

全国高等职业教育“十三五”规划教材

# 矿山压力 观测与控制

元永国 赖立学 主编

Kuangshan Yali Guance Yu Kongzhi



中国矿业大学出版社  
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

全国高等学校教育“十三五”规划教材

# 矿山压力观测与控制

主 编 元永国 赖立学  
副主编 任智敏 姜俊博 张建超

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书在简要介绍矿山压力观测仪器相关知识的基础上,对巷道矿山压力及采煤工作面矿压观测与控制、工作面矿山压力观测数据整理与分析、采煤工作面顶板控制、采煤工作面顶板事故的防治、矿山压力动力现象及防治等方面的基础知识及基本技能进行了系统阐述,并就巷道矿压现场观测报告、采煤工作面矿压观测分析报告的结构、主要内容和编写方法进行了详细介绍。

本书是高职高专煤矿开采技术及相关专业的教学用书,也可作为煤矿员工安全技术培训的教材,亦可供相关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

矿山压力观测与控制 / 元永国,赖立学主编. — 徐州:中国矿业大学出版社,2018.7

ISBN 978 - 7 - 5646 - 4011 - 8

I. ①矿… II. ①元…②赖… III. ①矿压观测②矿山压力—控制 IV. ①TD3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第138280号

书 名 矿山压力观测与控制  
主 编 元永国 赖立学  
责任编辑 何 戈  
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司  
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)  
营销热线 (0516)83885307 83884995  
出版服务 (0516)83885767 83884920  
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com  
印 刷 江苏淮阴新华印刷厂  
开 本 787×1092 1/16 印张 18.5 字数 462 千字  
版次印次 2018年7月第1版 2018年7月第1次印刷  
定 价 37.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 前 言

随着职业教育的快速发展,职业教育的教学模式、教学方法、教学条件均发生了巨大的变革,特别是一体化教学模式的广泛应用,促使教师的教学理念、教材内容的组织形式顺势而变。在全国煤炭职业教育“十三五”规划教材编委会的引领下,为了提升《矿山压力观测与控制》教材的实用性与适用性,适时地组织了本教材的编写团队,力求编写出突出职业教育特点的一体化教材。

“矿山压力观测与控制”是高职高专煤矿开采技术及相关专业的专业技术课程,本课程主要研究巷道与采煤工作面矿山压力观测及控制、防治各种矿山压力灾害等内容。通过对本课程的学习,学生能使用常用矿压观测仪器进行矿压观测,能进行采区巷道矿压观测,能对矿压观测数据进行分析和处理,会编写矿压观测报告,能对巷道冒顶进行预防和处理,能对各种条件下的采煤工作面顶板事故进行防治,同时为后续其他专业技术课程的学习打下坚实的基础。

本教材的编写团队来自辽源职业技术学院、山西煤炭职业技术学院、陕西能源职业技术学院和河南工业和信息化职业学院,在教材的编写过程中,为突出职业能力培养,体现基于职业岗位和具体工作过程的课程设计理念,结合当前职业教育特点,内容以“够用”为度,既便于学生掌握矿山压力相关基本知识,又方便学生在其基础上进行矿压观测与顶板控制。全书以项目为导向,采取任务驱动的模式,以真实的工作任务为载体组织课程教学内容,内容编排上打破了传统学科式教学内容的编排顺序,以围岩性质和矿压显现规律入手,通过对矿压观测数据的分析,编写矿压观测分析报告,给出矿压控制措施。

本书由辽源职业技术学院元永国任第一主编,负责编写项目二的任务二至任务六、项目三和项目四;辽源职业技术学院赖立学任第二主编,负责编写项目九;山西煤炭职业技术学院任智敏任第一副主编,负责编写项目六、项目七和项目八;陕西能源职业技术学院姜俊博、张建超任第二、第三副主编,分别负责编写项目五的任务一至任务四以及项目五的任务五至任务八。参与编写的还有:山西煤炭职业技术学院王神虎,负责编写项目十;河南工业和信息化职业学院刘广超,负责编写项目一以及项目二的任务一。

在本书编写过程中,得到了参与学校领导和中国矿业大学出版社的大力支持与配合,在此表示诚挚谢意。因编者水平有限,书中缺憾之处在所难免,诚请读者批评指正。

编者

2018年2月

# 目 录

## 学习情境一 矿山压力观测及控制

项目一 矿山压力观测仪器认识	3
项目二 巷道矿山压力观测及控制	22
任务一 巷道围岩基本性质分析	22
任务二 巷道围岩应力观测	36
任务三 巷道围岩表面位移观测	47
任务四 巷道围岩深部位移观测	50
任务五 巷道支护体载荷与变形观测	61
任务六 巷道围岩松动圈测定	65
项目三 编写巷道矿压现场观测报告	70
项目四 巷道矿山压力控制	78
任务一 巷道变形与破坏分析	78
任务二 巷道矿压控制	84
任务三 巷道支护方式选择	93
任务四 软岩巷道支护	113
任务五 巷道稳定性保护	120

## 学习情境二 采煤工作面矿山压力观测与控制

项目五 采煤工作面矿压观测与控制	133
任务一 采煤工作面矿山压力显现规律分析	133
任务二 采煤工作面上覆岩层移动和破坏过程监测	151
任务三 顶底板移近量和活柱下缩量监测	158
任务四 支架载荷监测	163
任务五 采煤工作面顶板状况统计监测	168
任务六 底板比压测定	174
任务七 单体支柱工作面支护质量监测	181

项目六	工作面矿山压力观测数据整理与分析·····	187
项目七	编写采煤工作面矿压观测分析报告·····	194
项目八	采煤工作面顶板控制·····	200
任务一	单体支柱采煤工作面顶板控制·····	200
任务二	综采工作面顶板控制·····	214

### 学习情境三 矿山压力灾害防治

项目九	采煤工作面顶板事故防治·····	233
任务一	顶板事故统计分析·····	233
任务二	局部冒顶事故防治·····	240
任务三	大型冒顶事故防治·····	245
任务四	特殊条件下采煤工作面顶板控制·····	253
任务五	采煤工作面顶板事故处理·····	265
项目十	矿山压力动力现象及防治·····	271
任务一	冲击地压判定·····	271
任务二	冲击地压预测及预防·····	280
参考文献	·····	290

## 学习情境一 矿山压力观测及控制





# 项目一 矿山压力观测仪器认识



## 知识要点

- (1) 目前常用的机械式、液压式矿压观测仪器的原理和用途；
- (2) 目前常用的振弦式、在线矿压观测仪器的原理和用途。



## 技能目标

- (1) 能够根据项目正确选择常用的矿压观测仪器；
- (2) 能够在实训过程中正确操作常用的矿压观测仪器。



## 任务导入

为了掌握矿山压力显现规律,需要对矿山压力进行研究。研究矿山压力的方法有现场观测、实验室模拟和数学力学分析等三大类。现场观测虽然研究周期长、消耗大,但真实可靠,对解决某个矿井(区域)的矿压问题用处大,是目前广泛采用的方法。



## 任务分析

矿山压力观测仪器按观测内容分为采煤工作面和巷道支架工作阻力观测仪器、顶底板相对移近量和巷道围岩表面位移观测仪器、岩体内部原岩应力和附加应力观测仪器、围岩深部位移观测仪器和矿山动力现象观测仪器等,按其工作原理可分为机械式矿压观测仪器、液压式矿压观测仪器、振弦式矿压观测仪器、在线矿压观测仪器及其他矿压观测仪器等。



## 相关知识

### 一、机械式矿压观测仪器

#### (一) 机械式支柱测力计

ADJ-45型和ADJ-50型机械式支柱测力计常用于测量采掘工作面单体支柱和巷道支架承受的载荷及其工作特性等。

该仪器的结构如图1-1所示,测力计的上盖受力后,使工作膜承受压力并发生弹性变形,这一微小变形通过传动杠杆放大。用百分表制成的压力指示器(图1-2)插入测孔,测量传动杠杆自由端的位移即压力指示器的百分表读数。然后,在标定曲线(图1-3)上查得测力计上所承受的载荷。

ADJ型机械式测力计的标定曲线是在材料试验机上对测力计进行标定后获取的。在

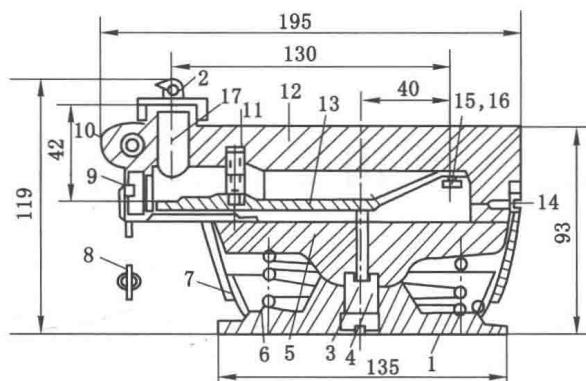


图 1-1 ADJ 型测力计的结构

- 1—底座;2—保护盖;3—调整螺钉;4—螺母;5—工作膜;6—平衡弹簧;7—外套;  
8—保护盖链子;9—螺钉;10—小轴;11—弹簧;12—上盖;13—传动杠杆;  
14—固定螺钉;15,16—螺钉与垫圈;17—测孔

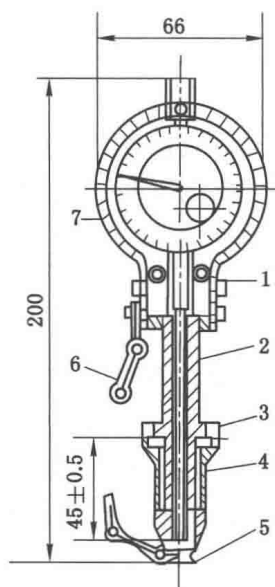


图 1-2 NN-ZY 型压力指示器的结构

- 1—保护环;2—外壳;3—保护盖;4—接长杆;  
5—套圈;6—链子;7—百分表

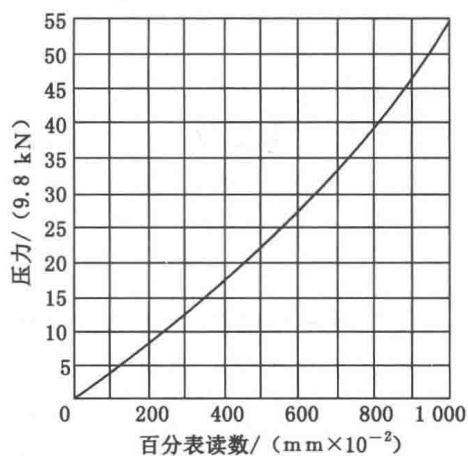


图 1-3 ADJ 型测力计标定曲线

材料试验机上,首先对测力计进行加载,载荷由零均匀加至最大值(为额定工作载荷的 1.2 倍)。再用压力指示器测量该载荷下的自由端位移,然后卸载,同样测量该载荷下的自由端位移。重复 3 次,取其平均值,即可作出测力计的标定曲线。支柱测力计的标定曲线由生产厂家提供,使用过程中因工作环境的变化,其工作特性有可能发生变化,因此有条件时每次观测前都应重新标定一次。

ADJ 型支柱测力计主要技术特征见表 1-1。

表 1-1 ADJ 型支柱测力计主要技术特征

主要技术指标	ADJ-45 型	ADJ-50 型
设计工作压力/kN	450	500
过载安全系数	1.2	1.2
工作膜直径/mm	135	180
杠杆传动装置传动比	1 : 3.25	1 : 3
最大压力时杠杆端部位移/mm	3~4	6~7
测力计支撑面积/cm <sup>2</sup>	135	254
精度/kN	10	5
允许相对误差/%	±2	±1
允许偏心角/(°)	7	7
外壳直径/mm	145	188
长度/mm	195	250
高度/mm	113	118
质量/kg	5.2	9.5

## (二) 围岩移动量和移动速度观测仪器

### 1. DDJ 型测杆

DDJ 型测杆是测量顶底板相对移近量、巷道围岩表面及支架两点间位移的常用仪器,主要由活杆、套管、标尺等组成,如图 1-4 所示。活杆可在套管内滑动,活杆上设有固定标尺,套管上端的矩形读数窗口刻有读数基准线,拧紧夹紧螺钉,可使卡环抱紧活杆,并借助弹簧的弹力使测杆稳固地支撑在两测量基点之间,读数基准线所对准的标尺刻度即为观测值。

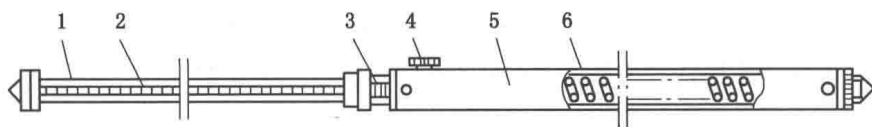


图 1-4 DDJ-2.5 型测杆的结构

1——活杆;2——标尺;3——观测窗;4——夹紧螺钉;5——套管;6——弹簧

图 1-5 所示为 C-II 型自动记录器结构图,该记录器可实现自动连续观测。使用时,将测杆从自动记录器测杆孔口穿过,固定好自动记录器,将测杆支设在两测量基点间,然后拧紧测杆的夹紧螺钉,利用自动记录器上的夹紧装置,使测杆的活杆移动时带动杠杆,并驱动记录笔笔尖在自记钟柱形表面记录纸上绘出顶板下沉曲线。观测期间每天更换一次记录纸,上紧自记钟的发条。若记录笔使用墨水,还应及时灌注墨水。

### 2. BHS-10 型测枪

BHS-10 型测枪适于测量巷道围岩表面位移,亦可用于地面工程测量,其结构如图 1-6 所示。该测枪测量范围大,读数精确,使用方便。

测量时,将测枪接头组挂在预先安设的观测基点的金属钩上,下压卡簧片,松开扳机,移动测枪放出测尺。待测枪顶尖接近对应测点时,扳机压至一挡,将测尺压紧。当顶尖触及测

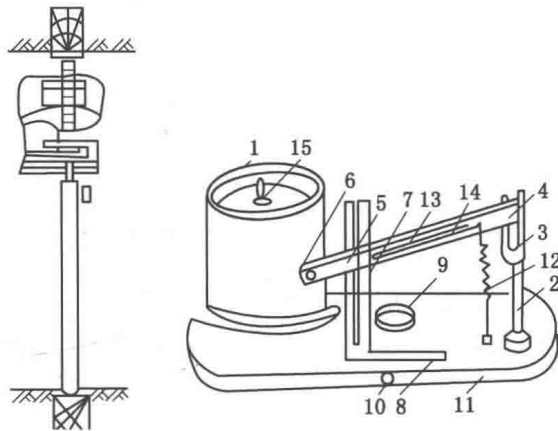


图 1-5 C-II 型自动记录器的结构

- 1——自记钟；2——立柱；3——导槽；4——轴；5——杠杆；6——笔尖；7——导轨；8——调节板；9——测杆孔口；  
10——固定螺钉；11——底座；12——弹簧；13——放大旋钮；14——放大刻度；15——自记钟轴

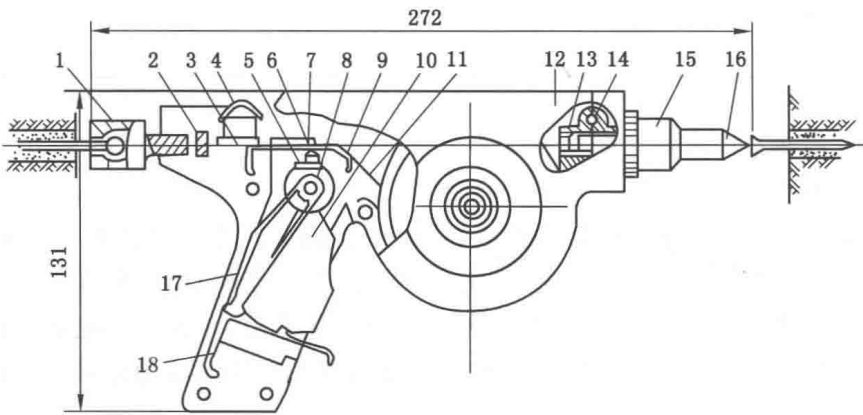


图 1-6 BHS-10 型测枪的结构

- 1——接头组；2——毡垫；3——尺标；4——放大镜；5——调整螺母；6——压钉；  
7——橡胶板；8——扳机轴；9——弹簧片；10——扳机；11——测尺；12——枪壳；  
13——枪嘴；14——螺钉；15——保护帽；16——顶尖；17——扳机簧；18——卡簧片

钉端面时，扳机压至二挡，锁死测尺，从放大镜处观看标尺数据，即是测取的读数值。配合接长杆使用，测枪最大测量范围可达 11 m。

### 3. KY-82 型顶板动态仪

KY-82 型顶板动态仪，是一种普及型机械式的位移计，其结构如图 1-7 所示。它灵敏度高、量程大，主要用于测量采煤工作面和巷道顶底板移近量及移近速度。使用时，动态仪安设在顶底板测量基点间，依靠压力弹簧固定。粗读数或较大读数由粗读数游标指示，从刻度套管上读出，每一小格 2 mm；微读数由指针指示，从微读数刻度盘上读出，刻度盘上每一小格为 0.01 mm，共 200 小格，满刻度对应为 2 mm。顶底板相对移近时，作用力通过压杆压缩压力弹簧并推动齿条，齿条再推动齿轮，带动指针顺时针方向转动，于是读数增大，前后两次读数的差值为此段时间内的顶底板移近量，差值与此段时间间隔的比值即为顶底板移近速度。

KY-82 型顶板动态仪分辨率为 0.01 mm，最大量程为 200 mm，与接长杆配合使用，测

量高度可达 3 m。图 1-7(b)所示为接长杆结构示意,它是顶板动态仪的组成附件之一,当测量高度较大时,可将接长杆与动态仪用连接螺母连成一体。

#### 4. D-III型顶板动态仪

D-III型顶板动态仪的结构如图 1-8 所示,它是在 KY-82 型顶板动态仪基础上改造而成的。将 KY-82 型动态仪的百分表刻度盘换成了光电转换器——一个开有均布 100 个小孔的黑色带孔小圆盘,圆盘后面装有一只发光二极管,当活杆(也称伸缩杆)移动时,齿条杆带动圆盘旋转,圆盘上小孔转动到发光二极管处时,小孔将透出一束光线,每透光一次即表示顶底板相对移动 0.02 mm;在圆盘的另一侧装有光电晶体管,由其构成脉冲输出电路。小孔透出的光直射光电晶体管时,光电晶体管将导通;小孔转过发光二极管时,光电晶体管因无光束照射将截止,每转过一孔光电晶体管发出一个脉冲信号。再采用一种接收仪记录光电晶体管导通、截止的次数,即可获得此段时间内的顶底板相对移近量。

D-III型顶板动态仪与其他相应仪器配合使用,可实现遥测。其使用高度为 1~3 m,最大量程为 300 mm,分辨率为 0.02 mm。

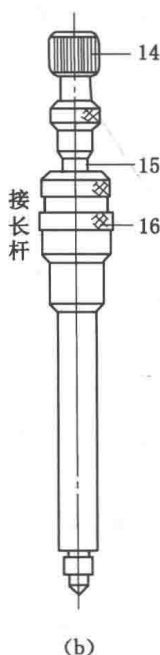
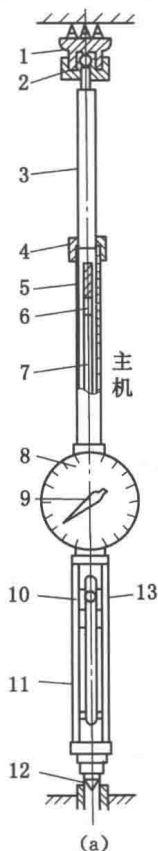


图 1-7 KY-82 型顶板动态仪的结构

(a) 主机;(b) 接长杆

- 1——顶盖;2,6——万向接头;3——压杆;4——密封盖;  
5——压力弹簧;7——齿条;8——微读数刻线盘;  
9——指针;10——刻度套管;11——有机玻璃罩管;  
12——底锥;13——粗读数游标;14——连接螺母;  
15——内管;16——卡夹套

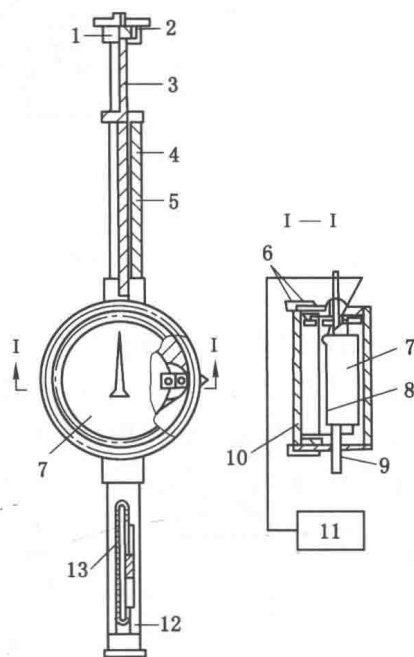


图 1-8 D-III 型顶板动态仪的结构

- 1——活动顶帽;2——球形连接;3——伸缩杆;  
4——套筒;5——复位弹簧;6——光电转换器;  
7——百分表;8——带孔小圆盘;9——齿条杆;  
10——有机玻璃罩管;11——集成电路数字式接收仪;  
12——带刻度套管;13——指针

## 二、液压式矿压观测仪器

液压式矿压观测仪器工作的依据是液体不可压缩原理,将支柱载荷或煤体应力转换成液压腔或液压囊的液压值。其测量元件有弹性管、波纹管、波登管及柱塞螺旋弹簧等。目前,用于矿压测量的液压式仪器有压力表、液压测力计和液压自动记录仪。

### (一) 压力表

压力表结构简单,测量范围宽,使用维修方便。各类压力表中,以弹簧式压力表为主,其中又以单圈弹簧管应用最广。压力表品种和规格齐全,外径尺寸大部分为 60~250 mm,刻度等级一般为 1%~2.5%。

近年来出现了精密压力表、超高压压力表、微压计、耐高温压力表及特殊用途压力表。

### (二) 液压测力计

#### 1. HC 型液压测力计

HC 型液压测力计的结构如图 1-9 所示,主要用于测定采掘工作面的支柱工作阻力。其中 HC-45 型适用于单体金属支柱和液压支柱;HC-25 型适用于木柱和各种巷道支架。

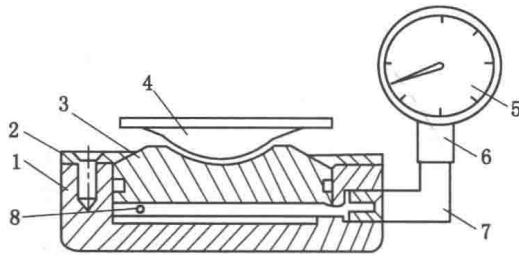


图 1-9 HC 型液压测力计的结构

1—油缸;2—压盖;3—活塞;4—调心盖;  
5—压力表;6—阻尼螺钉;7—管接头;8—排气孔

根据液体不可压缩和各向同性的原理,当测力计的调心盖承压时,活塞向下压迫油体,产生与支柱工作阻力相应的油压,压力经管接头传至压力表,表的读数即为支柱工作阻力或作用在支柱上的载荷。阻尼螺钉的作用是防止突然卸载而损坏压力表;排气孔是为注油时排放油缸及管路中的气体而设置的。HC 型液压测力计的主要技术特征见表 1-2。

表 1-2 HC 型液压测力计主要技术特征

主要技术指标	HC-25	HC-45
额定承载能力/kN	250	450
最大承载油压/MPa	31.8	57.3
油缸直径/mm	100	100
外径/mm	146	146
最大偏心角/(°)	6	6
1 kN 载荷的压力读数	1.27	1.27
质量/kg	9	20

## 2. ZHC 型钻孔油枕应力计

ZHC 型钻孔油枕应力计(图 1-10)为测量煤(岩)体附加应力的仪器,目前主要用于测定采煤工作面超前支承压力、煤柱的稳定性、巷道围岩中支承压力的作用范围等。

油枕由两片枕壳对焊而成,在每片枕壳上用专用模具压出椭圆形沟槽。选用精度为 1~1.5 级、量程为 0~25 MPa 的普通压力表,油枕与压力表的连接管路采用紫铜管或无缝钢管,前者用于浅孔,后者用于深孔。注油阀(图 1-11)用来将应力计与泵站接通,当高压油进入阀体并达到一定压力后,旋转锥阀切断泵与测量系统的油路。油枕受煤、岩体的挤压,则油压发生变化,从压力表读出煤、岩体中的应力值。

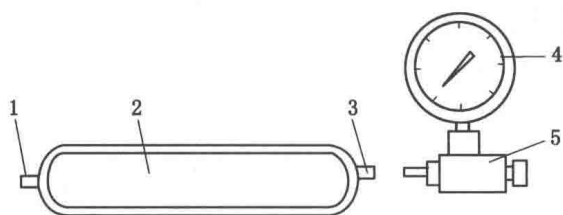


图 1-10 ZHC 型钻孔油枕应力计的结构

1——排气阀;2——油枕;3——管路;  
4——压力表;5——注油阀

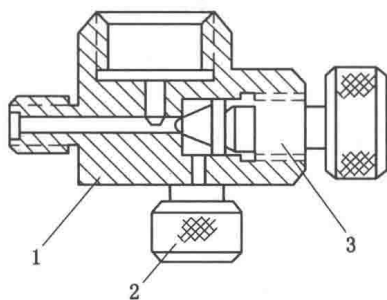


图 1-11 注油阀结构示意图

1——阀体;2——注油接头;3——锥阀

油枕在钻孔中的安装方式有充填式、预包式和双楔式三种。首先,在安装仪器的地方用电钻或风钻按设计深度钻孔,再用压风或压力水冲洗。用充填式油枕时,把搅拌好的砂浆加适量水玻璃或速凝剂(三乙醇胺 5%,食盐 5%),用送灰器送入孔内,然后插入油枕,待砂浆达到凝固强度后即可加初压。使用预包式油枕时,一般要求孔径只能比包体外径大 2 mm。使用双楔式油枕时,钻孔直径为 36~54 mm。仪器的主要技术特征见表 1-3。

表 1-3 ZHC 型钻孔油枕应力计主要技术特征

油枕长度 /mm	油枕宽度 /mm	油枕厚度 /mm	额定内压 /MPa	枕壳厚度 /mm	压力表量程 /MPa	测量精度 /%	质量 /kg
250	43	9.8	20	1.0	0~25	1~1.5	0.6

## 3. 锚杆拉力计

锚杆拉力计(图 1-12)是测量锚杆锚固力的仪器,使用时将拉力计安装在锚杆上,开启千斤顶推动活塞伸出,锚杆将间接地承受拉力。当锚杆的锚固力小于活塞的拉力时,锚杆被拉出,此时压力表的读数不再上升,其值为千斤顶高压腔的压强。锚杆锚固力  $T$  可用下式计算:

$$T = Sp \quad (1-1)$$

式中, $T$  为锚杆的锚固力,kN; $S$  为千斤顶活塞的面积, $\text{mm}^2$ ; $p$  为压力表读数,MPa。

### (三) 液压自动记录仪

液压自动记录仪是测量并记录液压支架、单体液压支柱及各种液压设备工作阻力变化



的仪器。由于它能够自动记录液体压力的变化过程,因而得到了广泛的应用。

### 1. YTL-610 型圆图压力记录仪

该仪器主要用来测量和记录液压支架和各种千斤顶的压力变化,可在圆形记录纸上绘出支架  $p-t$  特性曲线,即支护强度  $p$  在采煤循环过程中与时间  $t$  的关系曲线。

#### (1) 结构与原理

该仪器由测量和记录两大部分组成,如图 1-13 所示。被测高压液体进入测量机构的弹簧管后,使其自由端产生弹性位移,经传动杠杆放大后带动记录笔,沿圆盘形记录纸半径方向摆动,从而指示出压力值,并把它记录在记录纸上。记录纸固定在托纸盘上,由钟表机构驱动,每 24 h 旋转一周。因此,记录纸上记录的信息能够反映 24 h 内支护强度与时间的关系。

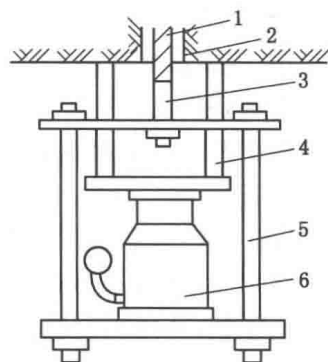


图 1-12 锚杆拉力计结构示意图

- 1—锚杆;2—钻孔;  
3—丝杠;4—拉力架支撑体;  
5—拉力架;6—千斤顶

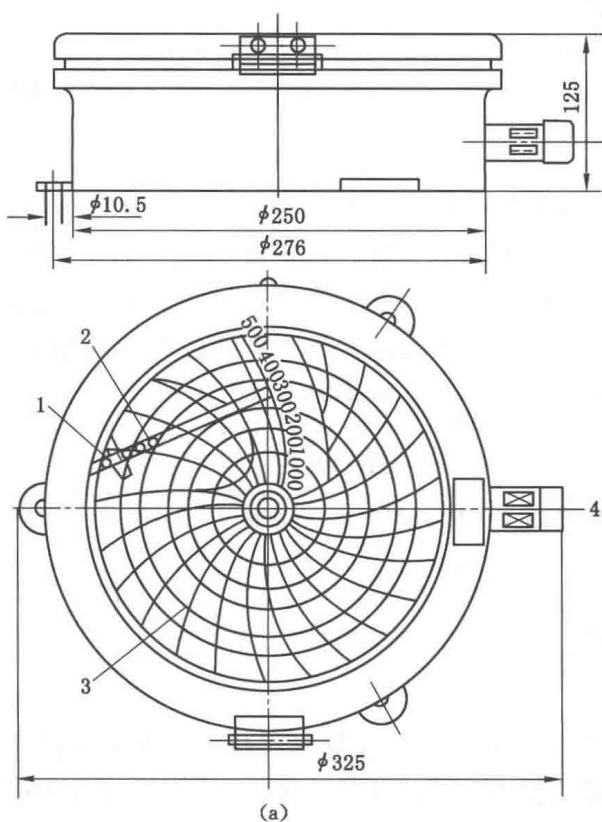


图 1-13 YTL-610 型圆图压力记录仪

(a) 外形;(b) 原理简图

- 1—调零;2—滚花螺母;3—圆盘形记录纸;4—高压管接头;5,6,7—杠杆;8—弹簧管;  
9—高压液体;10—记录笔;A、B—拉杆