

变速成图技术在 DN 气田群的应用

吴 超, 李 青, 徐振平, 玛丽克, 冯 磊, 张国伟, 罗彩明

(中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: DN 气田群位于库车坳陷东秋构造带东部, 截止目前, 该气田群已有 DN1 气田、DN2 气田和 DN3 气藏, 三级储量超过了 2000 亿 m^3 , 而且还具有较大的增储潜力。DN2 气田西部的成功评价和 DN3 气藏的发现, 是变速成图技术在 DN 气田成功应用的结果。围绕 DN2 气田评价及 DN3 号构造落实过程中使用的变速成图方法进行了论述, 指出 DN 气田群构造落实的关键是速度, 在三维覆盖区叠前深度偏移技术是落实圈闭最有效的方法, 在二维区, 层速度充填法最有效。

关键词: 库车坳陷; DN 气田群; 层速度充填; 叠前深度偏移

中图分类号: TE132.1⁺⁴

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2008)06-0857-07

0 引言

DN 气田群位于塔里木盆地库车坳陷东秋构造带东部的 DN 构造区带, 可分为 DN1 气田、DN2 气田和 DN3 气藏, 截止 2007 年已上交三级储量超过了 2 000 亿 m^3 。DN1 气田、DN2 气田整体被三维地震覆盖, DN3 构造主要为二维资料。DN 构造区带(图 1)是新近系库车前陆盆地受天山造山带挤压变形所形成的逆冲褶皱前锋带, 是山前复杂高陡构造的典型代表之一。在逆冲挤压作用下, 由于新近系吉迪克组发育巨厚的膏盐层, 沿膏盐岩层发育大型逆掩推覆断裂, 使得纵向上明显分为 2 大构造层,

浅层表现为由北向南推覆的断层传播褶皱(同时伴生滑脱褶皱), 深层表现为断层转折褶皱特征。根据断层相关褶皱理论, DN 构造区带地质构造模型为典型的断层转折—传播叠加构造褶皱^[1], 由于该区地震资料品质较好, 特别是目的层均为同一类资料, 保证了该区构造建模的准确性和解释精细程度, 因此决定构造准确性的关键因素是速度场和变速成图方法^[2-3]。通过近年来在库车山前开展的速度攻关研究, 逐步形成了一系列山前构造带的速度建场和变速成图技术方法, 包括层位控制法、模型层析法、地震剖面时—深转换技术等。在 DN 构造区带变速成图实践中, 重点采用了层位控制法、模型层析法、

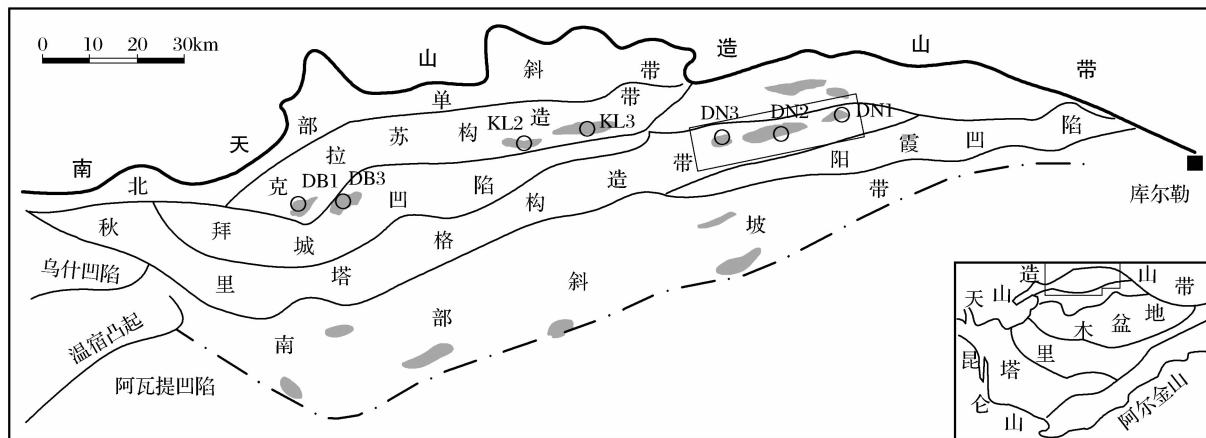


图 1 库车坳陷构造单元划分及 DN 构造区带位置

层速度充填法和叠前深度偏移技术,通过这些方法的应用表明在 DN 气田群二维地震覆盖区,层速度充填法是落实圈闭的有效方法,在三维覆盖区,叠前深度偏移技术是落实圈闭的最好方法。

1 层速度充填法及叠前深度偏移技术的原理

1.1 层速度充填法

1.1.1 层速度充填法建场思路

通常认为,同一地区地层由于所处沉积环境和成岩环境是很接近的,因而在没有受到构造运动(构造变形、地层抬升或沉降)影响的情况下,地层速度应当是趋于一致或是渐变的,在受构造运动影响时,由于埋深的变化导致地层的速度有所变化,即地层的速度与其埋深存在一定的变化关系。基于此认识,在构造变形剧烈、地震成像速度谱资料品质差、不能正确反应地下真实速度规律的地区,仅考虑地层深度对地层速度的影响,利用平缓地区品质好的地震成像速度谱资料或钻井揭示的地层速度资料与构造解释得到时间域深度模型,合理地预测构造变形剧烈地区的地层速度,从而建立起整个研究区的速度场。

1.1.2 层速度分析及求取方法

根据研究区速度资料品质的差异,以及对区域速度规律的认识,主要用以下 3 种方法来分析:

(1)叠加速度层位控制法计算层速度,并统计变化规律。在研究区如果存在构造相对平缓,速度谱品质好的区域,可以利用该区的速度资料,采用层位控制法计算得到层速度,并分析层速度随地震反射时间的变化规律,进而指导速度资料品质差的区域的层速度充填。采用的方法是:首先,剔除研究区范围内不能反映地层层速度变化规律的叠加速度资料,对资料品质较好的叠加速度资料按常规的层位控制法的建场方法求取各套地层的层速度。然后,根据求得地层层速度与对应地震解释层位的时间,拟合各套地层层速度随时间变化规律的回归曲线。最后,用拟合好的回归曲线和时间域构造模型计算全研究区各套地层的层速度,从而统计各套地层层速度的空间变化规律,研究其合理性。

(2)连井 VSP、声波对比。声波、VSP 资料是最直接反映地层真实速度的资料,在有钻井资料分布的研究区,利用钻井资料转换得到的层速度曲线的连井对比,一方面可以确定速度控制层的划分,另一

方面可以确定各井之间地层速度的变化规律。通过连井 VSP、声波对比,提高了对研究区各套地层速度变化规律的认识,因而在进行速度充填法建场时,也提高了速度场的合理性和准确性。当然,在井资料比较多的情况下,也可以直接利用已知井点位置的层速度在三维空间通过内插计算,得到控制层的层速度。

(3)钻井层速度量版。在研究区钻井较少且叠加速度资料品质又不高的地区,可以在分析相邻研究区钻井速度资料的基础上,来分析各套地层的速度变化规律,进而建立钻井速度量版。主要研究方法是把相邻研究区钻井揭示的地层层速度按埋深(或反射时间)与层速度数据对构架坐标系统,进而形成散点数据,再根据散点图进行拟合,形成钻井层速度量版。结合具体研究区的时间构造模型,找准速度量版形成各套地层的层速度,建立其速度场。在断层发育区建场时,单独考虑断面的影响,即把断面作为地质层面一起建立时间域模型,通过合理的速度充填,建立速度场。同时还可以通过断层及资料情况,把研究区按需要分成若干个小区块,根据速度谱、钻井等各种速度资料,仔细分析各个区块的速度变化规律,然后分块进行层速度充填,以达到更加准确地建立速度场的目的。

1.1.3 层速度充填法建立速度场

层速度充填法速度建场流程是:

第一,通过连井速度资料对比分析,划分区域速度控制层,进行时间域构造解释,建立时间域空间构造模型。

第二,根据前述层速度求取方法,利用速度谱或钻井资料准确求取资料品质好或井点附近地层的真实速度,结合区域地质结构分析地层速度的横向变化规律。

第三,根据时间域空间构造模型,利用分析得到的速度变化规律,进行各套地层速度的充填,建立初始速度模型。

第四,综合考虑地层岩性、构造应力等因素在平面的变化规律来约束地层的层速度,从而建立空间的速度场进行变速成图。层速度充填法建场流程如图 2 所示。

在进行速度充填法建场时,具体采用哪一种层速度计算及规律分析方法,取决于研究区的速度谱资料品质的好坏。另外,各种层速度充填法建场,各有优势,在应用中,要结合研究区的特点,采用适宜的方法或各种方法结合运用,才能较准确地建立好

复杂构造区的速度场。

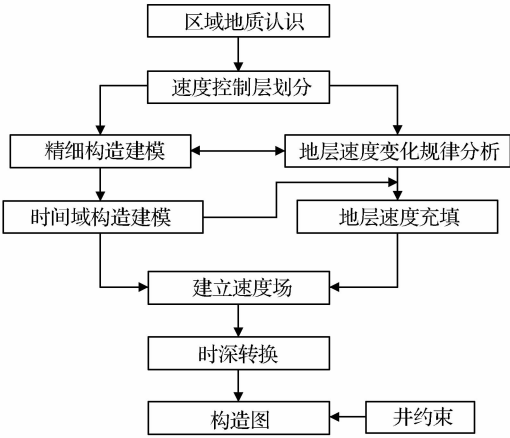


图 2 层速度充填法建场流程

1.2 叠前深度偏移技术

叠前深度成像是现今成像技术中最好的方法，能适应速度的纵、横向变化，保真的成像算子能实现真正意义上的共反射点叠加^[4]，即打破了常规时间处理的水平层状介质假设和共中心点(CDP)叠加成像方法，能实现真正的共反射点(CRP)偏移归位，同时也能求取合理的偏移速度使偏移归位更准确，得到的速度模型反映的速度变化规律比较接近于实际，与地质规律相符。相对于地下介质而言，若以速度参数来描述地下介质，使用层速度则更为真实，所以叠前深度成像使用深度域的层速度，据此所获得的叠前深度成像效果也明显好于其他成像效果。由于叠前深度成像是在深度域成像，因此可以避免复杂构造在时间域成像所产生的假构造信息，更有利于后续的地震资料解释工作^[5]。

目前叠前深度成像方法主要有 2 类：一类是克希霍夫叠前深度成像，另一类是波动方程叠前深度成像，第一种使用更成熟^[6-7]。叠前资料的信噪比和准确的静校正量是进行叠前深度偏移技术的基础，偏移基准面的选取与校正是叠前深度偏移技术的关键，而层速度建模是叠前深度偏移技术的核心。叠前深度偏移处理主要步骤包括：层位解释、模型建立、模型修正、叠前深度偏移迭代处理，最后生成最终模型即叠前深度偏移处理成果。

2 应用成果及认识

2.1 DN2 气田评价和勘探实践证明应用三维叠前深度偏移资料进行构造成图更接近于实际

在 DN 构造的勘探实践中，分别采用了基于速度谱资料的层位控制法和模型层析法，基于井速度

资料的层速度充填法和叠前深度偏移技术落实 DN2 构造。从早期 DN2 气田部分探明到后期评价勘探实践证明：应用三维叠前深度偏移地震资料进行构造成图更接近于实际。

(1)DN203 井钻探证实 DN2 构造西部存在速度陷阱。2002 年，为了上交 DN2 气田东部的探明储量，利用 DN 三维叠后时间偏移资料进行了精细的解释，并以叠加速度谱资料为基础，应用层位控制法进行变速成图，所得到的构造图与 T₀ 图均存在东西 2 个高点，构造图与 T₀ 图的轴线和构造高点基本一致(图 3a、图 3b)。应用该构造图上交了东部探明储量。

2005 年为了整体探明 DN2 气田，利用 2002 年上交储量的构造图，沿着 DN2 气田西高点构造轴线部署了评价井 DN203 井和开发井 DN2-3 井；其中 DN203 井于 2006 年初顺利钻抵目的层，DN2-3 井在目的层以上由于井况复杂导致工程事故完钻。

DN203 井下第三系顶面实钻比设计深 500 m，钻探失利，实钻与设计差异如此之大，说明原来对于 DN2 气田构造的研究(尤其是构造西部)存在着严重的偏差。

2005 年底为了查明 DN203 井钻探与设计出现偏差，导致失利的原因，利用 2002 年上交储量时的同一套叠后时间偏移资料，对 DN2 号气田构造进行重新标定并对目的层进行了精细解释，发现地震地质层位标定、构造模型、地震 T₀ 反射层(目的层下第三系顶面)等 T₀ 图的方案以及控制层的解释方案和 2002 年上交储量时完全一致，由此判断导致构造图偏差的主要原因是速度场，DN2 井区西部的速度谱资料可能存在速度陷阱。因此对叠加速度谱资料进行了重新分析。

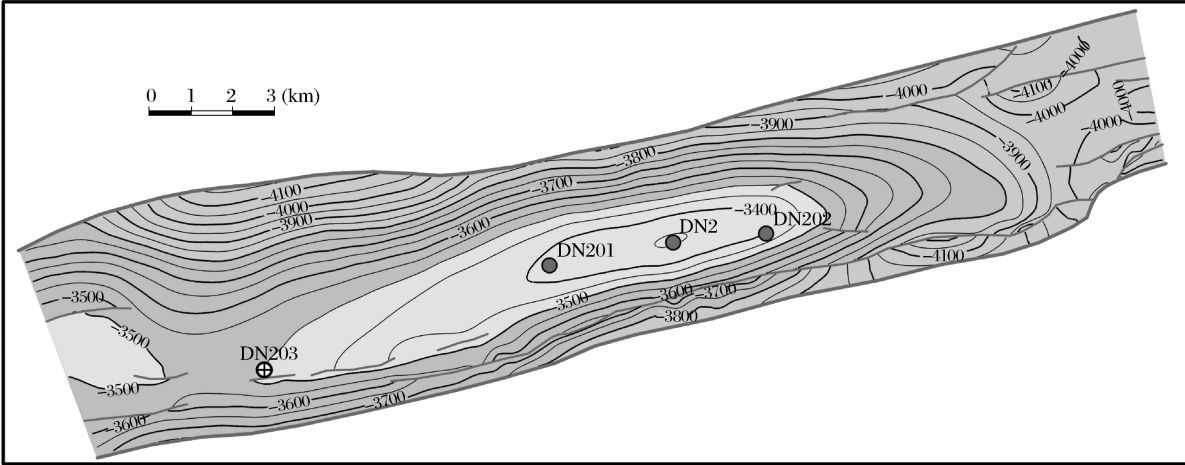
(2)速度分析认为构造复杂段地震处理成像速度不能用于变速成图。通过对过 DN203 井南北向叠加速度剖面与地震剖面进行对比可发现，在地震处理的速度剖面上吉迪克组相对较老地层出露的山体部位表现为低速区，而在南北山体过渡带表现为高速区，这与实际地质情况所反映的速度规律正好相反，证实了 DN2 气田构造西部存在明显的速度陷阱，DN203 井之所以实钻比设计深了 500 m，就是使用了比实际速度低得多的叠加速度谱资料变速成图的结果。因此在构造复杂段地震处理成像速度不能用于变速成图，一旦使用就会出现构造假象。

(3)层速度充填法可查明构造的基本形态。为了进一步分析构造假象，获得相对准确的构造图，对

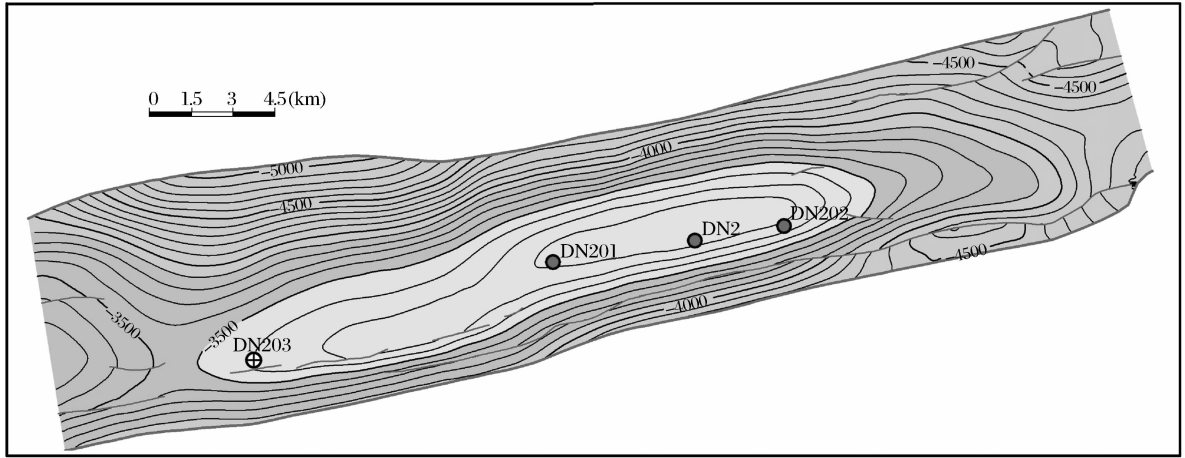
全区已钻井 VSP 速度及正钻井声波速度进行了分析,发现该区层速度随深度变化的规律性较好,随深度增加层速度有所增大,但增大幅度很小,说明井层速度充填进行时深转换是可行的。因此,以 VSP、

声波资料为基础,以层位控制为出发点,采用层速度充填方法建立构造区速度场,完成变速成图。

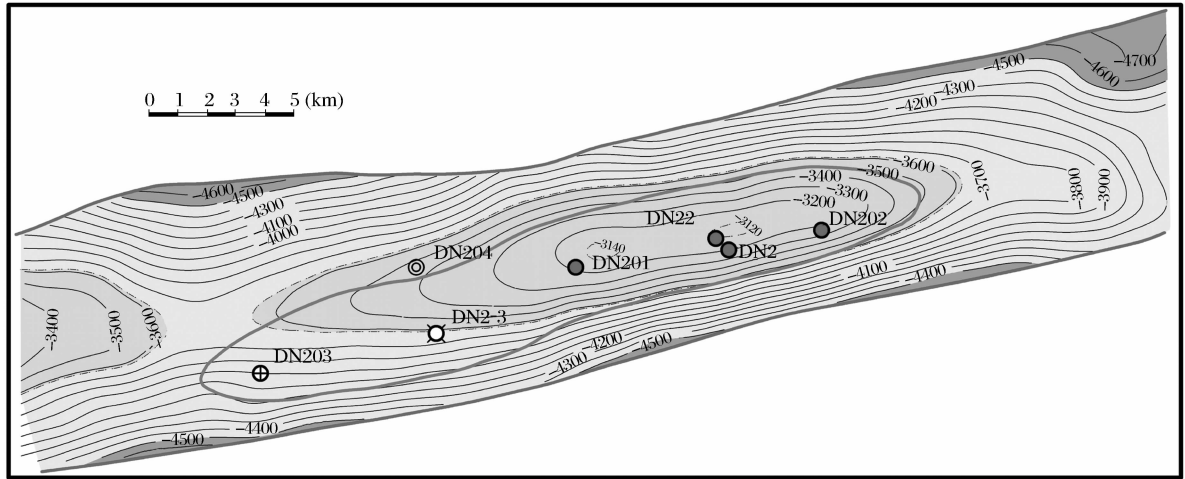
对比采用层速度充填方法进行时深转换后的 DN 22 井、DN203 井南北向时、深剖面发现:在 DN22



(a) 等 T_0 法



(b) 层位控制法



(c) 层速度充填法

图 3 采用不同方法得到的 DN2 构造下第三系(E_{2-3s})顶面构造

井深度域高点与时间域基本一致,而 DN203 井在时间域剖面上,目的层构造高点位于 DN203 井处,而深度域剖面的构造高点明显向北偏移,偏移距离约 2.7 km(图 4a、图 4b),DN203 井在构造低部位。这进一步证明了 2002 年构造图在 DN203 井存在着构造假象。为什么 DN203 井构造高点往北偏移量大,而 DN22 井构造点基本没有偏移呢? 主要有 2 个方面原因:一方面在构造西南翼山体部位由于受浅层断层影响,浅层逆掩断层断距和逆冲推覆距离从东到西逐渐变大,山体出露地层逐渐变老,速度逐渐增大;另一方面,从东向西地表山体与 DN2 气田构造逐渐靠近,对构造南翼影响愈大。因此在时间域构造西高点 DN203 井区对应山体部位,即浅层为高

陡、重复的老地层,为明显高速区,深度域构造高点和轴线相对于时间域要北移很多,而东高点 DN22 井区对应浅层平缓较新地层,为正常速度区,深度域构造高点偏移不大(图 4c、图 4d)。

同时对新、老构造图进行对比,发现新构造图圈闭面积变化不大,最大变化在于构造轴向的变化(图 3c):从 DN201 井往西构造高点和轴线逐渐向北偏移, DN203 井构造高点偏移量最大。

通过对形成构造的应力机制、断裂与构造的关系、速度的变化规律等因素进行分析后,认为新构造图更符合地质规律,而且在没有井约束的情况下,深度及倾角与已钻井基本一致,说明构造形态刻画逐渐趋于合理。

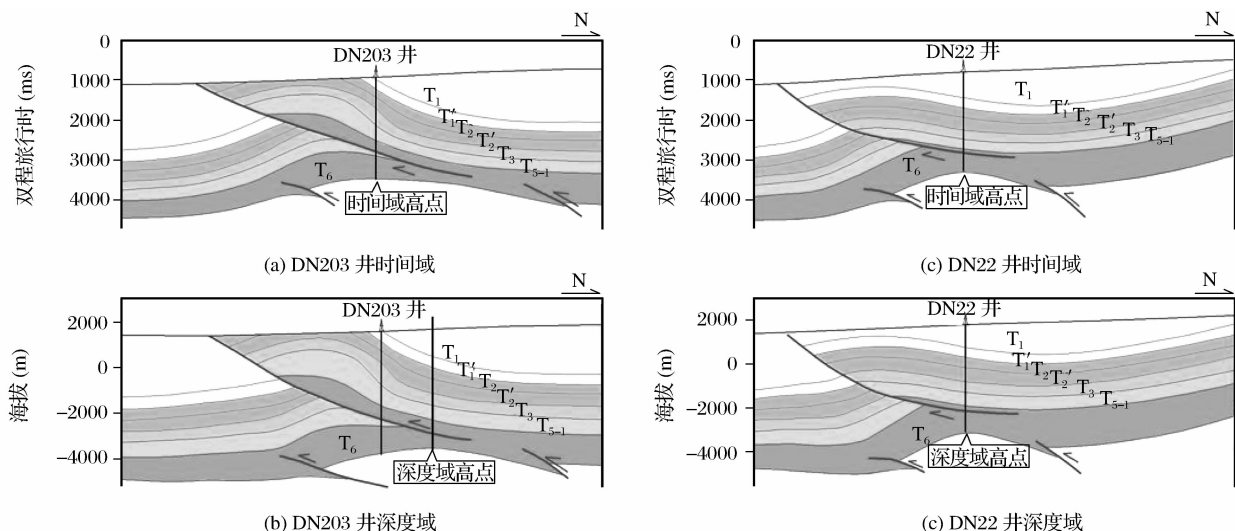


图 4 过 DN203 井和 DN22 井时间域剖面 and 深度域剖面

在以上工作的基础上,2006 年 1 月 22 日在 DN2 井区新构造图的西北翼部署了 DN204 井,该井位于层位控制法构造图 DN2 圈闭之外。2006 年 8 月 DN204 井钻达目的层下第三系顶面,实钻地层倾角为西北倾 $8^{\circ} \sim 10^{\circ}$,与构造图基本一致,深度比设计浅 100 m,误差较小,说明用层速度充填法变速成图基本合理,该井钻揭了和东部 DN22 等井厚度相近的油气层,为 DN2 构造西部的探明创造了条件。

DN204 井完钻后,统计和分析了该井声波速度,重新利用层速度充填法对 DN2 构造 T_0 反射层进行了变速成图,获得的构造图与部署 DN204 井构造图相比构造形态相似,圈闭面积有所增加,由 78 km^2 增加为 92 km^2 。

(4) 叠前深度偏移资料构造形态更接近于真实

虽然利用层速度充填可以在很大程度上弥补速度谱资料不准的缺陷,实践证明用这种方法进行构造成图的可靠性取决于井的多少和分布的均匀程

度,只有井控制的范围能保证成图精度。由于 DN 地区速度横向有一定变化,井控制范围之外地区的速度如何选取,没有可靠的依据;另一方面在山前复杂构造区,受常规处理技术方法的限制,常规时间偏移处理往往偏移不足。而叠前深度成像是现今成像技术中最好的方法,叠前深度偏移技术能较彻底地解决本区速度和偏移成像问题,因此采用叠前深度偏移技术是进行 DN2 构造精细研究的理想选择。

在上述速度研究基础上,对 DN 三维地震资料进行了叠前深度偏移的处理,取得了较好的效果。从过 DN203 井南北向叠后时间偏移剖面与叠前深度偏移剖面对比(图 5),可以清楚地看出在构造主体部位盐下构造形态存在明显的差异,在叠后时间域剖面上, DN203 井刚好在构造高点上;在叠前深度偏移剖面上, DN203 井却在构造的南翼,与 DN203 井钻井揭示的目的层段 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 地层倾角

基本吻合,构造高点和轴线北移,可见叠前深度偏移剖面能更加真实地反映地下构造形态。用叠前深度偏移资料获得的 DN2 气田目的层顶面构造图与实

际更吻合,井点处深度与实钻相对误差小于 1%,圈闭面积为 103 km²,从而扩大了 DN2 气田储量规模,也保证了储量的顺利完成。

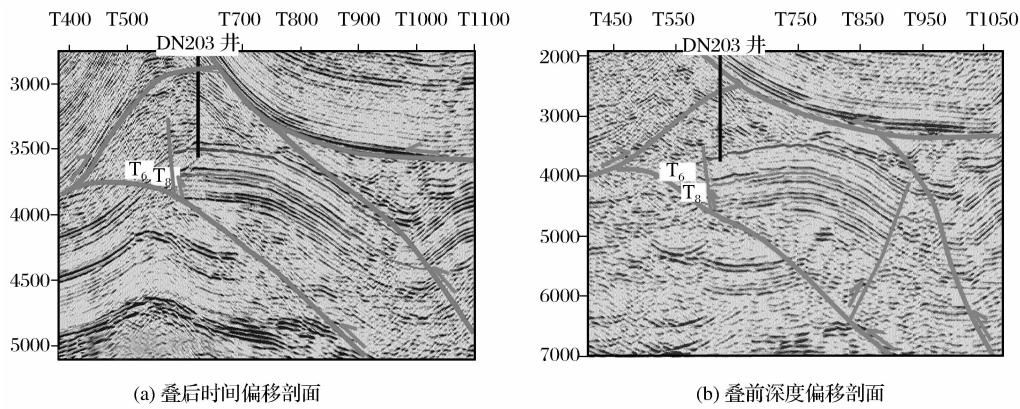


图 5 过 DN203 井南北向叠后时间偏移剖面 and 叠前深度偏移剖面

2.2 应用层速度充填法发现了 DN3 号构造和气藏
DN3 构造位于 DN2 构造西部,紧邻 DN2 构造,构造主体被二维资料覆盖,通过精细解释,在 DN3 构造地震 T₆ (相当于目的层古近系顶) 反射层等 T₀ 图上, DN3 构造不存在圈闭,表现为一个较大的平台,构造东西倾和北倾明显,南倾不明显(图 6a)。

用基于速度谱资料的层位控制法和模型层析法进行变速后,得到一个面积小,幅度低的圈闭。因此统计了研究区内及周围钻井、VSP、测井资料,分析速度随深度变化的规律,建立了层速度随深度变化曲线。用层速度充填法建立了 DN3 号构造速度场,利用该速度场对 DN3 构造进行了变速成

图,得到面积约 30 km²、幅度约 250 m,埋深适中的背斜圈闭(图 6b)。
虽然 DN3 号构造在时间域表现为平台特征,与 DN2 构造西部相似, DN3 构造南翼地表山体区为高速层,利用 DN 地区钻井层速度对过 DN3 号构造高点时间剖面进行时深转换后,将时间域剖面深度域剖面进行对比发现,构造的北倾变化不大,在时间域南倾不明显,而深度域构造部位出现了明显的南倾,因此认为变速结果较准确,圈闭是可靠的,从而在 DN3 号构造上钻 DN3 井。
该井气测异常活跃,测井解释共有近 70m 气层,经测试获高产工业气流,从而发现了 DN3 气藏。

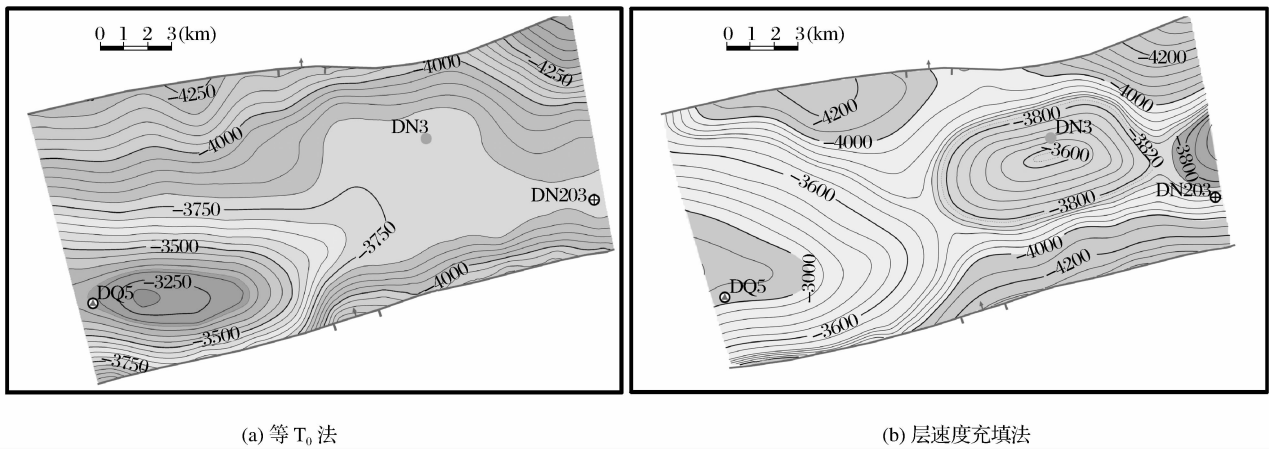


图 6 采用不同方法得到的 DN3 构造下第三系(E₂₋₃s)顶面构造

2.3 DN2、DN3 联合研究, DN2 构造圈闭面积扩大
为深入研究 DN2 构造和 DN3 构造的关系,应用 DN 地区二、三维资料对 DN2 构造和 DN3 构造进行了连片解释,在统计 DN 构造区所有井的层速度,研究层速度变化规律的基础上,用层速度充填法

进行了连片成图。经过成图 DN2 构造和 DN3 构造为一个通过鞍部相连的 2 个独立背斜圈闭, DN3 构造变化不大,而东部的 DN2 构造圈闭面积达 140 km²,初步计算储量规模超过 2 000×10⁸ m³(图 7),还有进一步评价勘探的潜力。

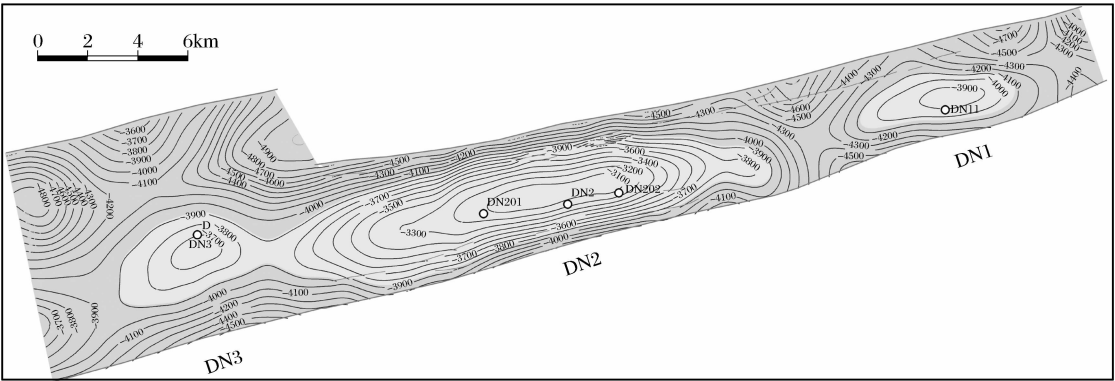


图 7 DN1 构造、DN2 构造、DN3 构造下第三系(E_{2-3s})顶面构造

3 结语

(1)合理的变速成图方法是获得准确构造图并发现油气的基础,由于射线问题,山前高陡构造速度谱往往与实际速度规律相反,不能用于变速成图。层速度充填法是山前高陡构造有效的成图方法, DN2 气田的成功评价及 DN3 构造的发现,均是应用该方法的结果。在二维资料覆盖区,该方法是最有效的圈闭落实方法。而在信噪比较高的三维资料覆盖区,叠前深度偏移技术更有利于落实圈闭。

(2)DN3 井实钻、过井二维测线叠前深度偏移处理结果、测试情况分析以及倾角测井资料,均表明 DN3 号构造存在,但高点明显南偏, DN3 井可能钻在构造北翼接近圈闭溢出点的部位,因此认为 DN3 构造的刻画还需更精细。同时 DN2 构造叠前深度偏移资料由于西部存在边界效应,导致西部圈闭落实精度不高,这也是应用叠前深度偏移资料成图和二、三维资料连片成图 DN2 构造存在差异的原因。如果能尽快在 DN3 构造区实施三维,并与 DN2 三维进行连片叠前深度偏移处理,则更有利于精细刻画 DN3 构造、

DN2 构造,部署评价井,落实储量规模。

(3)文中提到的方法对 DN 构造区带是行之有效的,由于山前复杂构造区地表和地下“双重复杂”的特点,加之不同构造单元所具有的复杂特点,在不同研究区的速度研究和建场过程中,只有结合各自的特点,采用适宜的速度研究和建场方法,才能提高构造成图的精度。

参考文献:

[1] 贾承造,何登发,雷振宇,等. 前陆冲断带油气勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2000.

[2] 熊翥. 山前冲断带物探技术改进的思路[J]. 中国石油勘探, 2005,10(2):28-32 .

[3] 蔡刚,屈志毅. 构造复杂地区地震资料速度和成图方法研究与应用[J]. 天然气地球科学,2005,16(2):246-249.

[4] 张建伟,鲁烈琴,强芳青,等. 二维叠前深度偏移连片处理及成像建模技术[J]. 天然气地球科学,2003,1(3):203-206.

[5] 李来林,吴清岭,何玉前,等. 叠前深度成像技术分析及应用[J]. 石油地球物理勘探,2005,40(4):407-410 .

[6] 张铁强,王正和. 叠前深度偏移在复杂构造模型成像中的应用[J]. 物探化探计算技术,2007,29(4):281-285.

[7] 马淑芳,李振春. 波动方程叠前深度偏移方法综述[J]. 勘探地球物理进展,2007,30(3):153-160.

Application of Varying Velocity Mapping Technology in DN Gas Fields

WU Chao, LI-Qing, XU Zhen-ping, MA Li-ke, FENG Lei,ZHANG Guo-wei, LUO Cai-ming
(Research Institute of Exploration and Development of Tarim Oilfield Company, CNPC, Korla 841000, China)

Abstract: DN gas fields are located in the Dongqiulitage structure belt in Kuqa depression. Currently, three gas reservoirs, DN1, DN2 and DN3, have been discovered with 3P reserves of more than $2\,000\times10^8\text{m}^3$ in the reservoirs. More gas are expected to be discovered. With the successful application of varying velocity mapping technology, we have estimated the DN2 gas field and discovered the DN3 gas reservoir. Interval velocity is the key factor in discovering traps. This paper discusses the method about varying velocity mapping used in estimating the DN2 gas field and discovering the DN3 gas reservoir. The good method to discover or estimate traps is that the prestack depth migration technology is used in 3D work area and the interval velocity filling is used in 2D work area.

Key words: Kuqa depression; DN Gas Fields; Interval velocity filling; Prestack depth migration.