

土 木 工 程

现场量测实用手册

(译 文)

中南地区公路科技情报网

一九八五年九月

土 木 工 程

现场量测实用手册

(译 文)

中南地区公路科技情报网

一九八五年九月

编 者 的 话

这本资料，选译自日本《土木施工》1984年3月临时增刊《土木工程现场量测实用手册》（再版）。内容比较广泛，立足于现场人员实用，是土木工程量测工作的一份较好的参考资料。主要内容有：结构量测，水文观测，路面、交通工程、交通环保的量测，土工试验及填土工程、挡土结构、隧道工程的量测，量测所用仪器及其埋设安装方法等。可供公路、桥梁、市政、铁道、水利、建筑、环保、交通安全监理等部门科技工作人员、管理人员和大专院校师生参考。

本《手册》各章分别由习应祥、饶德宏、周义武、卓知学、边惠英、阳玉贞、余鑫毅等同志译校，并特请交通部公路局周庆桐高级工程师对全部译稿进行了审阅，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，水平有限，不当和错误之处请读者批评指正。

一九八五年九月

目 录

第一章 结构量测.....	(1)
§ 1 概要.....	(1)
§ 2 应变的量测.....	(1)
§ 3 公路桥的变位、变形及振动的量测.....	(11)
§ 4 结构物的抗风性能量测.....	(19)
第二章 水文观测.....	(32)
§ 1 流量观测.....	(32)
§ 2 降雨量的观测.....	(37)
第三章 交通量测.....	(42)
§ 1 交通量的量测.....	(42)
§ 2 行驶速度的量测.....	(47)
§ 3 车辆重量的量测.....	(56)
§ 4 路面性状的量测.....	(61)
§ 5 路面冻结、积雪的量测.....	(67)
第四章 环境保护工程的量测.....	(72)
§ 1 水质量测.....	(72)
§ 2 道路交通噪声的量测.....	(76)
§ 3 道路交通振动的测试.....	(84)
§ 4 大气污染的量测.....	(87)
§ 5 植物栽植的量测.....	(94)
第五章 土工试验.....	(100)
§ 1 概论.....	(100)
§ 2 土的物理性质量测.....	(107)
§ 3 土的力学性质试验.....	(113)
§ 4 土的动力学性质量测.....	(124)
§ 5 现场试验中的量测.....	(129)
第六章 道路填土工程的量测.....	(140)
§ 1 概述.....	(140)
§ 2 下沉、变形的量测.....	(145)

§ 3	土压、孔隙水压的量测	(150)
§ 4	现场容重、含水量的量测	(157)
§ 5	现场压实试验	(163)
第七章	挡土工程的量测	(170)
§ 1	挡土工程的种类及量测时的注意事项	(170)
§ 2	钢板桩挡土临时围堰的量测	(177)
§ 3	主桩横向板桩的挡土工程的量测	(187)
§ 4	排柱桩挡土工程的量测	(196)
§ 5	地下连续墙挡土工程的量测	(203)
§ 6	倒衬砌地下连续墙的量测——液化天然气 (LNG) 地下罐	(211)
§ 7	钢管板桩挡土工程的量测	(218)
第八章	滑坡与陡坡的量测	(228)
§ 1	概述	(228)
§ 2	滑坡土块移动量的量测	(232)
§ 3	决定滑坡滑动面位置的量测	(239)
§ 4	滑坡的地下水动态量测	(246)
§ 5	陡坡的量测	(252)
第九章	隧道工程的量测	(258)
§ 1	概述	(258)
§ 2	隧道主体的量测	(260)
§ 3	隧道开挖引起的环境变化量测	(277)
第十章	动态测试埋设传感器	(291)

第一章 结构量测*

§ 1 概 要

不仅是土木工程,即使在一般情况下修建具有某种目的结构物时,设计者均须预测作用在结构物上的外力和承受此外力时的结构物状态。如能解决这些问题,掌握各种条件下结构物的性能和力学特性,即能修建出最合理的结构物。但在实际工程中,往往是在尚有很多问题未解决时即开始修建。

当外力作用在结构物上,结构物就会产生变形,有时还不能忽视会发生大的振动,此乃日常生活经验。此时在结构物内部发生相应的应力,在容许应力设计法中基本上应将此应力控制在材料及结构所给予的容许值内。

设计特种结构物或对特殊外力条件进行设计时,就结构物设计的总体而言要比一般

的设计作更多的假定。

例如,多索斜张桥的抗风设计,首先应根据设计风速、空气密度、阻尼系数来决定静风荷载,如何将设计风速变换为设计风荷载;其次应考虑动态反应和与此有关的振动特性(固有频率,振型,振动衰减特性)与一般桥梁有什么不同;其次应解决作用于振动状态桥面上的风荷载与作用在静止状态有什么不同等问题。为此,应进行风洞实验和现场观测。即使是其他形式的结构物,这些项目亦相同。

本章仅就结构量测中最重要的应变、挠度和变形、振动及冲击等的量测和与抗风设计有关的量测等基本内容予以阐述。

§ 2 应变的量测

前 言

如结构物受外力作用,结构物内部就会产生抵抗,据此即会发生应变进而变形。杆件内的应变会随结构物的构成而有相当大的变动。此时,杆件内的应力(单位面积上的内力)则与各杆件组成材料的应力~应变曲线($\sigma \sim \epsilon$ 曲线)密切相关。此应力和应变的关系是随材料种类而变,一般可表示为 $\sigma = f(\epsilon)$,根据各自的特性,其材料可分为弹性体、塑性体、弹粘性体等。

如能掌握材料的应力应变关系,则可用测定应变分布的方法去求出该结构物的应力分布。现行的应力测定法除少量采用光弹试验法、类似试验法外,大部分都是根据应变测定法来进行量测。下面对弹性体的应变、应力的一般内容予以阐述,然后介绍一些量测实例。

一、边界面上的应力和应变

当外力作用在杆件时,此外力必须与杆件内部相互作用力保持平衡,将杆件内部相互作用力的合力状态称为承受应力的状态。为定义此应力的大小,应在杆件内假定一个

• 译: 边惠英 (湖南省交通科学研究所)

校: 饶德宏 (长沙交通学院)

边界面，作用在这个边界面的单位面积上的力被称为此边界面的应力，从图1—2—1所示的杆件断面看，作用在 dA 断面上的平衡力 dT 可分为边界面法线方向的力 σ 和平面力 τ ，即：

$$\sigma = \frac{dT}{dA} \cos \theta$$

$$\tau = \frac{dT}{dA} \sin \theta$$

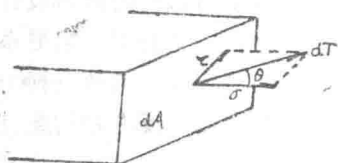


图1—2—1 边界面上的应力

所以，边界面上承受着 σ 和 τ 两种应力的作用，垂直作用在边界面上的应力称为垂直应力，沿边界面作用的应力称为剪切应力。

当以外力 T 在简单的等截面杆的两端拉伸作用来分析时，断面 $X-X'$ 上的内力可按均匀分布考虑，则 $\sigma = T/A$ 。如若在 T 作用下杆的伸长为 ΔL ，以 $\epsilon = \Delta L/L$ 表示单位长度所产生的变形，则可将此变形称为拉应变（或纵应变）。另外，杆在受拉方向均匀伸长的同时，横向会产生均匀的收缩，假设杆宽 d 的缩小为 Δd ，这时，则可将 $\epsilon d = \Delta d/d$ 称为横应变。横应变和纵应变的比

$\epsilon d/\epsilon$ 称为泊松比(ν)。

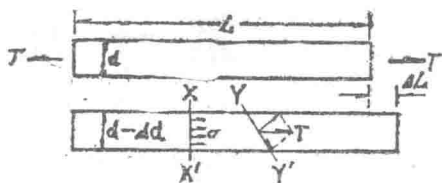


图1—2—2 杆的拉伸

从图1—2—2的 $Y-Y'$ 断面看，这断面上会产生 σ 和 τ 。

所谓的应力测定通常是在材料的弹性范围内进行的。在这种状态下，应力和应变间存在着比例关系。即 $E = \sigma/\epsilon$ 成立，这称为虎克定律。同样， $G = \tau/\nu$ 也成立。 E 和 G 分别称为纵弹性模量和剪切弹性模量。 ν 是剪切应力产生的应变。

二、杆件内力的平衡

为研究杆件内的应力状态，现以杆件内某一点所承受的应力来进行分析。在点 (X, Y, Z) 有9个应力作用着，即：

作用在 $X = \text{const}$ 面上的应力是：

$$\sigma_x, \tau_{xy}, \tau_{xz};$$

作用在 $Y = \text{const}$ 面上的应力是：

$$\sigma_y, \tau_{yz}, \tau_{yx};$$

作用在 $Z = \text{const}$ 面上的应力是：

$$\sigma_z, \tau_{zx}, \tau_{zy}.$$

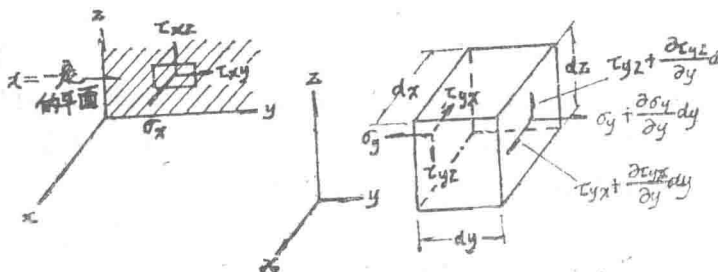


图1—2—3 杆件内的应力平衡（仅示出 y 轴）

τ 的脚标中，第一个脚标表示和作用面相垂直的轴，第二个脚标表示 τ 的作用方向。其正负规定为：边界面外向法线和座标轴的

正方向相一致的应力为正。

此处已将作用在由 dx, dy, dz 构成的正六面体上的垂直力和剪切力全部标明。设

物体所受的力为 X, Y, Z , 当杆件处于静止平衡状态时, 则可导出以下各式:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + X = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + Y = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + Z = 0$$

另外, 根据转动条件可得:

$$\tau_{yz} = \tau_{xy} = \tau_x$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_x$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \tau_y$$

根据以上两式则可导出杆件内各因素的平衡方程式:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_x}{\partial y} + \frac{\partial \tau_y}{\partial z} + X = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_x}{\partial z} + \frac{\partial \tau_z}{\partial x} + Y = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_y}{\partial x} + \frac{\partial \tau_x}{\partial y} + Z = 0$$

三、主应力和平面应变

以下对杆件内某一点的应力三因次关系予以分析。

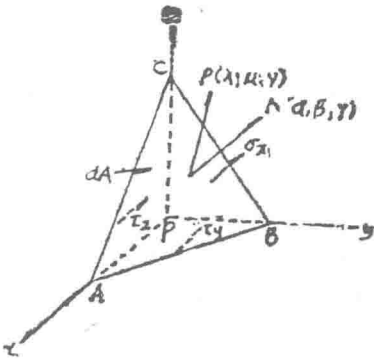


图1—2—4 三因次作用力 (仅示出x轴上的应力)

如图1—2—4所示, 设在 P 点的近旁有一四面体 $ABCP$, 作用于 ABC 面 (面积 dA) 的应力 P 和法线 N 方向的余弦分别设为 (λ, μ, ν) , (α, β, γ) , 则各自的面积为:

$$PBC = dA \cdot \alpha$$

$$PCA = dA \cdot \beta$$

$$PAB = dA \cdot \gamma$$

因此, x 轴上的力的平衡式为:

$$P \cdot dA \cdot \lambda = \sigma_x \cdot dA \cdot \alpha + \tau_x \cdot dA \cdot \beta + \tau_y \cdot dA \cdot \gamma$$

$$\text{即: } P\lambda = \sigma_x \alpha + \tau_x \beta + \tau_y \gamma$$

同样可求得 y, z 轴上的力的平衡式为:

$$P\mu = \sigma_y \beta + \tau_x \gamma + \tau_z \alpha$$

$$P\nu = \sigma_z \gamma + \tau_y \alpha + \tau_x \beta$$

如认为图1—2—4的尺寸非常微小, 则作用于 ABC 面的应力 P 和作用在通过点 P 并平行于 ABC 面的应力可认为是相同的。根据以上所求得的关系, 可以得知在 P 点上余弦方向 (α, β, γ) 的法线面上作用的应力 P 和作用在坐标面的应力 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_x, \tau_y, \tau_z$ 间的关系。

这时根据基准坐标, 应力中的剪应力全部为零, 因此, 垂直应力可以 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 表示。这些应力即称为主应力 (一般 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$)。此时的作用面命名为主应力面, 作用方向取名为主应力轴。前述简单杆件的纯拉伸, 只有一个应力不为零, 其他全部为零, 受压杆也一样, 这样的应力状态即称为单轴应力状态。在受拉或受压面以外的边界面上的组合应力的方向全部与拉或压应力的方向一致, 与这个方向平行的边界面上不存在应力。

只要主应力中有一个为零, 即可将其应力状态称为平面应力或双轴应力状态。这种情况下, 在主应力为零的面上, 垂直应力和剪切应力全不存在, 没有应力作用。而其他任一边界面上的组合应力则全部与这一主应力面平行, 此即为薄板及没有外力作用的物体表面的应力状态。

应变亦可以同一原理进行分析。当某一边界面上的应变只有纵应变, 且剪应变为零时, 此纵应变即可称为主应变, 而任一点上的主应变均系由3个互相垂直的分量组成, 其中纵应变最大, 另有1个为最小值。另外, 各向匀质的弹性体其主应力和主应变方

向一致。

主应力和主应变的关系可用下式表示：

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} \{ \sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3) \}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E} \{ \sigma_2 - \nu(\sigma_3 + \sigma_1) \}$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E} \{ \sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2) \}$$

各向匀质的弹性体和上式一样，以下式表示：

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \{ \sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z) \}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} \{ \sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x) \}$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} \{ \sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y) \}$$

式中： $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ 分别为各自在 X, Y, Z 轴上的垂直应力和纵向应变。

四、杆件表面的应力和应变

如前所述，除在杆件表面应变测量位置上无直接外力作用外均为平面应变状态，杆件表面的垂直应力为零。

首先，将杆件表面放在直角坐标系 $X-Y$ 内

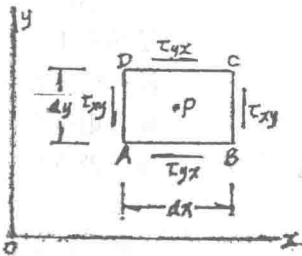


图1—2—5 共轭剪应力

根据图 1—2—5 的转动平衡所得到的 $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ ，则可方便地求出平面应力 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ 。其次，对于任意 XY 轴上的应力 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ ，可以用与绕座标轴反时针转动 θ 角的座

标轴 $X'Y'$ 的关系求其应力 $\sigma_x', \sigma_y', \tau_{x'y'}$ ，注意图 1—2—6 的符号后可得出下式：

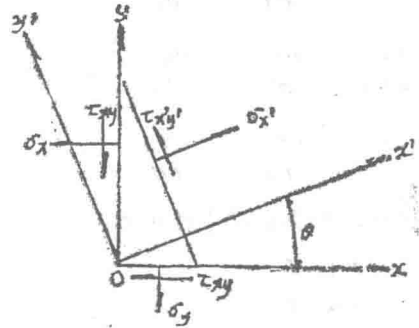


图1—2—6 平面应力成分

$$\sigma_x' = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta$$

$$\sigma_y' = -\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

主应力方向可以求解下式 θ 角而得到：

$$\frac{1}{2} \frac{2\sigma_x'}{\partial \theta} = \tau_{x'y'} = 0$$

$$\text{此时, 由于 } \tan 2\theta = \frac{2\cos\theta \cdot \sin\theta}{\cos^2\theta - \sin^2\theta} = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \text{ 可}$$

求得两个值。特别当 $\theta = \frac{\pi}{4}$ 时，由上式求得

$$\tau_{x'y'} = \frac{1}{2}(\sigma_y - \sigma_x), \text{ 因此, 任意方向}$$

的剪应力则可方便地以仅转动 $\frac{\pi}{4}$ (45°) 的

两个互相垂直的应力求得。

平面应力虽可用上述公式表示，但系以图示考虑的。

上式中的第一式和第三式内消去 θ 后可得下式：

$$\begin{aligned} & \{ \sigma_x' - \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) \}^2 + \tau_{x'y'}^2 \\ &= \{ \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \}^2 + \tau_{xy}^2 \end{aligned}$$

如将上式中的 σ_x' 和 $\tau_{x'y'}$ 设为横轴和纵轴，中心设为 $(\frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y), 0)$ ，半径设为

$\sqrt{\frac{1}{2}\{(\sigma_x - \sigma_y)\}^2 + \tau_{xy}^2}$ ，则可清楚地看到该式正是圆的方程式，亦即莫尔应力圆。莫尔应力圆和仅转动 θ 角的面上的应力 $(\sigma_{x'}, \tau_{x'y'})$ 可以反时针转动 2θ 后的 P' 点的座标求出。 $\sigma_{x'}$ 的最小，最大主应力则可由 $\tau_{x'y'} = 0$ 时的 A 、 B 点求得。

应该注意，在实际量测中只能测到杆件表面的应变，杆件厚度方向上的应变是不能量测的。采用直角双向应变计所测得的是 ε_x 、 ε_y 。它们的应力和应变关系为：

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \{\sigma_x - \nu \sigma_y\}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} \{\sigma_y - \nu \sigma_x\}$$

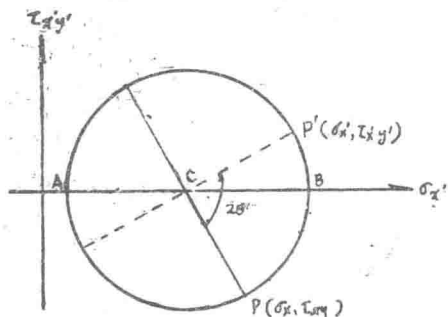


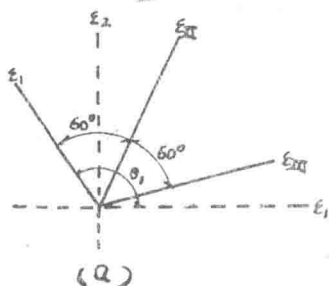
图1—2—7 莫尔应力圆

五、决定主应变大小和方向的方法

如前所述，匀质弹性体的主应力方向和主应变方向是一致的。如能求得主应变，则可直接用下式求解主应力。

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} \{\sigma_1 - \nu \sigma_2\}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E} \{\sigma_2 - \nu \sigma_1\}$$



应变测量时如能求得测点主应力大小和方向，则可以画出莫尔应力圆，即可求得该点周围的全部应力。两个主应变的大小和方向必须同时决定于三个量，因此，必须量测杆件表面三个方向的应变。

将测定的三个应变设为 ε_I 、 ε_{II} 、 ε_{III} ，它们和主应变 ε_1 的夹角设为 θ_I 、 θ_{II} 、 θ_{III} ，则所测定的应变与主应变 ε_1 、 ε_2 间的关系为：

$$\varepsilon_i = \frac{1}{2} \{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cos 2\theta_i\}$$

$$i = I, II, III$$

如果得到 ε_I 、 ε_{II} 、 ε_{III} 及 $\theta_{II} - \theta_I$ 、 $\theta_{III} - \theta_I$ ，则可利用上式算出 ε_1 、 ε_2 和 θ_1 。

主应变测量中一般采用 $\theta_{III} - \theta_I = 120^\circ$ ， $\theta_{II} - \theta_I = 60^\circ$ 的等角形或 $\theta_{III} - \theta_I = \theta_{II} - \theta_I = 45^\circ$ 的直角形应变花。

根据上式即可求得各应变花处的主应变大小和方向。

主应变 $(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ ：

$$\varepsilon_1, \varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_I + \varepsilon_{II} + \varepsilon_{III}}{3}$$

$$\pm \frac{1}{3} \sqrt{2\{(\varepsilon_I - \varepsilon_{II})^2 + (\varepsilon_{II} - \varepsilon_{III})^2 + (\varepsilon_{III} - \varepsilon_I)^2\}}$$

(等角形)

$$\varepsilon_1, \varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_I + \varepsilon_{III}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{2\{(\varepsilon_I - \varepsilon_{II})^2 + (\varepsilon_{II} - \varepsilon_{III})^2\}}$$

(直角形)

主应变方向 (θ_1) ：

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}(\varepsilon_{II} - \varepsilon_{III})}{2\varepsilon_I - \varepsilon_{II} - \varepsilon_{III}} \right) \quad (\text{等角形})$$

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2\varepsilon_{II} - \varepsilon_I - \varepsilon_{III}}{\varepsilon_I - \varepsilon_{II}} \right) \quad (\text{直角形})$$

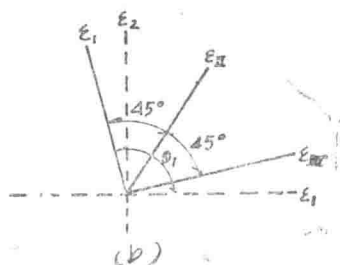


图1—2—8 主应变的测定方法
(a)等角形应变花 (b)直角形应变花

等角形及直角形应变花系在不同的情况下使用。预先明确主应力方向时用直角形,主应力方向不明确则采用等角形。从其误差看,均能得到满意的量测结果。

此外,还有T三角形(在等角形的一边上加一条垂直的测线)和双直角形(直角形 ϵ_x 上加一条垂直测线)等。平面应力的决定,原理上虽应以测定三方向的应变值为好,但在实际量测中往往有很多影响因素,为了提高测定精度,在条件允许时,望能获得作为检验量测值用的充分数量的测定值。

六、应变的量测方法

应变量测的目的是:

①为了求出外力作用下的结构物应力分布及其变化状态;

②由应力反算荷载的大小、分布和频率;

③求杆件的残余应力。

虽然希望能直接测得应力,但直接测定应力的方法极少,一般是由应变值换算为应力值。直接求应力分布的方法不是通过应变求特定位置的应力,而仅适合于了解一定范围内应力分布概况的情况。以下对其中有代表性的几种方法作简要介绍。

1. 应变涂料(脆性涂料)

在杆件表面薄薄地涂上极脆的涂料,根据应力状态下所产生的涂料裂缝的方向和密度来分析其分布。这种量测方法如能求出涂料裂缝的发生或密度与应变的关系,则可作为一种无破损检测法利用。

2. 光弹性实验法

这种方法是将透明的匀质体(例如玻璃板、酚醛塑料板、2-甲基丙烯酸树脂板等)置于应力状态,在光学条件下瞬时结晶体呈现出双折射现象,这时当偏光通过质体,两个偏光就产生与透明体中主应力差成比例的

相对相位差,可以观察到美丽的干涉条纹。利用这种现象即可求出应力分布。因为光弹性实验法是用光弹性材料来制作对象结构的相似模型,在载荷状态下求解应力分布(二维,三维),因此,可将光弹性材料的皮膜贴装在对象杆件的表面直接求得应力状态,这就逐渐扩大了光弹性实验法的应用范围。

3. 莫尔(Moire)条纹法

杆件表面应变的量测方法是在表面打上间距很小的格子状细线,再以相同的格子旋转 θ 角而重叠,将表面应变放大 $\frac{1}{\theta}$ 倍而进行观察。要正确地制作标准格子是困难的,但这种方法亦可保证 10^{-6} 左右的读数精度。

4. 类似试验法

弹性问题中,当应力和变形的支配方程式同其他的物理现象各自同形时,即使不直接对弹性体实测,亦可通过类似物理现象的物理量测间接地研究弹性问题,这就称为类似试验方法。属于这种试验法的有肥皂膜试验,电解槽试验等。

以上所述乃是将应力分布用直接的扩大范围进行求解的方法。但最普遍的应变量测方法是对任一点而言的。如前所述,表面应力的应力状态可用量测纵应变求解,为此的量测仪器有发展中的能正确地量测两点间标距变化的延伸仪。

表1-2-1归纳了包括上述应力分布量测法在内的应变量测方法。

近来由于电子技术的发展,虽然电器方法被广泛的采用,但机械方法具有以下特点,亦应注意根据量测目的、条件给予充分利用。

①无电器方法难以避免的漂移;

②进行多点长期应变变化观测时,仅在杆件上设置测点,测试装置可仅在需要观测时才安装在测点上,不致影响其他工程的施

应变量测方法的分类

表1-2-1

	机 械 方 法		电 器 方 法	
量测一点的应变	主 要 原 理	方 法	主 要 原 理	方 法
	(a) 机械法	利用“杠杆”“齿轮”“滚轴”来扩大	(a) 电阻	{ 金属电阻变化 { 电阻线(包括卡尔逊形)

工;

会更加广泛。

③具有光杠杆那样的高精度测试装置。

机械方法也有以下缺点:

①机械方法不能进行动态量测; ②同时多点量测或远距离观测有困难; ③不同的仪表所得的被试体应力状态很乱; ④关于数据处理, 采用电器方法输入数据要快。

电器方法的优缺点和机械方法相反, 但以电阻应变计为中心的量测方法最近有显著的进展, 随着测试仪器的发展其应用范围将

七、应变量测实例

以下对应变量测实例——新水乡大桥的量测予以介绍。该桥系两跨斜张桥, 加劲主梁采用抗风性强的倒梯形箱梁。

在本桥进行了由起重机起振的动载试验和用20台载重车(20t/台)加载的静载试验。静载试验的荷载状态见图1-2-10及表1-2-2。

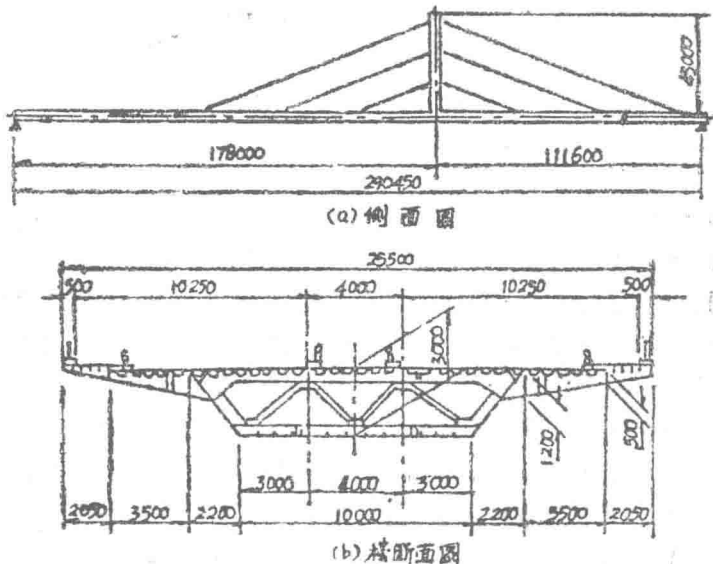


图1-2-9 新水乡斜张桥示意图

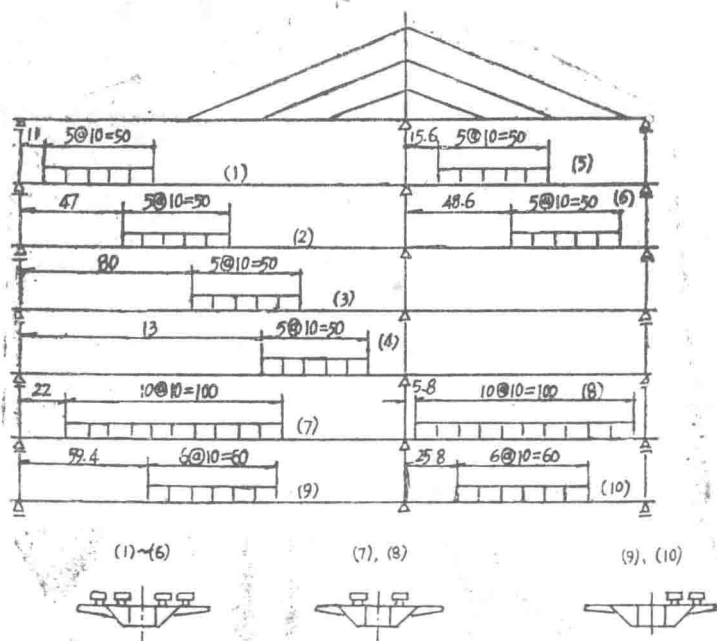


图1—2—10 荷载的种类

荷 载 强 度

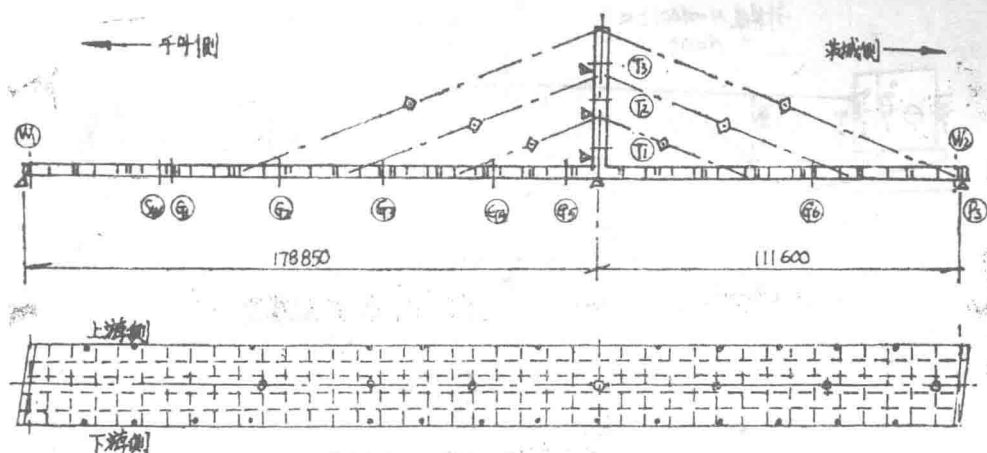
表1—2—2

荷 载 状 态	卡 车 总 重 量	设计活载强度①	实际活载强度②	②/① (%)
1~4	400t	5.03t/m	8t/m	159
5, 6	400t	5.39t/m	8t/m	148
7	400t	5.03t/m	4t/m	80
8	400t	5.09t/m	4t/m	79
9, 10	240t	20.85t·m/m	20t·m/m	96

现场实测时量测项目及测试位置如图1—2—11所示。其中仅有加劲梁应变片的情况示于图1—2—12。单有加劲梁应变的测试断面是 W_1 、 W_2 及 $G_1 \sim G_6$ ， W_1 、 W_2 及 G_6 断面的腹板分别贴3枚3轴应变比，各腹板承受的支点反力由各腹板的剪应力求算。 $G_1 \sim G_6$ 各断面贴单轴应变片，以求出桥轴向的应力。

另外，为求出扭矩作用时作用在剪刀撑上的力，在断面 S_w 的剪刀撑及横肋上贴有30枚单轴应变片。塔架和支座也进行了应变量测，其应变片的种类和数量列入表1—2—3。

部分测试结果如图1—2—13及1—2—14所示。由此可见实测结果和计算值基本相符，可认为达到了验证设计的目的。



符号	观测项目	观测仪器
○	应变(梁, 塔, 支座)	电阻应变计
•	主梁的挠度	水准仪, 箱尺
▲	塔的偏斜	铅锤
◆	缆索的变位	经纬仪

图1—2—11 新水乡大桥实测位置

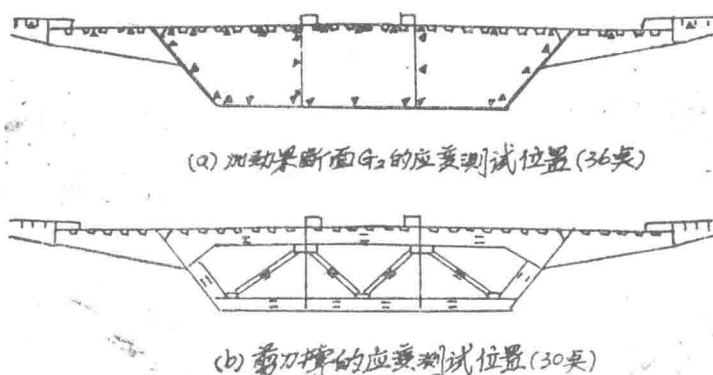


图1—2—12 加劲梁、剪刀撑的应变测试位置

应变计的种类和数量 表1—2—3

测试位置	测试断面	应变计数量
加劲梁	W_1, W_2	12枚(三轴应变片)
	G_1, G_3, G_4, G_6	32枚(单轴应变片)
	G_2	36枚(单轴应变片)
	G_5	24枚(单轴应变片)
	G_2	12枚(三轴应变片)
剪刀撑	S_W	30枚(单轴应变片)
塔	T_1, T_2, T_3	12枚(单轴应变片)
盆式橡胶支座	P_5	8枚(单轴应变片)

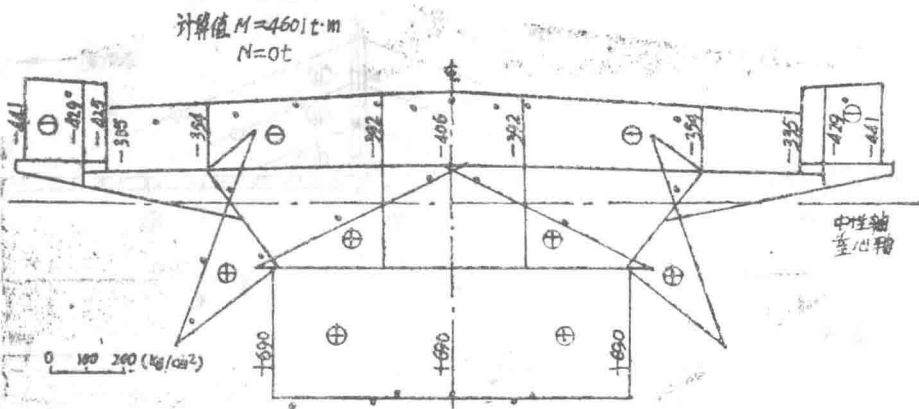
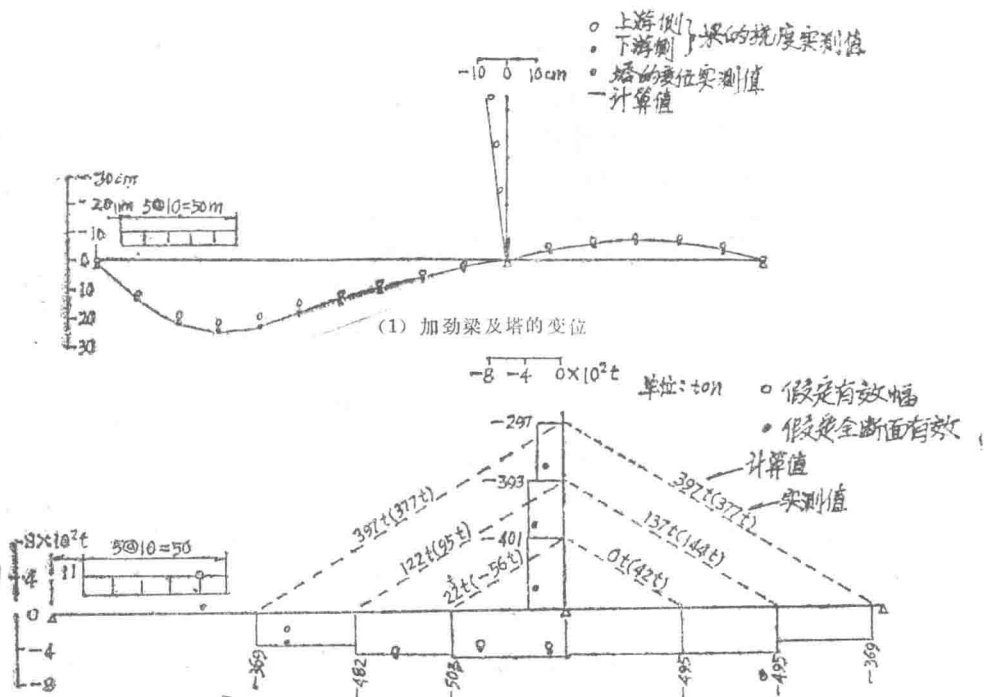


图1-2-13 设计荷载作用下所得的加劲梁G₁断面的应力分布



(2) 加劲梁和塔的轴力及缆索的张力

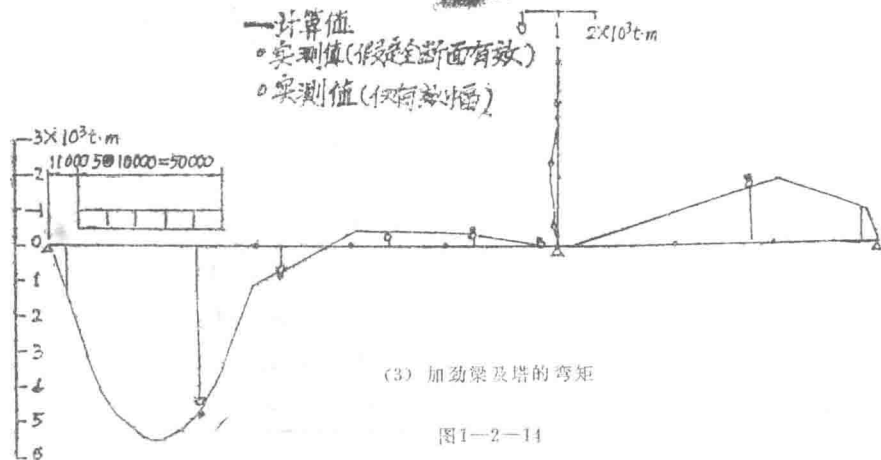


图1-2-14

§ 3 公路桥的变位、变形及振动的量测

近年来,吊桥、斜张桥等大跨度桥梁修建甚多。由于这种结构富有柔性,仅在风荷载、地震荷载、汽车荷载等外力时的反应及在架设施工中随着结构体系的转换所产生的变形量与其他刚度大的结构相比均大。这些现象不能影响构造物的安全,亦不能出现差错,对此设计人员虽可在设计阶段通过数值计算和模型试验等手段予以复核检查,但不可避免的要采用一些假定条件和将结构物模式化。为验证假定和模式化的合理性,就需在架设施工中进行变形量的量测,对部分构件应根据荷载试验来掌握结构的特性,竣工后还需对完成的结构体系进行各种试验,以便评价结构物的安全性。众所周知在这些工作中变位和振动加速度等的量测数量最大。

从研究角度出发对公路桥实测的例子很多,此时虽是以弄清问题和研究新的设计方法之类作为主要目的,但仍对结构物的变位

和加速度进行量测。

本节将就在实际量测中使用频率高的传感器——变位计及加速度计的安装方法及其种类、原理、特性等予以介绍,同时,还介绍应用这些量测传感器的四个量测实例。

一、变位计和加速度计

变位计、速度计及加速度计一般总称为振动计。根据其与被测物的位置关系可将振动计分为接触形和非接触形;根据接触形的机械原理又可分为振子形和非振子形。另外,根据所量测的物理量还可分为变位计、速度计和加速度计;根据物理量的输出方法还可细分(如图1—3—1)。基于篇幅所限,不可能全部加以说明,在此仅就适用于现场实测的几种,对其原理和特性予以介绍。



图1—3—1 振动计的种类

1. 应变计式变位计(非振子形变位计)

应变计式变位计插入设置在被测物和固定点之间,以变位计本身或变位计构成因素的弹性变形去取代两点间的距离变化,由变

位计输出变形值。使用应变计式变位计在灵敏度和精度方面都具有良好的特性。现已生产出各种测试范围和各种形状的多种类型,可适用于量测200mm以内的变位。表1—3—1列出其中的一例。

应变计式变位计的规格示例

表1—3—1

形 式	滑 动 式		夹 钳 式		悬 臂 式		千 分 表 式	
测定范围	30 mm	100 mm	2~4 mm	2~7 mm	2 mm	10 mm	30 mm	50 mm
灵敏度	$100 \times 10^{-6} / \text{mm}$	同左	$\text{约} 1000 \times 10^{-6} / \text{mm}$	$\text{约} 600 \times 10^{-6} / \text{mm}$	$\text{约} 2500 \times 10^{-6} / \text{mm}$	$\text{约} 500 \times 10^{-6} / \text{mm}$	$100 \times 10^{-6} / \text{mm}$	同左
非线性	0.3% FS	同左	1% FS	同左	1% FS	同左	0.2% FS	同左
零点温度影响	$1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	同左					$1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	同左
适用温度范围	-10~+50℃	同左	0~+40℃	同左	同左	同左	同左	同左
最大挤压力	500 gf	同左			720 gf	330 gf	500 gf	同左
固有频率					220 HZ	50 HZ	0.5 HZ	同左

由于这种应变计在被测物的近旁必须有固定点，有时不适于现场量测。例如图 1—3—2 是与钢线绳并用、利用远方固定点的方法，在这样的情况下进行量测时，必须注意在钢线绳拉紧状态下的初读数及伴随着温度变化的钢线绳伸长，或风引起的钢线绳振动。

选择量测传感器时，对此要特别注意其频率特性。

2. 涡电流式变位计(非接触形变位计)

新近研制的涡电流式变位计是以非接触形式去量测敏感元件和导电的被测体间的间隙量的。其工作原理是当导体接近敏感元件内的高频线圈时，利用其电感会因涡电流效果而减少的原理。因为一般所用的线圈发振频率为1MHZ左右，所以可用于量测变位反应在0~20KHZ的广阔范围，分辨率极高，可为量测范围的0.01%，这便是该种变位计的重要特征。量测范围虽随敏感元件的大小而有所不同，但最大亦只是0~50mm而较小。虽然敏感元件小，量轻且使用方便，但由于敏感元件和导体的距离比量测范围还小，且其一端在被测物体上而另一端即固定在不动点上，所以在被测物近处必须有固定点。表 1—3—2 所列 为涡电流式变位计规格的一例。

3. 应变计式加速度计(振子形加速度计)

对于振子式加速度计，当振子的固有频率(f_n)和量测对象的频率(f)间具有 $f_n \gg f$ 的关系时，振子和加速度计壳体的相对变位虽可看作与作用加速度成比例，但在应变计式加速度计中是将此相对变位值以应变计的信号置换的。表 1—3—3 为其规格的一例。其容量(量测范围的加速度上限)为

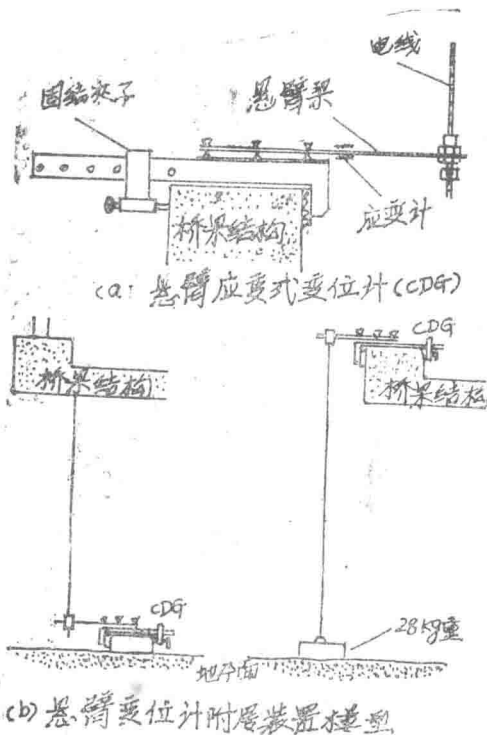


图1-3-2 悬臂式变位计的实测例

另外，对于表 1—3—1 中所列的千分表式变位计，因其固有频率一般均低，故在