



全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材
QUANGUO TEZHONG ZUOYE RENYUAN ANQUAN JISHU PEIXUN KAOHE TONGBIAN JIAOCAI

《全国特种作业人员安全技术
培训考核统编教材》编委会

石油天然气司钻作业

SHIYOU TIANRANQI SIZUAN ZUOYE

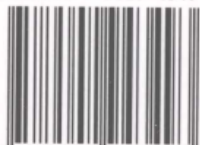
石油工业出版社

责任编辑：彭淑凡 封面设计：王 伟

全国特种作业人员
安全技术培训考核
统编教材

- | | |
|--------------|------------|
| ☀《矿井泵工》 | ☀《主扇风机操作工》 |
| ☀《带式输送机操作工》 | ☀《绞车操作工》 |
| ☀《铲运机司机》 | ☀《信号工·拥罐工》 |
| ☀《主提升机操作工》 | ☀《安全检查工》 |
| ☀《矿用汽车驾驶员》 | ☀《爆破工》 |
| ☀《矿用机车司机》 | ☀《凿岩工》 |
| ☀《尾矿工》 | ☀《装载机操作技术》 |
| ☀《矿井通风工》 | ☀《挖掘机操作技术》 |
| ☀《石油天然气司钻作业》 | |

ISBN 978-7-5029-6349-3



9 787502 943493 >

定价：16.00 元

全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材

石油天然气司钻作业

《全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材》编委会

刘晓宇 编著

石油工业出版社

中国特种作业人员安全技术培训考核统编教材

图书在版编目(CIP)数据

石油天然气司钻作业/《全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材》编委会编. —北京:气象出版社, 2007. 9

(全国特种作业人员安全技术培训考核统编教材)

ISBN 978-7-5029-4349-3

I. 石… II. 全… III. 油气钻井—技术培训—教材 IV. TE2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 129888 号

气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

总编室: 010-68407112 发行部: 010-68409198

网址: <http://cmp.cma.gov.cn> E-mail: qxcbs@263.net

责任编辑: 彭淑凡 终审: 陆同文

封面设计: 王伟 责任技编: 陈红 责任校对: 赵寒

*

北京中新伟业印刷有限公司印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 8 字数: 203 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

定价: 16.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等, 请与本社
发行部联系调换

前言

电工作业、金属焊接切割等一些特种作业容易发生伤亡事故，对操作者本人、他人及周围设施、设备的安全造成重大危害。从统计资料分析，大量的事故都发生在这些作业中，而且多数都是由于直接从事这些作业的操作人员缺乏安全知识，安全操作技能差或违章作业造成的。因此，依法加强直接从事这些作业的操作人员，即特种作业人员的安全技术培训、考核非常必要。

为保障人民生命财产的安全，促进安全生产，《安全生产法》、《劳动法》、《矿山安全法》、《消防法》、《危险化学品安全管理条例》等有关法律、法规作出了一系列的强制性要求，规定特种作业人员必须经过专门的安全技术培训，经考核合格取得操作资格证书，方可上岗作业。原劳动部曾制定了相应的培训考核管理规定和培训考核大纲，并编写了特种作业人员培训考核统编教材，对推动此项工作发挥了重要作用。1998年国务院机构改革后，原劳动部承担的职业安全监察、矿山安全监察及安全综合管理职能划入国家经贸委。为适应社会主义市场经济的发展和劳动用工制度改革、劳动力流动频繁的新形势，防止各地特种作业人员实际操作水平的参差不齐，避免重复培训、考核和发证，减轻持证人员的负担和社会的总体运营成本，统一规范特种作业人员的培训、考核工作，当时的国家经贸委以2000年第13号令的形式发布了《特种作业人员安全技术培训考核管理办法》，在全国推广和规范使用具有防伪功能的IC卡《中华人民共和国特种作业操作证》，并实行统一的培训大纲、考核标准、培训教材及证件，此项工作一直持续至今，本套教材是与之相配套并由国家经贸委安全生产局直接组织编写的。2001年国家经贸委安全生产局从国家经贸委独立出来成立安全生产监督管理局时，这套教材的编写工作随之转入新的机构，并在

2002 年国家安全生产监督管理局“关于做好特种作业人员安全技术培训教材相关工作的通知”中加以确认。2006 年国家安全生产监督管理总局第 3 号令《生产经营单位安全培训规定》重申了“生产经营单位的特种作业人员,必须接受专门的安全培训,经考核合格,取得特种作业操作资格证书后,方可上岗作业”这一基本原则,同时对特种作业的范围、培训大纲和标准也在进行必要的调整。为了适应新的形势的要求,在总结经验并广泛征求各方面意见的基础上,我们对这套教材进行了第三次大规模的修订,新修订的教材基本包括了全部的特种作业工种共 30 余种。本次修订根据主编罗音宇先生的意见,由成秀虎总体策划和组织,在修订时既充分考虑了原有教材的体系和完整性,保留了原有教材的特色,又根据新的情况,从品种和内容方面做了必要的修改和补充,力争有所超前,如增加了石油天然气司钻作业,装载机、挖掘机操作技术等新的品种。为了便于各地特种作业人员的培训,还开发了与之相配套的复审教材和考试题库供各地选用。

本套教材在编审和修订过程中,先后得到了武汉安全环保研究院、天津市劳动保护教育中心、河南省劳动保护教育中心、北京市事故预防中心、青岛市安全生产监督管理局、武钢矿业公司、大冶有色金属公司、鲁中冶金矿业公司、淮南矿务局、大冶铁矿、铜录山铜矿、梅山铁矿、马钢南山铁矿、南芬铁矿、鸡冠咀金矿、湖北省经贸委安全生产处、湖南省经贸委安全生产处、山东省安委会办公室等单位的大力支持,以曲世惠、王红汉、徐晓航、张静等为代表的一大批作者和以闪淳昌、任树奎、杨富等为代表的一大批专家也为此套教材的出版做出了巨大贡献,限于篇幅这里恕不一一列举,谨表衷心地谢意。

《石油天然气司钻作业》主要由刘晓宇编著,其他参与编写的人员有袁发达、田伯祥、谭泰、吴国昌、李志斌、张礼峰、吴芹、孟文勇、汪晶、陆启宣、王海勇、王进军。本书在编写、审定的过程中,得到了江苏石油勘探局、华北石油局的大力支持,在此表示感谢!

本书编委会

2007 年 8 月

目 录

前 言

第一章 石油地质基础知识	1
第一节 地质基础知识	1
第二节 钻井地质录井	11
第二章 钻井设备	15
第一节 钻井地面设备	15
第二节 井下钻井工具	35
第三节 钻井仪器仪表	60
第四节 钻井装备发展趋势	71
第三章 钻井液技术	73
第一节 钻井液概述	73
第二节 钻井液性能及其对钻井的影响	74
第三节 钻井液原材料和处理剂	88
第四节 现场钻井液的维护与处理	97
第五节 钻井液有关计算	103
第四章 钻井技术	108
第一节 防斜钻直井技术	108
第二节 定向钻井技术	118
第三节 取心钻井技术	147
第五章 中途测试与完井	169
第一节 钻井过程中油气层保护技术	169

第二节 中途测试.....	175
第三节 下套管固井.....	182
第四节 油气井完井方法.....	194
第六章 井控设备与井控技术.....	197
第一节 井控设备.....	197
第二节 井控技术.....	214

第一章 石油地质基础知识

石油与天然气都埋藏在地下不同深度的岩层中，为了勘探和开发油气资源，需要了解石油地质基础知识，掌握油田地层沉积顺序、岩石的机械性质和地质录井方法。

第一节 地质基础知识

地球从表面至地心可分为三部分：地壳、地幔、地核。地壳是从地表面到 35 km 深处；地幔是从 35 km 到 2900 km 深处；地核是从 2900 km 到地心。地壳是由各种岩石构成的，又称岩石圈。

一、岩石

(一) 矿物

矿物是地壳中的元素在各种地质作用下形成的产物。岩石是由矿物组成的，一般常见的矿物有石英、长石、云母、方解石、白云石、黏土矿物等。

矿物的物理性质主要包括：颜色、解理、断口、硬度、密度、脆性、弹性、挠性等。

(二) 岩石的分类

岩石就是日常所称的石头。它是在地壳形成与发展过程中，在各种地质作用下形成的自然产物，是地壳的主要组成部分；它是由一种或几种造岩矿物或部分天然玻璃质所组成的固态集合体，具有一定的结构、构造及稳定的外形。

地壳中的岩石按其成因不同可分为三大类：岩浆岩（火成岩）、变质岩和沉积岩。

1. 岩浆岩

岩浆岩是岩浆在一定地质作用的影响下，由地壳深处沿着裂隙侵入地壳表层或喷出地表，经过冷凝和结晶而形成的岩石。特点是无层次，块状，一般都很致密而坚硬。

常见的岩浆岩有橄榄岩、辉长岩、玄武岩、闪长岩、花岗岩和流纹岩等。

岩浆岩与油气的关系：岩浆岩虽然不能生油，但如果具备良好的连通孔隙或裂缝，并处在油气聚集的有利地带，构造条件又很好，可以储集石油和天然气，形成具有工业价值的油气藏，如辽河兴隆台油田就是在岩浆岩处钻出千吨井。因此钻遇岩浆岩时应引起足够重视。

2. 变质岩

变质岩就是岩浆岩或沉积岩在地壳内部的物理化学因素（如高温、高压、岩浆的同化等）影响下，经过变质作用改变了原来岩石的成分和结构而变成的新岩石。例如石灰岩变质成大理岩，花岗岩变质为片麻岩。

变质岩中没有残存下来的生物化石，它与岩浆岩的主要差别是具有变晶结构，呈片状、片麻状、板状等构造。

常见的变质岩有板岩、片岩、千枚岩、片麻岩、大理岩和石英岩等。

变质岩与油气的关系：变质岩不能生成油气，而且变质作用对油气保存也不利。但在特殊条件下，也能形成油气，如玉门鸭儿峡油田在变质岩中发现了工业油流。

3. 沉积岩

沉积岩是由各种沉积物组成的岩石，它是在地壳表层条件下，主要是母岩（即岩浆岩、变质岩及早期形成的沉积岩）的风化产物，经搬运、沉积及成岩作用而形成的一类岩石。

石油生成在沉积岩里，并大多数也储存在沉积岩的孔隙、裂缝和溶洞中。

(1) 沉积岩的分类

沉积岩根据成因和物质成分,分为碎屑岩(如砾岩、砂岩等)、黏土岩(泥岩、页岩等)、碳酸盐岩(石灰岩、白云岩等)和生物岩(油页岩等)四类。

常见的沉积岩有泥岩、页岩、砂岩、砾岩、石灰岩等。

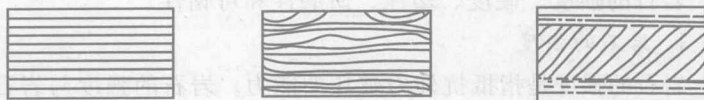
(2) 沉积岩的构造

沉积岩的构造是指岩石的外貌特征,即岩石的组成部分在空间的分布及相互的位置关系。主要是层理构造,其次是层面构造和岩层内部构造。

(3) 沉积岩的层理

层理是岩石性质(如成分、结构、颜色等)沿垂直方向发生突变而显示出来的层状现象。层理是沉积岩最典型、最主要的特征之一。

不同的沉积环境,岩石中会出现不同类型的层理(见图 1-1)。常见的层理包括水平层理、波状层理和斜层理(包括单向斜层理和双向斜层理)三种基本类型,它们能够反映一定的沉积环境。



(a) 水平层理

(b) 波状层理

(c) 斜层理

图 1-1 层理类型示意图

(4) 沉积岩的层面构造

在沉积岩中,常见的层面构造有波痕、冲刷痕迹和干裂。除了常见的层面构造外,在沉积岩层面上还可见到古代生物活动遗留下来的虫孔、足迹以及雨痕、冰雹印痕、盐类的晶体假象等。

(5) 沉积岩的韵律

沉积岩的韵律是指相似岩性的岩石在地层垂直剖面上周期性

的重复现象，通常称为沉积韵律或沉积旋回。

沉积韵律（或沉积旋回）是沉积岩的又一重要特征，表现为岩性、颜色、结构（主要指颗粒的粗细）、构造（主要指层理的类型）等有规律的重复出现。其类型有三种，即正旋回、反旋回和复合旋回。正旋回的特点是岩性自下而上由粗变细；反旋回的特点是岩性自下而上由细变粗；复合旋回是一个完整的沉积旋回，包括正旋回和反旋回两部分，岩性是上下粗、中间细。

（6）沉积岩与油气的关系

沉积岩与油气的关系非常密切，它既能生油，也能储油，还可以作盖层。实践证明，世界自发现油田以来，99%以上的油田都分布在沉积岩地区。暗色的黏土岩类和富含有机质的碳酸盐岩都是很好的生油层；碎屑岩类或裂缝、溶洞发育的碳酸盐岩是良好的储油层；黏土岩类或致密的碳酸盐岩又是极好的盖层。油页岩本身就是产油的一种岩石。

（三）岩石的机械性质

岩石在外力作用下，从变形到破碎的过程中所表现出来的力学性质称为岩石的机械性质。与石油钻井有关的机械性质主要有：岩石的强度、硬度、塑性、研磨性和可钻性。

1. 岩石的强度

岩石的强度是指抵抗外力破坏的能力。岩石的强度与岩石的孔隙度有关，孔隙度越大，岩石的强度就越小；岩石的强度还与岩石的物质成分有关，由硬度较高的矿物组成的岩石其强度也较高。

根据外力性质的不同，岩石的强度分为抗压、抗拉、抗剪和抗弯强度等。一般情况下，岩石的几种强度关系为：抗压>抗剪>抗弯>抗拉。

2. 岩石的硬度

岩石的硬度是指岩石抗压入的极限强度。岩石的硬度与造岩矿物的成分、孔隙度、胶结物的性质有关，如砂岩的硬度随胶结物强度的增大而增大。胶结物强度关系一般为：硅质>铁质>钙

质>泥质。

3. 岩石的塑性

在外力作用下, 岩石破碎前呈现永久变形的性质称为岩石的塑性。不呈现永久变形的性质叫做岩石的脆性。岩石产生塑性变形是由于内部矿物颗粒及矿物胶结物颗粒间的接触面在外力作用下发生相对滑移造成的。

塑性岩石一般强度较小, 钻头吃入塑性岩石比吃入脆性岩石容易, 当钻井中遇到塑性岩石时, 可采用切削破碎的方式。

4. 岩石的研磨性

钻头破碎岩石的同时, 其本身也受到岩石的磨损, 这种岩石磨损钻头的能力称为岩石的研磨性。

岩石的研磨性与造岩矿物的成分、硬度及胶结物的强度有关。石灰岩、泥质页岩、板岩等属于研磨性较小的岩石, 而各种石英砂岩、粗中粒花岗岩、燧石等都属于研磨性较大的岩石。

5. 岩石的可钻性

岩石的可钻性是指在一定技术条件下, 钻开岩石的难易程度, 也可理解为钻进过程中岩石抗破碎强度的大小。

岩石的可钻性与岩石组成、机械性质、破岩方式、钻井参数、钻井液性能等许多因素有关。可钻性是选择钻头类型、确定钻井参数、制定钻井生产定额等的重要依据。

6. 岩石性质对钻井的影响

岩石性质对钻井工作的影响主要表现在: 影响钻进速度与钻头进尺; 使钻井过程中出现井漏、井喷、卡钻等复杂情况; 钻井液受到污染、性能变坏; 井径不规则, 进而影响到测井、固井等。

(1) 对不同地层的影响

1) 黏土岩层: 泥岩、页岩一般较软, 钻速快, 但容易产生钻头泥包, 需要注意钻头的合理选择。这种地层极易吸收钻井液中的自由水而膨胀, 使井径变小, 造成下钻遇阻, 甚至发生卡钻; 随着浸泡时间的延长, 又会产生剥蚀掉块, 使井径扩大, 井

壁产生垮塌现象，造成井塌。

2) 砂岩层：砂岩层一般来说是较好的渗透层，在井壁上容易形成较厚的泥饼，易引起泥饼黏附卡钻。另外厚泥饼对测井也有影响，所以必须使用优质钻井液，使其在井壁上形成薄而韧的泥饼，这对于钻开油气层尤为重要。

3) 砾岩层：在砾岩层钻井容易发生跳钻、蹩钻和井壁垮塌。这就要求正确判断地层情况，采取相应的措施。

(2) 对井眼质量的影响

在钻遇流砂层、黏土层以及断裂很厉害的地层时，井壁容易垮塌而使井径变大，形成“大肚子”；在钻至某些泥岩、页岩时，因为这些地层容易吸收钻井液中的水而发生水化膨胀，使井眼缩小，造成井眼形状的不规则。

在钻至倾角较大的地层或软硬交错的地层交接面、断层面时，钻头在井底受力不均匀，工作不平稳，就可能会导致井眼方向的偏斜，即井斜。井眼偏斜的角度和方位在很短时间内发生较大的变化，就形成严重的“狗腿”，它将对钻井工作产生严重的不良影响。针对这种情况，要制定好使用扶正器等一系列的防斜措施，送钻要均匀，钻压不能过大，处理好交接面。

二、地层和地质构造

在地壳发展过程中，某一地质时期的沉积物保留下来后，所形成的一套层状岩石组合叫地层。地层的单位由大到小分为宇、界、系、统、阶、带。

(一) 地质时代

由于地层是在不同的时代里沉积的，先沉积的是老地层，后沉积的是新地层。各地大致相同时期沉积的某一地层，称为某时代的地层。在其上新沉积的地层则为另一新的地质时代的地层。这样根据新老地层就可以确定出地质年代次序。这种表明地层形成先后顺序的时间概念，称为相对地质时代，也就是通常所说的

地质时代。

地质时代单位由大到小分为宙、代、纪、世、期、时。地质时代代表如表 1-1 所示。

表 1-1 地质时代表

宙 (宇)	代 (界)	纪 (系)
显生宙	新生代	第四纪
		新第三纪
		老第三纪
	中生代	白垩纪
		侏罗纪
		三叠纪
	古生代	二叠纪
		石炭纪
		泥盆纪
		志留纪
		奥陶纪
		寒武纪
隐生宙	元古代	晚元古代
		早元古代
	太古代	
地球初期发展阶段 (地壳形成之前)		

(二) 地层沉积顺序

在地球历史发展的每一阶段,地球表面都有一套相应的地层生成。正常情况下,后形成的地层总是盖在先形成的地层上面,越在上面的地层,其年龄越小。

根据寻找油气藏及其他矿藏的需要,必须搞清地层沉积顺序,才能进行有关地质方面的研究,顺利进行石油和天然气的勘探与开发。地层沉积顺序见表 1-2。

表 1-2 地层沉积顺序表

界	系	统	界	系	统
新 生 界	第四系	全新统	上古生界	泥盆系	上泥盆统
		上更新统			中泥盆统
		中更新统			下泥盆统
		下更新统	古 生 界	志留系	上志留统
	上第三系	上新统			中志留统
		下新统			下志留统
	下第三系	渐新统		奥陶系	上奥陶统
		始新统			中奥陶统
		古新统			下奥陶统
中 生 界	白垩系	上白垩统	界	寒武系	上寒武统
		下白垩统			中寒武统
	侏罗系	上侏罗统	上 元 古 界	震旦系	上统
		中侏罗统			下统
		下侏罗统		青山口系 蓟县系 长城系	
	三叠系	上三叠统			
		中三叠统			
		下三叠统			
上 古 生 界	二叠系	上二叠统	下 元 古 界	溥沱群	
		下二叠统			
	石炭系	上石炭统	界	五台山	
		中石炭统			
		下石炭统	太古界	泰山群	

(三) 地质构造

在地壳运动影响下，组成地壳的岩层不断发生变形或变位，使这些岩层的原始产状发生改变，形成一定的地质构造形态。这种在地壳运动的影响下，岩层变动后形成各式各样的几何形体，称为地质构造。主要的地质构造有褶皱构造和断裂构造。

1. 褶皱构造

地壳中的岩层在地壳运动作用下,使水平岩层受力发生塑性变形,形成各种各样的形态弯曲,但仍然保持岩层的连续完整性,称为褶皱构造。

岩层的每一个弯曲称为褶曲,褶曲是褶皱的基本单位。一系列褶曲的组合就是褶皱。

褶曲的基本类型可分为背斜褶曲、向斜褶曲两种。背斜褶曲:岩层向上拱起弯曲,两翼岩层相背倾斜,核部为老岩层,两翼为新岩层。向斜褶曲:岩层向下弯曲,两翼岩层相向倾斜,核部为新岩层,两翼为老岩层。

背斜褶曲是油、气聚集的主要场所之一,世界上大多数的油气田都是在背斜褶曲构造中发现的。在含油气区,一个背斜就有可能成为一个油气田。背斜构造往往成组成群出现,因此在一个构造发现油气田以后,常可在相邻的其他构造上也能找到油气田。

2. 断裂构造

地壳中的岩层受到力的作用后,如果这种力超过了岩层的强度,就会使岩层破裂或沿破裂面发生位移,使岩层连续完整性遭到破坏,这种构造称为断裂构造。

断裂构造可分为裂缝和断层两大类。

(1) 裂缝:岩层沿断裂面未发生明显的相对位移的断裂构造,称为裂缝。裂缝通常发生在脆性岩石里,对于疏松的、可塑性很大的岩层裂缝是少见的。

(2) 断层:地层发生断裂,而且断裂两侧的岩层沿断裂面发生相对位移的断裂构造,称为断层。

1) 断层要素

①断层面:即岩石的破裂面,这个面的两侧岩层发生了明显的相对位移(见图1-2)。②断层线:断层面与地面的交线。③断层的两盘:断层面两侧的岩块,称为断盘。当断盘面倾斜时,位