

高等学校试用教材

石油地质学

西北大学地质系石油地质教研室 编

地质出版社

高等学校试用教材

石油地质学

西北大学地质系
石油地质教研室 编

地质出版社

内 容 简 介

本书旨在阐述石油及天然气从生成到聚集为矿藏以及它们在地壳中分布的一般地质原理。全书共分九章。第一章为绪论，第二章介绍油气水的化学组成和物理性质。第三章至第八章重点阐述油气生成和油气藏形成的各项必要条件以及油气生成、运移及聚集的基本地质单位——含油气盆地。第九章阐述油气在地壳中的分布。

本书可作为高等院校石油地质专业的试用教材，并可供测井、采油、地球物理等有关专业师生以及生产和科研单位的石油地质人员参考。

参加本书编写工作的有：赵重远、陈荷立、祝总祺、邸世祥和罗铸金。

石 油 地 质 学

西北大学地质系 编
石油地质教研室

*

国家地质总局教育司教材室编辑

地 质 出 版 社 出 版

地 质 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1979年8月北京第一版·1979年8月北京第一次印刷

印数1-9,490册·定价1.90元

统一书号：15038·教33

前 言

本教材是根据国家地质总局教育司于1977年8月在北京召开的地质类专业教材编写分工会议下达的任务编写的。

全国解放以后,我国的石油工业有了非常迅猛的发展。根据石油工业发展的需要,在全国一些高等院校设置了石油地质专业或其它有关专业或创办了专门石油学院。可是,在关于石油地质学教材出版方面,除先后翻译出版了某些外国课本外,我国自己编写并公开出版者还为数不多。特别是由于林彪、“四人帮”对高等教育事业的严重摧残和破坏,十多年来更是没有出版过一本这样的教材。现在,打倒了“四人帮”,全党、全国工作的重点正向着社会主义现代化建设方面转移,因此,编写一本适合我国情况的石油地质学教材不仅非常必要,而且也有了这种可能。

我国的石油工业经过近三十年的发展,在各个方面都取得了很大成绩。特别是在石油地质领域不仅积累了大量资料,而且在石油生成、油气藏形成、储集层、圈闭和勘探布署等许多理论研究方面也都取得了不小成就。另外,在“四人帮”被打倒以后,我们也有更多的可能向外国的先进技术、先进经验和先进理论学习。因此,现在来编写一本既适合我国石油地质情况,又在一定程度上反映国外先进水平的石油地质学教材也具备了条件。

本书的内容安排,本着人们认识事物的循序渐进规律,首先在第一章中向读者展示了我国和世界油气工业发展历史与现状的总图景;在第二章中介绍了油气水的化学组成和物理性质,以便向读者提供一个阅读本书的必要基础;第三至第八章中依次阐述了石油含油和天然气从生成到聚集为矿藏的地质原理,以及它们所依附的基本地质单位——气盆地。最后,第九章在油气在地壳中的分布总标题下,着重讨论了含油气盆地在地壳中的分布规律。这样,从油气赋存的地质环境来看,我们从油气聚集的最小单位——油气藏讲到了最大单位——含油气盆地;从油气在地壳中的运动规律来看,我们从油气生成、运移讲到了聚集乃至破坏。其目的是力图使读者在读完本书以后能得到一个石油地质学的完整概念。

本书注意贯彻理论联系实际的原则。力图将石油地质学的基本原理同我国具体的石油地质条件相结合,使其在一定程度上能成为一本反映中国石油地质特征的教材。另一方面也注意贯彻“洋为中用”和“百家争鸣”的方针,注意介绍外国的先进理论以及不同的学术观点,以期在主要问题上能成为一本基本反映国内外研究现状的教材。

为了便利读者阅读,本书在各章之前附有内容提要,说明编写主旨和主要内容。同时在各章之后又附有结论,条列本章所述主要问题及其主要结论。

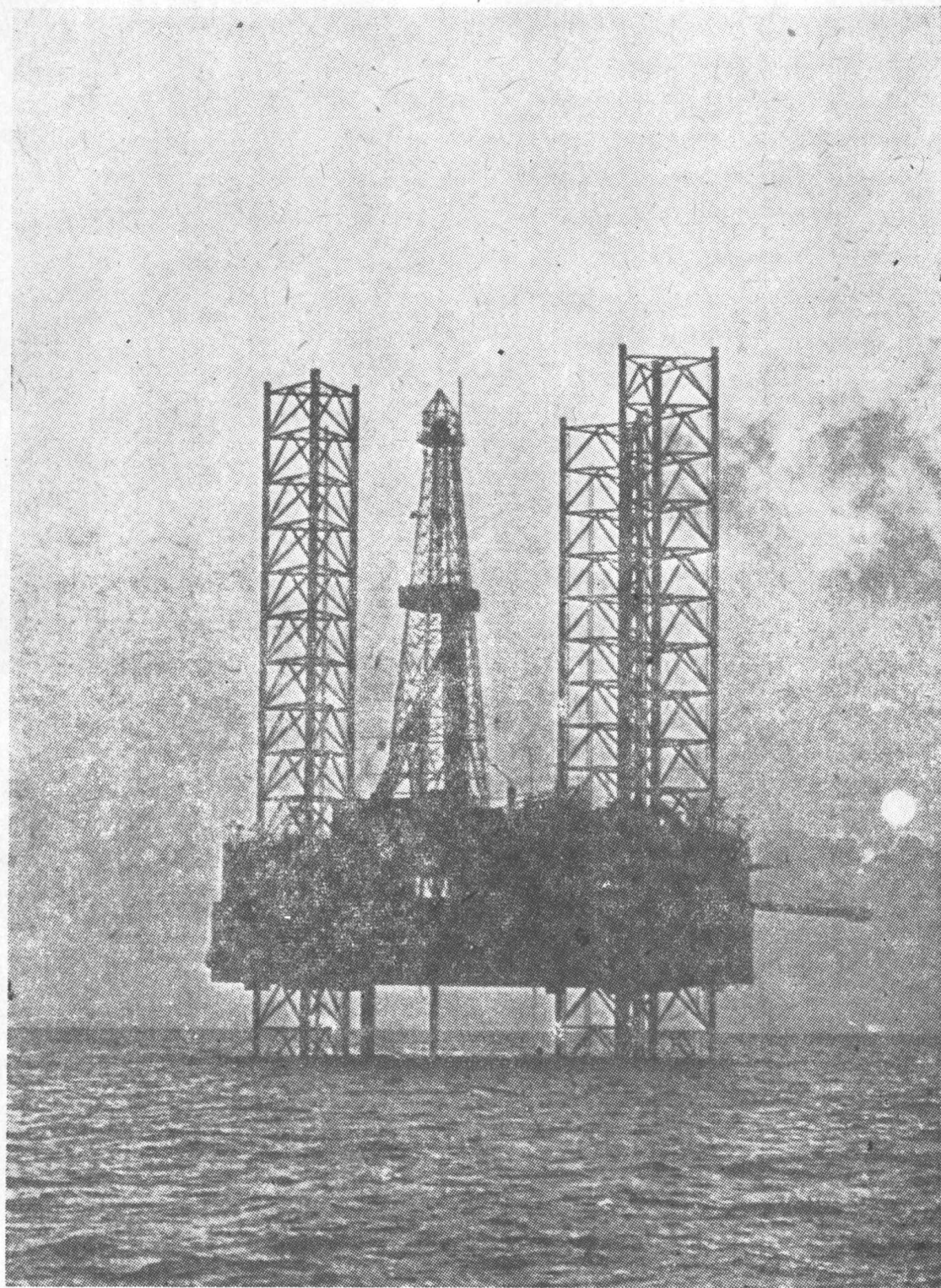
本书在编写过程中,华东石油学院、大庆石油学院、江汉石油学院、成都地质学院、同济大学、新疆工学院和国家地质总局第三普查勘探大队等兄弟院校和单位应邀参加了编写大纲讨论会和(或)审稿会,对本书的编写提供了许多宝贵意见。武汉地质学院潘钟祥教授和中国地质科学院黄汲清教授热情为本书编写大纲提了书面意见。黄汲清教授还应邀用他所倡导的地壳发展多旋回说讲述了对油气分布的控制作用。中南矿业学院陈国达教授应邀撰写了《地洼学说关于中国大地构造对油气分布规律控制作用的想法》专题论文。另外,还有石油工业部所属的石油规划研究院、情报所、石油工业出版社、大庆油田、任丘

油田、大港油田、胜利油田、海洋石油勘探指挥部、河南石油会战指挥部、新疆石油管理局、四川石油管理局、青海石油管理局和云南石油勘探指挥部；中国科学院所属的兰州石油地质研究所和贵阳地球化学研究所；国家地质总局石油普查勘探局、海洋司、石油地质综合大队和第八普查勘探大队；以及武汉地质学院和西南石油学院等单位及有关同志热情为本书的编写提供了文字或图片资料，为本书的编写大纲和征求意见稿提供了宝贵书面意见以及给予了编者其它许多帮助。对以上各方面的大力支援和支持，我们在此统表深切谢意。另外，我系绘图室刘仰枢、王月华和曹存美同志和照相室袁习琴同志辛勤为本书绘制和复制插图，也向他们表示感谢。

由于编者受学识水平限制，本书内容错误和不足之处一定很多，热烈欢迎读者批评指正。

编 者

1979年1月1日



北部湾海上钻井平台

目 录

第一章 绪论	1
第一节 本书的内容范围	1
第二节 石油和天然气在国民经济中的作用	1
第三节 我国石油和天然气工业发展简史	2
一、我国古代对油气的发现、利用和开采	2
1. 我国最早的油气发现	2
2. 我国古代的钻井工艺	4
3. 我国古代的天然气开采	5
二、我国近代的油气工业	6
三、中华人民共和国成立以后我国油气工业的蓬勃发展	7
第四节 世界石油工业发展简况	9
第五节 石油地质勘探展望	12
结 论	14
第二章 油、气、水的化学组成和物理性质	15
第一节 石油的化学组成和物理性质	15
一、石油的化学组成	15
1. 石油的元素组成	15
2. 石油的化合物组成	17
二、石油的物理性质	22
1. 颜色	22
2. 比重	22
3. 粘度	22
4. 荧光性	23
5. 旋光性	23
6. 溶解性	23
第二节 天然气的化学组成和物理性质	24
一、天然气的化学组成	24
二、天然气的物理性质	25
第三节 油田水的化学性质和物理特征	25
一、油田水的化学组成	25
二、油田水的分类	27
1. 帕勒梅尔分类	27
2. 苏林分类	28
3. 水型分析实例	29
三、油田水的物理性质	30
结 论	30

第三章 石油和天然气的成因及生油岩	31
第一节 石油和天然气成因研究的发展历史	31
一、石油无机成因假说	31
二、石油有机成因早期成油说	32
三、石油有机成因晚期成油说	35
第二节 石油和天然气成因的基本原理	36
一、生成石油的原始物质——酞酐根	36
1. 酞酐根的成分和结构	36
2. 酞酐根的数量	36
3. 酞酐根的类型	37
二、有机质改造和转化成油气过程和物理化学作用	38
1. 生物化学作用	38
2. 温度	39
3. 压力	44
4. 无机催化作用	44
三、油气生成的地质环境	45
1. 古地理环境	45
2. 大地构造环境	48
四、有机质演化及油气生成的阶段性	48
1. 有机质生物化学改造阶段	49
2. 有机质热催化转化阶段	49
3. 有机质热裂解阶段	52
五、石油、天然气与其它可燃有机矿产（煤、油页岩等）的成因关系	57
第三节 生油岩的鉴别	58
一、生油岩和生油层系的类型	58
1. 生油岩的类型	58
2. 我国的几种主要生油层系类型	59
二、生油岩的地球化学标志	60
1. 生油母质的丰度指标——有机碳（C _{有机} ）	61
2. 有机质性质（类型）和成熟指标	63
3. 有机质转化指标	69
4. 判断生油岩沉积的氧化——还原环境指标	70
三、油源对比	71
1. 异戊二烯类化合物	72
2. 正烷烃	72
3. 低分子烷烃成分配对	73
四、生油量计算	73
结 论	75
第四章 储集层和盖层	77
第一节 储集层及其特征	77
一、储集岩的孔隙性和孔隙度（率）	77
二、储集岩的渗透性和渗透率	79

1. 储集岩的渗透性及绝对渗透率	79
2. 储集岩中的多相渗滤作用	81
第二节 常见储集层的类型	86
一、碎屑岩储集层	86
1. 碎屑岩孔隙空间的形成及影响其物性的主要因素	86
2. 碎屑岩储集层的成因类型和含油性	89
二、碳酸盐岩储集层	102
1. 碳酸盐岩孔隙空间特征及其影响因素	103
2. 常见的碳酸盐岩储集层类型	109
三、其它岩类储集层	114
1. 与古风化壳有关的其它岩类储集层	114
2. 与其它次生裂隙作用有关的其它岩类储集层	115
3. 各种火山岩储集层	115
第三节 储集层的研究	117
一、关于储集层分布的研究	118
二、关于储集岩物性的研究	118
第四节 盖层	119
一、盖层的常见类型和形成机理	119
二、盖层的相对性	121
结 论	122
第五章 石油和天然气的运移	124
第一节 油气运移的动力	124
一、地层静压力和动压力	124
二、热力	127
三、水力	127
四、浮力	129
五、毛细管压力	131
六、分子扩散	133
第二节 初次运移	134
一、初次运移的动力和状态	135
二、初次运移的时间、载体、方向和距离	137
第三节 二次运移	141
一、二次运移的动力和状态	141
二、二次运移的主要时期	142
三、二次运移的通道和距离	143
四、二次运移的主要方向	145
结 论	149
第六章 圈闭与油气藏的类型	151
第一节 圈闭与油气藏的概念	151
一、圈闭	151
二、油气藏	152
第二节 油气藏的基本类型	154

第三节 构造油气藏	158
一、背斜油气藏	158
1. 与褶皱作用有关的背斜油气藏	158
2. 与基底活动有关的背斜油气藏	160
3. 与同生正断层逆牵引作用有关的背斜油气藏	163
4. 与地下柔性物质流动有关的背斜油气藏	165
5. 与古地形突起和差异压实作用有关的背斜油气藏	166
二、断层油气藏	167
1. 断层圈闭形成的条件	167
2. 断层圈闭油气藏类型	169
三、刺穿接触油气藏	172
第四节 地层油气藏和岩性油气藏	173
一、地层油气藏	174
1. 潜山油气藏	174
2. 生物礁油气藏	176
3. 不整合覆盖油气藏	177
4. 地层超复油气藏	179
二、岩性油气藏	181
1. 透镜状岩性油气藏	181
2. 尖灭状岩性油气藏	182
第五节 关于水动力封闭问题	183
结 论	184
第七章 油气藏的形成、保存和破坏	185
第一节 油气藏的形成	185
一、油气藏形成的基本地质条件	185
1. 生油层	185
2. 储集层	185
3. 盖层	186
4. 生储盖组合	187
5. 油气运移	188
6. 圈闭	188
二、油气藏形成中的分异聚集原理	189
三、水动力条件对油气聚集的影响	194
四、圈闭形成时间与油气运移时期的对应关系	195
五、凝析气藏的形成	197
1. 临界温度与临界压力	198
2. 凝析气藏的形成条件	199
六、油气藏形成时间和油藏高度问题的探讨	200
1. 油气藏形成的时间问题	200
2. 油藏中油柱高度问题	203
第二节 油气藏的保存和破坏	208
一、引起油气藏破坏的因素	208

二、油气藏的破坏产物	209
1. 次生油气藏	210
2. 油气地表显示	210
3. 石油沥青	212
三、油气藏保存条件的研究	213
结 论	216
第八章 含油气盆地	217
第一节 含油气盆地的概念	217
第二节 含油气盆地的结构和构造	218
一、结构	218
1. 基底	218
2. 周边	219
二、构造	220
第三节 含油气盆地的分类	224
一、布罗德分类和我国通用分类	224
二、克莱姆分类	224
第四节 含油气盆地的发展及其在垂向上对油气分布的控制作用	226
第五节 含油气盆地在平面上对油气分布的控制作用	228
一、含油气盆地的基底分化对油源区的控制	228
二、盆地内的沉积相对油气分布的控制	231
第六节 含油气盆地对圈闭形成的控制作用	233
第七节 含油气盆地内的油气聚集带	235
一、油气聚集带的概念和意义	235
二、油气聚集带的类型	236
结 论	241
第九章 油气在地壳中的分布	243
第一节 槽台说对油气在地壳中分布规律的认识	243
一、槽台说的基本概念及其与油气的关系	243
二、根据地壳的槽、台组成对含油气盆地分布的划分	245
1. 北地台带含油气盆地	248
2. 古生代地槽褶皱带含油气盆地	248
3. 中地台带含油气盆地	249
4. 特提斯地槽褶皱带含油气盆地	249
5. 南地台带含油气盆地	249
6. 环太平洋带含油气盆地	249
7. 环大西洋带含油气盆地	250
8. 环印度洋带含油气盆地	250
第二节 中国各大地构造学派对油气分布的认识	250
一、中国地质构造的基本轮廓	251
二、地壳构造发展多旋回说对中国含油气盆地形成多旋回性的认识	253
三、地洼说论地壳构造的第三基本单元对油气分布的控制	255

四、地质力学论构造体系对油气分布的控制作用.....	258
五、断块说论含油气盆地的形成.....	262
六、地壳镶嵌构造波浪运动说论含油气盆地的形成.....	265
第三节 板块构造对油气在地壳中分布规律的认识.....	267
一、板块构造的基本概念和从板块构造看地壳发展历史.....	267
二、板块构造与含油气盆地的形成和分布.....	272
1. 板块或克拉通内部盆地.....	272
2. 板块前缘的含油气盆地.....	273
3. 板块后缘的含油气盆地.....	275
4. 板块侧缘的含油气盆地.....	277
结 论	278
结束语	279
主要参考文献.....	281

第一章 绪 论

内 容 提 要

本章着重介绍了《石油地质学》的内容范围、石油和天然气在国民经济中的作用、中国和世界石油工业发展的简单历史以及当前石油勘探的发展趋势。目的在使读者对这方面的问题有一个概略了解，作为阅读本书的一个基础。

第一节 本书的内容范围

石油地质学，广义地说，是一门综合性科学。它大体包括：石油和天然气从生成到聚集为矿藏的地质学原理；调查和勘探石油和天然气的各种地质，地球物理和地球化学原理、步骤和方法，以及油气田开发的地质学原理及工艺技术等三大部分。在国外有关的石油地质学教科书中，大都以第一部分为主，并程度不等地反映了第二、三部分内容。但根据我国习惯，在石油地质学专业里除设《石油地质学》外，大都还分设了《石油及天然气的调查与勘探》、《地球物理勘探》、《地球物理测井》、《油矿地质学》以及《油田开采》等课程，所以本书只涉及了上述第一部分内容。

第二节 石油和天然气在国民经济中的作用

石油和天然气是极为重要的燃料，它们具有燃烧完全、发热量高、运输方便等优点。表1-1所示为油气与煤等其它燃料发热量的比较。

表 1-1 不同种类燃料的发热能量-

燃料种类	发热量(千卡/公斤)	燃料种类	发热量(千卡/公斤)
1. 木柴	2000~2500	5. 无烟煤	6500
2. 泥炭	2100~3500	6. 石油	10000
3. 褐煤	2000	7. 汽油	11000
4. 烟煤	5000	8. 天然气	7000~12000

由上表可见，油气的发热量远远高于木柴和各种煤类。正因为如此，近百年来，油气作为燃料被广泛地应用于工业、农业、交通运输以及国防各方面。一些工业比较发达的国家，石油和天然气在其能源消费结构中所占的比例都较高，且逐年上升，而煤则有相对下降之势。

油气也是一种十分重要的化学工业原料。目前,利用石油和天然气作原料制造的化工产品大约已有好几千种,广泛地应用于工业、农业、日常生活等国民经济的各个部门。例如,化学工业主要应用的乙烯、丙烯、丁烯、苯、甲苯、二甲苯和乙炔中,乙烯是制造合成纤维、合成橡胶和合成塑料等三大合成材料的基本化工原料。因而常可用乙烯产量来衡量一个国家石油化学工业发展的水平。另外,苯、甲苯和二甲苯也是三大合成材料以及医药、农药、炸药的主要原料。其中尤以苯用途最广;其次,二甲苯可用于制造对苯二甲酸,它和由邻二甲苯制造的苯酐,是生产涤纶的主要材料。合成橡胶不仅是交通运输、工业、农业、人民生活中的重要物资,而且也是现代尖端科学技术和国防工业发展不可缺少的重要材料。利用天然气和炼油尾气制取化学肥料,目前在化肥生产中已占有十分重要地位。因此,大力发展石油化学工业不仅意义重大,而且有十分广阔的前景。

第三节 我国石油和天然气工业发展简史

我国是世界上最早发现和利用石油及天然气,并对它进行工业生产的少数国家之一。从已有的文字记载和出土文物看,至少也有三千年左右的历史。但是,我国石油工业发展的历史走过了一个非常曲折的道路。1840年鸦片战争以前,我国长期处于奴隶社会和封建社会之中,尤其在封建主义统治之下,生产发展十分缓慢。但是,经过我国劳动人民的长期努力,在对石油和天然气的认识和生产利用方面,特别是在钻井和开采技术方面仍获得了很高的成就,走在世界各国的前面。鸦片战争以后,由于帝国主义的侵入,使我国沦为半封建半殖民地的国家。帝国主义的经济侵略和文化侵略,不仅扼杀了我国已经蓬勃兴起的天然气开采工业,而且还制造了“中国贫油”的谬论,长期束缚了人们的思想。在用油方面不得不沦为只有靠“洋油”过日子的地步。解放以后,在伟大领袖毛主席和中国共产党的领导下,我国的石油工业才获得了新生。在短短的三十年中,不仅甩掉了中国贫油的帽子,而且将我国的石油生产水平提高到了世界产油国的先进行列,把我国变成了世界瞩目的产油国。

一、我国古代对油气的发现、利用和开采

1. 我国最早的油气发现

我国有关油气的文字记载,据今所知,最早者为《易经·下经夬传》中的“泽中有火”。《易经》成书于西周(公元前1122年至公元前770年之间)。所谓“泽有有火”很可能是一种沼气或天然气在水中燃烧的现象。比较可靠的发现天然气的记载,是公元前256—251年秦孝文王派李冰为蜀守时在四川邛崃县发现的。李冰任蜀守时,曾兴修都江堰和开凿盐井。在开凿工程中发现了天然气,且引起了通天大火。在晋常璩的《华阳国志》中也有关于秦始皇时(公元前221—210年)用天然气煮盐的记载。该志称:“临邛县郡(即邛崃县)西南二百里本有邛民,秦始皇徙上郡实之。有布濩水从布濩来,合文井江。有火井,夜时光映上昭。民欲其火,先以家火投之。倾许如雷声。火焰出,通耀数十里。以竹筒盛之,可拽行,终日不灭也。井有二水(指黄、黑两种卤水),取井火煮之,一斛水得五斗盐,家火煮之,得无几也。”可见在两千多年以前,我国不仅发现了天然气,而且已经用天然气做燃料来煮盐了。并且还可以把天然气用竹管导出通到煮盐的地方。由于火井的利用,使四川的产盐县由秦初的三个发展到了秦末的八个,到了汉朝已增加到了十三

个。解放已后，在邛崃县花牌坊出土的汉代画像砖上，对火井煮盐曾有生动的描绘（图1-1）。



图 1-1 汉画像砖上的火井煮盐图
(据四川博物馆出土文物)

我国对石油的记载，最早见于班固著的《汉书·地理志》，该书在上郡高奴*条下记有：“有洧水可燃”。北魏郦道元著的《水经注·河水篇》引用《汉书·地理志》的话则为：“高奴县有洧水，肥可燃，水上有肥可接取用之”。又据下文对于酒泉油苗的描述：

“酒泉延寿县南山出泉水……水有肥，如肉汁，……如凝膏，燃极明。……彼方人谓之石漆水。肥亦所在有之，非止高奴县洧水也。”可见，《汉书》上可能漏了一个“肥”字，应为“有洧水，肥可燃”。而所谓“肥”，即水上漂的石油，并可撇取来用。《汉书》是记载西汉政权（公元前206年——公元23年）兴衰的历史。虽然书中没有说明高奴油苗的记载是见于当时，还是古代已有，但可见我国最迟约在两千年左右以前已有石油的记载了。后来发现的酒泉油苗以及唐时发现的库车油苗（据李延寿：《北史》）也都有一千多年的历史。

“石油”一词是北宋沈括（1031——1095）提出的。1080年，他在任知延州富延路（即今富县、延安）经略安抚使时，见到当地人在河中捞取石油，并观察、研究了石油的产状和用途。后来在他写的《梦溪笔谈》一书中说：“富延境内有石油，旧说高奴县出脂水，即此也。”又说“石油……生于水际沙石，与泉水相杂惛惛而出。”他用油烟做墨，墨光如漆，比松墨还好。于是他说：“此物后必大行于世，……盖石油至多，生于地中无穷，不若松木有时而竭。”展示了石油利用的未来远景。

我国对于石油的应用，最早开始于治病、照明和膏车，后来将它用于战争进行火攻，制造火药和其它兵器。最早的记载见于《三国志》，著名的“赤壁之战”曾用“膏油”（当时将石油称“膏油”）灌入柴草，火烧战船。《元和郡县图志》记载了北周武帝宣政中（公

*高奴：秦制县名，即今延安、延长、延川一带，

元578年)酒泉人民用石油焚毁突厥族入侵的武器,保卫了城池。到了北宋时,已有加工石油的作坊—猛火油作,制作烟球毒药,猛火油柜等兵器。因其所需数量较大,那时可能已有油井生产了。但见于史书记载者为《元一统志》。该书在《延安路》条下记有:“在延安南迎河凿开石油一井,岁纳一百一十斤。又延川……永坪村,有一井,岁办四百斤,入路之延丰库。”可见在元朝,不仅有采油井,而且已建立了管理机构。到了十六世纪初,明正德末年,在四川的嘉州、眉州、青神、井研、洪雅、犍为等许多县,都有井中出油的记载,主要用于照明,称为“雄黄油”。

我国对于石油的发现和应用虽然很早,但石油的工业生产不如天然气工业那么发达。直到1840年鸦片战争以后,帝国主义侵入我国,“洋油”充斥我国市场,我国的石油工业更无发展余地了。

2. 我国古代的钻井工艺

在我国古代的油气工业发展中,除上述在很早以前我国古代劳动人民就已发现了石油和天然气,并对它进行了利用外,还有两个方面曾取得了辉煌的成就,这就是钻井工艺和天然气开采。

钻井工艺的发展是衡量我国古代油气工业发展的一个重要标志。

公元前256——251年,李冰为蜀守时就已发明了顿钻,并在四川广都成功地钻了第一口采盐井。当时的顿钻结构十分简单,状如舂米的碓,并可能是从碓发展而来。如图1-2所示。到了公元前221——210年,便在四川邛崃出现了用顿钻钻的天然气井。至公元前

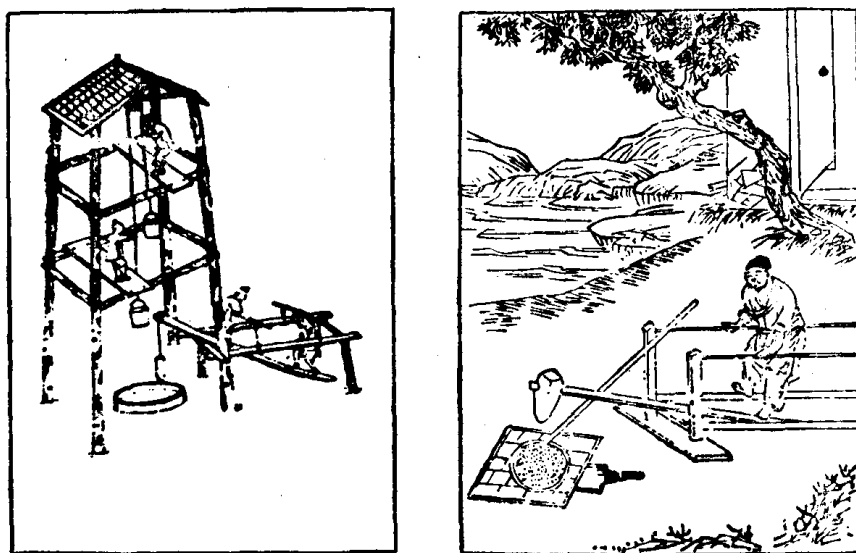


图1-2 原始顿钻(左)示意图与碓(右)的比较

67年,仅临邛和蒲江两地就用顿钻凿井20口(晋·常璩:《华阳国志·蜀志》)。到了东汉(公元25——220年),顿钻的应用已经发展到了四川的广都、广汉、临邛、蒲江、成都、牛鞞、什邡、汉发、南充、江阳、胸臆、南安、郫、益州、武阳和临江等十六个县(据《华阳国志》、《太平寰宇记》、《汉书》、《博物志》、《天下郡国利病书》和《水经注》)。到了唐朝,四川有气井和盐井的县达到了64个。在顿钻结构中,出现用人力推的绞盘车来代替原先安在井架顶上的辘轳,以更大效力来提携泥砂,井钻成后也用它来提携卤水。

秦汉时期，所钻凿的井，井口都比较大，一般纵广三、五尺到三十丈*左右；井深二、三丈到六十余丈。井钻成（达目的层）后，就用竹、木把井壁四周锁迭起来，防止井壁坍塌。到了宋朝，1040年以后，才改大井口为小井口，称为卓筒井（《丹渊集》卷34：“自庆历以来，始因土人凿地植竹，为之卓筒井”）。1129年，四川十个有钻凿井的州中就有十七个全部实现了卓筒井。井眼变小以后，无法再用桶捞岩屑，又发明了吞泥筒，后来又称扇泥筒，即今日的捞砂筒。为了封隔井中的淡水，又发明了竹、木制做的套管以封隔水层和防止井壁坍塌，取代了以竹、木锁迭的防塌法。到了1253年又开始用牛力代替人力带动绞盘，这在钻井史上又是一个重要的发展。

由于以上改革，到宋代时钻井机械已经发展成为由踩架（钻台）、井架和用畜力作动力的绞盘车组成的一项复杂的机械组合体，为钻更深的井创造了条件，如到1820年，在四川的键为和高顺已钻三、四百丈，即1050—1400米深的井了。

到明代，我国的钻井技术已发展成为一套完整的工艺技术。曹学佺著《蜀中广记》一书中的《井法》，宋应星著《天工开物》一书中的《作咸》，都全面地、系统地总结了我国十一世纪四十年代到十七世纪三十年代在钻井设备和技术方面所取得的伟大成就。《天工开物》一书把钻井工艺科学地划分为开井口（图1-3）、下石圈、锉大口、制木竹、下木竹（图1-4）、锉小口等几道工序，分别相当于今天的第一次开钻，下导管，第二次开钻，下套管和第三次开钻（锉小口）等工序。说明现在的钻井程序我国在十七世纪三十年代以前已经达到了。



图1-3 《天工开物》中的“开井口”
相当现在的第一次开钻。

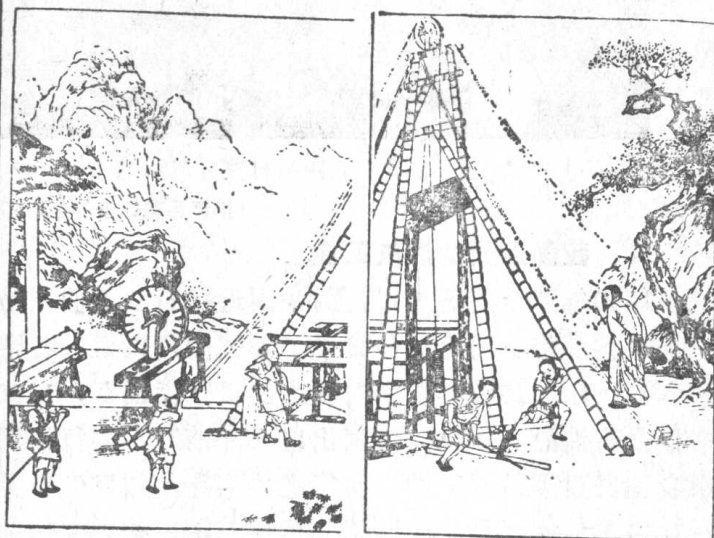


图1-4 《天工开物》中的“下木竹”，
相当现在的下套管。

3. 我国古代的天然气开采

我国对气田的开发也是世界上最早的，并且达到了很高的工艺水平。最早开发的气田就是四川的自流井气田。

*井尺一丈等于3.5米。