

跟管钻进在大口径页岩气井浅部复杂地层中的应用

——以黔水地 1 井导管段为例

郭 军¹, 王超技², 李 岩¹, 苑 坤³, 王文彬¹

(1.湖南省煤炭地质勘查院,湖南长沙 410014;2.安徽省煤田地质局第三勘探队,安徽宿州 234000;
3.中国地质调查局油气资源调查中心,北京 100083)

摘要:桂中—南盘江地区的浅部地层裂隙、溶洞发育,破碎带多,井漏、井垮严重,泥浆护壁钻进成孔难度较大。针对该类地层,首次将跟管钻进技术引入大口径页岩气井钻探——黔水地 1 井导管段钻探,有效地解决了该井导管段的成孔难等问题。并通过系统总结该技术在黔水地 1 井工程施工中的实际应用情况,为今后类似工程提供了宝贵经验和建议。

关键词:跟管钻进;气动潜孔锤;大口径页岩气井;复杂地层;桂中—南盘江地区;成孔率

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)05-0022-05

Application of simultaneous casing drilling to large bore shale gas well drilling in shallow complex formation: A case of conductor drilling for the Qianshuidi - 1 well

GUO Jun¹, WANG Chaoji², LI Yan¹, YUAN Kun³, WANG Wenbin¹

(1. The Coal Geological Exploration Institute of Hunan Province, Changsha Hunan 410014, China;
2. Coal Geological Bureau in Anhui Province in The Third Exploration Team, Suzhou Anhui 234000, China;
3. Oil and Gas Survey, CGS, Beijing 100083, China)

Abstract: There are a lot of fractures, karst caves and fractures in the shallow strata in the Guizhong - Nanpanjiang region, thus causing serious lost circulation and borehole wall collapse. It was difficult for hole drilling with conventional mud protection. The simultaneous casing drilling process has been applied to large diameter shale gas well drilling for the first time, which effectively solved the drilling problem with the conductor hole. The practical application of the process in the Qianshuidi - 1 well is systematically summarized and can serve as valuable reference for similar projects in the future.

Key words: simultaneous casing drilling; pneumatic DTH hammer; large bore shale gas well; complex formation; Guizhong - Nanpanjiang region; well completion rate

1 工程概况

1.1 项目背景

桂中—南盘江地区页岩气调查井钻探工程(大

口径)—黔水地 1 井位于贵州省六盘水市,设计井深 2500 m,钻遇地层自上而下分别是第四系、石炭系的南丹组、打屋坝组和睦化组。该区岩溶、构造发

收稿日期:2020-02-28; 修回日期:2020-04-28 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.05.004

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“桂中—南盘江页岩气地质调查”(编号:DD20190088);湖南省自然资源科技计划项目“复杂地质条件区页岩气深井钻探施工技术研究”

作者简介:郭军,男,汉族,1983 年生,高级工程师,沉积学专业,硕士,长期从事常规、非常规的油气地质调查、钻探等工作,湖南省长沙市万家丽中路三段 76 号,603178746@qq.com。

引用格式:郭军,王超技,李岩,等.跟管钻进在大口径页岩气井浅部复杂地层中的应用——以黔水地 1 井导管段为例[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(5):22-26.

GUO Jun, WANG Chaoji, LI Yan, et al. Application of simultaneous casing drilling to large bore shale gas well drilling in shallow complex formation: A case of conductor drilling for the Qianshuidi - 1 well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(5):22-26.

育,多裂缝、溶洞,地质条件复杂,尤其是浅部的第四系—南丹组地层^[1-3]。多口井在钻遇该套地层时,均发生井漏、井垮、井口失返、钻遇溶洞等各种问题,部分井因此被迫报废。

1.2 井场地质概况

井场位于六盘水市钟山区玉皇洞梁子,地层分布如下:0~21 m 为第四系的黄色、棕黄色含砾、泥砾粘土层;21~26.5 m 为岩溶发育的破碎带;26.5~28 m 为溶洞;28~30 m 过渡为基岩层;30 m 以深为正常的石炭系南丹组的灰岩地层。

1.3 初始施工方案设计

根据区域地质资料和邻井实际钻探资料^[4-6],项目初始设计施工方案为:拟采用 $\varnothing 444.5$ mm 钻头钻穿地表土层和上部易漏灰岩,井深 30 m,下入 $\varnothing 339.7$ mm 导管固井,封隔浅部的疏松、垮塌地层及地表水层;然后分别采用 $\varnothing 311.2$ mm 和 $\varnothing 215.9$ mm 钻头进行一开和二开钻进,钻至设计井深后完钻。

2 同心滑块跟管钻进技术的引入

黔水地 1 井于 2019 年 6 月 15 日开钻,开始导管段施工。该段设计井深 30 m,具体施工过程如下。

2.1 人工开挖与钻井液钻进 1

开钻后,因井口地表为填土层,井壁垮塌严重,无法进行钻井液钻进,人工开挖井口,下入 $\varnothing 1200$ mm 护筒至井深 1.5 m,后改为钻井液钻进。因井漏、井跨严重,井口完全失返,顶漏强行钻进至井深 20.1 m 处,被迫再次下入护筒进行地层封隔。

2.2 空气钻钻进

6 月 19 日下入 $\varnothing 820$ mm 护壁管,下深 20.00 m,水泥固井、候凝后,采用 $\varnothing 444.5$ mm 潜孔锤强行钻进至井深 23.60 m。因地层破碎、岩溶裂缝发育等因素,造成风压、风量损失严重、井壁垮塌、岩屑失返等各种问题,空气钻钻进被迫终止。

2.3 钻井液钻进 2

自井深 23.6 m,现场再次改用 $\varnothing 311.2$ mm 钻头进行钻井液钻进。至井深 26.5 m 钻遇溶洞。施工中,钻具出现放空现象,放空至井深 28 m。继续钻进至井深 30.1 m 处,泵压、扭矩、悬重等均急速增大;上提钻具后,井壁严重垮塌,原井眼被完全填埋。多次上提下放钻具,反复施工均无果。并且在

此期间,井口完全失返,钻井液全漏失,钻井液钻进被迫终止。

2.4 岩屑捞取与商砼封堵

6 月 25 日,现场讨论决定:对垮塌岩屑进行捞取,然后继续正常钻进。该次共捞取岩屑 21 趟,捞取量 7 m^3 。期间发现溶洞上部地层继续大面积垮塌,继续捞取有动摇井架基础的可能。后改用商砼封堵措施,拟对全井段进行封闭。至 7 月 5 日,该井共进行 2 次商砼封堵,分别灌注水泥 32 m^3 、 16 m^3 ,水泥浆均返至井口。经扫塞验证,2 次商砼封堵均失败。

综上,该井导管段包括覆土层、破碎带、溶洞等各种复杂地层,先后采用了钻井液护壁、潜孔锤钻进、捞砂、商砼封堵等各种措施,共计施工 22 d,因溶洞、井壁垮塌、卡钻等原因,始终无法穿越,施工作业被迫中止。

为此,经研究决定,引入同心滑块跟管钻进工艺,以实现地层钻进与地层封隔同步进行。

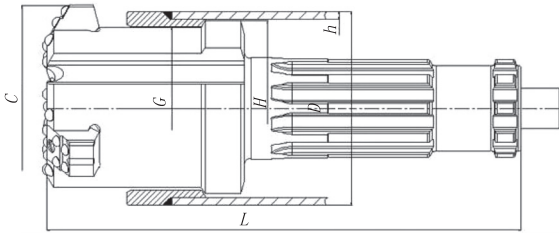
3 钻进工艺

3.1 技术原理

同心滑块跟管钻进技术是将潜孔锤技术和跟管技术融合在一起,并结合了同心滑块特性的一种钻进新技术。该技术是针对回填土层、岩溶发育区、流沙层等复杂地层钻探的一种工艺方法。其中心钻头的花键与冲击器相连,管靴与套管焊接相连。不工作时,钻头的滑块呈现为收缩状态,其直径与中心钻头的直径大小相同;工作时,滑块接触地面,其在地面向上压力的作用下向后移动,呈现为张开状态,整个钻头直径增大至大于相匹配的套管直径。该工艺以压缩空气的能量、钻机动力、钻具和套管自重三者作为动力,跟管钻头在冲击器和钻机扭矩的作用下进行冲击、回转、钻进。同时,钻头梯台与管靴相连,将部分冲击力传递给套管,使得套管与钻具同步跟进,从而实现复杂地层的封隔和井壁的稳固^[7]。跟管钻进完成后,滑块受自身重力或管靴的挤压作用向下移动,呈现为收缩状态,即可提高井底(图 1)。

3.2 设备选择

施工采用 ZJ40 型石油钻机、美国寿力 900XHH-1150XH 型高压风空压机和跟管钻具,以及相配套设备。



C—成孔尺寸; H—钻头最大位置; G—可过钻头;
D—跟管外径; h—跟管壁厚; L—钻头长度

图1 同心滑块跟管钻头成孔原理示意图

Fig.1 Simultaneous casing bit with the concentric sliding blocks

其中,跟管钻具主要包括 TH14 型气动冲击器、 $\varnothing 480$ mm 同心滑块跟管钻头以及相匹配的套管、套管靴等(见图 2),并配备 $\varnothing 127$ mm S135 钻杆。气动冲击器是以压缩空气为动力介质,利用压缩空气的能量产生连续冲击载荷的井底动力钻具。其基本构成一般由配气杆、逆止阀、活塞、内外气缸等组成;同心滑块跟管钻头是与气动冲击器配套使用的破碎岩石工具,主要包括花键、同心滑块、中心钻头部分;套管是钻进施工中用来保护井眼完整性的管状设备;套管靴是连接套管和钻头的一种设备。



图2 冲击器、跟管钻头和套管靴

Fig.2 DTH hammer, simultaneous casing bit and casing shoe

3.3 钻进参数的选择

3.3.1 钻压

同心滑块跟管钻进工艺是在冲击力、回转力和静压力(钻压)3种力作用下破碎岩石。钻进效率的高低,主要由冲击器的冲击功大小和冲击频率所决定,而钻压的主要作用是在钻进过程中,迫使钻头与井底岩石紧密接触,防止反弹,使冲击功得到最大程度的有效传递,保证其充分发挥作用^[8]。因此,不同直径的跟管钻头需要不同大小的钻压。钻压过小,难以克服钻进过程中钻头的反弹力,降低冲击功的作用,进尺缓慢;钻压过大,增大回转阻力,使钻头回转困难、磨损加快等^[9]。

对于潜孔锤全面钻进,一般认为单位直径的压力值在 $0.3 \sim 0.9$ kN/cm^[4],本项目采用滑块同心

跟管钻头,其直径 $420 \sim 480$ mm,故钻压范围应为 $12.6 \sim 43.2$ kN。根据需要,施工井段为 $20 \sim 30$ m,扣除钻具总重力(约为 5.5 kN)、钻具浮力、侧摩阻力,钻进需钻压 $7.1 \sim 37.5$ kN,现场实际采用钻压 20 kN。

3.3.2 转速

转速大小的选择主要由冲击器的冲击频率和规格大小、钻遇岩石的物理机械性质所决定^[10]。转速过大,不仅会削弱冲击碎岩效果,而且还会造成钻头的强烈磨损,使冲击碎岩转变为切削碎岩,造成效率低下;转速过小,不仅会产生重复破碎现象,而且钻齿也易嵌入碎岩坑穴中,造成回转困难和无谓磨损,降低钻进效率。因此,合理的转速应保证在最优的冲击间隔范围之内,理论钻头转速可由公式(1)来确定。

$$n = Af/360 \quad (1)$$

式中: n ——钻头转速,r/min; A ——最优转角, $^{\circ}$,美国水井学会康博尔认为,在硬岩中 $A = 11^{\circ}$; f ——冲击频率,次/min。

实际钻探过程中,若遇软岩则适当提高转速,硬岩则适当降低转速。

该项目所采用的 TH14 型冲击器冲击频率为 $1080 \sim 1500$ 次/min,理论计算钻头转速应为 $33 \sim 46$ r/min;所钻遇地层岩石可钻性级别为 3,现场实际采用钻头转速为 35 r/min。

3.3.3 空气压力

空气压力是影响机械钻速的主要参数,它决定了冲击器冲击功的大小,并与冲击频率密切相关^[11]。大量国内外资料均表明:机械钻速与空气压力成正比关系^[12-14]。空气压力除了必须满足冲击器正常工作压力,还需克服管道压力损失、井内压力降和冲击器压力降;并且在有水情况时,还需克服水柱压力。理论空气压力可由公式(2)来确定。

$$P = Q_1 L + P_m + P_{\text{锤}} + P_{\text{水}} \quad (2)$$

式中: P ——空气压力,MPa; Q_1 ——每米干孔的压力降,取 0.0015 MPa/m; L ——钻具串长度,m; P_m ——管道压力损失,取 $0.1 \sim 0.3$ MPa; $P_{\text{锤}}$ ——冲击器压力降,MPa; $P_{\text{水}}$ ——钻孔内水柱压力,MPa。

根据该井所需钻进井段 $20 \sim 30$ m,井内无水,冲击器为高风压 TH14 型,则 $P_{\text{锤}} = 1.0 \sim 2.5$ MPa, $Q_1 = 0.0315$ MPa/m, P_m 取 0.2 MPa。经计算得:

$P=1.23\sim 2.75$ MPa。现场实际采用空气压力约为 1.75 MPa。

3.3.4 空气量

跟管钻进中,送入的压缩空气,一是为冲击器的活塞运动提供动力,形成冲击功;二是冷却钻头、携带岩屑。因此,空气的消耗量主要由冲击器耗气量和清除井内岩屑的最低上返速度所决定。理论空气量可由公式(3)来确定^[15]。

$$Q=60k_1k_2(D^2-d^2)\pi v/4 \quad (3)$$

式中: Q ——风量, m^3/min ; k_1 ——孔深修正系数,随着孔深增加,环状间隙压力损失增大,导致流量减小。一般 100 m 以浅时取 1.0; 100~200 m 时取 1.05~1.1; 200~500 m 时取 1.1~1.25; 500~1000 m 时取 1.25~1.5; 1000 m 以深时取 1.5。 k_2 ——孔内有涌水时的风量增加系数,与涌水量有关,中小涌水时取 1.5。 D ——钻孔直径, m。 d ——钻杆外径, m。 v ——上返风速,一般最低 15 m/s。

根据该井所需钻遇井段 20~30 m, 井深修正系

数为 1.0; 井内无涌水, D 取套管内径 460 mm, d 取钻杆外径 127 mm, v 取 15 m/s, 经计算得: $Q=138 \text{ m}^3/\text{min}$ 。现场实际采用 4 台空压机同时使用, 供风总量为 140 m^3/min 。

4 跟管钻进效果

引入同心滑块跟管钻进技术后, 施工历时 8 h, 施工井段 20~33.7 m, 进尺 13.7 m, 钻遇地层裂隙、溶洞发育, 井漏、井垮等各种复杂情况。工程实施过程中未出现掉钻、卡钻、管靴脱落等事故, 施工顺利。进入基岩层, 成功封隔浅部复杂地层后, 停止跟管钻进施工, 进行固井作业, 导管下深 33.7 m, 导管段施工圆满结束。

黔水地 1 井导管段施工共计 23 d, 总进尺 33.7 m。其中, 与钻井液钻进、空气钻进等常规施工相比(见表 1), 跟管钻进工艺不但保证了井的成孔, 并且极大地压缩施工工期, 节省材料成本, 应用效果良好。

表 1 黔水地 1 井常规施工与跟管钻进效果对比

Table 1 Performance comparison between conventional drilling and simultaneous casing drilling for Qianshuidi-1

施工方式	施工井段/ m	施工天数/ d	工艺类型	井身结构	施工效果
常规施工	0~30.1	22	人工开挖	$\text{O}1200 \text{ mm} \times 1.5 \text{ m}$	成功
			钻井液钻进 1	$\text{O}1200 \text{ mm} \times 1.5 \text{ m} + \text{O}820 \text{ mm} \times 20 \text{ m}$	被迫中止
			空气钻进	$\text{O}1200 \text{ mm} \times 1.5 \text{ m} + \text{O}820 \text{ mm} \times 20 \text{ m} + \text{O}444.5 \text{ mm} \times 23.6 \text{ m}$	被迫中止
			钻井液钻进 2	$\text{O}1200 \text{ mm} \times 1.5 \text{ m} + \text{O}820 \text{ mm} \times 20 \text{ m} + \text{O}444.5 \text{ mm} \times 30.1 \text{ m}$	被迫中止
			岩屑捞取与商砼封堵		失败
跟管钻进	20~33.7	1	跟管钻进	$\text{O}1200 \text{ mm} \times 1.5 \text{ m} + \text{O}820 \text{ mm} \times 20 \text{ m} + \text{O}480 \text{ mm} \times 33.7 \text{ m}$	成功

5 施工经验总结

5.1 工艺控制

(1) 黔水地 1 井所用转盘的转盘口小于跟管套管的直径, 故需对普通钻杆进行简单改造, 使其长度小于补心高的高度, 以便可以在转盘面以下进行加接。加接时, 对正钻杆上下接头, 回转动力头拧紧, 并将上下套管焊接。同时, 确保焊接的垂直度。

(2) 施工时, 根据工程需求和计算方式, 对工艺参数进行科学选择。

(3) 入井的管靴、套管宜采用高强度材料, 且焊接良好。

5.2 钻杆改造和跟管焊接

为了能够实现转盘面以下加接钻杆, 现场对部

分钻杆进行了长度切割, 并对切割后的公扣段和母扣段进行焊接。切割时, 尽量保持端面的水平; 焊接时, 端面和轴线要垂直, 垂直度可以用 2 台经纬仪标注; 控制好电流大小, 先四周点焊, 再全面焊接, 且用 2 片拉筋包裹性焊接, 以保证焊接处在钻进受力时不宜断裂和密封良好。

该井所用导管为跟管钻具厂家提供的匹配套管, 其连接方式也为焊接。由于其接管端口处已经分别开了内外坡口, 只需依据钻杆焊接方式, 采用 2 片拉筋对称焊接即可, 以保证焊接处在钻进受力时不宜断裂。若套管为普通套管, 接管端口处无坡口, 应分别开内外坡口, 防止焊接后钻头与管壁发生挂碰或穿不过。

6 结语

桂中—南盘江地区浅部多为灰岩地层,其裂缝、溶洞发育,破碎带多,井漏、井垮严重,采用常规钻探工艺,施工难度很大或根本无法成孔。跟管钻进技术在黔水地1井的成功应用,不仅有效地解决了该地区浅部复杂地层的钻井施工技术难题,而且也是国内首次把该技术引入到大口径页岩气井钻探中,大大拓展了跟管钻进技术的使用范围,也有效地保证了复杂地层的钻井成孔率、缩短了施工工期,可在该区或类似地区复杂地层钻探中,直接采用跟管钻进技术进行浅部地层钻进。

参考文献(References):

- [1] 窦新钊,姜波,秦勇,等.黔西地区构造演化及其对晚二叠世煤层的控制[J].煤炭科学技术,2012,40(3):109—114.
DOU Xinzhao, JIANG Bo, QIN Yong, et al. Structure evolution in west of Guizhou area and control to seam in Late Permian[J]. Coal Science and Technology, 2012,40(3):109—114.
- [2] 戴传固,王敏,陈建书,等.贵州构造运动特征及其地质意义[J].贵州地质,2013,30(2):119—124.
DAI Chuangu, WANG Min, CHEN Jianshu, et al. Tectonic movement characteristic and its geological significance of Guizhou[J]. Guizhou Geology, 2013,30(2):119—124.
- [3] 王梅芳,胡明扬,周德全.基于地质地貌特征的贵州矿山地质灾害防治管理研究[J].中国矿业,2017,26(7):91—95.
WANG Meifang, HU Mingyang, ZHOU Dequan. Study on the prevention and control of mines geological disasters in Guizhou Province based on geological and geomorphic features[J]. China Mining Magazine, 2017,26(7):91—95.
- [4] 徐堪社,张晶,刘虎,等.六盘水地区煤层气井表层岩溶地层钻探技术[J].煤矿安全,2018,49(10):99—101,105.
XU Kanshe, ZHANG Jing, LIU Hu, et al. Drilling technology for subsurface karst strata of coalbed methane wells in Liupanshui Area[J]. Safety in Coal Mines, 2018,49(10):99—101,105.
- [5] 童强,杨不祥.贵州烂泥沟金矿大角度斜孔岩心钻探施工实践与认识[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(11):35—38.
TONG Qiang, YANG Pixiang. Practice and understanding of core drilling construction in large-angle declined hole in Lan-nigou Gold Deposit of Guizhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(11):35—38.
- [6] 董震堃,胥虹,聂洪岩,等.微泡沫泥浆在贵州岩溶裂隙地层钻探施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):5—8.
DONG Zhenkun, XU Hong, NIE Hongyan, et al. Application of micro-foam mud for drilling construction in karst fractured formation of Guizhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(10):5—8.
- [7] 胡海峰,吕英华.潜孔锤跟管钻进技术在矿井注浆工程中的应用[J].煤矿安全,2018,49(S1):40—44.

- HU Haifeng, LÜ Yinghua. Application of down-the-hole hammer and following drilling technology in mine grouting project[J]. Safety in Coal Mines, 2018,49(S1):40—44.
- [8] 赵华宣,李强,陈涛,等.贵州碳酸岩地层地热泵井空气潜孔锤钻进技术应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):37—42.
ZHAO Huaxuan, LI Qiang, CHEN Tao, et al. Research and application of air DTH hammer drilling technology for deep geothermal well in Guizhou Carbonate Formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(2):37—42.
- [9] 黄忠正,谷保泽,宗伟琴.浅析气动潜孔锤钻进技术在钻探中的应用[J].神华科技,2010,8(3):40—42.
HUANG Zhongzheng, GU Baoze, ZONG Weiqin. Brief analysis on DTH drilling technology in the drilling application[J]. Shenhua Science and Technology, 2010,8(3):40—42.
- [10] 韩永昌.复杂地层潜孔锤跟管钻进工艺问题研究[D].成都:成都理工大学,2009.
HAN Yongchang. Research on the technology issue of down-the-hole hammer drilling with casing for complex stratum [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2009.
- [11] 姬玉平.空气潜孔锤钻井工艺在煤层气井中的应用[J].中国煤层气,2012,9(3):42—44.
JI Yuping. Application of air-DHD method in CBM Well[J]. China Coalbed Methane, 2012,9(3):42—44.
- [12] 刘家荣,王建华,王文斌,等.气动潜孔锤钻进技术若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):40—44.
LIU Jiarong, WANG Jianhua, WANG Wenbin, et al. Some problems on pneumatic DTH drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(5):40—44.
- [13] 周作明.空气跟管钻进在南苏丹供水井流沙层中的应用实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):36—38.
ZHOU Zuoming. Application of air drilling with casing in quicksand layer of South Sudan water supply well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(4):36—38.
- [14] 李建军,陈保国,郑伟,等.可伸缩扩孔钻头在深厚砂砾石层跟管钻进中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):57—60.
LI Jianjun, CHEN Baoguo, ZHENG Wei, et al. Application of scalable reaming bit in deep sand gravel stratum with casing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(8):57—60.
- [15] 丁晓庆,何龙飞.气动潜孔锤跟管钻进技术在岩土工程勘察施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):17—21.
DING Xiaqing, HE Longfei. Application of pneumatic DTH hammer drilling with casing in the geotechnical engineering investigation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(1):17—21.