

工程地质勘察与岩土工程技术发展现状与展望

郭书泰

摘 要 我国岩土工程专业体制基本形成,正在试行注册岩土工程师制度,业内规范了岩土工程勘察技术和工程地质钻探技术,文中还介绍了地基处理新技术。

关键词 岩土工程 勘察 取样 原位测试 地基处理

Status Quo of and Prospects for the Development of Engineering Geological Prospecting and Soil & Rock Construction Technique

Guo Shutai (Investigation & Design Institute, Ministry of Construction, Beijing, 100007)

Abstract The specialized system of soil and rock engineering is basically formed in China. The registration system of soil and rock engineers is trying out. Prospecting techniques of soil and rock engineering and engineering geological drilling techniques were standardized. The introduction of new technique on foundation construction also is given in the context.

Key words soil and rock engineering, prospecting, sampling, test in situ, foundation construction

1 岩土工程专业体制的现状与发展趋势

1.1 我国岩土工程专业体制基本形成

我国的工程勘察体制是在建国初期学习前苏联基础上建立的,包括地形测量、工程地质、水文地质3个独立的专业。80年代初以来,工程地质勘察逐步向岩土工程过渡。现在,岩土工程专业体制在我国已基本确立。

岩土工程是市场经济国家普遍实行的专业体制,在发达国家已有40年左右的历
史。与工程地质勘察相比,岩土工程要求勘察与设计、施工、监测密切结合,而不是彼此机械分割;要求服务于工程建设的全过程,而不是单纯为设计服务;要求在获取系统而准确资料的基础上,对岩土工程利用、整治方案深入论证;提出技术可行、经济合理的具体建议,而不是单纯地提供岩土技术资料。岩土工程专业人员也能在岩土工程设计、施工、监测、监理岗位上工作。因而,这种体制更贴近工程实际,更注重于解决工程实际问题,从而要求技术人员具备全面的知识,为工程建设做出更大的贡

献。

十几年来，由于建设部和工程勘察协会的大力推动和广大科技人员的不懈努力，从科研、教学、标准规范到工程实践，岩土工程专业体制在我国已基本形成，但尚不完善。将来的岩土工程专业体制将会更加完善，更加适应市场经济，岩土工程将会成为工程建设领域中一个非常富有活力和良好经济、社会效益的行业。

1.2 国内外现状比较

在美国、加拿大等发达国家，岩土工程师主要在咨询公司服务。这些公司集中了一批有理论、有经验的工程师，为投资者、为项目设计和施工、为政府和司法部门、为社会各界，提供各种形式的服务，其中包括勘察、设计、监测、监理等。他们提供的产品是知识、信息，科技含量很高，属于知识密集型企业。在这种公司中，有的是高水平的科技人才和高质量的仪器、电脑，一般设有钻探或岩土工程施工力量，属于第三产业，较之属于第二产业的施工企业，其区别、分工是十分清楚的。

在我国，由于市场经济刚刚起步，岩土工程专业体制尚待完善，故目前从事岩土工程专业的单位不定型，有以勘察为主，有以咨询为主，有以施工为主，有的多种兼有，这在过渡时期是很自然的。但从长远看，知识密集型和劳动密集型的分离是迟早的事。目前我国勘察行业从业人员较多，工人比例太大，人员素质不高，与发达国家有一定差距。根据国家《建筑勘察技术政策》(1996~2010)，这种状况将会改变，国家将在完善法制、规范市场、净化市场的基础上，调整产业结构，鼓励有条件的单位改造成这类有高技术含量、与国际接轨的企业。

通过建国以来数十年工程实践的积累，特别是改革开放以来的巨大技术进步，我国岩土工程勘察的技术水平已有了显著提高，已经完全有能力承担各类大型复杂工程的勘察、设计和施工，包括高层建筑和超高层建筑、复杂地基处理、深基坑开挖、大型边坡工程、地下工程、移山填沟、围海造陆、海上平台、核电站等。每两年评选一次的优秀勘察项目，金质奖和银质奖都具有国际先进水平。但同时也存在着水平参差不齐、成果质量下降甚至弄虚作假，以及技术标准、技术方法和技术成果未完全与国际接轨等一系列问题。

可以预见，未来15年，我国市场将逐步完善，国内国际两大市场将逐渐融合。例如我国众多知名大企业在国际市场上承揽和完成了许多大型建筑工程和岩土工程项目，同时我国的黄河小浪底、长江三峡水利枢纽工程均有国外知名企业参与建筑工程和岩土工程施工。由于岩土具有很强的地域特点，工程经验积累非常主要。因此，今后有必要在提倡基本框架一致的前提下，形成自己的特色和优势，使岩土工程业务制度逐步走向世界。

1.3 注册岩土工程师制度的建立

由于国内外技术交流日趋频繁，国内外两大市场逐渐融合，我国尽快向国际惯例靠拢势在必行。建设部和人事部从1997年实施注册结构师执业资格制度，并于1996年12月在江苏、湖北及重庆进行了注册结构师试点考试，1997年12月正式举行了注册结构工程师执业资格全国统一考试，今后每年举行一次。

为了适应我国岩土工程专业体制与国际惯例接轨，国家建设部和人事部正着手进行全国注册岩土工程师执业资格考试的准备工作。据悉，1998年年底进行试点，从1999年开始将进行全国统考。

由于岩土工程专业属于知识密集型行业，科技人员的个人素质极具重要性，因此，在实行注册岩土工程师制度后，只有注册工程师签字的文件才能生效，这样将会大大加强注册工程师的荣誉感和责任心。

2 岩土取样技术

2.1 岩土取样技术的标准化

岩土工程测试包括室内土工试验、岩石试验、原位测试和现场监测，在整个岩土工程中占有特殊、重要的地位。这首先是由于测试数据是分析评价的基础，没有完整、可靠、适用的测试数据，一切分析评价都是空中楼阁。岩土工程设计计算的准确性和可靠性决定于计算模式和计算参数两个主要因素，计算参数比计算模式更重要。其次，岩土工程测试有较大难度，在钻探取样、样品制备和原位测试过程中，总会有一定程度的扰动，对测试成果的影响极大。岩土体又是非均质体，有的还有明显的各向异性，测试结果是否具有代表性是个重要问题。再次，岩土测试方法很多，原理不一，同一指标用不同的方法测试可得不同的结果。因此，要求岩土工程师必须了解各种测试方法的适用性。

学术界和工程界曾有过优先发展室内试验还是原位测试的争论。主张优先发展原位测试的人认为，室内试验在钻探取样及运输制备过程中，样品一定程度的扰动不可避免，而原位测试可直接在岩土体的原位取得数据，既快又好。但实践表明，室内试验仍是不可缺少的，岩土的一些基础数据，如粒度成分、密度、含水量、可塑性等指标，只能通过室内试验测定；测定土的力学性状时，室内试验可根据需要，控制应力、应变及排水条件，而原位测试很难做到。室内测定的指标，其物理力学意义是明确的，而有些原位测试得到的指标，没有明确的物理力学意义。既然室内试验不能废弃，取样技术问题就不能回避了。

目前，我国取样质量问题相当严重。首先是土样质量很差，甚至工程技术人员对自己负责的工程也持怀疑态度。例如，有些工程在进行深部地层取样时，经常采用单层岩心管，卸取土样时采用惯性方法甩出，当遇到粘性土不易甩出时，土样经常几次甚至十几次的伸长变形，产生缩颈现象，受到了严重的扰动，这样的土样也做为Ⅱ级原状样进行室内试验，难怪工程技术负责人本人都对室内试验结果心存疑虑。其次是取样技术与国际上通用标准不一致，不被国外承认。关于后一问题，我国标准规范工作者已经做了大量工作，《岩土工程勘察规范》、《原状取样技术标准》、《原状取土器标准》都已相继出台，已经有法可依。而且这些标准既与国际上通用标准一致，也照顾了我国的国情。

2.2 工程地质钻探技术的标准化

由于工程地质专业与探矿工程专业在岩土钻探的钻具、钻头、工艺、目的上均有一些差异，因此，有必要将《建筑工程地质钻探技术标准》、《原状土取样技术标准》的有关内容作一介绍。

2.2.1 钻孔规格

钻孔口径应根据钻探目的和钻进工艺确定。采取原状土样的钻孔口径 91mm；仅需鉴别地层的钻孔，口径 36mm；在湿陷性黄土中，钻孔口径 150mm。

2.2.2 采取Ⅱ、Ⅲ级土试样的钻进要求

(1)在软土、砂土中宜采用泥浆护壁。如使用套管，应保持管内水位等于或稍高于地下水位，取样位置应低于套管底部3倍孔径以上的距离，以防击入套管时，对拟采取土试样的扰动。

(2)采用冲洗、冲击、振动等方式钻进时，应在预计取样位置1m以上改用回转钻进。

(3)下放取土器前应仔细清孔，孔底残渣厚度不应大于取土器废土段长度(活塞取土器除外)。

(4)采取土样宜采用快速静力连续压入法，亦可采用重锤少击方法，但应有导向装置，避免锤击时摇晃。

2.3 混凝土灌注桩取心技术

近年来，在高速公路及铁路桥梁工程中，单桩荷重越来越大，因此要对混凝土灌注桩进行一定比例的取心，以抽样检验混凝土的抗压强度和在灌注中有无断桩现象。其要求与一般岩石钻探不同：(1)连续取心，取心率达95%以上；(2)对所取岩心的直径有要求，且必须是平面光滑的圆柱体；(3)控制孔斜，倾角 1° ，中途不能触筋；(4)所取岩心要符合规格、整齐。

目前国内常采用XY1A型全液压高速轻便钻机进行取心。其主要技术参数为：最大钻探深度100m；最大开孔直径150mm；终孔直径75mm；钻杆直径42~50mm；每回次进尺1.5~3.0m。

钻头为人造金刚石钻头，采用双层单动取样管，清水循环，可钻取各种强度等级的混凝土心样，心样直径可满足试验要求。

3 原位测试技术新进展

3.1 用原位测试确定土工参数

近年来，国内外普遍重视通过原位测试技术确定土工参数，并对测试成果的分析应用有了新的认识。

上海地区通过建筑物的沉降观测，认识到由CPT、SPT等用经验关系确定土工设计参数，可能是一个有效的途径，特别是对深层土和难以取土样或难以保证土样质量的土。例如上海地区桩基的计算沉降远大于实测沉降，除了改善计算模式外，室内土工试验的压缩模量 E_s 太低是主要原因。用旁压试验确定粘性土、砂土、粉土的压缩模量，通过若干工程的试算，均取得令人满意的结果。

对于砂土，当采用冻结法取砂样时，含水量增高；而不用冻结法取土时，在取样及运输过程中，土中水份易于流失，使含水偏低；但采用放射性同位素探头测定砂土重度和含水量可取得理想的结果。

用 γ 、 ω 即可计算砂土孔隙比，从而对砂土的密实度作出评价，对于砂土，这是很有意义的。

对于大型土石方填筑工程，经常需要测定填土的含水量和密度，由于土颗粒的直径变化较大，传统测试如环刀法、灌砂法等均有许多限制条件，而且速度较慢，往往不能适应工期要求，采用核子密度仪就可以快速准确地测得填土的密实度。

采取卵砾石的原状样进行室内密度试验是困难的，一般采用重型动力触探试验来确定卵砾石的密实度和承载力。实践中发现，测试结果往往受人为因素影响较多，准确性往往较差。现在，用剪切波速法测定卵石层的密实度，进而确定承载力是一个简便、快速、准确的方法。这种方法已列入规范。

各种原位测试方法的适用范围详见《岩土工程勘察规范》。

3.2 非破损探测技术的发展

现代测试技术较传统机械式的测试技术已发生了根本性的变革，在符合岩土力学理论和满足工程要求的前提下，广泛吸收现代电子技术、传感器技术、计算机技术的最新成就，将电测技术与信息处理技术结合在一起，制成智能化仪器，应用于工程实

践。近年来，我国工程物探顺应了这种变革，开发了适应工程需要的新技术、新方法、新领域，并与岩土工程测试密切结合，逐步显示出了它的生命力。由于工程物探具有精度高、成本低的特点，在结合工程需要，探测诸如基岩面、地下洞穴、孤石、管线、古墓、防空洞、桩身缺陷、破碎带、漏水点等目的物方面，已成为岩土工程勘察不可缺少的技术手段。工程物探既有勘察的功能，又有测试的功能，称为"工程地球物理探测"也许更贴切。

工程物探技术含量很高，是一种非破碎探测技术，随着相关的物理技术与计算机技术的迅猛发展，今后15年可能会有更大的飞跃，是一个重要的发展方向。

4 地基处理新技术

地基处理在岩土工程实践领域最为活跃，老方法不断翻新，新方法层出不穷。这里介绍4种新方法。

4.1 CFG桩

复合地基可分为两大类，一类由散体材料(砂、碎石、土、钢渣等)组成的"桩"与天然地基复合；另一类由水泥与土结合成的"桩"与天然地基复合。前者"桩"料是散粒体，在荷载作用下产生侧变形，靠"桩间土"约束，故在软土中效果不理想。后者如搅拌桩、旋喷桩，由于水泥的胶结作用，具有一定的凝结强度，较小的荷载下无侧向变形，在软土中可将应力向深层传递，起到类似刚性桩的作用，超出强度时表现出与混凝土类似的"脆性"。CFG桩按其性质属于后者，是适用于软土且较为经济合理的一种地基处理方法。

CFG桩由碎石、石屑、粉煤灰及水泥组成，配合比需要根据桩的设计通过试验确定，桩的制作与一般灌注桩类似。桩与基础间不是刚性连接，而是其间有一碎石或石屑组成的褥垫层，目的是保证桩土共同作用，充分发挥桩间土的作用。这种地基处理方法在南京造纸厂、北京罗马花园、石佛营东里住宅小区等工程应用，技术经济效果良好。

4.2 砂石桩与低强度混凝土组合型复合地基

散体桩的工作主要靠桩间土体的被动约束，特别是桩顶2~4倍桩径范围内，桩间土将承受很大的径向应力，容易使桩体产生膨胀破坏，因而在软弱粘性土中的砂石桩复合地基，其承载能力难以提得较高。为改变这种状态，对散体桩复合地基中的部分砂石进行桩体增强，在砂石桩中增加一定量的、级粉煤灰与少量水泥，成为一种粘结强度较高的半刚性桩，称之为低强度混凝土桩，由此构成部分散体砂石桩与部分低强度混凝土组合型复合地基。

组合型复合地基的特点是既能发挥砂石桩的优点，又由于低强度混凝土桩的插入而使砂石桩的侧限约束作用得到加强，从而减少散体桩桩顶部分的压胀变形，避免产生压胀破坏的可能。同时发挥半刚性桩能向深部传递荷载的作用，使复合地基的承载力大幅提高，地基变形得以减轻，提高复合地基的整体安全度。

为使两种不同刚度桩体的共同作用与变形协调，在桩顶设置了一定厚度的砂石料垫层。通过它的流动补偿作用使之较为均匀地分布基底应力，并能使桩间土与基础有良好的接触，保证不同刚度桩体与土共同承担荷载。

4.3 夯坑基础

夯坑基础的实质是，基坑不是挖出来的，而是用夯锤夯成的。基坑具有基础的形状和尺寸，因而不必支模而直接浇筑混凝土。在夯成基坑的同时，坑底和坑周的土被

夯实，减少了土的压缩性，提高了地基承载力。为进一步提高地基承载能力，减少基础沉降，在夯坑底部还可适当填入碎石、砾石、粗砂等，形成扩大的土核。

夯坑基础可广泛应用于湿陷性黄土、填土、一般粘性土，比常规施工方法可节省土方 $2/3 \sim 4/5$ ，降低基础造价 $1/3 \sim 2/3$ ，工效高，技术简便，易于推广。对处理湿陷性土、填土是经济有效的方法。

4.4 超载预压加固软土

超载预压排水固结法加固软土，已在我国广泛应用，如深圳福田保税区、南油围海造陆、宁波机场、温州机场等。用此法大面积加固地基，效果良好，现在取得较为成熟的设计和施工经验，积累了大量的十分宝贵的原型监测数据。

超载预压排水固结法从施工角度看，包括加载和排水两方面。加载方法有堆载预压和真空预压两种或两种方法复合，根据技术要求和经济比较选用。排水方法已经过了普通砂井、袋装砂井或塑料排水板3个发展阶段，由于插塑排水板工效高、质量好、综合成本低，现已全面推广，发展很快。

插板机在我国有10多种，按移动方式分有步履式、履带式、轮胎式；按贯入方法分有静压式、振动式、锤击式；按插管断面分有圆形、矩形、菱形。为减小对土的扰动，以静压、菱形断面为好。性能良好的插板机效率高，长15m的排水板，包括插入、拔出、移位，不到2min即可完成。

4.5 劈裂注浆

在岩石或土中注浆，对改善岩土的法学与渗透性能有明显的效果。过去，注浆主要在强渗透地层中应用；近年来，在软土中劈裂注浆进行了一些试验研究，取得了良好的效果。

根据岩土条件、注浆材料及工艺，注浆作用有充填、渗透、挤压、劈裂等方式。对于渗透系数 $K < 5\text{cm/s}$ 的软粘性土，无论用什么浆液，注浆时都会产生劈裂现象。浆液在软土中的流动分鼓泡压密、劈裂流动、被动土压力发挥3个阶段。劈裂注浆的结果形成一个不规则柱体，在地层中形成方向各异、厚薄不一的片状、条状、团块状注浆体，分布呈随机性，加固后抗压强度提高 $1 \sim 2$ 倍，动剪模量提高 $52\% \sim 138\%$ ，在上海深基坑开挖中应用，效果良好。

5 结语

(1)随着岩土工程专业体制的建立和逐渐完善，它将会成为非常具有发展潜力的行业。

(2)实行注册岩土工程师制度，加强了技术人员的责任心，将会使岩土工程勘察、设计、施工质量有一个很大的提高。

(3)由于市场经济对探矿工程专业的冲击影响，利用本行业岩土钻探、工程物探设备好、技术力量强的优势，拓展新的应用领域已成为一条必由之路。相信探矿工程专业在灌注桩施工、工程地球物理探测、边坡支护、地基处理方面将会大有作为。

本文曾得到我院顾宝和、李耀刚、兰晓林等同志的大力支持，在此一并致谢。

作者简介：郭书泰：男，建设部综合勘察研究设计院岩土所综合技术部副主任，高级工程师；先后毕业于南京建筑工程学院勘测系、华北水利电力学院结构系。

作者单位：地址：100007 北京市东直门内大街177号。

6 参考文献

- [1] 顾宝和.岩土工程勘察技术现状及发展问题述评.工程勘察, 1998, (4).
- [2] 顾宝和.我国岩土工程理论与实践的若干新进展.全国建筑工程勘察科技情报网建网十五周年综合科技情报交流会论文选集.济南: 山东省地图出版社, 1993.
- [3] 张在明.国内外工程勘察行业发展水平及趋势的研究.全国建筑工程勘察科技情报网建网十五周年综合科技情报交流会论文选集.济南: 山东省地图出版社, 1993.
- [4] 徐国存.混凝土灌注桩岩心取样钻探新工艺.工程勘察, 1998, (3).

收稿日期: 1998-09-15