

二、桥梁静载试验

桥梁静载试验-目的

- 1.确定桥梁结构的承载能力及运营条件
 - (1) 竣工
 - (2) 改建加固
 - (3) 新技术应用
- 2分析桥梁病害原因及变化规律
- 3检验桥梁结构的内在质量

桥梁静载试验-内容

- 方案拟定
- 测点布置及仪器设备选用
- 加载等级控制及过程安全控制
- 数据分析与结构性能评定

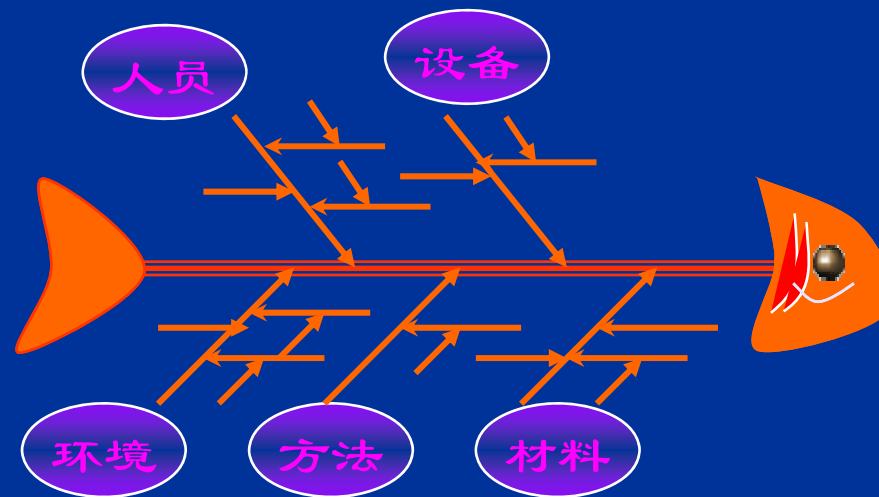
鱼骨图

特性要因

大脑风暴

树图

末端原因逐一分析



主要原因

~~非主要原因~~

分析对策

图表分析
数据说话

桥梁静载试验-依据

■ 法规、技术标准、设计规范

- (1) 综合基础标准 《工程结构可靠度设计统一标准》
(GB50153-92)
- (2) 专业基础标准 《公路工程技术标准》 (JTJ001-97)
- (3) 专业通用标准 《公路工程质量检验评定标准》
(JTJ071-98)
- (4) 专业专用标准 《公路悬索桥设计规范》 (正在编定)

桥梁静载试验-荷载工况

- 反应桥梁结构的最不利受力状态
- 参照界面内力（或者变形）影响线
- 2~3个主要工况

桥梁静载试验-荷载工况

- 影响线？

桥梁静载试验-荷载工况

- 影响线:
- 当一个指向不变的单位集中荷载(通常其方向是竖直向下的)沿结构移动时, 表示某一指定量值变化规律的图形, 称为该量值的影响线。

桥梁静载试验-荷载工况

- 简支梁桥
 - 连续梁桥
 - 悬臂梁桥（T形刚构桥）
 - 连续刚构桥
 - 拱桥
 - 斜拉桥
 - 悬索桥
 - 组合体系桥
- 最大正弯矩
最大负弯矩
最大剪力
最大竖向反力
最大挠度
最大水平变位

桥梁静载试验-荷载等级

- 控制荷载—规范、标准
概率模型
- 试验荷载—试验车辆荷载

桥梁静载试验-荷载等级

- 静载试验荷载效率

$$\eta = \frac{S_t}{S_d(1 + \mu)}$$

- S_t 试验荷载作用下，检测部位变形或内力的计算值
- S_d 设计标准荷载作用下，检测部位变形或内力的计算值
- μ 设计取用的冲击系数

桥梁静载试验-荷载等级

- 静载试验荷载效率

0.8~1.05

桥梁静载试验-加载方式

- 分级加载
- 加载卸载时间
- 加载方式的选择
- 加载重物的称重

桥梁静载试验-测点布置

(1) 简支梁桥

跨中挠度、支点沉降、跨中截面应力

(2) 连续梁桥

跨中挠度、支点沉降、跨中和支点截面应力

(3) 悬臂梁桥（T形刚构桥）

悬臂端挠度、支点沉降、支点截面应变

(4) 拱桥（无铰）

跨中与 $L/4$ 处挠度，拱顶、 $L/4$ 拱脚截面应变

桥梁静载试验-测点布置

(5) 斜拉桥

主梁中孔跨中挠度、支点沉降、跨中截面应变、塔顶最大水平位移、塔脚截面应变

(6) 悬索桥

主梁跨中、 $L/8$ 和 $L3/8$ 处挠度，支点沉降，
主梁跨中、 $L/8$ 和 $L3/8$ 处截面应变、塔顶最大水平位移、塔脚截面应变

(7) 组合体系桥

桥梁静载试验-测点布置

- (1) 挠度（或应变）横桥向分布
- (2) 挠度顺桥向分布
- (3) 应变沿截面高度分布
- (4) 应变上下缘分部
- (5) 墩台沉降、转角、水平位移
- (6) 剪切应变
- (7) 裂缝
- (8) 薄弱部位

桥梁静载试验-测试仪器

(1) 应变

千分表、手持应变仪、电阻应变仪、振弦式应变计、光纤应变仪

(2) 位移或挠度

千分表、百分表、位移计（电阻应变式）、水准仪、全站仪、激光挠度仪、GPS、联接管

(3) 裂缝

刻度放大镜（读书显微镜）

桥梁静载试验-机械式量测

1机械仪表

优点：

安装使用方便、迅速、读数可靠、精度高

缺点：

搭设观测脚手架、人员多、读数费时、不便于记录

桥梁静载试验-机械式量测

2百分表（千分表）原理

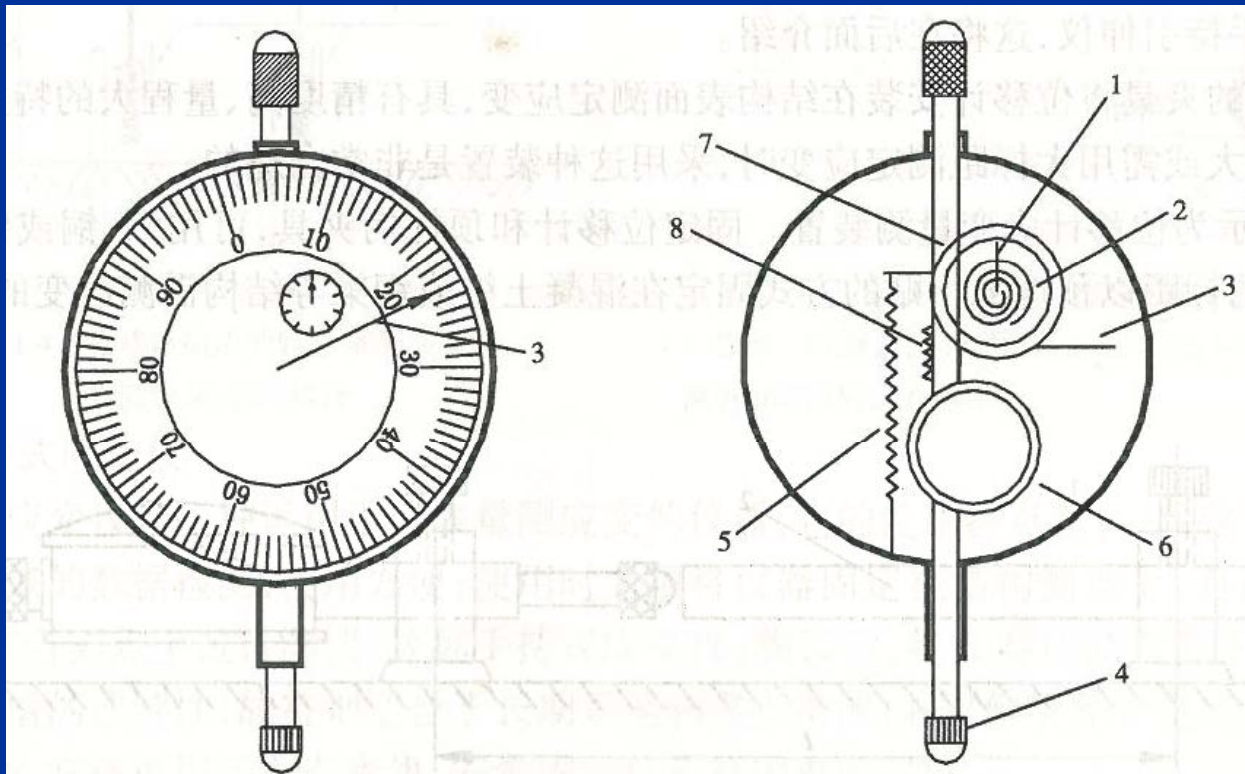


图 1-1 百分表的构造图

1-短针齿轮;2-齿轮弹簧;3-长针;4-测杆;5-测杆弹簧;6、7、8-齿轮

桥梁静载试验-机械式量测

■ 百分表（千分表） 安装

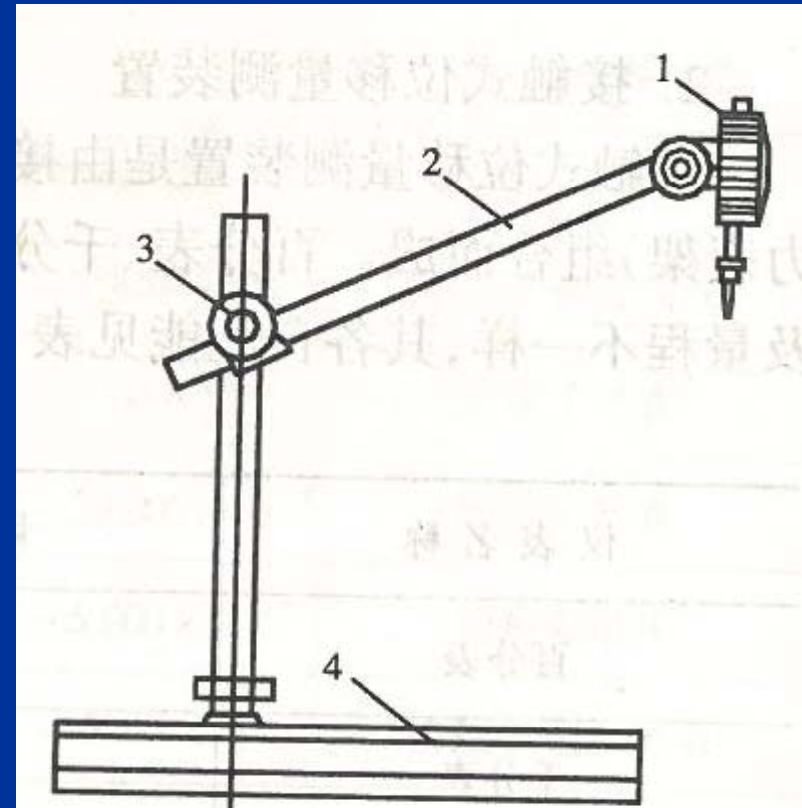
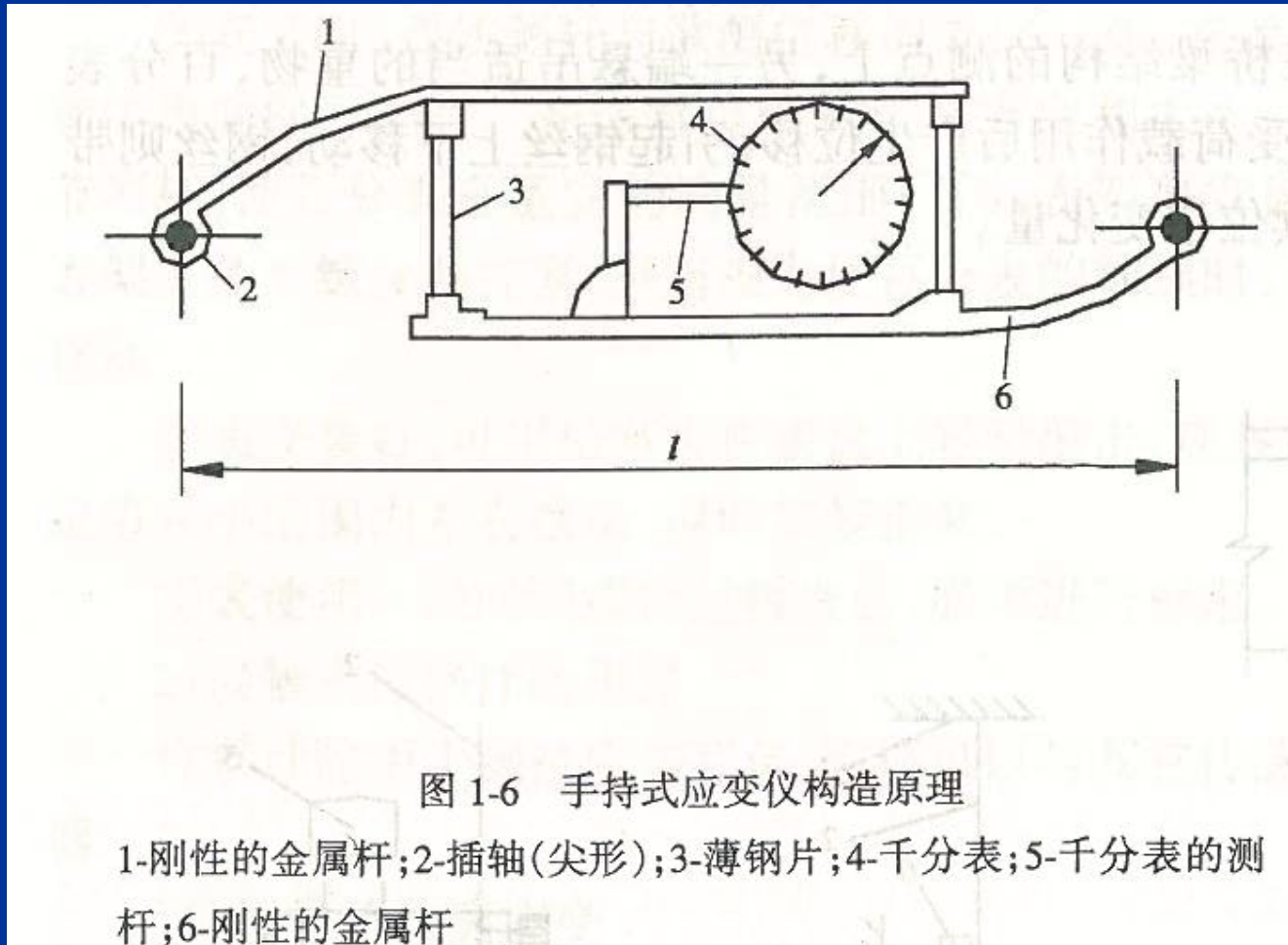


图 1-2 百分表安装

1-百分表;2-调距杆;3-固紧螺丝;4-底座

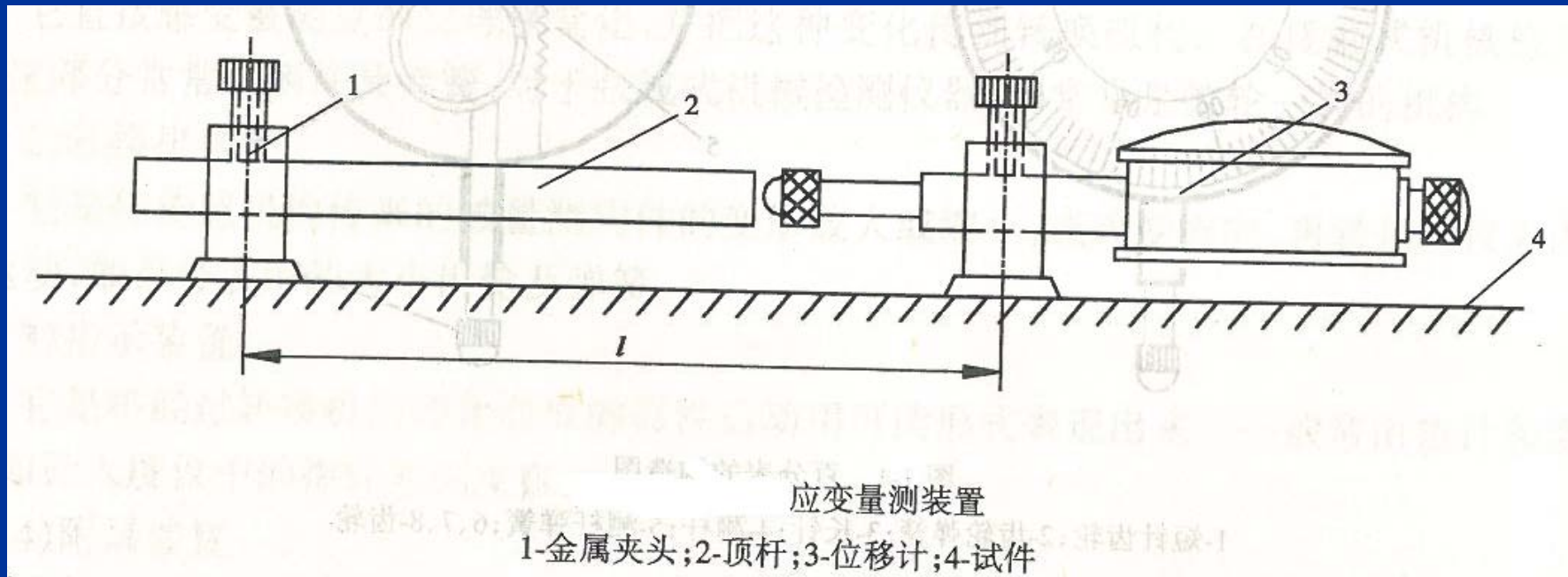
桥梁静载试验-机械式量测

3手持应变仪原理



桥梁静载试验-机械式量测

4机械式应变测量装置原理





桥梁静载试验-电测式量测

1 电测式量测优点

效率更高、准确。

测量表面、内部。

远距离。

自动记录。

桥梁静载试验-电测式量测

2电测式量测组成部分

传感器——放大器——指示记录

机械量——电信号——机械量值

桥梁静载试验-电测式量测

3电阻应变片

优点：

灵敏度高

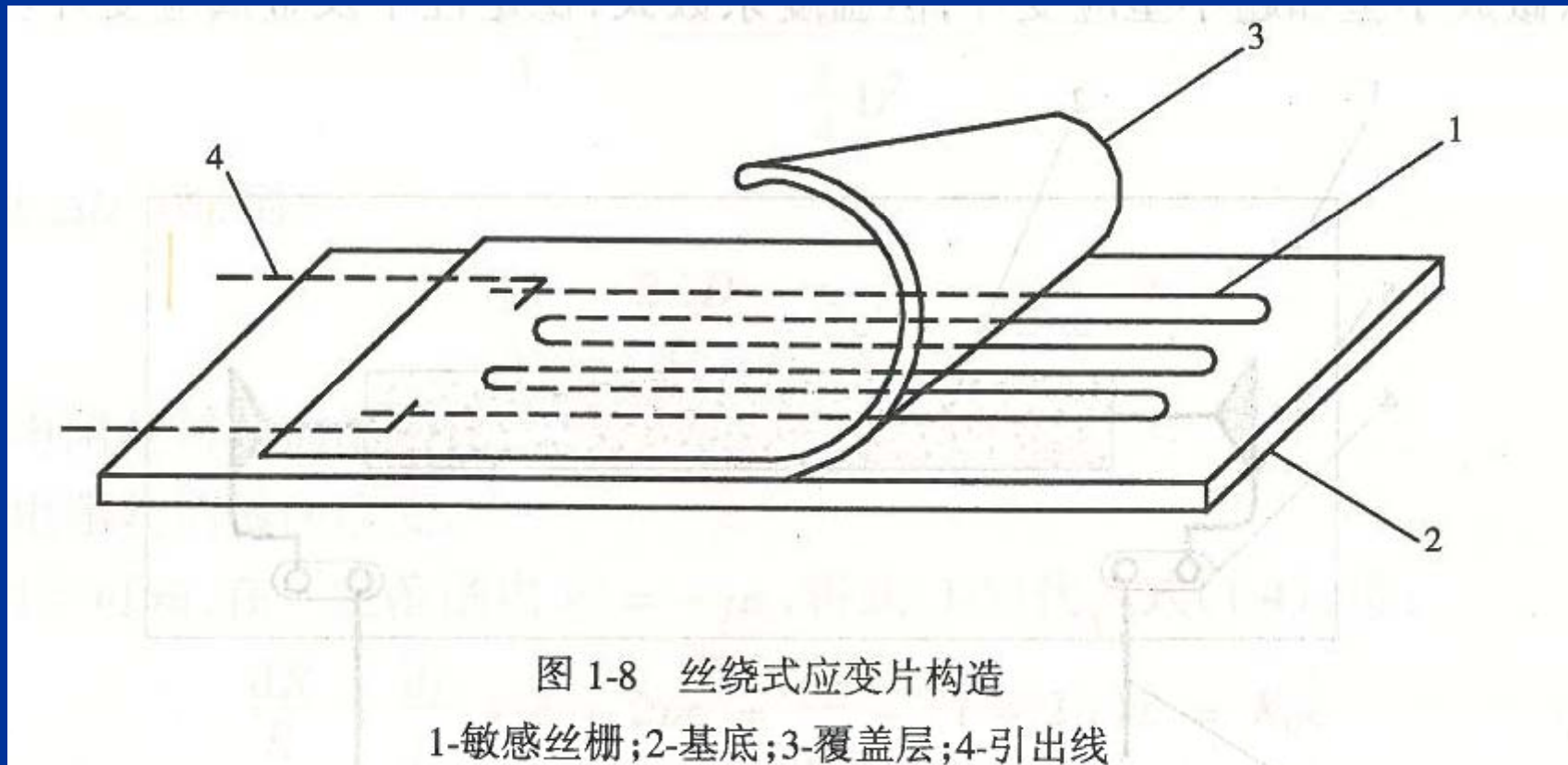
尺寸小

质量小

适应性强

桥梁静载试验-电测式量测

3电阻应变片构造:



桥梁静载试验-电测式量测

4电阻应变片

种类:

- 金属丝式
- 短接式
- 箔式
- 应变花
- 半导体

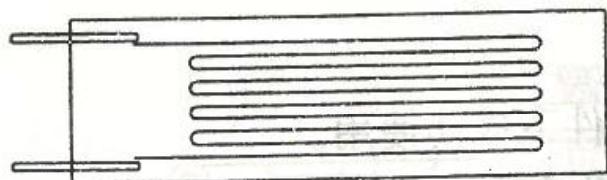


图 2-5-11 金属丝式应变片

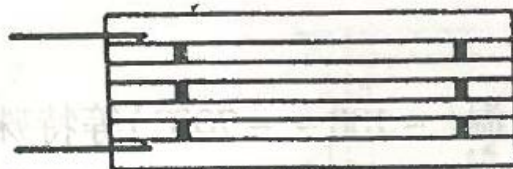


图 2-5-12 短接式应变片

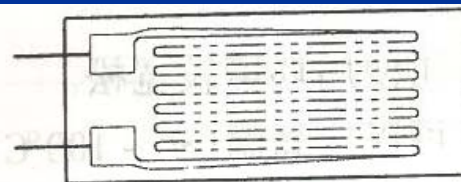


图 2-5-13 金属箔式应变片

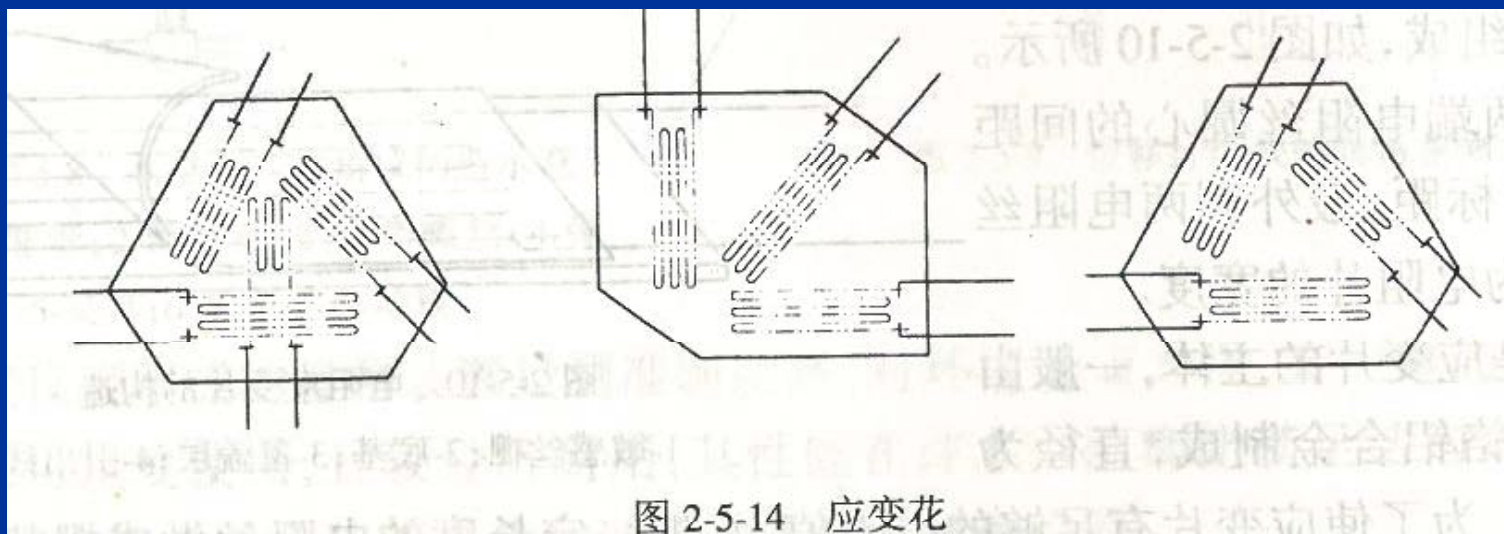


图 2-5-14 应变花

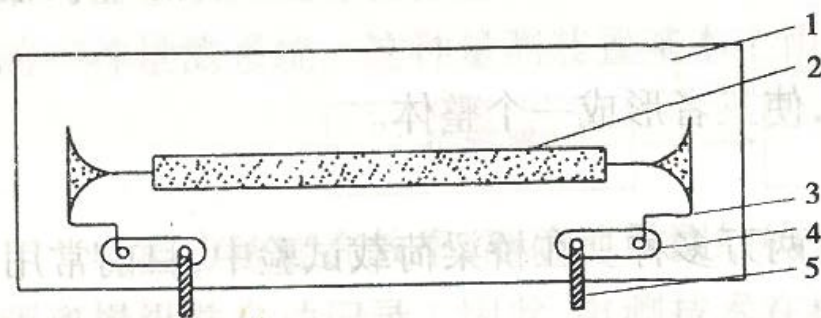


图 2-5-15 半导体应变片

1-胶膜衬底;2-P—SI 片;3-内引线;4-接板;5-外引线

常用电阻应变的分类方法

表 1-4

分类依据	种 类
敏感元件材料	金属应变片(丝绕式应变片、短接式应变片、箔式应变片金属薄膜应变)半导体应变片(体型半导体应变片、扩散型半导体应变片、薄膜型半导体应变片、PN 结型半导体应变片)
基底材料	纸基应变片、胶基应变片、金属基应变片、临时基底应变片
标距大小	大标距应变片、小标距应变片
敏感栅形状	单轴(单片)应变片、应变花
温度场	低温度应变、常温度应变、中温度应变、高温度应变

桥梁静载试验-电测式量测

4电阻应变片

选用原则：

- 根据被测试件的材料性质（最大集料粒径4倍以上）
- 根据被测试件的受力状态（标距）
- 根据量测应变时环境条件（基底）

桥梁静载试验-电测式量测

■ 应变片的粘贴工艺

应变片的粘贴工艺

表 1-5

工作顺序	工作 内 容		操 作 方 法	要 求
1	检查分选	外观检查	借助放大镜肉眼检查	无气泡、霉点、锈点,外观平直
		阻值检查	用精度为 0.01Ω 的万用表检查	无短路、断路,同一测区应变片阻值相差不大于 0.5Ω
2	测点检查	初步定位	初定测点的大致范围	应变片周边宽 $3 \sim 5\text{cm}$ 的测区
		测点检查	检查测点处的表面状况	平整、无缺陷、无裂缝
		打 磨	磨光机或 1 号砂纸打磨	平整、无锈、无浮浆
		清 洗	脱脂棉、纱布蘸丙酮或无水乙醇清洗	擦干时无污染
		准确定位	准确画出测点的纵横中心线	纵线应与主应变方向一致

桥梁静载试验-电测式量测

■ 应变片的粘贴工艺

3	粘贴	上胶	用合适的小灰刀在测点上均匀涂抹预先调制好的一层薄胶	应变片的定位标志应与十字中心线对准
		挤压	将应变片放在定位线上,盖上塑料薄膜,用手指沿一个方向挤压,挤出多余的胶	胶层应尽可能薄,挤压时注意保持应变片不滑移
		加压	根据粘胶特性,在应变片上稳压一段时间	应达到粘胶的初凝时间
		粘贴端子	接线端子靠近应变片引出线,用贴片胶粘贴	胶达到强度后无松动、脱落
4	固化处理	自然干燥	根据自然条件和粘胶特性确定时间	粘胶强度达到要求
		人工固化	粘胶达到初凝时间后用红外线灯照射或电吹风吹热风	加热温度不超过 50℃,受热均匀

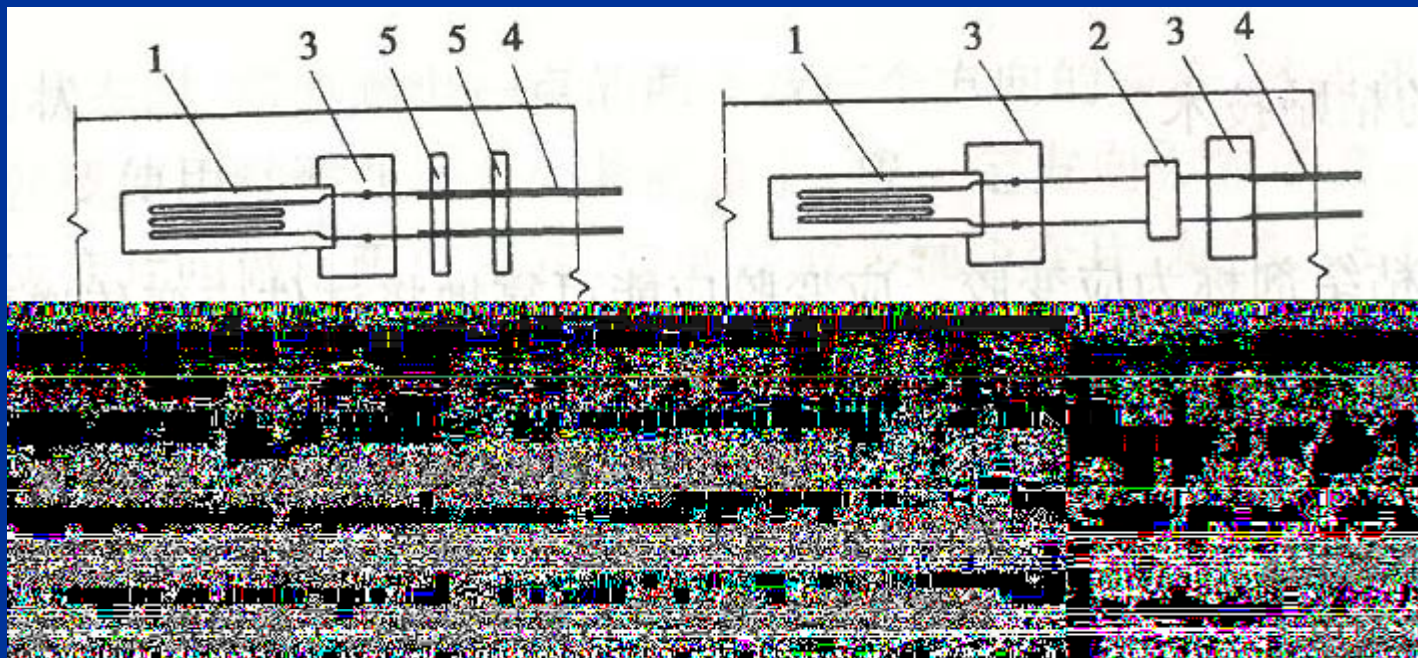
桥梁静载试验-电测式量测

■ 应变片的粘贴工艺

5	粘贴质量检查	外观检查	借助放大镜肉眼检查	位置准确、无气泡、粘贴牢固
		阻值检查	用万用表检查	无短路、断路
		绝缘检查	用万用表 200M Ω 档检查	应达到 50M Ω 以上
6	导线连接	引出线绝缘	应变片引出线底下涂粘贴胶或贴胶布	引出线不能短路
		导线焊接	用电烙铁、焊锡把应变片引出线和测量导线焊接在接线端子	焊点应圆滑、无虚焊
		固定导线	用粘胶或胶布固定测量导线	轻微摇动导线不影响焊点

桥梁静载试验-电测式量测

4电阻应变片



桥梁静载试验-电测式量测

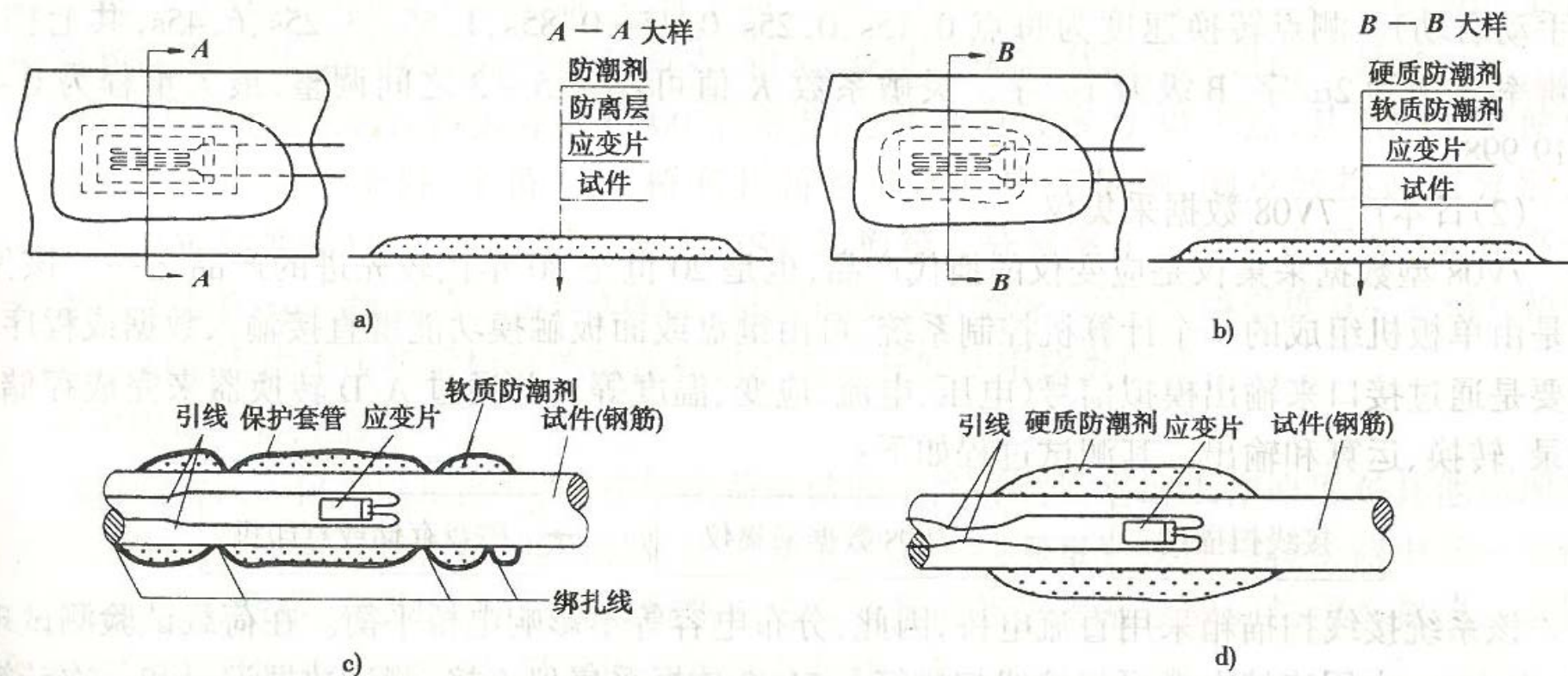


图 2-5-17 应变片防护示例

电阻应变计的工作原理

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

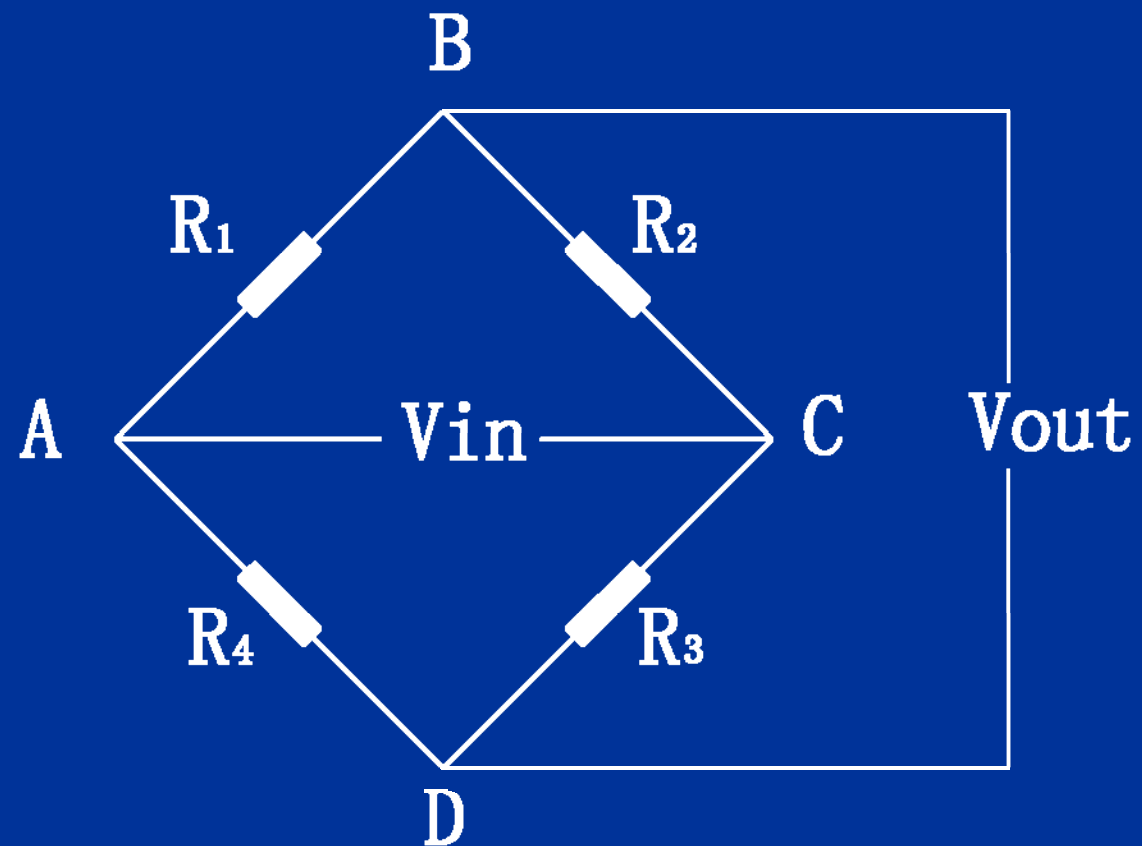
- 金属丝的电阻率： ρ
- 金属丝的长度： L
- 金属丝的截面积： A

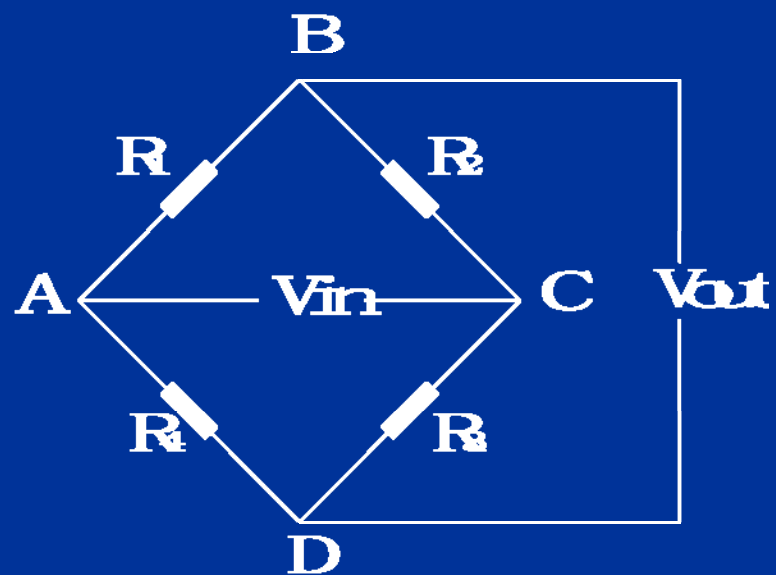
- 应变与电阻的关系:

$$\frac{dR}{R} = k\epsilon$$

- k是灵敏度系数

惠斯顿电桥





$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{in} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_{in}$$

$$V_{out} = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_1 R_3 + R_1 R_4 + R_2 R_3 + R_2 R_4} V_{in}$$

$$V_{out} = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_1 R_3 + R_1 R_4 + R_2 R_3 + R_2 R_4} V_{in}$$

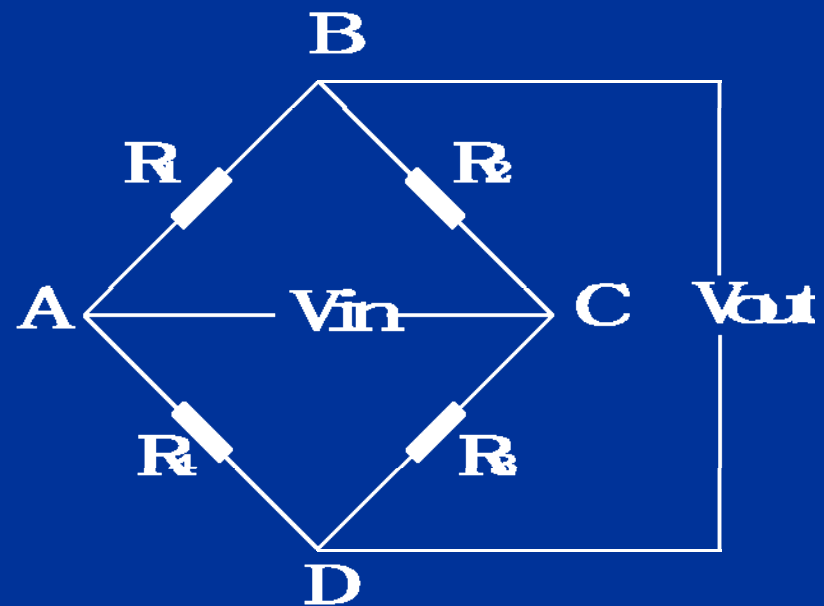
$$R_1 + \Delta R_1 \quad R_2 + \Delta R_2$$

$$V_{out} = \frac{1}{4} \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1} + \frac{R_2 + \Delta R_2}{R_2} + \frac{R_3 + \Delta R_3}{R_3} + \frac{R_4 + \Delta R_4}{R_4} \right) V_{in}$$

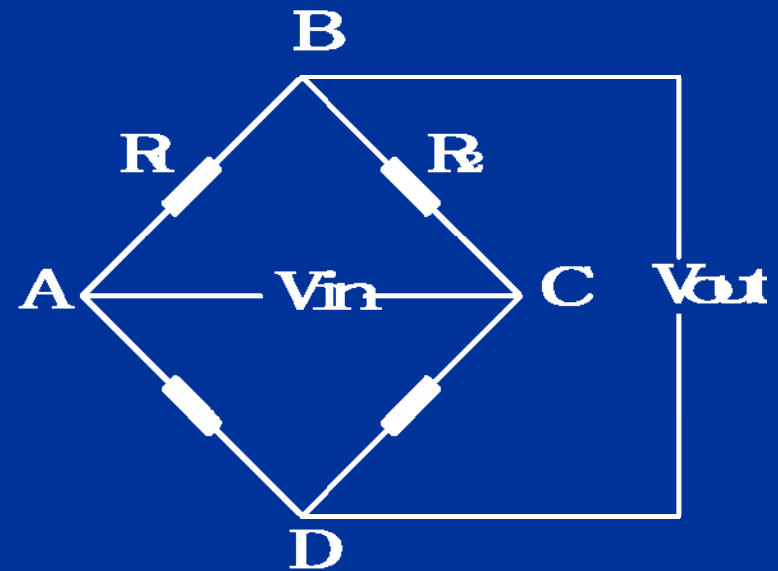
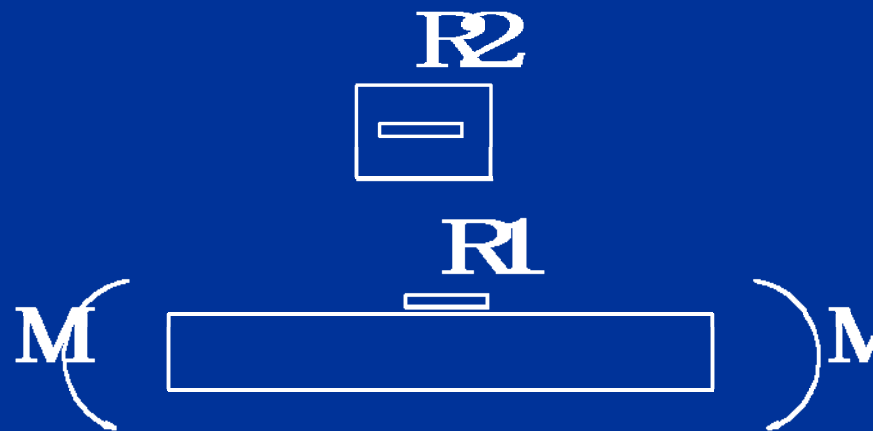
$$\frac{\Delta R}{R} = k \epsilon$$

$$V_{out} = \frac{1}{4} \left(\frac{R_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_2} + \frac{R_3}{R_3} + \frac{R_4}{R_4} \right) V_{in}$$

■ 温度补偿

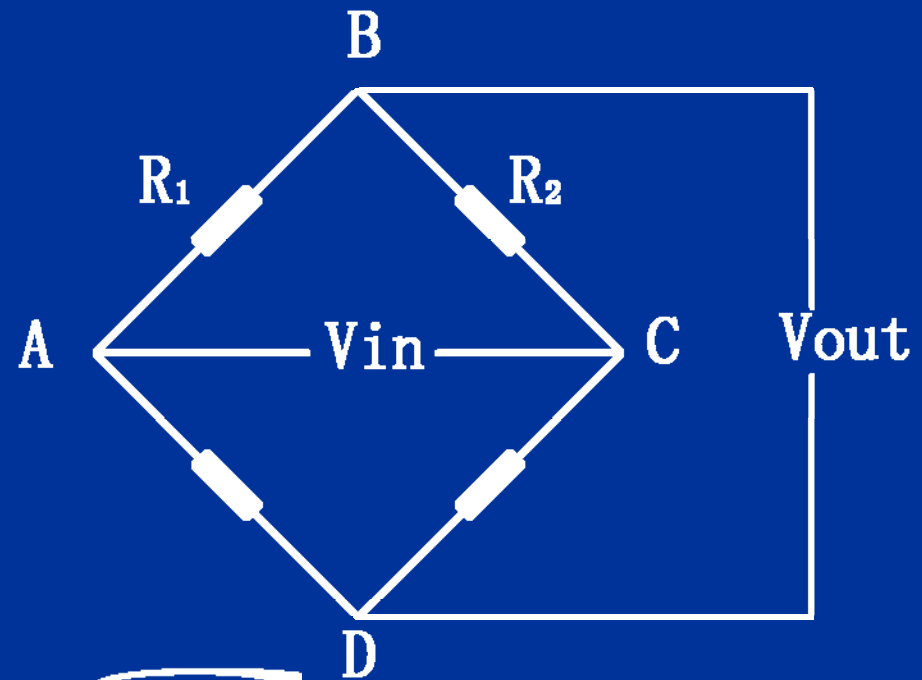


1/4桥电路

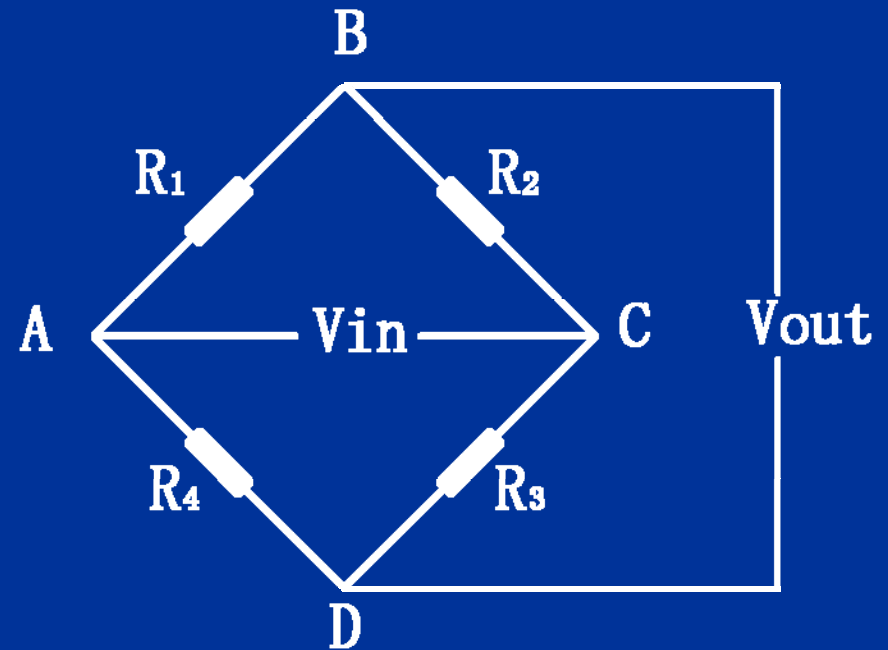


$$V_{out} = \frac{1}{4} V_{in}$$

半桥电路



全桥电路



桥梁静载试验-数据修正

1.测值修正:

- 机械仪表校正系数
- 电测仪表率定系数、灵敏度系数
- 电阻应变片导线电阻等

注：小于1%不修正

桥梁静载试验-数据修正

2.温度修正:

$$S = S' - K_T \Delta T$$

式中: S ——温度修正后的测点加载测值变化;
 S' ——温度修正前的测点加载测值变化;
 ΔT ——相应于 S' 观测时间段内的温度变化($^{\circ}\text{C}$);
 K_T ——空载时温度上升 1°C 时测点测值变化量

措施: 缩短加载时间

温度稳定性好的时间段进行试验

桥梁静载试验-数据修正

3. 支点沉降修正:

$$C = \frac{l-x}{l}a + \frac{x}{l}b$$

C ——测点的支点沉降影响修正量, 叠加到测点挠度中;

l —— A 支点到 B 支点的距离;

x ——自 A 支点到计算截面的距离;

a —— A 支点沉降量;

b —— B 支点沉降量。

桥梁静载试验-数据修正

4.残余变位:

总变位(或总应变)

$$S_t = S_l - S_i$$

弹性变位(或弹性应变)

$$S_e = S_l - S_u$$

残余变位(或残余应变)

$$S_p = S_t - S_e = S_u - S_i$$

式中: S_i ——加载前测值;

S_l ——加载达到稳定时测值;

S_u ——卸载后达到稳定时测值。

相对残余变位(或应变)

$$S'_p = \frac{S_p}{S_t} \times 100\%$$

式中: S'_p ——相对残余变位(或应变);

S_p 、 S_t 意义同前。

要求 S_p/S_t 值不大于 20%

桥梁静载试验-承载能力评定

一、结构工作状况:

1、校验系数

$$\eta = \frac{S_e}{S_s}$$

式中： S_e ——试验荷载作用下量测的弹性变位(或应变)值；
 S_s ——试验荷载作用下理论计算变位(或应变)值。

桥梁校验系数常值表

桥梁类型	应变(或应力) 校验系数	挠度校验系数	桥梁类型	应变(或应力) 校验系数	挠度校验系数
钢筋混凝土板桥	0.20 ~ 0.40	0.20 ~ 0.50	预应力混凝土桥	0.60 ~ 0.90	0.70 ~ 1.00
钢筋混凝土梁桥	0.40 ~ 0.80	0.50 ~ 0.90	圬工拱桥	0.70 ~ 1.00	0.80 ~ 1.00

桥梁静载试验-承载能力评定

一、结构工作状况：

- 2、实测值与理论值的关系曲线
- 3、相对残余变位（或应变）
- 4、横向增大系数
- 5、动载性能

桥梁静载试验-承载能力评定

二、结构强度及稳定性:

- 1、主要挠度测点的校验系数（控制截面内力最不利荷载工况时最大挠度测点）
- 2、《公路旧桥承载能力鉴定方法（试行）》

砖石和混凝土桥:

$$S_d(\gamma_{s0}\psi\Sigma\gamma_{s1}Q) \leq R_d\left(\frac{R^j}{\gamma_m}, a_k\right) \times Z_2$$

钢筋混凝土及预应力混凝土桥:

$$S_d(\gamma_g G, \gamma_q \Sigma Q) \leq \gamma_b R_d\left(\frac{R_c}{\gamma_c}, \frac{R_s}{\gamma_s}\right) \times Z_2$$

桥梁静载试验-承载能力评定

三、结构刚度:

- 1、主要测点挠度校验系数不大于1
- 2、挠度不大于《规范》允许值

①圬工拱桥

一个桥跨范围内正、负挠度的最大绝对值之和不大于 $l/1\,000$ 。

②钢筋混凝土与预应力混凝土桥

梁桥主梁跨中	$l/600$
梁桥主梁悬臂端	$l_1/300$
桁架、拱	$l/800$
斜拉桥预应力混凝土主梁	$l/500$
悬索桥预应力混凝土加劲梁(参考值)	$l/500$

③钢桥

简支或连续桁架	$l/800$
简支或连续板梁	$l/600$
斜拉桥钢主梁	$l/400$
悬索桥钢加劲梁	$l/400$

桥梁静载试验-承载能力评定

四、裂缝：

- 1、新建全预应力钢筋混凝土桥
- 2、新建钢筋混凝土桥 《设计规范》
- 3、旧桥荷载试验时
- 4、旧桥荷载试验后

$$\delta_{\max} \leq [\delta]$$

桥梁静载试验-承载能力评定

五、地基：

地基沉降、倾角