

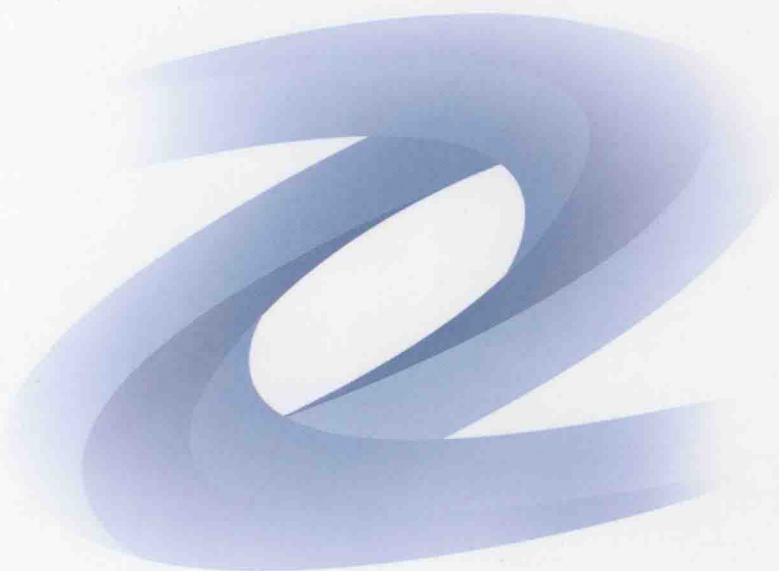


国家示范性高等职业院校课程改革教材

GJSFX GDZYXX KEGGJC

桥隧控制测量

唐杰军 主 编
杨一希 副主编
彭富强 主 审



人民交通出版社
China Communications Press

国家示范性高等职业院校课程改革教材

Qiaosui Kongzhi Celiang

桥隧控制测量

唐杰军	主 编
杨一希	副主编
彭富强	主 审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为“国家示范性高等职业院校课程改革教材”。全书共九章,前八章主要介绍了桥梁控制网、桥梁控制测量、桥梁施工放样、桥梁变形观测、隧道控制测量、隧道施工放样、互通式立交匝道施工放样等内容,最后一章介绍了某高速公路隧道施工测量案例。

本书可作为交通高职院校道路桥梁工程技术专业用教材,还可作为相关专业的参考教材或供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥隧控制测量 / 唐杰军主编. —北京:人民交通出版社,2010.7

国家示范性高等职业院校课程改革教材

ISBN 978-7-114-08475-1

I. ①桥… II. ①唐… III. ①桥梁测量:控制测量—高等学校:技术学校—教材②隧道测量:控制测量—高等学校:技术学校—教材 IV. ①U442.4②U452.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 103240 号

国家示范性高等职业院校课程改革教材

书 名:桥隧控制测量

著 作 者:唐杰军

责任编辑:黎小东

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010) 59757969, 59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:9.25

字 数:224 千

版 次:2010 年 7 月 第 1 版

印 次:2010 年 7 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08475-1

定 价:23.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

国家示范性高等职业院校课程改革教材 编审委员会

主 任：王章华

副主任：孔七一

委 员：王 林 陈曙红 彭富强 阳小良

王定祥 李柏林 邹 敏 罗 勇

颜楚华 胡光辉 任振林

序 言

我院在长期的办学实践中,不断深化职业教育教学改革,先后与80多家大中型企业开展合作办学,探索出了“订单”培养、“秋去春回、工学交替”等人才培养模式,毕业生深受用人单位的欢迎,实现了学校、企业、学生等“多赢”。在校企合作中,我们深刻体会到,要真正实现“技能训练与岗位要求对接、培养目标与用人标准对接”,就必须有一套适合“订单”教学的工学结合的教材,于是就有了与企业技术骨干一起编写教材之愿望,随后几年,各种讲义便呼之欲出。

教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》中指出:“高等职业院校要积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和职业岗位(群)的任职要求,参照相关的职业资格标准,改革课程体系和教学内容。”“与行业企业共同开发紧密结合生产实际的实训教材,并确保优质教材进课堂。”2007年,我院被正式列为第二批国家示范性高等职业院校建设单位,开发“工学结合特色教材”作为国家示范重要建设项目,被郑重的写入了建设任务书。

三年来,各教材主要撰写人带领教学团队成员,深入“订单”企业调研,广泛听取企业、学生、职教专家等多方人士意见,并结合国外先进的职教经验,遵循基于工作过程导向的课程开发理念,夙兴夜寐,多易其稿,进一步丰富了原讲义的内容,并付诸教学实践。正是有了各专业教学团队的辛勤耕耘,这套工学结合的系列教材才得以顺利付梓。在这里,我要道三声感谢:感谢国家示范建设项目的实施给我们提供了千载难逢的参与机会,感谢各位领导、省内外职教专家的悉心指导,感谢各位老师、主要撰稿人为之付出的劳动。

诚然,由于我们课程开发的理论功底不深,深入实践的时间有限,教材中错误也在所难免。正如著名职教专家姜大源在国家示范性高等职业院校建设课程开发案例汇编《工作过程导向的高职课程开发探索与实践》序言中所说:“这只是一部习作。习者,蹒跚学步也”。它“虽显稚嫩,却是新起点”。诚愿希望各位同行、专家批评指正。

工学结合是职业教育永恒的主题。即将颁布和实施的《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010~2020)》对大力发展职业教育做出了许多重大举措,特别提出了制定校企合作法规,调动企业参与职业教育的积极性。可以说,职业教育将迎来又一个新的春天。欣逢盛世,责任重大。我们将一如既往地加强与企业的合作,积极探索多种形式的职业教育模式,开发适应企业和市场需求的专业教材,努力培养更多的高技能人才,为实现我国从人力资源大国到人力资源强国的转变作出应有的贡献。

路漫漫其修远兮,吾将上下而求索。

是为序。

王章华

2010年3月于岳麓山下

(王章华为湖南交通职业技术学院院长、教授,中南大学硕士生导师)

前 言

随着我国经济建设的快速发展,我国桥梁工程、隧道工程测绘事业有了质的飞跃,先进的测量仪器设备、测量方法和工程软件在桥隧工程中得到广泛应用。因此,如何把桥隧工程测量中最新方法、最新仪器设备融入到工程测量教材改革和建设之中,正是本书的宗旨所在。

本书就桥隧控制测量的内容、依据,桥梁控制网,桥梁控制测量,桥梁施工放样,桥梁变形观测,隧道控制测量,隧道施工放样,互通式立交匝道施工放样等方面,在理论和计算方法上给予了简单介绍,尽可能简化理论推导过程,把重点放在基本测量过程和测量实用操作技术上。

为便于理论联系实际,各章节均收入了简单的工程案例,旨在突出现代工程测量技术的运用。在全书最后还收集了某一高速公路隧道施工测量案例来说明测量的方法。

全书第一、二、三、四、五、六、七、八章由湖南交通职业技术学院唐杰军编写,第九章由湖南交通职业技术学院杨一希编写。全书由唐杰军统稿,湖南交通职业技术学院彭富强担任主审。

由于编者水平有限,书中的缺点和错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2010年5月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 桥隧控制测量的任务	1
第二节 桥隧控制测量的内容	1
第三节 桥隧控制测量的依据	2
第二章 桥梁控制网	3
第一节 控制测量的基本原理	3
第二节 桥梁平面控制网的建立	4
第三节 桥梁平面控制网的测量	8
第四节 高程控制网	12
第三章 桥梁控制测量	15
第一节 桥梁高程控制网的建立	15
第二节 过河水准测量	17
第三节 桥梁中线测量	18
第四节 桥梁三角网的布设及测设精度	21
第五节 桥梁墩台定位与墩台轴线测量	23
第六节 桥梁墩台定位的坐标计算	29
第四章 桥梁施工放样	35
第一节 桥梁墩台基础高程放样	35
第二节 涵洞基础定位与轴线测量	37
第三节 桥梁细部施工放样	38
第四节 桥梁墩台竣工测量	42
第五节 桥梁上部结构的放样和施工观测	42
第五章 桥梁变形观测	48
第一节 概述	48
第二节 基准点的选择和控制网的布设	49
第三节 垂直位移观测	54
第四节 水平位移观测	56
第五节 桥梁墩台沉降和位移观测	58
第六节 梁板挠度变形观测	59
第六章 隧道控制测量	63
第一节 概述	63
第二节 地面控制网的布设	64
第三节 隧道地表控制测量的贯通误差及其限差	67
第四节 洞外控制测量	69

第五节	线路进洞关系计算	72
第六节	竖井联系测量	75
第七节	洞内控制测量	79
第八节	洞内中线测设	81
第九节	贯通误差的测定与调整	84
第七章	隧道施工放样	87
第一节	隧道开挖过程中的基本放样工作	87
第二节	隧道定向定位的测量检核	90
第三节	隧道开挖过程中的洞内控制测量	91
第四节	地面与地下联系测量	93
第五节	隧道施工及竣工后的沉降、位移观测	95
第八章	互通式立交匝道施工放样	96
第一节	概述	96
第二节	匝道平面位置的坐标计算	96
第九章	隧道施工测量案例	100
第一节	泉三高速公路三阳隧道工程概况	100
第二节	三阳隧道平面控制测量	103
第三节	隧道高程控制测量	121
第四节	隧道进洞测量	128
第五节	隧道洞身断面详细放样	128
第六节	隧道洞内高程测量	133
参考文献		136

第一章 绪 论

第一节 桥隧控制测量的任务

在桥隧工程建设的各个阶段,都要进行控制测量。其任务如下:

(1)在勘测设计阶段,为测绘桥址和隧道地表大比例尺地形图而建立必要精度的控制网;为工程设计提供必需的、满足精度要求的数据,以保证设计的桥梁和隧道在技术上是先进的、合理的。

(2)在桥隧工程施工阶段,为施工建立必要精度的施工控制网。桥梁施工放样时,必须保证桥轴线长度和桥墩中心定位符合规定的精度;隧道贯通测量时,必须保证贯通误差(特别是横向贯通误差)不超过某一限度。所以,在桥隧施工时,必须建立施工控制网,以确保桥轴线长度、桥墩定位在隧道贯通时有足够的精度。

(3)在桥梁工程竣工后,为了观测工程建筑物的变形,需提供变形观测控制网。桥墩受水流冲击和荷载作用时,都会引起基础及其本身发生变形;钢梁因自重、构件安装误差及荷载和冲量的作用,也会产生挠曲变形。这种变形在允许的范围内应认为是正常的,如果超过一定的数值,可能会影响其使用,甚至会发生危及安全的问题。因此,在桥隧竣工前后及营运期间,应当经常进行变形观测。鉴于这种变形很小,一般难以用肉眼观察出来,因此,必须建立控制网,进行精密观测,测量出这种微小变形。通过变形观测,当发现变形出现不正常现象时,应及时分析原因,采取措施,以保证安全。此外,利用变形观测资料,还可以验证地基与基础的计算方法、桥梁结构的设计方法是否合理。因此,桥梁变形观测对桥梁设计、施工、管理和科学研究都有重要的作用。

以上三项任务,由于时间有先后,规模有大小,形式和精度要求也不相同,一般采用分别布网的方法。

第二节 桥隧控制测量的内容

控制网是各项测量工作的基础,因此,建立桥隧控制网的原理和方法是桥隧控制测量的主要内容。其具体内容如下:

(1)研究控制网中求未知量最优估值的理论和方法。在实际控制测量中,边长、水平角、高差等观测值总是存在一定的误差,这些误差受多种因素影响,因而被视为随机变量。如何用带有误差的观测值求出未知量,并保证未知量具有足够可靠度,这是一个首先要解决的问题。要确保桥梁和隧道测量结果满足精度要求,关键的问题是控制网测定值必须达到足够的精度。评定其测量成果达到什么样的标准才视为满足精度要求,通常使用测量平差理论和方法来解决这一问题。

(2)研究控制网的布设方法。控制网的精度不但与观测精度有关,而且与网的形状有关,这就产生了如何设计一个适当的网形以满足精度要求的问题。

(3)阐述桥隧控制测量的外业工作方法和步骤。桥隧控制测量由于精度要求较高,如何合理组织安排外业测量工作,避免或削弱仪器和外界条件产生的误差的影响,这是保证控制网精度的一个很关键的问题。

(4)控制网的平差计算。按照测量平差的理论和方法,对外业工作获得的观测数据进行平差计算,求出未知量的最优估值并评定其精度,为桥梁放样和隧道贯通测量提供精密的测量数据。

(5)阐述桥梁墩台发生水平和垂直变形、钢梁挠曲变形等的观测方法和数据处理方法。

第三节 桥隧控制测量的依据

桥梁与隧道工程施工放样的依据是:《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)、《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)、《公路隧道施工技术规范》(JTG F60—2009),各种不同构造物的施工技术规范、规程,测量规范等以及工程设计图纸。

测量放样工作应遵循从整体到局部的原则,先进行控制测量,再进行细部放样测量。通过控制测量,建立起平面控制点和高程控制点与工程构造物特征点之间的平面位置和高程的几何联系。以平面控制点的坐标和高程控制点的高程为依据,利用传统测量仪器进行距离、高程和角度的测量放样,或者利用全站仪进行三维坐标放样,来确定工程构造物特征点在实地上的空间位置。在放样过程中,工程设计图纸是图解控制点和工程构造物特征点之间几何关系的依据;现行的施工技术规范、规程,以及测量规范是核查放样结果精度的依据。只有利用精度符合标准的几何数据,才能精确地测定工程构造物特征点的准确位置,以指导工程施工。

第二章 桥梁控制网

在桥梁建设的各个阶段,桥梁控制测量的目的不同。在勘测阶段,主要为测量桥址平面图,并根据水文、地质资料,最后选定符合计划任务书的桥址,经鉴定批准后进行定测;在施工阶段,主要是为保证桥轴线长度放样和桥梁墩台定位的精度要求。本章主要阐述施工阶段的大、中型桥梁的控制网布设及测量工作,因此,后文中把桥梁施工控制网简称为桥梁控制网。

桥梁控制网具有以下特点:

(1)控制范围小,点位密度大,精度要求高。桥梁施工区域一般在几平方千米左右,但是在这样一个小范围内,分布着桥墩、桥台、引桥等构筑物,上部结构的连接也比较复杂,需要有较稠密的控制点,以满足施工期间的放样工作。桥梁施工控制网,要保证桥轴线定位的精度要求,例如南京长江大桥正桥桥轴线长设计限差为 $1/400\ 000$,而桥梁墩台中心定位在桥轴线方向误差应小于 2cm 。这就对控制网的精度提出了很高的要求。

(2)控制点使用频繁。从施工初期到竣工验收的施工全过程中,桥梁施工控制点反复使用可达几十次之多。从轴线的放样、墩台基础的开挖及浇筑,到上部结构的安装,通常都直接依据控制点进行。因此,布设控制网时,应考虑点位的稳定性,使用的方便性,以及施工期间保存的可能性等问题,并做好护桩工作及经常性检查工作。

(3)控制测量受施工干扰大。施工现场工种多,且常有交叉作业,车来人往,妨碍了控制点间的互相通视。因此,测量工作要按计划进行,抓住有利时机迅速作业,同时应注意人员和仪器设备的安全。控制点应分布恰当,适当加密,供放样时选择使用。

(4)桥梁控制网的平面控制通常分两级布设。第一级控制网主要控制桥的轴线;施工中,为了满足每个桥墩放样的需要,应在第一级下需要加设一定数量的插点或插网,以构成第二级控制。由于桥墩放样的精度要求较高,故第二级控制网的精度应不低于第一级网。

(5)在桥梁平面控制网设计时,应进行精度估算,以确保在施测后能满足桥轴线长度和桥梁墩台中心定位的精度要求。在桥梁控制网施测时,应及时检查外业观测资料,以杜绝错误的产生。在整个控制网的测量工作完成后,应对全部外业观测成果进行初步整理,为进行平差计算做好准备。当有些闭合差超限时,应查明原因,并及时组织返工。

(6)桥梁高程控制网,主要是提供施工时高程系统统一的控制点,使两端线路高程准确衔接,同时为满足高程放样的需要服务。

第一节 控制测量的基本原理

在地面上选择、标定出若干个点,并以适当的形式把它们相互连接起来,构成一定的网形,这种网称为控制网,这些点称为控制点。进行控制测量的目的就是为了确定这些控制点的坐标和高程。为确定控制点的平面位置(x, y)而布设的控制网称为平面控制网;为确定控制点的高程(H)而布设的控制网称为高程控制网。

如图 2-1 所示是一个平面控制网,若观测网中各三角形的内角,这种网称为三角网(测角网)。若已知点 1 的坐标(x_1, y_1),点 1 到点 2 的坐标方位角 α_{12} 及边长 S_{12} ,便可依正弦定理推出三角形各边的坐标方位角,从而推得各点的平面坐标。

在图 2-1 中,也可以不测各水平角,而只观测各边的长度,三角形各内角可通过余弦定理由三边长求得,然后按以上同样的推算方法可求出各点的坐标。这种只观测边长而不观测水平角的控制网,称为三边网(测边网)。还可以既观测网中部分或全部内角,又观测网中部分或全部边长,这种控制网称为边角网。有时,在有必要分清是哪一种控制网时,可以统称为三角网。

对于高程控制点,可以建立高程控制网。如图 2-2 所示为一高程控制网,若观测了各段水准路线的高差,且已知点 1 的高程,则可推出各未知点的高程。由于高程控制网通常由水准测量的方法建立起来,所以高程控制网通常称为水准网。

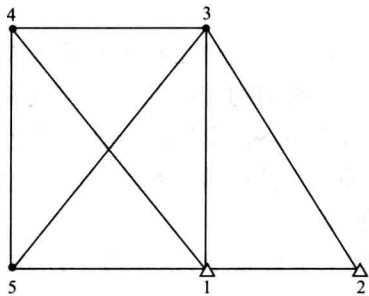


图 2-1 平面控制网

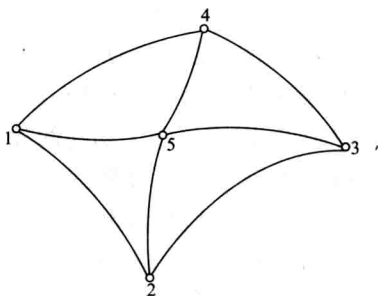


图 2-2 高程控制网

综上所述,把控制点连接成一定的网形,观测网中的水平角、边长、高差等,由已知数据就可以推算出各控制点的坐标和高程,这就是控制测量的基本原理和方法。

第二节 桥梁平面控制网的建立

一、桥梁平面控制网的布设形式

桥梁平面控制以桥轴线控制为主,并保证全桥与线路连接的整体性,同时为墩台定位提供测量控制点。为确保桥轴线长度和墩台定位的精度,对于大桥、特大桥,不能使用勘测阶段建立的测量控制网来进行施工放样工作,必须布设专用的施工平面控制网。

1. 桥梁平面控制网布设的要求

布设控制网时,可利用桥址地形图,拟定布网方案,并在仔细研究桥梁设计图及施工组织计划的基础上,结合当地情况进行踏勘选点。点位布设应力求满足以下要求:

- (1)图形应尽量简单,估算出来的未知数的协因数阵主对角元素应尽量小,并能用这些点以足够的精度用前方交会法对桥墩进行放样。
- (2)控制网布设成三角网或边角网,其边长与河宽有关,一般在 0.5 ~ 1.5 倍河宽范围内变动。
- (3)为使桥轴线与控制网紧密联系,在布网时应将河流两岸轴线上的两个点作为控制点,两点联线作为控制网的一条边,当桥梁位于直线上时,该边即为桥轴线。控制点与墩台设计位置相距不应太远,以方便墩台的施工放样。当桥轴线上的控制点不能设在制高点处,或无法通

视对岸桥轴线上的点时,可设立高标,以保证该两点的通视。

当桥梁位于曲线上时,应把交点桩、ZH、HZ 等点尽量纳入网中。当这些点中有些点落入江中或不便设站时,应在曲线两侧切线上各选两点作为控制点。当这些点不能作为主网的控制点时,应把它们作为附网的控制点,其目的是使控制网与线路紧密联系在一起,从而以较高的精度获取曲线要素,为精确放样墩台做准备。

(4)为便于观测和保存,所有控制点不应位于淹没地区和土壤松软地区,并尽量避开施工区、材料堆放区及交通干扰的地方。

2. 桥梁平面控制网布设方法

在布网方法上,桥梁平面控制网可以按常规地面测量方法布设,也可以利用 GPS 技术布网。

桥梁平面控制网按常规方法布设时,基本网形是三角形和四边形,并以跨江正桥部分为主。应用较多的有双三角形、大地四边形、双大地四边形以及三角形与四边形结合的多边形,如图 2-3 所示。按观测要素的不同,桥梁控制网可布设成三角网、边角网、精密导线网等,现分述如下。

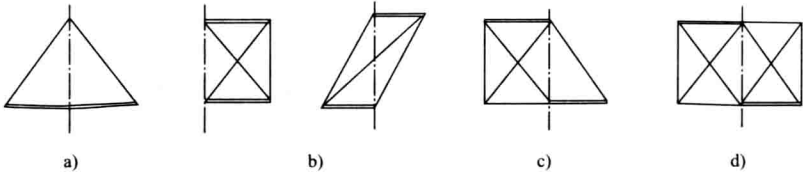


图 2-3 几种不同形状的控制网

(1)三角网。桥梁控制网中若观测要素仅为水平角,就成为测角网。由于测角网中至少应有一条起算边,为了检核精度要求,通常应高精度地量测两条边,每岸各有一条,称为基线。以前由于没有测距仪,基线丈量多使用钢瓦线尺丈量;现在可采用高精度的测距仪,如 ME3000、ME5000,其标称精度分别为 $0.2\text{mm} \pm 1 \times 10^{-6}\text{mm}$, $0.2\text{mm} \pm 0.2 \times 10^{-6}\text{mm}$ 。但是,如果使用这样的仪器,则以直接测定桥轴线上一条边的长度为好,它同时也可作为起始数据使用。这时,控制网的作用就在于设置足够的控制点,来放样墩台及两岸的桥头引线。目前一般多使用中等精度的全站仪,如标称精度为 $2\text{mm} \pm 2 \times 10^{-6}\text{mm}$ 的 TC1610 等,这类精度的仪器所测边长不能作为已知数据使用,而作为观测值,这样,该网就不是测角网而成为边角网了。所以,在全站仪普遍使用的今天,测角网用于桥梁控制是不多的。

(2)测边网和边角网。由于全站仪既能量边,又能同时测角,所以在使用中等精度的全站仪观测时,布设测边网的情况是很少的;同时,测边网由于多余观测数很少,可靠性也低,所以,使用全站仪布设边角网是适宜的。此时,观测网中全部内角的测角精度应为 1"或 2"级。对于边长观测的精度,应达到标称精度 $3\text{mm} \pm 2 \times 10^{-6}\text{mm}$ 以上;测量全网所有边长或部分边长时,一般应观测三条边或三条以上,其中一条是桥轴线,另外两岸各布设一条。与测角网情况不同的是,所测边长不是作为无误差的固定值,而是作为边长观测值参加平差计算,多座大桥的实践证明效果较好;若对全部边长均进行观测,按控制网精度估算,若精度提高较大,可以采用。至于多测了一些边,使平差计算较为复杂一些,这一点可以不必考虑,因为平差计算可由计算机进行。

(3)精密导线网。由于高精度测距仪的应用,桥梁控制网除了采用三角网和边角网的形式外,还可选择布设精密导线的方案。

如图 2-4 所示,在河流两岸的桥轴线上各设立一个控制点,并在桥轴线上、下游沿岸布设最有利交会桥墩的精密导线点,同时增加上、下游过江测距,使导线闭合于桥轴线上的控制点。这种布网形式图形简单,可避免远点交会桥墩时交会精度差的情况;也不需要增加节点和插入

点,因此简化了桥梁控制网的测量工作。由此看来,虽然高精度测距仪应用于桥梁工程,并能直接观测跨江桥轴线长度,但在这种情况下,对桥梁控制网如何布网,还应进行研究。

(4)节点及插入点。一些跨江的大型桥梁,由于桥长较长,平面控制网的边长要满足一定的要求。主网的点往往不能满足交会墩位的需要,这样在布设主网时,应考虑增设插入点。

如图 2-5 所示,插入点一般由三个或四个方向交会测定。为保证插入点的精度,在主网中点和插入点都要设站观测,同时插入点的测量要以与主网相同的精度进行。当插入点位于两岸主网的一条边上时,称为节点;节点只需量测它到主网桥轴线上的控制点间的距离,即可被确定。加密控制点的设立,可以使施工时交会墩台中心观测边长缩短,交会图形更为合理,减少交会定点误差,为经常性交会放样提供方便的控制点。

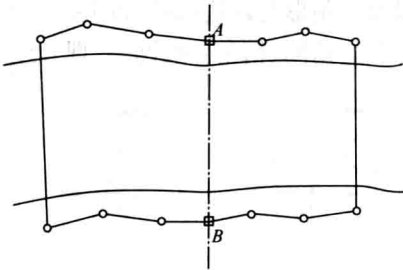


图 2-4 精密导线网

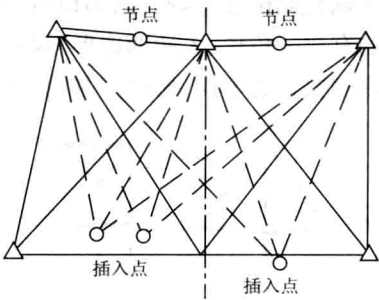


图 2-5 节点与插入点

(5)引桥控制网。大桥、特大桥正桥两端一般都通过引桥与线路衔接,因此,可在正桥控制网下需布设引桥控制网(附网)。引桥的控制主要是桥轴线方向和长度的控制及分段长度控制。由于引桥一般为简支梁结构,桥跨较小,多在陆上,墩位可以直接测定,故控制网的精度可略低于主网。

引桥控制网的布设形式可采用三角锁、精密导线或两者的混合形式,并在主网布设的同时布设。布设时,路线交点必须是附网中的一个控制点,其余曲线主点最好也纳入网中。

如图 2-6 所示为某大桥北岸引桥控制网图形,它由三个三角形组成的附网和联结在附网上的一条精密导线组成,其中公路桥头引桥的交点 N_3 、铁路桥头引线的交点 N_1 都布设在桥轴线的延长线上, n_1 布设在铁路桥头引线一侧的切线上, N_1n_1 控制这一条切线。附网中, N_3N_0 为公路曲线的切线,它控制北岸公路引桥与正桥联结的直线部分; n_1-n_4 为精密导线,对铁路引桥作进一步控制。主网平差后获得 N_7 、 N_2 、 N_5 等点的坐标,可作为附网及精密导线平差的起算数据。

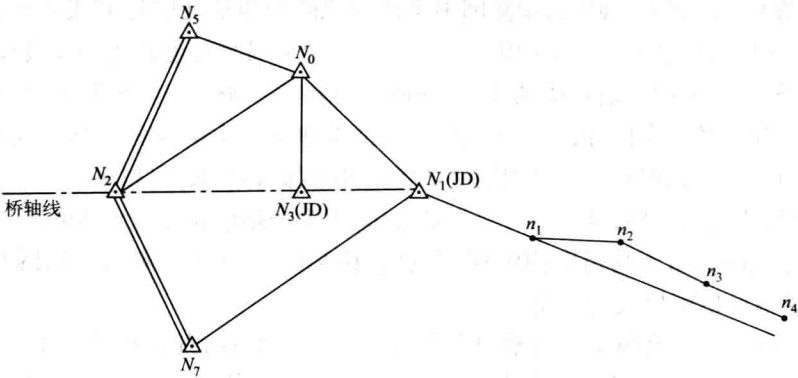


图 2-6 引桥控制网

二、桥梁控制网的坐标系和投影面的选择

为了施工放样时计算方便,桥梁控制网的坐标系通常采用独立的坐标系统,其坐标轴采用平行或垂直于桥轴线方向,坐标原点选在工地以外的西南角上,这样场地范围内点的坐标都是正值。桥轴线上两点间的长度可以方便地由坐标差求得。

对于曲线桥梁,坐标轴可选为平行或垂直于一岸轴线点(控制点)的切线。

若施工控制网与测图控制网发生联系时,应进行坐标换算,使坐标统一。换算方法在测量学中已经讲过,这里不再重述。

在投影面的选择方面,由于放样需要的是控制点之间的实际距离,故桥梁控制网应在桥墩顶的平面上进行平差。在平差之前,起算边长和观测边长及水平角观测值都要换算到桥墩顶的平面上,即选择桥墩顶平面作为投影面。

三、施工控制网精度的确定

建立控制网的目的在于保证施工放样时桥轴线的架设误差和桥梁墩台定位的精度要求,由此就产生如下问题:究竟应该以多高的精度来建立控制网呢?控制网建立后又怎样来估算其精度呢?对于保证桥轴线长度的精度来说,由于桥轴线是控制网的一条边,因此,只要控制网经施测、平差后求得该边长度的相对误差小于设计要求就可以了;而对于桥梁墩台中心定位应满足的精度要求来说,控制网本身的精度固然是影响定位的重要原因之一,但是利用建立的控制网点进行施工放样的误差也是影响其精度的重要原因。因此,如何来分配这两方面的精度是控制网设计和施工放样必须考虑的。另一方面,在确定了控制网和放样应达到的精度后,应根据控制网的网形、观测要素和观测方法及仪器设备条件,在控制网施测前估算出能否达到这一精度要求;如果等到控制网施测和平差后再来考虑,就可能造成全面返工的严重后果。下面就这些问题进行阐述。

在施工阶段,测量工作的任务是直接为施工服务,测量工作的精度主要体现在相邻点位的相对位置上。不同建筑物或同一建筑物的不同部分,相邻点位的精度要求是不一致的,因此,施工控制网精度的确定,应从保证各种建筑物放样的要求合理来考虑。精度定得过低,可能造成质量事故;定得过高,则会给工作带来不少困难,使得工作量增大,工作时间延长,造成经济损失。建筑物放样的精度要求是根据建筑物竣工时对于设计尺寸的容许偏差来确定;建筑物竣工时的实际误差是由构件制造误差、施工安装误差等施工误差和测量放样误差所引起的。因此,为了正确制定建筑物放样的精度要求,测量人员应同时具备测量知识和一定的工程知识。

确定了建筑物放样的精度要求后,便可以使用它来作为起算数据,推算施工控制网的必要精度,这时,要根据控制网布设情况和放样工作条件来考虑控制网误差和放样误差的比例关系。

对于桥梁施工测量,要求精确测定桥轴线长度和进行墩台定位,因此,桥梁控制网的布设应达到或超过桥轴线长度中误差的精度要求,并为施工时墩台定位提供测量的基本控制点,使之能达到一定的精度。由于墩台放样的点位一般离控制点较远,放样不甚方便,因而放样误差较大;同时考虑到放样工作要及时配合施工,经常在有施工干扰的情况下高速度地进行,不大可能增加测量次数来提高控制网的精度。而在建立施工控制网时,则有足够的时间并可利用各种有利的条件来提高控制网的精度。因此,在设计控制网时,应使控制点误差所引起的放样点位的误差,相对施工放样的误差来说,小到可以忽略不计的程度。

根据“使控制点误差对放样点位不发生显著影响”的原则,即要求控制点误差影响仅占总误差的十分之一,对控制网的精度要求分析如下:

设 M 为放样后所得点位的总误差; m_1 为控制点误差所引起的点位误差; m_2 为放样过程中所产生的点位误差,则:

$$M = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2} = \pm m_2 \sqrt{1 + \left(\frac{m_1}{m_2}\right)^2}$$

显然 $m_1 < m_2$ 。将上式展开为级数,并略去高次项,则有:

$$M = \pm m_2 \left(1 + \frac{m_1^2}{2m_2^2}\right) \quad (2-1)$$

若使控制点误差影响仅使总误差增加 $1/10$,上式括号中第二项应为 0.1 ,即得:

$$m_1 = \pm 0.2m_2^2$$

由上式解出 m_2 代入式(2-1)得:

$$m_1 = \pm 0.4M \quad (2-2)$$

由此可见,当控制点误差所引起的放样误差为总误差的 0.4 倍时,则 m_1 使放样点位总误差仅增加 $1/10$,即控制点误差对放样点位不发生显著影响;同时易知 $m_2 = 0.9M$ 。

若考虑以桥墩中心在桥轴线方向的位置总误差不大于 20mm 作为确定三角网必要精度的起算数据,由式(2-2)可知,要求 $m_1 < 0.4M = 0.4 \times 20 = \pm 8(\text{mm})$,此即为放样墩台中心时控制网误差的影响应满足的要求。同时可计算出放样误差 m_2 应达到的精度要求是 $m_2 < 0.9M = 0.9 \times 20 = 18(\text{mm})$ 。

第三节 桥梁平面控制网的测量

桥梁控制网经图上设计,并进行估算能达到施工放样的精度后,就可以进行控制网的外业测量工作。外业测量工作包括实地选点、造标埋石及水平角测量和边长测量等工作。考虑到目前全站仪的使用已较普及,它可以同时进行水平角测量和边长测量,因此本节将仅就使用全站仪进行水平角和边长测量进行阐述。

一、平面控制网的选点、造标和埋石

在地形图上设计好控制网后,即可按照设计图到实地去选定点位。由于桥址地形图比较详细,且施工控制网多是由桥址测图控制网改造而成,一般主网控制点可利用原测图控制点,需要增设的只是一些插入点和节点,因此,选点是很容易的。

桥梁控制网一般位于江河两岸,视野开阔,所以通常不需造标。如果通视条件不好,或者考虑到施工过程中便于交会墩台位置,根据情况可建造木质或钢质的觐标。在地面上架设仪器即可进行观测时,应建立寻常标,如图 2-7a)所示。如果需要升高仪器才能进行观测,可采用双锥标,如图 2-7b)所示。双锥标有内锥和外锥,内锥是安置仪器用的,外锥一方面是照准的目标,同时在上面铺设木板,供观测员站立。为使观测时观测员的行动不影响仪器稳定,内、外锥应相互脱离。

标顶的照准圆筒是作为在邻站观测时的照准目标,所以要求它与地面标石的标心在同一条铅垂线上。为了比较容易地做到这一点,通常都是先建觐标,然后用两架经纬仪让圆筒中心投影通过标石中心。但在桥轴线上的控制点则有所不同,因为桥轴线的位置是固定的,所以只