

等职业教育“十二五”规划教材

经煤炭教育协会职业教育教学与教材建设委员会审定

矿压测控

◆ 主 编 王春城



煤炭工业出版社

中等职业教育“十二五”规划教材
中国煤炭教育协会职业教育教学与教材建设委员会审定

矿 压 测 控

主 编 王春城

副 主 编 武合意

参编人员 张业胜 孙茂来

煤炭工业出版社

北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿压测控/王春城主编. --北京: 煤炭工业出版社,
2011

中等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5020-3820-5

I. ①矿… II. ①王… III. ①矿山压力-测试技术-
中等专业学校-教材 IV. ①TD326

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 042880 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 × 1092mm¹/₁₆ 印张 9³/₄

字数 224 千字 印数 1—3 000

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

社内编号 6630 定价 20.00 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

本书主要介绍巷道矿山压力观测、采煤工作面矿山压力观测、巷道矿山压力控制、采煤工作面矿山压力控制和冲击地压预测与控制。

本书可作为中等职业学校采矿技术专业的教材，也可作为有关工程技术人员的参考用书。

煤炭中等专业教育分专业教学与教材建设委员会

(采矿技术类专业)

主 任 郭奉贤

副主任 雷振刚 邵 海

委 员 刘 兵 刘跃林 何水明 张玉山 王春城

庞国强 胡贵祥 胡湘宏 荣保金 郭廷基

常现联 梁新成 龚琴生

前 言

为贯彻《教育部办公厅、国家安全生产监督管理总局办公厅、中国煤炭工业协会关于实施职业院校煤炭行业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》（教职成厅〔2008〕4号）精神，加快煤炭行业专业技能型人才培养培训工程建设，培养煤矿生产一线需要，具有与本专业岗位群相适应的文化水平和良好职业道德，了解矿山企业生产全过程，掌握本专业基本专业知识和技术的技能型人才，经教育部职成司教学与教材管理部门的同意，中国煤炭教育协会依据“采矿技术”专业教学指导方案，组织煤炭职业学（院）校专家、学者编写了采矿技术专业系列教材。

《矿压测控》一书是中等职业教育规划教材采矿技术专业中的一本，可作为中等职业学校采矿技术专业基础课程教学用书，也可作为在职人员培养提高的培训教材。

本书由河南理工大学高职学院王春城主编并统稿，其编写了绪论及模块二的项目一至项目五；甘肃煤炭工业学校张业胜编写了模块一；徐州机电工程高等职业学校孙茂来编写了模块二的项目六至项目八、模块三的项目一至项目四、模块四的项目四和模块五；石家庄工程技术学校武合意编写了模块三的项目五、模块四的项目一至项目三、项目五。中国矿业大学（北京）陆明心博士给予本书热情帮助，在此，对成书过程中提供帮助的人士表示感谢。

中国煤炭教育协会职业教育
教学与教材建设委员会

2011年5月

目 次

绪论	1
模块一 巷道矿山压力观测	4
项目一 巷道围岩移近量观测	4
项目二 巷道支架载荷与变形观测	8
项目三 巷道围岩应力观测	11
项目四 巷道围岩松动圈的测定	17
项目五 锚杆锚固力观测	20
模块二 采煤工作面矿山压力观测	23
项目一 采煤工作面支架载荷观测	23
项目二 顶底板移近量和活柱下缩量观测	36
项目三 采煤工作面顶板状况统计观测	46
项目四 采煤工作面上覆岩层移动和破坏过程观测	51
项目五 采煤工作面顶板运动的预测预报	55
项目六 底板比压的测定	62
项目七 单体液压支柱工作面支护质量监控	67
项目八 矿压观测报告的编写	72
模块三 巷道矿山压力控制	80
项目一 巷道无煤柱控制	80
项目二 巷道棚式支护	89
项目三 巷道锚杆支护	95
项目四 喷浆及喷射混凝土支护	101
项目五 巷道冒顶事故的预防与处理	105
模块四 采煤工作面矿山压力控制	110
项目一 单体液压支柱工作面顶板控制	110
项目二 综采工作面顶板控制	120
项目三 采煤工作面局部冒顶事故防治	123
项目四 采煤工作面大型冒顶事故防治	127
项目五 采煤工作面坚硬顶板控制	132
模块五 冲击地压预测与控制	137
项目一 冲击地压预测	137
项目二 冲击地压控制	142
参考文献	147

绪 论

一、矿山压力测控技术在采矿工程中的作用

矿山压力观测是矿山安全生产必不可少的基础工作,矿山压力控制是矿山安全生产的重要保障,多年来一直被广大采矿工程技术人员所重视。

在煤矿开采过程中,采场顶板事故频繁,巷道维护困难,在煤矿瓦斯、水、火、顶板、矿尘五大灾害中,顶板事故的事故率达40%以上,顶板事故引起的人员伤亡,一直居煤矿各类事故的首位。20世纪90年代以前,顶板事故死亡人数占全部事故死亡人数的45%以上,给国家财产和人民的生命安全带来极大威胁,严重影响矿山生产的正常进行。随着支护技术的发展,这一比例有所下降,但问题仍然严重。据资料统计,采煤工作每年因顶板事故而影响产量变化在5%~10%之间。因此,迫使人们必须深入研究矿山压力显现规律及其控制方法,采取切实有效的控制手段,改善开采技术,完善顶板控制方法,以防止顶板事故的发生,为矿山安全生产提供有力的保障,实现安全生产,减少煤炭资源的损失,提高经济效益。

二、矿山压力的研究方法

矿山压力的研究方法有现场观测方法、实验室研究方法和数学力学分析方法。

1. 现场观测方法

现场观测方法就是利用各种观测仪器和工具,对采场和巷道围岩变形和破坏、支柱压缩和载荷、支架变形和折损、煤壁片帮等宏观矿山压力显现进行观测和研究,通过整理和分析,从而掌握采场矿山压力显现规律、围岩应力分布和岩层内部移动规律。

这种方法及时准确,真实可靠,是目前广泛采用的有效方法,也是研究矿山压力的重要方法,但这种方法费用高,研究周期长。

2. 实验室研究方法

实验室研究方法是在实验室应用模拟材料模拟和光弹模拟,从而总结出矿山压力的相关规律,指导矿山生产。这种方法简单,可确定单因素的影响,对处理宏观问题比较好,但关键是针对性差。

实验室模拟研究主要包括以下3个方面的内容:

(1) 岩石物理力学性质研究,包括岩石抗压、抗拉、抗剪、变形性质试验,岩石流变试验、三轴试验和利用刚性压力机进行岩石变形破坏全过程试验。

(2) 利用模拟材料模型进行模拟研究,在平面模拟试验装置基础上,进一步发展立体模拟实验台,也可利用光弹性模型进行模拟研究。

(3) 在实验条件下研究支架的整体性能和有关参数,建成具有先进水平的大型自移支架试验装置,卧式和立式、单架及多框架多功能巷道支架实验台。

3. 数学力学分析方法

数学力学分析方法是根据地质信息和采矿工程条件抽象出力学模型,通过数学力学分析,计算应力应变分布及破坏条件。主要研究方法有解析分析方法、数值分析方法、模糊分析法、概率分析、随机分析、灵敏度分析、超量分析、近代数学、力学计算机科学方法。

近年来,断裂力学、损伤力学、分形几何等学科渗透到矿业科学领域,推动了矿山压力控制学科的发展。

由于现场观测获得的资料是反映多种因素综合作用下的实际情况,利用这些较为可靠的资料求证分析,就可以解决整个矿井或某个工作面的具体矿山压力问题。进行现场观测需要有明确的目的性,并要有符合实际的理论指导,才能使测得的成果发挥更大的作用。所以,现场观测需要模拟实验和数学力学分析的成果作指导,以便改进观测方法和正确分析测得的资料,而模拟实验和数学力学分析又需要现场观测所得资料与数据作为依据,它们研究成果的正确程度,也需要现场观测资料来判断。因此,矿山压力的3种方法是互为补充的,且现场观测是基础。

三、矿山压力测控技术的发展

1. 对矿山压力的认识

我国是世界上从事采矿最早的国家之一。明代末年所出的《天工开物》一书中,已具体记述了用立井开采及在井下进行支护的情况。也就是说,那时人们对矿山压力及控制已经有了初步认识。欧洲国家对矿山压力的认识开始于15世纪。19世纪后期到20世纪,开始利用简单力学原理解释出现的一些矿山压力现象,有代表性的是提出“压力拱假说”和岩石坚固性系数。20世纪30年代到50年代,使用弹性理论研究矿山压力问题。矿山压力控制手段也取得一些突破,出现拱形可缩性金属支架、摩擦式金属支柱、锚杆支架、自移式液压支架。

2. 矿山压力测控的理论研究和工程实践

自20世纪50年代,在矿山压力的理论研究与工程实践方面都取得了长足进展,主要包括采场围岩控制和巷道围岩控制。

1) 采场围岩控制理论与实践的发展

(1) 采场上覆岩层“砌体梁”结构力学模型及“关键层”理论。采场上覆岩层形成结构的特点及其形态一直为采矿工作者所重视。20世纪60年代提出的“砌体梁”结构力学模型,为论证采场矿山压力控制参数奠定了基础。在此基础上,提出岩层断裂前后弹性基础梁力学模型及各种不同支撑条件下板的力学模型,为直接顶来压预报提供了理论依据。对坚硬岩层承受载荷及变形规律的分析,提出了“关键层”理论,进一步修正了采场来压规律,能较准确地判断上覆岩层内部裂隙分布、离层区位置和识别对地表破坏起主导作用的岩层。

(2) “砌体梁”平衡的关键块研究。“砌体梁”力学模型是一个大结构,其主要影响采场顶板控制的是离层区附近的几个岩块,即关键块体。因此,在研究“砌体梁”结构的前提下,重点分析关键块的平衡关系,提出“砌体梁”关键块的滑落与转动变形失稳条件。“砌体梁”关键块的研究,为采场直接顶的上部边界提供了条件,为直接顶稳定性奠定了基础。

(3) 采场支架-围岩关系研究及整体力学模型的建立。支架-围岩关系研究主要是分析支架性能、结构对支架及围岩移动的影响,选择合理支架结构及参数,防止顶板事故的发生。在中厚煤层开采条件下,视直接顶为“似刚体”,影响支护参数选择主要是支架工作阻力与顶板下沉量的关系曲线。放顶煤开采时,直接顶不再是“似刚体”,故提出了“松脱体压力”与“回转变形压力”观点,论证了由于直接顶的变形致使“砌体梁”对直接顶的回转变形载荷有可能被破碎的直接顶所吸收,从而影响在该情况下的支架工作阻力与顶板下沉量曲线关系,最终建立采场整体力学模型。

(4) 采场矿山压力与支护质量监测。采矿工程环境恶劣,地质条件复杂多变,及时进行监测是采场进行安全生产的根本保证。我国自20世纪80年代开始大规模进行采场顶板与支护质量监测,使采场顶板事故大幅度减少,取得了良好的社会、经济效益。

2) 巷道围岩控制理论与实践的发展

(1) 巷道布置改革及无煤柱护巷技术。我国对巷道受采动影响期间的围岩分布及矿山压力显现规律进行了深入研究,查明了地质及生产技术因素对巷道矿山压力显现的影响,掌握了巷道从掘进到废弃全过程中巷道围岩变形随时间、空间的变化规律。在采准巷道矿山压力理论指导下,形成了完善的巷道合理布置系统。在分析开采引起的围岩应力重新分布规律的基础上,研究沿空巷道一侧煤柱边缘带的应力重分布和支架与围岩关系,掌握无煤柱护巷机理,推进无煤柱护巷技术。同时,发展整体浇筑式巷旁充填技术,为扩大沿空留巷开辟了广阔前景。

(2) 研究巷道支架与围岩关系,采用先进支护技术。在以变形为主的巷道围岩中,为了适应巷道复杂的围岩压力和变形特征,研究巷道支架的合理性能和结构形式,既能有效抑制围岩变形,又能与围岩变形相互协调,减少支架损坏和改善巷道维护。为此,研制了适用于不同条件的可缩性支架,完善了辅助配套设施,发展了支架壁后充填技术。重视发展可拉伸锚杆、桁架锚杆、预应力锚索,推广“锚-梁-网”组合锚杆,“锚杆-棚子”联合支护、锚注支护。

(3) 软岩巷道围岩控制技术。自20世纪70年代以来,对软岩巷道围岩控制的基础理论、软岩的岩性分析、围岩变形力学机制、巷道支护设计、施工工艺及监测进行了系统研究。针对软岩类别和变形力学机制,发展了锚喷网支护技术、U型钢支护壁后充填技术、围岩爆破卸压和注浆加固技术。

(4) 巷道支护质量与顶板动态监测。实行巷道支护质量与顶板动态全过程监测是通过现场监测、信息反馈而实现的,根据监测结果不断修正支护设计和调整支护参数,使巷道围岩控制逐步由经验判断和定性评估向定量分析和科学管理转化。

3. 矿山压力测控技术的发展方向

(1) 采场矿山压力理论与控制体系,包括岩层控制的关键层理论、放顶煤高产高效开采技术和高产高效开采故障诊断技术与保障系统等。

(2) 巷道矿山压力理论与控制技术,包括采动影响巷道矿山压力理论、煤巷锚杆支护技术、围岩注浆加固及充填技术和巷道底鼓控制技术。

(3) 开采新方法、新工艺和新技术,包括煤炭地下气化、“三下”环保开采、地热的开发利用等。

(4) 矿井深部开采和高地应力引起的冲击地压预测和预报。

模块一 巷道矿山压力观测

项目一 巷道围岩移近量观测

学习目标

1. 熟悉巷道围岩移近量观测仪器。
2. 能够进行测点布置及测点安设。
3. 能够正确使用仪器进行观测。

基本知识

一、巷道围岩移动观测的目的

在开掘巷道过程中,将煤炭或岩石从煤、岩体上破碎下来,形成设计所要求的断面形状和尺寸,为了保证生产的正常进行,就必须采用各种方法对巷道空间进行维护。要选择合理的支护材料和参数,首先应对巷道的矿山压力进行观测。

巷道开掘后,由于原岩应力重新分布,巷道围岩内出现应力集中,在围岩中产生一个应力变化区。如果围岩应力小于岩体强度,巷道围岩处于弹性状态;如果围岩应力大于岩体强度,巷道围岩会产生塑性变形,巷道围岩的弹性或塑性变形必然引起巷道围岩的位移。

巷道围岩移动常用移动量来表示,巷道围岩的位移量可分为相对位移量和绝对位移量两种。围岩相对位移量是指巷道顶板、底板或两帮移近量的和;围岩的绝对位移量是指巷道顶板、底板或两帮某一部位的实际移动值。通过实测巷道围岩的位移量,可为合理选择支护型式、结构提供依据。若围岩位移量较小,可采用刚性较大的支架;若围岩位移量较大,可采用可缩性支架。如果巷道围岩变形较大,支护不合理,就很容易发生顶板事故。

对于巷道矿山压力的及时监测,可随时掌握巷道的来压、位移、变形等情况,可以尽早采取有效措施,防止事故的发生。

巷道矿压观测的目的有:掌握井巷围岩破坏过程和应力分布规律;分析井巷支架与围岩相互作用关系;为选择合理支护方式、确定合理护巷参数、改进支护效果提供科学依据。

二、测点布置及测点安设

1. 测点布置

巷道围岩观测的测点应布置在工作面前方不受采动影响区,一般距工作面煤壁前方每

隔 60 m 左右设置一对。为了有对比性,要求每条巷道内布置 2~3 个测站,每个测站间距以 20~25 m 为宜。每个测站要求设置 2~3 个测点,测点间距以 1~2 m 为宜,如图 1-1 所示。测点的具体位置应根据巷道围岩的地质条件 and 生产情况确定,在运输巷道内设置观测站时,巷道内安设的测量仪器应不妨碍生产和观测,并尽量将测站布置在巷道理侧,这样测得的巷道围岩移动及其支架情况才能真实可靠。在进行观测时,有可能会影响生产或者在生产过程中将测站损坏,为了使生产和观测互不影响,可以在巷道的一侧开掘硐室,将观测仪器放置在硐室内进行观测。硐室的规格一般为 $2\text{ m} \times 3\text{ m}$ 左右,且应沿煤层开掘并保持顶板完好。

2. 测点安设

(1) 测点安设要求。观测点应安设在顶板稳定、支架完好、两帮整齐、底板平坦的地方。为便于观测,观测点应避免设在顶底板或两帮有破坏的地方,且基点应安置牢固。由于巷道周围各点的移动值不尽相同,且与观测点的位置有关,所以各观测截面内的空间位置应力求一致,以便减少观测中产生的偏差。

(2) 测点安设方法。先在顶板上打一个深 100~200 mm、直径约 40 mm 的钻眼,在眼中打入木塞,木塞上钉上作为测量基准点的铁钉(铁钉头部钻有一圆穴,如图 1-2 所示),同时在顶底板垂线方向以同样的方法在底板设基点。如果顶板岩层比较坚硬平整,也可用彩色油漆标明观测基点。在测量过程中要注意保护基点,避免基点移动或损坏,以保证测量的精度。两帮观测基点的安设方法与顶底板基点的安设方法基本相同,但要尽可能使观测截面内各对测点在同一平面上。

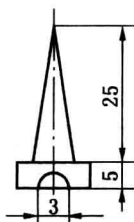


图 1-2 测点的安设

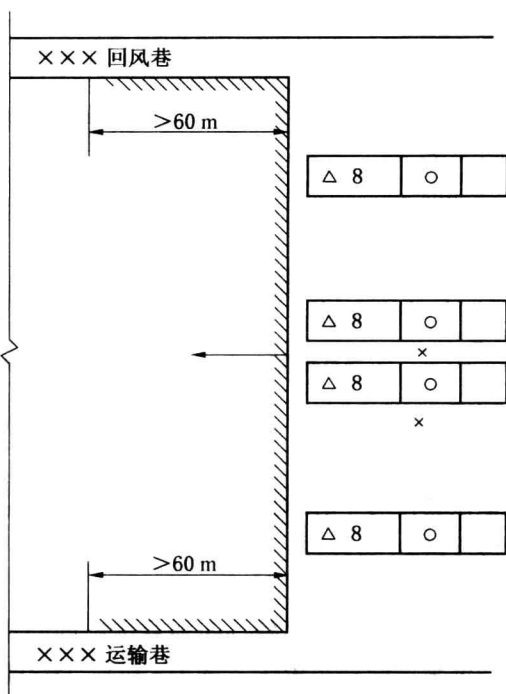


图 1-1 测点布置图

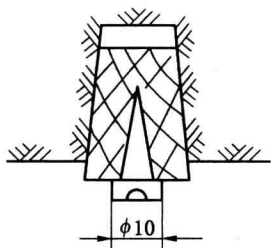
三、测点的布置方式

1. 垂直布置

垂直于巷道顶底板布置一对测点(图 1-3a)。这种布置方法适用于巷道顶底板相对移动量较大,而两帮不产生变形或变形较小的情况。

2. 十字布置

当巷道顶底板和两帮都有较大变形时,为了测定顶底板和两帮的相对移近量,一般采用十字形布置测点(图 1-3b)。在



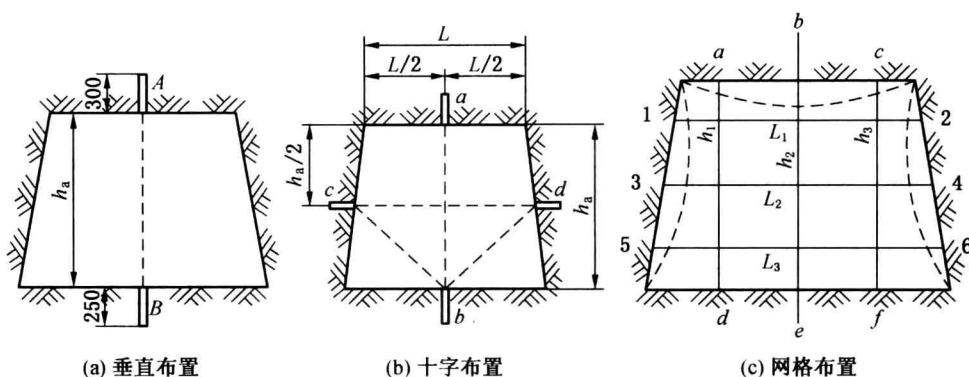


图 1-3 测点的布置方式

巷道顶底板的中心位置布置一对测点，在观测时测量顶底板相对移近量 ab 值及两帮的相对移近量 cd 值。

3. 网格布置

如果巷道围岩松软，四周巷道空间凸出，为了研究围岩的变形状况及巷道断面缩小率，可采用网格布置法（图 1-3c）。此法是在同一巷道截面上，在顶底板和两帮分别选取若干对测点相互垂直形成网格状，这样就可以测定巷道周围的变形情况。在图 1-3c 中，测点 $a-d$ 、 $b-e$ 、 $c-f$ 观测垂直方向的移动值，测点 1—2、3—4、5—6 测定水平方向的移动值，根据这 6 对测点的数据就可以测量出巷道变形的基本情况。如果要求巷道断面缩小量时，可通过取垂直方向和水平方向移动值的平均值求得。

四、观测仪器与使用方法

1. 观测仪器

巷道围岩移近量一般使用 ADL-2.5 型测杆或 KY-80 型顶板动态仪观测。

2. 使用方法

在巷道顶底板或两帮观测基点安设好后，要进行编号。A、B、C…为测站号，I、II、III…为测点号，如 AI 为第一测站第一测点。然后把测杆放在基点顶端铁钉的穴孔内测量两基点间的距离，并记下初始值。要求各测站每天观测一次，当工作面采至测站附近时，可一天测读两次，所测数据记入表 1-1、表 1-2 和表 1-3 中。

表 1-1 垂直布点法巷道围岩移近量记录表

采煤工作面：_____

巷道：_____

观 测 时 间					测点编号	至煤壁距离/m	测杆读数/mm	备注
年	月	日	时	分				

表 1-2 十字布点法巷道围岩移近量记录表

采煤工作面: _____

巷道: _____

观测时间					测点编号	至煤壁距离/m	测杆读数/mm		备注
年	月	日	时	分			垂直读数 ab	水平读数 cd	

表 1-3 网格布点法巷道围岩移近量记录表

采煤工作面: _____

巷道: _____

观测日期					测点编号	观测读数/mm						备注
年	月	日	时	分		$a-d$	$b-e$	$c-f$	1-2	3-4	5-6	

技能训练

一、测点布置、仪器安设、观测、记录数据、整理及分析

以十字测点为例,进行测点布置、仪器安设,将观测数据填入表 1-2 中,并按表 1-4 的要求填写有关数据,计算移进速度 v ,绘出各测点围岩移近量 S 与至煤壁距离 L 的曲线 ($L-S$ 曲线) 和 $L-v$ 的关系曲线,分析工作面煤壁前方巷道受采动影响的范围及巷道矿压显现特征,确定巷道超前支护的范围与措施。

表 1-4 巷道围岩移近量整理表

测点编号: _____

观测时间/h		至煤壁距离/m		移近量/mm				移近速度/(mm·h ⁻¹)		备注
读数	时差	读数	实距	水平移近量		垂直移近量		水平值	垂直值	
				读数	累计值	读数	累计值			

二、编写观测计划实施方案

主要内容应包括观测项目的名称、观测目的、计划时间和地点、使用的观测仪器和观测方法及步骤等。

训练成果

1. 提交观测实施方案。观测方案要说明观测人员、方案实施的时间和地点、观测方法及步骤等内容。
2. 提交实测记录笔记。
3. 提交 $L-S$ 曲线和 $L-v$ 曲线图。
4. 提交资料分析结果。

项目二 巷道支架载荷与变形观测

学习目标

1. 掌握巷道支架载荷与变形观测方法。
2. 能够对巷道支架载荷与变形观测的数据进行整理和分析。

基本知识

一、巷道支架载荷观测

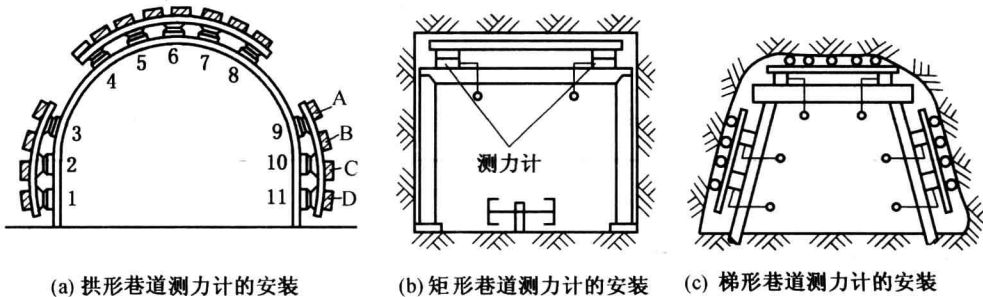
巷道支架载荷可用 ADJ 型机械式、HC 型液压式或 YLH 型钢弦式测力计进行观测。

1. 观测仪器的安设

1) 拱形巷道测力计的布置与安设

如图 1-4a 所示, 每架支架安设测力计的数量视需要而定, 一般可在两帮各安设 2~3 台测力计, 在顶板处安设 3~5 台测力计。在支架架设的过程中, 将测力计较均匀地安置在支架上, 但应避开棚腿连接处。为防止测力计下滑并使其受力均匀, 在测力计与支架之间放置测力计底托, 并用护板盖好测力计, 护板上用半圆木或木料插严背实。护板厚度为 8~10 mm, 宽 200 mm, 长 1000 mm, 呈弧形, 多用钢板制成。测力计编号由一帮底部起顺序排列。

2) 矩形或梯形巷道测力计的布置与安设



A—木背板; B—承压板; C—测力计; D—支承架; 1~11—测力计编号

图 1-4 测力计布置及安装

在观测过程中，如果巷道底鼓比较严重，底鼓观测要与巷道围岩移近量同时测读，并记录初读数，以便继续观测和累计底鼓总量。为了观测准确，在巷道两帮垂直煤壁方向打两个木锚杆，在杆头上钉上铁钉，形成 C' 、 D' 测点，并使其位于同一水平面上。每次测量时，先测量 A' 与 $C'D'$ 线的垂直距离，检查 A' 点是否向上移动。如果发现移动，在作图时，按移动值修正 A' 点的位置，以保证作图精度。根据表 1-6 的记录值，以 A' 为固定点，以 $\angle E'A'B'$ 为基础，用圆规在 $A'B'$ 射线上截取 $A'B'$ ，得 B' 点所在位置。而后，以 A' 、 B' 为定点，以所测各线段为半径，定出在同一观测时间各点的位置，将所得各点用曲线连接起来，测得支架变形实测图，如图 1-5b 所示。

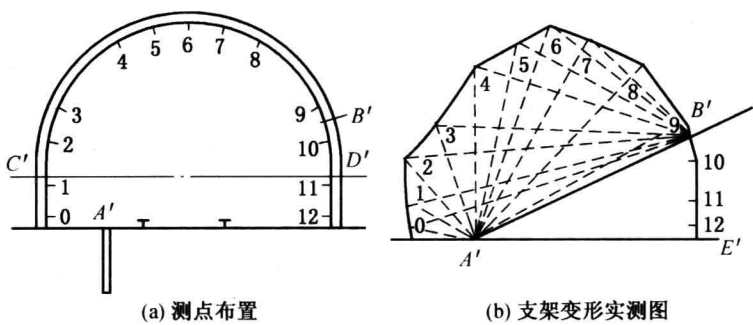


图 1-5 拱形巷道测点布置和支架变形实测图

三、观测数据的整理与分析

1. 观测数据的整理

(1) 按测点整理每个测力计受载与至煤壁 L 的关系曲线。将表 1-5 中记录值按测点随时间延续填入表 1-7 中，查出支架荷载 P ，绘出 $L-P$ 关系曲线。

表 1-7 支架载荷整理表

测点编号：_____

观测时间/h		至煤壁距离/m		测力计 编号	测力计 零读数	测力计 初读数	测力计载荷			备注
读数	时差	读数	实距				读数/ 10 ⁻² mm	差值/ 10 ⁻² mm	载荷/ kN	

(2) 整理每个测点支架下缩量 S_m 与至煤壁距离的关系曲线。按表 1-8 的要求填写有关数据，并绘出 $L-S_m$ 关系曲线。

(3) 按距工作面煤壁距离不同，将同一巷道内各测站同一观测量再平均，求得整个巷道的围岩移近量 S 、移近速度 v_s 、支架荷载 P 、支架下缩量 S_m 、下缩速度 v_m 等，整理