

工程地质钻探复杂地层综合治理探讨

孙晓东

安徽省地质矿产勘查局 325 地质队 安徽淮北 235200

摘要: 复杂地层是指由于地表风化、水流搬运、地下水侵蚀、地质构造运动或岩石本身性质等原因形成的。在工程地质勘探中时常遇到不同的复杂地层,给钻探施工带来了一定难度,要满足地质要求,做好复杂地层的钻探施工,就必须对该复杂地层状况进行研究分析治理办法。

关键词: 工程地质钻探; 复杂地层; 综合治理

Discussion on comprehensive treatment of complex strata in engineering geological drilling

Xiaodong Sun

325 Geological Team, Anhui Bureau of Geology and Mineral Exploration, Huaibei 235200, Anhui, China

Abstract: Complex strata refer to formations that are formed due to surface weathering, water transport, groundwater erosion, tectonic movements, or the inherent properties of rocks. In geological exploration for engineering purposes, encountering different complex strata is common, which poses certain difficulties in drilling operations. In order to meet geological requirements and carry out drilling operations successfully in complex strata, it is necessary to conduct research, analysis, and develop appropriate management methods for such complex geological conditions.

Keywords: Engineering geological drilling; Complex strata; Comprehensive treatment

钻探是地质勘探的重要组成部分,现场钻探、钻探设备、工艺和技术的选择将直接影响钻探的持续时间和质量,因此所选技术和工艺必须足够先进,以确保现场信息的有效性。地质勘探中最常见的复杂地层基本为:钻孔漏水、涌水、地层破碎、坍塌、掉块、孔壁不稳定等。在钻进复杂地层时,如果措施不当,往往会造成孔内事故多,钻进效率低,钻孔

质量差,钻进成本高,甚至会出现不能继续钻进和造成钻孔报废的严重后果。

一、工程地质钻探复杂地层的分类

根据复杂地层的成因类型、性质和状态,及其在钻进过程中可能出现的复杂情况,复杂地层分类如表 1 所列。

表 1 复杂地层综合分类表

地层分类	成因类型	典型地层	复杂情况
各种盐类地层	水溶性地层	岩盐、钾盐、光卤石、芒硝、天然碱、石膏	钻孔超径、泥浆污染、孔壁掉块、坍塌
各类粘土、泥岩、页岩	水敏性地层(溶胀分散地层、水化剥落地层)	松散粘土层、各种泥岩、软页岩、有裂隙的硬页岩粘土胶结及水溶矿物胶结的地层	膨胀缩径、泥浆增稠、钻头泥包、孔壁表面剥落、甬解垮塌、超径
流沙、砂砾松散破碎地层	松散的孔隙性地层、风化裂隙发育地层、未胶结的构造破碎带	流沙层、砂砾石层、基岩风华层、断层破碎带	漏水、涌水、涌砂、孔壁垮塌、钻孔超径
裂隙地层	构造裂隙地层、成岩裂隙地层	节理、断层发育地层	漏水、涌水、掉块、坍塌
岩溶底层	溶隙地层	溶隙、溶洞发育的地层(石膏、石灰岩、白云岩、大理岩)	漏水、涌水、坍塌
高压油、气、水地层	封闭储油、气、水的孔隙地层、裂隙及溶隙地层	储油、气、水的背斜构造;逆掩断层的封闭构造	井喷及带来的一切不良后果

二、影响复杂地层钻探工作的相关因素

1. 钻探设备选型的影响

在复杂地层中钻探取岩芯时，影响岩芯钻探质量和进度的因素有很多种，其中钻探设备的质量好坏及设备型号的选择是影响复杂地层钻探施工的直接因素。如果钻探设备磨损严重或钻进效率偏低，当遇到复杂地层时很容易发生钻机转速，钻速、钻压等参数的匹配调整不到所需的要求，影响钻进效率和施工质量。钻探设备主要包括钻机、泥浆泵的型号，钻塔类型等，在复杂地层进行钻探工作时选择钻探设备要严格按照矿区地质岩石的可钻性，钻孔设计深度、倾角、钻孔结构、岩层变化特征以及钻机的钻进方法等。比如应尽量选择电动机动力机、正反一体化钻机等。在钻探施工过程中要严格执行《岩心钻探规程》中规定的钻探常用设备配套标准，注意钻探设备的保养和更换，保证钻机发挥最大工作效率，顺利钻穿复杂地层。

2. 冲洗液性能的影响

冲洗液在钻探施工中主要作用是冷却钻头、排除和携带岩粉、同时还具有保护孔壁（使用泥浆时）、润滑钻具、破碎岩石、作为孔底发动机动力等作用。但由于复杂地层地质结构的特殊性，在钻探施工中为预防各类钻探事故，确保钻探正常施工，普通冲洗液无法适应复杂地层，因此，冲洗液也是影响复杂地层岩心钻探质量的重要因素之一。冲洗液的性能主要包括失水量和造壁性能、触变性和静切力、粘度、密度、含沙量、胶体率等。在钻探施工中必须根据地层特点配置所需性能泥浆，并在使用过程中经常处理和调整，以保证钻探施工顺利进行。实践证明在复杂地层钻进时，采用泥浆作冲洗液不但能够冷却钻头，冲洗孔底岩粉，还能利用泥浆内部的结构强度悬浮岩粉，使得停泵时岩粉不致于很快沉入孔底。泥浆还能在孔壁上形成一层薄而坚韧的泥皮，减少钻具与孔壁的摩擦力，延长钻具使用寿命。在有裂隙和破碎地层中钻进，还可以堵漏，减少冲洗液的消耗量。泥浆液柱静压力大于清水，加上泥皮的保护作用，可大大减少孔壁坍塌掉块现象，从而有利于防止孔内事故，减少辅助时间，提高钻进效率。在涌水地层增加泥浆比重可以防止钻孔涌水，防止泥浆性能破坏，同时预防了各类钻孔事故。

坍塌掉块现象，从而有利于防止孔内事故，减少辅助时间，提高钻进效率。在涌水地层增加泥浆比重可以防止钻孔涌水，防止泥浆性能破坏，同时预防了各类钻孔事故。

三、复杂地层钻探技术现状

钻探施工本身就是看不见摸不着的地下隐蔽工程，地层复杂时会给钻探施工带来很大的挑战性。在复杂地层钻探施工，如果技术操作不当会造成严重的孔内事故，轻则耗费大量的人力、物力和时间，重则可直接造成钻孔报废。应对复杂地层的关键技术一是要选择好钻探设备，确保有足够的机械能力；二是要采用合理的钻孔结构与套管隔离相结合；三是要适合复杂地层的泥浆冲洗液体系，确保泥浆的护壁性能，防止钻孔坍塌或出现钻孔事故；四是规范的钻探操作方法，选择合理的配套钻具及适当的钻压和钻进速度。在复杂地层进行钻探施工，以上钻探技术可最大限度降低施工难度，缓解复杂地层影响。

四、工程地质钻探复杂地层施工操作要求

在复杂地层施工，不仅要根据施工现场的实际情况制定合理的施工计划，还要确保施工人员的专业技术能满足施工要求，要注意施工人员的思想教育，培养操作者在施工过程中严格按照《地质岩心钻探操作规程》工作的良好习惯，熟练掌握不同复杂地层的泥浆配制，以便及时顺利的钻穿复杂地层。

五、复杂地层的综合治理措施

1. 因地制宜选择钻探工艺

1.1 钻进方法的选择

通过对岩土层的类别、可钻性，研磨性的划分，在地质钻探过程中可以根据此三项指标来初步判定选择怎样的施工方法，在《地质岩心钻探规程》中做出了科学合理的复杂岩石层钻进方法选用的规定。见表 2

表 2 依据岩石钻进特性选择主要钻进方法

岩石特性	岩石硬度	软			中硬			硬			坚硬		
钻进方法	岩石可钻性级别	1-3			4-6			7-9			10-12		
	岩石研磨性	弱	弱	中	强	弱	中	强	弱	中	强		
	硬质合金钻进	●	●	●	●								
	表镶金刚石钻进			●	●	●	●						
	孕镶金刚石钻进				●	●	●	●	●	●	●		
	冲击回转硬质合金钻进		●	●	●	●							
	冲击回转金刚石钻进					●	●	●	●	●	●		
	聚晶、复合片钻进		●	●	●	●	●						
	空气潜孔锤钻进				●	●	●	●	●	●	●		

1.2 钻压与转速的选择

在钻探施工过程中选择合理的钻进压力和钻进转速也

是施工过程中及其重要的施工技术，通过总结与实验，《地质

《岩心钻探规程》中也规范了合理的钻进压力和回转转速，因篇幅原因，我们以常用金刚石钻头为例，见表 3、表 4。

表 3 金刚石钻进适用钻压 单位为千牛

钻头种类		钻头规格					
		A	B	N	H	P	S
表镶 钻头	初压力	0.5~1.0	1.0~2.0		2.5	3.0	3.5
	正常压力	3~6	4~7.5	6~10	8~11	10~13	11~14
镶钻头		4~7	4.5~8.5	6~11	8~15	12~17	14~19

表 4 绳索取信钻探适用钻速 单位为转每分

钻头规格	A	B	N	H	P	S
表镶钻头	400-800	300-650	300-500	220-450	170-350	140-300
孕镶钻头	600-1200	500-1000	400-800	350-700	250-500	200-400

2.严格按照实际情况，正确选择钻探设备和钻探工艺方法

考虑到复杂地层对钻探设备和钻探工艺方法的影响，要加强设备分析，结合实际施工条件，正确选择钻探设备，确保顺利施工，首先在钻探前，施工人员必须仔细研究现场地质特征，详细分析地质数据，施工现场地层结构复杂性，最后根据相关分析结果，选择最合理的钻探设备和钻探工艺方法。

3.治理易水化、缩径地层钻探的方法

在地质钻探中，高粘土水敏感地层更为常见。这些地层在遇到水后会膨胀、分散、掉落、坍塌，孔壁的稳定性难以保证，容易导致钻孔发生一系列的钻孔事故。孔壁缩径将增加钻具与孔壁之间的接触面积和摩擦，加速钻具磨损，影响正常钻孔速度，对于这些地层，根据以往的实践经验和研究结果通常采用：一使用低密度、低固相、低失水量的优质钻井液，尤其要控制使用失水量小于 5mL 和固相含量低于 10%的钻井液。使用重泥浆时一是要确保泥浆有一定的粘度，并且在循环泥浆时不要不停的活动钻具；二是提下钻具遇阻卡时，不得硬提，硬压，保证钻具能转动和能循环泥浆即可；三是要下井的新钻头和起出来的旧钻头及扶正器，均应严格认真地进行测量，并采取必要的技术措施。四是对起出来的旧钻头，外径磨损严重的，下入新的钻头受阻后，不得硬压，

表 5 不同地层泥浆性能要求

工艺	岩层性质	冲洗液类型	粘度	失水量	胶体率(%)	pH 值	含沙量(%)
普钻	稳定地层	低固相泥浆	20~25	<20	>98	8~10	<4
	坍塌、破碎水敏地层	低固相泥浆	25~28	<10	>98	9~10	<4
绳钻	稳定地层	无固相泥浆	18~22	<18	>98	8.5~10	<4
	坍塌、破碎水敏地层	低固相泥	25~35	<10	>98	8.5~11	<4

6.复杂地层及护壁要求分类表

(1) 地层分类：粘土质砂岩、粘土胶结层、软质凝灰岩等

要采取扩划眼，直到井底后方能恢复正常钻压钻进。

4.治理卵砾石地层钻进的方法

在含砾石地层中钻进，由于砾石和水泥硬度不均匀，钻头经常受到冲击损坏，钻杆断裂，导致严重疲劳磨损。此外，在钻进砾石时，砾石破碎形成更大的颗粒，形成重复破碎，增加钻孔内的残留物。当孔内残留物较多不能及时返出孔外，会造成钻具下不到孔底，钻具过度磨损，严重时会造成孔内卡钻事故，影响钻孔正常施工。为了解决上述问题，在施工中需要控制钻速，增加冲洗液粘度及排量，使孔内岩粉顺利排出孔外。

5.根据不同的地层特点和钻探工艺，配置相适应的泥浆性能

钻孔护壁是复杂地层岩芯钻探综合治理方法的重要组成部分，钻探泥浆的配置必须根据地层特点和钻探工艺选择相适应的钻井液。无论无固相泥浆还是低固相化学泥浆，其性能都要满足要求,比如比重、粘度、润滑性、失水量、酸碱度等。聚丙烯腈(PAN)、聚丙烯酰胺(PAM)、润滑剂、钠羧甲基纤维(Na-CMC)、植物胶、烧碱(NaOH)、膨润土等其掺入量都应控制在合理的范围内。当添加聚丙烯酰胺或聚丙烯腈时一定要预制其水解，加入氢氧化钠,控制其水解度在 30%左右。冲洗液配制时，稳定地层、易膨胀、坍塌易剥落的地层,其泥浆的性能要求各不相同,如表 5 和 6 所示

地质条件：岩石结构松散，孔隙度大，吸水性强

原因及特征：①地层吸水浸泡而松散，引起孔壁坍塌掉块②孔内岩粉增多③起下钻遇阻

护壁要求及措施：采用优质泥浆护壁，以降低失水量为主，防止孔壁坍塌，掉块

(2) 地层分类：流沙层、砂砾层、破碎带

地质条件：岩石结构松散

原因及特征：①孔壁不稳定②孔壁受钻具震动冲打，液柱压力小于地层压力时掉块、坍塌、岩粉增加③冲洗液渗漏④起下钻遇阻钻具下不到底

护壁要求及措施：①采用优质泥浆钻进，以防漏、防塌为，必要时泥浆增加粘度，加重处理②保持孔内液柱压力③适量增加泥浆上返量

地层分类：粘土层、粘土质页岩

地质条件：岩石松散，吸水后膨胀

原因及特征：①地层吸水膨胀后钻孔缩径②钻进中冲洗液不畅通③起下钻遇阻易卡钻

护壁要求及措施：采用优质泥浆护壁，以降失水、防粘土侵为主

(4) 地层分类：各种盐类地层

地质条件：盐类岩石矿物易溶于水

原因及特征：①地层遇水溶解后造成钻孔超径与掉块坍塌②泥浆受地层可溶物侵污使性能变坏

护壁要求及措施：①采用抗钙、抗盐泥浆护壁②钻进岩盐等地层采用饱和溶液护壁

(5) 地层分类：裂隙、溶洞及喀斯特地层

地质条件：石灰岩、白云岩、石膏层、岩盐等地层由于受地质构造地下水等影响形成裂隙孔隙溶洞等

原因及特征：①冲洗液漏失或严重漏失②钻进中钻具突

然下落③岩心出现变化，钻进有异常情况④伴有涌水和掉块现象

护壁要求及措施：①采用堵漏泥浆②粘土球及纤维堵漏物③采用速凝水泥及其它化学泥浆④穿过该地层后下套管隔离地层分类：

(6) 地层分类：承压水、气、油地层

地质条件：地层内部含有高压水、气、油等底层

原因及特征：地下承压层压力大于液柱压力、从钻孔内喷涌出来、引起孔壁坍塌、影响钻进

护壁要求及措施：①采用加重泥浆②保持孔内液柱③用套管隔离

六、结语

总之，随着我国钻探技术的不断发展，各种钻探技术不断改进和广泛应用，但这些技术远远落后于目前世界上最先进的技术，钻探施工中仍有许多问题需要解决，因此培训更多专业人员，以创新的方式开发和完善施工技术和最佳设备，解决不同复杂地层的钻探难题和关键点，充分运用各种手段和方法，确保钻探作业顺利进行。

参考文献：

- [1]任铁强.简述复杂地层地质钻探冲洗液研究与应用[J].世界有色金属,2022(11):211-213.
- [2]齐治虎,刘国卫.岩芯钻探中复杂地层的护孔工艺[J].西部探矿工程,2021,33(11):49-52+57.
- [3]马子龙.复杂地层钻探安全影响因素与防范对策[J].世界有色金属,2020(20):219-220.