讲座连载

《地震相分析》讲座（三）[1]

王英民

（成都地质学院）

第三章 地震相分析方法

一、地震相划分

所谓地震相划分就是在地震地层单元内部，根据地震相标志划分出不同的地震相单元，从而为地震相分析，即根据地震相特征进行沉积相的解释推断，打下必要基础。根据在划分时所利用的地震相标志的不同，可分为单因素划分和综合划分两种不同方法。

1. 单因素划分

这种方法在划分时每次都只考虑一种地震相标志。例如根据地震反对构造进行地震相划分或根据振幅进行地震相划分等，由此编制出各单一地震相标志的相图。其优点在于可以细致地刻划出各种地震相标志的空间变化特征；而缺点是每种地震相标志在单独应用时都只具有有限的沉积相方面的意义，其多解性较强，因此不便于进行沉积相解释推断。在实际应用中，一般仅把它做为一种辅助手段。

2. 综合划分

这种方法在划分时同时综合考虑各种地震相标志，由此划分出的每一个地震相单元都具有最丰富的地震相信息，便于进行沉积相解释推断。

不同的地震相标志在平面分布范围上以及所对应的沉积相单元的级别上均有很大差别，例如地震相单元的外形一般横向分布范围比较大，一种外形可与一个或多个一级沉积相单元相对应。而地震反射构造的分布范围要小一些，如在外形均为席状的地区内可以出现平行反射构造、波状反射构造等多种类型。一种地震反射构造可与一个或多个二级沉积相单元相对应，有时亦可与一个一级沉积相单元相对应。地震反射结构的分布范围最小，在同一地震反射构造的分布范围内可以出现多种地震反射结构。一种地震反射结构可与多个三级沉积相单元或一个至多个二级沉积相单元相对应。

由于存在以上差别，因此在划分地震相时不应把它们等同看待，而应根据它们之间的层次关系采用三级划分的方法，即首先根据地震相单元外形划分一级地震相单元，进而根据地震反射构造划分二级地震相单元，最后根据地震反射结构划分三级地震相单元。对所

[1] 续本刊1991年第三辑第60页

划分出的地震相单元可根据地震相单元外形＋地震反射构造＋地震反射结构（视振幅、视频率、连续性）的顺序来命名。

综合划分方法充分利用了地震资料中的地震相信息，且能较好地反映各种地震相标志之间的内在有机联系，故作者推荐采用这种划分方法。

二、地震相编图

地震相划分的结果要编制成地震相图以便于分析。有两种基本的地震相图，即剖面图和平面图，其中前者又是后者的基础。

1. 地震相剖面图

最简便的方法是在地震时间剖面上直接进行地震相划分，从而得到地震相剖面图。当最终目的是只需要得到地震相平面图时可采用这一方法。而如果想得到正规的地震相剖面图，则应当在由地震时间剖面经时深转换所得到的深度剖面上进行。

由于地震相单元的外形必须在三度空间上确定，因此在编制地震相剖面图时一般不考虑地震相单元的外形，而只根据地震反射构造和结构进行划分。

图 11 为一条已进行过地震层序划分的地震时间剖面，读者可用来进行地震相划分练习。在地震反射构造有显著不同之处，可用粗铅笔将其划开，而在地震反射结构有显著不同之外可用细铅笔将其划开。

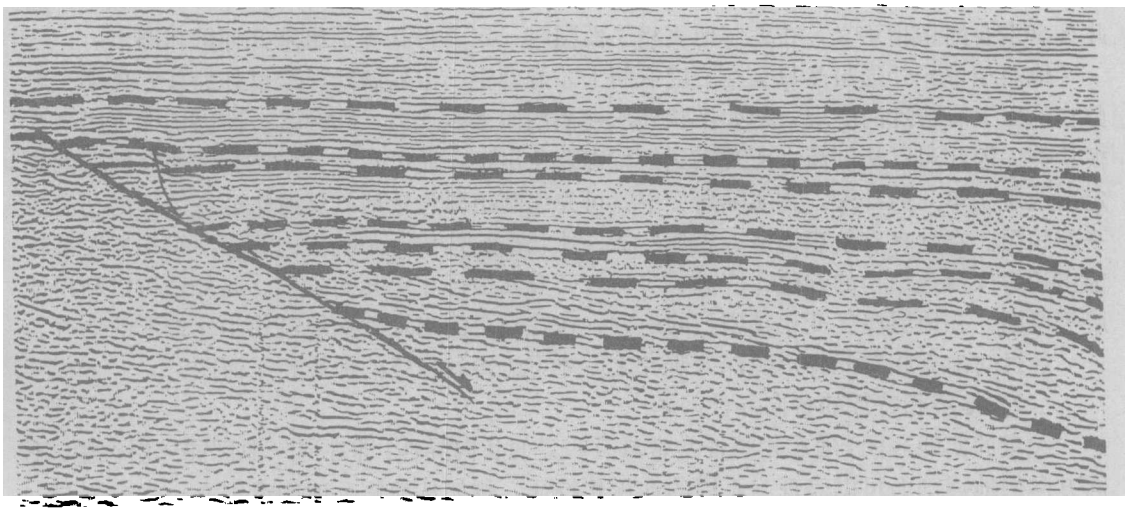

图 11　用来进行地震相划分练习的地震剖面

图 12 是在图 11 基础上加上地震相划分结果的一条地震相剖面图，供读者参考。在实际工作中为了简便起见，可将各种反射结构和构造用不同的数字代号来表示，例如对于视振幅、视频率和连续性可用 1 表示高，2 表示中，3 表示低。对反射构造也可分别用 1、2、3……来表示。这样（1、1、1、1）一组数字可表示平行构造高振幅高频高连续性相。这种用数字代号来表示的方法对于用计算机辅助编图时尤其有用。

2. 地震相平面图

这是在地震相分析中最重要的基础图件。将各地震剖面上同一地层中的地震相单元投

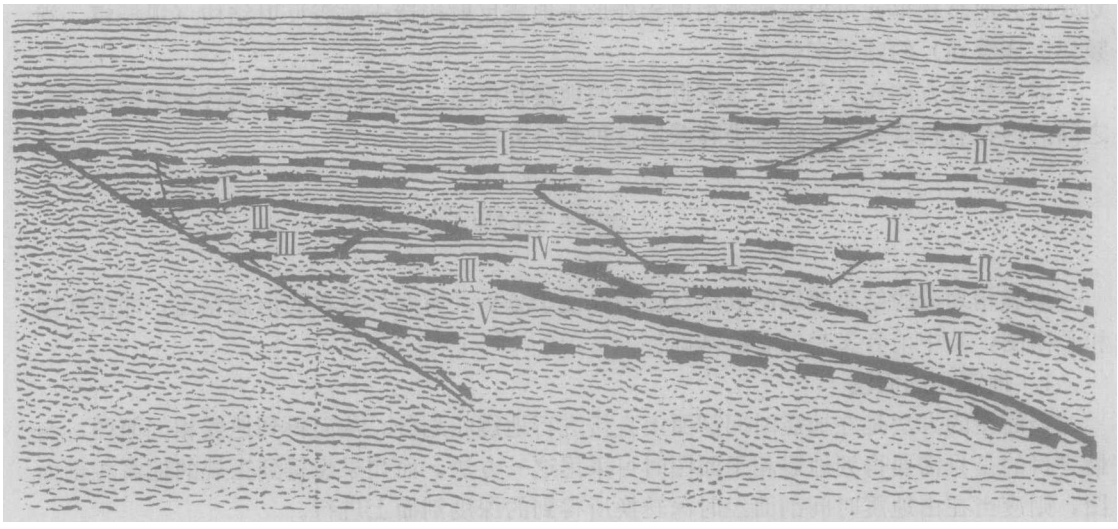

图 12 在图 11 上进行了地震相划分的地震剖面

影到平面图上，并将它们连结成为平面相区，就可以得到某一时期地层的地震相平面图。在编图时必须注意解决好以下几个重要问题。

（1）地震相单元外形的识别和标记

从分布面积上看，大多数地区的地震相单元外形都是席状外形，其指相意义很差。但是在少数地区中所发育的其它各种地震相单元外形则一般都与某种沉积体有密切联系，因此具有重要的指相意义，在编制地震相平面图时一定要将其识别出来并标记在图上。

地震相单元外形虽然只有在三度空间上才能确定，但除席状外形以外的其它外形一般都在剖面上有特殊的表现，例如锥状外形在横剖面上表现为丘状凸起，而纵剖面上表现为楔状等。因此可以从剖面上所观察到的特殊现象出发，通过对相交多条测线的空间追索确定出地震相单元的外形。在实际研究中，可先编制出只包括地震反射构造和结构的初步的平面相图。在发育有前积构造、丘形构造、块状凸起构造、杂乱结构等等与沉积体关系较为密切的构造或结构的部位，应进一步深入研究其地震相单元的外形。此外还可以利用地层等厚图，在地层厚度变化较剧烈的地方，往往是可能出现特殊地震相单元外形的地方。

经过对地震相单元外形的深入研究之后才可能得到最终的地震相平面图。

（2）地震相特征的各向异性问题

大量的实践表明，地震相特征常常具有明显的各向异性，即在同一地区同一层位中，不同方向的地震剖面可以表现为不同的地震相特征。例如从地震反射构造上看，当主测线上为前积构造时，联络线上可能为丘形反射构造，也可能为双向前积构造，甚至可能为波状反射构造。这是由于岩层的排列方式在不同方向上不同所造成的。再从地震反射结构上看，垂直沉积相走向的剖面上由于相变剧烈，从而水平叠加的效果一般比较差，故连续性相对较低，振幅相对较弱。而在平行沉积相走向的剖面上由于相变缓慢，从而水平叠加的效果一般比较好，故连续性相对较高，振幅相对较强。这种现象在陆相断陷盆地中表现得尤为突出。

地震相特征各向异性问题的存在，给编制地震相平面图带来很大困难，在相交地震剖面的交点处会出现两种不同的地震相特征。在编图时应当选用哪一种呢？对此可以采用两

种方法来处理。

一种方法是基本上只按照主测线上的地震相特征编图，对联络线仅用作参考。这样可人为地排除各向异性的影响，方法简便。但此法损失了不少在联络线方向上的信息。

另一种方法是将主测线与联络线上的地震相特征都投影到平面图上，在勾图时，选择那种反映出垂直沉积相走向的地震相特征。倒如，当一个方向为前积构造而另一方向为波状构造时，将该点做为前积构造处理。再如当一个方向为高振幅高连续结构，而另一个方向为中振幅中连续结构时，把该点当做后者处理。

（3）不同采集、处理条件资料的应用问题

当采集、处理条件不同时，地震相特征会有很大不同，尤其表现在对地震反射结构的影响上。而地震反射构造和地震相单元外形因为是几何地震学信息，故对采集，处理条件不太敏感。因此在编制地震相平面图时，应尽可能使用采集、处理条件相同的资料。如果工区内的地震测网是由多期采集、处理条件不同的测线穿插组成的，则应挑选质量最好，覆盖面积最大、密度最大的一期地震剖面为基干剖面。对其它剖面，如果测网密度已足够进行地震相分析时（一般 2×4Km 或 4×4Km 测网就基本上可以满足需要），则可以不用。

当基干剖面太稀而不得不把不同期地震剖面混合使用时，如果各期地震资料的质量都还不错，仅仅是在振幅、频率、连续性上存在一种系统偏差，则可在地震相划分时分别加上相应的系统偏差，以达到全区剖面的一致性要求。如果某一时期地震资料质量相对较差，信噪比较低，则其物理地震学信息是不可信的，只能利用其地震反射构造和地震相单元外形等几何地震学信息，从而在全区编图中只能当做辅助剖面使用。

总之，一定不要把不同时期的采集、处理条件不同的地震剖面混杂在一起使用，这样将引起严重的失误。

（4）倾斜的地震相单元分界面的表示方法

由图 12 可知地震相单元的分界面大多为倾斜的，从而将其投影到平面上时不是一个点，而是一条直线段。在该线段处同时存在着界面上、下的两种地震相单元，在勾绘平面相图时这一部分很难表示。

目前通用的方法是根据“优势相”的概念，将界线取在该线的中点上，这种方法虽然简便，但不能很好地刻划各地震相单元的空间展布特征。在计算各相单元体积时误差较大。

本文推荐的方法是将地震相分界面与层序顶面的交点投影到平面上，用细线表示，而分界面与层序底面的交点投影到平面上，用粗线表示。在勾绘地震相单元平面分布时，将粗，细线分别相连接，由此可在某种程度上用二维平面图表现出地震相单元的三维展布特征。其中由细线指向粗线的法线方向相当于地震相单元分界面的倾向。根据地层厚度和粗、细线之间的距离可换算出该界面的倾角。粗、细线之间的地区是地震相单元逐渐尖灭的部位。当某一地震相单元的内侧为粗线、外侧为细线时，表明它是向上逐渐尖灭的，反之则为向下逐渐尖灭的（图 13）。采用这种表示方法，当把平面相图与地层等厚图相配合计算生油岩或储集岩的体积时，就可得到更为准确的结果。

（5）前积构造的表示方法

前积构造是所有地震反射构造中最为重要的一类构造，它可以反映沉积体的性质、古水流方向及沉积-沉降之间的补偿状况。因此在编制地震相平面图时，应当尽可能对前积构

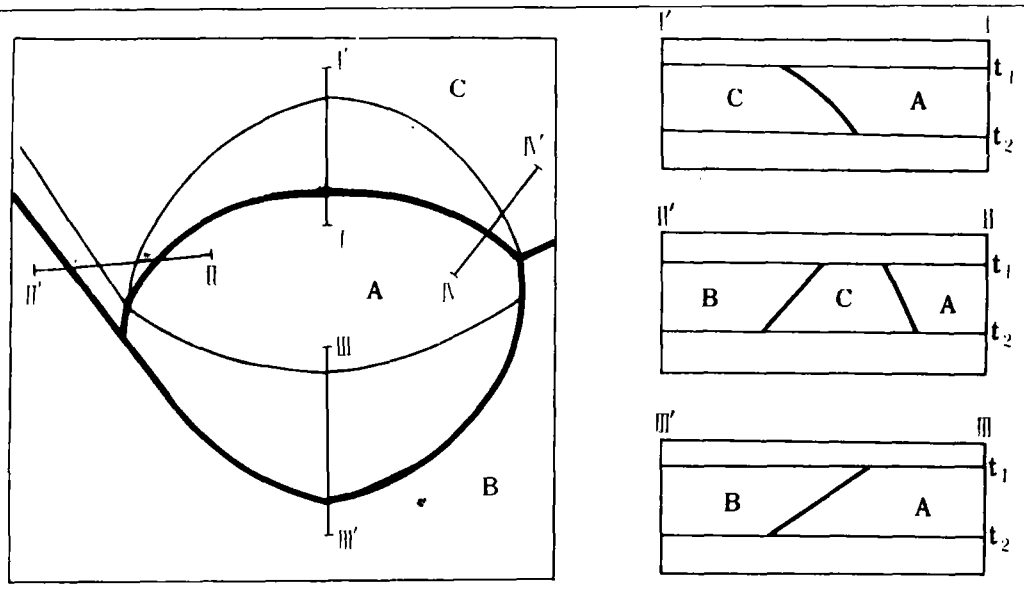

图 13 倾斜的地震相单元分界面表示法示意图

造的类型加以细致划分，并且将各剖面上前积构造的推进方向投影到平面图上。

当前积构造表现为多期推进的特点时，应尽可能将各推进期划分开，并在图上加以注明。在有条件情况下，应计算出前积层的视倾角并标注在平面图上。

三、地震相分析的方法

地震相分析就是根据地震相进行沉积相的解释推断。要实现这目标，就必须搞清地震相的特点，进而建立一个正确的研究方法。

1. 地震相的特点

(1) 地震相是沉积相某些特殊物质表现的物理响应

沉积相是一定沉积环境的产物，而岩相、生物相、化学相是沉积相的不同物质表现。在传统的沉积相研究中，都是首先对岩相、生物相和化学相进行细致的观察，由此确定沉积时期的物理、生物和化学条件，进而重塑古沉积环境，并由此确定沉积相的类型。在地下相分析时，为了弥补钻井取心的不足，发展了测井相分析的方法。而测井相本质上是岩相的一种物理响应。

地震相与测井相有某种相似之处，它也是对沉积相的某种物质表现的物理响应。但这种物质表现不是岩相，更不是生物相和化学相，而是某种在传统的沉积相研究中基本上没有加以利用和考虑的新的物质表现——这就是沉积体的外形、岩层的叠置模式以及岩性差异的组合方式（它们分别与地震相单元的外形、地震反射构造和地震反射结构相对应）。正由于它引入了这些全新的沉积相的物质表现形式，因此它不同于测井相那样仅仅成为岩相研究的一种辅助手段，而是成为地下沉积相研究中不可缺少的一个重要方面。换言之，如果有了连续的全井取心则可把测井相弃之不用，因测井相与岩相本质上是一样的；然而不论钻孔中的资料有多么丰富，地震相分析仍然是十分必要的，因为它反映了沉积相的另外一个不同的侧面，正好弥补了传统的沉积相研究中的不足。

(2) 地震相具有卓越的三度空间观测能力

在传统的沉积相研究中，不论在露头上还是在钻孔中，都只是对三度空间中一个点的研究，而对点与点之间的沉积相特征只能是进行推断。正由于这种研究手段的限制，人们对于具有很强指相意义的沉积体外形和岩层叠加模式等沉积相特征一直没能加以利用。当钻孔数量少、井距稀时，对于沉积相的平面展布特征研究就束手无策。

地震相研究恰好能弥补这一不足。由于地震测网一般都能覆盖整个盆地，从而能对地下沉积相单元进行三度空间上的连续观测，对于刻划其空间展布特征具有其它资料所不可比拟的独到能力。

（3）地震资料对于控制沉积的背景因素具有独到的观测能力

沉积环境与构造活动性质和强度、距物源区的远近、地形特征等均有密切联系，而地震资料则对以上因素具有独到的观测能力，这决定了它可以沉积背景控制因素出发开展研究。

（4）地震相分析的多解性

多解性是地质研究中的一个普遍问题，而在地震相分析中表现得尤为明显。

一个严重的问题是截然不同的沉积相单元可能产生相同的地震相特征，例如冲积扇与盆缘浊积扇的地震相特征十分相似，都是锥状外形、前积构造或波状构造、杂乱结构；再如浊积砂发育的深海盆地相与内陆淤积湖泊含煤沼泽相都表现为席状外形、平行构造、三高结构。出现以上现象的根本原因在于地震相只是沉积体外形、岩层叠加模式和岩性差异的组合方式的物理响应，而不同沉积相单元在以上三个方面有可能恰好相似。只有根据岩相、生物相和化学相特征才能将它们区分开，而地震相却不能反映出这些特征。

另一个严重的问题是完全相同的沉积相单元可能产生出不同的地震相特征。其根本原因在于地震相特征不仅与沉积相背景有关，还要受到地震资料采集、处理因素的影响。为此必须保持地震资料的一致性。

（5）地震相分析的分辨率

进行地震相分析的地层单位为准层序组，或者为准层序，其厚度一般在一百米以上。而在沉积相研究中，其三级相的厚度一般在几米至几十米，二级相的厚度一般在几十米至几百米，一级相的厚度则一般在近百米至上千米。由此不难看出，根据地震相分析所解释出的沉积相单位一般最高只能达到二级相。

目前一些油田正在尝试利用单一同相轴进行波形分析，由此做出微相（即三级相）解释。一般说来，一根同相轴大致相当于十几米至几十米厚的地层，规模上可以与三级相大致相对应。必须看到，波形特征所反映的只是岩性差异的组合方式，而非岩相本身，因此只能对砂体展布进行追索，但并不能确定它的“微相”。为了不致于与沉积学中的概念相混淆，对这种研究称之为地震砂体追索更为合适，而不宜称之为地震微相研究。

2. 地震相分析的思路

根据以上分析，可知在沉积相研究中，地震相有其独到的优点，也有其明显的弱点。我们进行地震相分析时应当充分地扬长避短，以满足沉积相研究的需要。

目前在进行地震相分析时所采用的思路各不相同，其中在生产单位中比较流行的一种思路是首先编出地震相平面图，再通过钻井资料进行沉积相解释，进而找出地震相与沉积相之间的对应关系，即所谓地震相模式。据此将地震相图“转相”而形成沉积相图。这种思路粗看起来似乎是很合理的，符合从已知到未知这样一种思维逻辑，但仔细分析一下就

不难看出它存在一些严重的缺陷。首先，如果钻井数量比较少，不足以在每种地震相区中都有一口井时，则有些地震相就无法“转”为沉积相。更重要的是，即使每种相区中都有钻井控制，但由于同一种地震相完全可能对应于不同的沉积相，因此这种机械地“转相”的结果很可能导致严重的错误。例如在研究区中有多块席状外形、平行构造、三高结构地震相区，若有一口井揭示它为含煤沼泽相，并全部按此解释的话，就有可能把深海盆地相也解释成为含煤沼泽相。反之，若有两口井分别钻遇含煤沼泽相和深海盆地相，则会给确定“转相”原则造成困难，人们无法确定对这种地震相究竟该按哪种沉积相解释更为合适。这种思路的根本问题在于它把地震相与沉积相看做为相互对应的关系，同时也没有很好地考虑如何发扬地震相的长处，克服其短处。

本文推荐的思路是：从沉积体（骨架相）识别着手，从盆地沉积模式着眼，以钻井做为控制点，与岩性地震技术相结合，由此搞清盆地的沉积体系和沉积体系域。

其中沉积体的识别是地震相分析的核心和精髓。首先从沉积学上看，沉积体是水流体系和物源的最直接的体现，它们构成了沉积体系域中最重要的组成部分——骨架相。而只要把骨架相的性质和展布规律搞清楚，则充填于其间的其它沉积相单元也就迎刃而解了，正所谓“纲举目张”。再从地震相的特点上看，识别宏观沉积体是其独到的长处。它可以在三度空间上对沉积体的外形和岩层的叠置模式加以刻划，而这对于识别沉积体是极为重要的依据。由于沉积体的识别主要利用的是几何地震学的信息，因此其受地震资料采集和处理因素的影响比较小，可靠程度比较高。大多数沉积体都有明显的差别，故“同一地震相多种沉积相”的问题相对比较小。即使那些多解性较强的沉积体，也可以根据其它标志综合研究而加以区分。因此不论从哪方面看都应当从沉积体识别入手。

从盆地沉积模式着眼是地震相分析的另一个重要思路。盆地沉积模式是对沉积盆地的构造背景、气候背景对于沉积环境组合进而对于沉积体系域特征的控制作用，以及它们的时空发育演化规律的全面深入的概括和总结。因此，只要搞清沉积盆地的背景控制因素就可以根据盆地沉积模式对其沉积相特征进行预测和推断，这在资料比较少，质量差时尤其显得重要。在地震相分析时，因地震资料中所具有的信息毕竟是比较少的，再加上多解性强、分辨率低的问题，深感可用资料的不足。所以完全必要采用盆地沉积模式类比的方法。而地震资料在反映盆地的构造背景、演化规律、古地形特征、物源区远近等背景控制因素方面具有独到的能力，应当充分发掘其潜力。

以钻井作为控制点与由钻井出发总结地震相模式有着本质不同，地震相与沉积相之间不具有一一对应的关系，因此在其二者关系对照表中，一种地震相可以与多种沉积相相对应。钻井的作用在于确定该处这种地震相应当属于什么沉积相。至于其它地区相同地震相应当作何解释，应当根据该区与骨架相的相互关系，以及与控制井点的相互关系，根据盆地沉积模式加以推断。

最后，与岩性地震技术相结合的意义在于可以由此对研究层段的岩性分布特点加以把握，进而可帮助发现和识别各种沉积体，并帮助确定地震相单元的沉积相意义。在地形平坦、构造沉降缓慢且水进水退十分频繁的盆地中，沉积体因经常迁移故特征不明显，难以从地震反射构造和外形上加以识别，这时岩性地震技术就显得格外重要。

下面将介绍按以上思路进行地震相分析的具体方法。