

新疆冲洪积卵砾石地层岩土工程勘察 钻探技术发展回顾

刘学军

(新疆建筑科学研究院(有限责任公司),新疆乌鲁木齐 830002)

摘要:冲洪积卵砾石层是新疆岩土工程勘察的主要地层,通过对近30年来冲洪积卵砾石层工程钻探的技术总结,对孔底局部反循环取心钻进、取心钻具回转钻进、牙轮钻具全面钻进、潜孔锤全面钻进等几种主要的钻探工艺技术要点进行了总结归纳,并评述了各钻进工艺的优缺点,尤其对市场竞争环境下卵砾石层钻进工艺做出了对比分析,提出了钻探技术发展的方向。

关键词:冲洪积卵砾石地层;岩土工程勘察;钻探技术;钻进工艺

中图分类号:P634;TU41 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0137-06

Development and discussion of drilling technology for geotechnical engineering investigation of alluvial-proluvial gravel stratum in Xinjiang

LIU Xuejun

(Xinjiang Institute of Building Sciences (Co., Ltd.), Urumqi Xinjiang 830002, China)

Abstract: Alluvial-proluvial gravel is the main formation of geotechnical investigation in Xinjiang. With description of alluvial-proluvial gravel drilling technology over the past three-decade, the key technical points of various drilling processes are summarized, and the advantages and disadvantages of the drilling process are reviewed. Particularly, analysis and comparison of gravel drilling processes is conducted in the market competition environment with the development direction of drilling technology put forward.

Key words: alluvial-proluvial gravel; geotechnical engineering investigation; drilling technology; drilling process

0 引言

新疆位于亚欧大陆腹地,形成了著名的“三山夹两盆”的地形地貌,发源于高山的内陆河流,由山区向盆地中央流动。在山前形成了大规模粗粒土沉积地层,主要由冲洪积扇和冲洪积平原组成。

目前,新疆的近80%主要经济活跃区,50%以上的重点建设项目,位于粗粒平原上,粗粒平原巨厚的卵砾石层,成为新疆岩土工程勘察的主要地层。作为勘察主要手段的钻探技术,在很大程度上成为制约岩土工程勘察质量、进度、成本的重要因素。

20世纪90年代以来,新疆从事岩土工程勘察和工程钻探的技术人员,对卵砾石层钻探技术和钻进工艺进行了探索和研究,在满足基本技术需要和市场竞争的条件下,形成了较成熟的一套钻探技术体系。

1 工程特点及岩土工程勘察钻探要求

1.1 工程特点

(1)河流流程短,自出山口后呈面流方式向下径流,除少数大河外,大部分河流均在出山口后

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.021

作者简介:刘学军,男,汉族,1970年生,教授级高级工程师,首席专家,勘测岩土事业部副总经理,主要从事岩土工程方面的生产和科研工作,新疆乌鲁木齐市天山区红山路768号,625184594@qq.com。

引用格式:刘学军.新疆冲洪积卵砾石地层岩土工程勘察钻探技术发展回顾[J].钻探工程,2021,48(S1):137-142.

LIU Xuejun. Development and discussion of drilling technology for geotechnical engineering investigation of alluvial-proluvial gravel stratum in Xinjiang[J]. Drilling Engineering, 2021,48(S1):137-142.

100~150 km内消失于盆地中央沙漠中。造成沉积环境剧烈,卵砾石层搬运距离短,基本沉积在从山口至40~50 km范围内。

(2)受搬运距离短,沉积范围集中的影响,卵砾石粒径自上游而下逐渐变细,由山口附近的漂石、巨砾为主,过渡到冲洪积扇的卵石、碎石为主,至冲洪积平原以圆砾、角砾为主。

(3)地层级配良好,一般不缺失中间粒径,颗粒分析曲线平整光滑。磨圆度自上游向下逐渐变好,由棱角状、次棱角状磨圆到次圆状、浑圆状。

(4)沉积厚度大,在山前粗粒平原范围内均呈巨厚层状分布,厚度一般在十几米至数百米,层位稳定,密实程度从松散到密实均有分布,但常分布有厚度不等的夹层。

(5)力学性质良好,其颗粒组成和磨圆程度对力学指标影响不大。但在城市建成区及其周边,受上部填土和软弱夹层影响较大。

新疆地区代表性冲洪积卵砾石层颗粒级配见表1。

1.2 岩土工程勘察工程钻探的要求

(1)钻孔深度浅,一般在20~50 m之间,对地层

表1 新疆地区代表性冲洪积卵砾石层颗粒级配^[1]

颗粒粒径/mm	≥100	50~100	20~50	≤20
占总质量百分比/%	15~30	10~40	30~60	≤20

划分精度要求较高,要求岩土分层深度的量测精度,不应低于±5 cm。

(2)岩土工程勘察,主要是为拟建工程提供地基基础方案,除关注按照组成物质进行地质分层外,更关注岩土的物理力学性质,即要求进行必要的力学分层。

(3)为满足岩土工程勘察的相关要求,工程钻探除进行岩心采取外,还需进行试验土样的采取,进行必要的原位测试工作,对钻探质量提出了相应要求。

(4)岩土工程勘察现场勘探工作主要在城市及其周边进行,随着城市管理要求和环境保护要求的日益提高,对钻探现场的安全管理和环境保护提出了新的要求,尤其是安全管控和泥浆使用等。

(5)工程建设领域是全行业、全领域处于完全市场竞争的行业,岩土工程勘察工作也处于完全竞争的市场环境中。市场完全开放,竞争激烈,对成本、工期等因素敏感性极高,因此对钻探价格和钻探效率要求极高,见表2。

表2 现行岩土工程国家和行业标准对卵砾石层钻探技术要求^[2-3]

质量指标	钻孔孔径/mm	岩心采取率/%	取样或原位测试间距/m	取样要求	原位测试要求
技术要求	≥91	≥50	≤2.0	满足筛分试验要求	可进行动力触探和孔中波速测试
备注	应大于取土器或原位测试探头直径	根据勘察要求确定	①每2.0 m采取鉴别土样一件;②每2.0 m进行1次圆锥动力触探试验	要求土样不受各类泥浆污染	①孔底干净,无过多残留物;②孔壁稳定,探头可顺利上下

2 钻探技术发展回顾

新疆大规模基础设施和城市建设于20世纪90年代初开始,原来使用的以人工探井为主要手段的岩土工程现场勘探已不能满足要求。但在采用工程钻探为主要手段,进行冲洪积卵砾石层勘察时,遇到了以下技术难点:

(1)冲洪积卵砾石层密实程度不一,受钻具在孔中扰动影响,造成孔壁不稳定,孔内卡、埋钻事故多,纯钻时间利用率低;

(2)孔底重复破碎多,造成钻进效率低,钻具损耗大;

(3)孔内残留物多,钻具不能下到孔底,无法进行原位测试等问题^[1,4]。

近30年来,基于冲洪积卵砾石层特点和岩土工程勘察钻探要求,为满足市场对卵砾石层工程钻探要求,新疆地区岩土工程勘察和相关的钻探单位对冲洪积卵砾石层钻探技术进行了持续的探索,总结出了几种适宜的钻探工艺,基本满足了新疆地区工程建设的需要。

在钻探工艺领域,先后应用了孔底局部反循环取心钻进、取心钻具回转钻进、牙轮钻具全面钻进、潜孔锤全面钻进等多种钻探技术。钻进速度由2~5 m/d(单班制,8~12 h,下同),提高到300 m/d

以上。

在钻探设备选择方面,先后使用了XY-1型岩心钻机、G-3型工程钻机、DPP-100型汽车工程钻机、WTJ5220型潜孔锤汽车钻机等多种钻探设备,尤其是成套汽车钻机的使用,满足了工程钻机快速移动、快速成孔的要求,基本满足了城市管理对勘察施工的要求。目前,在新疆地区工程钻探钻机基本以DPP-100型汽车钻机和WTJ5220型潜孔锤汽车钻机为主。

在钻孔冲洗液选择方面,先后使用了全粘土泥浆、膨润土泥浆、低固相泥浆、植物胶冲洗液,直至潜孔锤空气钻进,逐步减少了钻孔冲洗液排放对环境的影响。

在钻探质量保证领域,解决了地层界限判定、孔内原位测试等问题,根据大量岩土工程勘察项目基坑开挖验槽结果统计,对卵砾石层地层界限判定准确率可达到 ± 10 cm,可在孔内准确位置进行动力触探等原位测试工作,基本满足了现行国家相关勘察规范的要求。

在钻探成本方面,随着市场竞争力的增强和钻进功效的大幅度提升,钻探成本大幅度降低,钻探分包单价由20世纪90年代初的150~200元/m,降低至2020年左右的60~80元/m,考虑到通货膨胀的因素,可以认为目前的钻探分包单价仅为30年前的10%左右。

3 主要钻探技术应用及评述

3.1 孔底局部反循环取心钻进

本方法采用XY-1型钻机为主要设备,无泵钻进,冲洗液不循环,采用孔口加压极低转速钻进。使用人工搅拌全粘土半流动性泥浆,由钻杆与孔壁间隙人工倒入孔内,主动钻杆上部不封闭,在钻进过程中,上下窜动钻具,使孔壁间隙内泥浆与钻头底部卵砾石层混合进入岩心管内,达到全孔取心的目的。

此方法主要控制钻进参数为:加压方式为孔口加压,低钻压、低转速、无泵钻进、孔底局部反循环,回次进尺控制在0.5 m左右。

本方法主要优点是岩心采取率高,几乎可以达到100%。但缺点也很明显,主要有钻进效率低,劳动强度大,钻进速度为2~3 m/d;全粘土泥浆对环境污染大;钻进时钻具上下窜动,对未钻进地层扰动较大,且孔底沉渣多,对原位测试准确性影响较大;

钻探成本高,市场竞争力差。

孔底局部反循环取心钻进是20世纪90年代由公路、铁路勘察单位引入建筑和市政工程领域。由于当时尚存有较强的计划经济模式,很少参与市场竞争,能够容许这类效率低下,但勘察质量尚可的钻探方法存在。但随着工程建设领域的全面市场化,越来越受到城市管理、环境保护、勘察工期等因素的制约,尤其是造价和成本因素,该工艺目前已彻底退出了岩土工程勘察领域,见图1。

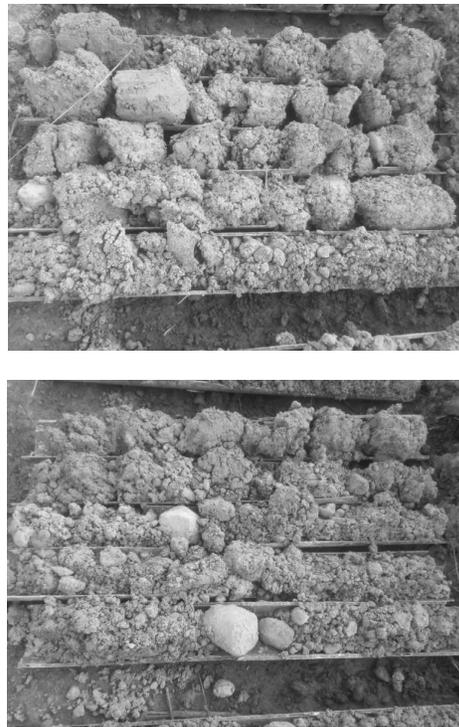


图1 孔底局部反循环钻进取出的卵石心样

3.2 取心钻具回转钻进

自20世纪90年代开始,取心钻具回转钻进就是新疆冲洪积卵砾石层的主要钻进方法。但最初采用钻进岩石的常规钻进方法,孔内事故多,钻进效率极低,钻进速度2~5 m/d,无法满足岩土工程勘察现场勘探的需要。

为解决上述问题,岩土工程技术人员和钻探人员经过研究和试验,持续改进,在2000年左右形成了较完善的钻进方法,能够基本满足现场勘探需要。

3.2.1 钻进参数^[5]

主要控制钻进参数:孔底加压,适当压力、低转速、大泵量,回次进尺控制在3.0 m左右。主要技术

特点:

(1)因为工程钻探孔深均比较浅,整个钻进过程均处于加压钻进阶段,因此应尽量增加钻具自重。而孔口加压极易造成钻杆柱弯曲、碰撞及摩擦孔壁,造成孔壁失稳。

(2)钻头在卵石层内孔底工作时,极少有碎岩过程,绝大多数时间仅是通过钻头的拨动,破坏卵石层原有结构,使其各组成颗粒及充填物变得松散,借助冲洗液的作用将其携带至孔口。因此在钻进过程中,钻压不易过大,否则将减小钻头过水面积,增加冲洗液阻力。

(3)卵石层钻进,转速应尽量小一些,过快的转速,同样会带来排渣能力不相适应的问题。而且,当钻具同心度不好时,易造成孔径过大,孔壁失稳,并加大钻具磨损。

(4)钻进中面临的主要问题是排渣而不是钻进,因此,在保证冲洗液质量的前提下,应采取较大的泵量来保证高速低耗地完成钻探工作。

3.2.2 钻探设备配置

实际工作中主要使用DPP-100型钻机,为满足新疆地区要求,配置的泥浆泵由最大泵量250 L/min调整至450 L/min及以上。

3.2.3 冲洗液

此钻进方法对冲洗液要求较高,冲洗液以膨润土为主要固相材料,添加适当的添加剂,具体配合比和性能参数见表3。

表3 冲洗液配方和性能参数指标^[1]

冲洗液配合比/(kg·m ⁻³)	水	900~950
	膨润土	100~150
	纯碱	6~8
	PHP	0.4~0.6
	HPAN	0.3~0.5
泥浆性能指标	失水量/mL	<10
	粘度/s	25~30
	密度/(kg·L ⁻¹)	1.10~1.20
	pH值	8~8.5
	静切力/Pa(1 min/10 min)	10~15/30~50
	胶体率/%	≥95

该冲洗液具有以下优点:

- (1)制浆主要成分简单,造价低,现场配制方便;
- (2)泥浆流变性好,且有较好的剪切稀释特性;

(3)携带岩屑能力强,可悬浮起20~30 mm粒径的卵石;

(4)护壁防塌性能好,可以保证在钻进和原位测试过程中孔壁的稳定;

(5)孔底清洁,钻头磨损小^[1]。

3.2.4 技术特点和不足

此钻进方法特点是钻进速度大幅度提高,日进尺速度可达到20~40 m,能够满足岩土工程勘察的基本要求;孔壁稳定,孔底沉渣少,原位测试数据准确。但缺点也较明显,虽然是采用取心钻具钻进,但几乎无法采取到岩心,完全按钻探状态和孔口冲洗液携带物判断地层。其次是泥浆用量较大,环境污染问题严重,同时钻探成本仍然较高,因此使用受到限制。

自2000年以来,取心钻具回转钻进方法一直在新疆冲洪积卵砾石层钻探中居于主导地位,但随着市场竞争的加剧以及钻探技术的进步,该工艺逐步被牙轮钻具全面钻探取代。

3.3 牙轮钻具全面钻进

本钻进方法依然采用取心钻具回转钻进的主要设备和工艺参数,只是将取心钻头和粗径钻具换成牙轮钻具进行钻探作业,主要钻进参数和方法中,除适当增加钻压外,其余无变化,见图2。

此钻进方法是基于取心钻具回转钻进钻头消耗量大,在钻探成本中占比较大的原因,由工程钻探人员自行开发完成。主要优点与取心钻具回转钻进钻探效果基本相同,而钻探成本进一步降低,市场竞争力增强。但其缺点也是明显的,使用牙轮钻头后,钻头在孔底进行碎岩,将卵砾石层骨架颗粒均破碎成碎屑状,使地层的判断精度进一步变低。

本方法是钻探施工人员为应对市场竞争,从降低钻探成本的需求出发提出,虽较取心钻具回转钻进钻探质量有所降低,但基本满足岩土工程勘察钻探的技术要求,日进尺速度有所提高,可达40~60 m。所以自2005年起,在2~3年内全面取代了取心钻具回转钻进,至今仍然是新疆冲洪积卵砾石层钻探的主要手段。

3.4 潜孔锤全面钻进

潜孔锤全面钻进是利用冲击钻冲击破碎岩体的原理,以空压机压缩空气作为动力,利用位于孔底钻头上部的潜孔锤的冲击运动,与钻机回转,进行持续松动地层和碎岩。同时,从钻头中心孔连续地输送

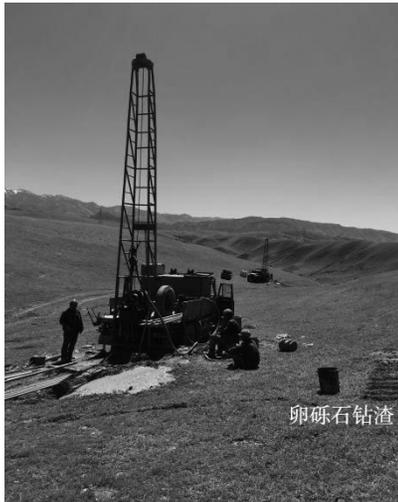


图2 牙轮钻头全面钻进现场

压缩空气,通过孔壁与钻杆间隙,将钻屑排至孔口。在钻探过程中,不同地层不同状态下钻头处的动力反馈不同,孔口出渣也不同,可以较准确判断孔底地层。

此钻进方法原为石油物探钻孔使用,采用WTJ5220型潜孔锤汽车钻机结合空气压缩机组合系统,自2010年开始引入岩土工程勘察施工领域,结合岩土工程勘察特点,持续改进,满足现场勘探需要。

此钻进方法主要控制参数为:采用孔口孔底加压相结合的方式,适当压力,低转速,较大风量,风压2.5 MPa左右。

主要优点^[6-7]:

(1)钻进动力直接作用于孔底,空压机将压缩空气作为介质将动力传至孔底,钻进动力来源于孔底

潜孔锤的高频率冲击,冲击力直接作用于孔底,因此钻进效率高,动力损失小。

(2)采用空气作为钻进冲洗介质,解决了岩土工程现场勘探的环境污染问题。

(3)采用空气作为钻进冲洗介质,钻屑上返速度高于泥浆上返速度几十倍,孔底信息反馈及时,地层判断准确,目前判层准确度可达 ± 10 cm,已高于取心钻具和牙轮钻头钻进。

(4)钻孔垂直度高,对孔壁扰动小,事故处理能力强。钻屑可充填孔壁破碎带,起到一定护壁作用。发现卡、埋钻情况,可通过孔口出风量及时判断,实现钻杆的迅速上提,加大风量,避免事故发生。同时,通过复打,加强埋钻段的护壁效果,使钻孔顺利通过不稳定段。可钻进巨厚松散卵砾石填土,保证钻探质量。

(5)孔内可进行物探和力学测试,水文观测准确。钻孔孔壁稳定,无冲洗液,为在孔内进行必要的测试工作创造了良好条件。同时,在潜孔锤钻进过程中,可准确观测到地下水位,提供较准确的水文地质参数。

(6)钻进速度极高,日进尺可达200~300 m,综合成本低,环境影响小。

主要缺点也很明显,即无法采取岩土样进行地层鉴别和试验,同时设备占地面积较大,使用受到一定限制。

此方法经试验成功后很快在新疆岩土工程勘察冲洪积卵砾石层钻探中全面推广,占据市场主体地位。

3.5 几种主要钻进方法对比

新疆冲洪积卵砾石层岩土工程勘察主要钻进方法对比分析见表4。

4 目前钻探方法的不足

经过多年的积极探索和不断发展,并结合市场实际需求,新疆在岩土工程勘察冲洪积卵砾石层钻探方面,形成了能够满足勘察基本要求的钻探方法和工艺,但仍有以下不足之处。

(1)无法做到随钻取心取样,这是困扰新疆冲洪积卵砾石层现场勘探的最大问题,至今,所有钻探方法都无法做到质量级别最低的IV级土样采取,即钻孔中取样质量甚至不能满足颗粒分析的要求。这也是内地初进新疆的勘察设计单位无法理解的。

表4 新疆冲洪积卵砾石层主要钻进方法对比分析

钻进方法	主要设备	泥浆及冲洗方式	钻压及加压方式	转速	泵量	钻进速度/ (m·d ⁻¹)	钻探质量	优缺点	市场竞争力
孔底局部反循环钻进	XY-1型岩石钻机	全粘土泥浆,孔底局部反循环	孔口加压,低钻压	低	无	2~4	取样率高,原位测试不准确	钻探质量较高,原位测试困难,环境污染大,钻进速度低,成本高	市场竞争力差,已被市场淘汰
取心钻具回转钻进	DPP-100型汽车钻机	专用膨润土泥浆,正循环	孔底加压,适当压力	低	大	20~40	取样率低,原位测试准确	钻探质量满足要求高,原位测试效果好,环境污染大,钻进速度较高,成本一般	市场竞争力一般,已被牙轮钻头全面钻进取代
牙轮钻头全面钻进	DPP-100型汽车钻机	专用膨润土泥浆,正循环	孔底加压,适当压力	低	大	40~60	无孔内取样,原位测试准确	钻探质量满足要求,原位测试效果好,环境污染大,钻进速度较高,成本一般	市场竞争力较好,仍是勘探的主要手段之一,市场占有率30%~40%
潜孔锤全面钻进	汽车钻机结合空压机组合系统	空气正循环	孔底孔口相结合,适当压力	低	适中	200~300	无孔内取样,原位测试准确	钻探质量满足要求,原位测试效果好,环境污染小,钻进速度高,成本低	市场竞争力强,是勘探的主要手段之一,市场占有率60%~70%

(2)受钻孔质量影响,原位测试手段单一,除动力触探外,无任何适合于冲洪积卵砾石层的原位测试手段,制约了岩土工程勘察的技术进步。

5 展望

回顾近30年来新疆冲洪积卵砾石层岩土工程勘察钻探技术的发展,可以看出,随着工程建设市场的全面开放,工程成本和造价的因素对钻探技术的发展起了关键性作用。基于市场竞争力的考量,目前的钻探方法只是在低水平满足现行规范标准的最低要求,与岩土工程勘察技术的发展不相适应,在很大程度上制约了岩土工程勘察的技术进步。

希望我们探矿工程领域的技术人员,能够从钻探专业技术出发,与岩土工程勘察技术人员共同努力,在钻探设备轻便化、适合卵砾石层的取样及原位测试技术等方面尽快取得技术突破,提升新疆冲洪

积卵砾石层的钻探技术水平和钻探质量,共同为岩土工程的技术进步贡献力量。

参考文献:

- [1] 刘学军. 乌鲁木齐地区卵石层工程钻探工艺[J]. 西部探矿工程, 2001, 13(5): 81-82.
- [2] GB 50021—2001. 岩土工程勘察规范(2009版)[S].
- [3] JGJ/T 87—2012. 建筑工程地质勘探与取样技术规程[S].
- [4] 王景维. 浅谈砂卵石层钻探工艺[J]. 中国科技博览, 2015(21): 33-36.
- [5] 李世忠. 钻探工艺学[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [6] 刘学军, 刘震, 杨镜明. 大理深巨厚急倾斜煤层采空区勘察手段探索[J]. 工程勘察, 2018(S1): 386-393.
- [7] 刘学军, 刘震. 潜孔锤间隔取芯钻进工艺在急倾斜煤层采空区勘察中的应用探索[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集. 北京: 地质出版社, 2019.