

钻探

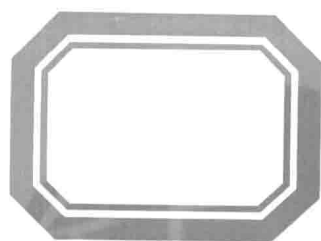
ZUANTAN
GONGCHENGXUE

工程学

● 主审 李景霞
主编 杜 平 张立新 杨 丽



电子科技大学出版社



ZUANTAN
ONGCHENGXUE

勘探工程学

主 审 李景霞

主 编 杜 平 张立新 杨 丽

副主编 单忠刚 周明杰 冀学文 于长波



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钻探工程学 / 杜平, 张立新, 杨丽主编. —成都:
电子科技大学出版社, 2014.6
ISBN 978-7-5647-2278-4

I. ①钻… II. ①杜… ②张… ③杨… III. ①探矿工
程—高等学校—教材 IV. ①P634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 054805 号

钻探工程学

主 审 李景霞

主 编 杜 平 张立新 杨 丽

副主编 单忠刚 周明杰 冀学文 于长波

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 曾 艺

责任编辑: 曾 艺

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 电子科技大学出版社

印 刷: 三河市天润建兴印务有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 18 字数 440 千字

版 次: 2014 年 6 月第一版

印 次: 2014 年 6 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-2278-4

定 价: 62.80 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆本社发行部电话: (028) 83202463; 本社邮购电话: (028) 83201495

◆本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

多年来,随着国家对职业教育的逐步重视,地学职业教育也取得了长足进展。相对来说我国的地学职业教育起步较晚,并且与之相配套、比较系统的专业教材更较为稀少。为此,编者经过积极的努力,编写了这套能够满足高等职业教育教学需要的地学类教材。

本教材是根据高等职业教育《“十一五”高职高专规划教材编写说明》的规定,考虑到采矿、地质、勘探等专业的教学特点而编写的,可以供高等职业教育三年制和五年制地学类专业使用,同时适当兼顾相关工种“职业技能鉴定”对高级工理论基础知识的普遍要求,适当照顾各地“专升本”考试对钻探工程课程的基本要求。

从大体上看,本教材将钻探工程课程的教学内容分为共性和个性两部分,设十六章。共性部分包括岩石的物理性质、设备安装与开孔、岩心、土样的采用、钻孔弯曲、简易水文观测与孔深校正及孔内事故预防、冲孔、护壁与堵漏、钻井液、水文水井钻探、大口径工程口工程孔施工、工程地质钻探等十章,阐述钻探工程的整体性问题;个性部分包括硬质合金钻进、金刚石钻进、冲击回转钻进、反循环钻进、受控定向钻进等五章内容,最后介绍了钻探工程的发展趋势。共性部分与个性部分前后贯穿、彼此呼应、有机结合。

在教材编写过程中,我们试图把握高职教育的培养目标、人才基本规格和本课程的教学基本要求;深入研究和充分吸收近年来国内外高职教育课程改革、教材建设的成果和经验;尝试改革课程体系和知识结构,联系生产实际更新课程内容;努力培养学生的工程意识、专业技能、钻研精神、务实精神、创新精神和创业能力;努力采用新标准、新名词、新图样,反映成熟的新理论、新技术、新方法、新工艺;着力体现本课程综合性、实践性和创新性的特征。

本教材由杜平、张立新、杨丽任主编,单忠刚、周明杰、冀学文、于长波任副主编。具体编写分工如下:七台河职业学院杜平编写第一章、第八章、第九章、第十一章,七台河职业学院张立新编写第四章、第十三章和第十五章,七台河职业学院杨丽编写第五章、第六章、第七章、第十二章、第十四章和第十六章,七台河职业学院单忠刚、周明杰、冀学文编写第二章、第三章和第十章,龙煤集团七台河分公司于长波参与了第四章、第十三章和第

十五章部分内容的编写并负责全书的统稿和校对工作。张立新、于长波、杨丽负责书稿中图片的绘制和处理工作。

本教材的出版,从品种上构建了我国资源勘查类专业高等职业教育教材建设的体系和框架,极大地缓解了这一专业层次教材的短缺和不足。精品教材的诞生有一个反复锤炼的过程,本套教材的编写虽经多方努力,问题和不足仍在所难免,恳请各校师生及广大读者提出宝贵意见,以便修订时更改和完善。

钻探工程是一门实践性很强的技术性课程,因此,在讲授本课程时,必须做到理论与实验、实习相结合,并加强实践性教学环节,以提高学生实际操作能力和独立工作的能力。在本课程讲授前应安排学生进行钻探认识教学实习,在实习过程中了解钻探的工艺过程,了解钻探设备、钻具、钻头等相关实践知识。在本课程讲授后应安排学生进行钻探生产实习,以理解消化所学理论。

本教材在编写过程中参考了兄弟院校过去编写的相关教材,引用了近年来有关钻探工艺方面的新成果,得到了黑龙江科技大学王恩元教授的大力支持,提出了许多指导性意见和建议,参与了本教材的审稿把关工作。在此,编者一并致以谢意。

编 者

2013 年 10 月 8 日

目 录

第一章 岩石的物理性质.....	(1)
第一节 岩石的物理性质	(1)
第二节 岩石的力学性质	(3)
第二章 设备安装与开孔	(11)
第一节 设备的安装	(11)
第二节 开孔工作	(13)
第三章 硬质合金钻进	(15)
第一节 概述	(15)
第二节 硬质合金钻进的碎岩过程与磨损	(15)
第三节 硬质合金钻头	(18)
第四节 硬质合金钻进规程	(22)
第五节 硬质合金钻进的操作及注意事项	(25)
第四章 金刚石钻进	(28)
第一节 概述	(28)
第二节 金刚石钻头破碎岩石机理	(29)
第三节 金刚石钻头和扩孔器	(30)
第四节 金刚石钻进规程	(38)
第五节 金刚石钻进的操作及注意事项	(44)
第五章 冲击回转钻进	(52)
第一节 概述	(52)
第二节 冲击回转钻进的工具	(53)
第三节 冲击回转钻进设备及附属装置	(57)
第四节 冲击回转钻进规程	(60)
第五节 冲击回转钻进操作注意事项	(63)
第六章 反循环钻进	(66)
第一节 概述	(66)

第二节	大口径反循环钻进	(67)
第三节	小口径反循环钻进	(72)
第七章	受控定向钻进	(77)
第一节	概述	(77)
第二节	定向钻进工具	(80)
第三节	定向方法	(84)
第四节	定向钻孔的施工	(87)
第八章	岩心、土样的采用	(91)
第一节	概述	(91)
第二节	采取岩心、土样的一般方法	(94)
第三节	取心、取样工具	(97)
第四节	岩心、土样的补取	(105)
第九章	钻孔弯曲	(108)
第一节	概述	(108)
第二节	钻孔弯曲的原因	(110)
第三节	钻孔弯曲的预防	(112)
第四节	钻孔弯曲的测量	(114)
第五节	钻孔弯曲的纠正	(121)
第十章	简易水文观测与孔深校正及孔内事故预防	(124)
第一节	封孔、简易水文观测与孔深校正	(124)
第二节	孔内事故的预防与处理	(128)
第十一章	冲孔、护壁与堵漏	(134)
第一节	概述	(134)
第二节	泥浆	(140)
第三节	润滑冲洗液与润滑脂	(147)
第四节	其他冲洗液	(151)
第五节	水泥护壁堵漏	(160)
第十二章	钻井液	(166)
第一节	钻井液的功能及发展	(166)
第二节	钻井液胶体化学基础	(169)
第三节	钻井液流变学	(172)
第四节	钻井液类型	(175)
第五节	钻井液材料	(177)
第六节	固相控制及废浆处理	(179)

第七节	钻孔堵漏技术	(180)
第八节	孔壁稳定技术	(184)
第十三章	水文水井钻探	(188)
第一节	水文水井地质钻探	(188)
第二节	水井成井工艺	(203)
第三节	水文地质钻孔(井)抽水试验	(217)
第十四章	大口径工程口工程孔施工	(226)
第一节	概述	(226)
第二节	大口径孔钻进工艺	(228)
第三节	常见事故的处理	(237)
第十五章	工程地质钻探	(240)
第一节	概述	(240)
第二节	钻进方法	(241)
第三节	采取样品	(249)
第四节	触探	(265)
第十六章	钻探工程发展趋势	(271)
参考文献		(280)

第一章 岩石的物理性质

钻进工作的对象是岩石。因岩石的矿物成分、结构和构造的不同,岩石的物理力学性质相差很大,对钻进的影响和反应也各不相同。为更好地进行钻进工作,提高钻进质量和效率,降低消耗,必须对岩石的物理力学性质进行全面了解。

研究岩石的物理力学性质,主要是研究与破碎岩石有关的因素,从而掌握其破碎的规律性,以便创造更有利的破碎条件,更好地选择钻进方法、钻进规程和切削具、研磨材料及钻探设备类型等。

组成地壳的各种岩石,按其成因特征可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。如果把变质岩包括在岩浆岩中,则地壳内岩浆岩占 95%,沉积岩占 5% (其中泥质页岩占 4%,砂岩占 0.75%,碳酸盐类岩石占 0.25%,上述三类岩石,钻探工作中几乎都会遇到。煤田钻探、石油天然气和地热井勘探,所遇到的岩石大都是沉积岩。

由于岩石的构成和状态不同,所表现出的物理力学性质也不相同。一般岩浆岩的硬度较大(如花岗岩等),沉积岩的硬度较低(如页岩,泥岩等),由地表风化作用变质的变质岩较软(如高岭土),而由于温度及压力作用变质的变质岩较硬(如夕卡岩、石英岩等)。

第一节 岩石的物理性质

岩石的物理性质是岩石在生成过程中,由于构造变动和风化作用形成的,也称为岩石的基本性质。如相对密度、块体密度、孔隙度、裂隙性、含水性、透水性、松散性、流散性和稳定性等。与钻进有关的岩石物理性质有以下几种:

1. 块体密度和孔隙度

块体密度是岩石质量与其体积之比,其定义式为 $\rho = m/V$

式中 m —岩石试样的质量, g ;

V —岩石试样的总体积, cm^3 ; ρ —岩石的块体密度, g/cm^3 。

岩石的块体密度分为三种,即天然块体密度、块体干密度和块体饱和密度。

组成岩石的矿物颗粒之间的间隙称为岩石的孔隙。岩石的孔隙是由地质构造作用、外力和内部应力的作用而产生的,它还与组成岩石的颗粒形状、大小及性质有关。岩石中孔隙的多少常用孔隙度来表示。孔隙度是岩石中孔隙的体积在岩石总体积 V 中所占的百分比。

$$n = V_0/V \times 100\%$$

式中 V_0 —岩石中孔隙的体积, cm^3 ; V —岩石总体积, cm^3 ; n —孔隙度, %。

岩石的孔隙度与岩石的块体密度有关, 孔隙度大的岩石易透水, 并能降低岩石的强度及稳定性。一般岩石埋藏深度越深, 岩石的密度越大, 其强度和硬度也越大。岩浆岩比沉积岩致密、孔隙度小, 因而其密度大, 强度和硬度也大。

常见岩石的密度和孔隙度的变化范围如表 1-1 所示。

表 1-1 常见岩石的密度和孔隙度变化范围

岩石	密度/(g/cm^3)	孔隙度/%	岩石	密度/(g/cm^3)	孔隙度/%
花岗岩	2.6 ~ 2.7	0.5 ~ 1.5	页岩	2.0 ~ 2.4	10 ~ 30
粗晶玄武岩	3.0 ~ 3.05	0.1 ~ 0.5	石灰岩	2.2 ~ 2.6	5 ~ 20
流纹岩	2.4 ~ 2.6	4 ~ 6	白云岩	2.5 ~ 2.6	1 ~ 5
安山岩	2.2 ~ 2.3	10 ~ 15	片麻岩	2.9 ~ 3.0	0.5 ~ 1.5
辉长岩	3.0 ~ 3.1	0.1 ~ 0.2	大理岩	2.6 ~ 2.7	0.5 ~ 2
玄武岩	2.8 ~ 2.9	0.1 ~ 1.0	石英岩	2.6 ~ 5	0.1 ~ 0.5
砂岩	2.0 ~ 2.6	5 ~ 25	板岩	2.6 ~ 2.7	0.1 ~ 0.5

2. 含水性、透水性 and 裂隙性

由于岩石中有孔隙存在, 水便会浸入岩体, 从而使岩石含水。岩石含水的多少取决于孔隙的大小和数量。岩石的含水性一般用湿度或含水率来表示, 一般用占干燥岩石质量的百分数来表示, 如砂岩为 60%, 石灰岩为 2.5%。

岩石的含水性对岩石的强度有影响, 孔隙大的岩石, 水浸后其抗压强度降低 25% ~ 45%, 一般也要降低 15% ~ 20%。致密的岩浆岩, 由于孔隙度小, 所以其强度降低最少。水中含有表面活性物质, 会使岩石的强度降低。在坚硬岩石中钻进可使用软化剂处理。

岩石透水性是指岩石能被水透过的性质。它以单位面积和时间内通过岩石的水量来表示。一般岩石孔隙度愈大, 透水性愈高, 岩石的强度和稳定性愈低。由于水是一种溶剂, 当水透过岩石时, 会溶解岩石中的某些成分而形成大孔隙或溶洞。在透水性强的岩石中钻进, 还容易发生冲洗液的漏失。某些小孔隙的岩石, 在吸收一定水分后, 其体积会膨胀, 如有的黏土吸水后体积可增加 50%, 高岭土可增加 200%, 此时水就不会通过。具有这种性质的岩石叫不透水岩石, 钻进时易引发缩径、糊钻或憋泵现象。

裂隙性也是岩石的重要物理性质, 它对岩石的强度及可钻性都会产生很大影响。岩石按裂隙性的分级如表 1-2 所示。

表 1-2 岩石裂隙性分级表

裂隙性级别	岩石的裂隙性程度	岩石裂隙性的估计值		
		成块率/(块/m)	裂隙性指标/(个/m)	岩心采取率/%
1	完整的	1 ~ 5	≤ 0.5	100 ~ 70
2	弱裂隙性的	6 ~ 100	5 ~ 1.0	90 ~ 60
3	裂隙性的	11 ~ 30	1.01 ~ 2.0	80 ~ 50
4	强裂隙性的	31 ~ 50	2.01 ~ 3.0	70 ~ 40
5	完全破碎的	≥ 51	≥ 8.10	60 ~ 30 或更少

3. 松散性和流散性

当岩石从岩体上分开后,岩石碎块的体积比天然埋藏下原有体积增大的性能称为松散性。松散性也是指岩石结构的致密程度,松散性强的岩石其颗粒之间的联结力弱,钻进时容易破碎,但孔壁易坍塌。

岩石的自由面有极力趋向水平的性能称流散性。在流散性强的岩石(如流砂)中钻进,孔壁极易陷落,淤塞钻孔,使钻进困难。

4. 稳定性

在岩体内钻出钻孔(有自由面)时,岩石不坍塌、不崩落的性能称为稳定性。岩石的稳定性可分为:稳定性良好、稳定性中等和稳定性差三类。在稳定性差的岩石中钻进,容易发生孔壁坍塌现象,必须采取保护孔壁措施。

第二节 岩石的力学性质

岩石在机械外力作用下所表现的性质,称为岩石的力学性质。与钻进有关的岩石的力学性质有强度、硬度、研磨性等。

一、强度

1. 岩石强度的概念

岩石的强度是指岩石在各种外力(拉伸、压缩、弯曲或剪切等)作用下,抵抗破碎的能力,常用的强度单位为 Pa。

坚硬岩石和塑性岩石(如黏土)的强度,主要取决于岩石的内联结力和内摩擦力;松散性岩石的强度主要取决于内摩擦力。

岩石的内联结力主要是矿物颗粒之间的相互作用力,或者是胶结物与胶结物之间的联结力,或者是矿物颗粒与胶结物之间的联结力。一般前者最大,后者最小。

岩石的内摩擦力是颗粒之间的原始接触状态即将被破坏而要产生位移时的摩擦阻力。岩石的内摩擦阻力构成岩石破碎的附加阻力,且随应力状态而变化。

2. 影响岩石强度的因素

影响岩石强度的因素基本上可分为两个方面:一种是自然因素,如岩石的矿物成分、结构及构造等;另一种是技术因素,如载荷作用的速度、形变的方式等。

自然因素包括:

(1) 岩石的强度 岩石的强度在很大程度上取决于组成岩石的矿物成分。例如,石英是强度较大的造岩矿物,岩石中石英含量高,并且石英颗粒在岩石中联结成骨架时,则岩石的强度也高;而方解石和白云石等强度较小,因此碳酸盐类岩石中方解石含量增加,则岩石强度降低。岩石中胶结物所占的比例越大,胶结物对岩石强度的影响越大,而被胶结的矿物对岩石强度的影响越小。

(2) 矿物颗粒 矿物颗粒的尺寸在相同矿物结构下,组成岩石的矿物颗粒直径对岩

石的强度也有很大影响。通常细粒岩石的抗压、抗拉强度都大于同一矿物组成的粗粒岩石。

(3)岩石密度与孔隙度 岩石的密度与孔隙度对岩石强度也有巨大影响。同一种岩石,其孔隙度增加,密度降低,则岩石强度也降低。另外,岩石强度随其埋藏深度的增加而增大。

(4)层理 岩石的层理对其强度的影响具有明显的方向性。垂直于层理方向的抗压强度最大,平行于层理方向的抗压强度最小,与层理方向呈某种角度方向的抗压强度介于两者之间。其原因是岩石层理面之间的联结力最薄弱,在沿平行于层理方向加压时,岩石点从层理面裂开。

(5)岩石的结构构造缺陷 岩石的节理孔洞、裂缝及颗粒交界等在岩石中会造成局部薄弱,在外载作用下会发生应力集中而超前破碎,使强度降低。

技术因素包括:

(1)受力条件岩石的抗压、抗拉、抗剪和抗弯强度有很大的差别。在单向应力状态下,岩石的抗压强度最大,而抗弯、抗剪和抗拉强度依次减小,其关系式为

抗压 > 抗弯 > 抗剪 > 抗拉

表 1-3 中以单向抗压强度为 100%,列出几种岩石在不同变形时相对强度极限的多种数据(仅供参考)。几种典型岩石的强度如表 1-4 所示。

表 1-3 不同变形时岩石的相对强度极限

岩石	相对硬度/%		
	抗弯	抗剪	抗拉
花岗岩	9	8	2~4
砂岩	10~12	2~6	2~5
石灰岩	15	8~10	4~10

表 1-4 几种典型岩石的强度

岩石	岩石的强度/MPa			岩石	岩石的强度/MPa		
	抗压(σ_c)	抗拉(σ_t)	抗剪(τ_s)		抗压(σ_c)	抗拉(σ_t)	抗剪(τ_s)
粗粒砂岩	142.0	5.14	—	白云岩	162.0	6.9	11.8
中粒砂岩	151.0	5.20	—	石灰岩	138.0	9.1	14.5
细粒砂岩	185.0	7.95	—	花岗岩	166.0	12.0	19.8
页岩	14.0~61	0.17~8.0	—	正长岩	215.2	14.3	22.1
泥岩	18.0	3.2	—	辉长岩	230.0	13.5	24.4
石膏	17.0	1.9	—	石英岩	305.0	14.4	31.6
含膏灰岩	42.0	2.4	—	辉绿岩	343.0	13.4	34.7
安山岩	98.6	5.8	9.6				

(2)载荷速度 载荷速度是岩石强度与外载作用的速度,或者说与其内部应力增长速度有密切的关系。载荷速度越快,则岩石强度越高。

(3)介质的影响 介质对岩石强度的影响,主要由于岩石与周围介质之间分界面上发生的润湿与吸附作用所引起。介质影响的强烈程度,取决于介质中活性物质的吸附性,也就是介质性质与固体性质的接近程度。必须指出,介质对岩石性质的影响,在很大程度上取决于岩石中孔隙与裂缝的存在。

(4)岩样尺寸的影响 一般情况下,岩石强度试验值随岩样尺寸的增大而降低。为消除岩样线性尺寸的影响,做岩石抗压强度试验时,广泛采用5 cm×5 cm×5 cm的试样,或采用长度等于直径的圆柱体试样。

二、硬度

1. 岩石硬度的概念

岩石的硬度是指岩石抵抗其他刚性物体压入的能力。岩石的硬度在本质上与强度,特别是与抗压强度有着密切的关系,但不能把岩石的单轴抗压强度作为其硬度的指标。

纯理论分析,岩石的抗压强度与压入硬度的关系为

$$P = (1 + 2\pi)$$

式中P—压入硬度;

σ—单轴抗压强度。

由上式可知,岩石的压入硬度是其单轴抗压强度的7倍。但实验证明,岩石的压入硬度与其单轴抗压强度之比在5—20之间。一般地质上把矿物的硬度分为10级,即摩氏硬度。因岩石是由各种矿物组成的,所以也可间接地用划分矿物硬度的办法来划分岩石。岩石的硬度在一定程度上,直接反映了破碎岩石的难易程度。岩石越硬,切削具越难切入岩石,钻进效率就越低,如燧石、石英岩、夕卡岩等就很硬,页岩、泥岩等就较软。表1-5列出了标准矿物的摩氏硬度。

表 1-5 标准矿物的魔氏硬度

测试方法	滑石	石膏	方解石	萤石	磷灰石	正长石	石英	黄玉	刚玉	金刚石
摩氏硬度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
显微硬度/MPa	2.5	290	1080	1860	5300	7750	11000	14700	22600	98100

2. 影响岩石硬度的因素

影响岩石硬度的因素与影响强度的因素很相似。但层理对硬度的影响正好与强度相反,垂直于层理方向的硬度值最小,而平行于层理方向的硬度值最大。

值得提出的是,水浸入岩石后,对岩石的硬度有一定的影响。水分子沿着矿物颗粒的交界面处浸入,减小了矿物颗粒间的联结力,使硬度和强度降低。

另外,岩石在各向压缩状态下,其压力愈大,则硬度亦大。岩石随温度的增高硬度逐渐降低。

三、研磨性

1. 岩石研磨性的概念

用切削具切削岩石时,它必然与岩石发生摩擦。在摩擦过程中,岩石磨损切削具的

能力称为岩石的研磨性或磨蚀性。通常是用切削具磨损的体积与所消耗的摩擦功之比来表示研磨性的大小,其单位为 m^3/J 。

岩石研磨性的大小,将直接关系到用切削具制成的钻头的使用寿命以及切削具破碎岩石的钻进效率和钻探生产成本。岩石研磨性是选择碎岩工具,设计钻头,确定钻进规程参数和制定钻头消耗定额的依据之一。

在衡量岩石研磨性大小时,摩擦功的计算极为重要。切削具与岩石相对移动时的摩擦功为

$$A = F \cdot d$$

式中 A —产生磨损的摩擦功, J ;

F —摩擦力, N ; d —两物体相对位移, m 。

切削具对岩石进行体积破碎,要求切削具与岩石单位接触面积上的正压力不小于岩石的局部抗压入强度,可取摩擦力 F 为

$$F = \mu \cdot p \cdot S$$

式中 μ —动摩擦系数;

p —岩石的局部抗压入强度, Pa ;

s —岩石接触的摩擦面积, m^2 。

因而摩擦功为

$$A = F = \mu \cdot p \cdot S \cdot d$$

2. 影响岩石研磨性的因素

影响岩石研磨性的因素有两个方面,即自然因素和技术因素。

(1)自然因素影响 岩石研磨性的自然因素主要是岩石的矿物成分和结构特征。岩石中造岩矿物的硬度、颗粒度、颗粒形状、密度、胶结物及胶结状况、岩石颗粒间的硬度差、所含石英及其他坚硬矿物的百分比等,对岩石研磨性都有明显的影响。矿物颗粒的硬度愈大,则磨损作用愈大;矿物颗粒度愈大,岩石表面的粗糙度愈大,则其研磨性愈强;矿物颗粒形状越带有棱角、越软硬相间、密度愈小,则岩石研磨性愈高;砂岩的胶结物强度降低,则其研磨性会提高。造岩矿物的硬度对岩石研磨性的影响如表 1-6 所示。

表 1-6 造岩矿物的硬度对岩石研磨性的影响

岩石	体积磨损功/ $(9.8 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{J}^{-1})$	单位功磨损体积/ $(1 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{J}^{-1})$
砂质页岩	20	0.5
含铁石英岩	6	1.5
长石砂岩	2	5.1
花岗岩	1.6	6.1
石英质砂岩	0.1	102

(2)技术因素影响 岩石研磨性的技术因素,也就是影响动摩擦系数的各种技术因素。

压力 实验证明当正压力未达到岩石局部抗压入硬度以前,岩石不产生体积破碎,

工具与岩石接触表面是以凹凸不平的点接触为主要形式;随着正压力增加,由于工具与岩石弹性变形的结果,使这些点接触的面积增大,接触状态更完善,增大了工具与岩石颗粒之间的黏滞力,因而摩擦系数增大。当压力超过岩石的局部抗压入硬度值时,岩石产生体积破碎,岩石的表面在工具的破碎作用下,不断地被更新,因而使摩擦系数略有降低,或者表现为常数,不再随着正压力的增加而改变。

在生产实践中,为了获得较高的生产率,并降低切削具的磨损,应采用大于岩石局部抗压入硬度的压力值。

相对运动速度 一般情况下,当相对运动速度较低时,随着运动速度的增加,动摩擦系数也增加;但当运动速度达到某一数值时,动摩擦系数就不再增加,反而减小。钻进时,动摩擦系数可由下式近似求得

$$\mu = \mu_0 (1 + 0.122 \ v) / (1 + 0.06 \ v)$$

- 式中 μ —动摩擦系数;
- μ_0 —静摩擦系数;
- v —工具与岩石的相对运动速度。

介质 介质能改变切削具和岩石间的摩擦特征。如果岩石表面干燥或湿润不好,则摩擦系数增大;用泥浆时,摩擦系数减小;有表面活性溶液或乳状液时,因有润滑作用而使摩擦系数更小。从表 1-7 所列数据,可看出介质对摩擦系数的影响。

温度对互相摩擦的物体的摩擦系数也有影响。当温度升高时,研磨性则增大。

表 1-7 介质对摩擦系数的影响

岩石	岩石表面摩擦系数		
	干燥	用水湿润	用泥浆湿润
泥质页岩	0.20 ~ 0.25	0.15 ~ 0.20	0.11 ~ 0.13
石灰岩	0.35 ~ 0.40	0.33 ~ 0.38	0.31 ~ 0.35
白云岩	0.38 ~ 0.42	0.36 ~ 0.48	0.34 ~ 0.38
胶结不强的尖角颗粒砂岩	0.32 ~ 0.42	0.27 ~ 0.40	0.25 ~ 0.35
胶结不强的圆角颗粒砂岩	0.22 ~ 0.34	0.20 ~ 0.30	0.17 ~ 0.25
硬质砂岩	0.43 ~ 0.48	0.43 ~ 0.45	0.40 ~ 0.43
石英岩	0.46 ~ 0.48	0.48 ~ 0.50	0.42 ~ 0.44
花岗岩	0.47 ~ 0.55	0.46 ~ 0.53	0.45 ~ 0.52
无水石膏	—	0.39 ~ 0.95	0.37 ~ 0.40

3. 岩石研磨性的分级

岩石的研磨性是反映岩石磨损切削具能力的重要指标。在钻探工作中,从钻头的设计制造到钻进工艺规程的调节控制,以及钻进效率和回次长度等,都会受到它的影响,并作为主要因素加以考虑。按研磨性对岩石进行适当的分级非常必要。

在生产实践中,根据感性概念把岩石划分为研磨性小与研磨性大的两类:研磨性小的岩石——石灰岩、白云岩、玄武岩、各种页岩、大理岩等。研磨性大的岩石——各种砂

岩、粗中粒花岗岩、各种硅化高的岩石等。另外,利用钢杆磨损研磨性测定法可以把岩石研磨性分成 8 级(如表 1-8 所示)。

表 1-8 岩石研磨性等级

研磨性等级	研磨性程度	研磨性指标 (a)/(× 10 ³ kg)	代表岩石及矿物
1	极低	<5	石灰岩,大理岩,不含石英的软硫化矿(方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿),磷灰岩,岩盐,页岩
2	低	5 ~ 10	硫化矿及重晶石硫化矿,黏土,软的片岩(炭质、泥质、绿泥质、绿泥板状的)
3	中下	10 ~ 18	碧玉岩,角岩(含矿及不含矿的),石英硫化矿石,细粒岩浆岩,石英
4	中	18 ~ 30	石英及长石细粒砂岩,辉绿岩,粗粒黄铁矿,砷黄铁矿,脉石英,石英硫化矿石,细粒岩浆岩,硅化灰岩,碧玉铁质岩
5	中上	30 ~ 45	石英及长石中粗粒砂岩,斜长花岗岩,霞石正长岩,细粒花岗岩及闪长岩,玢岩,云英岩,辉长岩,片麻岩,夕卡岩(含矿及不含矿的),黄铁长英岩,滑石菱镁片岩
6	较高	45 ~ 65	花岗岩,闪长岩,花岗闪长岩,花岗正长岩,玢岩、霞石正长岩,角闪石斑岩,辉岩,二长岩,闪岩,石英及硅化灰岩。片麻岩
7	高	65 ~ 90	玢岩,闪长岩,花岗岩,花岗霞石正长岩
8	极高	> 90	含刚玉岩石

四、岩石的可钻性

岩石的可钻性是在一定技术条件下钻进过程中反映岩石抵抗破碎能力的综合性指标。它取决于许多因素,主要的是岩石的物理力学性质、钻进方法和钻进技术参数等。通常是在相同的钻进方法和相同的钻进技术参数条件下,通过试验来确定岩石可钻性。

岩石可钻性分级在实际钻探生产中非常重要。它是合理选择钻进方法及相应的钻进工具和钻进规程的依据,也是制定钻探生产定额,编制钻探生产计划的依据;同时,也是评定钻探机台生产的客观依据。

岩石可钻性的划分是在地质勘探钻进工作中,经常用以下方法来划分岩石可钻性级别:

1. 刻划对比法

刻划对比法较粗略,但操作简便易行。具体指标如下:

- (1)大拇指甲刻划 1~3 级的岩石矿物;
- (2)铁刀刻划 3~4 级的岩石矿物;
- (3)普通钢刀刻划 4~5 级的岩石矿物;
- (4)锉刀刻划 5~6 级的岩石矿物;
- (5)合金刀刻划 7~8 级的岩石矿物。

这里刻划对比标准与矿物刻划硬度对比标准相同,所列可钻性级别与后面介绍的 12 级可钻性分级有对应关系。

2. 按机械钻速分级

在规定的设备、工具和技术规范条件下进行现场实际钻进,以所得的纯钻进速度,作为岩石可钻性的分级指标称为机械钻速分级的方法。同时,考虑到由于岩石研磨性造成的钻进速度逐渐降低,使回次钻进长度缩短,故在分级指标中,一并列入回次长度值作为辅助性指标(如表 1-9 所示)。

表 1-9 岩石可钻性分级

岩石等级	岩石类别	代表性岩石	可钻性/ ($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	回次长 度/m
1	松软松散的	次生土,壤土,硅藻土	7.50	2.80
2	松软松散的	黄土,黏土,冰	4.00	2.40
3	软的	风化变质的页岩,千枚岩,泥灰岩,褐煤,烟煤	2.45	2.00
4	较软的	页岩类,较致密泥灰岩,岩盐,火山凝灰岩	1.60	1.70
5	稍硬的	泥质板岩,细粒石灰岩,蛇纹岩,纯橄榄岩,无烟煤	1.15	1.50
6	中等硬度	微硅化石灰岩,千枚岩,石英云母片岩,辉长岩	0.82	1.30
7	中等硬度	硅质石灰岩,石英二长岩,含长石石英砂岩,角闪石斑岩,玢岩	0.57	1.10
8	硬的	夕卡岩,千枚岩,微风化的花岗岩	0.38	0.85
9	硬的	高硅化的石灰岩,粗粒的花岗岩,硅化凝灰岩	0.25	0.65
10	坚硬的	细粒花岗岩,花岗片麻岩,坚硬的石英伟晶岩	0.15	0.50
11	坚硬的	刚玉岩,石英岩,含铁矿碧玉岩	0.09	0.32
12	最坚硬的	未风化致密的石英岩,碧玉岩,燧石	0.045	0.16

显然,表中可钻性即为机械钻速。

机械钻速:指每小时纯钻进时间的进尺数,单位为 m/h 。

回次长度(一次提钻长度):指每个回次钻进获得的进尺数,单位为 m 。对软岩石的钻进,受一次岩心采取长度的限制;对硬岩石的钻进,受钻头工作寿命的限制。

3. 按岩石力学性质进行分级

(1)以“普氏系数(f)”分级 在矿山开采中,常用岩石的坚固性系数——“普氏系数(f)”来进行岩石的可钻性分级。

普氏系数(f) = $8/1000$