用技术·····	(447)
粉石英生产高纯超细准球形硅微粉和特种二氧化硅新材料技术·····	(449)
低品位含泥固体钾矿脱泥技术·····	(451)
天然脉石英提纯加工技术·····	(453)
磷石膏转化制硫酸铵技术·····	(455)
天然碱矿地下溶采与加工技术·····	(456)
蒙脱石产品深度开发技术·····	(459)
磷矿高承压含水层下安全高效全尾砂充填采矿技术·····	(463)
冶镁白云岩尾矿综合利用新技术·····	(464)
机制砂石细粉高效回收与废水循环利用工艺技术·····	(466)

低品位制黄磷技术·····	(468)
机制砂生产技术·····	(470)
中低品位磷矿综合利用无磷石膏排放绿色工艺·····	(472)
优化水泥矿山资源利用的数字化信息化应用技术·····	(473)
硫铁矿选矿提质升级技术·····	(475)
水泥熟料及混合材配料优化与自动监测及废石综合利用技术·····	(477)
膨润土猫砂的制备及干燥技术·····	(478)
新型硫酸钙抑制剂在钾盐生产中的应用·····	(480)
复杂蓝晶石中性回收及伴生矿物综合利用技术·····	(480)
萤石选择性磨矿关键技术·····	(482)
轨道轮锯切割石材技术·····	(483)
胶磷矿重介质旋流器选矿技术·····	(485)
中厚破碎磷矿体安全高效开采技术·····	(487)
脉状矿体残留矿柱回采技术·····	(489)
露天矿数字化智能爆破技术·····	(491)
低品位萤石粗精矿再磨浮选工艺技术·····	(493)
晶质石墨矿选矿自动控制系统·····	(494)
吸音降噪用页岩矿高效利用技术·····	(496)
低品位硫铁矿资源综合高效利用技术与装备·····	(497)
石灰石—白云石互层矿开采与配矿技术·····	(499)

第六篇 其 他

CO ₂ 和 O ₂ 原地浸出采铀工艺技术·····	(503)
--	-------

附 件

国土资源部关于推广先进适用技术提高矿产资源节约与综合利用水平的通知 (国土资发〔2012〕154号)·····	(507)
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)》的公告(国土资源部公告2013年第11号)·····	(525)
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(第三批)》 的公告(国土资源部公告2014年第23号)·····	(540)
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(第四批)》 的公告(国土资源部公告2015年第27号)·····	(549)
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(第五批)》 的公告(国土资源部公告2016年第33号)·····	(557)

第一篇 油气资源

特超稠油藏有效开发动用技术

一、技术类型

油气资源高效开采技术。

二、适用范围

特超稠油油藏。

三、技术内容

（一）基本原理

特超稠油藏有效开发动用技术采用高效油溶性复合降黏剂（D）和二氧化碳（C）、辅助水平井（H）、蒸汽（S）吞吐，简称 HDCS。该技术利用其滚动接替降黏、热动量传递及增能助排作用，降低注汽压力，扩大蒸汽波及范围。不仅充分发挥了热、化学、气体和水平井的自身优势，还产生了“复合增效”作用，实现了特超稠油油藏的有效动用。

（二）关键技术

特超稠油非达西渗流机理、HDCS 复合作用机理与机制、HDCS 各要素配置的技术政策界限。

（三）工艺流程

在稠油油藏中钻水平井，首先向水平井内连续挤入油溶性复合降黏剂，再连续挤入液态二氧化碳，焖井一段时间后，向水平井内连续注入蒸汽；再焖井一段时间，然后下泵转为机械采油生产（图1）。与常规注蒸汽相比，该技术大幅降低特超稠油黏度和蒸汽注入压力，提高蒸汽热波及范围，提高了开发效果。

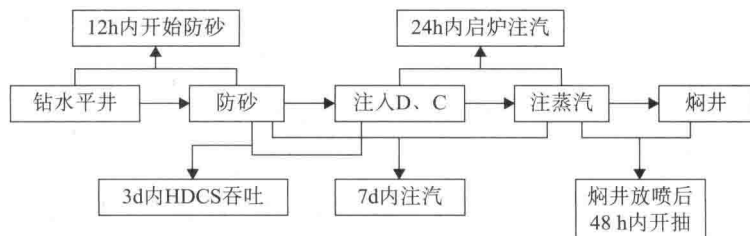


图1 HDCS 工艺流程图

四、主要技术指标

揭示了特超稠油非达西渗流机理；阐释了 HDCS 开采稠油作用机制；首创了 HDCS 开发特超稠油的技术方法；研制了注汽压力 26MPa 的超临界锅炉；实现了黏度大于 $10 \times 10^4 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 、深度达到 1900m 的特超稠油高效开发，储量动用率由 0 提高到了 65.5%。