



SHIYOU

中等专业学校教学用书

钻井概论

李海石
编

石油工业出版社

内 容 提 要

全书共分十章。首先简要地介绍了与钻井有关的石油地质基本知识和岩石的机械性质。然后,对整个钻井工艺的基本理论作了概括而系统的阐述;并对钻井工程的一般事故及钻井工程设计、技术经济指标作了简要地介绍。考虑到教材的系统性及钻井工程在石油勘探开发中的地位,在第一章和第八章,分别加入了适当的石油勘探常识和一般性试油知识。可作为学生自学的内容。

本书亦可供现场有关工程技术人员及石油技工学校师生参考。

钻 井 概 论

李海石 编

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16开本 $7\frac{1}{2}$ 印张 179 千字 印 1—4,000

1989年12月北京第1版 1989年12月北京第1次印刷

ISBN 7-5024-0266-3/TE·262

定价: 1.40 元

前 言

《钻井概论》是根据石油工业部教育司 1986 年 11 月制订的中等专业学校“钻井概论教学大纲”编写的。

本书是石油中等专业学校地质、采油、矿机、泥浆、测井等专业的钻井概论课程统编教材。全书共十章，计划授课 36 ~ 45 学时。在实际教学过程中，各专业可以根据具体的教学要求，对内容和顺序作适当的取舍和调整。

本书由胜利石油学校孟宪金同志担任主审。

本书在编写期间得到孟宪金、郝瑞、蒋震亚、刘铁范等同志的关心和支持，在此深表感谢。

由于编者政治和业务水平有限，编写时间仓促，书中缺点和错误一定不少，热忱地希望各校师生和读者批评指正，以便于进一步修改。

编者

1987.4.

目 录

绪论	(1)
第一章 石油地质及勘探知识	(2)
第一节 岩石、地质年代表及地质图例	(2)
第二节 石油及天然气的形成与储集	(5)
第三节 岩石的机械性质	(7)
第四节 岩石性质与钻井工作的关系	(11)
第五节 钻井中的地质录井工作	(12)
第六节 石油勘探知识	(12)
第七节 石油钻井类型的划分	(17)
第二章 地面钻井设备	(19)
第一节 钻井设备的组成	(19)
第二节 钻井设备(钻机)分类	(20)
第三节 钻机性能参数及系列代号	(20)
第四节 转盘	(22)
第五节 绞车	(23)
第六节 泥浆泵	(25)
第七节 其它设备	(27)
第三章 井下钻井工具	(30)
第一节 钻头	(30)
第二节 钻具	(38)
第三节 钻柱受力分析	(41)
第四节 钻柱疲劳、腐蚀与使用管理	(42)
第四章 钻井泥浆	(44)
第一节 泥浆的功用、组成和分类	(44)
第二节 泥浆常规性能	(46)
第三节 泥浆的固相控制	(49)
第五章 特种钻井	(51)
第一节 海洋钻井	(51)
第二节 定向钻井	(53)
第三节 取心钻井	(58)
第六章 钻井技术	(61)
第一节 钻井参数	(61)
第二节 井斜及其控制	(62)
第三节 喷射钻井	(68)
第四节 优选参数钻井	(72)
第七章 固井技术	(76)
第一节 井身结构	(76)
第二节 套管与套管柱	(78)
第三节 油井水泥与水泥浆	(81)
第四节 注水泥	(82)

第五节 井口装置	(88)
第八章 油井完成及试油工作	(90)
第一节 钻开油气层	(90)
第二节 完井方法	(93)
第三节 试油基本知识	(96)
第九章 钻井一般事故及处理	(97)
第一节 井漏、井塌	(97)
第二节 卡钻	(97)
第三节 钻具事故及其处理	(99)
第四节 井下落物及打捞	(103)
第十章 钻井工程设计及技术经济指标	(104)
第一节 钻井工程设计	(104)
第二节 钻井技术经济指标	(106)
附录 本书所用法定计量单位与非法定计量单位换算表	(111)
参考文献	(112)

绪 论

一、钻井工作在石油勘探开发中的地位

在石油和天然气的勘探开发中,钻井工作占有相当重要的位置。它是进行石油勘探的主要方法之一。石油地质和地球物理勘探一般是向人们揭示石油和天然气在地下的存在和形成,揭示地下可能存在的油气储集构造和储集的条件。至于这些构造是否真正含有工业性油气流,则必须通过钻井工作来证实。同时,要把石油和天然气从地下很深的地方开采出来,没有钻井工作,那是绝对不可能的事情。即使对于已经充分证实含有工业性油气流的油气藏,也会因为钻井工作的某些不恰当处理,使油气不能顺利地,甚至根本开采不出来。实践证明,没有钻井工作,就很难或者说就不可能发展石油及天然气的勘探开发事业。

二、本课程与其它相邻专业的关系

钻井工艺技术的迅速发展,向从事石油勘探开发工作的人员提出了越来越高的要求。要优质、快速、安全地进行石油勘探和开发,就要求从事这项工作的所有技术人员在精通本专业基础知识的基础上,懂得更多的钻井知识。同时,从钻井专业和地质、采油、矿机、泥浆等其它相邻专业的密切关系来看,也要求他们要懂得更多的钻井知识。一般说来,地质工作首先要为钻井工程提供原始资料,钻井工程反过来用自己的实践进一步充实和验证地质资料。所以,地质工作者学习钻井工艺的有关基本理论知识,并通过一定的实习了解钻井工艺过程,可以进一步明确钻井专业与地质专业的密切关系,明确钻井工艺对地质工作的要求,从而为深入学习本专业的专业课程,进行石油地质设计、油井综合评价等工作打下较好的基础。石油钻井机械是为钻井工作提供装备的,要搞好装备就必须懂得工艺,熟悉工艺。因此,矿场机械专业的技术人员在学习钻井工艺有关基本知识的同时,通过一定的实习了解钻井工艺过程,可以进一步明确钻井工艺对钻井机械及设备的要求,进一步熟悉钻井机械及各种钻井设备的工作条件与使用操作状况,从而为加深本专业专业课程的学习,以及将来从事石油钻机设计、制造、修理和维护打下必要的基础。至于采油专业和泥浆专业和钻井专业的关系,也是十分密切的,这里不再一一赘述。

本教材正是基于上述想法而编写的。它适合于地质、采油、矿机、泥浆测井等非钻井专业使用。

第一章 石油地质及勘探知识

第一节 岩石、地质年代表及地质图例

地层是由岩石构成的。岩石依其成因的不同,可以分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。

岩浆岩(火成岩): 地下的高温高压岩浆在一定的地质作用下由地壳深处上升, 经过冷却凝固之后形成的岩石就是岩浆岩。它的特点是: 呈现块状, 没有层理, 致密而坚硬, 例如花岗岩、玄武岩和正长岩等。

沉积岩: 火成岩、变质岩和早期形成的沉积岩、经过风化作用形成碎屑物质及溶解物质, 再经过搬运、沉积和成岩作用形成的岩石。沉积岩有层理、有孔隙、有裂缝和溶洞等, 并且, 其中还有各种古代动植物残骸和遗迹所形成的化石。

变质岩: 它是沉积岩或火成岩由于地壳内部的物理化学条件发生变化, 诸如高温高压, 岩浆活动等影响下, 改变了原来的矿物成分、结构和构造, 变质成新的岩石, 例如石灰岩变成大理岩等。

石油和天然气生成在沉积岩内, 绝大多数也储集在它的孔隙、裂缝和溶洞中。火成岩和变质岩则很少有石油和天然气的存在。因此, 有必要对沉积岩进一步加以了解。沉积岩可以分为:

砂岩: 普通的砂粒通过一定胶结物(泥质、灰质、铁质、硅质)胶结形成的碎屑岩。根据其颗粒直径的不同又可将其分为: 粗砂岩、中砂岩、细砂岩和粉砂岩, 如表 1-1 所示。

表 1-1 砂岩的分类

岩石名称	粗砂岩	中砂岩	细砂岩	粉砂岩
颗粒直径, mm	0.5 ~ 1	0.25 ~ 0.5	0.1 ~ 0.25	0.01 ~ 0.1

砂岩具有孔隙、裂缝, 是储存流体(油、气、水)的良好环境。岩石孔隙体积与岩石总体积之比称为该岩石的孔隙度。

由于岩石中存在着孔隙, 在压力差的作用下, 能通过油、气、水的这种性质就叫做岩石的渗透性。渗透性的好坏由渗透率的大小来衡量。所谓渗透率就是在给定的条件下, 某物质(流体)透过多孔材料的速率。它是由岩石本身决定的, 与岩石骨架有关系的物理量。

孔隙度较大的砂岩, 裂缝比较发育的灰岩都是渗透性较好的岩石。

泥岩: 颗粒直径小于 0.01 mm 的碎屑物质经过成岩作用而形成的, 其主要矿物成分为粘土矿物。呈块状者, 称为泥岩。发育有页理者, 称为页岩。富含石油质的页岩, 称为油页岩, 可以用来提炼石油。

石灰岩: 俗称石灰石, 主要成分是碳酸钙, 呈块状, 致密而坚硬。由于地壳运动的作用和地下水的侵蚀, 常常有裂缝和溶洞, 石油和天然气即储存在其中。

地质年代表: 由于沉积岩地层是在不同时期沉积的。先沉积的就是老地层, 后沉积的就是新地层。根据地层岩石里的化石和其中所含某些放射性同位素(如铀、钍、钾等)的蜕变规律, 可以判断该地层的沉积年代。如果把各地大致在同一时期沉积的某段地层称为某地质年代的地层, 将其上部新沉积的地层称为另一新的地质年代的地层, 然后, 从最老一直按顺序

排列到最新; 那么, 就得到了地质年代表, 如表 1 - 2 所示。

表 1-2 地质年代生物历史对照表

代(界)		纪(系)		世(统)	距今年龄 百万年	开始繁殖的生物	
						植物	动物
新 生 代 Kz	第四纪 Q		全新世 Q ₂ 更新世 Q ₁	2			
	第三纪 R	晚第三纪 N	上新世 N ₂ 中新世 N ₁	28			
		早第三纪 E	渐新世 E ₃ 始新世 E ₂ 古新世 E ₁	68 ~ 72		← 哺乳动物	
中 生 代 Mz	白垩纪 K		晚白垩世 K ₂ 早白垩世 K ₁	130 ~ 140	← 被子植物		
	侏罗纪 J		晚侏罗世 J ₃ 中侏罗世 J ₂ 早侏罗世 J ₁	175 ~ 185			
	三叠纪 T		晚三叠世 T ₃ 中三叠世 T ₂ 早三叠世 T ₁	220 ~ 230		← 爬行动物	
古 生 代 Pz	二叠纪 P		晚二叠世 P ₂ 早二叠世 P ₁	265 ~ 275	← 裸子植物		
	石炭纪 C		晚石炭世 C ₃ 中石炭世 C ₂ 早石炭世 C ₁	330 ~ 350		← 两栖动物	
	泥盆纪 D		晚泥盆世 D ₃ 中泥盆世 D ₂ 早泥盆世 D ₁	370 ~ 390			
	志留纪 S		晚志留世 S ₃ 中志留世 S ₂ 早志留世 S ₁	410 ~ 430		← 鱼类	
	奥陶纪 O		晚奥陶世 O ₃ 中奥陶世 O ₂ 早奥陶世 O ₁	485 ~ 515	← 蕨类植物		
	寒武纪 e		晚寒武世 e ₃ 中寒武世 e ₂ 早寒武世 e ₁	580 ~ 620			
	震旦纪 Z			900 ~ 1000			
元 古 代 Pt	中晚元古代 Pt ₂			1800 ~ 2000	← 菌藻类植物		
	早元古代 Pt ₁						
太 古 代 Ar				4500 ?			
地球最初发展阶段				6000 ?			

油 页 岩		竹叶状灰岩		粘土质砾石		动物化石		丘状构造	
泥 岩		竹叶状白云岩		砂 姜		植物化石		短轴构造	
砂质泥岩		石灰岩		粗 砂		脊椎动物		似梳状构造	
砂质灰岩		白云质灰岩		中 砂		鱼化石		梳状构造	
粉砂质泥岩		含白云石灰岩		细 砂		瓣鳃类		箱状构造	
含砾泥岩		白云岩		粉 砂		腕足类		倒转背斜构造	
钙质泥岩		灰质白云岩		泥质粉砂		藻 类		构造类型不明	
碳质泥岩		含灰白云岩		砂质粘土		孢 粉		高尖构造	
碳质页岩		含泥石灰岩		粉砂质粘土		介形虫		高陡构造	
白云质泥岩		泥 灰 岩		植物堆积层		有孔虫		高缓构造	
石膏质泥岩		含泥白云岩		腐植土层		蕨		低陡构造	

图 1-1 地质图例

应该指出的是，地质年代的单位 and 地层的单位是一一对应的。例如：在表 1-2 内，在中生代、侏罗纪、中侏罗世这些地质年代中沉积的地层，就分别叫做中生界、侏罗系、中侏罗统。在这些地层中可以发现被子植物的化石等。

地质图例：在钻井地质中，为了方便，常用简明的图例来表示各种岩层，以及在钻井过程中可能遇到的油、气、水显示等。钻井地质主要图例如图 1-1 所示。

利用地质图例，将地层按照沉积顺序表示出来，并注明各段地层的顶部位置和厚度，钻井时可能遇到的油、气显示等，就组成了常用的地质柱状剖面图，如图 1-2 所示。

地层单位	柱状剖面图	厚度 (米)	累计 (米)	岩层简述
白垩系		8.5		黄褐色泥质石灰岩
		7.0	15.5	暗灰色粘土质页岩
侏罗系		11.5	27.0	暗灰色粘土，底部为砾石
二叠系		18.5	45.5	白色石英质砂岩，与上层不整合
		5.0	50.5	灰色石英质灰岩
石炭系		15.0	65.5	淡红色厚层砾岩
		10.0	75.5	薄层页岩，砂岩夹煤层
		12.0	87.5	灰色白云岩与上层不整合
奥陶系		7.5	95.0	浅黄色泥质石灰岩

图 1-2 地质剖面举例

第二节 石油及天然气的形成与储集

一、石油及天然气的一般特性

自地下开采出来，未经提炼的石油就是常说的原油。它主要由碳、氢两种元素组成，其中碳约占 83 ~ 87%，氢占 10 ~ 14%。此外，还有少量的氧、硫、氮等。

天然气主要是由甲烷、乙烷、丙烷和丁烷组成的可燃性气体，其中混杂有少量的二氧化碳、硫化氢和氮气等。正因为这样，有人也将石油和天然气统称为碳氢化合物。

原油的颜色、密度、粘度、溶解性、凝固点等物理特性是一般评价原油性质的依据。

原油一般呈棕色、褐色或黑色，还有无色透明的凝析油。原油的颜色越淡，质量越好。

原油的密度（在一定温度下，单位体积的原油质量）比较小的，其质量较好。

原油的粘度（流动时，其分子之间产生摩擦阻力的性质）比较小者，流动性较好。

原油可以溶解于有机溶剂的性质称为溶解性。它不溶于水，但可与天然气互溶。溶有天然气的石油粘度小，有利于开采。

原油冷却到失去流动性的温度称为凝固点。原油的凝固点和其含蜡量有关，含蜡量少的，凝固点较低，并且有利于开采和集输。

二、石油及天然气的形成

现在埋藏在地下的石油和天然气是由古代的生物遗体、在适宜的自然环境和地质条件下生成的。

古代的动物、植物及其它生物——浮游生物遗体在低凹地带的浅水地区，如浅海、海湾盆地、内陆湖泊、沼泽地等发生沉积，形成有机淤泥。一些河流又把陆地上的枯萎动植物及已经形成的淤泥带入这些浅水地区，使其与原来的浮游生物混合在一起。然后，后沉积的泥砂层和盐分又把它们覆盖起来，使这些有机物质和空气相隔绝，处于缺氧还原的环境。日积月累，随着沉积物的堆积，地层不断加厚，压力和温度也随之增加。有机物质便在适宜的温度和压力条件下，再加上细菌作用等等，腐烂变质，经过一系列复杂的物理化学变化，而转变成石油和天然气。

三、石油及天然气的储集

石油在生成过程中,一般是分散存在的。只有当这些分散的石油和天然气、遇有适宜的地质构造条件,经过运移和储集以后,才能形成具有工业价值的油、气藏。那么,哪些地方适宜于石油及天然气的储集呢?石油及天然气的储集又有哪些规律呢?要了解这些问题,首先应该弄清楚什么是地质构造,它有哪些类型等问题。

所谓地质构造,就是由于地壳运动,使组成地壳的岩层岩体发生变形和变位,改变其原始产状。这些变形和变位可以分为背斜构造、向斜构造、单斜构造和断层等。

如果这些构造能够通过非渗透性岩层形成圈闭;那么,储集在其中的石油及天然气就有可能形成具有工业价值的油、气藏。

众所周知,石油和天然气都具有很好的流动性。在沉积岩内,形成的石油及天然气往往要保存千千万万年,在如此漫长的过程中,沉积岩上面会逐渐形成一层厚实的非渗透性坚硬岩层,它就象“屋顶”一样严严实实地盖住下面的沉积岩。同时,这些坚硬的岩层会对下边松软岩层产生相当大的压力,由于压力的作用,油、气(流体)便缓慢地流过这些孔隙,上升到部位较高的岩层中去。随着时间的推移,越升越高,越集越多,直到碰至上边的非渗透层“屋顶”为止。这样以来,石油及天然气便被限制在一个“陷阱”即“石油圈闭”之中。可见,具有好的圈闭乃是使分散油、气聚集成具有工业价值油、气藏的必须条件。一般说来,油、气藏的形成应该具有以下四个条件:

生油层——其中的有机物质在成岩过程中,逐渐变为石油及天然气。

储油层——能够储集油、气的地层。例如,孔隙度较大的砂层,缝缝洞洞比较发育的石灰岩地层等。

盖层——位于储油层之上,不会使油、气流散、氧化的地层。例如,泥岩、页岩等致密地层。

圈闭——它是由地质构造或同一时期沉积物岩性变化而形成的,可以阻止油、气继续向前运移,并在那里将油气蓄存起来形成油气聚集的一种场所。它是油气藏形成的重要条件,而且它的形成条件决定着油气藏的基本特征。以圈闭的成因为依据可以将油气藏划分成两大类型:

构造油气藏——油气在由构造因素形成的圈闭内聚集所形成的油气藏。

地层油气藏——油气在由地层因素(例如岩性等)形成的圈闭内的聚集。

1. 构造油气藏

按照不同地质构造将这种油气藏分为:

背斜油气藏:油气在背斜构造所形成的圈闭内聚集而形成的油气藏。它是最为常见的油气藏,如图1-3所示。

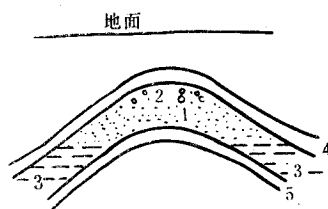


图1-3 背斜油气藏

- 1—石油; 2—天然气; 3—水;
4—非渗透性泥岩盖层;
5—非渗透性泥岩底层

断层油气藏:由于地壳运动产生的压挤或拉伸作用,在使岩层弯曲的同时,由于应力超过岩层强度,致使岩层发生断裂,并且在断裂过程中,使断裂面两侧的岩层发生显著的相对位移,由这种断裂形成的地质构造称之为断层构造。在发生相对位移的断裂面(断层面)处渗透性岩层被非渗透性岩层遮挡而形成圈闭,油气在其中聚集并形成油气藏即为断层油气藏,如图1-4所示。

2. 地层油气藏

地层的超覆和不整合形成了圈闭,油气在这种圈闭中的聚集并形成油气藏即为地层油气藏。地层油气藏还包括由于岩性的变化所形成的油气藏,如岩性油气藏。常见的地层油气藏有岩性油气藏(图1-5)、地层超覆油气

藏 (图 1-6) 和地层遮挡油气藏 (图 1-7) 等。

四、油、气田

通常把同一区域范围内并有成因联系的油气藏合起来称为油、气田。在同一油气田内, 可以是许多或几个相同类型的油气藏, 也可以是多种类型的油气藏。从前边的图中可以看出, 石油及天然气往往被圈闭在一个构造之内, 由这样的油气藏组成的同一面积内的总体就是通常所说的油田。但是, 也有一些只圈闭着天然气, 它就是通常所说的气田, 例如, 我国四川的一些气田。

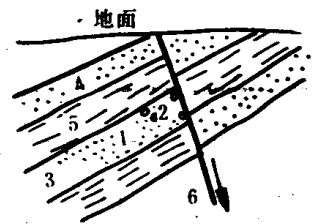


图 1-4 断层遮挡油气藏

1—石油; 2—天然气; 3—水;
4—砂岩; 5—泥岩; 6—非渗透性断层

第三节 岩石的机械性质

岩石是钻井工作的主要对象, 要钻穿地层形成井眼, 就必须大量地破碎岩石。因此, 了解岩石的机械性质对钻井工作具有十分重要的意义。

岩石在外力作用下, 由变形到破碎所表现的一些性质, 叫做岩石的机械性质。根据钻井破碎岩石的特点, 与钻井工作密切相关的岩石机械性质主要有硬度、强度、塑性、研磨性和可钻性等。现简介如下:

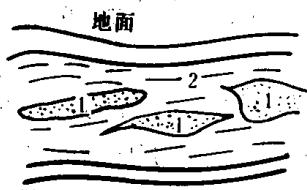


图 1-5 岩性圈闭油气藏

1—被圈闭的油砂体;
2—非渗透性泥岩

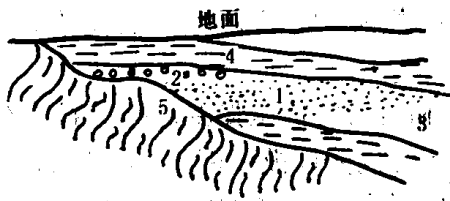


图 1-6 地层超覆油气藏

1—石油; 2—天然气; 3—水;
4—泥岩; 5—变质岩基底

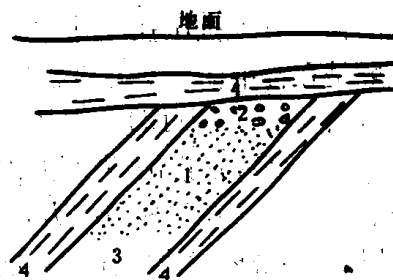


图 1-7 地层遮挡油气藏

1—石油; 2—天然气; 3—水;
4—非渗透性岩层

一、硬度与强度

岩石的硬度是岩石在某种应力作用下(例如, 钻头工作刃的压入、压模的压入等)抵抗压入破坏的能力。岩石硬度和岩石颗粒的成分、大小以及颗粒之间胶结物的性质等因素有关系。在泥质、灰质、铁质、硅质胶结中, 尤以硅质胶结的岩石硬度较大。例如硅质胶结的石英砂岩便是硬度较大的岩石。

在钻井中, 依靠钻头工作刃的压入作用是破碎岩石的前提, 也是外力作用于岩石的主要形式。所以, 从这个意义上讲, 又可以将岩石的硬度定义为岩石的抗压入强度。也就是说, 可以认为, 岩石在发生破坏的瞬时, 作用在单位面积上的力, 就是岩石的硬度。其单位是 kgf/mm^2 。

目前, 测定硬度常用的方法是苏联史立涅尔 (Шрейнер Л. А.) 提出的圆柱压入法。在这种方法中, 将岩石的硬度定义为产生脆性破坏时, 接触面上单位面积内所承受的载荷, 如果用 F 代表作用载荷 (kgf), 用 A 代表接触面面积 (mm^2), 则该硬度 p_y (kgf/mm^2) 为:

$$p_y = F/A$$

$$p_y = \frac{F}{A} \quad (1-1)$$

按照这种硬度的大小，可以将岩石划分成六类 12 级，如表 1 - 3 所示。

表 1 - 3 岩石按硬度分类

类别	软		中软		中硬		硬		坚硬		极硬	
级别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
硬度 kgf/mm ²	≤10	10 ~ 25	25 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 150	150 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 400	400 ~ 500	500 ~ 600	600 ~ 700	>700

在石油钻井过程中，经常遇到的岩石和其硬度的对应关系如表 1 - 4 所示。

表 1 - 4 常见岩石及其硬度

岩石名称	硬度级	岩石名称	硬度级
泥 岩	1 ~ 2	粉 砂 岩	3 ~ 5
泥 板 岩	3 ~ 4	砂 岩	4 ~ 8
泥灰岩和石灰岩	4 ~ 6	硬 石 膏	4 ~ 5
白 云 岩	5 ~ 7	石英砂岩、石英岩、燧石等	>9

岩石的强度就是岩石抵抗破坏的能力。按照促使岩石发生破坏的应力形式，可以将岩石的强度分为抗压强度、抗拉强度、抗剪强度，其数值可以通过相应的试验来确定。这些试验一般是在标准的一英寸直径岩心或者从一固定地点，在已知方向上所取得的圆柱形(或立方形)岩石材料上进行的。

应该特别指出，岩石的硬度和岩石的抗压强度是两个截然不同的概念。岩石的硬度实际上反应了岩石在多向应力状态下的抗剪切极限能力。当岩石承受钻头工作刃等单向压力作用时，势必要发生沿压力方向的纵向缩短和横向膨胀。但是，它在这两个方向上的变形都会受到周围岩石的阻力，从而使受压岩石处于多向压缩的应力状态之下。可见，岩石的硬度表示了岩石在多向应力状态下抗压入强度的大小。而抗压强度则是岩石在单向应力状态下的强度。因此，作为单向应力状态下，岩石的强度值，并不能代表钻井时岩石的机械性质。

岩石硬度不同于金属硬度，既不是布氏硬度，也不属于洛氏和维氏硬度。

二、塑性与脆性

岩石在破坏之前，呈现永久变形的性质，就是岩石的塑性。

岩石在破坏之前，只有弹性变形没有永久变形，一旦压力达到一定值以后就直接发生破坏的性质，就是岩石的脆性。

岩石呈现塑性和脆性与组成它的矿物成分、颗粒胶结、晶体结构有关系。矿物晶体内晶格解理面的发育会使其具有脆性；晶格内滑移面的存在会使其呈现塑性。对于大部分沉积岩来说，其塑性变形(永久变形)则是由于构成它的颗粒之间沿界面发生了相对滑移的结果。

各种岩石由于性质不同，它们在压入情况下，由变形到破坏的过程中呈现出的特点也不相同。大致可以将其分为三种类型。

第一类，岩石在发生破坏前，没有塑性变形而直接破坏，通常称其为脆性岩石，例如花岗岩等。

第二类，岩石是先发生弹性变形，再发生塑性变形，最后产生脆性破坏，这就是常说的塑脆性岩石。例如，灰岩、砂岩等。

第三类，岩石在受压后发生很大的塑性变形，而不产生脆性破坏，它们被称为塑性岩石。例如，粘土、软泥岩等。

从试验知道，各类岩石的塑性变形程度是不相同的。为了衡量岩石塑性的大小，目前，以塑性系数来表示。塑性系数在数值上等于岩石破坏前变形的总功与破坏前弹性变形功之比，即：

$$k = W_F / W_E \quad (1-2)$$

式中 k —— 塑性系数；

W_F —— 破坏前变形的总功；

W_E —— 破坏前的弹性变形功。

按照岩石塑性系数的大小，可以把岩石分为三类 6 级，如表 1-5 所示。

表 1-5 岩石按塑性系数分类

类 别	脆 性	塑 脆 性				塑 性
		低塑性  高塑性				
级 别	1	2	3	4	5	6
塑性系数 k	1	>1 ~ 2	2 ~ 3	3 ~ 4	4 ~ 6	>6 ~ ∞

钻井过程中经常遇到的岩石，例如粘土、泥灰岩、泥页岩等的塑性系数 $k = 2 \sim \infty$ ；钙质砂岩的 $k = 1 \sim 3$ ；硅质砂岩、石英砂岩的 $k = 1 \sim 2$ ；石灰岩的 $k = 2 \sim 5$ 。

三、研磨性

在采用机械方法破碎岩石的过程中，破岩工具例如钻头的工作刃，和岩石产生连续的或间歇的接触与摩擦，从而在破岩的同时，会使这些工具的本身受到岩石的磨损，逐渐变钝和破坏。通常将岩石磨损这些工具的能力称为岩石的研磨性。

岩石研磨性的大小，主要受岩石颗粒的成分、形状、大小以及胶结物的性质等因素的影响。

研磨性是一个相对概念。目前，虽然已经提出了一些测定岩石研磨性的方法和指标，但是，还没有一个统一的测量和表示方法。苏联史立涅尔等人曾利用通过确定一个转动金属圆环，在岩石表面上相互摩擦时的磨损量作为度量岩石研磨性的指标。他们的试验证明，对于大部分矿物和岩石来说，金属环单位摩擦路程的磨损不取决于圆盘的旋转速度，而只与垂直施加在圆环上的载荷 F 成正比。因此这类岩石的研磨性质可以用一个比例常数 ω 来表示， ω 被称为研磨性系数，即：

$$\Delta V_s = \omega A p_c = \omega F \quad (1-3)$$

式中 ΔV_s —— 金属环单位摩擦路程的磨损， cm^3/m ；

ω —— 研磨性系数；

A —— 金属环与岩样接触面积， mm^2 ；

p_c —— 接触压力， 10^5 Pa ；

F —— 摩擦面上的接触载荷， kgf ；

从式(1-3)可以看到，研磨性系数实际上是在 1 公斤力的垂直载荷作用下，与岩石产生单位摩擦路程的金属环磨损体积。

尽管取金属的单位摩擦路程磨损作为度量岩石研磨性的指标是实践所需要的；但是，由于金属的磨损不仅与摩擦的路程有关，而且与它所磨掉的矿物或岩石的数量有关。因此，史立涅尔提出了另一个度量岩石研磨性的指标，这个指标既考虑了金属磨损的体积，同时也考虑了在相互研磨过程中所磨掉的岩石体积。这个指标称之为“相对磨损量” ω_0 ，它等于在单位摩擦路程中钢的磨损体积 ΔV_s 与岩石磨损体积 ΔV_R 的比值，即：

$$\omega_0 = \frac{\Delta V_s}{\Delta V_R} \quad (1-4)$$

“相对磨损量”在试验中是一常数，并不随实验载荷与转数而变化。所以， ω_0 作为评价岩石研磨性指标具有更大的优越性。

为了在实际应用中建立岩石相对研磨性的比较，从而能对设计钻井工具，钻头及选择使用参数并预计应用效果和对实际矿场使用效果分析等提供参考依据。根据一些实验和研究结果，将各种岩石的相对研磨性列于表1-6中。

表1-6 各种岩石的相对研磨性

研磨性 级 别	岩石名称及特点
1	泥岩和不含石英颗粒的碳酸盐岩、石膏
2	石灰岩
3	白云岩
4	硅质岩石、燧石
5	含铁、镁岩石及含5%石英的岩石
6	长石岩
7	含石英多于15%的长石岩和含石英颗粒约10%的岩石
8	石英晶质岩石
9	石英碎屑岩，硬度 $\geq 350 \text{ kgf/mm}^2$
10	石英碎屑岩，硬度 $= 200 \sim 350 \text{ kgf/mm}^2$ ，或含石英颗粒20%的岩石
11	石英碎屑岩，硬度 $= 100 \sim 200 \text{ kgf/mm}^2$ ，或含石英颗粒30%的岩石
12	石英碎屑岩，硬度 $< 100 \text{ kgf/mm}^2$

四、岩石的可钻性

岩石可钻性是决定钻井工作效率的基本因素之一。一般认为岩石被破碎的难易程度就是岩石的可钻性，据此可将岩石分为难钻的和易钻的。在有些情况下，可钻性可以被确定成岩石在井底抵抗钻头破碎它的能力。

岩石可钻性是一个包括自然、工艺和技术性因素在内的多变量函数。所以，到目前为止，适合于油气井钻井条件的岩石可钻性问题，还是一个尚未彻底解决的问题。尽管多年来已经有了研究可钻性、确定可钻性指标的一些方法，但是，目前还没有给出通用的可钻性指数和分类，而只能给出以两种岩石可钻性分类的基本方向。即建立在生产工艺指标上或建立在岩石机械性质上的可钻性分类。可以预见，这个问题会在不久的将来，通过进一步研究试验而最终得以解决。

第四节 岩石性质与钻井工作的关系

岩石是钻井工作的直接对象。要快打井、打好井，就必须了解各种岩石性质的同时，进一步明确它们与钻井工作的关系，制定出切实有效的钻井技术措施，高速优质地发展钻井事业。概括说来，可以把岩石性质与钻井工作的关系归纳成下述几个方面。

一、岩石的性质

岩石性质，尤其是岩石的硬度、研磨性、塑性、可钻性都直接影响着钻头的工作指标和钻井效率。由于岩石性质是相互联系的，所以在具体工作中，不能只考虑某一个性质而必须综合全面地分析，再据以选择钻头、选择钻进参数、合理使用钻头。一般来说，在软塑性地层中，宜用刮刀钻头，依靠钻头吃入岩石较深的特点，大块地切削岩石；在脆硬的地层中，适宜于选用齿多、齿密的硬地层牙轮钻头或球齿钻头、硬质合金钻头、金刚石复合片钻头(PDC)，依靠冲击、压碎作用破碎岩石；在研磨性较大的地层中，除了选择适当类型的钻头以外，还要注意适当地加大钻压，以便能破碎出较大颗粒的岩屑，相对地减小岩石对钻头的磨损，获得较高的钻速和进尺；同时，还要掌握好钻头工作时间，避免钻头牙齿、牙爪、轴承过多地被磨损。

二、岩石本身的稳定性

岩石自身的稳定性，常常和钻井中的井壁坍塌、掉块、卡钻等复杂情况与事故有直接关系。岩石及其胶结物的成分例如石膏和岩盐等，往往会破坏钻井泥浆的性能；岩石中的裂缝、溶隙、孔洞则会使钻井过程中发生井漏等复杂情况；岩石中存在的高压流体(油、气、水)又会引起井喷。岩石稳定性、软硬交错的变化、地层的倾斜和走向，都可能造成井径不规则和井眼倾斜等。所有这些不仅影响了钻头的工作指标，而且影响着整个钻井效率，质量和成本。

三、岩石的成分

组成岩石的成分不同，对钻井工作的影响也不相同。下边简要介绍几种常见岩石对钻井工作的主要影响。

1. 粘土、泥岩和页岩层

这种岩层极易吸收泥浆中的自由水而膨胀，使井眼形成“缩径”，造成起下钻遇阻，甚至发生卡钻；随着泥浆浸泡时间的延长，又会产生掉块剥落，形成井径扩大，造成井壁垮塌。特别是灰质页岩，其胶结力量很弱很脆和有页理而更容易坍塌。这种岩层一般比较软，可钻性好，钻速快，但容易泥包钻头，应做好泥浆泵和维护，大排量冲洗井底；并掌握清水浸泡泥岩垮塌的规律，使用低密度、低粘度泥浆或清水钻进。

2. 砂岩

砂岩，其性质依颗粒的大小、成分及胶结物的不同存在着很大的差别。颗粒愈细，含石英颗粒愈多，硅质和铁质胶结物愈多，其硬度愈大，例如石英砂岩；泥质胶结物愈多，云母和长石的成分愈多，其硬度就愈低；颗粒愈粗，胶结物愈少，其渗透性愈好，愈容易产生渗透性漏失，在井壁愈容易形成厚而粗糙的泥饼，可能引起泥饼粘附卡钻等复杂情况。孔隙度大的砂岩是油、气、水储集的良好环境，钻进时可能引起泥浆的油、气、水侵，应当既注意以适当泥浆密度保护油、气层不受侵害，又注意防止井喷。

3. 砾岩

在砾岩地层中钻进很容易产生跳钻、蹩钻和井壁垮塌，泥浆排量比较小或粘度比较低时，不容易将钻碎的砾石颗粒带出地面。

4. 石灰岩

石灰岩一般比较坚硬、可钻性较差。有的石灰岩裂缝比较发育，甚至存在有溶洞，钻头钻遇这些缝洞时，会出现蹩钻、放空、井漏等复杂情况；有的缝洞会有油、气、水，所以，往往会在发生井漏之后接着井喷。如何进行中途测试，完井投产，正确的堵漏工艺和迅速有效地控制井喷，是石灰岩地区钻井的突出问题。

第五节 钻井中的地质录井工作

钻井过程中收集地下地质资料的工作就叫做地质录井工作。通过地质录井，可以掌握第一手地质资料，搞清地下的地质情况。地质录井工作一般可以分为：

一、砂样录井

规定新探区每钻进一米进尺，地质工便到泥浆筛前取一次砂样，洗净、晾干、用砂样袋装好，依次编号，注明井号、井深、日期，妥为保存。若发现含油砂样，应立即进行化验，据以了解含油情况。

二、岩心录井

在生产层或者其它关键层位，利用取心钻井的方法（参见第六章）从井下取出整段岩心就是岩心录井。岩心是最能确切反映地下岩层情况的宝贵资料。

三、钻时录井

记录每钻进一米进尺所需要的时间，并依照井的深度绘制成钻井的深度——时间曲线。由于地层岩石的软、硬不同，反映出钻进的速度也不同。所以，该曲线可以作为判断地层情况的参考资料。

四、泥浆录井

钻遇不同地层时，地层对泥浆性能会产生不同的影响。例如，钻遇油、气层时，泥浆粘度增加，密度下降，返出地面的泥浆会出现油花、气泡等。因此，记录泥浆性能在钻进过程中的变化可以作为研究地层的一项资料。

五、地球物理测井（电测）

地球物理测井，就是沿所钻井眼自下而上测出岩层的各种物理性质曲线。它是以电测车来完成的。因为不同岩石的导电能力、自然电位、自然伽马射线及受中子冲击作用放射的伽马射线之强度不同，同一钻头钻穿不同岩层的井径也不同。因此，根据测井曲线，配合其它录井方法取得的资料，进行综合对比，分析解释，便能正确地分辨地层，了解地层含油、气、水的情况。

第六节 石油勘探知识

要找到埋藏在地下的油气藏，就要进行勘测和探查。随着生产经验的积累和科学技术的发展，目前有地质、地球物理和钻探三种勘探方法。

一、地质法

地质法又叫地面地质调查法。首先，人们通过“航空测量”，在飞机上对地面摄影，再利用立体显微镜观察研究这些照片所显示的立体图，得出勘测区域的地质地形图。此后便进行艰苦的“地面踏勘”，直接观察地表的地质现象，寻找露在地面的“油气苗”或者将找到的某种岩石进行切片，制成“岩样”，送往实验室，利用显微镜观察，寻找岩石上可能存在的、生成石油的植物和浮游生物化石。有时，可能会直接找到某一圈闭中逸出的石油。通过这样取