

Study on Carboniferous Stratigraphy and Structural Characteristics of Wolonghe Gas Field, Eastern Sichuan Basin

Ping Zhou*, Yiran Wang, Ziyao Cao, Hengyuan Cui

State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan
Email: '910336519@qq.com

Received: May 10th, 2018; accepted: May 24th, 2018; published: May 31st, 2018

Abstract

The Wolonghe Gas Field is one of the most gas-producing gas fields in eastern Sichuan Basin, China. Carboniferous is an important production layer. Based on the data of drilling, core and etc., combined with the stratigraphic comparison of Carboniferous strata, the study shows that the main lithology of Carboniferous is carbonate rock, the first member of Huanglong Formation is the thinnest, and the second and third member of Huanglong Formation are thick and stable. The thickness of the Carboniferous stratigraphy gradually decreases from north to south, with a difference in thickness of more than doubled, and gradually pinch out within the Shuanglong Structure. The top structural map of Carboniferous of the Wolonghe Structure based on the 3D seismic data and the actual drill data from 69 wells shows that the top structure of Carboniferous is a narrow, long and low-steep anticline with steep west wing and slow east wing. The faults are divided into two groups: The NE-trending facies is the main faulting group, and the strike of the faults is approximately parallel to the tectonic axis. The faults ① and ② are the largest in size and run through the north and south of the structure, controlling the whole tectonic configuration; the NEE-trending facies is a minor faulting group; the strike of the faults is oblique to the tectonic axis.

Keywords

Wolonghe Gas Field, Carboniferous, Stratigraphy, 3D Seismic, Structural Characteristics

川东卧龙河气田石炭系地层构造特征研究

周平*, 王亦然, 曹子颜, 崔恒远

成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都

*第一作者。

摘要

川东卧龙河气田作为我国产气量最多的气田之一, 石炭系为其重要的产层。以钻井、岩心等资料为基础, 结合石炭系地层剖面对比, 研究得石炭系黄龙组一段厚度最薄, 黄龙组二段和三段厚度较厚且分布稳定, 石炭系地层厚度由北向南渐薄, 厚度相差达一倍以上, 并逐渐在双龙构造内尖灭。以高精度的三维地震资料和69口井的实钻资料为基础绘制的卧龙河构造石炭系顶界构造图表明, 石炭系顶界构造为一西陡东缓的狭长状低陡背斜。断层分为两组系: 北东向组系是主要断层组系, 断层走向近似平行于构造轴线, 其中的卧①、②号断层规模最大, 贯穿构造南北, 控制着石炭系构造格局; 北东东向组系为次要断层组系, 断层走向斜交于构造轴线。

关键词

卧龙河气田, 石炭系, 地层, 三维地震, 构造特征

Copyright © 2018 by authors 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

四川盆地可划分为川东、川西、川中和川南这4个油气聚集区, 其中, 川东的大中型气田分布最多[1]。上世纪70年代川东地区获勘探突破以来, 五百梯、沙罐坪、卧龙河等多个大型气田被发现, 石炭系探明储量约 $3 \times 10^{11} \text{ m}^3$ [2] [3]。川东卧龙河气田由于产层多、储层类型及气藏类型多, 此类气田一般经过数十年至上百年的勘探开发之后, 仍具可观的资源潜力[4]。卧龙河气田石炭系气藏1980年7月于卧65井首次钻探成功, 气井数共34口, 探明地质储量约 $148.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ [5]。

前人对卧龙河气田的基础地质特征[4] [6]、石炭系的构造陡带[5]、天然气成因及成藏、气藏生产开发技术[7] [8] [9]等方面已有了初步的认识, 唐泽尧和杨天泉[4] [6]认为卧龙河气田为多地质作用及强烈褶皱构造作用下形成的早熟晚聚型背斜气田, 但未有对背斜气田中断裂的研究。前人文献中纯粹的研究卧龙河气田地层构造的文献较少, 特别是缺少对卧龙河气田主力产层地层构造的研究分析。原二维地震显示卧龙河气田下二叠统底横剖面的构造形态为西翼的一条主断层切割而成的“半边”背斜构造, 为断层牵引的形态不明显[5]。本文基于高精度的三维地震资料和69口井的实钻与岩心等资料, 选择了49条3D时深剖面, 明确了卧龙河气田石炭系地层特征, 着重分析了石炭系顶界的构造形态特征, 得到了卧龙河石炭系顶界构造形态为主要受两条贯穿构造南北的、断层走向近似平行于构造轴线的逆断层切割而成的西翼陡东翼缓的低陡背斜的认识, 为卧龙河气田油气勘探与区域研究提供依据。

2. 区域地质概况

四川盆地沉积厚度约8000~12,000 m, 为我国第一大气区[10]。四川盆地为大型的含油气叠合盆地, 以含气为主[11], 位于盆地川东高陡构造区的卧龙河气田是我国至今产气最多的气田之一[12]。川东卧龙

Table 1. The rough table of drilled stratigraphy in Wolonghe Structure (according to PetroChina Southwest Oil and Gasfield Company, 2016)**表 1.** 卧龙河构造钻遇地层简表(据中国石油西南油气田分公司, 2016)

| 界 | 系 | 统(群) | 组 | 沉积相 | 主要岩性 | 厚度(m) | 地壳运动 | |
|-----|--------|------|------|-----------|---------------|----------------|-------|------|
| 中生界 | 侏罗系 | 中统 | 重庆群 | 沙溪庙 | | 紫红色泥岩夹砂岩 | 631 | |
| | | | | 凉高山 | | 灰绿及灰黑色页岩夹砂岩 | 278 | |
| | | 下统 | 自流井群 | 大安寨 | 陆相 | 灰黑色页岩夹砂岩 | 65 | 印支运动 |
| | | | | 马鞍山 | | 灰黑色页岩夹灰绿粉砂岩 | 172 | |
| | | | | 东岳庙 | | 灰黑色页岩夹灰岩 | 46 | |
| | | | 珍珠冲 | | 灰绿色砂质泥岩夹砂岩粉砂岩 | 177 | | |
| | 三叠系 | 上统 | 香溪群 | | 海陆 | 灰白色砂岩夹黑色页岩及煤 | 535.5 | |
| | | 中统 | | 雷口坡 | | 灰褐色云岩、灰岩夹石膏及泥岩 | 32 | 海西运动 |
| | | | | 嘉陵江 | | 灰褐、深灰色灰岩、云岩夹石膏 | 1038 | |
| | | 下统 | | 飞仙关 | | 紫红色泥岩、深灰色灰岩 | 608 | |
| 二叠系 | | 上统 | 乐平统 | 长兴 | | 深灰黑色灰岩、含燧石 | 44 | 东吴运动 |
| | 龙潭 | | | | 黑色页岩夹灰岩及煤 | 152 | | |
| | 下统 | 阳新统 | 茅口 | 海相 | 深灰及黑色灰岩 | 187.5 | 黔桂运动 | |
| | | 栖霞 | | 浅灰褐及黑灰色灰岩 | 133.5 | | | |
| 古生界 | 石炭系志留系 | 中统 | 梁山 | | 黑色页岩夹煤 | 12 | 加里东运动 | |
| | | | 黄龙 | | 灰褐色云岩、灰岩 | 58.5 | | |
| | | 中统 | 韩家店 | | 灰绿色砂质泥岩 | / | / | |

Table 2. The table of Carboniferous thickness changes from north to south in Wolonghe Structure**表 2.** 卧龙河构造由北向南石炭系厚度变化表

| 井号 | 卧 80 | 卧 43 | 卧 52 | 卧 60 | 卧 85 | 卧 44 | 卧 117 | 双 18 | 双 6 |
|-------|-------|-------|--------|--------|--------|------|--------|-------|--------|
| 钻厚(m) | 54.2 | 46.4 | 43.6 | 38.0 | 27.4 | 74.7 | 26.0 | 24.4 | 9.8 |
| 真厚(m) | 54.2 | 44.3 | 41.9 | 36.1 | 26.1 | 25.5 | 25.2 | 24.35 | 9.6 |
| 地层倾角 | 3°10' | 17°6' | 15°56' | 18°26' | 17°44' | 70° | 13°42' | 3°21' | 10°18' |

备注: 卧 44 井钻②号断层附近, 地层变陡。

卧龙河气田石炭系可划分为三段, 各段厚度不均, 由卧龙河石炭系厚度变化表(表 3)和石炭系地层横向剖面对比图(图 2)可知, 黄龙组一段($C_2h_1^1$)、黄龙组二段($C_2h_1^2$)和黄龙组三段($C_2h_1^3$)的厚度有一定的差异, $C_2h_1^1$ 厚度最薄, 钻厚为 2.4~8.4 米, 最薄处位于双 18 井区, 出现缺失现象, 其余区域分布较为稳定。 $C_2h_1^2$ 厚度较厚, 区域上沉积也较为稳定, 钻厚为 9~23 米, 最厚处为卧 80 井区, 其次为 65 井区, 最薄处位于卧 60—双 18 井区。 $C_2h_1^3$ 厚度最厚, 钻厚为 8.8~26.2 米, 最厚处在卧 80、卧 66 井区, 最薄处位于卧 94 井区。

4. 构造特征

本次研究利用高精度的三维地震资料和 69 口井的实钻资料, 绘制了卧龙河石炭系顶界构造图(图 3), 解决卧龙河气田石炭系顶界构造反射层的构造形态特征, 分析背斜和断裂系统的发育特征。

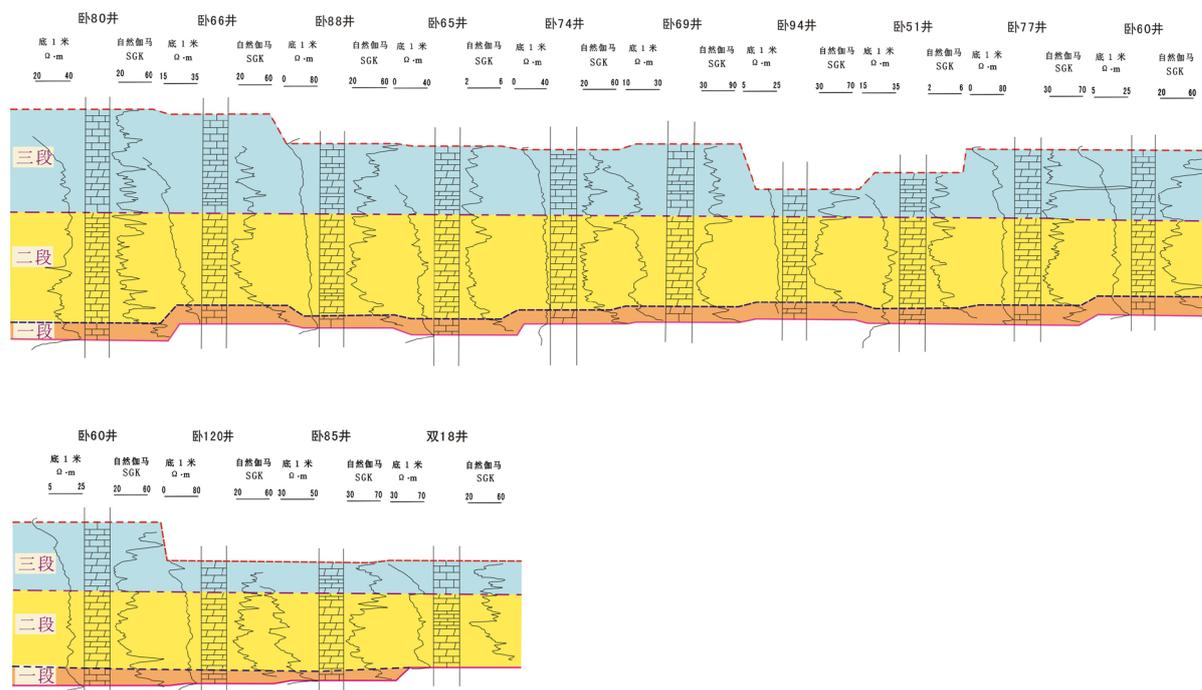


Figure 2. The map of lateral profile correlation of Carboniferous stratigraphy in Wolonghe Gas Field

图 2. 卧龙河气田石炭系地层横向剖面对比图

4.1. 背斜发育特征

卧龙河气田石炭系顶界构造为一狭长状低陡背斜，其两翼不对称，东翼较缓，西翼较陡。总貌为中部向西突出，两端向东弯曲，近似弓形，主要由卧①、②号断层控制着整个构造形态。轴线大致分为三段：南段呈南北方向，中段呈北北东方向，北段呈北东方向。在东翼构造主体上，北段构造复杂，南段形态简单，南端和双龙构造呈斜鞍相接。西翼由北向南发育多个小幅度向斜，卧西潜伏构造在鼻突的基础上，存在一个圈闭海拔为-4600 m的小幅度高点。

石炭系顶界构造高点位于中段 722 测线 278CDP 点附近(卧 74 井以南 100 m 左右)，高点海拔为-3215 m，最低圈闭线海拔为-4300 m，闭合高度为 1085 m，圈闭面积为 84.2 km²，长轴为 36.1 km，短轴为 2.8 km。如以三个压力系统来分：北段以卧⑤、⑥、⑦号断层和致密带为界，北区构造高点位于 790 测线 273CDP 点附近，高点海拔为-3380 m，最低圈闭线海拔为-4700 m，闭合高度为 1320 m，圈闭面积为 30.5 km²，长轴为 13.1 km，短轴为 4.5 km。中区构造以-4450 m 为圈闭线，闭合面积为 53.32 km²。南区与中区间以卧龙河南部致密带为分界，南区最低闭合线海拔为-4300 m，圈闭面积为 16.7 km²。全部气藏合计闭合面积为 100.52 km²。

卧龙河石炭系剖面形态大致分为三种类型：南北两端为背斜型，北段卧 75 井至卧 88 井区和南段卧 44 井为断背斜型，中段为膝状断褶型。在垂向上，二叠系以膝状断褶型为主，在单相扭压应力的作用下，构造西翼(断陡带)发育多条东倾逆断层；下三叠统以背斜型为主，背斜西翼具有明显的弯流褶皱；中、上三叠统以断垒型为主，主要发育对偶逆断层。

4.2. 断裂发育特征

三维地震资料所反映的构造细节要比二维清楚得多[17]。结合三维地震资料编制的卧龙河石炭系顶界构造图(图 3)，发现了 18 条规模不等的逆断层，未发现正断层(表 3)。其中，延伸长度大于 20 km 的断层

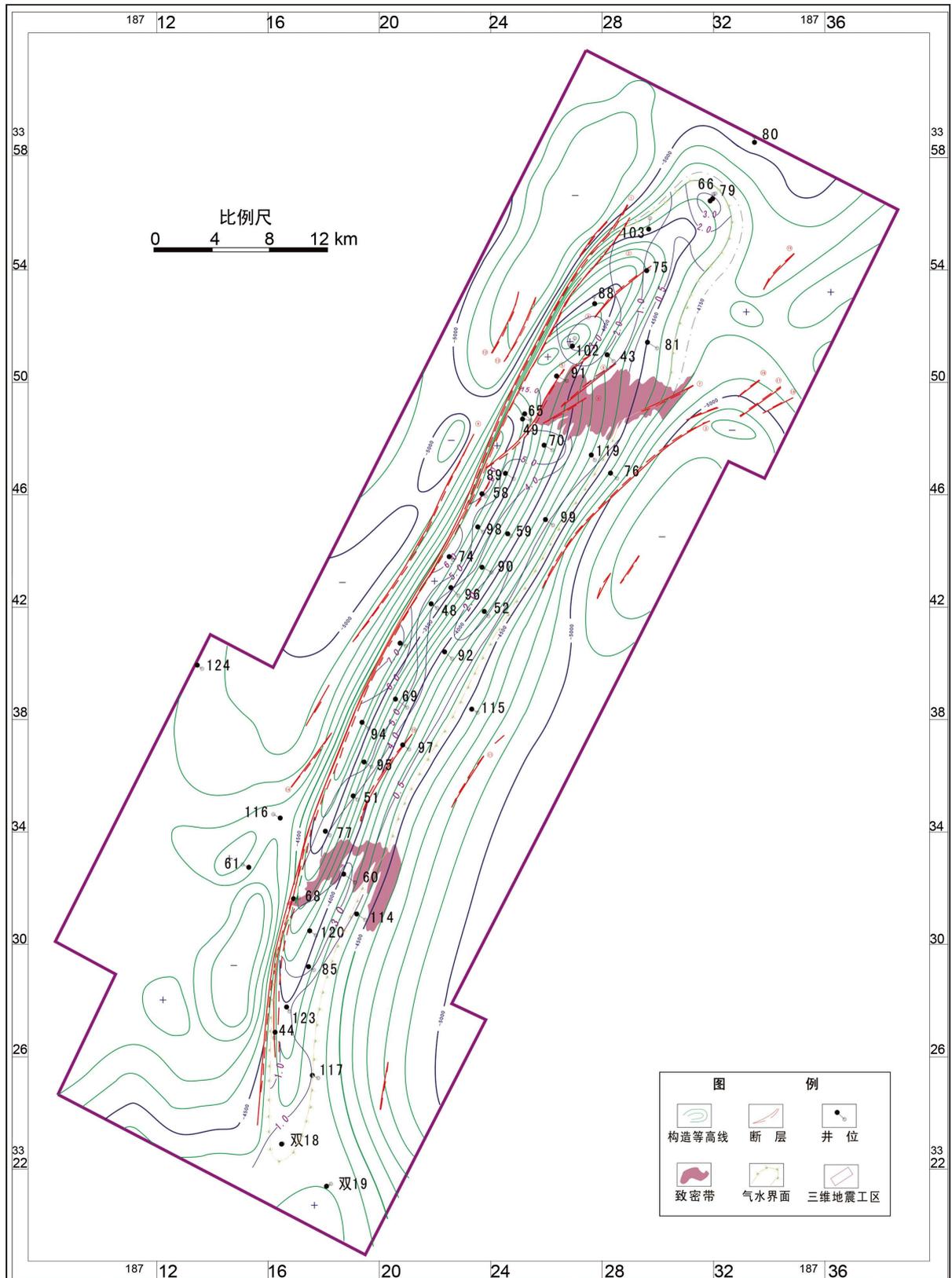


Figure 3. The top structural map of Carboniferous in Wolonghe Gas Field
 图 3. 卧龙湖构造石炭系顶界构造图

Table 3. The main fault factors of Wolonghe Structure
表 3. 卧龙河构造主要断层要素

| 断层编号 | 断层性质 | 构造部位 | 与轴线关系 | 断开层位 | 断层长度(km) | 段距(m) | 断层产状 | | |
|------|------|------|-------|---|----------|---------|---------|-------|--------|
| | | | | | | | 倾向(度) | 倾角(度) | 走向 |
| ① | 逆 | 西翼 | 平行 | T ₁ J ₂ ⁵ ~ε | 36.1 | 46~110 | 96~128 | 34~48 | SN~NE |
| ② | 逆 | 西翼 | 平行 | T ₁ J ₁ ⁵ ~S | 32.8 | 45~150 | 91~125 | 35~48 | SN~NE |
| ③ | 逆 | 北段东翼 | 平行 | P ₂ ~S | 8.7 | 50~280 | 301~327 | 32~39 | NE~NEE |
| ④ | 逆 | 中段西翼 | 平行 | P ₂ ~S | 8.6 | 40~70 | 119~127 | 37~45 | NE |
| ⑤ | 逆 | 北轴偏东 | 斜交 | T ₁ f~S | 4.5 | 80~400 | 113~140 | 35~43 | NE~NEE |
| ⑥ | 逆 | 北轴东翼 | 斜交 | T ₁ f~S | 1.9 | 120~200 | 148 | 33~40 | NEE |
| ⑦ | 逆 | 北段东翼 | 斜交 | T ₁ f~S | 2.1 | 50~100 | 156 | 50~56 | NEE |
| ⑧ | 逆 | 北端轴部 | 平行 | P ₁ ~S | 2.9 | 20~40 | 319 | 46~53 | NE |
| ⑨ | 逆 | 北段东翼 | 平行 | P ₁ ~S | 2.5 | 55~130 | 325 | 22~29 | NE |
| ⑩ | 逆 | 南段东翼 | 平行 | P ₂ ~S | 3.7 | 20~30 | 288~303 | 27~28 | NE |
| ⑪ | 逆 | 南段东翼 | 平行 | P ₂ ~S | 2.3 | 25 | 305 | 25 | NE |
| ⑫ | 逆 | 北段西翼 | 平行 | P ₂ ~S | 2.4 | 30~40 | 116 | 40~46 | NEE |
| ⑬ | 逆 | 北段西翼 | 平行 | P ₂ ~S | 2.6 | 30~40 | 118 | 38~45 | NEE |
| ⑭ | 逆 | 南段西翼 | 斜交 | P ₂ ~S | 2.5 | 40 | 127 | 37 | NEE |
| ⑮ | 逆 | 北端东翼 | 平行 | P ₁ ~S | 1.9 | 40 | 315 | 31 | NE |
| ⑯ | 逆 | 北段东翼 | 平行 | P ₁ ~S | 1.1 | 30~32 | 136 | 36~38 | NE |
| ⑰ | 逆 | 北段东翼 | 平行 | P ₂ ~S | 1.9 | 41~120 | 141 | 35~37 | NE |
| ⑱ | 逆 | 北段东翼 | 平行 | P ₁ ~S | 1.3 | 35~50 | 152 | 37~46 | NE |

有 2 条, 分别为卧①、卧②号断层, 贯穿构造南北, 为控制卧龙河气田石炭系构造格局的最重要断层。卧③、卧④和卧⑤号断层的延伸长度次之, 其余均为小断层。

根据断层横向分布特征, 将断层分为两组系: 北东向组系是主要断层组系, 断层走向一般平行或近似平行于构造轴线, 如①、②、③、④、⑨、⑩号断层; 北东东向组系为次要断层组系, 断层走向斜交于构造轴线, 如⑤、⑥、⑦、⑭号断层。在构造北段除了受东南向挤压力作用之外, 还受到来自北西向构造力的作用, 因而出现了轴向多变, 鼻突增多, 断层相对发育较多等现象。现将研究区域内主要断层分述如下:

1) 卧①号断层发育于西翼断陡带下部, 长度 36.1 km。断层走向由南北向变换为北东向, 大致平行于构造轴线。纵向上规模大, 切割地层多, 向上消失于下三叠统嘉陵江组五段, 往下消失在寒武系地层中, 断距 46~110 m, 倾角 34°~48°, 倾向 96°~128°。由北向南沿构造西翼近轴部延伸, 从而将研究区下三叠统及古生界构造分割为东西两部分: 东部由断上盘隆起而形成构造主体; 西部由断下盘牵引作用而发育西翼向斜区。

2) 卧②号断层位于卧①号断层的断上盘, 长度 32.8 km, 比①号断层规模小, 切割的地层也少, 上部延伸至下三叠统顶界, 下部消失于志留系顶部, 断距 45~150 m, 倾角 35°~48°, 倾向 91°~125°。断层上下盘均伴有多条小断层, 断面东倾, 呈迭互状分布。

3) 北段卧⑤号断层斜交于卧②号断层, 断面东倾, 断开层位上至下三叠统飞仙关组, 下至志留系, 断距 80~400 m, 倾角 35°~43°, 全长 4.5 km。该断层由于断距大, 在石炭系气藏与致密带组合起到了封闭或阻挡北区与中区的作用。

5. 结论

1) 中石炭统黄龙组可划分为三段, C_2hl^1 钻厚为 2.4~8.4 m, C_2hl^2 钻厚为 9~23 m, C_2hl^3 钻厚为 8.8~26.2 m。石炭系地层厚度由北向南渐薄, 厚度相差达一倍以上, 南至双龙 6 井仅存 9.6 m, 并逐渐在双龙构造内尖灭。

2) 卧龙河石炭系顶界构造为一狭长状低陡背斜, 西翼陡东翼缓, 南北两端为背斜型, 北段卧 75 井至卧 88 井区和南段卧 44 井为断背斜型, 中段为膝状断褶型。

3) 利用三维地震资料和实钻资料绘制的卧龙河石炭系顶界构造图发现的大小断层主要有 18 条, 主要分为两组系: 北东向组系是主要断层组系, 断层走向近似平行于构造轴线, 如①、②、③、④、⑨、⑩号断层, 其中的卧①和卧②号断层规模最大, 断层长度超过 30 km, 切割地层分别为下三叠统顶至寒武系和下三叠统顶至志留系顶, 贯穿构造南北, 控制着整个构造形态; 北东东向组系为次要断层组系, 断层走向斜交于构造轴线, 如⑤、⑥、⑦、⑭号断层, 断层长度普遍低于 5 km。

参考文献

- [1] 张水昌, 朱光有. 四川盆地海相天然气富集成藏特征与勘探潜力[J]. 石油学报, 2006, 27(5): 1-8.
- [2] 胡光灿, 谢姚祥. 中国四川盆地东部高陡构造石炭系气田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 63-130.
- [3] 刘树根, 徐国盛. 川东石炭系气藏含气系统研究[J]. 石油学报, 1997, 18(3): 13-22.
- [4] 杨天泉, 唐泽尧. 卧龙河复杂气田的地质特征及勘探开发技术[J]. 天然气工业, 1995, 15(6): 5-9.
- [5] 冯青平, 宋朝辉, 朱占美, 等. 卧龙河气田石炭系气藏构造陡带含气性评价[J]. 天然气工业, 2003, 23(4): 16-19.
- [6] 唐泽尧, 杨天泉. 卧龙河气田地质特征[J]. 天然气勘探与开发, 1994, 26(2): 1-12.
- [7] 谭险峰, 梅林. 卧龙河气田 C_2hl 气藏稳产后期管理[J]. 天然气工业, 1999, 19(6): 94-95.
- [8] 黎洪珍, 胡德芬, 徐媛, 等. 卧龙河气田石炭系气藏后期生产技术措施及效果分析[J]. 天然气工业, 2000, 20(5): 92.
- [9] 谭险峰, 何俊峰, 余洋. 固体泡排采气工艺在卧龙河气田特殊气井的应用[J]. 天然气技术, 2008, 2(5): 28-29.
- [10] 朱光有, 张水昌, 梁英波, 等. 四川盆地天然气特征及气源[J]. 地学前缘, 2006, 13(2): 234-248.
- [11] 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学: 卷二[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 91-115.
- [12] 胡安平, 陈汉林, 杨树峰, 等. 卧龙河气田天然气成因及成藏主要控制因素[J]. 石油学报, 2008, 29(5): 643-649.
- [13] 杜翔, 张廷山, 杨巍. 川东卧龙河地区长兴晚期自然伽马异常及其环境启示意义[J]. 地质科技情报, 2015, 34(6): 79-85.
- [14] 四川油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷 10)四川油气区[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989: 321-323.
- [15] 张新桂, 舒赢, 李朋武, 等. 卧龙河气田石炭系储层特征[J]. 山东化工, 2017, 46(16): 142-144.
- [16] 戴金星, 陈践发, 钟宁宁, 等. 中国大气田及其气源[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 9-16.
- [17] 孙家振, 李兰斌. 地震地质综合解释教程[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2002: 82-98.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-1724，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

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

期刊邮箱：ojs@hanspub.org