

空气反循环钻进工艺在地勘浅层取样中的应用探讨

石立明

(武警黄金指挥部,北京 100055)

摘要:空气反循环钻进工艺具有钻进速度快、施工环保等特点,是地质勘探取样又一重要方法手段。通过浅层取样生产试验,探讨了施工设备材料、钻进参数的选择依据,指出了施工中应重点把握的技术措施,列举了施工中常见的问题,研究提出了解决办法,总结了工艺特点等。

关键词:空气反循环钻进;空气反循环钻机;空压机;潜孔锤;浅层取样钻探

中图分类号:P634 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2014)11-0005-05

Discussion on Application of Air Reverse Circulation Drilling in Shallow Sampling for Geological Prospecting/SHI Li-ming (The Gold Headquarters of Chinese People Armed Police Forces, Beijing 100055, China)

Abstract: With the characteristics of rapid drilling and environmental protection, air reverse circulation drilling is an important technical method for geological prospecting. Based on the shallow sampling tests, the paper discusses the selection basis of construction equipments and drilling parameters, presents the key technical measures and lists the common problems in drilling operation. The resolving methods are put forward and the technology characteristics are summarized.

Key words: air reverse circulation drilling; air reverse circulation drill; air compressor; DTH hammer; shallow sampling drilling

地勘工作中采集岩石样品,目前通常使用探槽、探井、金刚石岩心钻探等工程手段实现,但是探槽、探井开挖深度有限,并且会破坏大面积地表植被;金刚石岩心钻探不但需要充足的水源,形成的废浆也会对环境造成一定的污染,因此在厚覆盖区、草原干旱区、青藏高原等生态环境脆弱地区开展探矿工程作业有一定的局限性。近年来,我部在草原干旱区试验应用了“空气反循环钻进工艺”(以下称“空反工艺”)进行浅孔取样,验证了空反工艺的性能特点,试验证明,该工艺可有效解决上述区域样品采集问题。

1 空反工艺取样钻进基本工作原理

空反工艺取样钻进是将压缩空气作为冲洗介质,经高压胶管、气水龙头、双壁钻杆的环状通道,进入并通过连接在钻杆底部的潜孔锤,驱动潜孔锤锤体内的冲锤高频冲击钻头,钻头再击碎孔底岩石,同时钻机携带双壁钻杆低速回转,既不断转动钻头上的硬质合金至新的冲击点,又剥离被击碎的岩石脱离母体,再由压缩空气携带破碎的岩石(即岩样)通过钻杆中心孔道返回到地表,进入旋流器(即岩样收集器)中。压缩空气在通过潜孔锤钻头时分流,绝大部分进入钻杆中心孔道携带岩样返出地表,实现不停钻连续取心,少量经孔壁与钻杆环间隙,携

带少量岩屑和孔壁脱落的岩渣返至地表,以保持孔壁环状间隙清洁,见图1。

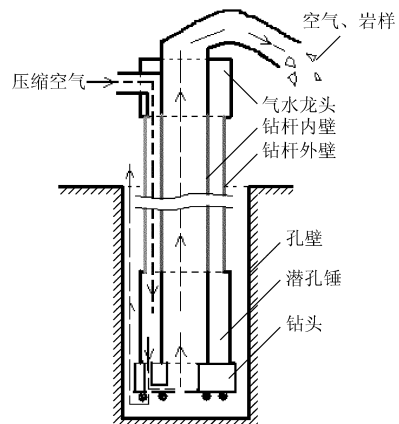


图1 空反工艺工作原理示意图

2 空反工艺的应用试验

2.1 工程基本情况

2011、2012年,我部在内蒙古东乌珠穆沁旗工作区试验采用空反工艺进行浅孔钻探取样。工作区位于草原腹地,有牧区道路通行,施工孔位地势较平坦,设备搬迁便利,施工场景见图2。试验区域地表强风化层厚度0~3m,以下为弱风化及完整基岩,岩性以硅化凝灰岩为主,硬度6级左右。

收稿日期:2014-05-19

作者简介:石立明(1968-),男(汉族),辽宁鞍山人,武警黄金指挥部高级工程师,探矿工程专业,从事探矿工程技术与管理工,北京市西城区红莲南路55号,shiliming1968@sohu.com。



图2 施工场景

TGQ-70L型履带自行式小型全液压顶驱式空气反循环钻机,见图3,主要性能参数为:钻进深度($\varnothing 89$ mm)70 m,钻孔倾角 $60^\circ \sim 90^\circ$,转速 $20 \sim 50$ r/min,给进力12.5 kN,起拔力25 kN,给进行程2.8 m,扭矩 $1500 \text{ N} \cdot \text{m}$,动力机功率35 kW,钻机质量3 t,行走方式为履带自行。



图3 TGQ-70L型全液压空气反循环钻机

本次试验目的:一是查验地质异常;二是通过试验掌握空气反循环钻探设备及工艺的使用方法;三是检验空反工艺在干旱缺水地区及生态环境脆弱地区用于地质勘探的适用性。试验共完成生产性任务500 m,施工钻孔17个,钻孔平均孔深29.4 m,施工钻孔倾角 70° ,达到了预期目的,施工情况见表1。

表1 试验施工情况统计

孔号	终孔深度/m	台班台时(纯钻及辅助)/h	台时内平均时效/m	最高时效/m	井故及潜孔锤故障时间/h
14QK1501	30	15.0	2.0	5.0	3.5
14QK1502	30	13.25	2.26	5.0	1.83
14QK1503	24	16.58	1.45	5.0	11.33
14QK1504	32	8.0	4.0	7.0	0.25
14QK1506	32	19.5	1.64	5.0	11.67
14QK1507	30	7.33	4.09	5.0	0.0
14QK1508	30	8.59	3.49	5.0	1.42
14QK1509	31	13.66	2.27	7.5	3.0
14QK1510	31	11.67	2.66	5.0	1.5
14QK1511	30	17.84	1.68	5.0	2.0
14QK3101	30	8.5	3.53	5.0	0.0
14QK3102	25	11.91	2.10	5.0	0.0
14QK3103	30	27.0	1.11	5.0	12.0
14QK3104	30	7.34	4.09	5.0	0.0
14QK3105	30	12.17	2.47	5.0	2.0
14QK3106	27	12.84	2.10	8.0	1.0
14QK3107	28	7.5	3.73	8.0	0.0
总计	500	218.68	平均2.63		51.5

2.2.2 空压机的选择

空压机制造压缩空气驱动潜孔锤工作,其风量、风压不但要满足潜孔锤需求,还要保证将孔内岩渣携带到地表,施工中还要考虑压缩空气在管路内的压力损耗。基于此,我们选购了阿特拉斯 XAVS500 型空压机(见图4)较好地满足了施工要求。该空压机主要性能参数:容积流量 $13.5 \text{ m}^3/\text{min}$,公称排气压力1.4 MPa,功率140 kW,质量2.5 t,行走方式为牵引。



图4 阿特拉斯 XAVS500 型空压机

2.2 施工设备材料的配套选择

主要设备材料包括:空气反循环钻机;空压机;双壁钻杆;潜孔锤;钻头;气水龙头、旋流器、高压风管、排渣管等。

2.2.1 空气反循环钻机的选择

空气反循环钻机的主要作用是加减钻压、升降钻具及携带钻杆回转。同回转钻进工艺相比,空反工艺采用的是冲击碎岩方式钻进,所需钻压较小,转速也较低,并且无绳索取心系统,钻杆夹持系统也相对简单,因此空气反循环钻机结构比较简单。根据工况需求,我部委托北京探矿工程研究所研制了

2.2.3 双壁钻杆的选择

现国内行业上双壁钻杆还没有统一的规格标准。对于顶驱式全液压空气反循环钻机来说,可以不使用主动钻杆,气水龙头直接安装在动力头上,双壁钻杆也直接连在动力头上的固定连接管上。钻杆定尺长度一般为3、4.5、6 m,也可专门定制;外管公称直径常用 $\varnothing 89$ 、 $\varnothing 108$ mm这2种口径,内管一般采用插接方式连接。选择什么规格的钻杆具体根据钻机性能参数、钻孔口径、钻孔设计深度而定。由于TGQ-

70L 型钻机桅杆给进行程只有 2.8 m,因此我们委托吉林大学专门订做了钻杆,主要技术参数为:外径 89 mm,内径 44 mm,定尺长度 2.5 m,质量 49 kg。

2.2.4 潜孔锤、钻头的选择

表 2 贯通式潜孔锤主要技术参数

贯通式潜孔锤规格	潜孔锤 外径/mm	贯通孔 直径/mm	钻头外径 /mm	潜孔锤 长度/mm	冲击功 /J	冲击频率 /Hz	耗气量 /($m^3 \cdot min^{-1}$)	潜孔锤压 力降/MPa	潜孔锤 质量/kg	活塞 质量/kg
GQ-108	108	38	112	1255	268	19	9	1.4	132	8.5
GQ-89	89	33	94	1250	160	18.8	5	1.4	84	4.9

选择钻头、潜孔锤时,要考虑与钻杆的级配问题。钻头、潜孔锤、钻杆的级配一般是:钻头硬质合金外刃直径大于钻头钢体外径 2~6 mm,钻头钢体外径大于潜孔锤外径 0~8 mm,潜孔锤外径大于钻杆外径 0~12 mm。级配大小要考虑两个方面,一是当空压机有较大的输出风量,那么孔壁间隙过风量相对也会较大,这种情况下级配可以大一些,反之小一些,主要是保证有足够的风量将孔壁间隙中的岩渣吹出;二是如地层完整,级配可大一些,反之小一些,主要是防止换径台阶处卡钻。钻头的出风(排渣)孔道位置有 2 种,一种在中心位置,只有 1 个孔道,这种形状钻头可取出较大块状岩样,称为“取心钻头”;另一种偏离中心位置,可有 1 个或 2 个以上孔道,取出的岩样粒度较小,称为“取样钻头”。此次试验,我们选择了吉林大学研制的贯通式潜孔锤及钻头。如图 5 所示,左为取样钻头,右为取心钻头。



图 5 钻头

2.3 钻进参数的

钻进参数包括钻压、转数、风量。在空反工艺中,钻压的作用是让钻头上的硬质合金紧紧压住岩石,进而通过硬质合金将潜孔锤的冲击能量传导到岩石内部,以震裂或震碎岩石,所以钻压较回转钻进低很多。回转的目的是一是剥离震碎的岩石脱离母体,以便被高压风携带到地表;二是转动钻头,将钻头上的硬质合金移到新的冲击点,所以转数较回转钻进也低很多。风量用于驱动潜孔锤工作,同时排

使用空反工艺施工,一般是两径成孔,因此我们选择了 2 种规格的贯通式潜孔锤及配套钻头,其主要技术参数见表 2。GQ-108 型潜孔锤及钻头用于开孔,GQ-89 型潜孔锤及钻头用于常规钻进。

渣。本次施工中,从开孔到正常钻进,根据岩石性质和硬度的变化选用不同的参数,见表 3。

表 3 钻进参数

孔深 /m	岩石性质	孔径 /mm	钻压 /kN	转速/($r \cdot min^{-1}$)	风量/($m^3 \cdot min^{-1}$)
0~3	覆盖土及风化岩	112	3	30	12
3~30	硅化凝灰岩,硬度 6 级,局部达 7 级,多数孔岩石致密,少数孔岩石节理发育,裂隙较多	92	5	30	9

3 施工主要技术措施

3.1 开孔后下入孔口井壁管

施工中,多数钻孔布置区域地表为破碎或松软的覆盖层,开孔后孔口会形成状似漏斗的孔洞,并随着钻进的持续孔洞会越来越大,即钻杆与孔壁间隙越来越大,随之风压越来越低,低到一定程度时岩渣无法被风量携带排出孔外,孔口岩渣也极易落入孔内,造成卡埋钻,因此,只要不是非常完整坚硬的裸露基岩,都要下入孔口管,保护孔口,见图 6、图 7;个别钻孔孔位地势较低,其地表覆盖层是一定厚度的黄土层,雨后土层中含水较多,类似泥状,冲击时易堵塞风道,这时可换用硬质合金单管钻进,穿过泥层后再使用空反工艺正常施工。

这次试验全部采用 $\varnothing 112$ mm 孔径开孔,钻进 3 m 左右就可见到完整基岩,而后下入 $\varnothing 108$ mm 铁质井壁管,其内径为 98 mm,这个内径可以顺利地通过



图 6 开孔后孔口状似漏斗



图7 下入孔口井壁管

Ø92 mm 钻头,并且可保证钻杆与井壁管间的风压在反吹时足以排出孔内岩渣。孔口井壁管下入后,将井壁管与孔壁间隙密封稳固。

3.2 常规钻进尽可能采用外径相同的钻杆、潜孔锤、钻头

常规钻进中,采用了 Ø89 mm 钻杆、Ø89 mm 潜孔锤,钢体 Ø89 mm 钻头,钻头硬质合金出刃外径为 92 mm,钻头、潜孔锤、钻杆外径一致,没有台阶,降低了台阶处卡钻的风险程度,即使卡钻,也易处理。

3.3 适时反吹钻孔

空反工艺钻进时,是内外层钻杆之间进气,内层钻杆中间出气;反吹时,将反吹接头接在 2 根钻杆之间,将内层钻杆中间封闭,让气流由外层钻杆与孔壁间隙中吹出,形成空气正循环,其目的是排出孔底、孔壁间岩渣,防止卡埋钻。正常钻进中,孔壁间隙会有一定的风量携带细小的岩屑、岩渣返到地表,这表明孔壁间畅通,不会卡埋钻,如孔壁间隙没有风量上

返地表,则说明岩粉或岩渣较多,堵住了间隙,时间一长极易卡钻,这时必须尽快反吹。实际施工中,我们一般每进尺 5 m 反吹一次,有时每进尺 2.5 m(即一根钻杆长度)也反吹一次,如钻进过程中孔壁间上返风量突然减小,也马上反吹。

3.4 含水地层尽量一次性完孔

施工中有 2 个孔发现上返的岩样潮湿,排渣管也有一些水,可以确定孔内有水,一般是下过雨后,雨水进入了岩层裂隙中。其中一个孔由于潜孔锤故障,当天没有完孔,第 2 天继续钻进时发现孔内积水,空压机风量不足以将积水排净,潜孔锤不能正常工作,提钻后发现潜孔锤里面堆满岩渣,钻杆外壁也粘附了很多岩渣,该钻孔无法继续施工,导致报废;另一钻孔当天完孔,没有出现事故。事后分析,裂隙水渗透慢,如钻进不停则裂隙水会随着岩渣排出地表,可以正常钻进,一旦停钻停风时间长,孔内积水,像我们选用的这种中小风量的空压机没有能力排出孔内积水,除非用大风量空压机强行排水。

4 常见问题与解决方法

从表 1 的施工情况统计可看出,每个孔的施工情况都有差别,原因是多方面的,有地层的原因,也有潜孔锤及钻头的原因,更有施工人员技术不熟练,不能提前做好预防工作,待问题出现后再处理,影响了施工效率。下面就各种常见问题分别进行分析,探讨解决方法,见表 4。

表4 施工常见问题及成因、解决方法

问题	成因	解决方法
潜孔锤工作正常,但进尺不正常	孔内积渣多,重复破碎;钻头磨损严重;冲击功小,不能破碎岩石	吹孔,清除积渣;增大孔壁间隙,并提高通风量;上钻,检查钻头;调整工艺设备性能参数,增大冲击功
潜孔锤工作不正常	锤体内进入岩渣,堵塞活塞;锤体内活塞润滑差;钻头与锤体间夹有岩渣;气压低,不能满足潜孔锤正常工作需要;岩层为软土层或泥层	提钻检查清理;在孔口处向通风道滴入润滑油;吹孔或上钻检查;提高通风管道密封度、减少送风管道距离、减少送风弯路等以降低风能损耗,提高供风量;换吹孔钻头或合金单管钻头
中心通道通风不正常	孔内积渣多,堵塞钻头通孔;钻杆中心有大块岩样卡住,堵塞通道;气水龙头鹅管处粘附过多岩屑,堵塞通道;孔内积水,形成泥渣,粘附、堵塞中心通道	吹孔;敲击震动钻杆,让岩块松动;上钻检查;更换小通孔钻头;卸开清理;上钻清理;提高供风量
孔壁间隙通风不正常	孔壁间隙小;供风量小;孔内积水,形成泥渣,粘附钻杆壁及孔壁上,致使孔壁间隙减小或堵塞孔壁间隙	加大管材匹配级差;增大供风量;上钻清理孔内积渣或增大供风量
卡钻	孔壁通风不正常,悬浮物卡钻;孔壁不稳定,掉块卡钻;上钻时,钻头台阶堆积岩屑过多,外径增大,挤压孔壁卡钻	减慢进尺速度,增加吹孔次数;增大孔壁间隙,提高孔壁通风量;间歇通风回转,上下窜动

5 空反工艺施工特点

通过本项目施工,我们总结了空反工艺有以下特点。

(1)不用水,无污染。其流通介质为取之不尽的空气,与以水为循环介质的回转钻进工艺相比,不但

适用于干旱地区,还避免了因泥浆带来的环境污染。

(2)占地面积小,迁移、钻进速度快。空气钻进钻机多为全液压钻机,行走方式为履带驱动或轮式拖曳,不使用占地较大的钻塔,移动便利;钻进效率 4 m/h 以上(钻进时效与潜孔锤冲击功、岩石硬度有很大关系),最高达 10 m/h,一般只是白天作业,有

效作业时间 > 10 h。

(3)连续取样,岩心采取率高。除加钻杆外,钻进一直是连续的,没有专门的取心过程,钻进中,岩样无论怎样破碎,都被压缩空气携带通过中心通道上返到地面,通过旋流器汇集到收集容器中,样品不丢失,见图8、图9。



图8 旋流器收集岩样



图9 岩样

(4)孔内事故少。由于钻压小,钻杆转数低,孔壁无流体扰动和冲蚀,连续钻进回次时间长,孔内事故的发生几率大幅度减少。

(5)钻孔轴向垂直度好。由于碎岩方式是以冲击为主,冲击应力波主要沿轴线作用于孔底岩石,不易产生径向分力,钻孔不易弯曲。

(6)钻进深度有限。受空压机的功率限制,通常钻进深度 < 300 m。

(7)施工时孔口有少量粉尘,反吹时粉尘大。正常钻进时孔壁间岩粉被吹到地表,孔口周围有少量粉尘;反吹时,粉尘都会从钻杆与孔壁间隙中吹出来,因此一定要做好人员的防尘工作,见图10。

(8)岩样不能确定具体层位。样品为粉粒碎块混杂,钻进中连续取样,所以不能像柱状岩心一样观察,也不能明确某个岩样在地层中的具体层位,采样及岩性描述只能针对地层中某一深度分段而言。

(9)遇泥质岩层及地下水较难施工。潜孔锤冲击钻进,利于钻进硬、脆、碎的岩层及干燥的砂质、土质岩层,较难钻进塑性强的泥质岩层;遇地下水



图10 反吹时孔口吹出大量粉尘

时,岩粉与水混合形成泥渣,粘附在钻杆及孔壁上,较难吹出,这时需要更大风量才能维持正常钻进。

(10)设备比较沉重,尤其是空压机,不易解体,在山地迁移较为不便。

6 结语

国内对空反工艺技术在地勘钻孔中的应用研究始于20世纪80年代,但至今使用该工艺的单位也不多,而且这些单位主要为国外的矿业公司服务,国内探矿行业也较少举办以空反工艺为主题的会议,可供借鉴的施工经验较少。目前各类材料的加工制造还没有形成系列,其中重点材料——潜孔锤、钻头、气水龙头,既有国外仿制品,也有自行研发的产品,规格型号还没有统一,产品质量和使用寿命还需在实践中不断检验完善,因此使用该工艺要根据实际情况合理选择设备器材。

空气工艺尽管有独特的优势,并且在2010年发布实施的《地质岩心钻探规程》(DZ/T0227-2010)中也有提及,但仍然没有在地勘工作中普及推广,究其原因除了行业需求较少外,还有一个重要原因就是地质取样、编录、化验等没有一定的规范可执行,限制了这种工艺的推广使用,所以希望国家有关部门应尽早制定相应的使用规范,促进探矿工程更加绿色、环保。

参考文献:

- [1] DZ/T0227-2010,地质岩心钻探规程[S].
- [2] 殷琨,王茂森,彭视明,等.冲击回转钻进[M].北京:地质出版社,2010.
- [3] 黄彦彬,余立明,靳双喜.河南省空气潜孔锤钻进技术的应用与发展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):37-39,48.
- [4] 张祖培,殷琨,蒋荣庆,等.岩土钻掘工程新技术[M].北京:地质出版社,2003.
- [5] 殷其雷,博坤,李忠.贯通式潜孔锤反循环钻进技术在复杂地层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):9-12.