

中国石化员工培训教材

石油物探技术



SHIYOU WUTAN
JISHU

中国石化员工培训教材编审指导委员会 组织编写
本书主编 赵金洲

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

中国石化员工培训教材

石油物探技术

中国石化员工培训教材编审指导委员会 组织编写

本书主编 赵金洲

中国石化出版社

内 容 提 要

《石油物探技术》为《中国石化员工培训教材》系列之一, 主要介绍常规地震勘探资料采集、资料处理、资料解释3个环节, 兼顾特殊地震技术和其他石油物探技术。内容以“新理论、新技术、新方法”和技术应用为主, 以实际能力培训为导向, 紧密结合生产和岗位实际。

本书以物探专业初、中级专业技术人员为读者对象, 目的是提高石油物探专业技术人员分析问题、解决问题的能力, 使培训后专业技术人员的创新能力、技术水平与集团公司提高核心竞争力的需要相适应。

本书是石油物探人员进行员工岗位技能培训的必备教材, 也是专业技术人员必备的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

石油物探技术 / 赵金洲主编. —北京: 中国石化出版社, 2013. 7
中国石化员工培训教材
ISBN 978 - 7 - 5114 - 2159 - 3

I. ①石… II. ①赵… III. ①油气勘探 - 地球物理勘探 - 技术培训 - 教材
IV. ①P618. 130. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 151676 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

*

787 × 1092 毫米 16 开本 33. 75 印张 848 千字

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定价: 98. 00 元

中国石化员工培训教材

编审指导委员会

主 任：李春光

委 员：戴 锭 谭克非 章治国 初 鹏

吕长江 张卫东 吕永健 徐 惠

张吉星 雍自强 寇建朝 张 征

蒋振盈 齐学忠 翟亚林 耿礼民

吕大鹏 郭安翔 何建英 石兴春

王妙云 徐跃华 孙久勤 吴文信

王德华 亓玉台 周志明 王子康

序

中国石化是上中下游一体化能源化工公司，经营规模大、业务链条长、员工数量多，在我国经济社会发展中具有举足轻重的作用。公司的发展，基础在队伍，关键在人才，根本在提高员工队伍整体素质。员工教育培训是建设高素质员工队伍的先导性、基础性、战略性工程，是加强人才队伍建设的重要途径。

当前，我们已开启了建设世界一流能源化工公司的新航程，加快转变发展方式的任务艰巨而繁重，这对进一步做好员工教育培训工作提出了新的更高要求。我们要以中国特色社会主义理论为指导，紧紧围绕企业改革发展、队伍建设和员工成长需要，以提高思想政治素质为根本，以能力建设为重点，积极构建符合中国石化实际的培训体系，加大重点和骨干人才培训力度，深入推进全员培训，不断提高教育培训的质量和效益，为打造世界一流提供有力的人才保证和智力支持。

培训教材是员工学习的工具。加强培训教材建设，能够有效反映和传递公司战略思想和企业文化，推动企业全员学习，促进学习型企业建设。中国石化员工培训教材编审指导委员会组织编写的这套系列教材，较好地反映了集团公司经营管理目标要求，总结了全体员工在实践中创造的好经验好做法，梳理了有关岗位工作职责和 workflows，分析研究了面临的新技术、新情况、新问题等，在此基础上进行了完善提升，具有很强的实践性、实用性和较高的理论性、思想性。这套系列培训教材的开发和出版，对推动全体员工进一步加强学习，进而提高全体员工的理论素养、知识水平和业务能力具有重要的意义。

学习的目的在于运用，希望全体员工大力弘扬理论联系实际的优良学风，紧密结合企业发展环境的新变化、新进展、新情况，学好用好培训教材，不断提高解决实际问题、做好本职工作的能力，真正做到学以致用、知行合一，把学习培训的成果切实转变为推进工作、促进改革创新的实际行动，为建设世界一流能源化工公司作出积极的贡献。



二〇一二年七月十六日

前 言

根据中国石化发展战略要求,为加强培训资源建设、推进全员培训的深入开展,集团公司人事部组织梳理了近些年培训教材开发成果,调研了企业培训教材需求,开展了中国石化员工培训课程体系研究。在此基础上,按职业素养、综合管理、专业技术、技能操作、国际化业务、新员工等六类,组织编写覆盖石油石化主要业务的系列培训教材,初步构建起中国石化特色的培训教材体系。这套系列教材围绕中国石化发展战略、队伍建设和员工成长的需要,以提高全体员工履行岗位职责的能力为重点,把研究和解决生产经营、改革发展面临的新挑战、新情况、新问题作为重要目标,把全体员工在实践中创造的好经验好做法作为重要内容,具有较强的实践性、针对性。这套培训教材的开发工作由中国石化员工培训教材编审指导委员会组织,集团公司人事部统筹协调,总部各业务部门分工负责专业指导和质量把关,主编单位负责组织培训教材编写。在培训教材开发和编写的过程中,上下协同、团结合作,各级领导给予了高度重视和支持,许多管理专家、技术骨干、技能操作能手为培训教材编写贡献了智慧、付出了辛勤的劳动。

《石油物探技术》为专业技术类型的培训教材,在编写时突出“先进性”和“实用性”,力求针对性、实用性、前瞻性和科学性相统一。内容以“新理论、新技术、新方法”和技术应用为主,以职业活动为导向,以职业技能为核心。紧密结合生产和岗位实际,既介绍本专业技术应用和创新案例,体现新技术、新工艺发展需求,也介绍技术发展趋势。

本教材编写的主要目的是提高石油物探专业技术人员分析问题、解决问题的能力,使培训后专业技术人员的创新能力、技术水平与集团公司提高核心竞争力的需要相适应。主要内容以常规地震勘探资料采集、资料处理、资料解释3个环节为重点,兼顾特殊地震技术和其他石油物探技术,侧重于实际操作,所涉及理论知识以够用为原则,有些理论知识本教材没有涉及。

本教材共分为6部分:第1部分为地震勘探基础知识(第1章);第2部分为地震勘探资料采集(第2~5章);第3部分为地震勘探资料处理(第6~11

章)；第4部分为地震资料解释与应用(第12~16章)；第5部分为油藏地球物理技术(第17章)；第6部分为重磁电勘探技术(第18章)。

《石油物探技术》教材由石油工程管理部、油田勘探开发事业部和胜利石油管理局负责组织编写，主编赵金洲(胜利油田)，副主编房锡业、周德奎(胜利油田)。参加编写的人员有张延明、王国防、俞家声、逢雯、刘树忠、杜清怀、张延同、杨德宽、宋智强、董长安、任立刚、张光德、许孝坤、王春田、宋智勇、徐钰、于静、毛中华、刘美丽、郭见乐、刘继勇、韩站一、傅金荣、单联瑜、苏朝光、孙明江、韩宏伟、高秋菊、李红梅等(胜利油田)；姚本全等(江汉油田)、杨文达等(上海海洋局)、刘春耕等(华北石油局)、刘传山等(西南石油局)；全书由周德奎统稿。本教材已经集团公司人事部、石油工程管理部、油田勘探开发事业部审定通过，主审唐建明、副主审刘金连，参加审定的人员有王炳章、赵延江、魏红梅、徐宏斌、杨德宽等，审定工作得到了西南油气分公司、油田事业部、物探技术研究院、胜利油田等单位的大力支持；中国石化出版社对教材的编写和出版工作给予了通力协作和配合，在此一并表示感谢。

由于本教材涵盖的内容较多，不同企业之间也存在着差别，编写难度较大，加之编写时间紧迫，不足之处在所难免，敬请各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议，以便教材修订时补充更正。

目 录

第1章 地震勘探基本理论	(1)
1.1 地震勘探地质基础	(1)
1.1.1 地球的圈层结构	(1)
1.1.2 地壳的岩石组成及特征	(4)
1.1.3 地质构造	(13)
1.1.4 石油地质	(21)
1.2 地震波运动学理论	(32)
1.2.1 几何地震学基本概念	(32)
1.2.2 一个界面情况下的反射波特征及数学表达式	(40)
1.2.3 多层介质情况下的反射波特征及数学表达式	(47)
1.3 地震波动力学特征描述	(55)
1.3.1 弹性波的波动方程	(55)
1.3.2 地震波的频谱	(59)
1.3.3 地震波的振幅	(62)
1.3.4 地震波速度及影响因素分析	(65)
本章思考题	(73)
第2章 石油物探测量技术	(74)
2.1 石油物探测量基础知识	(74)
2.1.1 石油物探测量的任务	(75)
2.1.2 大地测量的基准面	(75)
2.1.3 大地测量的坐标系统	(76)
2.1.4 物探测量的三北方向	(80)
2.1.5 物探测量常用的坐标系统和高程系统	(81)
2.2 物探测量技术	(83)
2.2.1 导线测量技术	(83)
2.2.2 卫星导航与定位技术	(85)
2.2.3 水底检波器二次定位技术	(96)
2.2.4 中深海综合导航定位技术	(98)
2.3 物探测量的实施	(101)
2.3.1 准备工作	(101)
2.3.2 控制测量	(104)
2.3.3 物理点布设	(110)
本章思考题	(119)

第3章 地震勘探采集设计技术	(120)
3.1 地震勘探采集设计依据	(120)
3.1.1 采集设计的基本依据	(120)
3.1.2 不同勘探阶段的设计依据	(120)
3.1.3 观测系统设计的基本原则	(121)
3.2 采集设计的前期准备	(121)
3.2.1 工区踏勘	(121)
3.2.2 资料收集	(121)
3.3 野外观测系统	(122)
3.3.1 观测系统中的术语	(122)
3.3.2 多次覆盖的观测系统	(123)
3.3.3 观测系统图示	(123)
3.3.4 观测系统类型	(123)
3.3.5 观测系统设计的工作步骤	(127)
3.4 观测系统参数论证	(127)
3.4.1 道间距的选择	(127)
3.4.2 三维面元尺度的论证	(128)
3.4.3 炮检距论证	(129)
3.4.4 覆盖次数论证	(131)
3.4.5 方位角论证	(132)
3.4.6 偏移孔径论证	(133)
3.5 观测系统属性分析技术	(133)
3.5.1 CMP 面元属性分析	(133)
3.5.2 正演模拟分析技术	(135)
3.5.3 照明分析技术	(139)
3.6 海上常用地震观测系统	(141)
3.6.1 简单连续二维观测系统	(141)
3.6.2 多次覆盖二维观测系统	(141)
3.6.3 海上三维地震观测系统	(142)
3.7 特殊观测系统的设计技术	(142)
3.7.1 针对地质目标的观测系统设计技术	(142)
3.7.2 高密度三维观测系统设计技术	(142)
3.7.3 多波多分量三维观测系统设计技术	(143)
3.8 观测系统应用实例	(144)
3.8.1 二维应用实例	(144)
3.8.2 三维地震采集应用实例	(146)
本章思考题	(149)
第4章 地震勘探激发与接收技术	(150)
4.1 表层结构调查	(150)
4.1.1 小折射	(150)

4.1.2	单井微测井	(152)
4.1.3	双井微测井	(152)
4.1.4	地质雷达	(154)
4.1.5	岩性取心	(155)
4.2	地震波的激发技术	(155)
4.2.1	地震震源类型	(155)
4.2.2	炸药震源及激发技术	(155)
4.2.3	可控震源及激发技术	(159)
4.2.4	气枪震源及激发技术	(161)
4.3	地震波的接收技术	(162)
4.3.1	地震检波器类型	(162)
4.3.2	组合压噪技术	(162)
4.3.3	检波器耦合技术	(165)
4.3.4	海上地震接收技术	(167)
	本章思考题	(174)
第5章	地震数据采集装备	(175)
5.1	地震勘探仪器	(175)
5.1.1	常用数字地震仪及其特点	(176)
5.1.2	地面辅助设备	(178)
5.2	地震钻井设备	(181)
5.2.1	地震勘探常规钻具	(181)
5.2.2	山地钻具	(181)
5.2.3	沙漠、戈壁钻具	(182)
5.2.4	滩涂、沼泽钻具	(183)
5.3	地震震源设备	(183)
5.3.1	地震可控震源	(183)
5.3.2	气枪震源船	(185)
5.3.3	中深海地震震源设备	(187)
5.4	其他地震采集装备	(201)
	本章思考题	(201)
第6章	预处理及真振幅恢复	(202)
6.1	地震资料处理概述	(202)
6.2	观测系统定义	(203)
6.3	地震波能量补偿	(204)
6.3.1	地震波的衰减机制及影响衰减的因素	(204)
6.3.2	真振幅恢复	(206)
6.3.3	地表一致性振幅补偿	(207)
6.3.4	剩余振幅补偿技术	(208)
6.4	地震资料检查	(210)
6.5	预处理小结	(211)
	本章思考题	(211)

第7章 噪音去除技术	(212)
7.1 去噪技术综述	(212)
7.2 噪音的分类及特点	(212)
7.2.1 陆地噪音的分类及分析	(212)
7.2.2 滩浅海地区噪音分析	(213)
7.3 噪音的去除方法	(214)
7.4 叠后去噪技术	(221)
7.5 去噪处理小结	(222)
本章思考题	(222)
第8章 静校正处理技术	(223)
8.1 静校正处理技术综述	(223)
8.2 近地表静校正	(224)
8.2.1 高程静校正	(228)
8.2.2 折射波静校正	(229)
8.2.3 初至波层析静校正	(230)
8.3 剩余静校正	(231)
8.3.1 方法原理	(231)
8.3.2 剩余静校正模型道	(232)
8.4 静校正小结	(234)
本章思考题	(235)
第9章 反褶积处理技术	(236)
9.1 概述	(236)
9.2 叠前反褶积	(237)
9.2.1 叠前反褶积的分类	(238)
9.2.2 子波反褶积	(238)
9.2.3 预测反褶积	(238)
9.2.4 地表一致性反褶积	(242)
9.3 叠后反褶积	(244)
9.4 反褶积小结	(246)
本章思考题	(246)
第10章 动校正和叠加技术	(247)
10.1 概述	(247)
10.2 速度分析	(247)
10.2.1 基本的速度分析判别准则	(248)
10.2.2 影响速度估算精度的因素	(250)
10.2.3 常用的速度分析方法	(251)
10.2.4 高精度速度分析技术	(252)
10.3 动校正技术	(253)
10.4 叠加技术	(255)
10.4.1 常规水平叠加技术	(255)

10.4.2	DMO 技术	(258)
10.4.3	四次项动校正(QMO)	(260)
10.4.4	共反射面元叠加技术	(263)
10.5	本章小结	(265)
	本章思考题	(266)
第 11 章	地震偏移成像技术	(267)
11.1	概述	(267)
11.2	叠后偏移	(269)
11.2.1	克希霍夫积分法	(269)
11.2.2	有限差分法波动方程偏移(FDMIG)	(270)
11.2.3	扩展 STOLT 偏移	(271)
11.2.4	$F-X$ 偏移	(272)
11.2.5	相移法偏移	(273)
11.3	叠前偏移	(275)
11.3.1	叠前时间偏移	(275)
11.3.2	非对称走时叠前时间偏移	(278)
11.3.3	叠前深度偏移	(282)
11.4	偏移成像技术小结	(287)
	本章思考题	(287)
第 12 章	复杂油气藏地震识别技术	(288)
12.1	复杂油气藏地震特征识别的基础研究	(288)
12.1.1	地震岩石物理参数研究	(288)
12.1.2	数值-物理联合地震正演模拟方法	(292)
12.1.3	油气藏类型及特征	(295)
12.2	复杂构造油气藏地震识别技术	(301)
12.2.1	低序级断层地震特征定量识别技术	(301)
12.2.2	微构造油气藏地震识别技术	(302)
12.2.3	复杂构造油气藏地震特征识别实例分析	(304)
12.3	地层油气藏地震特征定量识别技术	(304)
12.3.1	地层油气藏尖灭线识别存在的问题	(304)
12.3.2	地层油气藏尖灭线地震正演模型定量研究	(305)
12.3.3	地层油气藏地震特征识别实例分析	(307)
12.4	岩性油气藏地震特征识别技术	(308)
12.4.1	河道砂体油气藏地震特征识别技术	(308)
12.4.2	滩坝砂体油气藏地震特征识别技术	(310)
12.4.3	砂砾岩体油气藏地震特征识别技术	(316)
12.4.4	浊积岩油气藏地震特征识别技术	(317)
12.5	火成岩油气藏地震识别技术	(319)
12.5.1	火成岩的边界识别	(319)
12.5.2	火成岩的外形识别特征	(319)

12.6	裂缝性油气藏地震识别技术	(320)
12.6.1	灰岩缝洞裂缝型油气藏地震识别技术	(320)
12.6.2	灰岩礁滩孔隙-裂缝型油气藏地震识别技术	(320)
12.6.3	泥页岩裂缝油气藏地震识别技术	(321)
12.7	多种地震资料速度陷阱的地震特征及判识	(322)
12.7.1	高速体引起的速度陷阱速度上拉陷阱判识	(322)
12.7.2	低速体引起的速度陷阱速度下拉陷阱判识	(322)
	本章思考题	(324)
第13章	复杂断块油气藏地震解释技术	(325)
13.1	断层平面识别技术	(325)
13.1.1	相干分析技术	(325)
13.1.2	倾角检测技术	(331)
13.2	断块空间解释技术	(333)
13.2.1	层位综合标定技术	(333)
13.2.2	断层空间解释技术	(337)
13.3	断层封堵分析技术	(342)
13.3.1	断层封堵分析方法	(342)
13.3.2	断层封堵综合评价	(346)
13.4	复杂断块油气藏解释实例	(347)
13.4.1	综合标定技术	(347)
13.4.2	构造精细解释技术	(349)
13.4.3	断层封堵性分析技术	(352)
13.4.4	圈闭综合评价技术	(355)
	本章思考题	(357)
第14章	地层油气藏综合解释技术	(358)
14.1	地层超覆及不整合油气藏综合解释技术	(358)
14.1.1	地层油藏“三级不整合”成因机制及五种成藏模式	(358)
14.1.2	地层圈闭识别与地震预测技术	(362)
14.1.3	应用效果	(369)
14.2	潜山油藏综合解释技术	(369)
14.2.1	潜山油气藏勘探概况	(369)
14.2.2	潜山重震联合反演技术	(370)
14.2.3	潜山精细构造解释技术	(370)
14.2.4	潜山有利储层预测技术	(374)
14.2.5	潜山含油气评价技术	(376)
14.2.6	应用实例及效果	(376)
	本章思考题	(377)
第15章	岩性油藏地震勘探技术	(378)
15.1	河道砂体油气藏地震预测技术	(378)
15.1.1	河流相储层基本地质特征	(378)

15.1.2	储层岩石物理特征及地震相参数物理意义	(380)
15.1.3	河道砂体储层地震识别描述技术	(382)
15.1.4	河流相储层预测效果	(385)
15.2	滩坝砂岩储层地震预测技术	(385)
15.2.1	滩坝砂岩储层地质与地球物理特征	(386)
15.2.2	高精度古地形恢复技术预测滩坝砂岩宏观分布	(386)
15.2.3	滩坝砂岩储层地球物理响应正演模拟	(388)
15.2.4	滩坝砂岩储层地震属性预测技术	(391)
15.2.5	滩坝砂岩储层预测效果	(394)
15.3	砂砾岩体油藏地震预测技术	(395)
15.3.1	砂砾岩体地震、地质特征	(395)
15.3.2	砂砾岩体勘探技术	(396)
15.3.3	砂砾岩体勘探成果	(401)
15.4	浊积岩地震预测技术	(402)
15.4.1	浊积岩分序级地震识别方法	(402)
15.4.2	浊积岩储层预测技术	(405)
15.4.3	应用效果	(408)
	本章思考题	(408)
第16章	天然气藏地震识别技术	(409)
16.1	天然气藏地震识别的岩石物理基础	(409)
16.1.1	岩石物理基础	(409)
16.1.2	岩石物理参数与储层参数分析	(413)
16.1.3	含油气敏感性参数分析	(414)
16.2	基于叠后振幅的含气性识别技术	(416)
16.2.1	形成强振幅“亮点”反射的地震地质基础	(416)
16.2.2	浅层亮点的地震定量描述技术	(418)
16.3	叠前地震反演技术	(423)
16.3.1	理论基础	(423)
16.3.2	AVO 分析技术	(425)
16.3.3	基于弹性阻抗方程的弹性参数反演方法	(430)
16.3.4	叠前地震反演技术特点及适用性分析	(438)
16.4	基于吸收衰减的含油气识别方法	(439)
16.4.1	地震波衰减理论	(439)
16.4.2	基于 S 变换的品质因子提取方法	(440)
16.4.3	谱分析法	(442)
	本章思考题	(445)
第17章	油藏地球物理技术	(446)
17.1	垂直地震剖面法(VSP)	(446)
17.1.1	常规 VSP	(447)
17.1.2	三维 VSP 技术	(458)

17.1.3	随钻 VSP 技术	(464)
17.1.4	其他 VSP 技术	(471)
17.2	井间地震	(475)
17.2.1	井间地震采集工作方式	(475)
17.2.2	井间地震观测系统	(475)
17.2.3	观测系统设计要求	(476)
17.2.4	井间地震波场分析	(476)
17.2.5	井间层析成像反演	(476)
17.2.6	井间反射波成像	(477)
17.2.7	井间地震资料解释	(477)
17.2.8	井间地震的应用领域	(478)
17.3	微地震技术	(480)
17.3.1	概述	(480)
17.3.2	核心技术	(481)
17.3.3	应用实例与效果	(486)
17.4	时移地震与油藏监测	(487)
17.4.1	可行性研究和风险评价	(487)
17.4.2	提高数据采集可重复性的技术	(488)
17.4.3	时移地震数据一致性处理技术	(488)
17.4.4	时移地震资料分析解释技术	(489)
17.5	多波多分量地震技术	(490)
17.5.1	技术优势与发展过程	(490)
17.5.2	转换波特点和技术原理	(491)
17.5.3	多波勘探关键技术环节	(492)
	本章思考题	(494)
第 18 章	重磁电勘探技术	(495)
18.1	重力勘探	(495)
18.1.1	重力勘探的基础知识	(495)
18.1.2	重力野外施工与资料整理	(498)
18.1.3	重力勘探资料的解释及应用	(505)
18.2	地面磁法勘探	(510)
18.2.1	磁法勘探的基础知识	(510)
18.2.2	磁测工作方法	(512)
18.2.3	磁法勘探的应用	(515)
18.3	电法勘探	(516)
18.3.1	电法勘探简介	(516)
18.3.2	大地电磁测深原理及施工	(517)
18.3.3	大地电磁测深资料处理及解释	(519)
	本章思考题	(521)
	参考文献	(522)

第1章 地震勘探基本理论

地震勘探是通过人工方法激发地震波,研究地震波在地层中的传播情况,以查明地下的地质结构,为寻找油气田或其他勘探目的服务的一种物探方法。

在地表以人工方法激发地震波,在向地下传播时,遇有介质性质不同的岩层分界面,地震波将发生反射与透射,在地表或井中用检波器接收这种地震波,收到的地震波信号与震源特性、检波点的位置、地震波经过的地下岩层的性质与结构有关。通过对地震波信号进行处理和解释,可以推断地下岩层的性质和形态。地震勘探在分层的详细程度和勘查的精度上,都优于其他地球物理勘探方法。地震勘探的深度一般从数十米到数十千米不等。

地震勘探震源基本上分为两大类:一类是炸药震源;另一类是非炸药震源。炸药震源分为普通炸药震源和爆炸索两种,目前陆地勘探主要震源为炸药震源。陆上非炸药震源分为撞击型(如重锤和气动震源)和振动型(如可控震源);海上勘探震源主要有电火花震源、空气枪震源、无气泡蒸汽枪震源等。

地震勘探是钻探前勘测石油与天然气资源的重要手段。在煤田和工程地质勘察、区域地质研究和地壳研究等方面,地震勘探也得到广泛应用。自20世纪80年代以来,对某些类型金属矿的勘查也有选择地采用了地震勘探方法。

1.1 地震勘探地质基础

1.1.1 地球的圈层结构

限于科学技术水平,人类可以直接观察到的地下深度十分有限。现在世界上的矿井一般仅4~5km,最深的钻井不过12.5km,即使是火山喷溢出来的岩浆,最深也只能带出地下几十到200km左右的物质。目前对地球内部的了解,主要是借助于地震波研究的成果。地震发生时,人们会感到地球在剧烈颤动,这是由于地震所激发出的弹性波在地球中传播的结果,这种弹性波就叫地震波。地震波主要包括纵波(P波)、横波(S波)和面波,其中对地球内部构造研究有意义的是纵波和横波(面波只沿地表传播)。地震波从地震的震源激发向四面八方传播,到达地表的各个地震台站后被地震仪所记录下来。根据这些记录,人们可以推断地震波的传播路径、速度变化以及介质的特点,通过对许多台站的记录进行综合分析研究,便可以了解地球的内部构造。所以,有人把地震比喻为地球内部的一盏明灯,它发出的地震波“照亮”了地球的内部。

地震波传播速度的大小与介质的密度和弹性性质有关,地震波速的变化就意味着介质的密度和弹性性质发生了变化。纵波的传播速度高于横波,在同一介质中纵波速度约为横波速度的1.73倍。在液体中,横波不能传播。地震波的传播如同光波的传播一样,当遇到不同波速介质的突变界面时,地震波射线就会发生反射和折射,这种界面称为波速不连续面。

根据地震波传播速度的突然变化,先后发现地球内部存在着7个显著的地震波速不连续界面。其中最主要的不连续界面有2个(图1-1)。

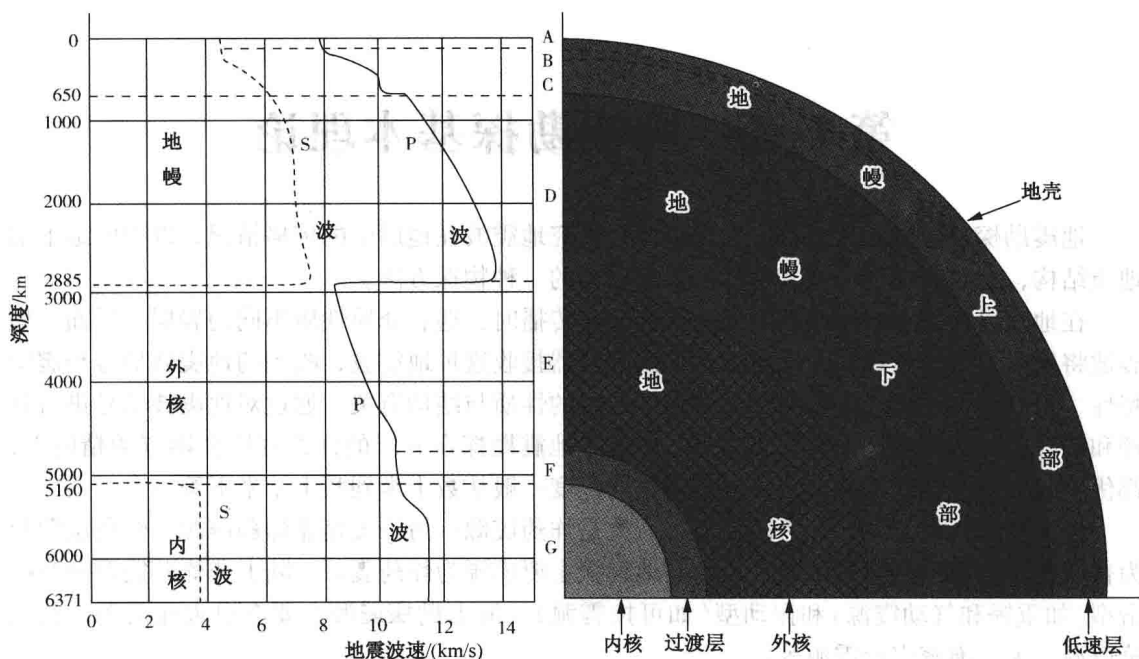


图 1-1 地球内部结构及 P 波与 S 波的速度分布

① 莫霍洛维奇面(简称莫霍面)。最先由克罗地亚学者莫霍洛维奇(A. mohoroviche, 1857~1936 年)于 1909 年发现。在莫霍面上下,纵波速度从 7.0 km/s 迅速增加到 8.1 km/s 左右;横波速度则从 4.2 km/s 增加到 4.4km/s 左右。莫霍面出现的深度,全球平均为 33 km,在大洋之下平均仅为 7km。后来,人们就把莫霍面之上称为地壳,莫霍面之下到古登堡面之间称为地幔

② 古登堡面。1914 年由美籍德裔学者古登堡(B. Gutenberg, 1889~1960 年)发现的,在此不连续面上下,纵波速度由 13.6 km/s 突然降低为 7.98 km/s;横波速度从 7.23 km/s 到突然消失,此界面位于地下 2885 km 深度。此界面之下到地心,称为地核。

因此,地球的内部构造可以以莫霍面和古登堡面划分为地壳、地幔和地核三个主要圈层。

1.1.1.1 地壳

地壳是莫霍面以上的地球表层。其厚度变化在 5~70km 之间。其中大陆地区厚度较大,平均约为 33km;大洋地区厚度较小,平均约 7km;总体的平均厚度约 16km,占地球半径的 1/400,占地球总体积的 1.55%,占地球总质量的 0.8%。地壳物质的密度一般为 2.6~2.9g/cm³,其上部密度较小,向下部密度增大。地壳为固态岩石所组成,包括沉积岩、岩浆岩和变质岩三大岩类。

地壳在横向上是极不均一的。按地壳的物质组成、结构、构造及形成演化的特征,主要可分为大陆地壳与大洋地壳两种类型。大陆地壳(简称陆壳)主要分布于大陆及其毗邻的大陆架、大陆坡地区;大洋地壳(简称洋壳)主要分布在大陆坡以外的海水较深的大洋地区。

1. 大洋地壳

大洋地壳厚度较薄,一般为 5~10km(不计海水厚度),在一些洋隆或海山地区可达 10km 以上。一般而言,厚度在洋中脊地区较薄,远离洋中脊地区厚度有增厚趋势。洋壳的厚度变化较小,物质成分主要相当于基性岩,物质的平均密度较陆壳大,约为 2.8~2.9g/cm³。洋壳内