

► 普通高等学校教材

ZUANTAN YU JUETAN

钻探与掘探

高正夏 龚友平 杨光中 编著



地质出版社

普通高等学校教材

钻探与掘探

高正夏 龚友平 杨光中 编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书比较系统地介绍了工程勘察工作中涉及的钻探和掘探的必要理论知识和方法。全书共分六章, 主要内容包括绪论、钻探设备、钻进工艺、钻孔试验、钻探成果、掘探工程等。

本书可作为普通高等学校地质工程专业师生教学用书, 也可作为其他相关专业及野外地质技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

钻探与掘探/高正夏等编著. —北京: 地质出版社, 2013. 3

ISBN 978 - 7 - 116 - 08173 - 4

I. ①钻… II. ①高… III. ①钻探-高等学校-教材
IV. ①P634

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 024550 号

责任编辑: 李惠娣 王秋芬

责任校对: 张 冬

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324514 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82324340

印 刷: 北京纪元彩艺印刷有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm ¹/₁₆

印 张: 16

字 数: 390 千字

印 数: 1—1500 册

版 次: 2013 年 3 月北京第 1 版

印 次: 2013 年 3 月北京第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 08173 - 4

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

钻探作为人类长期以来与自然界斗争和协调发展的技术方法，有着悠久的历史。从早期的钻凿盐井到当代油气、矿床的开采，为人类的进步做出了巨大的贡献。随着人类对地球的认识不断深入，技术水平的不断提高，钻探为地质学的研究提供了有力的技术保障。从地表的探测、观察逐渐深入到地球内部圈层查找证据，而且不断加深，获得的资料越来越丰富，极大地促进了地质学的发展。科学钻探就是为地学研究等目的而实施的钻探。当代，人类在发展自身的历程中，对地球的索取超过了对它的关心和爱护，这种人地关系的失衡导致了今天的资源、环境、生态、人口等问题，科学钻探对解决人类社会所面临的资源、灾害和环境三大问题都有十分重要的意义，同时也是一项能带动相关工程技术发展的重大科学工程。

科学钻探通过科学探测地球内部的结构和成分，在构造地质学方面能够研究地球深部构造及演化，检校地球物理探测结果，研究地壳深部流体及其作用，探索大型陨石撞击作用与生物集群灭绝奥秘；在资源能源开发利用方面可以研究盆地演化、成矿理论、油气成因及天然气水合物，调查和开发深部热能；在环境科学方面能研究地震成因，改进地震预报，研究火山喷发机理及各类地质灾害预警，研究地球气候演变、探索生命演化历史。总部设在德国波茨坦的国际大陆科学钻探计划（ICDP, International Continental Scientific Drilling Program）组织成立于1996年2月，德国、美国和中国作为第一批成员国，成为ICDP的发起国，目前已有15个国家为其成员。在ICDP成立之前，世界各国都已经有了科学钻探的探索。如美国的莫霍面计划（Mohole Project）、深海钻探计划（Deep Sea Drilling Project, DSDP），苏联在全国范围内开展的大陆科学钻探，德国的“联邦德国大陆深钻计划（KTB）”，法国、英国、加拿大、日本、瑞典、瑞士等国也都有科学钻探的实施。科学钻探是一种成本极高、风险极大、技术极其复杂的科学工程，各国在实施过程中会遇到很多困难，由此制约了钻探施工和成果获取。ICDP的成立为科学钻探降低风险和成本、装备技术的交流和共享、科学成果的交流和共享都起到了良好的促进作用。目前科学钻探已经实施了湖泊钻探项目、陨石撞击和生物灭绝事件的科学钻探项目、研究火山和地热的钻探项目、断层带科学钻探项目等22个科学钻探项目，取得了大量的科学资料，极大地促进了地质学及相关技术的发展。ICDP已与综合大洋钻探计划（IODP）组织签订协议，要加强两项计划在科学钻探领域的合作与协调，共同出版的《科学钻探期刊》（*Scientific Drilling Journal*）已于2005年发行第一期。ICDP成立以后培训了一批专家技术人员，包括地质学家、钻探专家、地球物理学家、测井专家、实验测试师以及信息技术专家。中国大陆科学钻探工程经过多年的长期论证，经过我国科学家30余年的努力，终于在1997年获

得国家批准立项，2001 年开工建设，至 2005 年完成钻探施工任务。所获得的地下实物样品，经过各方面科学家的研究，已经取得了重大的科学成果。

在 20 世纪 60 年代，随着美苏太空竞赛的逐步升温，另一场竞赛也在悄然展开：那就是向地心进军。或许苏联人和美国人都无法钻探得太深，但他们的目标是钻入地壳与地幔之间的界面，即莫霍洛维奇不连续面，这个界面是理论上的但相当有争议的分界线，它介于坚固的地壳和充满岩浆的地幔之间。自美国人发起莫霍面钻探计划之后，苏联人也加入了这场钻入世界上最深孔的竞赛。1960 ~ 1962 年太空竞赛期间，苏联的科学家们在经济利益和民族自豪感的激励下制订了一个“俄罗斯莫霍钻探”计划，其目标是抢在美国钻探计划前到达莫霍面，最初的目标包括了解贵重矿石如何形成，所以俄罗斯人把自己努力的希望放在了不毛之地 Pachenga。在科拉学院，苏联人钻探了 15 余年，达到地壳 12260.1m (40226 英尺) 的深度，这个记录至今无人打破。美国的钻深记录是 9583.2m (31441 英尺)，1974 年，钻于俄克拉何马州沃希托县。

开展矿产地质普查时，为了解地层、地质构造，要打普查钻；在进行详查时，为查明矿产产状、品位与储量要采用钻探方法进行更详细周密的勘探。无论是普查还是详查，地质钻探一般都要求采取完整的岩心，必要时还要进行相关的测井工作。

地质工程专业的学生毕业后经常从事的是以查明地下地质情况为目的的工程地质勘探工作。工程地质勘探，就是利用一定的机械工具或开挖作业深入地下了解地质情况。在地面露头较少、岩性变化较大或地质构造复杂的地方，仅靠地面观测往往不能弄清地质情况，这就需要借助地质勘探工程来了解和获得地下深部的地质情况和资料，工程地质常用的勘探工程有钻探和掘探两大类，工程地球物理勘探和化学勘探有时也被归入地质勘探中。

工程地质勘探中的水利水电工程勘探旨在探明坝址、库区、厂房、输水隧道区的工程地质与水文地质条件以及基础的天然强度。勘探工作的布置，服从于工程地质、水文地质的综合目的与要求，就坝址区的水文地质勘探工作来说，勘探点是沿坝轴线及其上下游一定距离（一般是 100 ~ 300m）范围内布置的，点距取决于地质条件复杂程度及工程特点 and 设计阶段，一般 50 ~ 200m，勘探深度达到新鲜基岩 5 ~ 10m 或相当于水库设计水头的 1 ~ 1.5 倍深度。为确定坝基及坝肩处岩石的渗透性，要进行水文地质观测和抽水压水试验工作。一般在裂隙岩层中进行压水试验，松散岩层或岩溶发育地区进行抽水试验，在地下水水面以上的包气带则做注水试验，试验数量一般占全部钻孔的 50% 以上。当河谷中覆盖层不厚时，一般小型坝址只在覆盖层中进行简单试验工作，中型水库，坝址长度不超过 1000m 的，在透水性较强的覆盖层中，一般不应少于 1 ~ 2 个多孔抽水试验，其位置分布在枢纽主要建筑物部分与河床最低部分。在坝高不超过 10 ~ 15m 时，除特殊情况外，一般只做单孔试验。在大型坝区，不但要在覆盖层分层抽水，而且还要根据基岩特性，在覆盖层中做 2 ~ 3 个多孔抽水试验和几排单孔抽水试验，在岩溶发育岩层及其他渗透性较强的地区也应进行多孔和单孔抽水试验。多孔抽水试验的观测孔，不但垂直和平行坝轴线布置，而且

应布置在每一主要含水层中。

工程地质钻孔, 根据其不同阶段及用途可分为勘探孔和基础处理孔两种, 勘探孔是在勘探阶段, 用来查明水工建筑区域的基础地质情况, 为水工建筑物的设计提供资料。基础处理孔是在施工过程中, 通过钻孔灌入水泥浆或其他化学浆液, 对建筑物基础进行加固或防渗处理, 以保证其稳定与安全。对钻孔的地层, 包括覆盖层和基岩, 都要较好较多地取出岩样和土样, 进行强度试验和物理性质的试验, 尤其是软弱夹层及破碎带更不能漏掉。在原始报表上要详细记录钻进过程中所遇到的各种工程地质、水文地质情况, 保持钻孔按设计角度钻进。尽量提高水文地质观测、抽水和压水试验精度, 努力做到提供的地质情况既完整又真实, 提供原状样品, 取得精确资料, 为工程设计和基础处理提供可靠的地质资料, 使设计、施工做到既好又省。

勘探工作是工程的基础, 不但关系到建筑物的稳定性, 工程的寿命, 而且也关系到建筑物的经济效益。我国三门峡水利枢纽的建设, 由于进行了详细的勘探工作, 对库区和坝址的工程地质和水文地质进行了评价, 不仅对设计施工起着重要作用, 而且显示了我国水利水电勘探工作的水平, 而美国在 1905 年设计的顿涅西河上的赫尔斯 - 巴尔坝, 坝高 25m, 建筑在强烈岩溶化的厚层石灰岩上, 兴建时几乎未做工程地质、水文地质勘探工作, 后来发生严重渗漏, 不得不进行补充勘探和处理工作, 预计两年完成的工程持续了 8 年 (1905 ~ 1913), 预计 300 万美元费用, 增加到 1150 万美元, 由于处理不当, 其后又发生更危险的渗漏, 1930 年渗漏泉水流量达 $34\text{m}^3/\text{s}$, 接着便引起了人们对坝体稳定性的忧虑, 最后又花巨资进行处理, 从 1913 年到 1940 年, 对渗漏的处理延续了 26 年, 这是一个令人深思的严重教训。

由此可见, 工程地质勘探是水利水电建设的重要工作, 我们必须在提高工作效率的同时, 努力提高钻探工作质量。

本教材在内容选择、章节安排方面不仅限于水利水电工程专业的学生, 对从事水利、电力、港口、交通、市政、建筑、岩土体加固治理、环境整治、地质灾害预测预报、工程施工、矿产资源勘查等工作的学生都有一定的参考意义。

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
第一节 钻探方法分类	(1)
第二节 钻探方案制订	(5)
第三节 钻探发展简史	(8)
第四节 岩土的可钻性	(17)
一、岩石的强度	(17)
二、岩石的硬度	(20)
三、岩石的弹性、塑性和脆性	(26)
四、岩石的研磨性	(29)
五、岩石的可钻性	(31)
第二章 钻探设备	(38)
第一节 常见钻机	(38)
第二节 钻探动力机	(44)
一、电动机	(44)
二、柴油机	(45)
第三节 泵与泥浆	(47)
一、冲洗液的基本知识	(47)
二、与泥浆有关的基本概念	(53)
三、钻探用泵	(58)
第四节 钻探管材与钻塔	(62)
一、钻杆	(62)
二、岩心管和套管	(65)
三、取粉管	(66)
四、钻铤	(67)
五、钻杆接箍和锁接头	(67)
六、异径接头和三用接头	(68)
七、钻塔	(68)
八、钻具组合与工具	(69)
九、各类钻头	(69)

第三章 钻进工艺	(73)
第一节 硬质合金钻进	(73)
一、钻探用硬质合金的性能及规格	(73)
二、硬质合金钻头	(74)
三、硬质合金钻进工艺	(76)
第二节 钢粒钻进	(78)
一、钢粒和钢粒钻头	(78)
二、钢粒钻进规程	(79)
三、钢粒钻进操作技术	(81)
第三节 金刚石钻进	(82)
一、金刚石的性质及分级	(82)
二、金刚石的钻进原理	(83)
三、金刚石钻头	(84)
四、金刚石钻进规程	(86)
五、金刚石钻进技术	(88)
第四节 土层及松散地层钻进	(89)
一、土层钻进	(89)
二、砂卵砾石层钻进	(92)
三、细砂层钻进及淤泥取样	(96)
四、破碎带及软弱夹层钻进	(96)
五、岩溶地层钻进	(101)
六、山麓堆积的崩石层钻进	(101)
七、高压含水层钻进	(102)
第五节 其他钻进方法	(102)
一、振动钻进	(102)
二、螺旋钻进	(103)
三、冲击回转钻进	(103)
四、绳索取心钻进	(104)
五、大口径钻进	(107)
六、水上钻探	(109)
七、特殊孔钻进	(123)
第六节 常见钻进事故与处理	(123)
一、卡钻	(124)
二、夹钻	(126)
三、埋钻	(127)

四、淤钻·····	(128)
五、烧钻·····	(128)
六、粗径钻具折断·····	(129)
七、钻杆折断·····	(130)
八、钻进时的落入事故·····	(131)
九、起钻后的落入事故·····	(132)
十、套管拔不出·····	(132)
第四章 钻孔试验·····	(133)
第一节 注水试验·····	(133)
一、概述·····	(133)
二、试坑注水试验·····	(133)
三、钻孔注水试验·····	(136)
第二节 抽水试验·····	(142)
一、概述·····	(142)
二、一般要求·····	(143)
三、过滤器与常用设备·····	(144)
四、现场工作·····	(154)
第三节 压水试验·····	(159)
一、概述·····	(159)
二、试验设备·····	(161)
三、一般规定·····	(163)
四、现场工作要点·····	(167)
五、资料整理·····	(170)
六、工程应用·····	(175)
第五章 钻探成果·····	(178)
第一节 取样·····	(178)
一、取土样·····	(178)
二、取岩样·····	(194)
第二节 岩土现场鉴别与描述·····	(195)
一、一般规定·····	(195)
二、描述精度·····	(196)
三、岩石鉴别与描述·····	(197)
四、碎石土鉴别与描述·····	(199)

五、砂土鉴别与描述·····	(200)
六、黏性土、粉土鉴别与描述·····	(202)
七、特殊土鉴别与描述·····	(204)
第三节 封孔技术·····	(207)
一、封孔的目的·····	(207)
二、封孔的要求·····	(207)
三、封孔的方法·····	(207)
第四节 室内资料整理·····	(211)
一、钻孔柱状图的表示内容·····	(211)
二、计算机辅助绘图软件简介·····	(213)
 第六章 掘探工程·····	(218)
第一节 掘探工程分类·····	(218)
第二节 爆破基础知识·····	(222)
一、爆破器材的基本性能·····	(222)
二、硐室开挖爆破作业基本知识·····	(224)
三、一般露天开挖爆破作业基本知识·····	(225)
第三节 “新奥法”掘进技术·····	(225)
一、光面爆破·····	(228)
二、锚喷支护·····	(231)
三、围岩量测·····	(233)
第四节 河底平硐施工·····	(233)
一、收集资料·····	(233)
二、编制施工组织设计·····	(233)
三、确定井位、进行井场布置·····	(233)
四、河底平硐施工注意事项·····	(233)
五、河底平硐的布设与施工·····	(234)
第五节 掘探工程地质编录·····	(236)
一、坑探工程设计书的编制·····	(236)
二、坑探工程的观测、描述·····	(236)
三、坑探工程展视图·····	(238)
 主要参考文献·····	(241)
 后记·····	(243)

第一章 绪 论

第一节 钻探方法分类

钻探方法可划分为直接、半直接和间接三大类。

直接钻探指用人工或机械开挖的探井、探槽、竖井、平硐以及大口径钻孔。这类勘探工程断面尺寸大，工作人员可进入其中，在较大的暴露面上对岩土层进行观察、取样或原位试验，因此是最直接的或称“人能通达”的勘探（accessible exploration）。

半直接钻探包括各类较小口径的取样钻探。从钻孔中采取的岩土样品可能是连续完整的岩心，也可能是分段受扰动的土样，甚至是由钻探循环液携带出地面的岩土粉屑，根据这些样品来了解地层的性质、分布和变化情况。在钻孔中还可以采取室内试验样品，或进行各种孔内原位试验。

间接钻探包括触探和工程地球物理钻探。触探是将某种形状的探头以某种方式贯入地层之中，凭借贯入时的感触，贯入的难易，即某种贯入指标来判断地层的变化及其性质。地球物理钻探则是以研究地下物理场（如电场、磁场、重力场）为基础的钻探方法，用于工程勘察中称为工程地球物理钻探，简称工程物探。不同地质体物理性质上的差异直接影响地下物理场的分布规律。通过观测、分析和研究这些物理场并结合有关地质资料，可判断地层的分布与变化情况，解决地质构造、地下埋藏物以及地下水分布规律等方面的一些问题。

各类钻探方法的功能与应用条件见表 1-1。

表 1-1 各类钻探方法的功能与特点

钻探方法		功能与特点	应用	限制
直接	探井、探槽	1. 可在掘进范围内直接观察地层岩性及地质构造； 2. 可在其中采取高质量的岩土试样； 3. 可在其中进行大型的原位测试	可用人力开挖，适用于地形陡峭的山地； 应用于滑坡、断层、特殊土（如黄土）的勘探	受地下水限制，开挖深度不能太大
	竖井平硐	同上	应用于大型工程，如大坝、隧道、地下硐室的勘探	费用高，施工难度大，施工时间长
半直接	钻探	1. 可采取岩土心样，根据岩土样品、钻进参数、手感等鉴别地层； 2. 可采取岩土试样； 3. 可进行孔内原位测试； 4. 可观测地下水位	普遍应用于各类工程的勘探	对地质构造、溶洞形态等只能做出推断，有时可能发生误判

续表

钻探方法		功能与特点	应用	限制
间接	触探	1. 根据贯入指标间接划分地层, 兼有原位测试功能; 2. 可获得全断面的贯入曲线, 对土层的细微变化反应灵敏	普遍应用于地基土的勘探, 效率高, 成本低	不能直接观察地层, 有时贯入曲线具有多解性, 可能发生误判
	工程物探	1. 具有“透视性”, 可简单快捷地获得有关地层岩性、地质构造, 地下埋藏物的信息; 2. 可测得岩土层的某些物理力学性质参数	多作为辅助手段配合其他勘探方法使用, 效率高, 成本低	不同方法均有各自的应用条件和局限性, 常具有多解性, 无其他方法配合易误判

另外, 我们还常提及化探, 化探就是系统地测量和研究各类天然物质中与自然资源有关的地球化学指标, 进行资源勘查或预测的方法。

地球化学找矿作为一种探矿方法, 简称为化探。由于近年来在理论、方法、技术及效果上的迅速发展, 它已经从一种单一的直接找矿方法发展成为一门新兴的独立应用学科——勘查地球化学, 形成了自己独立的理论基础和应用体系, 但在文献中仍习惯上简称为化探。根据勘查对象和方法的不同, 它区分为金属矿化探、非金属矿化探、油气化探、地热化探、航空化探、海洋化探和区域化探等。

选择合理综合勘探方法的基本原则见表 1-2。各类钻进方法如图 1-1 所示。

表 1-2 选择合理综合勘探方法的基本原则

序号	基本原则	说 明
1	选择适当种类信息的物探方法	一般情况下, 综合方法应包括能给出相应种类信息的地球物理方法, 即这些方法能测量不同物理场的要素或同一场的不同物理量
2	工作顺序的确定	严格遵循以提高研究精度为特征的工作顺序, 尽可能地降低工程费用, 增加信息密度
3	基本方法与详查方法的合理组合	利用一种 (或数种) 基本方法按均匀的测网调查全区, 其余的方法作为辅助方法
4	应用条件的考虑	选择综合方法时, 除考虑地质-地球物理条件外, 应考虑到地形、地貌、干扰及其他因素。如山区地形条件下, 地震、电法可能受到限制
5	地质、物探、钻探进行配合	在进行物探调查之后, 对查明的异常地段用工程地质方法进行详细研究。在钻孔及坑道中, 除测井外还进行地下物探方法的观测。在所取得的资料基础上, 对现场物探结果重新解释, 加密测网并利用早先未采用的方法完成补充物探工作, 然后在有远景的地段布置新的钻孔和坑道进行更详细的研究
6	工程-经济效益原则	选择合理的综合物探方法既要考虑工程效果, 又要考虑经济效益, 即以工程-经济效益为基础, 这样可获得有关各个方法及各种不同方法相配合的效益资料, 并且考虑到方法的信息度和成本

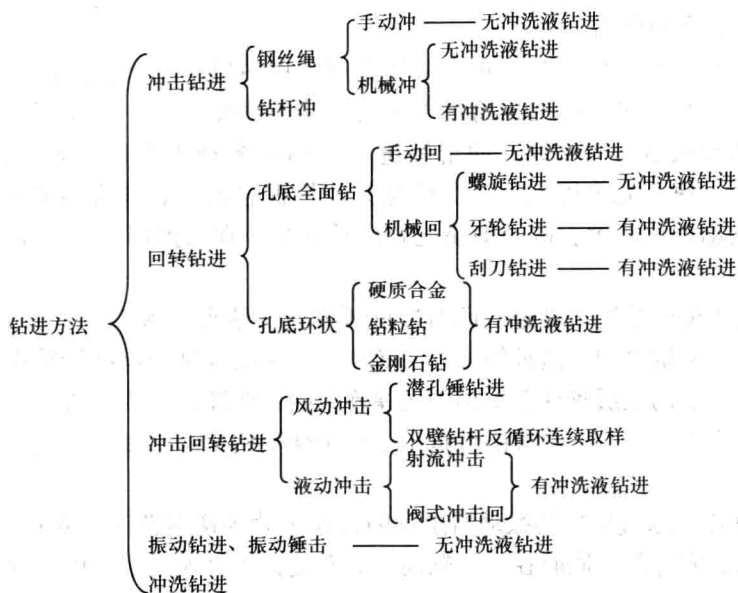


图 1-1 各类钻进方法

钻探钻进方式有回转、冲击、振动和冲洗四种。

(1) 回转钻进。通过钻杆将旋转力矩传递至孔底钻头，同时施加一定的轴向压力实现钻进。产生旋转力矩的动力源可以是人力或机械，轴向压力则依靠钻机的加压系统以及钻具自重。钻头的主要类型和功能见表 1-3。

表 1-3 回转钻进常用钻头

钻头类别	钻头名称	功能特性
螺旋类	麻花钻头、勺形钻头	适用于黏性土层，可干法钻进，螺旋旋入土层之中，提钻时带出扰动土样，供肉眼鉴别及分类试验之用
	提土器	功能同上。加有中心空杆及底活塞，可通水通气，防止提钻时孔底产生真空，造成缩孔、管涌等孔底扰动破坏
环形钻进类 (岩心钻进)	合金钻头、钢粒钻头（单管及双管）	适用于土层及岩层，对孔底作环形切削研磨，用循环液清除输出岩粉，环形中心保留柱状岩心，提取后可供鉴别、试验之用
	金刚石钻头（单管及双管）	功能同上。钻进效率高，高速回转对岩心破坏扰动小，可获得更高的岩心采取率
无岩心孔底全面钻进	鱼尾钻头、三翼钻头、牙轮钻头	适用于土层及岩层，对整个孔底切削研磨，用循环液清除输出岩粉，可不提钻连续钻进，效率高，只能根据岩粉及钻进感觉判断地层变化

除此之外，目前使用较多的空心管螺旋钻也是一种回转钻进钻头，即在空心管外壁上连续的螺旋翼片，用大功率的钻机驱动旋入土层之中，螺旋翼片将碎屑输送至地面，提供有关地层变化的粗略信息，而通过空心管则可进行取样及标准贯入试样等工作。用这种钻头可钻出直径为 150 ~ 250mm 的钻孔，深度可达 30 ~ 50m。长而连续的钻头旋入土中后

实际也起到护壁套管的作用。

(2) 冲击钻进。利用钻具自重冲击破碎孔底实现钻进。破碎后的岩粉、岩屑由循环液冲出地面，也可采用带活门的抽筒提出地面。冲击钻头有“一”字形、“十”字形等多种，可通过钻杆或钢丝绳操纵。冲击钻进可应用于多种土类以及岩层的钻进，对卵石、碎石、漂石、块石尤为适宜。冲击钻进只能根据岩粉、岩屑和感觉判断地层变化，对孔壁、孔底扰动都比较大，故一般是配合回转方式，在遇到回转难以奏效的粗颗粒土层时使用。

与冲击钻进类似的是锤击钻进，即通过重锤将管状钻头（砸石器）击入孔底土层中，提钻后掏出土样供鉴别之用。这种钻进方法效率低，一般也是配合回转钻进，遇到特殊土层时使用。但在合适的土层条件下采用钢丝绳连接的孔底锤击钻头钻进，则是效率高、质量好的一种钻进方式。例如，在湿陷性黄土中采用薄壁钻头锤击钻进就是一种较好的钻进方法。

(3) 振动钻进。通过钻杆将振动器激发的快速振动传递至孔底管状钻头周围的土中，使土的抗剪阻力急剧降低，同时在一定轴向压力下使钻头贯入土层之中。这种钻进方式能取得有代表性的鉴别土样，且钻进效率高，能应用于黏性土层、砂层以及粒径较小的卵石、碎石层，但是这种钻进方式对孔底扰动较大，往往影响高质量土样的采取。

(4) 冲洗钻进。通过高压射水破坏孔底土层实现钻进，土层被破碎后由水流冲出地面。这是一种简单快速、成本低廉的钻进方法，适用于砂层、粉土层和不太坚硬的黏性土层，但冲出地面的粉屑往往是各土层物质的混合，代表性很差，给地层的判断和划分带来困难。

以上几种钻进方式分别适用于不同地层，各有特点和利弊，应根据地层情况和工程要求恰当地选择。《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2001）的规定见表1-4。表中未列入冲洗钻探，因一般情况下不宜采用。但有时只需要查明基岩埋藏深度而不需要详细鉴别覆盖土层，则冲洗钻进仍不失为有效的方法。

表 1-4 钻探方法的适用范围

钻探方法		钻进地层					勘察要求	
		黏性土	粉土	砂土	碎石土	岩石	直观鉴别， 采取不扰动土样	直观鉴别， 采取扰动土样
回 转	螺旋钻探	++	+	+	-	-	++	++
	无岩心钻探	++	++	++	+	++	-	-
	岩心钻探	++	++	++	+	++	++	++
冲 击	冲击钻探	-	+	++	++	+	-	-
	锤击钻探	+	+	+	+	-	++	++
振 动		++	++	++	+	-	+	++

注：++适用；+部分适用；-不适用。

岩土工程钻探的方法、运用条件、主要钻具及优缺点见表 1-5。

表 1-5 岩土工程钻探的方法、适用条件、主要钻具及优缺点

钻探方法		适用条件		优点	缺点
冲击钻探	人力	黏性土，黄土，砂，砂卵石层，不太坚硬的岩层		设备简单、经济，一般不用冲洗液，能准确了解含水层	劳动强度大，难以取得完整岩心，孔深较浅，仅宜钻直孔
	机械	除上述外，还可用于坚硬岩层		可用于其他方法难以钻进的卵石、砾石、砂层，孔径较大，可不用冲洗液	不能取得完整岩心，仅宜钻直孔
回转钻探	人力	黏性土，砂层		设备简单，能取心，取样，成本低	劳动强度较大，孔深较浅
	机械	硬合金	小于Ⅷ级的沉积岩及部分变质岩、岩浆岩	岩心采取率较高，孔壁整齐，钻孔弯曲小，孔深大，能钻任何角度的钻孔，便于工程地质试验，可取心，取样	在坚硬岩层中钻进时钻头磨损大，效率低
		钢粒	Ⅶ—Ⅻ级的坚硬地层	广泛应用于可钻性等级高的岩层，可取心、取样，便于做工程地质试验	钻孔易弯曲，孔壁不太平整，钻孔角度不应小于75°，岩心采取率较低
		金刚石	Ⅸ级以上的最坚硬岩层最有效	钻进效率高，钻孔质量好，弯曲度小，岩心采取率高，能钻进最坚硬的地层，机具设备较轻，消耗功率小，钻具磨损较少，钻进程序较简单	在较软和破碎裂隙发育地层中不适用，孔径较小，不便于做工程地质试验
冲击回转钻探		各种岩土层		钻进适应性强	孔深较浅
振动钻探		黏性土，砂土，大块碎石土，卵砾石层及风化基岩		效率高，成本低	孔深较浅
冲击回转振动钻探		以各类土层为主		钻进适应性强，效率高，轻便，成本低	孔深较浅，结构较复杂

第二节 钻探方案制订

绝大多数工程都离不开岩土，它们或以岩土为材料，或与岩土介质接触并相互作用，对与工程有关的岩土体充分了解是进行工程设计与施工的重要前提。了解岩土体，首先是查明其空间分布及工程性质，在此基础上才能对场地稳定性、建筑适宜性以及不同地段地基的承载能力、变形特性等做出评价。了解岩土体的基本手段是勘探（exploration）与取样（sampling）。勘探的任务是采取某种方法去揭示地下岩土体（包括与岩土体密切相关的地下水）的空间分布与变化，取样则是为了提供对岩土特性进行鉴定和各种试验所需的

样品。在绝大多数工程勘察中，勘探与取样都必不可少。工程勘探与矿产资源的勘探研究目的不同，对象不同，技术要求有所不同，因此在方法的选择与应用，勘探方案的制订原则以及操作技术标准等方面二者都有很大区别。

工程勘探的主要特点或要求可归纳为以下几个方面：

(1) 勘探范围决定于工程影响所及或场地稳定性分析涉及的区间，通常局限在地表以下比较浅的深度范围内，从中、小型工程的数米、数十米至大型工程或特殊工程的百米以上，因工程的性质、规模和岩土分布情况不同而异，勘探工作既要满足工程分析和设计需要，也没有必要盲目扩大范围，增加深度，造成浪费。

(2) 在勘探范围内，要求对所有岩土单元（层和亚层）进行符合一定精度要求的划分，即查明其空间分布与变化规律。虽然在某些情况下根据工程的特定要求，对勘探对象有所侧重，但在一般情况下还是应该强调全面了解，这是因为工程影响范围内的岩土对工程的施工和建成后的运营或多或少都会发生作用，另外在设计方案确定之前，往往需要进行多方案的比较，以便选定最经济合理的方案，为此需要提供岩土方面的全面资料。

(3) 除了深入岩层的地下工程及某些特殊工程外，多数工程直接接触的是第四系松散土层、基岩面上的残积土层或风化层，因此，工程的勘探，主要是土层的勘探。我国沿海、沿江的某些地区，覆盖土层巨厚，即使大型工程，涉及范围也达不到岩层，有些地区，虽然土层不是太厚，工程可能涉及岩层，但为了充分利用土层，节约投资，对土层的勘探和研究显得更为重要。但水电勘探往往以岩层为主，不能一概而论。

(4) 工程勘探中，对勘探范围内各岩土单元的了解不仅是它们的组成成分、分类定名，更重要的是它们的工程性质，为此必须准确查明它们的物理、力学性质。在勘探过程中，应力求真实反映岩土层的天然密度、湿度状态，尽量减少人为的扰动破坏，以便采取保持天然结构和湿度的原状试样。对岩体的勘探，还要关注构造特征（含各级各类结构面）。

(5) 岩土与地下水密切相关，地下水对岩土的性质、工程的设计与施工影响至关重要。因此工程勘探应该正确反映场地的水文地质条件，根据工程的具体要求，对各岩土单元的含水性、透水性，地下水位深度及其变化，地下水的水质、水量、运动规律等进行了解。

勘探工作应该在事先周密考虑后制订的方案指导下进行。合理的勘探方案能保证既充分满足勘察技术方面的要求，又能以最小的投资、最短的工期达到预期的目的。勘探方案的合理性取决于以下几个方面：

(1) 方案制订之前，充分收集、利用已有的资料。通过已有资料可以了解场地的基本情况，便于有的放矢地制订方案。利用或部分利用已有勘探成果，可节约新的勘探资金投入，避免不必要的重复劳动。已有资料可从以下几方面去收集：

- 1) 遥感影像资料，如卫星照片、航空摄影照片及其解释成果；
- 2) 区域地质图、工程地质图及其他专题图件；
- 3) 邻近地区已有的勘探资料及本场地前期的勘探成果；
- 4) 勘探区已有的研究资料或地质与岩土工程资料数据库。

在研究程度很低，缺乏资料的地区则应由有经验的人员进行详细的现场踏勘调查，进行初步的地质、地貌测绘，必要时还可进行少量简易的勘探工作，为制订方案提供依据。

(2) 根据勘探区的地形、地质特点,选用适当的勘探手段。一般地说,钻探是最常用的手段,但是在地形崎岖陡峻的山区,钻探机具进场及移位十分困难,辅助性时间和费用比例大增,此时采用坑探可能更合适。钻探有不同的钻进方法,不是所有的钻进方法都能达到工程勘探预期的技术效果。在勘探方案中不仅要规定钻孔的位置、数量和深度,而且要指定钻进方式、口径、取样要求和工具等。在很多工程中,合理的做法是多种勘探手段的配合使用,即直接或半直接的手段与间接手段配合,取二者之长,相辅相成,收到事半功倍之效。可以是先工程物理勘探、触探,后钻探,这样可使钻探点布置在更有代表性的部位;也可以是先钻探后工程物探、触探,用加密的工程物探、触探资料作为钻探成果内插、外推的依据。

(3) 根据工程的要求确定合适的勘探工作量和勘探手段。勘探的范围、深度和精度要求决定于工程安全等级、影响范围,工程勘探等级以及场地的复杂程度。不同类型的工程在不同设计阶段对勘探与取样的间距与深度,在规范上都作了规定,但这些规定一般都比较粗略的,有相当大的变动幅度,需要有经验的工程师才能做出合适的选择。对于地质情况复杂、规模大的工程,勘探方案的制订尚应有结构工程师、工程地质工程师、地球物理勘探工程师和钻探工程师的参与。勘探的范围,包括平面和深度范围,应从工程与环境相互影响的角度去考虑,在许多情况下,仅仅局限于工程建筑用地范围或荷载影响范围是不够的。

从管理方面应该注意两种倾向:一种是在实行勘察费用总承包的情况下不适当地减少勘探工作量,另一种倾向是在按实物工作量计费的情况下,不必要地增大勘察工作量,前者会造成成果资料的缺陷,后者会导致资金的浪费和工期的拖延。

(4) 勘探方案的实施要有可靠的保证。首先要选择资质与工程技术要求相适应的勘探施工单位。勘探单位应具备良好的机具,能按工作进度计划投入必要数量的机台。要求勘探单位有足够的现场生产、技术管理水平和健全的质量保证体系,有充分的从事工程勘探的经验。勘探工程属于隐蔽工程,质量的优劣很难在事后检验判断,而必须在工程进行过程中对各环节、各工序实行严格的质量控制。一般情况下,应有工程师在现场进行指导和监督。对于那些关键的工序,如采取高质量的岩土试样,更应该如此。工程师在现场的另一重要任务是及时分析已取得成果,对原定方案进行必要的补充和修改,例如变更勘探点位、增减勘探点数量和深度等。

补充资料

工程勘察资质分为工程勘察综合资质、工程勘察专业资质、工程勘察劳务资质。

工程勘察综合资质只设甲级;工程勘察专业资质设甲级、乙级,根据工程性质和技术特点,部分专业可以设丙级;工程勘察劳务资质不分等级。

取得工程勘察综合资质的企业,可以承接各专业(海洋工程勘察除外)、各等级工程勘察业务;取得工程勘察专业资质的企业,可以承接相应等级相应专业的工程勘察业务;取得工程勘察劳务资质的企业,可以承接岩土工程治理、工程钻探、凿井等工程勘察劳务业务。

地质勘查资质分为综合地质勘查资质和专业地质勘查资质。

综合地质勘查资质包括区域地质调查资质、海洋地质调查资质、石油天然气矿产勘查资质、液体矿产勘查资质(不含石油)、气体矿产勘查资质(不含天然气)、煤炭等固体