

岩心钻探 工程设计实务

YANXIN ZUANTAN GONGCHENG SHEJI SHIWU

李国民 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

岩心钻探工程设计实务

李国民 主 编

王贵和 徐能雄 副主编

北 京

冶金工业出版社

2015

内 容 提 要

本书讲述了岩心钻探工程设计, 主要内容包括岩石的物理力学性质、岩心钻探设备、钻孔结构、机场布置及设备安装、岩心钻探技术、地质岩心钻探用管材、护壁堵漏、钻探工程质量、钻探工作成本预算、孔内复杂情况处理预案及组织管理等。

本书可供高等院校地类专业师生使用, 也可供地质、煤炭、冶金、建材、矿山地质等企业及相关科研单位中从事钻探工作的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩心钻探工程设计实务 / 李国民主编. —北京: 冶金工业出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-5024-7020-3

I. ①岩… II. ①李… III. ①取心钻进—工程—设计 IV. ①P634. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 198894 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 徐银河 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7020-3

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2015 年 9 月第 1 版, 2015 年 9 月第 1 次印刷

169mm × 239mm; 20 印张; 387 千字; 306 页

45.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

前 言

岩心钻探工程设计是钻探工程施工的首要工作，也是进行钻探工程规范性项目管理的第一步。该项工作不仅关系到施工能否顺利进行，更关系到工程的质量与效益。因此，做好岩心钻探工程设计十分必要，也是钻探技术人员必须具备的专业素质。

岩心钻探工程设计的主要内容包括：钻探工程的目的，施工矿区的地理条件和地质条件，钻孔结构设计，施工场地及地基类型选择，钻探设备的选择及计算，钻探方法的选择，钻头的选择与规程参数的确定，提高钻探工程质量的技术措施（如护壁堵漏措施、提高岩矿心采取率的措施、防斜措施、提高钻进效率的措施等），孔内事故预防的预案，安全管理措施，机台组织与人员配备，生产定额，综合成本预算等。本书针对钻探工程设计内容，较系统地收录了与钻探工程技术相关的技术文献资料，共分12章，分别介绍岩石的物理力学性质、岩心钻探设备、钻孔结构、机台布置及设备安装、岩心钻探技术、地质岩心钻探用管材、护壁堵漏、钻探工程质量、钻探工作成本预算、孔内复杂情况处理预案、组织管理等。

本书注重现场应用，并归纳总结了钻探施工中常出现的技术问题的解决办法及预防预案，既可作为高等院校学生的岩心钻探课程设计的用书，也可供从事岩心钻探工作的工程技术人员、施工管理人员参考。

随着技术的不断进步，新设备、新技术、新材料不断涌现，未能在书中涉及全面。由于作者水平所限，书中不足之处敬请读者批评指正。

中国地质大学（北京） 地质资源勘查实验教学中心
国土资源部深部地质钻探技术重点实验室

李国民

2015年5月

目 录

1 岩石的物理力学性质	1
1.1 岩石的强度	1
1.2 岩石的硬度	3
1.3 岩石的研磨性	5
1.4 岩石的可钻性	7
1.5 与岩石力学性质有关的计算	10
1.5.1 压入硬度	10
1.5.2 单轴抗压强度	10
1.5.3 弹性模数	10
1.5.4 泊松比	10
1.5.5 剪切弹性模量	11
1.5.6 压缩模数	11
1.5.7 塑性系数	11
1.5.8 岩石的破碎条件	11
1.5.9 岩石的各向异性	12
2 岩心钻探设备	13
2.1 钻机	13
2.1.1 立轴钻机的性能参数	13
2.1.2 常用转盘钻机	28
2.1.3 动力头钻机	33
2.2 泥浆泵	46
2.2.1 往复式泥浆泵	46
2.2.2 螺杆泵	50
2.2.3 砂石泵	50
2.3 钻塔	53
2.4 动力机的选择	55
2.4.1 电动机	55

2.4.2 启动设备	56
2.4.3 照明发电机	58
2.4.4 柴油发电机组	58
2.5 附属设备	60
2.5.1 泥浆搅拌机	60
2.5.2 游动滑车	61
2.5.3 钢丝绳	62
2.5.4 拧管机	63
2.6 与岩心钻探设备有关的主要计算	64
3 钻孔结构	71
3.1 终孔直径确定	71
3.2 确定换径次数	72
3.3 确定各岩层的钻进方法	73
3.4 钻孔加固有关计算	74
3.4.1 套管作用载荷	74
3.4.2 水泥固井	76
4 机场布置及设备安装	78
4.1 修筑地盘、地基	78
4.1.1 地盘	78
4.1.2 地基	78
4.2 基台木布置	80
4.3 钻机地脚螺栓安装	80
4.4 循环系统	81
4.5 机场安全设施	82
5 岩心钻探技术	83
5.1 硬质合金钻进	83
5.1.1 硬质合金	83
5.1.2 硬质合金钻头	85
5.1.3 硬质合金钻进的钻进规程	91
5.1.4 硬质合金钻头类型及使用条件	92
5.1.5 合金钻头选用原则	93
5.2 钢粒钻进	94

5.2.1	钢粒规格	94
5.2.2	钢粒钻头	94
5.2.3	钻进规程	94
5.3	金刚石钻进	96
5.3.1	金刚石的品级	96
5.3.2	金刚石的粒度	99
5.3.3	金刚石性能参数	100
5.3.4	金刚石钻头	100
5.3.5	金刚石扩孔器	103
5.3.6	金刚石钻头的选择	104
5.3.7	金刚石钻进规程	108
5.3.8	绳索取心钻进	109
5.4	液动冲击回转钻进	117
5.4.1	液动冲击器类型及参数	117
5.4.2	液动冲击回转钻进用钻头	121
5.4.3	液动冲击回转钻进规程	124
5.5	风动潜孔锤	126
6	地质岩心钻探用管材	132
6.1	钻探用管材的技术性能	132
6.1.1	钻探用管材的技术性能	132
6.1.2	地质钻杆及其接箍的技术条件	132
6.1.3	地质岩心管、套管及其接头用管材技术条件	133
6.2	主动钻杆	134
6.3	地质钻杆及其连接	134
6.3.1	钻杆	134
6.3.2	钻杆接箍	135
6.3.3	普通钻杆锁接头	136
6.4	钻铤	137
6.5	岩心管及套管	138
6.6	岩心管接头	140
6.7	沉淀管及其接头	142
6.8	金刚石钻进用管材	145
6.8.1	钻杆	145
6.8.2	钻杆接头和锁接头	145

6.8.3 岩心管	146
6.8.4 套管	147
7 护壁堵漏	148
7.1 钻探用水	148
7.1.1 水的总矿化度	148
7.1.2 水的硬度	148
7.2 泥浆	149
7.2.1 黏土	149
7.2.2 不同类型地层所用泥浆性能参数	149
7.2.3 泥浆处理剂	149
7.2.4 泥浆的配制	153
7.3 水泥	154
7.3.1 水泥的种类	154
7.3.2 水泥外加剂	155
7.3.3 水泥浆的配制及替浆水量计算	157
7.3.4 水泥浆液配方实例	159
7.4 化学浆液材料	160
7.4.1 尿醛树脂浆液	160
7.4.2 氰凝	160
8 钻探工程质量	162
8.1 钻探工程质量六项指标	162
8.2 岩(矿)心采取	164
8.2.1 卡取岩(矿)心的一般方法	164
8.2.2 取心方法	167
8.2.3 取心钻具	168
8.3 岩(矿)心的补取和退出	177
8.3.1 补取岩(矿)心	177
8.3.2 捞取岩(矿)心的工具	185
8.4 钻孔弯曲与测量	186
8.4.1 钻孔弯曲的原因	186
8.4.2 预防钻孔弯曲的措施	187
8.4.3 钻孔弯曲的测量	188
8.4.4 测斜仪简介	190

8.4.5 钻孔弯曲的矫正	201
8.5 封孔	204
8.5.1 封孔材料	204
8.5.2 水泥封孔	205
8.5.3 封孔方法	208
8.6 钻孔质量标准	209
9 钻探工作成本预算	211
9.1 经济技术指标	211
9.1.1 钻探质量指标	211
9.1.2 关于报废钻孔和报废工作量的规定	211
9.1.3 可利用钻孔率	211
9.1.4 工作量报废率	212
9.1.5 开动钻机数	212
9.1.6 最高开动台年进尺	212
9.1.7 台年进尺	212
9.1.8 台月数	213
9.1.9 台月效率	213
9.1.10 钻月数	213
9.1.11 钻月效率	213
9.1.12 钻探总台时	213
9.2 钻探生产定额	214
9.2.1 生产定额 (试行草案)	214
9.2.2 计入台月的生产定额	216
9.2.3 特种工作时间定额	222
9.3 预算标准	227
9.3.1 地质岩心钻探预算标准	227
9.3.2 水井钻预算标准	229
9.3.3 地热预算标准	231
9.3.4 工程地质勘探标准	231
10 孔内复杂情况处理预案	232
10.1 概述	232
10.2 难钻地层施工方法预案	232
10.2.1 坚硬致密打滑地层	232

10.2.2	护壁与堵漏难的地层	233
10.2.3	取心率低下的松软、破碎地层	243
10.2.4	钻孔防斜	245
10.3	井下落物处理预案	246
10.3.1	钻杆折断	246
10.3.2	岩心管脱落和打捞	249
10.3.3	牙轮钻头的牙轮脱落与刮刀钻头翼片折断	252
10.3.4	提引器落入孔内	254
10.3.5	钢丝绳落入孔内	254
10.3.6	小物件或专用工具落入孔内的原因与防止措施	254
10.3.7	几种特殊的打捞工具	254
10.3.8	用抓筒打捞小物件以及脱落的牙轮、折断的翼片等	255
10.3.9	用铤鞋式抓筒捞取小物件	256
10.3.10	磁力打捞器捞取小物件	256
10.3.11	用钢丝绳捞矛捞取落入孔内的钢丝绳	256
10.3.12	用收取器、捞冠打捞脱落的金刚石	257
10.4	金刚石钻头烧毁	257
10.4.1	被烧钻头的表面现象	257
10.4.2	降低烧钻的根本措施	257
11	组织管理	261
11.1	钻探组织“十大”管理职责	261
11.2	钻孔技术档案编制	264
12	金刚石岩心钻探装备配套	290
12.1	概述	290
12.2	设备表	290
12.3	附属设备类	291
12.4	专用仪表、仪器类	293
12.5	特殊钻探工具类	294
12.6	专用工具类	294
12.7	管材类	296
12.8	变丝接头类	297
12.9	打捞工具类	298
12.10	钻头、扩孔器类	300

12.11 常用材料类	301
12.12 五金类	302
12.13 其他	305
参考文献	306

岩石性质分为两种，一种是指岩石与外力场相互作用而呈现的各种性质，称为岩石物理性质。另一种是岩石的力学性质，即岩石在机械外力作用下显现出的特性，如强度、硬度、弹性、塑性和研磨性等。

1.1 岩石的强度

岩石的强度是指岩石在各种形式的外力作用下抵抗破碎的能力。强度的单位为 Pa(帕) 或 MPa (兆帕)。根据受力形式不同，岩石的极限强度可分为抗压强度、抗拉强度、抗剪强度和抗弯强度等。常见岩石的强度指标见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 几种常见岩石单轴抗压强度

岩石名称	抗压强度/MPa	岩石名称	抗压强度/MPa
石英磁铁矿	290.0 ~ 315.7	蚀变闪长岩	55.1
石英镜铁矿	330	致密灰岩	95.6
硅化流纹斑岩	306.8	闪长岩	200.2
硅质板岩	261.1	绢云母拉长片岩	142.6
环状流纹岩	257.2	石英片岩	187.5
伟晶岩	204.7	细粒硅化硬砂岩	186.9
黑云母花岗岩	134.2	大理岩砂卡岩互层	64.8
斜长黑云母片岩	78.4	煌斑岩	132.0
蚀变凝灰岩	115.2	黑云母石英闪长岩	207.0
花岗闪长岩	169.8	角闪石闪长岩	144.0
钠长斑岩	102.4	蚀变正长斑岩	29.0
细粒花岗岩	183.3	强硅化粉砂岩	164.6
细中粒花岗岩	154.8	绿泥石化闪长玢岩	231.0
辉绿岩	254	闪长玢岩	143.0
粗粒花岗岩	130	硅化灰岩	241.0
细粒斜长花岗岩	170.2	安山岩	122.0
中粒斑状花岗岩	153.0	含铁石英岩	247.0
石灰闪长岩	192.0	硅质灰岩	166.0

续表 1-1

岩石名称	抗压强度/MPa	岩石名称	抗压强度/MPa
砂纸页岩	174.8	风化花岗闪长岩	36.0
结晶灰岩	40.0	白云岩	157.4
粉砂岩	223.1	周口店花岗岩	220.0
千枚岩	183.7	纯橄榄岩	56.0
二云母石英片岩	65.4	变质安山岩	33.0
黑云母片岩	125.2	橄榄岩	22.0
粉砂岩	63.1	辉长岩	82.8
黄铁铝锌矿	358.6	菱镁岩	95.3
凝灰色硅质页岩	75.5		

表 1-2 某些岩石的强度极限

岩石名称	强度极限/MPa		
	抗 压	抗 拉	抗 弯
砂岩 (粗粒)	1420	51.4	103.0
砂岩 (中粒)	1510	52.0	131.0
砂岩 (细粒)	1850	79.5	249.0
砂质泥质页岩	180	32.0	35.0
含有石膏的灰岩	420	24.0	65.0
泥质页岩	140 ~ 610	17 ~ 80	40 ~ 360
石 膏	170	19.0	60.0
闪 石	1700 ~ 1808	90 ~ 120	—
灰 岩	900 ~ 1200	120	120
石英岩	2900 ~ 3000	108 ~ 150	150 ~ 207
大理岩	600 ~ 1900	60 ~ 160	240 ~ 310
砂 岩	350 ~ 1500	30 ~ 100	230
煤	200 ~ 500	15 ~ 25	30
玄武岩	300 ~ 400	—	175 ~ 460
花岗岩	1000 ~ 2500	100 ~ 150	100 ~ 300

岩石强度条件不同,强度极限差别较大,一般规律是抗压强度 > 抗剪强度 > 抗弯强度 > 抗拉强度。如果把岩石的抗压强度设定为 100%,则其他强度相对的大小见表 1-3。

表 1-3 常见岩石强度相对比较值

岩石名称	相对强度/%			
	抗压	抗剪	抗弯	抗拉
花岗岩	100	9	8	2~4
砂 岩	100	10~12	2~6	2~6
石灰岩	100	15	8~10	4~10
页 岩	100	25	14	6

岩石的强度存在各向异性,即沿不同方向受力,岩石的强度大小不同,垂直层理方向的强度大于平行层理方向的强度。表 1-4 为岩石在垂直层理与平行层理方向受力时,其强度值的差别。岩石的强度直接影响岩石的承载能力以及孔壁(洞室、隧道)的稳定性。

表 1-4 几种岩石的垂直层理和平行层理方向的抗压强度对比

岩石名称	抗压强度/MPa		$\sigma_c^\perp / \sigma_c^\parallel$
	垂直层理 $\sigma_c^\perp$	平行层理 $\sigma_c^\parallel$	
石灰岩	180	151	1.19
粗粒砂岩	142.3	118.5	1.20
细粒砂岩	156.8	153.7	1.02
砂质页岩	78.9	51.8	1.52
页 岩	51.7	36.7	1.41
泥板岩	114.2	65	1.76
碳酸盐化泥板岩	103.2	59.7	1.73

岩石的强度是影响钻进碎岩难易程度的重要因素之一。众所周知,随着岩石强度值的升高,破碎岩石的效率降低,钻进速度下降。随着孔深的增加,岩石的致密程度升高,岩石的强度升高,破碎岩石的效率也降低,钻速下降。

对于钻进碎岩来讲,用哪种性质的岩石强度来解释岩石的破碎机理和钻进过程,目前有着不同的认识。这同样与破碎工具对岩石的作用性质有关,例如,回转钻进以切削方式破碎岩石时,一般认为岩石的抗剪强度较能说明破碎的实质,但也有人认为是抗压强度。

1.2 岩石的硬度

岩石的硬度是指岩石抵抗工具侵入的能力。岩石硬度与抗压强度有一定联系,但又有很大区别。岩石抗压强度是岩石整块抗破碎的阻力,而岩石的压入硬度是岩石局部的力学性质。试验表明,压入硬度与单向抗压强度之比达到 5~

20。造成差别的原因是：测定压入硬度实际上是使岩样产生局部压碎，而这种局部压碎是在多向受压状态下进行的，其硬度的单位是 MPa（兆帕）。常见岩石矿物的压入硬度见表 1-5 和表 1-6。

表 1-5 常见岩石的压入硬度

岩石名称	压入硬度/MPa	岩石名称	压入硬度/MPa
泥质板岩泥质页岩	200 ~ 750	石英闪长岩	4000 ~ 4300
中粒砂岩	1700 ~ 2500	辉绿岩	5000 ~ 5500
细粒砂岩	2500 ~ 3300	玄武岩	1000 ~ 1400
粉砂岩	700 ~ 950	辉 岩	3400 ~ 3800
多孔石灰岩	850 ~ 1150	石英岩	5800 ~ 7300
致密石灰岩	1100 ~ 2000	碧玉铁质岩	7000 ~ 8100
致密白云岩	1200 ~ 1400	大理岩	950 ~ 1300
硅化白云岩	4000 ~ 4500	霓石角岩	8000 ~ 8500
燧 石	6000 ~ 7000	正长斑岩	3150 ~ 3300
含泥质和钙质的燧石	3600 ~ 4300	辉长岩	2000 ~ 2400
花岗岩	3000 ~ 3700	石灰岩	700 ~ 1500
正长岩	3500 ~ 3800		

表 1-6 不同矿物的各种硬度

矿物名称	莫氏硬度 HM	显微硬度			赫兹硬度 HZ	压入硬度 Hy	肖氏硬度 HS
		布氏 HB	维氏 HV	诺氏 HK			
滑石	1	—	25	—	50	50	6
盐岩	—	—	200	—	—	—	—
石膏	2	222	360	330	140	205	8
方解石	3	818	1100	1350	920	1170	33
硬石膏	—	—	2200	1700	—	—	—
白云石	—	—	3250	—	—	—	—
萤石	4	1500	1890	1630	1100	1600	37
磷灰石	5	2660	5360	3600 ~ 4930	2370	2410	40
长石	6	4150	7950	4900 ~ 5600	2530	2930	79
燧石	—	—	9250 ~ 10000	7450	—	—	—
石英	7	5840	11200	7100 ~ 9020	3080	4830	86
黄玉	8	—	14300	12500	5250	5020	89
刚玉	9	—	20600	17000 ~ 22000	11500	7100	88
金刚石	10	—	100000	80000 ~ 85000	—	—	—

对于钻进破碎岩石来说,因为工具对孔底岩石的破碎方式在大多数情况下是局部破碎,所以硬度指标更接近钻进破碎岩石的实质。因此,岩石的压入硬度比单向抗压强度更接近实际情况,更具有研究的意义。

岩石的硬度也存在各向异性,通常垂直层理方向的硬度最小,而平行层理方向硬度最大。岩石的硬度直接影响到钻速的大小和钻头的寿命。钻探行业依据硬度指标将岩石可钻性分成12级,见表1-7。

表1-7 依岩石硬度对岩石可钻性的分级

组别	I组:软岩				II组:硬岩				III组:坚硬岩			
可钻性等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
硬度/MPa	≤100	100 ~ 250	250 ~ 500	500 ~ 1000	1000 ~ 1500	1500 ~ 2000	2000 ~ 3000	3000 ~ 4000	4000 ~ 5000	5000 ~ 6000	6000 ~ 7000	>7000

岩石硬度受埋深条件影响,即围压条件影响,在各向均匀压缩的情况下,岩石硬度增加。如:各向压力加大到100MPa时,大理岩的硬度提高到1.86倍,泥灰岩提高到3.06倍,白云岩提高到1.35倍(见表1-8)。对泥质碳酸盐岩、砂岩、粉砂岩的试验也表明:硬度可增大到1.1~3.6倍。在常压下硬度越低的岩石,随着围压增加,其硬度值增长越快。

表1-8 岩石硬度随围压变化情况

各向压力/MPa		0.1	35	65	85	100
压入硬度/MPa	大理岩	80.8	98.0	108.3	118.0	149.0
	泥灰岩	49.8	63.3	77.3	130.1	152.5
	白云岩	367.0	414.9	429.1	456.5	494.4

由此可见,孔底围压越大,岩石硬度越高,破碎岩石越难,钻进速度将会下降。

1.3 岩石的研磨性

岩石的研磨性是指岩石磨损工具的能力,它决定了钻头及切削具的消耗。钻头被磨损,一方面增加了钻头的消耗,另一方面降低了破碎岩石的效率。因此,研究岩石研磨性直接关系到钻头寿命、生产效率和成本。岩石研磨性指标视测定方法而定。岩石按研磨性分类见表1-9。岩石摩擦系数见表1-10和表1-11。

表1-9 研磨杆法所得岩石研磨性分类

研磨性等级	研磨性程度	研磨性指标 (每10min磨损质量)/mg	代表岩石
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)磷灰石岩盐、页岩

续表 1-9

研磨性等级	研磨性程度	研磨性指标 (每 10min 磨损质量) /mg	代 表 岩 石
2	低	5 ~ 10	硫化矿及重晶石、硫化矿泥岩、软的片岩 (石灰质、泥质、绿泥质、绿泥板状)
3	中下	10 ~ 18	碧玉岩、角岩、石英硫化矿石细粒岩浆岩、石英长石细粒砂岩、铁矿石、矽化石灰岩
4	中	18 ~ 30	石英长石细粒砂岩、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、矽化灰岩、碧玉铁质岩玄武熔岩
5	中上	30 ~ 45	石英及长石中粗砂岩、斜长花岗岩、霞石正长岩、细粒花岗岩及闪长岩珍岩、云英岩、煌斑岩辉长岩、片麻岩、矽片黄铁长英岩、滑石棱镁片岩
6	较高	45 ~ 65	中粗粒花岗岩、闪长岩、花岗闪长岩、正长岩、玢岩霞石正长岩、角斑岩、辉岩二长岩、闪长岩、石英及矽化片岩、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

表 1-10 几种岩石的摩擦系数

岩石名称	摩擦系数	岩石名称	摩擦系数
铁质石英岩	0.35 ~ 0.45	石灰岩	0.25 ~ 0.35
花岗岩	0.30 ~ 0.45	泥灰岩	0.20 ~ 0.30
石英质砂岩	0.35 ~ 0.50	黏 土	0.11 ~ 0.29

表 1-11 不同介质下的岩石摩擦系数

岩石名称	岩石表面状况		
	干 燥	水湿润	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 ~ 0.40	0.34 ~ 0.38
弱胶结尖角颗粒砂岩	0.32 ~ 0.42	0.27 ~ 0.40	0.25 ~ 0.35