

大口径直排井施工难点针对性技术

许可

中国煤炭地质总局第二水文地质队

DOI:10.12238/btr.v7i3.4400

[摘要] 大口径直排井在煤矿生产及辅助生产过程中起着至关重要的作用,以地面与井下巷道贯通为目的,进行辅助煤矿生产及辅助煤矿安全作用。目前多为:输料孔、通风井、抽排水井、瓦斯抽采井以及井下救援施工。为了提高大口径直排井成井的施工效率,避免施工过程中易出现的施工复杂点、难点,通过施工过程中的积累,总结归纳了部分常见孔内事故的成因与处理方法、施工过程中的提速增效、以及泥浆使用的方法、并提出漏失后泥浆使用的针对性解决对策。

[关键词] 大口径直排井; 辅助煤矿生产; 辅助煤矿安全; 孔内事故; 成井效率; 瓦斯抽采井; 抽排水井; 通风井

中图分类号: TD82 文献标识码: A

Targeted Techniques for Difficulties in Construction of Large Caliber Direct Drainage Wells

Ke Xu

The Second Hydrogeological Team of China Coal Geological Administration

[Abstract] Large diameter direct drainage wells play a crucial role in coal mine production and auxiliary production processes, with the goal of connecting ground and underground tunnels to assist coal mine production and safety. At present, most of them are: feeding holes, ventilation shafts, drainage wells, gas extraction wells, and even underground rescue construction. In order to improve the construction efficiency of large-diameter straight row wells and avoid the complex and difficult construction points that may occur during the construction process, the causes and treatment methods of some common borehole accidents, the speed and efficiency increase during the construction process, and the methods of using mud slurry were summarized through accumulation during the construction process. Targeted solutions for the use of mud after leakage were proposed.

[Key words] large-diameter direct drainage wells; auxiliary coal mine production; auxiliary coal mine safety; borehole accidents; well completion efficiency; gas extraction wells; drainage wells; ventilation wells

引言

我国是一个以煤炭为主要能源的国家,煤炭在一次能源中占70%左右。处在我国安徽、河南、江西、湖南、贵州、四川、重庆和云南等省(市)的矿区,在成煤之后的漫长地质历史中多次受构造运动作用,地质构造十分复杂,许多矿井处在高地应力作用区域。钻探施工技术难度大,随着人为矿井开采干预,某些矿区遇到复杂问题更多更明显,随之钻井施工终将会遇到更多不可预料的复杂情况。但随着钻井设备的改良,施工工艺的优化,在预防事故的前提下高效施工,快速成井,充分利用以往施工经验不断总结,使相类似大口径直排井易出现的问题提前预防。将原来遇到的难点提前谋划并解决,为安全高效成井提供技术保障。

1 地质条件

任何钻探施工都是与地层有关,会影响施工进度效率、经济效益、安全及风险控制。地质条件主要看地层岩性,在施工大口径直排井过程中可能有周边区域内相关地质勘探类项目,可引荐参考其中的技术难点和复杂点,在大口径施工过程中也许会遇到,甚至更难以应对,处理周期会更久,投入的人力财力物资会更大。以下在面对不同地质条件下所解决的针对性总结。

1.1 地层原因,进尺效率低,针对性解决方案

(1) 先导孔是保证整体井深的垂直度轨迹,在先导孔施工过程中可以全面了解到整个施工地层一手资料,在后期扩孔阶段将有针对性技术方案。先导孔施工过程中通过转盘及螺杆的钻进保证钻孔的垂直度、提高钻速及成井的效率。如遇坚硬地层会明显降低钻速,进尺效率受暂时影响,先导孔成孔可在有条件情况下更换不同类型的钻头,改善不同地层适合的钻头类型。增

钻具型号	SLZ73x7.0	SLZ95x7.0	SLZ118x7.0 III	SLZ149x7.0	SLZ171x7.0	SLZ197x7.0	SLZ217x7.0 I	SLZ241x7.0 IV	SLZ261x7.0 IV	SLZ281x7.0 V	SLZ301x7.0 IV	SLZ321x7.0	SLZ341x7.0	SLZ361x7.0	SLZ381x7.0	SLZ401x7.0	SLZ421x7.0		
公称尺寸	mm	95-121	118-152	118-152	149-200	213-251	213-251	213-251	213-251	213-251	213-251	241-270	251-311	251-311	251-311	251-311	251-375	311-445	
连接螺纹		2 1/2" REG	2 1/2" REG	2 1/2" REG	3 1/2" REG	4 1/2" REG	4 1/2" REG	4 1/2" REG	4 1/2" REG	4 1/2" REG	4 1/2" REG	4 1/2" IF	5 1/8" REG						
水重	Mpa	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	1.4-7	
推荐流量	L/s	3-8	5-11	5-11	6-13	8-15	20-28	20-28	22-32	20-38	20-38	18.5-37	18.5-37	25-45	25-48	25-45	25-48	30-50	38-82
钻头转速	r/min	109-291	100-220	105-235	87-190	95-180	110-160	105-150	115-170	85-180	75-143	73-146	75-150	80-150	70-138	80-150	70-138	85-150	100-160
马法压强	Mpa	2.4	3.2	2.0	2.4	4.0	2.4	3.2	4.0	3.6	4.2	3.2	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
工作扭矩	N.m	460	970	580	1020	2000	2615	3780	4620	5200	6852	4500	6230	7600	8100	7600	8100	8860	11000
启动扭矩	N.m	650	1750	1040	1750	3760	4700	6800	8300	9000	11820	8500	10500	13655	14500	13655	14500	15900	19500
输出功率	Kw	4.7-12.5	10.4-22.8	6.5-14.3	9.3-20	20.5-39	31.2-43.6	41.6-58.2	57.2-83.2	48.8-88.9	64.8-103.7	38.5-77.0	48.5-97	65-117	65-125	65-117	65-125	78-130	99-162
推荐钻压	t	1.2	2.5	1.5	2.5	4	8	8	10	10	10	10	12	16	16.5	16	16.5	17	18
最大钻压	t	2.5	5	4	5	8	16	16	18	16	16	16	18	24	25	24	25	28	30
钻具长度 (mm)	直体	3450	4450	3640	4450	6340	5930	7080	7490	7490	8455	6870	8440	8470	8470	8470	8470	8470	9485
	单弯	3450	4675	3865	4675	6490	6180	7060	7490	7490	8455	6870	8440	8720	8720	8720	8720	8720	9485
重量 (Kg)	直体	100	150	125	150	410	742	835	945	945	1070	870	1150	1330	1330	1450	1450	1680	2210
	单弯	102	160	135	160	430	755	850	970	970	1100	886	1210	1385	1385	1510	1510	1700	2350

(参考图表 1) 螺杆钻具基本参数及主要指标

加或是更换钻具及钻链数量后,适当增加钻进压力提高转速,不得一味追求进尺盲目增加钻压,不同型号螺杆钻具承受钻压不一样(参考图表1),一般螺杆使用时间在180-200h之间。孔内钻杆优先考虑 $\phi 127\text{mm}$ 以上钻杆,在后期扩孔也有优势,内径较大相对泵压较低,钻杆损伤将会减少,在导向孔成孔后期扩孔阶段不会因为扭矩过大损伤钻杆,加速破坏钻杆已导致断钻杆事故。钻具外径大,泥浆上返速度加快,增加返砂速度。

(2) 扩孔过程中调配钻具,使用 $\phi 127\text{mm}$ 以上钻具,例如 $\phi 139.7\text{mm}$ 钻杆。或是增加钻链数量使钻具总重量增加,在扩孔过程中增加钻压、调整转速、增加泵量提高扩孔进尺速度。钻杆外径大扭矩就大(参考图表2),扩孔过程中扩孔钻头传递给钻杆的扭矩会增大。钻杆出现裂损泵压会发生降低,如果是相对较细钻杆会在大泵量的情况下,短时间内更容易发生水力毗裂钻杆外壁发生断钻杆事故。如果泵压在正常施工情况下降低,需谨慎考虑是否地层漏失或是螺杆问题再就是钻杆有损伤。需短时间观察并做出判断。而外径较大的钻杆更有优势,外径较大扭矩较大,钻杆壁厚,更不容易被毗裂或是需要更长时间才会被毗裂。同时钻具重量增加,可增加钻压,有助于扩孔速度。(反扭钻进时)外径较大的钻杆更不容易在扩孔过程中偏离导向孔轨迹,可减小孔底偏差位移。

(3) 泥浆。泥浆在钻探过程中起着至关重要的作用,不同的地层适用不一样的泥浆性能,如遇坚硬地层,在泥浆的配置中尽量保持泥浆的粘度具有较好的携砂能力,减少岩屑不能及时返出地面从而带来的重复碾磨,从而增加钻进效率。泥浆粘度的过高弊端会导致冲刷能力差,不足以将岩屑冲离孔底,或是岩屑更容易黏附在扩孔钻头上不容易冲刷掉,冲洗液(泥浆)粘度过高、流动速度越低,

其冲刷能力越弱。泥浆粘度控制在25s-35s之间较为有益。

公称尺寸 in	5 1/2"	5"	5"非标	4 1/2"	4"	3 1/2"	2 7/8"	2 3/8"
公称重量 lbf	21.9	19.5	24.51	20	15.7	13.3	10.4	6.65
本体外径 mm	139.7	127	127	114.3	101.6	88.9	73.025	60.325
材质	S135	S135	S135	S135	S135	S135	S135	S135
壁厚 mm	9.17	9.19	9.65	10.92	9.65	9.35	9.195	7.112
加厚型式	IEU	IEU	EU	IEU	IU	EU	EU	EU
本体内径 mm	121.4	108.62	107.7	92.5	82.3	70.2	54.635	46.101
内容积 l/m	11.35	9.16	9.11	6.56	5.2	3.87	2.36	1.68
闭排 l/m	16.25	13.35	13.33	10.79	8.51	6.7	4.48	3.02
开排 l/m	4.9	4.19	4.22	4.23	3.31	2.83	2.12	1.34
重量 kg/m	38.48	32.87	26.7	29.84	23.39	22.25	16.67	10.54
截面积 mm ²	3760	3403	3557.6	3539	2786	2337	1843	1189
抗扭强度(管体) N·m	123542	100290	104200	89920	62883	45189	28147	15239
抗扭强度(接头) N·m	109956	86000	83900	71930	62883	40679	23000	12864
抗拉强度(管体) KN	3503	3170	3311	3304	2598	2176	1718	1108
抗拉强度(接头) KN	7904	6904	6431	6766	3726	3988	2775	1848
抗内压强度 Mpa	106.9	117.9	123.8	155.72	154.7	177	205	192.4
抗挤强度 Mpa	95.2	108.16	119	160.89	160	175.13	204.8	193.5
加厚段外径 mm	141.3	131.8	136	121.4	106	97.1	81.8	67.5
加厚段内径 mm	101.6	90.5	100	71.5	71.4	X	X	X
外加厚段长 mm	76.2	220	280	76.2	76.2	76.2	76.2	76.2
内锥面段长 mm	≥120	≥120	≥120	≥120	≥120	≥120	≥120	≥120
接头外径 in/mm	71/4"/184.0	6 5/8"/168.3	6 3/4"/172	6 1/4"/158.8	5 1/2"/139.7	5 1/2"/139.7	4 3/8"/111.1	3 1/2"/88.9
母接头内径 mm	88.9	88.9	100	76.2	65.1	54	50.8/41.3	41.3
公接头内径 mm	88.9	69.8	88.9	63.5	65.1	54	50.8/41.3	41.3
母接头长度 mm	280-305	280-305	254	300	304.8	279.4	254	254
公接头长度 mm	254	228.6	203.2	230-235	228.6	254	203.2	203.2
丝扣连接型式	5 1/2"FH	NC50	NC52	NC46	HT40	NC38	NC31	NC26
扣型	V-0.065	V-0.038R	V-0.038R	V-0.038R	V-0.038R	V-0.038R	V-0.038R	V-0.038R
扣数	4扣/inch	4扣/inch	4扣/inch	4扣/inch	4扣/inch	4扣/inch	4扣/inch	4扣/inch
锥度	1:06	1:06	1:06	1:06	1:06	1:06	1:06	1:06
紧扣扭矩 N·m	59100	43000	50300	34500	25000	18000	11800	4700

(参考图表2) 常用钻杆技术参数

钻头的泥包现象的预防与处理；钻头泥包钻速逐渐降低，泥包严重时会在上提钻具过程中产生阻力。扩孔钻头泥包的主要原因：地层遇水后松软且黏附性强。如粘土层及泥质胶结岩层等，地层水化力极强，切屑物呈现泥团状并黏附在扩孔钻头上。也有钻头结构设计不合理或是没有选对钻头情况产生的泥包现象。可改善泥浆的润滑性能，降低黏土在钻头上的吸附力，提高泥浆泵排量，及时将岩屑冲离孔底。

(4) 振动筛、除泥器。大口径直排井更应当注重岩屑的清理，保持孔内较少的悬浮颗粒和含沙量，在钻进过程中保持泥浆泵同振动筛同时运行，泥浆通过振动筛及沉淀池后再进入泥浆泵，振动筛配合除泥器更好的过滤泥浆冲洗液中的岩屑及细小颗粒。同时开启除泥器可能会改变泥浆的性能，降低比重，降低粘度，使泥浆形成良好的护壁性，这对大口径施工是有利的。所以在施工过程中要时刻观测泥浆性能，控制含沙量，粘度，比重及失水量。

1.2 破碎层扩孔施工难点

破碎层一般伴随卡钻、埋钻的发生以及漏失或是消耗量变大的可能。一般在先导孔施工过程中如果遇到破碎层很可能会发生漏失，如果先导孔再穿过破碎层后没有漏失消耗，也应当注意孔壁的掉块坍塌或是埋钻。如果在先导孔施工过程中发生卡钻，提升力突然变大的情况时，应当进行调整泥浆性能保持良好的护壁性，加尺前应当多次上下扫孔进行划眼，使孔壁保持畅通减少加尺过程中因为无法开泵引起的卡钻或埋钻情况。扩孔过程中如遇卡钻征兆，或者上提过程中受阻情况，应正确分析孔内情况，如果能开泵循环泥浆最好不要停泵，使其最大范围内提放活动钻具，如果能转动，最好使钻具在转动的情况下，大范围上下活动钻具，同时调整泥浆性能，增加润滑性能。

在下管过程中下至破碎带也是一种风险。成孔后可先进行试下套管作业或是增加圆孔环节，如果试下过程不顺利，圆孔过程中将圆孔器下至遇阻位置，进行缓慢圆孔，使井壁保证畅通。再次试下如果没问题，可直接下至孔底，进行调整泥浆性能，加入润滑剂，并使孔内泥浆比重保持在 $1.20\text{g}/\text{mm}^3$ ，如果泥浆比重低于 $1.15\text{g}/\text{mm}^3$ 左右，下管前根据使用设备情况(钻机、钻塔及下孔内管材性能)做好下管设计，下管过程中严格执行下管设计。把泥浆性能调整合适范围后直接进行起钻下管，提前组织人员准备下管作业，缩短辅助时间，从而缩短整体下管作业时间，使其下管期间孔内保持在稳定状态。

1.3 漏失地层扩孔施工难点及解决技术

钻遇漏失地层易出现短时间的进尺较快，个别情况会有憋跳钻现象、钻具放空、泥浆泵泵压下降或是归零等。此类情况漏失位置为井底，在不好判断是否完全揭露漏失地层时，可在条件允许的情况下(例如：上部地层相对稳定，不易坍塌或是有掉块现象，钻井液充足或是清水供应满足当前使用，泥浆泵等主要设备性能良好等)，可强钻2-5m后再进行堵漏，可降低堵漏次数，成功率会更高。后期在扩孔过程中扩至之前导向孔漏失位置可能也会遇到消耗或是漏失，依然可扩至漏层后在进行堵漏。

合理的全井身结构，在前期施工设计中应全面参考对比、分析邻井相同井深地质资料，对有漏失位置提前规划施工方案，设计合理的套管位置，控制钻井液密度，尽可能控制平衡压力钻进，减小因钻井液循环压力产生漏失。将可能漏失位置控制在可预处理阶段，并减少甚至避免后期施工中的影响。

扩孔过程中钻遇泥岩类地层易产生泥包钻头情况下的，上提、加尺、活动钻具，甚至是起下钻过程由于钻头的泥包易产生“拉活塞”状况，孔内压力激动发生漏失。应提前调配泥浆，减小泥包钻头的可能性。

在固井及替浆过程中易引起憋漏。将套管下至井底约0.20米位置开始固井，避免环状间隙过小孔内压力不断增大引起地层憋漏。大口径直排井在下管前应对第一根套管底部向上0.40m处割直径20mm左右旋流孔4个，分4个方向，每个旋流孔上下间距15cm，整体呈螺旋状均匀分布。分散水泥浆液垂直压力的同时避免串槽从而影响固井质量。

2 大口径直排井容易发生的孔内事故及解决方法

卡钻：钻具在遇到破碎层时极易引起掉块发生卡钻。在泥浆性能较差时也会引起卡钻，泥浆无法得到良性循环，大颗粒岩屑没有过滤出来引起的卡钻，一般容易发生在扩孔钻头位置，或是钻铤与钻杆连接位置，一般为泥浆泵可以正常循环泥浆，钻具无法转动，并且无法上提或是下放。极易发生在加尺时间较长时期与维修钻机过程较长时。处理方式一般为下钻套洗最直接有效。扩孔施工中当泥浆性能较差时无法配置优质泥浆时可以排除孔内原有泥浆替换新泥浆，也可以下钻提砂筒将下至孔底，将孔底较大颗粒提出孔内，以减少孔内不安全因素。

断钻：在大口径扩孔施工过程中因为钻头加工设计原因时常产生憋跳钻现象，有时扭矩也会突然增大，对钻具使用寿命大打折扣。钻头连接接手会发生丝扣处断钻情况，钻铤丝扣会发生丝扣处断钻情况，钻杆在中间、接手下部收口位置下方都会产生断钻情况。泵压表数值显示单位应该灵敏可靠，应当使用小范围小单位的泵压表，泵压略有变化可以及时得到参考，从而分析孔内情况。提重指重表也应该灵敏可靠，将钻具重量真实反映出来，得到有专业参考的价值，避免错误的分析判断进行错误的处理，产生更多的问题。避免事故的主要原因还是日常的操作习惯，以及责任心。

脱钻：起下钻施工过程中最容易产生脱钻事故，一般为扩孔钻头未能够稳定可靠加持在井口产生的脱落。在起下钻过程中安全卡瓦未能够牢固可靠的加持住钻铤产生的脱钻。井架工原因未能扣好吊卡产生的脱钻。责任心至关重要，勿以善小而不为，勿以恶小而为之。

埋钻：埋钻类似于卡钻，相比较而言更为严重，也更为难处理，产生此类情况一般多为地层原因，在大口径施工过程中如果不能处理好泥浆也会出现埋钻。埋钻的特征是瞬间泵压升高甚至憋停泥浆泵，钻具瞬间无法转动，提放钻具都无效。主要是没有分析对地层，在先导孔成孔时期没有掌握清楚地层的真实情况，以至于后期泥浆没有得到更好的优化。处理意见一般是反

扣钻具加套洗桶,在优化过泥浆后可以实施打捞。

落物(异物)打捞:大口径直排井扩孔施工过程中由于钻头设计加工的合理性或是司钻操作手法的原因经常扩孔钻头损坏后还在继续施工,有的情况下确实不容易发现,频繁的起下钻人员劳动强度也大,对施工整体效率也会产生影响,很多时候能有效进尺的情况下一般不多考虑复杂情况。例如牙轮的掉落,复合片翼片的掉落,接手的滑落,工器具的掉落等等。一般在施工中下部肯定有几米的小口径深度,一个是为了沉沙,再者就是为了井下落物,如果不值得起钻就留存于井底孔内,如果必须贯通巷道的话只能想办法打捞上来。一般打捞方式为套取,适用于落物较多,较重,单个落物体积不规则情况下使用。强磁打捞中平磁可以打捞规则型物体重量在5kg内成功率较高,偏磁打捞细长圆柱体可以,重量20kg可参考。如有实在不容易打捞的落物可以采取磨鞋碾磨方式磨掉,磨铁过程中应当在泥浆返出口泥浆槽内放置强磁,防止铁屑吸入泥浆泵中致使胶圈过早磨损损坏。要掌握好磨入尺寸,磨鞋在碾磨地层时也是不会憋、跳钻,没有扭矩增大的情况,而且也能进尺。

3 结语

在我国大口径直排井施工过程中特别短时间内成井的很少,要掌握极短时间内成井对煤矿及金属非金属矿区具有较高辅助作用。如何提高生产效率,节约生产成本,保证施工质量,将是能否在市场站稳脚跟的关键,本文通过分析大口径直排井的技术难点、常见易发生的各类事故及解决办法、泥浆性能处理、地层影响及解决方法、下管作业等一系列措施,为实现大口径直

排井工程的顺利竣工,提供了部分专业分析与总结。

[参考文献]

- [1]赵金洲,张桂林.钻探工程技术手册[M].北京:中国石化出版社,2004:191-212.
- [2]陶士先,付帆,等.地质钻探冲洗液技术手册[M].北京:地质出版社,2022:190.
- [3]中国地质调查局.水文地质手册(第二版)[M].北京:地质出版社,2012:819-822.
- [4]程远平.煤矿瓦斯防治理论与工程应用[M].徐州:中国矿业大学出版社,2010:220-222.
- [5]贾铎.钻井液工程师技术手册[M].北京:石油工业出版社,2015:371-375.
- [6]魏学敬,赵相泽.定向钻井技术与作业指南[M].北京:石油工业出版社,2015:203-209.
- [7]韩广德.煤炭工业钻探工程学[M].北京:煤炭工业出版社,2000:179-183.
- [8]国家煤矿安全监察局.煤矿安全规程[M].北京:煤炭工业出版社,2016:131-140.
- [9]李振祥,张成.煤矿防治水细则[M].北京:煤炭工业出版社,2018:109-111.
- [10]唐辉明.工程地质学基础[M].北京:化学工业出版社,2008:216-221.
- [11]秦立涛.钻孔偏斜规律在定向钻孔施工中的应用[J].煤炭与化工,2018.41(2):50-52.