

doi:10.3799/dqkx.2014.007

# 黔西比德—三塘盆地煤储层异常高压形成机制

吴财芳<sup>1,2</sup>, 王聪<sup>1,2</sup>, 姜玮<sup>1,2</sup>

1. 中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏徐州 221116

2. 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室, 江苏徐州 221116

**摘要:** 比德—三塘盆地含煤地层的储层压力普遍较高, 压力梯度较大, 异常高压发育。通过研究该盆地现今煤储层压力分布特点, 对煤层异常高压影响因素进行了综合分析, 阐明了其形成机制。结果表明: 构造作用是本区异常高压形成的最主要因素, 煤储层生烃作用和顶板泥岩的封闭性次之。盆地内部断裂较少, 具有良好的圈闭条件, 储层流体富集, 压力增大, 易出现超压地层。研究区煤层生烃能力强, 含气量高, 但渗透率普遍较低, 生成的烃类气体使得储层内部流体孔隙体积膨胀产生高压。同时, 超厚的顶板泥岩封闭性较好, 在沉积过程中极易产生欠压实作用, 进一步促进了异常高压的形成。

**关键词:** 比德—三塘盆地; 异常高压; 煤储层; 储层压力; 构造; 油气。

中图分类号: P554

文章编号: 1000-2383(2014)01-0073-06

收稿日期: 2013-02-26

## Abnormal High-Pressure Formation Mechanism in Coal Reservoir of Bide-Santang Basin, Western Guizhou Province

Wu Caifang<sup>1,2</sup>, Wang Cong<sup>1,2</sup>, Jiang Wei<sup>1,2</sup>

1. The School of Resource and Earth Science, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China

2. Key Laboratory of Coalbed Methane Resources & Reservoir Formation History of Ministry of Education, Xuzhou 221116, China

**Abstract:** The coal reservoir has high reservoir pressure, great pressure gradient and developmental abnormal high pressure in Bide-Santang basin. This paper mainly analyzes the influence factors of abnormal high pressure and illustrates the formation mechanism by studying the distribution characteristics of coal reservoir pressure. Results show that the tectonism is the uppermost factor to the abnormal high pressure formation, hydrocarbon generation of coal reservoir and roof mudstone sealing take second place. There are few faults, good sealed conditions and rich reservoir fluid in the interior of basin, which led to the increase of coal reservoir pressure and abnormal high pressure. The coal reservoir has strong hydrocarbon generation ability, high gas content and low permeability, and generated hydrocarbon gas makes the internal fluid pore volume of coal reservoir expanded and produce high pressure. Moreover, the extra-thick roof mudstone which easily causes undercompacted compaction in the deposition process has good sealing, and further promotes the development of the abnormal pressure.

**Key words:** Bide-Santang basin; abnormal high pressure; coal reservoir; reservoir pressure; tectonics; hydrocarbons.

异常高压形成机制一直是地质领域的研究热点 (Hunt, 1990; Hunt *et al.*, 1994; Osborne and Swarbrick, 1997; Borge, 2002; 罗晓蓉等, 2004)。常规油气储层异常压力的研究已较为成熟, 并且已提出十几种异常高压成因机制, 主要包括: 欠压实 (Dickinson, 1953; Rubey and Hubbert, 1959; Dickey and Cox, 1977; Fertl and Chilingarian, 1988)、水热增压

(Barker, 1972)、构造挤压 (李玉喜等, 2003)、矿物转变、油气生成 (郝芳等, 2002)、渗透作用 (Marine and Fritz, 1981)、较高气柱、天然气上浮、深部充满气体封闭层的分割和抬升等。煤储层异常高压先后在许多沉积盆地被发现, 例如美国的 San Juan 盆地, Powder River 盆地, Piceance 盆地的 Williams Fork 地层和 Sand Wash 盆地等。但是国内外研究者

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (No. 41272178); 国家科技重大专项项目 (No. 2011ZX05034); 国家重点基础研究发展计划“973”项目 (No. 2009CB219605); 江苏省青蓝工程项目。

**作者简介:** 吴财芳 (1976—), 男, 副教授, 博士生导师, 主要从事煤及煤层气地质研究。E-mail: caifangwu@sina.com

对含煤盆地煤层异常高压一直鲜有研究,对煤层异常高压的形成机制更是甚少涉及。

比德—三塘盆地位于贵州省西部,是织纳煤田的主体部分。含煤地层为上二叠统龙潭组和长兴组,埋深小于 2 000 m。地层厚度约 300~450 m,发育煤层 25~57 层,煤层总厚 20~40 m,由南西北东方向,厚度逐渐变薄(徐彬彬和何明德,2002)。在实际煤田地质勘探过程中,盆地中某些地区煤层出现了探煤钻孔喷孔现象,表现出异常高压煤层特征。例如,阿弓向斜有数口探煤钻孔发生煤层气井喷,其中大冲头井田 2051 孔 8 d 喷出煤层气 56 000 m<sup>3</sup>,强烈井喷期过后,煤层气溢出稳定,时间长达 1 a 以上,溢出煤层气约 100 万 m<sup>3</sup>;位于三塘向斜与阿公向斜边缘的 2003 孔,从 1981 年 6 月至 1982 年 2 月连续喷气,最高日喷煤层气 1 210 m<sup>3</sup>;3202 孔从 1980 年 5 月喷至 1981 年 1 月,最高日喷煤层气 16 100 m<sup>3</sup>;织金文家坝 1003 孔、1036 孔和 1059 孔,最大日喷煤层气量达 1 290 m<sup>3</sup>/d。

鉴于上述原因,本文以黔西织纳煤田比德—三塘盆地煤储层为研究对象,在查清盆地地质特征、分析现阶段煤盆地储层压力分布特点的基础上,对研

究区煤储层异常压力形成机制进行了探讨,以期为拓展该地区的煤炭、煤层气勘探开发工作提供理论依据。

## 1 盆地地质特征及异常高压分布特点

比德—三塘盆地是一个复式向斜残留盆地,由比德向斜、加夏背斜、水公河向斜、白泥菁向斜、三塘向斜、阿弓向斜、珠藏向斜等构成。西缘由新寨背斜与六盘水煤田相邻,北部与毕节 NE 向构造带相邻,东南缘外为黔南断陷。在构造上,该盆地位于上扬子陆块黔北隆起遵义断拱的西南部,主要发育 NW 向和 NE 向 2 组构造线(图 1)(杨兆彪,2011)。前者以比德向斜、水公河向斜为代表,主要为隔挡式褶皱;后者以三塘向斜、阿弓向斜、珠藏向斜为代表,主要为短轴式褶皱。NW 向构造形成时期早于 NE 向构造(桂宝林等,2001;朱炎铭等,2008;金军和唐显贵,2010)。盆地中 NE 向走滑断裂发育,常造成含煤地层及构造线错移。

整个盆地中含煤地层的储层压力普遍较高,储

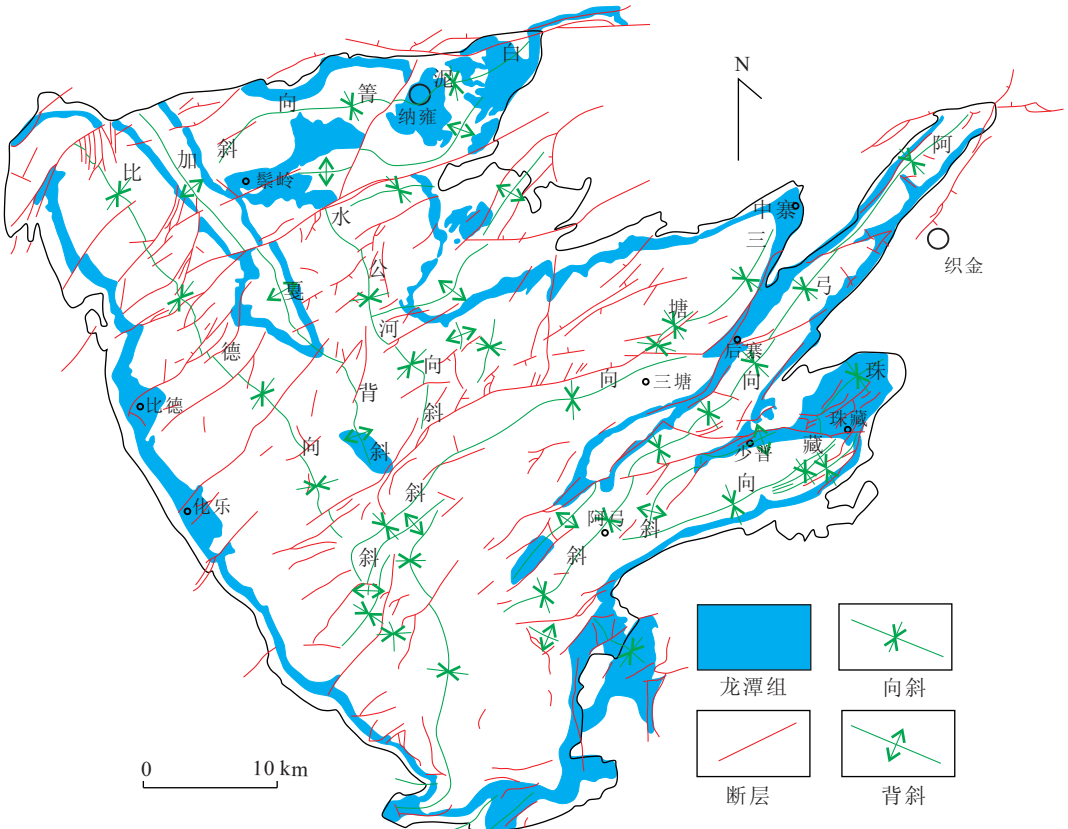


图 1 比德—三塘盆地构造

Fig.1 Tectonic outline of Bide-Santang basin

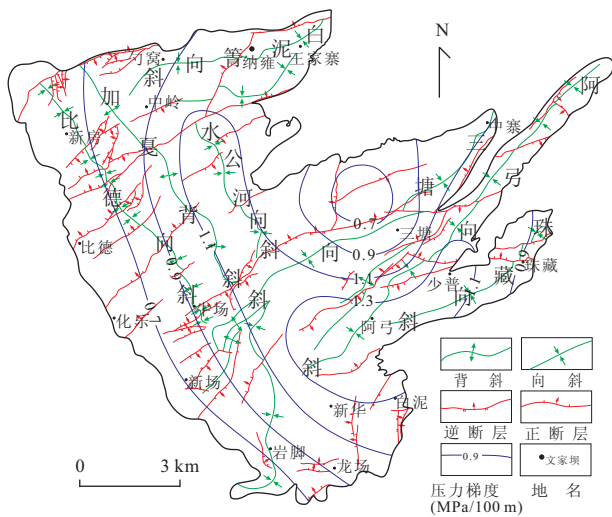


图2 比德—三塘盆地煤层储层压力梯度分布(单位: MPa/100 m)

Fig.2 Coal reservoir pressure gradient in Bide-Santang basin

层压力梯度较大,变化范围为 0.68~1.55 MPa/100 m(图2)。横向展布上与盆地瓦斯压力分布情况相似,以正常—异常高压储层为主,表明比德—三塘盆地中煤储层异常压力系统主要以煤层瓦斯压力为主,而水压则起到了一定的辅助作用。盆地中部的储层压力梯度最高,局部地区大于 1.3 MPa/100 m。异常高压煤层主要分布在水公河向斜、阿弓向斜、以及珠藏向斜的大部分区域,低异常压力煤层也有分布,但仅在盆地西部的比德向斜、东北部的三塘向斜出现。

## 2 盆地异常高压形成机制

### 2.1 煤储层顶板泥岩欠压实作用

欠均衡压实作用具有上覆沉积物厚度巨大、有一定厚度的泥质岩层并且形成砂泥岩互层的特点(李刚毅,2009)。当泥岩厚度大于 30 m 时,上覆沉积物的堆积速度较快,就会造成孔隙流体排出不畅,出现“欠压实”现象,随着上覆沉积物的继续积累,就出现了异常高压(李仲东等,2004)。

研究区煤层顶板主要是泥质岩层,厚度巨大,一般超过 40 m 左右,最厚处甚至达到百米,具有很强的封闭性。煤层顶底板泥质岩层孔隙度较高(表1),尤其是泥岩层的孔隙度明显高于其他岩层。其中岩5、岩6、岩7孔隙度相差不是很大,变化范围 5.54%~5.91%。但是与煤层直接相邻的泥岩层孔隙度却明显降低到 3%左右,如岩1、岩2、岩8。且与其

他泥岩层相比(岩5、岩6、岩7),煤层顶底板岩样大孔隙数量明显减少,累计孔容及总表面积降低,如岩7样累计孔容  $25.9 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$ ,明显高于岩8样的  $13.8 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$ 。这种现象使得煤层顶底板及其上覆岩层在沉积埋藏过程中极易产生欠压实作用,造成异常高压。

### 2.2 构造作用

构造作用对沉积盆地煤储层出现异常压力系统具有重要影响,尤其是存在较大水平挤压应力的背景下,区域性的抬升、隆起是异常压力形成的重要因素(李仲东等,2004)。

比德—三塘盆地是织纳煤田的主要组成部分,属于三级构造单元上扬子大陆块黔北部隆起的遵义断拱西南部分,同时也是黔中隆起带的西段部分,在盆地内主要发育 NW 走向、NE 走向两组构造带(图3)。

织纳煤田内,相对非常发育的 NE 走向滑断裂造成了含煤地层且构造线发生错移,使研究区内出现了紫云—垭都断裂、潘家庄断裂以及黔中断裂,并且这三大断裂围成了一个三角形块体(乐光禹等,1994),而比德—三塘盆地恰恰处于这个三角形块体内部,且盆地内诸多向斜轴方向与这个三角形块体的 3 边走向基本一致。在三角形块体联合应力场的 3 个顶角的地方,应力作用集中,强度作用较大,使得断裂非常发育,为煤储层中的流体活动提供了非常有利的空间。如果断裂断距较大,就可能形成开放性空间,使得储层中的流体外溢,大大降低储层压力,出现欠压实状态地层,如盆地西南部的黑塘、化乐勘探区。而在这个三角形块体内部则应力作用相对较弱,断裂较少(杨武年,1996)。这就形成了比较好的圈闭,有利于储层中的流体富集,使得煤储层压力增大,甚至出现超压地层,如盆地内的阿弓向斜、珠藏向斜以及五轮山、补作、开田冲等勘探区。

盆地内的褶皱主要形成于早燕山期—晚燕山期,除西部沿紫云—垭都深断裂有加夏背斜、水公河向斜等少数北西向褶皱外,区内的绝大部分范围为一系列北东—南西向的复式背、向斜展布,均属于纵弯褶皱。其中阿弓向斜西北翼地层局部倒转,位于向斜轴部的文家坝勘探区形态宽缓,煤层深埋,煤系地层保存完整,封闭性较好,出现了异常高压情况。珠藏向斜轴部以北扬起,中部被 F2 断层切割,两翼次级构造发育,向斜北部含煤地层大部分被剥蚀,煤层封闭性比较差,局部出现了异常低压情况;而南段含煤地层则保存较好,煤储层的封闭性较强,如肥田三号勘探区,储层压力及压力梯度高,局部表现出了超

表 1 研究区 1001 孔煤层顶板岩样孔隙结构情况(压汞法)

Table 1 Pore structure of rock samples from well 1001 in the study area(mercury immersion method)

编号	煤层位置	顶板岩性	埋深(m)	总孔容( $10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$ )	总表面积( $\text{m}^2/\text{g}$ )	中值孔径(nm)		平均孔径(nm)	退汞率(%)	孔隙度(%)
						孔容法	面积法			
岩 1	3 煤顶	炭质泥岩	115.68	0.016 2	5.638	19.2	5.0	11.5	25.98	3.20
岩 2	7 煤顶	泥质粉砂岩	158.70	0.017 6	7.920	10.1	6.4	8.9	20.40	3.78
岩 3		石灰岩	160.45	0.003 9	0.003	47 490.0	668.8	5 205.7	25.64	0.89
岩 4		菱铁岩	168.00	0.008 9	2.761	13.6	9.5	12.9	9.45	2.17
岩 5		砂质泥岩	210.34	0.027 7	8.955	15.8	7.2	12.4	23.05	5.56
岩 6		泥岩	253.31	0.028 5	10.459	13.0	6.9	10.9	21.19	5.91
岩 7		泥岩	300.51	0.025 9	9.751	12.5	7.1	10.6	21.31	5.54
岩 8	17 煤顶	泥岩	350.39	0.013 8	3.542	32.0	6.8	15.6	8.40	3.00
岩 9		粉砂岩	361.09	0.014 0	5.008	12.9	7.2	11.2	13.85	3.59
岩 10		细砂岩	367.71	0.012 2	1.112	834.0	12.7	43.7	5.19	2.54

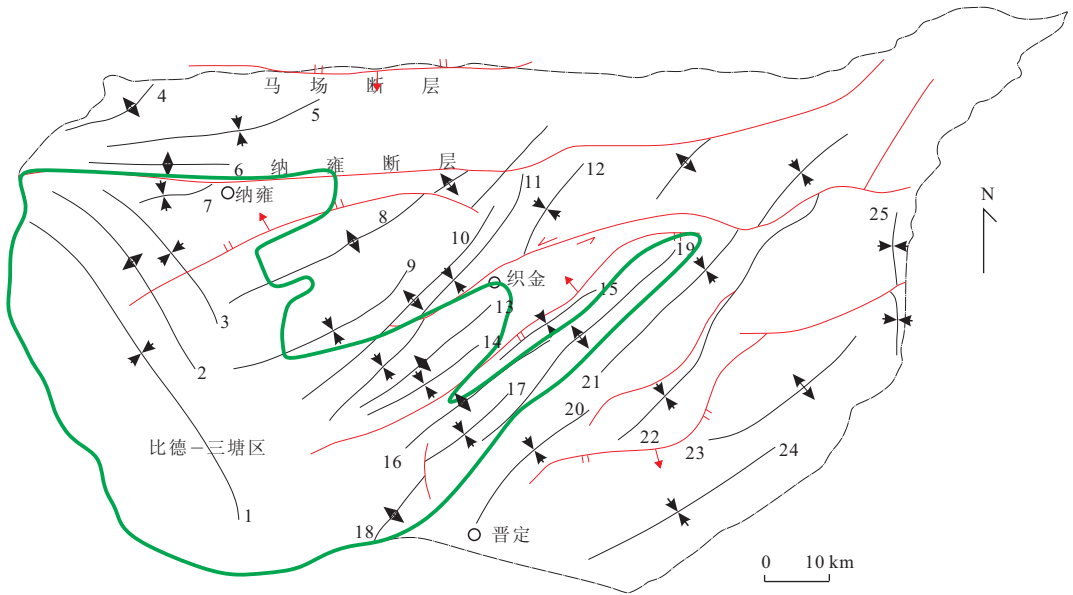


图 3 织纳煤田构造纲要

Fig.3 Regional structures in Zhina coalfield

1.比德向斜;2.加夏背斜;3.水公河向斜;4.五指山背斜;5.以支塘向斜;6.勺坐背斜;7.白泥箐向斜;8.张维背斜;9.三塘向斜;10.后寨背斜;11.阿弓向斜;12.关寨向斜;13.地贵背斜;14.珠藏向斜;15.克窝向斜;16.熊家场背斜;17.白果寨向斜;18.梅子关背斜;19.桂果背斜;20.补郎向斜;21.牛场向斜;22.大猫场向斜;23.齐伯房背斜;24.蔡官向斜

压状态,三塘向斜中部向斜轴抬升,出露石炭系地层,轴部呈“凸”字形,东南翼地层倾角陡,局部倒转,西北翼地层倾角缓,发育次一级褶皱及伴生断裂,对含煤地层破坏亦较大.由于中段向斜轴部抬升,煤系地层完全剥蚀,南北呈现织金板桥—大方新场构造盆地和织金中寨至纳雍张维—开田冲构造盆地.向斜西北翼的张维—开田冲构造盆地地层保存较好,储层压力要明显高于轴部及南部盆地.

### 2.3 生烃作用

生烃作用是地层出现异常高压的重要因素之一,煤层在热演化阶段中,有机质随着温度的升高不断热解生成烃类气体.若煤储层渗透率比较低或者

处于比较封闭的存储条件下,生成的烃类气体就会造成储层内部流体孔隙体积膨胀,导致明显的煤储层异常高压.

比德—三塘盆地煤级普遍较高,大部分地区为无烟煤,镜质组反射率一般在 3% 左右,高的煤变质程度使得煤层中甲烷大量的生成、赋存(表 2).但是整个盆地的渗透率普遍较低(表 3),大部分地区的煤层属于低渗透率煤层,生成的烃类气体造成储层内部流体孔隙体积膨胀,呈现异常高压.因此,盆地出现异常高压的向斜勘探区中,煤层的含气量均较高,而储层压力较低的勘探区中煤层含气量也普遍较低,如水公河向斜和加夏背斜的五轮山、补作勘探

表2 比德—三塘盆地煤层不同勘探区实验数据

Table 2 Statical results of CBM components content from blocks of study area

向斜名称	勘探区	煤层平均含气量(m <sup>3</sup> /t)	向斜名称	勘探区	煤层平均含气量(m <sup>3</sup> /t)
阿弓向斜	阿弓	15	比德向斜	比德	10
	少普	18		化乐	11
	大冲头	15		黑塘	10
珠藏向斜	肥田一	15	水公河向斜	补作	18
	肥田二	17		五轮山	20
	肥田三	16		中岭	20
	红梅	15		坪山	11

表3 研究区煤样气、水相对渗透率测试综合数据

Table 3 The air-water relative permeability test comprehensive data in study area

所属构造	勘探区样品号	孔隙度(%)	空气渗透率(mD)	残余水饱和度(%)	残余水下气相渗透率(mD)
白泥箐向斜	左家寨1号	5.9	0.000 68	46.2	0.000 15
	左家寨2号	5.7	0.000 78	48.6	0.000 50
	复兴	6.7	0.085 00	80.3	0.010 80
加戛背斜	下对门3号	4.0	0.004 90	89.3	0.003 60
	联合8号	7.2	0.245 00	55.1	0.044 90
珠藏向斜	凤凰山1号	7.3	1.340 00	44.5	0.170 80

区,煤层甲烷平均含量高于 18 m<sup>3</sup>/t,阿弓向斜的大冲头勘探区中煤层甲烷含量也都不低于 15 m<sup>3</sup>/t.相比之下,储层压力较低的比德向斜煤层甲烷含量只有 10~11 m<sup>3</sup>/t 左右.因此,生烃作用是比德—三塘盆地中煤储层异常高压的重要原因之一.

### 3 结论

(1)比德—三塘盆地中含煤地层的储层压力普遍较高,压力梯度普遍较大,其最高值位于盆地中部,超过 1.3 MPa/100 m.异常高压煤层主要分布在水公河向斜、阿弓向斜、以及珠藏向斜的大部分区域;异常低压煤层仅分布在盆地西部的比德向斜和东北部的三塘向斜.

(2)构造作用是研究区异常高压形成的决定性因素.比德—三塘盆地位于由三大断裂围成的三角形块体内,在 3 个顶角处应力集中,断裂发育,断距较大,形成开放性空间,煤储层呈现欠压状态.而在其内部断裂较少,形成了良好圈闭,致使储层流体富集,储层压力增大,出现超压地层.同时区域性沉降和断层作用控制着含煤地层的完整性和封闭性,对储层压力区域分布特征具有重要影响.

(3)煤储层生烃作用和顶板泥岩的封闭性对本区异常高压的形成也具有一定的控制作用.研究区煤层生烃能力强,含气量高,但渗透率普遍较低,生

成的烃类气体易使得储层内部流体孔隙体积膨胀产生高压;而且本区煤层局部具有封闭性极强的超厚顶板泥岩,在沉积埋藏过程中极易产生欠压实作用,进一步促进了异常高压的形成.

### References

- Barker, C., 1972. Aquathermal Pressuring-Role of Temperature in Development of Abnormal-Pressure Zones: Geological Notes. *AAPG Bulletin*, 56 (10): 2068—2071.
- Borge, H., 2002. Modelling Generation and Dissipation of Overpressure in Sedimentary Basins: An Example from the Halten Terrace, Offshore Norway. *Marine and Petroleum Geology*, 19 (3): 377—388. doi: 10.1016/S0264-8172(02)0023-5
- Dickey, P. A., Cox, W. C., 1977. Oil and Gas in Reservoirs with Subnormal Pressures. *AAPG Bulletin*, 61 (12): 2134—2142.
- Dickinson, G., 1953. Geological Aspects of Abnormal Reservoir Pressures in Gulf Coast Louisiana. *AAPG Bulletin*, 37 (2): 410—432.
- Fertl, W. H., Chilingarian, G. V., 1988. Detection and Evaluation of Geopressed Subsurface Formations Based on Dielectric (Electromagnetic Wave Propagation) Measurements. *Energy Sources*, 10 (3): 195—200. doi: 10.1080/00908318808908926
- Gui, B. L., Wang, X. R., Wang, C. D., et al., 2001. CBM Geological and Prospecting of East Yunnan-West Guizhou. Yunnan Science & Technology Press, Kunming, 58—

- 119 (in Chinese).
- Hao, F., Zou, H. Y., Ni, J. H., et al., 2002. Evolution of Overpressured Systems in Sedimentary Basins and Conditions for Deep Oil/Gas Accumulation. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27 (5): 610—614 (in Chinese with English abstract).
- Hunt, J. M., 1990. Generation and Migration of Petroleum from Abnormally Pressured Fluid Compartments. *AAPG Bulletin*, 74 (1): 1—12.
- Hunt, J. M., Whelan, J. K., Eglinton, L. B., et al., 1994. Gas Generation—A Major Cause of Deep Gulf Coast Overpressures. *Oil & Gas Journal*, 92: 59—63.
- Jin, J., Tang, X. G., 2010. Structural Features and Their Genesis in Zhijin-Nayong Coalfield, Guizhou Province. *Coal Geology of China*, 22 (3): 8—12 (in Chinese with English abstract).
- Li, G. Y., 2009. Application and Research on the Technology of Formation Pressure Prediction (Dissertation). Chengdu University of Science and Technology, Chengdu, 66—175 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. X., Pang, X. Q., Jiang, Z. X., 2003. Relationship of Stress & Strain to Abnormal Tectonic Pressure and Main Control Aspects on Abnormal Tectonic Pressure Forming. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(2): 179—184 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. D., Zhou, W., Wu, Y. P., 2004. Genetic Analysis on the Abnormal Pressure of the Gas Reservoirs in the Coal Layers in China. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 24 (4): 87—92 (in Chinese with English abstract).
- Luo, X. R., Xiao, L. X., Li, X. Y., et al., 2004. Overpressure Distribution and Affecting Factors in Southern Margin of Junggar Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(4): 404—411 (in Chinese with English abstract).
- Marine, I. W., Fritz, S. J., 1981. Osmotic Model to Explain Anomalous Hydraulic Heads. *Journal of Water Resources Research*, 17 (1): 73—82. doi: 10.1029/WR017i001p00073
- Osborne, M. J., Swarbrick, R. E., 1997. Mechanisms for Generating Overpressure in Sedimentary Basins: A Reevaluation. *AAPG Bulletin*, 81 (6): 1023—1041.
- Rubey, W. W., Hubbert, M. K., 1959. Role of Fluid Pressure in Mechanics of Overthrust Faulting II. Overthrust Belt in Geosynclinal Area of Western Wyoming in Light of Fluid Pressure Hypothesis. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 70 (2): 167—206. doi: 10.1130/0016—7606 (1959) 70 [167: ROFPIM]2.0.CO;2
- Xu, B. B., He, M. D., 2002. Coal Mine Exploration of Guizhou Province. China University of Mining & Technology Press, Xuzhou, 165—212 (in Chinese).
- Yang, W. N., 1996. Analysis of Remote Sensing Images for Tectonic Pattern and Stress Field in Liuzhi-Langdai Region, Western Guizhou. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2: 21—27 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Z. B., 2011. Coalbed Methane Reservoiring Process under Condition of Multi-Coalbeds Overlay (Dissertation). China University of Mining & Technology, Xuzhou, 85—94 (in Chinese with English abstract).
- Yue, G. Y., Zhang, S. J., Yang, W. N., 1994. Structural Deformation Patterns and Tectonic Stress Field in West-Central Guizhou. *Scientia Geologica Sinica*, 29 (1): 11—18 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Y. M., Zhao, H., Yan, Q. L., et al., 2008. Tectonic Evolution and CBM Reservoir Formation in Wulunshan Minefield, Guizhou. *Coal Geology of China*, 20 (10): 38—41 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 桂宝林, 王学仁, 王朝栋, 等, 2001. 黔西滇东煤层气地质与勘探. 昆明: 云南科技出版社, 58—119.
- 郝芳, 邹华耀, 倪建华, 等, 2002. 沉积盆地超压系统演化与深层油气成藏条件. 地球科学——中国地质大学学报, 27 (5): 610—615.
- 金军, 唐显贵, 2010. 贵州省织金—纳雍煤田构造特征及其成因. 中国煤炭地质, 22(3): 8—12.
- 李刚毅, 2009. 地层压力预测技术及应用研究 (硕士学位论文). 成都: 成都理工大学, 66—175.
- 李玉喜, 庞雄奇, 姜振学, 2003. 应力、应变与构造超压关系及构造超压控制因素分析. 地球科学——中国地质大学学报, 28(2): 179—184.
- 李仲东, 周文, 吴永平, 2004. 我国煤层气储层异常压力的成因分析. 矿物岩石, 24(4): 87—92.
- 罗晓容, 肖立新, 李学义, 等, 2004. 准噶尔盆地南缘中段异常压力分布及影响因素. 地球科学——中国地质大学学报, 29(4): 404—411.
- 徐彬彬, 何明德, 2002. 贵州煤田地质. 徐州: 中国矿业大学出版社, 165—212.
- 杨武年, 1996. 黔西六枝—朗岱地区构造格局及其应力场遥感图像解析. 国土资源遥感, 2: 21—27.
- 杨兆彪, 2011. 多煤层叠置条件下的煤层气成藏作用 (博士学位论文). 徐州: 中国矿业大学, 85—94.
- 乐光禹, 张时俊, 杨武年, 1994. 贵州中西部的构造格局与构造应力场. 地质科学, 29(1): 11—18.
- 朱炎铭, 赵洪, 闫庆磊, 等, 2008. 贵州五轮山井田构造演化与煤层气成藏. 中国煤炭地质, 20(10): 38—41.