

盆地地球物理初探

范小林 陆国新 蒋洪堪

(地质矿产部石油地质中心实验室, 无锡 214151)

应用地球物理信息并结合地质资料进行盆地实体的构造发育史、沉降堆积史及其所受的各种动力作用等方面的研究是盆地地球物理工作的主要内容。该项工作是以勘探地球物理为主要手段获得的岩石圈内部地球物理数据, 通过人-机交互联合解释(数学正反演计算), 探讨岩石圈深部的构造物理特征、热状态分布状况、动力学条件等深部地质因素与盆地的形成、发展、消亡(或被改造)之间的关系。提出盆地成因的构造地球物理模型, 为进行盆地的各种地质模型定量动态模拟, 求得油气远景评价提供地球物理背景。

关键词 盆地 地球物理 岩石圈 深部地质 盆地成因机制 构造地球物理模型

第一作者简介 范小林 男 37岁 工程师 石油物探

中国沉积盆地为“两种全球构造体制”(朱夏, 1965)下形成的叠合盆地。因其现代在全球大地构造环境中处于印度(澳大利亚)、欧亚(北美)、太平洋(菲律宾)三大板块长期共同推挤作用之下的陆内连续挤压形变这样一个特殊的构造背景, 而被称之为“中国型盆地”(Bally, 1975)。因而在研究中国盆地的工作中必须从板块大地构造理论出发, 以“活动论, 历史观”^①及盆地系统分析程式(朱夏, 1980)为指导思想, 以地质领域内多学科(如地质学、地球物理学、地球化学等)研究获得的成果综合分析沉积盆地地质史的发展过程。

应用地球物理信息, 对于“在一定地质发展历史阶段的一定运动体制下形成发展的统一沉降单元”(朱夏, 1965)的重新认识是朱夏教授曾提出的“地质与地球物理结合”思想的具体体现, 它有可能对中国的盆地成因机制(类型)提出新发现, 为正确提出含油气盆地的勘探远景评价提供地球物理背景条件。据作者们近十年参加南方中、古生代碳酸盐岩油气普查项目中对有关盆地研究得到的一些体会, 将地球物理与地质相结合应用于研究盆地构造与演化, 暂称为“盆地地球物理”。并对其在盆地研究中的作用与意义作一粗略的初步探讨。

1 盆地地球物理研究的必要性

地表地质见到的地史痕迹为地质学家推断地壳浅部(深度在10km以内)的构造演化提供依据。10km以下岩石圈部分的地史痕迹借助于地球物理方法间接测量得到, 且为地质学家、地球物理学家、地球化学家共同推断该部分岩石圈构造演化提供依据。地表地质和地下地质-地球物理共同揭示了岩石圈演化至今的地史痕迹, 得以使研究盆地的地学家们对盆地发展与这些痕迹之间的关系有一个较明朗的看法。

^① 朱夏 1990年4月在地质矿产部石油地质中心实验室的讲话

随着地球物理资料的日益丰富和地球物理资料作为盆地系统分析过程中的一个组成部分,它将起到促进该项系统分析和拾遗补缺作用,以便和地学界的同行们共同“对一个盆地的整体来加以分析”(朱夏,1983)。

以勘探地球物理(重力、磁法、地震、大地电磁、大地热流、钻井地球物理)获得的多种地球物理数据为盆地地球物理研究的基础,经计算机正反演计算分析得到的成果,率先考虑盆地整体单元的地球物理特征及其所反映的岩石圈内部诸如动力学、应力作用、热分布、结构与构造、物质组分等背景材料,在可能进一步提高人们对盆地的形成与分布和板块构造活动(含受板块活动影响的板内构造形变)之间关系的认识,进一步推动研讨岩石圈板块活动与板内活动(压、扭、张)造就的大地构造环境(盆、褶、山系)的成因发育背景。

盆地地球物理初步研究早在国家“七五”科技攻关项目^①中参与实施并初见成效。当今,地球物理资料日益增多,尤其是深部地球物理工作成果。我们试图结合在地球物理资料不多的状况下研究朱夏教授等地学专家们对中国盆地的成因机制、动力学背景、成因类型等方面获得的重要进展成果,开展盆地地球物理研究工作,重新认识中国盆地,有可能为论述盆地的构造与演化提出一些有意义的地球物理背景:诸如壳幔内部和壳幔交界处的低速(岩石的电阻率、密度)异常物性层体;壳内(或幔内)高速薄层异常体;岩石圈侧向电性不均一和纵向低阻高温带;岩石圈底界(1100℃~1200℃等温线)的埋深及起伏状况等等。

在参与盆地系统分析研究工作过程中,盆地地球物理可能一半起推动作用,一半起阻碍作用。原因是,当今地球物理资料是地史演化至今叠加效应总的反映,历史地恢复古地球物理背景是不可能的。但我们借助于地表地质,实验岩石学,地球化学与地球物理信息的综合分析,给出一个能为广大地学工作者易于接受的地质-地球物理模型,并由此推动岩石圈动力学、构造物理学背景,探讨岩石圈内部物理过程与活动之间的关系,探讨动力学与板块(或板内)活动之间的关系,探讨板块(内)活动与盆、褶、山系之间的关系是极为可能的。这无疑将会对盆地研究工作有一个新的推动。

2 盆地地球物理研究的基本思路

盆地是地史过程中与地球动力学环境配套的时空关系上的一种表现形式。它们的形成与板块构造活动引起岩石圈介质在相对运动过程中控制板内地壳浅部构造形变密切相关。因此,应用地球物理资料研究盆地,同样考虑中国盆地中生代以来变格之后所处大地构造环境的特殊性及现今保留下来的地球物理特征。据深部地球物理资料(朱介寿,1986)并结合地质资料共同分析,我国地壳-岩石圈地幔结构和构造大致以壳幔陡变带(重力梯度带)为特征线,以“昆仑山—秦岭—淮阳为南北分界,贺兰山—龙门山—玉龙山作为东西分界”(朱夏,1983)划分为含主要的中生代含油气盆地的四大区块(图1)。这些盆地所在区块的岩石圈所处的大地构造位置(Tectonic),所受板块(板内)活动影响的方式(Style),其物质组成(Material),同时考虑区块所处岩石圈热状态(Thermal State)和盆地所在区块的岩石圈动力学背景(Dynamics),所受构造应力作用影响的大小(Stress),以及盆地内部基底构造格架

^① 张渝昌等,“七五”国家科技攻关项目 75-054-02-01-01 扬子地区古生代盆地构造演化和油气的关系,1990

(Structure)和沉积实体的性质(Sediment)等均可借助地球物理资料加以分析。分析方法大致以与各种地球物理专业相匹配的数理计算技术(如重磁数据的解析延拓和正反演计算),地震资料的常规处理(叠加、偏移等)和特殊处理(二维滤波、静校正、谱均衡等)以及有可能运用地震层析技术(Seismic Tomographic)(解剖岩石圈和地幔内部速度结构等)为主要手段,在地球物理解释人员和计算机人员共同努力下进行人-机交互联合解释计算结果,使它既有地球物理意义,又逼近于地质情况。

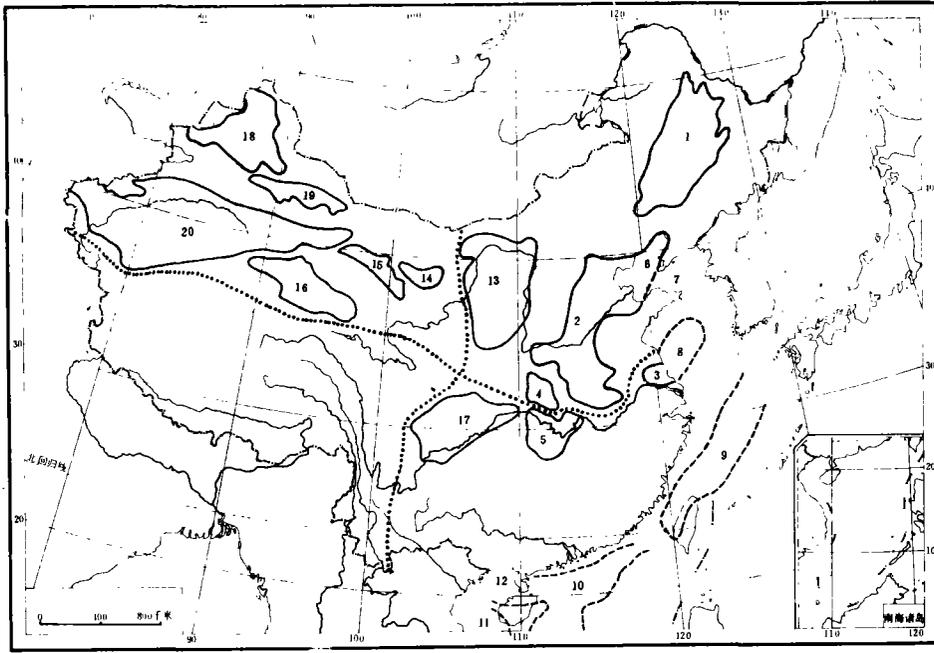


图1 中国主要含油气盆地分布示意图

(据甘克文等,1982略加修改)

- 1. 松辽盆地; 2. 华北盆地; 3. 苏北盆地; 4. 南襄盆地; 5. 江汉盆地; 6. 渤海盆地; 7. 北黄海盆地; 8. 南黄海盆地;
- 9. 东海盆地; 10. 珠江口盆地; 11. 莺歌海盆地; 12. 北部湾盆地; 13. 鄂尔多斯盆地; 14. 潮水盆地; 15. 酒泉盆地;
- 16. 柴达木盆地; 17. 四川盆地; 18. 准噶尔盆地; 19. 吐鲁番盆地; 20. 塔里木盆地

首先进行典型盆地的地球物理剖析(如某个区块中的某个盆地),探明其壳幔岩石圈结构与性质,基底构造形态展布,沉积盖层厚度,盆地实体范围,盆地内部地震地层(岩相,岩性)展布特征与海平面变化状态。然后作盆地区块(区块上分布盆地群,故称盆地区块——作者)内部各个盆地的地球物理分析并相互进行类比(如塔里木与柴达木或准噶尔)和盆地区块之间的盆地地球物理分析与类比(如四川与鄂尔多斯),最后作中国盆地区块的综合分析(各大盆地区块之间地球物理的综合地质分析),有可能进一步分析中国大陆盆地的形成与发展 and 相邻太平洋、欧亚、印度三大板块之间的关系。最终找出中国盆地构造与演化的规律性和统一性。

应用地球物理资料参与盆地研究的基本思路如图2所示。

近十年来,由于勘探地球物理方法的不断进步和计算机技术的日益发展,以至获得了大量的地壳上地幔岩石圈的地球物理数据,在加以某些特定的地质条件限制后,输入计算机,经各专业相应的数字化处理进行解释(对地球物理特性的识别与分析)之后,编制出系列与盆地研究有关的地球物理图表(如地球物理场- ΔT 、 ΔG 等值线图,物性-构造界面展布图,地球物理断面图等),以此作为地质学家在编制盆地时空演化图,进行综合分析时所需要的地球物理背景资料。

据黄立言(1990)报道,全国已完成且获得了11条地学断面的科研成果。这些断面横贯我国大部分盆、褶、山系,这将使我们在今后几年的盆地地球物理研究工作有可能处于世界盆地研究前沿;结合古地磁学,恢复中国盆地所处的古大地构造环境;讨论中、新生代以来的构造变格运动引起板内形变,使古生代盆地得以改造和中、新生代盆地得以形成的动力学机制(条件),提出盆地成因地球物理模型(古生代、中生代、新生代)。

3 盆地地球物理研究的定性评价

当今勘探地球物理研究已形成两个发展方向:(1)勘探地球物理的基本方法和理论研究进一步深化和专业化(如重、磁、震、电均有各自的勘探方法理论与数学处理技术);(2)各种地球物理方法之间及地球物理方法与其他如地质学、地球化学等方法间的综合研究的进展。前者提出有关岩石圈介质的地球物理数据及由这些数据经演算得到的逐渐逼近于岩石圈介质状态的“解”。后者则利用该“解”进行“反演”(或推断)岩石圈板块的地质构造演化与盆地发展之间的关系。由于勘探地球物理方法的专业化程度的提高,每种方法仅能提供与该方法所研究的物理场有关的地球物理信息:重力反映地球整体密度变化引起的重力场,磁力反映小于30~40km深度地球内部介质低于居里温度点的磁性体造成的磁异常,地热反映岩石圈介质在软流圈地幔热源影响下产生的热状态,波速反映地球介质内部结构发生形变时产生的弹性波场,电阻率反映了地球内部介质在外部电场作用下的导电性。因此,我们针对盆地地球物理研究工作中所要完成的地质任务和以研究壳幔岩石圈深部地质构造与板块(或板内)构造活动引起的区域地质构造变化与盆地的形成(发展、消亡、被改造)之间的关系为主要地质目标,简要地对盆地地球物理研究作一定性评价,如表1所示。

4 盆地地球物理研究对岩石圈研究的贡献

勘探地球物理方法利用岩石圈介质的物理性质(密度、磁性、弹性、导电、导热性)得到最近一次全球构造变动之后岩石圈介质的物性分布情况。对于建立岩石圈物性结构,分析它可能导致的深部地质作用与地壳浅部盆地的构造演化过程的关系,提供地球物理依据。

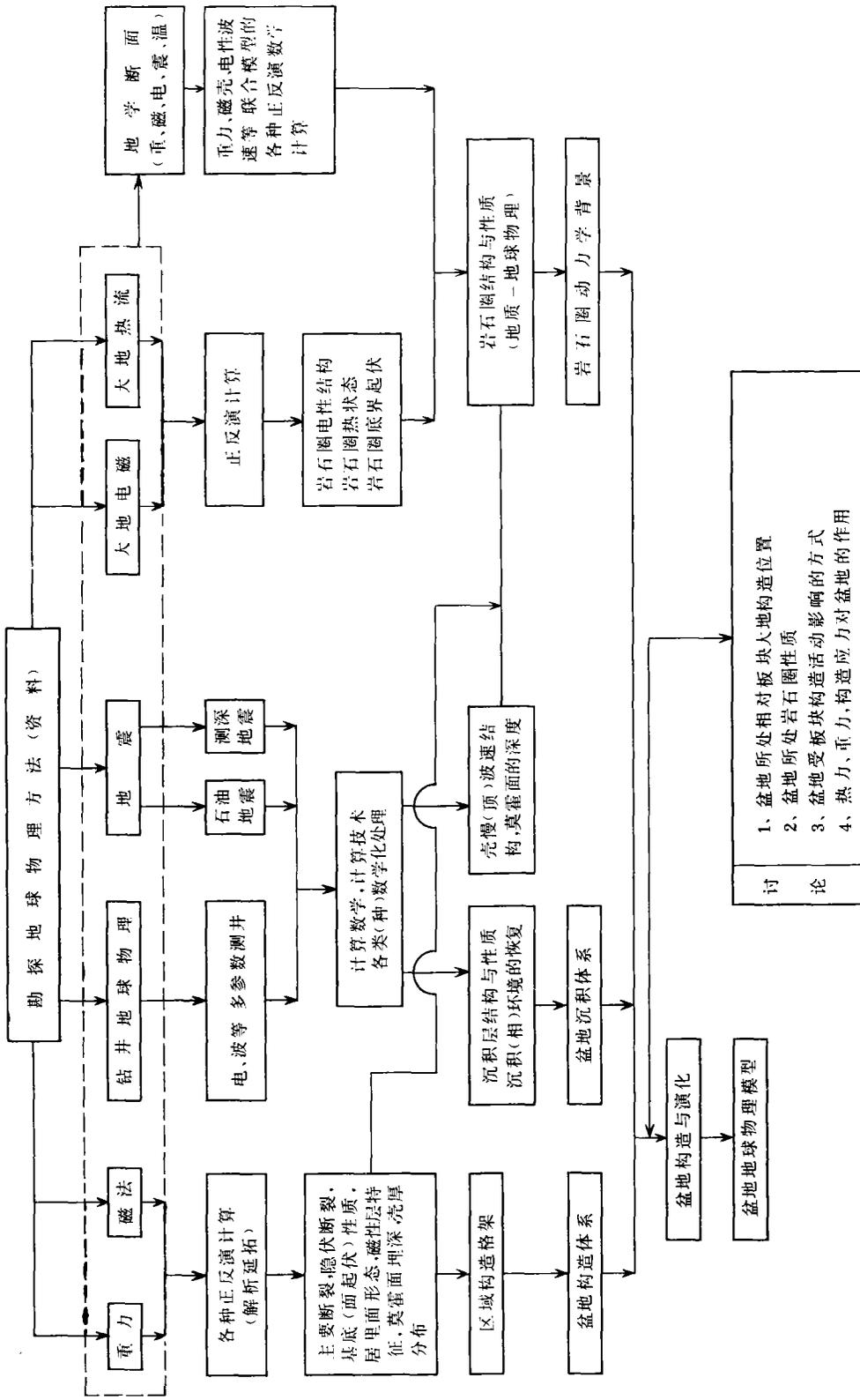


图2 盆地地球物理研究基本思路示意图

表1 盆地地球物理研究的定性评价

勘探地球物理资料	勘探地球物理学中的计算数学与计算技术	地球物理研究的地质任务(地质解释)	地质目标
重力、地震测深、大地电磁测深、大地热流测量	重,频率域(或空间域)密度单界面迭代正反演计算,解析延拓(场分离法),垂向一次、二次方向导数(0°、90°、45°、135°) 震:剥皮,走时曲线,射线追踪,反射率法的正反演解释电;广义矩阵一维迭代反演(部分二维) 热:?	1. 基底构造层形态展布与埋深 2. 莫霍面起伏形态与埋深 3. 主要深大(隐伏)断裂 4. 壳幔岩石圈结构与构造,物质组成,热状态分布 5. 壳幔岩石圈底界起伏与埋深	平面上认识与盆地有关的: 1. 区域构造格架;2. 动力学背景(热力、重力、应力);3. 板块大地构造环境,岩石圈性质,板块活动的方式;4. 可能的构造史提出
重、磁、电、震、温(地学断面)	重力及磁壳模型的频率域、空间域迭代反演,波速、电性与密度统计关系加以地质限制进行人-机交互迭代正、反演计算解释	同上	剖面上认识与盆地有关的: 1. 区域格架 2. 岩石圈性质 3. 板块活动影响板内形变 4. 构造史(?)
地磁测、航磁、石油地震、普通电法(?)	磁,频率域磁性单界面正反演计算(化极延拓),空间域磁性顶、底界面正反演计算(功率谱法等) 震:常规处理,二维滤波、静校、叠加、谱均衡、反褶积、振幅保持等	1. 居里面形态展布与埋深 2. 磁性层或结晶磁性基底性质与埋深 3. 沉积层性质,盆地范围,沉积体结构 4. 侵入岩体的分布,浅层断裂 5. 地震地层学(层序地层学)	盆地基底格架的提出,盆地沉积环境(史)的提出,盆地构造与岩浆活动,盆地地层、岩相、岩性、海平面变化特征

盆地地球物理在研究岩石圈内部物性结构与介质的关系时,最突出的贡献在于反映岩石圈动力学(或盆地动力学)背景。特别是揭示岩石圈内部(底部)出现令地学界感兴趣的低速、低Q(地震波能量衰减因子)、低密、低阻等地球物理异常。这类异常的存在,表明有活动物质(热熔融或粘滞性流动物质)或为构造活化带。这就有可能帮助我们对古盆地的改造和新盆地的形成提出新的看法:介质的流(蠕)变性,驱使板块活动导致板内形变。当今地球物理资料表明岩石圈底界大都在100~200km左右的深度,以下为软流圈地幔。可见,密度相对小一点的“刚塑性”岩石圈漂浮在密度相对大的软流圈地幔之上。软流圈地幔的粘滞性系数 $\eta=10^{20}\text{Pa}\cdot\text{s}$,足以使该处地幔发生蠕变流动,再往深部,粘滞性系数增大,对流的可能性减小(傅容珊,1989)。这样的假设正确的话,岩石圈板块运动的来源(动力学条件)可能应归结为有限厚度的软流圈地幔中的物质对流(温压变化所致)。软流圈地幔以“传送带”式驱动岩石圈板块的滑块及由此造成的板块相互作用形成了地壳表层多样化的大地构造环境:两块密度相当的大陆岩石圈板的相向(背)移动,无法相互潜没消减而导致会聚(离散,或转换),盆(含洋盆)、褶、山系也因此随岩石圈板块可变密度的相互区域性补偿,趋于重力均衡而伴生在不同的大地构造环境之中。

盆地(或褶皱山系)所处板块大地构造环境的差异性,就决定了它在后期构造变格运动中受地幔物质流变作用影响,引起地壳浅部以单向构造应力作用为主和深部以剪切应力为主的应力作用之后,地壳及岩石圈地幔内部物理条件发生变化,岩石圈动力学条件在时空演化过程中也随之趋于新的均衡而发生相应的变化,从而出现了变格期间(或变格后)的陆

(内)缘拉张、会聚、转换的构造背景,产生了浅部为脆性形变,深部为延性形变所控制的诸如陆缘张裂、拗拉槽、陆间碰撞前陆、弧后前陆、陆(内)间走滑拉分等等各类新的盆地。

作为盆地学科的一个分支,盆地地球物理研究工作刚刚起步,其可行性及在盆地研究中的作用将在今后的盆地系统分析“工程”中得到证实。作者希望该项科研工作能在“八五”(或“九五”)期间进行中国含油盆地分析研究项目中作出贡献,对盆地学的发展有一个新的推动。本文的完成,是与张渝昌老师近几年来对作者在盆地研究工作中的指导分不开的,谨在此表示万分谢意。

(收稿日期 1990年9月1日)

参 考 文 献

1. 朱夏. 我国中生界油气盆地的大地构造特征及有关问题, 中国大地构造问题, 科学出版社, 1965
2. Bally AW. A geodynamic scenario for hydrocarbon occurrences, *Proceedings of 9th World Petroleum Congress* 1975
3. 朱夏. 关于盆地研究的几点意见, 石油实验地质 1980;2(3)
4. 朱夏. 试论古全球构造与古生代油气盆地, 石油天然气地质 1983;4
5. 朱介寿. 我国大陆地壳及上地幔分块构造特征, 成都地质学院院报 1986;13(1):73~93
6. 朱夏等. 中国中生代构造与含油气盆地, 地质学报 1983;57(3):235~242
7. 黄立言. 我国对中国大陆及邻海岩石圈研究的进展(1986~1989), 地质论评 1990;36(6):564~570
8. 甘克文等. 世界含油气地图集, 石油工业出版社, 1982
9. 傅容珊. 地幔热动力学进展, 地球物理学进展 1989;4(2)

PRELIMINARY APPROACH TO GEOPHYSICS OF BASINS

Fan Xiaolin Lu Guoxing Jiang Hongkan

(Central Lab. of Petroleum Geology, MGMR)

Abstract

The studies on tectonic history, subsidence and accumulation evolution of basins as well as the dynamic forces on basins with the application of geophysical data and information combined with geological information are the main subjects of the geophysical analysis of basins. Through various techniques of geophysical investigations, the lithospheric geophysical information and data could be obtained and the tectonic-geophysical models for basin origins could be proposed on the basis of man-machine combined interpretation (mathematical forward and inverse computation). Consequently, the geophysical background can be provided for the dynamic simulations quantitatively on various geological models of basins and the appraisal of oil/gas prospects in basins.