

AOYANQIANIUDESHU JIZHIZAOHEXUANYONG

凿岩钎具的设计、 制造和选用

张国樑 刘荣湘 陈 泓 编著



湖南科学技术出版社

凿岩钎具的设计、制造和选用

张园樺 刘荣湘 陈温编著

责任编辑：李逸平

*

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙市展览馆路8号)

湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1988年10月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：18.25 字数：463,000

印数：1—5,400

ISBN 7—5357—0360—7

TG·3 定价：5.79元

地科88—6

前 言

凿岩钎具包括钎头、钎杆和整体钎子等，广泛用于地质、冶金、煤炭、建材、石油、铁道、交通、建筑、水电、国防等部门，是人类征服岩石的主要工具之一。钎具质量的好坏和品种齐全与否，对国民经济有重要影响。

近二十年来，我国钎具科技界、工业界开展了科研攻关，取得了很大进展，许多产品填补了国内空白，某些产品已接近或达到国际先进水平。但生产第一线大量使用的钎具，目前仍然质量低、品种少、管理和使用不善，浪费严重。

本书主要介绍中小直径凿岩钎具的设计、制造和选用，旨在促进钎具的更新，推动凿岩钎具和采掘工业的现代化，提高社会经济效益。

本书共分五篇十四章，是参阅了大量国内外资料，结合作者的科研成果编著而成。因为着重于应用，故采用了较多的插图和表格，本书力图从理论与实践的结合上，把中小直径凿岩钎具在几何结构参数设计、材质选择、制造工艺、使用技术方面的有关问题叙述清楚。

本书可供钎具工业和采掘工业部门从事科研、生产、管理的工程技术人员和工人参考，并可用作各类学校采掘专业、以及对钎具生产和凿岩爆破工人进行技术培训的辅助教材。

我们对参加或帮助过新型凿岩钎具研制的中国地质大学、中南工业大学、贵阳钢厂、株洲硬质合金厂、自贡硬质合金厂、成都探矿机械厂、长江工具厂、东方工具厂、莲花山冶金机械厂、中国科学院金属研究所、北京钢铁研究总院、新抚钢厂、北京钢铁学院、长沙矿山研究院、西北矿冶研究院、铁道部隧道局科研所、成都探矿工艺研究所、铁道部隧道工程局，以及国家科委、国家经委、地矿部科技司和探矿司、地矿部勘察技术研究院、冶金部机械动力司、湖北省科委、湖北省经委的有关同志们，表示衷心的感谢。

我们还对为本书提供了某些帮助的徐小荷、徐曙光、董鑫业、刘宗平、滑振本、符夷雄、王定山、魏伴云、张天锡、黄文访、周洛三、谭映国、孙宝琦、张振蔚、覃世和、黎炳雄、覃朝华、张俊熙、黄鹤主、李家鹤、张廷镇、余国权、程洪年、刘世元、朱海云、宁曙光、刘金保、陆素梅、赵云华、黄家培、王守海、张建武、刘致中、吴哲安、廖继全、赵长有、赵统武、王坚等同志，致以深切的谢意。

本书插图，由肖诗宇同志绘制。

由于时间仓卒，加上我们接触的工作范围和水平有限，书中定会有不少缺点和错误，诚恳欢迎读者批评指正。

作 者

1986年6月于武昌

目 录

绪论	(1)
第一篇 有关钎具的冲击式凿岩理论	(3)
第一章 冲击式凿岩与岩性特征	(3)
第一节 岩石是非均质体和各向异性体	(3)
第二节 岩石的可钻性分级	(5)
第二章 冲击式凿岩的几个理论问题	(12)
第一节 概述	(12)
第二节 凿岩机的工作能力	(14)
第三节 冲击式凿岩的能量传递规律	(17)
第四节 冲击式凿岩的岩石破碎机理	(26)
第五节 冲击式凿岩基本参数的实验研究	(40)
第三章 凿岩钎具的受力与破坏	(44)
第一节 钎头的服役条件和破坏形式	(44)
第二节 钎杆的破断	(52)
第三节 提高钎具使用寿命的途径	(62)
第四节 凿岩钎具设计总则	(63)
第二篇 凿岩钎具的几何结构和参数设计	(65)
第四章 片状合金钎头的几何结构和参数设计	(65)
第一节 老式一字形钎头的几何缺陷	(65)
第二节 瑞典 $\phi 48$ 十字形钎头的几何缺陷	(67)
第三节 片状合金钎头的几何结构设计	(70)
第四节 片状合金钎头的几何参数设计	(73)
第五节 计算机在十字形钎头辅助设计中的应用	(95)
第五章 球齿钎头的几何结构和参数设计	(97)
第一节 固齿方法对球齿钎头几何结构参数的影响	(97)
第二节 瑞典中小直径球齿钎头的工况考察	(97)
第三节 球齿钎头几何结构和参数的选择	(102)
第六章 钎杆的几何结构和参数设计	(113)
第一节 中空钢断面形状和参数选择	(113)
第二节 中空钢及钎杆几何结构的发展动态	(115)

第三节	钎杆的连接方式与参数选择	(117)
第四节	国际标准(ISO)推荐的锥体连接钎杆和钎具配套 (22毫米)	(119)
第五节	国际标准(ISO)推荐的波形螺纹钎杆和钎具配套 (22、25、32毫米)	(120)
第六节	国际标准(ISO)推荐的波形螺纹钎杆和钎具配套 (38、45、51毫米)	(127)
第七节	国际标准(ISO)推荐的27(轻)、32(轻)毫米复合螺纹钎杆和钎具配套	(131)
第八节	国际标准(ISO)推荐的38(轻)、45(轻)、57(轻)、64(轻)毫米复合螺纹钎杆和钎具配套	(133)
第九节	我国复合(HL)、梯形(FI)螺纹钎具的发展情况	(136)
第七章	硬质合金整体钎子的几何结构和参数设计	(138)
第一节	钎子头部与杆体寿命比率的确定	(138)
第二节	杆体与尾柄的几何结构和参数选择	(138)
第三节	钎子头部的几何结构和参数设计	(139)
第四节	国际标准(ISO)推荐的19、22、25毫米一字形整体钎子	(143)
第三篇	凿岩钎具用金属材料	(146)
第八章	钎具用钢材	(146)
第一节	钎具用钢的选择原则	(146)
第二节	国外钎具用钢	(147)
第三节	我国钎具用钢	(151)
第九章	凿岩用硬质合金	(165)
第一节	冲击式凿岩对合金片、齿的要求	(165)
第二节	凿岩用硬质合金的性能	(165)
第三节	国外凿岩用硬质合金概况	(169)
第四节	我国凿岩硬质合金研制的新进展	(170)
第五节	新型钎具荐用的合金品种	(175)
第十章	凿岩钎具用焊接材料	(177)
第一节	焊料	(177)
第二节	焊剂	(181)
第三节	补偿片	(183)
第四节	焊接组件的清洗剂	(185)
第四篇	凿岩钎具的制造工艺	(186)
第十一章	钎头的制造工艺	(186)
第一节	钢体成型方法的选择	(186)
第二节	原材料的入厂检验	(188)
第三节	钢体的机械切削加工	(196)
第四节	合金片、齿的镶配	(198)
第五节	焊接和热处理	(211)
第六节	修磨整形	(220)
第七节	成品检查	(222)
第八节	表面强化	(223)

第九节	锥孔喷涂·····	(224)
第十节	表面修饰和包装·····	(225)
第十二章	钎杆及硬质合金整体钎子的制造·····	(227)
第一节	小钎杆和整体钎子的制造·····	(227)
第二节	接杆钎杆和重型钎杆的制造·····	(251)
第三节	接杆钎尾和套管的制造·····	(259)
第五篇	凿岩钎具的选择与使用·····	(262)
第十三章	凿岩钎具的使用技术·····	(262)
第一节	钎具使用技术研究的意义·····	(262)
第二节	我国钎具使用操作方面存在的问题·····	(263)
第十四章	凿岩钎具的选择与使用·····	(266)
第一节	钎具品种、规格的合理选择·····	(266)
第二节	钎头的连接与拆卸·····	(270)
第三节	钎杆的运输、储存和使用·····	(273)
第四节	钎头和硬质合金整体钎子的合理修磨·····	(274)
第五节	断梢和钎柄的修复·····	(280)
第六节	废钎具的回收利用·····	(280)
参考文献	·····	(282)

绪 论

凿岩钎具包括钎头、钎杆和整体钎子等，用在岩石或其它构筑物中钻凿眼孔。根据所钻眼孔直径的大小，按照钎具行业的习惯分类法，50毫米以下为小直径，50~75毫米为中直径，75毫米以上为大直径。本书主要阐述采掘工业中应用最广泛的各种中小直径冲击式凿岩钎具，包括它们的设计、制造和选用。

现代凿岩钎具，与工业炸药的发明结下了不解之缘。有人说：“没有炸药，就没有近代的物质文明”。但是，没有凿岩钎具，炸药就放置不到岩石里面去，矿石就采不下来，铁路、公路、电站、海港、桥梁，以及国防工程和民用建筑等重要地面和地下空间设施，也都建造不成。就这种意义讲，也可以说：“没有现代凿岩技术和凿岩钎具的进步，同样不可能有兴旺发达的现代物质文明”。众所周知，生产工具是生产力发展水平的物质标志。凿岩钎具是人类与岩石作战的第一线工具，它的状况如何，会影响人类征服自然的实力。因此，可以这样认为：和电子计算机技术一样，现代化的凿岩钎具和凿岩技术，也是社会现代化的重要标志之一。

我国凿岩钎具的状况如何呢？我们的祖先从猿人时代起，就开山打石头。经历了石器、铜器和铁器时期，到公元7~9世纪的唐朝发明了黑火药。直到17世纪的明朝，我国拥有当时世界上第一流的采矿和凿井技术。西方产业革命后，1813年出现了蒸汽动力的凿岩机，接着发明了消化甘油炸药和风动凿岩机。但在旧中国，从北洋军阀的兴办洋务，孙中山先生的振兴实业，到官僚买办和帝国主义的掠夺式采矿，整整一百年，凿岩工程基本上还停留在铁锤钢钎时代。我国现代凿岩钎具工业的建设，是从五十年代初引进苏联技术开始的。1950年，首次轧制出了碳素中空钎钢。1951年，生产出了镶嵌BK15硬质合金片的一字形凿岩钎头。这种钎头，苏联在六十年代就逐渐淘汰了。而我国所有的采掘工业部门，迄至1980年地质部和冶金部主持召开的两次中小直径钎头鉴定会为止，单一品种、质量低劣的老式一字形钎头，已经统治了我国采掘工业部门近三十年。

我国采掘工业部门，每年消耗中小直径钎头1000万个以上，消耗中空钎钢2~3万吨，现有专业生产厂100多家，产值2~3亿元。落后的凿岩钎具，给凿岩工人带来艰险的体力劳动，给国家带来沉重的经济负担，造成了硬质合金、钢材等贵重原材料和人力、物力、财力、时间的严重浪费，阻碍了我国采掘工业的更大发展和四化建设的顺利进行。为此，从六十年代中期开始，冶金部组织了钎钢技术工作队，对钎钢钢种、冶轧工艺、制钎工艺进行了联合攻关，取得了初步突破。接着又扩建和兴建了贵阳钢厂、新抚钢厂、涟源钢厂等专业化钎钢生产厂，为我国钎钢七十年代取得巨大进步、八十年代基本结束小钎杆进口奠定了基础。与此同时，地质部和冶金部又先后分别组织了中小钎头和潜孔钻头的联合攻关，也不断取得了突破。1981、1982年，在两次全国钨业科技工作会议上，方毅同志代表中央相继提出了“振兴钨业”和“攀登高峰”的号召。其核心内容是：发扬我国钨资源优势，发展钨产品深加工技术，

逐步限制钨矿砂和钨初级产品出口,以优质钨工业成品供应国内外市场。我国钨矿资源居世界第一,保有储量占世界半数以上,每年出口钨精矿近两万吨,约占国际钨精矿市场的40~50%。内销的钨精矿,90%用于生产硬质合金和钨钢,年产硬质合金3000~4000吨,其中半数用于制造凿岩钎具和钻具。由此可见,凿岩钎具的研制和革新,属于“振兴钨业”的重大课题。过去,由于我国钎具技术落后,产品质量差、品种不全,国家被迫廉价出口钨精矿而高价进口凿岩钎具。例如:我国在向瑞典、日本等国出口钨矿砂的同时,不少国家重点工程,都在大量进口瑞典、日本等国钎头。仅按铁道部大瑶山隧道工程1983年一次6380个瑞典钎头的交货合同统计,就以国产同类等效新型钎头四倍的价格,花费外汇88,621,399日元,合人民币115万元。不难估算,国家出口优质凿岩钎具,比出口钨矿砂,换汇价值高出约20倍!此外,我国迄今还在使用的老式一字形钎头,其硬岩寿命只有30(米)左右。在同等条件下,各种新型钎头的使用寿命,可达100(米)以上。全面更新老式钎头后,除综合的技术、经济和社会效益不算,仅钎头费用一项,就具有每年为国家“节省一亿,赚回数亿”的潜力。

自1980年地质部、冶金部两次钎头鉴定会以来,我国凿岩钎具科技界和工业界,出现了钎具科研蓬勃发展,钎具技术进步日新月异的新局面。1982年,地质部审定颁布了我国第一个中小直径硬质合金钎头部标准(«DZ21-82»);1984年,铁道部和地矿部,分别就“重型液压凿岩机用直径50毫米十字、球齿波形螺纹钎头”与“风动和轻中型液压凿岩机用沉底式感应钎焊小直径球齿及三刃形钎头”通过了技术鉴定。在新型凿岩硬质合金,钎头专用钢材,新型焊料,19和38毫米合金中空钢,高精度优质钎钢生产工艺,钎具的表面强化、防腐和光饰工艺,热嵌固齿球齿钎头,复合或梯形螺纹大直径重型钎具,硬质合金整体钎子,极坚韧岩石用中小钎头,以及钎杆工作载荷谱和钎具寿命试验台的研制方面,也接连取得了很多重要进展和突破。钎具行业涌现出了大批的地区、省、部和国家级优秀新产品或优质产品,我国硬质合金凿岩钎具的更新换代,正在稳步进行。在此基础上,1985年审定通过了我国凿岩钎头、中空钢和成品钎杆的第一个国家标准。我国中小直径钎具在质量、品种方面与世界先进水平的差距,正在迅速缩小。某些方面,已出现接近、赶上和超过的势头,开始引起国际钎具市场的瞩目。但是,我国钎具和采掘工业部门,仍然存在下述四个方面的问题:第一,以老式一字形钎头、碳钢钎杆和非专业厂自制劣质钎杆为代表的落后钎具和使用技术的更新换代任务,还远远没有完成;第二,从总体上看,与瑞典等先进国家比较,产品的质量、品种、使用技术,以及设备、工艺和经营管理水平等,都还有较大的差距;第三,在部门、地区所有和条块分割的管理体制制约下,许多钎具生产厂点,对新的科学技术信息重视不够,在与世隔绝、互相封锁、互不协作的情况下,从事比较落后的生产、经营活动,技术进步缓慢,继续给国家造成浪费;第四,国产新型钎具,虽开始进入国际市场,但销售量较少,还不能有效地和国际名牌钎具产品竞争,与国家提出的“振兴钨业”的目标相距甚远。

我们仅就自己的工作范围,试图对近二十年(尤其是最近十年)来,我国凿岩钎具的新成果、新产品和使用技术方面的进步,作一次概括性的介绍,希望进一步引起国内同行、广大采掘部门、以及其它有关方面对钎具行业的重视,促进上述问题的早日解决,为“建设具有中国特色的现代化钎具工业”和“振兴中华”的伟大事业作出贡献。

第一篇 有关钎具的冲击式凿岩理论

第一章 冲击式凿岩与岩性特征

第一节 岩石是非均质体和各向异性体

地壳是由各种化学元素组成的,而这些元素是以矿物为其存在的基本形式。矿物是由一种或一种以上的元素或化合物组成的,绝大多数为固体,少量为液体,个别为气体。固体如方解石和石英等,液体如自然汞和石油等,气体如天然气等。岩石是具有一定化学成分和结构构造特点的矿物集合体,并且是作为独立地质体存在的。

岩石按成因的不同划分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。岩浆岩是由一种高温硅酸盐熔融体冷凝、结晶出来的矿物组成的,主要是硅酸盐矿物。它的结晶温度大约为 $600\sim 1300^{\circ}\text{C}$ 范围,结晶作用常在地壳一定深度内或近地表处进行。如果冷凝较快则形成玻璃质岩石。沉积岩是地表或近地表的岩石受到风化(机械破碎和化学分解),再经搬运和沉积,后经成岩作用(压固、胶结和再结晶)而形成岩石。它主要是由粘土类矿物、碳酸盐和二氧化硅类矿物所组成,通常形成于地表或近地表的低温条件下。变质岩是由已存在的岩浆岩和沉积岩,因物理和化学条件的改变,使原有岩石的矿物成分和结构构造发生变化而形成的。这一形成过程一般是在高温高压条件下进行的,故变质岩以形成变质矿物、片理和重结晶为特征。各类岩石的矿物成分和化学成分,见表1—1、1—2。

岩石在结构构造上之所以是一种复杂的固体,正因为它是作为一种地质体而存在的。岩石在形成过程及形成以后,都经历了漫长的地质历史,也就是各类岩石都经受了地壳运动的变迁。岩浆岩在地壳中不同的深度上,其结构构造形态及其物质成分有较大的差别。各类岩石形成的地质时代不同,其间的结合面往往呈不整合状态,而且有软的或硬的夹层,这对于岩体稳定性系统及其强度具有一定的影响。此外,岩浆岩的节理,沉积岩的层理,变质岩的片理,岩石内构造的缺陷,岩石的裂缝及断裂,地应力场的作用系统等,所有这些,不但造成岩石复杂的结构构造形式,而且给研究岩石物理力学性质带来较大的困难。

各类岩石由于其结构构造的复杂多变性,可以认为它们既非均质体,又非各向同性体。岩石内矿物晶体颗粒的密集程度、缺陷、不连续性,其组构要素中如解理、晶粒方位的异向性以及片理,不少岩石存在有层理等不同的赋存状态,使岩石呈各向异性。但是有一些岩石则可以认为是准均质体和准各向同性体,如一些大理石、细粒砂岩和某些玄武岩或花岗岩等。表1—3列举了室内测得的部分岩石的静态力学性质,能大体反映岩石的某些相对特征。

表1—1

地壳中不同类型岩石的平均矿物成分表

岩 种 类 及 矿 物 含 量 矿 物 名 称	岩 浆 岩 %		沉 积 岩 %	变 质 岩
	平均60%花岗岩 35%玄武岩		平均82%泥质岩 12%砂 岩 6%石灰岩	
铁镁矿物	(橄榄石,辉石,角闪石,黑云母)	21	—	基本成分决定于原岩成分及变质程度。产生一些新的变质矿物,如红柱石等。有的只是发生重结晶作用,如石灰岩→大理岩,石英砂岩→石英岩。
钙长石	9.80			
钠长石	25.60		4.55	
钾长石	14.85		11.02	
石 英	20.40		34.8	
白云母	3.85		15.11	
磁铁矿	3.15		0.07	
钛铁矿等	1.45		0.02	
沉积矿物(粘土、方解石、白云母、菱铁矿、石膏等)	—		33.7	
有机质	—		0.73	

表1—2

各类岩石主要化学成分表

化学成分	岩 浆 岩 重 量 %	沉 积 岩 重 量 %	变 质 岩 %
SiO ₂	59.14	58.53	正变质35~78 副变质>80或没有, 如大理岩
Al ₂ O ₃	15.34	13.07	一般<30, 粘土17~40, 含Al者为刚玉等坚硬矿物
Fe ₂ O ₃	3.08	3.37	正变质一般为3~15
FeO	3.80	2.00	正变质一般为3~15
MgO	3.49	2.51	—
CaO	5.08	5.44	正变质<18; 副变质<15
Na ₂ O	3.84	3.82	} 正变质 Na ₂ O>K ₂ O 副变质 K ₂ O>Na ₂ O
K ₂ O	3.13	2.81	
H ₂ O	1.15	4.28	—
TiO ₂	1.05	0.57	—
P ₂ O ₅	0.3	0.15	—
MnO	0.12	—	—
CO ₂	0.1	4.94	—
S	0.05	0.5	—
C	—	0.65	—
其 他	0.376	—	—

表1—3

一些岩石的力学性质数值表

岩石名称	抗压强度 (公斤/厘米 ²)	抗拉强度 (公斤/厘米 ²)	弹性模量 $\times 10^5$ (公斤/厘米 ²)	泊松比
铁 燧 石	2500~4600	200~400	76	—
花 岗 石	1000~2500	70~250	5~10	0.2~0.3
流 纹 岩	1800~3060	150~300	5~10	0.1~0.25
安 山 岩	1000~2500	100~200	5~12	0.2~0.3
辉 长 岩	1800~3000	150~350	7~15	0.1~0.2
玄 武 岩	1500~3000	100~300	6~12	0.1~0.35
砂 岩	200~2000	40~250	1~10	0.2~0.3
页 岩	100~1000	20~200	2~8	0.2~0.4
石 灰 岩	500~2000	50~200	5~10	0.2~0.35
白 云 岩	800~2500	150~250	4~8	0.2~0.35
片 麻 岩	500~2000	50~200	1~10	0.2~0.35
大 理 岩	1000~2500	70~200	1~9	0.2~0.35
石 英 岩	1500~3500	100~300	6~20	0.1~0.25
板 岩	600~2000	70~150	2~8	0.2~0.3

岩石赋存状态、成分、构造的非均质性和各向异性，使我们难以找到两块成分和物理力学性质完全相同的岩石。不同岩石的物理性质（如密度、孔隙度、比重、湿度、膨胀性、热膨胀性、导热性、导电性、磁性、溶蚀性、渗透性等）和力学性质（如硬度、强度、弹性、塑性、脆性、韧性、稳定性、坚固性、爆破性、可钻性、磨蚀性、应力波传播速度等）的千差万别，要求我们在研制高效能的凿岩钎具时，必须十分注意岩石的个性特点，有针对性的适应具体的凿岩条件。根据某类岩石和机型所具有的共性设计的钎具，在总体适应中，一定会有具体的不适应。岩样的物理力学性质，和原岩的物理力学性质也很不一样。因此，钎具设计（几何结构参数、材质、制造工艺、使用方法的调整）的理想境界是：设计、制造与使用部门密切合作，针对具体的凿岩条件进行钎具优选。瑞典Sandvik公司的两种名牌钎头（ $\phi 48$ 十字、 $\phi 57$ 九齿球齿钎头）1982年在我国张滩隧道的失利，就是这种“具体的不适应”引起的。钎具专业厂在销售产品时，如果忽略了具体的岩石特征，就可能出现不适应，给国家造成损失，也将危及自己产品的信誉。采掘部门不注意钎具和岩性特点，同样会贻误工作，并给自己带来损失。

第二节 岩石的可钻性分级

一、普氏分级法

苏联学者M·M·普罗托吉雅可诺夫(1874~1930)认为：“岩石坚固性的意义，在于各种采掘作业的难易程度”，“这种难易程度在各方面的表现是趋于一致的”。普氏研究了凿岩、爆破、挖掘、地表沉陷、支护、回转式钻眼等各种采掘作业，认为其总的规律是：难者皆难，易者皆易，其间还具有可比性。普氏提出可以用一个统一指标，来反映岩石坚固性在各方面的表现。他说：“坚固性系数(f)，就是岩石间相对坚固性在数量上的表现。它最重要的性质在于不问是何种抗力，和它是如何引起的，而给予岩石间相互比较的可能性。甚至用它来作计

算的准确程度，也未必比一般建筑上的计算中采用很大的储备强度来得差一些。”他根据不同的采掘作业，提出了十几个计算 f 值的公式，并以其平均值决定某种岩石的坚固性系数 f 值。由于采掘工业的进步，现在只有按岩石单轴抗压强度 σ 确定 f 值的算式，仍沿用至今：

$$f = \frac{\sigma}{100} \tag{1-1}$$

1—1式中 f 为无名数， σ 的单位为公斤/厘米²。根据 f 值的大小，普氏将所有岩石划分为10个等级，如表1—4所示。

表1—4 普氏岩石分级表

等 级	坚 固 程 度	代 表 性 岩 石	f
I	最坚固的岩石	最坚固、最致密和高韧性的玄武岩及石英岩，其他各种特别坚固的岩石	20
II	很坚固的岩石	很坚固的花岗岩、石英斑岩、硅质片岩、比I级小的石英岩、最坚固的砂岩和石灰岩	15
III	坚固的岩石	致密的花岗岩及花岗质岩石、很坚固的砂岩和石灰岩、石英质矿脉、坚固的砾岩、很坚固的铁矿石	10
III.	坚固的岩石	坚固的石灰岩、不坚固的花岗岩、坚固的砂岩、坚固的大理岩、白云岩、黄铁矿	8
IV	相当坚固的岩石	一般的砂岩、铁矿石	6
IV.	相当坚固的岩石	硅质页岩、页岩质砂岩	5
V	中等的岩石	坚固的粘土质岩石、不坚固的砂岩和石灰岩	4
V.	中等的岩石	各种不坚固的页岩、致密泥质岩	3
VI	相当软弱的岩石	软的页岩、很软的石灰岩、白垩、岩盐、石膏、冻土、无烟煤、普通泥灰岩、裂缝发育的砂岩、胶接砾石、岩质土壤	2
VI.	相当软弱的岩石	碎石质土壤、裂缝发育的灰岩、凝结成块的砾石和碎石、坚固的软硬化粘土	1.5
VII	软弱的岩石	致密的粘土、软弱的烟煤、坚固的冲积-粘土质土壤	1.0
VII.	软弱的岩石	轻砂质粘土、黄土、砾石	0.8
VIII	土质岩石	腐植土、泥煤、轻砂质土壤、湿砂	0.6
IX	松散的岩石	砂、山坡堆积、细砾石、松土、采出的煤	0.5
X	流砂类岩石	流砂、沼泽土壤、含水黄土及含水土壤	0.3

半个多世纪以来，不少学者针对不同采掘作业中岩石表现出的复杂的个性特点，提出了适合现实某种作业需要的岩石分级方法，这当然是必要而可贵的。也有学者从岩石的特殊个性的论点出发，不承认岩石坚固性具有某种共性规律，试图根本否定普氏分级法。但由于代替者也只具有相对的真理性和稳定性，且表现形式大都繁琐，故普氏分级法在苏联、东欧和我国，至今仍被广泛引用。普氏分级法的确存在疏漏和不完备，例如：①现代采掘工业的发展，显现不同的破岩和支护方法，难易程度很不一致，甚至完全不能相比（前者如可钻性和爆破性，后者如冲击式凿岩和火钻）；② f 值的极值为20，但不少岩石的单轴抗压强度，都在2000公斤/厘米²以上。故国际标准规定，直接测定岩石的单轴抗压强度值，作为相互比较的依据。

二、测定岩石单轴抗压强度的国际标准

1. 目的

试验是为了测定天然矿岩的抗压强度，以便预测进行地下工作时矿岩的动态。

2. 测定指标

单轴抗压强度 σ ，是以单轴压缩下最大破坏力 P_{max} ，除以试样原始的横断面积 F_0 的商。

$$\sigma = \frac{P_{max}}{F_0} \tag{1-2}$$

式中 $P_{\max}$ ——单轴压缩最大破坏载荷 (公斤);

F_0 ——试样横断面积 (厘米²)。

3. 试样选择

试样可由岩心获得: ①地表深井钻进; ②地下巷道中钻进; ③采用任何方法在没有用爆破工作破碎下来的岩块上钻进。

岩心尽可能采取干式方法来钻取。如果由于技术原因不能实现这个要求的话, 那么必须在记录中指出或公布所采用的冲洗液。吸水的试样由岩体中取下后, 必须立即涂以防水材料。用盐矿制作的试样, 应该保存在干燥器中。

当岩石具有构造特征时, 必须尽可能在三个互相垂直的方向上钻取岩心。选取试样的地点及其定向, 应该精确地标出。

4. 试样数量

从一个地点采样的最少数量, 可以按照下式计算,

$$P = \frac{\bar{\sigma}_{\max}}{\bar{\sigma}_{\min}} \leq 1.5 \quad (1-3)$$

$$\text{同时注意到 } P = \frac{100 + \frac{2v}{\sqrt{n}}}{100 - \frac{2v}{\sqrt{n}}} \quad (1-4)$$

1—3、1—4式中:

P ——岩石强度离散系数;

$\bar{\sigma}_{\max}$ ——一组试样中较大部分的强度平均值;

$\bar{\sigma}_{\min}$ ——一组试样中较小部分的强度平均值;

v ——强度波动系数;

n ——试样数目。

应当研究 n 个试样:

强度的算术平均值:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum \sigma_i}{n} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (1-5)$$

$$\text{均方差: } \bar{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{n - 1}} \quad (1-6)$$

$$\text{强度波动系数: } v = \frac{\bar{\Delta}}{\bar{\sigma}} \times 100\% \quad (1-7)$$

根据波动系数值, 必须的试样数目是:

波动系数 $v(\%)$	试样数目 $n(\text{个})$
30	9
25	6
20	4
15	3

5. 试样的尺寸和形状

试样是圆柱形。建议以直径等于42 (毫米) (与BX标准相对应等于 $1\frac{5}{8}$ 英寸), 高度与直

径的比例 $L/D=1$ 为标准。与建议尺寸的偏差，允许在40~45（毫米）之间（直径和高度），而不超过5%（高度与直径的比例）。

求得的试样抗压强度值将作为标准，并且应该标明为 $L/D=1$ 的圆柱体强度。

6. 试样加工

圆柱形试样，采用切断岩心的办法来获得。同时，试样端部表面应该作得互相平行，并且与圆柱体垂直。端部表面应该磨光，使得：①沿试样直径，平行度的偏差 ≤ 0.05 毫米；②端面与柱体的垂直度偏差 ≤ 0.05 毫米，端面的凸起应小于0.03毫米。试样的湿度、比重和其他性质，应尽可能符合于取样地点的状态。试验时应精确地加以测定，并进行岩相学的研究和描述。

7. 试验装置

抗压试验可在任何适于此种试验的装置上进行。压力机的压板应该擦亮，加压板之一应具有球形支撑表面。

8. 试验进行

试样应装置在压力机加压板的中心。加压速度应该在5.0到10.0公斤/厘米²·秒的范围。载荷提高到试样破碎为止，并记录其最大值。

9. 计算

按照最大力确定抗压强度： $\sigma = \frac{P_{max}}{F_0}$ （公斤/厘米²）。

在试样高度和直径的比例不等于1的情况下，必须进行换算：

$$\sigma_N = \frac{9\sigma}{7 + 2\frac{D}{L}} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (1-8)$$

式中 σ_N ——用 L/D 的比例不等于1的试样测出的抗压强度。

换算应该记录在试验记录表中。

10. 强度分级

建议利用以级数分母 $P=1.5$ 为基础的分级平均值，来评述岩石强度。

强度范围(公斤/厘米²) 平均强度(公斤/厘米²)

<40	30
40~60	50
60~100	80
100~150	120
150~230	180
230~350	280
350~520	400
520~800	600
800~1200	900
1200~1800	1350
1800~2700	2000
>2700	3000

三、岩石的可钻性指数分级

1969年,美国科罗拉多矿业学院的学者C·G·怀特,在他所著《岩石可钻性指数》一书中,提出了适用于三种机械钻进方法的关于岩石可钻性的分级理论和方法。该方法在美国获得了应用。C·G·怀特认为:可钻性一词,可以理解为岩石对于某种钻头穿透能力的阻力。目前,采掘工业中使用的四种钻进方法是:回转式、冲击式、回转-冲击式和火钻。以上方法,进一步归纳在表1—5中。

表1—5 按钻头类型的钻进方法分类

回 转 式	冲 击 式	回转-冲击式	火 钻
金刚石钻头 硬质合金切削钻头 牙轮钻头 钻粒钻头	片状硬质合金钎头 球齿钎头	回转-冲击式硬质合金钻头 牙轮钻头	单喷嘴 多喷嘴

由此可见,由于钻进方法和所用钻头类型的不同,每种岩石会有许多不同的可钻性指数值。迄今为止,人们在试图确定某种岩石的可钻性时,要末只考虑了一种钻进方法;或者,考虑的是岩石的某些与实际钻进过程无关的物理性质。怀特认为,确定岩石可钻性的唯一可靠的方法,就是对岩石进行钻进。因此,怀特采用了三种不同的钻进方法,对广大范围的岩石——从最软的强烈蚀变的岩石,直到极坚硬的铁陨石——一一测定了它们的可钻性指数值。在这些测试工作中,没有考虑火钻。因为火钻的应用,只涉及部分岩石,这样可以避免引起冲击式可钻性和冲击式磨蚀性指数级别的混乱。

现在,已经设计和制造出了一台可钻性试验机。这台试验机,综合了回转式、冲击式和回转-冲击式三种钻进方法,可以分别应用回转钻头、冲击钻头和回转-冲击钻头进行钻进试验。可钻性指数 R ,是通过测定直径 $3/4$ 英寸钻头钻凿一个3英寸深眼孔所需的穿透时间来确定,其单位用每钻进1英尺眼孔所需的时间(分/英尺)表示。

岩石的磨蚀性,可以理解为岩石磨钝钻头切削的能力。岩石的磨蚀性指数 W ,是在钻凿规定眼深之后,通过测定钻头切削磨蚀面积的变化而确定的,其单位以每钻进1(英尺)眼孔所磨蚀的钻刃磨损面积(英寸²/英尺)表示。

现已测定了遍及美国全国的98种岩石的可钻性指数和磨蚀性指数。这些指数已推荐给钻头制造厂和矿山管理人员,供他们针对特定的岩石选择特定的钻头时应用。根据在野外其他类型岩石中所测得的类似的可钻性指数值,上述指数表提供了一种进行比较的手段。例如,某公司正筹建一座新矿山,希望针对特定的岩石,选择最高效率的钻头和钻进方法。那末,按照目前的习惯做法,这个公司将在钻头制造厂的帮助下,采用许多不同的钻头,进行广泛的价值昂贵的现场生产试验。而现在,就可用下述办法来取代这些试验:随机采集一些所需钻进的岩样运往中心试验室,在试验机上测出这些岩样的可钻性指数值,并和另外矿山其他各类岩石的完整的一览表进行比较。如果这张一览表的内容是足够丰富的话,就会找到一些岩石的指数值,与所试岩样的指数值相同。然后,矿山管理人员就可进一步列一个表,给出这些岩石的完整的生产记录。从这些记录数据中,就可选出一种在其他矿山已证明是具有最高效率的特定的钻头。这种获得最优钻进方案的办法,和用许多不同钻头进行广泛的现场生产试验相比,是效果相同而花费最小的。为了试图确定岩石物理力学性质与其可钻性指数

之间的关系，对各种岩石的物理力学性质也进行了测定。得到的结果表明，它们之间仅存在着微弱的联系，不能用以比较精确地预示岩石的可钻性。

回归分析的结果表明，岩石的可钻性指数和物理力学性质之间，几乎不存在重要的依从关系。但是，岩石的单轴抗压强度和冲击式可钻性之间，有着值得注意的联系。然而，所得到的全部回归线方程式，都不足以精确地预告岩石的可钻性数值。

岩石的可钻性，取决于钻进过程本身和岩石地质特征的总和。地质特征中最重要的有：主要的矿物成分；岩石的结构构造；岩石颗粒的粗细及其连结情况；裂隙的类型及发育程度；蚀变的类型及程度；胶结物的类型及胶结程度等。关键的是钻进过程中岩石颗粒保持其完整性的能力。有人试图给这种能力一个明确的概念，为此提出了一些工程术语，它们有“硬度”、“韧性”、以及“抗张强度”等。岩石的这种性质，仍有待清楚地作出规定。目前，可以得出这样的结论：确定岩石可钻性的唯一可行的方法，是对岩石本身进行钻进。C·G·怀特提出的各类岩石的可钻性和磨蚀性指数表，可参阅1982年《钎钢》编辑部出版的《岩石可钻性指数》一书。

四、东工分级法

我国以徐小荷教授为首的东北工学院岩石破碎研究室，根据1958年长沙岩石分级专题会议的决定精神，针对普遍使用的冲击式凿岩的需要，在综合分析普氏、苏氏等分级方法利弊得失的基础上，主张把岩石抗破碎能力的共性和实际钻进过程的特殊性结合起来，提出用模拟钻进效果法，对岩石进行冲击式可钻性分级。

（一）分级指标与手段

冲击式凿岩的形式和工具虽然多种多样，而其实质是钎头（凿刃、合金柱齿）在某种冲击功作用下凿碎岩石。据此设计出了如图1—1所示的携带式岩石凿测器。它是用4公斤重的落锤，从1米高处沿导向杆自由下落，以4公斤·米（39.2牛顿·米）的恒定冲击功冲击钎头。钎头为一字形，直径 $d = 40 \pm 0.1$ 毫米，嵌YG11C K040型硬质合金片，刃角 110° （标准产品）。每次测试都采用一个新的或新修磨过的钎头，刃锋尖锐。测试过程每冲击一次转角 15° ，共凿480次。凿480次后的净凿入深度（H），反映岩石的坚固程度，用两项指标表示：

1. 凿碎比功(a)

$$a = \frac{A}{V} = \frac{N \cdot A_0}{(\pi/4)d^2(H/10)} = \frac{480 \times 4 \times 10}{(\pi/4)(4.1)^2 H} = \frac{1454.5}{H} \quad (\text{公斤} \cdot \text{米} / \text{厘米}^3)$$

(1—9)

式中 A——总冲击功（公斤·米）；

V——破岩体积（厘米³）；

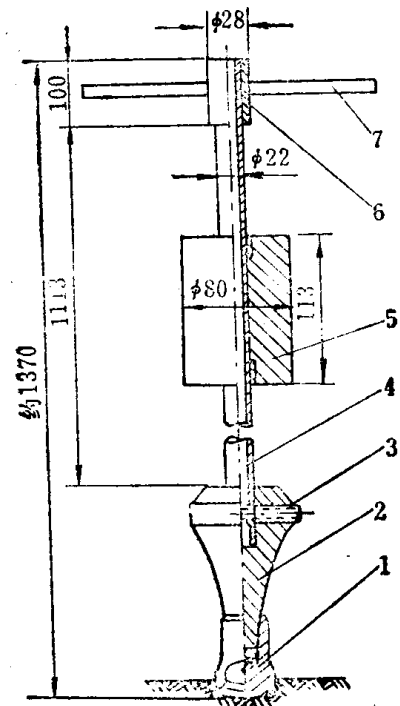


图1—1 携带式岩石凿测器

1—合金钎头；2—承冲台；3—螺栓销；4—导向杆；
5—落锤；6—卡套；7—转动把手

N ——冲击次数 (480次);
 A_0 ——单次冲击功 (4公斤·米);
 d ——实测孔径 (约4.1厘米);
 H ——凿孔净深 (毫米)。

2. 钎刃磨钝宽度(b)

钎刃磨钝宽度用读数显微镜和专用卡具, 直接读出距离钎刃两端4毫米处的磨钝宽度, 精确到0.1毫米, 取平均值。

(二) 分级表

如表1—6、1—7所示。

表1—6 岩石的凿碎比功分级表

级别	凿碎比功 a (公斤·米/厘米 ³)	软硬程度	代 表 性 岩 石
I	~19	极软	页岩、煤、凝灰岩
II	20~29	软	石灰岩、砂页岩、橄榄岩(金川), 绿泥角闪岩(南芬), 云母石英片岩(南芬), 白云岩(大石桥矿)
III	30~39	中等	花岗岩(大孤山), 石灰岩(大连甘井子、本溪矿), 橄榄岩片岩, 铝土矿(洛阳), 混合岩(大孤山、南芬), 角闪岩
IV	40~49	中硬	花岗岩, 硅质灰岩, 辉长岩(兰尖), 玢岩(大孤山), 黄铁矿(白银), 铝土矿(阳泉), 磁铁矿石岩(北京), 片麻岩(云南苍山), 砂卡岩(杨家杖子), 大理岩(青城子)
V	50~59	硬	假象赤铁矿(姑山、白云鄂博), 磁铁矿石岩(南芬三层铁、弓长岭), 苍山片麻岩, 砂卡岩, 中细粒花岗岩(湘东钨矿), 暗绿角闪岩(南芬)
VI	60~69	很硬	假象赤铁矿(姑山、白云鄂博富矿), 磁铁矿石岩(南芬一、二层铁), 辉绿岩(青城子), 致密砂卡岩(杨家杖子松北矿)
VII	≥70	极硬	假象赤铁矿, 磁铁矿石岩

表1—7 岩石的磨蚀性分级表

类别	钎刃磨钝宽 b (毫米)	磨蚀性	代 表 性 岩 石
1	≤0.2	弱	页岩、煤、凝灰岩、石灰岩、大理岩、角闪岩、橄榄岩、辉绿岩、白云岩、铝土矿、千枚岩、砂卡岩
2	0.3~0.6	中	花岗岩、闪长岩、辉长岩、砂岩、砂页岩、硅质灰岩、硅质大理岩、混合岩、片麻岩、砂卡岩
3	≥0.7	强	黄铁矿、假象赤铁矿, 磁铁矿石岩, 石英岩, 硬质片麻岩

两项指标既有联系又有区别。为了综合反映它们的影响, 分级采用如下表达方式:

II₁——凿碎比功二级, 钎刃磨钝宽度一类;

IV₂——四级二类;

VI₃——六级三类。

由于目前普氏坚固性系数 (f) 应用较广, (1—10) 式可以概略地帮助大家建立 a 与 f 值间的关系。

$$f = \frac{1}{4}a \quad (1-10)$$