

“十四五”职业教育新形态一体化教材——土木工程类

线桥隧施工测量

(第2版)

主 编 张志刚

副主编 冯海鹏 王昌洪

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

线桥隧施工测量 / 张志刚主编. —2 版. —成都:
西南交通大学出版社, 2021.12
ISBN 978-7-5643-8401-2

I. ①线… II. ①张… III. ①道路测量 - 高等职业教
育 - 教材②桥梁测量 - 高等职业教育 - 教材③隧道测量 -
高等职业教育 - 教材 IV. ①U412.24②U442.4③U452.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 238168 号

Xian-qiao-sui Shigong Celiang

线桥隧施工测量

(第 2 版)

主编 张志刚

责任编辑 王 旻

封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印 张 13.25

字 数 329 千

版 次 2014 年 5 月第 1 版 2021 年 12 月第 2 版

印 次 2021 年 12 月第 7 次

书 号 ISBN 978-7-5643-8401-2

定 价 42.00 元

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

第 2 版前言

本教材在 2008 年出版的《线桥隧测量》的基础上经过修改后，2014 年 12 月修订后更名为《线桥隧施工测量》再版，出版以来深受广大读者、教师、学生的好评。

本次修订是以高等职业技术教育培养高素质技术技能型专门人才的目标为指导思想，技术技能并重。按照 TB10101—2018《铁路工程测量规范》、GB/T50308—2017《城市轨道交通工程测量规范》修订。删去了部分传统测量手段，着重体现了现代测量的应用，并在教材中融入了数字资源的内容，以便使学生更好地学习。

本书由陕西铁路工程职业技术学院张志刚任主编，并负责全书修改定稿。冯海鹏（中国中铁一局集团桥梁工程有限公司）、王昌洪（中铁隧道勘测设计院有限公司）任副主编。同时，本次修订过程中得到了中国中铁十二局一、三公司、四公司测量大队、上海华测导航技术股份有限公司及读者给予的支持和帮助，表示衷心的感谢！修订中，对引用了有关资料的作者表示衷心的感谢，对西南交通大学出版社的大力支持和辛勤劳动表示衷心感谢。由于编者水平所限，书中定有疏漏及不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2021 年 4 月

第 1 版前言

本教材是在 2008 年出版的《线桥隧测量》的基础上经过修改和进一步完善编写而成。本次修订是以高等职业技术教育，培养高素质技能型专门人才的目标为指导思想，对部分文字叙述进行了修改。随着 GPS 全球定位系统在施工中的广泛应用，增加了附录“GPS 定位测量技术基础与应用”。较详细地介绍了 GPS 定位测量的基本原理，施工控制测量基本知识，RTK 放样等内容。

本书由陕西铁路工程职业技术学院张志刚任主编，并负责全书修改定稿。冯海鹏(中国中铁一局集团桥梁工程有限公司)、王昌洪(中铁隧道勘测设计院有限公司)任副主编。第二、五、六、七、十一、十二章由陕西铁路工程职业技术学院张志刚编写；第一章由中国中铁一局第五工程有限公司周建东编写；第八、九、十章由中国中铁一局集团桥梁工程有限公司冯海鹏编写；第三章由天津铁道职业技术学院陈金芳编写；第四章由陕西铁路工程职业技术学院黄跃祥编写；第十三、十四、十五、十六章由中铁隧道勘测设计院有限公司王昌洪编写。附录由陕西铁路工程职业技术学院曾庆伟编写。同时，本书在编写过程中得到了中国中铁一局集团桥梁工程有限公司、中国中铁一局第五工程有限公司、中铁隧道勘测设计院有限公司、天津铁道职业技术学院、陕西铁路工程职业技术学院给予的支持和帮助，表示衷心的感谢！编写中，对引用了有关资料的作者表示衷心的感谢。对西南交通大学出版社的大力支持和辛勤劳动表示衷心感谢。由于编者水平所限，书中定有疏漏及不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2014 年 2 月

目 录

导入 施工控制测量认知	1
知识点 1 国家控制网概念	1
知识点 2 施工控制网	2
知识点 3 施工平面控制网的建立	3
知识点 4 施工高程控制网的建立	6
学习情境小结	6
课后训练	6
学习情境一 施工控制测量实施	7
任务 1 精密导线测量	7
任务 2 卫星定位平面控制网的建立	11
任务 3 三、四等水准测量	17
任务 4 一、二等水准测量	21
任务 5 跨河水准测量	24
任务 6 光电测距三角高程测量	26
学习情境小结	28
课后训练	29
学习情境二 施工测量放样实施	31
任务 1 测设已知水平距离、水平角、高程	31
任务 2 放样点的平面位置	37
学习情境小结	45
课后训练	45
学习情境三 线路勘测测量实施	46
任务 1 初测阶段测量实施	46
任务 2 定测阶段测量实施	48
任务 3 公路路线勘测测量	55
学习情境小结	59
课后训练	59

学习情境四 线路中线测量实施	60
任务 1 施工测量复测	60
任务 2 线路平面曲线认知	64
任务 3 单圆曲线主点测设	66
任务 4 单圆曲线详细测设	68
任务 5 缓和曲线认知	72
任务 6 缓和曲线连同圆曲线的曲线主点测设	74
任务 7 缓和曲线详细测设	77
任务 8 线路中线坐标计算	81
任务 9 非完整缓和曲线坐标计算	86
学习情境小结	89
课后训练	89
学习情境五 路基施工测量实施	90
任务 1 线路曲线调整	90
任务 2 控制桩的保护	91
任务 3 路基施工测量	92
任务 4 路基高程放样	99
学习情境小结	103
课后训练	103
学习情境六 桥梁施工测量实施	104
任务 1 桥梁施工控制测量	104
任务 2 桥梁下部结构施工测量	109
任务 3 桥梁上部结构施工测量	120
学习情境小结	131
课后训练	131
学习情境七 隧道控制测量实施	132
任务 1 隧道地面控制测量	132
任务 2 洞内控制测量	137
学习情境小结	139
课后训练	140
学习情境八 隧道施工测量实施	141
任务 1 线路进洞关系计算和进洞测量	142
任务 2 导坑延伸测量	151

任务 3 隧道实际贯通误差的测定与调整	153
任务 4 隧道断面放样	158
任务 5 洞内水准测量	160
任务 6 隧道竣工测量	161
学习情境小结	161
课后训练	161
学习情境九 地铁地表控制测量实施	162
任务 1 地表平面控制测量	162
任务 2 地表高程控制测量	167
学习情境小结	169
课后训练	170
学习情境十 施工控制测量实施	171
任务 1 加密控制测量	171
任务 2 竖井联系测量	174
任务 3 洞内控制测量	182
任务 4 明挖与高架地段控制测量	184
学习情境小结	187
课后训练	187
学习情境十一 地铁施工测量实施	188
任务 1 明挖施工测量	188
任务 2 盾构隧道施工测量	190
任务 3 结构断面测量	196
学习情境小结	202
课后训练	202
参考文献	203

导入 施工控制测量认知

【学习目标】

1. 通过案例教学，熟悉工作内容。学会制订不同等级工程控制测量的方案；
2. 学会正确查阅规范、理解规范条例；
3. 了解施工平面控制测量、高程控制测量网的布设形式；
4. 了解各种平面控制网形式适用范围；
5. 了解布设工程控制网的重要性与特点。

【学习指南】

测量误差是客观存在的，随着测量点位逐点传递、范围扩大，误差呈现积累性，使建筑物放样点位偏离设计位置。如何确保各项构筑物放样点能以规定的精度标定位置呢？为限制测量误差的传播和积累，有必要逐级建立工程控制网。工程控制网是指为工程建设项目布设的测量控制网。根据工程项目不同、精度要求不同，建立相应等级工程控制网与制订方案。

工程控制测量认知分为4个知识点，分别为国家控制网概念、工程控制网、工程平面控制网的建立、工程高程控制网的建立。

知识点1 国家控制网概念

一、平面控制网布设

为各种测绘工作在全国范围内建立的基本控制网称为国家控制网。国家平面控制网的布设原则是分级布网、逐级控制，按其精度由高级到低级分一、二、三、四共4个等级。如图0.1.1中的粗实线部分为一等三角网，也称为一等三角锁，是在全国范围内沿经线和纬线方向布设的，是全国平面控制网的骨干，是作为低级三角网的坚强基础，也可为研究地球形状和大小提供资料。如图0.1.1中的细实线部分是二等三角网是布设在一等三角锁环内，形成国家平面控制网的全面基础。三、四等三角网是以二等三角网为基础的进一步加密网，用插点或插网形式布设。如图0.1.2所示为三、四等三角网， A 、 B 、 C 、 D 、 E 为二等三角点，其余为加密三、四等三角点。

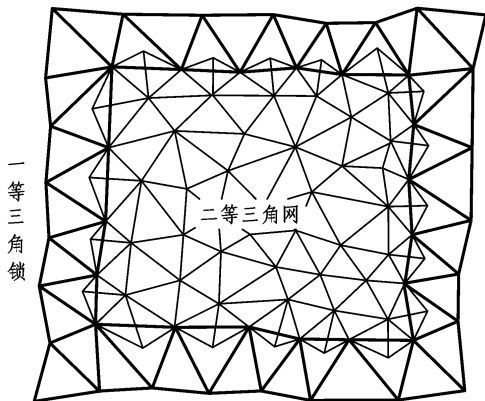


图 0.1.1 国家一、二等三角网

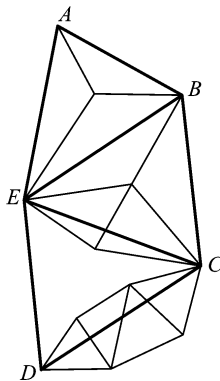


图 0.1.2 三、四等三角网

二、高程控制网布设

由国家专业测绘部门,用精密水准测量的方法,在全国范围内建立的高程控制网,称为国家水准网。国家水准网是全国范围内施测各种比例尺地形图和各类工程建设的高程控制基础。

国家水准网的布设原则是:从整体到局部,由高级到低级,分级布设,逐级控制。国家水准网分为一、二、三、四共4个等级。一等水准网是在全国范围内布设成环形水准网,是精度最高的高程控制网,是国家高程控制网的骨干,同时也是研究地壳和地面垂直运动以及有关科学的依据。二等水准网是布设在一等水准环线内,构成国家高程控制网的全面基础。一、二等水准测量统称为精密水准测量。三、四等水准网一般是根据需要在—、二等水准网内加密,是直接提供地形测图和各种工程建设所必需的高程控制点。

知识点2 施工控制网

施工测量的目的是将建筑物按照设计要求,准确地把建筑物的位置测设于地面上并对建筑物本身各个部分进行测设,且必须达到规定精度。为达到上述要求,工程测量同样遵循测量的基本原则:“先整体后局部,先控制后碎部。”例如:对于长大隧道施工可能存在横向贯通误差超过规定的限制,从而导致衬砌、中线不能正确衔接;对桥梁施工可能存在桥轴线长度精度不足,从而影响桥梁墩台中心之间的跨距精度。因此,施工控制测量的任务是逐级建立控制网,保证各项建筑物修建时,平面位置和高程放样的精度达到规定要求。同时,为了在工程施工过程中或竣工后监测建筑物的变形,需要建立专门的变形监测控制网。

工程建设项目的实施分为3个阶段:勘测设计阶段、工程施工阶段、运营管理阶段。不同的阶段有着不同的测量任务,因此,布设各级控制网的目的、技术等级、布设要求与形式、测量方法不完全相同。

工程施工控制网有以下几个特点:

(1) 单体工程施工控制网控制范围较小、精度要求高,这是因为施工放样时对于建筑物主轴线及点位的限差要求较小。例如:4 km 以下的山岭隧道从两端相向开挖,在贯通面的中线横向贯通误差不大于 10 cm。控制点密度应满足施工放样的要求,便于设定放样点的位置。

(2) 控制点直接用于放样,使用频繁。例如:桥梁墩台施工中从基础到台帽要经过多次放样工作,因此,控制点应具有稳定性,埋设要稳固。

(3) 单体工程施工控制网坐标系常使用独立施工坐标系。所谓施工坐标系,是指以建筑物主轴线为坐标轴建立的独立坐标系统,布设时应尽可能将主轴线作为控制网的一条边。如桥轴线、曲线隧道位于曲线的切线,工业厂房的主轴线和车间主要设备的轴线等均可作为坐标轴。

(4) “三网合一”消除 3 个独立控制网间存在的系统误差,使设计线路定位、施工放样更准确,减少设计与施工的协调。

知识点 3 施工平面控制网的建立

平面控制测量的任务,是针对工程对象布设一系列平面控制点,用精密仪器和精密测量方法测量控制点间的角度、距离,根据起算点的平面坐标、起算边方位角,从而计算出各控制点的平面坐标。由控制点组成的几何图形称为平面控制网。

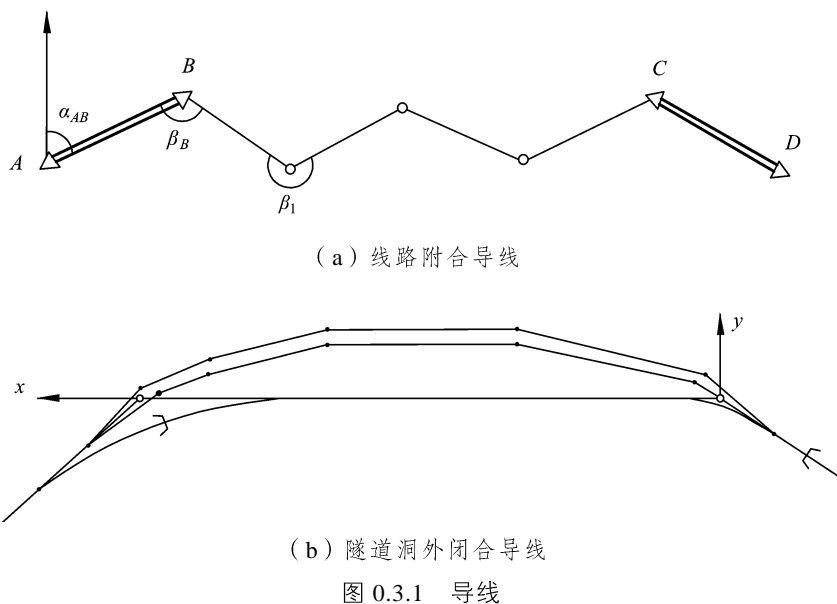
近些年来,随着我国铁路建设的需要,原有分阶段布设不同等级工程控制网已不能满足放样点位的精度要求。即现行铁路 TB10101—2018 规范规定采用“三网合一”方案,就是勘测控制网、施工控制网、运营控制网 3 个阶段的控制网采用同一基准,坐标系统、高程系统统一、起算基准统一。建立基础平面控制网(CP I),为勘测、施工、运营维护提供坐标基准;线路平面控制网(CP II)为勘测、施工提供控制基准;轨道控制网(CP III)为轨道铺设和运营维护提供控制基准。

高速公路控制网采用两级建立平面控制网,首级控制利用 GPS 沿公路线布平面三角网。在此基础上建立定测、施工控制,以导线形式加密,建立控制网。

平面控制网的建立,可采用导线测量、三角形网、全球定位测量。随着全站型电子测距仪的智能化、卫星定位技术的发展,导线控制测量与卫星定位控制测量已成为建立工程平面控制网的主要方法。施工平面控制测量任务,一是平面控制网复测,二是加密控制网、控制点,为施工放样提供控制点。

一、导线测量

导线测量将各控制点组成连续的折线或多边形,如图 0.3.1 所示。这种图形构成的控制网称导线网,也称导线。相邻边的转折点称为导线点。测量相邻导线边之间的水平角、各导线边长,根据起算点的平面坐标和起算边的方位角,计算各导线点坐标,这项工作称为导线测量。



二、三角形网测量

三角形网测量是将各控制点组成互相连接的一系列三角形 (见图 0.3.2), 而由这种图形构成的控制网称为三角形网, 三角形的顶点称为三角点。测量三角形的一条边和全部三角形内角, 根据起算点的坐标与起算边的方位角, 按正弦定律计算其余各边边长与方位角, 继而计算出各点的坐标, 这项工作称为三角形测量。

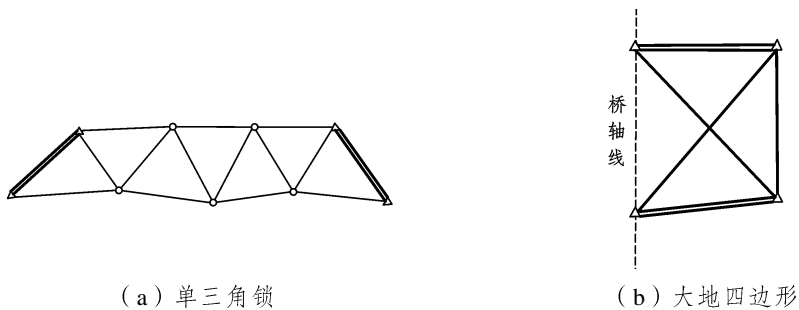


图 0.3.2 三角形网

三边测量是建立工程控制网的方法之一。它是指使用全站型光电测距仪, 采取只测量边长, 按三角学原理推算各三角形内角, 从而计算出各边方位角和各三角点的方法。其优点是较好地控制了边长误差, 工作效率高。对于测边单三角, 无校核条件。

三、卫星定位测量

全球卫星定位系统 (Global Positioning System, GPS) 是指具有在海上、陆地、空中进

行全方位实时三维导航与定位能力的新一代卫星导航与定位系统。GPS 测量以全天候作业、定位精度高、测站间无须通视、观测时间短等显著特点,成功地应用于工程控制测量,如南京长江第三桥、西康公路、铁路秦岭终南山隧道及线路等。

图 0.3.3 所示为线路控制网网形,卫星定位控制测量是在一组控制点上安置卫星地面接收机,用以接收卫星信号,并运用几何与物理的一些基本原理,利用空间分布的卫星以及卫星与地面两点间的距离,通过一系列数据处理,获取控制点的坐标。随着硬件设备的不断发展

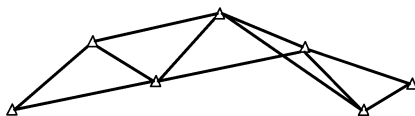


图 0.3.3 线路控制网网形

和数据处理技术的进一步完善,利用该系统,用户能够进行高精度的精密定位,从而作为高等级平面控制测量的技术手段。目前,该技术已广泛应用于各种类型的工程建设当中。利用该技术进行施工平面控制测量工作,可以避免传统测量仪器因选点或观测环境等因素所受到的限制。

卫星定位测量是通过安置在测站点上的地面接收机来接收天上卫星所发射的定位信号以测定该点的坐标,并通过内业数据处理,从而得到测站点在国家统一坐标系或地方独立坐标系下的坐标。卫星定位测量与传统测量技术相比较,前者具有以下几方面的优点:

1. 测站间无须通视

卫星定位测量不要求测站点之间相互通视,只需测站点上空开阔即可。因此,在林区测量工作当中,既解决了传统测量仪器需要点与点之间通视的难题,又节省了大量的造标费用。

2. 定位精度高

实践证明,GPS 相对定位精度在 50 km 以内可以达到 10^{-6} ,100~500 km 可达 10^{-7} ,1 000 km 以上可达 10^{-9} 。在 300~1 500 m 的精密工程定位当中,当观测时段长度大于 1 h 时,GPS 接收机所确定的测站坐标平面位置误差小于 1 mm,与 ME-500 电磁波测距仪测定的边长比较,其边长较差最大为 0.5 mm,较差中误差为 0.3 mm。以上所进行的精度比较说明 GPS 测量技术应用于工程测量工作完全是可行的。

3. 观测时间短

随着 GPS 定位系统的不断完善,软件的不断更新,目前 20 km 以内相对定位,仅需 15~20 min;快速静态相对定位测量时,当每个流动站与基准站相距 15 km 以内时,流动站观测时间只需 1~2 min;动态相对定位测量当中,流动站出发时观测 1~2 min,然后可以随时定位,每站只需几秒钟。

4. 可提供三维坐标

经典大地测量将平面和高程采用不同的方法分别进行施测,GPS 可以同时测得点的三维坐标。目前,卫星定位水准可以达到四等水准测量的精度。

5. 操作简便

测绘仪器的发展,有一个重要特点就是不断使观测者的操作量降低,劳动强度降低。随着卫星定位接收机不断改进,自动化程度越来越高,接收机的体积越来越小,质量越来越轻,极大地减轻了测量工作者的劳动强度,使野外工作变得较为轻松。

6. 全天候作业

目前,卫星定位观测可以在一天的任何时间进行,不受阴天黑夜、刮风下雨等天气的影响。但雷雨天气不要作业,以免遭受雷击,造成安全事故。

知识点 4 施工高程控制网的建立

高程控制测量的目的,是建立与施工高程放样精度相对应的水准点,以便在施工中对建筑物、构筑物的高度进行控制。铁路高程控制分2级布设:第一级为线路水准基点控制网,是铁路工程勘测设计、施工、运营维护的高程基准;第二级为CPⅢ高程网,是轨道施工、维护的高程基准。

《铁路工程测量规范》规定:高程控制测量的等级划分为一、二、精密水准、三、四、五共6个等级。公路工程高程控制测量划分的等级为二、三、四、五共4个等级。高速公路采用四等水准测量建立路线高程控制。高程控制测量的建立可采用水准测量和光电测距三角高程测量。光电测距三角高程测量一般可代替二、三、四、五等水准测量。

施工高程控制测量有两项任务:一是对设计部门移交水准点进行复测;二是为满足施工放样需要,在施工标段内增设水准点,即加密高程控制点。加密水准点的精度必须满足高程放样精度,水准路线应起讫于复测后的水准点,采用闭合水准路线或附合水准路线。

学习情境小结

工程控制测量有别于小地区图根控制,依据工程规模、特点、施工方法不同,控制测量等级不同,所采用仪器精度、测量观测、成果处理方法不同。根据工程项目导线网可布设成附合导线、闭合导线、结点导线等形式。卫星定位控制网应按照观测要求布网。三角网、边角网、三角形网不再严格区分,因为应用是综合运用,不再是单一网,所以统称为三角形网。

本知识点主要按照《铁路工程测量规范》、相关行业测量规范组织测量工作。应审核施工图,熟悉施工场地环境、工程放样精度要求,确定控制网布设形式、等级、观测方法。通过知识点的学习,全面了解施工控制测量建立的基础知识。

课后训练

1. 施工控制测量的任务是什么?
2. 什么是“三网合一”?其目的如何?各级平面控制网建立的作用是什么?
3. 工程施工控制网有哪些特点?
4. 平面控制测量的任务是什么?建立平面控制网有哪些方法?

5. 施工高程控制测量有哪两项任务？