

中等专业学校教学用书

爆 破 工 程

冶 金 工 业 出 版 社

中等专业学校教学用书

爆 破 工 程

伍 汉 等 编

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

爆 破 工 程

伍 汉 等 编

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

山西新华印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张16 字数382千字

1979年10月第一版 1979年10月第一次印刷

印数00,001~13,000册

统一书号: 15062·3441 定价1.30元

前 言

《爆破工程》教材是根据冶金部中等专业学校采矿专业教学计划编写的。本书主要阐述了有关爆破工程的基本知识，注意了理论联系实际，适当地介绍了国内外的先进经验和先进技术。内容主要包括有：岩石的物理力学性质及分级方法、矿用炸药及性能、起爆器材及起爆方法、爆破技术、爆破仪表和爆破安全等五章。各章末并附有复习题。本书适于中等专业学校地下、露天开采专业教学使用，也可供冶金矿山工程技术人员和工人参考。

本书由长沙冶金工业学校伍汉同志主编，本溪钢铁学校陈宜蔚同志和包头钢铁学校王家瑞同志参加编写。第一章由王家瑞同志编写，第四章中的台阶爆破和峒室爆破部分以及第二章中的浆状炸药部分由陈宜蔚同志编写，其余各部分由伍汉同志编写。

在编写过程中，有关的冶金院校、生产和科研设计单位曾给予大力支持，在此表示衷心感谢！由于编写时间紧迫，编者业务水平有限，书中缺点、错误在所难免，诚恳希望读者批评指正。

编 者

一九七九年七月

目 录

绪 论	(1)
第一章 岩石的物理力学性质与分级方法	(3)
第一节 岩石的物理力学性质	(3)
第二节 岩石的坚固性及分级	(6)
第一章 复习题	(11)
第二章 矿用炸药及其性能	(12)
第一节 矿用炸药种类	(12)
第二节 炸药爆炸的理论基础	(27)
第三节 炸药的爆炸性能及其测定	(36)
第二章 复习题	(47)
第三章 起爆器材和起爆方法	(43)
第一节 火雷管起爆法	(50)
第二节 电雷管起爆法	(60)
第三节 导爆索起爆法	(75)
第四节 联合起爆法	(83)
第三章 复习题	(85)
第四章 爆破技术	(86)
第一节 岩石爆破机理	(86)
第二节 井巷掘进爆破技术	(98)
第三节 地下采矿场爆破技术	(116)
第四节 露天台阶深孔爆破	(152)
第五节 露天峒室大爆破	(182)
第四章 复习题	(213)
第五章 爆破仪表和爆破安全技术	(215)
第一节 爆破工程中常用的仪表	(215)
第二节 爆破安全技术	(236)
第五章 复习题	(242)
附 录	(243)
附录一 炸药加工的有关资料	(243)
附录二 有关爆破地震的资料	(248)

绪 论

第一节 爆破工程在矿山生产中的作用

炼一吨铁，要用3~5吨矿石，为了采出这些矿石，要挖掘十几吨岩石，再加上所需熔剂，总共要挖掘17~20吨岩石。炼一吨有色金属，需挖掘的岩石就更多，约150吨以上。

一座现代化高炉，只需几个月就能建成，而建设供它所需原料的矿山，则至少需要三年，甚至十年以上，而且建设条件要复杂艰巨得多。

为了采出埋藏在地下的矿石，首先需要用凿岩爆破手段将岩石从岩体上破碎下来。这是因为用别的工程手段目前还比不上用爆破方法优越。

冶金矿山中，几乎所有的巷道和矿石都是用爆破方法挖掘和采出的。在开采矿石的总成本中，爆破工程费用大约要占一半。

根据计算，1公斤梯恩梯爆炸时，放出的热量约为1000千卡。如此巨大的热量是在百万分之几秒中产生的，它可转化为7.2亿马力的功率。炸药的这种巨大功率是世界上任何巨型机械所不能达到的。

由于爆破方法有着节约劳力、降低成本和加快工程进度等优越性，所以爆破工程在矿山生产中日益占据重要地位。对每个从事采矿技术工作的人员来说，无论其工作性质是设计、施工，还是管理、科研，都将无例外地要在爆破工程方面占据他大约一半的精力和时间。

正确地将爆破工程应用于矿山生产是极为重要的工作，这项技术工作的核心就是正确解决高效、省料和安全这三者间的矛盾。

第二节 我国爆破工程技术发展现状及成就

解放后，我国爆破技术发展很快，特别是六十年代以来，取得了不少新的成就，主要有以下几个方面。

1. 创制了一系列新型矿用炸药。如铵油炸药、浆状炸药、铵松蜡炸药，以及铵尿炸药、铵胍炸药、铵邻炸药等等。初步形成了我国矿用炸药体系，其特点是来源广、价廉、制造和使用安全、易于矿山自制。

2. 研制和改进了起爆器材。如改进了雷管和导火索；研制了微差爆破所用的毫秒雷管和继爆管；研制了电爆检测仪表和装药机具。从而起爆器材比较完备，性能比较稳定，安全。

3. 改进了爆破技术，提高了爆破效果。如创造了多种一次点火方法，改进了炮眼排列方式，提高了爆破率，逐步推广应用了光面爆破、微差爆破、挤压爆破等控制爆破新技术。扩大了地下和露天矿山一次爆破的规模。最大的露天峒室爆破规模达到一万吨炸药，崩落岩石数千万立方米，地下矿山也达到用数百吨炸药崩下数十万吨岩石的规模。

4.改进了爆破安全技术工作。建立健全了安全制度，创造了比较严密的组织管理措施，采用了许多为保证安全而研制的仪表和器材，爆破事故大大减少。

5.加强了爆破技术的科学研究工作，取得了初步成果。例如，浆状炸药、装药器的研究，预防和测定静电和杂电，爆破参数的确定和爆破机理研究等方面都取得了可喜成就。尤其在大爆破的安全距离确定方面，利用地震效应观测等办法获得了理论和实践上的重大进展。此外，在炸药加工工艺方面也突破了用气流新工艺的关键。使用气力喷混和气力粉碎原料，不仅初步解决了炸药加工的机械化和连续化问题，而且提高了炸药质量和劳动生产率。自动装药机的研制也在加紧试用。

尽管爆破技术发展很快，但是，仍赶不上四个现代化对生产提出的要求。目前，矿山生产中尚存在下列问题急需解决。

1.爆破器材不够完备。炸药威力不够高，性能不十分稳定，专用仪表和器材（如光面爆破用器材等）尚缺乏。

2.技术管理不够完善。技术培训制度和安制度不够健全。

3.深孔和峒室的大药量爆破的装药和堵塞机械化问题未得到解决。

4.特殊条件下的安全措施不够有力。如点火安全，自爆和拒爆的预防和处理，静电和杂电早爆的预防，地震危害和安全距离的确定等都还有待进一步研究解决。

5.急需创制高效、高质凿岩设备，以加快爆破周期。尤其是井下深孔爆破的凿岩设备尚不完善。

第三节 学 习 内 容 和 要 求

《爆破工程》包括五部分内容：

1.岩石分级方法简介。重点介绍常用的普氏岩石分级方法，同时也介绍较有前途的岩石按弹性波传播速度分级的方法。旨在了解爆破工作的对象——岩石。

2.矿用炸药及其性能。重点介绍常用的几种炸药的成分和性能。阐述炸药的加工艺要求，以便适应矿山自制炸药的需要。对于炸药的爆炸理论和性能测定方法从理论与实践上作比较详细地阐述。旨在使学习后能掌握改进炸药的途径和为创新药种打下基础。

3.起爆器材和起爆方法。介绍常用的起爆器材和起爆方法，并适当说明安全起爆操作知识。要求掌握起爆方法，并会计算电爆网路。

4.爆破技术。这部分内容是本课程的中心。主要阐述爆破破岩机理，在各种开采条件下（地下、露天、浅眼、深孔、峒室）如何确定爆破参数，设计爆破网路，选用合理爆破方案，组织爆破施工，分析爆破效果。使学习后能具有一定的爆破技术基础。

5.爆破仪表及爆破安全技术。阐述爆破工程中常用的施工仪表原理、结构及使用方法，并介绍有关爆破安全事宜。要求树立牢固的安全思想，掌握适用的安全措施。

第一章 岩石的物理力学性质与分级方法

在采矿生产中，爆破工作的对象就是岩石，爆破作业的目的就是要把矿岩从整体岩石上破碎下来，并破碎成一定块度。由于矿岩的性质各不相同，这就要求在进行破岩工作之前，先对岩石性质有所了解，并根据它对抵抗破碎的能力大小，将岩石划分为若干等级，以使爆破工作有的放矢，有所依循。据此选择合适的工具、器材、方法与参数，从而保证取得良好的爆破效果。

第一节 岩石的物理力学性质

岩石的物理力学性质与爆破工作的关系十分密切。其中主要影响爆破效果的有岩石的弹性、塑性、脆性、硬度、韧性、强度、容重、比重、碎胀性和特性阻抗等。

一、岩石的弹性、塑性和脆性

弹性是指岩石除去外力后恢复它的原来形状和体积的性能。弹性大的岩石，在凿岩爆破时不易破碎。在破碎前具有明显残余变形的岩石称为塑性岩石，而几乎没有残余变形就会破坏的岩石称为脆性岩石。脆性愈大的岩石，愈容易被爆破所破碎。

岩石的变形性质除了与本身的组成和结构有关以外，还与岩石的受力条件有一定关系。在三向受压和高温的条件下，岩石的塑性会显著增加，在常态下具有脆性的岩石，此时也能变成塑性体。在冲击载荷作用下，岩石的脆性又会显著增加。比如，在凿岩或爆破等冲击载荷作用下，大多数岩石呈脆性破坏。

二、岩石的硬度和韧性

硬度是指岩石抵抗工具侵入的能力。凡是用刃具切削或挤压的方法凿岩，首先必须将工具压入岩石才能达到钻进的目的，因此，研究岩石的硬度具有一定的意义。硬度愈大的岩石凿岩愈困难。值得注意的是：某些硬度大的岩石，往往比较脆，因而也就易于爆破。

韧性是岩石抵抗冲击工具侵入的能力，故有人又叫它做动力硬度。它反映了由于岩石内部颗粒之间存在着凝聚力，使得外力不容易把它分裂成为碎块的性质，它的大小与岩石的组织 and 构造有关。显然，韧性大的岩石，凿岩爆破就比较困难。

三、岩石的强度

岩石的强度是指岩石的完整性开始被破坏时的极限应力值。在材料力学中用强度来表示各类材料抵抗拉伸、压缩、剪切等简单作用力的能力。在爆破工程中，由于大多数岩石承受冲击载荷，因而强度只是用来说明岩石坚固性的一个方面。

常见岩石的抗压强度值通常在200~300公斤/厘米²到2000~3000公斤/厘米²之间。而岩石的抗拉强度值则较小，只有抗压强度的十分之一到五十分之一。岩石的抗剪强度介于抗压与抗拉强度之间，为抗压强度的八分之一到十二分之一。所以，可以简单地将岩石的强度特征归结为一句话：岩石怕拉不怕压。欲使岩石易于破碎，应尽可能使岩石处于拉伸或剪切状态下。表1-1所示为几种常见岩石的抗压与抗拉强度数值。而表1-2

所示则为三种典型岩石的相对强度。

表 1-1 几种岩石的强度值

岩石名称	抗压强度 (公斤/厘米 ²)	抗拉强度 (公斤/厘米 ²)
花岗岩	1000~2500	70~250
闪长岩	1800~3000	150~300
玄武岩	1500~3000	100~300
砂岩	200~1700	40~250
页岩	100~1000	20~100
石灰岩	800~2500	50~250
白云岩	800~2500	150~250
石英岩	1500~3000	100~300
片麻岩	500~2000	50~200
大理岩	1000~2500	70~200
板岩	1000~2000	70~200

表 1-2 几种岩石的相对强度

岩石名称	相对强度 (%)		
	抗压	抗剪	抗拉
花岗岩	100	9	2~4
砂岩	100	10~12	2~5
石灰岩	100	15	4~10

四、岩石的比重和容重

岩石的比重是指单位体积的致密岩石（除去孔隙）的重量，而容重是指单位体积内原岩（包括孔隙）的重量。显然，岩石的容重会比岩石的比重小一些。在矿山生产中，大多数岩石或多或少的都存在有孔隙，因而常采用容重作为指标。矿石的容重常与其中的金属含量有关，金属含量愈高，容重愈大。表 1-3 所示为几种常见岩石的比重和容重值。

表 1-3 几种岩石的比重和容重值

岩石名称	比重 (吨/米 ³)	容重 (吨/米 ³)
花岗岩	2.58~2.69	2.56~2.67
砂岩	2.59~2.72	2.11~2.14
石灰岩	2.71~2.85	2.46~2.68

五、岩石的孔隙度

孔隙度是指岩体中孔隙的体积与岩石体积之比，常用百分比来表示。对同一种岩石而言，随着岩石密度的减小，孔隙度会相应地增大。岩石的孔隙度会降低爆破时应力波的传播速度，削弱岩石颗粒之间的连接力，进而影响岩石的强度。例如，当石灰岩的密度由 1.5 克/厘米³ 增大至 2.7 克/厘米³ 时，其抗压强度就由 50 公斤/厘米² 增加到 1800 公斤/厘米²。显然岩石强度会随密度增大而大大增加，爆破岩石也将愈加困难。

六、岩石的碎胀性

岩石被破碎后，其体积会比破碎前增大，这个性质叫碎胀性。碎胀程度的大小常用碎胀系数 ξ 来表示

$$\xi = \frac{V_1}{V} \quad (1-1)$$

式中 V_1 ——破碎后的岩石体积 (米³)；

V ——破碎前的岩石体积 (米³)；

ξ ——碎胀系数。

通常，岩石愈坚硬，其碎胀系数也就愈大。在掘进和采矿工作中，应充分考虑到碎胀系数的大小，因为它一方面反映了爆破的效果，即岩石被破碎的程度如何；另一方面，还反映了需要多大的补偿空间才是合适的。表 1-4 所示为几种常见岩石的碎胀系数值。

表 1-4 几种岩石的碎胀系数值

岩石名称	纯砂和砾石	砂质粘土	中硬岩石	坚硬岩石
碎胀系数 ξ	1.05~1.2	1.2~1.25	1.3~1.5	1.5~2.5

七、岩石的特征阻抗

岩石的密度与纵波在岩石中传播速度的乘积叫做岩石的特征阻抗。特征阻抗的大小反映了岩体对于波的传播阻力大小，又可叫做岩石的波阻抗。

在以下章节中，将叙述岩石获得爆炸能量的方式主要靠应力波传递的形式。所以，岩石特征阻抗的大小关系到炸药爆炸后传给岩石的总能量多少和传递效率如何。

实验证明，凡是特性阻抗大的炸药，或者炸药的特征阻抗与岩石的特征阻抗愈接近，则炸药爆炸时传给岩石的能量就愈多，引起岩石的应变值也就愈大。这就说明，在对岩石内进行爆破时，如何正确选择合适的炸药是一个十分重要的问题，此即所谓炸药与岩石的特征阻抗相匹配的问题。

实验还证明，空气的特征阻抗比岩石和炸药的特征阻抗都要小得多，约小一万倍左右。所以，当炸药能量从炸药传给空气再传给岩石时，能量损失极为严重，这就要求在选择装药结构时加以弥补。

表 1-5 中所示为某些岩石的特征阻抗值。

表 1-5

某些岩石的特征阻抗值

岩 石 名 称	纵波传播速度 C_p (米/秒)	岩 石 密 度 ρ (克/厘米 ³)	特 征 阻 抗 $C_{p \cdot \rho}$ (公斤/厘米 ² ·秒)
花 岗 岩	3000~5000	2.65	800~1300
玄 武 岩	4500~6500	2.85	1300~1800
辉 长 岩	4500~6500	3.05	1400~2000
砂 岩	1400~4000	2.55	300~1000
页 岩	1400~3000	2.3	300~700
石 灰 岩	2500~6000	2.5	600~1500
大 理 岩	3500~6000	2.65	900~1600
石 英 岩	5000~6500	2.65	1300~1650
板 岩	3500~5500	2.65	900~1450

第二节 岩石的坚固性及分级

岩石的性质是千差万别的。由于岩石结构的不同，在生成时和生成后受地质作用产生的构造和风化程度的不同，即使是同一种岩石，也会表现出很不相同的物理力学性质。对于众多而性质各异的岩石来说，为了在开采它时能取得合理的技术经济效果，首先要将岩石划分成为不同的等级，以便对不同级别的岩石采取不同的技术方法和措施。例如，制定不同的生产定额；选用合适的设备和器材；选择正确的凿岩爆破参数和工艺方法等。所以，岩石分级是十分必要的。

那么，如何进行岩石分级呢？各个国家和各个部门都有自己的不同分级标准和方法。到目前为止，国内外大多数的矿山都采用以岩石坚固性为依据的分级方法。

人们在长期的采矿实践中发现，有的岩石可以直接用机械挖掘，有的岩石却必须用凿岩爆破方法才能破碎；有的岩石很坚固，有的岩石则在暴露面积不大的情况下就会发生冒落。这些现象说明有些岩石易于破碎，有些岩石则难于破碎。一般说来，难于破碎的岩石，也难于凿岩，难于爆破，同时它的强度和硬度也较大，也就是说这类岩石的共性是比较坚固的。所谓岩石的坚固性就是指岩石在各种外力作用下，其抵抗破碎的难易程度趋于一致的性质。岩石的坚固性不同于岩石的其它力学性质，比如不同于可钻性、强度、可爆性等。岩石的某一力学性质是指岩石在特定条件下抵抗某种外力破碎的难易程度，

它只适用于某种具体的破碎方法，而坚固性则含义更为广泛和普遍，它适用于各种破碎岩石的方法。

大量实验数据表明：岩石坚固性在各方面的表现是趋于一致的。也就是说，一种岩石，当它在某一方面（如爆破）比另一种岩石坚固若干倍的话，那么，它在其余各方面（如凿岩、截割、地压等）也比另一种岩石坚固若干倍。换句话说，用一种方法难于破碎的某种岩石，也不容易用其它各种方法去破碎它。这个概念就是岩石坚固性对岩石进行分级的理论依据。目前国内外大多数矿山通用的普氏岩石分级法便是按照岩石的坚固性进行分级的。这种分级方法在数量上是用岩石坚固性系数 f 来表示岩石的坚固程度大小， f 系数又叫普氏系数。为了求得某种岩石的坚固性系数 f 值，曾经采用过多种岩石抵抗不同破碎方法的指标，如岩石的极限抗压强度，凿碎单位体积岩石消耗的功（功比耗），凿岩速度，单位炸药消耗量，以及挖掘生产率等。根据这些指标求得一个综合平均的坚固性系数。但是，由于生产技术的发展，当年用来测定坚固性系数的方法大部分都不适用了。目前只剩下单一的测定 f 系数的方法，即用单轴压缩试验求出岩石的极限抗压强度 R 值，然后用下式(1-2)确定出岩石坚固性系数 f 值。

$$f = \frac{R}{100} \quad (1-2)$$

式中 f —— 岩石坚固性系数；

R —— 岩石极限抗压强度（公斤/厘米²）。

常用的普氏岩石分级表如表 1-6 所示。表中根据岩石坚固性系数的大小，将岩石分为十级， f 值的范围在 0.3~20 之间，在 f 值大于 2 以后，一般只取其整数值，以简单化便于使用。 f 值愈大，说明岩石愈坚固。表中只列入常见岩石，其余岩石可参照类似岩石进行分级。

表 1-6 普 氏 岩 石 分 级 表

等级	坚 固 性 程 度	岩 石 名 称	f 值
I	最 坚 固 的 岩 石	最坚固、最致密具有韧性的石英岩和玄武岩及其它坚固的岩石	20
II	很 坚 固 的 岩 石	很坚固的花岗质岩石、石英斑岩、很坚固的花岗岩、硬质片岩、比一级较不坚固的石英岩、最坚固的砂岩、石灰岩	15
III	坚 固 的 岩 石	致密的花岗岩和花岗质岩石、很坚固的砂岩和石灰岩、石英质矿脉、坚固的砾岩、极坚固的铁矿	10
IV	坚 固 的 岩 石	石灰岩（坚固的）、不坚固的花岗岩、坚固的砂岩、坚固的大理石和白云岩、黄铁矿	8
V	颇 坚 固 的 岩 石	一般的砂岩、铁矿	6
VI	颇 坚 固 的 岩 石	砂质页岩、页岩质砂岩	5
VII	中 等 的 岩 石	坚固的粘土质岩石、不坚固的砂岩和石灰岩	4

(续)

等级	坚固性程度	岩石名称	f值
V.	中等的岩石	各种不坚固的页岩、致密的泥灰岩	3
VI	颇软弱的岩石	软弱的页岩、很软弱的石灰岩、白垩岩、盐、石膏、冻结的土壤、无烟煤、普通泥灰岩、破碎的砂岩、胶结砾岩、石质土壤	2
VI.	颇软弱的岩石	碎石质土壤、破碎的页岩、凝结成块的砾石和碎石、坚固的煤、硬化的粘土	1.5
VI	软弱的岩石	致密的粘土、软弱的烟煤、坚固的冲积层、粘土质土壤	1.0
VI.	软弱的岩石	轻质土壤、黄土、砾石	0.8
VII	土质岩石	腐植物、泥煤、轻砂质土壤、湿砂	0.6
IX	松散性岩石	砂、山麓堆积、细砾石、松土、采出的煤	0.5
X	流砂性岩石	流砂、沼泽土壤、含水黄土及其它含水土壤	0.3

按岩石坚固性分级的方法，抓住了岩石抵抗各种破碎方法能力趋于一致的这个主要性质，并从数量上用一个简单明了的岩石坚固性系数 f 来表示这种共性，所以在采矿工程中被广泛采用。但是，由于岩石坚固性这个概念过于概括，因而在具体应用时，对不同的特定条件不能具体考虑；而且目前余留下来测定岩石坚固性的方法（即单轴抗压强度法）并未能完全反映出岩石在破碎过程中的物理实质，所以，这种分级方法并不是很完善的。

我国矿山中，在确定岩石坚固性系数时，除仍采用普氏提出的单轴抗压强度测定法外，许多单位还从我国技术现状出发，用标准条件下测定的纯凿岩速度和单位炸药消耗量与岩石坚固性系数进行换算。具体换算公式如下

$$U = K_{\text{凿}} \frac{(p-1)^{1.2}}{(f+b)^n} \quad (1-3)$$

式中 U ——纯凿岩速度（毫米/分）；

p ——风压（公斤/厘米²）；

b ——与炮孔深度有关的系数，在浅眼条件下可取 2~2.5；

f ——岩石坚固性系数；

n ——与钎刃耐磨程度有关的系数，在钢钎头时， $n=1.44$ ；用硬质合金钎头时，可取 $n=1.12$ ；

$K_{\text{凿}}$ ——与凿岩机能力、钎头直径和形式有关的系数，当使用气腿式凿岩机，直径为 41~43 毫米的一字形钎头时，取 $K_{\text{凿}}=440$ 。

$$q = K_{\text{爆}} \frac{f^{0.75} e_x}{\sqrt[3]{s_x} \cdot \sqrt{d_x}} \quad (1-4)$$

式中 q ——崩落 1 米³ 原岩消耗的炸药量 (公斤/米³) ;

s_x ——相对巷道断面系数, $s_x = \frac{s}{5}$ (s ——巷道断面积, 米²) ;

d_x ——相对药卷直径系数, $d_x = \frac{d}{32}$ (d ——药卷直径, 毫米) ;

e_x ——炸药的爆力系数, $e_x = \frac{360}{e}$ (e ——炸药爆力, 厘米³) ;

$K_{\text{爆}}$ ——常数, 平巷掘进时可取 0.25~0.35。

综合上述求得的几个数值, 即可比较全面地确定出 f 值。

通常, 生产矿山都把本矿常见的一些岩石进行测定, 然后换算成岩石坚固性系数, 从而制定出本矿的岩石分级表。例如表 1-7 所示为某铁矿使用的岩石分级表。

表 1-7 某 铁 矿 岩 石 分 级 表

本矿称呼等级	典 型 岩 石	01-38型凿岩机的凿岩速度 (毫米/分)	凿 1 米炮眼磨 钝钎头的个数 (个)	掘进平巷时的 单位炸药消耗量 (公斤/米 ³)	岩石坚固性系数 f
一	含铁石英岩、贫铁矿	160	1.2	3.5~4.0	15~17
二	中等品位铁矿、含铁角闪石	200	0.9	3.0~3.5	12~14
三	富铁矿、绿泥片岩	250		2.8	5~7

应当指出: 按照特定的破岩方法来进行分级, 如按凿岩性和爆破性分级, 尽管指标很具体, 应用也很方便, 但这类分级法所测得的各项指标都是在标准条件下应用生产工具测得的。随着生产发展和工具的革新, 这些指标都要不断地大量地校正, 影响了指标的精确性。更关键的问题是这种方法只反映了事物某个方面, 只能代表个性, 不能代表共性, 不便于相互比较和推广。

岩石分级是生产的需要, 今后必然要求分级法更准确更方便。目前已有的分级法, 除普氏分级法外, 还有苏氏统一分级法, 美国的按岩芯完整率的分级法, 加拿大的按岩石物理力学性质分级法, 以及日本近年来按岩层弹性波速度的分级法等。我国某部门在大量测定和分析资料的基础上, 提出了如表 1-8 所示的岩石土壤参考分级表, 根据岩石的抗压强度、纯凿岩速度、单位体积岩石炸药消耗量等指标, 测定换算出坚固性系数而制定成分类表, 可供凿岩爆破作业时作为分级参考。

其他一些分级方法都是为了寻求更科学更实用的分类标准, 以弥补普氏方法的片面性和不足。值得提到的是, 七十年代中, 日本某隧道工程中, 根据岩质、岩层弹性波传播

表 1-8

岩石参考分级表

分 级	岩石坚 固 性	代 表 性 岩 石	岩石抗 压强度 (公斤/厘米 ²)	凿岩速度 (毫米/分)	每修磨 一次凿 岩长度 (米)	炸药单耗 (公斤/米 ³)	爆破1米 ³ 岩石所需 炮眼长度 (米)	岩石坚固 性 系 数 <i>f</i>
I	极坚固	最致密的碧玉、橄榄玄武岩	>2500	30~40	1.0	5~6	7.4	>25
		最致密玢岩		40~50	1.5	4.5~5	6.5	20~25
		致密石英岩和玄武岩	2000	50~60	2.0	4~4.5	5.7	20
II	坚 固	致密安山岩和辉绿岩	1800	60~70	3.0	3.5~4	5.0	18
		石英斑岩	1500	80~90	4.3	3~3.5	4.4	15
		致密硅质砂岩和铜镍矿	1200	100~110	6.6	2.5~2.8	3.9	12
III	中等坚固	花岗岩、致密磁铁矿	1000	120~130	10	2.2~2.4	3.5	10
		致密的砂岩和石灰岩	800	140~160	14	1.8~2.0	3.2	8
		砂岩、角砾岩	600	180~200	20	1.50	2.8	6
		砂质页岩	500	220~240	25	1.25	2.5	5
IV	不坚固	软质石灰岩	400	300	33	1.0	2.2	4
		页 岩	300	400	40	0.8	2.0	3
V		软 页 岩	200	500	50	0.6	1.8	2
		无烟煤、石膏	150	600	60	0.5	1.6	1.5
		致密粘土、烟煤	80~100	≥700	>70	≤0.4	≤1.4	0.8~1.0

注：凿岩爆破均按标准条件。

表 1-9

岩 质 分 类 表

类 别	岩 石 名 称
A	1. 古生界及中生界岩层：粘板岩、砂岩、砾岩、石灰岩、凝灰岩等
	2. 深成岩：花岗岩、闪长岩、辉岩、橄榄岩等
	3. 半深成岩：斑岩、花岗斑岩、玢岩、辉绿岩等
	4. 火山岩的一部分：玄武岩、中生代的流纹岩等
	5. 变质岩：结晶片岩、千枚岩、片麻岩、蛇纹岩等
B	1. 劈理显著的变质岩
	2. 层理发达的古生代和中生界岩层
C	1. 中生界岩层的一部分：页岩、砂岩、角砾凝灰岩等
	2. 火山岩：安山岩、流纹岩等
	3. 古第三纪岩层的一部分：硅化页岩、硅化砂岩、火山岩质凝灰岩等
D	古第三纪岩层~新第三纪岩层：泥岩、页岩、砂岩、砾岩、凝灰岩等
E	新第三纪岩层~洪积层：泥岩、粉砂岩、砂砾岩、火山喷出物等
F	洪积层~冲积层：粘土、淤泥、砂、岩锥、台地等

速度、以及涌水、风化、龟裂、膨胀等岩层状况进行岩石分级。其方法是，先将岩层划分为如表1-9所示的几类，然后测定各类岩层中弹性波的传播速度，据此波速大小将岩石分级为七个等级，如表1-10所示。由于这种方法考虑了较多的因素，同时又易于测定指标，简单明确，可在现场随时进行测定，比较接近于真实，所以，近年来此法受到各国普遍重视。

我国岩石分级的长远研究任务应当是：通过对岩石性质的深入研究，了解它与各种破碎和维护方法之间的内在联系，寻求既适合我国生产技术发展状况，又能促进生产发展的更科学的岩石分级法。我们可以预期，随着我国科学技术的发展，这个课题是完全可以突破的。

表 1-10 按岩层弹性波速度的岩石分级表

岩层弹性波速度 (公里/秒) 岩石等级	岩 质						良 好 程 度
	A	B	C	D	E	F	
1	>5.0		>4.8	>4.2			好
2	5.0~4.4		4.8~4.2	4.2~3.6			好
3	4.6~4.0	4.8~4.2	4.4~3.8	3.8~3.2	>2.6		中 等
4	4.2~3.6	4.4~3.8	4.0~3.4	3.4~2.8	2.6~2.0	1.8~1.2	中 等
5	3.8~3.2	4.0~3.4	3.6~3.0	3.0~2.4	2.2~1.6	1.4~0.8	差
6	<3.4	<3.6	<3.2	<2.6	<1.8	1.4~0.8	差
7						<1.0	差

- 注：1. 当开挖面有涌水时，岩石要降下1~2级；
 2. 遇膨胀性岩石（如蛇纹岩、变质安山岩、石墨片岩、泥岩、凝灰岩等）时，应予特别考虑，此时岩石的弹性波速度值<4.0公里/秒，泊松比>0.3；
 3. 对风化岩层，若其泊松比<0.3时，岩石要提高1~2级。

第一章 复习题

1. 为什么要进行岩石分级？分级的实际意义是什么？
2. 岩石普氏分级法的依据是什么？这种分级法有什么优缺点？
3. 用岩石弹性波传播速度对岩石分级的科学根据是什么？

第二章 矿用炸药及其性能

第一节 矿用炸药种类

炸药是一种强大的能源，它可以在爆炸的极短暂时间里作出巨大的功，既可代替大量繁重的体力劳动，还可节省大量的机械设备和工具。因此，不仅在战时被广泛应用，而且在工农业建设中，如交通、水电、地质、农田基建、化工和采矿等部门都有广泛应用。近年来，还迅速应用到电力部门的爆炸压接，机械部门的爆炸成型，建工部门的爆扩桩基础等许多新领域中。

工业部门，尤其是采掘工业消耗炸药量是最多的。所以，要求矿用炸药应能满足下列几点：具有良好的性能；能保证使用时的安全；产生的毒气量要少；原料来源要广；加工制造要容易；成本低廉。我国使用的工业炸药特点是以硝酸铵为主要原料，不用或少用军工重要原料梯恩梯，铵油炸药、铵松蜡炸药、浆状炸药等为主要品种。

现就我国目前冶金矿山常用的几种炸药分述如下。

一、硝酸铵类炸药

以硝酸铵为主要成分的炸药叫做硝酸铵类炸药，简称硝铵炸药。由于硝酸铵（分子式 NH_4NO_3 ）为常用化工产品，来源广泛，易于制造，成本低廉，所以国内外矿山广泛采用这类炸药。

与单质炸药（如梯恩梯、黑索金等）不同，硝铵类炸药多配制成混合物使用，故又叫混合炸药。它的成分中包括以下几部分：

- （1）氧化剂：即硝酸铵，在炸药中的作用是提供爆炸反应时所需的氧元素。
- （2）可燃剂：又叫还原剂，常用的有木粉、谷糠、煤泥粉、木炭、柴油或铝粉等，它与氧化合，进行强烈燃烧（氧化）反应。
- （3）敏化剂：常用的有梯恩梯，二硝基萘等，它可使炸药敏感度增加和改善爆炸性能。敏化剂多数较昂贵，故有的炸药不加敏化剂，叫做钝感炸药。
- （4）其他成分：为适应各种不同的使用要求而加入一些附加成分。如在煤矿用的安全炸药中加入食盐或氯化钾、氯化铵等作为消焰剂，以防引起火焰导致瓦斯爆炸；井下或水大的矿山在炸药中加入沥青、石蜡或松香等作为防潮剂，以防止炸药吸湿受潮；此外亦有加入少量粘结剂和吸收剂的，以满足爆破作业对炸药的特定需要。

以上诸成分中，氧化剂与可燃剂为必要成分，其余成分则视需要而定。

硝铵类炸药品种繁多，特别是近年来发展得更快，如铵梯炸药、铵油炸药、铵沥蜡炸药、铵松蜡炸药、铵邻炸药、铵尿炸药、铵苯炸药、铵胍炸药、铵铬油炸药、铵煤炸药等等。下面介绍常用的三种硝铵炸药。

1. 铵梯炸药（又叫岩石炸药） 主要成分为硝酸铵和梯恩梯（三硝基甲苯），和少量木粉混合而成。由于梯恩梯是单质猛炸药，它具有较高的敏感度，故铵梯炸药能保证有一定的威力和敏感度。这是国内外工业上用了将近两个世纪的传统炸药。