

Using 3D Visualization of Low-Angle Backlight Illumination to Describe Tectonic System of Low Amplitude

Hongjuan Fan

Southwest Branch, Sinopec, Chengdu Sichuan
Email: 89628751@qq.com

Received: Apr. 10th, 2017; accepted: Apr. 27th, 2017; published: Apr. 30th, 2017

Abstract

The enrichment zone of oil & gas was controlled by tectonic system which was subjected to multi-stages and multi-directions tectonic movement. To describe tectonic system of low amplitude, 3D visualization of low-angle backlight illumination technique was used. According to the dynamics of regional tectonic evolution and the relationship between the structural features, combining with layer flattening technique, the formation stages of tectonic system can be confirmed. The comparison of structure of deep and shallow layer can confirm the ancient structure; 3D visualization of low-angle backlight can also be used in the description of erosion surface of carbonate with complex morphology. With the application of this method to analyze the tectonic system in western Sichuan depression, it has been found that there are 5 arc structures which are nearly EW direction, and multiple linear structures which are in NE direction. All of these structures were paleo-structure formed in Indo-China period-Yanshanian; A large gully was developed along the ancient fault of the Dongwu period, southern Sichuan basin. All of these areas are worth focusing on because of the possibility of oil and gas enrichment.

Keywords

Backlight Illumination, 3D Visualization, Tectonic System of Low Amplitude, Western Sichuan Depression, Gully-Monadnock

低角度逆光照射三维可视化描述低幅度构造体系

范宏娟

中国石油化工股份有限公司西南油气分公司, 四川 成都

Email: 89628751@qq.com

收稿日期: 2017年4月10日; 录用日期: 2017年4月27日; 发布日期: 2017年4月30日

摘要

油气富集带受不同期次、级次的构造体系控制。采用低角度逆光照射三维可视化方式,可清晰描述多方向、多期次的低幅度构造体系;构造体系的期次的确认,可依据区域构造动力、构造形迹关系,结合层拉平技术进行;浅层-深层构造对比,可确认深层古构造;对形态复杂的碳酸盐岩剥蚀面,也可采用低角度逆光三维可视化。应用该方法分析川西坳陷构造体系,发现近EW走向的5条弧形构造、NE向多条线性构造为印支期-燕山期古构造;川南地区,发育一条沿着东吴期古断层发育的大型冲沟。这些部位是值得重点关注的油气富集带。

关键词

逆光照射, 三维可视化, 低幅度构造体系, 川西坳陷, 冲沟-残丘

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

具有成生联系的一系列构造要素组合,称之为构造体系[1]。油气藏的分布受不同级次、不同期次的构造系控制,研究构造体系有重要意义。但构造体系的研究通常针对较大级别的构造进行[1]。由于资料范围限制,油气勘探往往注重构造格局、甚至局部构造的研究,构造体系分析往往难以进行。其次,油气成藏多与早期构造——即古构造有关。如川西坳陷晚三叠统须家河组2段气藏(T3x2,简称须2段),该气藏为:“早期聚集,晚期活化”[2][3]。但古构造的研究,各种方法多有局限[4]。盆地经过多期次的叠加,早期构造、特别是构造幅度较小的古构造,有可能被后期构造淹没。实践表明:一般精度的构造图,无论是古构造、还是现今构造,低幅度的构造体系都难以表现,从而缺乏深入的研究。

研究表明:采用低角度逆光照射、三维可视化方法,可精细描述多期次、多方向的低幅度构造体系;依据构造形迹相互关系,结合区域构造动力,可描述构造期次;对于资料面积有限的区块,可用浅层构造与深层构造相对比,以此分析不同方向的构造期次;对形态复杂的碳酸盐岩剥蚀面,低角度逆光照射三维可视化具有较好预测效果。四川盆地为典型的多期次、多方向叠加盆地[5][6][7]。研究即以四川盆地为例。新发现的须2段印支期弧形构造体系,与油气高产井吻合较好;描述的下二叠统(阳新统)冲沟与断层的关系,也与工业气井分布吻合。

2. 低角度逆光照射三维可视化在川西坳陷的应用

2.1. 川西坳陷基本地质概况

川西坳陷位于四川盆地西部,为中生代盆地[3][5];呈北东向展布(图1)。西邻龙门山造山带,北接秦岭东西向构造带,南抵康滇南北向构造带,东连川中隆起。盆地在不同时期、不同方向上叠加[6][7],

与两个造山带关系密切：当龙门山强烈活动时，川西坳陷为龙门山推覆带的(类)前陆盆地；当秦岭及其南缘的大巴山强烈活动时，川西坳陷又表现为大巴山逆冲推覆的类前陆盆地。喜山期，南缘川滇构造带控制川西坳陷沉积和构造演化。

晚三叠世以后，川西坳陷盆地经历印支(晚三叠须家河组沉积期 T3x)、燕山期(J-K)、喜山期(E-Q)三大构造运动旋回[3] [5] (图 1)：

1) 印支期。盆地受控于龙门山造山带的逆冲推覆活动。龙门山北段与碧口地块碰撞，秦岭海关闭，龙门山由北向南大幅隆起(图 1)。产生的应力场主要为西北向东南挤压。

2) 燕山期(J-K)：龙门山在燕山期相对平静；秦岭造山带强烈向南逆冲挤压。川西坳陷总体上处于南北向挤压的构造背景[3] [8] (图 1)。

3) 喜马拉雅期(E-Q)：晚白垩世初，龙门山南段开始活跃，在其前缘形成新的前渊。川西坳陷处于近东西向的挤压背景下[3] [5] [8] (图 1)，由此形成北东、或者近南北向构造，主要的构造如龙泉山断褶带。

综上所述，川西坳陷处于多期次、多方向的构造动力背景。但应力方向总体是：印支期 - 燕山期，为由北向南挤压；喜山期为由西向东挤压(图 1)。

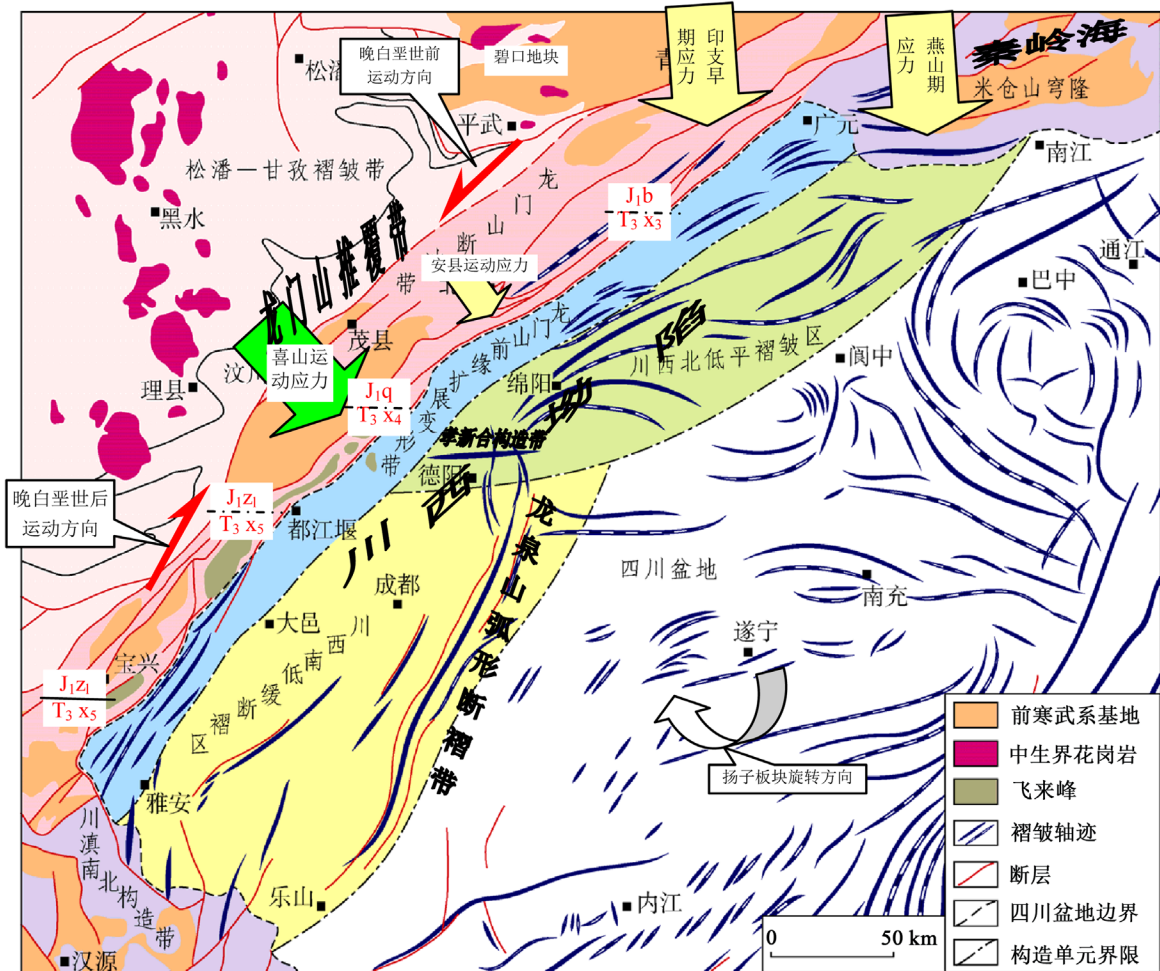


Figure 1. The structure outline and direction of structural dynamic sketch in western Sichuan depression (quoted from Zhiwu Li [8]; deration of tectonic stress field mended by Keming Yang [3]、Chuanbo Shen [7]、Zhiwu Li [8] etc.)

图 1. 川西坳陷构造纲要及各期构造动力方向示意图(转引自李智武[8]；构造应力场方向依据杨克明[3]、沈传波[7]、李智武[8]等修改)

2.2. 川西坳陷构造体系特征

川西坳陷中部,发育一个大型构造:孝泉—新场—合兴场构造带(简称:孝新合构造带)(图1和图2)。中三叠统须2段为主力气藏,对该构造和断层都有详细描述[3][8]。但对构造之间的联系缺乏分析,很多低幅度构造未能发现。采用低角度逆光照射三维可视化,可清晰表述川西坳陷构造体系(图2和图3)。川西坳陷须2段发育4~5个方向的构造体系:

1) 近东西走向弧形构造体系。该构造体系由5个以上的弧形构造构成,弧形构造的走向基本一致、基本平行。依据弧形构造上钻井的位置分布,由北向南分别命名为:

- ①梓潼弧;②851弧(其上851井,工业气藏发现井);③100弧(其上100井,第一口工业气藏发现井);④137弧(其上137井,工业气井);⑤566弧(其上566井,低产稳产工业井)。

851弧位于孝新合构造带上。除851弧构造幅度较大,其余弧形构造幅度较小,这些较小的弧形构造在以往都未能发现。

2) NE走向线性构造体系。

有5-6条之多,构造与安县山前推覆带完全平行,是安县运动形成的一个构造体系。

3) NNE-近SN向密集小断层弧形带。逆光由西北低角度照射,局部放大(图3)。这个构造体系构造

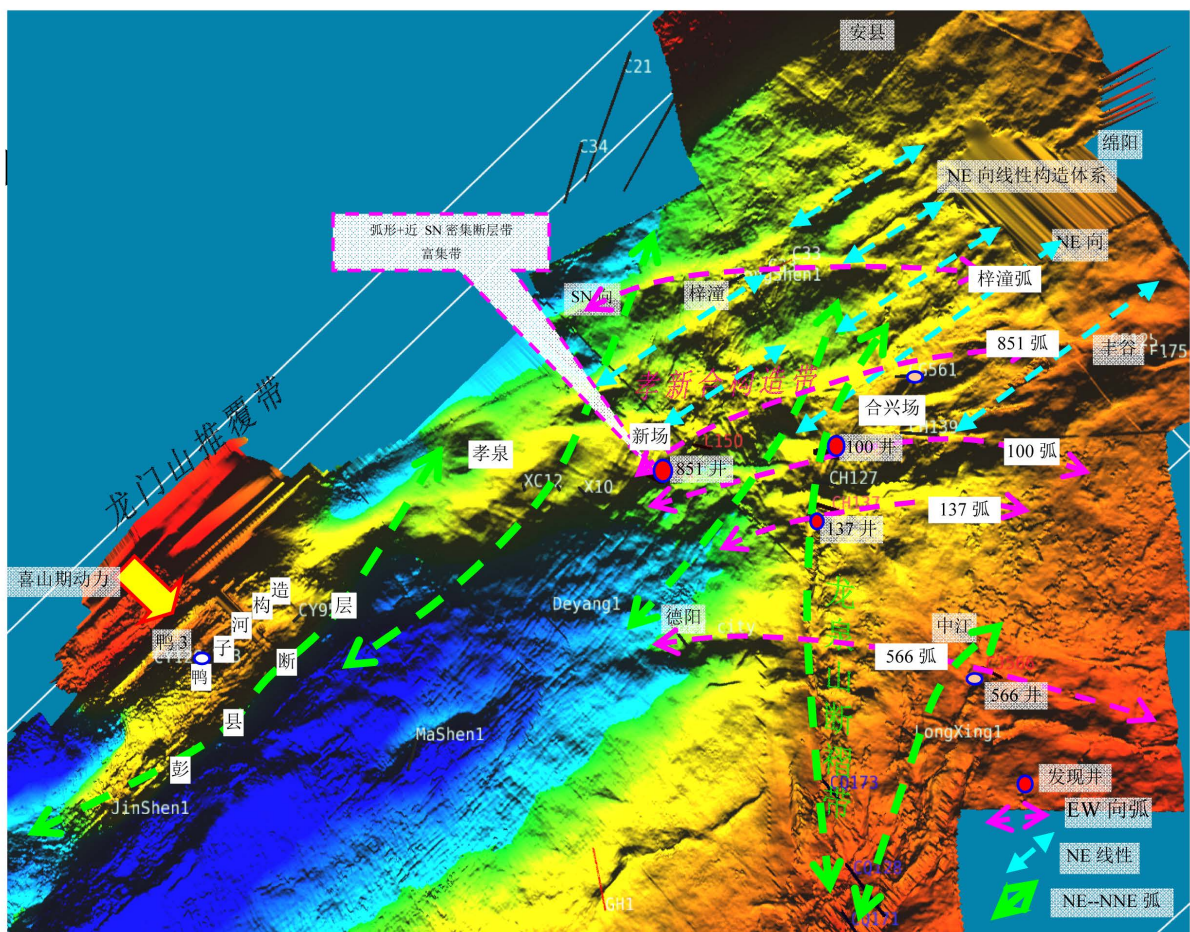


Figure 2. The bottom structure of second section of Xu and distribution of industrial gas well in western Sichuan depression (north light source)

图2. 川西坳陷须家河组2段(T3x2)底构造及工业气井分布图(正北逆光)

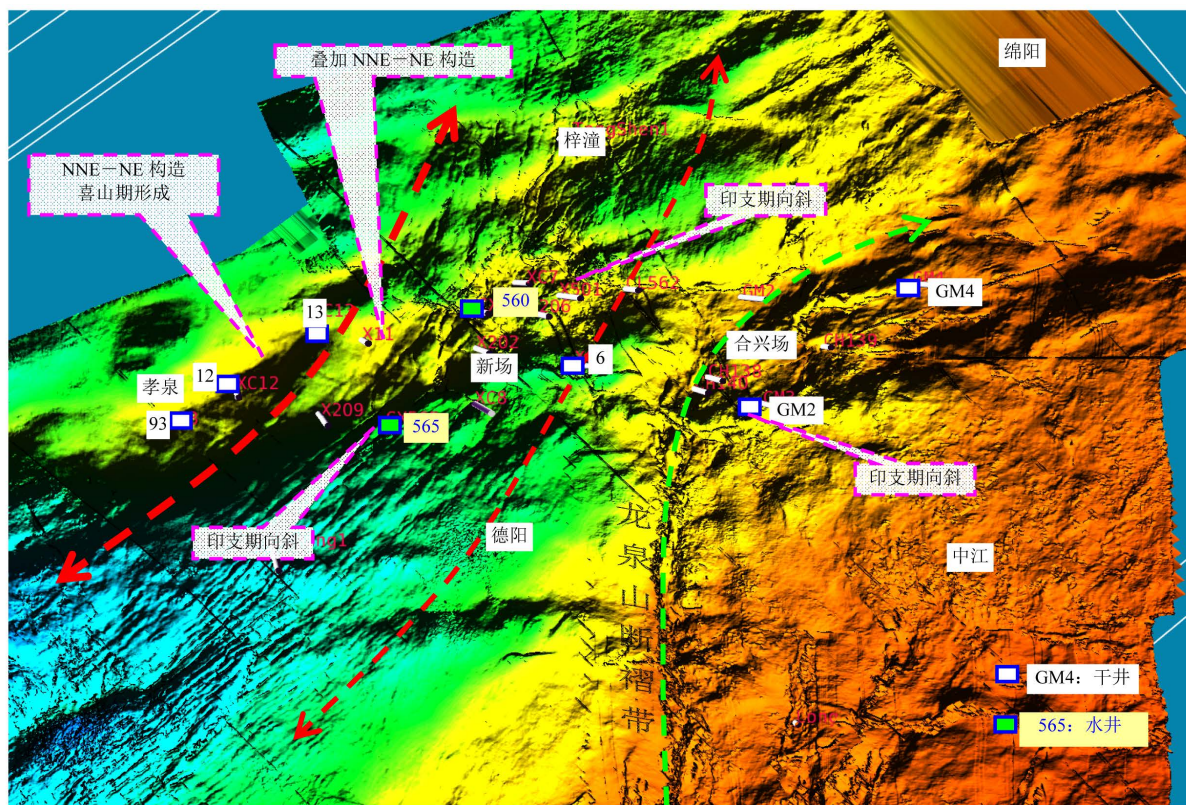


Figure 3. The bottom structure of second section of Xu and distribution of dry well and water well in western Sichuan depression (northwest light source)

图 3. 川西坳陷须家河组二段(T3x2)底构造及干井 - 水井分布图(西北逆光)

幅度非常小、且非常密集，仅三维可视化才能表现。这个构造体系走向与鸭子河构造、彭县断层平行(图 2)。因此，与鸭子河构造、彭县断层同属一个构造体系。

龙泉山断褶带是喜山期形成的大型构造带[3] [5]，这里不详细论证。

4) 近 N S 向龙泉山断褶带。这条带是一条向西凸起的大型弧形构造带[3] [5]。

2.3. 川西坳陷构造体系期次确定

采用如下三种方式，可以准确的确定上述三个方向的构造体系的期次。

1) 层拉平

拉平对应的某一个层位，就是对应的某一期构造运动之前的古构造。该方法是地震解释常规手段，这里简述层拉平结果：

拉平须家河组 3 段顶(T_{3x3})，对应安县运动[3]。须 2 段内，近 EW 走向的 5 条弧形构造、NE 向多条线性构造，均已存在。分别拉平须家河组顶、侏罗系蓬莱镇组底。近 EW 走向的 5 条弧形构造、NE 向多条线性构造同样存在，构造幅度略有增加。喜山期，即为现今构造。鸭子河构造大幅度隆起[3] [5]，形成 NE-NNE 走向的构造，叠加、并改造孝新合构造带(图 3)。由此表明：须 2 段近 EW 走向 5 条弧形构造、NE 向多条线性构造为印支期 - 燕山期的古构造。

2) 依据区域构造动力方向确认构造体系期次

盆地边缘的造山带在隆起，其动力向盆地内传递，在盆地内形成平行构造推覆带的构造形迹(图 1、图 2、图 3)：

近 EW 走向弧形构造体系。其走向和秦岭海东西走向一致[7]。因此,这个弧形构造体系是秦岭海关闭时期,也即印支期早期形成。NE 向多条线性构造体系。与安县山前推覆带平行,为印支期中期--安县运动过程中形成。NNE 向密集小断层弧形构造带。构造走向与鸭子河构造平行(图 2),而鸭子河构造主要形成期是喜山期[3] [5]。NNE 向密集小断层弧形构造带为喜山期产物。

3) 构造的相互限制和切割关系确认构造体系期次

依据地质力学原理:被限制的构造晚,被切割的构造早。如图 2、图 3 所示:

NE 走向的线性构造:均终止在 EW 走向的弧形构造带上,表明 NE 走向的线性构造被 EW 走向的弧形构造带限制。因此,EW 走向的弧形构造带体系早于 NE 走向的线性构造;NNE 密集小断层带:近 EW 走向弧形构造体系,以及 NE 走向的线性构造,均被它切割。因此,NNE 密集小断层带是最晚的一期构造运动。

综上所述:孝新合构造带,以及 4 条近 EW 走向的弧形构造,属同一个构造体系;NE 走向的线性构造属一个构造体系;都是印支期形成,燕山期继承性发展,喜山期定型。

2.4. 构造体系与油气富集带关系研究

须 2 段气藏与早期古构造有关[2] [3],以此论述须 2 段气藏工业气井(图 2)、干井-水井的分布(图 3),有较好规律:

1) 印支期 - 燕山期构造与喜山期断层带的交汇点,即为须 2 段气藏富集带(图 2)。如图 2 所示:851 高产井是印支期弧形构造与喜山期密集断层带的交汇点;工业气井 100 井、137 井,是印支期弧形构造与喜山期龙泉山断褶带的交汇点。

2) 古构造低部位是油气富集不利区(图 3)。如图 3 所示,两口水井-560、565 位于印支期弧形构造的向斜内;干井,如 GM3、GM4,位于印支期弧形构造的向斜内。

3) 喜山期构造是无效圈闭,典型的是孝泉构造(图 3)。如图 3 所示,孝泉构造为一个 NNE 走向的弧形构造,属喜山期构造体系。93 井、12、13 是依据构造高部位、结合裂缝预测,近几年部署的钻井,仍然是干井。

川西坳陷有大量针对须 2 段气藏的钻井,依据以上思路分析,基本上都能吻合。详细成果将另文叙述。

3. 低角度逆光照射三维可视化在川南地区的应用

震旦系灯影组 - 下古生界,简称为“下组合”。海相下组合层系经历的构造运动较多[6],形成的构造体系更为复杂。研究以川南地区一块较小的三维资料为例。该区靠近川中古隆起,构造动力弱,构造幅度小、断层断距小。采用低角度逆光照射、不同层系之间对比,可识别低幅度构造体系相互关系(图 4)。如图 4 所示:

1) 侏罗系底构造:其上的构造,只能为燕山期 - 喜山期构造运动产物(图 4(a))。形成的构造形迹方向为 NEE、NNW 两个方向。

2) 上二叠统底的构造:为海西期以来的构造运动产物(图 4(b))。燕山期 - 喜山期形成的是 NEE、NNW 两个方向的构造(图 4(a));上二叠统底还发育 NW 方向的构造,而在侏罗系底构造上并无 NW 方向构造。因此: NW 方向的构造就是东吴期的古构造(因川中古隆起阻挡,印支期龙门山对川南影响小)。

3) 寒武系底构造:为加里东以后的构造产物(图 4(c))。与上二叠统底构造对比,除有 NEE、NNW、NW 方向的构造,还发育有 NNE 方向构造。NNE 方向这一方向的构造只存在寒武系底,所以这一方向的构造是加里东期构造。

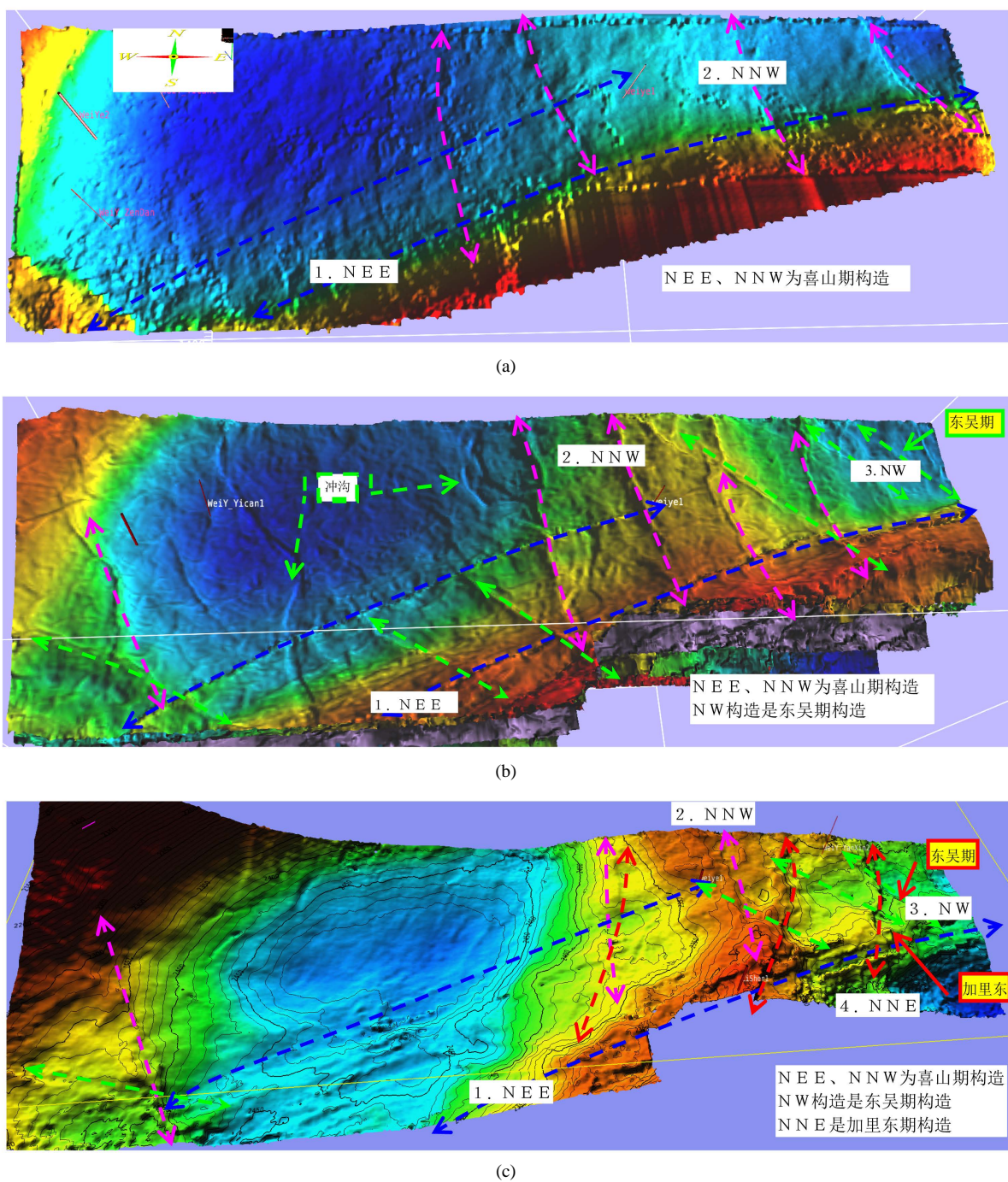


Figure 4. The comparison of tectonic system in southern Sichuan basin. (a) Jurassic botton; (b) Upper Permian botton; (c) Cambrian botton

图 4. 川南某区构造体系对比图。(a)侏罗系底；(b)上二叠统底；(c)寒武系底

4) 构造的继承性：主要表现在深部构造(寒武系底)构造幅度相对较大，浅层(侏罗系)构造幅度相对较小。

上述构造体系的研究对油气勘探有重要意义。震旦系 - 下寒武统龙王庙组气藏主控因素为[9]：古隆起高部位；近源的古今构造叠合区。下二叠统(阳新统)气藏主控因素为：东吴期沿着裂缝和层面的暴露岩

溶作用，形成的缝洞型气藏。这两个气藏均与古构造、古断层有关。

4. 低角度逆光照射用于碳酸盐岩剥蚀面描述

碳酸盐岩剥蚀面上发育大量冲沟-残丘。冲沟-残丘也可视为小幅度的构造，但形态复杂。采用低角度逆光照射方式较为有效(图5)。研究区位于川南，该区也发育多方向的构造体系。构造体系的期次采用前述方法确定。该区已经发现下二叠统(阳新统)气藏：WY61和WY1井测试产气。图5是该区下叠统顶构造图：

1) 发育大量落水洞，以北部的落水洞规模最大；

2) 发育大量冲沟。其中一条冲沟规模较大，由西北向东南发展，西北角较窄、东南变宽，表明这条冲沟的水流是由西北向东南流动。两口工业气井均位于冲沟附近，表明冲沟是下二叠统储层的主控因素。其次，冲沟基本上沿着东吴期断层发育，表明东吴期断层是冲沟形成的主控因素。

这一预测成果有助于下二叠统的油气勘探和开发。

研究表明：只要是低幅度的构造体系，都可以用低角度逆光照射来突出显示。如有需要，可增加相干、曲率等地震属性参数融合显示。有些岩性组合形成的构造非常复杂，如膏岩-白云岩互层，因两种岩性的强度差异非常大，在白云岩地体周围，膏岩很容易形成明显的揉皱带。这样的揉皱带用低角度逆光照射描述，具有非常好的效果。在雷口坡组储层预测中[10]，预测的膏岩揉皱带、以及白云岩发育带，均得到钻井证实。

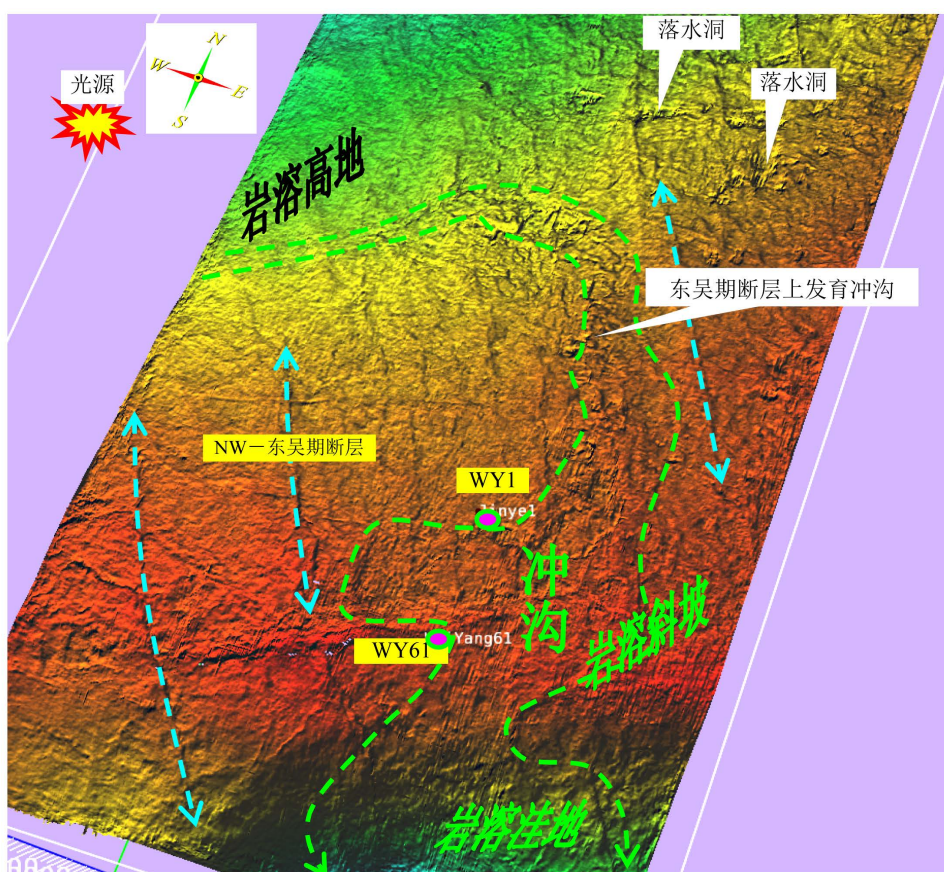


Figure 5. The top construction of lower Permian in southern Sichuan basin

图5. 川南某区下二叠统顶(阳新统顶)构造图

5. 结束语

- 1) 低角度逆光照射三维可视化, 是描述多期次、多方向低幅度构造形迹的有效方法。
- 2) 构造期次的确定, 可依据区域构造动力、构造形迹之间的关系, 结合层拉平技术确认; 浅层构造与深层构造对比, 也可确认构造体系期次。
- 3) 碳酸盐岩发育大量冲沟-残丘, 且与断层有关。采用低角度逆光照射三维可视化, 是简洁有效的方法。
- 4) 川西拗陷内, 近 EW 走向的 5 条弧形构造、NE 向多条线性构造, 是印支期-燕山期古构造; 川南地区沿着东吴期断层发育的冲沟、落水洞边缘, 也是孔洞缝发育带。这些部位可能是油气富集带。

参考文献 (References)

- [1] 康玉柱. 油气地质力学[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 16-174.
- [2] 王金琪. 早聚晚藏 - 川西拗陷天然气基本特征[J]. 天然气工业, 2001, 21(1): 5-12.
- [3] 杨克明, 朱宏权, 叶军, 张克银, 柯光明, 等. 川西致密砂岩气藏地质特征[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 1-390.
- [4] 久凯, 丁文龙, 李春燕, 曾维特. 含油气盆地古构造恢复方法研究及进展[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(1):13-19.
- [5] 郭正吾, 邓康龄, 韩永辉. 四川盆地形成与演化[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 200.
- [6] 何登发, 李德生, 张国伟, 赵路子, 樊春, 鲁人齐, 文竹. 四川多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 地质科学, 2011, 46(3): 589-606.
- [7] 沈传波, 梅廉夫, 徐振平, 汤济广. 四川盆地复合盆山体系的结构构造和演化[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(3): 288-299.
- [8] 李智武, 刘树根, 陈洪德, 孙东, 林杰, 汤聪. 川西拗陷复合 - 联合构造及其对油气的控制[J]. 石油勘探与开发. 2011, 38(5): 538-551.
- [9] 陈学时 易万霞 卢文忠. 中国油气田古岩溶与油气储层[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 244-253.
- [10] 甯濛, 刘姝, 龚文平. 川西拗陷三叠系雷口坡组顶部白云岩储层分布预测[J]. 中国石油勘探, 2015, 20(3): 30-37.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org