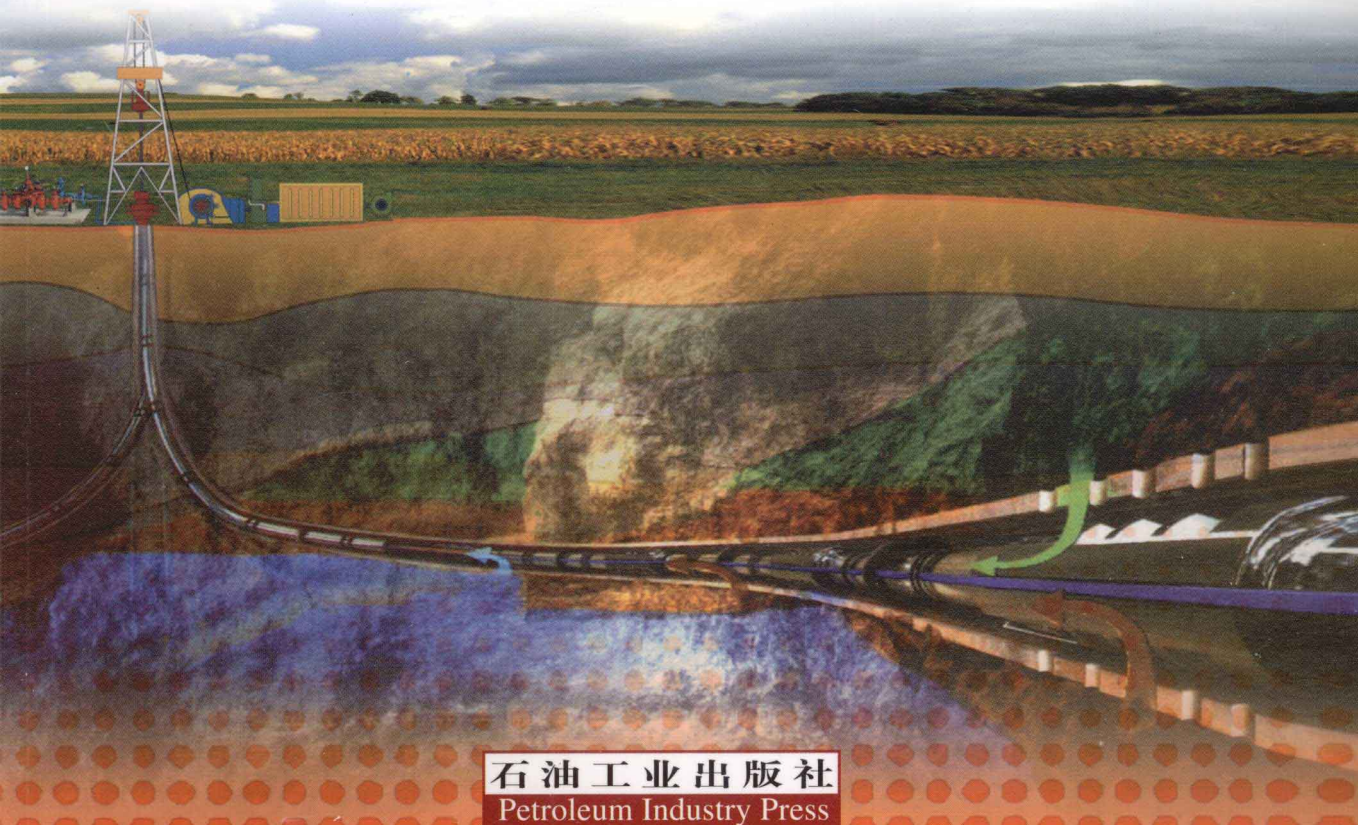




石油高职教育“工学结合”规划教材

石油钻井地质

崔树清 孙新铭 刘春芳 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油高职教育“工学结合”规划教材

石油钻井地质

崔树清 孙新铭 刘春芳 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书包括钻前地质工作、钻进地质工作、完井地质工作、油气井试油地质工作 4 个学习情境,通过 13 个项目 42 个任务来讲授油气钻井作业过程中所涉及的地质知识。本书内容贴近实际,强调石油地质知识与钻井施工作业有机结合,针对性、实用性强。

本书适合用于高职高专石油钻井技术专业教学及培训,也可供现场相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油钻井地质/崔树清,孙新铭,刘春芳主编.

北京:石油工业出版社,2011.8

(石油高职教育“工学结合”规划教材)

ISBN 978-7-5021-8497-1

I. 石…

II. ①崔… ②孙… ③刘…

III. 油气钻井-石油天然气地质

IV. TE 142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 119573 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523574 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京华正印刷有限公司

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:19.5

字数:495 千字

定 价:30.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

油气资源一般都在地下几百米至几千米深处，石油工作者的任务就是经济、高效、快速地寻找、发现和探明它们，并将其开采出地面，以满足国民经济发展的需要。

钻井是勘探开发油气田最基本的手段。一般的油井都是由石油地质部门确定好井位，由钻井队完成钻井任务。那么，钻井工作者为什么要学习石油钻井地质知识呢？

(1) 钻井是目前油气勘探最直接、最有效的手段。

在油气勘探中，通过地面地质测量和地球物理勘探等工作可以获得对地下地质情况的认识，但这种认识属于间接推论。地下究竟有油气与否，还需要有直接资料来验证。只有通过钻井，才能证实油气是否存在。同时，钻井为油气流出地面打开了通道，除能进一步取得地下动态和静态资料，加深对油气田的认识，以便更好地开发油气田外，对新区的勘探也有现实指导意义。由此可见，钻井是目前油气勘探最直接、最有效的手段。

(2) 地层岩石是钻井工作者的主要工作对象，了解地层岩性特征是顺利钻进的基础。

在钻井作业中，地层岩石是钻井工作者的主要工作对象。根据不同的岩石，选择不同的钻头、钻压和钻速，并使用不同性能的钻井液钻开油层，是非常重要的。要做到这一点，钻井工作者就必须具备一定的石油地质知识。只有了解和掌握了组成地壳的各种岩石的不同性质和各种地质现象，才能在钻井过程中了解可能钻遇的地层层序、接触关系、岩性组合等特征，判断可能出现油气显示的层位，了解地层岩石的可钻性以及地层岩石对钻井液性能的影响，找出含砾石、含石膏、盐层、易斜、局塌、易喷、放空、易漏、易造浆、易泥包、易卡钻的井段，才能做到有的放矢，提高钻井的速度和质量；否则，就会盲目钻井，不但实现不了优质、快速钻井的目的，相反会事故不断，出现严重的后果。

(3) 掌握井下地质资料是石油工程作业顺利完成的保障。

在油气勘探开发生产活动过程中，对油井所处的区域构造特征，地层岩石的矿物特征、地层层序、地层岩性特征，井下地层接触关系，井下地质构造的类型、特点以及地层压力的变化规律等地质资料的全面了解与掌握，是保证钻井、固井、完井、试油、修井、酸化、压裂等施工作业正常进行、顺利完成的基础。在钻井作业中，进行合理的井身结构设计、保证安全钻进、提高油井钻井速度、解决井下卡钻、保证井眼稳定、优化钻井液、保护油气层、保证固井质量等都需要井下地质资料，在掌握井下地质资料的基础上才能选择先进的施工设备（固井设备、井控设备、录井设备等）、优化钻具组合设计，才能合理地组织油气井的测试、试油（气）以及油气井的井下施工工作。

(4) “一体化”的工作方法要求钻井工作者必须具备相应的石油钻井地质知识。

在油气田的勘探开发工作中,提高油气田的建设速度,降低勘探开发成本是石油工作者的首选目标。为此,石油工作者在生产实践中通过不断的探索和总结,提出了地质、钻井(工程)、开发“一体化”的工作方法:①在勘探阶段进行井位论证时,钻井人员提前介入,了解钻井地质设计、目的层的位置,优化地质、工程设计,优化井身结构,确定工程实施过程中存在的难点;了解、熟悉工区的地质情况,提出合理的建议和意见,为后续开发提供资料。②地质给钻井交底,尤其是勘探过程中发现的问题要交代清楚,使钻井工作者熟悉并掌握工区岩层的地质特征,进行科学合理的优化设计。③钻井设计人员在钻井过程中要跟踪及时、到位,不断研究、调整钻井设计;同时,钻井使用的钻井液密度要合理,确保钻井快速发现油层,并做好固井工作和压裂改造,以确保后续产量。④在油气田的开发过程中,钻井与开发提前介入,可以尽早熟悉并掌握油气藏区块、单井的地质情况,及时提出适合的钻井、固井技术,快速设计出开发方案。

从上述可以看出,钻井工作者学习并掌握一定的石油钻井地质知识是必要的。只有掌握了必要的地质知识,才能更好地为油气田的勘探开发工作服务,实现油气勘探开发效益的最大化。

本教材以油气勘探开发工程中油气井的建井过程(从确定井位到最后试油、投产的工作流程,即钻前准备→钻进作业→完井作业→试油作业)作为全书内容组织与编排的参照系,构建了钻前地质工作、钻进地质工作、完井地质工作、试油地质工作4个“理实一体化”的学习情境,通过13个项目来讲授油气钻井作业过程中所涉及的地质知识、工作要求和实施方法;每个项目以任务为中心组织内容,目的是让学生通过完成具体任务来构建相关地质理论知识,提高油气钻井过程中地质与钻井工程紧密结合的意识,发展职业能力。同时,教材又充分考虑了职业教育对理论知识学习的需要,融合了相关职业资格证书对知识、技能和态度的要求,内容贴近实际。全书以“任务驱动,项目导向”模式编排,体现教改元素,引入丰富的实例和考证内容,不过分强调传统的学科体系,而将知识点与项目、任务有机地结合,在项目、任务教学过程中,完成技能训练,帮助学生树立“用什么就学什么”的学习思维方式,引导他们在完成工作任务的过程中学到知识和技能。

教材内容的选择以适应职业岗位需要为准绳,强调石油地质知识与钻井施工作业的有机结合,增强针对性、实用性,目的是培养理论知识面广、专业技能过硬、综合素质好的技能应用型人才,以培养学生的“三种能力(即基本能力、专业能力和实践能力)和三种素质(基本素质、专业素质和综合素质)”。

本书由崔树清(渤海石油职业学院)、孙新铭(克拉玛依职业技术学院)、刘春芳(大庆职业学院)担任主编。王志鸿(西部钻探克拉玛依录井工程公司高级工程师)、王福生(新疆油田公司试油公司高级工程师)对本书的编写提出了宝贵的意见。

教材编写分工如下:孙新铭(克拉玛依职业技术学院)编写前言、项目一(任务七)、项目三(任务五)、项目四、项目十(任务一);黄卫(克拉玛依职业技术学院)编写项目三

(任务一)，王满（克拉玛依职业技术学院）编写项目三（任务二、三），井春丽（克拉玛依职业技术学院）编写项目三（任务四）；崔树清（渤海石油职业学院）编写项目五、项目九（任务一）、项目十（任务二）、项目十一；刘春芳编写项目一（任务一、二、三、四、五六）；俞加声（山东胜利职业学院）编写项目六；付秀清（天津工程职业技术学院）与丁玲玲（大港油田勘探开发研究院）编写项目七；王少庆（辽河石油职业技术学院）编写项目二；王少庆与刘俊（中油测井华北事业部）编写项目十三（任务一）；孙新铭与王志鸿编写项目八；孙新铭、臧强（克拉玛依职业技术学院）、马玉民（西部钻探克拉玛依录井工程公司高级工程师）编写项目九（任务二）；孙新铭与王福生编写项目十二、项目十三（任务二）。全书由孙新铭统稿。

本书在编写过程中得到了参编教师所在院校以及克拉玛依职业技术学院科研处、教务处、石油工程系的大力支持，克拉玛依职业技术学院石油工程系钻井教研室老师对本书的编写提出了宝贵意见，在此一并表示感谢。

由于水平有限，书中定有不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 1 月

目 录

学习情境一 钻前地质工作	1
项目一 地层岩性的识别	1
任务一 常见造岩矿物的识别	2
任务二 岩浆岩的识别与鉴定	12
任务三 变质岩的识别与鉴定	20
任务四 沉积岩形成的认识	27
任务五 沉积岩特征的分析	32
任务六 沉积岩的识别与鉴定	37
任务七 钻井地层岩性特征的分析	46
项目二 地层沉积顺序的认识	55
任务一 认识常见的古生物	55
任务二 地质年代及地层单位划分的认识	61
项目三 油气田地质构造的识别与分析	72
任务一 水平岩层与倾斜岩层的识别	72
任务二 地层接触关系分析	79
任务三 褶皱构造的识别	83
任务四 断裂构造的识别	89
任务五 含油气盆地内地质构造单元的认识	96
项目四 常见地质图的识读与绘制	104
任务一 地质图的识读	105
任务二 地层柱状剖面图的绘制	111
任务三 油气田构造剖面图的绘制	116
任务四 油气田构造图的绘制	126
项目五 油层静态特征分析	134
任务一 储集层流体性质的分析	134
任务二 储集层基本特征的认识	142
项目六 油气藏形成的认识	150
任务一 石油与天然气生成的认识	150
任务二 生油层、储集层与盖层的认识	155
任务三 圈闭与油气藏类型的识别	158
任务四 油气藏形成与破坏的分析	166
学习情境二 钻进地质工作	176
项目七 油气井的钻井地质设计	176

任务一 井位的设计与测定·····	177
任务二 单井地质设计·····	185
项目八 钻井中的录井工作·····	195
任务一 岩屑录井作业·····	195
任务二 岩心录井作业·····	201
任务三 钻时录井作业·····	207
任务四 钻井液录井作业·····	211
任务五 工程录井作业·····	215
项目九 随钻地层压力监测·····	232
任务一 地层压力及其异常成因分析·····	232
任务二 异常地层压力的监测·····	238
学习情境三 完井地质工作·····	246
项目十 完井测井作业·····	246
任务一 认识油气井的测井作业·····	246
任务二 完井测井的地质工作·····	251
项目十一 完井地质资料的收集·····	255
任务一 井壁取心作业·····	255
任务二 认识下套管过程中的地质工作·····	260
任务三 认识固井过程中的地质工作·····	263
学习情境四 油气井试油测试地质工作·····	267
项目十二 油气井常规试油·····	267
任务一 常规试油作业的认识·····	267
任务二 试油资料的录取、处理与储集层评价·····	275
项目十三 油气井地层测试·····	283
任务一 地层测试作业的认识·····	283
任务二 测试资料的处理及油气藏评价·····	289
参考文献·····	302

学习情境一 钻前地质工作

油气勘探就是一个寻找油气田的过程，即根据石油天然气地质学的油气田分布规律，采用各种合适的先进的勘探技术与方法，从而达到快速、高效、经济地探明油气储量的目标。哪些地区、哪些层位有油气田，其储量有多少，油藏性质如何，这些问题就是油气勘探的工作目标。油气田分布的隐蔽性和复杂性，决定了油气勘探是高投入、高风险、技术复杂的系统工程。这项工程可以概括为两类手段，一是钻前的间接手段，二是钻探的直接手段。通过钻前勘探工作，可以推测一个较大区域或者一个圈闭的油气地质信息，例如有什么时代的地层，每套地层的岩性、厚度、构造、含油气情况等，据此设计探井井位和层位。

项目一 地层岩性的识别

石油和天然气是储集在地下几百米至几千米深处岩石的孔隙、裂缝和溶洞中的流体矿产资源，要将其开采出地面，就需要用钻机从地面向地下钻一个圆柱形孔眼，构成油气流向地面的通道，这就是油气钻井。它是按预定的井深和井身结构钻穿地层来形成油气通道。

在钻井过程中，岩石是主要的工作对象，钻头要钻遇和钻穿多种岩石。而岩石是由各种矿物组成的，为此，要了解岩石的性质，就必须要从认识矿物开始，进而认识由不同性质的岩石组成的地层特征。



知识目标

- (1) 掌握矿物的概念、形态特征、分类及鉴定特征。
- (2) 掌握常见矿物的主要物理性质，并会运用矿物的物理性质、形态等特征区别、鉴定矿物。
- (3) 掌握岩浆岩的概念、产状及其特征、物质成分、结构构造、分类以及常见岩浆岩的主要特征。
- (4) 掌握变质岩的概念、类型及其结构、构造；了解变质岩与原岩的区别、常见变质岩的主要特征。
- (5) 掌握沉积岩的概念、颜色、物质成分、结构构造、成因类型、分类，以及碎屑岩、粘土岩和碳酸盐岩的鉴别特征，并能对碎屑岩进行分类和命名。
- (6) 理解各类岩石与油气资源生成、聚集的关系。



能力目标

- (1) 能够识别鉴定常见的造岩矿物，并能够对岩屑及岩心中的矿物成分进行分析。

- (2) 能够识别、鉴定常见岩浆岩、变质岩。
- (3) 能够识别、鉴定常见沉积岩, 包括碎屑岩、粘土岩和碳酸盐岩。

任务一 常见造岩矿物的识别



任务描述

在油气田勘探开发的钻井过程中, 经常会钻遇各种岩性的地层。而不同岩性的地层, 因其物理化学性质不同, 会直接影响对钻具的选择。矿物是构成岩石的基本组成单位, 要想掌握各种岩性的识别和鉴定, 就要从矿物的识别与鉴定着手。认识矿物, 首先要识别矿物的形态特征。由于矿物具有多样性, 加之在地质作用的影响下完好的晶形会受到破坏, 或在钻井过程中受到钻具的破碎而不易辨认; 只有根据矿物的其他物理性质进行综合判断, 才能准确识别和鉴定矿物。



任务分析

掌握常见造岩矿物的单体形态、结晶习性、晶面特征以及集合体形态; 根据造岩矿物的物理性质、形态特征等识别和鉴定常见造岩矿物; 分析和鉴定钻井岩屑或岩心标本的矿物成分, 并进行描述。



相关知识

一、矿物的概念

矿物就是地壳的各种化学元素在各种地质作用下形成的自然元素或自然化合物。它具有一定的化学成分、结晶构造、外部形态和物理化学性质、比较均一的内部构造, 是岩石的基本组成单位。若组成岩石的矿物在岩石中占主要成分, 则称其为主要造岩矿物。

地壳是由岩石组成的, 而岩石是由一种或几种矿物组成的集合体。矿物在地壳中分布极广, 目前全世界已发现的矿物约有 4000 种, 常见的约 200 多种; 主要造岩矿物只不过 40 来种, 但数量极大, 是组成岩石的主要矿物成分, 如方解石、石英、云母、长石、黄铁矿等等。

自然界中的矿物大部分呈固态, 如石英; 少数呈液态和气态, 如石油、天然气等。矿物的存在状态随所处的物理、化学条件而改变。在实验室由人工合成的元素或化合物, 其成分和性质与自然界的矿物相似, 但因它不是在各种地质作用下的自然产物, 故只能称为人造矿物, 如人造金刚石等。

二、矿物的形态特征

矿物的形态是指矿物的外部特征, 分为单体形态和集合体形态。单体形态指矿物单晶体的形态。自然界中的矿物一部分呈单体出现, 而多数以集合体的形式出现。集合体是由许多较小的单体聚集在一起的整体。集合体形态指矿物集合体的外貌。对于晶质矿物来说, 常常以矿物的单体形态观察为基础。

在对矿物进行观察的过程中, 首先看到的是矿物都表现出一定的外部形态, 如石盐呈六面体, 萤石呈八面体、黄铁矿呈五角十二面体等(图 1-1), 这些都是具有规则的多面体外形。但是, 有些矿物, 如花岗岩中的石英、长石等, 它们有时不仅不具备多面体的外形, 有

的甚至呈很细小的不规则粒状，然而它们也都是晶体矿物。所以，外形不是矿物的本质特征。

1. 结晶质和非结晶质

根据矿物内部的构造特点，可将矿物分为结晶质和非结晶质两类。

矿物内部质点（分子、原子、离子）有规律地排列，形成一定格子构造的固体，称为结晶质（晶体）。质点有规律的排列的结果，表现为有规律的集合形体。自然界大部分矿物都是晶体。

凡是矿物内部质点（分子、原子、离子）无规律地排列，不具格子构造的固体，称为非结晶质（或非晶体）。这类矿物分布不广，种类很少，如火山玻璃等。

2. 矿物晶体的结晶习性

矿物的单体形态一般用晶体习性来描述。所谓晶体习性，又称结晶习性，是指晶体通常习惯表现的外观形态。由于结晶构造特点，决定了矿物在形成过程中有趋向于某一形态的习惯，如石英晶体呈柱状，云母呈片状、板状，黄铁矿呈等轴状晶体等。根据晶体在空间上的3个方向发育程度不同，可将结晶习性分为3类（图1-2）：

（1）一向延长型（柱状）：晶体沿一个方向特别发育，其他两个方向发育较差，类似柱子一样，一般呈柱状、棒状、针状、纤维状，如电气石、角闪石、石英、石棉等。

（2）二向延长型（板状）：晶体沿两个方向特别发育，其他一个方向发育较差，呈片状、板状、鳞片状等，如板状石膏、片状云母及石墨等。

（3）三向延长型（等轴状）：晶体在3个方向发育基本相等，包括等轴状、粒状，如石盐、黄铁矿、石榴子石等。

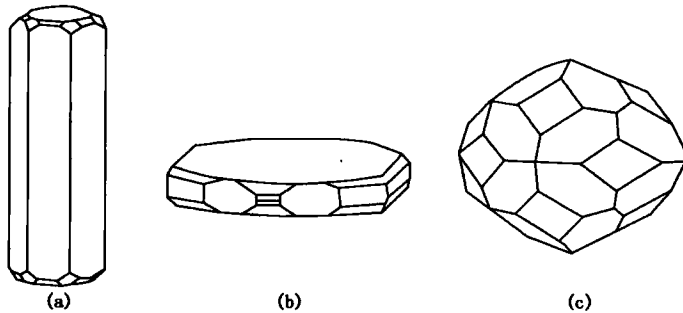


图1-2 矿物单体形态

(a) 一向延长型；(b) 二向延长型；(c) 三向延长型

3. 矿物集合体的形态

集合体的形态取决于矿物单体的形态及它们的集合方式。

1) 显晶集合体

用放大镜可以分辨出各个矿物颗粒界限的叫做显晶集合体，主要包括：

（1）粒状、块状集合体：由大致等轴的矿物小晶粒组成的集合体，如自然硫的粒状集合体。

（2）片状、鳞片状集合体：由片状矿物组成的集合体，如云母；当片状矿物颗粒较细时，称鳞片状集合体，如白云母的鳞片状集合体。

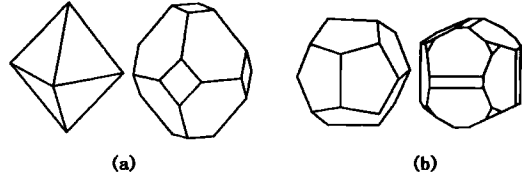


图1-1 晶体形态

(a) 萤石的八面体；(b) 黄铁矿的五角十二面体

(3) 放射状集合体：单体围绕某些中心呈放射状排列，如针钠钙石的放射状集合体。单体主要是柱状或针状。

(4) 纤维状集合体：组成集合体的单矿物若细小如纤维，如纤维状石膏、纤维状石棉等。

(5) 晶簇：在一个共同基底上生长的单晶体群所组成的集合体，一般发育在岩石的空洞或裂隙中，以洞壁或裂隙壁作为共同基底。它们一端固定在共同的基底上，另一端则自由发育而具有完好的晶形，如常见的石英晶簇。

2) 隐晶及胶态集合体

(1) 鲕状集合体：由形似鱼子的圆球体聚集而成的集合体，如鲕状赤铁矿、鲕状铝土矿等。

(2) 钟乳状集合体：由真溶液蒸发或胶体凝聚，在同一基底上逐层向外堆积形成的矿物集合体，如石灰岩洞穴中形成的石钟乳。

(3) 结核状集合体：中心向外生长而成球粒状，如黄土中的钙质结核。

矿物所呈现的外形是多种多样的。不同的矿物常具有不同的形态和特征，这是依据形态和特征识别矿物的一个基本准则。但有时不同的矿物可以具有相似的外形，如纤维状石膏和石棉、柱状角闪石和红柱石。而同一种矿物在不同的地质条件下又常常具有不同的外形，如板状和纤维状石膏。所以在实际工作中，根据矿物的形态可以鉴别一部分矿物。但是必须注意，结晶完好的矿物可能由于地质作用或由于在钻井过程中被破碎而失去本来面目，不易辨认，因此还必须根据矿物的其他物理性质综合判断，才能准确鉴定。

三、矿物的物理性质

矿物的物理性质是鉴定矿物的主要依据。决定矿物各种物理性质的根本因素是矿物的成分和它的晶体结构，成分和结构不同的矿物其物理性质也不同。

1. 矿物的光学性质

矿物的光学性质是指矿物对自然光线的吸收、折射、反射等所表现出来的各种性质，包括颜色、条痕、透明度、光泽等。

1) 颜色

颜色是矿物对自然光的吸收程度不同所引起的。阳光（自然光）由 7 种不同波长的光色所组成，当矿物对它们吸收时，可因吸收的程度不同而使矿物出现白、灰、黑（全部吸收）等各种颜色；如果只吸收某些色光，就呈现另一部分色光的混合色。矿物学中，根据矿物颜色产生的原因可分为自色、他色和假色。

(1) 自色：矿物自身固有的化学成分中的某些色素离子而呈现的颜色。例如，赤铁矿之所以呈砖红色，是因为它含 Fe^{3+} ；孔雀石之所以呈翠绿色，是因为它含 Cu^{2+} 。自色比较固定，可作为矿物的鉴定特征。

(2) 他色：矿物混入了某些外来的杂质（包括机械混入物和晶格缺陷等）所引起的颜色。如红宝石的红色就是他色，它是由于刚玉中替代 Al^{3+} 的 Cr^{3+} 引起的，而 Cr^{3+} 不是刚玉的固有组分；石英本来是无色的，当含有机质多时呈黑色（墨晶），含锰时呈紫色（紫水晶）。因他色具有不固定的性质，所以对鉴定矿物意义不大。

(3) 假色：由于矿物内部有裂隙或表面有氧化膜等，引起光线发生干涉、衍射、漫射等而呈现的颜色，如方解石、石膏内部有细裂隙时呈现的“晕色”。假色只能对某些矿物有鉴定意义。

对于颜色的描述，一般采用二名法，即把基本色调放在后面，次要色调放在前面。如黄褐色，即以褐色为主略带黄色。另外，还可比拟法，如天蓝色、樱红色、乳白色等。为了更好地掌握颜色的描述，一般利用标准色谱和实物对比矿物进行描述。观察颜色时，应选择新鲜面上观察。

2) 条痕

矿物的条痕是指矿物粉末的颜色。通常是将矿物在白色无釉瓷板上划一下，看瓷板上留下的粉末痕迹的颜色，进行辨识。条痕可以消除假色的干扰，减轻他色的影响，突出表现出矿物的自色。条痕的颜色是比较固定的，是鉴定矿物的方法之一。条痕的颜色与矿物颜色可以相同，也可以不同。如黄铁矿的外观颜色为淡黄铜色，条痕为绿黑色；赤铁矿的外观颜色有铁黑色、褐红等色，但条痕都是樱红色。在试矿物条痕时，应注意硬度大于瓷板的矿物是划不出条痕的，但可将其碾碎，观察粉末的颜色。

3) 透明度

矿物的透明度是指矿物允许可见光透过的程度。观察矿物透明度是以矿物边缘是否透过光线为标准，矿物按透明程度分为3类；

(1) 透明矿物：通过矿物碎片边缘能清晰地看到对方物体的轮廓，如水晶、冰洲石、金刚石等。

(2) 半透明矿物：通过矿物碎片边缘能模糊看到对方物体或有透光现象，如辰砂、锡石、闪锌矿等。

(3) 不透明矿物：通过矿物碎片边缘不能见到对方任何物体，如磁铁矿、黄铁矿、自然金、石墨等。

矿物的透明度与矿物的集合体方式有关，如方解石单体透明，但细粒集合体就不透明；另外，还与矿物的厚薄有关，透明的白云母厚度大时也不透明。因此，观察矿物的透明度，一般在矿物的同一厚度下进行比较。

4) 光泽

矿物的光泽是指矿物新鲜表面对光线的反射能力。矿物的手标本鉴定中，依据反射能力的强弱，一般将矿物的光泽分为如下4种：

(1) 金属光泽：反射光的能力极强，表现为金属抛光面上所呈现的光泽，如自然金、黄铁矿、方铅矿等。

(2) 半金属光泽：反射光的能力强，表现为未经抛光的金属表面所呈现的光泽。部分不透明或半透明矿物有半金属光泽，如磁铁矿、黑钨矿、黝铜矿等。

(3) 金刚光泽：反射光的能力较强，呈现如金刚石表面所呈现的光泽。部分自然非金属元素、硫化物、氧化物和含氧盐矿物具有此种光泽，如金刚石、辰砂、锡石等。

(4) 玻璃光泽：反射光的能力较弱，像平板玻璃所呈现的光泽，如长石、石英、萤石、方解石等。

后两者也称非金属光泽。矿物表面的光滑程度对光泽影响很大。平滑表面或解理面上的光泽要强于粗糙断面上的光泽。在矿物集合体或不平坦表面上，会产生一些特殊光泽，主要有珍珠光泽、油脂光泽、丝绸光泽、蜡状光泽、土状光泽等。

由于影响光泽的因素较多，因此在观察时要注意是矿物晶面的光泽还是断口的光泽。如石英晶面上为玻璃光泽，而断口呈现油脂光泽。另外，在同一种矿物中还要注意个体大小，一般个体大的比个体小的矿物光泽强。

矿物的颜色、条痕、透明度及光泽之间存在着一定的内在联系和规律，如表 1-1 所示。手标本鉴定时，应注意利用其间的关系帮助区别这些光学性质的级别。

表 1-1 矿物的颜色、条痕、透明度和光泽之间的关系表

颜色	无色	浅色	彩色	黑色或金属色
条痕	无色或白色	浅色或无色	浅色或彩色	黑、绿黑、灰黑、褐黑或金属色
光泽	玻璃—金刚		半金属	金属
透明度	透明	半透明	不透明	

2. 矿物的力学性质

矿物的力学性质是矿物在外力作用下，如刻划、打击、压、拉等所表现出的各种性质。其中，具有鉴定意义的有硬度、解理、断口，其次还有脆性、延展性、挠性、弹性等。

1) 硬度

矿物的硬度是指矿物抵抗外来刻划、研磨或压入等机械作用的能力（或程度）。矿物的绝对硬度要用精密硬度计测定。矿物手标本鉴定时一般采用如下两种方法：

（1）用两种矿物互相刻划。根据硬度大的矿物可以划动硬度小的矿物的道理，比较矿物相对硬度的大小。通常选用 10 种硬度不同的矿物作为标准，由软到硬分为 10 级，构成摩氏硬度计，见表 1-2。

表 1-2 摩氏硬度计

矿物名称	化学组成	硬度级别	矿物名称	化学组成	硬度级别
滑石	Mg [Si ₄ O ₁₀] (OH) ₂	1	正长石	K (AlSi ₃ O ₈)	6
石膏	CaSO ₄ · 2H ₂ O	2	石英	SiO ₂	7
方解石	CaCO ₃	3	黄玉	Al ₂ [SiO ₄] (F, OH) ₂	8
萤石	CaF ₂	4	刚玉	Al ₂ O ₃	9
磷灰石	Ca [PO ₄] ₃ (F, Cl, OH)	5	金刚石	C	10

摩氏硬度只代表硬度的相对顺序。实际上，金刚石的绝对硬度为石英的 1150 倍；石英的绝对硬度为滑石的 3500 倍。

（2）用小刀、指甲来刻划。一般指甲可刻动的硬度在 2.5 以下。指甲刻不动、小刀能刻动的在 2.5~5.5 之间。小刀刻不动的矿物硬度在 5.5 以上。

试硬度时，应注意在矿物的单体新鲜面上刻划。不同的矿物具有不同的硬度，同一种矿物在不同方向上的硬度也不尽相同。如蓝晶石，在平行于晶体延长方向上硬度为 4.5，而在垂直于晶体延长方向上的硬度则为 6.5。一般的矿物这种差异性极小，所以不计。

2) 解理和断口

（1）解理。矿物在外力作用下能沿着一定的结晶方向破裂成光滑的平面，这种性质称为解理。矿物所裂开的光滑平面，称为解理面。如方解石被打击后，破裂成菱面体的小块。

根据破裂的难易程度，一般将解理分为 5 级：

①极完全解理：矿物在外力作用下，极易沿解理方向破裂成薄片，解理面平整、光滑，如云母、石墨等。

②完全解理：矿物在外力作用下，容易沿解理面破裂，但不成薄片，解理面平滑，如萤石、方解石等。

③中等解理：矿物在外力作用下，能沿解理分裂，解理面明显，但多延伸不远，常与断口共存呈阶梯状，如角闪石、辉石等。

④不完全解理：矿物受力后，不易沿解理方向分裂，解理面小且不平整，易出现断口，如磷灰石等。

⑤无解理（即断口）：指矿物受力后，很难沿解理方向破裂，多形成断口，如石英、石榴子石等。

（2）断口。矿物受外力作用下，在任意方向破裂成各种凹凸不平的断面，称为断口。具有不完全解理或无解理的矿物以及隐晶质和非晶质矿物，在外力打击下便出现断口。断口的形态往往有一定的特征，可以作为鉴定矿物的辅助依据，常见的有以下几种：

①贝壳状断口：断口呈圆滑的曲面，具同心圆纹，似贝壳的膜，如石英。

②锯齿状断口：断口形似锯齿，如自然铜等。

③参差状断口：断口面粗糙不平，参差不齐，如磷灰石等。

④平坦状断口：断口面平坦且粗糙，无一定方向，如块状高岭土等。

总的来看，解理的完善程度与断口发育的程度互相消长。解理发育的矿物，断口不发育。同一矿物解理不发育的部位，则常易产生断口。如云母有一个方向可产生极完全解理，而垂直于极完全解理方向往往产生锯齿状断口。

解理是矿物的固有属性。同种矿物，受外力作用后，会产生方向和完好程度相同的解理，因而解理可作为矿物的可靠鉴定特征之一。

3) 矿物的其他力学性质

矿物的其他力学性质在鉴定矿物时具有次要意义，但是对于某些矿物却是显著的特征。

（1）脆性：矿物受力后易被破碎的性质，如方解石、黄铁矿、方铅矿等。

（2）延展性：矿物能被锤击呈薄片或拉成细丝的性质，如自然金、自然铜等。

（3）挠性：矿物受力后，可以产生弯曲而不折断，外力释放后不能恢复原状的性质，如绿泥石等。

（4）弹性：矿物受力变形，但外力取消后能恢复原状的性质，如云母等。

四、矿物的相对密度

矿物的相对密度指纯净、均匀的单矿物在空气中的质量与同体积水在 4℃时的质量的比值。按手标本鉴定的要求，在野外通常用手掂矿物，粗略估计矿物相对密度的大致范围。矿物按相对密度的大小可分为 3 级：

（1）轻矿物：相对密度小于 2.5，如石膏为 2.3，石盐为 2.1~2.2。

（2）中等矿物：相对密度介于 2.5~4 之间，如石英为 2.65，金刚石为 3.52。

（3）重矿物：相对密度大于 4，如方铅矿为 7.4~7.6，重晶石为 4.50。

相对密度是矿物物理性质中比较固定的一种性质。在非金属矿物中，除刚玉、重晶石外，均在 2.6~3 之间。金属矿物的相对密度则一般在 4 以上，所以可以利用相对密度来鉴定金属矿物，并进行轻、重矿物的分离。主要的造岩矿物多为中等矿物，如石英、长石、方解石、白云石和粘土矿物等；一些重金属矿物的相对密度在 5~8 之间；极少数矿物（如铂族矿物）可达 23。

五、矿物的分类

1. 自然元素类

自然元素指某种化学元素以单质的形式在自然界产出的矿物，属单质矿物。该类矿物在

地壳中已发现 30 余种，它们占地壳质量的 0.1%，对工业有重要意义的有自然硫、水银、石墨、金刚石、金等。

2. 硫化物类

凡是金属阳离子与硫、硒、锑、砷等化合而成的一系列化合物均属此类。其中，以硫化物最多，约有 200 余种，占地壳质量的 0.15%。这类矿物虽然分布不广，但经济价值高，可提取金属如铜、铅、锌等。

3. 氧化物和氢氧化物类

这类矿物包括金属和非金属元素与氧和氢氧根组成的简单化合物。这类矿物有 200 余种，占地壳总质量的 17%，分布较广，如石英、磁铁矿、赤铁矿等。

4. 卤化物类

凡与卤族（氟、氯、溴、碘）化合而成的矿物叫卤化物矿物，常见的如石盐、钾盐、萤石等。

5. 含氧酸盐类

这类矿物是指由含有氧的酸根所形成的盐类，包括硅酸盐矿物、碳酸盐矿物、硫酸盐矿物等。这类矿物种类多，分布最广。其中，硅酸盐矿物占地壳质量的 75%，为主要的造岩矿物。

六、常见矿物的鉴定特征

在钻井过程中常见的一些矿物的鉴定特征见表 1-3。

表 1-3 常见造岩矿物鉴定特征表

矿物名称	形状	颜色	条痕	光泽	透明度	硬度	解理	断口	相对密度	其他
石 墨	片状、鳞片状	铁黑色	黑色	金属	不透明	1	一组极完全		2.09~2.23	具滑感，易污手，熔点高，抗腐蚀
金刚石	粒状、八面体、菱形十二面体	无色		金刚	透明	10			3.5	具荧光性
自然硫	块状、土状	黄色	浅黄白色	油脂	不透明	2	无		2	有硫臭味，易溶，易燃
黄铁矿	立方体、粒状结核体	浅黄铜色	绿黑色	金属	不透明	6~6.5	无	参差状	5	沉积岩中呈结核状、细粒分散状
黄铜矿	致密块状	黄铜色	绿黑色	金属	不透明	3~4	无	参差状	4.1~4.3	
白铁矿	板状、鸡冠状	浅黄铜色	暗灰绿色	金属	不透明	5~6	一组不完全		4.6~4.9	
萤石	立方体、双晶	黄色、绿色、紫色	白色	玻璃	透明	4	不完全	贝壳参差状	2.2~3.1	具荧光性

续表

矿物名称	形状	颜色	条痕	光泽	透明度	硬度	解理	断口	相对密度	其他
石盐	立方体, 晶体呈粒状、块状	无色、白色	白色	玻璃	透明一半透明	2	完全		2.1~2.2	易溶于水, 味咸, 烧之呈黄色
钾盐	立方体	无色	白色	玻璃	透明	2~2.4	三组完全		1.97~1.99	味苦, 烧之呈紫色
磁铁矿	八面体、块状、粒状	铁黑色	黑色	金属	不透明	5.5~6	无		4.9~5.2	具强磁性
赤铁矿	鲕状、肾状、块状	铁黑色、铁红色	樱红色	半金属	不透明	5.5~6		参差状	5~5.3	
褐铁矿	肾状、钟乳状、块状	黄褐色、褐色	褐色	半金属土状	不透明	1~4			3.3~4	沉积岩常见土状、结核状
石英	柱状、粒状	乳白色、无色		玻璃油脂	不透明	7	无	贝壳状	2.65	柱面有横纹
玉髓	隐晶质块状	灰白色、黄色、棕色		油脂	不透明	6~7	无	平坦	2.6	
蛋白石	致密, 钟乳状	白色		玻璃	半透明	5~5.6	无	贝壳状	2.1	
铝土矿	鲕状、土豆状	灰白色、灰褐色	浅色		不透明	变化大	无			具吸水性、粘舌滑感
石膏	板状、纤维状	白色	白色	玻璃丝绸	透明、半透明	2	一组极完全		2.3	与盐酸不起反应
硬石膏	厚板状、柱状、粒状	白色、浅红色	白色	玻璃	半透明	3~3.4	一组完全、两组中等		2.9	与盐酸不起反应
芒硝	柱状、针状	无色、白色	白色	玻璃	半透明	1.5~2	一组完全	贝壳状	1.49	微苦, 易溶于水
磷灰石	柱状、粒状	灰白色、蓝绿黄色	白色	玻璃		5	不完全	贝壳状、参差状	3.2	火烧发绿光