



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

地震勘探静校正 方法及实践

《地震勘探静校正方法及实践》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

地震勘探静校正方法及实践

《地震勘探静校正方法及实践》编委会 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了地震勘探中近地表建模和静校正技术。包括静校正基础知识、近地表结构调查方法、各种基准面静校正方法、常用的剩余静校正方法、静校正质量监控方法等内容。

本书可供地震勘探技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

地震勘探静校正方法及实践/《地震勘探静校正方法及实践》编委会编.
北京:石油工业出版社,2016.6

(中国石油天然气集团公司统编培训教材)

ISBN 978-7-5183-1278-8

I. 地…

II. 地…

III. 地震勘探-静校正-技术培训-教材

IV. P631.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 102846 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6月第1版 2016年6月第1次印刷

710×1000毫米 开本:1/16 印张:13.75

字数:250千字

定价:50.00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 王悦军 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

《地震勘探静校正方法及实践》

编委会

主 编：冯泽元

编 员：祖云飞 闫智慧 马青坡 侯喜长

杨晓玲

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；操作技能类以国家制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

著名地球物理学家笛克斯教授生前曾说：“解决好静校正就等于解决了地震勘探中几乎一半的问题”，这句话足以说明静校正工作在地震勘探中的重要性。首先，复杂地表区的静校正问题解决不好，水平叠加剖面上的反射波就很难成像，甚至导致构造形态歪曲，无法用于构造解释；其次，静校正精度未达到一定量级，不但会影响地震资料的信噪比，也会影响资料的分辨率（导致叠加后的波形畸变），以致对储层描述、属性分析等资料解释带来影响；再次，对于叠前深度偏移处理，在速度场完成准确的前提下，基于真地表的偏移处理可以不需要静校正。但速度的局部变化是很难准确求取的，因此，叠前深度偏移同样需要较好地解决高频静校正问题，以此来弥补速度场误差对成像效果的影响。同样，复杂区静校正问题的解决在资料处理过程中是一个循序渐进的过程，一般需要经过基准面（野外）静校正、地表一致性剩余静校正、非地表一致性剩余静校正等过程，甚至有些环节还需要多次迭代，只有这样静校正问题才能得到较好的解决。

本教材系统介绍了地震勘探中近地表建模和静校正方法与配套技术。内容包括：静校正基础知识、近地表结构调查方法、各种基准面静校正方法、常用的剩余静校正方法、静校正质量监控方法等；同时，针对山地山前带、沙漠和黄土塬等复杂地表区的静校正问题进行了分析，提出了解决思路；分析了静校正问题对地震资料处理和解释工作的影响及解决方法；最后，对静校正技术现状和技术发展趋势进行了分析论述。编写本教材的目的是为从事静校正及相关岗位的技术人员提供一套完整、规范、系统的学习资料，同时，希望本教材能够对实际工作提供必要的指导和帮助。本教材中针对复杂地表区的静校正问题解决思路、方法和措施，并不具有唯一性，甚至对一些特殊地区的针对性不强，仅供使用者参考，希望在应用中不要束缚于本教材的思路，能够提出更具创新性、应用效果更好的办法。

本教材中所用的资料或实例，除参考文献和编者个人的经验总结外，多为东方地球物理公司采集技术支持部静校正技术团队辛勤耕耘的成果，特别是祖云飞、闫智慧、马青坡、侯喜长、杨晓玲等同事，一直在静校正方法研究与应用中勤奋工作，为本教材的编写提供了丰富的成果和实例。在第八章（静校正对资料处理的制约与影响）和第九章（资料解释中的静校正问题）的编写过程中，多次与东方地球物理公司研究院李虹、王子兰等专家交流，得到了她们无私的支持与帮助。

笔者虽然从事静校正方法研究与应用工作近三十年时间，对静校正有一些认识，但受工作面和水平的限制，面临国内外各种复杂地表区，正如孟尔盛先生所说：“表层地质各处不同，处置静校正的方法自必随地而异”，因此，本教材中所提思路、方法和措施肯定有其局限性，未必对各种情况都有效果，甚至会有突出的不适用情况。请读者对本教材使用中出现问题甚至错误予以理解，更希望能与我们及时沟通交流。

孟尔盛先生在中国石油学会物探专业委员会 1985 年 7 月组织召开的地震静校正方法座谈会上指出：“静校正工作的实质就是从地震角度对表层地质的系统研究”，这为静校正研究工作指明了方向和目的。今后，要通过我们的努力工作，在更好解决静校正问题的基础上，尽量提高近地表建模精度，为地震资料处理和解释工作提供强有力的支撑，为祖国的油气勘探事业做出更大的贡献。

说明

本教材可作为中国石油天然气集团公司所属各地震勘探资料采集和处理单位培训的专用教材。本教材主要是针对从事地震勘探资料采集和处理工作技术人员和相关岗位的技术管理人员编写的。教材的内容主要来源于实际工作经验的总结和科研成果及部分参考资料，其实践性和专业性较强。为便于正确使用本教材，在此对培训对象进行了划分，并规定了各类人员应该掌握或了解的主要内容。

培训对象主要划分为以下几类：

(1) 技术管理人员，包括地震资料采集和处理单位的总工程师、副总工程师和技术管理部门负责人及有关工作人员。

(2) 专业技术人员，包括地震资料采集和处理工作中从事近地表建模和静校正量计算的技术人员等。

(3) 相关岗位人员，包括地震资料采集和处理工作中从事质量控制与管理的人员，从事地震资料解释的专业技术人员等。

各类人员应该掌握或了解的主要内容：

(1) 技术管理人员，要求了解本教材各章内容，深入了解第六章、第七章、第八章、第九章的内容。

(2) 专业技术人员，要求掌握第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章、第七章的内容，要求了解第八章、第九章、第十章的内容。

(3) 相关岗位人员，要求掌握第六章、第八章、第九章的内容，要求了解第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第七章的内容。

各单位在教学中要密切联系生产实际和岗位需求，采用不同的培训方式。对于从事静校正工作的专业技术人员，在课堂教学的基础上，还应增加有关软件的操作培训及实践环节。对于技术管理和相关岗位的人员，只进行课堂教学即可。建议根据教材内容和培训需求，不断收集和整理复杂地表区生产应用实例，在教学过程中进行交流与研讨，从而提高教学效果。

目 录

第一章 静校正基础知识	1
第一节 静校正概念与分类	1
第二节 静校正基准面与校正速度	5
第三节 静校正波长问题	10
第二章 近地表结构调查方法	18
第一节 浅层折射法	18
第二节 微地震测井法	28
第三节 表层调查控制点的布设	32
第四节 地面地质露头调查	37
第三章 基于表层调查资料的静校正方法	38
第一节 高程校正方法	38
第二节 层间关系系数法	42
第三节 时深关系曲线法	46
第四章 基于初至波信息的静校正方法	55
第一节 模型约束初至折射方法	55
第二节 层析静校正方法	73
第三节 中间参考面静校正技术	93
第五章 剩余静校正方法	102
第一节 初至波剩余静校正	102
第二节 反射波剩余静校正	104
第六章 静校正质量监控	114
第一节 静校正质量监控方法	114
第二节 分步静校正计算方法	118
第三节 二维测线交点的闭合	127
第七章 复杂地表区静校正问题及解决思路	130
第一节 表层结构特点和静校正问题	130

第二节 静校正问题分析及解决思路	137
第八章 静校正对资料处理的制约与影响	143
第一节 近地表层中的射线路径问题	143
第二节 静校正量与叠加速度的相互影响	152
第三节 不同静校正方法对水平叠加剖面的影响	154
第四节 静校正对其他处理功能的影响	165
第五节 偏移处理中的静校正问题	169
第九章 资料解释中的静校正问题	177
第一节 构造解释中的静校正问题	177
第二节 静校正问题对属性分析的影响	186
第十章 静校正技术现状与发展方向	191
第一节 静校正技术现状分析	191
第二节 静校正技术发展方向	195
参考文献	204

第一章 静校正基础知识

第一节 静校正概念与分类

一、静校正的概念

对于近地表而言,水平叠加应满足两个基本条件,即地表水平和均匀水平层状介质。只有满足这两个条件,在地表接收的反射波时距曲线才是双曲线,才能应用动校正后,保证反射波的同相叠加。当地表起伏或近地表介质的厚度和速度存在变化时,就会引起反射波的畸变,使动校正后反射波同相轴存在时差,不能实现同相叠加,影响叠加效果,降低了资料品质。为了消除或减少近地表介质的影响,需要对地震数据进行相应地校正,这种校正称为静校正。静校正的作用是消除地形起伏、风化层厚度和风化层速度等因素变化导致地震波旅行时的畸变,把资料统一到一个指定的基准面上。其目的就是要获得在一个平面上进行采集,且没有风化层或低速介质存在时的反射波到达时间。

二、静校正的分类

通常把静校正分为基准面静校正和剩余静校正两类。

1. 基准面静校正

基准面静校正又称为野外静校正,其目的是解决大幅度的短波长静校正问题和长波长静校正问题。有些文献把基准面静校正分为井深校正、地形校正和低降速带校正(长春地质学院、成都地质学院、武汉地质学院,1980)。实际上,地形变化与风化层变化是相互影响、相互联系的,地形校正与风化层校正也是交织在一起的,在此将两者划为一种。另外,上述划分没有考虑



基准面校正,而实际上野外静校正计算是包含基准面校正的。因此,我们把基准面静校正分为风化层校正、井深(检波器埋深)校正和基准面校正三个部分。

1) 风化层校正

风化层(Mike Cox, 1999)有地质风化层和地震风化层两种。地质风化层表现为岩石的原地剥蚀与分解,而地震风化层是指由空气充填近地表岩石或非固化土层孔隙的区域。术语 LVL(低速层)通常表示地震风化层。从事静校正工作的人员所说的风化层都是指地震风化层。在很多教科书或文献中用到低降速带的概念,广义上讲,风化层和低降速带是一致的;但狭义上讲可能还有些差异。本书中同时用到了风化层和低降速带的概念,当用到低降速带概念时,可以理解为近地表介质的孔隙不一定是由空气充填的,它是对高速层顶界面以上介质的统称。因为在进行基准面静校正计算时所选择的高速层顶界面不一定是潜水面,也可能是潜水面以下的某个速度界面。

风化层的速度有时是渐变的,有时是明显分层的。典型的风化层速度在 400~800m/s,其低速有时甚至低于声波在空气中的速度(340m/s),高速有时也会高于 800m/s。通常风化层的底界面是潜水面(潜水面上下岩性相同),也就是常说的高速层顶界面,因此,高速层顶界面以下的速度为 1500m/s 或更高。有些地区高速层顶界面是一个地质界面,而不是潜水面,这时高速层速度主要受岩性及其物性参数的影响。

相对深部地层而言,风化层具有更为明显的时变性,引起时变性的原因复杂多变。概括起来讲,风化层受温度、降水、潮汐、冰运动、风、近代侵蚀和沉积作用、火山活动和地震、人文活动等因素影响,不同时段其结构和地球物理参数是有变化的,有时甚至差异很大。

风化层校正(也称为低降速带校正)是为了消除上述原因导致风化层速度和厚度变化引起的反射波时间变化,其含义是把激发点和接收点从地表校正到高速层顶界面。高速层顶界面就是风化层底界面,它是实际存在的一个地质界面或物性有明显差异的速度界面。

风化层校正量计算公式:

$$T_w = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i} \quad (1-1)$$

式中 T_w ——风化层校正量, s;

h_i ——第 i 层厚度, m;

v_i ——第 i 层速度, m/s;

n ——表层模型厚度层数。

2) 井深 (检波器埋深) 校正

当采用炸药做震源激发时, 通常需要将炸药埋放到地表以下一定深度, 有时井深达到十几米甚至几十米。我们建立的表层建模是以地表为起始线 (面), 因此, 进行静校正量计算时, 必须计算出井深校正量。在有些高分辨率勘探项目中, 有时检波器也需要埋入地下一一定深度, 这时也应计算出检波器埋深校正量。另外, 当采用初至折射静校正时, 为了提高延迟时分析精度, 必须计算出较准确的井深或检波器埋深校正量。井深或检波器埋深校正量计算公式如下:

$$\tau = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{h_i}{v_i} + \frac{\Delta h_n}{v_n} \quad (1-2)$$

式中 τ ——井深或检波器埋深校正量, s;

h_i ——井深或检波器埋深穿过的第 i 层厚度, m;

v_i ——第 i 层速度, m/s;

Δh_n ——井深或检波器埋深在第 n 层中的厚度, m;

v_n ——第 n 层速度, m/s;

n ——井深或检波器埋深穿过完整的表层模型厚度层数。

井深校正量也可直接应用野外井口检波器观测的时间, 即井口时间或叫井口 τ 值。

3) 基准面校正

基准面校正是从高速层顶界面到基准面之间的校正。计算基准面校正量就是用基准面与高速层顶界面之间的高差除以基准面校正速度 (又称为替换速度、充填速度)。其计算公式为:

$$T_d = \frac{h_d - h_g}{v_s} \quad (1-3)$$

式中 T_d ——基准面校正量, s;

h_d ——基准面高程, m;

h_g ——高速层顶界面高程, m;

v_s ——基准面校正速度, m/s。

风化层校正量、井深或检波器埋深校正量、基准面校正量三部分之和, 作为最终基准面静校正量, 其最终基准面静校正量计算公式为:

$$T = - \left[\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i} - \tau - \frac{h_d - h_g}{v_s} \right] \times 1000 \quad (1-4)$$

式中 T ——激发点或接收点静校正量, ms;

h_i ——第 i 层厚度, m;

v_i ——第 i 层速度, m/s;

τ ——井深或检波器埋深校正量, s;

h_d ——基准面高程, m;

h_g ——高速层顶界面高程, m;

v_s ——基准面校正速度, m/s;

n ——表层模型厚度层数。

式 (1-4) 括号中第一项为风化层校正量, 第二项为井深或检波器埋深校正量, 第三项为基准面校正量。最终计算结果乘以 1000 是把单位秒 (s) 转换为毫秒 (ms)。将计算结果加个负号是为了遵守常用处理系统的约定, 即从 t_0 时间减去的校正量为负号, 从 t_0 时间加上的校正量为正号; 这样可以方便进行校正量应用。另外, 从上述基准面静校正量计算公式可知, 静校正是假设地震波在风化层中的射线路径是垂直上下的, 而没有考虑实际的人射角和出射角。

2. 剩余静校正

经过基准面静校正后, 不能完全消除风化层影响, 有时剩余静校正量达十几甚至几十毫秒。剩余静校正的目的是弥补基准面静校正的不足, 进一步提高资料的成像效果。应用剩余静校正后的叠加剖面应该优于只作基准面静校正的剖面, 但是剩余静校正并不能取代基准面静校正。在大多数情况下做好剩余静校正的前提是基准面静校正已经解决了大的静校正问题, 满足了剩余静校正适用条件, 并且地震资料具有了一定的信噪比。

Sheriff (1991 年) 对剩余静校正的定义是平滑数据的静校正方法假设大多数同相轴共有的不规则变化是由近地表的变化引起的, 因此通过地震道时移的静校正应该可以减小这种不规则性的影响。大多数自动剩余静校正程序都采用统计方法来达到极小化 (Mike Cox, 1999)。

剩余静校正一般假设剩余静校正值是与波的射线方向、路径无关的随机量, 其变化波长 (指静校正量值的正、负起伏变化) 小于排列长度, 即短波长分量, 它是提高信噪比的一种手段。