西藏阿里复杂地层地热井钻井关键技术研究应用

任小文[1]，齐新刚[1*]，刘文革[1,2]，万晓文[1]，宋　坤[1]
（1.陕西省一三九煤田地质水文地质有限公司，陕西 渭南 714000；2.陕西省煤田地质集团有限公司，陕西 西安 710087）

摘要：西藏阿里朗久地热田地热井施工过程中，遇到地层破碎、坍塌、井喷（涌水）发生早、泥浆护壁平衡地压钻进困难、技术套管临时止水难度大、闸板防喷器易结垢失灵、井口人员操作安全防护难保障等难题。通过研发应用井口防喷导流装置、技术套管双挂止水装置、高温井井口换阀装置，解决了钻井过程中遇到的难题，既能保证上部含水层地热水完钻开采又能钻穿深部地热层，实现了同一钻孔多层开采地热水的目的。

关键词：地热井；井喷；防喷导流装置；高温井；井口换阀装置；双挂止水装置
中图分类号：TE249;P634.5　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：2096-9686(2026)S1-0343-06

Research and application of key technologies for geothermal well drilling in complex strata of Ngari, Xizang

REN Xiaowen[1], QI Xingang[1*], LIU Wenge[1,2], WAN Xiaowen[1], SONG Kun[1]
(1. *Shaanxi* 139 *Coal Geology & Hydrogeology Co., Ltd., Weinan Shaanxi* 714000, *China*; 2. *Shaanxi Coalfield Geology Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi* 710087, *China*)

Abstract: During the drilling of geothermal wells in the Langjiu Geothermal Field in Ngari, Xizang, multiple challenges were encountered such as fractured and collapsed strata, early water blowouts/gush, difficulties in maintaining pressure balance with mud wall protection while drilling, high difficulty in temporary water shutoff with intermediate casing, frequent scaling and malfunction of ram BOP, and inadequate safety protection for personnel at the wellhead. By developing and applying the wellhead blowout preventer diversion device, the dual-hanging water-shutoff device for intermediate casing, and the wellhead valve replacement device for the high-temperature wells, the above difficulties have been effectively addressed. It not only ensures the completion and production of geothermal water from shallow aquifers but also enables drilling through deep geothermal layers, achieving multi-layered geothermal water production with a single borehole.

Key words: geothermal well; water blowout; blowout preventer (BOP) diversion device; high-temperature well; wellhead valve replacement device; dual-hanging water-shutoff device

0　引言

西藏阿里地区平均海拔4500 m以上，被誉为世界屋脊的屋脊。随着国家对边疆建设投资加大，旅游业发展迅速，搬迁移民增加，当地人口剧增。每年冬季长达6个月，极端气温达－44 ℃，地区行政首府狮泉河镇供热面积已达160万m^2，仍在不断增长，全部依赖燃煤热电提供热能，燃煤依靠公路从新疆远距离供给，发电供热成本巨大。发展可再生能源

收稿日期：2026-06-12；**修回日期**：2026-07-08　　**DOI**：10.12143/j.ztgc.2026.S1.045
基金项目：自然资源部煤炭资源勘查与综合利用重点实验室科研课题（编号：SMDZ-2022 ZD-2）；陕西省煤田地质集团有限公司科研项目（编号：SMDZ-ZD2022-2）
第一作者：任小文，男，汉族，1985年生，工程师，资源勘查工程专业，从事矿山大口径复杂地层多工艺钻井技术与地热勘探工艺研究工作，陕西省渭南市高新区朝阳大街西段3号，40926211@qq.com。
通信作者：齐新刚，男，汉族，1969年生，工程师，探矿工程专业，从事地热勘探工艺技术、水文水井钻探新技术开发与应用、矿山大口径反循环潜孔锤快速钻井技术研究工作，陕西省渭南市高新区朝阳大街西段3号，2127375943@qq.com。
引用格式：任小文，齐新刚，刘文革，等.西藏阿里复杂地层地热井钻井关键技术研究应用[J].钻探工程，2026，53(S1)：343-348.
REN Xiaowen, QI Xingang, LIU Wenge, et al. Research and application of key technologies for geothermal well drilling in complex strata of Ngari, Xizang[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(S1): 343-348.

是西藏自治区可持续发展的目标。阿里地区浅层地热资源丰富,但利用率极低。朗久地热田距离阿里市区20 km,能够为市区供热和发电提供热源,市场开发前景广阔。20世纪80年代至今先后在该地热田核心区域施工钻井13口,井深110～387 m,地层复杂施工难度大,均未施工到计划的600 m高温热储层段[1]。

1 施工地区热储层特点及钻探难点

1.1 施工地区热储层特点

朗久地热田位于冈底斯-念青唐古拉褶皱带西段,该褶皱带北邻羌塘-昌都海西晚期—燕山褶皱带,南接喜马拉雅褶皱带。构造线总体上走向为北西向,局部地段为北西西向或近东西向。深切地壳、网状交叉是该区断裂的又一特点,这些构造形迹网络往往成为水热流动的良好通道。热田分布明显受控于深大断裂及不同方向断裂的交汇部位,水热活动多集中于北西走向的噶尔藏布深断裂带附近及其与雅鲁藏布缝合线交截的部位和玛旁雍错一带的北西西向断裂带。

该断裂带在克什米尔附近与噶尔藏布断裂带相交。泉区最老地层是横亘于其北部的下二叠统灰岩,最老的岩浆岩为分布于泉区南侧的肉红色粗粒钾长花岗岩。朗久地热田天然热流量32 MW,面积1.6 km^2,热泉涌水量5～10 L/s,地表水温度78 ℃。

朗久热田热储主要特征为钾长花岗岩(85 Ma)风化壳的网状裂隙带和相当深度的石英斑岩裂隙带,其次是渗透性。地热流体存储空间存在两种可能:(1)在岩浆岩与围岩的侵入接触带形成储存空间和热储;(2)沿断裂及其交汇部位形成存储空间和热储。地热田如图1所示。

图1 朗久地热田

1.2 钻探施工难点

朗久地热田埋藏不深,压力大井喷发生早、地层破碎、坍塌严重、涌水量大,无法实施加重泥浆压井。

(1)开孔18～20 m出现井喷,喷射高度26～30 m,地层热流体压力大,泥浆平衡钻进难以控制,施工中卡钻、埋钻、塌孔频繁出现。

(2)井喷(涌水)水量大,矿化度高结垢快,传统环形防喷器易发生结垢失灵,安全防护难以保障。

(3)钻井完成后,地热井使用过程中井口阀门损坏更换,动用钻机设备注冷水冷却井内温度,利用短暂的时间窗口进行更换,工序繁杂成本高[2]。

现场施工问题如图2所示。

(a)因结垢损坏的防喷器 (b)防喷器内部附着的水垢 (c)防喷器失灵井喷状况

图2 现场施工问题

2　钻井施工关键技术

2.1　套管双挂止水技术

井身结构如表1、图3所示。

表1　井身结构一览

开次	井径/mm	深度/m	备　　注
一开	650	18.0	钻至硅钙胶结层
二开	480	110.0	Ø244.5 mm技术套管双挂止水，临时封闭上部涌水层段
三开	222	552.0	主要目的取水层段裸眼

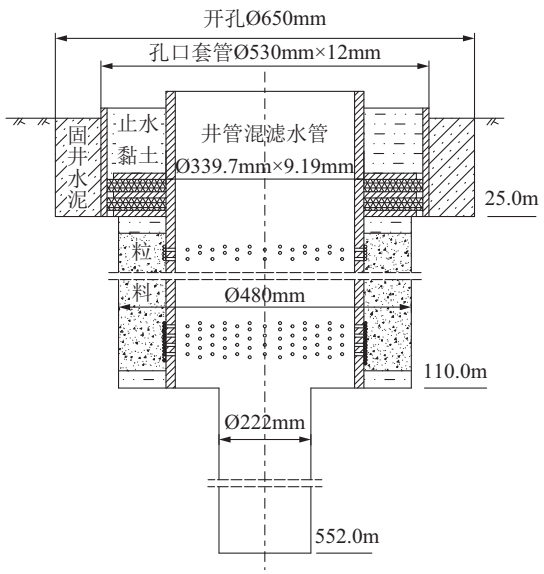


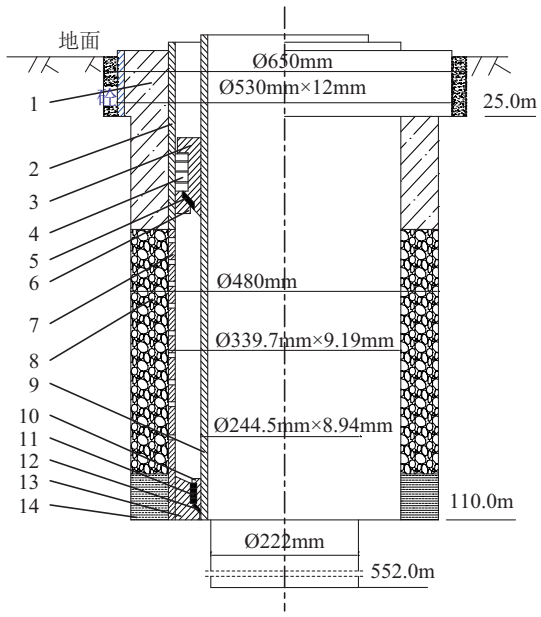
图3　井身结构及套管层次

2.1.1　技术套管双挂止水设计

二开下入带部分筛管的套管后，井壁管与井口套管环状间隙采用导管水泥固井。为了防止三开钻进过程中二开含水层引起井涌、井喷现象，在二开井管内部悬挂一套技术套管，防止含水层高温水通过筛管破坏泥浆稳定性，起到平衡地层压力，实现泥浆护壁、保障钻井安全的目的。技术套管采用上下双挂止水技术，完成三开钻进，对三开层段进行放(抽)水试验，测试水量、水温等参数完成后，拔出双挂技术套管，进行二层放(抽)水试验，测试上下层段混合水水量、水温参数[3]。

2.1.2　技术套管双挂止水原理

技术套管双挂止水原理如图4所示[4-5]，在Ø339.7 mm井壁管2(Ø339.7 mm×9.19 mm)的内壁对应含水层顶板位置设置上支撑钢架环6，管底内设置下支撑钢架环13；在Ø244.5 mm技术套管9的外侧与井壁管上下内支撑钢架环对应位置设置上下悬挂止水骨架3和10，悬挂止水骨架上部是圆柱状，圆柱外侧固定耐高温止水橡胶4和11，耐高温止水橡胶4和11镶嵌在U型槽内，外径与井壁内径相等，压缩膨胀后达到止水效果，悬挂止水骨架下部外锥面镶嵌软质金属镀层5和12，当Ø244.5 mm技术套管9的上下悬挂止水骨架3和10分别坐落在Ø339.7 mm滤水管7的上下支撑钢架环6和13上时，软质金属镀层5和12发生变形，Ø244.5 mm技术套管9向下位移挂实，上下耐高温止水橡胶4和11发生微小膨胀挤紧Ø339.7 mm滤水管7的内壁，实现上下止水[6-7]。



1—止水黏土；2—Ø339.7mm井壁管；3—上悬挂止水骨架；4—耐高温止水橡胶；5—软质金属镀层；6—上支撑钢架环；7—Ø339.7 mm滤水管；8—滤水粒料；9—Ø244.5mm技术套管；10—下悬挂止水骨架；11—耐高温止水橡胶；12—软质金属镀层；13—下支撑钢架环；14—止水黏土球

图4　技术套管双挂止水结构

2.2　井口防喷导流装置

由2021年施工的朗久DR01地热井地质参数可知，该类型地热井特点是：井喷(涌水)发生早，水温85～113 ℃，地层压力较大，且地热水矿化度高，以往使用的闸板防喷器易结垢，同时清理闸板防喷器的水垢非常困难，严重影响了闸板防喷器的安全性与寿命，此类型防喷器在井内有钻具时无法关

井，高温水汽严重威胁井口人员安全。图2(b)为1个月时间形成的水垢，防喷器已经无法使用。设计研发适用于浅层井喷地热井防喷导流装置，以解决该类型井喷地热井施工难题[8-9]。

2.2.1 井口防喷导流装置原理

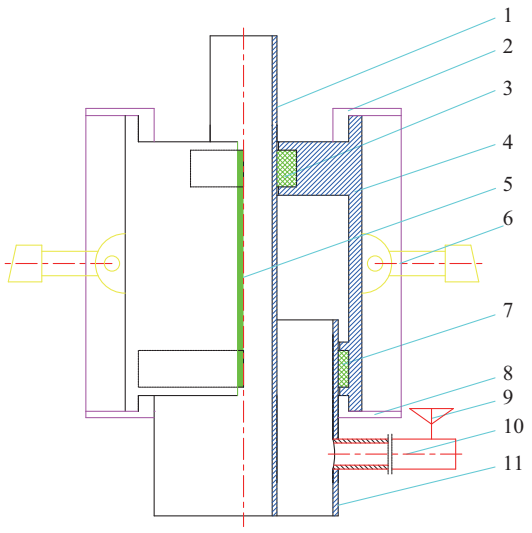
防喷导流装置结构如图5所示，井口套管套设在钻杆的外部，其外表面通过轨道对称设置有两个壳体，两个壳体的相背侧分别设置有液压油缸；本装置中，通过液压油缸驱动两个壳体闭合后，形成一个圆柱体，并将壳体的内壁上下两端分别压紧在钻杆与孔口套管的外表面上进行密封，在钻进过程中防止井喷；同时，导流管道上安装有阀门，用于壳体闭合时，通过控制器打开控制阀门疏导高压水汽排出，能够快速实现高温高压水汽导流降压，避免井喷及施工人员安全事故；并且通过液压油缸控制壳体的开合，能够避免壳体内高温汽水烫伤施工人员[10-11]。

2.2.2 防喷导流装置应用

阿里朗久DR02地热井应用研发了井口防喷导流装置。应用要求：二开Ø450 mm组合牙轮钻头扩孔完成，下入Ø339.7 mm石油套管(含30 m滤水管)109.32 m。井口安装防喷导流装置，三开钻进至完钻(555.52 m)。防喷导流装置参数如表2所示，单闸板防喷器与防喷导流装置应用对比如表3所示，下钻过程使用防喷导流装置对比如图6所示[12-13]。

2.3 高温地热井井口换阀门装置应用

高温地热井成井后会封闭井口，在井口套管处安装阀门，方便关闭高温高压的汽、水实现封井。但是高温地热井由于产生水垢严重，且温度较高，封井阀门密封橡胶易老化，致使阀门损坏漏汽、水，



1—Ø127 mm钻杆；2—导轨上体；3—上密封条；4—对半封闭壳体；5—对半闭合密封条；6—油缸；7—下密封条；8—导轨下体；9—导流通道阀门；10—导流通道；11—Ø339.7 mm套管

图5 防喷导流装置结构

需要更换阀门，更换过程中高温地热井易发生汽水井喷，导致人身安全事故。为此，研发了一种高温井口换阀装置，用于将第一阀门替换第二阀门，成功解决了阀门更换难题[14-15]。

2.3.1 换阀装置的组成

高温地热井井口换阀门装置如图7所示。工作方法：提前将第一阀门安装到导轨上，再将Ø15 mm钢丝绳的绳头通过第一阀门的铰耳连接，拉紧钢丝绳缓慢移动第一阀门，直至第一阀门上法兰止口与套管口法兰止口配合，松开Ø15 mm钢丝绳，旋转第一阀门，第一阀门上部法兰与套管管口下法兰螺栓孔对正，穿入M24螺栓，上紧螺母，解开第一阀门上铰耳的钢丝绳收到卷扬机的卷筒上。

表2 防喷导流装置参数

型 号	适用套管/mm	适用钻杆/mm	开合角度/(°)	耐压/MPa	温度/℃	排水管直径/mm
340/127	Ø339.7	Ø127	45	2	150	219

表3 单闸板防喷器与防喷导流装置应用对比

类 别	应用范围	特 点	应 用 对 比	最大承载压力/MPa
单闸板形防喷器	高压地层	应用广泛，适用于各种情况下防喷关井防护，钻进过程不能使用	DR01井施工深度245 m，使用周期25 d，状态：报废	140
防喷导流装置	浅层地热井	结构简单，操作维修方便，提下钻、下套管作业井口防护效果好，钻进过程可使用	DR02井施工深度555.52 m，使用周期67 d，状态：完好	2.0

(a)未安装防喷导流装置水汽喷射状况

(b)安装防喷导流装置水汽喷射状况

图6　下钻过程使用防喷导流装置对比

2.3.2　换阀装置原理

将固定卡板固定在阀门四周,通过液压油缸的液压杆与固定件的配合实现旧阀门的替换和新阀门的安装,使带压更换主控阀的施工作业更加安全可靠;但是在换阀过程中需要重复对新、旧阀门通过四个固定卡板进行拆卸和安装,此作业过程主要依靠人工完成,自动化程度较低[16-17]。

2.3.3　应用

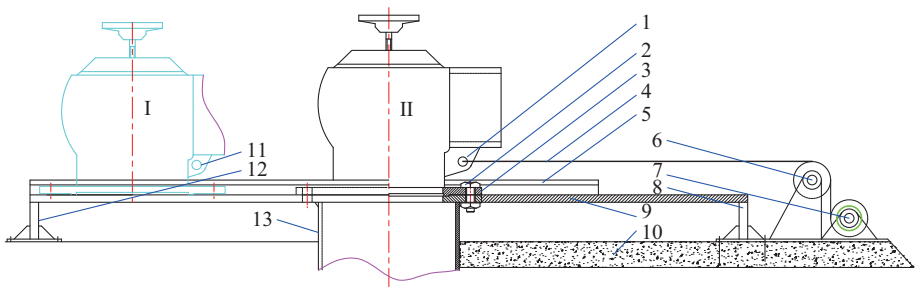
阿里朗久地热田DR01井放喷试验工作结束,闭井10个月后阀门结垢无法正常打开,原需动用钻机向井内注冷水降温,降低井喷水温换阀门,需要3~5 d,费用5万元。应用该井口换阀装置,前期改造好滑动轨道和卷扬机构,现场操作2 h完成换阀工作,费用0.5万元,节省90%费用,并大幅度节省时间。现场换阀门场景如图8所示。

3　结语

阿里朗久地热田DR01、DR02地热井热储层钻探施工时,在上部热储层发生井喷、地层破碎坍塌、无法通过泥浆压井平衡压力钻进情况下,既要护壁平衡压力钻进又要保护好热储层实现一井多层同时开采地热的目的,采用技术套管双挂止水技术,解决了临时止水和泥浆平衡地层压力护壁钻进难题。

阿里朗久地热田高温热水结垢快,单闸板防喷器容易损坏失灵且钻进过程无法防喷防护,加减钻杆、提下钻过程中,井口操作人员安全防护无法保障。研发应用的防喷导流装置在防喷和疏导地热水同时,实现钻进、井口操作安全防护目的。该装置结构简单、不易损坏、设备投入小,可根据不同规格套管和钻杆进行改造应用,适用于西藏地区中浅层地热井施工防喷安全防护作业。

西藏地区地热井在运营过程中,井口阀门失灵无法关停,为设备检修带来难题,动用钻机注冷水降温操作,成本高、施工周期长。地热井换阀技术装置简单易掌握,投入少,在保证操作人员安全同时实现快速更换阀门。



Ⅰ—新阀;Ⅱ—损坏旧阀;1—旧阀吊环;2—旧阀安装螺栓;3—旧阀安装座;4—钢丝绳;5—导轨侧板;6—定滑轮;7—卷扬机;8—导轨支架1;9—导轨底板;10—井口砼基面;11—新阀吊环;12—导轨支架2;13—井壁管

图7　高温井换阀门示意

(a)钻机孔内注冷水降温换阀门　　(b)地热井换阀装置换阀门

图8　现场换阀门场景

本项目在实施过程中研究应用三项技术，解决了施工过程中遇到的难题，实现该地热田核心区域首口钻穿中深热储层段的地热井。

参考文献：

[1] 白云勃，高亮，李婕，等．破碎地层取心技术研究与应用[J]．钻探工程，2025，52(2)：144-150.

[2] 刘文革，江巴多吉，齐新刚，等．套管双挂止水技术在地热井施工中的应用研究[J]．中国煤炭地质，2025，37(4)：51-55.

[3] 刘合．油田套管损坏防治技术[M]．北京：石油工业出版社，2003：2.

[4] 孙国强．多级套管柱一次下入及固井止水工艺[J]．煤田地质与勘探，1997，25(6)：63-64，53.

[5] 闫小利，郑树楼，王振福．陕西关中地区深层地热井成井工艺探讨[J]．探矿工程(岩土钻掘工程)，2010，37(5)：36-39.

[6] 陈论韬，孙思平，杨安虎，等．温米油田套管损坏原因分析及预防措施[J]．石油钻采工艺，2008，30(2)：118-121.

[7] 费成俊．八面河油田套管损坏原因分析及预防措施[J]．江汉石油职工大学学报，2013，26(4)：24-27.

[8] 王德良．中原油田套管损坏原因分析及预防[J]．石油钻探技术，2003，31(2)：36-38.

[9] 魏文忠，赵金海，范兆祥，等．胜利油田深井技术套管损坏原因分析及对策研究[J]．石油钻采工艺，2005，23(4)：1-3.

[10] 李集，卢运虎，韦世明，等．塔里木盆地台盆区石炭系盐膏层套管损坏机理及防治对策[J]．石油钻采工艺，2025，47(6)：704-711.

[11] 梁炳文．弹塑性稳定理论[M]．北京：国防工业出版社，1983，47-49.

[12] 孙永新．井下Ø500 mm超大直径煤层孔钻进技术装备及工程应用[J]．煤田地质与勘探，2022，50(2)：163-168.

[13] 薛彦平．超大直径钻孔采空区瓦斯抽采技术研究及应用[J]．煤炭技术，2021(8)：123-126.

[14] 祖重熙．桥梁深孔大直径钻孔灌注桩施工技术研究[J]．工程建设与设计，2023(4)：121-123.

[15] 田宏亮，邹祖杰，郝世俊，等．矿山灾害生命保障救援通道快速安全构建关键技术与装备[J]．煤田地质与勘探，2022，50(11)：1-13.

[16] 杨涛，杜兵建．山东平邑石膏矿矿难大口径救援钻孔施工技术[J]．探矿工程(岩土钻掘工程)，2017，44(5)：19-23.

[17] 刘智荣．矿山垂直钻井救援关键技术与装备[J]．地质装备，2019(1)：11-17.

(编辑　王文)