

大直径气举反循环成套钻具的研制

袁志坚^{1,2}

(1. 河南省能源钻井工程技术研究中心, 河南 郑州 450016; 2. 河南省煤田地质局, 河南 郑州 450016)

摘要:介绍了大直径气举反循环成套钻具的研制背景、设计原则、结构尺寸和主要技术参数。该套钻具不仅强度大,连接便捷,而且充分考虑了通气、通泥浆、泥浆补给三大通道面积等因素,采用内平设计。经生产试验,完全能满足大直径工程井气举反循环钻进的需要。

关键词:大直径工程井;气举反循环钻具;单壁钻杆;扭矩

中图分类号:P634.4⁺2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)12-0044-05

Development of Complete Set of Large Diameter Air-lift Reverse Circulation Drilling Tool/YUAN Zhi-jian^{1,2}

(1. Henan Provincial Energy Drilling Engineering Technological Research Center, Zhengzhou Henan 450016, China; 2. Coalfield Geology Bureau of Henan Province, Zhengzhou Henan 450016, China)

Abstract: The paper introduces a complete set of large diameter air-lift reverse circulation drilling tool about its development background, design principle, structure dimensions and main technical parameters. This set of drilling tool, designed by interflush, has the advantages of great intensity and convenient connection, and the section area of tubes for ventilation, mud transportation and mud recharge are fully considered, it can meet the needs of air-lift reverse circulation drilling for large diameter engineering well.

Key words: large diameter well; air-lift reverse circulation drilling tool; single wall drill rod; torque

1 研制背景

大直径工程井是矿山企业为实现从井下向地面抽排瓦斯或由地面向井下输冷(煤)降温、送料堵水、输氮灭火以及建立送、回风系统等目的而建设的一种永久性工程通道,直径一般在600~1500 mm之间,深度通常在1000 m以浅。因受钻探机具性能等客观条件限制,国内大多数地勘单位采用“先导钻进+分级扩孔”正循环钻进方法施工。由于环空面积大,泥浆上返流速远远不能满足携带岩粉的需要,岩屑重复破碎严重,钻进效率低,孔内事故隐患多。众所周知,反循环钻进工艺是解决大直径工程井施工排渣问题最科学、合理的方法。目前国内气举反循环钻具有两大系列,如:水井、地热井、太阳能井方面用的 $\varnothing 114 \sim 140$ mm同心式气举反循环钻具;特殊钻(凿)井用 $\varnothing 355.6 \sim 500$ mm法兰连接的并列式气举反循环钻具。从两大系列钻具分析来看,前一类反循环钻具扭矩强度低,不能完全满足抗扭的需要(见下部计算分析);特殊钻(凿)井常用钻具采用法兰连接,法兰的外径尺寸较大,钻具的内通径与环空间隙比例不合理,循环过程中环空泥浆流速较大,冲刷孔壁影响孔壁稳定,而且法兰连接耗时,工人劳动强度大,不适合深孔施工。因此,迫切

需要研制一套适合大直径工程井施工的成套气举反循环钻具。

2 大直径工程井破岩扭矩计算

钻进破岩时需要机具提供扭矩,破岩扭矩的计算比较复杂,影响扭矩的因素比较多,目前尚没有十分准确的计算公式,我们选用了《钻井施工手册》中的经验公式进行计算:

$$M_p = KPR \quad (1)$$

超前钻孔:

$$R = 2R_1/3 \quad (2)$$

扩孔钻孔:

$$R = 2(R_1^3 - R_2^3) / [3(R_1^2 + R_2^2)] \quad (3)$$

式中: M_p ——破岩扭矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$; K ——碎岩刀具旋转阻力系数,为实验统计数值,一般取0.1~0.3(小直径或用旧刀具的钻头取较大值,反之取小值); P ——钻压, kN ; R ——钻孔换算半径, m ; R_1 ——钻头破岩带外半径, m ; R_2 ——钻头破岩带内半径, m 。

由于钻具旋转尚需克服泥浆阻力等多种扭矩损失,实际所需扭矩应比计算的破岩扭矩适当加大,即:

$$M = K_0 M_p \quad (4)$$

收稿日期:2014-04-22; 修回日期:2014-08-07

作者简介:袁志坚(1965-),男(汉族),山西怀仁人,河南省煤田地质局勘查技术处副处长、高级工程师,探矿工程专业,从事煤田、石油、煤层气钻探工作,河南省郑州市郑东新区商鼎路70号,yzj371@163.com。

式中: M ——实际所需扭矩, $\text{kN}\cdot\text{m}$; M_p ——计算的破岩扭矩, $\text{kN}\cdot\text{m}$; K_0 ——系数, 一般取 1.2。

通过以上公式计算求得井眼直径 1500 mm, 一次成孔破岩所需扭矩为 81 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

3 大直径气举反循环钻具研制

钻具的主要作用是传递扭矩、承受拉应力及输送介质。气举反循环钻柱包括: 气水龙头、双壁主动钻杆、双壁钻杆、气水混合器; 下接单壁钻杆、钻铤(加重钻具)、扶正器、反循环钻头。根据成套钻具组合特点可以看出, 单壁钻具规格尺寸相对最小, 钻柱抗扭强度是薄弱环节, 因此, 确定单壁钻具的尺寸规格, 进行抗扭和抗拉强度计算是整套钻具设计的基础。

3.1 单壁钻杆

单壁钻杆是指加置在气水混合器下面的单通道钻杆。其在气举反循环钻进中的主要作用是传递扭矩和输送岩屑, 并靠其逐渐加长钻具不断延长孔深。单壁钻杆的抗扭强度决定着整套气举反循环钻具所适应的井径范围。因此, 单壁钻杆的匹配在整套钻具研制中有着十分重要的地位。单壁钻杆管体规格设计主要遵循以下原则:

- (1) 单壁钻杆的抗扭强度 $\leq \varnothing 1500$ mm 直径工程井破岩扭矩的 1.5 倍;
- (2) 钻杆规格可在国内现有 API 管材规格系列中选择;
- (3) 单壁钻杆内径与大直径气举反循环钻具通孔内径呈相近或相等关系。

根据上述原则和井眼直径 1500 mm 一次成孔所需扭矩(81 $\text{kN}\cdot\text{m}$), 参考 API 新钻杆强度数据^[2]见表 1, 从表 1 可以看出, $\varnothing 127$ 和 139.7 mm 钻杆接头抗扭强度低于管体强度, 故单壁钻杆抗扭强度设计应以接头抗扭强度为基础。而 $\varnothing 127$ 和 139.7 mm 钻杆接头抗扭强度最小 60.57 $\text{kN}\cdot\text{m}$, 最大 118.19

表 1 API 新钻杆强度数据

规格 /mm	壁厚 /mm	管体抗扭强度 /($\text{kN}\cdot\text{m}$)	加厚形式及钢级	连接类型	接头抗扭强度 /($\text{kN}\cdot\text{m}$)	通径 /mm
127	9.17	70.70	IEU-X	NC50	60.57	85.7
		78.14	IEU-G	NC50	69.75	79.4
		100.47	IEU-S	NC50	84.59	66.7
		87.09	IEU-X	5 $\frac{1}{2}$ FH	83.18	92.1
139.7	9.17	96.26	IEU-G	5 $\frac{1}{2}$ FH	98.27	85.7
		123.50	IEU-S	5 $\frac{1}{2}$ FH	118.19	73
		121.60	IEU-X			
168.3	8.38	133.90	IEU-G			
			IEU-S			

$\text{kN}\cdot\text{m}$, 显然 $\varnothing 127$ 和 139.7 mm 型号的钻杆均不能满足抗扭需要。因此, 参照 API 管材规格系列, 单壁钻杆尺寸确定为 $\varnothing 168.3$ mm。

钻杆尺寸确定后, 结合大直径工程钻井时, 因孔内掉块“憋车”、扩孔“扒车”等实际工况, 管体选用了 API 标准的 S-135 材质; 接头选用 AISI 4140 合金结构钢。反循环钻进钻具内径非常关键, 而钻具内径最小部位是接头的内径, 在同等接头外径条件下, 为了尽可能增大接头内径, 选择了上海海隆 HLST72 双台肩超高抗扭螺纹。该螺纹锥度设计 1/12, 密封采用双台肩结构, 同时加大了螺距和螺纹牙底弧半径, 经力学参数校核, HLST72 接头的抗扭屈服强度为 180.1 $\text{kN}\cdot\text{m}$, 完全能够满足大直径工程井钻井(扩孔)对抗扭的需求。单壁钻杆技术参数见表 2。

表 2 单壁钻杆技术参数

单壁钻杆	外径 /mm	内径 /mm	长度 /m	抗扭强度 /($\text{kN}\cdot\text{m}$)	抗拉强度 /($\text{kN}\cdot\text{m}$)
管体	168.3	149.9	8.90	186.4	437.0
接头	215.9	147.6	0.56	180.1	537.5

3.2 双壁钻杆

双壁钻杆是由内外管组成, 具有 2 个流体通道的双层钻杆。双壁钻杆是气举反循环钻具的核心组成部分。双壁钻杆管体规格设计主要遵循以下几点要求:

- (1) 气举反循环成套钻具采用内平设计, 单壁钻杆内径 147.6 mm 是双壁钻具内管内径设计的前提;
- (2) 钻具管体应尽可能选取国内常用的标准石油或地质管材;
- (3) 双壁钻具内外管的环空面积应大于空压机排风管面积, 小于内管通径面积;
- (4) 考虑内外管连接方式、机加工以及拧卸等多方面因素, 外管直径不宜过大。

按照上述要求并参照单壁钻杆设计思路, 双壁钻杆基本尺寸及主要参数见表 3。连接方式: 外管采用 HLST88 螺纹; 内管采用插接式, 通过 O 形圈密封。双壁钻杆总成结构见图 1, 外管结构见图 2, 内管结构见图 3。

表 3 双壁钻杆基本尺寸及主要参数

双壁钻杆	外径 /mm	内径 /mm	材质	抗扭强度 /($\text{kN}\cdot\text{m}$)	抗拉强度 /($\text{kN}\cdot\text{m}$)
外管	管体	219.1	AISI4140	421.8	7756
	接头	254.0			
内管	管体	168.3	N80		

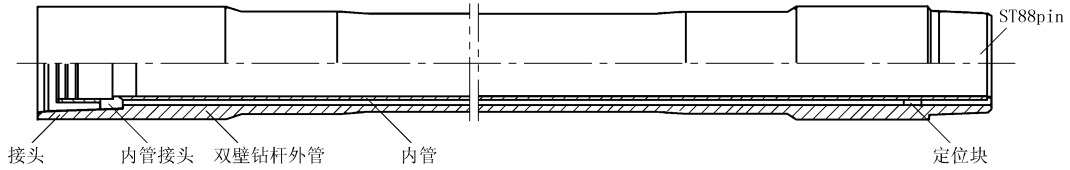


图1 双壁钻具基本结构

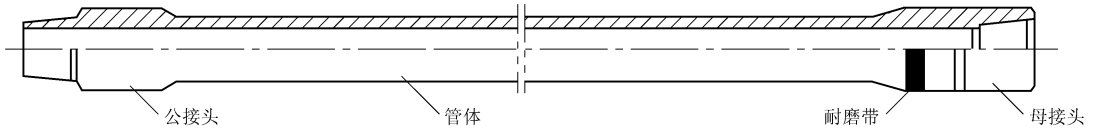


图2 双壁钻杆外管基本结构

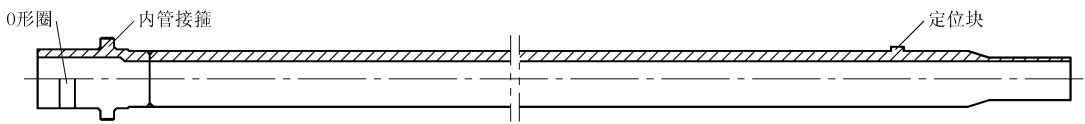


图3 双壁钻杆内管基本结构

3.3 双壁主动钻杆

主动钻杆位于钻柱的最上端,作用是传递扭矩并承受整个钻柱的重力。气举反循环主动钻杆除应具备的性能外,同时还具有输送压缩空气的功能。为了满足大直径工程井气举反循环钻进需求,双壁主动钻杆结构尺寸、材质、强度校核依照双壁钻杆设计;驱动部分设计成四方截面,为避免驱动受力边应

力集中,四方截面的棱角处设置倒角;上下接头采用法兰结构,一端直接与气举反循环送水器连接,另一端通过短接头过渡连接下部双壁钻具。双壁主动钻杆基本结构见图4。主要技术参数为:四方对边宽度249 mm,最大对角距离353 mm,内通径148 mm,最大扭矩50 kN·m,最大负荷1500 kN,最大风压3 MPa。

3.4 气举反循环送水器

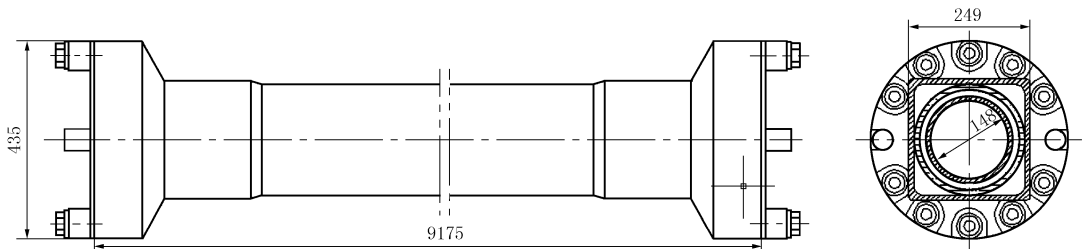


图4 双壁方钻杆结构图

气举反循环送水器是实现气举反循环钻进重要组成部分,主要作用是悬重钻柱,实现单动,具有输送压缩空气和冲洗液上返的通道,结构较复杂。气举反循环送水器见图5,主要技术参数为:内通径148 mm,最高转速150 r/min,最大负荷1500 kN,最大风压3 MPa。

3.5 加重钻具

大直径工程井破岩面积较大,根据单位面积破岩推荐钻压(0.3~1.0 kN/mm),钻(扩)时需要较大的钻压。为了满足破岩钻压需求,我们还研制了双壁钻铤和钻铤,主要技术参数见表4。

表4 双壁钻铤和钻铤主要技术参数

加重钻具名称	外径/mm	内径/mm	抗扭强度/(kN·m)	长度/m	接头型号	弯曲强度比	材质	单根质量/t
双壁钻铤	279.4	190	1049.3	9.6	HLST88	1.69	4140	1.998
钻铤	279.4	150	1873.9	9.6	HLST88	1.69	4140	3.289



图5 气举反循环送水器

4 生产试验情况

为验证整套气举反循环配套钻具的使用效果,

生产试验分别交由河南省煤田地质局四队、三队两家生产单位,在平煤十矿、新密和成矿两个不同矿区分别实施。

平煤神马集团十矿北翼瓦斯抽排井工程位于平顶山市十矿北翼采区三水平回风井院内,设计井深651.2 m。根据该地区地层特征及钻孔穿过采空区等复杂条件,钻孔按二级孔径设计:一开终孔直径1200 mm,穿过第四系卵石、流沙层、风化基岩,见完整基岩下入 $\varnothing 1000$ mm \times 14 mm螺旋管,二开孔径920 mm,至651.2 m处,下入 $\varnothing 711$ mm \times 19 mm的无缝工作套管,水泥固井完井。

井身结构见表5。

表5 平煤十矿北翼采区瓦斯抽采井井身结构

井型	井眼尺寸/mm	井段/m	套管尺寸/mm	套管下深/m
直井	1200	0~105	1000	105
	920	105~651.2	711	651.2

以试验井段206~258 m为例,气举反循环主要采用外径444.5 mm PDC钻头,其钻进参数为:钻压16~56 kN,转速43~63 r/min,泥浆排量16.6~38.8 L/s,环空灌入量保持环空灌满。

气举反循环钻具组合为: $\varnothing 444.5$ mm PDC钻头+ $\varnothing 440$ mm扶正器+ $\varnothing 254$ mm钻铤+转换接头+ $\varnothing 168.3$ mm单壁钻杆+转换接头+ $\varnothing 219.1$ mm混合器+ $\varnothing 219.1$ mm双壁钻杆+转换接头+250 mm双壁方钻杆+气水龙头。

气举反循环井内上返岩屑情况见图6,对比情况见图7,正循环钻进与气举反循环钻进排渣效果一目了然。

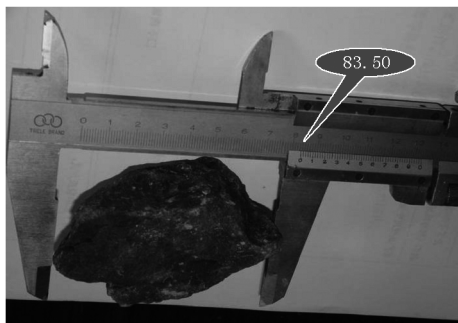


图6 气举反循环井内上返最大岩块直径达83.50 mm

现场收集到的平煤十矿瓦斯抽排井试验井段井深218~257 m钻进时效统计结果见表6。

由表6不难发现,在碎岩钻头 $\varnothing 444.5$ mm情况下,气举反循环钻进最高时效达2.86 m,平均时效0.68 m,平均每小时碎岩体积达0.1055 m³。

和成煤矿地面瓦斯抽放钻孔设计孔深475 m。

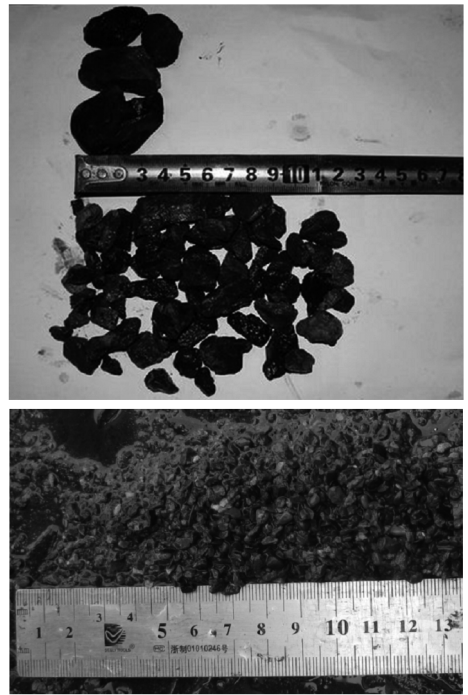


图7 气举反循环(上)与正循环钻进(下)井内上返岩屑对比

表6 气举反循环钻进时效统计表($\varnothing 444.5$ mm PDC钻头)

井段/m	用时/min	时效/m	井段/m	用时/min	时效/m
218~219	152	0.39	238~239	55	1.09
219~220	172	0.35	239~240	52	1.15
220~221	285	0.21	240~241	55	1.09
221~222	255	0.24	241~242	25	2.40
222~223	370	0.16	242~243	23	2.61
223~224	169	0.36	243~244	69	0.87
224~225	95	0.63	244~245	77	0.78
225~226	145	0.41	245~246	59	1.02
226~227	170	0.35	246~247	49	1.22
227~228	153	0.39	247~248	21	2.86
228~229	173	0.35	248~249	173	0.35
229~230	95	0.63	249~250	300	0.20
230~231	59	1.02	250~251	280	0.21
231~232	145	0.41	251~252	175	0.34
232~233	213	0.28	252~253	200	0.30
233~234	159	0.38	253~254	145	0.41
234~235	250	0.24	254~255	105	0.57
235~236	272	0.22	255~256	135	0.44
236~237	141	0.43	256~257	120	0.50
237~238	125	0.48	平均时效/m		0.68

其中0~100.00 m孔径为1020 mm,0~100.00 m下入 $\varnothing 900$ mm \times 16 mm的螺旋钢管。100.00~475.00 m孔径为760 mm,0~475.00 m下入 $\varnothing 640$ mm \times 20 mm的无缝钢管。

现场收集到新密和成煤矿瓦斯抽排井试验井段井深102.44~484.56 m,先导孔 $\varnothing 444.5$ mm牙轮钻头钻进时效统计结果显示:气举反循环钻进最高时效达1.61 m,平均时效0.55 m,平均每小时碎岩体

积达 0.0852 m^3 , 纯钻作业时间占总时间的比重为 74.4%。 $\varnothing 760 \text{ mm}$ 扩孔最高时效达 1.11 m, 平均时效 0.405 m, 平均每小时碎岩体积达 0.298 m^3 , 纯钻作业时间占总时间的比重为 70.6%。施工现场见图 8。



图 8 新密和成煤矿瓦斯抽排井气举反循环钻井现场

在平煤十矿、新密和成煤矿的 2 个大直径工程井项目进行了该套大直径气举反循环钻具生产试验, 完成试验进尺 1127 m, 最大井深 651.2 m, 最大直径 1200 mm。实践应用表明, 研制的双壁钻具其螺纹接头具有强度高, 密封性好, 拧卸方便等特点。气举反循环气水龙头、双壁方钻杆及其他配套器具结构设计合理, 经试验证明, 该钻具可满足 $\varnothing 600 \sim 1500 \text{ mm}$ 的大直径工程井气举反循环钻井工艺需求, 解决了传统大直径工程井施工技术难题。

5 结论和建议

大直径气举反循环成套钻具是在广泛研究国内

外现有气举反循环钻具的基础上, 紧密结合大直径工程井特点, 以满足钻进抗扭为前提, 充分考虑输送压缩空气通道, 泥浆上返内通道, 泥浆补给环空间隙等综合因素, 以及钻具连接便捷条件而研制的。全套钻具抗扭及抗拉强度高, 采用内平设计和超高强度螺纹连接, 在国内螺纹联接大口径气举反循环双壁钻具方面具有一定的创新性。大口径气举反循环成套钻具的成功研制, 解决了气举反循环工艺施工大直径工程井急需配套的钻具。为了进一步提高钻井效率, 充分体现这一钻具的优势, 下一步还需配套完善一些辅助器具, 并要不断完善气举反循环钻进工艺技术, 特别需要加快推进大直径工程井专用钻机的配套研发。

参考文献:

- [1] 耿建国, 等. 大口径气举反循环钻具研制及应用研究[R]. 河南省煤田地质局, 2014.
- [2] 赵金洲, 张桂林. 钻井工程技术手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 2005.
- [3] 翁家杰. 井巷特殊施工[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991.
- [4] 熊亮, 袁志坚, 白领国, 等. $\varnothing 219.1/168.3 \text{ mm}$ 气举反循环双壁钻具在大直径工程井中的成功应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(S1): 190-193.
- [5] 袁志坚, 等. 气举反循环钻井技术在煤矿瓦斯抽排井中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2014, (1): 63-66.
- [6] 张永成. 钻井施工手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2010.
- [7] 熊亮, 张小连, 熊菊秋, 等. 大口径工程井气举反循环钻进效率影响因素初探[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(5): 42-45, 49.

青海油气田找到中国最大基岩气藏

中国新闻网消息(2014-12-05) “2012年勘探发现的东坪基岩气藏, 截至目前已累计生产天然气 7.2 亿立方米, 日产天然气达到 326 万 m^3 , 属于中国最大的基岩气藏。”中国石油青海油田公司勘探开发研究院院长马达德 4 日接受中新社记者采访时说。

青海油田是世界上海拔最高的油田, 也是中国最早开发的油田之一。其地处青藏高原, 位于青海省西北部的柴达木盆地, 是青海、西藏两省区重要的产油、供油基地, 平均海拔 3000 m 左右。该油田所在区域石油资源量达 40 多亿 t, 天然气资源量近 10000 亿 m^3 。

据了解, 东坪是青海油田于 2012 年勘探发现的一个基岩天然气含气区, 位于柴达木盆地西北区阿尔金山前东段。东坪基岩气藏埋藏深, 岩性为致密的花岗岩或花岗片麻岩, 储集空间以基质溶蚀孔和裂缝为主, 气藏含气井段长、地层温度高、压力大, 勘探开发的难度十分大。

“我们从东坪基岩气藏地质研究、工程设计、钻井工程以及完井投产四个方面采取综合性措施。今年已经投产的 4 口水平井的产量是周围邻井的 2.5 倍。坪 1H-2-7 井日产天然气 60 万 m^3 , 一举夺得了青海油田勘探发现 60 年来天然气单井日产量最高的桂冠。”马达德说。