

现代土木工程 测量技术

姜晨光 主编



化学工业出版社

现代土木工程 测量技术

姜晨光 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从实用的角度出发,系统地阐述了现代工程测量的基本理论和方法(包括电子全站仪测量、GPS测量、建筑工程测量、土木工程结构形变监测、桥梁工程测量、水利工程测量、灌区工程测量、铁路与线路工程测量、地下工程测量等),对各类工程建设活动具有一定的指导意义和参考价值。

本书可供工程建设领域各级政府主管部门、工程勘测工作者、工程施工人员、工程设计人员、工程建设管理人员工作和学习参考,还可以作为相关专业研究生或高年级学生的实践指导教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代土木工程测量技术/姜晨光主编. —北京:化学工业出版社, 2009. 5
ISBN 978-7-122-04976-6

I. 现… II. 姜… III. 土木工程-工程测量 IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 027959 号

责任编辑:董琳
责任校对:徐贞珍

装帧设计:杨北

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张13¼ 字数350千字 2009年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:38.00 元

版权所有 违者必究

前 言

改革开放以来,我国的国民经济得到了飞速的发展,综合国力大大增强,各项基础设施建设突飞猛进,我们已经拥有世界海拔最高的高原冻土铁路——青藏铁路、世界最长的跨海大桥——长 36km 的杭州湾跨海大桥、世界最大的空港航站楼——北京机场 T3 航站楼、世界第一高楼——高 492m 101 层的上海国际环球金融中心(WFC),海港、空港、铁路、公路、桥梁、地铁、海底隧道、超级高楼奇迹般地不断涌现在中华大地上,所有这些工程建设成就都离不开一个基础性的工作——工程测量。因此,工程建设领域将工程测量比喻成“工程建设的眼睛和指南针”。

工程测量地位重要、内容浩繁,涉及多学科的知识,如何使工程测量更好地为工程建设服务,是一个值得人们认真思考的问题,只有不断地总结与积累经验、不断地推陈出新和与时俱进,才能使工程测量科学得到健康发展,也才能使工程测量更好地为各项工程建设服务。

本书是编者近 30 年在各类工程建设实践中综合应用测绘科学理论与技术的初步总结,也是编者在江南大学从事教学、科研和社会实践活动的经验积累。本书密切结合工程实际,对工程建设领域的工程技术人员(特别是土木工程业内人士)从事工程实践活动具有一定参考价值和借鉴作用。书中对传统的工程测量理论和方法进行了认真的总结与反思,吸收了当今最新的科技成就和技术,接纳了许多前人及当代人的宝贵经验和认识。希望本书的出版能有助于工程测量科学的发展和进步,能有助于工程建设行业的技术进步,对我国的各类基础设施建设工作有所帮助和贡献。

全书由江南大学姜晨光主笔完成,无锡市物业管理中心丁立志、张晶、张敏明、贾绪领,山东省莱阳市康平建设监理有限责任公司任忠慧、严立明、张华强、张辉,青岛农业大学贺勇、李少红、盖玉龙、李霞、杨吉民,山东省水利厅石伟南,山东海河流域水利管理局巩亮生,机械工业第四设计研究院宋卫国,中国兵器工业北方勘察设计研究院李增有,河北中核岩土工程有限责任公司闫春茹,中国有色金属工业长沙勘察设计研究院彭四清,无锡市高速公路建设指挥部丁满琪等同志(排名不分先后)参与了部分章节的撰写工作。

初稿完成后,李锦铭、王浩闻、苏文馨、徐至善、黄建文五位教授级高工提出了不少改进意见,为本书的最终定稿做出了重大的贡献,谨此致谢!

限于水平、学识和时间关系,书中内容难免有粗陋与欠妥之处,敬请读者多多提出批评与宝贵意见。

编 者

2009 年 1 月于江南大学

目 录

第 1 章 工程测量放样的基本方法	1
1.1 施工测量的基本任务与要求	1
1.2 水平距离放样方法	2
1.3 水平角放样方法	4
1.4 高程放样方法	4
1.5 点位放样方法	6
1.6 坡度放样方法	9
1.7 曲线放样方法	10
第 2 章 电子全站仪测量	15
2.1 电子全站仪的结构	15
2.2 电子全站仪的基本按键与功能模式	19
2.3 电子全站仪的参数设置	22
2.4 电子全站仪测角	28
2.5 电子全站仪测距	29
2.6 悬高测量	31
2.7 地形碎步测量	32
2.8 坐标测量	36
2.9 放样测量	40
2.10 电子全站仪的检验与校正	45
2.11 电子全站仪使用、维护与保养的注意事项	57
第 3 章 GPS 测量	61
3.1 GPS 技术及其发展	61
3.2 GPS 的基础知识	67
3.3 GPS 接收机	73
3.4 GPS 测量方法	75
3.5 应用 GPS-RTK 技术进行建筑施工放样	79
3.6 应用 GPS 技术进行高层或超高层建筑施工放样	83
3.7 代表性 GPS 接收机介绍	85
第 4 章 建筑工程测量	90
4.1 建筑施工测量的基本工作	90
4.2 场地平整施工测量	91
4.3 普通民用建筑施工测量	94
4.4 工业建筑施工测量	99
4.5 圆筒形构筑物的施工测量	106
4.6 竣工总图的测绘	108

第 5 章 铁路与线路工程测量	110
5.1 铁路工程测量的任务	110
5.2 铁路新线初测	110
5.3 铁路新线定测	113
5.4 铁路圆曲线放样	117
5.5 缓和曲线的特性与放样方法	119
5.6 铁路线路施工测量	122
5.7 既有线和既有站场测量	124
5.8 其他类型的线路测量	131
第 6 章 桥梁工程测量	132
6.1 桥梁施工测量的基本任务	132
6.2 桥轴线长度测量精度的估算	133
6.3 桥梁施工控制测量	134
6.4 桥梁墩、台中心放样	135
6.5 墩台的纵、横轴线放样	138
6.6 桥梁施工测量与竣工测量	139
第 7 章 地下工程测量	141
7.1 地下工程测量的基本任务	141
7.2 地上控制测量	142
7.3 洞外定线测量	145
7.4 联系测量	148
7.5 地下控制测量	151
7.6 隧道中线测量	153
7.7 隧道施工测量	154
7.8 隧道贯通测量	156
第 8 章 水利工程测量	160
8.1 土石坝施工测量	160
8.2 混凝土坝施工控制测量	164
第 9 章 土木工程结构形变监测	169
9.1 土木工程结构形变监测的意义和作用	169
9.2 形变监测精度和频率	170
9.3 基准点与形变点的设置	170
9.4 竖向位移监测	171
9.5 水平位移监测	172
9.6 倾斜监测	175
9.7 挠度监测	176
9.8 形变监测的成果处理	177
第 10 章 灌区工程测量	179
10.1 渠系选线测量	179
10.2 中线测量	180
10.3 纵断面测量	182

10.4	横断面测量.....	185
10.5	渠道工程量计算.....	186
10.6	渠道施工放样与验收测量.....	188
第 11 章	数字地形信息技术	190
11.1	数字测绘遥感.....	190
11.2	数字地图与地理信息系统.....	198
参考文献		204

第 1 章 工程测量放样的基本方法

1.1 施工测量的基本任务与要求

施工测量是指把图纸上设计好的建（构）筑物位置（包括平面和高程位置）在实地标定出来的工作，即按设计的要求将建（构）筑物各轴线的交点、道路中线、桥墩等点位标定在相应的地面上。这项工作又称为测设或放样。这些待测设的点位是根据控制点或已有建筑物特征点与待测设点间的角度、距离和高差等几何关系，应用测绘仪器和工具标定出来的。

施工测量贯穿于整个施工过程中。从场地平整、建筑物定位、基础施工，到建筑物构件的安装等，都需要进行施工测量，只有通过施工测量才能使建筑物、构筑物各部分的尺寸、位置符合设计要求。

施工放样的精度取决于建筑物（或构筑物）的大小、材料、用途和施工方法。通常情况下，高层建筑的测设精度应高于低层建筑物，钢结构厂房的测设精度应高于钢筋混凝土结构。例如，水利工程施工中，钢筋混凝土工程较土石方工程的放样精度要求高，而金属结构物的安装放样精度则要求更高。因此，应根据不同施工对象、选用不同精度的仪器和测量方法，做到既保证工程质量又不浪费人力、物力。

施工测量与工程质量及施工进度有着密切的联系。施工测量人员必须了解设计的内容、性质及其对测量工作的精度要求，必须熟悉图纸上的平面尺寸和高程数据，必须了解施工的程序与全过程，及时掌握施工现场的变动情况，使施工测量工作与施工过程密切衔接与配合。

施工现场工种多、交叉作业频繁，土、石方填挖量大，地面变动很大，各类施工动力机械震动强烈，因此，施工中的各种测量标志必须埋设在稳固且不易破坏的位置、妥善保护。测量标志应经常检查，如有破坏应及时补充与恢复。

大型施工现场通常需要施工许多各种各样建筑物（构筑物），它们往往是分期进行的。为保证各个建筑物（构筑物）的平面和高程位置都符合整体布局与设计要求，施工测量和地形图测绘一样，也要遵循“由整体到局部、先控制后碎部”的原则，即先在施工现场建立统一的平面控制网和高程控制网，然后以此为基础，测设出各个建筑物（构筑物）及其构件的位置。在进行各建筑物放样时，所利用的各类控制点必须是同一个系统的，这样才能保证各建筑物的正确施工。施工测量工作中应强化对放样点的检验与校核工作（包括外业检核和内业的检核），做到准确无误。

施工放样前，应建立健全测量组织和检查制度，应认真核对设计图纸，检查总尺寸和分尺寸是否一致，总平面图和大样详图尺寸是否一致，不符之处要及时向设计单位提出（由设计单位确认并修正）。应对施工现场进行认真、细致的实地踏勘，根据实际情况编制测设方案、计算测设数据、编制测设详图。对施工测量所使用的仪器、工具应进行严格的检验、校正，以确保放样的质量。施工测量中应注意人身安全和仪器安全（特别是在高空和危险地区作业时）、采取有效的防护措施。

施工测量的主要放样工作包括水平距离放样、水平角放样、高程放样、点位放样、坡度放样、曲线放样。

1.2 水平距离放样方法

水平距离放样（也称测设已知水平距离）的实际是从地面一已知点开始，沿已知方向测设出给定的水平距离以定出第二个端点的工作。根据测设的精度要求不同，可分为一般测设方法和精密测设方法。水平距离放样可采用钢尺、光电测距仪、电子全站仪、GPS技术。

1.2.1 用钢尺放样已知水平距离

1.2.1.1 一般方法

在地面上，由已知点A开始，沿给定方向，用钢尺量出已知水平距离 L 定出B点。为了校核与提高测设精度，在起点A处改变读数，按同法量已知距离 L 定出B'点。由于量距有误差，B与B'两点一般不重合，其相对误差在允许范围内时，则取两点的中点作为最终位置。

1.2.1.2 精密方法

当水平距离的测设精度要求较高时，按照上面一般方法在地面测设出的水平距离，还应再加上尺长、温度和高差3项改正，但改正数的符号与精确量距时的符号相反。即

$$S = D - \Delta_l - \Delta_t - \Delta_h \quad (1-2-1)$$

式(1-2-1)中， S 为实地测设的距离（钢尺的名义长度）； D 为待测设的水平距离（真实水平距离）； Δ_l 为尺长改正数， $\Delta_l = \frac{\Delta l}{l_0} D$ ， l_0 和 Δl 分别是所用钢尺的名义全长和名义全长改正数； Δ_t 为温度改正数， $\Delta_t = \alpha D(t - t_0)$ ， $\alpha = 1.25 \times 10^{-5}$ 为钢尺的线膨胀系数， t 为测设（放样）时的温度， t_0 为钢尺鉴定时的标准温度； Δ_h 为倾斜改正数， $\Delta_h = -\frac{h^2}{2D}$ ， h 为线段两端点的高差。

水平距离精密放样的放样过程依次为以下5步。

(1) 将经纬仪安置在A点上，并标定出给定直线AB的方向，沿该方向概量并在地面上打下尺段桩和终点桩，桩顶刻上十字标志；

(2) 用水准仪测定各相邻桩桩顶间的高差；

(3) 按精密丈量的方法先量出整尺段的距离，并加尺长改正、温度改正和高差改正，计算每尺段的水平长度及各尺段长度之和，得最后结果为 L_0 ；

(4) 用已知应测设的水平距离 L 减去 L_0 得余长 D ，即 $L - L_0 = D$ 。然后，按式(1-2-1)计算余长段应测设的距离 S （钢尺的名义长度）；

(5) 根据 S 在地面上测设余长段，并在终点桩上作出B点的标记，此时，A、B点间的真实水平距离就是待测设的水平距离 L ，放样结束。如B点不在终点桩上时应另打终点桩并标记出B点。

为了检核，通常应再放样一次，若两次放样之差在允许范围内，取平均位置作为终点B的最后位置。

1.2.1.3 钢尺的名义长度换算举例

假设欲测设的水平距离 $D = 60\text{m}$ ，距离的起点为A、终点为B，测设时的温度为 5°C ，AB两点之间的高差为 1.2m ，放样使用的钢尺的尺长方程式为

$$l_t = 30.000\text{m} + 0.003\text{m} + 1.2 \times 10^{-5} \times 30(t - 20^\circ\text{C})\text{m}$$

欲测设的水平距离AB对应的钢尺的名义长度 S 的计算过程如下。

(1) 计算尺长改正

$$\Delta_l = \frac{\Delta l}{l_0} D = \frac{0.003}{30} 60 = 0.006 \text{m}$$

(2) 计算温度改正

$$\Delta_t = \alpha D (t - t_0) = 60 \times 1.2 \times 10^{-5} \times (5 - 20) = -0.011 \text{m}$$

(3) 计算倾斜改正

$$\Delta_h = -\frac{h^2}{2D} = -\frac{1.2^2}{2 \times 60} = -0.012 \text{m}$$

(4) 计算水平距离 AB 对应的钢尺的名义长度 S

$$S = D - \Delta_l - \Delta_t - \Delta_h = 60 - 0.006 + 0.011 + 0.012 = 60.017 \text{m}$$

1.2.2 用光电测距仪精密放样已知水平距离

见图 1-2-1, 将带有光电测距仪的经纬仪 (称测距经纬仪) 安置于 A 点, 瞄准已知方向。沿此方向移动反射棱镜位置, 使仪器显示值略大于测设的距离 D, 定出 C' 点。在 C' 点安置反射棱镜, 测出反射棱镜的竖直角 α 及斜距 S (距离观测值应加入气象改正、加常数改正、乘常数改正, 各项改正根据实际测出的气温、气压和大气湿度等气象要素计算), 计算出水平距离 D' ($D' = S \cos \alpha$), 求出 D' 与应测设的水平距离 D 间的差值 ΔD ($\Delta D = D - D'$)。根据 ΔD 的符号在实地用小钢尺沿已知方向改正 C' 至 C 点, 并用木桩标定其点位。为了检核放样的正确性, 应将反射棱镜安置于 C 点再次实测 AC 的距离, 若不符合应再次进行改正, 直到测设的距离满足限差要求为止。

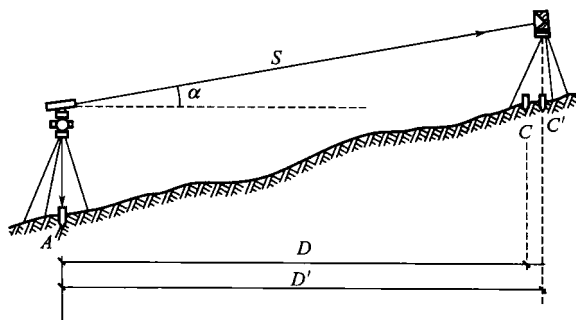


图 1-2-1 用光电测距仪精密放样已知水平距离

如果用具有跟踪功能的测距经纬仪 (带有光电测距仪的电子经纬仪, 也称电子全站仪) 或电子全站仪测设水平距离, 则更方便, 它能自动进行气象改正及将倾斜距离归算成平距并直接显示。测设时, 将仪器安置在 A 点, 瞄准已知方向, 测出气象要素 (气温及气压和大气湿度), 并输入仪器, 此时按功能键盘上的测量水平距离和自动跟踪键 (或钮), 一人手持反射棱镜杆 (通过杆上的圆水准气泡保持反射棱镜杆铅直) 立在 C 点附近。只要观测者指挥手持棱镜者沿已知方向线前后移动棱镜, 观测者即能在光电测距仪或电子全站仪的显示屏上看到测得的瞬时水平距离, 当显示值等于待测设的已知水平距离值时即可定出 C 点的概略位置 C' 点。在 C' 点安置手持反射棱镜, 测出气象要素 (气温及气压和大气湿度), 并输入仪器, 按功能键盘上的精密测距 (或多次测距) 键 (或钮) 获得 A、C' 间的精密水平距离 D' , 求出 D' 与应测设水平距离 D 间的差值 ΔD ($\Delta D = D - D'$)。根据 ΔD 的符号在实地用小钢尺沿已知方向改正 C' 至 C 点, 并用木桩标定其点位。为了检核放样的正确性, 应将手持反射棱镜再次安置于 C 点再次实测 AC 的水平距离, 若不符合应再次进行改正, 直到测设的距离满足限差要求为止。

1.3 水平角放样方法

水平角放样（又称测设已知水平角）是根据地面上—已知方向测设出另一方向，使它们的夹角等于给定的设计角值。按测设精度要求的不同可分为一般方法和精确方法。

1.3.1 水平角的一般放样方法

如图 1-3-1 所示，设在地面上已有一方向线 OA ，欲在 O 点测设第二方向线 OB ，使 $\angle AOB = \beta$ 。将经纬仪安置在 O 点上，在盘左位置，用望远镜瞄准 A 点，使度盘读数为零度，然后转动照准部，使度盘读数为 β ，在视线方向上定出 B_1 点。再用盘右位置，重复上述步骤，在地面上定出 B_2 点。由于放样测量有误差， B_1 与 B_2 往往不重合，取 B_1 与 B_2 点的中点作为 B ，并用木桩标定其点位，则 $\angle AOB$ 就是要测设的水平角。该方法也称为盘左、盘右分中法。

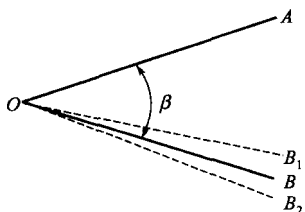


图 1-3-1 水平角的一般放样方法

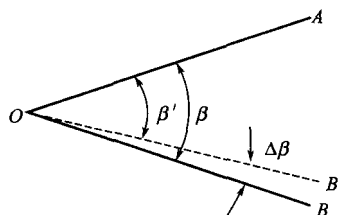


图 1-3-2 水平角的精密放样方法

1.3.2 水平角的精密放样方法

当测设精度要求较高时，可采用精密放样方法测设已知水平角。见图 1-3-2。将经纬仪安置于 O 点，按照 1.3.1 所述的一般方法测设出已知水平角 $\angle AOB'$ ，定出 B' 点。然后较精确地测量 $\angle AOB'$ 的角值（一般采用多个测回取平均值的方法） β' ，并测量出 OB' 的水平距离。根据 β' 和 OB' 的水平距离（ OB' ）计算 B' 点处 OB' 线段的垂距 $B'B$ ，计算公式为

$$B'B = \frac{\Delta\beta'}{\rho''} OB' = \frac{\beta - \beta'}{\rho} OB'$$

然后，用小钢尺从 B' 点沿 OB' 的垂直方向丈量垂距 $B'B$ 得 B 点，并用木桩标定其点位，则 $\angle AOB$ 即为 β 角。

若 $\Delta\beta > 0$ 时，应从 B' 点往内调整 $B'B$ 至 B 点；若 $\Delta\beta < 0$ 时，则应从 B' 点往外调整 $B'B$ 至 B 点。

1.4 高程放样方法

将点的设计高程测设到实地上去称为高程放样，是根据附近的水准点用水准测量的方法进行的。土木工程施工有地面施工和地下施工两类，因此，高程放样可分为地面上的高程放样、隧洞（隧道）高程放样、地面开挖高程放样、高空施工高程放样。

1.4.1 地面上的高程放样

见图 1-4-1, 水准点 BM_{50} 的高程已知 (假设为 7.327m), 今欲测设 A 点, 使其高程等于设计高程 H (假设为 5.513m), 可将水准仪安置在水准点 BM_{50} 与 A 点中间, 后视 BM_{50} 得标尺读数 (假设为 0.874m)。则水准仪视线高程 H_1 为

$$H_1 = H_{BM_{50}} + 0.874 = 7.327 + 0.874 = 8.201\text{m}$$

要使 A 点的高程等于 5.513m , 则 A 点水准尺上的前视读数 b 必须为

$$b = H_1 - H_A = 8.201 - 5.513 = 2.688\text{m}$$

测设时, 先在 A 点地面上牢固地打一高木桩, 将水准尺紧靠 A 点木桩的侧面上下移动, 直到尺上读数为 b 时, 沿尺底画一横线, 此线即为设计高程 H 的位置。测设时应始终保持水准管气泡居中。

在建筑设计和施工中, 为计算方便, 通常把建筑物的室内设计地坪高程用 ± 0 标高表示, 建筑物的基础、门窗等高程都是以 ± 0 为依据进行测设的。因此, 首先要在施工现场利用测设已知高程的方法测设出室内地坪高程的位置。

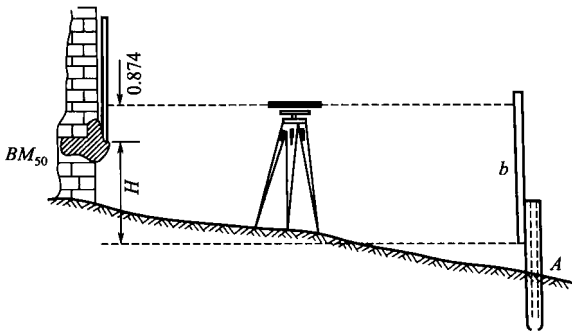


图 1-4-1 地面上的高程放样

1.4.2 隧洞 (隧道) 高程放样

在地下隧洞 (隧道) 施工中, 高程点位通常设置在隧洞 (隧道) 顶部。通常规定当高程点位于隧洞 (隧道) 顶部时, 在进行水准测量时水准尺均应倒立在高程点上。见图 1-4-2, A 为已知高程 (H_A) 的水准点, B 为待测设高程为 H_B 的位置, 由于 $H_B = H_A + a + b$, 则在 B 点上应有的标尺读数 $b = H_B - (H_A + a)$ 。因此, 将水准尺倒立并紧靠 B 点木桩上下移动, 直到尺上读数为 b 时, 即可在 B 点尺底画出设计高程 H_B 的位置。

同样, 对于多个测站的情况, 也可以采用类似的分析和解决方法。见图 1-4-3, A 为已知高程 (H_A) 的水准点, C 为待测设高程为 H_C 的点位, A 、 C 相距较远必须通过转点设站实现, 假设 A 、 C 间隧道地面上设了一个转点 B , 不难看出, $H_C = H_A - a - b_1 + b_2 + c$, 则在 C 点上应有的标尺读数 $c = H_C - (H_A - a - b_1 + b_2)$ 。

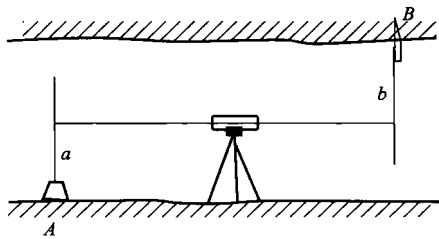


图 1-4-2 隧洞 (隧道) 高程放样 (高程点在顶部)

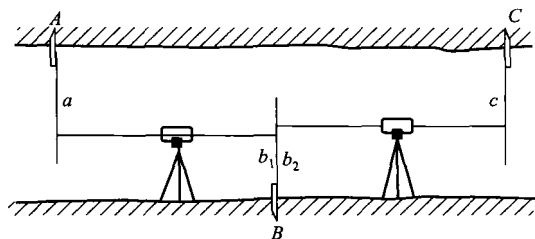


图 1-4-3 隧洞（隧道）高程放样（转点测设高程）

1.4.3 地面开挖高程放样

地面开挖（比如深基槽、基坑）时，地下开挖面与地面间的高差较大，要放样地下开挖面上一点的高程时，标尺放在地下开挖面上时地面上看不到标尺（见图 1-4-4），因此在地面上无法按 1.4.1 所述方法放样地下开挖面上一点的高程，为此，可采用悬挂钢尺的方法进行测试。见图 1-4-4，钢尺悬挂在支架上，零端向下并挂一重物，A 为已知水准点（高程为 H_A ），B 为待测设点位（高程为 H_B ）。在地面和待测设点位附近安置 2 台水准仪，地面上水准仪对地面上的标尺和钢尺读数分别为 a_1 、 b_1 ，开挖面上水准仪对开挖面上的钢尺和标尺读数分别为 a_2 、 b_2 。由于 $H_B = H_A + a_1 - (b_1 - a_2) - b_2$ ，则可计算出 B 点处标尺的读数 $b_2 = H_A + a_1 - (b_1 - a_2) - H_B$ 。将水准尺紧靠 B 点木桩的侧面上下移动，直到尺上读数为 b_2 时，沿尺底画一横线，此线即为设计高程 H_B 的位置。

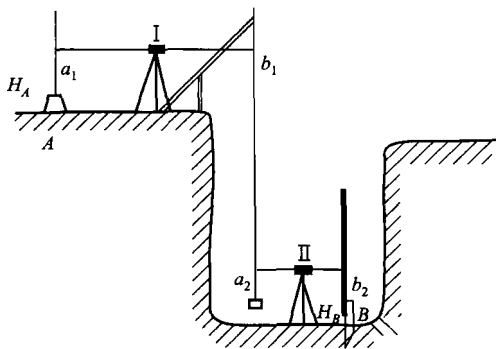


图 1-4-4 地面开挖高程放样

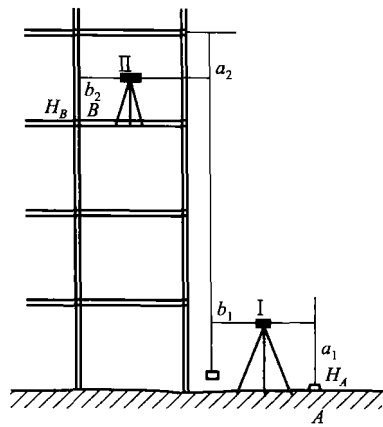


图 1-4-5 高空施工高程放样

1.4.4 高空施工高程放样

高空施工高程放样的方法与开挖高程放样类似。只是 B 点处标尺读数的计算方法不同，高空施工高程放样 B 点处标尺读数（前视读数） b_2 应为 $b_2 = H_A + a_1 + (a_2 - b_1) - H_B$ ，将水准尺紧靠 B 点木桩的侧面上下移动，直到尺上读数为 b_2 时，沿尺底画一横线，此线即为设计高程 H_B 的位置。见图 1-4-5。

1.5 点位放样方法

点位放样方法（也称点的平面位置测设）是根据已布设好的控制点的坐标和待测设点的

坐标, 反算出测设数据 (即控制点和待测设点间的水平距离和水平角), 再利用水平角放样方法放样出控制点和待测设点间的方向线, 然后, 沿着该方向线从控制点放样出水平距离, 定出待测设点。根据所用仪器设备的不同、控制点的分布情况、测设场地地形条件及测设点精度要求等, 可灵活采用多种放样方法, 这些方法主要有直角坐标法、极坐标法、角度交会法、距离交会法和十字方向线法等。

1.5.1 直角坐标法放样

当建筑场地已建立有相互垂直的主轴线或建筑方格网时, 可采用此法。

见图 1-5-1, OA 、 OB 为两条互相垂直的主轴线, 建筑物的两个轴线 MQ 、 PQ 分别与 OA 、 OB 平行。设计总平面图中已给定车间的四个角点 M 、 N 、 P 、 Q 的坐标, 欲在地面上放样 M 、 N 、 P 、 Q 四点位置, 测设方法如下。

假设 O 点坐标 $x=0$, $y=0$, M 点的坐标 x , y 已知, 先在 O 点上安置经纬仪, 瞄准 A 点, 沿 OA 方向从 O 点向 A 测设距离 y 得 C 点, 然后将仪器搬至 C 点, 仍瞄准 A 点, 向左测设 90° 角获得 CM 方向线, 沿此方向线从 C 点测设距离 x 即得 M 点, 沿此方向继续利用水平距离放样方法可测设出 N 点。同法可测设出 P 点和 Q 点。最后应检查建筑物的四角是否等于 90° , 各边的水平距离是否等于设计长度, 误差在允许范围之内即可。

直角坐标法计算简单, 施测方便、精度较高, 是一种应用较广泛的方法。

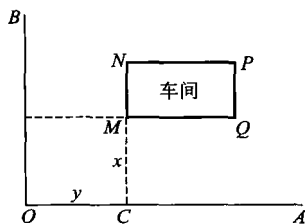


图 1-5-1 直角坐标法放样

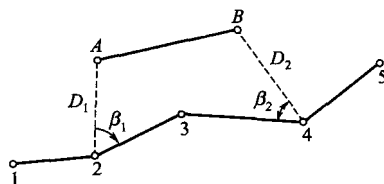


图 1-5-2 极坐标法放样

1.5.2 极坐标法放样

极坐标法是根据水平角和距离测设点的平面位置的方法, 是一种万能型方法。

A 、 B 是某建筑物轴线的两个端点, 附近有测量控制点 1、2、3、4、5, 首先计算放样 (测设) 数据 β_1 、 β_2 和 D_1 、 D_2 。

假设相应直线的坐标方位角为 α_{2A} 、 α_{4B} 、 α_{23} 、 α_{43} , 控制点 1、2、3、4 和轴线端点 A 、 B 的坐标均已知, 则

$$\alpha_{2A} = \tan^{-1} \frac{y_A - y_2}{x_A - x_2} \quad (1-5-1)$$

$$\alpha_{4B} = \tan^{-1} \frac{y_B - y_4}{x_B - x_4} \quad (1-5-2)$$

$$\beta_1 = \alpha_{23} - \alpha_{2A} \quad (1-5-3)$$

$$\beta_2 = \alpha_{4B} - \alpha_{43} \quad (1-5-4)$$

$$D_1 = \frac{y_A - y_2}{\sin \alpha_{2A}} = \frac{x_A - x_2}{\cos \alpha_{2A}} \quad (1-5-5)$$

$$D_2 = \frac{y_B - y_4}{\sin \alpha_{4B}} = \frac{x_B - x_4}{\cos \alpha_{4B}} \quad (1-5-6)$$

根据式(1-5-1)~式(1-5-6)可计算出放样 (测设) 数据 β_1 、 β_2 和 D_1 、 D_2 。然后即可进

行轴线端点(A、B)位置的测设。

测设A点时,在点2安置经纬仪,先测设出 β_1 角,在2A方向线上用钢尺或光电测距仪测设距离 D_1 ,即得A点,再搬仪器至点4,用同法定出B点。最后丈量(或测量)AB的水平距离,AB的水平距离应与设计的长度一致(误差应在允许范围之内),以资检核。

如果使用电子全站仪测设A、B点的平面位置(图1-5-2),则更加方便,它不受测设长度的限制,测法如下。

把电子全站仪安置在2点、丈量仪器高,通过菜单键选择放样功能,进入放样功能界面后,根据电子全站仪的提示输入2点(称测站)三维坐标(x_2 、 y_2 、 H_2)、3点(称后视点)三维坐标(x_3 、 y_3 、 H_3)、2点仪器高、反射棱镜杆高,瞄准3点后在仪器上确认(回车),然后,输入A点(称放样点)三维坐标(x_A 、 y_A 、 H_A),一人手持反射棱镜杆(通过杆上的圆水准气泡保持反射棱镜杆铅直)立在大致A点附近。电子全站仪瞄准反射棱镜,启动测量命令,电子全站仪即可显示手持反射棱镜杆底部(尖端)的三维坐标(x_G 、 y_G 、 H_G),若切换显示页面电子全站仪还可显示欲放样点与手持反射棱镜杆底部间的差值及偏差方向(用箭头表示),根据差值及偏差方向即可移动手持反射棱镜杆。再次启动测量命令、再次获得差值及偏差方向、再次根据差值及偏差方向移动手持反射棱镜杆,直到(x_G 、 y_G 、 H_G)与(x_A 、 y_A 、 H_A)相等为止(误差应在允许范围以内),即得A点的实际位置。电子全站仪可实现点的三维放样。电子全站仪测设高精度、速度快,在施工放样中受天气和地形条件影响较小,是目前生产实践中广泛应用的方法。

老式电子全站仪的放样过程则略微复杂,其放样主要有以下程序。

(1) 将电子全站仪安置在2点,置水平度盘读数为 $0^\circ00'00''$,并瞄准3点。

(2) 手工输入A点的设计坐标和控制点2、3点的坐标,电子全站仪就能自动计算出放样数据(水平角 β_1 和水平距离 D_1)。

(3) 照准部转动一已知角度 β_1 ,并沿视线方向,由观测者指挥一人手持反射棱镜杆在2A方向上前后移动棱镜位置,当显示屏上显示的数值正好等于放样值 D 时,指挥持镜者定,即得A点。

(4) 把棱镜安置在A点,再次实测2A的水平距离,与 D_1 的差值应在允许范围以内。

(5) 同法,将电子全站仪移至4点,测设B点的平面位置。

(6) 实测AB的水平距离,它应等于AB轴线的长度(误差应在允许范围以内)。

1.5.3 角度交会法

角度交会法又称方向线交会法。当待测设点远离控制点且不便量距时,可采用此法。角度交会法是在2个控制点上分别安置经纬仪,根据相应的水平角测设出相应的方向,根据两个方向交会定出点位的一种方法。

见图1-5-3,根据放样点P的设计坐标及控制点A、B、C的坐标,首先算出测设数据 β_1 、 γ_1 、 β_2 、 γ_2 角值。然后将经纬仪安置在A、B、C三个控制点上测出 β_1 、 γ_1 、 β_2 、 γ_2 各

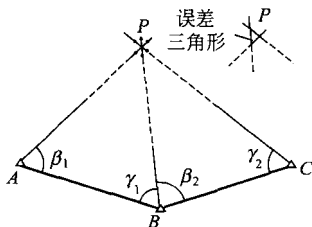


图 1-5-3 角度交会法

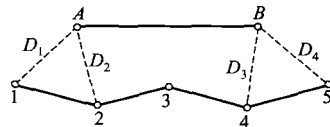


图 1-5-4 距离交会法

角。并且分别沿 AP 、 BP 、 CP 方向线，在 P 点附近各打两个小木桩，桩顶上钉上小钉，以表示 AP 、 BP 、 CP 的方向线。将各方向的两个方向桩上的小钉用细线绳拉紧，即可交出 AP 、 BP 、 CP 三个方向的交点，此点即为所求的点放样 P 。

由于测设误差，若三条方向线不交于一点时，会出现一个很小的三角形，称为误差三角形。当误差三角形边长在允许范围内时，可取误差三角形的重心作为 P 点的点位。如超限，则应分析原因重新交会。

1.5.4 距离交会法

距离交会法是从两个控制点利用两段已知距离进行交会定点的方法。如建筑场地平坦，量距方便，且控制点离测设点又不超过一整尺长度时，用此法比较适宜。在施工中细部位置测设常采用此法。

见图 1-5-4，设 A 、 B 是某建筑物轴线的两个端点，通过计算或从设计图纸上求得 A 、 B 点距附近控制点的 1、2、5、4 的距离为 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 。用钢尺分别从控制点 1、2 量取 D_1 、 D_2 ，其交点即为 A 点的设计位置。同法可定出 B 点。实际测量 AB 长度并与设计长度进行比较，其误差应在允许范围之内。

1.5.5 十字方向线法

十字方向线法是利用两条互相垂直的方向线相交得出待测设点位的一种方法。见图 1-5-5，设 A 、 B 、 C 、 D 为一个基坑的范围， P 点为该基坑的中心点位（主轴线的交点），在开挖基坑时， P 点会遭到破坏（因挖土而消失）。为了随时恢复 P 点的位置，则可以采用十字方向线法重新测设 P 点。

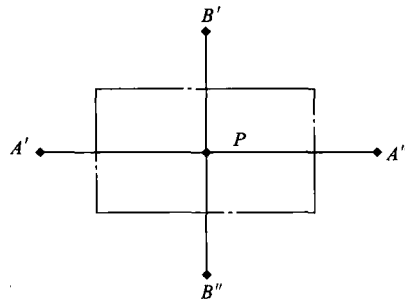


图 1-5-5 十字方向线法测设点位

首先，在 P 点架设经纬仪，设置两条相互垂直的直线，并分别用 4 个桩点 A' 、 A'' 、 B' 、 B'' 来固定。当 P 点破坏后需要恢复时，则利用桩点 $A'A''$ 和 $B'B''$ 拉出两条相互垂直的直线，根据其交点重新定出 P 点。为了防止由于桩点发生移动而导致 P 点产生测设误差，可以在每条直线的两端外再各设置两个桩点，以便能够发现错误。

当然更精确的方法是利用 2 台经纬仪建立 $A'A''$ 、 $B'B''$ 直线（铅垂面）。

1.6 坡度放样方法

坡度放样方法（又称已知坡度线的测设）就是在地面上定出一条直线，其坡度值等于已给定的设计坡度。在交通线路工程、排水管道施工和敷设地下管线等项工作中经常涉及该问题。

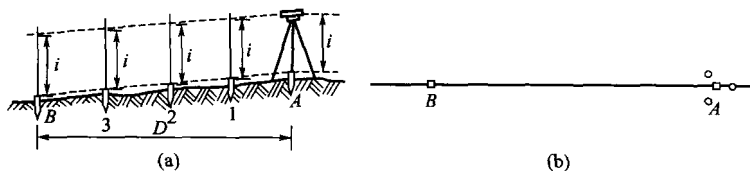


图 1-6-1 坡度放样方法

坡度放样的过程见图 1-6-1。设地面上 A 点高程是 H_A ，现要从 A 点沿 AB 方向测设出一条坡度 i 为 -0.1% 的直线。先根据已定坡度和 AB 两点间的水平距离 D 计算出 B 点的高程 H_B ，计算公式为

$$H_B = H_A - iD \quad (1-6-1)$$

用 1.4 所述测设已知高程的方法，把 B 点高程测设出来。则 AB 两点连线的坡度就等于已知设计坡度 i 。

当 AB 两点间的水平距离较长时，应沿 AB 方向线定出一些中间点 1、2、3，中间点的间距按工程类型确定，常用间距有 10m、20m、50m、100m。

用水准仪测设时，在 A 点安置仪器 [见图 1-6-1(a)]，使一个脚螺旋在 AB 方向线上，而另两个脚螺旋的连线垂直于 AB 线 [见图 1-6-1(b)]，量取仪器高 i ，用望远镜瞄准 B 点上的水准尺，旋转 AB 方向上的脚螺旋。使视线倾斜，水准仪对准 B 尺上读数为仪器高 i 时仪器的视线即平行于设计的坡度线。在中间点 1、2、3 处打上木桩，然后在桩顶上立水准尺使其读数皆等于仪器高 i ，这样各桩顶的连线就是测设在地面上的坡度线。若桩顶上立的水准尺读数为 q (不等于仪器高 i)，则 q 与 i 的差值即为该桩顶与设计的坡度线垂直差距 h

$$h = q - i \quad (1-6-2)$$

$h > 0$ 表示桩顶比设计坡度线低 h ； $h < 0$ 则表示桩顶比设计坡度线高 h 。

在坡度线中间的各点也可用经纬仪的倾斜视线进行标定。

若采用激光经纬仪及激光水准仪代替经纬仪及水准仪，在中间尺上可根据光斑在尺上的位置，调整或读出尺子的高低。从而使测设坡度线的中间点变得更为便捷。

1.7 曲线放样方法

在修建渠道、公路、铁路、隧洞 (隧道) 等建筑物时，从一个直线方向改变到另一个直线方向，需用曲线连接，使路线沿曲线缓慢变换方向。常用的曲线是圆曲线。

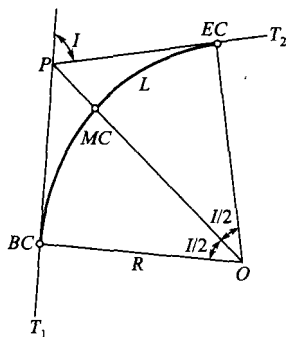


图 1-7-1 圆曲线主点的放样方法

见图 1-7-1。直线由 T_1 到 P 点后转向 PT_2 方向 (I 为转折角)，用一半径为 R 的圆与该两直线连接 (相切)，切点 BC 由直线转向曲线，称为圆曲线的起点；切点 EC 由曲线转向直线，称为圆曲线的终点；MC 点为曲线的中点；这三点控制圆曲线的形状，称为圆曲线的主点。圆曲线测设分两部分，首先定出曲线上主点的位置；然后定出曲线上各个细部点的位置。

1.7.1 圆曲线主点的放样方法

1.7.1.1 圆曲线的主点放样

见图 1-7-1，BC 为曲线起点，EC 为曲线终点，MC 为曲线中点，要定出这三个主点的位置，必须知道以下 5 个元素。