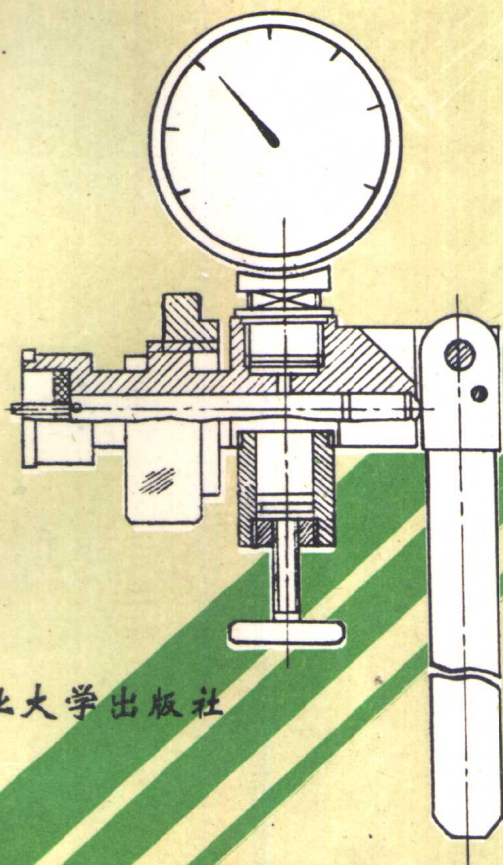


矿压测试仪器设计

黄自伟 崔玉亮 闫相宏 著



中国矿业大学出版社

TP326
H-965

矿压测试仪器设计

黄自伟 崔玉亮 闫相宏 著

中国矿业大学出版社

825404

内 容 简 介

本书专门论述矿压测试仪器的设计方法及设计技术。

全书分为三篇,主要内容是作者多年来科研成果的总结。第一篇介绍矿压测试仪器设计的基础知识,包括典型矿压参数传感技术、矿压测试仪器的微机化设计技术及本安电路设计。第二篇叙述顶板动态测试仪器、监测系统及来压预报专家系统,包括机械式、数显式、智能化顶板动态仪以及顶板来压计算机监测系统和来压预报专家系统设计。第三篇介绍工作面支护质量检测仪器及监测系统,包括机械式、数显式、智能化压力检测仪以及综采支架压力计算机在线监测系统的硬件及软件设计。

本书可作为高等院校电子测量与仪器专业学生的教学参考书,也可供测试技术、自动控制等有关专业的学生及工程技术人员参考。

矿压测试仪器设计

黄自伟 崔玉亮 闫相安 著

责任编辑 姜志友

中国矿业大学出版社出版发行

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 9.5 字数 25 千字

1996 年 10 月第一版 1996 年 10 月第一次印刷

印数 1~1 000 册

ISBN 7 - 81040 - 571 - 3

TH·21

定价:12.50 元

前 言

矿山压力的研究是为矿压预测预报及控制、保障安全生产、提高经济效益服务的。自 70 年代末期以来,以宋振骥院士为首的研究集体,在广泛地深入煤矿现场实践的基础上,通过理论研究及实验室平面与立体模型相似模拟、线性与非线性有限元电算模拟分析研究,建立并逐渐完善了“以岩层运动为中心的矿压理论”。在这一理论的指导下,利用“井下岩层动态观测研究方法”和我们研制的一系列顶板动态测试仪器及监测系统,在预测预报顶板大面积活动与支承压力分布等方面,进行了广泛的实践,取得了明显的社会 and 经济效益。同时,通过对大量现场实测资料进行分析、归纳,进一步推动了矿山压力理论研究的发展。因此,利用矿压测试仪器进行现场实测,是进行模拟试验和数学力学分析的基础,在矿压理论的建立和完善过程中起着重要作用,并且对实现煤矿安全生产具有重要的意义。随着矿山压力研究工作的不断深入,对矿压测试仪器的性能要求越来越高,矿压仪器所发挥的作用也越来越大。

矿压测试仪器的发展经历了机械式、数显式和智能化三个发展阶段。特别是近十几年来矿压测试仪器有了很大的发展,这集中表现在有一批国家攻关项目、基金项目的研究成果及相关技术得到了进一步开发应用应用,因而形成了比较系统的设计方法,研

制出了系列化的测试仪表及监测系统,使智能化程度不断提高。为进一步推动矿压测试仪器的的发展,有必要对矿压测试仪器,特别是微机化矿压测试仪器和监测系统的设计方法及设计技术进行系统地整理和总结,这就是我们编写本书的主要目的。

矿压测试仪器的种类繁多,所测试的基本参数包括载荷、位移、压力、应力等。本书在取材上不可能包罗万象,只能选择与煤矿安全生产密切相关的典型矿压参数作为分析对象,重点介绍这些参数测试仪器的设计。从这一思路出发,在我们研究和开发的矿压测试仪器中优选出两大系列进行系统的论述。这两大系列仪器均具有以下特点:一是具有系统性,每一系列都包括了机械式、数显式及微机化三代产品,从中可以看出矿压测试仪器的发展历程及设计方法的变化;二是具有新颖性,在数显式及微机化仪器中,均以集成电路或单片微型计算机为核心组成,而在远距离监测系统中,主要是基于计算机的在线监测系统;三是具有很强的实用性,所有仪器及监测系统均在现场得到应用,发挥了较好的作用。

全书分为三篇。第一篇介绍矿压测试仪器设计的基础知识,包括典型矿压参数传感技术及矿压测试仪器的微机化设计技术,鉴于矿压仪器应用环境的特殊性,在第三章专门介绍矿压测试仪器的本安电路设计问题。第二篇叙述顶板动态测试仪器、监测系统及来压预报专家系统,包括机械式、数显式、智能化顶板动态仪以及顶板来压计算机监测系统和来压预报专家系统设计。第三篇介绍工作面支护质量检测仪器及监测系统,包括机械式、数显式、智能化压力检测仪以及综采支架压力计算机在线监测系统的硬件及软件设计。

本书总结了我们多年来在矿压测试仪器设计中的主要研究成果,是集体智慧的结晶。在仪器的研究和开发过程中,得到了山东矿院智能工程研究所、矿山压力研究所等单位许多研究人员的的大力支持和帮助,由于人员较多,恕不一一列出。考虑到本书的系统

性,本书也引用了一些著作者的研究成果。在仪器的应用过程中,现场的许多同志给予了大力配合,并提出了宝贵的改进意见。山东矿业学院智能工程研究所的何明祥、刘振春同志参加了本书部分内容的编写工作。于凤、赵卫东、原明亭、田春芳等同志参加了有关内容的研究工作,在此对上述同志一并致以衷心的感谢!

由于《矿压测试仪器设计》是首次系统地总结矿压仪器设计问题,定会存在不足之处乃至错误,敬请读者批评指正。

著者

1996年10月

目 录

前 言

第一篇 矿压测试仪器设计基础

第一章 典型矿压参数传感技术	(2)
第一节 电阻应变式传感器.....	(2)
第二节 振弦式传感器	(20)
第三节 电容式传感器	(33)
第四节 电感式传感器	(41)
第二章 矿压测试仪器的微机化设计技术	(45)
第一节 引言	(45)
第二节 微机化仪器的特点	(45)
第三节 微机化仪器的组成	(46)
第四节 微机化仪器硬件设计技术	(49)
第五节 微机化仪器软件设计技术	(63)
第三章 矿压测试仪器的本安电路设计	(68)
第一节 防爆电气设备的一般知识	(68)
第二节 防爆电气设备的通用要求	(74)
第三节 本质安全电路的基本知识	(80)
第四节 本质安全电气设备的防爆原理	(81)

第五节	本质安全电路对元件的要求	(85)
第六节	矿压测试仪器的结构设计	(89)
第七节	本质安全电路的计算方法	(92)

第二篇 顶板动态测试仪器及来压预报专家系统

第一章	本地显示式顶板动态仪	(98)
第一节	KY—82 型顶板动态仪	(98)
第二节	RD—150 型容栅式数显动态仪	(100)
第二章	智能化顶板动态检测仪	(105)
第一节	智能化顶板动态检测仪组成	(105)
第二节	数据记录器	(106)
第三节	便携式数据采集器	(108)
第三章	DCC—2 型顶板动态远距离监测系统	(111)
第一节	概况	(111)
第二节	系统原理框图及工作原理	(111)
第三节	系统设计	(113)
第四节	主要技术参数	(116)
第四章	DKJ—1 型顶板来压计算机监测系统	(118)
第一节	概况	(118)
第二节	系统原理框图及工作过程	(119)
第三节	传输系统选择	(121)
第四节	“三机”系统模式特点及实现	(121)
第五节	监测系统位移传感器及位移分机	(126)
第六节	监测系统地面部分	(132)
第五章	煤矿采场来压预报专家系统(DLFES)	(141)
第一节	引言	(141)
第二节	DLFES 系统总体设计	(142)

第三节	DLFES 系统的知识库和知识库管理	(153)
第四节	DLFES 系统的数据库及数据库管理	(160)
第五节	DLFES 系统的推理机制	(166)

第三篇 工作面支护质量检测仪器及监测系统

第一章	机械式支柱(支架)压力检测仪	(178)
第一节	平衡顶针式单体液压支柱工作阻力检测仪	(178)
第二节	增压式单体液压支柱工作阻力检测仪	(180)
第三节	防护式综采支架测压表	(181)
第二章	数显式支柱(支架)压力检测仪	(186)
第一节	SY—50 单体液压支柱数显测压仪	(186)
第二节	SY—60 SZ 综采数显测压表	(192)
第三章	智能型综采支架压力记录仪	(195)
第一节	ZYDC—2 型综采记录仪	(195)
第二节	红外传输式综采记录仪	(219)
第四章	ZYDC—1 型综采支架压力计算机在线监测系统	(230)
第一节	概况	(230)
第二节	井下压力分机	(231)
第三节	井下通讯分机	(234)
第四节	地面接收主机	(238)
第五章	软件系统开发技术及综采支架压力监测系统软件设计	(242)
第一节	系统需求分析和规格说明	(242)
第二节	系统设计方法	(246)
第三节	系统测试方法	(254)

第四节	软件系统质量与系统可靠性·····	(258)
第五节	系统维护·····	(261)
第六节	综采支架压力监测系统软件设计·····	(264)

第一篇

矿压测试仪器设计基础

矿压测试仪器的发展经历了机械式、数显式和智能化三个阶段。除机械式仪器外,其它测试仪器都是采用非电量电测技术实现参数测量的。非电量电测矿压仪器通常由传感器和二次仪器组成,本篇即介绍这类矿压测试仪器设计的基础知识,包括典型矿压参数传感技术、矿压测试仪器的微机化设计技术及矿压测试仪器的本安电路设计。

第一章 典型矿压参数传感技术

实测矿压基本参数主要包括位移、速度、载荷、压力、应力等,能够把这些非电量变换成电量的传感器很多。设计传感器时,除要求性能指标外,还要能适应煤矿井下特殊环境,包括坚固耐用、防尘防潮、易于实现本质安全型等方面。在矿压测试仪器中常用的传感器,根据传感原理来分主要有电阻应变式传感器、振弦式传感器、电容式传感器和电感式传感器等。例如,在我们设计的支柱(或支架)压力测试仪器(或监测系统)中,设计了金属箔式应变片压力传感器;在我们设计的顶板动态测试仪器(或监测系统)中,设计了钢弦式位移传感器、容栅式位移传感器以及电感调频式位移传感器;此外,还设计了光电式位移传感器等。这些传感器在顶板来压预测预报及工作面支护质量监测等方面发挥了重要作用,保证了煤矿的安全生产,提高了经济效益。

第一节 电阻应变式传感器

电阻应变式传感器是非电量电测法中最常用的传感器之一。它以电阻应变片(应变计)为敏感元件,将试件上的应变变化转换成电阻变化,从而可以实现多种非电量的电测。应变片由于具有如下一些优点,从而成为一种非常重要的敏感元件,被广泛地应用于工程测量和科学实验中。这些优点是:

① 应变片的尺寸小、重量轻,对试件的工作状态和应力分布基本上没有影响,不但可以用于静态测量,而且可以用于动态测

量。

② 测量应变的灵敏度和精度高。

③ 测量范围大,既可以测量弹性变形,也可以测量塑性变形。

④ 能适应各种环境,在高温、超低温、高压、水下、强磁场以及核辐射等恶劣环境下均可使用。

⑤ 价格低廉、品种多样,便于选择和大量使用。

应变式传感器的缺点是输出小,对后续信号处理电路的性能要求较高,尤其是在高精度应用以及远距离传输应用中。但是,随着传感器“有源化”的发展,大大改善了长距离传输中的信噪比,提高了抗干扰能力,同时也简化了系统设计。

电阻应变片的分类方法很多,例如可按敏感栅材料、使用温度、用途等分类。按敏感元件的材料不同划分成金属式和半导体式两大类。其中金属式又分为丝式、箔式及金属薄膜式;半导体式又分为体型、扩散型及薄膜型。下边首先介绍金属电阻应变片和半导体应变片,然后叙述电阻应变式传感器及电阻应变片测量电路。

一、金属电阻应变片

1. 工作原理

电阻应变片工作的物理基础是应变效应。所谓应变效应,即是金属导体的电阻随着它所受机械变形(伸长或缩短)的大小而发生变化的一种物理现象。

设有一根长度为 l , 截面积为 S , 电阻率为 ρ 的金属丝, 其初始电阻 R 为:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-1-1)$$

若金属丝在轴向受到应力作用, 则导体的电阻值的相对变化量为:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S} \quad (1-1-2)$$

对于直径为 D 的圆形截面的电阻丝, 由于 $S = \frac{\pi D^2}{4}$, 所以:

$$\frac{dS}{S} = 2 \frac{dD}{D} \quad (1-1-3)$$

令 $\frac{dl}{l} = \epsilon$ 表示轴向应变, 它与径向应变 $\frac{dD}{D}$ 之间的关系用泊松比 μ 表示为:

$$\mu = - \frac{\frac{dD}{D}}{\frac{dl}{l}} = - \frac{1}{\epsilon} \frac{dD}{D} \quad (1-1-4)$$

通过整理式(1-1-4), 式(1-1-3)和式(1-1-2)得:

$$\frac{dR}{R} = \left[(1 + 2\mu) + \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\epsilon} \right] \epsilon = k_0 \epsilon \quad (1-1-5)$$

式中, k_0 是灵敏系数, 即:

$$k_0 = \frac{\frac{dR}{R}}{\epsilon} = (1 + 2\mu) + \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\epsilon} \quad (1-1-6)$$

灵敏系数的前两项 $(1 + 2\mu)$ 是由几何尺寸变化引起的, 而 $\frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\epsilon}$ 表示电阻率 ρ 随应变所引起的变化。对金属电阻应变片, 以前两项为主, 即 $k_0 \approx 1 + 2\mu$, 但半导体应变片的 k_0 值主要由电阻率相对变化的那项决定, k_0 变化范围是 $60 \sim 170$, 远远大于 $(1 + 2\mu)$, 即半导体应变片的灵敏系数远比金属应变片的大。

2. 金属电阻应变片的结构与形式

(1) 金属丝式电阻应变片

丝式电阻应变片由敏感栅、基座、粘结剂、面胶、引线五部分构成, 分为圆角线栅式和直角线栅式两种, 分别如图 1-1-1(a), (b) 所示。前者是最常见的形式, 但横向灵敏度比直角线栅式和箔式应

变片的要大。直角线栅式(或称短接线式)应变片虽具有横向效应小、敏感栅形状容易保证等优点,但其耐疲劳性能较差,特别是因为出现了更为优越的箔式应变片而没有得到大量推广。

(2) 金属箔式应变片

该应变片是利用很薄的金属箔片作为敏感栅材料,用 IC 工艺制版、光刻、腐蚀技术制造而成。其优点是:

① 箔式应变片敏感栅可制成较宽的横栅,因而横向效应比丝式应变片小;

② 箔栅的厚度多在 $0.001 \sim 0.008 \text{ mm}$ 之间,能较好地反映构件表面的变形,且易于粘贴在弯曲的测件表面上;

③ 箔栅的散热条件比丝栅好,因而允许通过较大的工作电流;

④ 能够较容易地按需要制成任何形状,以适应不同的测量要求;

⑤ 蠕变较小、疲劳寿命长。基于这些优点,箔式应变片的应用范围正日益扩大,有逐步取代丝式应变片的趋势。

图 1-1-2(a)是普通形式的箔式应变片,其横向部分特别粗,故可大大减小横向灵敏度,并增加端部承受剪力的面积,尤其在受交变载荷时疲劳寿命长,在长时间测量中蠕变小。另外,由于可允许流过较大的电流,因此可用较高的电压供给测量电桥以增大输出信号。图 1-1-2(b)是用以粘贴在承受液体压力圆膜片上的特种应变片,线栅形状与膜片上的应变分布特点相适应。

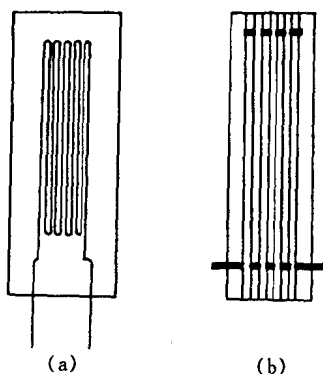


图 1-1-1 金属丝式应变片
(a) 圆角线栅式; (b) 直角线栅式

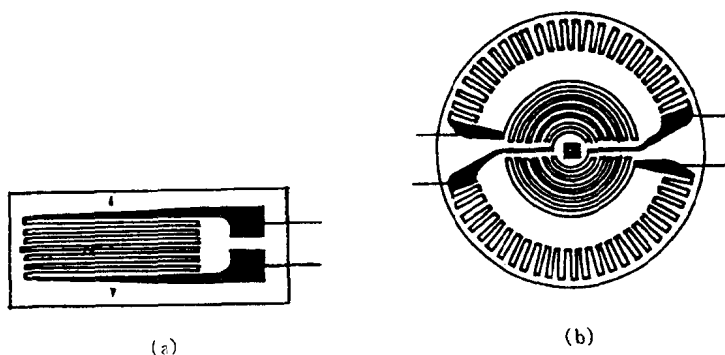


图 1-1-2 金属箔式应变片

(a) 普通型; (b) 特种型

(3) 金属薄膜式应变片

它是用真空蒸镀或溅射方法将金属材料积淀在绝缘基座上, 用半导体刻蚀工艺制成各种形状敏感栅, 其厚度比箔式应变片还薄, 灵敏度系数比丝式、箔式的更高。这种应变片是薄膜技术发展的产物, 与常规应变片相比使用得较少。

二、半导体应变片

1. 工作原理

半导体应变片的工作原理是压阻效应, 即对半导体某一晶向施加应力时, 其电阻率随应力的变化而产生明显的变化。这一关系可表示为:

$$\frac{dR}{R} \approx \frac{d\rho}{\rho} = \pi\sigma \quad (1-1-7)$$

式中 π ——半导体压阻系数;

σ ——应力。

由于 $\sigma = E\varepsilon$, 所以式(1-1-7)又可写为:

$$\frac{d\rho}{\rho} = \pi E \epsilon = k \epsilon \quad (1-1-8)$$

式中 ϵ ——应变；
 E ——弹性模量；
 $k = \pi E$ 是灵敏系数。

2. 结构及特点

图 1-1-3 是一种条形半导体应变片的示意图。为了提高灵敏度,除应用单条应变片外,还有制成栅形的。

半导体应变片的突出优点是灵敏度高、可测微小应变,且体积小、机械滞后小、频率响应高。其主要缺点,一是温度稳定性差,二是测量较大应变时灵敏度的非线性严重,因此,必须重视温度补偿和非线性补偿问题。

三、电阻应变式传感器

电阻应变片的重要应用

方向之一,就是通过测量各种弹性元件的应变来间接测量其它各种机械量,如变形、力、压力、扭矩、弯矩、机件的振动、加速度等,从而产生各种相应的电阻应变式传感器。在煤矿单体液压支柱工作面及综合机械化采煤工作面,对支护装备的支护质量监测是一项主要内容,其中监测的主要参数是支柱或支架内部液压,因此这里重点讨论电阻应变式压力传感器。

电阻应变式压力传感器结构示意图如图 1-1-4 所示。由周边固定的圆平膜片直接感受被测压力而产生变形。应变片贴在膜片内表面,在膜片产生应变时,使应变片电阻发生变化,通过测量电

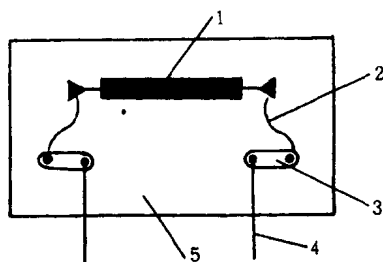


图 1-1-3 半导体应变片

- 1 —— 单晶硅条；2 —— 内引线；
 3 —— 焊接电极；4 —— 外引线；
 5 —— 胶膜基底