

中华人民共和国国家标准

UDC 669.539.32

金属杨氏模量、弦线模量、切线模量 和泊松比试验方法(静态法)

GB 8653—88

Metallic materials—Determination of Young's modulus,
chord modulus, tangent modulus and Poisson's ratio
(statical method)

本标准适用于室温下用静态法测定金属材料弹性状态的杨氏模量、弦线模量、切线模量和泊松比。

1 原理

试样施加轴向力,在其弹性范围内测定相应的轴向变形和横向变形,以便测定本标准所定义的一项或几项力学性能。

注:轴向力:沿试样纵轴方向施加的拉伸力和压缩力。

轴向变形:在平面内平行于试样纵轴方向线长度的伸长和缩短。

横向变形:在平面内垂直于试样纵轴方向线长度的缩短和伸长。

2 定义

2.1 试样平行长度(L_c):试样两头部或两夹持部分(不带头试样)之间的平行长度。

2.2 试样原始标距(L_0):在试样上用以测量试样长度变化的两标记间原始长度。

2.3 引伸计标距:用引伸计测量试样变形时所使用试样部分的长度(此长度一般不应大于试样原始标距 L_0 ,但不小于试样直径 d_0 或宽度 b_0)。

2.3.1 轴向引伸计标距(L_{e1}):测量试样轴向变形的引伸计标距。

2.3.2 横向引伸计标距(L_{e2}):测量试样横向变形的引伸计标距。

2.4 应力(标称应力)(σ):试验时轴向力除以试样原始横截面积的商。

2.5 应变(标称线应变):试样在轴向力下其原始线性尺寸单位长度的变化。

2.5.1 轴向应变(ϵ_1):在平面内平行于试样纵轴方向的线应变。

2.5.2 横向应变(ϵ_2):在平面内垂直于试样纵轴方向的线应变。

2.6 杨氏模量(E):轴向应力与轴向应变成线性比例关系范围内的轴向应力与轴向应变之比。

有许多金属材料,其拉伸杨氏模量与压缩杨氏模量有差别,应注意区分。

2.6.1 拉伸杨氏模量(E_t):轴向拉伸应力与轴向拉伸应变成线性比例关系范围内的轴向拉伸应力与轴向拉伸应变之比。

2.6.2 压缩杨氏模量(E_c):轴向压缩应力与轴向压缩应变成线性比例关系范围内的轴向压缩应力与轴向压缩应变之比。

2.7 弦线模量(E_{ch}):在弹性范围内轴向应力-轴向应变曲线上任两规定点之间弦线的斜率。

2.8 切线模量(E_{tan}):在弹性范围内轴向应力-轴向应变曲线上任一规定应力或应变值处的斜率。

注:弦线模量和切线模量适用于呈非线性弹性状态的金属材料。

2.9 泊松比(μ):轴向应力与轴向应变成线性比例关系范围内横向应变与轴向应变之比的绝对值。

中华人民共和国冶金工业部 1988-01-18 批准

1989-02-01 实施

3 符号、名称和单位

符号、名称和单位列于表 1:

表 1

序号	符号	名称	单位
1	a_0	矩形试样原始厚度	mm
2	b_0	矩形试样平行长度部分的原始宽度	
3	d_0	圆形试样平行长度部分的原始直径	
4	L_c	试样平行长度	
5	L_0	试样原始标距	
6	L_{e1}	轴向引伸计标距	
7	L_{et}	横向引伸计标距	
8	ΔL_{e1}	试样轴向变形	
9	ΔL_{et}	试样横向变形	
10	Δl	轴向变形增量	
11	Δt	横向变形增量	
12	S_0	试样平行长度部分的原始横截面积	mm ²
13	F	轴向力	N
14	ΔF	轴向力增量	
15	σ	轴向应力	N/mm ²
16	$\bar{\sigma}$	轴向应力的平均值	
17	E	杨氏模量	
18	E_t	拉伸杨氏模量	
19	E_c	压缩杨氏模量	
20	E_{ch}	弦线模量	
21	E_{tan}	切线模量	
22	ϵ_l	轴向应变	%
23	ϵ_t	横向应变	
24	$\bar{\epsilon}_l$	轴向应变的平均值	
25	$\bar{\epsilon}_t$	横向应变的平均值	
26	V_1	斜率变度系数	
27	μ	泊松比	
28	γ	相关系数	
29	k	数据对数目	
30	Σ	从 1~k 累加符号	

4 试样

4.1 试样形状和尺寸

- 4.1.1 圆形和矩形拉伸试样按 GB 6397—86《金属拉伸试验试样》的规定。
- 4.1.2 圆形和矩形压缩试样按 GB 7314—87《金属压缩试验方法》的规定。
- 4.1.3 通过协商可以采用其他类形的试样。
- 4.1.4 试样头部形状和尺寸应适合于试验机夹头的夹持。
- 4.1.5 头部带承载销孔的矩形拉伸试样,销孔中心与标距部分的宽度的中心线偏离应不大于标距部分宽度的 0.005 倍。
- 4.1.6 两面和四面机加工的矩形试样,其机加工面的表面粗糙度应不大于 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ 。

4.2 样坯的切取与试样制备

- 4.2.1 样坯切取的部位、方向和数量应按有关标准或协议的规定。
- 4.2.2 切取样坯和机加工试样时,应防止因冷加工或受热而影响金属的力学性能。
- 4.2.3 完成最后机加工的试样,应平直、无毛刺、表面无划伤及其他人为或机械损伤。
- 4.2.4 从带卷切取的薄板试样,允许带有不影响性能测定的轻度弯曲。
- 4.2.5 对于薄板的矩形试样,可以在试样宽度两侧制备小凸耳(不允许制备小缺口)供装卡引伸计用。带凸耳的矩形试样,见 GB 3076—82《金属薄板(带)拉伸试验方法》和 GB 7314—87。引伸计装卡于同侧两凸耳的外侧或内侧,其引伸计标距应为两凸耳宽度中心线之间的距离。

4.3 试样贮存:试样应置于干燥无腐蚀介质的室温环境中存放,并防止贮存期间产生变形和表面损伤。

5 试样尺寸的测量

5.1 圆形试样应在标距两端及中间处相互垂直的方向上测量直径,各取其算术平均值,按公式(1)计算横截面积。将三处测得横截面积的算术平均值作为试样原始横截面积。

$$S_0 = \frac{1}{4} \pi d_0^2 \dots\dots\dots (1)$$

5.2 矩形试样应在标距两端及中间处测量厚度和宽度,按公式(2)计算横截面积。将三处测得横截面积的算术平均值作为试样原始横截面积。

$$S_0 = a_0 b_0 \dots\dots\dots (2)$$

注:带凸耳的试样,不应在靠近凸耳根部处测量其宽度。

5.3 测量试样原始横截面尺寸的量具应满足表 2 规定的要求。测量时应估读到量具最小刻度的半个刻度值。

表 2 mm

横截面尺寸	量具最小刻度值,不大于
0.1~0.5	0.001
>0.5~2.0	0.002
>2.0~10.0	0.01
>10.0	0.05

5.4 测量试样尺寸的量具应由计量部门定期检定。

6 试验设备

6.1 试验机

- 6.1.1 各种类型的试验机均可使用,其误差应符合或优于 JJG 139—83《拉力、压力和万能材料试验机检定规程》或 JJG 157—83《小负荷材料试验机检定规程》的 1 级试验机要求。
- 6.1.2 试验机应备有调速指示装置,能在本标准规定的速度范围内灵活调节。
- 6.1.3 试验机应具有记录或显示装置,满足本标准测定力学性能的要求。
- 6.1.4 压缩试验用的试验机,除了要满足 6.1.1~6.1.3 条要求外,其他辅助装置,例如调平台、力的导向装置和约束装置等的要求,按 GB 7314—87 中第 3 章“试验设备”的规定。

6.2 引伸计

6.2.1 引伸计(包括记录器或指示器)应进行标定,标定时的工作状态应尽可能与试验时的工作状态相同。引伸计的标定与分级方法应按 GB 228—87《金属拉伸试验方法》附录 A 进行。计算的标定系数保留 4 位有效数字,计算的应变示值误差保留两位有效数字。

6.2.2 经标定的引伸计,在日常试验前应注意检查,当发现异常,应重新进行标定。

6.2.3 用于测定杨氏模量、弦线模量、切线模量的轴向引伸计和用于测定泊松比的横向引伸计均不应低于B级。仲裁试验应达A级。横向引伸计的标定系数为轴向引伸计标定系数的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 之间为宜。

6.2.4 测量试样轴向变形时,推荐使用能测量试样相对两侧平均变形的均值引伸计。

6.2.5 测量试样横向变形时,横向引伸计应装卡在试样标距范围内的直径(宽度)上。以此处的直径(宽度)尺寸作为横向引伸计标距。

7 试验条件

7.1 试验速度:为了避免发生绝热膨胀或绝热收缩的影响,并能够准确测定轴向力和相应的变形,试验速度不应过高,但为了避免蠕变影响,速度不应太低,一般对于拉伸试验,弹性应力增加速率应在 $1 \sim 20 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内;对于压缩试验,弹性应力增加速率应在 $1 \sim 10 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内,速度应尽可能保持恒定。

7.2 力的同轴度:试验机和夹持装置应能使试样承受轴向力,在初轴向力与终轴向力之间,在试样相对两侧测定的应变增量与其平均值之差不应大于3%。

7.2.1 两头部带承载销孔的薄板矩形拉伸试样,销孔中心与标距部分宽度中心线的偏离满足4.1.5条要求时,则可达到7.2条规定的力的同轴度要求。

7.2.2 压缩试验,使用GB 7314—87中规定的调平台和力的导向装置以及约束装置,则可达到7.2条规定的力的同轴度要求。

7.3 压缩试验的其他试验条件均按GB 7314—87执行。

7.4 试验应在室温($10 \sim 35 \text{ }^\circ\text{C}$)下进行。

8 性能测定

8.1 杨氏模量的测定

8.1.1 图解法:试验时,用自动记录方法绘制轴向力-轴向变形曲线,见图1。绘制曲线时,力轴比例的选择应使轴向力-轴向变形曲线的弹性直线段的高度超过力轴量程的 $\frac{3}{5}$ 以上。变形放大倍数的选择应使轴向力-轴向变形曲线的弹性直线段与力轴的夹角不小于 40° 为宜。在记录的轴向力-轴向变形曲线上,确定弹性直线段,在该直线段上读取相距尽量远的A、B两点之间的轴向力增量和相应的轴向变形增量,按公式(3)计算杨氏模量。

$$E = \left(\frac{\Delta F}{S_0} \right) / \left(\frac{\Delta l}{L_0} \right) \dots\dots\dots (3)$$

注:可以借助于直尺将弹性直线段延长,在相距较远的两点之间读取轴向力增量和相应的轴向变形增量。

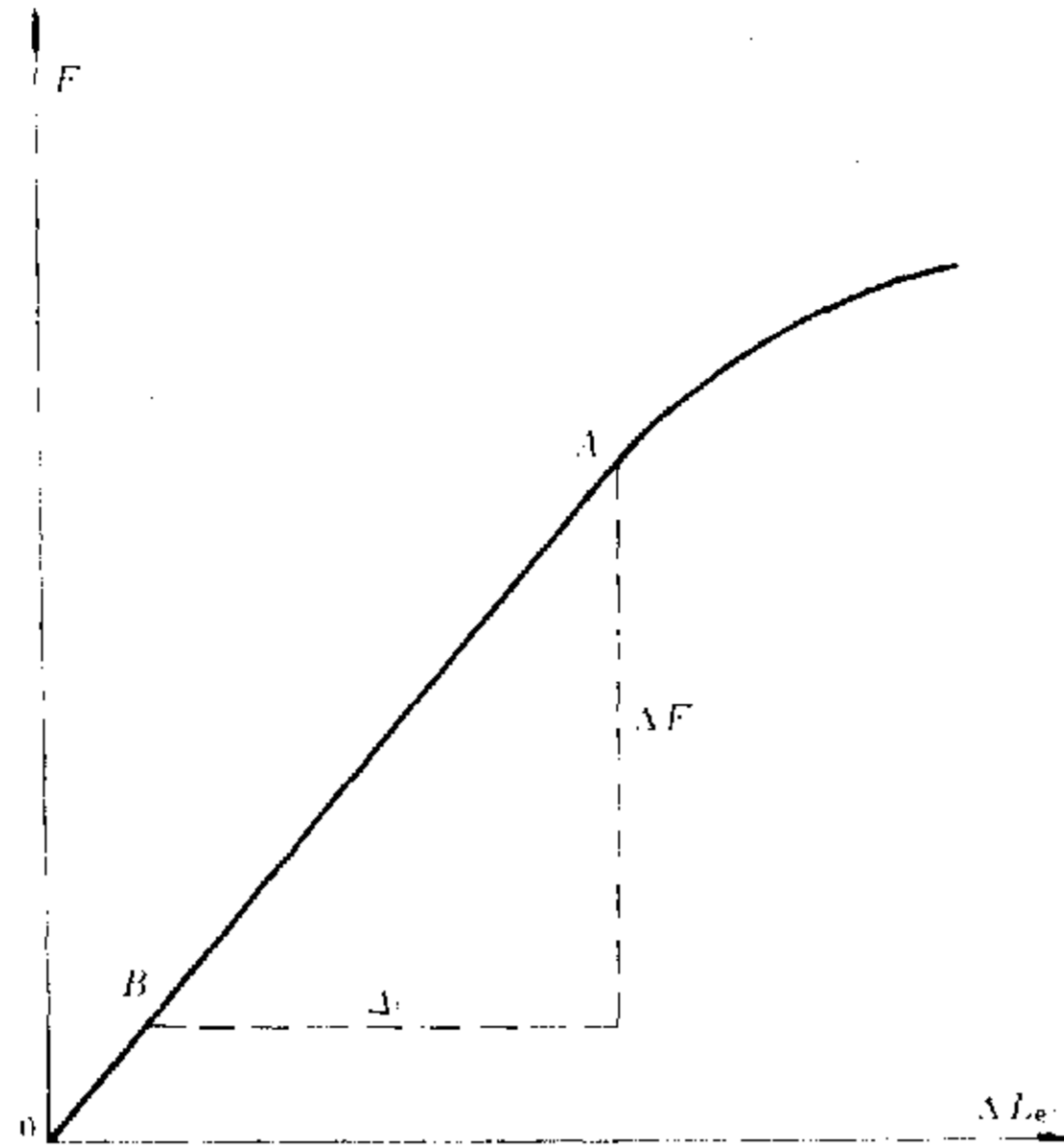


图 1

8.1.2 拟合法：试验时，在弹性范围内记录轴向力和与其相应的轴向变形的一组数字数据对。数据对的数目一般不少于 8 对。用最小二乘法将数据对拟合轴向应力 - 轴向应变直线，拟合直线的斜率即为杨氏模量，按公式(4)计算。

$$E = [\Sigma(\epsilon_i \sigma) - k \bar{\epsilon}_i \bar{\sigma}] / (\Sigma \epsilon_i^2 - k \bar{\epsilon}_i^2) \dots\dots\dots (4)$$

式中： $\epsilon_i = \frac{\Delta L_{e_i}}{L_{e_i}}$

$$\bar{\epsilon}_i = \frac{\Sigma \epsilon_i}{k}$$

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\Sigma \sigma}{k}$$

8.1.2.1 按公式(5)计算拟合直线的斜率变度系数，其值在 2% 以内，所得杨氏模量值为有效。

$$V_1 = [(\frac{1}{\gamma^2} - 1) / (k - 2)]^{\frac{1}{2}} \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$$\gamma^2 = [\Sigma(\epsilon_i \sigma) - \frac{\Sigma \epsilon_i \Sigma \sigma}{k}]^2 / \{[\Sigma \epsilon_i^2 - \frac{(\Sigma \epsilon_i)^2}{k}] \cdot [\Sigma \sigma^2 - \frac{(\Sigma \sigma)^2}{k}]\}$$

8.1.3 有关标准或协议在規定杨氏模量时，应说明拉伸杨氏模量或压缩杨氏模量，分别用 E_t 和 E_c 表示。如无说明，一般采用拉伸方法测定，报告为 E 值。

8.2 弦线模量的测定

8.2.1 图解法：试验时，用自动记录方法绘制轴向力 - 轴向变形曲线，见图 2。绘制曲线时，力轴比例的选择应使所画弦线的上应力点对应的力处于力轴量程的 $\frac{2}{5}$ 以上。变形放大倍数的选择应使所画的弦线与力轴夹角不小于 40° 为宜。在记录的轴向力 - 轴向变形曲线上，通过与所规定的上、下两应力点（例如规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ 的 10% 和 50% 两应力点）或两应变点相对应的 A、B 两点画弦线，在所

画出的弦线上读取轴向力增量和相应的轴向变形增量,按公式(6)计算弦线模量。

$$E_{ch} = \left(\frac{\Delta F}{S_0}\right) / \left(\frac{\Delta l}{L_{e1}}\right) \dots\dots\dots (6)$$

注:可以借助于直尺将所画出的弦线延长,在相距较远的两点之间读取轴向力增量和相应的轴向变形增量。

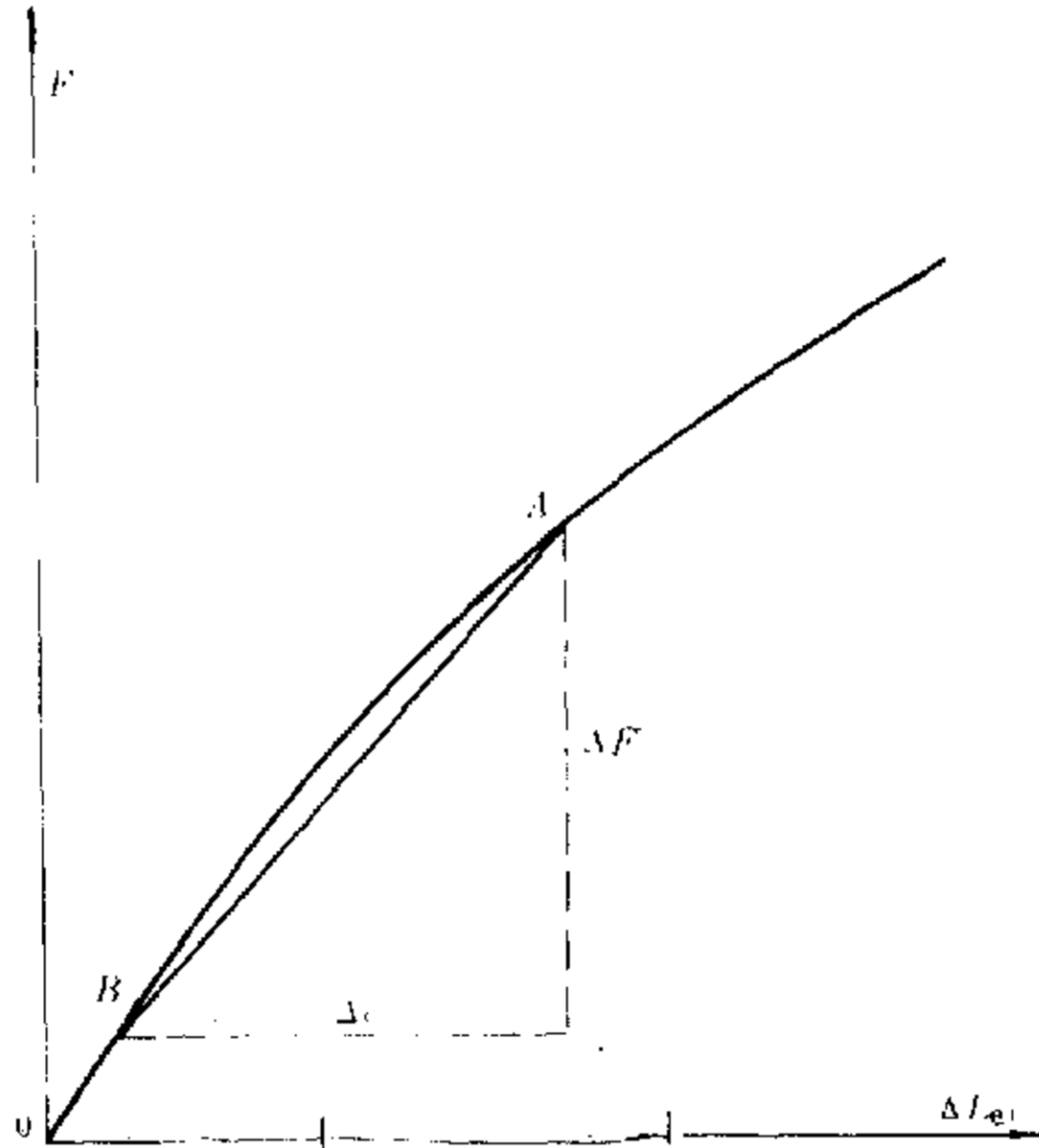


图 2

8.2.2 拟合法: 试验时,在弹性范围内记录轴向力和相应的轴向变形的一组数字数据对。将该组数据对拟合一数学表达式(例如多项式),得到拟合的轴向应力-轴向应变曲线。在拟合的轴向应力-轴向应变曲线的弹性范围内计算两规定应力或应变值之间所对应弦线的斜率,即为弦线模量。

注:对于非线性弹性金属材料,有关标准或协议在确定弦线模量时,应说明确定弦线的上、下两点的应力或应变值。

8.3 切线模量的测定

8.3.1 图解法: 试验时,用自动记录方法绘制轴向力-轴向变形曲线,见图3。绘制曲线时,力轴比例的选择应使所规定应力点对应的轴向力处于力轴量程的 $\frac{2}{3}$ 以上。变形放大倍数的选择应使所画的切线与力轴的夹角不小于 40° 为宜。在记录的轴向力-轴向变形曲线上,通过规定应力或应变值对应的B点作曲线的切线。在所画出的切线上读取相距尽量远的A、B两点之间的轴向力增量和相应的轴向变形增量。按公式(7)计算切线模量。

$$E_{tan} = \left(\frac{\Delta F}{S_0}\right) / \left(\frac{\Delta l}{L_{e1}}\right) \dots\dots\dots (7)$$

8.3.2 拟合法: 试验时,在弹性范围内记录轴向力和相应的轴向变形的一组数字数据对,将该组数据对拟合一数学表达式(例如多项式),得到拟合的轴向应力-轴向应变曲线。在拟合的轴向应力-轴向应变曲线的弹性范围内计算曲线在指定应力或应变值处的斜率,即为切线模量。

注:对于非线性弹性金属材料,有关标准或协议在确定切线模量时,应说明切点的应力或应变值。

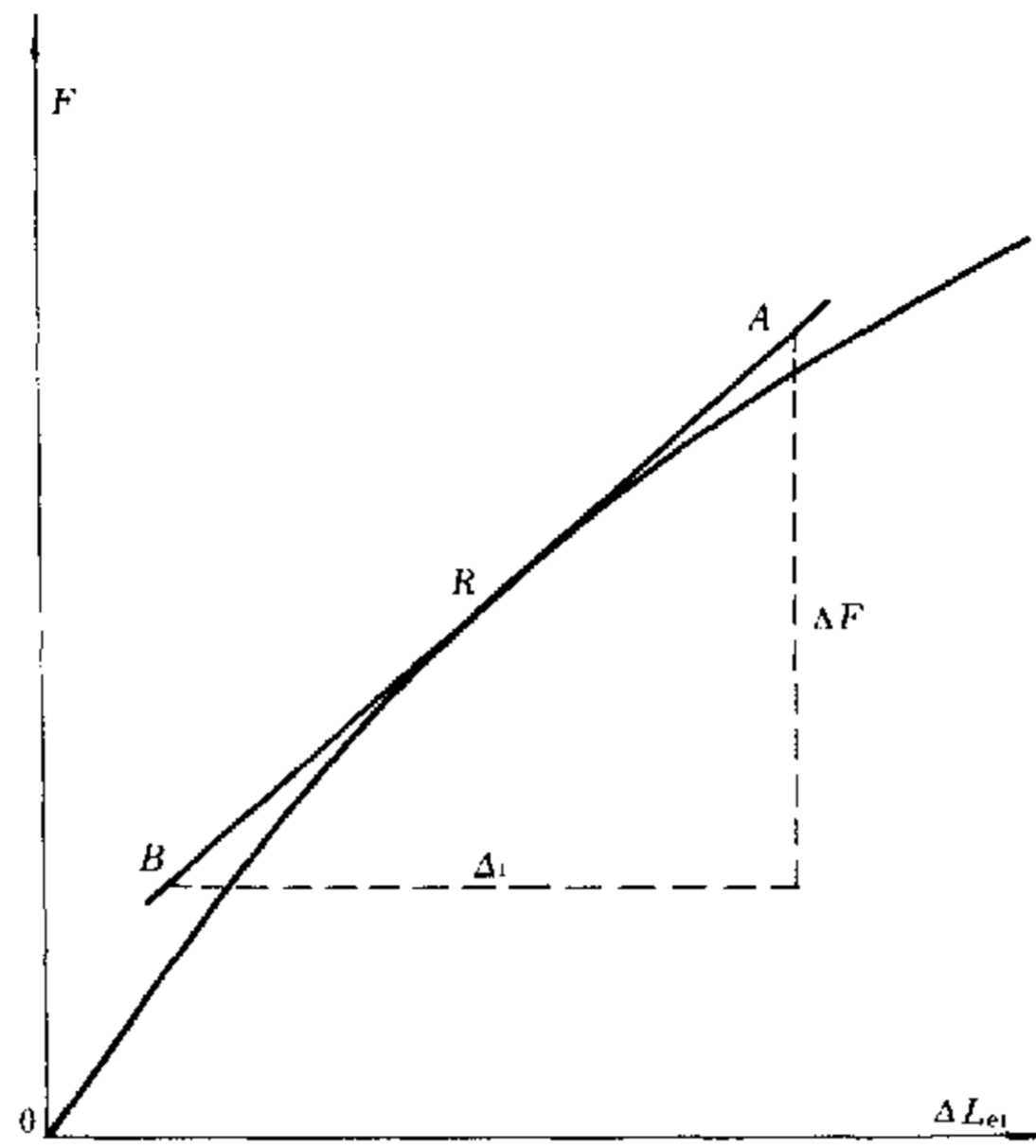


图 3

8.4 泊松比的测定

8.4.1 图解法 1: 试验时, 用自动记录方法绘制横向变形 - 轴向变形曲线, 见图 4。在记录的横向变形 - 轴向变形曲线上, 确定弹性直线段, 在直线段上读取相距尽量远的 C、D 两点之间的横向变形增量和相应的轴向变形增量。按公式(8)计算泊松比。

$$\mu = \left(\frac{\Delta_t}{L_{e1}}\right) / \left(\frac{\Delta_1}{L_{e1}}\right) \dots\dots\dots (8)$$

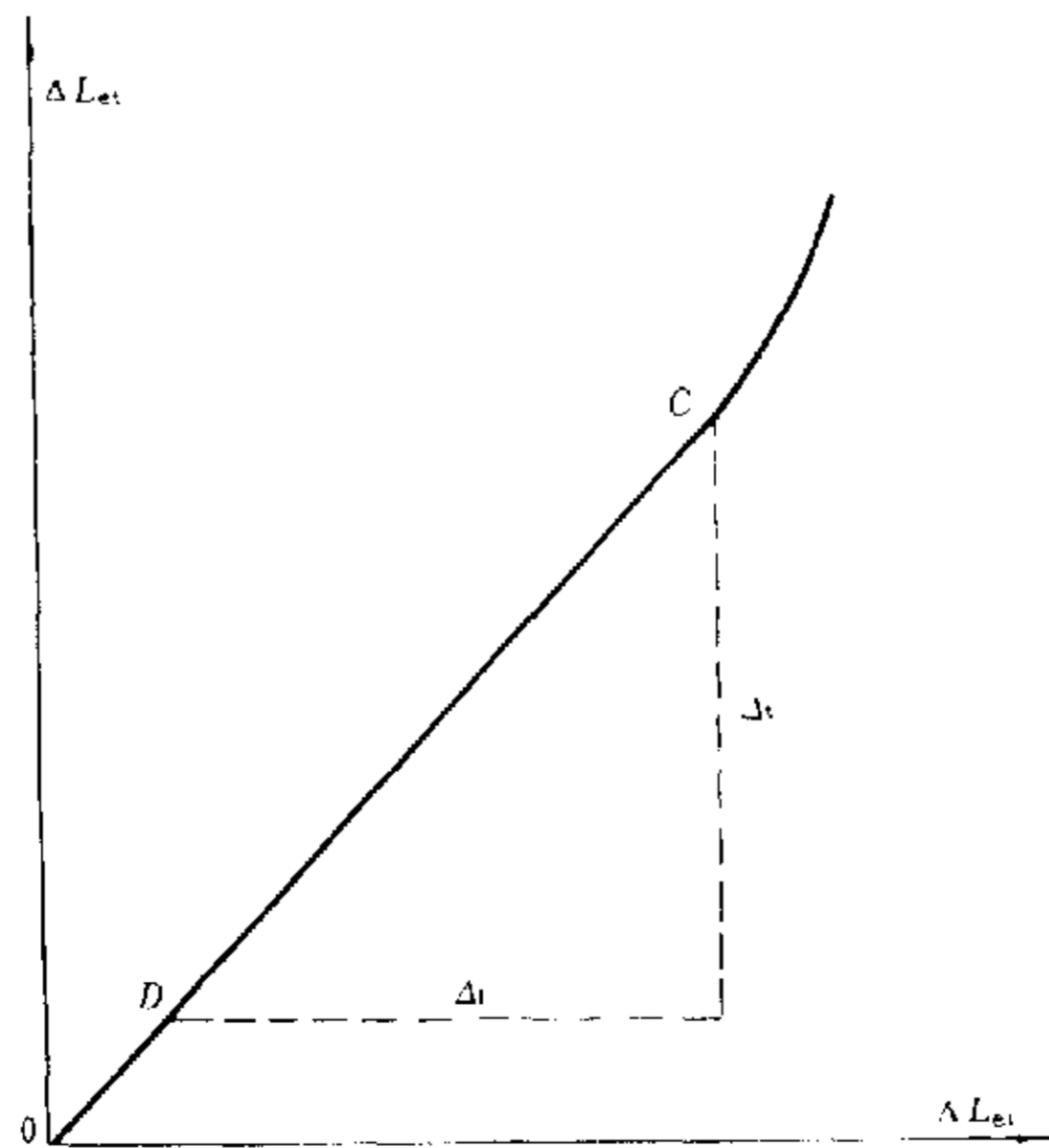


图 4

当在同一试验中, 泊松比与杨氏模量一道进行测定时, 推荐同时绘制轴向力 - 轴向变形曲线和横向变形 - 轴向变形曲线, 见图 5。

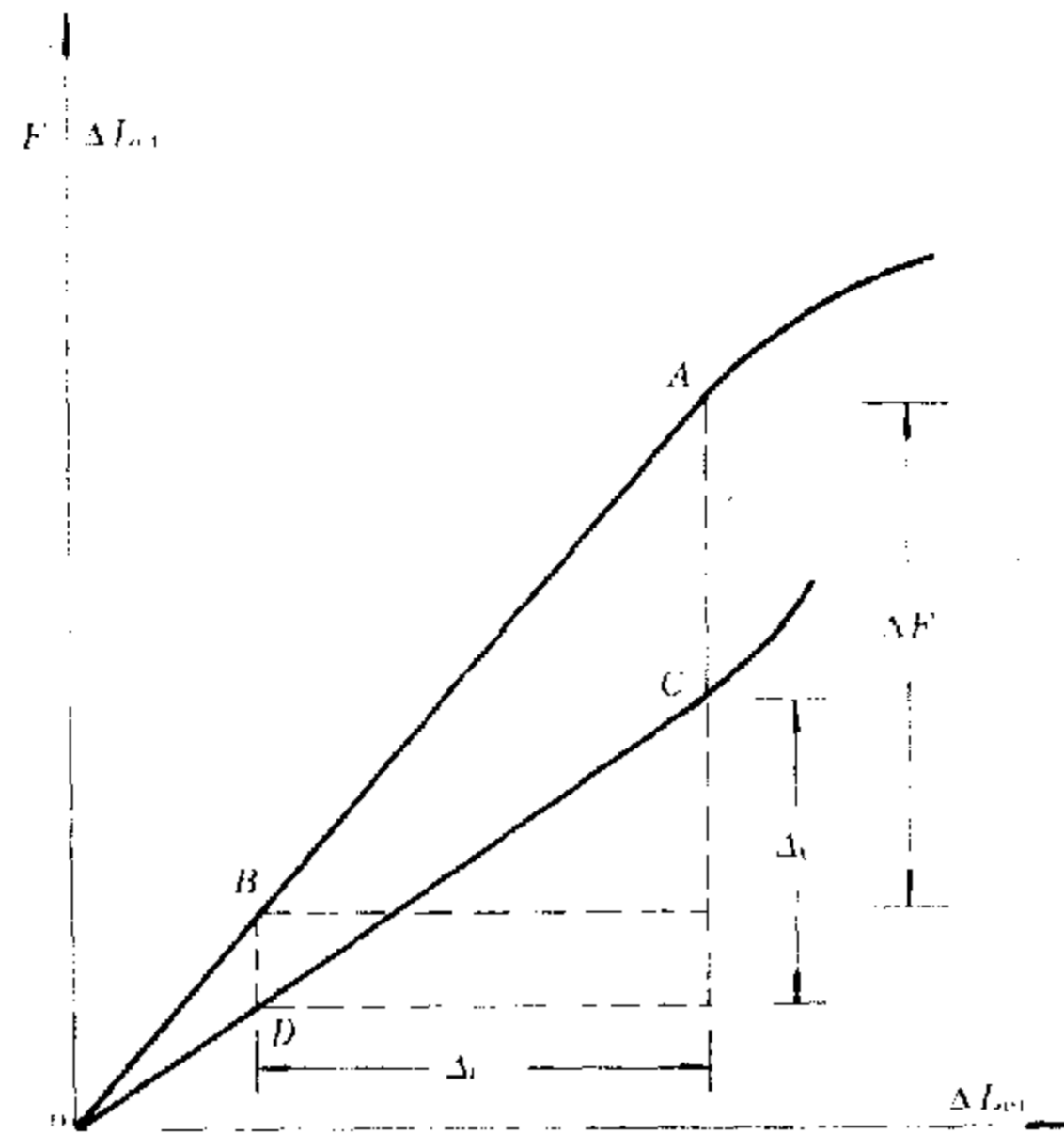


图 5

注：可以借助于直尺将弹性直线段延长，在相距较远的两点之间读取横向变形增量和相应的轴向变形增量。

8.4.2 图解法 2：试验时，用自动记录方法同时绘制横向变形 - 轴向力曲线和轴向变形 - 轴向力曲线，见图 6。在横向变形 - 轴向力曲线和轴向变形 - 轴向力曲线的弹性直线段上，分别读取相距尽量远而且相同轴向力增量的 C、D 两点之间的横向变形增量，和 A、B 两点之间的轴向变形增量。按公式 (8) 计算泊松比。

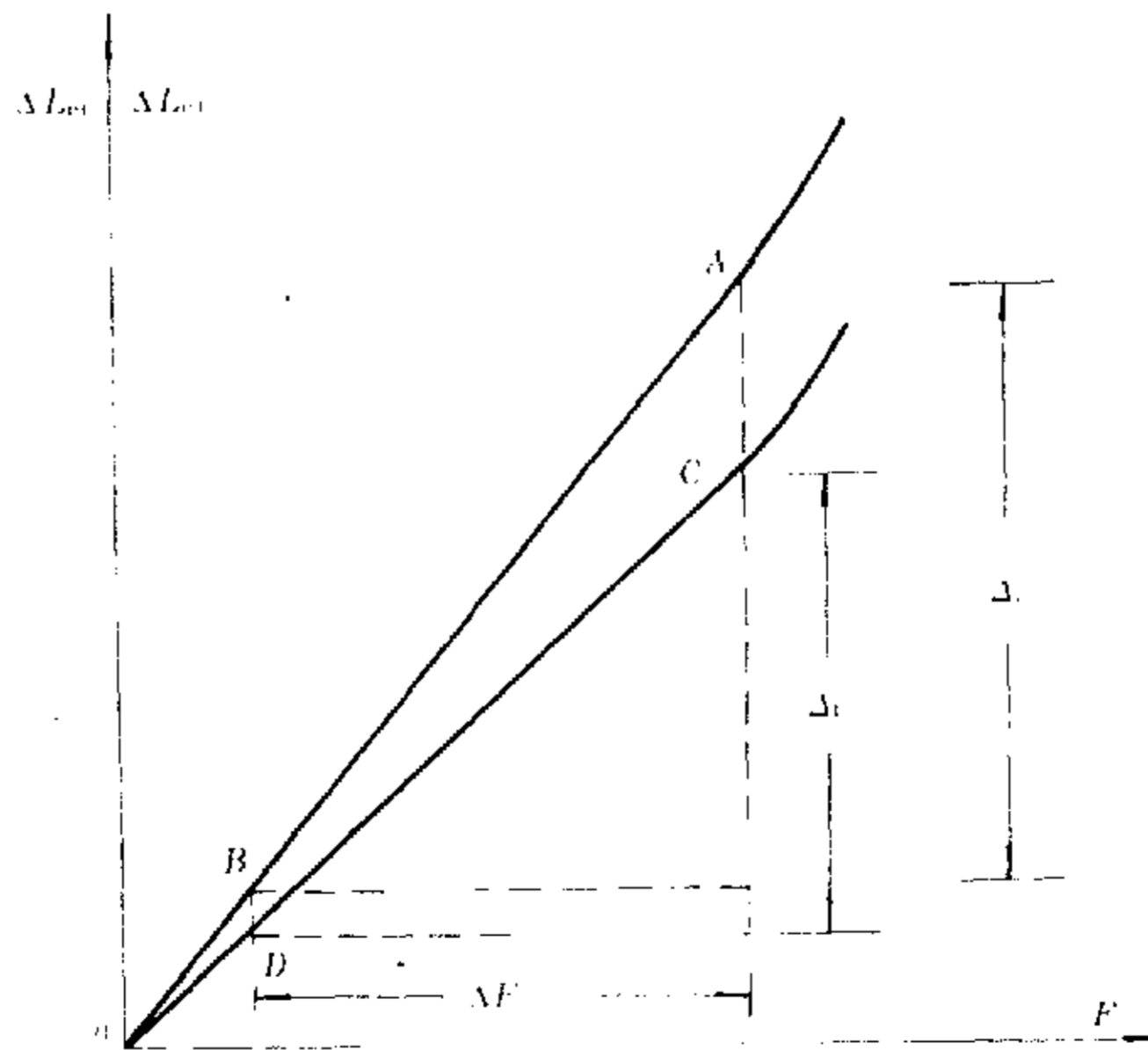


图 6

注：① 可以借助于直尺将弹性直线段延长，分别在相距较远而且相同轴向力增量的两点之间读取横向变形增量和轴向变形增量。

② 如分别在不同轴向力增量上读取横向变形增量和轴向变形增量，则不能直接使用公式 (8) 计算。可分别计算出横向应变增量与轴向应力增量之比和轴向应变增量与轴向应力增量之比。然后计算前者比值与后者比值之比，即为泊松比。

8.4.3 拟合法：试验时，在弹性范围内，在同一轴向力下记录横向变形和轴向变形的一组数字数据对。数据对的数目一般不小于8对。用最小二乘法将该组数据对拟合横向应变-轴向应变直线，直线的斜率即为泊松比。按公式(9)计算。

$$\mu = [\Sigma(e_1 e_t) - k \bar{e}_1 \bar{e}_t] / (\Sigma e_1^2 - k \bar{e}_1^2) \dots\dots\dots (9)$$

式中： $e_1 = \frac{\Delta L_{e1}}{L_{e1}}$

$$\bar{e}_1 = \frac{\Sigma e_1}{k}$$

$$e_t = \frac{\Delta L_{et}}{L_{et}}$$

$$\bar{e}_t = \frac{\Sigma e_t}{k}$$

注：如果分别记录横向变形-轴向力和轴向变形-轴向力的两组数字数据对，则应用最小二乘法将每组数据对拟合横向应变-轴向应力和轴向应变-轴向应力直线，并计算拟合直线斜率。前者斜率与后者斜率之比即为泊松比。

8.4.4 按公式(5)计算拟合直线斜率变度系数，其值在2%以内，所得泊松比为有效。

8.5 测定杨氏模量、弦线模量、切线模量和泊松比，在弹性范围内进行三次测定，报告三次测定的平均值。如用一次施力与其他力学性能一道进行测定，应注明。

9 测定性能数值的修约

杨氏模量、弦线模量、切线模量和泊松比，一般保留3位有效数字，其余数位的数字应进行修约，修约的方法按GB 8170—87《数字修约规则》执行。

附加说明：

本标准由冶金工业部钢铁研究总院起草。

本标准主要起草人梁新邦。

本标准水平等级标记 GB 8653—88 Y