

以地质—地球物理资料的
沉积成因分析为基础对沉积岩组远景的
预 测 与 研 究

Н. А. 克利格尔 等著

石油工业出版社





• 074533

以地质—地球物理资料的
沉积成因分析为基础对沉积岩组远景的
预 测 与 研 究

И. А. 克利格尔等著

任 俞 译 王 雪 校

5436/09



200407167

石油工业出版社

(京) 新登字082号

内 容 提 要

本书论述了以沉积成因分析为途径分析沉积壳内地球物理勘探资料的方法、原理。第一部分扼要地描述了方法的岩石声学基础，并阐明了海洋、海岸和大陆成因沉积岩的岩石声学特性差异。第二部分给出了沉积体系的分类及其地震“肖像”的特点。第三部分讨论了在地震勘探的区域普查、探查和详查阶段内沉积成因分析的目的、任务和方法。还介绍了应用该方法的一些具体实例。

ПРОГНОЗ И ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОТЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СЕДИМЕНТОГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГЕОЛОГО-

ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ
И. А. Кляггер, Г. В. Бусыгин
Н. А. Ворфоломеева, Л. А. Чечулина
И. С. Нижегородова

以地质—地球物理资料的
沉积成因分析为基础对沉积岩组远景的
预 测 与 研 究

И. А. 克利格尔等著
任 俞 译 王 雪 校

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京朝阳北苑印刷厂排版
北京朝阳北苑印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 17/8印张 40千字 印1—500

1993年9月北京第1版 1993年9月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0937-4/TE·876

定价：2.10元

绪 言

地震地层学本身的飞速发展至少应归功于两大因素：第一，在研究区内获取清晰的、排除干扰的地震波图象的可能性；第二，沉积盆地地质学科研究的显著进步。

正是从这些观点出发，在国外^[14,20]和前苏联^[5,11]科研工作者的文章中正将地震地层学的主要状况当作一项研究课题在进行描述。在上述和其它著作中还指出了—个因素，即沉积因素，它是必须研究并且成果丰硕的。例如，Г.Ф. Браун和У.Г. Фишер^[14]直接指出，任何一个地震剖面都可以看成是一个穿越沉积体系的地震地层学渠道。Г.Н. Гогоненков^[5]提出了一个完全有基础的假说：“不同类型的沉积体具有不同特点的波图象，并且特别重要的是，岩石成分相同而成因不同的沉积将具有自己所特有的地震波形图象”。

上述原理的正确性应该由两个方面获得证明：第一，经验性的证明，即直接比较相应的地震波图象；第二，通过研究不同成因沉积层的岩石物理参数(岩石声学参数)来证明。

沉积层岩石声学的参数研究(速度，密度，分层性)(Авербух А.Г., КГигер И.А., Хавкин Б.С., 1983, 1985)结合沉积学最新成就的分析(Гилер М.Р., 1986; Романовский С.И., 1977; Селли Р.К., 1981; Фишер У.Г., 1981等)使人们从地震波场中反映出的地质现实出发去观察地震勘探资料的解释工作。

已很清楚，反射特征的分类(地震地层学的基本构思之

一) 必须, 也可能莫基于每一个地质建造的成因, 建造研究的尺度与地震勘察的分辨率相当 (以地质沉积成因为途径进行分析解释的主要构思之一)。

沉积成因分析处理方法的基础在于, 单体岩性相构成三维地质体, 联合组成的空间沉积体系, 它们是不同的类型沉积岩层 (海相, 海岸相或陆相沉积) 的“地层学记录”或“模式”^[14]。沉积体系由侵蚀面或沉积岩表面所限制。沉积体系的成因根据它们的构造、结构变化、成层特点、内外地层学的关系、古生物资料、与相邻体系的相互联系等来确定。下面我们将指出, 由于沉积条件对相应地层的地质声学参数具有实质性的影响, 在大多数情况下沉积体系可以根据地震波图象加以判别。

沉积体系的概念在沉积生成过程中占有核心地位。这些体系中各种类型沉积岩组研究程度愈高, 人们就愈可能在有限数量实际资料的基础上预测构成其地层岩相的构组成分、几何形状和分布状况^[1, 14]。了解不同类型盆地中沉积岩组在空间的相互分布关系是地震剖面地层学解释的关键。例如, 相互交替的冲积岩、三角洲和陆棚沉积体系几乎是同时形成的。

最后, 在自然界和地质发展史中^[15], 数量有限的沉积体系的存在, 它们在地质时间、空间有规律的互相交替, 是检验在解释地震剖面时所提出假说的有效手段。

这一分析性概述的目的是给出区域普查、探查和详查阶段应用地震观测资料的沉积成因分析的基础和方法的描述, 以及对所获成果的分析。

与此相应, 本书由三部分构成。第一部分简要地描述沉积成因分析途径的岩石声学基础和确定海洋相、海岸相和大

陆相成因的沉积岩岩石声学参数的差异。第二部分研究了沉积体系的地质分类及其地震“肖像”的特点。第三部分讨论了沉积成因分析在区域普查、探查和详查阶段的目的、任务和方法，该章所引用的实例对于从事地震勘查解释工作的地质—地球物理专家在他们创造性地掌握所述途径和方法时可能是有用的。必须指出，本书仅从沉积的角度出发研究剖面的形成。毫无疑问，除去对沉积成因的综述和设想之外，在解释地质—地球物理资料时，必须考虑到沉积以后的变化，它们不仅对所勘测剖面段的地震成象有实质性的，有时甚至是决定性的影响。这些课题需要专门进行研究。

众所周知，在波场中，体积不大的沉积体系（包括油气远景部分在内）受限于地震勘探的分辨率。正是这个原因，必须利用其它补充资料，特别是钻井资料来划分和研究该体系及其远景部分。这些问题可以借助沉积成因分析途径以不同方法来解决，本书以具体实例给出了其中若干方法。

由于沉积成因分析（CTA）是地震地层学的一个分支，在剖面粗略分层—地震波组的划分与研究中，沉积成因分析与地震地层学分析（CCA）之间具有相似性。在此（区域性）阶段，以地震波组为范围首先要划分出沉积体系来，然后是震相组。在此阶段，做法上已经有所不同。下一步进行探查详查的地震地层学分析工作时，根据勘探中所获实际分辨能力，可以圈划出一些目标来。在此利用钻井资料还可获取和论证地震地层学和地震相组的地质知识，目的在于进一步利用地震信息来解释钻井未及地区地震波场的地质结构。通过沉积成因分析可为勘探工作提供个别沉积体系中存在一定目标（圈闭）的部分所在（甚至可以超越地震勘探法实有的分辨能力）以现已取得的科学规律作为基础。钻井资料不

仅如象在地震地层学分析中那样应用，而且获得一些定性和定量关系，为的是取得详查资料和估算储量与开发所必须的专门数据。随着井数增加（探井，而后加入开发井），这项任务的范畴将增大，解答精度也会提高。

因此，沉积成因分析不单与地震地层学分析相似，是地震地层学的一个分支，还将促使它进一步发展。

目 录

绪言.....	(1)
一、沉积层的岩石物理参数与地震反射基本特征 的预测.....	(5)
二、沉积体系的地质分类和地震特征.....	(13)
三、沉积成因分析的目的、任务和基础.....	(30)
四、结论.....	(54)
参考文献.....	(55)

绪 言

地震地层学本身的飞速发展至少应归功于两大因素：第一，在研究区内获取清晰的、排除干扰的地震波图象的可能性；第二，沉积盆地地质学科研究的显著进步。

正是从这些观点出发，在国外^[14,20]和前苏联^[5,11]科研工作者的文章中正将地震地层学的主要状况当作一项研究课题在进行描述。在上述和其它著作中还指出了—个因素，即沉积因素，它是必须研究并且成果丰硕的。例如，Г.Ф. Браун和У.Г. Фишер^[14]直接指出，任何一个地震剖面都可以看成是一个穿越沉积体系的地震地层学渠道。Г.Н. Гогоненков^[5]提出了一个完全有基础的假说：“不同类型的沉积体具有不同特点的波图象，并且特别重要的是，岩石成分相同而成因不同的沉积将具有自己所特有的地震波形图象”。

上述原理的正确性应该由两个方面获得证明：第一，经验性的证明，即直接比较相应的地震波图象；第二，通过研究不同成因沉积层的岩石物理参数(岩石声学参数)来证明。

沉积层岩石声学的参数研究(速度，密度，分层性)(Авербух А.Г., КГигер И.А., Хавкин Б.С., 1983, 1985)结合沉积学最新成就的分析(Гилер М.Р., 1986; Романовский С.И., 1977; Селли Р.К., 1981; Фишер У.Г., 1981等)使人们从地震波场中反映出的地质现实出发去观察地震勘探资料的解释工作。

已很清楚，反射特征的分类(地震地层学的基本构思之

一) 必须, 也可能奠基于每一个地质建造的成因, 建造研究的尺度与地震勘察的分辨率相当 (以地质沉积成因为途径进行分析解释的主要构思之一)。

沉积成因分析处理方法的基础在于, 单体岩性相构成三维地质体, 联合组成的空间沉积体系, 它们是不同的类型沉积岩层 (海相, 海岸相或陆相沉积) 的“地层学记录”或“模式”^[14]。沉积体系由侵蚀面或沉积岩表面所限制。沉积体系的成因根据它们的构造、结构变化、成层特点、内外地层学的关系、古生物资料、与相邻体系的相互联系等来确定。下面我们将指出, 由于沉积条件对相应地层的地层声学参数具有实质性的影响, 在大多数情况下沉积体系可以根据地震波图象加以判别。

沉积体系的概念在沉积生成过程中占有核心地位。这些体系中各种类型沉积岩组研究程度愈高, 人们就愈可能在有限数量实际资料的基础上预测构成其地层岩相的构组成分、几何形状和分布状况^[1, 14]。了解不同类型盆地中沉积岩组在空间的相互分布关系是地震剖面地层学解释的关键。例如, 相互交替的冲积岩、三角洲和陆棚沉积体系几乎是同时形成的。

最后, 在自然界和地质发展史中^[15], 数量有限的沉积体系的存在, 它们在地质时间、空间有规律的互相交替, 是检验在解释地震剖面时所提出假说的有效手段。

这一分析性概述的目的是给出区域普查、探查和详查阶段应用地震观测资料的沉积成因分析的基础和方法的描述, 以及对所获成果的分析。

与此相应, 本书由三部分构成。第一部分简要地描述沉积成因分析途径的岩石声学基础和确定海洋相、海岸相和大

陆相成因的沉积岩岩石声学参数的差异。第二部分研究了沉积体系的地质分类及其地震“肖像”的特点。第三部分讨论了沉积成因分析在区域普查、探查和详查阶段的目的、任务和方法，该章所引用的实例对于从事地震勘查解释工作的地质—地球物理专家在他们创造性地掌握所述途径和方法时可能是有用的。必须指出，本书仅从沉积的角度出发研究剖面的形成。毫无疑问，除去对沉积成因的综述和设想之外，在解释地质—地球物理资料时，必须考虑到沉积以后的变化，它们不仅对所勘测剖面段的地震成象有实质性的，有时甚至是决定性的影响。这些课题需要专门进行研究。

众所周知，在波场中，体积不大的沉积体系（包括油气远景部分在内）受限于地震勘探的分辨率。正是这个原因，必须利用其它补充资料，特别是钻井资料来划分和研究该体系及其远景部分。这些问题可以借助沉积成因分析途径以不同方法来解决，本书以具体实例给出了其中若干方法。

由于沉积成因分析（CTA）是地震地层学的一个分支，在剖面粗略分层—地震波组的划分与研究中，沉积成因分析与地震地层学分析（CCA）之间具有相似性。在此（区域性）阶段，以地震波组为范围首先要划分出沉积体系来，然后是震相组。在此阶段，做法上已经有所不同。下一步进行探查详查的地震地层学分析工作时，根据勘探中所获实际分辨能力，可以圈划出一些目标来。在此利用钻井资料还可获取和论证地震地层学和地震相组的地质知识，目的在于进一步利用地震信息来解释钻井未及地区地震波场的地质结构。通过沉积成因分析可为勘探工作提供个别沉积体系中存在一定目标（圈闭）的部分所在（甚至可以超越地震勘探法实有的分辨能力）以现已取得的科学规律作为基础。钻井资料不

仅如象在地震地层学分析中那样应用，而且获得一些定性和定量关系，为的是取得详查资料和估算储量与开发所必须的专门数据。随着井数增加（探井，而后加入开发井），这项任务的范畴将增大，解答精度也会提高。

因此，沉积成因分析不单与地震地层学分析相似，是地震地层学的一个分支，还将促使它进一步发展。

一、沉积层的岩石物理参数与地震反射基本特征的预测

沉积层内形成的反射波图象特征主要受到以下三个因素的影响：

- ①岩石内弹性振动的传播速度与岩石密度；
- ②岩层垂向分层（分层频度）与地震脉冲波长之比；
- ③沉积的横向差异性（变化性）与菲涅耳带值之比。

1. 沉积岩的波速与密度

这些参数取决于岩石组成的不均匀程度与颗粒形状，构成这些颗粒的矿物成分和填充颗粒间孔穴的流体性质。

主要影响波速和密度值的是^[1,7,12,15]：①矿物成分；②孔隙与裂缝的可压缩性；③随着埋深加大的密度增加；④热动力学条件；⑤埋藏深度；⑥岩石年龄；⑦形成条件（成因）；⑧常规与异常的发育条件。

上述例数第二个因素（沉积条件）属于一积累因素（是在常规石化作用与盆地内沉积下沉过程之中形成的），正是由它决定着孔隙空间的构造，甚至同一岩性类别岩石内的结构差异。

决定孔隙空间构造与外形的因素（体积与颗粒均匀性，滚圆度，球形度与颗粒聚集方式）直接与物质运移长度、时间长短、沉积保存过程中介质的水动力作用有关。

沉积距离其运移源愈远，其平均均匀性就愈高。分选较

差的新生沉积具有使孔隙空间重新结构的较大潜力和此后在热动力负荷影响之下改变其波速和密度的较大潜力^[2,6,15]。

在形成砂岩的过程中产生不同孔隙空间结构和沉积后续过程形成的特征（渗透率下降的出现，岩层水的循环活动性，孔隙内次生矿物的沉淀等）。

因此，构造和结构上的原始沉积差异就预先确定了同类岩性陆相建造在不同沉积环境下沉积的波速（密度）值不同^[2,6,10,15]。大陆环境下的产物具有最大的波速和密度变化范围，从煤层中的最小值（低能量湖泊—沼泽沉积系统的产物）直到陆相岩石中扇砾岩的最高值，在此，水动力作用仅偶尔出现。后者的特点是构成岩石的颗粒具有最大的粒度和形状的不均一性。近海岸—海洋环境下的沉积物的波速（密度）值变化范围较窄，这与其晶粒具有较高程度的类别性有关。最后，海洋环境下最为均匀的陆源产物具有上述参数最为狭窄的变化范围^[2,10,12]。

碳酸盐岩的波速差异也取决于其成因^[10]。化学成因沉积的碳酸盐岩较为均匀，几乎不具有粒状孔穴，而生物源块状灰岩，包括陆源者在内，则是由矿化胶体凝合而成的复杂团粒。后者的粒间孔隙度较大。如文献^[10]中所示，化学成因沉积的碳酸盐岩波速最高。其值随深度变化甚小。隐晶质、生物源、礁源以及生物源块状石灰岩的波速值循序下降。

一定年代和一定岩性在相似环境下形成沉积岩的常规（从地质—统计学角度出发）发育条件是逐步下沉、变深，随着密度的升高从其孔隙空间排挤出矿化水来。在此，固态岩相的地质静态压力与液体静水压力将不断地随着下沉深度而变化，而温度则与常规（在该地区内）的地热梯度相对应。在这种条件下波速（密度）与深度间的关系称之为常规

关系⁽¹⁾。

常规关系的重要特点在于其标准化所具有的普遍性，正因为如此，在预知沉积环境时可以藉之预估波速和密度。另一方面，明显偏离常规的波速与密度值应当成为地质分析解释的对象。

下列因素可能是造成波速与密度异常值的原因：异常的岩层（孔隙）压力；岩层现时的埋藏深度小于过去最大的深度；油气饱和度；变质；构造破坏带的岩石破碎等。

2. 沉积岩层的划分

沉积条件不仅造成岩石声学参数（速度、密度）有别，也为沉积岩层垂向和横向划分的规律性提供了前提。

陆上沉积条件的不稳定性（时间与空间）呈现为不同岩性的地层、物理性质与厚度的多变（从一二十毫米到一二十米甚至更大）。在此不可避免地会出现声波性质沿垂向的剧烈变化——甚至在同类岩性的岩层内也会出现高值反射系数，以及横向的不持续性。

在此，湖相（沼泽）沉积体系却是一例外，其声学特性更接近于海岸—海相。

水介质的持久作用使得沉积较均匀。但是，在周期性不同强度海岸波浪的持久作用下仍然会导致剖面内相当高程度的不均一性，尽管它比在陆上物质的储集条件之下要小一些。

陆相沉积的海上环境（低于浪击岸带）具有波速（密度）值较低与变化范围较小的特点。此外，有规律铺展并堆积在平坦地表上的碎屑物质将导致岩层厚度在横向较长距离上（达数百公里）保持稳定。

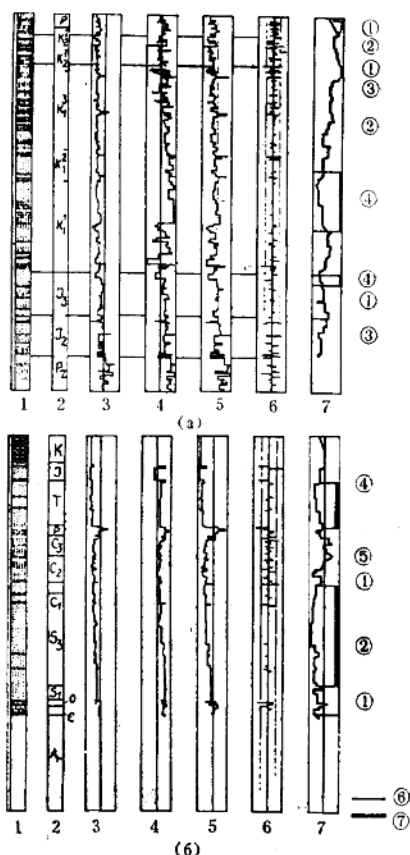


图1 沉积凹陷的岩石声波参数

(a) 碎屑岩剖面 (深度1.9~2.9km) ; (6) 陆相—化学成因剖面 (深度0.1~1.0km) ; 1—岩性标度 ; 2—地层标度 ; 3—声波测井波速 (标度 : $2.0 \sim 3.0 \text{ km/s}$) ; 4—伽马—伽马射线测井法 (ГГК) 所获密度 ($1.8 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$) ; 5—声阻抗 ($3.0 \sim 10.0$) ; 6—反射率 ($-0.40 \sim +0.40$) ; 7—分层频度 (标度 : $0 \sim 20$ 表示每50m内的岩层数量, 移动窗内所测值) ; ① 海岸海相 ; ② 海上陆棚 ; ③ 陆相 ; ④ 海相 ; ⑤ 蒸发岩 ; ⑥ 海退 ; ⑦ 海进

这种平静的沉积条件可以保持到陆棚斜坡，但是在此处介质不活动的水动力背景之下，平静条件可能由于触发过程（水下滑坡现象，浊流等）而遭到破坏。触发沉积破坏了斜坡上海相沉积的单一性，并具有垂向和横向显著的分割性。

图1给出了两个地台区依据综合测井资料，包括声波测井与密度测井，所建立的沉积壳地层模型。尽管由于岩层厚度变小，随着深度增加岩石加密，而声波刚度加大的影响会造成畸变，上述规律性仍然明显可见。

陆相沉积层段（见图1（a））与由复杂泥岩交互层和化学成因石膏—硬石膏组成的滨海相蒸发岩（见图1（b））具有高反射系数（达零点几）和最高的换层频度。

海岸带均匀岩层的厚度并不象陆相沉积那样随着季节变化或是其它运移源（источник сноса）的变动而变，而是取决于沉积带的状态。快速而短暂的方向交替变化状态将导致化学成因和碳酸盐岩与陆相岩互层，亦即形成经常反复交替出现的，但横向不一定持续的强反射界面。

在陆棚带内沉积状态的变化并不象碎屑物质运集时那么重要。如果是这样的话，碳酸盐岩就停止沉积。最终获得的声波模型将由横向延伸甚远（达数百公里）的较厚岩层建立。陆棚沉积被碳酸盐岩置换，或相反，皆表现为强烈的声波界面，也是区域性分布事件的反映。

3. 地震反射的特点

只有在很少的情况下，当某一地质界面或是岩层顶、底的弹性性质变化骤然超过其它构造层组反射界面的性质变化时，才可将反射参数与某一实际和具体的地质岩层或界面参数相联系。