



城市地下工程

施工监测与信息反馈技术

◎ 刘招伟 赵运臣 著



科学出版社

www.sciencep.com

城市地下工程施工监测 与信息反馈技术

刘招伟 赵运臣 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要论述监测技术的基础知识,包括监测组织与实施、监测仪器与监测实施方法、主要监测项目及其控制基准的确定、信息反馈技术、施工引起的地表沉降规律分析等内容。本书还结合工程实例详细说明监测技术在城市地下工程中的应用,实例涉及北京地铁、广州地铁、深圳地铁、南京地铁、上海地铁、天津地铁等地铁工程以及其他市政工程,涵盖了各种地质条件下采用多种施工方法的城市地下工程,有较强的代表性,对类似工程的设计与施工具有指导意义。

本书可供从事地下工程科研、设计、施工与监理等的技术人员参考,同时可供隧道与地下工程专业的大学生选读。

图书在版编目(CIP)数据

城市地下工程施工监测与信息反馈技术/刘招伟,赵运臣著. —北京:科学出版社, 2006

ISBN 7-03-016933-6

I. 城… II. ①刘…②赵… III. 城市建设-地下工程-工程施工-监督管理 IV. TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 012772 号

责任编辑:王志欣/责任校对:包志虹

责任印制:安春生/封面设计:陈敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年5月第一版 开本:BS (720×1000)

2006年5月第一次印刷 印张:22 插页:1

印数:1—2 000 字数:420 000

定价:55.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

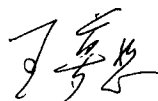
序

随着城市的发展、人口的增加,人们活动的空间日趋减少,城市交通堵塞、生活环境恶化已到了市民不能容忍的地步,严重影响了国民经济的发展。地面道路的增长速度远远满足不了汽车的增长速度,这种畸形发展会带来更大灾害。市民强烈呼吁城市地铁必须加快修建,形成路网,给市民第二个活动空间,实现城市立体化,反对城市摊大饼式扩张。加大、加快地下铁道、地下空间开发是符合我国城市可持续发展的重要举措。

在城市地下工程修建过程中,会遇到许多不同形式,即建筑、管线、桥基、道路等的干扰。如何在闹市区、城市基础设施众多之地安全施工,不破坏、不扰动、不拆迁是建设中的难题。工程实践证明:必须在施工过程中采用监控量测和信息反馈技术,及时修改设计、指导施工,也必须采用信息化施工、信息化设计和跟踪动态管理才能实现不塌方、少沉降,安全、优质、快速建成地下工程。

刘招伟博士从事隧道及地下工程建设和科研 20 多年,经历了近几十座隧道工程和十多个城市地铁工程的修建,尤其在地下工程监测和信息反馈技术领域应该讲是国内领军人物之一,是铁道部有突出贡献的中青年专家。本书是作者 20 多年来在各种不同地质、不同施工方法的地铁及地下工程建设中的心得、体会的总结和升华,有其雄厚的工程基础,是一本非常实用、有借鉴价值的好书。作者以客观、公正、不带偏见、实事求是的精神进行创作,得出了许多值得回味的启示和结论。

在这里,我也诚告青年科技工作者,在写文章和出版书籍时,一定要求真务实,有自己的实践和创新的东西,不要急功近利,不要一味追求文章多、书籍出版多。



中国工程院院士

2006 年 3 月 1 日

前 言

随着社会的发展,人类面临日益突出的居住、交通、环境等与有限土地资源之间的矛盾。为解决这些矛盾,国际上提出了“21 世纪是人类开发利用地下空间时代”的口号,特别是城市地区,随着人口的急剧膨胀,居住困难、交通阻塞、环境恶化,开发利用地下空间,发展地下交通和商业系统是城市面临的主要课题之一。目前,城市地下工程的施工方法主要有明挖法和暗挖法之分,其中:明挖法可分为明挖顺作、盖挖顺作、盖挖逆作、分部开挖法等;暗挖法可分为矿山法、盾构法和顶管法等。不管采取何种施工方法,都将会对周边环境造成一定的影响,甚至造成严重的后果。因此,了解施工对周边环境的影响程度并据此采取相应的技术措施,确保其安全是城市地下工程设计与施工的重要环节。监控量测及信息反馈技术就是通过现场监测施工过程中对周边环境的影响参数[如地层位移、建(构)筑物沉降与倾斜等],分析其变化规律,优化设计并制定抑制过大变形的技术措施,确保其安全,监控量测应该作为工序纳入施工组织。目前,监控量测与信息反馈工作的普及程度存在较大差异,一些专业施工队伍,做得比较规范,正在朝信息化施工的方向转化,但大多数施工队伍并未重视这项工作,只是为监测而监测,未起到指导设计与施工的作用,有的甚至根本就没有监测这一程序。出版本书的目的正是想通过介绍监测与信息反馈的流程,以及信息化施工的具体实施过程,来推动这项工作的开展。

本书共分七章,分别是概论、监测组织与实施、监测仪器与监测实施方法、主要监测项目及其控制基准的确定、信息反馈技术、施工引起的地表沉降规律分析及监测与信息反馈实例。这些都是作者及其同事 20 多年工作的总结,涉及北京地铁、广州地铁、深圳地铁、南京地铁、上海地铁、天津地铁等地铁工程以及北京等城市其他市政工程,涵盖了不同地质条件下采用多种施工方法的城市地下工程,有较强的代表性,对类似工程的设计与施工具有指导意义。

本书是在王梦恕院士等专家的指导下完成的,编写过程中得到了中铁隧道集团科研所的技术人员的大力支持,相关人员提供了大量的实测数据,在此一并致谢!

刘招伟

2006 年 1 月于洛阳

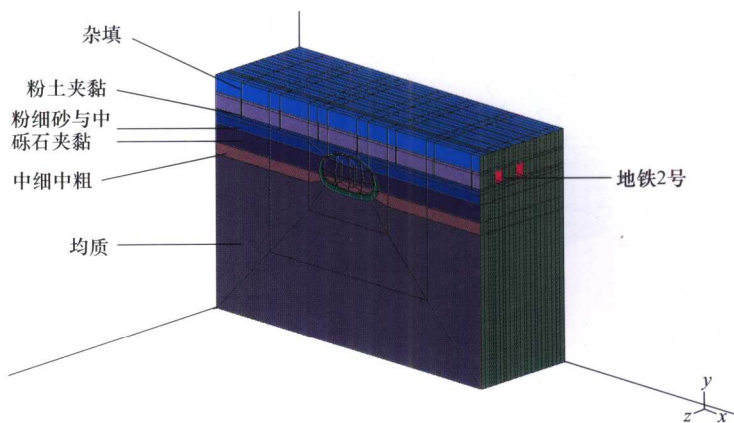


图 6-39 土层分布及既有线位置示意图

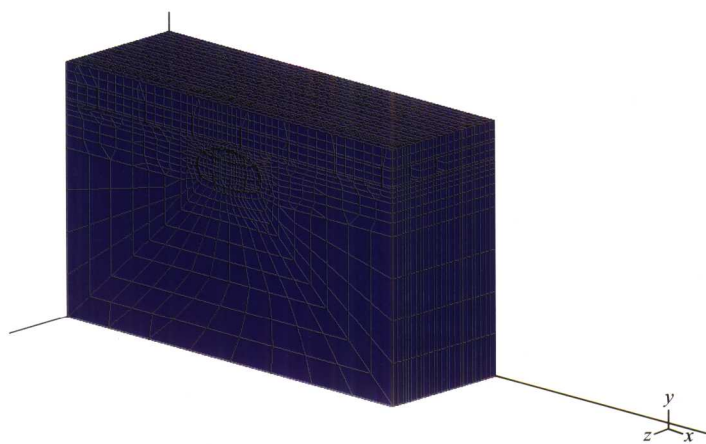


图 6-40 有限元网格剖

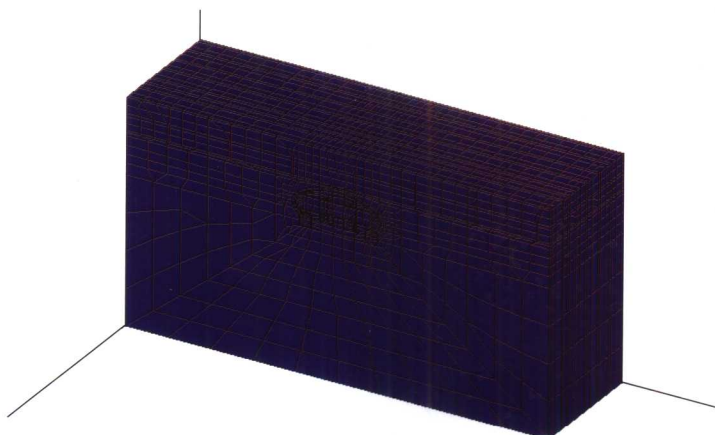


图 6-41 计算模型的网格剖分

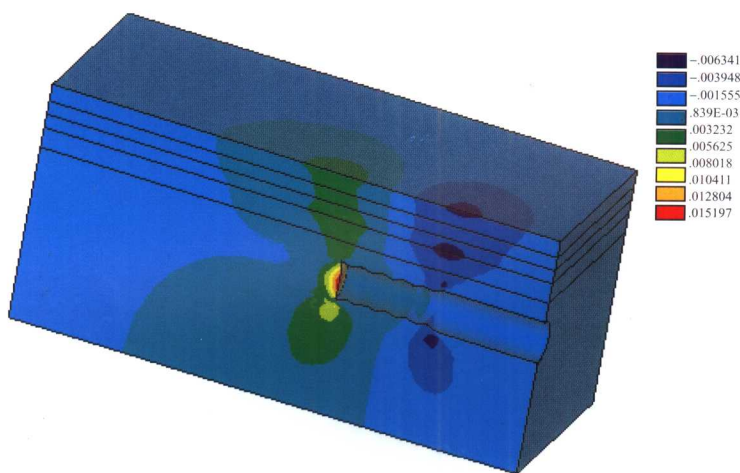


图 6-45 隧道轴向(z)位移图

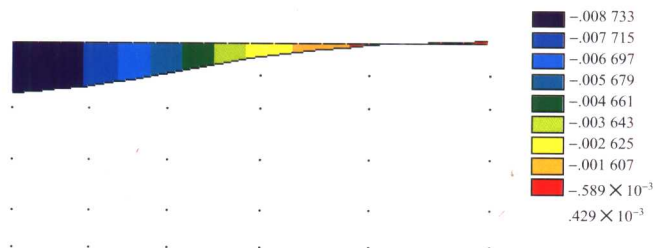


图 6-47 $z=52.5\text{m}$ 处(L1)沿横向分布的地表沉降

目 录

序

前言

第一章 概论	(1)
1.1 城市地下工程主要特点与施工方法	(1)
1.2 监测的目的及国内外现状	(7)
第二章 监测组织与实施	(10)
2.1 监测方案编制.....	(10)
2.2 监测的组织与实施.....	(12)
2.3 监测资料的整理与分析.....	(17)
第三章 监测仪器与监测实施方法	(21)
3.1 主要监测仪器.....	(21)
3.2 监测传感器.....	(48)
3.3 常规监测项目及其方法.....	(58)
3.4 远程监测	(110)
第四章 主要监测项目及其控制基准的确定	(119)
4.1 地下工程主要监测项目	(119)
4.2 国内外监测控制基准研究现状	(123)
4.3 控制基准的确定	(125)
第五章 信息反馈技术	(141)
5.1 信息反馈的目的及内容	(141)
5.2 监测数据的处理方法	(142)
5.3 信息反馈	(148)
5.4 围岩(支护结构)稳定技术措施	(160)
第六章 施工引起的地表沉降规律分析	(178)
6.1 施工引起地表沉降的机理	(178)
6.2 地表沉降的主要影响因素	(191)
6.3 浅埋暗挖法施工引起的地表沉降规律	(199)
6.4 盾构法施工引起的地表沉降规律	(208)
6.5 明挖法施工引起的地表沉降规律	(216)
6.6 地表沉降规律预测方法	(220)

第七章 监测与信息反馈实例	(233)
7.1 广州地铁一号线某区间隧道工程	(233)
7.2 广州地铁二号线某区间盾构隧道工程	(243)
7.3 广州地铁二号线某车站工程	(255)
7.4 北京地铁十三号线某区间隧道工程	(264)
7.5 深圳地铁一期工程某区间隧道工程	(273)
7.6 天津地铁1号线某车站工程	(291)
7.7 深圳地铁一期工程第三方监测	(299)
7.8 南京地铁一号线某区间盾构隧道工程	(306)
7.9 北京地铁某车站远程自动化监测	(322)
7.10 光纤传感系统.....	(334)
参考文献	(343)

第一章 概 论

1.1 城市地下工程主要特点与施工方法

1.1.1 城市地下工程的主要特点

随着国民经济的快速发展,城市地下工程进入了蓬勃发展阶段,预计 21 世纪初至中叶将是我国大规模建设地铁及其他地下工程的年代,与此相关,也会涌现出大量的岩土工程技术问题需要解决。特别是城市地下工程施工引起的地表沉降可能危及周边建(构)筑物和地下管线等的安全,造成严重的经济损失和社会影响。因此,如何在施工过程中防止坍塌,可靠地预测和有效地抑制施工引起的过大地表沉降,确保周边建(构)筑物和地下管线的安全,已成为城市地铁及其他地下工程建设中必须解决的一项重要课题。就地层软弱富水的复杂工程地质条件、暗挖结构呈洞群系统的复杂工程施工条件、近邻建(构)筑物和管线密布的复杂工程边界条件而言,其施工难度和风险极大,地表沉降机理及施工引起的地表沉降分布形态也极为复杂,国内外有关这方面的研究成果很少,薄弱的理论研究和蓬勃发展的此类工程实践是极不相称的。归纳起来,城市地下工程具有以下特点。

1. 地质条件差

目前,我国城市地下工程埋深多在 20m 以内,而在此深度范围内大多为第四纪冲积或沉积层,或为全、强风化岩层,地层多松散无胶结,存在上层滞水或潜水。同时我国部分城市,如武汉、南京、杭州、上海等城市,部分区域承压水位高,承压水含水层顶板埋藏浅,对地下工程施工影响巨大。城市地下工程的基本特点是地质条件差(多数情况下富含地下水),而在现阶段取得准确的地质及围岩力学参数和设计荷载参数等数据极其困难,给地下工程的结构设计与施工带来困难。

2. 周边环境复杂

由于各种原因,城市地下工程的修建滞后于城市建设,尤其是城市地铁工程往往多建在建筑物已高度集中的地区,在城市道路下面及各种管线附近通过。工程施工往往引起地层变形和地表沉降。这些变形和沉降对邻近固有建(构)筑物和设施的损伤不可忽视。例如,施工将产生一定范围的地表沉降,当沉降达到临界值时,将会引起建筑物的倾斜、开裂等,严重的可导致建筑物功能丧失;城市中很多高层建筑采用的是桩基础,地下工程施工引起的地层移动会对桩基础施加轴向和侧

向力,这种力将可能导致既有结构的损害。因此研究地下工程在施工过程中对周围环境的影响及其控制技术就显得尤为重要。

3. 结构埋深浅、与临近结构相互影响

城市地下工程具有埋深浅的特点,多在3~20m间,城市地下的管网设施、商业街、停车场等构筑物鳞次栉比,相互影响,相互制约,给工程的修建带来众多设计与施工技术方面的特殊难题。例如,城市中的地铁工程一般都处在密集的建筑群下,有些工程的基础与既有建筑物或构筑物的基础紧邻,产生相互作用;处于较浅位置的地下管线结构,与深部的大型停车场或地铁工程形成上、下位置临接关系;多条隧道的工程又形成平面上的临接问题,而现有工程的设计理论(强度控制设计)和常规施工技术已经难以满足保护地铁工程周围环境的要求。研究隧道支护结构和周边建筑物及其他构筑物之间的共同作用,近邻建筑物的变形以及在开挖过程中建筑结构的内在反应,进而研究其控制技术,是城市地下工程施工应该解决的问题。

4. 围岩稳定性难于判断

地下工程的围岩稳定问题一直是地下工程设计与施工研究的重点问题。对于城市地下工程而言,其地质、环境以及结构方面的特殊性给这一问题的研究增加了特殊的内容。现有较广泛使用的围岩稳定性理论认为:在地下工程施工过程中,地下工程周围岩体发生应力重分布,当这种重分布应力超过围岩的强度极限时,将造成围岩的失稳破坏。在浅埋条件下是否存在承载拱对其稳定性判别非常重要,有必要通过监测与研究解决。因此,围岩稳定性评价是与地下工程施工和运营密切联系的一项极为重要的研究内容。

地下工程设计与施工的基本特点是“地质条件复杂,基础信息缺乏”,对城市地下工程又增加了“周边环境复杂”,其施工存在着很大的不确定性和高风险性。很长一段时期主要依赖工程技术人员的工程经验;新奥法诞生以来,岩土理论及监测技术、数据库管理技术、计算机辅助设计技术等方面的发展,使地下工程设计与施工跨入了“信息化”时代。信息化设计与施工特别适合地下工程。信息化设计与施工具有解决不确定性问题的能力,可降低风险、建立针对重大坍塌和破坏事件的报警系统,从而实现施工的安全和经济的目标。

随着地下工程支护设计与施工理论不断发展,新奥法成为现代支护理论的典型代表,尤其是现场监测与理论分析相结合,发展为一种适应地下工程特点的和当前技术水平的新的设计方法——信息化设计与施工方法。现场监测、动态设计、信息化施工已经成为当前地下工程设计与施工的发展方向。

岩土工程安全监测是运用监测仪器和设备对工程及周围环境有关的重要参数

进行系统的定期监测,并对测得的资料计算分析做出判断的全过程。

1.1.2 城市地下工程的主要施工方法

随着施工技术的不断进步和发展,地下工程的施工方法越来越丰富,根据地质条件、周边环境条件、机械设备配备等情况,城市地下工程施工方法一般可分为三大类,即明挖法、暗挖法及沉管法。具体分类见图 1-1。

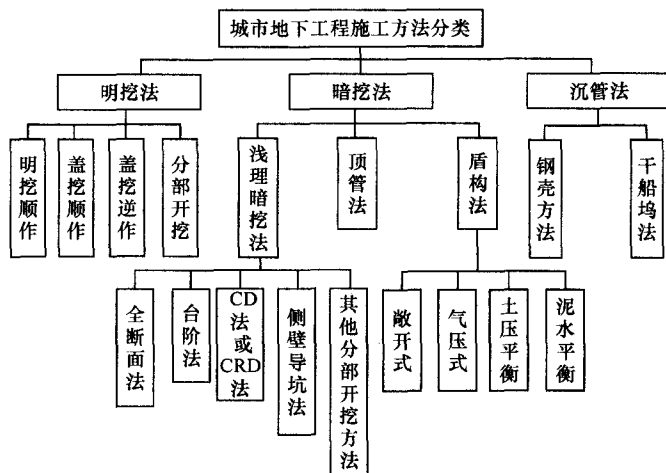


图 1-1 城市地下工程施工方法分类

不同的施工方法适用不同的条件,应综合分析各种施工方法对地质条件的适应性、对周边环境的影响,以及综合分析其安全性、经济性和工期要求等,慎重选择。上述几种施工方法各有优缺点,详细比较见表 1-1。

表 1-1 几种施工方法对比表

对比指标	明挖法	盾构法	浅埋暗挖法
地 质	各种地层均可	各种地层均可	有水地层需要做特殊处理
场 所	占用道路面积较多	占用道路面积较少	占用道路面积较少
断面变化	适应	适应性差	适应
埋置深度	浅埋	需要一定深度	浅埋
防水施工	较容易	容易	较难
地表下沉	较小	较小	较大
交通障碍	影响较大	影响较小	影响较小
地下管路	需要拆迁和防护	不需要拆迁和防护	不需要拆迁和防护
施工噪声	大	小	小
地表拆迁	大	小	小
水处理	降水、疏干	堵、降结合	堵、降或堵排结合
进 度	受拆迁干扰大,总工期较快	前期工程复杂,总工期一般	开工快,总工期偏慢

1. 浅埋暗挖法

随着城市地下工程的发展,浅埋暗挖法作为地下工程主要施工方法之一,具有很多优点。例如,我国自 1987 年在北京地铁首次采用浅埋暗挖法施工的复兴门折返线工程,结构跨度达 14.6m,覆土厚度 6~12m。针对我国城市地下工程的特点,浅埋暗挖法经过多年的不断完善,形成了具有中国特色的一种新方法,该方法可以避免明挖法对地表的干扰,而又较盾构法具有对地层较强的适应性和高度灵活性,因此,目前广泛应用于城市地铁区间隧道、车站、地下过街道、地下停车场等工程。

新奥法是浅埋暗挖法的基本理论与方法之一,城市地下工程施工多是根据新奥法的基本原理进行的。在山岭隧道等地下工程,新奥法要求在围岩变形基本稳定后进行二次衬砌,充分发挥围岩的承载力。但城市地下工程,由于周边环境复杂,埋置深度浅,不允许有大的地层变形,地表沉降往往成为控制性边界条件。因此,采用新奥法修建的城市地下工程,当地层变形较大,加强支护难以奏效或成本较高时,应尽早施作二次衬砌,在地层稳定性较差时,还应采取超前加固措施,提高围岩强度,以抑制过大的结构及地层变形,也可以称为城市新奥法。

城市新奥法是近年发展起来的城市地下工程施工新方法,该法配合各种辅助工法用于软弱地层的施工,效果更佳。开挖方法有正台阶法、单侧壁导坑法、中隔墙法(也称 CD 法和 CRD 法)、双侧壁导坑法(眼镜工法)等。该法具有灵活多变,对地表建筑、道路及地下管网影响不大,拆迁占地少,不扰民,不污染城市环境等优点,是目前较先进的施工方法。

1) 浅埋暗挖法基本原理

奥地利学者拉布塞维兹(Rabcewicz)等根据多年的矿山工程的实践开创和发展了新奥地利地下工程设计施工方法,简称新奥法。

新奥法的力学原理属于地层结构法。认为地下结构周围的地层不仅对衬砌结构产生荷载,而且其自身也能承受荷载,地下结构安全与否,首先取决于周围地层的稳定状态,衬砌结构的作用是在地下工程结构周围应力重分布的过程中对地层提供必要的支撑抗力,与地层一起组成共同受力的整体,以保持地下工程结构的稳定。

因此,采用新奥法设计与施工,首先应根据经验初步选定设计参数,在施工过程中通过监测地下工程结构受力与变形等数据,以判断地下工程稳定性及支护结构对围岩的加固效果,并据以修正结构的支护形式及参数,最终完成地下工程的施工,这一过程也称信息化施工过程。

喷锚支护是加固围岩的重要手段,且能根据需要及时对围岩进行加固,因此在采用新奥法设计与施工的地下工程中喷锚支护得到了广泛的应用。

施工过程中监测是新奥法设计和施工的重要工序。围岩变形能够综合反映地

下工程开挖后围岩性态的变化,因此围岩变形的监测在新奥法施工中具有重要的作用。

2) 浅埋暗挖法的优缺点

在我国浅埋暗挖法已发展为城市地下工程的主要施工方法之一。

浅埋暗挖法的优点主要有:①不需要太大的施工场地、拆迁少、不扰民;②适应复杂多变的地质条件;③适应复杂多变的结构形式;④适应复杂的周边环境。

浅埋暗挖法的缺点也比较明显,其缺点主要有:①辅助工法施工成本过高,导致工程造价偏高;②难以采用大型施工机械,施工速度慢;③工作环境差,不利于工作人员身体健康;④防水施工质量难以保证,隧道防水容易出问题。

2. 盾构法

盾构法施工城市地下工程具有机械化程度高,对地层扰动小,综合性强,掘进速度快,对环境影响程度低等特点,因而在欧洲、美国、日本等发达地区和国家得到广泛应用。20世纪初,盾构施工工法在美国、英国、德国、法国、原苏联等国得到广泛推广,大量用于公路隧道、地铁和下水管道等地下工程,并在加气压施工和盾尾注浆等方面有了突破和发展。20世纪60年代后,盾构法在日本大量用于东京、大阪等城市的地铁和下水道等市政工程。盾构技术的迅速发展更加显示了盾构法的技术经济价值和社会效益,从而获得了更广泛的应用。

在我国,盾构技术发展开始于20世纪50年代,首先应用于修建煤矿巷道。1963年,上海结合地下铁道的筹建,开始进行盾构技术开发,并于1990年开始在地铁一号线大量引进盾构进行施工,经过多年的发展,在上海等软弱地层的盾构施工技术已相当成熟。近年来,随着我国综合国力的提高,很多城市大力发展地铁,如北京、上海、广州、南京、深圳等城市,到2003年,以上城市引进了近40台盾构机用于地铁施工。

盾构发展主要在机械化方面,从敞开式盾构发展到气压盾构和泥水盾构及土压平衡盾构。在盾构发展初期,较多采用气压式盾构,通过压力气体来稳定开挖面地层,如此将造成操作者必须在高气压下工作,对人体伤害很大,施工速度较慢。随着盾构技术的发展,研究出了用泥水来平衡开挖面的方法,出现了泥水盾构,大大改善了工作条件,提高了防坍塌和控制地表沉降的效果,但泥浆系统较复杂,场地面积大,使用造价高,泥浆也经常沿盾构隧道泄漏而影响盾构密封和管片背后的注浆效果。因此,出现了利用流塑状土来稳定开挖面的土压平衡盾构,土压平衡盾构的出现克服了泥水盾构的许多不足,近20年以来,土压平衡盾构的辅助施工措施得到了高速的发展,如添加剂注入装置及注入材料的发展,以及其他的土仓加压措施的应用等,使此类盾构几乎能够适用于所有地层,因而发展很快,应用越来越多。在不均质地层条件下,是否需要设计的盾构适应所有的地层是一个有争议的

问题,多功能盾构在技术上不存在问题,但不能保证一次应用成功,实际应用风险较大,但仍然是今后盾构发展的一个方向。另外,随着信息技术在盾构领域的应用,盾构正在向全自动化发展,进一步减小劳动强度,提高工作效率。

1) 盾构法基本原理

盾构法的基本原理是基于圆柱形钢铁装置沿隧道轴线向前推进的同时进行开挖。在隧道初期支护或二次衬砌施工前,圆柱形钢铁装置保证开挖所需的空间。盾构必须承受周围地层的压力,阻止地下水的侵入。

盾构法施工,根据地层和地下水情况,有五种稳定开挖面的方法:①自然支撑;②机械支撑;③压缩空气支撑;④泥浆支撑;⑤土压平衡支撑。

2) 盾构法优缺点

(1) 盾构法的主要优点有:①机械化程度高,施工速度快;②隧道断面准确;③对环境影响时间短、程度小;④施工人员安全程度高;⑤防水工程施工方便,质量好;⑥隧道衬砌经济、质量好。

(2) 盾构法的缺点主要体现在以下几个方面:①盾构机设计、制造、安装等准备期长,前期投资大;②操作要求高;③施工场地大,只适合较长的隧道,对隧道埋深有一定的要求;④当地层条件多变时,施工风险大;⑤一般只适合圆形断面,缺少变化,通常只适合事先确定的断面,改变断面代价大,如扩大断面。

3. 明挖法

明挖法也称基坑法,其施工方法为:首先从地表向下开挖出基坑,在基坑内进行结构施工,然后回填恢复地表。包括放坡明挖法、基坑支护开挖法等。这种方法简单易行,施工作业面宽敞,施工速度较快,在覆盖层薄,人口稀少,车辆不多的地区采用是最经济的。该法的最大缺点是破坏地表、中断交通、拆迁工作量大。同时施工产生的噪声、震动等公害给附近居民的生活和工作带来极大的干扰。为了最大限度地减少施工对地面交通和附近居民的干扰,产生了盖挖法。

盖挖法是一种先做钻孔灌注桩(挖孔桩)或连续墙作围护结构和支撑结构(如钢横撑、长锚索等组成支挡结构),在该结构保护下再做桩顶纵梁、盖顶板,恢复地面,然后在桩及盖板的支护下再施工主体结构的方法。根据开挖及结构施工顺序的不同,又可分为盖挖顺作及盖挖逆作两种。它是一种较快速、经济、安全的施工方法。

明挖法作为地下工程主要施工方法之一,具有很多优点,相对于浅埋暗挖法、盾构法,具有工期短、造价低、对地层较强的适应性和工程结构高度灵活性。

但其缺点是对地面干扰较大,由于其影响交通、环境污染大等缺点,在繁华城区,其应用受到一定限制。

4. 沉管法

城市交通的发展,由此带来跨越江河。所谓沉管法施工,简单地说,就是在水底开挖沟槽,把在船坞中预制的管体,浮运到沉放现场,按顺序沉放到沟槽中,将分节的管段连接成整体,并在管段上回填土体从而形成的隧道。沉管法是修建水底隧道经常采用的方法之一。

1.2 监测的目的及国内外现状

1.2.1 监测的目的

在岩土中修建地下工程,由于对地下工程设计合理性进行理论分析牵涉问题很多,比较困难,其主要原因是:①岩土的复杂性;②施工方法难以模拟性;③围岩与结构——支护(围护)相互作用的复杂性。同时城市地下工程周围环境一般比较复杂,因此有必要通过信息化施工,及时了解施工过程中围岩与支护结构的状态,并及时反馈到设计与施工中去,以确保地下工程施工和周围建(构)筑物安全。作为信息化施工的最基础工作,监测显得非常重要。城市地下工程监测的主要目的如下:

(1) 通过监测了解地层在施工过程中的动态变化,明确工程施工对地层的影响程度及可能产生失稳的薄弱环节。

(2) 通过监测了解支护结构及周边建(构)筑物的变形及受力状况,并对其安全稳定性进行评价。

(3) 通过监测了解施工方法的实际效果,并对其进行适用性评价。及时反馈信息,调整相应的开挖、支护参数。

(4) 通过监测,收集数据,为以后的工程设计、施工及规范修改提供参考和积累经验。

1.2.2 监测的国内外现状

近年来,我国相继颁布实施的有关地下工程设计和施工的规程和规范都对监测做了具体规定,监测是城市地下工程施工中必不可少的组成部分。地层力学参数的不确定性及施工过程的不可预见性,使地下工程设计和施工中难免出现与实际地层条件不符合的情况,需要在施工过程中通过监测信息的反馈来修正设计,指导施工。

20 世纪 60 年代,奥地利学者和工程师总结出了以尽可能不恶化地层中的应力分布为前提,在施工过程中密切监测地层及结构的变形和应力,及时优化支护参数,以便最大限度地发挥地层自承能力的新奥法施工技术。

经过长期的实践发现,地下工程周边位移和浅埋地下工程的地表沉降是围岩与结构——支护结构系统力学形态最直接、最明显的反映,是可以监测并控制的,因此普遍认为地下工程周边位移和浅埋地下工程的地表沉降监测最有价值,既可全面了解地下工程施工过程中的围岩与结构及地层的动态,又具有容易观测,可控制的特点,并较易于通过工程类比总结经验,建立稳定判别标准。基于以上认识,我国现行规范中的围岩与结构稳定的判据都是以周边允许收敛值和允许收敛速度等形式给出的,作为评价施工、判断地下工程稳定性的主要依据,监测以位移监测(A项)为主,应力、应变监测(B项)等为辅。

城市地下工程无论采用何种施工方法,都借鉴了山岭隧道新奥法有关信息化设计与施工的理念,实施过程中,不仅要考虑地下工程结构的稳定,而且要考虑地下工程施工对周围环境的影响,因此城市地下工程的监测内容包括以下三类:

- (1) 结构变形和应力、应变监测。
- (2) 结构与周围地层(围岩与结构)相互作用。
- (3) 与结构相邻的周边环境安全监测。

目前,在地下工程设计中,都有较完善的监测设计,包括监测管理、监测方法及监测设备等。但在实施过程中仍然存在很多问题。

由于监测与信息反馈技术对技术人员专业水平要求较高,因此国内外在监测管理方面,开始走专业化的道路,将监测作为一个独立的工序从工程项目中分离出来,由有资质的专业队伍承包,以保证监测的客观性与公正性。目前,在城市地下工程建设中,开始引入第三方监测,监测方受业主委托,对地下工程施工影响范围内的建筑物、地下管线、地下水位等进行监测,其目的主要有两个方面:一是对施工单位的监测进行复核,以便对环境的影响进行客观、公正的评估,提供给业主或城建主管部门;二是当发生重大环境安全事故时,监测结果是责任判定的主要依据。因此在城市地下工程建设中开展第三方监测具有重要意义。

随着地下工程施工技术的发展,地下工程安全监测技术的发展也很迅速。主要表现为监测方法的自动化和数据处理的软件化。监测设备及传感器不断发展与完善,监测技术向系统化、远程化、自动化方面发展,从而实现实时数据采集、数据分析,监测精度不断提高,数据分析与反馈更具有时效性,如远程监测系统。目前发展的远程监测系统主要有下面几种:

- (1) 近景摄影测量系统。
- (2) 多通道无线遥测系统。
- (3) 光纤监测技术。
- (4) 非接触监测系统。
- (5) 电容感应式静力水准仪系统。
- (6) 比赛特结构收敛系统。