

光爆锚喷施工技术

戴光林 林东才 编著



煤炭工业出版社

光爆锚喷施工技术

戴光林 林东才 编著

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

内 容 提 要

本书简要介绍了岩石的分级和围岩分类、巷道地压的基本知识；重点阐述了光面爆破、锚杆支护、喷射混凝土支护的作用原理、结构、类型、主要参数、施工工艺和质量检查，以及施工中几种常用的锚喷机具和测试仪器；对光爆锚喷“三小”技术也作了扼要介绍。本书可作为煤矿职工培训教材，也可作为煤炭中专、技校的采矿、建井专业师生和煤矿工程技术人员的参考书。

光 爆 锚 喷 施 工 技 术

戴光林 林东才 编著

责任编辑：刘 璟

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北口1号)

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 350×1168mm^{1/32} 印张 6²/₅

字数 161千字 印数 1—4,650

1992年12月第1版 1992年12月第1次印刷

ISBN 7-5020-0763-8/TD·706

书号 3530 G0240 定价 7.00元



前 言

长期以来，人们把架设各种形式的棚子支护作为维护巷道的主要手段，如木材支架、料石砌碇、金属支架、钢筋混凝土支架、整体浇灌混凝土碇等。这些支架在各个发展阶段对维护各种不同的巷道，取得了应有的效果。但是，它们都是靠支件构件强度消极被动地承受地压，不能积极地发挥围岩的自承能力，因此，不仅消耗大量的木材、钢材，成本昂贵，而且工人劳动强度大，安全性差，严重影响了巷道的施工速度。

50年代末60年代初，国内外对锚杆支护进行了广泛的试验，并在一些地下工程中得到成功的应用。70年代锚杆支护在井巷工程中得到发展，特别是近几年，随着科学技术的不断发展，对锚杆形式、使用方式、应用范围进行了全面研究，配合光面爆破和喷射混凝土支护，形成了光爆锚喷技术，积累了很好的经验，应用范围更加广泛，并逐步应用于动压巷道。

为进一步推动煤矿支护技术的发展，推广应用和完善提高光爆锚喷技术，提高职工素质，保证工程质量，我们特编写此书，以满足培训工作和从事光爆锚喷施工的工人、技术人员自学的需要。

本书由山东省肥城矿务局查庄矿副矿长戴光林和山东煤炭教育学院讲师林东才主编，山东煤炭教育学院于锦伟同志编写了第八章、第九章和其他章节的部分内容，查庄矿杨聿山同志提供了部分资料。全书由林东才同志总编纂。

本书编写过程中，受到了查庄矿领导和工程技术人员、山东煤炭教育学院有关老师的大力支持和帮助，在此谨表感谢。由于编者水平所限，不当之处恳请指正。

为配合本书的使用，我们录制了配套的《光爆锚喷施工技术》电教片。

编 者

1992 年 3 月

目 录

前 言

第一章 岩石性质与巷道地压	1
第一节 岩石的物理性质	1
第二节 岩石的力学性质	5
第三节 岩石的工程分级和围岩分类	8
第四节 巷道地压	14
第二章 光面爆破	24
第一节 概述	24
第二节 光爆原理	26
第三节 光爆参数	32
第三章 锚杆支护	39
第一节 锚杆的作用原理	39
第二节 锚杆的种类与结构	43
第三节 锚杆选择原则	51
第四节 锚杆的质量检验	51
第四章 喷射混凝土支护	56
第一节 喷射混凝土的分类	56
第二节 喷射混凝土的支护特点和作用原理	58
第三节 喷射混凝土材料	61
第四节 喷射混凝土的主要工艺参数	64
第五章 光爆锚喷施工	67
第一节 光面爆破施工	67
第二节 锚杆施工	72
第三节 喷射混凝土施工	80
第六章 锚喷支护的结构与应用	94
第一节 锚喷支护的结构	94

第二节 锚喷支护的应用.....	102
第七章 锚喷施工及质量检查的规定	117
第一节 锚喷施工的规定.....	117
第二节 锚喷质量检查的规定.....	121
第八章 锚喷机具和测试仪器.....	125
第一节 锚杆钻眼机.....	125
第二节 喷射混凝土机具.....	147
第三节 测试仪器.....	156
第九章 光爆锚喷“三小”技术	187
第一节 光爆锚喷“三小”技术简介.....	188
第二节 光爆锚喷“三小”技术工艺特点及应用.....	192

第一章 岩石性质与巷道地压

井巷施工就是将岩石从岩体上破碎下来，形成设计所需要的具有一定断面形状和尺寸的空间，然后对这些空间进行维护，以防围岩垮落所进行的全部工作。为了有效、合理和经济地进行破岩和井巷维护，必须对岩石性质进行深入研究，并制定出科学的岩石分级方法，作为选用破岩和维护方法的依据。

第一节 岩石的物理性质

一、岩体的组成

岩体是指天然埋藏条件下由大到小不等的岩块组成的复杂地质体。它可由一种或几种岩石组成。岩体的强度比岩块（从岩体中切取的岩石小块）强度要低。

从煤矿采掘角度来看，岩体包括以下三部分：

1. 岩石

岩石是由一种或几种矿物组成的集合体，它是岩体的基本组成部分。通常把覆盖在地壳上部的第四纪沉积物称为松散性岩石或表土，如黄土、流砂、砾石等；表土层以下为各种固结性岩石，称为基岩，如岩浆岩、沉积岩和变质岩等。

煤系地层中主要是沉积岩，局部地段有岩浆岩侵入。沉积岩由形状不定，颗粒大小不均匀的矿物和岩石碎屑胶结而成。胶结强度的大小，对岩石的力学性质有明显的影响。沉积岩在结构上具有成层、多孔隙的特点，在性质上反映为非均质性和各向异性，即在不同方向物理性质不同，从而使其变形与破碎规律比较复杂。

2. 地下水

地下水常充填于岩石的孔隙、层理、裂隙和溶洞中，对井巷施工危害甚大。对于松散性的表土，它可促使其富水或流动，从而使岩体丧失稳定性；在有软弱结构面的岩体中，地下水可能带有充填物或使岩层富水，减小层间摩擦阻力而促使岩体滑动；以蒙脱石为主的粘土质页岩或石膏等岩层，遇水则发生膨胀或溶解。因此，在进行岩石分级时，必须充分重视地下水的影响。

3. 瓦斯

瓦斯是井下有害气体的总称。在煤系地层中，瓦斯主要指沼气（ CH_4 ），它产生于煤层而又扩散到附近岩体的裂隙或孔洞之中。在采掘过程中，必须采取可靠的技术措施，以确保工作安全。

岩体中由于瓦斯的的存在，常使其受力状态更为复杂。

二、岩体的裂隙性

岩体的裂隙按其生成原因，可分为原生（成岩）裂隙、构造裂隙和次生裂隙三类。

1. 原生裂隙

它是指在岩体形成过程中，由于物理-化学过程的结果而在岩石中形成的裂隙。

沉积岩的原生裂隙与岩石的岩性成分有关。例如，石灰岩和白云岩的裂隙垂直于层理，并使这些岩石具有平行六面体状的节理。砂岩除了有垂直于层理的裂隙外，还有与层理成不同角度的倾斜裂隙；裂隙面的情况也和岩性成分有关，如粘土岩和泥灰岩的裂隙面是光滑的。砂岩和砾岩的裂隙面粗糙且有凸起的砂粒和砾石。原生裂隙面通常没有擦痕和位移形迹存在，多为非开裂式，即裂隙面内仍存有大小不等的粘结力。

2. 构造裂隙

它是在岩体形成后，受构造变动作用力而形成的裂隙。这种裂隙的特点是：在不同岩性的岩体中无论是沿走向还是沿倾向，其方位都较固定。如节理、断层、劈理等。这些裂隙彼此之间有

一定的内在联系，是岩体裂隙的主要部分。

3. 次生裂隙

它是由于风化、地下水、卸载以及人工等作用形成的裂隙。岩体在风化时，出现风化裂隙面，最终分裂成大小不等的碎石堆或泥土岩体。风化裂隙面的特点是方向变化不定，常有分支和曲折现象，并且随深度加大而迅速减小。另外，岩体总是承受着自重压力，在卸除岩体上自重压力时，岩石就会向自由空间膨胀而产生减压裂隙。这种裂隙很密集，而且明显，并随着深度加大而逐渐变稀消失。

次生裂隙多为开裂式的，裂隙面不平坦，产状不规则，多半不连续且延展性小。

由上可知，岩体总是被这样或那样的裂隙切割成块体，这些块体之间处在既相联系而又被分割的状态。因此，岩体既是断裂的又是连续的，是连续与断裂的统一体，可称为裂隙介质或准连续介质。

三、岩体的各向异性

岩体具有各向异性的基本原因，是由于裂隙的存在。由于组成岩石的矿物的结晶程度、颗粒大小、形状以及胶结物性质的不同，也使岩体具有各向异性的特点。

岩体的各向异性，表现在它的变形和强度特性等方面的差异，从表1-1中可以明显看出。

四、岩石的孔隙度和孔隙比

孔隙度（孔隙率）是指所测岩石中孔隙体积与岩石总体积之比，通常以 n 表示，用百分数计。

孔隙比是指岩石中孔隙体积与岩石中矿物颗粒体积之比，通常以 e 表示，用小数计。

设某岩石的总体积为 V ，矿物颗粒体积为 V_1 。则

$$\text{孔隙度: } n = \frac{V - V_1}{V} \times 100\%$$

表 1-1 某些砂岩的室内静力实验

岩石名称	弹性模量 $E \times 10^4$ (MPa)		波 松 μ		抗压强度 (MPa)	
		⊥		⊥		⊥
粗砂岩	1.93~4.19	1.73~4.54	0.10~0.45	0.12~0.36	118.5~117.5	142.30~176.60
中粒砂岩	2.87~4.19	2.68~3.37	0.12	0.10~0.22	117.0~216.0	147.00~206.00
细砂岩	2.83~4.95	2.90~4.60	0.10~0.22	0.15~0.36	137.8~241.0	133.50~220.50
粉砂岩	1.01~3.23	0.84~3.05	0.15~0.50	0.28~0.47	33.4~104.5	55.40~114.70
岩石名称	抗拉强度 (MPa)		抗弯强度 (MPa)		抗剪强度 (MPa)	
		⊥		⊥		⊥
粗砂岩	4.43	5.14~5.25	11.10~17.20	10.30	48.30	47.00
中粒砂岩	7.70	5.20	16.20~22.60	13.10~19.40	33.60~59.50	48.20~61.30
细砂岩	8.07~11.80	6.0~7.95	20.85~26.53	17.75	43.20~59.50	52.40~64.90
粉砂岩	—	—	2.27~16.60	4.30	4.80~11.30	12.90~19.80

注：表中 || 和 ⊥ 符号，是表示平行于和垂直于岩层层理方向的试验条件。

孔隙比:
$$e = \frac{V - V_1}{V_1}$$

显然, 岩石的孔隙度 n 和孔隙比 e 越大, 岩石的可压缩性和透水性也就越大, 抗剪强度则越小。

第二节 岩石的力学性质

一、岩石的变形特性

在荷载作用下, 首先是组成岩石的基本微粒之间的相对位置发生变化, 称为变形。当作用的荷载不断增大, 或者随着超过某一数值的恒定荷载作用时间的增长, 便会导致岩石的破坏。如果考虑岩石的裂隙效应, 则岩石单向受压的典型应力应变关系曲线如图1-1所示。其曲线可划分为以下几个变形阶段:

1. oa段

oa 段为岩石中裂隙的压密阶段。其特点是单向应力的增量所引起的应变增量值, 随应力的增大而逐渐减小, 曲线呈上凹形, 这是由岩石裂隙压密过程所决定的。

裂隙不太发育或裂隙已被胶结的固结性岩石, 在受荷载后常常见不到裂隙的压密阶段。但在岩石试件增大时, 这个阶段还是会出现的, 故在实践中应注意尺寸的效应。

2. ab段

ab段为压缩变形阶段。特点是随单位应力增加, 应变基本上是按比例增加的, 即 ab 段接近直线, 其斜率就是这一阶段的弹性模量 E (是指产生单位弹性应变所需的应力差)。若将岩石视为均质的弹性体, 则 E 对矿山压力和围岩应力分布计算的实用意

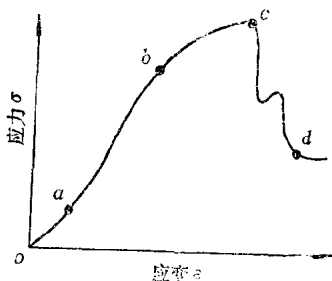


图 1-1 岩石单向受压应力应变关系曲线示意图

义较大。

表示岩石变形的特性，还常采用泊松比 μ 这一指标，即横向和纵向相对变形的比值。在这个阶段， μ 基本上是常数。

3. bc段

bc段为屈服变形阶段。这一阶段，应力应变曲线发生由直线向曲线的转变。岩石承受荷载达到b点时，内部裂隙扩展加速，变形速度明显增加，最后导致岩石破坏。b点应力称为弹性极限强度（起始破坏强度）。c点是岩石抵抗外荷载的极限能力，此时应力达到最大值，称为该岩石的单向抗压强度。一过c点，强度大大降低，至d点保持一常数，称为残余强度。由于实验设备能力和实验条件所限，cd段常显示不出来。

不同岩石的变形规律如图1-2所示。曲线1为常见的、完整的脆性岩体的变形特征曲线。岩体在荷载作用下，只要发生很小的变形就要破坏。曲线2为裂隙发育的岩体的变形特征曲线。它在低荷载时为弹性变形，在高荷载时则出现塑性变形，具有明显的屈服变形阶段；曲线3为松散岩体的变形特征曲线。在低荷载时虽也有弹性，但不易鉴别，这种岩体受载荷后残余变形较大。如表土或断层破碎带内的岩体常以这种变形为主。

试验表明，岩石不具有绝对的弹性变形，而是在弹性变形阶段就已伴随着塑性变形。因此，岩石是同时具有弹、塑性的物质，与一般的固体情况是不同的。通常只是在较小应力范围内，才视岩石为弹性介质。

岩石的蠕变是指在恒定荷载连续作用下，岩石变形随时间(t)而增长的特性（图1-3）。在开始加载时有一个瞬时弹性应变 $\epsilon_e = \sigma/E$ ，这一段所用的时间极短，可认为与时间无关。在A和B之间，蠕变不断增加，但蠕变速度逐渐减慢，称为第一阶段蠕变或过渡蠕变。在B和C之间，蠕变以恒定速率增长，称为第二阶段蠕变或定量蠕变。在C点以后，蠕变加速增长，称为第三阶段蠕变或加速蠕变。达到某一数值D时，岩石便破坏。立井井

筒在马头门上10~15m经常开裂，多是蠕变的结果。为防止其开裂，常在马头门上一定距离砌壁座或砌筑一圈经过防腐处理的木砖。

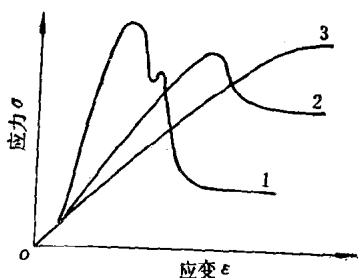


图 1-2 岩石变形的三种类型曲线

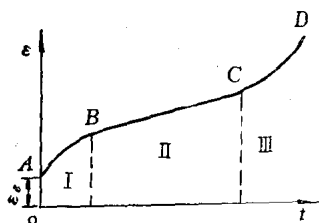


图 1-3 岩石的蠕变曲线

二、岩石的强度特性

变形达到一定程度，岩石就要破坏。对巷道而言，如围岩强度小于所受应力，围岩就要破坏（冒顶、片帮或底臃）；如围岩强度大于所受应力，则巷道可不支护而长期稳定。因此，了解岩石的破坏形式和岩石抵抗破坏能力（即岩石强度）是十分必要的。

在巷道中，围岩破坏主要有三种形式。

（1）脆性破坏。岩石在荷载作用下，没有明显的变形就突然破坏。巷道周围的裂隙，尤其是顶部拉张裂隙属于此类。

（2）弱面剪切破坏。由于岩层中存在弱面（层理、节理、软弱夹层等），在外力作用下，当岩体弱面上的剪切应力大于其抗剪应力时就要破坏，如巷道顶部岩块的冒落，两帮岩石的滑移等。

（3）塑性破坏。在双向或三向压力作用下，岩石表现出明显的塑性流动或挤出。这种破坏对于粘土类岩石尤为突出，如巷道两帮的挤凸和底板岩石的隆起等。

根据大量实验结果得知，岩石强度与受力状态和受力性质有

关，而且相差悬殊，如抗压强度约为抗拉强度的10~50倍。造成这种物理现象的原因可能是：岩石受荷载破坏时，在压缩条件下裂隙扩展受阻止的机会比拉伸时要多得多。岩石在拉伸情况下，内部贮存能量的释放速度的高低符合下列规律：

三向等压抗压强度 > 三向不等压抗压强度 > 双向抗压强度 > 单向抗压强度 > 抗剪强度 > 抗弯强度 > 单向抗拉强度 > 双向抗拉强度。

如前所述，由于弱面存在，岩体强度必然要比岩块强度低。对工程来说，岩体强度远比岩块强度重要。根据实验资料，岩体强度 $\approx (\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10})$ 岩块强度。

第三节 岩石的工程分级和围岩分类

按照各种岩石的不同成因和成分，对其加以质的区分，从地质学的角度来看是需要的，但从工程的观点来看，还必须对岩石进行量的区分，以便正确地进行工程设计，合理地选用施工方法、施工设备、机具和器材，此外还要据此进行各项技术计算和制定生产定额。

为了提高破岩效率，合理选择钻眼爆破参数，对小范围内的岩石加以量的区分，常称“岩石分级”，而为了井巷稳定性并为合理选择支护类型，对较大范围的岩石加以量的区分，习惯称“围岩分类”。

一、岩石分级

解放后，我国矿山开始使用按岩石坚固性进行分级的方法，即普氏分级法，至今仍然使用。

原苏联M·M·普罗托古雅可诺夫于1926年提出用“坚固性”这一概念作为岩石分级的依据。坚固性不同于强度，它表示岩石在各种采矿作业（锹、镐、钻机、炸药爆破等）以及地压等外力作用下被破坏的相对难易程度。普氏认为，岩石的坚固性在

各方面的表现是趋于一致的，难破碎的岩石用各种方法都难以破碎，容易破碎的岩石用各种方法都易于破碎。因此，他建议用一个综合性指标“坚固性系数 f ”来表示岩石破坏的相对难易程度。通常称 f 为普氏岩石坚固性系数。

f 值等于岩石的单向抗压强度 R 除以100所得之商，即：

$$f = \frac{R}{100}$$

据 f 值大小，普氏将岩石分为十级共15种，见表1-2。

普氏岩石坚固性系数 f 值十分简明，能在一定程度上反映采掘岩石难易程度的客观规律。它的问题是，由于定级标准是由取代性的小块岩石试压而得，反映不了岩体的本质特征。而且关于岩石坚固性在各方面表现是趋于一致的论点，对于某些岩石也不适用。如在粘土中钻眼很容易，而爆破就困难。这说明单纯用 f 值进行岩石分级，是概括不了各种破岩方法的具体规律的。生产技术的发展，要求继续研究制定更加符合实际的岩石分级法。

二、围岩分类

近年来，国外在围岩分类方面发展很快，总的趋势是抛弃初期单一以岩石强度指标作为分级依据的一些办法，大多围绕围岩稳定性来划分，以选择合理支护方式为明确目的。应该指出的是，日本以弹性波速度来判断围岩的破碎程度是一种很有发展前途的手段。因为它不仅能反映围岩的状态，而且能反映出围岩的岩性及其它一些特征，作为围岩分类的一项综合指标，值得进一步研究。

新分类法都不同程度地考虑了围岩的结构和裂隙、岩体的强度、地下水的影响等因素。

近几年，我国铁道、建工、冶金、煤炭等部门也分别提出了新的围岩分类方法。《煤矿井巷工程锚杆喷浆、喷射混凝土支护设计试行规范》，根据锚喷支护设计的需要，考虑煤矿岩性的特点、构造情况和断面尺寸，将围岩划分为五类，见表1-3。显

表 1-2 普氏岩石分级表

等级	坚固性程度	岩 石	坚固性系数 (f)
I	最坚硬的岩石	最坚硬、致密而富韧性的石英岩、玄武岩和其他特坚硬的岩石	20
II	极坚固的岩石	极坚硬的花岗质岩石、石英斑岩、极坚固的花岗岩、砂质板岩, 较软的石英岩, 最坚硬的砂岩和石灰岩, 极硬的铁矿石	15
III	坚固的岩石	致密的花岗岩类, 极硬的砂岩和石灰岩、石英质矿脉, 坚硬的砾岩, 坚硬的铁矿石	10
III _a		坚硬的石灰岩, 不太硬的花岗岩、硬质砂岩、硬质大理岩、白云岩、黄铁矿	8
IV	相当坚固的	普通砂岩, 中等坚硬的铁矿石	6
IV _a	岩石	砂质页岩, 层状砂岩	5
V	中等坚固的	坚硬的粘土质页岩, 不坚硬的砂岩和石灰岩, 软的砾岩	4
V _a	岩石	各种不坚硬的页岩, 致密的泥灰岩	3
VI	相当软的岩石	软岩, 很软的石灰岩, 岩盐, 石膏, 普通泥灰岩, 冻土, 无烟煤, 碎裂的砂岩, 碎石, 石化的土壤	2
VI _a		混有碎石的土壤, 碎裂的页岩, 堆放的碎砾石, 坚硬的煤, 固结的粘土	1.5
VII	软 岩	密实粘土, 软煤, 坚硬的冲积土	1.0
VII _a		微砂质粘土, 黄土, 细砾石	0.3
VIII	土质岩石	腐植土, 泥炭, 微砂质粘土, 湿砂	0.6
IX	松散岩石	砂岩屑, 细砾, 松土, 采落的煤	0.5
X	流砂状岩石	流砂, 沼泽土, 饱和水的黄土和饱和水的土壤	0.3

然, 它是为选择锚喷支护类型及参数服务的。由于综合分类指标太少, 在具体运用该分类法确定围岩类别时, 仍缺乏简单易行的现场实测手段, 还有待进一步充实完善。