



中国石油天然气集团公司统编培训教材

工程技术业务分册

现代石油物探测量与 导航定位技术

《现代石油物探测量与导航定位技术》编委会 编



石油工业出版社

中国石油天然气集团公司统编培训教材

工程技术业务分册

现代石油物探测量与 导航定位技术

《现代石油物探测量与导航定位技术》编委会 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书作为《中国石油天然气集团公司统编培训教材》的分册之一,详细介绍了现代测量的基本理论及石油物探测量的常用技术和方法,并结合目前技术新进展提出了在石油物探测量中开展应用的独到见解。

本书可作为石油物探测量员工的技术培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代石油物探测量与导航定位技术/《现代石油物探测量与导航定位技术》编委会编. —北京:石油工业出版社,2016.5

中国石油天然气集团公司统编培训教材

ISBN 978-7-5183-1216-0

I. 现…

II. 现…

III. 油气勘探-地球物理勘探-测量技术-技术培训-教材

IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 066588 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

编辑部:(010)64523543 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

710×1000 毫米 开本:1/16 印张:13

字数:225 千字

定价:45.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》

编 审 委 员 会

主任委员：刘志华

副主任委员：张卫国 金 华

委 员：	刘 晖	胡永庆	翁兴波	王 跃
	马晓峰	闫宝东	杨大新	吴苏江
	赵金法	方朝亮	古学进	刘东徐
	张书文	雷 平	郑新权	邢颖春
	张 宏	侯创业	李国顺	杨时榜
	张永泽	张 镇		

《工程技术业务分册》

编 审 委 员 会

主任委员：杨庆理

副主任委员：李越强 秦文贵 赵业荣 夏显佰

委 员：李国顺 工悦军 孙玉玺 安 涛

刘应忠 张卫军 胡守林 王 鹏

秘 书：刘欣欣 邹 辉 李 季 贾平军

刘梅全 何昀宾

《现代石油物探测量与导航定位技术》

编委会

主 编：李秀山

编 委：孙绍斌 易昌华 方守川 王艳梅
曹凤海 吴绍玉 张彦军 武宏海

序

企业发展靠人才,人才发展靠培训。当前,集团公司正处在加快转变增长方式,调整产业结构,全面建设综合性国际能源公司的关键时期。做好“发展”、“转变”、“和谐”三件大事,更深更广参与全球竞争,实现全面协调可持续,特别是海外油气作业产量“半壁江山”的目标,人才是根本。培训工作作为影响集团公司人才发展水平和实力的重要因素,肩负着艰巨而繁重的战略任务和历史使命,面临着前所未有的发展机遇。健全和完善员工培训教材体系,是加强培训基础建设,推进培训战略性和国际化转型升级的重要举措,是提升公司人力资源开发整体能力的一项重要基础工作。

集团公司始终高度重视培训教材开发等人力资源开发基础建设工作,明确提出“由专家制定大纲、按大纲选编教材、按教材开展培训”的目标和要求。2009年以来,由人事部牵头,各部门和专业分公司参与,在分析优化公司现有部分专业培训教材、职业资格培训教材和培训课件的基础上,经反复研究论证,形成了比较系统、科学的教材编审目录、方案和编写计划,全面启动了《中国石油天然气集团公司统编培训教材》(以下简称“统编培训教材”)的开发和编审工作。“统编培训教材”以国内外知名专家学者、集团公司两级专家、现场管理技术骨干等力量为主体,充分发挥地区公司、研究院所、培训机构的作用,瞄准世界前沿及集团公司技术发展的最新进展,突出现场应用和实际操作,精心组织编写,由集团公司“统编培训教材”编审委员会审定,集团公司统一出版和发行。

根据集团公司员工队伍专业构成及业务布局,“统编培训教材”按“综合管理类、专业技术类、操作技能类、国际业务类”四类组织编写。综合管理类侧重中高级综合管理岗位员工的培训,具有石油石化管理特色的教材,以自编方式为主,行业适用或社会通用教材,可从社会选购,作为指定培训教材;专业技术类侧重中高级专业技术岗位员工的培训,是教材编审的主体,按照《专业培训教材开发目录及编审规划》逐套编审,循序推进,计划编审 300 余

门;操作技能类以国家指定的操作工种技能鉴定培训教材为基础,侧重主体专业(主要工种)骨干岗位的培训;国际业务类侧重海外项目中外员工的培训。

“统编培训教材”具有以下特点:

一是前瞻性。教材充分吸收各业务领域当前及今后一个时期世界前沿理论、先进技术和领先标准,以及集团公司技术发展的最新进展,并将其转化为员工培训的知识和技能要求,具有较强的前瞻性。

二是系统性。教材由“统编培训教材”编审委员会统一编制开发规划,统一确定专业目录,统一组织编写与审定,避免内容交叉重叠,具有较强的系统性、规范性和科学性。

三是实用性。教材内容侧重现场应用和实际操作,既有应用理论,又有实际案例和操作规程要求,具有较高的实用价值。

四是权威性。由集团公司总部组织各个领域的技术和管理权威,集中编写教材,体现了教材的权威性。

五是专业性。不仅教材的组织按照业务领域,根据专业目录进行开发,且教材的内容更加注重专业特色,强调各业务领域自身发展的特色技术、特色经验和做法,也是对公司各业务领域知识和经验的一次集中梳理,符合知识管理的要求和方向。

经过多方共同努力,集团公司首批 39 门“统编培训教材”已按计划编审出版,与各企事业单位和广大员工见面了,将成为首批集团公司统一组织开发和编审的中高级管理、技术、技能骨干人员培训的基本教材。首批“统编培训教材”的出版发行,对于完善建立起与综合性国际能源公司形象和任务相适应的系列培训教材,推进集团公司培训的标准化、国际化建设,具有划时代意义。希望各企事业单位和广大石油员工用好、用活本套教材,为持续推进人才培训工程,激发员工创新活力和创造智慧,加快建设综合性国际能源公司发挥更大作用。

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》

编审委员会

2011 年 4 月 18 日

前言



石油物探测量是为石油物探工程提供定位服务的各种测绘活动的统称。其基本任务是:将物探人员根据地质任务设计的一系列勘探点在实地标定出来并精确测定其坐标和高程,作为物探资料采集、处理及解释的位置依据。

近年来,随着物探与测量理论、技术和方法的发展,以及施工区域的不断复杂化,物探对测量工作提出了越来越高、越来越精、越来越多的要求。当前我国石油物探行业的现状是,各家单位人员结构参差不齐、设备类型复杂多样、技术风格各具特色,给提升测量技术水平和服务质量造成诸多困难。因此,目前及今后一段时期内,亟须通过组织系统性的技术培训,来优化广大物探测量人员的知识结构,提升物探测量技术服务队伍的整体素质。当前石油物探测量技术培训所面临的最突出的问题,就是缺少一套既有实用性又有先进性的技术培训教材。在这种背景下,作为《中国石油天然气集团公司统编培训教材》之一的《现代石油物探测量与导航定位技术》一书出版了。

本书概括而扼要地介绍了现代测量的基本理论及石油物探测量的常用技术和方法,并结合当代物探与测量技术新进展提出了在石油物探测量中开展应用的独到见解。全书分为测量基准与框架、全球卫星导航系统概论、陆上石油物探测量技术、海上石油勘探导航定位技术、3S 集成系统在石油物探中的应用等五章。本书是中国石油物探测量技术人员近年来生产实践和科研开发的经验总结,具有较强的系统性、先进性、实用性,可作为石油物探测量员工技术培训的教材,也可作为相关专业技术人员的参考用书。

本书是中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司石油物探测量工作者集体智慧的结晶。在编写过程中,公司测量服务中心提供了良好的创

作环境和宝贵的技术文献。本书由李秀山、孙绍斌、易昌华共同策划,李秀山、孙绍斌、易昌华、方守川、王艳梅、曹凤海、吴绍玉、张彦军、武宏海共同编著。

由于笔者水平有限,疏漏、差错在所难免,某些见解也未必成熟,敬请读者批评指正。

说明

本教材是为中国石油天然气行业地球物理勘探业务板块物探测量技术培训而编写的。本教材适用于从事石油地球物理勘探测量专业员工的入职和在职继续教育培训,也可用于石油地球物理勘探测量相关专业中高级管理人员和技术人员的培训。为便于正确使用本教材,在此对培训对象进行划分,并规定各类人员应掌握或了解的主要内容。

培训对象主要划分为以下几类:

- (1)石油地球物理勘探测量专业管理人员、技术人员、操作人员;
- (2)石油地球物理勘探测量相关专业中高级技术人员和管理人员。

各类人员应该掌握或了解的主要内容:

(1)石油地球物理勘探测量管理人员、技术人员,应掌握本教材全部内容;

(2)陆上石油地球物理勘探测量操作人员,应掌握第三章内容,了解其余各章内容;

(3)海上石油地球物理勘探导航操作人员,应掌握第四章内容,了解其余各章内容;

(4)石油地球物理勘探测量相关专业中高级管理人员、技术人员,应了解本教材各章内容。

各单位在教学中要密切联系生产实际,在以课堂教学为主的基础上,还应增加施工现场的实习、实践环节。建议根据教材内容,进一步搜集和整理施工过程照片或视频,以进行辅助教学,从而提高教学效果。

目 录

第一章 测量基准与框架	(1)
第一节 测绘学科概论	(1)
第二节 测量的基准面	(3)
第三节 测量的坐标系	(5)
第四节 坐标基准与框架	(12)
第五节 高程基准与框架	(17)
第六节 CGCS2000 大地坐标系	(21)
第二章 全球卫星导航系统概论	(25)
第一节 卫星定位基础	(25)
第二节 卫星定位原理	(28)
第三节 GPS 系统概述	(46)
第四节 GLONASS 系统概述	(59)
第五节 Galileo 系统概述	(64)
第六节 北斗卫星导航系统概述	(72)
第七节 GNSS 系统之间的兼容问题	(79)
第三章 陆上石油物探测量技术	(81)
第一节 概述	(81)
第二节 石油物探测量设计	(84)
第三节 石油物探控制测量	(88)
第四节 石油物探施工测量——差分法	(100)
第五节 石油物探施工测量——导线法	(105)
第六节 石油物探测量数据处理系统	(115)
第七节 陆上石油物探测量数据交换格式	(132)

第四章 海上石油勘探导航定位技术	(143)
第一节 概述	(143)
第二节 海上实时导航定位技术	(146)
第三节 海底高程测量技术	(148)
第四节 水下声学定位技术	(152)
第五节 浅海地震勘探综合导航系统	(156)
第六节 深海地震勘探导航定位技术	(165)
第五章 3S 集成系统在石油物探中的应用	(171)
第一节 3S 集成系统应用概述	(171)
第二节 车辆监控系统在石油物探中的应用	(178)
第三节 低空航摄系统在石油物探中的应用	(182)
参考文献	(192)

第一章 测量基准与框架

第一节 测绘学科概论

在自然科学领域,测绘学是地球科学的一门基本学科,是研究地球的形状、大小与地球重力场,以及关于如何确定地面点的空间位置和描述地形地物空间分布的理论、方法和技术。

历史上,传统测绘学在发展中派生了许多分支并各自发展为相对独立的学科,主要有大地测量学、地形测量学、摄影测量学、工程测量学和地图制图学等。其中,大地测量学是各个分支学科的基础,工程测量学是应用。

近年来,随着测绘学与天文学、地球物理学、现代空间技术等相互依托和交融、相互促进和发展,传统测绘学本身又逐步由细分走向综合。可以说,以大地测量学、摄影测量学和地图制图学为主要学科的传统测绘学已经逐渐发展为以全球导航卫星系统(GNSS)、遥感系统(RSS)和地理信息系统(GIS)及其集成为主要特征的现代测绘学。现代测绘学的一个重要特征是,它在发展中所面临的诸多重点和难点问题很难用它本身的理论、方法和技术来圆满解决,而是越来越依赖于诸如空间技术、电子技术、通信技术和计算机技术等的发展。

在这种背景下,出现了一个新兴学科——地球空间信息学(Geomatics)。其定义为:通过一切途径和各种手段,利用计算机硬件和软件,借助现代信息技术来获取、处理和管理有关地球空间基础数据和信息的科学技术领域。可以说,地球空间信息学的形成与发展就是空间技术、电子技术、通信技术和计算机技术等诸多因素推动传统测绘学发展的结果。它涵盖了现代测绘学的全部内容,包括了所有用电子计算机处理地理信息的各种科学与技术,反映了现代测绘学与计算机信息科学等相关学科的集成与综合,强调了对地球空间数据和信息的计算机集成处理,涉及从数据采集、处理、测量、分析、表示、存储、发布和应用的信息流全过程,标志着推动地球科学研究从定

性走向定量、从模拟走向数字、从孤立静止走向整体动态乃至实时的信息化过程。它的应用覆盖所有依赖地球空间数据的学科。

在工程技术领域,测绘是一项基础性工程,是一门服务性技术,是一切与位置有关的工程建设的基础和先行工作,是指对自然形态、人工设施或社会现象的位置、形状、大小及属性等进行测定、采集、表述以及对获取的数据、信息、成果进行处理和提供等所进行的活动。

现代测绘工作的基本任务是:

(1)通过建立大地控制网来精确测定一系列地面点的空间位置,作为空间基础设施为各种基于位置的工程建设提供依据。

(2)利用各种仪器和方法,将广大范围内的自然形态、人工设施或社会现象表述为各种模拟或数字形式的地图(地形图)等图件,作为地理信息产品供经济与社会生活等领域使用。

(3)为各种基于位置的工程提供定位服务,包括两方面,将地面上的实体形态在图纸(媒体)上表示出来和将图纸(媒体)上的设计位置在实地标定出来;这一部分任务统称为工程测量,又根据服务领域的不同分为工业测量、建筑测量、道路测量、水利测量、矿山测量、勘探测量等。

就测绘行业或产业而言,随着“3S”技术(即GNSS,RSS,GIS,以及它们的集成应用)的更加成熟,以及全社会对“4D”产品(即数字高程模型DEM、数字正射影像图DOM、数字栅格地图DRG和数字线划地图DLG,以及不同形式数字测绘产品的集成与整合)的广泛需求,已经促使传统测绘行业或产业逐步整合升级为现代地理信息产业,并成为信息产业领域里重要的经济增长点,越来越多地受到全社会的关注。

石油物探测量是为石油物探工程提供定位服务的各种测绘活动的统称,或者说,石油物探测量是为石油地球物理勘探作业所进行的各种测量工作的统称。测绘(测量)与物探的关系,是既相对独立又有机结合的。一方面,测绘(测量)是物探的基础和先行——不管是圈定勘探范围、部署物探测线,还是将来确定和描述地下石油矿藏的位置,都需要通过测绘(测量)活动获取位置信息;另一方面,测量又是物探生产的有机组成部分和第一道工序,其基本任务是,将物探人员根据地质任务设计的一系列勘探点(测线)在实地标定出来并精确测定其坐标和高程,作为物探资料采集、处理及解释的位置依据。

第二节 测量的基准面

在测绘学中,研究确定地球的形状大小,主要是指研究在物理意义上能代表地球的大地水准面的形状,以及确定在几何意义上与大地水准面非常接近的地球椭球面的参数。大地水准面和地球椭球面是测量工作中两个最重要的基准面。

一、大地水准面

实际上,在一般测量工作中,要求仪器整平就是使仪器的旋转轴与铅垂线一致或者说与水准面(即重力等位面,亦即水在静止时的表面,当物体沿该面运动时重力将不做功)正交,所以说铅垂线是测量外业工作的基准线,水准面是测量外业工作的基准面。在每个测站上所获得的外业测量成果都可以看作是以测站的水准面为基准面的成果。由于这样的水准面有无穷多个,因此必须选定一个有代表性的水准面作为外业测量工作统一的基准面。

设想一个静止的平均海水面,在重力作用下向陆地自然延伸形成一个连续而封闭的曲面,称为大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体,它既有几何意义又有物理意义。

大地水准面是大地测量中最重要的基准之一。它是代表地球形状的一个基本参考面、海拔高程系统的起算面、大地测量观测数据的归化面。确定大地水准面是国家基础测绘中的一项重要工程。

大地水准面和与其有关的海拔高(所谓海拔高,是指地面点沿铅垂线到大地水准面的距离)等概念在客观世界中无处不在,在国民经济建设中起着重要的作用。大地水准面将几何大地测量与物理大地测量科学地结合起来,使人们在确定空间几何位置的同时,还能获得海拔高度和地球引力场关系等重要信息。大地水准面的形状反映了地球内部物质的结构、密度和分布等信息,对海洋学、地震学、地球物理学等相关地球科学领域的研究和应用具有重要作用。

由于地球本身质量分布不均匀,因此重力方向存在局部变化,致使处处与铅垂线正交的大地水准面不规则,因而不宜作为大地测量计算工作的基准面。



二、地球椭球面

1. 地球椭球

为了大地测量计算工作的方便,有必要选择一个能用数学表达式描述并在几何形状和物理性质上与大地水准面(大地体)接近的形体。经过长期的科学研究和大量的精密测量,人们逐渐认识到地球的形状近似于一个两极略扁的旋转椭球(即一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体)。用这样一个可以用数学公式表达的旋转椭球面代替大地水准面来作为大地测量计算工作的基准面是合理而可行的。

用以代替大地体的椭球体称为地球椭球。古典地球椭球只提供了一个关于地球形状和大小的简单数学模型,其形状和大小通常用椭球长半轴和第一扁率表示。历史上,许多大地测量学家根据各自收集的大地、天文和重力测量资料推算出许多参数各异的地球椭球。现代地球椭球还必须满足在物理性质上与大地体非常接近的条件,比如,质量与地球相等(即具有与地球相等的引力常数)并假定与地球一起旋转(即具有与地球相同的自转角速度),进而,用数学约束条件把其表面定义为其本身重力场中的一个等位面,且与这个重力场中的铅垂线方向垂直。这样的椭球称为正常椭球或水准椭球。它是一个具有物理属性的数学形体,具有与实际地球一致的四个基本常数:赤道半径 a 、地心引力常数 GM 、地球动力学形状因子 J_2 、地球自转角速度 ω ,称为大地基准常数。正常椭球参数一般是由国际组织根据天文测量、大地测量、重力测量和卫星测量资料等综合确定的。

2. 总地球椭球

一个与大地体外形符合最好的地球椭球,称为总地球椭球或平均地球椭球。总地球椭球难以用古典测量手段确定。随着现代测量技术的产生和不断发展,总地球椭球的推求得以解决,并且所推求的总地球椭球越来越精确。总地球椭球面是一个理想的大地测量计算基准面。

总地球椭球应满足以下三个条件:

(1)其中心与地球的质心重合,其赤道面与地球赤道面重合,其总质量与地球的总质量相等;

(2)其旋转轴与地球自转轴重合,其旋转角速度与地球的自转角速度相等;