

# 济阳拗陷车西地区地层超压的展布特征 及成因机制分析

魏海泉<sup>1 2</sup>, 夏斌<sup>1 3</sup>, 侯树杰<sup>1 2</sup>, 蔡周荣<sup>3</sup>, 张永辉<sup>1 2</sup>

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国石化 胜利油田分公司, 山东 东营 257068;  
3. 中山大学 海洋学院, 广东 广州 510275)

**摘要:**通过研究区剩余压力的纵向和平面展布特征分析,认为车西地区深层普遍存在超压现象,纵向上超压一般出现在2000多米深处,往下开始时剩余压力与深度呈线性关系,随着深度增大,剩余压力值波动较大;在平面分布上,剩余压力等值线呈北东向延伸,与埕南断裂走向基本相同,超压的空间分布与生油洼陷基本一致。结合区域沉积-构造演化对超压的成因进行了分析,认为车西地区超压的形成与区域构造演化中强烈断陷阶段( $T_0-T_2$ )关系最密切,进入强烈断陷阶段后,车西地区快速沉降,引起地层不均衡压实和有机质生烃作用,是深层超压形成的主要因素。

**关键词:**车西地区;超压;展布特征;成因机制;济阳拗陷

中图分类号:TE121 文献标志码:A 文章编号:1001-1552(2012)01-0039-05

超压是沉积盆地深部常见的现象,它对油气藏的形成和分布有重要的制约作用。据不完全统计,全球超压盆地有180多个,其中160多个是富含油气的盆地,超压油气田约占全球油气田的1/3左右(杜棚等,1995)。我国莺歌海盆地、珠江口盆地、松辽盆地、渤海湾盆地、柴达木盆地等都存在不同程度的超压现象。虽然超压现象在油气盆地中常见,但对超压形成机制以及超压与油气藏的关系认识却存在多种不同观点,可归为三类:(1)不均衡压实和构造压缩引起的压力增加;(2)由温度上升(水热作用)、矿物转化释放水、烃类生成以及石油裂解成天然气引起的流体体积增加;(3)与渗流作用、水压头以及密度差引起的流体运动及烃类上浮等(郝芳,2005)。车西地区位于渤海湾盆地济阳拗陷西北部,是油气勘探的重要区带(张营革等,2008;钟延秋等,2006)。钻井资料表明该区深层普遍发育超压现象,但目前对该区超压形成的原因仍不明确,影响了深层油气的勘探进程。本文以车西地区钻井资料

为基础,通过分析超压的发育特征,并与区域构造演化背景相结合,对研究区超压的形成机制进行探讨,为该地区未来油气勘探部署提供基础参考依据。

## 1 区域地质概况

车西地区位于车镇凹陷西部,北与埕子口凸起以埕南断裂为界,南以斜坡形式过渡至义和庄和无棣凸起。盆地的沉积构造演化受北部埕南断裂活动的控制,是一个北断南超、北深南浅的箕状断陷盆地(图1),呈南北分带构造特征,自北向南划分为北部陡坡(或断阶)带、中部洼陷带和南部斜坡断裂带,东西分段,洼陷之间由鼻状构造分割(郑四兵和鲜本忠,2008;张乐等,2007;冯有良和徐秀生,2006;隋风贵和赵乐强,2006;谢锐杰等,2004;郑德顺等,2005)。车西地区钻遇的地层自下而上为太古宇、古生界、中生界和新生界。新生代地层由南向北层层超覆于埕南断面和南部义和庄凸起之上,太

收稿日期:2010-07-03;改回日期:2011-06-02

项目资助:国家重点基础研究发展计划项目(2009CB219401)资助。

第一作者简介:魏海泉(1969-),男,在职博士生,主要从事构造地质与油气成藏研究。通讯作者:蔡周荣:czhsy@qq.com

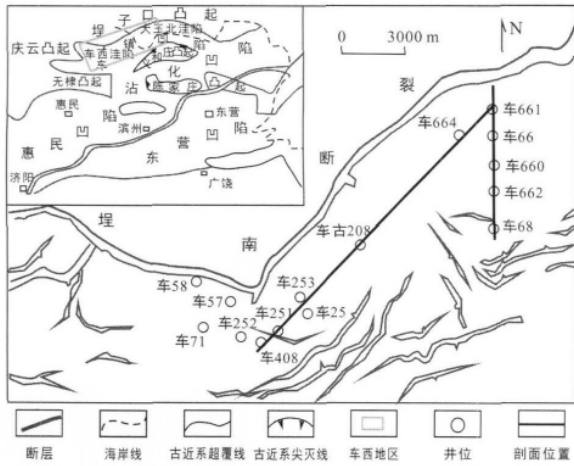


图 1 车西地区区域构造简图  
(据王来斌等 2003, 有修改)

Fig. 1 The tectonic map of the Chexi area  
(modified from Wang et al., 2003)

古宙、古生代、中生代地层构成本区的基底, 新生代地层则形成本区的沉积盖层, 由古近系、新近系和第四系组成, 古近系包括沙四段、沙三段、沙二段、沙一段和东营组(郑四兵和鲜本忠, 2008), 新近系包括馆陶组和明化镇组, 以区域性不整合超覆于古近纪及其以前地层之上。

## 2 车西地区地层超压特征

### 2.1 纵向特征

钻井资料显示, 济阳拗陷深层普遍存在超压现象(陈中红和查明, 2006; 王福勇, 2008; 曾治平等, 2009)。通过车西地区多口测井资料, 对该区剩余流体压力进行了计算和分析, 结果表明, 车西地区各单井超压一般出现于 2000 m 左右, 剩余压力随深度增加而逐渐增大, 与深度呈线性关系, 在 3000 m 至 4500 m 之间剩余压力出现波动, 但总趋势是逐渐增大的。以车西洼陷 253 井为例, 从 2000 m 至 2800 m, 地层剩余压力值在正值与负值之间摆动, 从 2800 m 至 3000 m 逐渐增大, 3000 m 至 4000 m 剩余压力值呈现反复波动, 平均值为 12 MPa 左右, 4000 m 以后逐渐增大(图 2)。剩余压力在纵向上的这种多段式变化特征暗示了该地区超压形成原因的复杂性。

在南北向连井剩余压力剖面(图 3)上可以看到, 两端(车 661 和车 68 井)出现超压的深度较小, 在 2000 m 左右, 而中间(车 66 和车 660 井)超压出现的埋深较大, 在近 3000 m 左右, 整个剩余压力连

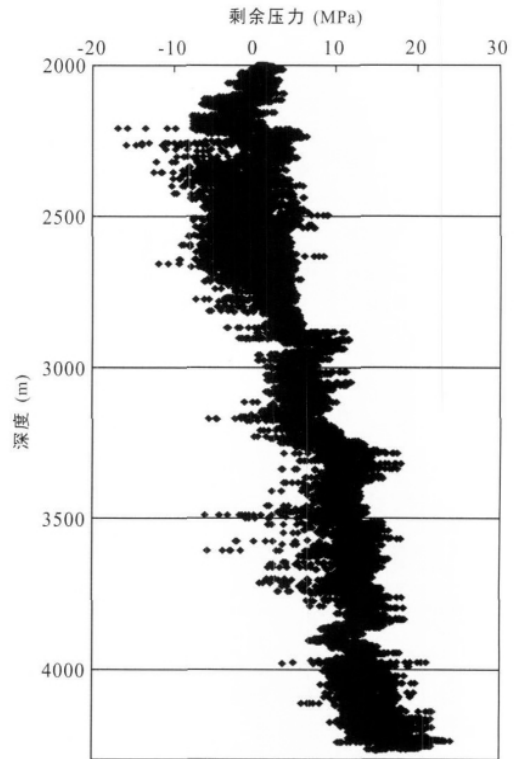


图 2 车 253 井剩余压力与深度关系图  
Fig. 2 Map showing the relationship between residual pressure and depth of well 253 in the Chexi area

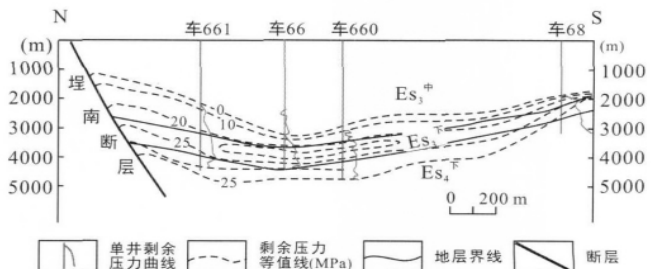


图 3 车西地区 SN 向剩余压力连井剖面图  
(剖面位置见图 1)

Fig. 3 The SN-trending well profile of residual pressure in the Chexi area (the location of profile shows in Fig. 1)

线呈透镜状分布, 中间发育一些剩余压力等值线圈闭, 是形成压力封存箱的有利部位。

在东北向连井剩余压力剖面(图 4)上可以看到, 剩余压力分布特征与南北向相似, 不过由于距离较大, 剩余压力等值线波动较大, 车 408、车 251 井等位于车西的深洼区, 而车 664、车 661 井等则位于套尔河洼陷的中心边缘, 表明在纵向分布上, 凹陷深洼区的剩余流体压力值最大, 向洼陷边缘和构造高部位, 随着泥岩的减少、砂岩的增加及断层的切割, 剩余流体压力逐渐减少直至消失。

### 2.2 平面分布特征

在平面分布特征方面,钻井资料普遍显示,超压主要分布于深层的三个层位,沙四下段、沙四上段及沙三下段。

沙四下段剩余流体压力呈两个中心向外扩散,一个是以车 66、车 53 井为中心向外逐渐减小,中间最大剩余压力超过 14 MPa;另一个中心位于车 25、车 572 和车 571 井之间,中间最大剩余压力达 20 多 MPa,车 408 附近为 16 MPa 左右,车古 208 为 10 MPa 左右。整个剩余压力等值线呈北东向延伸,与埕南断裂的走向基本相同,表明断裂对该层面剩余压力具有较强的控制作用(图 5a)。

沙四上段剩余流体压力平面分布总体上表现为剩余压力降低,但中心仍无太大变化,车 66、车 53 井中心最大剩余压力为 14 MPa 左右,车 25、车 572 和车 571 井中心为 12 MPa 左右,两个中心之间的等值线分割性明显增强,中间过渡带只有 4 MPa 左右,而剩余压力的延伸方向也发生了明显变化,从北东向转为

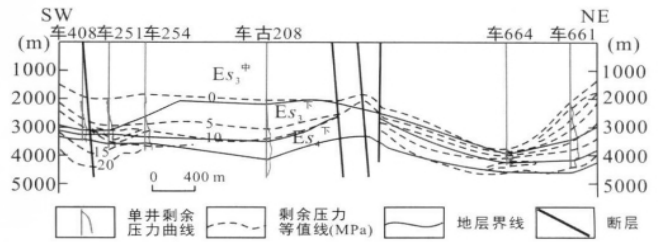


图 4 剩余压力北东向剖面图(剖面位置见图 1)

Fig. 4 The NE-trending well profile of residual pressure in the Chexi area (the location of profile shows in Fig. 1)

近南北向,靠近埕南断裂带仍表现为北东向(图 5b)。

沙三下段剩余流体压力值在洼陷深陷区最大,即车古 25 深洼带和车 66 深洼带,向两个洼陷边缘剩余压力减少;在陡坡带剩余压力等值线密集,凹陷的缓坡带剩余压力等值线稀疏,并且异常压力分布范围内存在一系列的相对低压区,与欠压实带相对应,异常高压带的空间分布与生油洼陷基本一致,分布于深洼带和斜坡前缘,和大套泥岩的发育区相吻合(图 5c)。

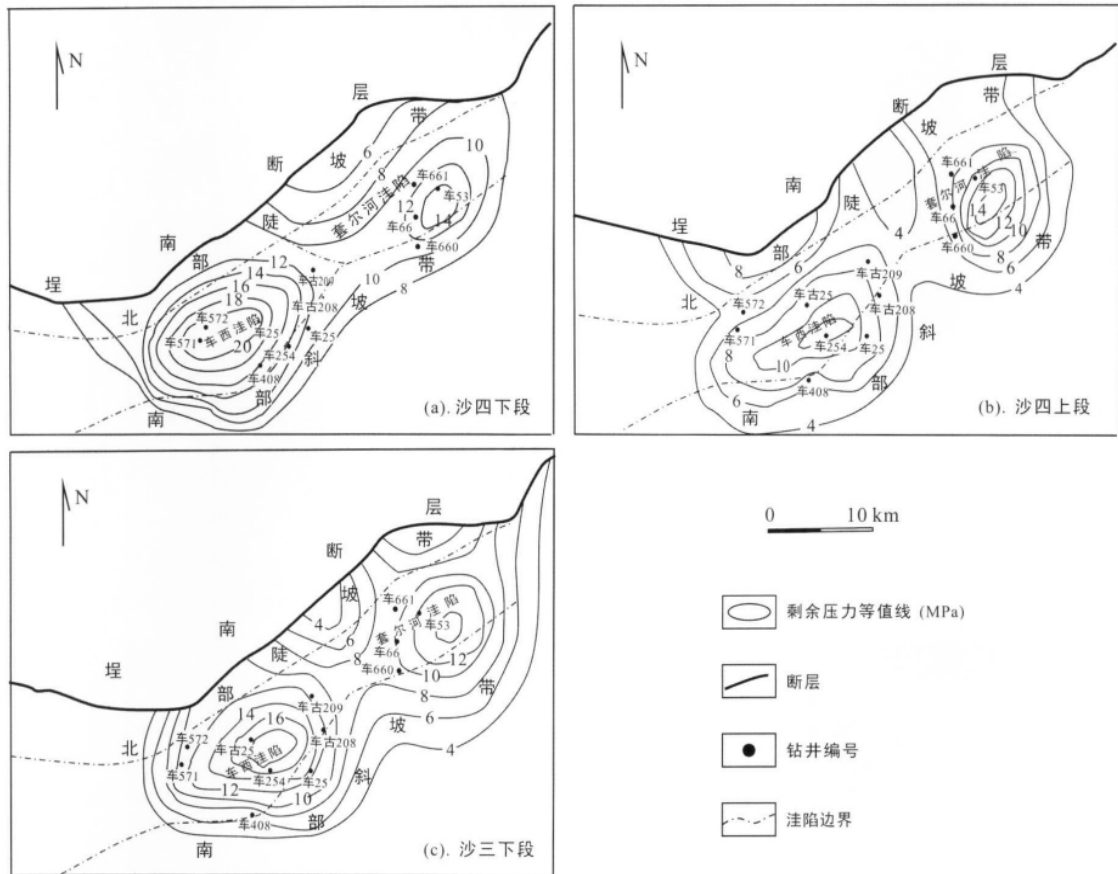


图 5 车西地区沙三下段剩余压力平面分布图

Fig. 5 The horizontal distribution map of residual pressure in the Lower Shasan Formation

### 3 车西地区地层超压的成因分析

地层异常高压的形成机理有很多种,主要有欠压实作用、烃类的生成作用、黏土矿物的成岩作用、构造作用、温度的变化、渗透作用、石膏到硬石膏的转化、浮力作用、等势面的不规则等(杜棚等,1995)。曾治平等(2009)对车西地区套尔河洼陷的超压形成机理进行了研究,认为泥岩声波时差及其对应的泥岩密度曲线表现为两段式演化,趋势线变化点在 3250 m 附近,沙三期沉积中心的沉积速率高达 450 m/Ma,可形成高幅度的异常高压,反映了不均衡压实作用对该地区地层超压的贡献。另外,套尔河洼陷地层超压分布范围与该地区生烃中心范围一致,且沙三中下段烃源岩的镜质体反射率  $R_0$  值在 0.8% ~ 1.1% 之间,说明生烃作用对套尔河洼陷地区地层超压的发育亦具有一定的贡献。由此认为,不均衡压实和生烃作用是套尔河洼陷地区地层超压发育的主要机理。

其实不均衡压实和生烃作用都与引起盆地快速沉降的构造背景有密切关系。车西地区所在的济阳坳陷是渤海湾盆地中一个中生代复合盆地,其形成演化受控于中国东部滨太平洋构造域,区域构造演化大体经历了三个阶段:中生代早期前的裂陷期沉积阶段,晚侏罗-早白垩世的拱张裂陷和晚白垩世晚期-古近纪的裂谷发育沉积阶段(断陷阶段),以及新近纪开始的坳陷期沉积阶段。车西地区快速发育的沉降便是区域构造演化第二阶段的产物,主要表现在古近系的断陷沉降,这时期(燕山晚期)是中国东部构造应力场的转换时期,中国东部由燕山主期左旋压扭构造应力场,转变为右旋张扭构造应力场,加上西太平洋板块的俯冲撤退以及印度对欧亚板块碰撞造成中国大陆深部地幔物质向东蠕散效应,中国东部发生了大规模的区域裂陷作用,盆地断

裂发育(李茹等 2006),块断运动强烈,形成断陷式快速充填型沉积(范振峰,2007),其厚度最大可达数千千米,奠定车西地区盆地形成的初始格架(图 6)。新近纪以后,车西地区进入了坳陷沉降阶段,沉积速率明显下降。

受区域构造背景影响,车西地区晚白垩世开始裂陷。初始裂陷阶段沉积了孔店庙组和沙河街组四段,主要为灰色、紫红色泥岩和白云岩、钙质泥岩夹含膏泥岩和硬石膏岩以及砂岩等;进入强烈断陷期( $T_6-T_2$ )之后,主要沉积了沙河街组的三段和二段,三段下亚段主要为棕褐色、黄褐色油页岩夹深灰色、棕褐色泥岩及砂岩等,厚度为 150 ~ 250 m;三段中亚段主要发育灰色、深灰色块状泥岩夹少量薄层粉细砂岩,厚 300 ~ 600 m;三段上亚段厚层粉细砂岩夹灰色泥岩、炭质泥岩和泥岩夹砂岩,地层厚度 200 ~ 400 m;沙二段为灰绿色泥岩与砂岩含砾砂岩互层夹碳质泥岩、紫红色、灰色泥岩与灰色砂岩、含砾砂岩互层等,地层厚 300 ~ 400 m(韩敏等 2009;张鹏等 2009;李凌 2010;徐振中等 2008)。

纵观整个车西地区沉积演化过程,以断陷期沙三段沉积速率最大,达 450 m/Ma,沙二段只有 150 m/Ma,而沙四段上亚段则小于 100 m/Ma(曾治平等 2009)。正是在上述构造演化背景影响之下,车西地区深层断陷期的快速沉积形成了不均衡压实,配合上覆泥页岩作为盖层,同样形成了重要的烃源岩层系(路智勇 2008)。另外,水热增压、成岩作用等可能对深层超压的形成起到一定的贡献,但这些都与断陷期快速拉张沉降的区域构造背景密切相关。

### 4 结论与认识

(1) 钻井资料剩余压力计算结果显示,车西地区深层普遍存在超压现象,一般从 2000 多米深度开始出现,开始时剩余压力与深度呈线性关系,随着深度增大,剩余压力值波动较大,在平面分布上,整个剩余压力等值线呈北东向延伸,与埕南断裂的走向基本相同,表明断裂对该层面剩余压力具有较强的控制作用,异常高压带的空间分布与生油洼陷基本一致。

(2) 车西地区深层超压形成原因复杂,主要有不均衡压实和有机质生烃作用,这些因素与研究区特殊的区域沉积-构造演化过程有密切关系,受区域构造演化中断陷期的快速沉降所控制。

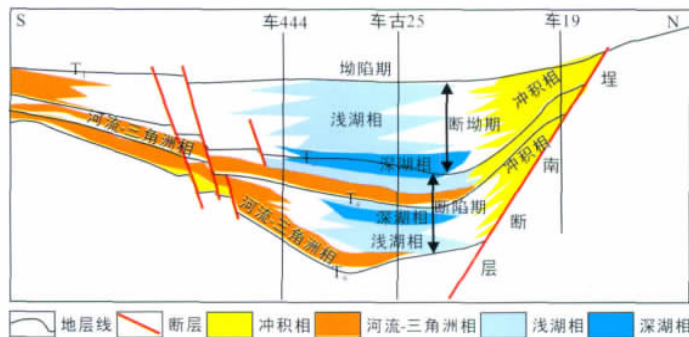


图 6 车西地区沉积充填模式图

Fig. 6 The model of sedimentary filling in the Chexi area

## 参考文献:

- 陈中红, 查明. 2006. 东营凹陷流体超压封存箱与油气运移. 沉积学报, 24(4): 608-616.
- 杜棚, 郑洪印, 焦秀琼. 1995. 异常压力与油气分布. 地学前缘, 2(3,4): 137-148.
- 范振峰. 2007. 车西洼陷北带湖底扇成因机制及其勘探意义. 新疆石油地质, 28(1): 48-50.
- 冯有良, 徐秀生. 2006. 同沉积构造坡折带对岩性油气藏富集带的控制作用——以渤海湾盆地古近系为例. 石油勘探与开发, 33(1): 22-25.
- 韩敏, 操应长, 王艳忠, 刘晖, 李永新. 2009. 车镇凹陷古近系沙四段-沙三段下亚段沉积相. 油气地质与采收率, 16(5): 16-20.
- 郝芳. 2005. 超压盆地生烃作用动力学与油气成藏机理. 北京: 科学出版社.
- 李凌. 2010. 车西洼陷沙三上亚段滑塌浊积砂体的沉积特征. 西安石油大学学报, 25(2): 22-27.
- 李茹, 梁书义, 周瑶琪, 李晓清. 2006. 济阳拗陷车西地区下古生界储层裂缝参数特征与裂缝类型. 大地构造与成矿学, 30(4): 463-469.
- 路智勇. 2008. 渤海湾盆地车镇凹陷古近系构造样式对沉积及储集层的影响. 古地学报, 10(3): 277-285.
- 隋风贵, 赵乐强. 2006. 济阳拗陷不整合结构类型及控藏作用. 大地构造与成矿学, 30(2): 161-167.
- 王福勇. 2008. 东营凹陷南坡异常高压分布与油气运移. 油气地质与采收率, 15(3): 43-45.
- 王来斌, 徐怀民, 张本琪. 2003. 车镇凹陷鼻状构造与油气富集的关系. 西安石油学院学报, 18(6): 1-5.
- 谢锐杰, 漆家福, 杨桥. 2004. 东营凹陷北带构造特征及其对沉积作用的控制. 江汉石油学院学报, 26(1): 17-19.
- 徐振中, 陈世悦, 姚军, 王永诗. 2008. 济阳拗陷中生代构造活动与沉积作用的时空关系. 大地构造与成矿学, 32(3): 317-325.
- 曾治平, 刘魁元, 宋国奇, 黄克. 2009. 车镇凹陷地层压力结构体系. 油气地质与采收率, 16(3): 18-23.
- 张乐, 姜在兴, 郑宁, 彭兴鹏. 2007. 孤南洼陷新生代构造演化特征及其对沉积的控制作用. 油气地质与采收率, 14(3): 29-33.
- 张鹏, 罗霞, 苏朝光, 张营革, 牟敏. 2009. 车西地区湖底扇沉积特征及储集物性. 断块油气田, 16(5): 17-19.
- 张营革, 苏朝光, 高秋菊, 林述喜. 2008. 济阳拗陷不同序级不整合构造特征与地层油藏. 大地构造与成矿学, 32(2): 171-178.
- 郑德顺, 吴智平, 李伟, 周瑶琪. 2005. 济阳拗陷中生代盆地转型期断裂特征及其对盆地的控制作用. 地质学报, 79(3): 386-394.
- 郑四兵, 鲜本忠. 2008. 车镇凹陷古近系层序地层格架及发育模式. 沉积与特提斯地质, 28(1): 48-54.
- 钟延秋, 李勇, 郭洪金, 钟建华. 2006. 济阳拗陷古近系同沉积背斜构造及其与油气的关系. 大地构造与成矿学, 30(1): 28-40.

## Distribution Features of Overpressure in Deep Stratigraphic Units and its Genetic Mechanism in the Chexi Area, Jiyang Depression

WEI Haiquan<sup>1,2</sup>, XIA Bin<sup>1,3</sup>, HOU Shujie<sup>1,2</sup>, CAI Zhourong<sup>3</sup> and ZHANG Yonghui<sup>1,2</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 2. Shengli Oilfield Co., Ltd, Sinopec Dongying 257068, Shandong, China; 3. School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China)

**Abstract:** Chexi area is located in northeastern Jiyang depression of Bohai Bay Basin. Based on the analysis of vertical and horizontal distribution of the residual stresses, the authors suggest that overpressure widely exists in deep strata of the Chexi area, and the overpressure appears usually at the depth of 2000 m. In vertical direction, the residual overpressure increases with increase of depth; horizontally, the contour of residual stress is NE-trending similar to that of the Chengnan Fault, and the spatial distribution of overpressure is basically consistent with the oil subsag. Combining with the analysis of regional tectonic, the authors discussed the formation mechanism of overpressure, and proposed that the formation of overpressure is closely related to the sedimentary and tectonic evolution of the strong rifting stage ( $T_6-T_2$ ). The rapid subsidence of the depression caused the imbalance compaction of strata and organic matter in the study area since it evolved into the strong rifting stage, which contributes to the complexity of the deep strata in the Chexi area.

**Keywords:** Chexi area; overpressure; distributing feature; genetic mechanism; Jiyang depression