

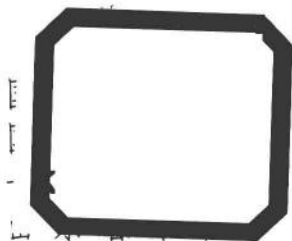


普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

矿山压力监测与预报

主 编 尹增德
副主编 宁建国

煤炭工业出版社



“采矿工程”专业建设项目资助
“安全工程”专业建设项目资助
队发展计划(IRT0843)资助
“泰山学者”岗位资助

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

矿山压力监测与预报

主 编 尹增德

副主编 宁建国

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山压力监测与预报/尹增德主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2011

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5020-3791-8

I. ①矿… II. ①尹… III. ①矿山压力-监测-高等学校-教材 ②矿山压力-预报-高等学校-教材 IV. ①TD3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 005564 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×960mm¹/₁₆ 印张 10¹/₄
字数 201 千字 印数 1—3 000
2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷
社内编号 6601 定价 22.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书主要介绍了矿山压力监测常用仪器、采场上覆岩层运动监测与预报、单体支柱工作面矿压监测、综采工作面矿压监测、采场围岩应力分布监测、采准巷道矿山压力监测、冲击地压监测与预报方法和矿山压力监测数据分析与预测方法等内容。

本书可作为高等学校采矿、安全工程专业的教材，也可供从事采矿、安全工程的技术人员或管理人员学习参考。

前 言

由于矿山压力的复杂性及地质条件、开采状况、控制手段的多样性，现场监测已成为解决具体矿压问题以及进行矿压理论研究的主要依据和方法。本书在对矿山压力监测任务和矿压监测常用仪器介绍的基础上，对单体支柱采场、综采工作面以及采场附近巷道矿山压力、冲击地压监测方法作了系统介绍。

本书1~5章由尹增德编写，6~9章由宁建国编写，全书由尹增德负责统稿、定稿。编写过程中，研究生刘化江、孔德丽、张超、李明等进行了部分图表的绘制与编排工作。

本书在编写过程中，参阅了许多专家学者的论著，借出版之际，编者一并致以衷心的感谢，尤其要感谢蒋金泉教授和谭云亮教授。

由于水平所限，书中可能存在错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2010年11月

目 次

1 绪论	1
1.1 矿山压力的研究方法	1
1.2 矿山压力监测的任务及步骤	3
2 矿山压力监测仪器	7
2.1 矿山压力监测仪器的分类	7
2.2 载荷监测仪器	8
2.3 位移监测仪器	13
3 采场上覆岩层运动监测与预报	17
3.1 概述	17
3.2 采场上覆岩层的运动规律	18
3.3 采场上覆岩层运动的动态监测与预报	30
3.4 顶板分段来压的监测与预报	38
3.5 采场上覆岩层运动监测与预报的载荷法	44
3.6 采场顶板稳定性监测方法	48
3.7 采场上覆岩层位移和破坏过程的监测方法	53
3.8 复合顶板冒顶监测与预报方法	57
4 单体支柱工作面矿压监测	60
4.1 采场“三量”监测技术	60
4.2 支柱实际支撑能力的确定方法	67
4.3 采场顶板运动参数分析	71
4.4 采场需控岩层范围监测	74
4.5 支护质量与顶板动态监控	80

5	综采工作面矿压监测	84
5.1	综采工作面支护质量监测指标	84
5.2	综采支架工作阻力监测与分析	84
5.3	液压支架外载监测	91
6	采场围岩应力分布监测	93
6.1	地应力测量技术	93
6.2	支承压力监测方法	100
6.3	底板比压监测方法	106
7	采准巷道矿山压力监测	111
7.1	巷道围岩变形与破坏	111
7.2	巷道围岩变形破坏监测方法	113
7.3	巷道支架载荷监测方法	118
8	冲击地压监测与预报方法	123
8.1	冲击地压监测方法及原理	123
8.2	冲击地压预报方法	130
9	矿山压力监测数据分析与预测方法	132
9.1	矿山压力监测数据的多元线性回归分析	132
9.2	矿压监测缺失数据的拟补方法	134
9.3	矿压监测信息的神经网络聚类分析	139
9.4	矿压监测数据分形特征分析	142
9.5	矿压监测信息的灰色预测方法	145
9.6	矿压监测信息的 BP 神经网络预测方法	151
	参考文献	155

1 绪 论

所谓矿山压力监测,就是利用矿压仪表实测采场及巷道的围岩应力分布特征、采场及巷道围岩变形、位移、顶底板破坏特征、支架受载及压缩等一系列矿山压力现象,并采用合理的数学方法,对各种矿山压力监测信息进行分析,总结采场及巷道矿山压力显现规律,预报矿山压力显现的发展趋势。

由于矿山压力现场监测获得的资料是反映多种因素综合作用下的实际情况,对这些较为可靠的资料进行论证分析,即可解决矿井采场及巷道的具体矿压问题。

1.1 矿山压力的研究方法

矿山压力研究的目的是为了揭示矿山压力分布及其显现与岩层运动的基本规律,确定具体地质与开采条件下的特征参数,并建立采场、巷道支架与围岩之间的相互作用关系,以进行采场和巷道围岩控制设计。矿山压力研究对于合理开采煤炭资源、促进矿井安全生产和正常生产、提高经济效益等具有重大的理论意义和现实意义,也是采矿工程理论发展、开采技术进步和高产高效矿井建设的需要。

矿山压力研究的基本问题主要是采场和巷道周围岩体内由于地下开采活动引起的应力作用、变形破坏特征及保持其相对稳定的控制技术。天然岩体具有明显的不连续性、非均质性和各向异性,受力作用后变形破坏的力学特性极其复杂。地下开采活动引起的应力重新分布与原始赋存的应力场、巷道布置、作业方式、岩体的力学特性、地质条件等因素有关。因此,矿山压力研究所面对的介质结构与特性、围岩变形破坏与运动、支架围岩相互作用关系等都随地质条件和采动状况而变化。人们在矿山压力研究中采用了多种方法,目前,常用的方法有数学力学分析方法、相似材料模拟试验方法和现场监测方法。

1) 数学力学分析方法

数学力学分析方法是通过天然岩体进行某些简化处理后,如假定岩体为均质弹性体、弹塑性体、弹塑黏性体、松散体、块状结构体等,采用相关的力学理论进行解释,或采用有限元、边界元、离散元等数值计算方法借助计算机进行分析计算,或采用概率论、数理统计等纯数学方法分析研究现场实测数据的规律性。随着计算机技术的发展,岩石力学和矿山压力数值方法被广泛应用。但这种方法还需要将复杂多变的因素做某些简化处

理,并需要提供现场观测地点的有关参数(如岩体的力学特性参数等),计算的成果往往只能反映某个或某几个因素互相变化的定性关系。

数学力学分析方法的模型建立往往依赖于实验研究,其研究结果也需现场监测来验证。数学力学分析方法可以从理论上深入研究矿山压力的机理与变化规律,并可进行计算预测,为现场监测提供必要的依据和参考指标,也可以提供试验和现场监测中难以得到的结果,如围岩应力场等。

2) 相似材料模拟试验方法

该方法以相似理论和因次分析为依据,采用人工材料(光学材料、砂子和石蜡等)代替天然岩体,制成模型后进行开采活动的模拟试验。根据力学边界的不同,模拟试验可分为平面应力模型、平面应变模型、立体模型和离心模型等。通过设置有关仪器,在模型上可以模拟开采时采场或巷道围岩内的应力、位移变形及采场支架的受力变形等。

相似材料模拟试验可人为控制和改变试验条件,从而可确定单因素或多因素对矿山压力影响的规律。试验效果清楚直观,试验周期短,见效快。

一些国家对相似材料模拟试验在生产、科研中的应用十分重视。德国、澳大利亚、波兰等国在对矿山压力现象的研究中大量采用相似材料模拟试验方法,试验过程中不仅有先进的平面应变模拟试验台、立体模拟试验台,也有为检验某种科研设想而设计的简易小型试验台。如德国埃森岩石力学研究中心在面积为 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的巷道模型及长为 10 m 的采场平面应变模拟试验台上,施加千余吨的外载,取得了与井下极为相似的支架与围岩的相互作用关系,显示了其良好的模拟技术。意大利使用砌块黏合而成的拱坝模型进行拱坝安全稳定程度的试验,筑成的拱坝经受了灾害性的考验。

在我国,相似材料模拟试验技术也得到了重要发展与应用。例如,山东科技大学研制发明了柔性均衡加载三维相似材料模拟试验台,并成功应用于覆岩破坏规律、应力分布及开采沉陷问题的研究。

相似材料模拟试验是以现场监测资料为依据,试验成果所达到的正确程度也依赖现场监测资料来判断和解释,因此其试验方法仍存在不少问题,如试验模型与现场原型不可能完全相似,人工相似材料与天然岩体物理力学特性的相似性还有很大差距等。所以,模拟试验结果只能定性反映某个或某几个因素的相对变化关系。但这种方法特别适用于研究岩层运动和结构状态。

3) 现场监测方法

现场监测方法就是利用各种矿山压力监测仪器仪表,在矿井生产现场监测各种矿山压力显现信息,然后按照一定的方法整理分析监测信息,并利用矿山压力理论分析获得矿山压力显现规律的方法。

由于采场推进过程中地质条件、岩层运动、矿山压力显现都处于一个不断变化的过程

中,只有通过现场矿山压力显现的监测、分析和预报,才能做出围岩控制的科学决策。另外,我国煤矿地质条件、开采状况、控制技术手段具有多样化的特点,矿山压力监测与预报已经成为解决具体矿山压力问题的主要依据。

进行矿山压力监测需要有明确的目的性,并要有符合实际的理论指导,才能使监测成果发挥更大的作用。所以,现场监测需要以模拟试验和数学力学分析的成果为指导,以便改进监测方法和正确分析监测资料。而模拟试验和数学力学分析又需要现场监测所得资料与数据作为根据,且它们的研究成果也需要现场监测资料来验证。因此,矿山压力的这3种研究方法是互为补充的,但现场监测是基础,是解决围岩控制这一复杂问题的基本依据。

1.2 矿山压力监测的任务及步骤

1.2.1 矿山压力监测的任务

(1) 掌握采场上覆岩层运动规律,确定需控岩层范围,建立采场支架与顶板的相互作用关系,进行基本顶来压的监测预报。根据采场顶板来压的特点,提出合理的顶板控制措施(如支护方式、支护强度、特种支护、回采工艺等),为工作面高产、高效、安全创造条件。

(2) 划分采场煤层直接顶的类别和基本顶的级别,为支架选型和确定其合理技术参数提供依据。

(3) 对正在使用的新型支护的适应性进行考察,即从矿山压力控制的角度对在既定条件下使用的支架,从型式、特性、参数和使用效果等方面进行适应性评价研究,提出合理的支架结构、架型、工作阻力、可缩量等。

(4) 研究分析采场底板破坏规律,对工作面底板进行分类,并提出松软底板的控制技术措施,以达到提高支护质量的目的。

(5) 研究掌握采动影响和支承压力分布规律,包括改进相邻采区或近距离煤层的开采顺序,确定煤柱的合理位置和尺寸,确定回采巷道断面形状、规格及支架参数,确定煤壁前方巷道加强维护范围,确定沿空留巷和沿空送巷的支护措施,确定采场端头支护技术措施等,以便保证安全生产,提高资源回收率及技术经济效益。

(6) 掌握巷道围岩活动规律,实现围岩控制的科学化,包括选择巷道开掘的合理位置和时间,确定围岩松动范围,研究巷道围岩变形规律,进行围岩稳定性分类,确定合理的巷道支护型式和支架参数,对巷道(硐室)的稳定性进行监测预报等。

(7) 对采用的新工艺、新技术(包括新采煤方法、新支护型式、新工艺组织等)进行资料积累,并从矿山压力角度对应用效果提出评定性意见。

(8) 对采掘工作面进行支护质量监测, 包括监测日常生产过程中支架工作质量、围岩活动状况、安全隐患情况等与安全生产有关的技术因素; 监测和评价支架的井下实际支撑能力, 以达到保证采掘工作面支护质量良好、安全生产可靠的目的; 在保证采掘工作面顶板安全的前提下充分发挥支架的有效工作阻力。

(9) 解决矿山压力与围岩运动控制方面的难题。监测分析采场矿山压力分布和围岩运动规律、巷道大变形特性, 并从矿山压力与围岩控制原理出发, 探讨采场坚硬顶板和破碎顶板的控制技术、软岩和动压巷道大变形控制技术及其他方面的问题。

(10) 研究冲击地压等矿井动力现象的综合防治技术, 包括冲击地压的监测、危险区域的划分、煤层注水和松动爆破措施的制订、开采解放层的设计等。

1.2.2 现场矿山压力监测步骤

1. 准备工作

矿山压力监测准备工作一般包括收集监测工作面内的地质资料(包括围岩性质、分层厚度及力学特性, 围岩地质构造, 煤层赋存情况及对开采的影响程度, 围岩节理、裂隙发育情况)和生产技术资料(包括工作面或巷道技术参数, 开采方式、支护形式及参数, 支架型式及性能, 邻近工作面开采情况, 生产作业方式等); 根据监测目的和任务确定监测内容、监测方案和测区布置系统, 制订矿山压力监测计划; 培训监测人员; 准备矿压监测仪器、工具及井下监测所必须的数据记录和整理表格等。

矿山压力监测计划是现场矿山压力监测研究工作的准则, 编制矿山压力监测计划是现场矿山压力监测研究的主要工作之一。矿山压力监测计划包括监测区域的地质及生产技术条件、矿山压力监测的目的及任务、测区布置、监测内容及方法、监测效果预计、监测工作制度、监测记录表格及资料整理表格设计。回采工作面矿压监测主要指标如图 1-1 所示。

可见, 采场矿山压力监测指标广泛, 应根据监测目的和任务有选择地进行。

2. 日常监测

日常监测是根据监测计划和确定的监测指标, 采用相应的监测仪器仪表对现场有关情况进行监测, 以指导日常生产工作。为达到预期目的和效果, 要求日常监测工作必须做到以下几点:

1) 监测人员

(1) 明确矿压监测工作的目的、意义和任务, 掌握基本的矿山压力监测方法。

(2) 正确使用矿压仪器仪表, 仪器仪表安装、测读必须符合要求, 保持监测资料的连续性和准确性。

(3) 明确所监测数据的用途, 测取最有代表性的观测数据, 即最能为观测目的和任务服务的数据。

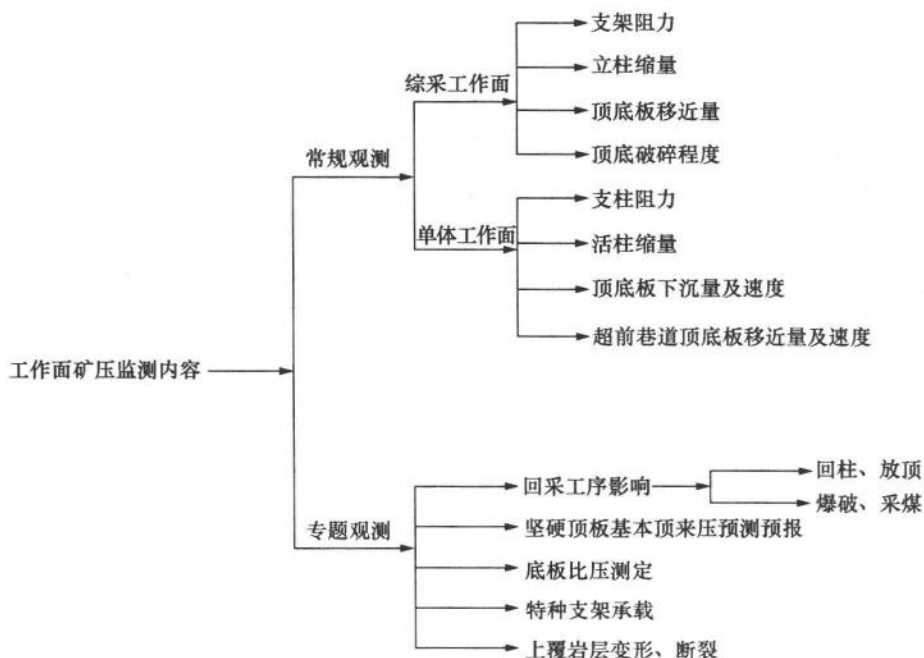


图 1-1 回采工作面矿压监测主要指标

(4) 观测数据必须在井下及时记录,对于特殊情况或变更的问题,应在备注栏内记录清楚,对典型矿山压力显现应附有现场实际素描草图。

(5) 连续观测时,要严格执行井下交接班制度。本班记录交给下一班,以便连续记录。上井后将记录及时上交资料整理人员,并说明监测情况。

(6) 如在井下监测中发现监测仪器工作不正常或顶板异常,应及时向负责同志汇报,以便及早处理。

2) 资料处理

正常的矿山压力监测阶段,要及时整理观测资料,以便检查观测中所存在或出现的问题,发现资料缺少时应及时进行补测,这样,可以及时掌握监测过程中的矿压显现和岩层运动规律,以便更好的预报矿山压力显现情况。必要时,可以发出矿山压力监测简报,指导生产。特别是进行基本顶来压监测预报时,应及时分析顶板活动状态及支承压力分布情况,并在来压前夕发出简报,及时为生产服务。

整理资料时要实事求是,不许对原始资料进行随意涂改,以保证井下原始资料的真实性。日常资料整理一般应及时绘制各种矿山压力监测曲线图。

3. 矿压监测的技术总结

现场矿山压力监测完成一个阶段后（如完成一个采场的监测工作、一条巷道的监测工作及某一专项监测工作），要对监测资料进行系统的整理和分析。在平时资料整理的基础上，按数理统计等方法分析规律，对监测内容按不同地质条件 and 生产技术条件进行对比，从中找出各矿压参数之间及矿压参数与地质、生产技术因素之间的关系。从局部到整体，从现象到本质，阐述所监测采场或巷道的矿压规律。对所监测采场或巷道从工艺、支护、矿山压力显现规律、支架适应性等方面给予评价和建议，并依此提出围岩控制技术方案，汇编写成矿山压力监测报告。

习 题

1. 矿山压力研究的主要方法有哪些？各有什么特点？
2. 简述矿山压力监测的任务及步骤。

2 矿山压力监测仪器

2.1 矿山压力监测仪器的分类

1. 按工作原理分类

矿山压力监测仪器按其工作原理，大致可分为机械式监测仪器、液压式监测仪器、电磁式监测仪器和声学式监测仪器。

1) 机械式监测仪器

机械式监测仪器的原理是基于机械传动学原理，利用金属构件受力后产生弹性变形，并通过传动系统放大，由计数装置将数值显示出来。这种仪器是以杠杆、弹簧、齿轮、量具（游标卡尺、百分尺、千分表）等为基本元件制造的，计数装置一般以位移作为量度，如测定围岩移动的动态仪等。

2) 液压式监测仪器

这种仪器是利用液体不可压缩和各向均匀传递压力的原理制造的，如测量岩土压力的液压式压力盒、测量巷道锚杆拉力的液压锚杆测力计等。

3) 电磁式监测仪器

电磁式监测仪器是根据电磁学的原理设计的。这些仪器将被测参数（如应力、应变、位移、流量等）转换成电量，以使用电测的方法来测量电量。电测仪器具有灵敏度高、响应速度快、测量范围广、能连续测量、测量信号可以远距离传输和利用计算机进行处理等特点，是矿山压力监测仪器的发展方向。

4) 声学式监测仪器

声学式监测仪器的实质是在被测物体中（岩体、混凝土等），利用声波或超声波的传播速度、相位、振幅、频率等的变化规律取得数据或图像，再通过计算或按事先标定的曲线求得所需的物理参数，通称声波探测法。它属于无损监测技术的一种。

2. 按被测对象分类

矿山压力监测仪器按被测对象可分为采场和巷道支架（柱）工作阻力监测仪器、顶底板相对移近和巷道围岩表面位移监测仪器、岩体内部原始应力和附加应力监测仪器、围岩深部位移监测仪器和矿山动力现象监测仪器等。

2.2 载荷监测仪器

2.2.1 金属支柱载荷监测仪器

金属支柱载荷监测仪器主要有机械式测力计 (ADJ-45 型)、液压式测力计 (HC 型) 等, 现场应用较广泛的是钢弦测力计 (GH 型)。

钢弦测力计主要是 GH 系列双线圈自激型钢弦压力盒及与 GSJ-1 型频率计 (或 DK-1 型、DK-2 型遥测仪) 配套使用的安全火花型传感器, 其型号、规格及用途见表 2-1。

表 2-1 GH 系列钢弦压力盒

型 号	规 格	主要用途	配套接收仪表名称
GH-50	$0 \sim 490 \times 10^3$	单体支柱	GSJ-1 型频率计 (或 DK-1 型、DK-2 型遥测仪)
GH-25	$0 \sim 245 \times 10^3$	巷道支架	
GH-10	$0 \sim 98 \times 10^3$	巷道支架、井壁	
DGH-600	$0 \sim 5880$	外注式单体液压支柱	
ZGH-600	$0 \sim 5880$	综采液压支架	

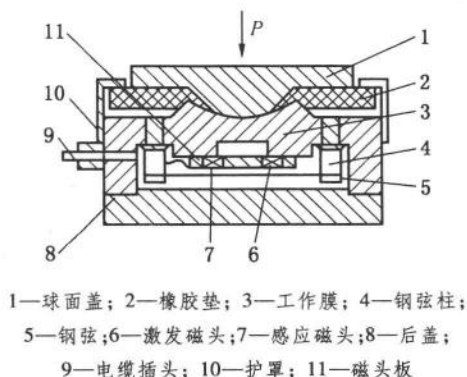


图 2-1 GH-50 型钢弦压力盒结构示意图

1) 原理及结构

以 GH-50 型钢弦压力盒为例进行说明, 其结构示意图如图 2-1 所示。当支柱压力 P 通过导向球面盖作用于工作膜时, 工作膜受力挠曲, 两钢弦柱张紧钢弦, 使弦的振动频率 f 升高, P 越大, 则 f 越高。将压力盒电缆插头与 GSJ-1 型频率计 (或 DK-1 型遥测仪) 相接时, 仪器中的激发放大器输入端与感应磁头接通, 输出端与激发磁头相接。接通电源后, 弦振动在感应磁头中感应的微小电压, 经激发放大器放大后输出给激发磁头, 使得钢弦的振

幅增大, 从而在感应磁头中产生更强的电压。此电压经激发放大器放大后再输出给激发磁头, 使得钢弦的振幅再增大, 如此反复作用, 直到最后能量平衡而达到稳定。由频率计显示振弦的频率 f , 再从 $P-f$ 标定曲线中查得 P 值。

2) 主要技术特征

测量精度	2%
灵敏度 (可分辨量程)	1/500 ~ 1/1000
工作频率范围	700 ~ 2300 Hz
温度系数 (0 ~ 40 °C 范围)	< 0.5 Hz/°C

GSJ-1 型数字频率计是钢弦式压力盒的数字转换器, 借此可以算出压力盒的压力。随着矿山压力监测要求的提高, 可用 DK-1 型、DK-2 型矿压遥测仪进行多点有效巡测, 并通过矿井电话电缆送至地面接收机, 由地面计算机处理测得的支柱压力数据。

2.2.2 液压支架 (柱) 载荷监测仪器

2.2.2.1 直读式监测仪器

直读式是利用表指针或数字直接显示读数的方式, SY-40B 微表式单体液压支柱工作阻力测力计就属于直读式, 其外观如图 2-2 所示。该仪器用于检测单体液压支柱初撑力及工作阻力, 是单体液压支护工作面支护质量监测的主要仪器, 具有体积小、便于操作 (压杆式)、精度高等特点。



图 2-2 SY-40B 微表式单体
液压支柱测力计

1) 原理及结构

该测力计由阀体、锁紧装置、压力表及增压装置等组成。阀体是整个测力计主体, 它主要保证整体无泄漏; 锁紧装置使之与阀筒锁牢; 压力表显示读数。测压时, 压下压杆, 打开三用阀的单向阀 (SY-40B 测力计是用增压装置注液逐渐增压的方式打开三用阀, 不产生漏液卸载现象), 高压液体流入测力计, 压力表即显示压力值, 测压后将压杆复位, 支柱单向阀重新关闭, 取下测力计, 完成测试过程。

2) 主要技术特征

测量范围	0 ~ 40 MPa
精度	2.5% FS
显示方式	微表式
质量	1 kg

2.2.2.2 自记式监测仪器

自记式是指利用记录纸或电子存储的方式记录数据, 并通过一定的方法采集所记录的数据。

1. 圆图自记录仪

圆图自记录仪 (图 2-3) 属于自动记录的一种仪器, 是综采液压支架支护质量监测的主要仪器之一, 主要用于测量和记录液压支架及各种设备的液体压力。圆图自记录仪数据处

理系统可将自记仪记录的数据信息通过计算机绘出直观的受力分析图。由于其数据处理的不方便,现在应用越来越少。

1) 原理及结构

圆图自记仪由测量和记录两部分组成,主要部件有表门、表壳、弹簧管、自记钟、传动机构和记录机构等。其工作原理如图 2-4 所示,当被测介质的压力进入测量机构的钢弹簧管后,由于张力的作用,钢弹簧管自由端产生一个微小位移,给传动机构拉杆 A 一个拉力,通过杠杆 1、2 和拉杆 B、杠杆 3,将弹性位移量进行放大并传递给记录笔,使其沿记录纸半径方向摆动,从而指示出压力值,并通过记录笔在记录纸上做出记载。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,当记录笔在记录压力值的同时,记录纸在圆图方向指示时间值,且任一时刻的压力值亦可在标尺上直接读出。

圆图自记仪数据处理系统主要由数字化仪、计算机等组成。利用计算机图形处理设备,先将圆图自记仪记录的 $\text{压力}-\text{时间}$ 曲线圆图纸平放在数字化仪上,通过扫描笔将圆图纸上的 $\text{压力}-\text{时间}$ 曲线上的特征点扫描到计算机处理系统,处理系统对扫描信息进行数学、力学统计分析后,最终输出直角坐标系下的受力状态图。

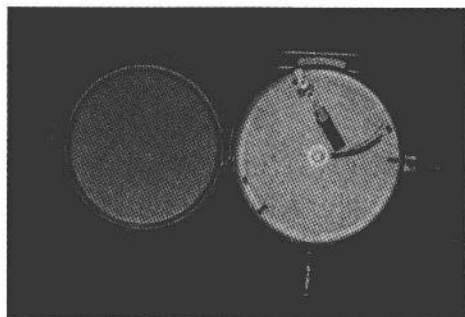
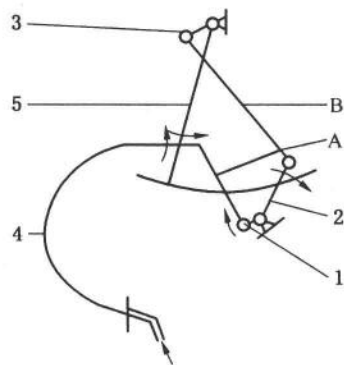


图 2-3 圆图自记仪 (YTL-130 型)



1、2、3—杠杆;4—弹簧管;5—记录笔;A、B—拉杆

图 2-4 圆图自记仪工作原理图

2) 主要技术特征

精度等级

1.5 级;2.5 级

测量范围

0 ~ 60 MPa; 0 ~ 100 MPa

连续记录时间

≥ 24 h

记录纸速度

1 r/24 h

外形尺寸

φ272 mm × 118 mm

质量

约 6 kg