

“复杂地区地震资料解释技术” 及其在汤原断陷的应用^①

罗 群 白新华 张树林

(大庆石油学院, 黑龙江安达 151400)

地质构造复杂、相应剧烈是陆相断陷盆地的主要特征。这种特征常使地震资料的品质受到很大影响, 给地震资料的正确解释带来了很大困难。断裂解释模型的多少、地质观点的差异和解释经验又造成同一地区不同的解释人员不同的解释结果。笔者在广泛调研陆相断陷盆地基础上, 总结前人解释经验, 运用“平衡地质剖面”等理论方法, 针对陆相断陷盆地的特点, 建立了“复杂地区地震资料解释技术”。该技术对减少人为因素, 消除解释的多解性, 使地震资料解释更为合理有重要的指导意义。

关键词 复杂地区 地震资料解释 平衡地质剖面 断裂模式 汤原断陷

第一作者简介 罗 群 男 36岁 讲师 石油地质

复杂地区指断裂发育、相变剧烈、地层关系不清、构造变动强烈的陆相断陷盆地。正是由于这些地质特点, 造成了这些地区地震资料解释相当困难。不同的解释员对同一地区的解释可能出现不同的、甚至截然相反的解释结果。为了使复杂地区地震资料解释更合理、更合乎客观、减少解释的多解性, 笔者通过对辽河、渤海湾、梨树、德惠等10余个断陷盆地的调研, 集多年经验, 建立了“复杂地区地震资料解释技术”, 并应用于汤原等断陷盆地地震解释实践中。

1 地震剖面解释中有关的问题

由于以下几方面的因素, 严重影响着地震资料解释结果的可靠性。

(1) 客观上

①由于原始采集和处理的问题造成地震资料品质差, 反射特征不清。

②由于地下地质情况复杂、断裂发育、褶皱强烈, 岩性岩相变化剧烈, 造成折射波、绕射波、反射波等互相干扰, 反射特征混乱、不连续。这是陆相断陷盆地特点之一。

(2) 主观上

①取决于解释人员的地质观点、解释经验, 主观

性与随机性较大。

②由于地层变化等沉积方面的原因(如前积现象)造成(阶梯状)断层的假象。

③当断层走向与地层走向或测线方向近于一致时, 断层特征不明显而解释人员难于识别。

④在断点组合方面, 由于断裂非常发育, 剖面上断点极多, 如果解释人员缺乏各种构造模型, 会造成断点组合的任意性, 而致使剖面上断层无规律, 平面上断裂组合不成系统, 主次不分, 规律性不强, 给地质研究带来困难, 难以找出地质规律。

正是由于以上原因, 使地震资料的解释结果不能很好地反映地下地质情况。为了使地震资料的解释更为合理, 针对陆相断陷盆地构造特点, 迫切需要建立一套复杂地区地震资料解释技术。

2 “复杂地区地震资料解释技术”的基本思路

中国东部裂谷盆地由于受到印度、西伯利亚和太平洋3大板块及地幔活动的共同作用, 断裂十分发育, 相变剧烈, 解释难度较大。

要实现复杂地区地震资料的合理解释, 主要要解决3方面问题。一是解释层位的正确标定与追踪对比, 其次是断裂(包括小断层)的合理解释, 再就是

对解释结果(层位与断裂)的监测、检验与校正。上述每一方面,都由一些相应的原则、模型(式)或规律、

原理来限定和说明。复杂地区地震资料解释技术基本思路见流程图(图1)。

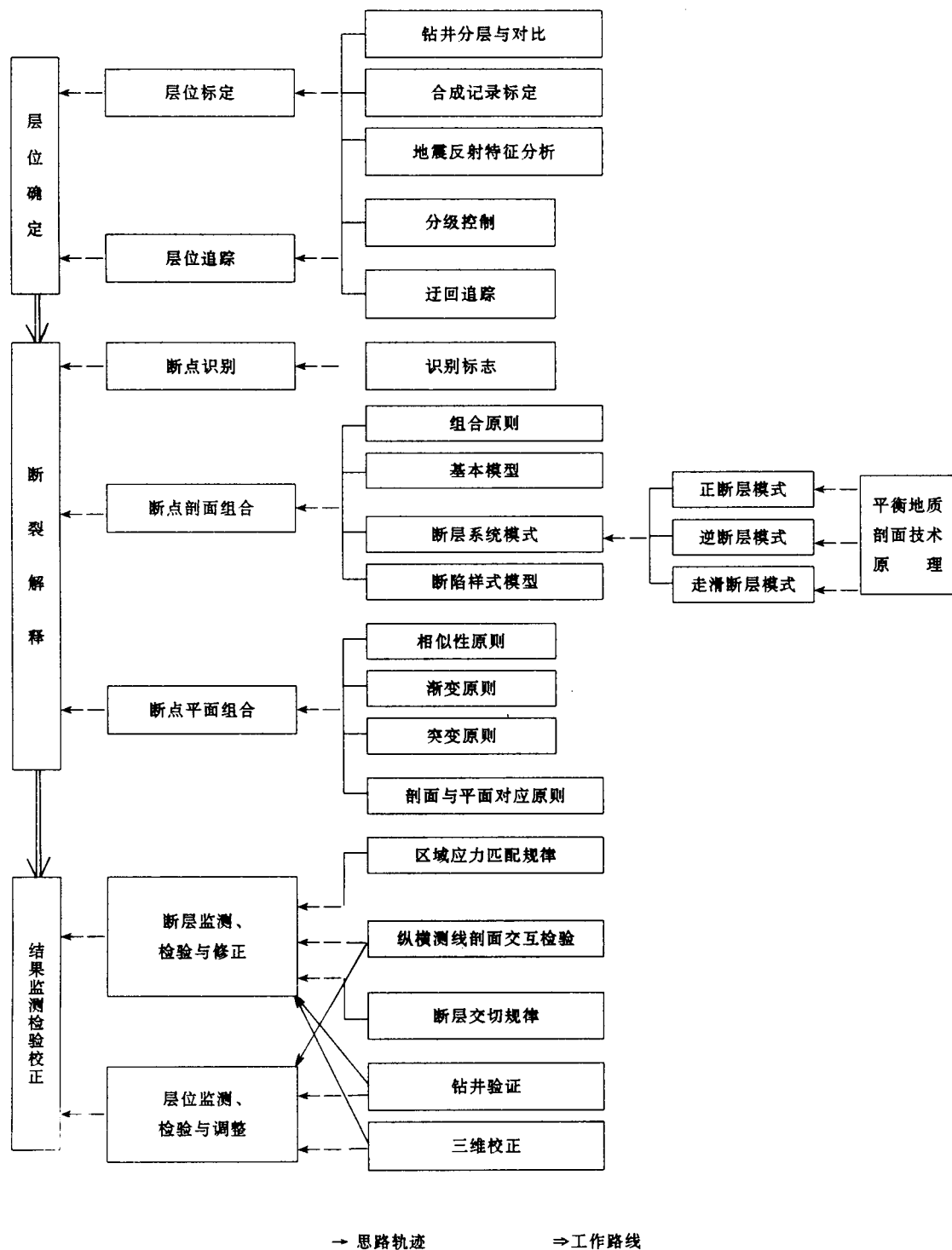


图1 复杂地区地震资料精细解释技术思路

3 “复杂地区地震资料解释技术”的基本内容

3.1 地震反射界面的确定

即确定地下地质体之间具有明显物性差异的分界面,通常指地层界面、不整合界面(沉积间断面)、火山岩与沉积岩界面等,由于断陷盆地地质结构的复杂性,地震反射界面并非处处容易识别,有时造成区域性一系列地震剖面地震反射层难以追踪对比。针对这种情况,我们提出了地震层位的迂回追踪法和次级凹陷分级控制法。

3.1.1 迂回追踪法

裂谷盆地中由于基底断裂活动的差异性往往导致盆地内凹陷相间的构造格局,各次级单元由于地质特征的不同而反射特征各异,使地震层位的追踪对比工作难以进行。例如汤原断陷由于复杂的中央隆起带和横切断陷的 F_3 、 F_4 、 f_2 、 f_3 等 NWW 断裂将其割成若干个差异很大的区块(图2)。反映在这几个地区的地震反射特征也明显差异,尤其是东、西凹陷。我们暂时放弃了由东向西的层位直接追踪,而是通过联络测线,先分别追踪对比东部凹陷和西部凹陷,再寻找反射特征相对清楚的主测线作为对比东西凹陷的“桥梁”,最后实现西部凹陷与东部凹陷的层位追踪与对接。

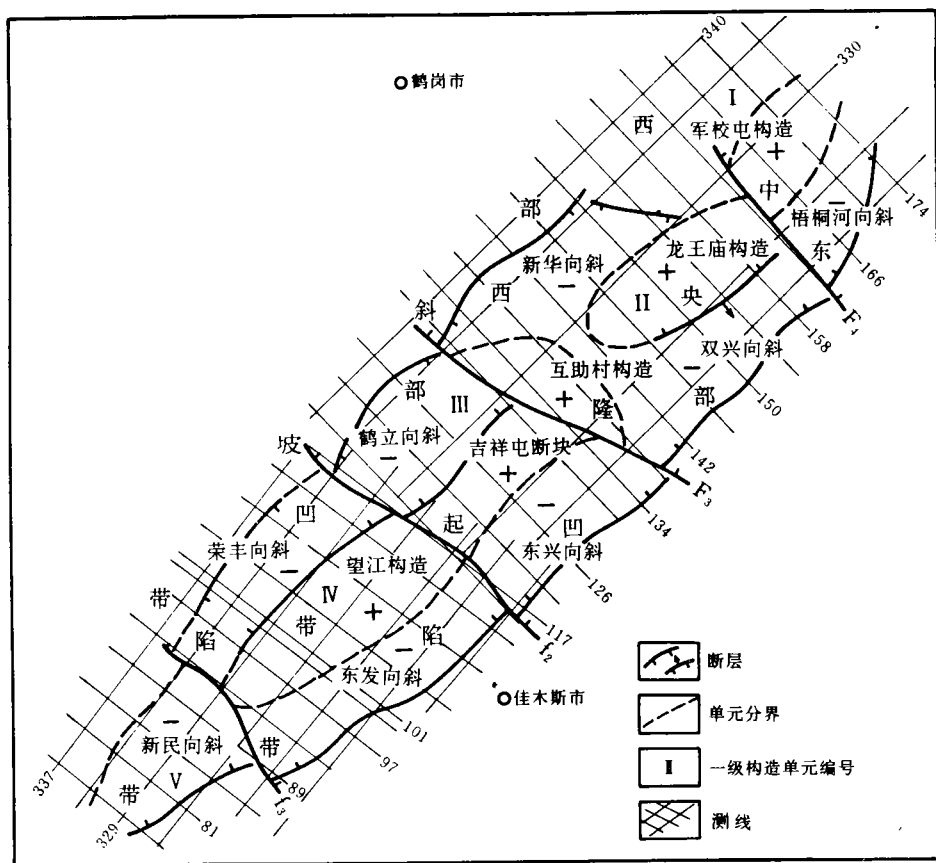


图2 汤原断陷构造单元划分

所以,所谓迂回追踪,即用质量好、层位清楚、明确的剖面特征,采用主测线与联络测线相结合,通过迂回的间接途径,达到各级单元层位追踪的目的。

3.1.2 次级凹陷分级控制法

分割性很强导致次级断(凹)陷的地震反射特征也很不一致,这是陆相断陷盆地的又一重要特征。为保证各次级断陷内各地震层位的一致性,采用次级

断陷分级控制,主要步骤是:

(1) 建立研究区构造格架

将特征明显,易于追踪,控制次级断陷的断层如汤原断陷的 F_1 、 F_3 、 F_4 、 f_2 、 f_3 等解释出来,编制本区的次级断陷分区图。

(2) 有井控制的次级断陷追踪对比

从钻井分层出发,用井的合成地震记录与过井

剖面标定层位,根据各层上下反射层结构特征,结合反射波特征进行追踪对比各主要地震反射层。对于质量差的剖面,用过井的、质量好、特征明显的剖面闭合,确定反射层。

(3) 无井控制的次级断陷追踪对比

根据构造控制沉积原理及厚度变化原则,将有井控制的次级断陷内各主要反射层引入该次级断陷或采用迂回追踪法进行追踪,根据各层上、下反射结构特征和各反射层地震反射特征进行追踪对比。对于质量差的剖面,主要依据质量好的、特征明显的剖面闭合,确定各主要反射层。

3.2 断裂解释

地震资料的解释在很大程度上就是断层的解释。断层解释应按一定的原则和要求进行的,不是任意断点的组合,而另一方面,断层解释又是一门艺术,有一定的技巧性。如何处理好地断层解释中存在的问题,掌握断层发育规律和运用好断层解释的原则及应用技巧,使断层解释更接近实际,是断裂解释的关键。

• 断裂解释技术包括断点识别、断点剖面组合和断点平面组合。

3.2.1 断点识别

正确识别断点是断层解释的基础,由于地震资料处理原因或非构造因素往往形成一些断点假象(如容易将前积反射解释为小型阶梯状正断层)。在前人对断点识别的经验基础上,结合我们的体会,总结出断点识别的标志。

- (1) 反射波错断、分叉、合并、扭曲等;
- (2) 反射同相轴数目突然增减或消失;
- (3) 波组间隔发生突变;
- (4) 反射同相轴产状突变或两侧反射结构不同;
- (5) 断面波、绕射波的存在。

值得注意的是,由于断陷盆地岩性的复杂性,单凭同相轴错动等不能确定断点(如条带砂、透镜体、前积砂易造成假断点),必须结合其他特征来确定。

3.2.2 断点组合

(1) 断点组合原则

无论构造怎样复杂,断裂如何发育,其构造形迹和断裂都是有规律的。因此,在进行断点组合时,要遵循一定的原则和法则,这样组合出来的断层符合地质规律。

① 在进行断点组合之前,应了解工区区域构造背景及应力场演化历史,对不同阶段区域背景下可

能出现的断裂类型及其组合方式进行推断。

② 在地震剖面上进行断点组合,一定要符合地质规律(构造模式、沉积模式及应力变形模式),切忌断点的随意组合。

③ 在地震剖面上进行断点组合,要分清主干断裂与分枝断裂、派生断裂以及它们之间的关系。先组合主干断裂,再组合派生或分枝断裂,这样在进行平面断层组合时,才不至于主次不分,难成系统。

④ 根据相邻测线剖面断裂构造样式相似的原则,在进行断支平面组合时,将剖面上断层特征相同(似)的断层组合在一起。这样组合出来的断层才能与剖面断层构成对应起来,规律性强,断层成系统。同时避免断层平面组合的随意性。

⑤ 将断层当作一个反射层,使其在主测线,联络测线相互闭合,在其产状、性质等方面相互统一,验证。

⑥ 断层组合由易到难,由特征明显,易于解释的断裂来控制、解释复杂隐蔽的断裂。

(2) 断点剖面组合

① 根据基本地质模型及常见断层组合模式(构造、应力)进行简单断层的断点组合。

图3为常见断层剖面组合模式图。

② 根据断层组合模式进行复杂断裂带的断点组合。

断层是一种普遍的地质现象,其平面和空间展布具有一定规律,这种规律即是断支组合模式。由于局部区域地质应力大小和方向,构造运动历史,所处构造位置、地层性质、构造类型等条件的不同,断裂系统也是多样的。总结、建立、掌握和使用各种断层组合模式,是断层系统解释最基本的一环。

常见的断裂系统有:

a. 堑式断裂系统

该断裂系统(图4)一般与以下3种局部或二级构造有关:(1)由盐膏或高压软泥塑性地层的挤压、拱张形成的底辟构造;(2)逆牵引或滚动背斜;(3)窄而深的地堑中央隆起带。这3种断裂系统在地震剖面上表现为一系列相向倾掉的反向正断层组成,其轮廓、形态表现为不同幅度、两翼对称程度不一的隆起。由隆起轴部到翼部,断层断距由大变小,断层由密到疏,断开层位越来越老。堑式断裂系统内,断面产状一般上陡下缓,翼部断层缓于轴部。

b. 补偿式断裂系统

补偿式断裂系统是在规模较大的正断层的上

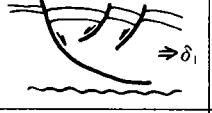
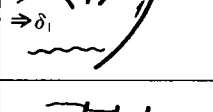
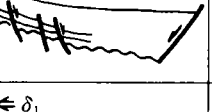
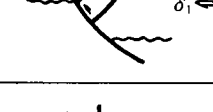
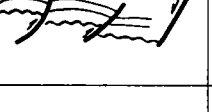
序号	断层组合模式	说 明	实 例	序号	断层组合模式	说 明	实 例
1		区域拉张、张扭应力下基底断开,产生边界断层组(双断)	汤原、梨树	9		张扭形成的负花状构造	梨树、德惠、伊通
2		区域拉张或张扭基底断开产生边界断裂,产生反向调整断层	汤原、渤海湾	10		先压扭形成正花构造,后挤压形成逆断层的迭合断裂样式	汤原(龙王庙)
3		早期拉张或张扭,产生边界断裂,后受挤压或压扭产生次生逆断层	梨树、德惠 渤海湾	11		地层回返形成的背斜顶部断裂组合	梨树
4		边界断裂长期活动,产生同向调整正断层组合	汤原、梨树	12		同生断层形成的反向调整断裂组合	梨树、渤海湾
5		沿断陷边界断裂,地层反转产生的次生正断层组合	梨树(桑树台) 汤原(互助村)	13		箕状断陷缓坡带的顺坡断层组合	梨树、汤原
6		早期边界断裂和同向调整正断层受各期挤压回返形成的断层组合	梨树、汤原 辽河等断陷	14		箕状断陷缓坡带的反坡向断层组合	梨树、汤原
7		后期挤压或压扭使早期边界断裂及其反向调整断层问题	汤原、梨树 德惠	15		箕状断陷缓坡带基底逆冲反坡断层	梨树(太平庄) 汤原
8		压扭形成的正花状构造	梨树、德惠 汤原等断陷	16		古凸起两侧对冲反转断裂	梨树(怀德)

图3 常见断层的剖面组合模型

盘,由应力补偿派生出一系列与主断层面倾向相反的次级反向正断层,两者构成一个倒梳状,主断层可以是正向,也可以是反向正断层。但断层面表现为上陡下缓的犁式逐渐消失于层间(图5)。

c. 滑脱断裂系统

该断裂系统与补偿式断裂系统相似。不同之处是补偿式断裂系统中的次级断层与主断层呈重力补偿关系,断面倾角相反。但滑脱断裂系统犁式主断层面上盘的次级断支与主断层的断面同向倾斜,为次生关系,次生断层陡于主断层,依次向下交于主断层面上,或消失于主断层之上的地层中。有时在主断层附

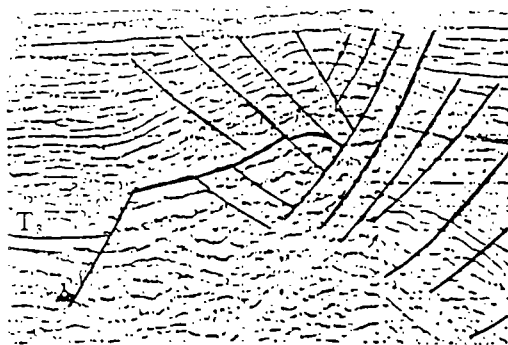


图4 犁式断裂系统剖面结构

近浅层呈逆牵引现象,而向深层逐渐过渡为正牵引结构,使次生断层浅层为反向正断层,而深层为顺向

正断层(图 6)。

滑脱断裂系统一般与倾斜而巨厚的塑性地层有

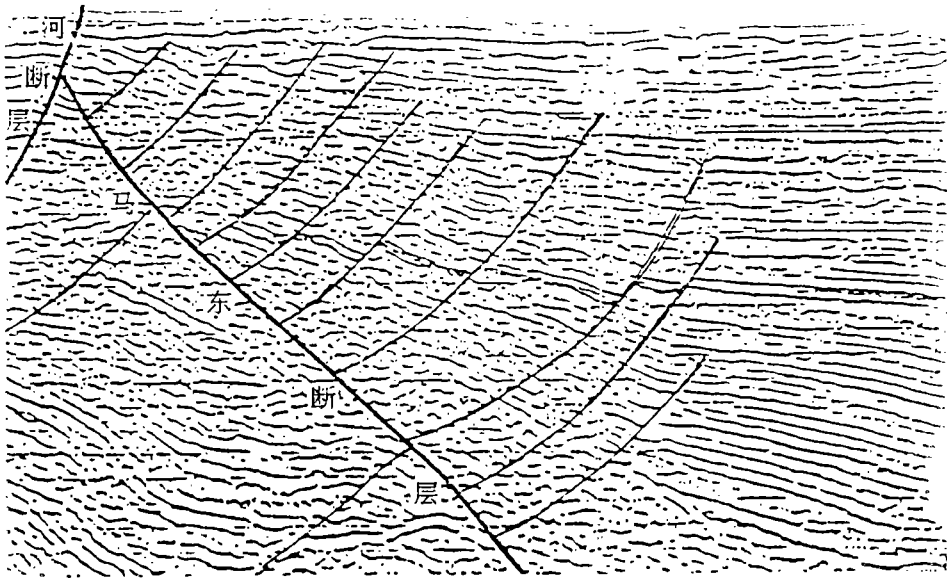


图 5 补偿式断裂系统剖面特征

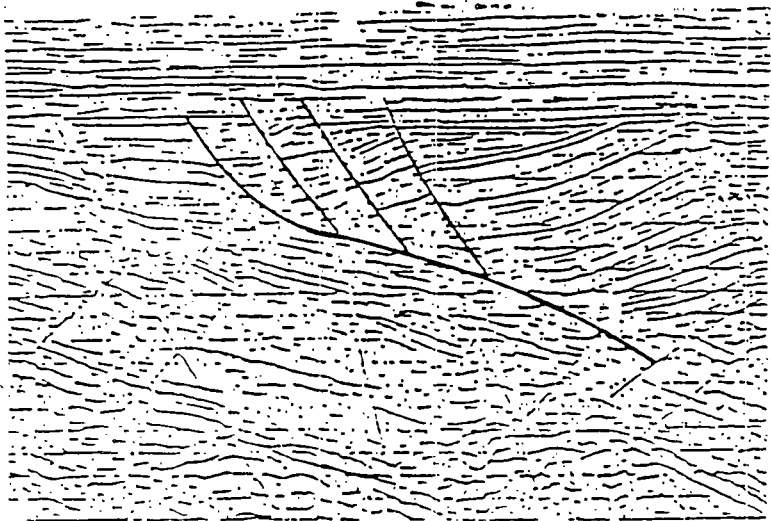


图 6 滑脱断裂系统剖面特征

关,产生顺层滑动,形成了上陡下缓延伸的犁式主断层及次生断层系列。在地震剖面上构成一个“倒扫把”状结构。

d. 阶梯状断裂系统

指一系列正断层在时间剖面呈阶梯断落。常发育于断陷的缓坡地带,或为顺坡断裂系统,或反坡断裂系统。

阶梯状断裂系统的平面延伸一般平行断陷长轴

方向,断层间以锐角相互交切。

③根据平衡地质剖面技术原理进行地震剖面的断层解释。

平衡剖面源于二十世纪 50~60 年代的石油工业,加拿大的 Calgary 地区是它重要发源地。Bally, Gordy 和 Setwart. Dahlstrom 等人为平衡剖面概念的建立、理论的发展及其应用做出了杰出的贡献。1989 年在美国召开的第 28 届国际地质大会上,平

地质剖面技术被认为是地质研究与勘探工作中的一项重要方法。

所谓平衡地质剖面,它包含两方面的涵意,一是指已经平衡了的地质剖面,所谓平衡,即是“合理的”、“最接近真实的”,平衡剖面就是合理的,最接近真实的地质剖面;二是指将一个地质剖面进行“平衡”的过程。即据平衡剖面的基本原理,将构造进行复原,恢复剖面的历史演化过程,检验恢复前后地层是否守恒,否则要进行合理的修正,使剖面趋于合理、正确。

平衡地质剖面是地质研究与勘探中的重要方法,它不仅能够检验一条剖面是否正确,而且能使我们对研究区构造演化历史进行恢复提供更为有效的手段和启迪我们的思维。

根据平衡剖面的基本概念的原理,可以用来指导地震剖面的解释或检验所解释出的地震剖面是否合理。一条地震剖面解释得是否合理(是否平衡),看是否能将其进行复原。检验一条地震剖面解释是否合理时应用的复原原则是:

a. 利用构造变形模式。这些构造变形模式是很成熟的,在公路旁、悬崖上,山的侧面都能见到或在地下有的已被钻井证实(如图3)。

b. 长度或面积守恒原则。

c. 消除断层后上、下盘被截的褶皱能吻合。

平衡地质剖面技术与常用的地震解释技术一起使用,能从地震资料(尤其是处理质量不好的资料)中提取更多的构造信息以利于更合理地解释地震资料。

(3)断点的平面组合

在剖面上进行断层解释尽管很重要,但更关键的是断层的平面组合,同一地区不同年度、不同人员所作构造图造成的差异多发生在断层的平面组合上。平面断点组合的不同导致构造格局的不同,从而必然造成地质观点及最终结论的不同。断层的平面组合是构造图编绘中技巧性最强、内容最丰富的一环节。正确运用断点平面组合的基本原则,了解区域构造的运动期次、方向及演化,分清组合主次和先后,平面、剖面相结合,充分运用断层交切规律等,是断层平面组合趋于合理的主要步骤和手段。

①平面断点组合基本原则

a. 相似原则:相邻测线的剖面断裂及其组合具有相似性。

b. 渐变原则:绝大多数情况下同一条断层或断

裂组合沿某个方向是逐渐变化的。

根据以上两条原则,在进行断裂平面组合时,将已解释好的主测线(或联络测线)地震剖面按顺序及位置依次排好,先在相邻剖面上认清找准同一断层,再在平面上组合。

c. 突变原则:当沿某个方向遇到大断裂或进入另一个构造系统的区域时,断层及其组合会发生突变。这时不能强行与前面断层进行组合,而要重新考虑断层组合的方式和内容。

我们在进行汤原断陷断裂平面组合时,认识到横档断层 F_3 是分割Ⅰ块和Ⅱ块的重要边界。因此,从南向北在进行主测线断层平面组合时,发现 F_3 以南(即Ⅱ块)的断层大多平行联络测线向东北延伸,而一旦越过 F_3 断层进入Ⅰ块,情形就完全不同了,长期发育的呈NE向延伸的中央断裂带消失,代之以几乎与 F_3 平行(与联络测线近于垂直)的数条派生断裂。

②正确认识区域构造方向

断层尤其是主要断层一般严格受控于区域构造方向。弄清工区地史中主要区域应力方向对于组合工区内一、二组大断裂及其断裂组合有重要的指导作用。汤原断陷呈NE向延伸,其控制断陷演化的边界断裂 F_1 也呈NE向,但在地史中,也多次受到近EW向挤压。因此NWW向断裂也是主要的断裂如 F_3 、 F_4 、 f_2 、 f_3 。在某种意义NWW向这组断裂比NE向更有地质意义。它们都控制了汤原断陷的构造格局。

③断层组合由主到次,平面与剖面相组合

断层的平面组合就是在相邻测线上确定相同的断层。同样的断点由于组合方式不同发生不同的组合效果。解释人员应首先在剖面上分清主次断裂,先将特征明显,标志清楚的主干断裂在平面上组合起来,再将次要断裂一一组合。在组合过程中,一定要结合剖面断裂特征,切忌甩开地震剖面而单纯在平面图上臆想、跟着感觉去组合断层。因此断层平面组合时要以剖面识别对应关系为主,平面连接为辅。平面与剖面相结合,不断完善。

④充分考虑断层交切规律

无论在地震剖面上还是平面上,大多数断层是相互交切的。剖面上相互交切的复杂断层的结构,在平面上有严格的对应关系。当相邻剖面均存在两组或两组以上相互交切的断层时,如果断层条数或断面陡缓有变化,它们在平面上一定相交,并且交切关

系在平面上,而剖面上应是一致的。

⑤重视联络测线的使用

主测线一般垂直于主要断层和构造走向,断层显示清楚,位置也较准确。因此人们常强调用主测线。但实践表明,联络测线不仅在断层的发现(与主测线近于平行的断层)、断层的闭合中起重要作用,而且在断层的平面组合中十分重要。它可以帮助人们确定断层走向,消除断层平面组合的多解性。当主测线上出现若干个平行延伸的同向断点时,如果只采用主测组,可能会组合出几个方向的断裂系统。只有参考联络测线才能确定合理的断裂组合方式。

3.3 地震资料解释结果的监测、检验与校正

地震资料是否解释得合理需要检验,对不合理的要校正。

①层位的检验与调整

可以通过新的钻井分层资料来进行。如果有三维资料,可利用三维分层校正或通过三维资料追踪来调整。

②断层监测、检验与校正

可从以下5个方面进行。一是断裂解释与组合应与区域应力造成的断裂构造组合相匹配,不同的区域应力场形成一定的断裂构造组合。二是对纵、横测线上同一断层相互验证和闭合。三是利用钻井、测井资料。四是若有三维地震,可用三维资料校正。五是利用断层交切规律。

4 “复杂地区地震资料解释技术”在汤原断陷的应用

汤原断陷是依一舒地堑北端的一个次级构造单元,面积3320km²,总体上为受东边界断裂F₁控制的东断西超的箕状断陷。发育下第三系陆相沉积。但由于中央断裂带和几条横切断陷的大断裂F₃、F₄、f₂、f₃的控制,造成了汤原断陷东西分带,南北分块的构造格架(图2)。断陷从形成到演化过程中多次受到扩张、挤压、剪切、抬升等构造运动影响,形成了

复杂断裂系统和地层关系。加上地震资料品质不好的原因,出现了多种解释结果。本次工作根据“复杂地区地震解释技术”,对汤原断陷4800km的二维地震剖面重新解释,重新编制了构造图。与老构造图相比,新编构造图有以下几个特点:

(1)层位精度明显提高

本次地震分层与18口井钻井分层相比较,相对误差不超过5%,而老构造图的相对误差大多超过10%,有的竟达30%以上。

(2)构造格局上

①断裂主次关系清楚,分级控制明显。东西分带,南北分项的构造格局一目了然。

②发现了大量的逆断层。

③断裂组合成系统,规律性明显,与区域应力场演化匹配。

本套构造图已应用于生产中。

5 结 论

(1)陆相断陷盆地由于断裂发育,相变剧烈,地震资料解释难度大。

(2)由于人的主观原因——地质观点、解释经验的差异导致地震资料的解释结果人为性较大。

(3)“复杂地区地震资料解释技术”向我们提供了一个消除多解性,使解释结果更合理更合乎实际的工作途径。

(4)通过对汤原等陆相断陷盆地地震资料解释的实践,证明该技术有一定的实用价值。

参 考 文 献

- 1 姚姚等. 地震勘探新技术与新方法. 武汉:中国地质大学出版社,1991
- 2 尼科拉斯·B. 伍德华等. 平衡地质剖面,地质研究与勘探工作的一种重要方法. 武汉:中国地质大学出版社,1991

(收稿日期:1997年2月28日)

"SEISMIC DATA INTERPRETATION TECHNOLOGY FOR COMPLEX REGIONS" AND ITS APPLICATION IN THE TANGYUAN FAULT DEPRESSION

Luo Qun Bai Xinhua Zhang Shulin

(Daqing Petroleum College)

Abstract

Complex geologic structure and strong facies change are the major features of continental fault depression basins. Such features often have great effect on the quality of seismic data, and bring about much difficulty in the correct interpretation of seismic data. Besides, the amount of fault interpretation models, the difference of geological views and the experience of interpretation also result in different interpretation from different interpretation persons for the same region. Based on the extensive investigation of continental fault depression basins, the authors sum up the interpretation experience of predecessors and establish "the seismic data interpretation technology for complex regions" in accordance with the features of continental fault depression basins by means of "the equilibrium geologic section" and other theoretical ways. This technology has important guiding significance for the reduction of man-made factors and the elimination of multiresolution interpretation in order to interpret seismic data more reasonably.