

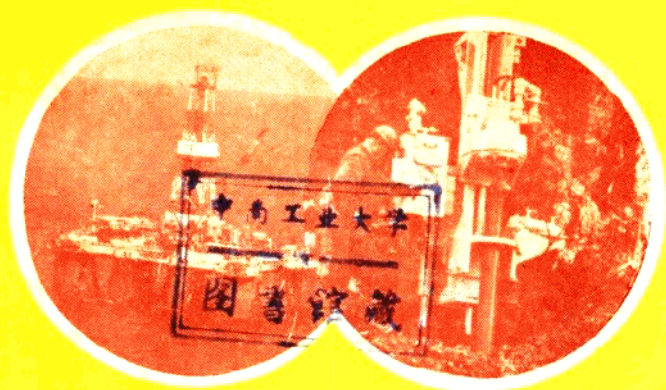
660159

高等学校教学参考书

钻探工艺与技术

(1983年第三版)

[苏] Φ ·A·沙姆舍夫 等著



中南工业大学

图书馆藏

地质出版社

高等学校教学参考书

钻探工艺与技术

(1983年第三版)

〔苏〕 Ф.А.沙姆舍夫
C.Н.塔拉卡诺夫 Б.Б.库德利雅绍夫 著
Ю.М.帕利斯基 А.М.雅考夫列夫

杨学涵 吴光琳 译
张祖培 何玉明
高 森 校

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本书为苏联高等学校教材(补充和修订的第三版)。全书由著名的技术功勋活动家、技术科学博士、教授Ф·А·沙姆舍夫主编。

全书分四篇十三章,内容包括:钻进过程的理论基础;固体矿产的钻进设备与工艺;钻井复杂情况的预防与处理;钻孔的弯曲和定向问题;油、气井矿产的勘探钻进技术与工艺特点等。

本书第二版于1973年问世以来,不断修订扩充。第三版主要增补了有关岩石破碎方法、冲洗介质的制造和再生作用。并论述了新型钻机机组,碎岩和绳索取芯钻进工艺。

本书除可作高等院校、中等专业学校探工专业师生的教学参考书,也可供地质、冶金、煤炭、石油、建材、铁道、水电等部门从事勘探施工、管理的现场技术人员、技术工人参考使用。

Технология и техника разведочного бурения

Авторы:

Ф. А. Шамшев, С. Н. Тараканов, Б. Б. Кудряшов,

Ю. М. Парийский, А. М. Яковлев.

© Издательство «Недра», 1983

高等学校教学参考书

钻探工艺与技术

(1983年第三版)

[苏] Ф.А.沙姆舍夫

С.Н.塔拉卡诺夫 Б.Б.库德利雅绍夫 著

Ю.М.帕利斯基 А.М.雅考夫列夫

杨季涵 吴光琳 张祖培 何玉明 译

高 森 校

责任编辑:李源明

地质出版社出版
(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所发行

开本: 850×1168 $1/32$ 印张: 17.4375 字数: 461,000

1988年6月北京第一版·1988年6月北京第一次印刷

印数: 1—2,000册 定价: 3.45元

ISBN 7-116-00141-7/P·125

前 言

本教程（第三版）是考虑到当前地质勘探钻进工程领域中技术方面已经有了重大的进展，并按照《勘探钻进工艺与技术》（钻探工程）课程教学大纲，对原书在内容上作了重大的修订和补充后编写成的。书中反映了未来的钻探专家们（0108专业）所面临的专门问题。

本教程（第二版）于1973年问世以来，对于上述专业的学生来说，其专业学科方面已有了较大的变革。在一些高等院校中，原先统一的课程已被分解成各自独立的学科。这就要求对课程的结构进行相应的改造。为使本教程可供那些按不同教学计划进行教学的学生们使用，作者在详细阐述固体矿产普查与勘探钻进基本课程的基本问题的同时，力图全面、充分地反映钻探技术与工艺所包含的基本问题。这些问题是造就拓宽专业的未来专家们所亟需的。因此，除了固体矿产勘探钻进基本章节外，教程中还包括了下述内容：钻进过程的理论基础；钻孔弯曲和定向钻进；油、气井矿产勘探钻进技术与工艺的特点等。

综合论述各种勘探钻进方法的工艺特点是各种版本教程的基本方法，该方法已为作者们在教学过程的实际使用中所检验，并证明是正确的。

本教程系由作者集体编写完成，他们由“有用矿产勘探工艺与技术”专业的创始人之一、俄罗斯苏维埃联邦社会主义共和国科学技术功勋活动家、技术科学博士、教授Ф. А. 沙姆舍夫领导。

Ф. А. 沙姆舍夫与Б. Б. 库德利雅绍夫合作编写第六章；而与С. Н. 塔拉卡诺夫合作编写第四、五章；Б. Б. 库德利雅绍夫编写第三章；С. Н. 塔拉卡诺夫编写第一章；А. М. 雅考夫列夫编写第三、七、九章；Ю. М. 帕利斯基编写第八章并和А. М. 雅考夫列夫合作编写第十、十一、十二及十三章。

目 录

前言

第一篇 钻孔钻进过程的理论基础

(杨学涵译)

引言	1
第一章 钻进中的岩石破碎	3
§ 1. 岩石的力学性质	3
§ 2. 钻进时岩石的变形和破碎	15
§ 3. 岩石研磨性和碎岩工具的磨损	27
§ 4. 钻进时岩石破碎效果指标	30
第二章 钻孔冲洗	38
§ 1. 钻进时钻孔冲洗的用途及循环方式	38
§ 2. 冲洗介质类型及其合理使用条件	39
§ 3. 钻井液的物理化学基础	49
§ 4. 冲洗液的使用性质和质量控制	58
§ 5. 泥浆的物理-化学处理	70
§ 6. 冲洗业务组织和钻井液制备设施	83
§ 7. 钻井液的除砂和去气	93
§ 8. 复杂情况预防中冲洗介质的作用	97
§ 9. 冲洗液水力学基础	107
§ 10. 钻进时空气(天然气)的应用	118
§ 11. 钻进时温度因素的规程化和利用	129
第三章 钻进时的岩石稳定性	142
§ 1. 孔身稳定性的破坏	142
§ 2. 塑性和脆性岩石的稳定条件	145
§ 3. 保证泥质岩石稳定性的办法	148
§ 4. 保证盐层稳定性的办法	152
§ 5. 常年冻结岩石的稳定条件	153

第二篇 固体矿产普查及勘探钻进

(吴光琳译)

第四章 岩芯钻探用的钻进工具和辅助工具.....	161
§ 1. 钻探工具.....	161
§ 2. 岩芯管.....	163
§ 3. 钻杆.....	164
§ 4. 钻杆柱工况.....	171
§ 5. 套管及其附件.....	181
第五章 钻探设备.....	185
§ 1. УКБ型钻探设备.....	187
§ 2. ЗИФ-650М, ЗИФ-1200МР和БСК-2М2-100型 钻探设备.....	218
§ 3. 泵设备.....	224
第六章 固体矿产勘探钻进工艺.....	231
§ 1. 概述.....	231
§ 2. 破碎岩石工具(碎岩工具).....	233
§ 3. 硬质合金钻进工艺.....	259
§ 4. 金刚石钻进工艺.....	265
§ 5. 液动和风动冲击器冲击-回转钻进.....	283
§ 6. 升降工序机械化.....	290
§ 7. 地下坑道钻进.....	294
§ 8. 提高采芯率和改善取样质量的方法.....	295
§ 9. 不取芯勘探钻进.....	305
§ 10. 确定钻机和泵的驱动功率.....	308
§ 11. 加固钻孔.....	311
§ 12. 预防与处理事故.....	312
§ 13. 封孔.....	322
第七章 回转钻进孔内复杂情况的预防和处理措施.....	324
§ 1. 冲洗液漏失.....	324
§ 2. 钻具阻卡.....	340
§ 3. 钻孔淤塞.....	344

§ 4. 键槽现象.....	344
§ 5. 硫化氢喷涌.....	345

第三篇 液、气有用矿产普查、勘探井钻进

(张祖培译)

第八章 油、气井钻进	347
§ 1. 钻探工具.....	348
§ 2. 井底钻进机械.....	363
§ 3. 钻探设备.....	379
§ 4. 钻进设备的组成.....	386
§ 5. 升降操作及其改进途径问题.....	401
§ 6. 钻进规程.....	409
§ 7. 钻进过程的监测和控制.....	416
§ 8. 固井.....	421
§ 9. 生产层的钻开和测试.....	440
§ 10. 诱导油、气流.....	445
§ 11. 事故预防与处理.....	446
第九章 水井钻进技术和工艺.....	449
§ 1. 水井钻探的方法和设备.....	450
§ 2. 回转钻进时钻开含水层及安装过滤器.....	459
§ 3. 回转钻进时的水井结构.....	470
§ 4. 非金属开采套管和井口装置.....	479
§ 5. 洗井方法 (去除井壁泥皮)	481
§ 6. 钢绳冲击钻进工艺和含水层的钻开方法.....	482
§ 7. 钻井止水.....	496
§ 8. 钻井爆破.....	498
§ 9. 井内研究.....	498

第四篇 定向钻进

(何玉明译)

第十章 钻孔空间位置特征及其确定方法.....	500
§ 1. 钻孔空间位置特征.....	501
§ 2. 钻孔轨迹.....	503

§ 3. 钻孔空间位置的确定方法.....	503
第十一章 利用钻孔自然弯曲的定向钻进	509
§ 1. 钻孔弯曲原因和机理.....	509
§ 2. 决定钻孔弯曲的因素.....	512
§ 3. 定向钻进钻孔的轨迹设计.....	516
§ 4. 钻孔按照设计轨迹钻进的概率估计.....	520
§ 5. 利用钻孔自然弯曲规律的定向钻进技术和工艺.....	523
第十二章 钻孔人工弯曲的定向钻进技术和工艺	526
§ 1. 人工弯曲的偏斜装置.....	526
§ 2. 偏斜器在孔内定向安装方法和仪器.....	531
§ 3. 分支孔钻进.....	536
§ 4. 定向取芯方法和技术装置.....	539
第十三章 油、气井定向钻进的类型和特点.....	543
§ 1. 斜井钻进.....	543
§ 2. 集束井钻进.....	545
§ 3. 分支定向井和水平井钻进.....	546
§ 4. 垂直井钻进.....	546
参考文献	548

第一篇 钻孔钻进过程

的理论基础

引言

圆柱状 矿山坑道——钻孔和井筒的掘进方法称为钻进（钻探），简称钻。

钻孔的特征是相对不大的横截面（直径25~900mm），但通常延伸很长（孔深），目前已超过9km。钻孔是从地表或由地下坑道接与水平面夹任意角度的方向推进的。

钻孔要素是：1) 孔口——钻孔的开口部；2) 孔底——钻孔的底面；3) 孔壁——圆柱状表面。

借助于专门的钻探设备实现钻孔施工。钻孔的施工过程有五个：1) 破碎孔底岩石，由此产生孔底推进——钻孔加深；2) 清除孔底被破碎的岩石；3) 采取岩芯；4) 加固孔壁；5) 提取岩样（岩、矿芯），更换已磨损的碎岩工具并进行孔内研究、加固孔壁和完成其它作业时所进行的升降工序。

回转钻进时，前两个过程——破碎岩石和钻孔清洗是平行进行的。当通过不稳定岩层和建造输送某些有用矿物的通道时，需要加固孔壁。

在孔内进行一系列的观察、研究和作业：测量水位（液位），压水或抽水，测定液体和岩石的温度，用钻孔地球物理（测井）、孔内摄影和电视观察方法研究所钻岩层，对钻孔轴线空间位置的测量和控制等。

钻探应用领域非常广泛，它可用于矿产的普查、勘探和开采。因此，钻孔按其用途相应地分为：

- 1) 勘探孔——用于填图、构造、普查和勘探目的；

2) 开采孔——用于开采液体、气体和某些固体矿产；

3) 特殊孔或技术孔——用于井田疏干，在复杂矿山地质条件下建设矿山企业时的冻结岩石，开采有瓦斯爆炸危险的有用矿产时的抽气，预防岩爆，熄灭地下火灾，露天采矿作业中钻进爆破孔（眼）等。

普查和研究含水层时，常使用大量的钻探工作量，例如施工水文地质孔、供水孔以及改良土壤、工程地质研究所需的钻孔（住宅和工业建筑、水电站、桥梁、铁路和公路及其它工程建造设施中的技术孔施工）。

所有现代钻进方法可分成两大类：机械的和物理的。

机械钻进方法由于其通用性强而在实际生产中广泛使用。它适于钻进所有种类的岩石。

属于机械钻进方法的有：1) 采用金刚石和硬质合金碎岩工具的勘探回转钻进；转盘回转钻进和采用涡轮钻、电钻以及容积式液力螺杆动力机的回转钻进，螺旋回转钻进等。2) 钢绳冲击钻进；3) 采用液、风动孔底冲击机构的冲击回转钻进；4) 振动钻进——振动钻进，振动冲击钻进，磁致伸缩钻进。

物理（无钻头）钻进方法可有：1) 热力法——火钻和等离子体钻；2) 爆破法——脉冲式和借助爆破枪；3) 水力法——动水力式和空蚀式；4) 电脉冲法。

工业中上述无钻头钻进方法仅限于火钻，它用于露天矿钻进爆破孔。其它方法还未脱离实验室的试验阶段。

勘探孔施工的基本钻进方法是不同类型的回转钻进（取芯钻进）：硬质合金、金刚石、冲击回转（液力、气动冲击）、不取芯回转钻进和螺旋回转钻进。上述每一种方法都有其合理的使用范围，这由钻孔的用途和施工条件所决定的。钻进方法在很大程度上还决定着每种勘探钻进工作的效率和质量。

第一章 钻进中的岩石破碎

§ 1. 岩石的力学性质

岩石是组成地壳的天然体。按其生成方式分为三类：岩浆岩或火成岩（花岗岩、玄武岩等），沉积岩（石灰岩、砂岩等），变质岩（片岩、大理岩、石英岩等）。

岩石按矿物组成、结构和埋藏条件的不同，有不同的物理力学性质。现研究其中对钻进破碎岩石和对孔壁稳定有直接关系的某些性质。

岩石的弹性 所有的岩石在不同程度上都是弹性体。这意味着当施加外力时岩石呈线性变形，而卸去载荷后，弹性变形（其值总是不大的）消失。

假若岩石弹性变形时，岩石如同固体那样其体积保持恒定，则此种弹性变形称为纯剪（主正应力 $\sigma_1 = \sigma_3$ ）。当弹性变形时，物体体积缩小而其形体保持相似，则称为各向压缩（ $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ ）。所有复杂变形，在数学上可看成是纯剪和各向压缩的复合。通常均质性（同向性）固体的弹性行为，可由下列常量表述：扬氏模量（第一种弹性模量） E ，剪切弹性模量 G ，各向压缩模量 K ，泊松比 μ 。所有这些特性间可用下述关系式相互换算。

$$E = \frac{9KG}{3K + G}; \quad \mu = \frac{3K - 2G}{2(3K + G)}$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)}; \quad G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

岩石因其结构复杂属于异向性物体，所以其弹性常数与变形方向有关。

岩石的多分散结构造成了即使是保持线性变形（在试验精度范围内）下加载，在岩石中也呈现不可逆变形。这是由于晶间剪切，晶体双晶化，岩石空隙度减少所引起的。当加载循环次数增加时，残余变形降低而岩石的弹性升高。所以区分为：1)一次加载弹性模量 E ；2)多次加载消除残余变形后的弹性模量 E_H 。此外，还采用动弹性模量 E_d ，试验确定：

$$E < E_H < E_d$$

按K. B. 鲁宾涅特：

$$E = \frac{E_H}{1.2 \sim 1.5} = \frac{E_d}{2.0 \sim 2.2}$$

由不同变形方式（拉伸、弯曲、压缩）确定的弹性模量值（拉伸为 E_p ，弯曲为 E_n ，压缩为 $E_{c\kappa}$ ）也是不同的，即：

$$E_p < E_n < E_{c\kappa}$$

$$\frac{E_n}{E_p} = 1.2 \sim 1.3; \quad \frac{E_n}{E_{c\kappa}} = 0.25 \sim 0.35$$

对于某些岩石的压缩弹性模量（MPa）为：

花岗岩	60000
玄武岩	97000
石灰岩	85000
石英岩	100000
砂岩	>50000
砂子	300
粘土质页岩	15000~25000
粘土	300

泊松比 μ 岩石的 μ 值变化在0.10~0.45范围内，其影响因素与弹性模量同。应注意，拉伸时确定的 μ_p 略小于压缩时确定的 $\mu_{c\kappa}$ 。某些岩石的 μ 值为：

花岗岩	0.26~0.29
砂岩	0.30~0.35
石灰岩	0.28~0.33
致密粘土	0.25~0.35

有了 E 和 μ 值，可按上述公式计算剪切弹性模量 G 和各向压

缩模量 K 。

岩石的孔隙度 孔隙度可理解为岩石中存在的未被固体物质充填的孔隙（空间），这称为绝对（物理）孔隙度。有效孔隙度则不同于前者，它由存在的相互连通的孔隙来确定。

用岩样中孔隙体积与岩样的总体积之比率（%）来评估孔隙度。

所有岩石在某种程度上都是孔隙体。沉积岩具有特别大的孔隙度（%）。

花岗岩	1.2
石英岩	1.0
石灰岩	0.6~33.0
砂岩	3.0~33.0
粘土	6.0~45.0
砂子	6.0~48.0

岩石的机械强度和孔壁岩石的稳定性 岩石的机械强度应理解为承受外力而保持不被破碎的性质。如同所有固体一样，岩石的机械强度与组成岩石颗粒间的粘结力（内聚力）值有关。钻进岩石时应克服这个力。

按**粘结程度**，所有岩石可分成三组：坚固性岩石、粘结性岩石和松散性岩石。现依次分析这些岩石的强度。

坚固岩石（基岩）由矿物骨架和孔隙组成。这组岩石中包括机械强度不等的岩石——从高强度的碧石到强度极低的滑石。坚固岩石晶粒面的相互粘结靠直接作用（如花岗岩、石英岩、大理岩等）或通过胶结物（如碎屑岩、砾石、砂岩等）。碎屑岩的强度决定于颗粒内、颗粒间和胶结物的粘结力，以及碎屑和胶结物间的粘结力。

通过坚固性岩石的钻孔孔壁，一般是稳定的而且不需加固。若岩石强烈破碎或由于其裂隙性而使冲洗液强烈漏失的孔段，需要采取加固措施。

坚固性岩石中的许多岩石，特别是岩浆岩具有**研磨性**，即它们会强烈地磨损碎岩工具

组成岩石的颗粒间的粘结力具有电性（静电、极化）。由于晶粒表面的粗糙性，岩石晶粒间的粘结力的强度小于晶粒内的强度。岩石颗粒间的粘结力一旦被破坏，便不能恢复。

当岩石受压缩载荷作用时，坚固性岩石产生破坏是由于一些颗粒相对于另一些颗粒的剪切结果，或是由于这些颗粒彼此断裂的缘故，因为极限剪切强度和断裂强度远比抗压强度小。剪切时，对岩石强度产生影响的还有内摩擦力。当正交剪切面作用有压应力时，内摩擦力便增长。

在坚固性岩石内，其一部分相对于另一部分产生剪切的力 Q ，要克服粘结力 T 和内摩擦力 $F = \mu_0 N$ 的阻力，即：

$$Q = T + \mu_0 N$$

式中 μ_0 ——内摩擦系数；

N ——正交滑移面的力。

此恒等式的所有项除以剪切面积，可得到表征坚固性岩石强度的剪切应力：

$$\tau = \tau_0 + \mu_0 \sigma \quad (1.1)$$

式中 τ_0 ——粘结应力（或粘结力强度）；

σ ——正应力。

此外， $\mu_0 = \operatorname{tg} \varphi$ ，这里 φ 为内摩擦角。

库仑建立的固体强度条件(1.1) 能较好地解释钻进中切削具压入时岩石的高强度。因为，在这种条件下岩石处于接近各向压缩的应力状态，此时高压正应力增大了内摩擦力。当 σ 升高时， μ_0 值也增长了。

强度条件中的参数 τ_0 和 $\mu_0 = \operatorname{tg} \varphi$ 可由试验获得。图1.1表示岩样上施加作用力 P 时，斜向剪切力的方向。剪切按破裂角 γ (°) 的方向发生。对于某些岩石，其 γ 值的大致范围如下：

花岗岩	75~80
砂 岩	70~75
石灰岩	55~60
页 岩	45~60

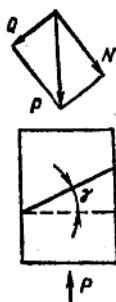


图 1.1 斜向剪切时力的方向

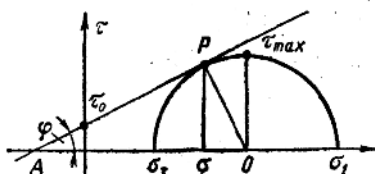


图 1.2 用坐标 (τ, σ) 表示的库仑强度准则

由图1.1可得:

$$\begin{aligned} Q &= P \sin \gamma, \\ \mu_0 N &= \mu_0 P \cos \gamma, \\ T &= C / \cos \gamma. \end{aligned}$$

式中 C —— 常量。

按物理意义, C 值就是粘结力。所以, 岩石极限状态决定于下列方程:

$$P \sin \gamma = \frac{C}{\cos \gamma} + \mu_0 P \cos \gamma$$

于是

$$P = \frac{C}{0.5 \sin 2\gamma - \mu_0 \cos^2 \gamma}$$

由条件 $\frac{dP}{d\gamma} = 0$, 确定: $\varphi = 2\gamma - 90^\circ$

库仑强度准则(1.1) 用坐标 (τ, σ) 表示在图1.2上。它由极限莫尔圆的切线 AP 代表, 莫尔圆的半径为:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$$

式中 σ_1 和 σ_2 —— 最大和最小正应力。

切线对应力轴的倾角为 φ , 内摩擦系数为 某一常量, 即:

$$\mu_0 = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\tau - \tau_0}{\sigma}$$

由图可见，点P相对应的极限状态，产生于 $\tau < \tau_{\max}$ 和某一正应力 σ 时。利用莫尔强度理论，弗立克斯（Флелих）建立了粘结力强度和岩石最简单强度特性（单向抗压强度 $\sigma_{c\pi}$ 和单向抗张强度 σ_p ）间的函数关系式：

$$\tau_0 = \frac{\sigma_{c\pi}(1 - \sin \varphi)}{2 \sin \varphi}; \quad \tau_0 = \frac{\sigma_p(1 + \sin \varphi)}{2 \sin \varphi}$$

联立求解之，可得出下式：

$$\tau_0 = \frac{\sigma_p}{1 + \frac{1}{\eta}}$$

这里 $\eta = \sigma_{c\pi} / \sigma_p$ ，于是，当知道 φ 、 $\sigma_{c\pi}$ 、 σ_p 后就可确定粘结力强度。

已查明，对不同岩石，比值 η 的范围为6~80。按此数据计算，粘结力强度 τ_0 与抗张强度 σ_p 的差值仅为1~6%。

从分子理论出发，波良尼（Поляни）确定了岩石断裂强度公式：

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{2E_p \Delta}{\gamma_0}}$$

式中 E_p ——拉伸时，第一种弹性模量；

Δ ——表面能；

γ_0 ——原子间距。

有时，确定岩石抗剪强度利用基于莫尔强度理论得出的下列公式：

$$\tau = \frac{\sigma_p \sigma_{c\pi}}{\sigma_p + \sigma_{c\pi}}$$

关于岩石在最简单应力状态下的拉伸、剪切、弯曲强度与 $\sigma_{c\pi}$ 的比值，可由表1.1的数据得到明晰的概念。

这些资料表明：当岩石受加载作用时，拉伸应力起的作用愈

表 1.1

岩 石	拉 伸	弯 曲	剪 切
花 岗 岩	0.02~0.04	0.08	0.09
砂 岩	0.02~0.05	0.06~0.20	0.10~0.12
石 灰 岩	0.04~0.01	0.08~0.10	0.15

大，则产生的破碎愈明显。

粘土岩属于粘结性岩石。与坚固性岩石的区别在于它具有高的塑性，低的强度和弱的研磨性。这种岩石的粘结力与湿度和压力有关。当增大湿度和提高压力时，岩石破碎后仍可自行恢复。

泥质岩石中矿物颗粒间的粘结作用，决定于存在其中的0.001 mm以细尺寸的胶体颗粒。在分子引力作用下，胶体颗粒吸附在较粗颗粒的表面，形成凝胶膜，它们相互聚结而形成岩石的骨架按И.Я.杰尼索夫(Денисов)这些岩石的粘结力值是常量，并等于0.055MPa。随着时间的推移，产生了由硅酸、碳酸钙等凝胶的胶结所引起的岩石强化作用。

泥质岩石较易钻进，用泥浆钻进时大多数情况下孔壁是稳定的。但是，粘土中遇到迅速吸水使其体积增加者，则会引起孔径缩小（缩径），岩石坍塌和钻具阻卡。故钻进这种岩层时，应采用低失水量泥浆以及使用与孔壁岩石相互作用弱的冲洗液。

粘结性岩石的强度由下式确定：

$$\tau = \tau_0 + \mu_0(\phi_x + \sigma) \quad (1.2)$$

它是由秦沙基(Терцаги)根据坚固性岩石的库仑条件(1.1)提出的。式(1.2)中， ϕ_x 表示由毛细力作用的附加压力。

粘结性岩石的强度较小，并随赋存深度的增加而增大。

属于松散性岩石的有：砂、砾、砾石、卵石等，即粘结力实际上是不存在的岩石。这种力，仅在湿砂中出现。按Г.И.波克洛夫斯基(Покровский)的资料，当湿度为16~20%时，砂子中的粘结摩擦力达到最大值。松散岩石的研磨性弱，孔壁不稳定。