

职业教育校企合作双元课程思政新型教材  
高等职业技术教育轨道交通类专业系列教材

# 铁路线路工

---

主 编 ◎ 王春茶

副主编 ◎ 刘文华 林瑞棋 林 滢

主 审 ◎ 陈天炎 王 焯

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

## 内容提要

本书为校企合作双元课程思政新型教材。全书共分为9个项目，分别为铁路线路工基础知识、轨道结构、曲线、无缝线路、道岔、线路设备维修、养路机械、工务安全、技术管理等，每个项目分成若干个任务。

本教材适用于城市轨道交通工程技术、铁道工程技术、高速铁路工程、地铁或高速铁路线路工岗位培训等专业或岗位的学生使用。学生通过教学与岗位培训相结合以及模块化+任务驱动模式的学习及考核，将更好地掌握本教材的内容，并能运用于实际工作中。

---

### 图书在版编目（CIP）数据

铁路线路工 / 王春茶主编. — 成都：西南交通大学出版社，2023.9  
职业教育校企合作双元课程思政新型教材 高等职业技术教育轨道交通类专业系列教材  
ISBN 978-7-5643-9484-4

I. ①铁… II. ①王… III. ①铁路线路—高等职业教育—教材 IV. ①U21

中国国家版本馆 CIP 数据核字（2023）第 171884 号

---

职业教育校企合作双元课程思政新型教材  
高等职业技术教育轨道交通类专业系列教材

Tielu Xianlugong

### 铁路线路工

主编 王春茶

---

责任编辑 陈 斌  
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)

邮政编码 610031  
发行部电话 028-87600564 028-87600533  
网址 <http://www.xnjdcbs.com>  
印刷 成都勤德印务有限公司

---

成品尺寸 185 mm × 260 mm  
印张 19  
字数 462 千  
版次 2023 年 9 月第 1 版  
印次 2023 年 9 月第 1 次  
定价 58.00 元  
书号 ISBN 978-7-5643-9484-4

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

# 前言

## PREFACE

本书是福建船政交通职业学院和中铁二十四局集团福建铁路建设有限公司共同编写的校企合作双元课程思政新型教材，可供校内相关专业学生学习或轨道线路维修岗位培训使用。

本书以培养职业能力为核心，以工作实践和岗位为主线，以工作过程为导向，用任务进行驱动，建立以行动（工作）体系为框架的现代课程结构，重新序化课程内容，按照“理论与岗位培训一体化”的教材编写思路，力求体现体系规范、内容先进、知识实用、使用灵活等特点。在教材设计上，本书以实际工作任务为引领，以城市轨道交通工程技术、高速铁路工程等专业岗位工建检修或铁路线路工要求为主线，贯穿课程的始终。本教材分为9个学习和培训项目，包括铁路线路工基础知识、轨道结构、曲线、无缝线路、道岔、线路设备维修、养路机械、工务安全、技术管理等。对每个项目给出了学习情境描述、学习目标、思政案例，以便老师教学和方便学生对章节内容的掌握和学习。本教材兼顾了高职学生学习与企业员工岗位培训需要，注重吸收最新的技术规程、规范，将教学与生产紧密结合，以必须、实用、够用为度，强调高职特色。由于本书内容涵盖城市轨道交通工程技术、铁道工程技术、高速铁路工程、地铁或高速铁路线路工岗位培训等，不同专业在选用上，可根据专业需要选用内容。

本书由福建船政交通职业学院轨道交通学院教师与中铁二十四局集团福建铁路建设有限公司工程师合作撰写而成，由福建船政交通职业学院王春茶担任主编，福建船政交通职业学院刘文华、林淦以及中铁二十四局集团福建铁路建设有限公司林瑞棋担任副主编。本书共分为九个项目，由王春茶撰写，刘文华协助调整完善教材内容和格式排版，林淦协助完善教材配套建设内容，林瑞棋主要负责对教材理实一体合理性提出修改建议。全书由王春茶负责策划、统稿。其中，王春茶撰写字数为205千，刘文华撰写字数为6千，其余由林瑞棋、林淦共同撰写。福建船政交通

职业学院轨道交通学院院长陈天炎、中铁二十四局集团福建铁路建设有限公司人力资源部副部长王焜对本书进行审核。

国内外轨道交通工程技术研究与开发日新月异，相关标准与实践仍在不断发展变化中。本书作者力图充分吸收国内外同行的研究成果，尽可能在书中反映这些成果。由于作者的水平 and 经验有限，本书难免有不足之处，敬请读者批评指正。

为贯彻落实《中共中央关于认真学习宣传贯彻二十大精神的决定》，推动二十大精神进教材、进课堂、进头脑，根据《福建省大中小学教材委员会办公室关于做好党的二十大精神进教材工作的通知》（闽委教办〔2022〕10号）要求，本书新增二十大精神内容。

编 者  
2023年3月

# 目 录

## CONTENTS

项目一 基础知识 .....	001
任务一 工程制图 .....	002
任务二 工程力学 .....	006
任务三 工程测量 .....	011
任务四 线路基础 .....	019
任务五 路 基 .....	027
任务六 桥隧建筑物 .....	033
复习思考题 .....	039
项目二 轨道结构 .....	040
任务一 钢 轨 .....	041
任务二 轨 枕 .....	046
任务三 联结零件 .....	051
任务四 碎石道床 .....	068
任务五 整体道床 .....	070
任务六 直线轨道的几何形位 .....	072
任务七 车 挡 .....	076
任务八 标志标记 .....	078
复习思考题 .....	085
项目三 曲 线 .....	086
任务一 曲线要素 .....	086
任务二 曲线加宽 .....	091
任务三 曲线正矢 .....	092
任务四 曲线超高 .....	099
任务五 曲线缩短轨 .....	102
任务六 曲线常见病害原因及整治方法 .....	105
复习思考题 .....	109

项目四 无缝线路 .....	110
任务一 无缝线路的基本概念 .....	111
任务二 无缝线路的原理 .....	113
任务三 无缝线路稳定性 .....	124
任务四 预留轨缝计算 .....	126
任务五 特殊地段无缝线路 .....	130
任务六 无缝线路故障处理 .....	132
任务七 无缝线路养护维修 .....	139
复习思考题 .....	152
项目五 道岔 .....	154
任务一 道岔的功用及类型 .....	155
任务二 单开道岔的构造 .....	156
任务三 单开道岔几何尺寸 .....	165
任务四 单开道岔布置 .....	169
任务五 交叉渡线 .....	174
任务六 道岔常见病害的预防及整治 .....	176
复习思考题 .....	182
项目六 线路设备维修 .....	183
任务一 线路设备维修工作内容及工作组织 .....	184
任务二 线路设备维修标准 .....	188
任务三 线路设备单项作业 .....	197
任务四 轨道电路及工电配合 .....	231
复习思考题 .....	238
项目七 养路机械 .....	239
任务一 液压传动原理 .....	240
任务二 常用小型机械 .....	242

任务三 大型养路机械·····	256
复习思考题·····	261
项目八 工务安全·····	262
任务一 行车安全·····	263
任务二 人身安全·····	274
复习思考题·····	276
项目九 技术管理·····	277
任务一 工务设备技术管理·····	277
任务二 班组及施工管理·····	278
任务三 工务施工组织·····	283
任务四 工程概预算·····	289
复习思考题·····	293
参考文献·····	294
附录 A·····	295
附录 B·····	296

# 项目一 基础知识

---

## ◆ 学习情境描述

你知道铁路线路工需要掌握哪些轨道工程制图知识吗？

城市轨道交通包含哪些类型，它和道路的区别是什么呢？你知道信号系统在城市轨道交通中的作用吗？它经历了哪几个发展阶段呢？请你搜索并阅读相关资料，找到这些问题的答案。

## ◆ 学习目标

- (1) 使学生了解识读工程图的方法。
- (2) 掌握力学分析计算方法。
- (3) 了解测量的原理及基本方法。
- (4) 掌握线路的分类以及车站、桥隧建筑物构造。
- (5) 掌握线路标准、限界、路基结构。

## ◆ 思政案例（求实严谨，精益求精）

福建船政优秀校友詹天佑主持修建中国自主设计并建造的第一条铁路——京张铁路。

詹天佑（1861年4月26日—1919年4月24日），生于广东南海县，中国近代铁路工程专家，被誉为中国首位铁路总工程师，有“中国铁路之父”“中国近代工程之父”之称。

詹天佑主持修建中国自主设计并建造的第一条铁路——京张铁路；创设“竖井开凿法”和“人”字形线路，震惊中外；在筹划修建沪嘉、洛潼、津芦、锦州、萍醴、新易、潮汕、粤汉等铁路中，成绩斐然。

詹天佑担任京张铁路总工程师，完成中国人自己设计修筑铁路的梦想，这个总工程师，其实是从勘测设计到施工建设全部过程的总工程师。

詹天佑只要进入工作状态就非常投入，他一般不怎么讲话，多用手势向学员示意，徐士远与张鸿浩都了解他的这一习惯，因而都能做到配合默契。他们从柳村往彰仪门（广安门），重新勘测往万寿山去的线路。

詹天佑经常勉励工作人员说：“我们的工作首先要精密，不能有一点儿马虎。”他亲自带着学生和工人，扛着标杆，背着经纬仪，在峭壁上定点、测绘。

塞外常常狂风怒号，黄沙满天，一不小心还有坠入深谷的危险。不管条件怎样恶劣，詹天佑始终坚持在野外工作。白天，他攀山越岭，勘测线路；晚上，他就在油灯下绘图，计算。

为了寻找一条合适的线路，他常常请教当地的农民。遇到困难，他总是想：这是中国人自己修筑的第一条铁路，一定要把它修好；否则，不但惹外国人讥笑，还会使中国的工程师失掉信心。





詹天佑的事迹充分体现了他实干、精益求精的精神。詹天佑出身于平民之家，他将终生奉献给中国交通事业，他是铁路事业的科技骄子。詹天佑求学规矩勤勉，做事严谨认真，做人不卑不亢，学术兢兢业业。

二十大报告提出加快构建新发展格局，建设现代化产业体系，加快建设交通强国，我们要将思想认识统一到习近平总书记关于加快建设交通强国重要指示精神上来，深刻领悟加快建设交通强国的重大现实意义和深远历史意义。弘扬詹天佑“求实严谨，精益求精”的精神，为全面建设社会主义现代化国家和全面推进中华民族伟大复兴贡献力量。

【本思政案例参考文献：詹同济，等. 詹天佑生平志：詹天佑与中国铁路及工程建设[M]. 广州：广东人民出版社，1995.】

## 任务一 工程制图

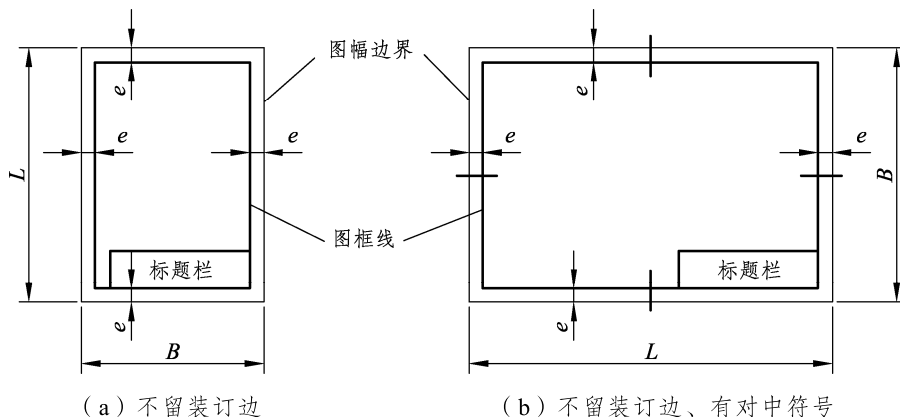
### 一、图纸幅面和标题栏

#### 1. 图纸幅面和格式

绘制工程图纸时，应优先采用表 1-1 中规定的基本幅面尺寸。绘图时必须在图纸上用粗实线画出图框，其格式分为留有装订边和不留有装订边两种，如图 1-1 所示，但同一套图纸只能采用一种格式。图纸可以横放也可以竖放，需要装订的图样，一般采用 A3 幅面横装或 A4 幅面竖装。

表 1-1 工程图纸基本幅面尺寸

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
$B \times L$	841 × 1189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	210 × 297
$e$	20		10		
$a$	25				
$c$	10			5	



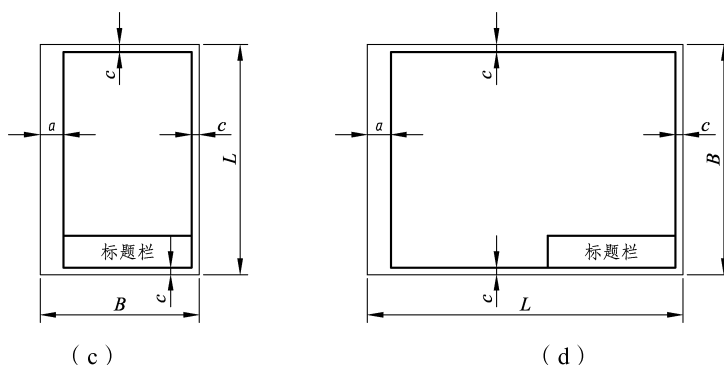


图 1-1 图纸幅面和图框格式

## 2. 标题栏

图纸的标题栏简称图标，用来填写设计单位、工程名称、图名、图纸编号、绘图比例、设计者和审核者等内容，其位置在图纸的右下角，如图 1-2 所示。



图 1-2 标题栏

## 3. 比例

比例是指图中图形与其实物相应要素的线性尺寸之比。比例的大小是指比值的大小，如 1:50 大于 1:100。

## 4. 尺寸标注

在工程样图中，除了要用视图表达工程物体各部分的形状外，还必须标注出其完整的尺寸，作为施工的依据，如图 1-3 所示。

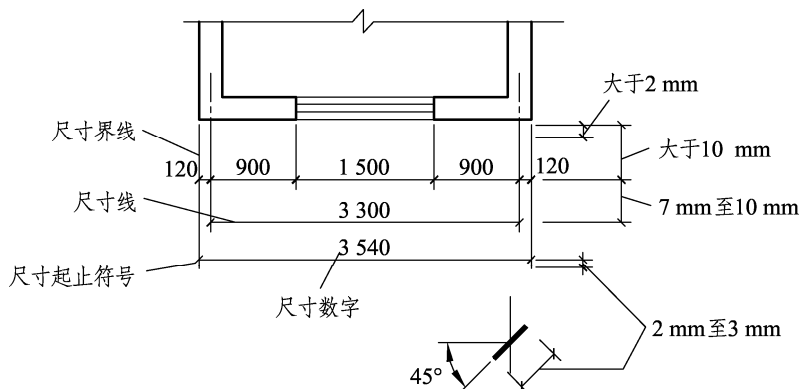


图 1-3 尺寸标注



## 二、三视图的画法

【例 1-1】 根据形体的直观图，如图 1-4 所示，画其三视图，并标注尺寸。

【解】 分析：作投影图时，应使正面投影较明显地反映形体的外形特征，故将形体具有特征的一面平行  $V$  面，并照顾其他投影图的虚线尽量少。图 1-4 中箭头所示为正面投影的方向，此时反映形体特征的前、后面平行  $V$  面，正面投影反映实形，形体的其他表面垂直  $V$  面，其正面投影均积聚前、后面投影的轮廓线上。同理，可分析  $H$  面、 $W$  面的投影。

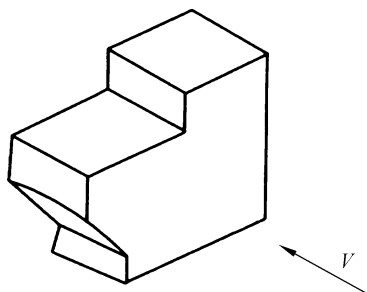


图 1-4 形体直观图

作图：一般先从反映实形的投影作起，再依据三面投影规律画出其他投影。其方法和步骤如表 1-2 所示。

表 1-2 画三面投影图的方法步骤

<p>(a) 画投影轴，按尺寸作正面投影（反映前面实形）</p>	<p>(b) 画水平投影（量取宽度尺寸）</p>
<p>(c) 根据正面投影、水平投影，作侧面投影</p>	<p>(d) 去掉作图线，整理加深，标注尺寸</p>

## 三、线路平面图

用一定的比例尺，把线路中心线及其两侧的地面情况投影到水平面上，就是线路平面图。线路平面图和纵断面图是勘测设计、施工和运营的重要文件。

图 1-5 中的粗实线为线路中心线，由图可以看出线路的走向及直、曲线情况。该段线路范围包括三段直线、两段曲线。





## 任务二 工程力学

### 一、力的基本概念

力——物体间相互的机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生改变。

力的三要素：力的大小、力的方向、力的作用点。

力系——作用于物体上的一群力。

力矩——力矩就是衡量力使物体产生转动时其转动效果的物理量。如果用扳手拧螺母时，力矩等于力的大小和力臂的乘积，即  $Fd$ （见图 1-7）。

平衡——物体相对于惯性参考系（如地面）保持静止或做匀速直线运动。作用在刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要和充分条件是这两个力的大小相等、方向相反，且在同一直线上，即  $F_1 = -F_2$ ，如图 1-8 所示。

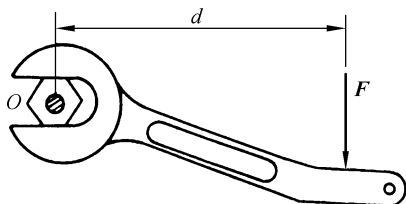


图 1-7 力矩示意图

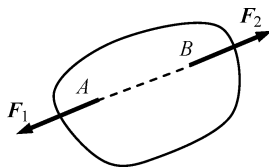


图 1-8 力的平衡

自由体——位移不受限制的物体，如飞机、小鸟等。

非自由体——位移受限制的物体，如火车、电机转子、挂在钢索上的重物。

约束——对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体，如铁轨对于火车、轴承对于电机转子、钢索对于重物等。

约束的类型有以下几种：

（1）柔性约束：由绳索、皮带和链条等物体所形成的约束，称为柔性约束。这类约束只能受拉而不能受压。它们只能限制物体向绳索沿拉伸方向的运动。

（2）光滑接触面约束：由具有光滑接触面的物体所形成的约束，称为光滑接触面约束。它只能阻碍物体沿支承面的法线方向的运动，因此，光滑接触面的约束反力方向是沿着接触面的法线而指向物体，它是一种推力，反力作用点为接触点。通常用拉丁字母  $N$  表示这种约束反力。

（3）圆柱形铰接约束：如图 1-9 所示为圆柱形铰链约束，支座 1 和杆件 2 都有圆孔，用一个圆柱形销钉 3 将它们连接起来。由于支座与支承面固结，使杆件不能产生任何的移动，只能绕销钉轴转动。当杆 2 受荷载作用时，杆件的孔壁便压紧在销钉下，这样销钉将通过接触点给杆一个反力  $R$ ，这个反力的作用线沿接触面公法线而指向杆件，并通过销钉中心。但是，随着杆件所受的主动动力不同，杆与销接触点的位置也随之不同，因此，约束反力的方向尚不能确定。通常用两个方向相互垂直的分力  $R_x$ 、 $R_y$  来代替。

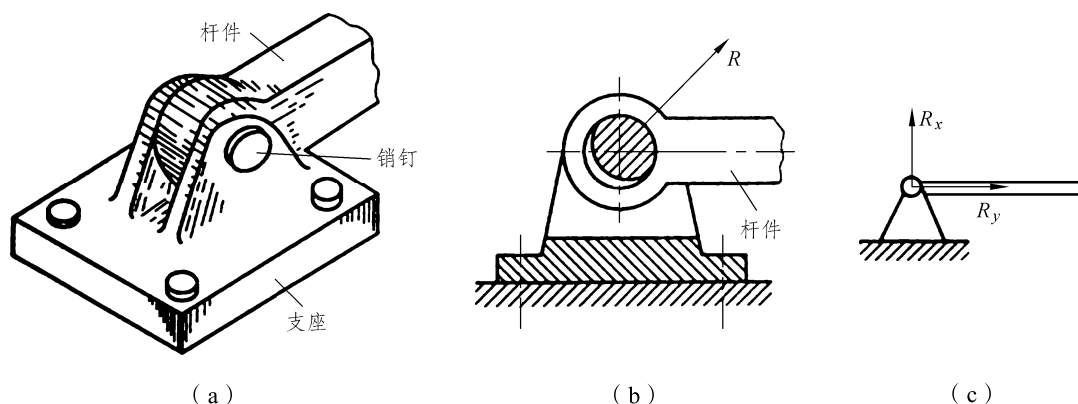


图 1-9 圆柱形铰接约束

图 1-10 (a) 所示圆柱形铰接支座可沿支承面移动, 因此, 它只能限制杆件沿支承面垂直方向的运动, 这种可动铰接的约束反力  $R$  的作用线过铰接中心并垂直于支承面, 如图 1-10 (b) 所示。可动铰接支座的简图如图 1-10 (c) 所示。

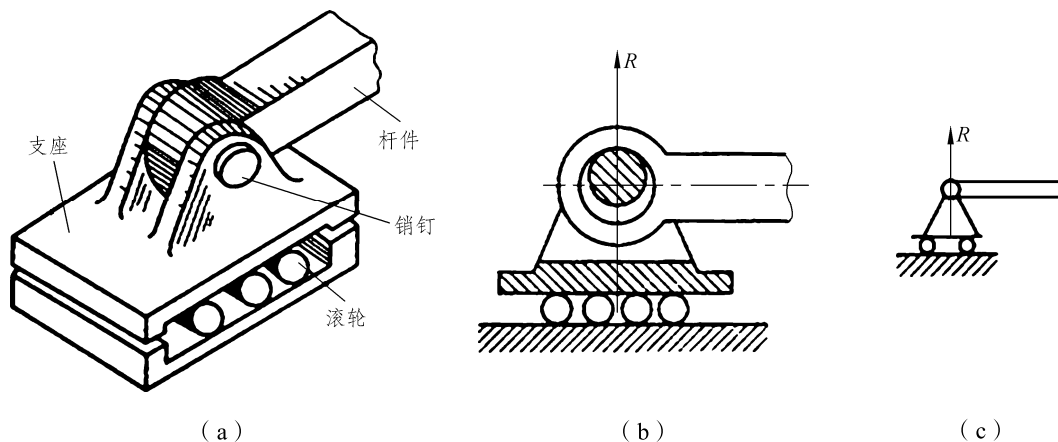


图 1-10 铰接支座

(4) 轴承约束: 轴可以在孔内任意转动, 也可以沿孔轴线做微量移动, 但是, 轴不能沿径向向外运动。若不计摩擦, 则轴承的约束反力  $R$  是由接触点沿公法线而指向圆心。但是, 随着轴所受的主动力的不同, 轴与孔的接触点位置也随之改变, 所以约束反力的方向尚不能确定, 一般用两个相互垂直的分力  $R_x$ 、 $R_y$  来表示。

**强度:** 构件抵抗破坏的能力称为强度。构件在外力作用下必须具有足够的强度才不致发生破坏, 即不发生强度失效。

**刚度:** 构件抵抗变形的能力称为刚度。在某些情况下, 构件虽有足够的强度, 但若刚度不够, 即受力后产生的变形过大, 也会影响正常工作。因此设计时, 必须使构件具有足够的刚度, 使其变形限制在工程允许的范围, 即不发生刚度失效。

**稳定性:** 构件在外力作用下保持原有形状下平衡的能力称为稳定性。例如, 受压力作用的细长直杆, 当压力较小时, 其直线形状的平衡是稳定的; 但当压力过大时, 直杆不能保持



直线形状下的平衡，称为失稳。这类构件须具有足够的稳定性，即不发生稳定失效。

**轴向拉伸或压缩：**直杆受到与轴线重合的外力作用时，杆的变形主要是轴线方向的伸长或缩短。这种变形称为轴向拉伸或压缩，如图 1-11 (a)、(b) 所示。

**扭转：**直杆在垂直于轴线的平面内，受到大小相等、方向相反的力偶作用时，各横截面相互发生转动。这种变形称为扭转，如图 1-11 (c) 所示。

**弯曲：**直杆受到垂直于轴线的力或在包含轴线的平面内的力偶作用时，杆的轴线发生弯曲。这种变形称为弯曲，如图 1-11 (d) 所示。

**组合变形：**杆在外力作用下，若同时发生两种或两种以上的基本变形，则称为组合变形。

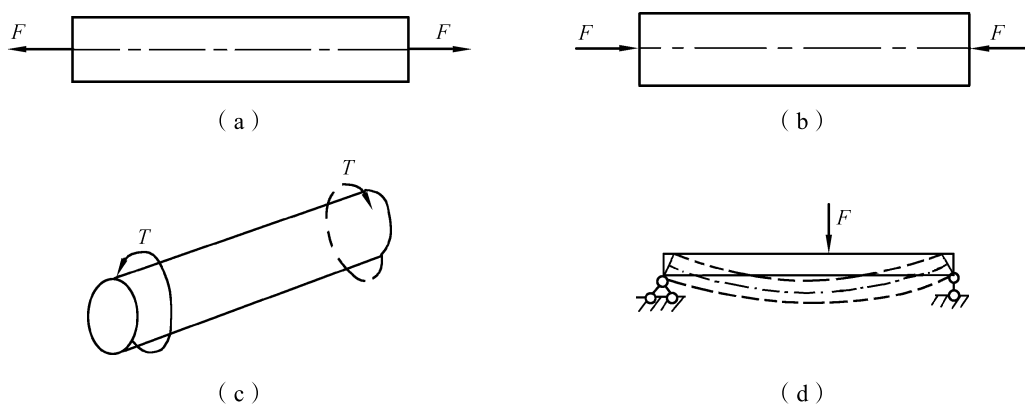


图 1-11 杆件的几种基本变形

## 二、画受力图

(1) 取研究对象（即取分离体）——把要研究的物体从周围物体中分离出来，单独画出简图。

(2) 画主动力。

(3) 画约束力。

**【例 1-2】** 如图 1-12 所示，不计杆 CD 的自重，试分别画出杆 CD 和梁 AB（包括电机）的受力图。水平梁 AB 用斜杆 CD 支撑，A、C、D 三处均为光滑铰链连接，均质梁重  $P_1$ ，其上放置一重为  $P_2$  的电动机。

**【解】** (1) 首先分析 CD 杆，CD 杆是二力杆。杆 CD 自重不计，只在两点受力，所以 C、D 点约束力必等值、反向、共线，当约束力指向不能事先判定时，可先假定为受拉或受压。

(2) 分析 AB 梁受力。梁在 D 点受杆 CD 的约束力，该力与  $F_D$  是作用与反作用关系。

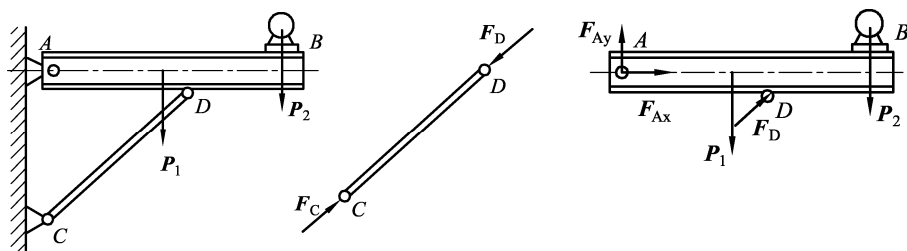


图 1-12 杆 CD 和梁 AB 受力图



根据平面任意力系的平衡方程：

$$\begin{aligned} \text{一般式: } \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ \sum M_O(F) &= 0 \end{aligned}$$

三个方程，可求解三个未知量。

【例 1-3】 已知： $q = 2 \text{ kN/m}$ ， $P = 1 \text{ kN}$ ， $M = 4 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。求支座  $A$ 、 $B$  处的约束力。

【解】 (1) 取刚架研究，受力分析如图 1-13 所示。

(2) 列平衡方程。

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 & \quad P + F_{Ax} = 0 \\ \sum F_y = 0 & \quad -3q + F_{Ay} + F_{NB} = 0 \\ \sum M_A(F) = 0 & \quad -P \times 2 - 3q \times 1.5 - M + F_{NB} \times 3 = 0 \end{aligned}$$

(3) 解方程。

$$\begin{aligned} F_{Ax} &= -P = -1 \text{ kN} \quad (\text{向左}) \\ F_{NB} &= 5 \text{ kN} \\ F_{Ay} &= 1 \text{ kN} \end{aligned}$$

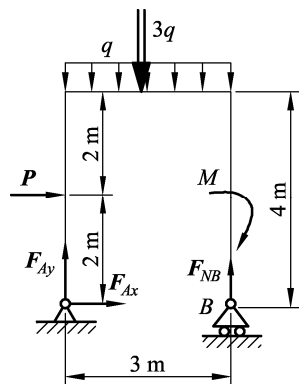


图 1-13 刚架受力分析

### 三、应力与强度

物体内部之间的作用力，这部分力叫内力，如一简支梁，我们假想用一平面将其截断后，则这两部分之间有作用力，这个力就是内力，内力我们又称之为应力。

由于外力作用在物体外部的的方式不同，物体内部所产生的应力也不同。应力可分为：

(1) 抗拉力：二人拉一根绳子，绳子就有拉长的倾向，在绳子断面上产生一种反抗拉力的应力，叫作抗拉力，也叫抗拉张力。

(2) 抗压力：桥梁荷载通过支座压在桥墩上，桥墩有压缩的趋向，在桥墩的断面上产生一种反抗压缩的力，叫抗压力。

(3) 抗剪力：外力作用在物体上像剪刀或铡刀一样，有两个力，一个向下，一个向上（不在同一直线上），物体有被剪切的倾向，在物体内产生一种抗剪切的力，叫作抗剪力。

(4) 抗挠曲应力：外力作用在一物体上，使物体有弯曲的趋势（如人站在跳板上，跳板会发生弯曲），物体抵抗弯曲的力叫抗挠曲应力。这应力在物体的断面上，上部为抗压应力，下部为抗拉应力。中间不受力。应力的大小一般用单位面积所承受的内力来表示：

$$\text{应力} = \text{力} \div \text{断面积}$$

(5) 应力的极限：凡一物体每单位面积所能承受的最大应力，称为极限强度。超过这一强度，物体就要破裂或折断。

(6) 安全系数及容许应力：在工程结构及吊装作业中，无论钢丝绳、钢材、木材或混凝土材料，在使用时的容许应力，不能等于极限强度，而应低于极限强度。极限强度等于





容许应力的多少倍，人们把这个倍数叫安全系数（俗称保险系数）。因此，容许应力可按下列式求得：

$$\text{容许应力} = \text{极限强度} \div \text{安全系数}$$

#### 四、强度条件和强度计算

对于等截面直杆，内力最大的横截面称为危险截面，危险截面上应力最大的点就是危险点。拉压杆件危险点处的最大工作应力由公式计算，当该点的最大工作应力不超过材料的容许正应力时，就能保证杆件正常工作。

因此，等截面拉压直杆的强度条件为：

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{N\max}}{A} \leq [\sigma]$$

式中， $F_{N\max}$  为杆的最大轴力，即危险截面上的轴力。利用上式可以进行三方面的强度计算：

##### 1. 校核强度

当杆的横截面面积  $A$ 、材料的容许正应力  $[\sigma]$  及杆所受荷载为已知时，可由公式校核杆的最大工作应力是否满足强度条件的要求。如杆的最大工作应力超过了容许应力，工程上规定，只要超过的部分在容许应力的 5% 以内，仍可以认为杆是安全的。

##### 2. 设计截面

当杆所受荷载及材料的容许正应力  $[\sigma]$  为已知时，可由公式选择杆所需的横截面面积，即

$$A \geq \frac{F_{N\max}}{[\sigma]}$$

再根据不同的截面形状，确定截面的尺寸。

##### 3. 求容许荷载

当杆的横截面面积  $A$  及材料的容许正应力  $[\sigma]$  为已知时，可由公式求出杆所容许产生的最大轴力为：

$$F_{N\max} \leq A[\sigma]$$

再由此可确定杆所容许承受的荷载。

**【例 1-4】** 如图 1-14 所示支架，AB 杆为圆截面杆， $d=30\text{ mm}$ ，BC 杆为正方形截面杆，其边长  $a=60\text{ mm}$ ， $F=10\text{ kN}$ ，试求 AB 杆和 BC 杆横截面上的正应力。

**【解】**

$$\begin{aligned} F_{NAB} \cos 30^\circ &= -F_{NBC} \\ \sigma_{BC} &= \frac{F_{NBC}}{A_{BC}} = -4.8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

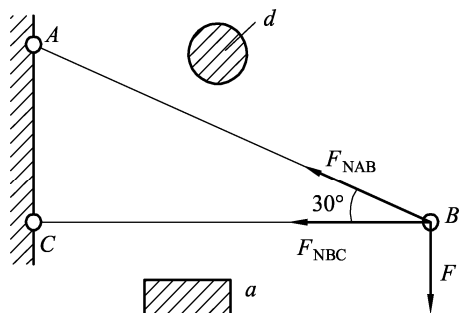


图 1-14 支架受力分析



## 任务三 工程测量

绝对高程（或称海拔），是指地面点沿垂线方向至大地水准面的距离（见图 1-15）。我国在青岛设立验潮站，长期观测和记录黄海海水面的高低变化，取其平均值作为绝对高程的基准面。目前，我国采用的“1985 年国家高程基准”，是以 1950 年至 1979 年青岛验潮站观测资料确定的黄海平均海面作为绝对高程基准面，并在青岛市观象山建立了国家水准原点，其高程为 72.260 米，作为我国高程测量的依据。

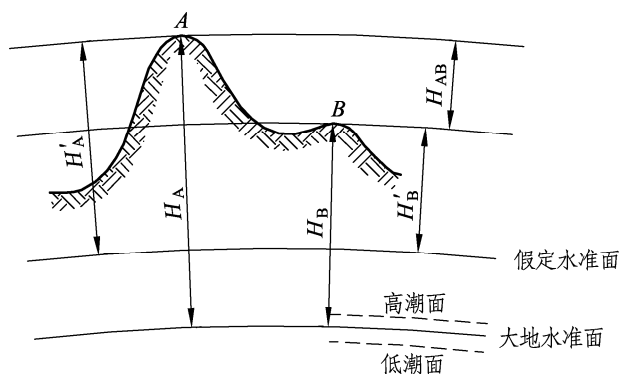


图 1-15 高程

### 一、水准测量原理

#### 1. 一个测站测量两点高差（见图 1-16）

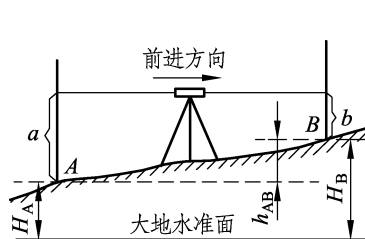


图 1-16 一测站高差

$$h_{AB} = a - b$$

$$H_B = H_A + h_{AB}$$

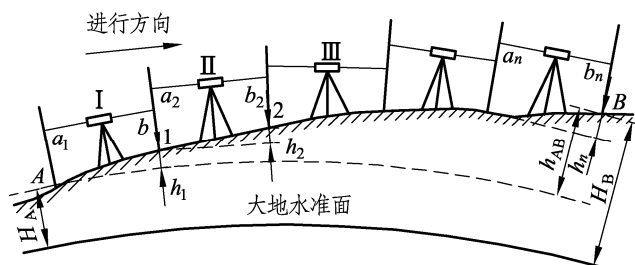


图 1-17 多测站高差

#### 2. 多个测站测量两点高差（见图 1-17）

$$h_1 = a_1 - b_1$$

$$h_2 = a_2 - b_2$$

$$\vdots$$

$$h_n = a_n - b_n$$

$$h_{AB} = \sum h = \sum a - \sum b$$



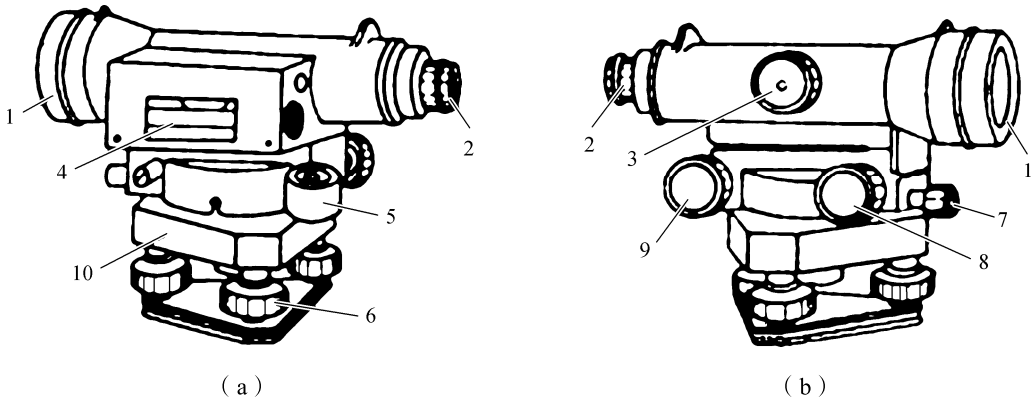
测站：置镜点。

转点：既有前视读数又有后视读数，起传递高程作用的点。

水准测量原理：利用水平视线来比较两点的高低，求出两点的高差。

## 二、DS<sub>3</sub>微倾式水准仪的构造（见图 1-18）

- (1) 望远镜：提供视线，并读出远处水准尺上的读数。
- (2) 水准器：用于指示仪器或视线是否处于水平位置。
- (3) 基座：用于置平仪器，它支撑仪器的上部并能使仪器的上部在水平方向转动。



1—物镜；2—目镜；3—调焦螺旋；4—管水准器；5—圆水准器；6—脚螺旋；  
7—制动螺旋；8—微动螺旋；9—微倾螺旋；10—基座。

图 1-18 水准仪构造

## 三、水准测量的方法

水准测量施测方法如图 1-19 所示。图中  $A$  为已知高程的点， $B$  为待求高程的点。首先在已知高程的起始点  $A$  上竖立水准尺，在测量前进方向离起点不超过 200 m 处设立第一个转点  $Z_1$ ，必要时可放置尺垫，并竖立水准尺。在离这两点等距离处  $I$  安置水准仪。仪器粗略整平后，先照准起始点  $A$  上的水准尺，用微倾螺旋使气泡符合后，读取  $A$  点的后视读数。然后照准转点  $Z_1$  上的水准尺，气泡符合后读取  $Z_1$  点的前视读数。把读数记入手簿（见表 1-3），并计

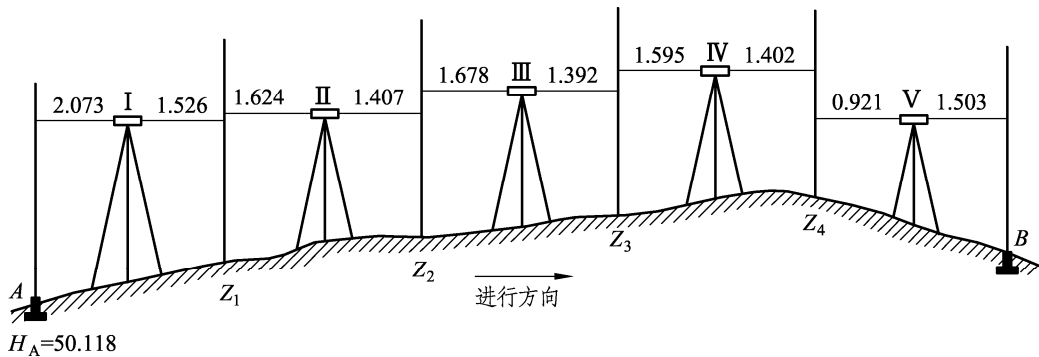


图 1-19 水准测量方法



算出这两点间的高差。此后在转点  $Z_1$  处的水准尺不动，仅把尺面转向前进方向。在  $A$  点的水准尺和  $I$  点的水准仪则向前转移，水准尺安置在与第一站有同样间距的转点  $Z_2$ ，而水准仪则安置在离  $Z_1$ 、 $Z_2$  两转点等距离处的测站  $II$ 。按在第 1 站同样的步骤和方法读取后视读数和前视读数，并计算出高差。如此继续进行直到待求高程点  $B$ 。

表 1-3 水准测量记录手簿

日期：\_\_\_\_\_ 地点：\_\_\_\_\_ 观测：\_\_\_\_\_  
天气：\_\_\_\_\_ 仪器：\_\_\_\_\_ 记录：\_\_\_\_\_

测点	后视读数	前视读数	高差		高程	备注
			+	-		
$A$	2.073				50.118	已知 $A$ 点高程 = 50.118
$Z_1$	1.624	1.526	0.547			
$Z_2$	1.678	1.407	0.217			
$Z_3$	1.595	1.392	0.286			
$Z_4$	0.921	1.402	0.193			
$B$		1.503		0.582	50.779	
$\Sigma$	7.891	7.230	1.243	0.582		
计算检核	$\frac{-7.230}{\Sigma a - \Sigma b = +0.661}$		$\frac{-0.582}{\Sigma h = +0.661}$		$\frac{-50.118}{H_B - H_A = +0.661}$	

#### 四、水平角测量原理

确定地面点的空间位置：坐标与高程坐标是根据点之间的水平距离与水平角推算出来的。高程也可以根据点之间的水平距离或斜距与竖直角推算出来。

水平角：是地面上从一点出发的空间两直线之间的夹角在水平面上的投影所形成的夹角，用  $\beta$  表示。例如，空间三个点  $A$ 、 $B$ 、 $C$  所构成的水平角，如图 1-20 所示，水平角的取值范围： $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

竖直角：是在同一个竖直平面内倾斜视线与水平线之间的夹角，用  $\alpha$  表示。倾斜视线在水平线的上方为仰角，用正号表示；倾斜视线在水平线的下方为俯角，用负号表示。

#### 五、DJ<sub>6</sub> 光学经纬仪

##### 1. 基本构造

如图 1-21 所示，光学经纬仪由照准部、水平度盘、基座三部分组成。

(1) 照准部：由望远镜、读数显微镜、竖直度盘、竖轴、支架、照准部水准管、圆水准器、照准部旋转轴、横轴、光学对中器组成。望远镜与竖直度盘安装在同一根旋转轴（横轴）

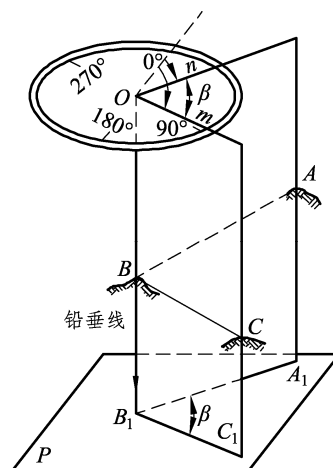


图 1-20 水平角观测原理



上，望远镜与竖直度盘一起旋转。照准部上设有望远镜制动螺旋与微动螺旋，以及竖直度盘指标水准管与竖直度盘指标水准管微动螺旋（用自动归零补偿器装置代替）。

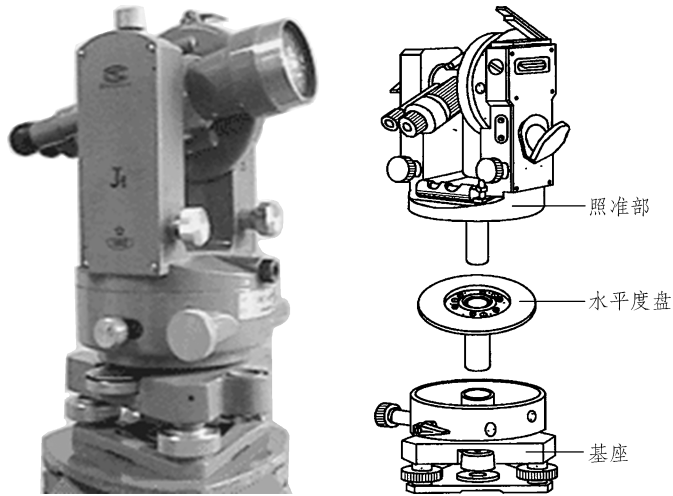


图 1-21 DJ<sub>6</sub> 光学经纬仪的构造

(2) 水平度盘部分：水平度盘用光学玻璃制造，有  $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$  的等间隔分划线，按照顺时针方向注记。度盘分划值：两相邻分划线间的弧长所对的圆心角，通常为  $1^{\circ}$  或  $30'$ 。复测扳手（离合器）：扳下复测扳手，水平度盘与照准部连接一体，水平度盘与照准部一起旋转，读数显微镜上的读数不改变。扳上复测扳手，水平度盘与照准部分离，水平度盘不动，不与照准部一起旋转，读数显微镜上的读数改变。

(3) 基座部分：由基座、脚螺旋、连接板组成。使用光学经纬仪时，要特别注意不要松开基座上的固定螺丝。

## 2. 读数装置

如图 1-22 所示，光学经纬仪的读数采用显微放大装置和测微装置。

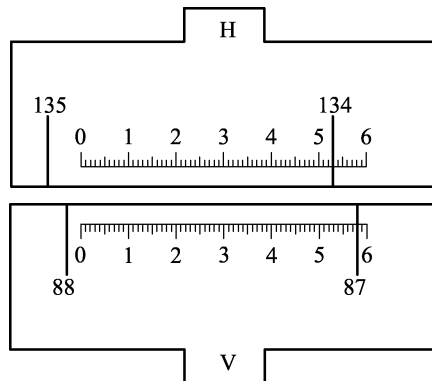


图 1-22 读数装置

DJ<sub>6</sub> 光学经纬仪一般采用分微尺读数装置。其总长为度盘分划间隔长度。H 为水平读数，V 为竖直读数，度盘分划值为  $1^{\circ}$ ，60 格，每格为  $1'$ ，估读  $0.1'$ 。



## 六、测回法测水平角（见图 1-23）

（1）在  $O$  点安置经纬仪，对中、整平后盘左位置精确瞄准左目标  $A$ ，调整水平度盘为零度稍大，读数  $A_{左}$ 。

（2）松开水平制动螺旋，顺时针转动照准部，瞄准右方  $B$  目标，读取水平度盘读数  $B_{左}$ 。以上称上半测回，角值为：

$$\beta_{左} = B_{左} - A_{左}$$

（3）松开水平及竖直制动螺旋，盘右瞄准右方  $B$  目标，读取水平度盘读数  $B_{右}$ ，再瞄准左方目标  $A$ ，读取水平度盘读数  $A_{右}$ 。以上称下半测回，角值为：

$$\beta_{右} = B_{右} - A_{右}$$

（4）上、下半测回合称一测回。

$$\beta = \frac{1}{2}(\beta_{左} + \beta_{右})$$

必须注意：

- （1）上、下半测回的角值之差不大于  $40''$  时，才能取其平均值作为一测回观测成果。
- （2）水平度盘是按顺时针方向登记的，因此半测回角值必须是右目标读数减去左目标读数，当不够减时则将右目标读数加上  $360^\circ$ 。

## 七、竖直角观测与计算

如图 1-24 所示，竖直角观测计算步骤如下：

（1）将仪器安置于测站点  $O$  上，盘左瞄准目标点  $A$ （中丝切于目标顶部），如图 1-25 所示。

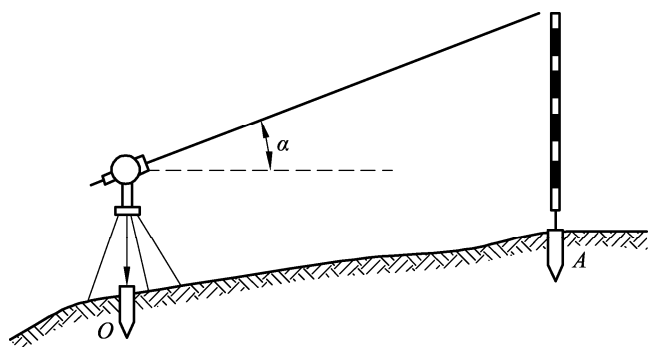


图 1-24 竖直角观测

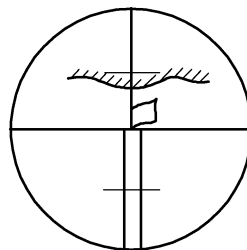


图 1-25 竖直角观测瞄准

（2）调节竖盘指标水准管气泡居中，读数为  $L$ ，并记录，计算盘左时的竖直角  $\alpha_L$ ， $\alpha_L = 90^\circ - L$ 。

（3）盘右再瞄准  $A$  点并调节竖盘指标水准管气泡居中，读数为  $R$ ，记录并计算盘右时的竖直角  $\alpha_R$ ， $\alpha_R = R - 270^\circ$ 。



(4) 计算竖直角  $\alpha$ 。

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_L + \alpha_R)$$

## 八、距离丈量

距离测量是确定地面点位之间的长度测量。距离测量的方法：钢尺量距、视距测量、电磁波测距，根据测距等级要求选择测距方法。

### 1. 量距工具

(1) 钢尺：有钢卷尺、带状尺，宽 10~15 mm、厚 0.4 mm，有 20 m、30 m、50 m 尺长。基本分划为厘米，每分米、每米处有数字注记。

端点尺是钢尺的最外端作为尺子零点，如图 1-26 (a) 所示。

刻线尺是尺子零点位于钢尺内部，如图 1-26 (b) 所示。

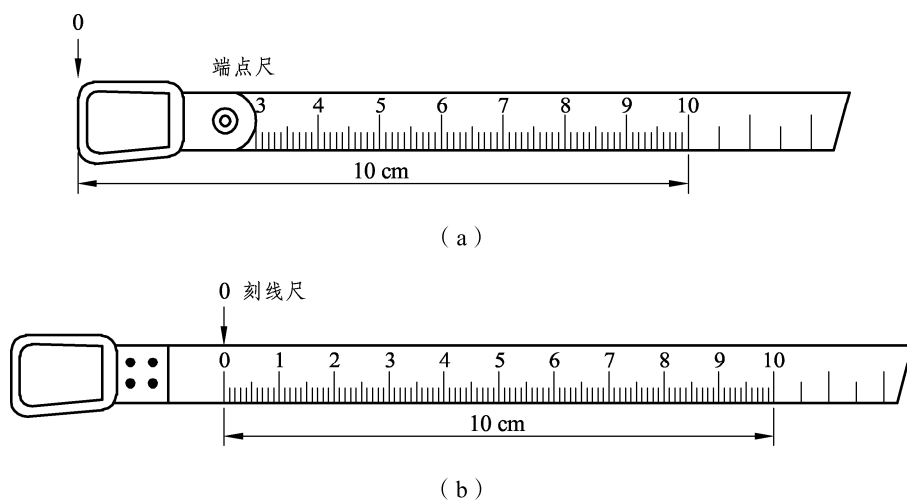


图 1-26 钢尺端点

(2) 皮尺：用于低精度量距，伸缩较大，有 20 m、30 m、50 m 尺长。

皮尺基本分划为厘米，每分米、每米处有数字注记，用于地形碎部测量和施工放样。

(3) 花杆（标杆）：长 2 m、3 m，20 cm 红白相间，用于显示目标，直线定线。

(4) 测钎：确定尺端点位置，用于对点、标点、投点。

### 2. 直线定线

直线定线是指在量距过程中，两点距离过长，需分段丈量，保证每一尺段均沿着直线方向进行，需要在两直线之间标出一些点。根据丈量精度要求，直线定线分为标杆目测定线和经纬仪定线。

(1) 标杆目测定线（单眼视线与花杆边缘相切）。

两点间通视定线如图 1-27 所示，A、B 两点之间定 1、2 点。

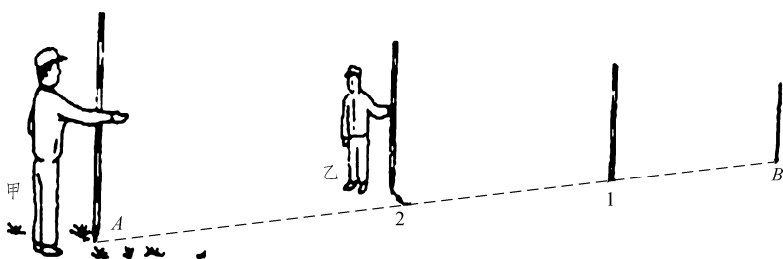


图 1-27 直线定线

## (2) 经纬仪定线。

在  $A$  点安置经纬仪，对中、整平、瞄准  $B$  点处花杆底部，固定水平制动螺旋，指挥定点。

## 3. 距离丈量

## (1) 钢尺一般量距。

在一般量距中，花杆定线与尺段量距同时进行，需要三人（前尺手、后尺手、记录员）。

## (2) 平坦地面钢尺量距过程。

① 标点：直线起终点  $A$ 、 $B$ ，中间点用测钎。

② 定线：后尺手拿尺的零端位于起点，前尺手拿尺的末端沿线前进，约一整尺，后尺手指挥前尺手移动花杆，用测钎标定一整尺。

③ 对点：对起点  $A$ 。

④ 持平：尺拉直拉平。

⑤ 投点：前尺手用测钎将尺的末端刻线投于地面上，以此循环前插后收测钎。

⑥ 测余长  $\Delta_L$ ：由前尺手用尺上某整刻划线对准终点  $B$ ，后尺手用尺的零端读数至毫米。

$A$ 、 $B$  两点之间的距离为：

$$D_0 = n \times L + \Delta_L$$

式中  $n$ ——整尺段数；

$L$ ——整尺段长；

$\Delta_L$ ——余长。

$$D = (D_{\text{往}} + D_{\text{返}}) / 2$$

$$\Delta_D = D_{\text{往}} - D_{\text{返}}$$

精度评定：

相对误差为：

$$K = \frac{|\Delta_D|}{D} = \frac{1}{D/|\Delta_D|}$$

精度要求：

平坦地段：1/2 000；困难地段：1/1 000。





## 九、直线定向

### 1. 方位角

以子午线北方向为起始方向顺时针转到该直线方向的水平夹角 ( $0^\circ \sim 360^\circ$ )。

以真子午线北端起算的方位角为真方位角, 用天文学方法或陀螺经纬仪测量。

以磁子午线北端起算的方位角为磁方位角, 用罗盘仪测量磁方位角。

由坐标子午线 (坐标纵轴) 起算的方位角, 称为坐标方位角。

### 2. 正反方位角

设直线  $AB$  前进方向的  $\alpha_{AB}$  为正方位角, 其反方向  $BA$  的方位角  $\alpha_{BA}$  为反方位角, 同一条直线的正、反方位角相差  $180^\circ$ 。

### 3. 象限角

由坐标纵轴的北端或南端起, 沿顺时针或逆时针方向量至直线的锐角, 称为该直线的象限角, 其角值范围为  $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

## 十、切线支距法测设曲线

### 1. 坐标计算公式

如图 1-28 所示, 它是以  $ZH$  (或  $HZ$ ) 为坐标原点, 以切线为  $x$  轴, 垂直切线方向为  $y$  轴。

(1) 缓和曲线部分。

$$\left. \begin{aligned} x &= l - \frac{l^5}{40R^2l_0^2} \\ y &= \frac{l^3}{4Rl_0} \end{aligned} \right\}$$

(2) 圆曲线部分。

$$\left. \begin{aligned} x_i &= R \cdot \sin \alpha_i + m \\ y_i &= R(1 - \cos \alpha_i) + P \end{aligned} \right\}$$

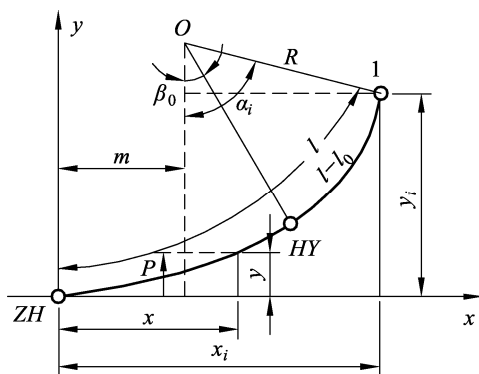


图 1-28 曲线测设

式中,  $\alpha_i = \frac{l_i - l_0}{R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} + \beta_0$

### 2. 测设方法

测设时从  $ZY$  或  $YZ$  开始, 沿切线方向直接量出  $x_i$  并钉桩, 若  $y_i$  较小时, 可用方向架或直角器在  $x_i$  点测设曲线点, 当  $y_i$  较大时, 应在  $x_i$  处安置经纬仪来测设。或者利用全站仪, 用坐标放样方法测设曲线。