

Comparison of the Differences between Field Engineering Geological Drilling Field Sampling Methods

Wujie Zheng

Fujian Monitoring Center of Geological Environment, Fuzhou
Email: zhengwujie@hotmail.com

Received: Jun. 10th, 2014; revised: Jul. 11th, 2014; accepted: Jul. 18th, 2014

Copyright © 2014 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

This paper describes that the engineering geological exploration drilling sampling method is the key in the reconnaissance of geological environment. Differences of the survey and drilling structural design, drilling method selection, drilling techniques and methods of operation and drilling technology are comprehensively compared, and drilling methods, techniques and technology advantages and disadvantages are analysed in detail. The drilling structure is optimized to improve drilling efficiency and reduce drilling costs. This paper provides an important theoretical basis for the sampling method in order to get coring samples for geological environment survey, hydrogeological investigations, and other mineral resources exploration, and to obtain basic parameters.

Keywords

Drilling, Drilling Structural Design, Drilling Techniques, Methods of Operation

野外工程地质钻探取样方法差异比较

郑武杰

福建省地质环境监测中心, 福州
Email: zhengwujie@hotmail.com

收稿日期：2014年6月10日；修回日期：2014年7月11日；录用日期：2014年7月18日

摘要

本文阐述了工程地质勘察钻探取样方法是地质环境勘察的关键环节。全面对比了勘察钻孔结构设计，钻进方法选择、钻探技术及操作方法和钻进工艺的差异性，详尽分析钻进方法、技术和工艺的优劣，最大程度地简化优化钻孔结构，以提高钻进效率和降低钻探成本。为地质环境勘察、水文地质调查、矿产资源勘查等地质调查取岩芯样，获得基础参数，提供了重要的取样方法理论依据。

关键词

钻探施工，钻孔结构设计，钻探技术，钻头工艺

1. 引言

工程地质钻探是一门工程科学，它是一种复杂、系统、科学专业生产活动[1]。工程钻探是地质找矿、地质勘探、水文地质的重要手段，其质量好坏直接影响到地质成果。工程钻探，是地质工程中不可或缺的重要环节，通过钻探来获取岩层数据信息，并辅以现场工程地质测试，从而为整个地质工程的各项力学、物理、化学参数建立数据库，为今后的施工工序制定，建筑物类型设计以及施工方法等提供数据，最终确保工程施工的顺利进行[2]。钻孔技术则是工程地质钻探的关键环节[3]。钻探工程应按钻探工艺进行施工[4]，本文根据地质设计和不同地层的岩石软硬度采用不同的工艺进行全面阐述，同时对在野外钻探过程中可钻性等级选择钻进方法、钻头结构类型、钻进技术参数等进行了对比介绍。

2. 钻孔结构设计

在实际施工作业中，既要考虑钻探的时效性，又要顾及经济性。在理想的条件下，要达到钻探施工成本和施工进度的最优化。因此在钻探工作开始之前，就需做出合理的钻孔结构设计。本文所指的钻孔结构设计，属于钻孔工艺范畴。流程上是以所钻区域岩层的物理力学性质、表面岩层厚度、水文地质条件、钻孔深度、终孔直径、所选钻进方法以及钻探设备等为依据，进行综合确定。对于稳定地层，应尽可能简化钻孔结构，减少换径次数。开孔穿过表面岩层或风化带钻入基岩 3~5 m，下入表层套管止水封固后，尽可能实现一径到底。在复杂地层，原则上应尽可能采用泥浆、水泥浆和化学浆液护壁堵漏，在保证钻孔质量和安全钻进的前提下，力争少换杆，少下或不下套管，最大限度地简化钻孔结构，以提高钻进效率和降低钻探成本。

3. 钻进方法选择

目前对地层的钻进方法主要有[5]：硬质合金钻进、钢粒钻进、牙轮钻进、金刚石钻进。这几种钻进方法各有优缺点和适应范围(见表 1)。

4. 钻探技术及操作方法

4.1. 钻进参数的调整

钻进中的钻进推力、转速和泵量，通常称之为钻进的“三要素”。合理调控这三个参数，就可以控

Table 1. Drilling method comparison
表 1. 钻进方法对比

钻进方法	优点	缺点
硬质合金钻进	钻头切削刀具是片状硬质合金, 适合钻凿 2~6 级的软质岩石	在 6 级以上的硬岩工况下, 不宜采用; 工效低, 钻机振动幅度大, 成孔质量差和综合钻孔成本高等缺陷
钢粒钻进	适应于中硬以上岩石	钻进效率低, 最高的纯钻速仅 50 mm/h, 功耗大, 每米钻孔的综合成本高
牙轮钻进	牙轮钻进对岩石硬度的适应范围广, 特别是适合软至中硬的粒径不大于 200 mm 的碎石土	成孔质量较差, 易塌孔、卡钻, 钻进需要有高的压力, 轻便钻机由于机塔自重小, 钻机难以给出很高的压力而效果不佳, 寿命只有 20~30 m, 且易掉轮, 难打捞, 易造成废孔
金刚石钻进	适合于 6 级以上的岩石。钻进效率高, 成孔质量好, 岩芯光滑完整, 且比任何其它钻进方法的取芯成功率高	对于坚硬、致密、易出现打滑的地层, 一般制造厂家采取改变钻头胎体的几何形状结构, 将钻头刃部做成锯齿状或单双块形状。这样的措施可能带来钻头使用寿命不长, 并且易出现碰损掉块等严重后果

制钻进状态, 取得良好的效果[6]。调控的主要依据是钻头对岩石的切入量, 其方便的度量办法是测量钻头每转的进尺量。钻头对岩石的切入量直接影响着孔底工作状态、孔底的功率消耗和金刚石、胎体的工作条件等。总之, 钻头钻进时的切入量是钻进工艺的一个关键参数, 调控钻进的效果好坏依此而定。

如何合理的用好金刚石钻头, 获得最优效益[7]。通常我们对其钻进的要求为定钻速钻进, 可通过随时调节钻压和转速来获得。这是因为在岩石性质和所选用的钻头品质确定以后, 即存在一个最优钻进速度。控制钻进的中心环节是通过调控钻压和转速达到优化钻进, 即控制其每转切入量, 使系统保持一个基本恒定的钻进速度。也就是说, 金刚石钻头不宜采用恒压钻进。钻压过大, 会造成钻头过量消耗, 降低钻头使用寿命; 钻压过小, 会使钻头刃口很快抛光而无法钻进。金刚石钻进在理论上讲[8], 必须采用控制每转切入量的钻进工艺, 钻压随切入量的需要而变, 即要求操作者随时观察钻进速度的变化, 及时调整钻压和转速, 使系统始终保持一个最优的, 量值上基本恒定的速度。

4.2. 常用的钻探操作技术

根据野外钻探的实际经验, 以下钻进技术为关键环节:

1) 钻进过程中, 提动钻具次数不宜过频、过高, 否则会造成岩芯破坏, 岩芯脱出岩芯管。当岩芯掉入孔底后, 引起岩芯堵塞, 会造成重复破碎或自磨, 降低岩芯采取率和品质, 也造成钻头进尺寿命减少。遇到地层较为破碎和取芯困难时, 应尽量降低泵量, 最小可降到 20 L/min, 只要孔内不断流, 就不会烧坏钻头。

2) 钻进破碎夹层、薄砂层或夹泥层时, 最好钻穿该夹层并进入到稳定岩层 10 cm 以上, 然后在提钻, 以避免岩芯脱落。如果破碎层、夹层较厚, 一个回次钻不穿时, 回次末应停泵钻进 10 cm 以上, 使其通过岩浆的自然堵塞后再提钻。在复杂地层中, 提升钻具不宜过快, 并随时向孔内泵送冲洗液, 防止抽汲作用导致垮孔, 保障孔壁稳定。

3) 下钻遇阻、轻转无效, 或岩芯堵塞、提钻骤降, 或发现钻探“打滑”, 均应提钻检查。下钻前要配好机上余尺, 在回次钻进过程中, 不得将钻具提离孔底加长钻杆。卡盘卡好主动钻杆后, 用液压缸顶起钻具离开孔底少许, 再合好离合器进行慢放钻进, 否则将造成钻头的不正常磨损。再钻进中如需要倒杆时, 应将钢丝绳拉直, 离合器必须离开, 待钻机停止转动后再倒杆。保持孔底干净, 才能提高取芯质量, 增加回次进尺, 提高钻头寿命。不得用金刚石钻头扫残留岩芯、合金掉块、探头石等。

4) 施工孔深 1000 m 以浅的钻孔, 采用 75 mm 金刚石钻头钻进, 下入 73 mm 技术套管, 改用 56 mm

金刚石钻头钻进一径到底。孔深 1000 m 以深的钻孔，从钻探力学和震动力学角度分析，适合采用小口径金刚石钻进工艺，钻孔结构越简单越好，尽量减少换径次数。

另外可分为：第一、岩心钻，岩心钻是进行矿床勘探的过程中用来了解矿体深部地质情况和水文参数的重要工程手段之一。岩心钻技术应用范围非常广与不受条件限制，无论在山区或平地，或是矿种或矿床有多复杂，人们经常采用岩心钻技术来了解矿床规模或矿体向地下深部的延伸情况。因此，通过在钻探中钻机所获取的岩心及岩粉，就能够详细地研究被钻孔所穿的地质地貌。在实际操作做，共岩心采取率应大于 60%~70%；对于矿体倾角较大的情况，则要求采用倾斜钻孔，而对于矿体倾角较平缓时，一般采用垂直钻孔，从而提高工程地质钻孔技术水平。第二、浅钻，在实际施工中，其实浅钻的用途与浅井相似，通常是在涌水量比较大时用来代替浅井。因此，浅钻主要是用来勘探埋藏不深的矿床，或者是那些不必要采用深钻技术的矿井。浅钻技术操作较简单，成本低，孔浅，设备容易搬动，能够容易地获取近地表部分的矿体数据，并可以代替浅井。浅钻技术的种类很多，多半是自行安装在汽车上，但钻进岩石的硬度有一定的限制，不宜太大。第三、地下钻，一般情况下，我们将在水平坑道中钻进的岩心钻称地下钻，也称为坑内钻。地下钻技术操作比较复杂，成本高，况且适应范围较。但是，对于许多矿体产状复杂的矿床或者地质条件比较多变的矿井进行详细勘探或生产勘探时，容易得出精确的地质数据，并且效率也比较高。

5. 钻进工艺

5.1. 冲击钻进工艺

从钻进工艺方面看，操作技术不当，会招致孔内复杂情况的发生和发展[9]。钻进时，经常要回转钻具、升降钻具，冲洗液循环洗井时开泵、停泵等，都会造成孔内压力的波动，影响孔内压力平衡。因为在钻进时，冲洗液由静止到流动或由流动到静止的变化，水泵往复运动的不均匀性，特别是小口径金刚石钻进升降钻具所引起的抽吸力、高压及冲洗液的不均匀流动等，都是造成孔内压力变化的因素[10]。

钻进过程中，压力波动是钻进过程中不可避免的，易导致漏失、坍塌或井喷。使用泥浆洗井，开泵时泥浆由静止到流动时，又从裂缝中流出来，使坍塌岩层，倾角大的岩层变得极不稳定，停泵时，泥浆继续从孔口流出，因而液柱压力会短暂地低于静止条件下的数值，引起高压地层中的介质浸入泥浆，甚至坍塌。提升钻具时，孔内泥浆量减少，也是一种压力波动，也会造成水浸或孔壁坍塌的后果。下降钻具时钻速过大，会使孔内压力瞬时剧增而导致漏失[11]。采用高速井升降钻具易造成漏失与井喷引起严重的压力波动。泥浆质量不好，泥皮过厚，泵量不足等均能引起钻头泥包现象，升降钻具时更容易引起压力波动而造成坍塌或漏失事故。根据野外现场钻孔经验：钻孔愈深，压力波动愈大；当孔深一定时，升降钻具速度愈快，钻具与孔壁间隙愈小，泥浆粘度与切力愈大，则压力波动也愈大，且下降钻具时较提升钻具时的压力波动值大；切力较粘度的影响大。

冲击钻进是利用一定重量的冲击钻头在岩层中卵砾石、漂石层反复冲击，以打碎和挤动岩石、卵砾石、漂石，冲击过程中将大部分硬颗粒岩石挤入较软的地层中去，而另一部分悬浮在井底泥浆中，用抽筒或其他方法排至地面。该方法有较大冲击力，对钻进卵石层效用明显。CJF-15 型冲击反循环钻机、YCZF-20、YCZF-25 液压油缸双绳冲击、冲击频率和行程可调节的冲击反循环钻机，其冲锤重量最大可达 8 吨，既保持冲击功能又能边冲击边通过反循环排渣，提高钻孔速度，降低成本。其缺点是成孔不规范，扩孔率大，对周边建筑物有影响，护壁措施不当易引起塌孔。

1) 冲击钻进影响钻进效率的因素有：钻头型式、钻头重量、岩石、卵砾石、漂石的硬度，或致密程度、钻头的落程、冲击频率。为使孔底破碎均匀，在下入钻头时，在孔口用人工转动钻头几周，下至孔

底可边冲击边转动，冲击钻进适用于松散卵砾石层，钻进中就需护壁，通常采用泥浆钻进既可护壁，又可将孔底岩渣悬浮起，以利于钻头冲击及排渣。

2) 排渣的方法有三种形式：捞砂筒排渣：即利用下口为活塞抽筒，下入孔底掏取岩渣即冲击一段时间将钻头提出，利用卷扬机将抽筒下到孔底，多次提升将孔底岩渣及浓浆排至地面。此法可将孔底较大岩渣及小卵砾石排至地面，但反复抽提占用时间较长。正循环冲洗法：是将送浆管固定在冲击钻头上，边冲击边通过泥泵向孔底供泥浆，这种方法虽然可以造成井筒内泥浆上升溢出口孔，但由于孔径大，截面积大，泥浆上返的速度小，不能将岩渣排至地面，不过可以和掏筒法合用，起到更换孔底泥浆的作用。反循环除渣[12]：冲击反循环破碎入岩工艺是利用冲击钻头对岩石进行较高频率的冲击，使岩石产生破碎，然后利用反循环排渣方式及时将破碎岩屑第一时间排出孔外。冲击钻头由两根钢绳吊在其上端圆周上，频繁吊起、放下钻头，泥浆管从钻头中心插入孔底吸走孔底的泥浆和岩渣，无论起、下钻都非常方便，缩短了辅助时间，孔底干净，重复破碎少，钻进效率高[13]。

5.2. 冲击钻进机具

冲击反循环钻头是冲击钻进的主要工具，其结构的合理与否直接影响到钻进效率和质量，目前我国所用冲击钻头多为阶梯式，冲击钻头的破岩刀刃为耐磨钢铸造或由耐磨材料焊成。在冲击钻进过程中，孔内泥浆的压力，是确保孔壁稳定正常钻进基本条件；在钻进过程中吸渣量应根据钻进地层和情况而定，过量吸渣而又补浆不及时，容易造成孔壁失稳塌孔，发生埋钻事故。在冲击过程中，经常检查钢丝绳的磨损情况以及转向装置的灵活性和连接的牢固性，以防钢丝绳磨断或因转向不灵而扭断，发生掉钻事故。根据地质情况，提钻时要经常检查钻头的磨损量，钻头在石英含量高的砂卵石和基岩中磨损严重，进行修补会增加了修补钻头的辅助时间，降低了纯钻进冲击时间。在提升钻头时，尤其是在快到护筒底部时，要将钻头慢慢提起，防止碰撞孔口护筒以免造成护筒底部坍孔或护筒错位或变形事故[14]。

5.2.1. 回转钻进工艺及机具

回转钻进法钻孔：实际上是用转盘钻机或动力头钻机带动钻杆和钻头回转钻进，用机械方法进行破碎岩石，泥浆固壁，正循环或反循环排渣，具有机械化程度高，生产安全，施工周期短，能克服各种复杂地层，同时具有造价低等特点。回转钻进法从上世纪 80 年代起有较大的应用和发展，泥浆介质从钻杆与孔壁间流到孔底，携带岩屑的泥浆经钻杆中心孔流到地面的钻进方法，称为反循环钻进；泥浆介质经钻杆内孔送入孔底，携带岩屑沿钻杆外与孔壁的环状空间返回地面的钻进方法，称为反循环钻进；反循环钻进的液(气)流上返速度快(大于 2 m/s)，携带岩粉能力强，孔底被破碎的岩渣可以及时排出，迅速返到地表。

5.2.2. 泵吸反循环钻进工艺

我国目前按排渣介质循环的方法分为泵吸、气举、射流和泵压反循环钻进四种基本类型。泵吸反循环钻进工艺，利用水泵的抽吸作用，使钻杆内孔中的液体上升的反循环钻进。泵的吸水口通过回水管、水龙头，与钻杆柱相连通。当泵工作时，其进水口处形成负压，钻孔内的液体在大气压作用下经钻头携带岩屑沿钻杆内腔上升，通过水龙头和回水管，从泵中排出至沉淀池。沉淀后的流体以自流方式经钻孔孔口流入孔内，形成循环。泵吸反循环一般使用砂石泵，由于泵的吸程有限，钻进深度通常不超过 70 m[15]。

5.2.3. 气举反循环钻进工艺

利用空气升液器原理，使钻杆内部液体上升的反循环钻进，又称压气反循环钻进。压缩空气经供气管路进入钻孔内一定深度处的气水混合器，与钻杆内腔中的冲洗液混合，形成密度小于钻杆外液体的气

液混合物,使得钻杆内外产生压力差。钻杆内部的气液混合物在此压力差作用下挟带岩屑沿钻杆内腔上升。气液混合物上返速度快,孔底清渣干净,但在孔深 10 m 以内时不适用[16]。

5.2.4. 射流反循环钻进工艺

利用安装在循环管路中的射流泵,使钻杆内部液体上升的反循环钻进,又称喷射反循环钻进。一般将射流泵安装在地表上,钻进时用高扬程离心泵向射流泵输入高能工作液体,在钻杆内形成负压,使钻杆内部的冲洗液挟带岩屑沿钻杆上升。射流反循环钻进适用于浅孔[17]。

5.2.5. 泵举反循环钻进

在大口径工程施工钻探中,将潜水泵放在钻头上部或钻孔中部,边回转边压送泥浆液体,称泵举反循环钻[18]。

5.2.6. 反循环施工工艺

反循环施工法,是用 0.02 MPa 的静水压护壁钻进的,应严防钻进中孔内不坍塌、不孔斜等事故。充分重视施工现场地质柱状图,需清楚掌握地质柱状图及真实性[19]。搞清水文地质环境,地下水位置、水压、流向等变化情况不详,钻孔时造成塌孔。靠近河流、湖泊、海边等地理位置,地下水位易受到枯季、汛期、海潮等影响[20],钻井内的 2 m 水柱不应受上述因素影响。对于砂、砾松软的各种地层的地下水层,均要下护筒护壁,其深度需超过地下水位。严格泥浆管理,根据不同的地层,要配置不同比重、粘度的泥浆,是护壁的关键。对于砂和砂砾等容易坍塌孔地层,泥浆比重须保持大于 1.05[21]。孔内的泥浆流速,由于是无套管钻进,因此当孔内泥浆下降的速度过快,必会影响泥浆造壁而造成坍孔。钻孔直径较小时还应注意,钻杆接头部分外径较大而造成此处的局部下降流速偏高。要严格按图纸技术要求检查钻杆、钻头、钻具,并组成合理的钻具级配,防止钻进中钻具的振动而造成的塌孔和孔斜。防止孔口附近的地面上,由于施工的重型设备的重量和工作时产生的振动造成塌孔。防止下钢筋笼时,钢筋插入孔壁破坏孔壁,出现坍孔现象。

在反循环施工中,应防止孔斜,造成孔斜的三种因素:机械因素、地质因素、施工技术因素。机械因素造成孔斜的原因及防止措施如下:转盘式钻机本身无钻塔导向,主动方钻杆在钻进时容易摆动,影响孔的垂直精度,为防止方钻杆振摆,可采用带导向钻塔,可避免振摆,同时易控制钻压和给进速度,进而提高钻孔垂直精度。由于钻杆本身弯曲,或接头平面与轴线不垂直等不符合技术要求及钻杆连接刚度不足,造成钻杆振摆或钻具弯曲,影响孔垂直度,须对钻杆进行严格检查。深孔钻进或硬岩钻进时,影响垂直精度的最大原因是钻头摆动。钻具合理级配,也是影响钻孔的垂直度的重要原因。反循环钻机是利用钻具重量获得钻压,因此加压钻具重心要设置的较低。

地质、地层因素,是影响垂直精度的重要因素,在砾石、卵石、漂石及其它障碍物多的回填土地层、地层或硬度变化大的不均质硬地层、有裂隙或倾斜走向的较硬地层施工时,要选用回转扭矩较大、导向性和稳定性好的钻机,使用刚性较大的钻具。

人为技术因素,施工技术不当也易造成孔斜,合理的选择钻进方式、钻进参数、设备安装方法等是相当重要的。在钻进方法上多以减压钻进为主,钻压要根据地质条件和钻头形状而定,钻头钻压应靠接头、钻铤、下部稳定器、钻头等的重量而获得,加压重量的重心要尽量低。钻头转速的选择,不仅考虑到地层情况而且还要使方钻杆或动力头不发生振摆。在设备安装和悬吊钻具方法上也都要严格检查是否符合要求,考虑是否周全。如与水龙头相接的排渣软管,在钻进时由于排渣软管内充满泥浆后重量增加,使方钻杆发生倾斜,或滑轨间隙较大的动力头产生偏斜而造成孔斜。这种现象在孔浅、钻具重量轻时影响最大,而造成孔斜的机率也最多[22]。

5.3. 反循环施工法的优缺点

优点：反循环施工中用静水压力护壁，不用下套管护壁。由于反循环方式是连续排渣，有利于深孔大直径钻进；反循环方式排渣效率高，切削下来的岩屑可以及时排出，避免重复破碎，甚至一些卵石不经破碎，可直接排出孔外。所以既可节省钻头、又提高钻进效率；反循环方法适合水上作业，不用像贝诺特施工法要起拔套管，水上施工时，只要简单的工作平台或用施工作业船即可，是一种低噪音、无振动施工法，噪音一般在 30 m 以外不超过 70 分贝。取样及时且采取率高，有利于准确判断地层；在含水层中钻进时，可避免泥浆对孔壁的堵塞，能保持地层原有的自然渗透率，反循环钻进可使用滚刀、牙轮和刮刀钻头等各种不同碎岩工具，其冲洗介质可以是清水、泥浆或空气。可钻进垂直孔、倾斜孔或水平孔，可钻进各类地层[23]。

缺点：钻头吸入口直径一般是 150~200 mm，如果施工地层有接近吸入口直径的卵石(卵石直径为吸入口直径的 70%~80%时)，容易堵塞吸入口，效率大大降低，甚至不能工作，对这样的地层不宜用反循环施工；当地层中地下水的压力较高或有潜流、胶结差的砾石层时，易出现塌孔，施工困难，仍需要下一定深度的套管护壁；由于土层不同，钻进时孔径将扩大 10%~20%左右，加大了混泥土的用量，提高了桩的成本[24]；泥浆处理，在施工中必须使用大量的泥浆，因而存在着泥浆的污染问题，尤其在城市施工更为突出，使用完的泥浆不允许随意倾倒，必须进行处理，而处理费用较高，提高了成本。

6. 小结

在地质工程钻探中，才用专业的钻探设备向地下钻成的深度较大、直径较小的柱状圆孔，称为钻孔。一般情况下，钻孔深度和直径的大小往往取决于钻孔的用途和地质情况。钻孔就是为了获取矿心、岩心、液、气态样品和岩屑等第一手地下地质实物资料，以便于施工人员观测地下水层水文地质动态和制度开采地热、地下水、油气等矿产资源的依据。目前，钻孔技术已经广泛应用于许多部门，并呈现出其诱人的应用前景。主要体现在：钻探水井，以便于人们开采地下水资源，为农业、工业、国防及人们生活用水的开发提供可靠的水文地质资料数据，降低地下水资源的开采成本；工程基础施工钻孔，勘探工程施工现场地质条件，让施工人员更详细地了解地下溶解岩盐、水文、地质等参数，为加固处理建筑工程基础提供保障；在采矿或隧道等工程施工中，往往辅助钻孔施工，因为，通过钻孔施工能够很好地满足探水、排水、冻结、探气、通讯安装管线、爆破以及运输等施工要求，极大地提高工程施工效率；用于了解地质构造与地质地貌，实现地质普查或勘探钻孔，从而便于找矿或探明矿产储量。

基金项目

国土资源部公益性行业科研专项(201111020-2)。

参考文献 (References)

- [1] 彭旭东 (2013) 地质岩心钻探泥浆专家系统研究与设计. 硕士论文, 成都理工大学, 成都, 47-49.
- [2] 段鸿海, 胡春跃 (2011) 承德 M24 矿区深孔钻探钻进参数的选择分析. *探矿工程: 岩土钻掘工程*, **3**, 17-20.
- [3] 李绍昆 (2011) 钻探技术发展探析. *现代商贸工业*, **12**, 286-286.
- [4] 师莉荣 (2013) 地质钻探行业安全生产标准化规范的研究. 博士论文, 中国地质大学(北京), 北京.
- [5] 李凯 (2013) 地质钻探技术与应用研究. *房地产导刊*, **9**, 39-41.
- [6] 王荣杰 (2013) 岩土工程勘察中对钻探工艺的研究. *黑龙江科技信息*, **8**, 261-261.
- [7] 齐振洪, 郭宏伟, 杨智华 (2011) 地质钻探工艺技术分析探讨. *中国科技博览*, **36**, 533-533.
- [8] 邓梦春, 陆生林, 殷琨, 黄晟辉 (2013) 地质勘探空气反循环钻进技术找矿效果示范应用研究. *探矿工程: 岩土*

钻掘工程, 3, 1-6.

- [9] 杨良水 (2011) 地质钻探工艺技术探讨. *江西建材*, 2, 274-276.
- [10] 祝效华, 汤历平, 童华 (2012) 高频扭转冲击钻进的减振与提速机理研究. *振动与冲击*, 20, 75-78.
- [11] 徐礼新, 徐荣城 (2011) 阐述工程地质钻探工作中如何提高岩芯采取率. *科技与生活*, 10, 159.
- [12] 刘灿铭 (2010) 国内破碎复杂地层钻进技术的研究现状与展望. *甘肃科技*, 14, 78-80.
- [13] 刘睦峰, 彭振斌, 王建军, 彭文祥 (2010) 砂卵石层泥浆护壁与旋挖钻进工艺. *中南大学学报: 自然科学版*, 1, 265-271.
- [14] 刘家荣 (2010) 复杂地层桩孔钻进工艺及机具研究. 博士论文, 中国地质大学, 北京.
- [15] 程景春 (2012) 泵吸反循环钻进钻孔灌注桩常见病害的成因及防治. *甘肃科技*, 5, 121-123.
- [16] 张文庆 (2014) 气举反循环钻进工艺选用原则及建议. *西部探矿工程*, 2, 46-48.
- [17] 李锋 (2013) 空气反循环连续取样钻探技术在新疆乌什磷钒矿区的应用. *探矿工程: 岩土钻掘工程*, 5, 23-25.
- [18] 周曙春, 杜坤乾, 谢军 (2011) 正循环钻进, 气举反循环清孔工艺施工应用. *岩土工程学报*, S2, 166-168.
- [19] 赵志强, 殷琨, 博坤, 殷其雷, 张五钊 (2013) 大直径气力反循环钻头结构参数数值模拟与优化. *中南大学学报 (自然科学版)*, 10, 4264-4272.
- [20] 张学仁, 李军 (2011) 气举反循环冲击钻进技术的探讨. *中国水利学会地基与基础工程专业委员会第十一次全国学术技术研讨会论文集*.
- [21] 闫心鹏 (2013) 深基坑降水方案与施工工艺. *建筑技术*, 3, 233-235.
- [22] 温姝静 (2011) 试谈如何提高金刚石钻进的效率. *西部探矿工程*, 4, 69-72.
- [23] 李福来 (2011) 浅谈钻头地选型及分类法. *中国石油和化工标准与质量*, 9, 84.
- [24] 王红波, 刘娇鹏, 鲁鹏飞, 舒尚文 (2011) PDC 钻头发展与应用概况. *金刚石与磨料磨具工程*, 4, 74-78.