

北京市城市地质钻探规范体系构建

李海明, 张建杰

(北京市矿产地质研究所, 北京 101500)

摘要:城市地质取心钻探是获取地下地质信息的关键手段,北京市复杂的地下地质条件对岩心质量提出更高要求,而当前钻探工作存在规范体系不健全、岩心质量参差不齐等问题。为构建适应首都城市地质工作的取心钻探规范体系,研究梳理了北京市城市地质取心钻探的发展现状与核心挑战,分析了冲击钻进、普通回转钻进、浅层回转钻进、多功能直推式钻进、声频振动钻进等多种工艺的应用特点与适用边界,结合城市土地与地下水环境调查、地下空间开发条件调查、地质灾害调查、地质环境监测等不同场景,明确了岩心在原状性、洁净度、代表性及信息关联性方面的精细化要求。进而提出分层差异化取心率标准、扰动与洁净度等级判定体系、“目标-地层-工艺”适应矩阵及全生命周期信息追溯机制等核心技术方案,构建了一套针对性强、可操作性突出的综合性规范体系框架。研究成果为提升北京城市地质取心质量提供了技术支撑,也为国内其他特大城市开展同类工作提供了参考,对夯实城市安全发展的地质保障基础具有重要意义。

关键词:城市地质;钻探工程;取心技术;规范体系;原状性;绿色钻探;北京市

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2026)04-0103-10

Construction of the specification system for urban geological drilling in Beijing

LI Haiming, ZHANG Jianjie

(Beijing Institute of Mineral Geology, Beijing 101500, China)

Abstract: Urban geological coring drilling serves as a critical method for acquiring subsurface geological information. The complex subsurface geological conditions in Beijing impose higher requirements on core quality, while current drilling operations face challenges such as a lack of standardized procedures and inconsistent core quality. To establish a coring drilling specification system tailored to the urban geological work in the capital, this study reviews the current development status and core challenges of urban geological coring drilling in Beijing. It analyzes the application characteristics and applicable scopes of various techniques, including percussion drilling, conventional rotary drilling, shallow rotary drilling, multi-functional direct-push drilling, and sonic vibration drilling. Based on different scenarios-such as urban land and groundwater environmental investigation, underground space development condition survey, geological hazard investigation, and geo-environmental monitoring-the study defines refined requirements for cores in terms of undisturbed property, cleanliness, representativeness, and information correlation. Furthermore, it proposes core technical solutions including stratified differentiated core recovery rate standards, disturbance and cleanliness level classification systems, a "target-stratum-technique" adaptation matrix, and a full-lifecycle information traceability mechanism, thereby establishing a comprehensive and highly targeted normative framework with strong operability. The research outcomes provide technical support for improving the quality of urban geological coring in Beijing and serve as a reference for other megacities in China undertaking similar work, which are of great significance for consolidating the geological guarantee foundation for urban safe development.

Key words: urban geology; drilling engineering; coring technology; specification system; undisturbed property; green drilling; Beijing

收稿日期:2026-02-09; 修回日期:2026-02-26 DOI:10.12143/j.ztgc.2026.04.011

基金项目:北京市地质矿产勘查院地质调查项目(编号:11000025T000003318119)

第一作者:李海明,男,汉族,1984年生,高级工程师,地质工程专业,硕士,主要从事地质勘探、钻探工程施工技术研究工作,北京市密云区园林东路6号,65048747@qq.com。

引用格式:李海明,张建杰.北京市城市地质钻探规范体系构建[J].钻探工程,2026,53(4):103-112.

LI Haiming, ZHANG Jianjie. Construction of the specification system for urban geological drilling in Beijing[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(4): 103-112.

0 引言

城市地质工作是城市规划、建设与管理的基础性支撑,直接关系城市发展的质量与安全。当前,随着新型城镇化与生态文明建设的推进,城市地质调查需突破单一要素模式,聚焦“环境、空间、灾害”多维度需求,提供全方位地质科技支撑^[1-3]。钻探是获取地下地质信息的有效手段,地质岩心(样)则是解析地质结构、研判工程条件、追溯环境演化、预警地质灾害的关键数据源^[4]。

随着北京市城市发展进入存量更新与高质量发展阶段,城市地质工作内涵向综合性、精细化转变,以支撑城市安全、地下空间利用、生态环境保护 and 国土空间治理。然而,作为超大型城市,北京市地下空间地质条件复杂且敏感,第四系沉积层深厚,含水层系统叠置,隐伏断裂发育,人为改造强烈,工程扰动频繁^[5]。这使得高质量的岩心(样)获取至关重要,其完整性、原状性、洁净度和信息关联性直接影响地质认知的准确性、工程设计的可靠性和城市管理决策的科学性^[6]。

当前,北京市城市地质钻探工作规范体系不健全问题日益凸显。技术选型、现场操作、质量管控和信息记录等方面存在随意性,导致岩心(样)质量参差不齐,与真实地质信息的关联性受到影响^[7]。这种“取心却未取真”的现象不仅造成资源浪费,还严重制约了地质数据的深度融合、高效共享和规模化利用,难以支撑首都城市安全与可持续发展^[8]。

本文以北京市为例,剖析特大城市地质工作的需求与地质条件,评估各类取心(样)钻探技术的特点与局限,重点探索取心(样)钻探规范体系的构建,旨在为破解北京市城市地质取心(样)质量瓶颈提供技术支撑,并为其他特大城市提供借鉴,助力城市地质工作高质量发展,筑牢城市安全的地质基础。

1 城市地质钻探技术发展现状

随着城市化进程加快,对地质数据精度与维度的要求不断提升,推动了城市地质取心钻探技术的持续进步。城市地质条件复杂,常面临松散覆盖层与基岩并存、地层结构多变、取心难度大、样品质量要求高等挑战;同时,环保与场地恢复标准高、施工空间受限、地下环境复杂等现实问题也促使钻探技术与装备不断升级。以北京市为例,广泛分布的巨厚第四系松散沉积物结构疏松、组成复杂、工程地

质性质差异显著,对取心技术提出了更高要求。在此背景下,城市地质取心(样)正由“粗放”向“精准”转变,强调根据地层类型、埋藏条件与力学特性匹配相应的取心钻进工艺,核心目标是最大限度降低样品扰动与污染,提升样品代表性与测试可靠性,并遵循“环保、节能、高效”的施工准则。

1.1 冲击钻进

冲击钻进技术通过钻具自由落体或机械动力冲击实现地层破碎。该方法历史悠久,设备结构简单,在钻进浅部硬壳层或含砂砾石土层时具有一定效率。然而,该方法存在一个根本性缺陷:剧烈的冲击作用会对土体的原生结构造成严重破坏,导致获取的岩心为受到高度扰动的碎屑混合物,难以真实反映地层的原始物理力学性质,特别是在需要精确评估地层性质的勘探工作中,其价值大打折扣。例如,北京市地质勘察技术院在城市土地与地下水环境调查工作中,曾使用SH30系列冲击钻机对涌砂层进行取样。然而,取得的样品扰动非常显著,且挥发性有机组分严重散逸,影响了测试数据的完整性和准确性^[9]。

随着直推钻进等先进技术的引进,冲击钻进工艺已逐渐被替代。在当今城市地质工作中,对原位信息保真、保形的要求日益提高,冲击取心(样)钻进技术的应用范围已大幅缩减,目前主要应用于对岩心质量要求相对较低的辅助性工程项目中。

1.2 普通回转钻进

普通回转钻进(有冲洗液循环)在城市地质钻探中应用广泛,兼具成本可控、取心口径可调、清渣效率高、地层适应性强等特点。

2005—2007年,北京市地质工程设计研究院承担的北京市平原区新生界多参数立体地质调查钻探任务中,累计进尺5978.76 m,单孔最大孔深862.06 m。施工过程中针对不同地层特性,差异化选配取心钻具与工艺:在漂石、卵石层,选用环状切削面积较小的单管钻具配合钢丝钻头,或采用双动双管钻具并辅以内钻头超前的组合;遇黏性砂土层,则采用常规单动双管钻具进行取心;在松软地层,使用内管超前的单动双管钻具,以尽量减少对原状样品的扰动;针对松散砂砾层,创新应用ESD取心钻具及其改进型(图1),取得了较为理想的取心效果(图2)。同时,松散层段优选无固相植物胶冲洗液、低固相或细分散冲洗液体系,严格控制冲

洗液密度、黏度、滤失量、泥皮厚度、切力等关键指标及胶体率、固相含量等参数,最大限度降低对地层的扰动,显著提升钻进效率与取心质量^[10-11]。

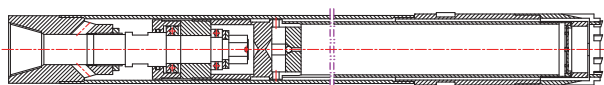


图1 改进的ESD-110(118)型阶梯型钻头单动双管钻具

Fig.1 Improved ESD-110(118) stepped bit single-action double-tube drilling tool



图2 改进的ESD型阶梯型钻头单动双管钻具在卵砾石地层取得的岩心

Fig.2 Cores obtained by the improved ESD stepped-bit single-action double-tube drilling tool in cobble and gravel formations

2010年以后,北京市开展多项地应力测量与监测工程,在监测孔钻探中形成了金刚石(硬质合金)取心-绳索取心协同钻进体系。针对第四系松散地层(碎石土、砂层)采用 $\varnothing 150$ mm规格硬质合金单管钻具,选用优质黏土泥浆护壁,应对坍塌、漏水问题;花岗岩等硬—坚硬地层(可钻性8~10级)选用孕镶金刚石钻头,优化胎体硬度(HRC 20~30)、金刚石目数(80~100目)及浓度(75%)等参数,兼顾钻效与岩心完整性,钻具组合采用“钻头+岩心管+钻铤+钻杆”,配合外导向钻具与技术套管,保障钻孔垂直度(偏差 $\leq 0.5^\circ/100$ m)与同心度。深层基岩采用绳索取心钻进工艺,实现高效取心,以S76、S96等型号钻具为代表,适用于600~1000 m深孔施工,选用清水或PHP无固相冲洗液,避免地层污染与岩心损坏,基岩取心率稳定在95%以上(图3)。两者深度融合:上部松散层及强风化基岩采用金刚石(硬质合金)取心钻进构建孔身基础,下部完整基岩切换绳索取心钻进提升效率,并通过分级扩孔技术适应不同地层^[12-18]。

近年来,北京市地面沉降监测网建设中,钻探工作量达137596 m,其中12个勘探孔全孔取心(合计



图3 S96金刚石绳索取心钻具取得的岩心

Fig.3 Cores obtained by the S96 wire-line coring drilling tool

进尺5570 m),单孔最大孔深905 m。采用复合片单管取心钻具,针对不同地层优化施工参数:砂层降低泵量,黏土层增加泵量,辅以高钻压、中高转速钻进;取心环节采用单管投球干钻采心、泵压退心技术,选用优质黏土配浆并严格控制性能指标(黏度18~28 s、密度1.05~1.25 g/cm³、含砂量<5%)。实践表明,该技术在黏土层、黏性砂土层取心效果较好(图4),但在碎石土、砂层等松散地层取心效果欠佳。



图4 单管钻具在黏土地层取得的岩心

Fig.4 Cores obtained by single-tube drilling tools in clay formations

该技术广泛应用于地下空间开发条件调查、活动断裂工程地质稳定性评价、地应力测量及地面沉降监测等城市地质领域,但存在松散地层取心完整性不足、冲洗液易造成地层及样品污染、对钻孔周围地层有一定扰动等局限,在高精度、高环保要求场景尤为突出。

1.3 浅层回转钻进

浅层回转钻进(无冲洗液循环)以模块化、轻便化装备为核心,通过回转切削作用实现浅层地层取心(样),无需循环冲洗液,是兼顾高效、无污染、低扰动需求的地表基层层调查与地质环境监测专用

技术^[19]。该技术的主要装备为TGQ系列(便携式或轻便式)钻机(图5),具有质量轻、操作灵活、适应全地形等特点,一般适用于0~30 m深度内砾质、土质、泥质等不同地表基质的取样。工艺优化方面,采用有机玻璃取样管替代传统PVC管(图6),避免钻具与样品接触造成的重金属污染,且密封设计保障样品湿度与化学性质稳定;取样管外部增设30 cm刻度线,提升孔深校正精度与地层编录效率;采用“硬质合金钻头+岩心外管(内置有机玻璃管)+接头+铝合金钻杆”的小级差钻具组合,增强钻具刚性与稳定性^[20]。



图5 使用TGQ-15钻机采取垂直剖面样品

Fig.5 Vertical section samples were collected with the TGQ-15 drilling rig



图6 由内置有机玻璃管取出并保存的样品

Fig.6 Samples retrieved and stored using internal acrylic tubes

该技术在北京市潮河流域、白河流域、永定河流域、沟河流域、大石河流域等地质环境监测项目中成功应用,取心率普遍超过90%,作业时效最高可达15 m/h,能精准获取垂直剖面土壤样品,真实反映地层物质组成与土壤污染状况,且钻后回填的设计符合生态保护要求^[21]。

目前,该技术仍存在一定技术短板:松散层取心易发生样品漏失,回转阻力易导致塌孔,未来需从研发专用卡心装置、薄壁单动钻具及适用空气冲洗介质等方面持续优化,更好地满足城市地质工作需求。

1.4 多功能直推式钻进

多功能直推式钻进采用静压或振动无循环钻进工艺,优势在于避免传统钻探中冲洗液污染与样品扰动的弊端,技术发展呈现装备专用化、工艺成熟化与功能集成化的显著特征,已逐步成为废弃工矿场地、矿山遗址等典型污染区域调查的主要技术手段。

该技术的主要装备以美国Geoprobe系列直推钻机(如7822DT型、8040DT型)为代表,配套DT22型(适用于含水层以上地层)、MC5型(适用于各类地层,深部取样优势显著)等多种土壤取样钻具及SP16/SP22型地下水取样钻具(图7、图8);集成MIP、HPT、OIP等在线监测系统,可实时探测地层性质及挥发性有机物(VOCs)、半挥发性有机物(SVOCs)含量,大幅提升调查效率。

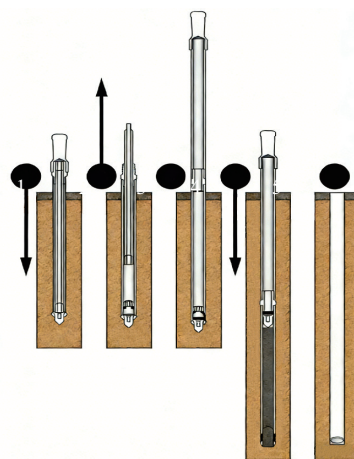


图7 提钻取心双管钻具取心流程

Fig.7 Coring process of trip-out double-tube coring tool

自2016年起,该技术已在北京市多项重点调查项目中得到应用:在北京城市副中心某废弃工矿场地完成386个钻孔、累计进尺超8400 m的调查任务,采集土壤样品6455组、地下水样品556组;在平谷区与怀柔区金矿矿区重金属污染调查中,完成59个钻孔、440.7 m进尺的高质量取样工作,成功解决了北京地区砂质粉土、粉砂等易液化、易涌砂地层的取样技术难题^[22-23]。

该技术具有扰动程度极低、污染风险低、取心质量优(完整性与代表性强,能精准保留污染物空间分布与相态)等优势,但也存在明显的应用局限性:涌砂地层护壁能力不足导致二次下钻困难,含

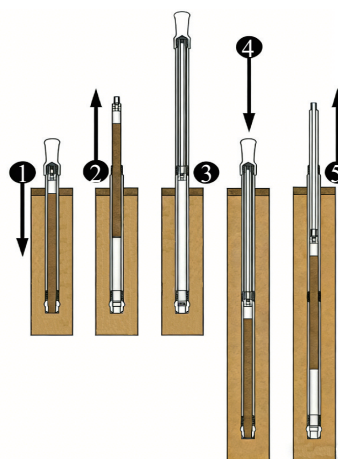


图8 不提钻取心双管钻具地面连续取心流程

Fig.8 Coring process of dual-tube drilling tool without tripping

砾地层中钻杆与钻头磨损严重,密实地层贯入能力有限,柴油发动机噪声在城市环境中适应性较差,核心设备及配件仍依赖进口,国产装备在材料强度与使用寿命方面存在差距^[9]。未来需聚焦关键设备国产化、动力系统优化(如电驱动版本开发)、跟管护壁与孔口导向装置改进、高强耐磨钻具及新型取水器研发等方向,提升技术对复杂地层的适应性、环保性与经济性^[9]。

1.5 声频振动钻进

声频振动钻进基于高频振动(50~200 Hz)与钻杆共振诱导地层局部液化的机理,结合半合管等专用取样钻具,优势为绿色环保、取样质量高,能有效解决粉土、黏土、粉砂等地层取样中“扰动大、污染风险高、代表性不足”等关键问题,已在北京市水土环境地质调查领域实现阶段性应用与推广。

该技术的国产装备以MGD-S50Ⅱ型声频振动钻机为代表(图9),其最大钻深能力50 m、振动力140 kN,主要技术参数接近国际同类产品水平;模块化设计与自行走履带底盘特性,可适应北京市复杂场地作业需求。

2019年,在北京安泰科技厂区污染场地调查项目中,该技术实现了6 m深度范围内连续地层原状样品的获取,取样直径达96 mm,样品结构完整、无污染,代表性强(图10),平均钻速达5 m/h,明显优于传统钻探工艺^[24-25]。

该技术主要用于对环保要求严格的环境修复和监测领域,未来随着清洁动力系统优化与绳索取



图9 MGD-S50Ⅱ型声频振动钻机

Fig.9 MGD-S50Ⅱ type sonic frequency vibration drilling rig



图10 半合管钻具取心效果

Fig.10 Coring effect of split-tube drilling tool

心工艺的引入,有望在工业场地再开发环境调查、地下水污染溯源等城市水土环境地质调查场景中进一步推广,为保障城市生态环境安全提供更可靠的技术支撑。

2 城市地质钻探技术要求

北京城市地质工作已进入综合性、精细化发展阶段,不同领域对地下地质信息的维度与精度需求呈现显著差异化特征。因此,城市地质钻探技术的要求需具备“原状性、洁净度、代表性、信息关联性”四大属性,形成“基础共性要求+场景个性规范”的统一体系,既保障质量底线,又适应专业化需求。

2.1 核心共性要求:岩心(样)原状性与全流程保真管控

岩心(样)的原状性是维系地质信息真实性的前提,其质量直接影响污染溯源、工程参数计算、灾害机理分析等关键工作的有效性。虽各类城市地质工作对原状性的诉求有侧重,但均需最大限度保留样品的原生物理结构、化学组成及赋存状态,严格避免扰动与污染。

从应用场景来看,污染场地调查需岩心保持原状,避免污染物空间分布与相态扰动,确保水土环

境评估精准性;地下空间开发条件调查依赖岩心完整性与产状信息,解析地层结构、构造、裂隙特征及力学参数,支撑工程设计与风险防控;地质灾害调查中,原状岩心是分析地应力场、判识软弱夹层、揭示地面沉降机制的关键载体;地表基质层(表层土-母质/风化壳)调查与地质环境监测,需保持土壤团聚体与孔隙结构、含水率与孔隙水化学特征、氧化还原状态等属性,严防层间交叉污染与外源介质干扰。

为实现“保形”与“保真”目标,需建立取样-保存-运输全流程管控体系。

(1)取样环节:软土与砂层采用薄壁钻头/环刀或带内衬管的取心钻具,实施低速定压取样;岩层取心严格控制转速与推压力度,避免过度冲洗;地质环境监测钻探优先采用清洁钻进技术与一次性衬管,防止泥浆污染,实行分层分段独立采样与密封。

(2)污染防控:严禁任何改变样品孔隙结构、含水率、化学组成及挥发性组分的操作,如不当清洗、干燥、润滑或长时间暴露等;钻具更换、样品采集间歇需彻底清洗,避免交叉污染。

(3)保存与封装:对易风化、易挥发样品采用封蜡、惰性气体或真空密封处理,全程避光冷藏并维持恒温恒湿环境;土质、泥质样品严格控制压缩比例,保护内部生态特征。

(4)运输与存储:采取防震、防温度梯度、防光照措施,避免样品转运过程中结构破坏;按需求开展现场原位参数记录(pH、Eh、温度、电导率等)与质量控制(空白样、平行样、加标样)。

(5)追溯管理:建立完备的标签标识、取向标记与交接链制度,确保样品来源可查、状态可追,为后续数据核验提供支撑。

2.2 场景化个性要求:不同地质工作的差异化技术规范

不同类型城市地质工作的核心目标、调查对象及应用场景存在显著差异,需针对性制定技术规范,确保取心(样)工作与最终需求精准匹配。

2.2.1 城市土地和地下水环境调查

本类工作以精准识别水土污染状况、追溯污染源为核心目标,技术规范侧重样品洁净度、代表性及污染防控。

(1)钻孔参数:开孔直径大于常规钻头规格,开孔深度覆盖钻具总长;回次进尺控制在50~150 cm,避免过度扰动地层。

(2)岩心采取率:黏性土与完整基岩 $\geq 85\%$,砂土类地层 $\geq 65\%$,碎石土类地层 $\geq 50\%$,强风化或破碎基岩 $\geq 40\%$,整体平均采取率 $\geq 70\%$ ^[24]。

(3)钻进工艺:优先采用无循环钻进工艺,全程套管跟管钻进,保障钻孔稳定性并防止层间交叉污染;钻遇地下水时暂停钻进,待水位稳定后测定并记录初见水位与静止水位。

(4)样品处理:土壤岩心按地层揭露顺序置于岩心箱,明确标识变层位置;不同样品采集之间,彻底清洗钻头与钻杆,清洗废水统一收集处理。

(5)记录与归档:钻进过程同步填写采样记录单,对采样点、钻进操作、岩心箱及记录单等关键环节进行影像记录;终孔后,无需保留地下水监测井的钻孔按规范封孔,恢复作业区地面原状,复测并记录钻孔坐标与高程。

(6)废弃物处置:污染土壤统一收集处理,废弃个人防护用品按一般固体废物管理要求处置。

2.2.2 地下空间开发条件调查

本类工作聚焦于地下工程建设安全性与可行性,技术规范侧重岩心完整性、钻孔精度及工程参数可靠性。

(1)岩心质量:黏性土岩心采取率 $\geq 90\%$,砂类土 $\geq 70\%$,砂砾或卵石层30%~40%,完整基岩 $\geq 90\%$;岩心直径 ≥ 80 mm,终孔口径满足测井需求且 ≥ 110 mm^[10-11]。

(2)岩心编录:由专业技术人员按钻进回次逐一编录,记录及时准确,严禁合并回次记录或事后补记;采取保护措施,确保岩心原状不受扰动。

(3)钻孔精度:每钻进50 m及终孔时进行测斜,孔斜偏差 $\leq 2^\circ/100$ m;每钻进25 m及终孔后进行孔深校正,误差 $\leq 1\%$ 时无需修正,超限须及时修正;测量采用经校准的钢尺,终孔校正时编录人员现场监督^[10-11]。

(4)过程监测:清水钻进时,每班进行1~2次水位观测,每回次提钻后与下钻前各测1次,间隔 ≥ 5 min;泥浆钻进时无需水位观测;钻进中遇涌水、漏水等异常情况,应及时记录发生深度^[10]。

(5)记录与封孔:用钢笔及时准确填写原始记录,班长与机长签名,不得代签;班报表保持整洁,终孔后装订归档;封孔前提交封孔设计书并经项目组与监督组批准,全孔灌注水泥封孔,施工方搬迁后埋设永久标记,保障封孔质量可追溯^[10]。

2.2.3 地质灾害调查

本类工作以地质灾害风险评估、监测与预警为主,技术规范侧重岩心完整性、钻孔垂直度及监测数据准确性。

2.2.3.1 地应力监测

(1)岩心采取率:第四系地层可不取心,基岩段平均岩心采取率 $\geq 95\%$ ^[13,17]。

(2)钻孔精度:钻孔垂直度偏差 $\leq 0.5^\circ/100\text{ m}$ (允许累计计算);换径施工时确保同心度满足设计要求^[13,17]。

(3)岩心管理:岩心按“自上而下、自左至右”顺序系统排列,及时整理、装箱、编号并记录,避免遗失,按规定移交存储,为地应力测量与监测深度选定提供依据^[13]。

(4)钻进与成孔:优先采用清水或泥浆作为循环介质,最大限度减少润滑剂等处理剂使用;成孔后清洗孔壁与孔底,孔底岩粉厚度 $\leq 0.2\text{ m}/100\text{ m}$;终孔后用孔口板封堵孔口,配合甲方完成相关试验^[13]。

(5)辅助工作:按照地应力监测要求开展各项工作^[13,17]。

2.2.3.2 地面沉降监测

(1)岩心要求:全孔取心,岩心直径 $\geq 110\text{ mm}$;黏土取心率 $\geq 90\%$,砂类土 $\geq 70\%$,砂砾石 $30\%\sim 40\%$,完整基岩 $\geq 90\%$;岩心无需劈样,完整放入岩心箱。

(2)钻孔参数:钻孔直径 $\geq 130\text{ mm}$;每 50 m 进行垂直度测量,钻孔顶角递增 $\leq 1^\circ/100\text{ m}$,终孔孔斜 $\leq 3^\circ$,钻孔方位角避开基岩标和分层标组布设场地所在方位。

(3)钻孔深度:需超过基岩标或分层标组最深处设计深度,遇松散地层超出部分 $\geq 20\text{ m}$,遇完整基岩超出部分 $\geq 2\text{ m}$;钻孔深度偏差 $\leq \pm 0.5\%$ 。

(4)后续测试:终孔后开展综合测井(视电阻率法、梯度电阻率法等);对 50 m 以浅砂类土进行标准贯入试验,对碎石类土进行重型(Ⅱ)动力触探;土工试验包含土常规试验、标准固结试验和颗粒分析。

2.2.4 地质环境监测

本类工作聚焦地质环境长期动态变化,技术规范侧重样品连续性、原状性及监测数据可比性。

(1)岩心采取率:全孔连续取心,岩石与泥质层 $\geq 90\%$,砂土、壤土及黏土层 $\geq 75\%$,砾质层与粗骨土 $\geq 65\%$ 。

(2)样品质量控制:保持样品原状结构,严禁层间串样或混合;对土质、泥质样品实施低扰动操作,严格控制压缩比例;杜绝钻具、材料及润滑剂等造成的外源污染。

(3)原始记录:涵盖钻孔基本信息(孔位坐标、地貌特征)、作业时间、钻孔深度、分层采取率、基质厚度、样品性状描述(基质类型、色泽等)、钻孔柱状图及原始班报表(机具配置、工艺参数等),确保记录完整可追溯。

3 各种取心(样)方法的特点与适应性分析

为实现城市地质钻探技术的科学选择与规范应用,基于北京市厚层松散层、砂卵石层与基岩互层的地质条件特征,对各类主流取心(样)方法的适用范围、技术特性及工程适应性进行系统梳理与对比分析,结果见表1。

4 制定适应首都城市地质工作的取心(样)钻探标准

城市地质钻探需围绕采取率(按地层类型明确最低要求,保障样品量满足分析需求)、垂直度(控制孔斜,确保钻孔深度与层位准确对应)、保序(维持样品层位连续性,反映地层真实结构)、保真(避免样品污染、扰动,保证样品原始状态)等要求开展,但现有标准未做出系统性规范和要求,也未明确配套技术方法,导致部分项目存在取心质量参差不齐、施工安全隐患等问题。基于上述工作特点,城市地质钻探不仅对钻探技术和方法提出了更高的要求,而且对钻探设备实现小型化、便捷化和智能化也提出了新要求;同时,也对最大限度减少对生态环境扰动、推动城市地质绿色钻探发展提出了新的挑战。制定适应首都城市地质工作的取心(样)钻探标准,既可以规范并指导新时期首都城市地质钻探工作有序开展,又可以为首都城市地质资源环境安全筑牢基础、提供坚实保障。

4.1 针对目的层确定取心率与质量等级

基于北京地质结构特征(厚层松散层、砂卵石层、基岩互层)及不同层位的功能属性,制定动态适应的质量指标,解决“取心率一刀切、质量评价模糊”的问题,建立动态、分层的质量指标体系。(1)制定分层差异化取心率要求:根据地质目标的重要性,要求关键层位(如污染源层、第一含水层、持力

表1 北京市城市地质钻探常用取心(样)方法及特征

Table 1 Common coring (sampling) methods and characteristics for urban geological drilling in Beijing

钻进方法	适用地层	取心(样)特点	应用场 景
冲击钻进	松散地层、砂卵石层、软质岩层及脆性中硬岩层,常规钻孔深度≤30 m	(1)重度扰动,样品为碎屑混合物,难反映原始物理力学性质;(2)污染风险较低但样品易失真,挥发性有机组分易散逸;(3)取心质量极差;(4)设备简单,浅部硬壳层或砂砾石层中具有一定钻进效率;(5)适用深度浅,无法满足高精度需求	对岩心(样)质量要求较低的辅助性项目
普通回转钻进	普通金刚石钻进:中硬及以上岩层;金刚石绳索取心钻进:可钻性6~11级完整、较完整地层;PDC钻进:第四系松散层、软岩层、沉积岩地层;硬质合金钻进:可钻性1~7级岩层	(1)扰动不均,基岩扰动小、松散层扰动大;(2)冲洗液易造成污染,松散层细颗粒易流失;(3)取心质量差异大,基岩取心率高、完整性好,松散层取心效果差,取心口径可调;(4)技术成熟、成本可控,钻进能力强;(5)松散层取心完整性不足,冲洗液污染限制其在高洁净度要求场景的应用	地下空间开发、地质灾害调查、地面沉降监测等
浅层回转钻进	易于取心的浅层软土层,钻孔深度≤30 m	(1)扰动较小,适用黏土层;(2)几乎无污染,有机玻璃管保障样品稳定;(3)取心质量较好,真实反映地层物质组成与污染状况;(4)装备轻便,全地形适应、时效高;(5)松散层取心易扰动、漏失,较深孔易塌孔,不适用于饱和地层高精度取样	地表基质层调查、地质环境监测等浅层取样
多功能直推钻进	深度≤50 m的软地层;提钻取心双管钻具适用于各类软地层,不提钻取心双管钻具适用于含水层以上或地下水承压较小的软地层	(1)扰动极小,可获取近乎完美的原状样;(2)几乎无污染,满足精密检测需求;(3)取心质量优,能精准保留污染物空间分布与相态,适用VOCs、重金属等污染物检测;(4)集成在线监测,效率高,核心设备依赖进口;(5)涌砂层护壁能力不足,含砾层钻具磨损严重,密实地层贯入能力有限	城市环境精密调查、重大工程关键层位验证、废弃工矿场地及矿山遗址重金属污染调查等对岩心(样)质量要求极高的场景
声频振动钻进	松、散、软易振动液化土层,常规钻孔深度≤100 m;声频振动+回转可应用于砾石、卵石、碎石、块石、漂石及冰碛物等松散层	(1)扰动小,实现“滑入式”钻进;(2)几乎无污染,原状结构完整;(3)取心质量优,取心直径大,样品连续、代表性强;(4)钻进效率高,装备适应城市复杂场地,国产装备主要技术参数接近国际水平;(5)可通过声频振动+回转组合工艺处理砾石、卵石等松散层,深部硬地层适应性有待提升	对环保要求严格的环境修复、地下水污染溯源、水土环境地质调查等

层、活动断裂带)采取率≥95%,对一般层位规定合理下限,对极难取心地层,允许降低标准但须说明原因并辅以其他手段验证。(2)引入扰动与洁净度等级,制定结合视觉观察和简单物理测试的扰动等级(如未扰动、轻微、中等、严重)判定标准。同时,针对环境样品,建立洁净度控制等级,从钻具清洗、介质选择到样品封装流转,全过程分级控制并记录。样品的质量等级应与其可开展的试验类型直接挂钩。

4.2 根据检测需要确定岩心数量和空间位置

针对不同类型的城市地质工作,明确样品的量化要求,并解决信息关联性不足、追溯性差等问题。(1)制定分场景样品量化指标:针对城市土地和地下水环境调查、地下空间开发调查、地质灾害监测、地质环境监测等不同类型的城市地质工作,制定适

合北京市不同项目检测、测试所需的最小样品量、尺寸和保存条件(温度、时间、容器)。(2)精准空间定位与唯一标识:采用北京独立坐标系和1985国家高程基准,精确测量每个样品的三维坐标与深度,并与统一坐标系关联。统一采用“项目编号-钻孔编号-层位编号-样品编号”的二维码标识,关联钻孔坐标、地层名称、取心方法、钻具类型、取样时间、保存条件、检测机构等信息,实现从取样到数据汇交的全生命周期追溯。

4.3 基于地质目的选择合理的工艺方法

针对北京市不同地层(松散层、砂卵石层、基岩)与地质目标的适应需求,编制精准化工艺选择矩阵,解决技术选型随意的问题。(1)编制“目标-地层-工艺”选择矩阵、决策树,以表格或流程图形式直观展

示不同应用场景的最优、可选及禁用工艺。(2)指导关键工艺参数,对各类推荐工艺的操作参数(如钻压、转速、冲洗液排量、推进速率)提供建议范围,并强调需根据实时钻进情况进行动态优化调整。

4.4 选择适应城市环境的设备机具与环保要求

结合首都超大城市施工空间受限、环保要求高(居住区、文保区、交通干线密集)的特点,制定针对性装备与环保标准,解决施工扰民、环境污染的问题。

(1)提出绿色钻探装备要求:鼓励和规范使用低噪声、低振动、电动或液压驱动模块化、小型化钻机;针对不同施工区域(居民区、文保区),规定设备的声级、振动限值和作业时间窗口^[26]。

(2)规范环保材料与工艺:对冲洗液提出环保要求,明确其性能指标,禁止使用有毒有害添加剂;明确岩屑、废浆、废水的分类、收集、暂存、处理与处置规程;对疑似污染地段的废弃物,必须先行检测,并依据检测结果进行专业化、无害化处置;施工结束后,按要求进行封孔,作业区地面恢复原状,绿化区域需补种植被,避免水土流失^[26]。

5 结论与建议

5.1 结论

北京市城市地质钻探工作正经历从量到质的关键转型。为满足城市发展对精细化、多维度地质信息的需求,现有工作在技术选择的科学性、过程控制的规范性、质量评价的系统性及信息管理的完整性等方面,均暴露出体系性短板。考虑到各类取心技术的适用边界,当前核心问题并非技术匮乏,而是缺乏引导技术合理选用、规范作业流程、系统评估质量、深度融合数据的规范性框架。该框架的缺失已成为制约北京市地质数据价值挖掘与服务效能提升的关键瓶颈。因此,推进钻探取心工作的标准化、精细化与智能化转型,是支撑首都城市安全发展、促进地下空间高效利用和保护生态环境的必然选择和基础工程。

5.2 建议

(1)加速标准编制与动态迭代,强化北京特色适应性。建议由北京市规划和自然资源主管部门主导,联合行业权威机构、领军企业及科研院所,启动相关技术规范的编制。标准应突出北京特色,强化可操作性,并建立定期复审和更新机制,以吸纳新技术、新理念。

(2)聚焦典型地质难题,推动技术创新与装备国产化。加大首都城市地质钻探技术专项科研投入,重点攻关北京典型地层取心难题。加快装备国产化替代,重点突破直推钻机的关键技术,提升国产装备的材料强度与使用寿命,降低对进口配件的依赖。推广岩心高光谱扫描、数字岩心建模、AI图像识别编录等数字化技术,提升信息提取效率与客观性。

(3)构建全链条质量监管体系,强化专业化人才队伍建设。建立覆盖“项目设计-野外施工-样品流转-实验测试-数据汇交”的全链条质量监督机制,将钻探质量纳入城市地质项目考核指标。加强专业技术人才培养,重点强化北京典型地层取心(样)钻进工艺、污染防治、安全操作等专业能力培训。

(4)推广绿色钻探理念,适应城市精细化管理要求。针对北京城市施工空间受限、环保要求高的特点,在钻探过程中应坚持绿色钻探的理念,采用高效、环保、节能的钻探方法、技术、工艺和设备等,减少或避免对生态环境造成的不良影响,并对环境扰动进行修复,实现钻探与生态环境保护和谐发展的钻探模式^[26]。

参考文献(References):

- [1] 卫万顺,郑桂森,于春林,等.未来五年我国城市地质工作战略思考[J].城市地质,2016,11(2):1-5.
WEI Wanshun, ZHENG Guisen, YU Chunlin, et al. Strategic thinking on China urban geological work in the next five years[J]. Urban Geology, 2016, 11(2): 1-5.
- [2] 马震,黄庆彬,林良俊,等.雄安新区多要素城市地质调查实践与应用[J].华北地质,2022,45(1):58-68.
MA Zhen, HUANG Qingbin, LIN Liangjun, et al. Practice and application of multi-factor urban geological survey in Xiongan New Area[J]. North China Geology, 2022, 45(1): 58-68.
- [3] 李云峰,葛伟亚,张庆,等.中国城市地质工作发展历程及展望[J].地质论评,2024,70(S1):348-350.
LI Yunfeng, GE Weiya, ZHANG Qing, et al. Development process and prospect of urban geological work in China[J]. Geological Review, 2024, 70(S1): 348-350.
- [4] 冉灵杰,李海明,熊宗喜,等.我国城市地质钻探工作的现状与思考[J].建筑技术,2023,54(14):1737-1740.
RAN Lingjie, LI Haiming, XIONG Zongxi, et al. The present situation and thinking of urban geological drilling work[J]. Architecture Technology, 2023, 54(14): 1737-1740.
- [5] 卫万顺.未来10~15年北京城市地质工作的战略思考[J].城市地质,2007,2(1):1-5.
WEI Wanshun. Strategic considerations on Beijing's urban geology in the coming 10 to 15 years[J]. Urban Geology, 2007, 2(1): 1-5.

- [6] 王达,孙建华.我国钻探工程技术标准现状与展望[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(1):4-8.
WANG Da, SUN Jianhua. Current situation and prospect of technical standard of drilling engineering[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(1):4-8.
- [7] 王建伟,宋林旭,常亮,等.浅谈城市地质调查工程地质钻探施工与质量[J].西部探矿工程,2020,32(4):26-28.
WANG Jianwei, SONG Linxu, CHANG Liang, et al. A brief discussion on geological drilling construction and quality of urban geological survey projects[J]. West-China Exploration Engineering, 2020,32(4):26-28.
- [8] 王斌.中国地质钻孔数据库建设及其在地质矿产勘查中的应用[D].北京:中国地质大学(北京),2018.
WANG Bin. The construction of the national geological drilling database and its application in geological resource exploration [D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2018.
- [9] 彭新明,周国庆,李安,等.Geoprobe直推式土壤钻机在涌砂层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(5):60-64.
PENG Xinming, ZHOU Guoqing, LI An, et al. Application of Geoprobe direct push & rotary rig in sampling in quicksand layers [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(5):60-64.
- [10] 秦沛,郑小体.北京市平原区松散地层钻探取心技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1):90-93.
QIN Pei, ZHENG Xiaoti. Drilling coring technology in plain incompact stratum of Beijing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(S1):90-93.
- [11] 贾长城,刘春生.北京平原区新生界立体地质调查钻探泥浆护壁技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(1):18-20.
JIA Changcheng, LIU Chunsheng. Borehole wall protection with slurry in cenozoic stereo geological investigation in plain area of Beijing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(1):18-20.
- [12] 郑国海,胡凌志,蔡向民.城市地质调查钻探地质编录的实践和体会[J].城市地质,2008,3(3):45-48.
ZHENG Guohai, HU Lingzhi, CAI Xiangmin. Practice and experiences of the drilling geological logging about urban geological survey[J]. Urban Geology, 2008,3(3):45-48.
- [13] 秦沛.北京(密云)地应力监测孔钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):38-42.
QIN Pei. Drilling technology for ground stress monitoring borehole in Beijing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(1):38-42.
- [14] 刘春生,张建杰,贾长城.成膜抑制冲洗液体系在地应力钻探中的应用[J].城市地质,2017,12(2):102-105.
LIU Chunsheng, ZHANG Jianjie, JIA Changcheng. Application of the film formation inhibition flushing liquid system in geostress drilling[J]. Urban Geology, 2017,12(2):102-105.
- [15] 秦俊生,刘春生,谭成轩.地应力钻孔成果质量评价探讨[J].城市地质,2017,12(1):5-10.
QIN Junsheng, LIU Chunsheng, TAN Chengxuan. Quality evaluation on borehole geo-stress result [J]. Urban Geology, 2017,12(1):5-10.
- [16] 张建杰,刘春生.分级扩孔技术在地应力钻孔施工中的应用[J].西部探矿工程,2017,29(10):19-21,24.
ZHANG Jianjie, LIU Chunsheng. Application of grade expansion hole technology in ground pressure drilling construction [J]. West-China Exploration Engineering, 2017,29(10):19-21,24.
- [17] 张建杰,李海明.京津冀协同发展区地应力监测孔钻探施工技术[J].钻探工程,2022,49(6):48-53.
ZHANG Jianjie, LI Haiming. Drilling technology for geostress monitoring holes in Beijing-Tianjin-Hebei collaborative development region[J]. Drilling Engineering, 2022,49(6):48-53.
- [18] 张建杰,李海明,刘春生,等.地应力监测孔钻进效率统计与分析研究[J].钻探工程,2024,51(1):120-125.
ZHANG Jianjie, LI Haiming, LIU Chunsheng, et al. Statistics and analysis of drilling efficiency of geostress monitoring holes[J]. Drilling Engineering, 2024,51(1):120-125.
- [19] 苏兴涛,冉灵杰,祝强,等.地表基岩钻探取样技术与应用研究[J].地质论评,2023,69(6):2239-2246.
SU Xingtao, RAN Lingjie, ZHU Qiang, et al. Method and application research on drilling sampling techniques of surface substrate[J]. Geological Review, 2023,69(6):2239-2246.
- [20] 邢宇鑫,唐磊,肖爽,等.TGQ-15型轻便取样钻机钻具改进实验及其应用[J].城市地质,2017,12(3):95-99.
XING Yuxin, TANG Lei, XIAO Shuang, et al. Improvement experiment of the TGQ-15 portable sampling drill rig and its application[J]. Urban Geology, 2017,12(3):95-99.
- [21] 秦沛,张建杰.TQC-15钻机在北京环境地质调查中的应用[J].地质装备,2017,18(2):27-29,32.
QIN Pei, ZHANG Jianjie. Application of TQC-15 drills in the Beijing environmental geological survey [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2017,18(2):27-29,32.
- [22] 秦沛,李海明,刘春生.Geoprobe直推钻机在城市水土环境地质调查中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):1-8.
QIN Pei, LI Haiming, LIU Chunsheng. Application of geoprobe drilling rig in investigation of the urban soil and water environment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(3):1-8.
- [23] 张建杰,刘春生,段石敦.直推钻探技术在矿山地质环境调查评价中的应用研究[J].城市地质,2023,18(2):186-191.
ZHANG Jianjie, LIU Chunsheng, DUAN Shidun. Applied research of direct push drilling technology in mine geological environment investigation and evaluation [J]. Urban Geology, 2023,18(2):186-191.
- [24] 王青薇,钟道旭,尹业新,等.砂土卵石地层高频冲击直推半管取样工艺应用研究[J].钻探工程,2022,49(4):111-116.
WANG Qingwei, ZHONG Daoxu, YIN Yexin, et al. High frequency impact direct push split tube sampling technology for sandy pebble layers [J]. Drilling Engineering, 2022,49(4):111-116.
- [25] 陆卫星,吴浩,任晓飞.MGD-S50 II型声频振动钻机应用试验及优化研究[J].地质装备,2021,22(6):14-18.
LU Weixing, WU Hao, REN Xiaofei. Application test and optimization of MGD-S50 II acoustic vibration drill [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2021,22(6):14-18.
- [26] 姜来峰,刘卫东,张福良.绿色勘探技术[M].北京:地质出版社,2022.
JIANG Laifeng, LIU Weidong, ZHANG Fuliang. Green Exploration Technology[M]. Beijing: Geological Press, 2022.

(编辑 王跃伟)