

文章编号: 1673-3363-(2012)01-0038-06

充填采煤固体物料垂直投料井施工工艺研究

巨峰, 张吉雄, 安百富

(中国矿业大学矿业工程学院, 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州 221116)

摘要 为了提高充填采煤固体物料垂直投料井施工速度及成孔质量, 基于固体物料垂直投料井结构特征, 分析了投料井成井技术难点, 并研究了投料孔施工、投料管安装, 以及投料孔测斜等一整套施工工艺。结果表明, 采用多级钻进扩孔、浮板法下管和多种测斜相结合的工艺可确保投料井施工质量。该工艺在我国某煤矿进行了应用, 投料井钻进速度达6 m/d, 垂直度为1%。

关键词 综合机械化固体充填采煤; 投料井施工; 成孔

中图分类号 TD 82

文献标识码 A

Key Construction Technology of Vertical Feeding Bore Hole for Solid Materials in Backfilling Coal Mining

JU Feng, ZHANG Ji-xiong, AN Bai-fu

(School of Mines, State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract To increase the construction speed and hole quality of vertical feeding bore hole for solid materials in backfilling coal mining, based on analyzing the structure characteristics of vertical feeding system, we analyzed the technological difficulties in drilling of vertical feeding system, and studied a set of construction techniques including the job practice, the pipeline installation, the method of inclination surveyor, et al. The results show that when using the technology which covers multistage drilling and chambering method, heavy crane or frame crane and float panel sinking method, and a variety of lateral deformation methods, the construction quality of vertical feeding system can be guaranteed. The technology has been successfully applied to a coal mine in China, while the bore hole driving speed can be reached to about 6 m/d, and the verticality is 1%.

Key words fully mechanized backfilling coal mining with solid material; construction technology of vertical feeding bore; bore hole performing

综合机械化固体废弃物充填采煤技术是近几年伴随着“三下”压煤问题凸显而研发的一项充填采煤技术^[1-3], 充填所采用的物料是地面矸石、粉煤灰等固体, 为实现地面固体物料合理运输至井下, 研发了固体物料垂直投料系统, 即从地面垂直开掘一条投料孔至井下, 并安装投料管作为固体物料的输送通道, 固体物料即可从地面直接投放^[4-7]。

关于垂直钻井, 我国最早于20世纪50年代初开始研究^[8]。随着该技术的不断发展, 垂直钻井技术向石油、煤炭、水利等行业不断渗透, 与此同时也带动了钻井工艺与装备水平的不断飞跃, 对于煤炭行业, 主要应用于煤矿立井凿掘和地质勘探孔等方面^[9-10]。垂直钻井技术包括正向钻井施工技术和反井钻孔施工技术, 由于反井钻孔施工技术效率高

收稿日期: 2011-04-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(51074165); 国家自然科学基金重点项目(50834004)

作者简介: 巨峰(1983-), 男, 甘肃省张掖市人, 博士, 从事采动岩体控制及固体物充填开采等方面的研究。

E-mail: juf1983@163.com

Tel: 13605218330

而得到推广应用。

对于综合机械化固体废弃物充填采煤技术应用的固体物料垂直投料井钻井施工属于小孔及中孔径钻井，国内外关于小孔及中孔径钻井施工技术的研究与应用也较多，目前主要体现在对钻井速度、倾斜度、护孔等控制技术方面，由于固体投放过程中对投料管壁产生的磨损问题，固体物料垂直投料井钻井施工质量主要体现在钻孔垂直度和固管方面，如若钻孔偏斜，不仅会增加投料管磨损速度，而且还增大投料管安装与固管困难，导致投料管局部弯曲而产生高内应力；由于投料管为特殊耐磨管，厚度较大，给投料管吊放安装增加困难，等等。

1 固体物料垂直投料技术原理

综合机械化固体废弃物充填采煤技术是利用地面矸石、粉煤灰等固体物料置换煤矿井下呆滞煤炭资源的一种方法，该技术主要体现在其安全、高效、高采出率等方面。

固体物料垂直投料井是综合机械化固体废弃物充填采煤技术的一个主要组成部分，它实现地面矸石、粉煤灰等固体物料连续化运输至井下。投料井是将固体充填物料从地面输送到井下的运输通道，其结构直接影响着充填物料的投放效果，为了满足充填开采工作面生产的需要，并达到安全投料的目的，设计的投料井由投料孔和储料仓组成，投料孔由一层护孔钢管和两层投料耐磨管组成，是充填物料高速下落的主通道段，储料仓位于投料孔的下口，实现对充填物料的存储，在工作面需要充填时，充填物料由储料仓下口放出，并由胶带输送机运输至工作面，固体物料垂直投料技术原理如图1。

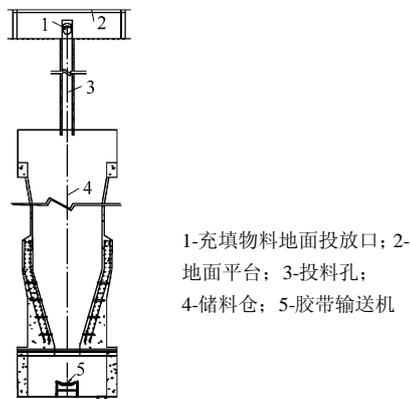


图1 固体物料垂直投料技术原理

Fig.1 Principles of feeding bore hole

2 投料井成井技术难点与技术关键

投料井施工质量是保证充填采煤技术固体物料运输的保障，投料井满足使用条件的参数为：孔直径为800 mm，投料管直径为486 mm。投料井施工有以下技术难点：

1) 钻井速度慢

由于固体物料垂直投料井特殊结构，投料井不能直接进入开采煤层，并要在投料孔内安设耐磨管，为了保证耐磨管壁后注浆固管工序正常进行，以及确保固管质量，只能采用常规钻孔法施工，钻井进度相对较低。

2) 投料井垂直度随地质条件的改变，其控制难易程度不断变化

地质条件，尤其地层赋存条件是影响钻井垂直度主要因素，相关研究表明，垂直钻井在较软岩层、软硬岩层结合面处或构造条件处易出现偏斜^[11]。对于这种中小径钻孔的垂直度控制更难。实践证明，固体物料垂直投料井（深度小于1 000 m）必须控制在1%以内^[12]。

3) 投料管吊放、固管难度较大，其工艺要求较高

投料管所选择的材料为双层金属耐磨钢管，其每米重量达1 t，按投放深度为500 m计算，加上每2节之间焊接抱箍的重量，其总重量将超过500 t，从而带来了吊放困难的问题；同时，在进行固管时，要控制注浆液的流速，固管难度也较大^[13]。

由此可知，投料井施工的技术关键包括：

1) 分析地层赋存条件，优化投料孔施工工艺流程，确定投料孔施工设备。

2) 建立垂直钻孔测斜体系，选择合理的测斜方法确保垂直度。

3) 优化投料管吊放工艺。

4) 设计投料管壁后充填固管工艺。

3 投料孔施工工艺

3.1 投料孔施工工艺流程确定

投料孔施工采用常规正向钻进施工方法，其完整的施工工艺流程应包括施工前的准备（主要指场地硬化、钻井设备安装等）、定向开孔、1级钻进、扩孔、测斜、顺孔、成孔、吊放投料管、对接投料管、制备浆液、投料管壁后充填注浆等工序，其具体施工工艺流程如图2所示。

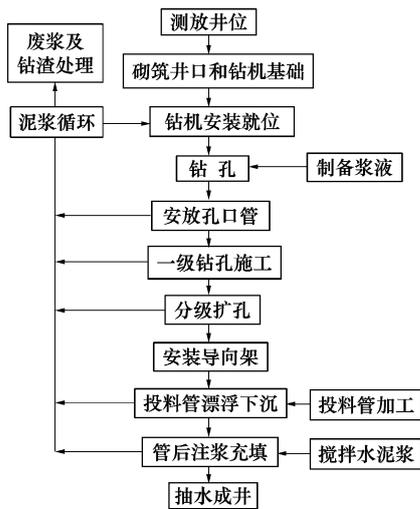


图 2 投料孔施工工艺流程图

Fig.2 Construction flow chart of the feeding bore hole

3.2 投料孔施工设备与尺寸选择

固体物料垂直投料井垂直度要求高，并且全井段套护孔钢管，因此采用满眼钻进工艺，即采用大尺寸的刚性钻具，使边棱“撑满”下部井眼，以保持下部钻柱垂直和居中。

钻机应根据实际条件选择，如地层条件、钻井深度等，如我国邢台矿区某煤矿钻孔施工采用 TSJ-2600 型钻机。钻进过程中使用 $\varnothing 203$ mm 的钻铤加压，为了尽可能的减少孔斜，使钻铤轴心压力控制在小于 1 次临界钻压或大于 2 次临界钻压，并在大直径钻铤外面用硬质合金块在设计的位置加焊扶正器，扶正器与井壁之间的间隙约为 5 mm，其原理就是增加下部钻具的支点，从而增加钻铤抗弯曲能力，保证垂直度，关于增加的数量，应根据实际地层条件而计算。

依据固体物料垂直投料井尺寸，分别选择表土层钻头和基岩段钻头，表土层段钻孔直径为 1 250 mm；基岩段采用“超前钻孔，分级扩孔”的方法，其中超前钻头直径为 311 mm，1 级扩孔钻头直径为 600 mm，2 级扩孔钻头直径为 800 mm。

在钻井进入基岩段后，选用 5 台 BW-1200 型泥浆泵用于各级钻进泥浆循环。

3.3 钻孔泥浆制备及循环系统

基岩段分级钻进中选用不分散低固相的 PHP 泥浆，造浆所用的原材料主要为膨润土、纯碱、火碱和聚丙烯酰胺。其中制浆用膨润土，选用以蒙脱石为主的钙钠基膨润土，该土具有较好的分散悬浮性和造浆性。分散剂选用工业碳酸钠 (Na_2CO_3)，其指标符合 GB210-92 的 III 类合格品的标准。其功

能是提供 Na^+ ，对钙土进行改性处理。高分子聚合物 PHP，作为膨润土泥浆中的掺加剂，主要是作为絮凝剂，主要起抑制造浆作用。而 CMC 主要作为降失水剂，以降低泥浆的失水量，并作为胶体保护剂，提高泥浆的稳定性和泥皮质量。

泥浆在专用的搅浆桶中制备，先将一定量的水加入搅浆桶中，再按水质量的 6%~8% 加入膨润土，搅拌约 30 min，使膨润土颗粒充分分散。再按比例加入纯碱（约为膨润土含量的 4%~6%），充分搅拌约 5 min 后加入水解聚丙烯酰胺（PHP），PHP 的加量一般为泥浆量的 0.2%，搅拌均匀。

3.4 投料钻孔测斜保障技术

测斜是为了保证投料井施工后续工序的接替及系统正常使用，各级钻孔的测量保障应满足：

1) 超前钻孔进入软岩与硬岩的交替互层处和设计深度后，应进行测斜。在钻进过程中，如发现钻具转动不平稳或可能发生钻孔倾斜时，应增加测斜次数。

2) 扩孔时需要测斜，并且其测斜次数根据超前孔的偏斜情况确定。

3) 当钻孔的偏斜率大于 1.0‰，或钻孔有效断面不够，钻孔有明显拐点时，均应进行纠偏处理。

当前采用的测斜方法主要有机械测斜、电测测斜、罗盘数字测斜等，电测测斜方法较麻烦，但测斜精度较高^[4]，在确保钻进速度的条件下，应结合多种测斜方法、选择多种测斜仪器，由第 3 方进行测斜，确保测斜数据真实可靠。

4 超重型投料管下放与成井工艺

4.1 投料管下放方式选择

由于投料管为双层耐磨管，其重量较大，使用浮板下管法。浮板下管法即利用浆液浮力减小对投料管的压力，一般在距离井管底部 0.5 m 的位置安放浮板，浮板选用厚度为 25 mm 的钢板与井管焊接，在浮板上安装 2 个串联的单向阀，并在单向阀上端连接 1 个钻杆反接头，形成“U”型封闭结构，单向阀承受能力要大于相等投料井高度的浆液对管底的承载压力，如某矿投料井深度为 350 m，设计单向阀压力为 30 MPa 以上；为防止浮板变形损坏，在浮板上浇筑厚 2.0 m C30 混凝土，钻杆反接头高出混凝土面，当浆液浮力大于投料管重量而无法继续下沉时，应在投料管内进行注水配重。然而，对于深度较大的投料井，即便使用浮板下管法，投料管重量也已超过钻机的提升能力和钻塔的承载能

力，因此，必须利用重型吊车，必要时安设龙门吊进行投料管吊放。

4.2 投料管下放工艺流程

根据投料管的下方要求，设计投料管的下放工艺流程如图 3 所示。

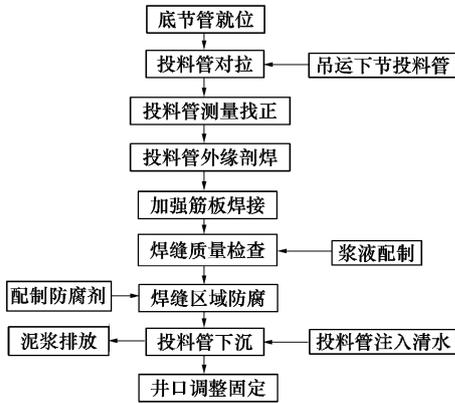


图 3 投料管的下放工艺流程

Fig.3 Decentralization flow chart of the feeding bore hole

4.3 投料管对接

投料管作为投料管道，由于受制造工艺水平制约，其单节长度最大不超过 10 m，因此，在投料管下放过程中需要进行“管-管”对接。通过焊接方式保证对接接触面的强度要求，对接触面的强度随着投料管节数的增加而增大，每个对接面的强度应该根据漂浮液的流量、容重等参数进行逐级校核，从而确保正常安装。

根据以上分析，确定焊接采用剖焊方式，即提前在投料管外层剖开一个长条焊接口，从而提高焊接接触面，提高焊接强度，根据焊接母材的材质、焊接点需要满足的条件等，选用 J507 型碳钢焊条；为了进一步确保吊放安全，在每两节投料管之间加 4 块加强筋板，并进行焊接，其结构原理如图 4。

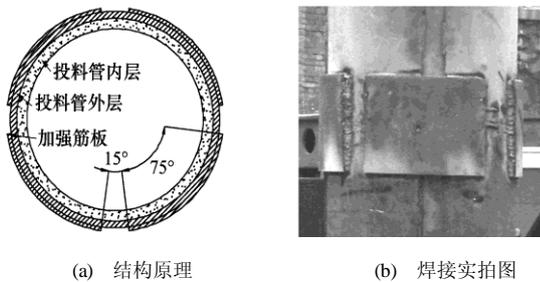


图 4 投料管对接处钢板焊接布置图

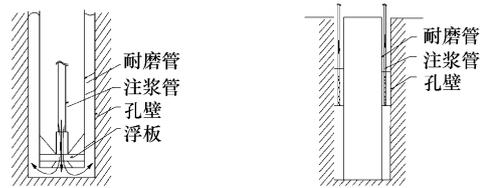
Fig.4 Layout of butt joint place in steel plate of the feeding tube

4.4 投料管壁后充填固管工艺

投料管全部吊放完毕后，则进入最后工序，即

投料管壁后充填固管，固管工序关键要控制注浆速度，确保 1 次反浆成功^[15]。

固管采用两次注浆的方法，固管浆液为水泥浆。第 1 次利用预制的管底浮板上的单向阀进行孔底注浆，根据水、水泥浆、耐磨管的密度和最大浮力，确定孔底注浆的高度和注浆量；孔底注浆结束，水泥浆初凝以后在孔壁与耐磨管之间的环状间隙中下入注浆细管，进行 2 次注浆。其注浆原理如图 5 所示。



(a) 孔底（1次注浆） (b) 环状间隙（2次注浆）

图 5 投料管壁后注浆固管原理图

Fig.5 Fixed tube schematic diagram of backfill grouting

待管后充填质量合格后，在取芯钻进的岩心管的底口部镶焊 YG10c 系列的硬质合金，使用取芯钻进工艺切除井底的混凝土和浮板，抽出管内的配重水，至此成井。

5 工程应用

随着综合机械化固体充填采煤技术的发展，固体物料垂直投料井在我国多数矿区应用，如我国某煤矿为了运输矸石，在工业广场靠近矸石山附近区域内开掘了一条垂直投料井，设计投料井直径为 800 mm，投料量为 450 t/h，要求投料井垂直度小于 1.0 ‰。

5.1 地质条件

通过施工区域相关钻孔柱状分析，表土层厚度约 10 m，第三、四系风氧化层为黏土层（30 层）、砂质黏土（17 层）、细砂层（18 层）、粉砂（8 层）和黏土质砂（5 层）组成，厚度达到 184 m，基岩层厚度约 75 m，其岩性组合见表 1。因此，施工总深度为 336 m。

表 1 基岩层岩性及厚度
Table 1 Lithology and thickness of bedrock

序号	岩性	厚/m	序号	岩性	厚/m
1	细砂岩	1.78	5	泥岩	13.4
2	泥岩	7.87	6	粉砂岩	27.03
3	粉砂岩	6.43	7	泥岩	1.98
4	细砂岩	4.28	8	10 煤	3.73

5.2 应用效果

通过使用以上技术,该垂直投料井施工从 2010 年 4 月初开始,并于 2010 年 6 月初成井,取得较好的应用效果。

1) 将下管、固管等工艺包括在内,平均钻进尺寸接近 6 m/d, 钻井单进效率高;

2) 采用 500t 重型吊车和浮板法,实现投料管安全下放,共历时 48 h。

3) 在垂直投料井施工过程中,采用 JJX-3 型测斜仪器和 ZGL13-CX-1 型高精度电视摄像—显像方式钻孔测斜仪联合对垂直度进行 16 次检测,检测得到最大偏斜度小于 1%,其检测数据见表 2。

表 2 垂直投料井测斜实测数据统计
Table 2 The measured inclinometer statistics data of vertical feeding bore hole

实测孔斜/(°)		校正后方 位角 β /(°)	孔段平距 L/m	孔段垂距 $\Delta Z/m$	偏率/%
天顶角 α	方位角 γ				
0.00	0.0	4	0.0000	0.0000	0.0000
0.00	227.5	224	0.0000	20.0000	0.0000
0.00	132.0	128	0.0000	20.0000	0.0000
0.00	194.8	191	0.0000	20.0000	0.0000
0.10	121.5	118	0.0163	20.0000	0.0204
0.10	209.1	205	0.0316	20.0000	0.0478
0.10	250.9	247	0.0341	20.0000	0.0572
0.15	255.0	251	0.0436	20.0000	0.0691
0.15	260.0	256	0.0523	19.9999	0.0871
0.15	265.0	261	0.0523	19.9999	0.0929
0.15	186.4	182	0.0483	19.9999	0.0993
0.15	109.5	106	0.0485	19.9999	0.0990
0.10	133.1	129	0.0433	20.0000	0.0977
0.20	89.5	86	0.0511	19.9999	0.0882
0.30	83.1	79	0.0436	9.9999	0.0796
0.19	108.1	104	0.0424	9.9999	0.0771
0.27	116.8	113	0.0401	9.9999	0.0810
0.29	115.4	111	0.0489	9.9999	0.0889
0.35	137.0	133	0.0555	9.9998	0.0913
0.37	127.4	123	0.0063	1.0000	0.0928

该垂直投料井已成功用于投放矸石约半年时间,投料井应用状况良好。

6 结 论

1) 定向开孔、1 级钻进、扩孔、测斜、顺孔、成孔、吊放投料管、对接投料管、制备浆液、投料管壁后充填注浆是成井的必要工序过程。

2) 根据实际地层条件,钻进过程中,不但采用钻铤加压及扶正器调斜方式保证倾斜度,而且要

选择多种测斜方法、多种测斜仪器相结合的测斜方式进行随机调整才是确保垂直度小于 1%的重要途径。

3) 利用重型吊车或龙门吊,结合浮板法下管可以保证投料管的下放安全。

4) 基于投料管下放过程中逐级加重,采用剖焊对接方式,并在每两节间加焊加强筋板才能确保焊接强度。

参考文献:

- [1] 缪协兴,张吉雄,郭广礼.综合机械化固体充填采煤方法与技术研究[J].煤炭学报,2010,35(1):1-6.
MIAO Xie-xing, ZHANG Ji-xiong, GUO Guang-li. Study on waste-filling method and technology in fully-mechanized coal mining: Current Status and Future Prospects[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(1): 1-6.
- [2] 张吉雄,缪协兴,郭广礼.矸石(固体废物)直接充填采煤技术发展现状[J].采矿与安全工程学报,2009,26(4):395-401.
ZHANG Ji-xiong, MIAO Xie-xing, GUO Guang-li. Development status of backfilling technology using raw waste in coal mining[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26(4): 395-401.
- [3] 缪协兴,张吉雄.矸石充填采煤中的矿压显现规律分析[J].采矿与安全工程学报,2007,24(4):379-382.
MIAO Xie-xing, ZHANG Ji-xiong. Analysis of strata behavior in the process of coal mining by gangue backfilling[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24(4): 379-382.
- [4] 张文海,张吉雄,赵计生,等.矸石充填采煤工艺及配套设备研究[J].采矿与安全工程学报,2007,24(1):79-83.
ZHANG Wen-hai, ZHANG Ji-xiong, ZHAO Ji-sheng, et al. Research on waste filling technology and its matching equipment in coal mining[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24(1): 79-83.
- [5] HUANG Yan-li, ZHANG Ji-xiong, LIU Zhang, et al. Underground backfilling technology for waste dump disposal in coal mining district[C]//2010 International Conference on Digital Manufacturing and Automation. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2010: 872-875.
- [6] 张吉雄.矸石直接充填综采岩层移动控制及其应用研究[D].徐州:中国矿业大学理学院,2008.

- [7] 杨宗仁, 张宁, 贺连杰, 等. 超大直径工程井钻井垂直度控制工艺技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(8): 44-46.
YANG Zong-ren, ZHANG Ning, HE Lian-jie, et al. Drilling Verticality Control Technology of Super-large Diameter Project Well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(8): 44-46.
- [8] 史基盛. 我国煤矿竖井钻机的发展[J]. 安徽建筑工业学院学报, 2010, 18(2): 38-40.
SHI Ji-sheng. The development of China's coal mine shaft drilling rig[J]. Journal of Anhui Institute of Architecture & Industry, 2010, 18(2): 38-40.
- [9] 袁志坚. 煤矿瓦斯大口径抽排井施工技术[J]. 中国煤层气, 2010, 7(3): 27-30.
YUAN Zhi-jian. Techniques for construction of large-diameter gas drainage well[J]. China Coalbed Methane, 2010, 7(3): 27-30.
- [10] 靳光均. 浅析安徽宿南区块大倾角地层煤层气钻井施工中的防斜措施和工艺[J]. 中国煤层气, 2010, 7(3): 17-19.
JIN Guang-jun. On measures & technologies for prevention of deviations in drilling CBM wells in strata with great inclination in sunan block[J]. China Coalbed Methane, 2010, 7(3): 17-19.
- [11] 彭金灶, 邱文权. 矿山投料井施工难点与对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(4): 31-33.
PENG Jin-zao, QIU Wen-quan. Difficulties of feeding batching mine construction and the countermeasure[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(4): 31-33.
- [12] 巨峰. 建筑物下矸石与粉煤灰充填综采关键技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学矿业工程学院, 2009.
- [13] 袁志坚. 大口径特殊工程钻孔套管事故原因及对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(3): 46-48.
YUAN Zhi-jian. Cause of casing failure in special engineering borehole with large diameter and the countermeasures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(3): 46-48.
- [14] 毛慧隆. 山西榆次大口径供水井施工工艺[J]. 中国煤层地质, 2010, 22(8): 131-133.
MAO Hui-long. Discussion on large-diameter supply well construction technology used in Yuci, Shanxi [J]. Coal Geology of China, 2010, 22(8): 131-133.
- [15] 王德坤, 申威, 刘川生, 等. 伊朗 TABNAK 区块的钻井与固井技术[J]. 天然气工业, 2007, 27(3): 63-65.
WANG De-kun, SHEN Wei, LIU Chuan-sheng, et al. Drilling and cementing technology used in Tabnak Block in IRAN[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(3): 63-65.