

普光地区千佛崖组构造 - 沉积特征研究

张珈瑞, 冯朝富, 龙永成

重庆科技大学石油与天然气工程学院, 重庆

收稿日期: 2024年5月16日; 录用日期: 2024年6月21日; 发布日期: 2024年6月30日

摘要

四川盆地侏罗系千佛崖组页岩油气勘探前景良好, 但目前对于该区域千佛崖组构造、沉积特征的研究还不够深入。为此, 利用构造地质学、沉积学原理, 依据岩心、测井、地震等资料, 通过地震属性体提取、岩心精细描述等技术手段, 精细描述了该地区区域构造特征、构造形态及断裂系统, 划分了普光千佛崖组一段(简称千一段)沉积相及平面展布特征。研究表明: 普光千佛崖组东向斜受毛坝东断层与东岳庙东断层控制, 向南西抬升, 发育北西向小断层, 多消失于千佛崖组, 有着较好的天然气保存条件。千一段整体为湖泊-三角洲沉积体, 页岩气层为半深湖沉积, 厚度25 m左右, 全区发育稳定; 致密气层为三角洲前缘沉积, 东向斜发育3条复合河道, 1号河道最为发育, 砂体厚度平均16~36 m, 页岩气和致密气之间隔层厚度为30 m左右, 有着较好的开发潜力。

关键词

千佛崖组, 四川盆地, 普光地区

Study on the Tectonic-Sedimentary Characteristics of the Qianfoya Formation in Puguang Area

Jiarui Zhang, Chaofu Feng, Yongcheng Long

School of Petroleum Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: May 16th, 2024; accepted: Jun. 21st, 2024; published: Jun. 30th, 2024

Abstract

The Jurassic Qianfoya Formation shale oil and gas exploration in the Sichuan Basin shows promising prospects. However, the current research on the structural and sedimentary characteristics of this area's Qianfoya Formation is not yet thorough. Therefore, we have utilized principles from

structural geology and sedimentology, combined with data from core samples, well logging, seismic surveys, and other sources. Through techniques such as seismic attribute extraction and detailed core description, we have provided a comprehensive depiction of the region's structural features, morphology, fracture systems, as well as delineated the sedimentary facies and spatial distribution characteristics of the Puguang Qianfoya Formation segment (referred to as Segment One). The study reveals that the Puguang Qianfoya Formation is influenced by both the Maoba East Fault and Dongyuemiao East Fault resulting in an eastward tilt with uplift towards southwest direction. Multiple small faults develop in northwest direction but most disappear within the Qianfoya Formation while exhibiting favorable conditions for natural gas preservation. The entire Segment One represents a lacustrine-deltaic depositional system where shale gas layers form approximately 25 m thick within central lake areas; whereas tight gas layers are developed at delta fronts with three compound river channels forming at eastward tilting regions-among which Channel 1 exhibits significant development with sand body thickness averaging between 16~36 m. The interlayer thickness between shale gas and tight gas is around 30 m indicating good potential for development.

Keywords

Qianfoya Formation, Sichuan Basin, Puguang Area

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

普光气田区域上位于四川盆地川东北地区，隶属于四川省达州市宣汉县达县 - 宣汉区块。达县 - 宣汉区块的地面油气地质调查工作始于二十世纪五十年代，历经半个多世纪的不断探索，于 2003 年油气勘探取得重大突破，发现了普光气田[1]-[3]。四川盆地中侏罗统千佛崖组页岩气层主要处于成熟 - 高成熟演化阶段[4]-[6]。截止目前，普光气田的勘探开发主要经历了预探、评价、开发三个阶段[7]。近年来随着勘探程度不断增大，由于普光地区千佛崖组构造、沉积特征的研究不够深入，导致该地区气藏描述无依据的问题逐渐显现[8]-[10]。鉴于此，本文开展关于构造、沉积特征的研究，为后期该地区天然气的有效开发提供支持[11]。

2. 地质背景

普光气田位于四川省宣汉县境内，宣汉县城北约 60 km。该区地形复杂，地面海拔为 300 m~900 m，相对高差可达 600 m，为中 - 低山区，总体地势偏陡(图 1)。气田区域上位于四川盆地川东断褶带东北段，介于大巴山推覆带前缘褶断带与川中平缓褶皱带之间。构造上总体呈“隆洼相间”格局，划分为 NE 向毛坝、雷音铺、铁山坡及 NW 向清溪场、双石庙、东岳寨、分水岭等七个正向构造单元和普光东向斜、普光西向斜、宣汉向斜三个负向构造单元。

通过对区域地质及钻井资料整合研究发现，普光地区陆相地层自上而发育有侏罗系蓬莱镇组、遂宁组、上沙溪庙组、下沙溪庙组、千佛崖组、自流井组和三叠系须家河组。千佛崖组与上覆沙溪庙组是以“关口砂岩”为主要划分标志，与下伏自流井组顶部灰色介壳灰岩为界划分地层(表 1)。其中千佛崖组上部为以紫红色泥岩、粉砂质泥岩为主夹灰色细砂岩、粉砂岩，下部灰色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩为主夹灰色细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩。

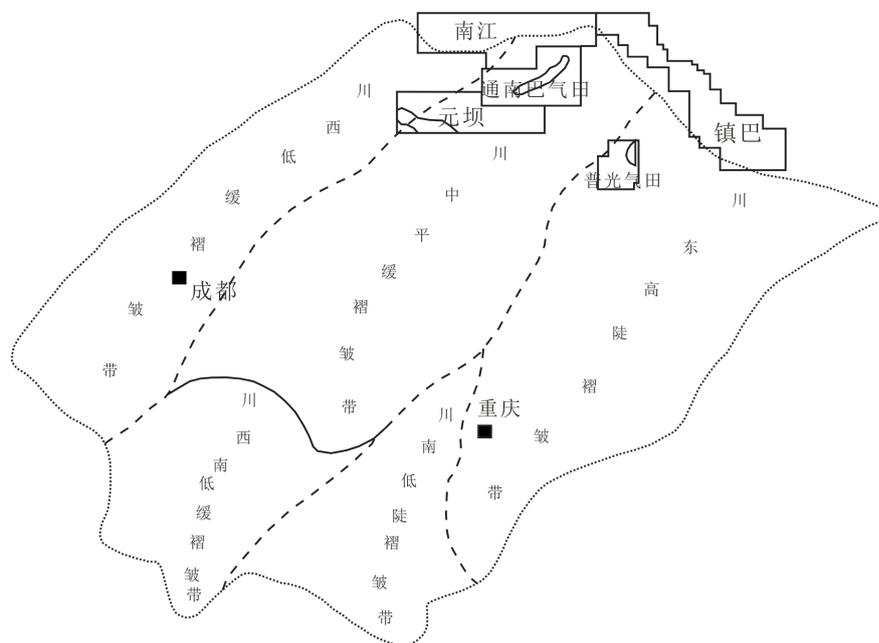


Figure 1. Geographical location map of Puguang gas field
图 1. 普光气田地理位置图

Table 1. Brief table of continental stratigraphy in Xuanhan-Daxian area
表 1. 宣汉 - 达县地区陆相地层简表

系	统	地层名称		层位代号	厚度 m	岩性岩相简述	
		组	段			岩性描述	岩相
白垩系	上统	剑门关组		K1j	680~1100	棕红色泥岩与灰白色岩屑长石石英砂岩。	浅湖与河流相
		蓬莱镇 - 遂宁组		J3p	900~1400	棕灰、棕红色泥岩与棕灰、紫色长石岩屑砂岩；下部棕红色泥岩夹细粒岩屑砂岩。	浅湖与河流相
		上沙溪庙组	J2s	200~300	棕紫色泥岩与灰绿色岩屑长石石英中、细砂岩互层，含钙质团块。	浅湖与河流相	
	中统	下沙溪庙组		J2x	280~400	棕紫色泥岩与细粒长石岩屑砂岩不等厚互层，顶有黑色页岩，底部发育厚层砂岩。	湖泊与河流相
		千佛崖组	千三段	J2q3	156~207	中上部紫红色泥岩、粉砂质泥岩，局部见有厚层箱状细砂岩；下部灰色细粉砂岩与灰色泥岩呈不等厚互层。	湖泊三角洲
			千二段	J2q2	153~170	灰色泥岩、深灰色泥岩为主，局部夹薄 - 中层状灰色细粉砂岩。	湖泊三角洲
			千一段	J2q1	126~150	下部普遍发育一套稳定的黑色碳质泥岩夹薄层泥质粉砂岩，中上部灰色厚层块状细砂岩与灰色泥岩互层沉积。	湖泊三角洲
下统	自流井组		J1z	253~464	顶有灰褐色介壳灰岩，中下部灰绿色、灰色泥岩，与灰色岩屑砂岩互层。	湖相与河流相	
三叠系	上统	须家河组		T3x	468~1030	中上部黑色页岩、泥岩夹岩屑砂岩、煤线，中下部灰白色块状细粒岩屑砂岩、深灰色灰色泥岩互层，夹煤线，底部黑色页岩。	辫状河三角洲

3. 构造特征

3.1. 区域构造特征

通过野外露头、测井、地震等资料,开展普光地区上部陆相地层构造特征的研究,结果表明,研究区相对普光气田构造比较复杂。整体上,陆相地层的构造可分为三个构造亚带,分别为东部洼陷带、挤压隆起带和西部洼陷带。东部洼陷地层整体向西南抬升,北低南高,东低西高。西部洼陷地层向隆起带方向抬升。根据走向特征,上变形层断裂体系明显可以分为两组,即:北西向断裂和北东向断裂。北东向断裂在上变形层中数量较少但规模较大,主要发育于中部的挤压隆起带及其两侧附近,形成一组大型北东向逆冲断裂带,平面上呈雁列式展布,纵向上,北东向断裂向下滑入嘉陵江组膏盐层,向上多数断至近地表或地表,是本区控带断层,对构造的形成演化起重要控制作用。北西向断裂数量较多,但断距较小,一般只有 50~200 m,断层规模不大,长度只有几公里到十几公里,其走向与本区的主构造走向近乎垂直;平面上,断面形态较为平直,断层主要分布在东岳寨一带及洼陷内,其中,东岳寨一带北西向断裂规模相对较大,向上断层多数断至近地表或地表,为晚期北西向构造的叠加作用形成。

普光探区陆相基本构造单元主要包括普光东向斜、普光西向斜、宣汉洼陷三个负向构造单元及北东向的毛坝-雷音铺构造、北西向的双石庙-清溪场构造带三个大的正向构造带(图 2)。

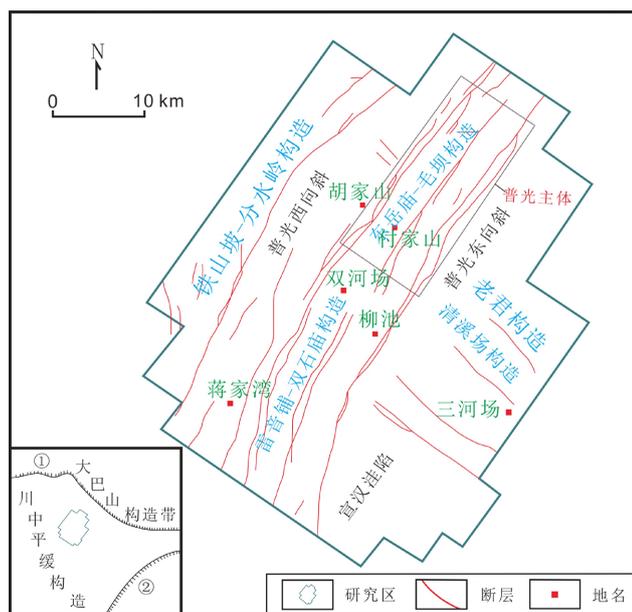


Figure 2. Regional structural map of Puguang gas field

图 2. 普光气田区域构造图

3.2. 断裂系统特征

普光东向斜构造整体为受北东向的毛坝东断层和北西向的东岳寨断层控制下的北东向展布的低缓单斜构造,具西高东低、南高北低特征,形态较平缓,整体地层倾向呈北东向,发育多组北西向小断层,断距一般为 10 m~150 m,多消失于千佛崖组,属晚喜山期 NE-SW 向挤压作用形成。探明申报区内北部受普光东向斜毛坝东断层控制,北部发育有 4 条不同方向的断层将其复杂化,主要断层有普光 3 西断层、普光 3 北断层和普光 10 断层,且普光 3 井钻遇普光 3 北断层;南部发育一组北西向断层,向上消失在千佛崖或上沙溪庙组,向下消失于须家河组,均延伸短。(图 3 和图 4)

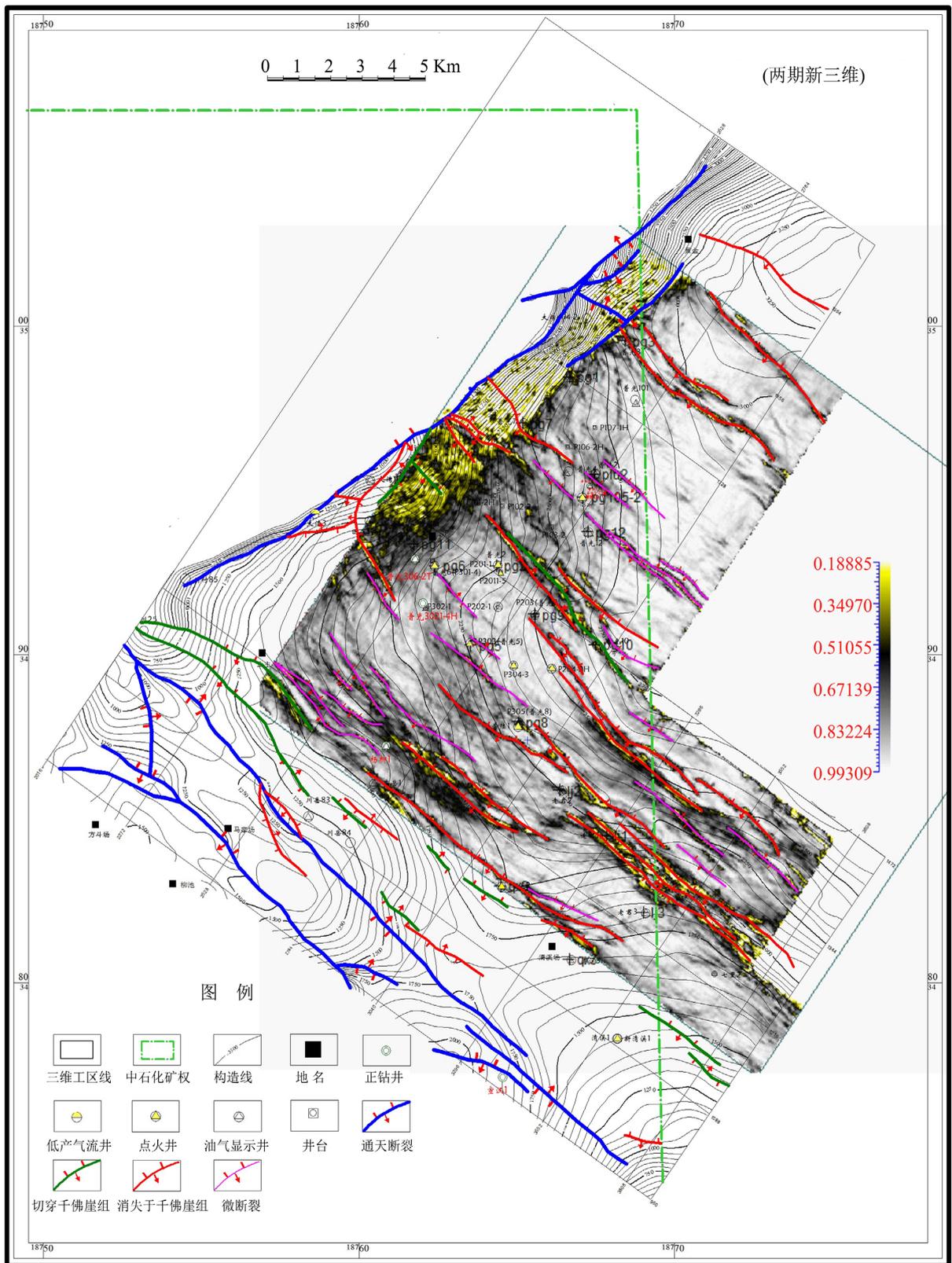


Figure 3. Structural diagram of the top of the Qianfoya Formation in the eastward direction of Puguang
图3. 普光东向斜千佛崖顶部构造图

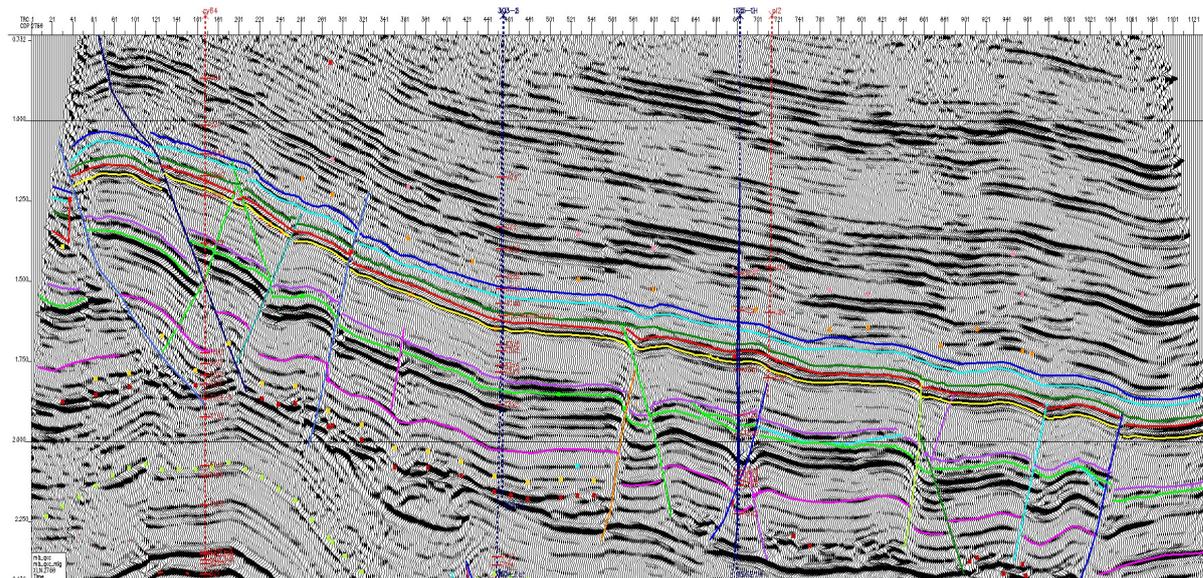


Figure 4. Seismic profile of Puguang east-oblique south-west-north-east
图 4. 普光东向斜南西 - 北东方向地震剖面图

3.3. 构造形态及断裂要素

普光东向斜是受毛坝东断层与东岳庙东断层控制的北东向展布的低缓单斜构造，偶见微幅鼻状构造，地层向南西抬升。(图 5)

普光东向斜发育 10 条主要断层，断距 > 10 m，延伸长度 > 3 km，另外发育 20 多条断距 < 10 m，延伸长度 < 2 km 的层间小断层。该区为挤压环境，断层均为逆断层。其中，控向斜的分隔断层：F1 和 F2，F1 分割东向斜与毛坝背斜，最大断距 1100 m、延伸 18.6 Km；F2 分割东向斜与东岳寨背斜和清溪场背斜，最大断距 360 m、延伸 18.6 Km；F3 断层：平行于 F1，断距 10~90 m，延伸 5.5 km；向斜内部发育多组北西向小断层：断距一般为 10 m~120 m，多消失于千佛崖组(图 6、表 2)。

毛坝东断层：为普光东向斜构造与毛坝背斜构造的分隔断层，位于毛坝背斜构造带的东翼，走向为北北东向，倾向北西，向上断至地表，向下消失于嘉陵江组嘉四~五段膏盐层内。新三维工区普光东向斜千佛崖组一段砂组顶面构造图上延伸长度为 18.6 km，断层倾角 65°~80°，最大断距为 1100 m。

东岳寨断层：为普光东向斜构造与东岳寨背斜和清溪场背斜构造的分隔断层，走向北西，倾向北东向，向上断至地表，向下消失嘉陵江组四~五段膏盐层内。新三维工区内普光东向斜千佛崖组一段砂组顶面构造图延伸长度为 18.6 km，断层倾角 60°~70°，最大断距达 360 m。

普光 3 西断层：位于普陆 3 井区探明申报区北部，走向为北东向，倾向北西，向上断至地表，向下消失于嘉陵江组嘉四~五段膏盐层内。新三维工区普陆 3 井区千佛崖组一段砂组顶面构造图上延伸长度为 5.5 km，断层倾角 40°~60°，最大断距为 90 m。

普光 3 北断层：位于普陆 3 井区探明申报区北部，走向为北西向，倾向南西，向上与普光西断层相交，向下消失于须家河组。新三维工区普陆 3 井区千佛崖组一段砂组顶面构造图上延伸长度为 4.3 km，断层倾角 30°~50°，最大断距为 60 m。

普光 10 断层：位于普陆井区探明申报区南部，走向为北西向，倾向南西，向上断至上沙溪庙，向下消失于须家河组。新三维工区普陆 3 井区千佛崖组一段砂组顶面构造图上延伸长度为 4.4 km，断层倾角 30°~50°，最大断距为 90 m。

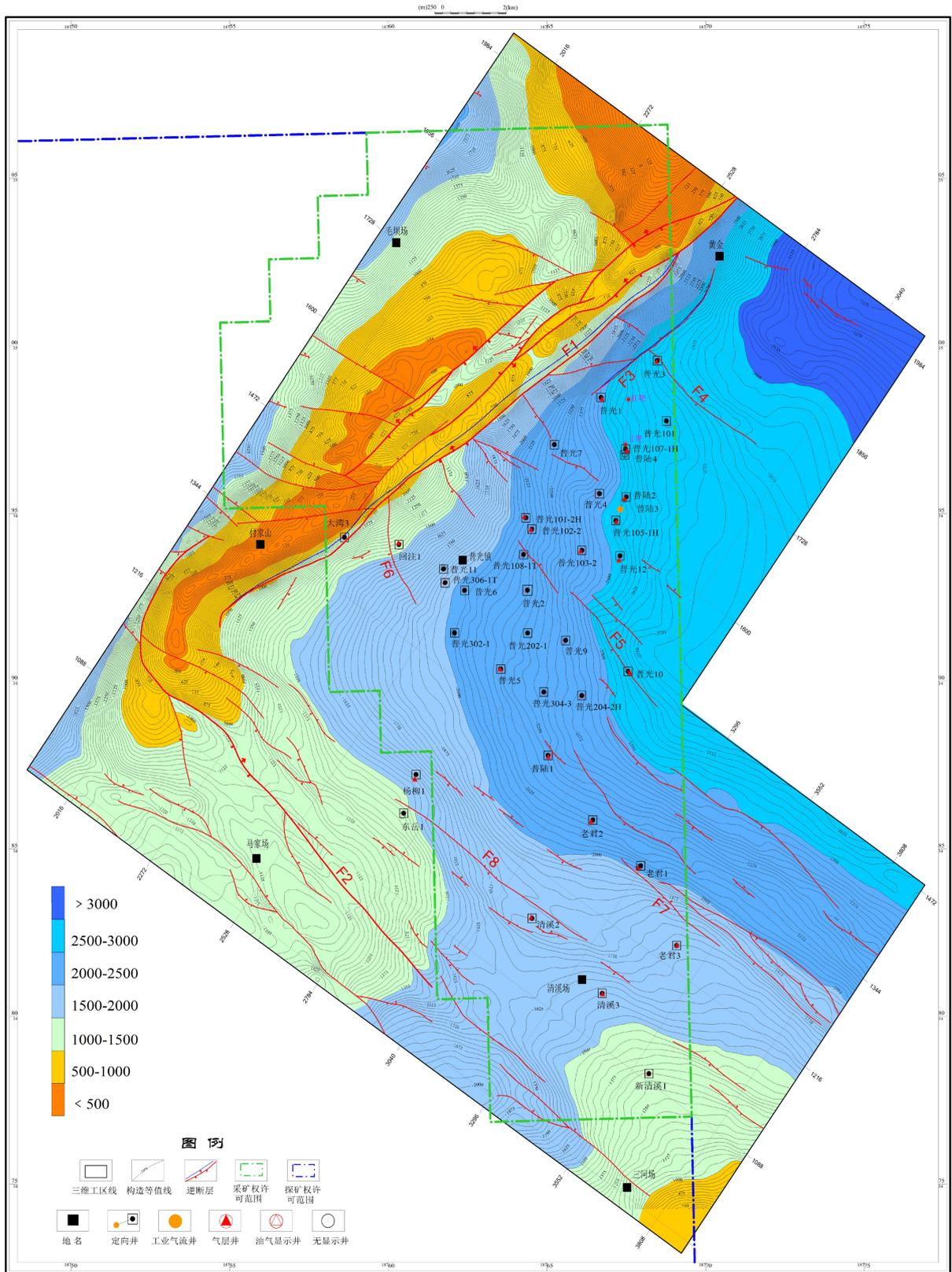


Figure 5. Structural diagram of the top surface of segment one
 图 5. 千一段顶面构造图

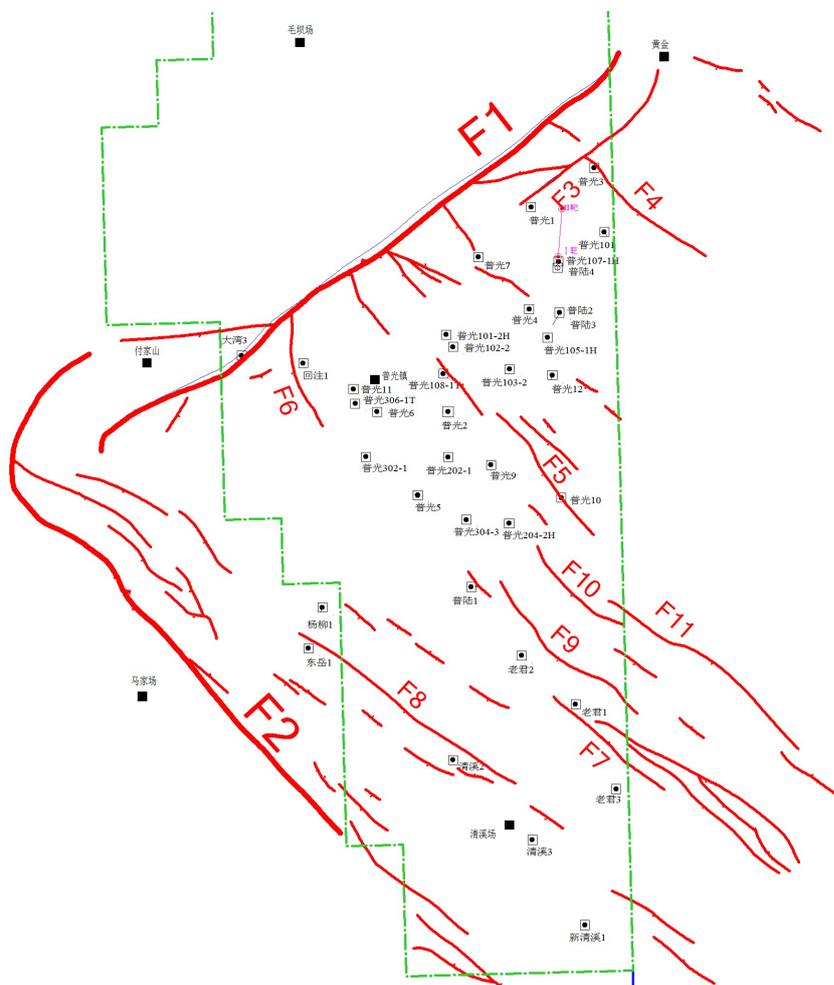


Figure 6. Distribution map of east-trending oblique faults in section one of Puguang gas field
图 6. 普光气田千一段东向斜断裂分布图

Table 2. Table of main fault elements of the east-trending oblique structure of the Qianfoya Formation in Puguang gas field
表 2. 普光气田千佛崖组东向斜构造主要断层要素表

区块	断层编号	断层名称	断层性质	断层面位	目的层断距 (m)	断层产状				钻遇井号
						走向	倾向	倾角 (°)	延伸长度 (km)	
普光东向斜	F1	毛坝东断层	逆	地表-T1j4-5	20~1100	NNE	NW	65~80	18.6	
	F2	东岳寨断层	逆	地表-T1j4-5	10~360	NW	NE	60~70	18.6	
	F3	普光 3 西断层	逆	地表-T1j4-5	10~90	NE	NW	40~60	5.5	
	F4	普光 3 北断层	逆	地表-T3x	10~20	NW	NE	30~50	4.3	普光 3
	F5	普光 10 断层	逆	J2s-T3x	10~90	MW	SW	30~50	4.4	普光 10
	F6	回注 1 南断层	逆	J2q-T1j4-5	30~120	NW	SW	20~40	3.4	
	F7	老君 1 南断层	逆	J2q-T1j4-5	30~90	NW	NE	60~80	4.1	老君 1
	F8	清溪 2 北断层	逆	J2q-T1j4-5	10~80	NW	SW	30~60	7.4	清溪 2
	F9	老君 2 北断层	逆	J2q-T1j4-5	10~50	NW	SW	20~60	5.4	
	F10	普光 10 南断层	逆	J2q-T1j4-5	10~30	NW	NE	10~30	3.3	

4. 沉积特征

利用野外露头露头、岩心、测井等资料,开展千一段沉积特征的研究。区域沉积研究表明,千佛崖组沉积时,川东北地区为湖泊-三角洲沉积体系,物源方向为北东方向,普光地区千佛崖组一段气层组整体处于三角洲前缘沉积环境,自下而上依次划分浅湖-半深湖-浅湖-三角洲沉积(图7和图8)。

4.1. 沉积相标志

4.1.1. 岩心相标志

岩性以灰色泥岩、黑色页岩、灰色细砂岩为主,自下而上由粗变细再变粗,颜色由浅变深再变浅,整体为一个完整的水进水退旋回。沉积构造主要有平行层理、水平层理、砂纹交错层理,多见碳质植物根茎碎片,泥岩撕裂屑成定向排列,整体反映湖泊、三角洲前缘水下沉积环境。(图9)

4.1.2. 测井相标志

通过测井曲线形态特征分析,研究区沉积微相划分为水下分流河道、水下分流间湾、河口坝、席状砂等四类微相,水下分流河道测井相呈钟型、箱型测井相特征,水下分流间湾呈线型,河口坝呈漏斗状,席状砂呈指状、(水下)河道漫溢呈单指状或指状互层、极薄层、顶底突变,浅湖相伽马曲线齿状近直线状,高密度、高声波时差,半深湖相低密度、高声波、电阻稍高,伽马呈高值近直线状(图10)。

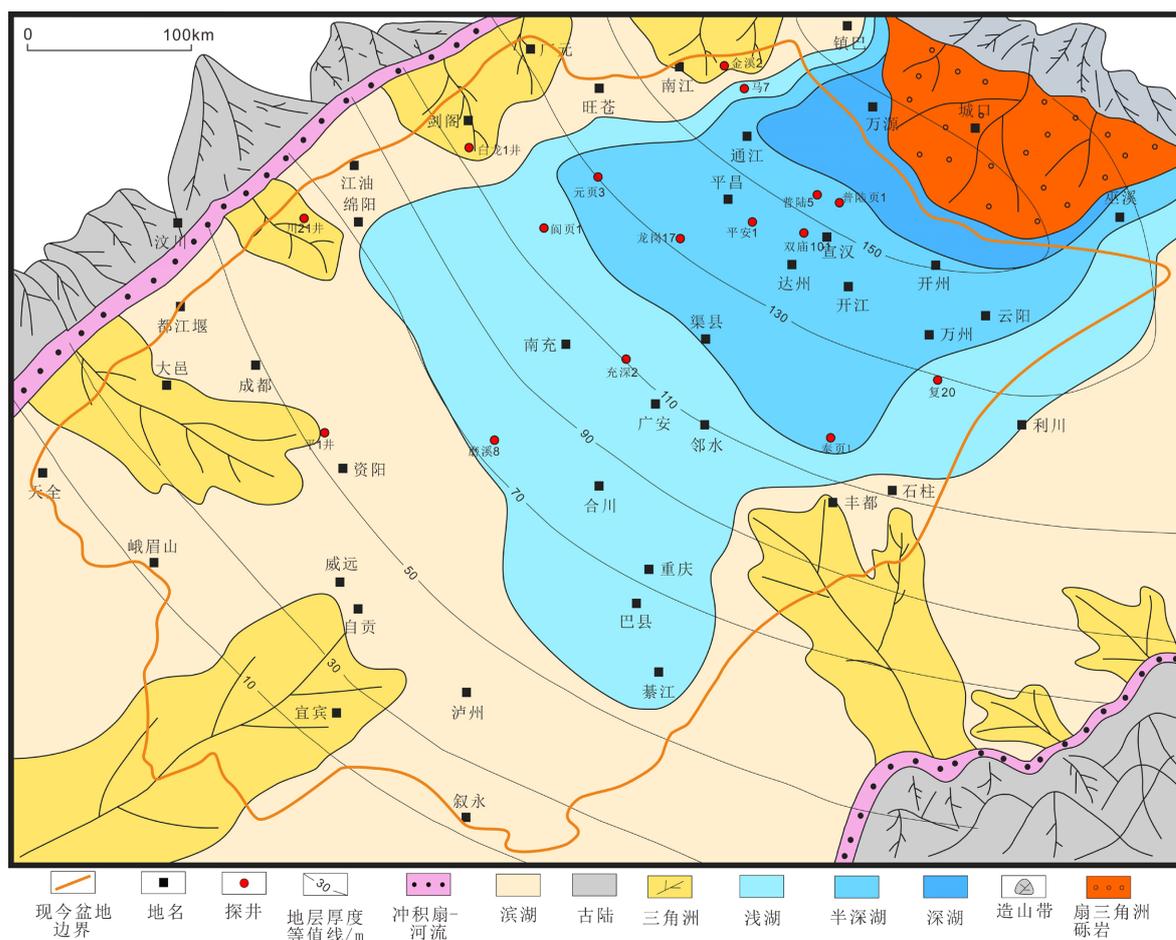


Figure 7. Sedimentary facies plan of the Jurassic section one in the Sichuan Basin

图7. 四川盆地侏罗系千一段沉积相平面图

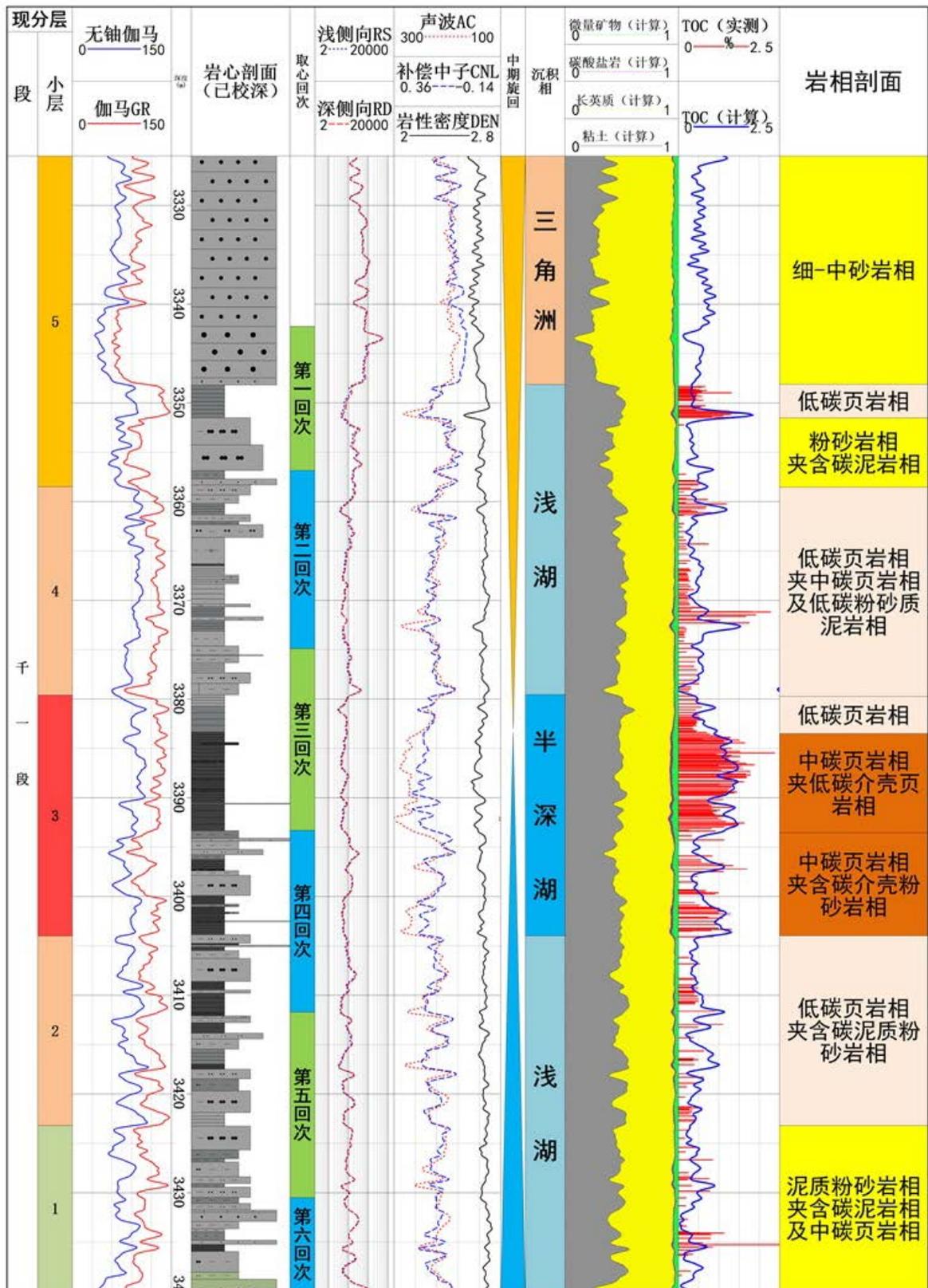
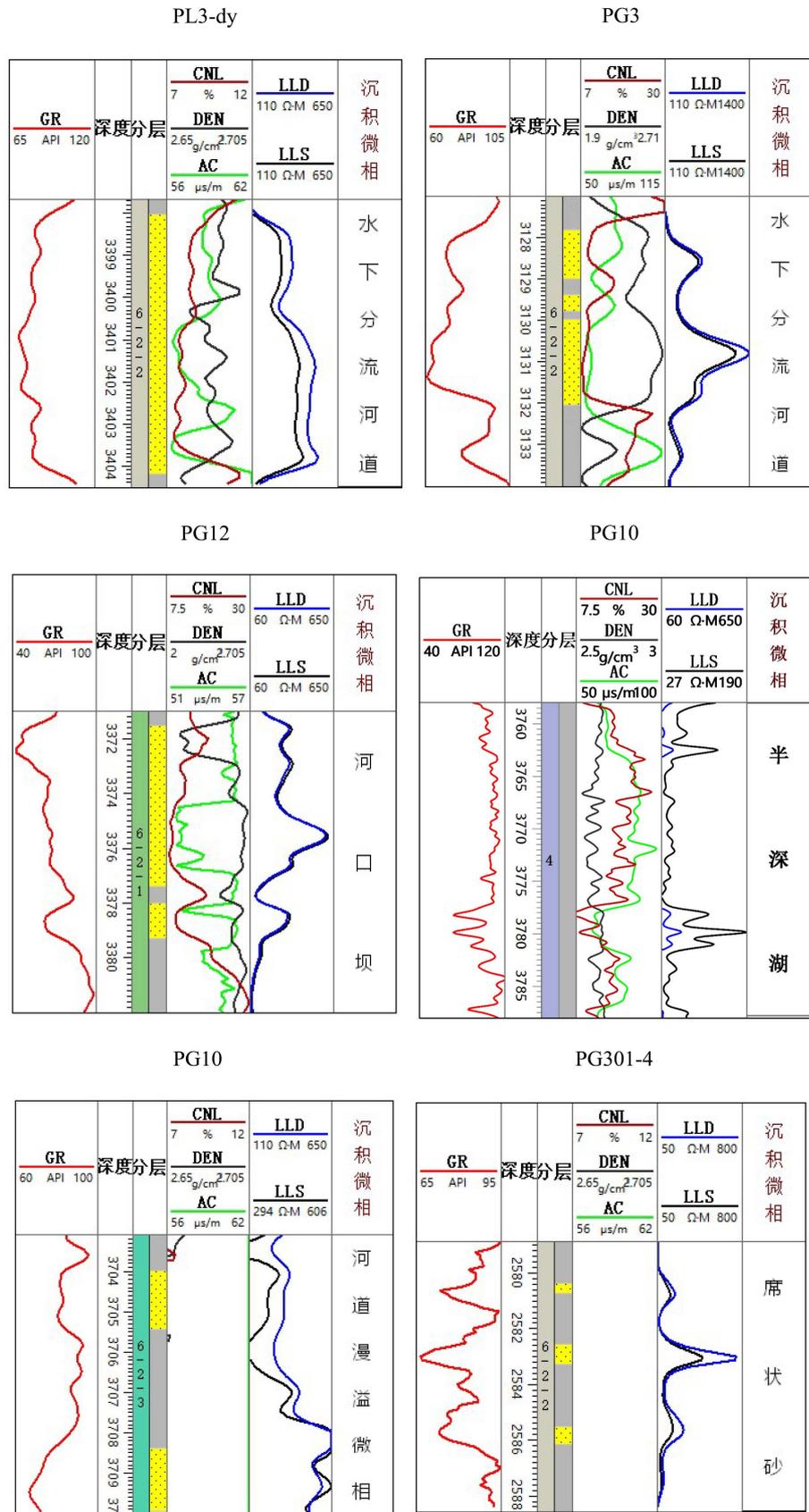


Figure 8. Comprehensive histogram of stratigraphic sedimentation in the section one of well Puluye1
 图 8. 普陆页 1 井千一段地层沉积综合柱状图



Figure 9. Core facies marker of the section one of the Puguang continental facies
图 9. 普光陆相千一段岩心相标志



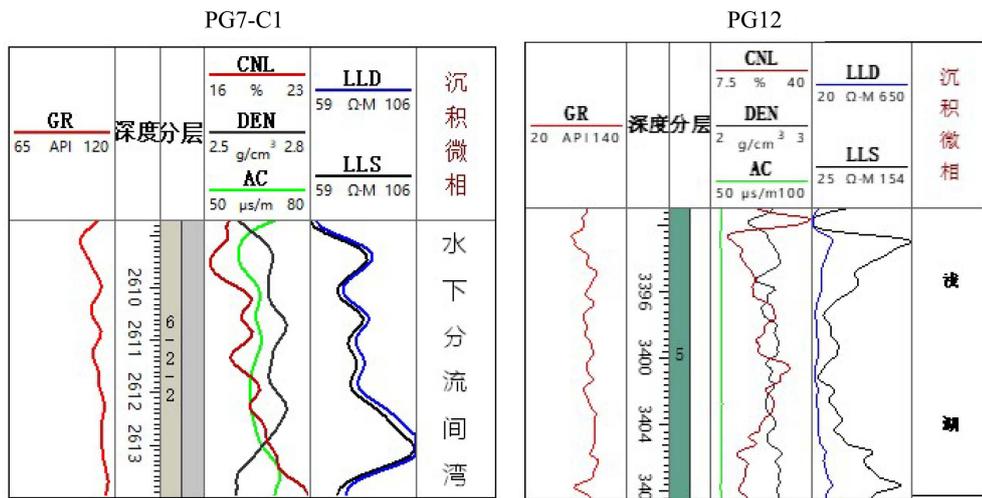


Figure 10. Logging facies marker of the section one of the Puguang continental facies
图 10. 普光陆相千一段测井相标志

4.2. 单井及连井相特征

单井相分析是沉积相分析的基础，它主要通过岩心、测井、录井及分析化验资料对研究区每个井点沉积体系及微相类型进行综合分析。千一段沉积整体为水下沉积环境，早期发育湖泊相，岩性多为深灰色泥岩、黑色页岩，沉积构造以水平构造为主，水体相对安静，后期水体变浅，发育三角洲前缘，岩性以灰色粉砂岩、细砂岩为主，平行层理、槽状交错层理发育，牵引流为主，可见植物碎屑及泥砾撕裂，受湖浪影响，水体动荡，浪成沙纹交错层理发育，砂泥互层，整体为水退陆进湖泊 - 三角洲前缘沉积。(图 11)

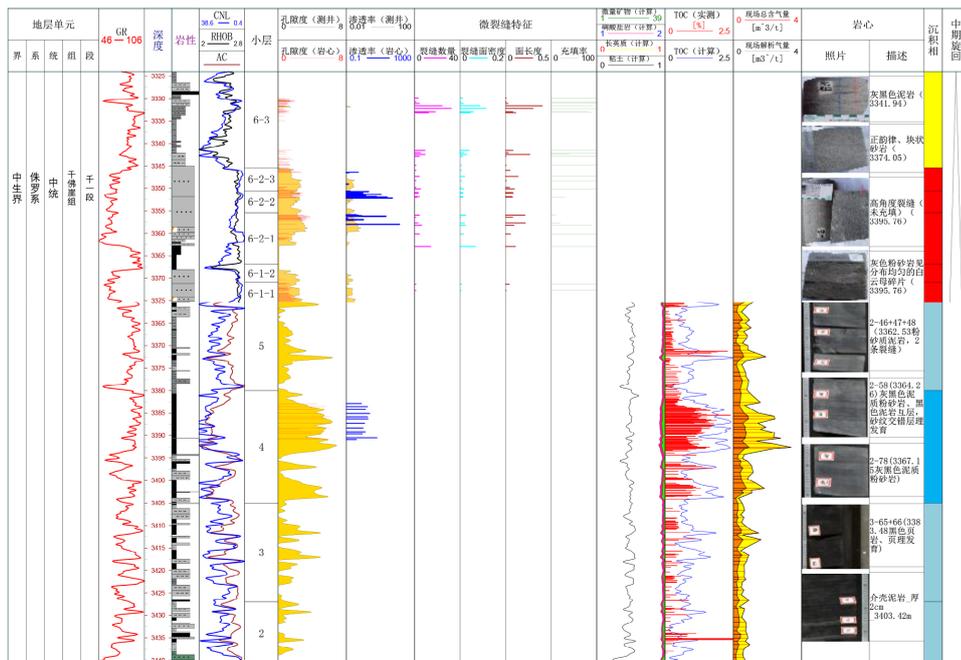


Figure 11. Single-well facies diagram of section one of Qianfoya Formation of Puguang continental facies
图 11. 普光陆相千佛崖组千一段单井相图

连井剖面相显示自西南向北东水体逐渐变浅，半深湖时期全区沉积稳定，黑色页岩发育。三角洲沉积时期西部砂体较薄，东部较厚，河道砂体更为发育。(图 12)。

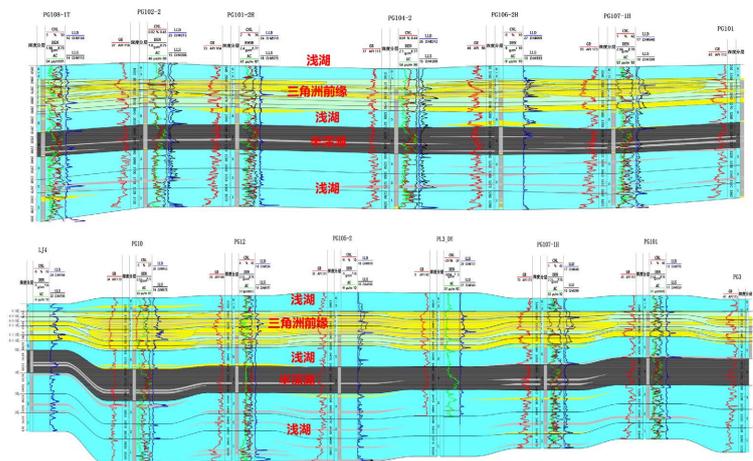


Figure 12. Profile of the connecting well facies of the eastward inclined section one of Puguang
图 12. 普光东向斜千一段连井相剖面图

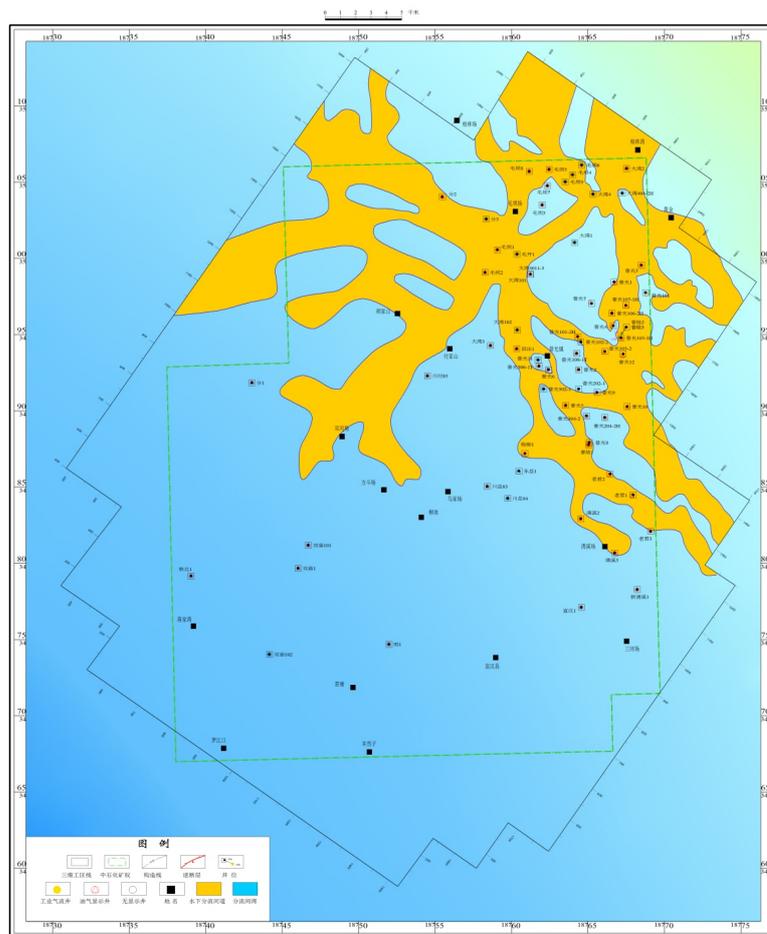


Figure 13. Layout of sedimentary microfacies in section one of the Qianfoya Formation in Puguang area
图 13. 普光地区千佛崖组一段沉积微相展布图

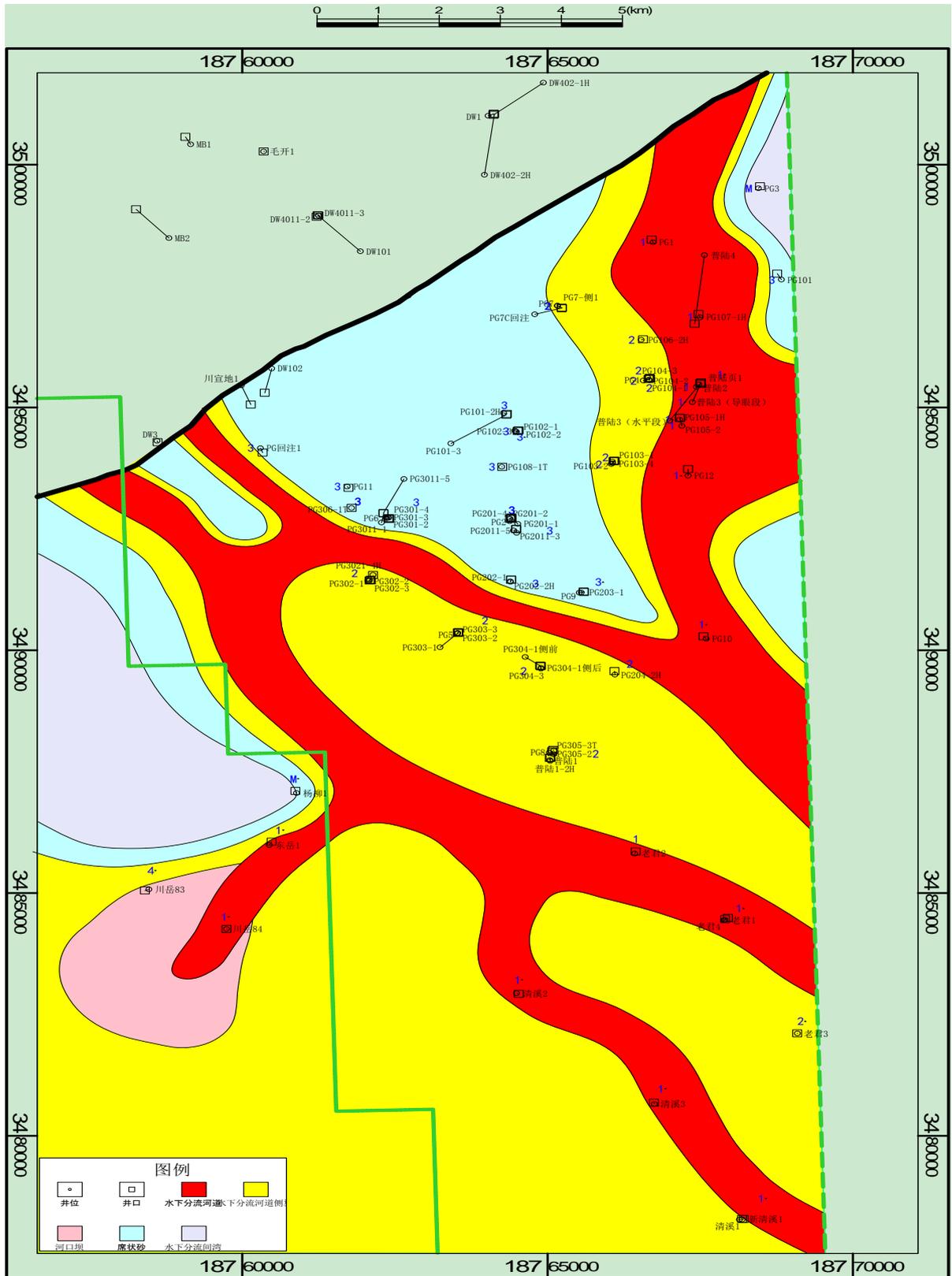


Figure 15. Microfacies diagram of QS section 5-1 small layer sedimentation

图 15. 千一段 5-1 小层沉积微相图

4.3. 沉积相平面展布

结合连井相、平面属性等确定沉积相展布特征, 千一段 5 小层发育三条复合河道, 整体呈“南北”向展布, 一号河道最为发育, 砂体厚度平均 16~36 m, 河道宽度平均 1600~2000 m (图 13)。

总体上千一段沉积时期, 湖盆自西南向北东变浅, 由湖泊相过渡到三角洲前缘, 河道自西向东发育程度变弱, 单层砂体厚度平均 4~9 m, 宽度 600~1400 m, 东部 1 号复合河道最为发育, 各期都发育河道且规模较大, 2、3 号复合河道分支较多尽在部分层系发育(图 14 和图 15)。

5. 结论

1) 普光千佛崖组东向斜受毛坝东断层与东岳庙东断层控制, 向南西抬升, 发育北西向小断层, 多消失于千佛崖组, 天然气保存条件较好。

2) 普光千一段整体为湖泊 - 三角洲沉积体, 页岩气层为半深湖沉积, 厚度 25 m 左右, 全区发育稳定。

基金项目

2023 年国家级大学生创新训练计划项目“页岩储层压裂液渗吸后的孔缝动态演化机理研究”(立项编号: 20231151019)资助。

参考文献

- [1] 郭旭升, 赵永强, 申宝剑, 魏祥峰, 卢龙飞, 潘安阳, 李宇平. 中国南方海相页岩气勘探理论: 回顾与展望[J]. 地质学报, 2022, 96(1): 172-182.
- [2] 邹才能, 赵群, 王红岩, 熊伟, 董大忠, 于荣泽. 中国海相页岩气主要特征及勘探开发主体理论与技术[J]. 天然气工业, 2022, 42(8): 1-13.
- [3] 马永生, 蔡勋育, 赵培荣. 中国页岩气勘探开发理论认识与实践[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(4): 561-574.
- [4] 何文渊, 何海清, 王玉华, 崔宝文, 蒙启安, 郭绪杰, 白雪峰, 王有智. 川东北地区平安 1 井侏罗系凉高山组页岩油重大突破及意义[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(1): 40-49.
- [5] 郭旭升, 赵永强, 张文涛, 李宇平, 魏祥峰, 申宝剑. 四川盆地元坝地区千佛崖组页岩油气富集特征与主控因素[J]. 石油实验地质, 2021, 43(5): 749-757.
- [6] 彭军, 张新怡, 许天宇, 程立雪, 张昆, 李斌. 四川盆地元坝地区千佛崖组二段细粒沉积岩岩相特征及储集性分析[J]. 石油实验地质, 2024, 46(2): 247-262.
- [7] 康华, 周勇水, 徐田武, 张云献, 姜鹏, 张莹莹, 郭金兰, 李潇, 陈帆. 普光地区千佛崖组一段流体包裹体特征及其地质意义[J]. 断块油气田, 2023, 30(6): 947-953, 990.
- [8] 李进, 王学军, 王睿, 何岩, 周凯. 普光地区千佛崖组半深湖相页岩含气性特征及影响因素[J]. 断块油气田, 2022, 29(6): 736-743.
- [9] 王学军, 周勇水, 彭君, 李进, 李红磊, 王亚明, 周凯, 陈帆. 川东北普光地区侏罗系千佛崖组页岩气重大突破[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(5): 52-61.
- [10] 马旭杰, 周文, 陈洪德, 龚灏, 邓虎成, 林良彪, 宋荣彩. 川西-川北地区千佛崖组页岩气勘探潜力与方向[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(5): 562-568.
- [11] 周德华, 焦方正, 郭旭升, 郭彤楼, 魏志红. 川东北元坝区块中下侏罗统页岩油气地质分析[J]. 石油实验地质, 2013(6): 596-600, 656.