

四川盆地东部三叠系嘉陵江组成盐期浓缩海水古温度及其意义^{*}

汪明泉¹ 赵艳军² 刘成林^{2**} 丁婷³

WANG MingQuan¹, ZHAO YanJun², LIU ChengLin^{2**} and DING Ting³

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037

3. 中国地质大学, 北京 100083

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China

3. China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2014-12-10 收稿, 2015-02-05 改回.

Wang MQ, Zhao YJ, Liu CL and Ding T. 2015. Paleotemperature and sinificance of the evaporated seawater in salt-forming process of the forth member of Jialingjiang Formation in the eastern Sichuan Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 31(9): 2745 – 2750

Abstract A large amount of primary fluid inclusions have been observed in the halite in the forth member of Jialingjiang Formation in the eastern Sichuan Basin, which facilitates to reveal the paleotemperature of the seawater and resume paleoclimate of the Early Triassic. In this paper, the homogenization temperature of fluid inclusions was tested with previous studies of fluid inclusion petrography. As the results shows, the paleotemperature of brine from 17.7°C to 63.5°C in the process of halite forming, and the maximum homogenization temperature (53.7 ~ 63.5°C) represent the maximum of the paleotemperature of brine and the homogenization temperature data are agreed with temperature reflected by oxygen isotopes data of marine carbonate rock in this region, which explained that the paleotemperature of seawater is very high at the Early Triassic period further more. It is conducive to the evaporation and concentration of the seawater, and was significantly favorable to the potash forming.

Key words Homogenization temperature; Fluid inclusions; Paleotemperature; Sichuan Basin; Early Triassic

摘 要 四川盆地东部嘉陵江组四段石盐岩中发育大量原生的单一液相包裹体, 为揭示石盐结晶时古海水的温度, 恢复早三叠世古气候提供了有利条件。本文在蒸发岩岩相学研究的基础上, 对流体包裹体均一温度进行了测试。测温结果表明, 石盐结晶时卤水的温度在 17.7 ~ 63.5°C 之间, 与该地区碳酸盐岩氧同位素数据所反映的温度特征基本一致, 说明早三叠世时海水具有较高的温度。这有利于古海水的强烈蒸发浓缩, 为成钾奠定了良好的气候条件。

关键词 均一温度; 流体包裹体; 古水温; 四川盆地; 早三叠世

中图法分类号 P588.247

从石炭纪开始冈瓦纳大陆向北漂移, 最终在三叠纪与北半球的欧亚大陆聚合, 形成泛大陆, 受到泛大陆的影响, 二叠纪到三叠纪全球经历了巨型季风气候由形成、发展到衰退的演化, 这种季风气候使得全球三叠纪古气候以干旱为特征,

并且巨型季风在三叠纪达到了最大值(Parrish, 1993)。前人研究表明, 扬子板块在早三叠世时处于 N 10° 左右(万天丰和朱鸿, 2007; 朱日祥等, 1998), 而四川盆地在早三叠世时处于低纬度地区(N 15° 左右)(姜枚等, 1987; 朱志文等,

* 本文受国家重点基础研究计划“973”项目(2011CB403007)资助。

第一作者简介: 汪明泉, 男, 1990 年生, 硕士生, 矿产普查与勘探专业, E-mail: wangmq9264@163.com

** 通讯作者: 刘成林, 男, 1963 年生, 研究员, 博士生导师, 主要从事钾盐矿床与盐湖沉积等研究, E-mail: liuchengl@263.net

1988),受到了巨型季风的强烈影响。也有学者认为早三叠世时全球氧的含量较低,二氧化碳的浓度较高,从而造成了炎热干旱的环境(Woods, 2005; Retallack, 2013)。由此,导致了四川盆地在早三叠世时处于炎热干旱的气候环境中(钱利军等, 2010)。

蒸发岩形成于干燥炎热的气候环境中,是良好的古气候分析标志(颜佳新, 1999)。蒸发岩系形成于表生环境中,而石盐结晶时封存了一些可以反映当时气候环境的古流体(卢焕章等, 2004),为古气候研究提供了又一个良好的载体。近年来,随着地球温室效应加剧和异常气候事件的不断发生,古环境演变成为了研究焦点问题。石盐中的原生包裹体的均一温度可以反映包裹体形成期间卤水蒸发结晶时候的古水温(Roberts and Spencer, 1995; Lowenstein *et al.*, 1998; Benison and Goldstein, 1999),该方法已成为反演古环境和古气候的重要手段之一。

近年来,国内外开展了大量石盐岩中流体包裹体均一温度测试方法与其均一温度所代表的地质意义方面的研究,取得了很多成果和进展(Benison, 1995; Lowenstein *et al.*, 1999; Losey and Benison, 2000; Meng *et al.*, 2011; Zhao *et al.*, 2014)。相对而言,国内对于石盐流体包裹体的研究要晚于国外,并且主要集中在定性的描述和均一温度测试两方面。袁见齐等(1991)在云南勐野井钾盐矿床的研究中为了探讨矿床成因曾总结了石盐中气液包裹体的研究方法,描述了干盐湖成因钾盐矿床中石盐晶体内气液包裹体群的形态特征。孟凡巍等(2011)通过对实验室合成石盐包裹体的研究认为:石盐中原生流体包裹体存在于气水交界面形成的漏斗晶和水底形成的人字晶晶体中,两者都可以用来反映古环境的温度,并且只有最大均一温度才最接近卤水结晶时的温度。通过对石盐岩中单一液相包裹体在不同冷冻条件和不同高温条件下的均一温度测试对比试验表明:在没有经历过高温(110℃)和低温(-20℃)冷冻干扰情况下,以缓慢的升温速率(通常选择小于1℃/min)获得的石盐中单一液相包裹体均一温度可以代表石盐形成时的古水温(赵艳军等, 2013)。

笔者在四川盆地华蓥山背斜东部嘉陵江组四段含盐系的研究中,发现石盐岩中含有大量的原生流体包裹体,这为该地区古海水温度研究提供了重要材料。本文通过对这些原生石盐包裹体开展均一温度分析,来揭示四川盆地早三叠世古海水的温度特征并探讨其对成钾的意义。这对于研究三叠纪早期的气候变化也有重要的参考价值。

1 石盐岩特征

研究样品来自四川盆地东部盐矿勘探钻井长平3井的岩芯中,该钻井位于重庆市长寿区(图1),石盐岩赋存于三叠系嘉陵江组四段中,经日本 Rigaku 公司生产的 D/max-rA12kw X 射线衍射仪分析,岩芯主要矿物为石盐、硬石膏、

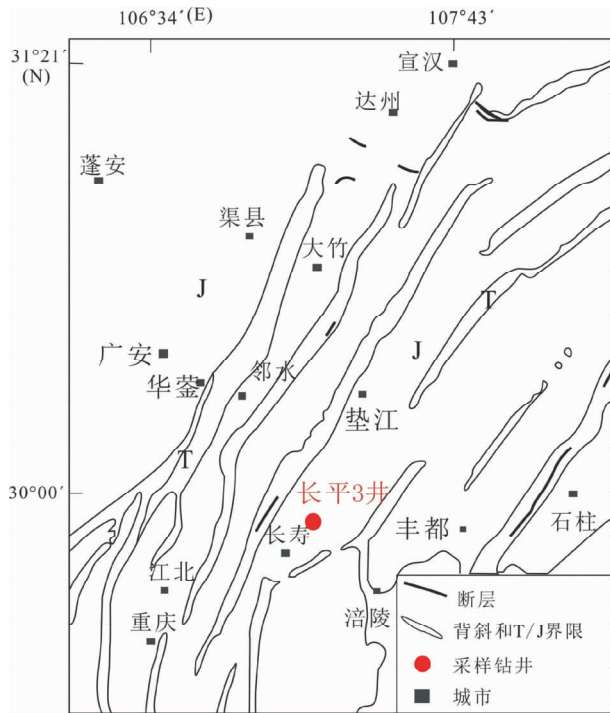


图1 长平3井钻井位置及地质简图(据黄思静等, 2012 改编)

Fig. 1 The geological sketch and location of Changping third well (modified after Wang *et al.*, 2012)

以及少量的杂卤石和白云石,主要岩性为无色石盐岩、烟灰色或浅桔红色的含膏石盐岩以及黑色的层状硬石膏岩。石盐岩具有一定的层理特征(图2a),表现无色、烟灰色或桔红色石盐岩交替出现,应是石盐岩原生沉积的一种标志。此外,杂卤石分布浅桔红色石盐岩层中,并且多分布在含膏石盐岩或者石盐岩与硬石膏接触的部位,这种现象说明卤水浓缩时中水体较浅、氧化性较强,由于水体的补给而带来的钙离子,与卤水中的硫酸根离子、钾离子、镁离子结合,产生了桔红色的含杂卤石的石盐岩。

长平3井石盐岩晶体以自形和半自形为主,晶体大小变化很大,从1~2mm到几个厘米,晶体较大的石盐岩多为重结晶形成。显微镜下石盐岩多呈半自形-他形结构,见有正方形、似正方形节理,多与硬石膏或杂卤石共生,低倍镜下见次生包裹体(图2f)。

2 样品制备以及实验方法

本次测试的包裹体取样自嘉陵江四段的石盐岩中,为了避免流体包裹体片制备时切割和打磨抛光过程改变了石盐包裹体的原始温度信息,样品的处理参考 Benison 的方法,首先选取晶形较好的石盐岩颗粒,用小刀沿解理面切开,获得厚度约0.5~1mm的石盐解理片(Benison and Goldstein, 1999)。



图2 长平3井嘉陵江组四段石盐岩

(a)浅桔红色与深红色含杂卤石石盐岩,二者交替出现;(b)层状浅桔红色与烟灰色石盐岩(样品4);(c)层状浅桔红色、无色与烟灰色石盐岩(样品5);(d)浅橘红色石盐岩与极少量硬石膏(样品6);(e)石盐岩,发育似正方形节理(单偏光);(f)他形石盐岩,见有次生包裹体(中部十字形)和杂卤石(单偏光). An-硬石膏;H-石盐;Po-杂卤石

Fig.2 Halite in the forth member of Jialingjiang Formation of Changping third well

通过对解理片在显微镜下观察,发现石盐岩节理片中既有原生包裹体也有次生包裹体,而原生包裹体多分布于颗粒的中部,次生包裹体则分布于石盐颗粒的边缘或者以包裹体脉的方式切穿多个石盐晶体。原生包裹体中既有明暗相间的条带状包裹体,也有似v字形的包裹体(图3)。包裹体的形态主要为正方体或者长方体,大小多在2~30μm左右,极少数包裹体可达50μm。原生的石盐包裹体中以单一液相和气液两相的为主,有极少的三相包裹体。并且包裹体主要集中于井深为2779.80~2800.43m之间的岩芯样品中。

本次实验的原生石盐岩中的单一液相与气液两相包裹体混杂在一起,区分有一定的难度,同时陈旭等人通过将包裹体片直接置于冷热台上与将其置于冰箱中降温“成核”的两种测试方法所得到的实验结果基本一致(陈旭,2014)。故本次实验中为避免将气液两相包裹体与单一液相在“低温成核”后相混淆,并没有将石盐解理片置于恒温箱内冷冻,而是将其置于显微冷热台中,观察并且记录单一液相流体包裹体,对包裹体在-18℃的温度下冷冻,直到单一液相的流体包裹体产生气泡。待单一液相包裹体冷冻成核出现气泡后(图4),以0.5℃/min的升温速率进行升温,在接近均一时降至0.1℃/min。本次均一温度的测试实验是在中国地质科学院矿产资源研究所完成,使用由Linkam公司生产的

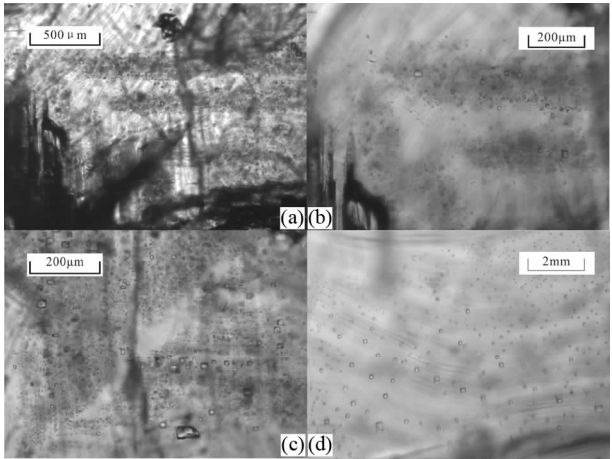


图3 长平3井嘉陵江组四段石盐岩包裹体特征

(a,b)为似v字形包裹体,b为a放大图;(c)为条带状包裹体;(d)为次生包裹体

Fig.3 The features of the inclusions in halite in the forth member of Jialingjiang Formation of Changping third well

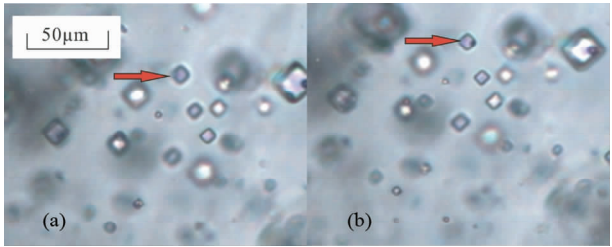


图4 长平3井嘉陵江组四段石盐岩中原生包裹体冷冻前(a)和冷冻后(b)对比

Fig.4 Two photomicrographs of same fluid inclusions in halite in the forth member of Jialingjiang Formation of Changping third well, before (a) and after (b) chilling to nucleate vapor bubbles

THMSG600型冷热台,测温精度为0.1℃。

3 实验结果

本次测温实验共获得131个有效数据,其中最低温度为17.7℃,最高温度为63.5℃,平均温度为33.7℃(表1、图5)。

4 讨论

在深度2780m附近样品,最低温度17.7℃,最高温度为53.7℃,平均温度为27.9℃;在深度2795m附近,最低温度为22.4℃,最高温度为60.3℃,平均温度为38.7℃;在深度2800m附近,最低温度为37.5℃,最高温度为63.5℃,平均温

表 1 长平 3 井嘉陵江组四段石盐岩原生包裹体均一温度数据

Table 1 The homogenization temperature data of primary inclusion in halite rock in the forth member of Jialingjiang Formation of Changping third well

样品号	深度(m)	均一温度(℃)	均一温度 平均值(℃)
1	2779.8	20.5; 24; 26.5; 26.8; 37.6; 38; 40; 42.5; 45.3; 46.1; 46.5; 49.6; 52; 53.7; 58.4; 62.9	41.9
2	2780.8	17.7; 18.2; 20.2; 20.2; 20.4; 20.5; 21; 21.3; 21.8; 22; 22.3; 22.5; 22.7; 23; 23.3; 25.3; 26.5; 26.8; 27; 27.2; 27.3; 27.8; 28.2; 32.8; 39.8; 41.5	24.9
3	2781.1	18.6; 18.9; 20.1; 20.2; 20.3; 20.3; 20.6; 20.7; 20.8; 20.9; 21.4; 21.7; 21.9; 22.1; 22.3; 22.7; 23; 23; 23.2; 23.4; 24.9; 24.9; 25.5; 28.4; 30.9	22.3
4	2794.66	34.6; 36.7; 37.6; 37.8; 38; 39.4; 39.5; 39.9; 40.6; 40.8; 41; 41.2; 41.3; 43.1; 49.2	40
5	2795.78	25; 25.7; 28.5; 31.6; 33.4; 34.8; 38.2; 38.6; 38.8; 38.9; 39.3; 39.5; 40; 40.2; 42; 42.1; 42.3; 43; 46.3; 48	37.8
6	2796.09	22.4; 26.6; 26.9; 29.5; 33.9; 34.8; 35.2; 36.7; 37.6; 37.8; 38; 38.4; 38.7; 39.6; 40.5; 42.3; 42.5; 43.2; 45; 60.3; 60.3	38.6
7	2800.43	37.5; 45.2; 45.4; 46.4; 46.8; 50.8; 52.5; 63.5	48.5

表 2 四川盆地东部嘉陵江组四段海相碳酸盐岩氧同位素数据及古海水温度

Table 2 The oxygen isotope data of marine carbonate rock and paleotemperature of seawater in the forth member of Jialingjiang Formation in the eastern Sichuan Basin

$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$	$T_1(\text{℃})$
-3.50	27.3	32.79
-3.71	27.08	33.89
-4.70	26.06	39.26
-5.11	25.64	41.54
-3.79	27.00	34.32
-4.87	25.89	40.20
-3.94	26.84	35.12
-3.99	26.80	35.39
-3.56	27.23	33.10
-7.23	23.45	53.92
-8.35	22.30	60.86

注:(1) $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{‰}) = 1.030918 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}(\text{‰}) + 30.91$ (Coplen *et al.*, 1983); (2) $T_1(\text{℃}) = 16.9 - 4.38(\delta\text{C}-\delta\text{W}) + 0.10(\delta\text{C}-\delta\text{W})^2$ (Shackleton *et al.*, 1973)

度为 48.5℃。包裹体测温所得的均一温度最大值为 63.5℃,而各个层位的最大均一温度有所不同,从 53.7℃到 63.5℃,平均的最大均一温度为 59.1℃(图 6)。研究表明,石盐原生包裹体的最大均一温度可以反映卤水结晶时的最高温度(Roberts and Spencer, 1995; 孟凡巍等, 2011; 赵艳军等, 2013),测试数据显示由石盐岩流体包裹体所直接得到的古海水最高温度在 50~60℃左右。也一定程度上反映了当时具有较高的气候环境。

在二氧化碳-水-碳酸盐系统中,氧同位素的分馏作用与海水温度存在相关关系,当碳酸盐与介质处于平衡状态时, $\delta^{18}\text{O}$ 随温度的升高而下降(Urey, 1947),碳酸盐岩中氧同位素与海水温度的这种关系使得其成为反演古海水温度的一

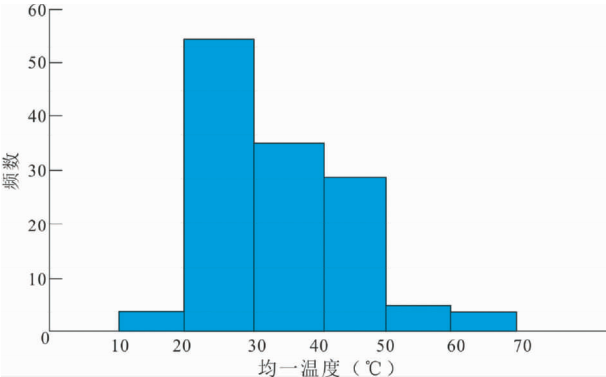


图 5 长平 3 井嘉陵江组四段石盐岩中原生包裹体均一温度分布直方图

Fig.5 Histogram of the homogenization temperature of the primary of inclusion in halite in the forth member of Jialingjiang Formation of Changping third well

种途径。南君亚等(1998)由碳酸盐岩氧同位素所估算的贵州早三叠世海水的温度分别为 61.68℃、60.02℃和 47.95℃。按此原理,根据黄思静在四川盆地东部对早三叠世海水同位素研究时有关海相碳酸盐岩氧同位素的数据(黄思静等, 2012),笔者估算了嘉陵江组四段沉积时的海水的理论温度(表 2)。由氧同位素计算结果表明,海水的最大温度 61℃,最小温度 32℃,平均温度为 40℃。由于由同位素估算的海水温度为一个相当长时间的海水温度的平均值,而石盐原生包裹体的均一温度可以直接反映卤水结晶时的“瞬时”温度,所有由包裹体所测得的温度相对偏高是可以解释的(Benison and Goldstein, 1999)。此外孙亚东通过关于牙形石的研究得出早三叠世时华南地区的海水温度是相对偏高的,并且他认为整个早三叠世是由西伯利亚火山作用诱发的超级温室期,火山的爆发释放了二氧化碳和甲烷等温室气体,使得古海水处于较高的温度(40℃左右)(孙亚东, 2013)。综合包裹体

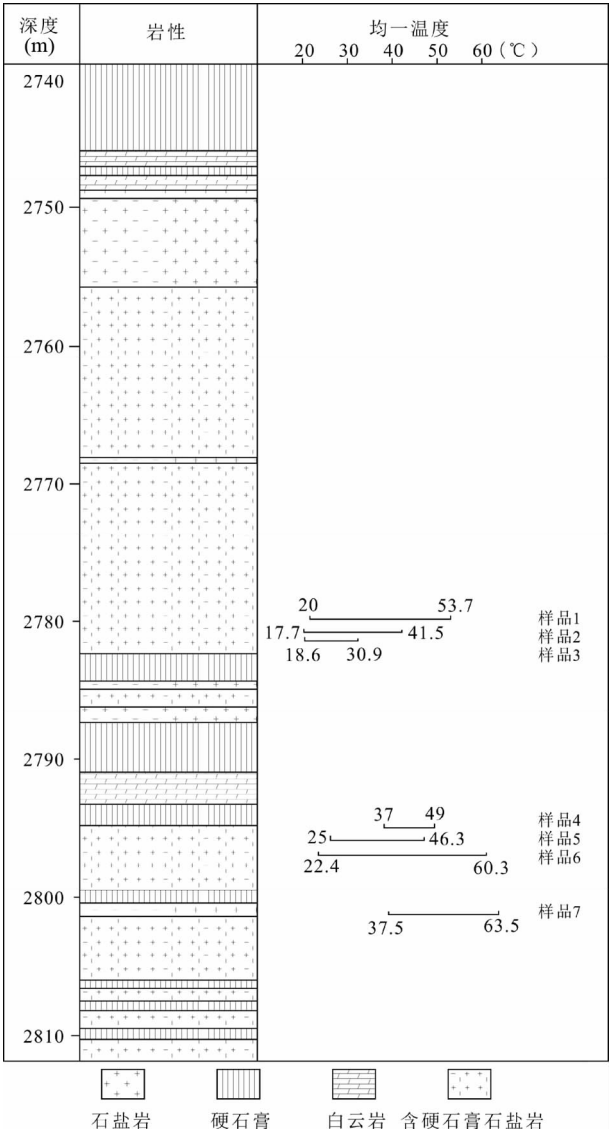


图6 长平3井蒸发岩岩性柱状图及温度分布
Fig.6 Lithological column and homogenization temperature distribution of Changping third well

均一温度所直接得到的浓缩海水(卤水)温度、同位素数据计算所得到的古海水理论温度,说明早三叠世嘉陵江组四段沉积时海水处于高温环境。

由上可知,四川盆地三叠纪海洋环境在整个成盐过程中始终保持高温的气候环境,经过长时间的持续蒸发,卤水的浓缩程度逐渐升高,出现大量石盐沉积。在四川盆地已经发现大量的杂卤石、无水钾镁矾、钾盐镁矾矿物等的析出(林耀庭和陈绍兰,2008),这表明早三叠世时四川盆地一些地区的盐湖蒸发浓缩程度较高,并四川盆地当时处于一个炎热干旱气候环境中,为钾盐或者含钾矿物从卤水中析出奠定了基础。

5 结论

四川盆地东部嘉陵江组四段石盐岩中发育大量原生包裹体,实验结果表明,石盐结晶时卤水的温度在17.7~63.5℃之间,其中最大均一温度(53.7~63.5℃)反映了石盐结晶时古海水(卤水)的最高温度。此结果与由该地区氧同位素数据计算所得出的海水理论温度(32~61℃)基本相符,这表明早三叠世上扬子海相环境具有较高的温度气候条件,这一较高的古气候条件显然有利于古海水的强烈蒸发浓缩,从而为钾盐沉积奠定了重要的气候条件。

References

Benison KC. 1995. Permian surface water temperatures from Nippewalla Group halite, Kansas. *Carbonates and Evaporites*, 10 (2): 245-251

Benison KC and Goldstein RH. 1999. Permian paleoclimate data from fluid inclusions in halite. *Chemical Geology*, 154 (1-4): 113-132

Chen X. 2014. Characteristics of salt-bearing series in eastern Sichuan basin and research on homogenization temperature of the fluid inclusions in salt. Master Degree Thesis. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English summary)

Coplen TB, Kendall C and Hopple J. 1983. Comparison of stable isotope reference samples. *Nature*, 302(5905): 236-238

Huang SJ, Huang KK, Li J and Lan YF. 2012. Carbon isotopic composition of Early Triassic marine carbonates, eastern Sichuan Basin, China. *Science China (Earth Sciences)*, 55 (12): 2026-2038

Jiang M, Ma KY, Li P, Zhang WZ and Lin CL. 1987. A study on paleomagnetism and physical properties of Triassic potassium-bearing strata in eastern Sichuan basin. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 11(4): 266-274 (in Chinese with English abstract)

Lin YT and Chen SL. 2008. Discussion on the evaporite generating modes, saltforming mechanism and potassium-hunting prospect of Lower-Middle Triassic in Sichuan Basin. *Journal of Salt Lake Research*, 16(3): 1-10 (in Chinese with English abstract)

Losey AB and Benison KC. 2000. Silurian paleoclimate data from fluid inclusions in the Salina Group halite Michigan Basin. *Carbonates and Evaporites*, 15(1): 28-36

Lowenstein TK, Li JR and Brown CB. 1998. Paleotemperatures from fluid inclusions in halite: Method verification and a 100000 year paleotemperature record, Death Valley, CA. *Chemical Geology*, 150 (3-4): 223-245

Lowenstein TK, Li JR, Brown C, Roberts SM, Ku TL, Luo SD and Yang WB. 1999. 200 k. y. paleoclimate record from Death Valley salt core. *Geology*, 27(1): 3-6

Lu HZ, Fan HR, Ni P, Ou GX, Shen K and Zhang WH. 2004. Fluid Inclusion. Beijing: Science Press (in Chinese)

Meng FW, Ni P, Schiffbauer JD, Yuan XL, Zhou CM, Wang YG and Xia ML. 2011. Ediacaran seawater temperature: Evidence from inclusions of Sinian halite. *Precambrian Research*, 184(1-4): 63-69

Meng FW, Ni P, Ge CD, Wang TG, Wang GG, Liu JQ and Zhao C. 2011. Homogenization temperature of fluid inclusions in laboratory grown halite and its implication for paleotemperature reconstruction. *Acta Petrologica Sinica*, 27(5): 1543-1547 (in Chinese with English abstract)

Nan JY, Zhou DQ, Ye JL and Wang ZM. 1998. Geochemistry of paleoclimate and paleo-ocean environment during Permian-Triassic in

- Guizhou Province. *Acta Mineralogica Sinica*, 18(2): 239–249 (in Chinese with English abstract)
- Parrish JT. 1993. Climate of the Supercontinent Pangea. *The Journal of Geology*, 101(2): 215–233
- Qian LJ, Shi ZQ, Li ZW and Ou LH. 2010. Fossil Wood of the Upper Triassic Xujiahe Formation on the western margin of Sichuan Basin: Implication for palaeoclimate. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(2): 324–330 (in Chinese with English abstract)
- Retallack GJ. 2013. Permian and Triassic greenhouse crises. *Gondwana Research*, 24(1): 90–103
- Roberts SM and Spencer RJ. 1995. Paleotemperatures preserved in fluid inclusions in halite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(19): 3929–3942
- Shackleton NJ, Wiseman JDH and Buckley HA. 1973. Non-equilibrium isotopic fractionation between seawater and planktonic foraminiferal tests. *Nature*, 242(5394): 177–179
- Sun YD. 2013. Coupling climatic and biodiversity change with volcanisms during the Palaeozoic-Mesozoic upheavals in South China. Ph. D. Dissertation. Wuhan: Chinese University of Geosciences (in Chinese with English summary)
- Urey HC. 1947. The thermodynamic properties of isotopic substances. *Journal of the Chemical Society*, 5: 562–581
- Wan TF and Zhu H. 2007. Positions and kinematics of Chinese continental blocks in Reconstruction of global paleo-continent for Paleozoic and Triassic. *Geoscience*, 21(1): 1–13 (in Chinese with English abstract)
- Woods AD. 2005. Paleocceanographic and paleoclimatic context of Early Triassic time. *Comptes Rendus Palevol*, 4(6–7): 463–472
- Yan JX. 1999. Permian-Triassic paleoclimate of eastern Tethys and its paleogeographic implication. *Earth Science*, 24(1): 13–20 (in Chinese with English abstract)
- Yuan JQ, Cai KQ, Xiao RG and Chen HQ. 1991. The characteristics and genesis of inclusions in salt from Mengyejing potash deposit in Yunnan Province. *Earth Science*, 16(2): 137–142 (in Chinese with English abstract)
- Zhao YJ, Liu CL, Zhang H, Wang LC, Ren CX and Wang X. 2013. Analytical method and paleoenvironmental interpretation of fluid inclusion homogenization temperature of ancient halite. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(5): 603–609 (in Chinese with English abstract)
- Zhao YJ, Zhang H, Liu CL, Liu BK, Ma LC and Wang LC. 2014. Late Eocene to Early Oligocene quantitative paleotemperature record: Evidence from continental halite fluid inclusions. *Scientific Reports*, 4, Article number: 5776, doi: 10.1038/srep05776
- Zhu RX, Yang ZY, Wu HN, Ma XH, Huang BC, Meng ZF and Fang DJ. 1998. Paleomagnetic constraints on the tectonic history of the major blocks of China during the Phanerozoic. *Science in China (Series D)*, 41(Suppl. 2): 1–19
- Zhu ZW, Hao TY and Zhao HS. 1988. Paleomagnetic study on the tectonic motion of Panxi Block and adjacent area during Yinzh-Yanshan Period. *Acta Geophysica Sinica*, 31(4): 420–431 (in

Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈旭. 2014. 川东地区长平三井含盐系特征及石盐流体包裹体的研究. 硕士学位论文. 北京: 中国地质科学院
- 黄思静, 黄可可, 吕杰, 兰叶芳. 2012. 早三叠世海水的碳同位素组成与演化——来自四川盆地东部的研究. *中国科学(地球科学)*, 42(10): 1508–1522
- 姜枚, 马开义, 李普, 张文治, 林传律. 1987. 四川盆地东部三叠纪含钾岩层古地磁及物性研究. *物探与化探*, 11(4): 266–274
- 林耀庭, 陈绍兰. 2008. 论四川盆地下、中三叠统蒸发岩的生成模式、成盐机理及找钾展望. *盐湖研究*, 16(3): 1–10
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 2004. 流体包裹体. 北京: 科学出版社
- 孟凡巍, 倪培, 葛晨东, 王天刚, 王国光, 刘吉强, 赵超. 2011. 实验室合成石盐包裹体的均一温度以及古气候意义. *岩石学报*, 27(5): 1543–1547
- 南君亚, 周德全, 叶健骝, 王筑明. 1998. 贵州二叠纪-三叠纪古气候和古海洋环境的地球化学研究. *矿物学报*, 18(2): 239–249
- 钱利军, 时志强, 李智武, 欧莉华. 2010. 四川盆地西缘地区上三叠统须家河组化石木年轮的古气候意义. *沉积学报*, 28(2): 324–330
- 孙亚东. 2013. 华南古-中生代之交火山作用的古气候影响和生物多样性响应. 博士学位论. 武汉: 中国地质大学
- 万天丰, 朱鸿. 2007. 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. *现代地质*, 21(1): 1–13
- 颜佳新. 1999. 东特提斯地区二叠-三叠纪古气候特征及其古地理意义. *地球科学*, 24(1): 13–20
- 袁见齐, 蔡克勤, 肖荣阁, 陈卉泉. 1991. 云南勐野井钾盐矿床石盐中包裹体特征及其成因的讨论. *地球科学*, 16(2): 137–142
- 赵艳军, 刘成林, 张华, 王立成, 任彩霞, 王鑫. 2013. 古代石盐岩流体包裹体均一温度分析及古环境解释. *地球学报*, 34(5): 603–609
- 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁, 马醒华, 黄宝春, 孟自芳, 方大钧. 1998. 中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动. *中国科学(D辑)*, 28(增刊): 1–16
- 朱志文, 郝天珧, 赵惠生. 1988. 攀西及邻区印支-燕山期地块构造运动的古地磁考证. *地球物理学报*, 31(4): 420–431