

TUMU GONGCHENG CELIANG SHIYAN YU

SHIXI ZHIDAO JIAOCHENG

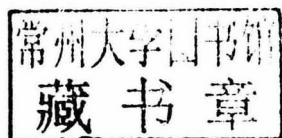
土木工程测量实验与 实习指导教程

张 豪 主编

中国建筑工业出版社

土木工程测量实验与 实习指导教程

张 豪 主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程测量实验与实习指导教程/张豪主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 12
ISBN 978-7-112-23041-9

I. ①土… II. ①张… III. ①土木工程-工程测量-实验-高等学校-教学参考资料 IV. ①TU198-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 274905 号

土木工程测量学是土木工程专业及相关专业必修的一门专业基础课。在土木工程测量学课程的教学体系中, 实验与实习教学环节是整个教学过程中必不可少的一部分, 它起着巩固课堂知识, 理论联系实际的作用。本教材分为三个部分, 第一部分为测量实习须知。第二部分以土木工程测量学教学大纲为基础, 系统介绍了测量实验和实习中的基本理论知识、实验目的、实验仪器、实验内容、实验步骤、注意事项等, 并给出了用于记录的标准表格, 并附有课后习题, 能够较好地帮助学生理解实验内容和巩固实验效果。第三部分为测量集中实习, 列出了集中实习时应进行的有关测量工作项目, 便于实验实习更统一规范。本教材可作为高等学校土建、市政、规划、交通、港航等专业的测量学配套教材, 供课堂教学和实验实习使用。也可用于电大、职大、函大、自学考试及各类培训班的教学, 以及相关的设计、技术人员的参考书。

责任编辑: 石枫华 张 健 王 磊

责任校对: 焦 乐

土木工程测量实验与实习指导教程

张 豪 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京佳捷真科技发展有限公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11 $\frac{3}{4}$ 字数: 290 千字

2018 年 12 月第一版 2018 年 12 月第一次印刷

定价: 42.00 元

ISBN 978-7-112-23041-9

(33105)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编者名单

主 编 张 豪 (浙江工业大学)

副主编 陈竹安 (东华理工大学)

罗亦泳 (东华理工大学)

参 编 许四法 (浙江工业大学)

夏才安 (浙江工业大学)

陈 韵 (浙江工业大学)

史美生 (浙江工业大学)

彭晓婷 (浙江工业大学)

叶 亮 (浙江工业大学)

谢明君 (浙江工业大学)

钱 超 (浙江工业大学)

张利莎 (浙江工业大学)

前 言

土木工程测量学是土木工程专业最具基础性、综合性的一门学科。土木工程测量学教学中实践教学环节在与测量学相关课程理论教学中不可或缺，是理论联系实际的重要部分。它可以培养学生的动手能力，增加学生对测量仪器操作和测量实施的感性认识，同时，它在培养学生严谨的治学态度、活跃的创新意识、理论联系实际和适应科技发展的综合能力等方面具有不可替代的作用。编写本书的目的在于培养学生的基本测量技能，提高学生的动手能力，使学生初步掌握测量工作的实际操作和实施方法，培养学生的科学思维和创新意识，使学生掌握实验研究的基本方法，提高学生的分析能力和创新能力，借此提高学生的科学素养，培养学生理论联系实际和实事求是的科学作风、认真严谨的科学态度、积极主动的探索精神，以及遵守纪律、团结协作、爱护公共财产的优良品德。

本书是在作者多年从事土木工程测量与科研实践基础上编写而成。全书按照实践教学环节的需要，逐个实验进行编写，包含了土木工程测量学教学中所涉及的绝大部分实验操作。同时，为了满足集中实习的需要，对测量学的集中实习还编写了集中实习指导。本书可以作为本科、专科测绘工程及相关专业测量学或者相近课程的实践教学用书或者实践参考用书。

目 录

前 言

第一部分 测量实习须知	1
第二部分 测量实验	4
实验一 光学水准仪的认识及使用	4
实验二 普通水准测量	9
实验三 四等水准测量	13
实验四 水准仪的检验与校正	19
实验五 数字水准仪认识及其使用	23
实验六 经纬仪的认识与使用	28
实验七 测回法观测水平角	33
实验八 方向观测法水平角	37
实验九 垂直角观测	41
实验十 经纬仪的检验与校正	44
实验十一 全站仪的认识和使用	50
实验十二 GPS 接收机的认识与使用	57

实验十三	GPS 控制测量	66
实验十四	全站仪控制 (导线) 测量	79
实验十五	全站仪碎部测量	84
实验十六	GPS 碎部测量	89
实验十七	数字地形图绘制	98
实验十八	土方量测量与计算	103
实验十九	水平角测设	108
实验二十	水平距离实验	111
实验二十一	高程测设	115
实验二十二	建筑物平面位置测设	119
实验二十三	全站仪平面位置测设	124
实验二十四	GPS 平面位置及高程测设	129
实验二十五	基坑位移监测	136
第三部分	测量集中实习	144
附录 A	测量实习成果	155
附录 B	测量实习报告	169
参考文献	182

第一部分 测量实习须知

一、测量实习规定

(1) 在测量实验之前，应复习教材中的有关内容，认真仔细地预习实验或实验指导书。明确实验目的与要求、熟悉实验步骤、注意有关事项，并准备好所需文具用品，以保证按时完成实验任务。

(2) 实验分小组进行，组长负责组织协调工作，办理所用仪器工具的借领和归还手续。

(3) 实验应在规定的时间进行。不得无故缺席或迟到早退，应在指定的场地进行，不得擅自改变地点或离开现场。

(4) 服从教师的指导，每个人都必须认真、仔细地操作，培养独立工作能力和严谨的科学态度，同时要发扬互相协作精神。每项实验都应取得合格的成果并提交书写工整规范的实验报告，经指导教师审阅签字后，方可交还测量仪器和工具，结束实验。

(5) 实验过程中，应遵守纪律，爱护现场的花草、树木和农作物，爱护周围的各种公共设施，任意砍伐、踩踏或损坏者应予赔偿。

二、测量仪器工具的借领与使用规则

对测量仪器工具的正确使用、精心爱护和科学保养，是测量人员必须具备的素质和应该掌握的技能，也是保证测量成果质量、提高测量工作效率和延长仪器工具使用寿命的必要条件。在仪器工具的借领与使用中，必须严格遵守下列规定：

1. 仪器工具的借领

(1) 以小组为单位领取仪器工具。

(2) 借领时应该当场清点检查。仪器工具及其附件是否齐全，背带及提手是否牢固，脚架是否完好等。如有缺损，可以补领或更换。

(3) 离开借领地点之前，必须锁好仪器箱并捆扎好各种工具；搬运仪器工具时，必须轻取轻放，避免剧烈震动。

(4) 借出仪器工具之后，不得与其他小组擅自调换或转借。

(5) 实验结束，应及时收装仪器工具，送还借领处检查验收，消除借领手续。如有遗失或损坏，应写出书面报告说明情况，并按有关规定给予赔偿。

2. 仪器的安装

(1) 在三脚架安置稳妥后，方可打开仪器箱。开箱前应将仪器箱放在平稳处，严禁托在手上或抱在怀里。

(2) 打开仪器箱后，要看清并记住仪器在箱中的安放位置，避免以后装箱困难。

(3) 提取仪器之前，应先松开制动螺旋，再用双手握住支架或基座轻轻取出仪器，放

在三脚架上，保持一手握住仪器，一手去拧连接螺旋，最后旋紧连接螺旋使仪器与脚架连接牢固。

(4) 装好仪器后，注意随即关闭仪器箱盖，防止灰尘和湿气进入箱内。严禁坐在仪器箱上。

3. 仪器的使用

(1) 仪器安置后，不论是否操作，必须有人看护，防止无关人员搬弄或行人车辆碰撞。

(2) 在打开物镜盖时或在观测过程中，如发现灰尘，可用镜头纸或软毛刷轻轻拂去，严禁用手指或手帕等物擦拭，以免损坏镜头上的镀膜。

(3) 转动仪器时，应先松开制动螺旋，再平稳转动。使用微动螺旋时，应先旋紧制动螺旋。

(4) 制动螺旋应松紧适度，微动螺旋和脚螺旋不要旋到顶端，使用各种螺旋都应均匀用力，以免损伤螺纹。

(5) 在仪器发生故障时，应及时向指导教师报告，不得擅自处理。

4. 仪器的搬运

(1) 在行走不便的地区迁站或远距离迁站时，必须将仪器装箱后再搬迁。

(2) 短距离迁站时，可将仪器连同脚架一起搬迁，其方法是：先取下垂球，检查并旋紧仪器连接螺旋，松开各制动螺旋使仪器保持初始位置（经纬仪望远镜物镜对向度盘中心，水准仪物镜向后）；再收拢三脚架，左手握住仪器基座或支架放在胸前，右手抱住脚架放在肋下，稳步行走。严禁斜扛仪器，以防碰摔。

(3) 搬迁时，小组其他人员应协助观测员带走仪器箱和有关工具。

5. 仪器的装箱

(1) 每次使用仪器后，应及时清除仪器上的灰尘及脚架上的泥土。

(2) 仪器拆卸时，应先将仪器脚螺旋调至大致同高的位置，再一手扶住仪器，一手松开连接螺旋，双手取下仪器。

(3) 仪器装箱时，应先松开各制动螺旋，使仪器就位正确，试关箱盖确认妥后，关箱上锁。若合不上箱口，切不可强压箱盖，以防压坏仪器。

(4) 清点所有部件和工具，防止遗失。

6. 测量工具的使用

(1) 钢尺的使用，应防止扭曲、打结和折断，防止行人踩踏或车辆碾压，尽量避免尺身着水。携尺前进时，应将尺身提起，不得沿地面拖行，以防损坏刻划。用完钢尺，应擦净、涂油，以防生锈。

(2) 皮尺的使用，应均匀用力拉伸，避免着水、车压。如果皮尺受潮，应及时晾干。

(3) 各种标尺、花杆的使用，应注意防水防潮、防止受横向压力，不能磨损尺面刻划和漆皮，不用时安放稳妥。

(4) 小件工具如垂球、测钎、尺垫等的使用，应用完即收，防止遗失。

(5) 一切测量工具都应保持清洁，专人保管搬运，不能随意放置，更不能作为捆扎、抬担的他用工具。

三、测量记录与计算规则

测量手簿是外业观测成果的记录和内业数据处理的依据。在测量手簿上记录或计算时，必须严肃认真一丝不苟，严格遵守下列规则：

(1) 在测量手簿上书写之前，应准备好硬性（2H 或 3H）铅笔，同时熟悉表上各项内容及填写、计算方法。

(2) 记录观测数据之前，应将表头的仪器型号编号、日期、天气、测站、观测者及记录者姓名等无一遗漏地填写齐全。

(3) 观测者读数后，记录者应随即在测量手簿上的相应栏内填写，并复诵回报以资检核。不得另纸记录事后转抄。

(4) 记录时要求字体端正清晰、数位对齐、数字齐全。字体的大小一般占格宽的 $1/2 \sim 1/3$ ，字脚靠近底线；表示精度或占位的“0”（例如水准尺读数 1500 或 0234，度盘读数 $93^{\circ}04'00''$ 中的“0”）均不能省略。

(5) 观测数据的尾数不得更改，读错或记错后必须重测重记。例如，角度测量时，秒级数字出错，应重测该测回；水准测量时，毫米级数字出错，应重测该测站。

(6) 观测数据的前几位若出错时，应用细横线划去错误的数字，并在原数字上方写出正确的数字。注意不得涂擦已记录的数据。禁止连续更改数字，例如：水准测量中的黑、红面读数，角度测量中的盘左、盘右，距离丈量中的往、返测等，均不能同时更改，否则重测。

(7) 记录数据修改后或观测成果废去后，都应在备注栏内写明原因（如测错、记错或超限等）。

(8) 每站观测结束后，必须在现场完成规定的计算和检核，确认无误后，方可迁站。

(9) 数据运算应根据所取位数，按“4 舍 6 入，5 前单进双舍”的规则进行凑整。例如，对 1.4244m，1.4236m，1.4235m，1.4245m 这几个数据，若取至毫米位，则均应记为 1.424m。

(10) 应该保持测量手簿的整洁，严禁在手簿上书写无关的内容，更不得丢失手簿。

(11) 每测站观测结束，应在现场完成计算和检核，确认合格后方可进行迁站。实验结束后，应按照规定每人或每组提交一份记录手簿或实验报告。

第二部分 测量实验

实验一 光学水准仪的认识及使用

一、实验目的

(1) 认识 DS3 微倾式水准仪的基本构造, 各操作部件的名称和作用, 并熟悉使用方法。

(2) 掌握 DS3 水准仪的安置、瞄准和读数方法。

二、实验仪器

DS3 微倾式水准仪 1 台、水准尺 1 对、尺垫 2 个、测伞一把。

三、实验方法与步骤

1. DS3 微倾式水准仪的基本构造

水准仪是由望远镜、水准器和基座 3 部分组成。图 2-1-1 是我国生产的 DS3 级水准仪, 图 2-1-2 是其实物图。

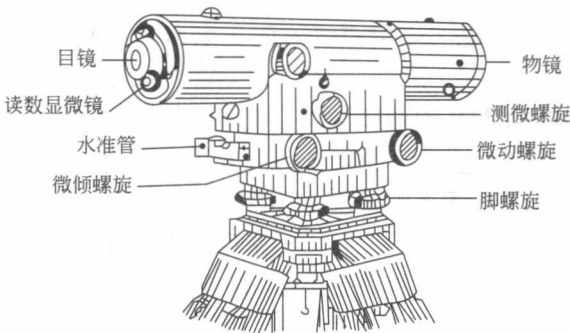


图 2-1-1 DS3 微倾式水准仪

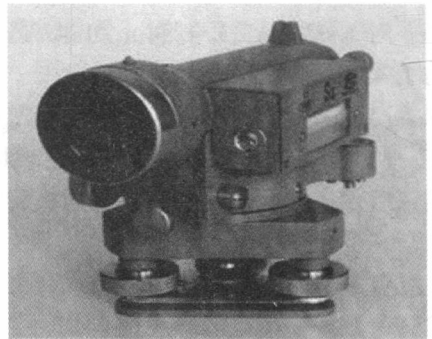


图 2-1-2 DS3 微倾式水准仪实物图

2. 水准仪使用方法

水准仪的使用包括水准仪的安置、粗平、瞄准、精平、读数五个步骤。

(1) 安置

安置是将仪器安装在可以伸缩的三脚架上并置于两观测点之间。首先打开三脚架并使高度适中, 用目估法使架头大致水平并检查脚架是否牢固, 然后打开仪器箱, 让水准仪先预热到与环境温度差不多时才能使用 (这样是为了防止夏冬季节仪器的热胀冷缩而引起的

误差), 然后用连接螺旋将水准仪器连接在三脚架上。

(2) 粗平

粗平是使仪器的视线粗略水平, 利用脚螺旋置圆水准气泡居于圆指标圈之中。在整平过程中, 气泡移动的方向与大拇指运动的方向一致, 如图 2-1-3 所示。

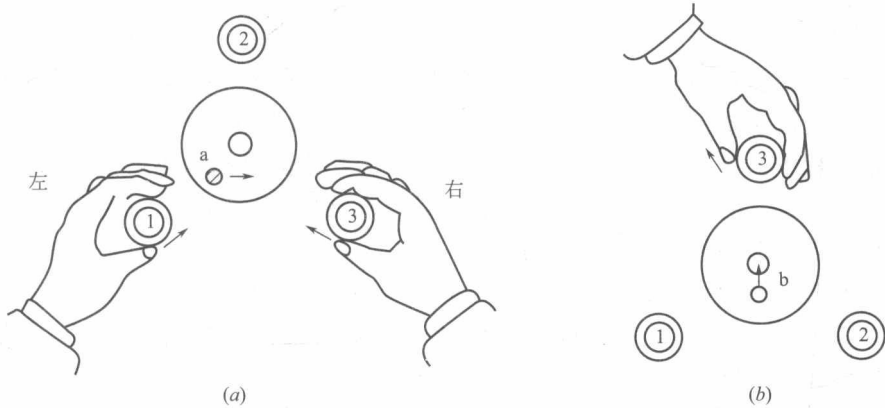


图 2-1-3 圆水准气泡整平

(3) 瞄准

瞄准是用望远镜准确地瞄准目标。首先是把望远镜对向远处明亮的背景, 转动目镜调焦螺旋, 使十字丝最清晰。再松开固定螺旋, 旋转望远镜, 使照门和准星的连接对准水准尺, 拧紧固定螺旋。最后转动物镜对光螺旋, 使水准尺的像清晰地落在十字丝平面上, 再转动微动螺旋, 使水准尺的像靠于十字竖丝的一侧, 以便读数。

(4) 精平

精平是使望远镜的视线精确水平。微倾水准仪, 在水准管上部装有一组棱镜, 可将水准管气泡两端, 折射到镜管旁的符合水准观察窗内, 若气泡居中时, 气泡两端的象将符合成一抛物线形, 说明视线水平。若气泡两端的象不相符合, 说明视线不水平。这时可用右手转动微倾螺旋使气泡两端的象完全符合。

(5) 读数

用十字丝, 截读水准尺上的读数。水准仪多是倒像望远镜, 读数时应由上而下进行。先估读毫米级读数, 后报出全部读数。注意, 水准仪使用步骤一定要按上面顺序进行, 不能颠倒, 特别是读数前的符合水泡调整, 一定要在读数前进行。

注意: 自动安平水准仪没有水准管和微倾螺旋。利用圆水准器粗平后, 借助自动补偿器的作用可迅速获得水平视线的读数。操作简便, 可防止微倾式水准仪在操作中忘记精平的失误。自动安平水准仪无制动螺旋, 靠摩擦制动, 操作过程与 DS3 微倾式水准仪大致相同, 无需精平。

3. 实习步骤

本实验采用一测站水准测量实验, 在地面选定两点分别作为后视点和前视点, 放上尺垫并立尺, 在距两尺距离大致相等处安置水准仪, 粗平, 瞄准后读数; 再瞄准前视尺, 精平后读数。之后变换仪器高度再次进行观测。

四、技术要求

- (1) 两次观测仪器高变化幅度应大于 10cm。
- (2) 两次观测高差之差应小于 5mm。(两次所得高差不得超过 $\pm 6\text{mm}$)。

五、注意事项

水准测量的误差对高程的影响很大，了解误差的性质及其对成果的影响是很有必要的；特别是系统性误差，虽然对单个测站来说微不足道，但累计的结果却是不可忽视的。在整个测量过程中，只要有一个测站出错，就会导致整个测段内的成果不合格。要做到每个测站都正确无误，测量人员必须紧密配合，认真细致地做好扶尺、观测、记录、计算等每一项工作。现将水准测量注意事项列下：

(1) 扶尺“四要”

① 尺子要检查：测量前要检查标尺刻划是否准确，塔尺衔接是否严密，测量过程中要随时检查尺底或尺垫是否粘有泥土。

② 转点要牢靠：转点最好用尺垫，或者选择坚硬稳固而又有凸棱的石头上，保证转点在两个测站的前后视中不改变位置。

③ 扶尺要检查：塔尺如有横向倾斜，观测者易于发现可指挥立直；如前后倾斜则不易发现，会造成读数偏大。故扶尺者身体要站直，如尺上有水准器时要检查使气泡居中。

④ 要用同一的尺：由于塔尺底部的磨损或包铁松动，将会使尺底部零点位置不准，为消除其影响，在同一测段要用同一个尺。且测站数为偶数。

(2) 观测“六要”

① 仪器要检校：测量前要把仪器校正好，使各轴线间满足应有的几何条件。

② 仪器要安稳：中心螺旋连接要稳固可靠，松紧适当，架腿要踩实，观测者不得扶压或骑跨架腿，观测过程中不得碰动仪器。

③ 前、后视要等长：前、后视等长的水准测量，可以消除 i 角误差以及地球曲率的影响，如果地面坡度不大还可消除大气折光的影响。普通水准测量最大视线长度不得大于 150m，视线不要靠近地面，最小读数要大于 0.3m。

④ 视线要水平：使用微倾式水准仪度数前气泡要符合，为避免匆忙读数之差错，读数前后均应检查气泡是否符合。烈日下要打伞。

⑤ 读数要准确：读数前要消除视差，要认准横丝，要认清标尺刻划特点，每次读数最好读两次。

⑥ 迁站要慎重：未读前视读数时不得匆忙搬动仪器，以免使水准路线中间“脱节”，造成返工；中途休息时，应将前视点选择在容易寻找的地方，并作好标志，并做记录，以便下次续测。

(3) 记录“四要”

① 要复诵：读数列入记录时要边记边复诵；避免听错记错。如观测者兼作记录时，记完后可再看一下读数，以资复核。

② 记录要清楚：按规定格式填写，字迹要端正，点号要记清，前后视读数不得遗漏，不得颠倒。

③ 要原始记录：要在现场用硬铅笔（HB）填写在记录簿中，不得誊抄，以免转抄错误。记录错误时，不得用橡皮擦改，要在错误数字处画一横线，并将正确数字写在上方。

④ 计算要复核：记录者要及时根据读数计算出高差，记入记录簿并作计算的检验，再由另一人复核。记录簿要将记录、计算者签名齐全，以明确责任。

六、实习上交成果

- (1) 实验报告。
- (2) 水准测量记录表（表 2-1-1）。

七、思考题

- (1) 水准测量的基本原理是什么？
- (2) 高程测量的主要方法有哪几种？一般来说，何种测量方法的精度最高？
- (3) 什么叫水准点？它有什么作用？
- (4) 我国的高程系统采用什么作为起算基准面？
- (5) 什么叫后视点、后视读数？什么叫前视点、前视读数？高差的正负号是怎样确定的？

水准测量记录表

表 2-1-1

日期：____年____月____日 天气：____ 仪器编号：_____

观测者：_____ 记录者：_____

测站	状态	后视读数 (mm)	前视读数 (mm)	高差 (m)	高差之差 (m)	备注
示例	仪器变高前	1936 1937①	1633②	$0.304③ = (\text{①} - \text{②}) / 1000$	$-0.004⑦ = (\text{⑥} - \text{③})$	
	仪器变高后	2137④	1837⑤	$0.300⑥ = (\text{④} - \text{⑤}) / 1000$		
	仪器变高前					
	仪器变高后					
	仪器变高前					
	仪器变高后					
	仪器变高前					
	仪器变高后					
	仪器变高前					
	仪器变高后					
	仪器变高前					
	仪器变高后					
	仪器变高前					
	仪器变高后					

实验二 普通水准测量

一、实验目的

- (1) 练习普通水准测量的测量、记录和计算。
- (2) 掌握普通水准测量的闭合差调整及高程计算的方法。

二、实验仪器

DS3 微倾式水准仪 1 台、水准尺 1 对、尺垫 2 个、记录板 1 块、测伞 1 把、水准记录手簿 1 本、2H 铅笔 1 支。

三、实验方法与步骤

1. 实验方法

水准测量的原理是利用水准仪提供的“水平视线”，测量两点间高差，从而由已知点高程推算出未知点高程。

- (1) 选定一条水准路线，估计各个转点的位置，确定起始点和水准路线的前进方向。
- (2) 当预测的高程点距水准点较远或高差很大时，就需要连续多次安置仪器以测出两点的高差。
- (3) 根据已知点高程及各测站的观测高差，计算水准路线的高差闭合差，并检查是否超限。对闭合差进行配赋，推算各待定点的高程（要点：等外水准测量精度 $\pm 40\sqrt{L}$ mm 或者 $\pm 12\sqrt{N}$ mm，超限应重测。同一测站两次所测得高差应小于 5mm。闭合差按照路线距离或者测站数配赋）。

2. 实验步骤

- (1) 在地面选定 B、C、D 三个坚固点作为待定高程点（自行选择），BM-A 为已知高程点，由教师提供，其高程值假定为 100.000m。安置仪器于点 A 和点 B 之间，目估前、后视距离大致相等，进行粗略整平和目镜对光。测站编号为 1。

- (2) 后视 A 点上的水准尺，精平后读取后视读数，记入手簿。
- (3) 前视 B 点上的水准尺，精平后读取前视读数，记入手簿。
- (4) 升高（或降低）仪器 10cm 以上，重复步骤（2）、步骤（3）。
- (5) 计算高差

变仪高两次测得的高差较差应小于 6mm，方可以其平均值作为本站高差。

(6) 迁站

沿选定的路线，将仪器迁至 B 和 C 之间。仍按第 1 站上施测的方法，后视 B，前视点 C，依次连续设站，经过点 C 和点 D 连续观测，最后仍回至点 BM-A。

- (7) 计算检核：后视读数之和减前视读数之和应等于高差之和，也等于平均高差之和

的二倍。

(8) 高差闭合差的计算与调整。

(9) 计算待定点高程：根据已知高程点 BM-A 的高程和各点间改正后的高差计算 B、C、D、A 四个点的高程，最后算得的 A 点高程应与已知值相等，以资校核。

四、技术要求

(1) 视线长度应小于 100 m。

(2) 高差容许闭合差 $\pm 12\sqrt{N}$ mm (N 为测站数)。

五、注意事项

(1) 在测站上，观测员按上一个测站上的操作程序进行观测，即：安置—粗平—瞄准—后视尺—精平—读数—瞄准前视尺—精平—读数。观测员读数后，记录员必须向观测员回报，经观测员默许后方可记入记录手簿，并立即计算高差。

(2) 同一测站，只能用脚螺旋整平圆水准器气泡居中一次（该测站返工重测应重新整平圆水准器）。

(3) 在每次读数之前，应使水准管气泡严格居中，并消除视差。

(4) 应使前、后视距离大致相等。

(5) 在已知高程点和待定高程点上不能放置尺垫。转点用尺垫时，应将水准尺置于尺垫半圆球的顶点上。

(6) 尺垫应踏入土中或置于坚固地面上，在观测过程中不得碰动仪器或尺垫，迁站时应保护前视尺垫不得移动。

(7) 水准尺必须扶直，不得前、后倾斜。

六、实习上交成果

(1) 实验报告。

(2) 闭合水准测量记录表（表 2-2-1）。

七、思考题

(1) 在进行水准测量时，观测者应注意哪些事项？为什么？

(2) 在一个测站上的水准记录、计算及检验工作应如何进行？

(3) 由下表列出水准点 A 到水准点 B 的水准测量观测成果，试计算高差、高程并作较核计算，绘图表示其地面起伏变化。

测点	水准尺读数(m)			高差(m)		仪器高(m)	高程(m)	备注
	后视	中视	后视	+	-			
水准点 A	1.691						514.786	
1	1.305		1.985					
2	0.677		1.419					