



普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

地下工程测量

■ 主 编 郑文华
副主编 魏峰远 吉长东 余学祥

煤炭工业出版社

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

地下工程测量

主 编 郑文华

副主编 魏峰远 吉长东 余学祥

煤炭工业出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

地下工程测量/郑文华主编. —北京: 煤炭工业出版社,
2007. 10

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材
ISBN 978-7-5020-3177-0

I. 地… II. 郑… III. 地下工程测量-高等学校-教
材 IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 137508 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行



开本 787mm × 960mm¹/₁₆ 印张 17¹/₄
字数 358 千字 印数 1—3,000
2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷
社内编号 5978 定价 38.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

前 言

随着现代科学技术的迅速发展,我国的地下工程测量技术水平有了新的提高,特别是近年来随着高精度的全站仪和全球定位系统(GPS)等精密仪器的出现以及社会主义建设不断扩大,各种大型地下建筑物和构筑物的工程建设、隧道建设、各种矿山建设工程在不断增多,给矿山测量提出了新的任务、新课题和新要求,并从单一的矿山测量扩大到整个地下工程测量,服务领域也不断拓宽,从而更好地推动了地下工程测量事业的进步与发展。为了适应形势的发展,许多高校的测绘工程专业开设了《地下工程测量》课程,为满足教学需要,在煤炭工业出版社的组织下,编者编写了这本教材。

《地下工程测量》是“普通高等教育地矿、安全类‘十一五’规划教材”。

本教材由郑文华(山东科技大学)主编,魏峰远(河南理工大学)、吉长东(辽宁工程技术大学)、余学祥(安徽理工大学)任副主编。其中,第一章、第九章由吉长东编写;第二章由陈宜金(中国矿业大学)编写;第三章由郑文华编写;第四章、第六章由付培义(太原理工大学)编写;第五章、第十章由魏峰远编写;第七章由余学祥编写;第八章由郭玉社(山西大同大学)编写。郑文华负责统稿工作。

本教材以满足50~60学时的教学需求为基础,力求在全面系统讲解地下工程测量理论与实践的同时,引入更多的新知识和新方法,从不同的角度帮助学生掌握地下工程测量的方法、思路和技术,帮助学生真正理解和灵活运用有关知识,并运用大量的实例来增强解决问题掌握知识的能力。

本书在编写过程中,得到了许多专家、学者的帮助,山东科技大学王其芳老师参与了书中图表的修改工作,在此向他们表示衷心的感谢!

本教材主要为工程测量专业的学生编写,也兼顾了其他测量专业的学生。由于编者水平有限,书中可能会存在缺点和错误,诚挚希望读者批评指正!

编 者

2007年8月

目 次

第一章 概述.....	1
第一节 地下工程的种类及特点.....	1
第二节 地下工程对测量的要求.....	2
第三节 地下工程测量的具体内容.....	3
第四节 地下工程测量的沿革及展望.....	4
第二章 地下工程控制测量.....	8
第一节 地下工程地面控制测量.....	8
第二节 地下控制测量	18
第三章 联系测量	47
第一节 一井定向	47
第二节 两井定向	53
第三节 陀螺经纬仪及定向测量	55
第四节 高程联系测量	75
第四章 地下工程施工测量方法	78
第一节 隧(巷)道中线的测设方法	78
第二节 隧(巷)道腰线的测设方法	85
第三节 竖井的施工放样	89
第四节 激光导向	97
第五章 贯通测量	99
第一节 概述	99
第二节 一井内巷道贯通测量.....	101
第三节 两井间巷道贯通测量.....	105
第四节 立井贯通测量.....	106

第五节 贯通实际偏差的测定及调整·····	108
第六节 提高贯通测量精度的技术措施·····	109
第六章 地下矿井工程测量·····	112
第一节 煤矿测量·····	112
第二节 金属矿山测量·····	117
第七章 隧道、地铁施工测量和竣工测量·····	127
第一节 隧道施工测量·····	127
第二节 隧道洞外、洞内联系测量·····	131
第三节 隧道洞内控制测量·····	137
第四节 隧道洞内中线测量·····	139
第五节 隧道施工测量·····	141
第六节 盾构法的施工测量工作·····	144
第八章 地下工程控制测量精度分析·····	147
第一节 地面控制测量精度分析·····	147
第二节 地下控制测量精度分析·····	153
第九章 联系测量的精度分析·····	208
第一节 投点和投向误差分析·····	208
第二节 一井定向精度分析·····	215
第三节 两井定向精度分析·····	225
第四节 陀螺定向的精度分析·····	239
第十章 贯通工程方案设计及误差预计·····	248
第一节 贯通工程的误差预计·····	248
第二节 贯通工程方案设计·····	266
第三节 贯通工程技术总结的编写·····	268
参考文献·····	270

第一章 概 述

第一节 地下工程的种类及特点

地下工程根据工程建设的特点可分为三大类。第一类属于地下通道工程，如隧道工程（包括城市间或国家间的铁路隧道、公路隧道、跨海通道以及输水隧洞）、城市地下有轨交通系统、上下水道、电力及瓦斯管道等；第二类属于地下建（构）筑物，如地下工厂、地下式住宅、地下停车场、地下文化娱乐设施（影剧院、游乐场、舞厅、餐厅、医院和图书室等）、地下核能发电站、地下水力发电站、地下能源发电站、地下各种储备设施、地下商业街、防御洪水灾害的地下坝、人防避难工程、地下河、防灾型城市的构思以及军事设施等。第三类是为开采各种地下矿产资源（金属和非金属）而建设的地下采矿工程。由于工程的环境、性质和地质采矿条件的不同，地下工程的施工方法也各不相同，可分为明挖法和暗挖法。如浅埋的隧道（即挖开地面修筑衬砌，然后再回填）可采用明挖法，深埋的地下工程常采用暗挖法（包括盾构法和矿山法）。对于不适用上述情况的工程，如北京长安街下的地铁修建工程，则可以采用浅埋暗挖法。由于工程特性和施工方法的不同，对测量工作的要求也有所不同，但总的说来有着很多共同之处。与地面工程测量相比，地下工程测量具有以下特点。

（1）地下工程施工环境差。如黑暗潮湿、通视条件不好、经常需进行点下对中（常把点位布设在坑道顶部）、边长长短不一并且有时较短，因此测量精度难以提高。

（2）地下工程的坑道往往采用独头掘进，而硐室之间又互不相通，因此不便组织校核，出现错误往往不能及时发现。并且随着坑道向前掘进，点位误差的累积越来越大。

（3）地下工程施工面狭窄，并且坑道一般只能前后通视，致使控制测量形式比较单一，常规的地面控制测量形式已不再适合，只能采用导线形式。

（4）随着工程的进展，测量工作需要不间断地进行。一般先以低等级导线指示坑道掘进，而后布设高级导线进行检核。

（5）由于地下工程的需要，往往采用一些特殊或特定的测量方法（如联系测量等）和仪器（陀螺经纬仪等）。同时，有的采矿工程有矿尘和瓦斯（如井工矿），要求仪器具有较好的密封性和防爆性。

第二节 地下工程对测量的要求

地下工程的测量环节包括建立地面控制网、地面和地下的联系测量、地下坑道中的控制、竣工及施工测量。对测量的要求如下：

(1) 应严格按照先“控制”后“碎部”原则、由“高级”到“低级”原则、从“整体”到“局部”原则、步步有检核等原则。对测量成果要逐项检核，测量精度必须达到或略高于规范的要求。

(2) 在隧道工程中，两个相向开挖的工作面的施工往往因测量误差而产生上下或左右错开现象，称为贯通误差。该误差在隧道中线方向的投影长度称为纵向贯通误差（简称纵向误差），在水平面内垂直于中线方向的投影长度称为横向贯通误差（简称横向误差），在高程方向的投影长度称为高程贯通误差（简称高程误差）。对于隧道而言，纵向误差不会影响隧道的贯通质量，而横向误差和高程误差将影响隧道的贯通质量。根据许多工程经验可知，高程方向只要不出现测量错误，容易达到工程的要求。而横向误差在测量的各个环节中稍不注意就会造成误差超限，引起隧道中线几何形状的改变，甚至洞内建筑物侵入规定限界而使已衬砌部分拆除重建，给工程造成损失。因此，对平面测量的精度应特别注意。

对于各项贯通误差的允许数值，根据我国铁路隧道工程建设的需求及多年来贯通测量的实践，《铁路测量技术规则》对于横向误差规定为：当两相向开挖的洞口间长度为4km及4km以下时为100mm（即中误差为 $\pm 50\text{mm}$ ），在4~8km时为150mm（即中误差为 $\pm 75\text{mm}$ ），在8km以上时应根据现有的测量水平另行酌定。对于高程误差规定不超过50mm（即中误差为 $\pm 25\text{mm}$ ）。对于纵向误差的限值，一般都不作明确规定，如果按照定测中线的精度要求，则应小于隧道长度的1/2000。

对地下铜、铁等金属矿产和煤炭等进行大规模矿产资源开采过程中，贯通巷道接合处的偏差可能发生在空间的三个方向上；即沿巷道中心线的长度偏差、垂直于巷道中心线的左右偏差（水平面内）和上下的偏差（竖直面内）。第一种偏差只对贯通在距离上有影响，对巷道质量没有影响。后两种方向上的偏差对巷道的质量有直接影响，所以这后两种方向上的偏差又称贯通重要方向上的偏差。对于立井贯通来说，影响贯通质量的是平面位置的偏差，虽其精度要求要远比隧道宽松得多，但是贯通误差仍然不可忽视。根据《煤矿测量规程》，其平面误差应小于0.2m，高程误差小于0.5m。

(3) 为保证地下工程的施工质量，在工程施工前应进行工程测量误差预计。预计中应将容许的竣工误差加以适当分配。一般来说，地面上的测量条件比地下好，故对地面控制测量的精度应要求高一些，而将地下测量的精度要求适当降低。

(4) 在地下工程中应尽量采用先进的测量设备。地面控制测量应采用GPS测量技术

进行。平面联系测量应尽量采用陀螺定向。坑道内的导线测量应采用红外测距仪测距,以加大导线边长、减少导线点数。为限制测角误差的传递,当导线前进一定距离后,应使用高精度陀螺经纬仪加测陀螺定向边。

第三节 地下工程测量的具体内容

一、规划设计、施工阶段

在地下工程规划设计、施工阶段,视工程规模的大小和建筑物所处的地下深度,需要使用已有的各种大、中比例尺地形图或测绘专用地形图。地形图测绘范围,除满足主体工程和附属工程的设计需要外,还应考虑在岩体掘空后地面沉陷、岩体移动以及地下水渗入的可能影响范围。对于大型地下工程,测图比例尺在规划阶段为 $1:5000 \sim 1:25000$;在初步设计阶段为 $1:1000 \sim 1:5000$;在施工设计阶段为 $1:200 \sim 1:1000$ 。对于小型地下工程,初步设计和施工设计用图的比例尺采用 $1:500 \sim 1:2000$ 。此外,还要测绘必要的纵、横断面图以及地质剖面图等。

二、施工阶段

在施工阶段,配合施工步骤和施工方法,进行施工控制测量以及建(构)筑物的定线放样测量,保证地下工程按照设计正确施工。主要内容有:

1. 地下工程施工控制测量

地下工程施工控制测量分为地面控制和地下控制两部分,另外还应将地面和地下两部分联测,形成具有统一坐标和高程系统的控制网。

(1) 地面平面控制测量一般采用导线、测角网、测边网、边角网以及 GPS 控制网。高程控制测量一般采用水准网或电磁波测距三角高程控制网,高程控制网的首级网应布设成闭合环线,加密网可布设成附合路线、结点网或闭合环。

(2) 地面与地下的联系测量,对于采用平硐或斜井进行施工的地下工程,可采用导线进行平面联系测量,采用水准或电磁波测距三角高程进行高程联系测量。如果通过竖井施工,则可采用几何联系测量(一井、两井定向测量等)或物理定向(陀螺定向测量等)的方法进行平面联系测量。高程联系测量通常采用长钢尺法、长钢丝法或电磁波测距仪测深的方法进行。

(3) 地下控制测量从各硐口或井口引进,随坑道掘进而逐步延伸。地下控制网的形状和测量方法,依坑道的形状和净空的大小而定。地下平面控制一般多采用导线或狭长的导线网,并在适当的位置加测陀螺方位角以减少测角误差的积累。地下高程控制一般采用水准测量或电磁波测距三角高程进行。

2. 地下工程的定线放样工作

地下工程的定线放样工作，是依据地下平面控制点和水准控制点，放样出施工中线 and 施工腰线，给出开挖的方向，从而布置炮眼进行钻爆或以掘进机械进行开挖（近代已用激光导向的方法操纵掘进机械的进程）。待硐体成型或部分成型后，即根据校准的中线放样断面线，进行衬砌。地下工程衬砌后，要进行断面测量，核实净空。对于硐室、地下油库等还要进行实际库容的测算。

3. 地下工程竣工测量

地下工程竣工后，要测制竣工图和记录必要的测量数据，在经营管理阶段还要进行地下工程的设备安装、维修、改建、扩建等各种测量工作。

另外，地下工程施工时，因岩体掘空，围岩应力发生变化，可能导致地下建筑物及其周围岩体下沉、隆起、两侧内挤、断裂以至滑动等变形和位移。因此，必要时从施工前开始直到经营期间，应对地面、地面建筑物、地下岩体进行系统的变形观测，以保证安全施工，鉴定工程质量，并开展相应的科学研究工作。对于地面沉降观测通常采用重复水准测量方法，首级网用精密水准仪进行观测，次级网用低一级的水准测量，均按一定周期进行观测，并用严密平差方法求得各观测点的高程。地面水平位移观测通常要布设高精度的变形控制网，由基准点和工作基点组成首级变形控制网，由工作基点与变形观测点组成次级网。变形控制网按不同观测对象和不同的观测仪器可布设成测角网、测边网、边角网。在没有固定点可利用的情况下，变形网则布设成自由网（全部控制点位于变形影响范围以内）。对较复杂的网形，应在预定的工作量下进行优化设计。对于岩层断裂、滑坡地区任意方向的位移观测，常布设跨越断层的单三角形、大地四边形、中点多边形等图形。特定方向的位移观测常用基准线法，定期用测小角法或活动觇标法测定观测点的偏离，以计算位移值。20 世纪 60 年代以来开始应用激光准直的方法测定特定方向的位移。

第四节 地下工程测量的沿革及展望

地下工程测量是一门直接为国民经济和国防建设服务的，紧密地与生产实践相结合，集地质、采矿和测绘于一体的综合性应用学科。其发展可以追溯到古代。公元前 2200 年间的古代巴比伦王朝修建了长达 1km 的横断幼发拉底河的水底隧道，罗马时代也修筑了许多隧道工程，都进行了隧道测量。中世纪时代由于对铜、铁等金属的需求，在矿石开采工程中采用了矿山测量技术。20 世纪 50 年代以后，随着陀螺经纬仪、光电测距仪、电子经纬仪和计算机等在矿山测量工作中的使用，变革了传统的矿山测量学理论和技术，特别是随着高精度的全站仪和全球定位系统（GPS）等精密仪器的出现和工程建设规模不断扩大，各种大型地下建筑物和构筑物的工程建设、隧道建设、各种矿山建设工程在不断增多，给矿山测量提出了新任务、新课题和新要求，使其从单一的矿山测量扩大到整个地下

工程测量,其服务领域也不断得到拓宽,同时更好地推动了地下工程测量事业的进步与发展。

一、地下工程测量的研究应用领域

目前国内把工程建设有关的工程测量按勘测设计、施工建设和运行管理 3 个阶段划分;也有按行业划分成线路(铁路、公路等)工程测量、水利工程测量、桥隧工程测量、建筑工程测量、矿山测量、海洋工程测量、军事工程测量、三维工业测量等。总的来说,地下工程测量学主要包括以工程建筑为对象的地下工程测量和以机器设备为对象的工业测量两大部分,主要任务是为各种服务对象提供测绘保障,满足它们所提出的各种要求,可分为普通地下工程测量和精密地下工程测量。精密地下工程测量代表地下工程测量学的发展方向,大型特种精密工程是促进地下工程测量学科发展的动力。

二、地下工程测量技术的发展现状

1. 传感器的研究动态、应用与集成

传感器是一个非常广义的概念,可泛指各种能自动化、高精度地采集数据的设备。GPS 接收机、激光跟踪仪、智能全站仪、马达驱动的全站仪、CCD 数码相机以及工程岩土位移伸缩计、流体静力水准等都属于传感器。当今,新型、高精度和实时动态性是保证结构复杂的大型工程安全施工和运营的重要保障,这就要求不同知识和专业领域的科技人员的共同合作,较全面地了解和掌握工程的安全状态,以综合分析建筑物的实时状态。因此,也就需要充分利用传感器的自动化和高精度的特点,来实现数据的自动采集、传输、处理和表达。这种需求极大地促进了各种传感器的研发,并在各种工程中广泛应用。

2. 激光扫描仪的研究与应用

激光扫描仪是近几年出现的一种新型传感器,激光扫描仪的突出优点是不需要反射合作目标,速度快、精度高,主要用于快速、精确地测定物体的表面形状,尤其适合于形状和结构特别复杂的对象,如工业设备测定、古建筑测绘等,在工业测量、古迹文物保护、土木工程文档和变形监测等方面都得到广泛的应用。目前对其研究的重点集中在两个方面:一是测量精度的研究,包括距离测量精度、角度测量精度、物体表面影响和同名点的匹配精度等;二是具体的实际应用,如建筑物文档的制作、工厂复杂管道三维模型建立、工程施工和竣工的形状资料等。

3. 变形监测

变形监测的自动化是目前变形监测手段的重要话题。一个变形监测系统应该是一个测量传感器和“非测量”传感器组成的联合自动化系统。就目前的监测手段而言,极大部分还是以 GPS、马达驱动的全站仪和数字水准仪为主体。这是因为这几种方法设站灵活、成本低、易自动化,且在大部分情况下都能满足变形测量的要求。同时,为弥补其不足,

流体静力水准、倾斜测量仪、温度传感器、风力传感器、光纤位移传感器、交通流量测量传感器、振动测量传感器等的应用也越来越广泛,以满足具体工程的特殊要求和便于全面地变形分析。变形监测的对象主要集中在常规的土木工程,如道路、桥梁、隧道、铁路、水坝、厂房设备、电视塔等高大建筑物和滑坡、岩崩、雪崩等。由于各种传感器的大量使用,我们不仅可以连续地测量变形本身,而且尽可能地连续测量包括温度、水位、气压、荷载、风力、降雨、湿度等变形体周围的多种环境数据。因此,变形监测的数据处理主要集中在对连续时间序列的处理、对多传感器数据的联合处理、变形可视化表达和建立变形动态模型等几个方面。通过数据处理后的分析能对变形作出合理的解释,对工程建筑物的现状给出正确的评价,对其发展趋势给出正确的预报。

4. 测量仪器的检校

随着各种高精度的数字化仪器(传感器)的出现,如何选择更高精度的设备和方法对它们进行有效的检验,也是地下工程测量技术发展的一个重点。如数字水准仪、电子经纬仪、流体静力水准系统、三维激光扫描仪、倾斜测量仪等能达到怎样的精度,如何检测其精度,它们在实际运行中的姿态对测量结果产生多大的影响,外界的环境因素的变化影响有多大等,都有很大的发展空间。检测结果不仅是仪器使用者和仪器制造商关心的问题,也属于地下工程测量需要研究和解决的问题。

5. 高精度的陀螺经纬仪

陀螺经纬仪是可以确定过测站的子午线方向(陀螺北方向)和测线的陀螺方位角的仪器,是矿山、隧道等地下工程测量中的主要定向设备。由于陀螺仪定向的人工观测过程费时费力,很容易造成返工且精度受到限制,所以便出现了自动跟踪观测及自动数字显示等的陀螺经纬仪。新一代的陀螺经纬仪是由微机控制,仪器自动、连续地观测陀螺的摆动并能补偿外部的干扰,观测时间短、精度高。如 Cromad 陀螺经纬仪在 7min 左右的观测时间能获取 3" 的精度,比传统陀螺经纬仪精度提高近 7 倍,作业效率提高近 10 倍。

三、地下工程测量技术的展望

(1) 测量机器人将作为多传感器集成系统在人工智能方面得到进一步发展,其应用范围将进一步扩大,影像、图形和数据处理方面的能力进一步增强。

(2) 在变形观测数据处理和大型工程建设中,将发展基于知识的信息系统,并进一步与大地测量、地球物理、工程与水文地质以及土木建筑等学科相结合,解决工程建设中以及运行期间的安全监测、灾害防治和环境保护的各种问题。

(3) 工程测量将从土木工程测量、三维工业测量扩展到人体科学测量,如人体各器官或部位的显微测量和显微图像处理。

(4) 多传感器的混合测量系统将得到迅速发展和广泛应用,如 GPS 接收机与电子全站仪或测量机器人集成,可在大区域乃至国家范围内进行无控制网的各种测量工作。

(5) GPS 技术将紧密结合工程项目,在勘测、设计、施工管理一体化方面发挥重大作用。

(6) 大型和复杂结构建筑、设备的三维测量、几何重构以及质量控制将是工程测量学发展的一个热点。固定式、移动式、车载、机载三维激光扫描仪将成为快速获取被测物体乃至地面建筑物、构筑物基地型信息的重要仪器。用精密工程测量的设备和方法进行工业测量、大型设备的安装、在线监测和质量控制,成为设计制造的重要组成部分,甚至作为制造系统不可分割的一个单元是在工业领域应用的一个趋势。

(7) 数据处理中数学物理模型的建立、分析和辨识将成为工程测量学专业教育的重要内容;数据处理的测角网的平差计算、点的坐标计算、几何元素计算发展到高密度空间三维点、“点云”数据处理、被测物体的三维重建、可视化分析、“逆向工程”以及与实体模型的比较分析、测量数据和各种设计数据库的无缝链接等。

综上所述,地下工程测量学的发展,主要表现在从一维、二维到三维、四维,从点信息到面信息获取,从静态到动态,从后处理到实时处理,从人眼观测操作到机器人自动寻标观测,从大型特种工程到人体测量工程,从高空到地面、地下以及水下,从人工量测到无接触遥测,从周期观测到持续测量,测量精度从毫米级到微米乃至纳米级。地下工程测量学的上述发展将直接对改善人们的生活环境、提高人们的生活质量起重要作用。

第二章 地下工程控制测量

第一节 地下工程地面控制测量

地下工程测量地面控制网是为地下工程服务的，应在地下工程开始前完成。地面平面控制网的基本特点是：

(1) 控制网的大小、形状、点位分布，应与地下工程的大小、形状相适应，点位布设要考虑施工放样的方便，隧道控制网一定要保证隧道两端有控制点。

(2) 地面控制网的精度，不要求网的精度均匀，但要保证某一方向和某几个点的相对精度高，如隧道控制网要能保证隧道横向贯通的准确性。

(3) 投影面的选择应满足“控制点坐标反算的两点间长度与实地两点间长度之差应尽可能小”的要求。如隧道施工控制网一般投影到隧道贯通平面上，也可以将长度投影到定线放样精度要求最高的平面上。

(4) 坐标系应采用独立的建筑坐标系，其坐标线应平行或垂直于建筑物的主轴线。主轴线通常由工艺流程方向、运输干线或主要厂房的轴线所决定。

地面控制网不但为施工放样服务，也可能为某些工程设计提供大比例地形图服务，有时还可能为地面建筑物变形监测服务。地面控制网在设计、施工时，应尽量考虑一网多用，避免重复建网，必要时可对控制网进行复测。

地面控制网的布设方法和步骤与一般工程控制网一样。

首先是收集资料、了解情况。这项工作进行得好坏，直接影响到网形的选择、定位、观测以及整个网的使用是否方便等。需要收集的资料很多，应首先收集地下工程所在地区的大比例尺地形图、地下工程设计图、地下各工程的相互关系图以及地下工程施工的技术设计等，还应收集该地区现有地面控制点情况以及气象、水文、地质、交通等方面的资料。

第二是现场踏勘。对所收集的资料进行初步的研究之后，为了进一步判定已有资料的正确性和实用性，必须对地下工程所穿越的地区进行详细踏勘。这时一般沿地下工程的中线方向，了解地下工程两侧的地形、水源、居民地以及道路的分布情况。接着，结合现场踏勘和工程要求，初步选点和确定控制网方案。控制网可根据现场地形、工程大小和要求以及现有的仪器设备，在确保工程质量的前提下，选择测距导线网、测边网、边角网、GPS网等。

综上所述,地面控制测量的基本任务是根据地下工程特点和需要,在地面布设一定形状的控制网,并精密测定其地面位置。地面控制测量的目的是为地面的大比例成图、施工放样、变形观测和地下控制测量传递地面坐标,建立整体的控制基础。控制网的作用在于控制全局,限制测量误差的传递和积累,保障测量工作的相对精度。地面控制测量,首先应针对不同的地下工程,研究控制网的布设形式、图形与观测方案的优化设计以及实施过程中的有关问题,这样才能建立一个坚强可靠的控制网。各种工程除了建立平面控制网外,还应建立高程控制网。几何水准测量,简单方便而精度可靠,因而成为高程测量的主要方法。只有在地形起伏大的地区才用测距三角高程测量代替水准测量。

一、地下工程地面平面控制网的种类和特点

地面控制网是保证地下工程,尤其隧道贯通工程正确性的基础。隧道施工至少要从两个相对的洞口(及竖井、斜井、平硐等多通道)同时开挖,以增加工作面,加快施工速度。为了保证隧道最后正确贯通,必须在相应的开挖点建立控制点。由于地下工程的大小、长度、形状和施工方法不同,地面控制网的布设方案也有所不同,下面逐一进行讨论。

1. 导线网

导线测量是地面控制的一种重要方法,随着测距仪、全站仪精度的提高,给导线测量提供了十分方便的条件。导线测量相对于三角测量具有更大的灵活性,作业方便、计算简单,在隧道的地面控制中广泛应用。导线测量的不足之处就是检核条件远不如三角测量。为了解决此问题,在实际中一般都把导线布设成网形或闭合环形,单一导线很少使用。在特别困难地段布设导线,至少也要布成主、副导线的形式,以主导线测距测角,而副导线仅测定转折角,如图2-1所示,其中角 α_0 、 β_0 为主、副导线之间的连接角。在导线平差计算后,可增加主导线的检核条件和进一步提高对横向误差的控制。

对于直伸型或近于直伸型的隧道,如果以导线作为地面控制,为了减少导线量距误差

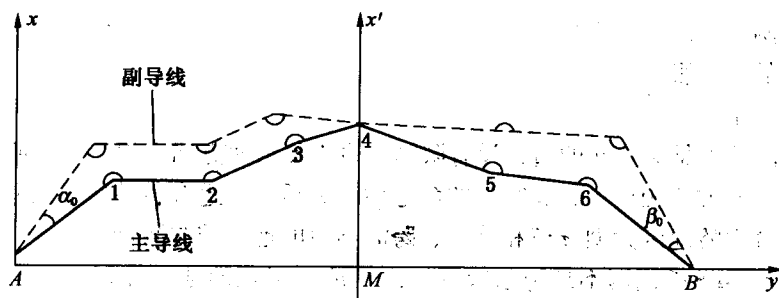


图2-1 主副导线布设示意图

对横向贯通误差的影响,应尽可能将主要导线点沿隧道中心线布设成直伸型,而且导线点不宜过多。

2. 三角锁

三角锁相对导线网而言,检核条件多、精度可靠。随着高精度的测距仪的广泛应用,不需用因瓦基线尺丈量基线,大大减少了野外测量工作量。三角锁的布设最好在垂直于贯通面的方向直伸,图形最好以单三角形组成,宜简不宜繁。如果三角锁能沿垂直于贯通面的方向布成直伸形,这样传距角大小的限制可以放松,此时边长误差对横向贯通精度影响也大大减少。三角点不要布设在由于隧道开挖而可能产生地表变形的地区,以免在施工过程中三角点位置发生变动或丢失。在隧道的每一个入口处都要布设一个三角点,该点最好纳入同级网,与主网一起平差,如果无法纳入主网内,也可以是低一级的插点。洞口三角点应设置便于引测进洞。三角锁形状与大小应与工程大小直接对应,如图 2-2 所示, A、D 为洞口点。

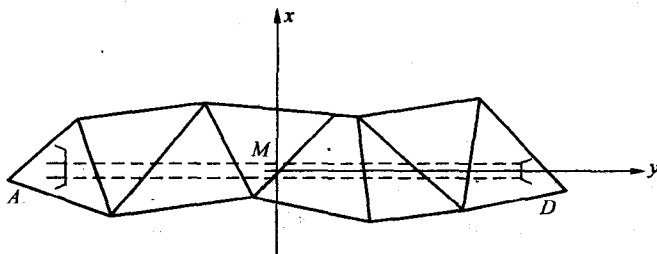


图 2-2 三角锁布设方案

隧道三角锁的观测精度,应根据横向贯通误差的允许值和布设图形确定。精度要求不宜太高,但应留有一定的余地。当经误差预计,地面控制网精度不能满足贯通的精度要求时,可加测边长,组成边角网。

地下工程较小时,地面控制可采用插点或插网的形式。当地下有重要工程时,一般不宜采用插点插网形式。由于条件关系,必须采用插点插网时,应与原网一起观测、一起平差,以防原网的误差影响。

3. GPS 控制网

GPS 测量的特点是对点间的边长没有限制,也不要求两点间通视,而且所测的点位精度均匀。它与常规方法相比,具有很大的优越性和灵活性,适合各种地下工程的地面控制测量,尤其适合山岭地区大型隧道和跨河、跨海隧道的地面控制测量。

这里所讲的 GPS 控制网不是国家级网,而是地下工程的地面控制网。应根据工程的大小、范围、精度和点位密度的要求布设网点,不过分地要求点位均匀,平均边长从几百米到几公里不等,以满足工程需要为原则。

1) 网点应满足一定的精度要求

合理地确定施测精度标准,既能保证当前工程的需要,又留有适当的余地,同时考虑今后其他工程的可能需要,以便节省人力、物力,提高工作效益,加快施测进度。

2) 遵循统一的测量规范、按等级标准设计和作业

GPS 测量定位速度快、相对定位精度高、工作时间短、效益好,是现代化的测量方法,必须遵循统一的测量规范,按等级标准设计和作业。国家质量技术监督局发布的《全球定位系统 (GPS) 测量规范》中, GPS 测量按其精度划分为 6 个等级,见表 2-1。

表 2-1 等 级 划 分

级 别	固定误差/mm	比例误差系数
AA	≤ 3	≤ 0.01
A	≤ 5	≤ 0.1
B	≤ 8	≤ 1
C	≤ 10	≤ 5
D	≤ 10	≤ 10
E	≤ 10	≤ 20

工程控制网一般属 D 级或 E 级,相当于国家三等网和四等网。GPS 网布设时,除了联测测区内高级 GPS 点外,不必按常规测量方式逐级布网,可根据实际需要,采用相应的等级规定一次完成全网的布点和施测。当测区内无高级 GPS 点时,可与测区内或附近的国家大地控制点连测。

3) 网形设计

GPS 网形设计是施测方案的基础,它侧重考虑如何检核 GPS 数据质量和保证点位精度。为了检核 GPS 数据质量, GPS 网应当构成闭合环状。闭合环有同步环和异步环之分。两台接收机同时观测相同的卫星,所得同步观测资料可以解算出两站之间的一条基线向量。将不同时段观测的各基线构成的闭合环叫做异步环。3 台接收机同时观测相同的卫星,所得的同步观测资料解算出 3 个基线向量构成三角形同步环路,其中只有两条是独立的,一般用 k 台接收机同步观测时,可解算出 $k(k-1)/2$ 条基线向量,其中只有 $k-1$ 条是独立的。同样,由若干条独立基线构成的闭合环也叫异步环。同步环中由各基线向量构成的坐标闭合差之和应等于零,否则基线解算结果有粗差。测量中通常用增加多条观测或附加条件的方法,采用最小二乘法进行平差,以提高点位的精度并增加其可靠性。由独立基线构成的异步环或增加观测的时段数都可产生多余观测。多余观测数的计算是由独立基线数减去待定点数。

设计中总的观测点为 m , 用 k 台接收机,在各点作 n 次观测,则同步观测的次数 $s = mn/k$, 独立基线向量数 $b = (k-1)s = (k-1)mn/k$ 。