

中国地球物理学会 年刊



1993

(第9届年会, 长沙, 10.16—19)

中国地球物理学会 编辑
地震出版社 出版

中国地球物理学会第9届年会

(长沙 1993.10.16—19)

会议筹备领导小组

组 长 曾融生
副组长 何继善 曲克信 黄绪德
成 员 温佩琳 蔡家雄 臧绍先
秘 书 汪伟林 仇勇海

地方组织委员会

主 任 委 员 何继善
副 主 任 委 员 温佩琳 蔡家雄
秘 书 仇勇海 姚力健 李德林

专题负责人

- | | | |
|--------------------|-----|-----|
| 1. 计算地球物理 | 李幼铭 | 杨长春 |
| 2. 深部构造 | 滕吉文 | 王椿镛 |
| 3. 地球动力学 | 石耀霖 | |
| 4. 电法、电化学勘探 | 潘 瑗 | 罗延钟 |
| 5. 岩性探测 | 赵陵龄 | 杨 玲 |
| 6. 矿山物探 | 钟世航 | 李惠民 |
| 7. 深反射技术和应用 | 赵文津 | |
| 8. 地磁场及其异常的研究 | 徐文耀 | 肖 佐 |
| 9. 空间等离子体及其数值模拟新进展 | 濮祖荫 | 肖 佐 |
| 10. 新技术和仪器 | 刘宝诚 | 赵鸿儒 |

目 录

计算地球物理

波动方程的线性化反演与奇性化简	李世雄 (1)
亮点周围的绕射模式	刘伟霞 (2)
井孔中低频声源的辐射声场	张海澜 (3)
小波分析在地震井间勘探中的应用初探	徐果明 李光品等 (4)
地震各向异性弹性参数的非线性数值反演	何樵登 侯安宁 (5)
层状介质二维波动方程叠前反演方法	王守东 刘家琦 (6)
衍射层析成像的非 Born 近似解	张霖斌 许云等 (7)
基于波场反传原理的衍射层析成像	杨长春 李幼铭等 (8)
波动方程初值深度偏移方法	范尚武 (9)
波动方程快速三维深度偏移方法	范尚武 (10)
弹性波方程逆时偏移的改进有限元方法	王润秋 牟永光 (11)
权速度波场函数积分方程正反演	符力耘 牟永光 (12)
复杂地质构造中波前走时计算	刘洋 陆明万等 (13)
三维界面网射线 Kirchhoff 偏移方法	刘洪 孟凡林等 (14)
搜索与解析相结合的射线追踪法	田春志 刘洪等 (15)
二步追踪层析成像法	傅淑芳 王卫东 (16)
复杂大模型地震反射波走时反演	张玲 王妙月 (17)
地球物理反演问题大范围收敛方法及节省计算量的技巧	刘家琦 韩波等 (18)
一种 Maslov-Kirchhoff 积分深度偏移算法	杨长春 李幼铭等 (19)
弹性波方程组正、反演新算法	谢靖 韩道范等 (20)
图像的多尺度边缘提取及重建	徐佩霞 罗耀军 (21)
时间-频率域分析综述	曹思远 牟永光 (22)
最小均值误差平方法平面波分解的并行处理	孔祥宁 (23)
计算非线性目标函数的子空间方法	胡健行 郭继如等 (24)
非定常对流扩散问题数值解的若干结果	杨情民 (25)
三维弹性波有限元模拟的研究	吴春玲 顾贤明 (26)
非均匀弹性介质波传问题的速度-应力波动方程方法	鲁小蓉 杨慧珠 (27)
横向非均匀介质中弹性波的数值计算	张剑锋 李幼铭 (28)
方位各向异性介质各向异性系数的一种确定方法	梁非 杨慧珠 (29)
层状各向同性多孔介质中井间地震的数值计算	张 钊 李幼铭等 (30)
双相介质分界面上波的反射与透射	王尚旭 牟永光 (31)
粘弹介质中面波频散的计算方法	周 辉 杨宝俊等 (32)
各向异性介质中地震波传播的计算机模拟研究	徐佩芬 朱华荣 (33)
用 F-K 域 Green 函数反演横向各向同性介质弹性参数	何樵登 陶春辉 (34)
任意各向异性介质中波传播的有限元数值模拟及其结果分析	朱培民 唐正彬 (35)

非均匀、非线性及各向异性诱导的地震波散射研究	张忠杰 滕吉文等 (36)
斜方各向异性介质中两个准横波的相传播与群传波	姚 陈 (37)
轴对称各向异性介质中体波的传播	刘 斌 徐文骏 (38)
孔隙介质中地震勘探模型的初步探讨	刘仲一 韩其玉等 (39)
裂隙定向排列的流体饱和介质中的弹性波	徐文骏 靳 平 (40)
2.5 维地震模型	朱建林 牟永光 (41)
顾及井眼修正后用斯通利波求横波的方法与应用	余仕成 伍先运等 (42)
深浅三侧向联合反演的方法研究	刘家琦 傅有升等 (43)
井孔声场的几种积分表示	王秀明 张海澜 (44)
利用斯通利波求取储层渗透率的方法与应用研究	伍先运 郭 立等 (45)
利用神经网络由地震与井孔数据确定孔隙度	肖创柏 李衍达 (46)
测井曲线高分辨率处理技术	常明澈 安丰全等 (47)
估算储层流度的声学方法	乔文孝 刘仲一等 (48)
横向各向同性双相介质井孔多极源声测井理论与数值模拟	张碧星 王克协等 (49)
TIM 对称轴与井轴垂直时井孔多极源声测井理论与计算	张碧星 王克协 (50)
利用全波声测井中的首波 v_s 和 Q_p 值	周士弘 马 骏等 (51)
H_∞ 优化理论与算法在地球物理学中的应用	胡传淦 刘喜兰等 (52)
用 P 波波形资料测定中强震震源过程的地震矩张量反演方法	姚振兴 郑天愉等 (53)
广义射线和锁定振型相结合的混合方法	纪 晨 姚振兴 (54)
用波形拟合的方法研究内核边界的速度结构	王敬泽 姚振兴 (55)
面波频散反演地球内部构造的遗传算法	石耀霖 金 文 (56)
数字化地震波形成资料准实时单台定位可能性的初步讨论	高 原 郑斯华 (57)
地震动速度仪测定松软土层地震动放大作用及其工程应用	李文艺 (58)
几种典型二维地质构造的大地电磁测深曲线畸变分析	马晓冰 孔祥儒 (59)
利用重力异常反演多层密度界面的神经网络系统	韩道范 谢 靖等 (60)
根据测井信息用时频域分析技术提高地震剖面的分辨率	罗 晖 李衍达 (61)
时变地震信号的一种反褶积方法	冷传波 杨长春等 (62)
塔里木盆地低讯噪比地震资料处理	赵建勋 (63)
叠后倾角时差校正与反褶积	戴呈祥 (64)
地震资料解释中不确定性问题的处理方法	曲大健 边肇祺 (65)
综合测井和地震资料描述岩性的随机模拟方法	黄 玲 申时新 (66)
航磁低纬度化极亚制畸变的滤波算子	程方道 (67)
三度体磁异常的径向谱解释	黎益仕 管志宁 (68)
综合物化探异常的自适应模式识别和反演	余惠祥 段桂华 (69)
位场反演的自适应子波层析成像方法研究	文百红 朱自强 (70)
用分形分析确定最佳重力布格密度的方法探讨	朱自强 黄国祥等 (71)
BP 神经网络在密度界面反演中的应用	朱晓军 申宁华 (72)

深部构造

中国西北地区岩石圈瑞雷波三维速度结构与沉积盆地	滕吉文 胡家富等 (73)
新疆天山地区上地幔三维速度图像及其与地震活动的关系	胥 颐 张华卿 (74)
西秦岭北缘断裂带的深部构造特征	董治平 (75)
北祁连山深部构造初探	李秋生 崔作舟等 (76)

川陕甘宁青地区地壳结构的某些特征	董奇珍 (77)
天水地区重力三维反演及其地质意义	梁桂培 李渭娟等 (78)
利用二维射线追踪方法研究三道岭—红柳园的地壳结构	陈奇志 臧绍先等 (79)
青海花石峡—甘肃阿克塞人工爆破地震测深成果	徐新忠 齐雄飞等 (80)
地壳中间界面的某些性质及其反射波	萧 军 董奇珍 (81)
青藏高原的 SKS 波各向异性的研究	丁志峰 曾融生 (82)
造山带递进变形的深部构造背景	崔军文 唐哲民等 (83)
云南剑川小孔径台网地震记录特征与横波分裂	雷 军 王培德等 (84)
关于滇西地壳上地幔高导层的探讨	段 波 (85)
云南思茅—中甸剖面基底层速度细结构的研究	胡鸿翔 高世玉 (86)
南北地震带北段 S 波速度结构及介质泊松比二维分布	闵祥仪 周民都等 (87)
热红外遥感探测隐伏的构造和地热田	葛碧茹 (88)
华北大陆地壳岩石学结构及其类型	吴宗繁 邓晋福等 (89)
华北盆地内深地震反射剖面揭示的滑脱构造	王梅儒 张先康等 (90)
邢台震源区及相邻地区地壳上地幔速度结构研究	祝治平 盖玉杰等 (91)
渭河断陷地壳、上地幔速度结构的研究	张文斌 祝治平等 (92)
榆林—包头—白云鄂博壳幔结构特征	盖玉杰 石金虎等 (93)
上地幔 v_p 和 v_s 结构、软流层与尖晶石和石榴石相转变	邓晋福 吴宗繁等 (94)
华北地壳结构及其与地震、矿产构造的关系初探	嘉世旭 刘昌铨 (95)
利用磁化强度反演方法研究唐山—滦县震区深部构造	张 先 虎喜凤等 (96)
渤海及其邻区地壳深部磁性层特征	贺为民 张 先等 (97)
河南林县地震区地壳深部构造特征	赵金仁 任青芳等 (98)
中朝准地台东部地区的地壳、上地幔 Q_p 结构	何正勤 叶太兰 (99)
辽东半岛地区地壳深部结构特征的研究	赵国敏 白 云等 (100)
辽宁沿海核电站选址中的地球物理探测与研究	卢建勋 (101)
渤海及其邻区深部构造的研究	杨均珍 石作亭 (102)
东东南部地球物理特征与地壳结构及金矿、油气田远景区划	刘万崧 王锡奎等 (103)
满—绥地学断面深地震测深初步解释	刘 财 杨宝俊等 (104)
满洲里—绥芬河地学断面 MT 初步解释	胡祥云 程振森等 (105)
满—绥断面域重、磁、震资料综合解释	焦新华 (106)
中国东南皖浙地区岩石圈速度结构与深部剪切带	熊绍柏 赖明惠等 (107)
对皖苏北部地壳结构特征的认识	齐文凯 周生义等 (108)
中国东南屯溪—温州剖面岩石圈电性结构	孔祥儒 张 丽等 (109)
扬子地块东段地球物理场、深部构造与铀矿	汤洪志 黎春华 (110)
华南、扬子微板块古俯冲—碰撞构造模型	饶家荣 (111)
论九岭推覆构造系统的深层构造特点	刘代志 方道恕 (112)
用重、磁、地震及地质资料研究深部构造及其地质意义	刘元龙 郑建昌 (113)
对台湾地震活动性的点滴新认识	刘光夏 (114)
中国大陆的残留地块现象在磁场中的反映	张德润 (115)
西南极菲尔德斯半岛长城站地区深部电性结构	孔祥儒 张建军等 (116)
声纳浮标折射资料的自动速度分析	阎 贻 姜绍仁等 (117)
Maslov 面波理论地震图方法及震源参数反演	朱良保 曾融生 (118)
地壳、上地幔的各向异性成因和模型特点分析	李英康 崔作舟等 (119)
湖南均衡重力异常特征及地壳均衡探讨	谢湘雄 顾剑虹 (120)

根据地球物理测深资料推断“南华壳幔弧”的存在	蔡家雄 (121)
江西深部构造特征	黎春华 (122)
中国南方 14 省(区、市)区域重磁资料的综合解释	王家林 陈焕疆等 (123)

地球动力学

俯冲带穿透 670km 间断面及负浮力计算中的影响因素	宁杰远 臧绍先 (124)
小笠原俯冲带的深部震源参数及深部形变	臧绍先 袁建新等 (125)
板块运动与三维球壳地幔自然对流	孙荀英 韩利杰 (126)
地幔密度的横向不均匀性、核幔边界的起伏及其速度场	李光品 傅容珊等 (127)
华北区域上地幔对流模式及岩石层动力学	傅容珊 魏泽勋等 (128)
相对运动的地球动力学	盖保民 (129)
板块运动和地幔对流的相互作用	叶正仁 滕春凯等 (130)
小行星对地球撞击是地球重大灾害的外因	吕梓龄 (131)
层状半空间对地表载荷及温度变化的热粘弹性响应	丁中一 (132)
伸张盆地的动力机制	曹融生 (133)
从我国大地热流分布看地壳、上地幔活动的不均一性	汪集旸 (134)
中国华南地区地热活动与岩石圈构造热演化的模型研究	王爱武 滕吉文等 (135)
中国东南地区热流和生热率关系初探	赵平 汪集旸等 (136)
中国东南地区地幔上涌的地球物理证据	熊绍柏 (137)
冲绳海槽地球动力学热模拟	梁锡武 石耀霖等 (138)
造山带地球动力学过程的 $P-T-t$ 轨迹研究	金文 石耀霖 (139)
满洲里和大兴安岭多宝山地区大地热流测量	金旭 江原幸雄等 (140)
青藏高原物质扩散运动方式	李冀湘 (141)
青藏高原隆升和变形动力学的数值模拟	崔军文 史金松等 (142)
青藏高原构造变形与应力场的有限元分析	王连捷 彭华等 (143)
格尔木—额济纳旗地学断面地球动力学模型初探	高锐 (144)
青藏地块北部的板内变形及地球动力学特征	吕德徽 向光中等 (145)
高喜马拉雅淡色花岗岩的地球动力学成因	王其允 石耀霖等 (146)
西藏高原隆起实验模拟初探	顾芷娟 李彪等 (147)
阿尔金构造带新生代构造变形动力学研究	唐哲明 崔军文 (148)
中国板块地壳侧压—伸展运动	林辉德 (149)
对裂谷边缘的概念及形成机制	岳永君 (150)
四川台拗及其周缘台褶带的深部构造和形成机制	周国藩 张健 (151)
豫北垂直形变特征与新构造运动	王志敏 (152)
华北地区板内地震特征及其壳—幔结构组合力源	毛桐恩 (153)
台湾地区的地震矩张量及其构造意义	郑天愉 姚振兴 (154)
缅甸弧及其周围地区的震源机制和现代应力场	李鸿吉 秦建业 (155)
天水邻近地区地震活动深部物理环境的初步探讨	林长佑 武玉霞 (156)
断层活动与原地应力状态	李方全 (157)
走滑断层周围的应力场与断裂的等间距现象	武红岭 (158)
吉林市某厂址区地壳稳定性评价	李有社 (159)
GPS/ISGS 找矿和监测地质灾害前兆的研究	游永雄 (160)
地球动力学过程中的波动现象及其在地震研究中的应用	冯德益 聂永安等 (161)

板内地震迁移的机制及预测: 塑性流动网络和塑性流动波	王绳祖 张宗浑	(162)
断层内部高孔隙水压形成机制的数值模拟	耿鲁明 石耀霖等	(163)
地震动力学原理与方法简介	郑文卿 王慧玉等	(164)
环形构造控震作用及其动力来源	邹谨敏	(165)
全球火山、地震分布与地球动力学模型	蒋明先	(166)
再论地壳运动及地震发生的根本原因	周友华	(167)
横观各向同性体滑移线场理论及其在地学中的应用	阮怀宁 王维震	(168)
岩浆的演化过程	姜芳仪	(169)
非线性地球动力学问题的遗传算法反演	石耀霖 金文	(170)
条分法计算边坡稳定性的某些奇异现象	苗天德 刘忠玉	(171)
长期受压地区共轭剪切角由锐角向钝角转化的一种机制	梁海华	(172)
三维各向异性介质中界面上的地震波	张中杰 滕吉文等	(173)
各向异性介质中传播的地震波	滕吉文 张中杰等	(174)
中国数字地震台中5个台站S波方位各向异性初步分析	李白基	(175)
用Parker公式进行海域布格重力异常校正	刘文忠 孙建伟等	(176)
花岗岩熔体的膨胀和内聚作用	董其成	(177)
石榴子石相矿物的高温塑性: 地幔转换带流变性和动力学意义	王子湖等	(178)
白云母(二云母)花岗岩——陆内俯冲的岩石学记录	邓晋福 赖绍聪等	(179)
扬子地台太古代基底实验岩石物理学研究	刘庆生 高山等	(180)
岩性、含油性、动力学特征及其规律的综合实验研究	史谓 沈联蒂	(181)
地幔包体热Kaiser效应的实验研究	黄建华 常和金等	(182)

电法、电化勘探

陕甘宁盆地建场测深法试验成果	何展翔 金祖发等	(183)
电场差分法在我国的应用	孙卫斌 何展翔	(184)
电磁导弹在地质勘探中的应用前景	苏发 何继善等	(185)
电磁波传播电阻率测井的理论研究	冯庆国 刘曼芬等	(186)
应用大地电磁测深确定三塘湖盆地南缘逆掩断层	李一文	(187)
大地电磁二维层状模型参数化反演	杨长福 林长佑	(188)
高频电磁波测井解释方法的理论研究	刘曼芬 冯庆国等	(189)
频谱激电研究	温佩琳	(190)
电法探测堤坝隐患的研究	陈绍求	(191)
甚低频电磁法在后所金银多金属矿区的应用效果	张士珍	(192)
郑州南地热田重磁电异常特征	李清林 王开明等	(193)
水底电测深法	葛为中	(194)
瞬变电磁晚期场资料的一维反演	林长佑 杨世荣等	(195)
电子导电矿物电极极化的研究	仇勇海 陈白珍	(196)
Robust估计在大地电磁资料处理中的应用	魏胜 罗志球等	(197)
CSAMT一维正演的快速近似计算	万乐 罗延钟等	(198)
双频道频谱激电的非线性效应研究	何继善 李大庆等	(199)
点测深法数据处理、成图软件系统及正演研究	张桂青 郭建波等	(200)
小波分析与电磁测深中静态效应的识别、分离及压制	宋守根 汤井田等	(201)
水平电偶源频率电磁测深的阻抗实部等效电阻率	汤井田 何继善	(202)

固体矿产激发极化法异常推断解释的专家系统	戴光明 罗延钟等 (203)
时间域三维电磁模拟及 IP 效应研究	殷长春 刘 斌 (204)

岩性探测

双电层内离子迁移率和不动层对震电效应的影响	刘 洪 李幼铭 (205)
岩性探测技术在高阳地区油气勘探中的应用	贾兆祥 (206)
岩性探测技术在河南油气田勘探中的应用	崔 林 (207)
岩性探测在煤田测井分析中的应用	杨 宽 沈 芳 (208)
Petro Sonde 研究八年来的进展与对策	王文祥 刘 勇 (209)
100Hz—15MHz 频段岩石电阻抗特性的实验研究	郑和华 冯启宁等 (210)
VSP 横波分裂合成地震图的初步研究	姚 陈 熊扬武 (211)
周期性叠层和裂隙复合介质中横波传播特征的计算	熊扬武 姚 陈 (212)
温压组合条件下储层砂岩的纵横波速及 Q 值特征	王中言 于智海等 (213)
函数型连接神经网络的一种改进算法及其应用	孙效功 王硕儒 (214)
利用纵波和横波信息进行岩性评价	刘业新 李衍达 (215)
岩石 Q 值计算方法的改进与比较	许和明 施行觉 (216)
转换波精确速度分析方法	冯太林 (217)
用 K-L 变换处理全波声测井资料	陶春辉 熊绍全等 (218)
声波在流体饱和多孔介质和流体界面的反射	诸国楨 王 晖等 (219)
一种新的储层参数地震动力学反演方法	王 慷 雍学善 (220)
利用重磁异常进行沉积分层研究	徐宝慈 李春华等 (221)
塔里木地区岩石弹性参数测定及应用初探	白尤军 钟森才等 (222)
油气藏特征研究及实例	魏 嘉 卢雅云 (223)
用 CT 扫描作岩芯分析的精度问题	顾本立 (224)
用高精度航磁资料划分济阳拗陷区隐伏断裂及火山岩构造	梁月明 杨 华等 (225)
CYT 型大地电场岩性探测仪及其测试效果分析	陈维权 许贻铨 (226)
井孔资料综合解释系统	岳承祺 邱国塔等 (227)
在多孔介质中非牛顿流体的流动特性	胡 澍 (228)
放射性法勘查石油时影响因素的研究	戴丽君 王 平等 (229)

矿山物探

金矿重力异常灰色反演法	徐忠祥 吴国平 (230)
安徽庐江龙桥铁矿含矿地层的古地磁年龄	阎桂林 魏燕平 (231)
砂金的磁性特征与砂金矿磁法探测新途径	吴相赫 董学斌 (232)
槽波及其在反演煤层平均厚度中的应用	倪四道 徐果明 (233)
τ - p 域地震信号处理的人机联作系统	陈 静 王妙月 (234)
地面岩溶塌陷的高分辨地震勘查	唐大荣 (235)
反射地震法在安徽铜陵狮子山矿区的应用	崔占荣 王庆海 (236)
氦气测量在煤矿深埋小断层探测中的应用	苏 朴 (237)
开采沉陷反问题解算时地球物理方法的应用	于师建 孙振鹏等 (238)
估计矿体中心埋深的灰色关联滤波法	彭 放 (239)
综合物探在土石金矿探测中的应用	张宗岭 (240)

深反射技术和应用

喜马拉雅造山带研究中的深地震反射技术	赵文津 徐中信等 (241)
喜马拉雅山脉及其南缘喜马拉雅造山运动的深部背景	卢德源 (242)
喜马拉雅造山带深地震反射剖面数据采集技术	黄钊亚 (243)
邢台地震区深部构造特征	王梅楠 (244)
南海北部陆缘东部的双船地震深反射剖面	姚伯初 曹维军等 (245)
满洲里—绥芬河地学断面的垂直反射地震测深研究	杨宝俊 董世学等 (246)
中国大庆附近地区软流圈结构研究	杨宝俊 刘 财等 (247)

地磁场及其异常的研究

东亚地磁场的 Taylor 多项式模型	安振昌 谭东海 (248)
1945—1995 地磁场功率谱及其长期变化	王月华 谭东海 (249)
1980—1990 东亚地区的地磁长期变化模型	徐元芳 安振昌 (250)
长周期谱分析方法的数值模拟研究	蒋邦本 (251)
地磁长期变化转折点的研究	蒋邦本 张 冰 (252)
中国及其邻区地磁场冠谱模型	谭东海 (253)
Magsat 磁异常全球岩石层感应磁化模式	马石庄 刘伊克等 (254)
地磁场 S_q 的经度效应和 UT 变化	徐文耀 李卫东 (255)
全球电离层发电机方程的一种数值解法	徐文耀 夏 庆等 (256)
余山台地磁异常静日分析及在太阳黑子峰年值预报中的应用	彭丰林 吴宝元等 (257)
低纬地区暴时 Pc5 地磁脉动	杨少峰 (258)
超低频段磁暴与地磁脉动的特征	曹惠馨 任克新等 (259)
中国南极长城站哨声出现率的统计特征	杨义碧 (260)
舒曼共振观测研究与热带大气、电离层变化	汤克云 孟庆发等 (261)
抢救余山地磁台历史资料及数据库的建立	高美庆 胡忠义 (262)
南极中山站 1991 年 3 月 24 日急始型磁暴的特征	刘长发 刘春节等 (263)
南极中山站地磁台的建设与观测研究	刘春节 刘长发等 (264)
华北地块早古生代古地磁研究结果及综述	黄宝春 徐 升等 (265)
显生宙中国大地构造演化的古地磁研究	程国良 孙宇航等 (266)
地磁偏角实时自动修正技术在油田钻井中的应用	夏国辉 张凤玉等 (267)

空间等离子体及其数值模拟新进展

四极子磁场位形对太阳风速与日冕底部抛射物运动的影响	姜新英 熊东辉等 (268)
驱动重联及其等离子团的聚合过程	金曙平 师立勤 (269)
向阳面极尖区 ELF/VLF 地面观测资料的分析研究	廖怀哲 (270)
海口地区 $N_m F_2$ 的两种异常特征	索玉成 (271)
F 层不规则结构参量对宇宙噪声电离层闪烁功率谱的影响	马冠一 陈仲生 (272)

新技术和仪器

矿震震源机理的系统研究与开发	张少泉 董继平等	(273)
地震观测技术发展动态评述	陆其鹤	(274)
速度仪测定松软土层地震动放大作用及其工程应用	李文艺	(275)
投影寻踪软件 PPAS 及其在地震预报中的应用	王公恕 刘喜兰等	(276)
地学研究中的数字化编图系统	李春华 徐宝慈等	(277)
地下物探层析技术新方法研究——建立模式与模式识别	吴以仁	(278)
地下电磁波法层析技术的应用与研究	张子玲 吴以仁	(279)
深层钻探的随钻电磁信息传输	熊 皓 吴明义	(280)
三分量井中磁力仪(高精度测斜仪)	丁鸿佳 袁卫星等	(281)
LZSD-B 型自动直流数字电测仪	罗延钟 梁咏仁	(282)
BGO 晶体在地质找矿中的开发应用	马丽娟 陆士立等	(283)
VSP 的应用效果	常凤鸣	(284)
复杂地形地区陡倾斜界面地震勘探新技术	季钟霖 陈守庄	(285)
高精度重力勘探非构造油气藏	曹 健	(286)
对用于基桩完整性检测的大阻尼高分辨率速度传感器的研究	王鹤龄	(287)
岩石样品破裂过程中的介电常数	王丽华 孙正江	(288)
岩石样品介电常数随外电场频率变化的研究	王丽华 孙正江	(289)
岩石破裂电子发射的有限势压缩原子模型	王雁晖 郭自强等	(290)
岩石非线性破裂的实验研究	施行觉 万永中等	(291)
岩石的吸水能力和原始水饱和度	陈 峰 陈大元等	(292)
用低频共振法研究岩石中波传播的衰减	席道瑛	(293)
加载速度对岩石力学性质的影响	席道瑛 郑永来	(294)
激光测 Q 值	席道瑛 傅容珊等	(295)
高温高压岩石电阻抗测量装置的研制	冯启宁 郑和华等	(296)
射频段介电参数的实验室测量	杨 虹 冯启宁	(297)
固体地震物理模型实验数据自动采集及处理系统	翁绳斌 郭志强等	(298)
高分辨率宽频带数据采集技术的研究	陈俊良 王 彦等	(299)
岩石超声波测试采集系统	魏建新 周正仁	(300)
非均匀介质中震波的传播特征	郭素洁 曹其平等	(301)
非均匀构造广义多波勘探初步实验研究	王德明 赵鸿儒	(302)
中国地球物理学会第八届年会会议纪要		(303)
《中国地球物理学会年刊》稿件要求		(307)

本书由中国科学院地球物理研究所胡 威、王冬琪 汪海英排版。

波动方程的线性化反演与奇性化简

李世雄

(安徽大学数学系 合肥 230039)

变系数波动方程的反问题就目前数学发展水平看来是非常困难的问题。通常的做法是采用线性化近似的技巧。以声波方程为例, 先对 t 作傅里叶变换, 得到

$$\nabla^2 \hat{u}(x, y, z, \omega) = \frac{\omega^2}{v^2(x, y, z)} \hat{u}(x, y, z, \omega).$$

一般总是将要反演的介质波速场 $v(x, y, z)$ 看成是一个已知的背景场 $c(x, y, z)$ 加上一个小扰动 $\alpha(x, y, z)$, 同时将波场 $\hat{u}(x, y, z, \omega)$ 表示成入射场 $\hat{u}_I(x, y, z, \omega)$ 与散射场 $\hat{u}_S(x, y, z, \omega)$ 之和。

当 $\alpha(x, y, z)$ 很小时, $\hat{u}_S(x, y, z, \omega)$ 也很小, 这样可以略去 $\alpha(x, y, z) \cdot \hat{u}_S(x, y, z, \omega)$ 项, 而原来的方程可简化为

$$\nabla^2 \hat{u}_S(x, y, z, \omega) + \frac{\omega^2}{c^2(x, y, z)} \hat{u}_S(x, y, z, \omega) = -\frac{\omega^2 \alpha(x, y, z)}{c^2(x, y, z)} \hat{u}_I(x, y, z, \omega).$$

线性化后的方程的反演问题比较容易, 特别对均匀的背景场: $c(x, y, z) \equiv \text{常数}$ 的情况。许多经典数学方法, 如傅里叶分析、积分方程等均可充分发挥作用。但是对非均匀背景场的线性化反问题的困难还是比较大的。直到 80 年代前期还很少看到这方面有实质性突破的研究成果。值得注意的是 1985 年前后, G. Beylkin 与 J. K. Cohen 等人提出了奇性反演的概念, 并利用了广义的 Radon 变换、拟微分算子、傅里叶积分算子等近代数学工具, 比较成功地处理了非均匀背景下的线性化奇性反演问题。从地球物理的实用观点出发, 人们特别关心的往往不是要求恢复物性参数的全部, 而是只要知道它的间断性和梯度变化较大的状况与位置, 这就提出了一个新的研究方向: 微分方程的奇性反演, 也就是要从微分方程解的部分信息反推方程的系数或右端的奇性状态与位置。他们工作出发点是线性化的方程。从奇性分析的观点看来, 即使干扰量 $\alpha(x, y, z)$ 很小时, 采用线性化手续略去的项 $\alpha(x, y, z) \cdot \hat{u}_S(x, y, z, \omega)$ 的奇性却不见得很弱。特别当 $\alpha(x, y, z)$ 有间断时, 会出现 $\alpha(x, y, z) \cdot \hat{u}_S(x, y, z, \omega)$ 的数值很小而其奇性却很强的情况。此时, 线性化的方程与原方程的解的奇性情况会有较大的差别。在这种情况下从线性化方程出发作奇性分析与反演所得之结果会严重失真。而 $\alpha(x, y, z)$ 有间断的情况恰是实际问题中经常会遇到的情况。因此要使奇性分析与反演方法真正能用于实际问题, 上述缺陷是必须改进克服的。

为了具体分析比较方程与线性化的方程的解的奇性状态的差别, 我们以一维情况为例, 在 $\alpha(x)$ 有间断的情况, 我们求得了原方程的精确解, 将此精确解与线性化的方程的解相比较即可看出, 由于线性化引起解的奇性情况的变化, 而当我们采取另一种做法: 在化简原方程时略去的不是函数值小的项, 而是奇性弱的项, 则所得到的解与原方程的解的奇性主要部分是完全一致的。这说明此方法在微分方程的奇性分析与反演问题中确实是有效的。

在高维情况 (二维或三维), 用奇性化简的方法虽然也可以使问题得到一定程序的简化, 但是求解仍非易事。为此, 我们进一步利用小波变换等近年来发展起来的新方法, 解决奇性化简后方程的正、反演问题。这方面的工作还开始, 有待于进一步深入工作。

亮点周围的绕射模式

刘 伟 霞

(北京信息工程学院 北京 100101)

在散射问题研究中, 为了避免使用复杂的计算方法, 减少计算工作量, 栾文贵 (1993) 曾利用高频近似 Kirchhof 积分导出 t 时刻 $p_0 = (x_0, y_0, z_0)$ 处接收的回波 $\Psi(t, p_0)$ 的解析奇性与散射曲面 S 拓扑奇性之间的关系, 即回波 $\Psi(t, p_0)$ 的解析奇性, 是通过曲面几何函数 $G(r, p_0) = \int_S \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{R} \right) \delta(r - R) dS$

($R = |p - p_0|$) 的解析奇性在曲面上的镜面点 p_s 与距离函数 R 的拓扑奇性决定着。

当波数 k 很大时, 上述积分中的被积函数, 作为积分变量的函数快速地振荡, 于是需要讨论当 $k \rightarrow \infty$ 时, 上式积分的渐近性态, 这在物理上称为亮点周围的绕射模式。

当镜面点 p_s 为 R 的退化奇点时, 曲面 S 在 p_s 附近可表示为 $Z = f(x, y)$, $f(x, y)$ 为一无穷光滑函数, 且在 p_s 可以展成 Taylor 级数。此时距离函数为

$$R(x, y, p_0) = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + [R_s + z_0 - f(x, y)]^2}, \quad (R_s = |p_s - p_0|).$$

p_s 对 $\bar{G}$ 的贡献为

$$\bar{G}(k, p_0) = \iint_{-\infty}^{\infty} g(x, y; p') \exp[ikR(x, y, p_0)] dx dy,$$

其中 $g(x, y; p') = \frac{1}{R^3} \{ (x - x_0) \frac{\partial f}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial f}{\partial y} + (R_s + z_0 - f) \}$ 在散射过程是结构稳定的假设下, 利用微分同胚及著名的 Thom-Arnol 定理, R 则可以映射成正规范形式, 而 $\bar{G}$ 变为

$$\bar{G}(k, p_0) = \iint_{-\infty}^{\infty} \left\{ \bar{g}(\xi, \eta; \sigma) J(\xi, \eta; \sigma) \exp[ikR_0(p') + p(\xi, \eta; \sigma)] + \frac{K}{2} \eta^2 \right\} d\xi d\eta,$$

其中 $\bar{g}(\xi, \eta; \sigma) = g(x, y; p')$, 而 $J(\xi, \eta; \sigma) = \left| \det \frac{\partial(x, y)}{\partial(\xi, \eta)} \right|$, 这里 $R_0(p')$ 是 $R_0(0) = R_s$ 的一光滑函数, 而 $p(\xi, \eta; \sigma)$ 是基本的突变多项式的六种情形之一。

于是, 问题归结为探讨形式为 $I(\tau, a) = \int_{R^n} g(x, a, \tau) \exp[i\tau f(x, a)] dx$ 含参量 $a \in R^m$ 的积分, 当 $\tau \rightarrow \infty$ 时的渐近性态。这里 $f(x, a)$ 是 C^∞ 的实值函数, 即位相函数, $g(x, a, \tau)$ 为振幅函数。

关于上述振荡积分渐近性态的研究, 采用稳定位相方法, 设法构造一个稳定位相因子 $\exp(i\varphi)$, 并利用广义函数的算子理论, 使其系数有合乎需要的某些特性的微分算子 L , 而达到对振荡积分研究的目的。在条件: $g \in C^\infty(R^n \times R^m \times R^1)$, 且当 $x \in K$, $a \in A$ 时 $g(x, a, \tau) = 0$; 此处 K 和 A 分别为 R^n 和 R^m 的某一固定紧致子集, 并在 $K \times A$ 中一致地有 $\partial_x^\alpha g = 0$ ($\tau^{m_0 + |\alpha|}$) ($\delta < 1$), 当 $\tau \rightarrow \infty$ 时, 其中 $\partial x = (\frac{\partial}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial}{\partial x_n})$, $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ 为重指标, 于是在 A 中有渐近展开式。

$$I(\tau, a) \sim \left(\frac{2\pi}{\tau} \right)^{\frac{n}{2}} \exp[i\tau f(x(a), a)] |\det Q(a)| - \frac{1}{2} \exp\left[\frac{i\pi}{4} \operatorname{sgn} Q(a) \right] \times \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} (R^k g)(0, a, \tau) \tau^{-k},$$

这里 $Q(a) = d_x^2 f(x(a), a)$, 而 $R = \frac{i}{2} (Q^{-1} \partial_x, \partial_x)$ 是关于 X 的一个二阶偏微分算子。

应用上面的渐近展开, 可逐一算出非退化奇点、歧点和脐点周围的绕射模式。

井孔中低频声源的辐射声场

张 海 澜

(中国科学院声学研究所 北京 100080)

弹性介质内充液圆孔中点声源的辐射声场得到广泛的研究。但是这个问题比较复杂,得到的理论结果都很烦琐,在实际问题中没有得到充分的运用。因此针对具体的实际应用,发展比较简单又能反映问题本质的近似理论是很有意义的。

我们针对跨孔测井的实际情况,提出了一个近似理论模型。从已有的井孔声学的严格理论出发,考虑到跨孔测井所用的频率很低,各种波的波长都比井孔半径大,采用低频近似,略去低频时的小量,得到了一组公式。进而考虑井孔之间的距离比地层中声波波长长的情况,在分析孔外声场的辐射部分时引入远场近似。这样我们得到了一套公式,它们比严格理论大为简化,在频域和时域都能用解析式表示,物理意义明显。

根据这个简化模型,低频声源在井孔中和井孔外激发的声场由三部分组成。第一部分是管波,在井内是沿井轴传播的平面波,速度比井液声速低一些,在井外是局限在井壁附近的脉冲波,其强度随距井壁的距离而指数衰减。管波的波形和幅度在不计介质的衰减时是不变的。由于这个波仅局限在井孔附近,因此对跨孔测井影响不大。第二部分是纵波,它的波前是一个球面,以纵波速度向外传播,其幅度在水平方向最强,偏离水平方向幅度下降,45°时约为80%,第三部分是横波,它是以横波速度向外传播的球面波,水平方向幅度为零,最大幅度在斜上(斜下)方向,具体角度由地层参数决定。

我们分析了这个近似模型的适用范围,并计算了近似模型和严格理论的声场,进行对比,结果表明,在几百到一千多赫兹频率范围,数米以上的井孔间距,近似模型的结果与理论基本一致,误差不超过10%,能满足工程使用的需要。

我们同时考虑了井孔内接收器对远处来的声波的响应。如果从远方传来一平面纵波,井孔内将产生声波,被接收器接收。分析表明,接收到的声信号的表示式与井孔内点源激发的纵波很相像,这是井孔系统互易原理的反映,两个表达式仅有因自变量选取引起的一个因子差别。所以,我们得到的关于井孔内声源产生纵波的近似模型,可以用来分析井孔内接收器对远方传来的纵波的响应。

根据我们的近似模型,发现对于只利用纵波走时信息测量与地层声速有关参数的跨孔测井,可以把声源和接收器当成简单点源处理,即把声源和接收器看作球对称的点源。如果要测量地层的衰减,要利用测井的幅度信息,或者利用横波或全波列信息。就必须考虑声波的指向性和声场的性质,而我们的模型提供了一个可能的选择。

本文所得模型的井孔内部分与文献[1]一致,井孔外部分未见报道。

参 考 文 献

- [1] Tsang, L. and D. Rader, Geophysics, 44, 1706-1720, 1979.

小波分析在地震井间勘探中的应用初探

徐果明 李光品 黄志斌 李 跃

(中国科学技术大学地球和空间科学系 合肥 230026)

用井间的地震到时反演井间岩层的速度结构,其中速度模型的构造是关键的一步,它关系到反演结果的精度以及收敛速度的快慢。目前较有代表性的速度构造反演方法是待研究的区域网格化,并假设同一网格内速度均匀,或者是线性分布,它具有速度模型构造简单、直观的优点,但引进的待求量多。小波函数具有很强的灵活性,它可以根据实际需要灵活选用小波基函数,而且小母函数经整数的平移和二进的伸缩得到的小波函数基 $\{\psi_{j,k} = \alpha^{j/2} \psi(2^j x - k), j, k \in \mathbb{Z}\}$ 是 $L^p(1 < p < \infty)$ 空间的正交函数基。在实际问题中最重要的是具有间断线(或间断面)的光滑函数,它按正交的小波基展开,可以看成是用少数几个低频的小波来逼近函数的光滑部分,再加上位于间断线(或间断面)附近的高频部分来反映其奇性,并可通过小波函数和相应的尺度函数的联合运用而构成多分辨率分析。我们知道小波函数 $\{\psi_{j,k}(x), j, k \in \mathbb{Z}\}$ 及其傅里叶变换 $\{\psi_{j,k}(\omega), j, k \in \mathbb{Z}\}$ 之窗口宽度分别为 $1/2^j \Delta_\psi, 2^j \Delta_\psi$,这就是说随着 j 的增大,相应基函数的窗口宽度就减小,而其傅里叶变换(即频谱)的窗口宽度却随之增大。这说明随着 j 的增大,相应小波基函数的空间局部性愈好,因而空间的分辨愈高,而其频谱局部性就愈差,因而分辨愈粗,这是正交小波基很大的缺陷,而小波包却具有如下优良的性质:它能随着 j 的增大而变宽的频谱窗口进一步分割变细,并可根据实际的要求在其中能发挥很好的作用。紧支集的小波基不仅有很好的连续性,而且在空间域和频率域均具有很好的局域性,如果我们用紧支集的正交小波包基来构造待研究区域的速度分布,不仅能很好地描述区域速度的局域性、突变性,而且也能很好地描述区域速度的连续性特征。

数值计算中,我们选用二维的地震井间勘探模型,并假设井间的层按其速度分为3层,其中中间一层为含油层。勘探的方式为:在井一侧的不同深度点上放炮,在井的另一侧的不同深度点上进行多点接收。其反演过程如下:(1)根据二维井间的速度结构以及炮点和接收点的位置,正演相应于每一炮点和接收点的到时,并把该到时作为反演的资料。(2)选取如下的二维的紧支集小波基:

$$\Psi_{j,m,n}^0 = \varphi_{j,m}(x) \varphi_{j,n}(y),$$

$$\Psi_{j,m,n}^1 = \psi_{j,m}(x) \varphi_{j,n}(y),$$

$$\Psi_{j,m,n}^2 = \varphi_{j,m}(x) \psi_{j,n}(y),$$

$$\Psi_{j,m,n}^3 = \psi_{j,m}(x) \psi_{j,n}(y),$$

其中, $\{\psi_{j,k} = 2^{j/2} \psi(2^j x - k), j, k \in \mathbb{Z}\}$; $\{\varphi_{j,k} = 2^{j/2} \varphi(2^j x - k), j, k \in \mathbb{Z}\}$ 是 Daubechies 的紧支集正交小波函数和相应的尺度函数,将井间的岩层速度按 $\Psi_{j,m,n}^i$ ($i=0, 3$)展开。(3)首先将井间的岩层速度按简单的二维小波基展开,再根据到时资料反演得到粗略的速度初始模型,然后把其速度模型向不同组合形式的小波基投影,根据投影系数的特征选择最佳的小波基。(4)运用到时资料反演二维最佳正交小波基的展开系数。(5)根据反演所得的二维正交小波基的展开系数,合成二维井间的速度结构。计算结果显示:将二维井间的岩层速度按适当的正交小波基展开,待求的系数少,而且能比较好地反映井间的实际的速度结构,我们还发现:二维的小波系数在井间岩层速度突变的地方有量级的跃变。

地震各向异性弹性参数的非线性数值反演

何樵登 侯安宁

(长春地质学院 长春 130026)

使用伪谱法建立理论数据与各向异性弹性参数的数值关系的原理,其本质是数值解各向异性弹性波动方程。波动方程的空间微分使用傅里叶积分变换来计算。例如,某一函数 $g(x)$ 的二阶微分可按下列公式计算:

$$\frac{d^2 g}{dx^2} = -4\pi^2 \sum_j \left(\frac{J}{N_x D_x} \right)^2 G \left(\frac{J}{N_x D_x} \right) \exp \left[(i2\pi) \left(\frac{J}{N_x D_x} \right) \right] \frac{1}{N_x D_x},$$

其中 N_x 为离散样点总数, D_x 为网格间隔, G 为 g 的傅氏域函数。这样,再利用二阶差分格式可得到各向异性弹性波的数值解公式。由于可以用 FFT 和并行计算空间微分,故可期望这种数值解将会随并行机的发展而大大提高效率。目前我们实现了一维、二维 qSV 波和 qP 波在微机上的计算。

遗传算法反演数值解中隐含的各向异性弹性参数的基本过程可归纳为如下三个过程:

1. 建立目标函数并对模型矢量编码

设反演未知参数为 X_i , $i=1, 2, \dots, M$ 。写成矢量 $\mathbf{m}$ 为: $\mathbf{m}=\{x_i\}$, $a_i \leq x_i \leq b_i$ 。其中 a_i 和 b_i 为对应 X_i 的变化范围。与模型 $\mathbf{m}$ 相对应的非线性目标函数 $\varphi(\mathbf{m})$ 是一个标量函数。 $\varphi(\mathbf{m})$ 的建立主要有两种,一是理论计算数据与实际观测数据的差的平方和,即误差能量型;二是理论计算数据与实际观测数据的相关和,即相关能量型。本文采用了后一种目标函数。遗传是以基因码来进行,所以我们将模型 $\mathbf{m}$ 再次离散化后按二进制来编码,即以“1”或“0”为基因码,将模型 $\mathbf{m}$ 里的每一模型参数编码后再依次连接在一起,形成一个位串。这个位串就是遗传的染色体。

2. 确定种群数 Q 并进行遗传

种群数 Q 是用来遗传的一组模型 $\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_Q$ 的数目。 Q 的大小既与收敛速度又与计算量有关。目前,仍然是试验性地确定 Q 的大小。遗传有三个核心过程,既选择、交叉和变异。

(1) 选择。选择是在 Q 个种群上依据各个模型的目标函数的大小,来重新选取 Q 个模型作为父母一代。某一模型的选择次数由目标函数按某一方式计算的选择概率 P_s 的大小确定。

(2) 交叉。交叉是父母一代种群上随机地配成 $Q/2$ 对模型,然后按预先给定的交叉概率 P_c ,决定某一对模型的二进制位串上的某一部分是否进行交换而最后获得孩子一代模型。

(3) 变异。变异就是在孩子一代种群上的某一模型,按预先给定的概率 P_m 随机地选取一位或多位进行奇偶变化。

遗传的这三个过程有其各自的作用。选择是总体上决定了模型向着目标函数值朝较大的方向前进;交叉则反映了种群模型之间信息的共享程度;最后变异保证了一定程度的种群多样性。没有变异,模型很可能会陷入局部极值状态。

3. 迭代与收敛

遗传的三个过程不断地重复进行。所搜索的模型对应的目标函数值不断地增大。这样迭代进行,直到目标函数值取一预定的值、且种群里的所有模型几乎取相同的模型值时,迭代则停止。此时 Q 个模型就已几乎到达全局极值点的附近。

目前,我们针对 2 层和 3 层地质模型,反演了一维各向异性波动方程的 C33 或 C44。对理论记录的反演获得了较精确的结果。经过试算,使我们看到:遗传算法本身具有隐含并行性,这是其成功地寻找正确答案的关键所在。但它毕竟仍是处于研究阶段的方法,有许多问题仍须进一步改进,如 P_m 、 P_c 和 Q 的大小确定等,这些随不同的优化问题而不同。

层状介质二维波动方程叠前反演方法

王守东 刘家琦

(哈尔滨工业大学数学系 哈尔滨 150006)

在地震勘探中,波动方程反演越来越受到人们的重视,但是由于反演的复杂性,它的发展是比较缓慢的。一维波动方程的反演已经发展得比较完善,正在走向实际应用。但一维波动方程反演在实际应用中还有一定的局限性,由于一维模型较简单,很难描述复杂的地下结构,相反,二维模型却有较强的实用性。

本文从二维波动方程出发,成功地反演出地下介质的弹性参数。首先假设地下介质为水平层状介质,且各层介质的密度为已知,所用的模型为叠前模型,即点源模型。这样由正演模型定义了一个由参数空间到地震记录空间的算子,设为

$$F(k(y)) = g(x, t),$$

其中 $k(y)$ 为地下介质弹性参数, $g(x, t)$ 为地震记录,反演就是已知 $g(x, t)$ 求 $k(y)$ 。但不是由上式直接来反演 $k(y)$, 而是通过使泛函

$$\|F(k(y)) - g(x, t)\|$$

达到极小来求 $k(y)$ 。为使求解过程稳定,在求解 $k(y)$ 时我们利用了正则化方法,用泛函

$$\|F(k(y)) - g(x, t)\| + \alpha \|M(k(y))\|$$

代替之,其中 α 为正则参数, M 为光滑算子。为使上式达到极小,先对该式进行离散,再将 $F(k(y))$ 进行 Taylor 展开,然后根据 Euler 公式,便可得到反演 $k(y)$ 的迭代公式

$$k^{n+1} = k^n - (F^*(k^n) \cdot F'(k^n) + \alpha M^T M)^{-1} \cdot (F^*(k^n) \cdot (F(k^n) - g) + \alpha M^T M \cdot k^n),$$

其中, $F^* = (F')^T$, F' 为 F 对 k 的导数。

为了验证方法的有效性,我们利用该式,做了一个数值模拟的例子,模型取为 21 节点 $\times$ 51 节点, x 方向的差分步长为 10m, y 方向的差分步长为 5m, 时间步长为 1ms, 地震记录长度取为 200ms。反演步骤如下:

- (1) 给定初始模型、正则参数及地震记录;
- (2) 计算导数 $F'(k^n)$;
- (3) 形成方程 $A\Delta k = B$, 其中 $\Delta k = k^{n+1} - k^n$;
- (4) 求解方程得 Δk ;
- (5) 线性搜索确定步长 L ;
- (6) 计算 $k^{n+1} = k^n + L \cdot \Delta k$;
- (7) 判断 k^{n+1} 是否满足终止迭代条件,若满足则停止,若不满足则转 (2) 继续迭代。

由于叠前反演具有很高的非线性及正演的底边反射,初始模型对反演结果有很大的影响。当初始模型选得不好时,反演结果可能会落在局部极小点。一般初始模型选为均匀介质或二层的介质,初始 k 值不应取得过小以保证无底边反射。

真值与反演值的比较结果表明,计算的结果是较理想的,只有最后几个点不准,前面的点都很准确,证明此迭代方法用于二维叠前反演是可行的。

衍射层析成像的非 Born 近似解

张霖斌^① 许云^① 李幼铭^② 杨长春^②

衍射层析成像近年来得到了较大的发展,并在实际运用中取得了一些令人满意的结果。但研究工作是基于 Born 或 Rytov 近似下进行的,因而极大地限制了该方法的适用范围,如异常体扰动不能太大(10%左右),在 Born 近似下,必须是小角度入射等。为克服这一缺陷,本文提出了一种非 Born 近似下的高精度衍射层析成像方法,使之能适应异常体扰动较大的情况。

首先,我们研究非 Born 近似下的散射场近似表达式。波场的积分精确表达式为

$$p(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s) = p_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s) - k_0^2 \int_V O(\mathbf{r}') G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') p(\mathbf{r}', \mathbf{r}_s) d\mathbf{r}', \quad (1)$$

式中 $\mathbf{r}_s$ 为震源位置, $k_0 = \omega / c_0$, c_0 为背景速度, $G(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ 为背景场的自由空间 Green 函数, $p(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s)$ 为总波场。

$$O(\mathbf{r}) = 1 - c_0^2 / c^2(\mathbf{r}),$$

V 为异常体所在的区域,式(1)可写成

$$p(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s) = p_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s) - k_0^2 \int_V O(\mathbf{r}') G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') [p(\mathbf{r}', \mathbf{r}_s) - p(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s)] d\mathbf{r}' - k_0^2 \int_V O(\mathbf{r}') G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') p(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s) d\mathbf{r}', \quad (2)$$

式中假定 $\mathbf{r} \in V$, 对式(2)作近似,有

$$\left[1 + k_0^2 \int_V O(\mathbf{r}') G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') d\mathbf{r}' \right] p(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s) = p_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s), \quad (3)$$

式(3)的近似中,我们设

$$|p_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s)| \gg \left| k_0^2 \int_V O(\mathbf{r}') G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') [p(\mathbf{r}', \mathbf{r}_s) - p(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s)] d\mathbf{r}' \right|,$$

因此

$$p(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s) = p_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s) \left[1 + k_0^2 \int_V O(\mathbf{r}') G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') d\mathbf{r}' \right]^{-1}, \quad (4)$$

则散射场可用下式近似

$$p_s(\mathbf{r}_r, \mathbf{r}_s) = p(\mathbf{r}_r, \mathbf{r}_s) - p_0(\mathbf{r}_r, \mathbf{r}_s) = -k_0^2 \int_V O'(\mathbf{r}') G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') p_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}_s) d\mathbf{r}', \quad (5)$$

$$O'(\mathbf{r}') = O(\mathbf{r}') \left[1 + k_0^2 \int_V O(\mathbf{r}'') G(\mathbf{r}', \mathbf{r}'') d\mathbf{r}'' \right]^{-1}. \quad (6)$$

其次,我们仿 Wu 等(1987),可以推导出多源、多接收器、不同接收方式下的衍射层析成像滤波反传重建公式,由此反演出 $O'(\mathbf{r})$ 值,最终依据式(6)解出 $O(\mathbf{r})$ 。

本文所提出的方法由于是非 Born 近似下进行的,因而其适用范围广,而且精度高。所导出的散射场表达式(5)对于多频逆散射衍射层析成像、广义 Radon 变换等研究是很有用的,而且对于现存的所有基于弱散射假设下的层析成像方法,提高成像质量和适用范围有很大作用。

数值实例表明该方法对大扰动异常体能得到高质量的成像。因此,该方法能使衍射层析成像的适用性和成像质量提高到新的台阶。

① 中国地质大学,北京,100083。

② 中国科学院地球物理研究所,北京,100101。