

DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.013

# 构造作用对四川盆地东部垫江盐盆三叠系嘉陵江组海相钾盐成矿—保存条件的影响

张 雄<sup>1</sup>, 朱正杰<sup>1</sup>, 魏玉燕<sup>2</sup>, 赵艳军<sup>3</sup>, 张 宇<sup>1</sup>

(1. 重庆地质矿产研究院外生成矿与矿山环境重庆市重点实验室, 重庆 400042;

2. 四川省地质矿产勘查开发局化探队, 四川 德阳 618000;

3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘要:** 通过分析四川盆地东部垫江盐盆三叠纪嘉陵江成盐期构造演化及后期构造作用, 结合大地电磁测深和地震资料解译等综合分析初步认为垫江盐盆三叠纪嘉陵江期, 在整体海退的条件下, 由于泸州—开江古隆起的逐步形成, 在长寿合兴地区和垫江董家场地区形成有利于古卤水浓缩的次级凹陷。早白垩世末期川东褶皱带的形成虽然对三叠系含盐地层进行了改造, 但次级凹陷位于向斜核部和褶皱倾末端, 未受到风化剥蚀。同时, 大地电磁测深和地震资料显示深部没有断裂构造穿过次级凹陷区域, 初步证明具有较好的保存条件。

**关键词:** 垫江盐盆; 构造作用; 次级凹陷; 海相钾盐

中图分类号: P619.211

文献标识码: A

## RESEARCH ON THE EFFECT OF TECTONISM ON THE FORM AND PRESERVATION OF MARINE POTASH IN TRIASSIC JIALINGJIANG FORMATION IN DIANJIANG SALT BASIN, EASTERN SICHUAN BASIN

ZHANG Xiong<sup>1</sup>, ZHU Zhengjie<sup>1</sup>, WEI Yuyan<sup>2</sup>, ZHAO Yanjun<sup>3</sup>, ZHANG Yu<sup>1</sup>

(1. Chongqing Key Laboratory of Exogenic Mineralization and Mine Environment, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China;

2. Geochemistry Exploration Brigade of Sichuan Bureau of Exploration and Development of Geology and Minerals Resources, Deyang 618000, Sichuan, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the tectonic evolution and late-stage tectonics of the Dianjiang Salt Basin in the eastern Sichuan Basin, combined with magnetotelluric sounding method and seismic data interpretation, this paper holds that there are two sub-depressions in the Dianjiang Salt Basin. Both

**基金项目:** 重庆市国土资源和房屋管理局科技项目 (CQGT-KJ-2017010); 重庆市科基础科学与前沿技术研究项目 (cstc2017jcyjAX0364); 重庆市国土资源和房屋管理局 2018 年第一批地质矿产类项目

**作者简介:** 张雄 (1990-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向构造地质与矿产地质研究。E-mail: zhangxiong305@163.com

**通讯作者:** 朱正杰 (1983-) 男, 博士, 正高级工程师, 研究方向矿床地球化学。E-mail: zhuzhjie@163.com

**引用格式:** 张雄, 朱正杰, 魏玉燕, 等. 构造作用对四川盆地东部垫江盐盆三叠系嘉陵江组海相钾盐成矿—保存条件的影响 [J]. 地质力学学报, 2019, 25 (S1): 072-077 DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.013

ZHANG Xiong, ZHU Zhengjie, WEI Yuyan, et al. Research on the effect of tectonism on the form and preservation of marine potash in Triassic Jialingjiang formation in Dianjiang Salt Basin, eastern Sichuan Basin [J]. Journal of Geomechanic, 2019, 25 (S1): 072-077 DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.013

Hexing sub-depression and Dongjiachang sub-depression are advantageous to the concentration of ancient brine. Although the formation of the eastern Sichuan fold belt in the late Early Cretaceous reformed the Triassic salt-bearing strata, the secondary depression area was located at the syncline core and the end of the fold dip, and was not subjected to weathering. Meanwhile, the magnetotelluric sounding and seismic data showed that no fault structure existed in the two depression area, indicating the well preservation conditions.

**Key words:** Dianjiang Salt Basin; tectonism; sub-depression; marine potash

钾盐是中国紧缺的重要战略资源,但由于中国成盐地质构造条件复杂,寻找大型的钾盐矿床一直是中国矿床学界的一大难题。四川盆地中下三叠统是我国钾盐矿产勘查的重点层位。近年来,随着长平3井岩盐中杂卤石矿物的发现,垫江盐盆成钾方面的研究引起了越来越多地质工作者的重视,通过分析岩盐流体包裹体特征<sup>[1-3]</sup>、氯同位素特征<sup>[4-5]</sup>、化学成分分析<sup>[6-7]</sup>、成盐环境<sup>[8-9]</sup>、盐盆迁移特征<sup>[10-11]</sup>,证实垫江盐盆在嘉陵江期古卤水浓缩已达到钾石盐析出阶段,具有较好的成钾潜力<sup>[6-7,12]</sup>。钾盐成矿是地球表生环境中“气候—物源—构造”三要素的耦合作用,极端干旱气候是成钾的前提,海水等富钾物质来源和构造凹地是成钾的必要条件<sup>[12-13]</sup>。相关学者对垫江盐盆成钾的研究较少,主要集中在成钾气候条件方面,涉及到构造对钾盐成矿和保存方面的研究较少。鉴于此,文章通过分析四川盆地东部垫江盐盆三叠纪嘉陵江成盐期构造演化及后期构造作用,结合沉积相分析、大地电磁测深和地震资料解译等,分析了构造作用对垫江盐盆三叠系海相钾盐成矿—保存的影响,以期对垫江盐盆进一步开展钾盐勘查工作提供科学依据。

## 1 地质背景

垫江盐盆位于四川盆地东部,面积约  $4.5 \times 10^3 \text{ km}^2$ ,为一呈北东—南西向展布的椭圆形凹陷,主要包括了双龙构造和卧龙河构造两个储钾构造(图1)。区内主要出露三叠系和侏罗系地层。区域构造线方向为北东—南西向,盆地长轴方向与区域构造线方向一致。盆地内主要发育一套隔档式褶皱带,具有背斜窄、向斜宽的特征,向斜多为箱型褶皱。区内断裂构造不发育,仅在明月峡背斜核部发育一条基底断裂带。研究层三叠系嘉陵江组仅在盆地边缘的明月峡背斜核部、飞龙场背

斜核部、苟家场背斜核部和黄草峡背斜核部有少量出露。盆地内部嘉陵江组均深埋于地下,埋藏深度最深可达两千五百米以上。

## 2 构造对钾盐成矿分析

构造作用形成的次级凹地是成钾的必要条件之一。早三叠世嘉陵江期,四川盆地东部地壳活动强烈,在总体为海退的背景下,水下隆起逐渐隆升,盆地内形成一套由碳酸盐岩、石膏、岩盐等组成的膏盐湖相和盐湖相沉积<sup>[14]</sup>。随着武隆隆起、石柱隆起、华蓥山隆起和泸州隆起的形成和发展,垫江凹陷、万县凹陷等逐步形成。

早三叠世嘉陵江四期,四川盆地东部受华蓥山基底断裂和七曜山基底断裂控制,印支期华蓥山断裂由张性反转为压性,形成逆冲推覆构造,而七曜山断裂随着四川中生代(前陆盆地)的形成断层面向南东,并发生自南东往北西的逆冲作用<sup>[15]</sup>。受这两条断裂控制,其中间区域初步形成南东北西压应力区。垫江盐盆位于华蓥山断裂和七曜山断裂控制区域中间地带(图2),受华蓥山断裂和七曜山断裂活动影响较小,处于相对稳定区块,有利于钾石盐的蒸发沉积。

该时期四川盆地处于西高东低向东高西低转换阶段,四川盆地东部逐渐形成一系列水下古隆起,其中泸州—开江古隆起的形成和演化对垫江盐盆内古卤水蒸发浓缩影响最大。受华蓥山—石柱古隆起、泸州—开江古隆起影响,垫江盐盆整体处于水下隆起阶段,盆地四周的古隆起对垫江盐盆形成封闭条件起到了重要作用。盐盆内部由于水体浅,能量低,蒸发作用强烈,大部分地区都有膏盐层分布<sup>[16]</sup>。随着泸州—开江古隆起的进一步发展,隆起幅度增高,使垫江盐盆长期处于封闭状态,盆地内古海水浓度逐渐增加。

剩余重力异常特征显示,在双龙构造北西侧

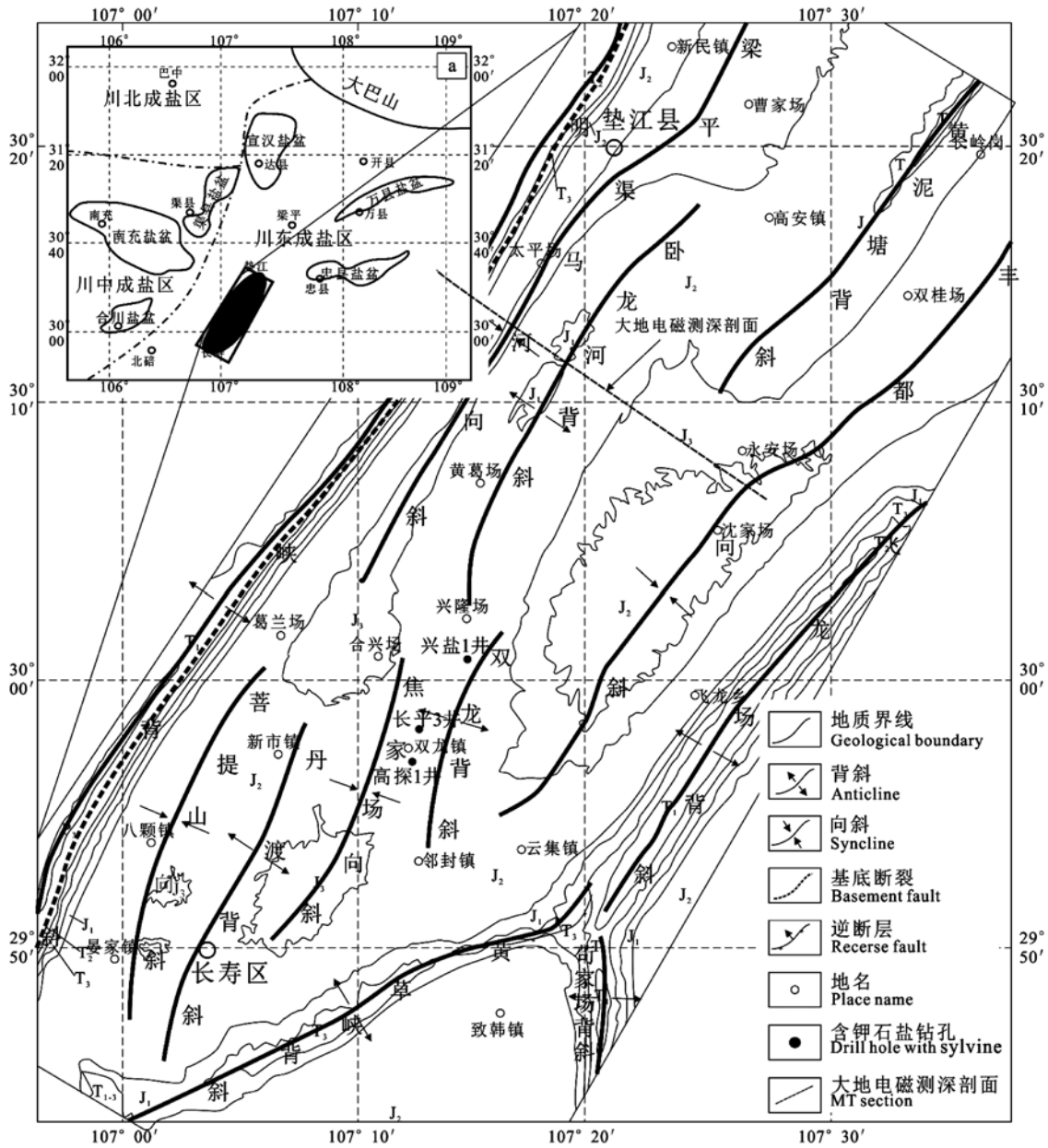


图1 垫江盐盆地区地质简图

Fig.1 Simplified geological map of the Dianjiang depression

合兴到葛兰镇之间的金家村附近和卧龙河背斜东翼董家场一带，剩余重力异常值达到最低，表现为一圈闭的负异常，最低负异常值达-3，表明这两个区域深部为凹陷形态。大地电磁测深结果也显示董家场一带深部为凹陷形态。同时，对垫江盐盆含盐钻孔岩盐厚度进行统计，发现垫江盐盆内岩盐厚度较大的地方主要集中在两个部位，南段岩盐厚度较大的区域为双龙场—合兴场之间，北段岩盐厚度较大区域位于卧龙河背斜核部以及背斜东翼的董家场一带。此外，在长寿合兴地区

附近的长平3井和董家场附近的ZK001井嘉陵江组四段含盐段中发现了大量与岩盐共生的杂卤石矿物。表明在长寿合兴地区和垫江董家场地区可能形成次级凹陷，高浓度的古卤水汇集与次级凹陷中，形成厚度60 m以上的盐岩，地层含盐率达到0.65，盐岩中K<sup>+</sup>含量最高达到3.82%<sup>[6]</sup>，达到钾盐工业品位要求。中三叠世雷口坡期，受湖南运动的影响，泸州—开江古隆起的明显上升，两侧的凹陷则因强烈下陷形成百余米的岩盐沉积<sup>[17]</sup>。中三叠世末海水全部退出，盆地结束了海相沉积

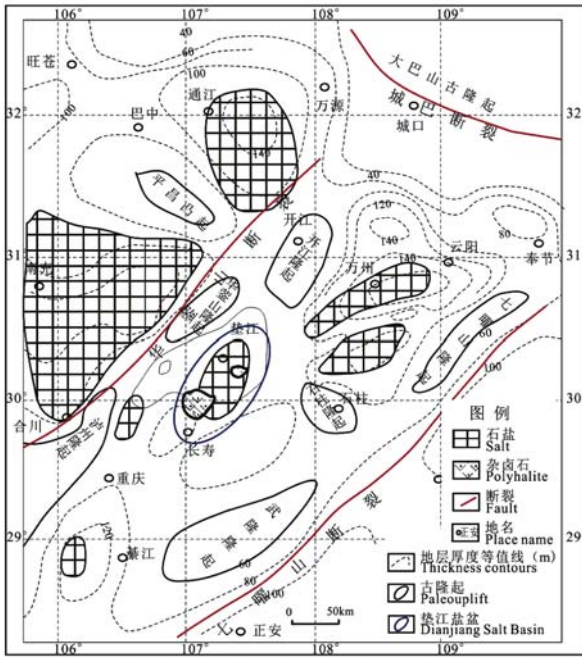


图 2 四川盆地东部嘉陵江组四段二亚段古构造图<sup>[16]</sup>

Fig. 2 Palaeotectonic map of  $T_{1j}^{4-2}$  in eastern Sichuan Basin<sup>[16]</sup>

的历史。综上, 三叠系时期, 由于泸州—开江古隆起的形成与发展, 形成垫江盐盆和盆内次级凹陷为钾盐的形成提供了良好的构造条件。

### 3 构造作用对钾盐保存影响

晚三叠世后, 燕山运动使盆地再次沉降, 广泛接受了陆相河湖砂泥岩沉积, 使早三叠世盐类沉积深埋地腹<sup>[10]</sup>。早白垩世末受自东向西的推挤作用, 在川东形成典型的隔档式褶皱带, 具有背斜窄、向斜宽的特征, 向斜多为箱型褶皱<sup>[18-19]</sup>。这次构造作用对三叠系含盐地层进行了改造, 但研究区三叠系嘉陵江组仅在盆地边缘的背斜核部有少量出露, 盆地内部嘉陵江组均深埋于地下, 未遭受风化剥蚀。

长寿合兴次级凹陷位于双龙构造北倾末端北西区域, 区域上由双龙背斜北倾末端、焦家场向斜北倾末端、丹渡背斜北倾末端、菩提山向斜北倾末端、卧龙河背斜南倾末端、梁平向斜南倾末端以及明月峡背斜东翼共同围陷, 形成一良好的圈闭构造, 其东部长平 3 井显示, 该区域嘉陵江组埋深在 2700 m 以上。垫江董家场次级凹陷位于卧龙河背斜东翼, 黄泥塘背斜南倾末端, 大地电磁测深结果显示该区域为一次级凹陷 (图 3), 此外垫江 ZK001 井资料也证实该地区嘉陵江组地层埋藏深度在 3000 m 左右。地震资料显示嘉陵江组四段顶界发育两组压性断裂构造, 一组为北东南西向, 一组为近东西向 (图 4), 这两组断裂均离次级凹陷位置较远, 没有断裂构造穿过次级凹陷, 表明其受断层干扰小, 保存条件较好。

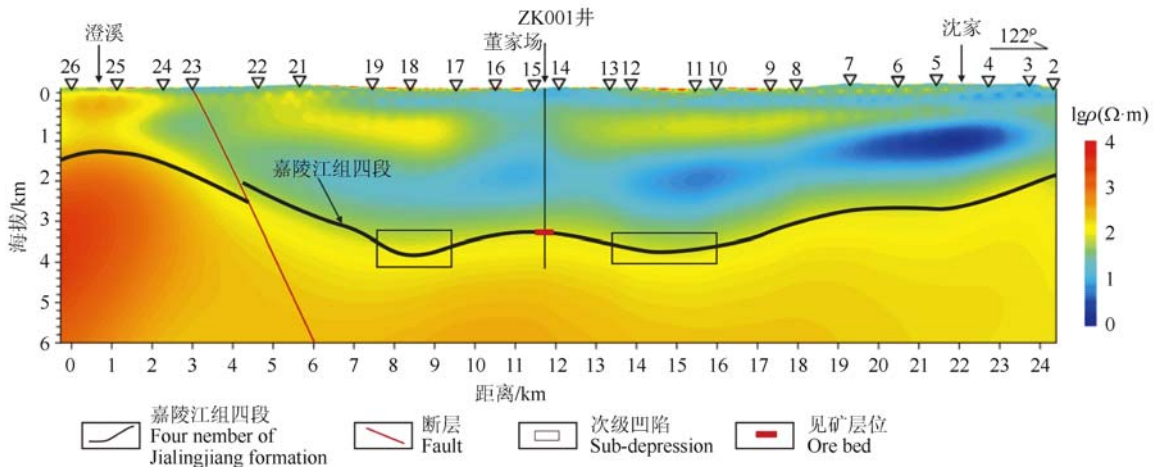


图 3 垫江盐盆北部 MT 推断解释图

Fig. 3 MT interpretation map of northern Dianjiang Salt Basin

### 4 结论

三叠纪嘉陵江期垫江盐盆内长寿合兴地区和

垫江董家场地区可能存在次级凹陷, 为钾盐形成提供有利场所。

垫江盐盆后期虽然经历了多期次的构造作用, 但次级凹陷位置嘉陵江组地层未经受剥蚀和断裂

构造改造, 保存条件较好, 具有保存钾盐的良好条件。

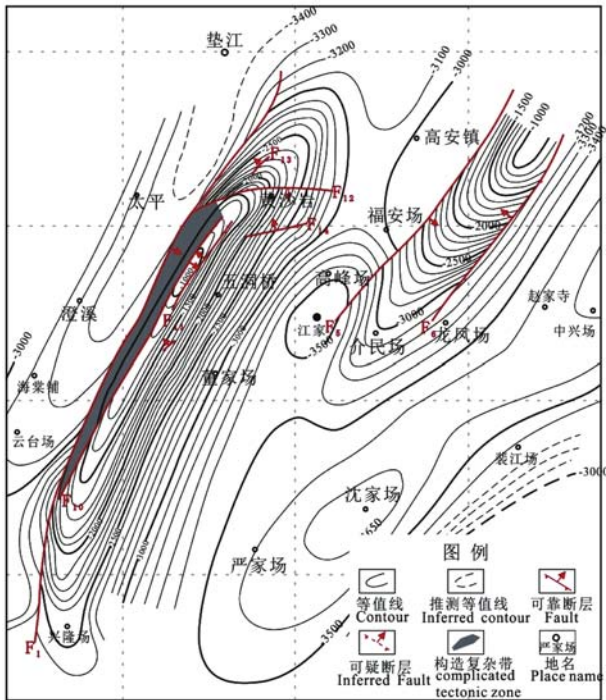


图4 垫江盐盆嘉陵江组四段顶界地震反射构造平面图

Fig. 4 Plan of seismic reflection structure at the top of the fourth section of Jialingjiang formation in the Dianjiang Salt Basin

### 参考文献/References

- [ 1 ] 陈旭. 川东地区长平三井含盐系特征及石盐流体包裹体的研究 [D]. 北京: 中国地质科学院, 2014.  
CHEN Xu. Characteristics of salt-bearing series in eastern sichuan basin and research on homogenization temperature of the fluid inclusions in salt [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [ 2 ] 陈安清, 王立成, 姬广建, 等. 川东北早-中三叠世聚盐环境及海水浓缩成钾模式 [J]. 岩石学报, 2015, 31 (9): 2757-2769.  
CHEN Anqing, WANG Licheng, JI Guangjian, et al. Evaporitic environment and the concentration model of potash in the Early-Middle Triassic, Northeastern Sichuan Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2015, 31 (9): 2757-2769. (in Chinese with English abstract)
- [ 3 ] 孙小虹, 胡宇飞, 刘成林, 等. 四川盆地三叠纪古盐湖已达钾盐析出阶段——来自石盐流体包裹体化学组成的约束 [J]. 矿床地质, 2016, 35 (6): 1157-1168.  
SUN Xiaohong, HU Yufei, LIU Chenglin, et al. Argument that brine of salty lake in Sichuan basin had reached crystallizing

point of potash minerals during Triassic: Evidence from chemical composition of fluid inclusions in halite [J]. Mineral Deposits, 2016, 35 (6): 1157-1168. (in Chinese with English abstract)

- [ 4 ] 唐清敏, 张雄, 朱正杰, 等. 四川盆地东部垫江凹陷三叠系嘉陵江组岩盐氯同位素特征与成钾指标研究 [J]. 地质学报, 2018, 92 (8): 1671-1679.  
TANG Qingmin, ZHANG Xiong, ZHU Zhengjie, et al. Chlorine isotopic composition and potash-forming indicator of Halites of the Triassic Jialingjiang Formation in the Dianjiang Depression, eastern Sichuan Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2018, 92 (8): 1671-1679. (in Chinese with English abstract)
- [ 5 ] 许建新, 马海州, 肖应凯, 等. 稳定氯同位素及其应用于地球化学研究 [J]. 盐湖研究, 2008, 16 (1): 51-59.  
XU Jianxin, MA Haizhou, XIAO Yingkai, et al. Stable chlorine isotope and its research on applied geochemistry [J]. Journal of Salt Lake Research, 2008, 16 (1): 51-59. (in Chinese with English abstract)
- [ 6 ] 张雄, 朱正杰, 赵艳军, 等. 四川盆地东部垫江盐盆三叠系嘉陵江组成钾远景分析 [J]. 地质学报, 2018, 92 (8): 1661-1670.  
ZHANG Xiong, ZHU Zhengjie, ZHAO Yanjun, et al. Prospect analysis of potash forming of the Triassic Jialingjiang Formation in the Dianjiang salt basin in eastern Sichuan [J]. Acta Geologica Sinica, 92 (8): 1661-1670. (in Chinese with English abstract)
- [ 7 ] 崔启晨. 四川盆地川东三叠系(含盐系)及卤水地球化学特征研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.  
CUI Qichen. A research on the geochemistry characteristics of Triassic salt-bearing series in the east of Sichuan basin and Triassic brine in Sichuan basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015. (in Chinese with English abstract)
- [ 8 ] 黄建国. 中国三叠纪钾盐沉积——以四川为例 [J]. 岩相古地理, 1998, 18 (4): 23-43.  
HUANG Jianguo. The Triassic potash deposits in China: an example from the Sichuan Basin [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1998, 18 (4): 23-43. (in Chinese with English abstract)
- [ 9 ] 汪明泉. 四川盆地东部早中三叠世古水温及其成钾效应 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016.  
WANG Mingquan. Paleotemperature and its potash-forming effect in early and middle Triassic in eastern Sichuan Basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016. (in Chinese with English abstract)
- [ 10 ] 周家云, 龚大兴, 李萌. 四川盆地三叠纪蒸发岩特征、盐盆迁移及其构造控制 [J]. 地质学报, 2015, 89 (11): 1945-1952.  
ZHOU Jiayun, GONG Daxin, LI Meng. The characteristic of evaporite, migration of salt basins and its tectonic control in Triassic Sichuan Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89



- (11): 1945 - 1952. (in Chinese with English abstract)
- [11] 刘成林, 吴驰华, 王立成, 等. 中国陆块海相盆地成钾条件与预测研究进展综述 [J]. 地球学报, 2016, 37 (5): 581 - 606.  
LIU Chenglin, WU Chihua, WANG Licheng, et al. Advance in the study of forming condition and prediction of potash deposits of marine basins in China's small blocks: review [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2016, 37 (5): 581 - 606. (in Chinese with English abstract)
- [12] 刘成林, 宣之强, 曹养同, 等. 探索中国陆块找钾——中国东特提斯域成钾作用及模式 [J]. 化工矿产地质, 2015, 37 (4): 193 - 197.  
LIU Chenglin, XUAN Zhiqiang, CAO Yangtong, et al. Research on potash exploration at China Land Mass-potash alteration and pattern of eastern Tethys Ocean, China [J]. Geology of Chemical Minerals, 2015, 37 (4): 193 - 197. (in Chinese with English abstract)
- [13] LIU C L, JIAO P C, LÜ F L, et al. The impact of the linked factors of provenance, tectonics and climate on potash formation: an example from the potash Deposits of Lop Nur depression in Tarim Basin, Xinjiang, Western China [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2015, 89 (6): 2030 - 2047.
- [14] 万天丰, 朱鸿. 古生代与三叠纪中国各陆块在全球古大陆再造中的位置与运动学特征 [J]. 现代地质, 2007, 21 (1): 1 - 13.  
WAN Tianfeng, ZHU Hong. Positions and kinematics of Chinese continental blocks in reconstruction of global paleocontinents for Paleozoic and Triassic [J]. Geoscience, 2007, 21 (1): 1 - 13. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张维宸. 四川盆地中生代区域构造格架与构造演化过程研究 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2009.  
ZHANG Weichen. Tectonic framework and tectonic evolution of the Sichuan Basin in the Mesozoic and Cenozoic [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009. (in Chinese with English abstract)
- [16] 赵艳军, 刘成林, 龚大兴, 等. 泸州 - 开江古隆起对川东三叠纪成盐成钾环境的控制作用 [J]. 地质学报, 2015, 89 (11): 1983 - 1989.  
ZHAO Yanjun, LIU Chenglin, GONG Daxing, et al. The Luzhou-Kaijiang Paleouplift control on the formation environments of triassic salt and potassium of deposits in eastern Sichuan [J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89 (11): 1983 - 1989. (in Chinese with English abstract)
- [17] 蔡克勤, 袁见齐. 四川三叠系钾盐成矿条件和找矿方向 [J]. 化工地质, 1986, (2): 1 - 9.  
CAI Keqin, YUAN Jianqi. Metallogenic conditions and prospecting direction of Triassic potash in Sichuan [J]. Geology of Chemical Minerals, 1986, (2): 1 - 9. (in Chinese with English abstract)
- [18] 胡召齐, 朱光, 张必龙, 等. 上扬子北部褶皱带的构造应力场演化规律 [J]. 地质科学, 2010, 45 (2): 361 - 379.  
HU Zhaoqi, ZHU Guang, ZHANG Bilong, et al. Tectonic stress field evolution in fold belts in the northern upper Yangtze region [J]. Chinese Journal of Geology, 2010, 45 (2): 361 - 379. (in Chinese with English abstract)
- [19] 胡召齐. 上扬子地区北部构造演化与热年代学研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2011.  
HU Zhaoqi. Studies of tectonic evolution and thermochronology in the northern upper Yangtze region [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2011. (in Chinese with English abstract)