

# 地铁工程勘察现状与技术研究课题

彭友君

(北京城建勘测设计研究院有限责任公司,北京 100101)

**【摘要】** 地铁勘察的特点:一是没有征地的勘察,二是地下系统工程的勘察;我国地铁勘察经历了探索、积累和规范化的历史发展时期,各时期按照可行性研究、初步勘察、详细勘察、施工勘察四个勘察阶段进行工作;根据地铁设计要求和地质条件采取多样化的测试手段,勘察内容全面,技术逐步完善,具有明显的专业特色;今后应结合地铁施工方法和设计要求,研究和总结特殊设计指标的测试技术,解决地铁结构在第四系饱和砂层中的抗震设计问题,加强施工新技术和新方法在不同地质条件下的适应性研究,在安全、快速施工和降低造价等方面不懈努力。

**【关键词】** 地铁勘察;勘察监理;勘察总体;规范修订

**【中图分类号】** TU 921;U 452.11

## Present Situation of Subway Engineering Exploration and Technology Research Topics

Peng Youjun

(Beijing Urban Construction Exploration & Surveying Design Institute Co. Ltd., Beijing 100101 China)

**【Abstract】** The characteristics of the subway exploration, one is the exploration that not bought the land for construction, the other is the exploration that underground system engineering. The subway exploration of our country experiences the three history development period witch explore, accumulate and standardization, each period carry on works according to four exploration stages that is possibility research exploration, the preliminary exploration, the detailed exploration and implemental exploration. According to the subway design requests and geology circumstance to adopt diversification text instrumentality, exploration contents completely, techniques gradually perfect, have obvious specialization features. Aftertime should be combining the construction's methods and design requirements of metro, research and concluded the test technology of special design indicators, solve the seismic design problem that subway structure at the fourth-saturated water-filled sand, strengthen research adaptability of new technologies and new methods of construction in different geological conditions, we must work hard in security and speedy construction and cost reduction etc.

**【Key Words】** subway exploration; supervision for exploration; total for exploration; norm revise

## 0 引言

地铁工程勘察有两个显著特点。其一,地铁勘察是没有征地的勘察;在城市最繁华的公共场地进行勘察,要受到社会各界的监督和管理,涉及交管、市政、城管等多个管理部门,涉及对电力、电信、煤气、自来水、污水、雨水、交通信号等地下管线的保护,涉及青苗、鱼塘、绿地、交通设施的赔偿。其二,地铁勘察是地下系统工程的勘察;涉及深基坑支护和隧道施工工法,涉及多个地貌单元和不同的水文地质、工程地质条件<sup>[1]</sup>,涉及道床、隧道和人防工程岩土数据的计算,测试项目多。勘察人员对“困难”最有体会,优质完成地铁勘察任务需要勘察单位各级管理人员的高度重视,建立健全前期协调、外业施

工、现场和室内试验、资料整理各个环节的工作体系。研究地铁勘察历史,分析地铁勘察的现状和有针对性地完成科研课题,有助于地铁勘察技术的发展。

## 1 地铁勘察的发展历程

### 1.1 地铁勘察的探索时期

1958-1983年为地铁勘察的探索时期。1958年提出了北京地铁一号线规划建设方案,准备把地铁深埋于地面下约70m,勘探最深孔布置了140m;同时,布置试验竖井和开展地质调查与测绘工作,完成了可行性研究和初步勘察。1961-1963年逐步改为浅埋方案,勘察重点变为地面至地下30m范围内,最深孔70m,安排了群孔抽水的试验和长条基

坑涌水量试验,解决地铁基坑的降水问题,完成了详细勘察任务。1965年地铁一号线开工后,勘察单位继续对地铁通过的断层开展地质调查工作,在施工过程中绘制开挖实测地质剖面图,配合地铁开挖进行降水方案设计和实施,在公主坟第三纪红色砂砾岩中进行现场大型载荷试验,研究并提出了强风化—全风化砂砾岩及地基土的基床系数试验取值。对正阳门、工会大楼和北京站等重要建筑物进行沉降估算和沉降监测。1967年开始对北京地铁二号线进行可研、初勘和详勘工作,仍然采取钻探、地基土的载荷试验和群孔抽水试验,引入了标准贯入试验和静力触探试验方法测试地层的地基强度。1969—1983年间,勘测技术人员同时配合地铁一号线和二号线的施工,完成围护桩、降水、施工测量和隧道贯通测量工作,对二号线沿线需要保护的重点文物开展专题研究,提出地基稳定和变形控制的方案,完成了地铁车辆段、石八岔线、402进山工程等详细勘察任务,多次进行了地铁线路的施工勘察工作,取得了丰富的经验。同时,上海、天津、广州、南京等地相继开展了地铁勘察和研究。

### 1.2 地铁勘察技术积累时期

1983—1999年为地铁勘察技术积累时期,也是我国工程建设快速发展的历史时期,地铁勘察技术人员总结了25年来地铁勘察取得的经验和成果,规定了地铁勘察的孔深、布孔间距,现场测试方法,地下水的测试和长期观测,地铁抗震评价、地下管线测试、基床系数和热物理试验等内容。在北京,1983—1990年间,由于没有新建地铁工程任务,地铁勘察工作基本停顿,仅完成了复兴门地铁交会点的勘察研究工作,地铁勘察人员转入工业与民用建筑的岩土工程勘察,吸收和引进了工业与民用建筑和铁路隧道工程地质勘察的新方法、新手段,勘察经验更加丰富。1992年完成了地铁复八线勘察,1998年完成了八通线(轻轨)勘察,但全国各城市地铁勘察相继开展,各种不同岩土类型的地铁勘察经验越来越多。这一时期勘察手段齐全、工作量布置合理、提交的岩土工程设计参数完善,取得了优秀的勘察成果,积累了大量的岩土工程勘察数据、经验和研究成果。

北京地铁一、二号线的勘察工作,较多地参考了铁道系统出版的有关规范、规程和标准。但是地铁与铁路明显不同,体现在以下几个方面<sup>[2]</sup>:①铁路车站以地面建筑为主,地铁车站以地下建筑为主;②铁路隧道围岩以山体基岩为主,地铁隧道围岩多为第四系地层,基岩埋深浅的城市也经常出现半基岩

半第四系地层的围岩情况;③地面铁路列车荷载通过基床和路基作用于地基土,铁路工程勘察重点研究基床和路基的岩土工程特性,而地铁列车是在完整封闭的钢筋混凝土结构中运行,地铁车辆荷载通过地铁基床传到地铁结构基础底板,由基础底板对其四周的岩土产生作用;④地铁列车的总重量明显比铁路列车总重量小。基于地铁的上述特点,1995年成立了地铁勘察规范编写组,编委会吸纳了从事地铁设计、铁路勘察以及岩土工程勘察方面的专家和学者进行编写,于1999年规范通过审批。《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》(GB 50307—1999)结合地下铁道、轻轨交通设计对岩土工程勘察的要求和多年来地铁施工的经验,采用国标岩土工程勘察规范的方法和手段,提出了不同施工工法条件下岩土工程勘察的重点,规定了不同勘察阶段的工作内容,提出了基床系数、热物理指标的测试方法和经验数值,编入了围岩分类和土、石可挖性分级,把城市工程勘察方法和铁路工程勘察方法进行了有机的结合<sup>[3]</sup>,为地铁轻轨勘察的规范化、标准化起到积极作用。

### 1.3 地铁勘察规范化发展时期

自2000年地铁勘察规范实施以来,地铁勘察就有了规范依据,勘察成果针对性增强,报告内容更加充实和全面。随着国民经济的高速增长和交通环境的拥挤,全国各地的地铁规划和建设进入了高速发展时期,北京、上海、天津、广州、重庆等大城市已经完成了多条地铁线路的勘察工作,各类专业的勘探单位积极参与地铁勘察,并逐步深入地铁建设相关的领域,相继开展了地铁监测和地铁建设服务,对地铁的风险性评估也进行了有益的探索。

## 2 地铁勘察现状

全国范围内参与地铁勘察的单位全部为综合类甲级单位,地铁勘察工作除了按照四个勘察阶段有序地进行外,逐步引入了地铁勘察监理、地铁勘察咨询和地铁勘察总体的管理模式,对地铁勘察过程和基坑围护、隧道掘进、防止流土流砂、地面沉降控制等关键工序进行技术管理。

### 2.1 地铁勘察任务的委托方式

除早期的部分线路外,全国所有的地铁勘察工程全部采用招投标的方式委托勘察单位,招投标主要有两种模式。

#### 2.1.1 总价控制法

招标单位提供勘察技术要求和线路平面布置图、纵剖面图及地铁设计的说明。投标单位根据勘

察经验和场地的水文地质工程地质条件决定勘察手段、方法、测试项目、工作量,报出单价和总价。评标以方案合理、总价最优中标。总价控制法的优点是能最大限度地发挥勘察单位的专业技术优势,工作量布置比较合理,勘察人员能主动与设计人员联系和沟通,优化勘察方案。缺点是对评标的要求较高。

### 2.1.2 综合单价法

招标单位提供勘察技术要求和线路平面布置图、纵剖面图及地铁设计的有关说明,规定勘察手段、方法、测试项目、工作量,投标单位根据招标文件进行施工组织设计,按照规定的勘测项目列表填报勘察项目综合单价并计算总价,评标以施工安排可行、单价最优中标。综合单价法的优点是能够保证评标的公平和公正;缺点是过于格式化,当设计变更较大时,勘察总价难以控制,勘察单位真正的优势和实力体现得不到位。

## 2.2 地铁勘察手段及方法

地铁勘察分可行性研究、初步勘察、详细勘察和施工勘察四个阶段分别进行,初步勘察和详细勘察是两个重要阶段。初步勘察阶段提供的勘察成果用于确定线路平面布置,地铁车站的埋深,出入口的数量和布置,围护结构和降水方案、隧道施工工法选定、盾构选型、衬砌方法等;详细勘察阶段提供的勘察成果用于施工图设计,岩土工程参数用于地铁建筑、结构、路基、供电、通讯、信号、通风、空调等各专业的设计计算,还有部分参数用于研究地铁在动荷载条件下长期运营产生的沉降、变形、位移特征,提出预测和控制措施。

地铁勘察手段以钻探和取土样为主,现场试验有:标准贯入试验、动力触探试验、旁压试验<sup>[4]</sup>、静力触探试验、载荷试验、波速试验、电阻率测试、地层温度测试,在软土地区还经常采用十字板剪切试验、螺旋板载荷试验,现场测试项目要根据施工工法、设计计算要求、工程地质条件适当选取<sup>[5]</sup>,对基岩分布区进行工程地质调绘,对岩溶分布等特别复杂的地段,适当开展物理勘探工作。室内土工试验除对土和岩石的常规物理力学性质指标进行试验外,对围岩土的基床系数、热物理指标、特殊土的软化性、崩解性、膨胀性等进行试验和研究。

地铁勘察工作程序为:根据技术要求,分析已有的工程地质资料,确定勘察重点;按照统一技术原则,编写勘察方案;协调钻场施工准入证;实施现场钻探和岩土工程测试,同时开展室内土工试验工

作;分车站和线路进行室内资料整理工作;勘察成果纳入数据库系统等。勘察成果文件的技术工作程序一般为:资料搜集、区域地质分析、岩土层分类、试验数据统计、勘察经验类比、施工风险预测等。

现场钻探要求全孔取芯,并拍好岩芯照片,便于技术负责人检查和核实地层分布情况。

## 2.3 地铁勘察监理

在多家勘察单位同时进行地铁勘察的条件下,实行地铁勘察监理制度,有利于地铁勘察的组织、管理和协调。南京、广州、武汉、杭州等城市已取得了成功的经验。

监理工作除了进行质量、进度、投资、安全控制外,还要进行合同、信息管理和勘察工作协调,对监理人员的专业素质和管理能力要求很高。主要任务是具体编制全线勘察统一原则,设计钻孔编号。根据沿线地层岩性和物理力学性质提出统一分层原则,审查勘察方案,对工程地质调绘、钻探、原位测试、现场单项测试、水文地质试验、室内土工试验等工作过程及其完成的原始资料、专项试验报告、图件等进行监理,对勘察报告进行评审验收,对完成的工作量进行统计,按照勘察合同,审核和签发勘察费结算凭证<sup>[6]</sup>。地铁勘察监理包括现场工作及室内资料整理的全过程。

## 2.4 地铁勘察总体

勘察总体管理人员首先根据国家勘察收费标准和市场行情做好勘察投资估算;然后,将设计意图和设计人员对勘察的技术要求传达给勘察监理和勘察单位,合理安排进度计划,解答勘察单位提出的疑问,协调各工点设计与勘察的配合,指导岩土工程勘察统一原则的编制,审查勘察方案并提出修改意见,监督勘察计划的落实,转达设计总体对勘察工作有关的工程变更信息,参与勘察成果的验收,研究设计参数取值的正确性和安全度,研究和解决地铁施工中出现的岩土工程问题,对可行性研究报告中没有考虑到的局部的环境问题提出专题研究,根据详细勘察结果,对严重影响施工安全的地段进行风险性评估并采取控制和提出对策。

勘察总体工作贯穿从勘察开始到地铁土建施工的全过程,要求高、时间长<sup>[7]</sup>。笔者认为,设置勘察总体很有必要,尤其在施工期间遇到复杂的工程地质问题时,能够及时从专业的角度要求施工注意质量和安全,采取防范措施,减少施工质量和安全事故,确保地铁建设顺利进行。

## 2.5 有待重视的几个问题

### 2.5.1 高度重视地铁勘察特点

地铁项目是国家重点工程,但完成好地铁勘察任务需要不断总结勘察经验,注重技术积累,高度重视地铁勘察的特点,充分认识地铁勘察的难度,避免投标价格低于成本价格;工作量布置一定要满足规范要求,不能忽略特殊试验项目或大幅减少特殊试验数量;充分调动勘察工程技术人员的积极性,提高勘察技术水平。目前,有少数勘察单位承接地铁勘察任务后,对地铁勘察的难度估计不足,现场管理人员不到位,不断拖延工期,现场勘察质量不高,报告内容不完整,甚至出现退标的现象。

### 2.5.2 加强与设计的联系

勘察技术人员应加强与设计人员的联系和沟通,充分了解设计意图,熟悉地铁设计需要的计算参数,了解地铁施工工法,明确勘察重点,试验和测试项目的布置应有针对性,优选现场试验项目,减少工作量浪费,保证重要的地层参数能满足统计要求。一般,设计人员非常希望了解地质工作情况、勘察程序和各种测试手段的可靠性、准确性,非常希望与勘察人员研究地质问题。今后应加强研究已有的勘察资料,合理提出下一阶段勘察重点和应注意的问题,避免测试项目过多,勘察周期长,造价高;加强技术交底,核实具体的设计参数,如中柱桩的承载力,抗浮桩的设计参数等,避免提交的勘察报告深度不够和影响工期。

### 2.5.3 加快地铁勘察人才的培养与成长

地铁勘察工程逐年增多,需要加快人才的培养与成长。地铁勘察项目的规模较大,但项目数量有限,勘察技术人员很难有机会长期连续地专门从事地铁勘察工作,客观上对不同时期地铁勘察的技术要求和实施规定难以掌握,当数个项目同时开展时,高素质的技术负责人和项目负责人仍然比较欠缺;目前,部分钻探队伍不足以适应繁华地带的钻场限制,文明施工和安全施工的责任和意识不强,城市地下管线破坏事故时有发生,需要引起高度重视。

### 2.5.4 建立专门的特殊项目试验室

由于地铁勘察工作量比较大,工期紧,即使规模较大的土工试验室,也只能满足常规土工试验项目的需要,对于基床系数、土的热物理试验、侧压力系数、岩样的单轴抗压强度、动三轴试验等特殊指标的试验技术要求高、试验时间长,一般勘察单位没有设置,即时增设有一定的困难,需要寻求社会合作;因此,专业勘察单位要建立完整的特殊项目试验室,方

便各勘察单位完成试验任务,同时,还应提高试验精度,尽量降低试验造价。

## 3 地铁勘察的几个技术发展课题

### 3.1 完善地铁勘察管理

近年来,地铁项目分为几个勘察标段。由于各勘察单位的勘察重点和技术特点不同,工作成果出现差异,不利于设计使用;设置勘察监理、勘察咨询或勘察总体的管理模式,可以解决好这类问题,有利于在地铁勘察、设计和施工过程中更加及时发现和解决岩土工程问题。

### 3.2 建立地铁勘察数据系统

地铁勘察资料孔深大、揭露的地层完整、测试数据齐全,是非常全面的水文地质、工程地质资料,这些宝贵的资料对今后城市环境地质研究、降低工程造价、提高施工建设速度具有十分重要的意义。我们应该建设好地铁勘察数据库系统,在完成地铁勘察任务的同时,将各种数据资料录入数据库系统中,为今后城市建设服务。

### 3.3 地铁勘察规范的修订工作

地铁勘察技术发展很快,新的研究成果、测试方法已经取得了长足进展,全国地铁勘察工作的经验积累已逐步完善,地质条件与地铁的关系探讨越来越清晰,《地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范》(GB 502—1999)的修订工作计划应立即开展。地铁勘察规范的修订工作,需要对规范的章节结合施工工法和新的研究成果进行调整<sup>[8]</sup>,重点研究和解决以下几个主要问题。

#### 3.3.1 抗震设计

除车辆段外,地铁至少深埋于地面8 m以下,抗震计算方法与地面建筑物不完全相同,当地下水位较深时,由于钢筋混凝土结构的强度很高,震害明显低于地上结构<sup>[9]</sup>。地铁结构在地震作用下产生的水平惯性力虽然不大,但宏观上呈线性分布,纵向变形受结构约束,会形成很大的轴向压应力,如果围岩的应力平衡产生变化,就会形成强大的侧向应力使地铁隧道横向位移,出现折裂破坏。当地下水位较浅时,地铁周围有丰富地下水,如果有可液化砂土层分布,在地震作用下,地铁结构上即使出现很小的裂缝,地下水和砂土就会沿裂缝涌入地铁中,从而出现严重的震害。可见,抗震设计应处理好地层的地震液化问题和围岩应力变化产生的横向位移量、危害程度等,并采取可靠的抗震措施。地铁勘察规范的修订应采用地下结构抗震研究的最新成果,规定抗震评价方法和应提交的抗震设计参数。

### 3.3.2 围岩分级

国标岩体的分级标准已经明确,公路、铁路规范的围岩分级标准已基本统一,地铁规范修订应修改围岩分类表,解决地铁结构周围存在多种围岩类型情况下的围岩分级评定方法。

### 3.3.3 基床系数

规范修订时,应明确规定取样位置,规定不同勘察阶段的试验数量,室内试验方法和取值原则,应纳入利用常规试验数据计算基床系数的方法,充实基床系数试验数量的不足。彭友君(2007年)建立了基床系数与压缩模量的相关关系<sup>[2]</sup>。

对于黏性土:

$$k=7.60 \cdot \frac{(1-\mu-2\mu^2)}{(1+\mu)(1-\mu)^2} \cdot E_s \quad (1)$$

对于砂、圆砾、卵石土:

$$k=2.55 \cdot \frac{(1-\mu-2\mu^2)}{(1+\mu)(1-\mu)^2} \cdot E_s \quad (2)$$

公式(1)和(2)中: $k$ 为基床系数,MPa/m; $E_s$ 为土的压缩模量,MPa; $\mu$ 为土的泊松比。可利用压缩模量计算基床系数作为确定基床系数的辅助方法。

### 3.3.4 热物理指标

规定岩土导热系数和比热容的测试设备、测试方法、试样数量和应注意的问题以及导温系数的计算方法,岩土的热物理指标与它的组成成分、颗粒大小、密度和含水量有关,规范应规定试验热源、试验温度及散热控制条件,规定热物理指标的评价内容。围岩的热物理指标一般用于冰冻法施工的冻融计算,评价岩土对地下结构的热传导特性。

### 3.3.5 地层温度的测试和应用

地层温度是冰冻法施工、空调设计和通风设计的参考指标,也可用于预测在地下温度变化条件下地铁结构的年涨缩量范围,研究防水材料的适应能力和可靠性。规范修订应增加地层温度测试的方法、测试精度和工作量布置原则。

### 3.4 加强基础理论和方法的研究

经过大量的工程实践,工程技术人员已经积累了不同地区、不同岩土种类的地铁岩土工程勘察经验,勘察水平不断提高,这与勘察技术人员学习和应用岩土工程理论,总结地铁勘察特点、经验密切相关。但是,还有很多地质问题需要解决,地铁勘察方法和基础理论的研究还有待加强,我们要认真研究地质条件与地铁施工的安全问题,确保地铁建设顺利开展,为城市提供更多更快、舒适便利的交通环境。笔者认为有必要研究下列几个主要课题:

- 1)水平与垂直基床系数的差异特点;
- 2)明挖车站深基坑围护技术的进一步研究;
- 3)不同地质条件下盾构施工沉降控制以及盾构方法适应岩土特点的研究;
- 4)暗挖法地面沉降控制和注浆技术;
- 5)第四系地层中地铁结构的地震破坏机理;
- 6)减少地铁工程建设对城市环境的影响;
- 7)地铁施工的风险特点和防御措施。

## 4 结 论

我国地铁勘察经历了探索、积累和规范化发展三个历史时期,形成了地铁勘察的专业技术特色;地铁勘察难度大、要求高、勘察过程复杂;地铁勘察在每一个历史时期基本按四个勘察阶段进行工作,勘察重点为主要查明工程地质条件和水文地质条件,结合施工工法进行建议和评价;随着全国地铁建设速度的加快,近年来逐步引入了勘察监理、勘察咨询和勘察总体模式进行勘察技术管理,地铁勘察技术不断提高,研究不断深入,经验积累日益丰富,要求我们加快地铁勘察规范的修订工作;同时,应尽快建立和完善勘察数据库系统,进一步研究地铁规划、设计、施工、运营、环境与工程地质勘察相关的课题,预测地铁建设期和运营期的风险特点,为提高工程建设速度、降低工程造价、保证安全和环境符合可持续发展的要求做好基础服务工作。

## 参 考 文 献

- [1] 彭友君. 武汉地铁二号线一期工程岩土工程勘察特点分析[J]. 岩土工程技术, 2006(6): 303-306; 310.
- [2] 彭友君. 地铁设计中基床系数的解决方案[J]. 都市轨道交通, 2007(2): 40-43.
- [3] GB 50307-1999 地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范[S].
- [4] 孙敬, 詹松, 钟嘉高. 旁压试验在地铁工程勘察中的应用[J]. 资源环境与工程, 2006(5): 527-530.
- [5] 钟世航. 关于地铁地质勘察的几点认识[J]. 勘察科学技术, 2004(4): 58-61.
- [6] 彭友君. 武汉地铁2号线一期工程勘察监理重点及质量控制方法[J]. 岩土工程界, 2007(4): 67-70; 74.
- [7] 彭友君. 勘察总体管理在杭州地铁一号线中的应用[J]. 铁道勘察, 2007(2): 36-40.
- [8] 谢明. 地铁地质设计及地铁规范修订的建议[J]. 都市轨道交通, 2005(2): 55-59.
- [9] 刘晶波, 李彬. 地铁地下结构抗震分析及设计中的几个关键问题[J]. 土木工程学报, 2006(6): 106-110.

收稿日期: 2007-05-09