

上扬子区(四川盆地)寒武系的 含盐性与地质背景

黄建国

(地矿部第二地质大队)

[内容提要] 据记载,分布于上扬子区寒武系的石膏岩仅有零星资料。如今,大量蒸发岩如溶蚀角砾岩、硬石膏、石盐岩及富钾卤水等已被发现。沉积相经历了从盆地相、台地相到蒸发岩相的演化过程。在中、下寒武统中找到海退沉积序列。古构造-古地理背景是蒸发岩沉积的重要控矿条件之一。周边板块运动及塑性基底的褶皱,导致台缘隆起及台内坳陷的形成。岩相古地理图展示从碳酸盐、硫酸盐到氯化物盐类的“泪滴式”沉积相带。蒸发岩沉积于台缘隆起及礁生长进入堰塞潟湖至盐湖阶段。在稳定坳陷区沉积盆地中蒸发岩系发育,石盐岩较厚,其溴氯比值为0.2—0.4;古气候炎热、干燥;在蒸发岩体周围有沉积(封层)水及溶滤水,其含钾(K^+)量为0.10—4.76g/L;水文地球化学比值(如钾氯比值、钾盐比值及钾溴比值等)指示含钾异常,盐湖浓缩卤水达到氯化物盐类沉积阶段及相应的构造封闭程度,含盐地质标志广泛分布等等。

鉴于上述,估计该区可能具备钾盐成矿条件。然而目的层埋藏太深,因此笔者建议,应在浅埋部位进行有效的成矿预测,为普查指出远景区。

关键词 蒸发岩 含盐标志 地质背景 成因解释 寒武系

1 前言

上扬子区曾有世代开采寒武系石膏的传说,也有利用盐泉卤水熬盐的上千年的记录。寒武系地质调查工作始于20年代,先辈们曾在川、滇、黔、鄂等省区建立生物地层系统的开创性工作。解放后,随着建设事业的发展,开展了以磷矿、汞矿、石油为主的矿产普查工作,经过区域地质调查及专题研究,深化了认识。尤其重要的是在油气钻井中获得了深部寒武系资料。当前的新一轮钾盐成矿预测研究工作取得的重大进展是在上扬子区三十六万平方公里范围内发现大量蒸发岩成矿地质标志,如岩盐及含钾卤水等信息,证明上扬子区寒武系是我国的一个新的蒸发岩成矿地区和层位。本文提供有关寒武系含盐性、含钾线索及其地质背景方面的素材,并试作初步讨论,敬请专家指正。

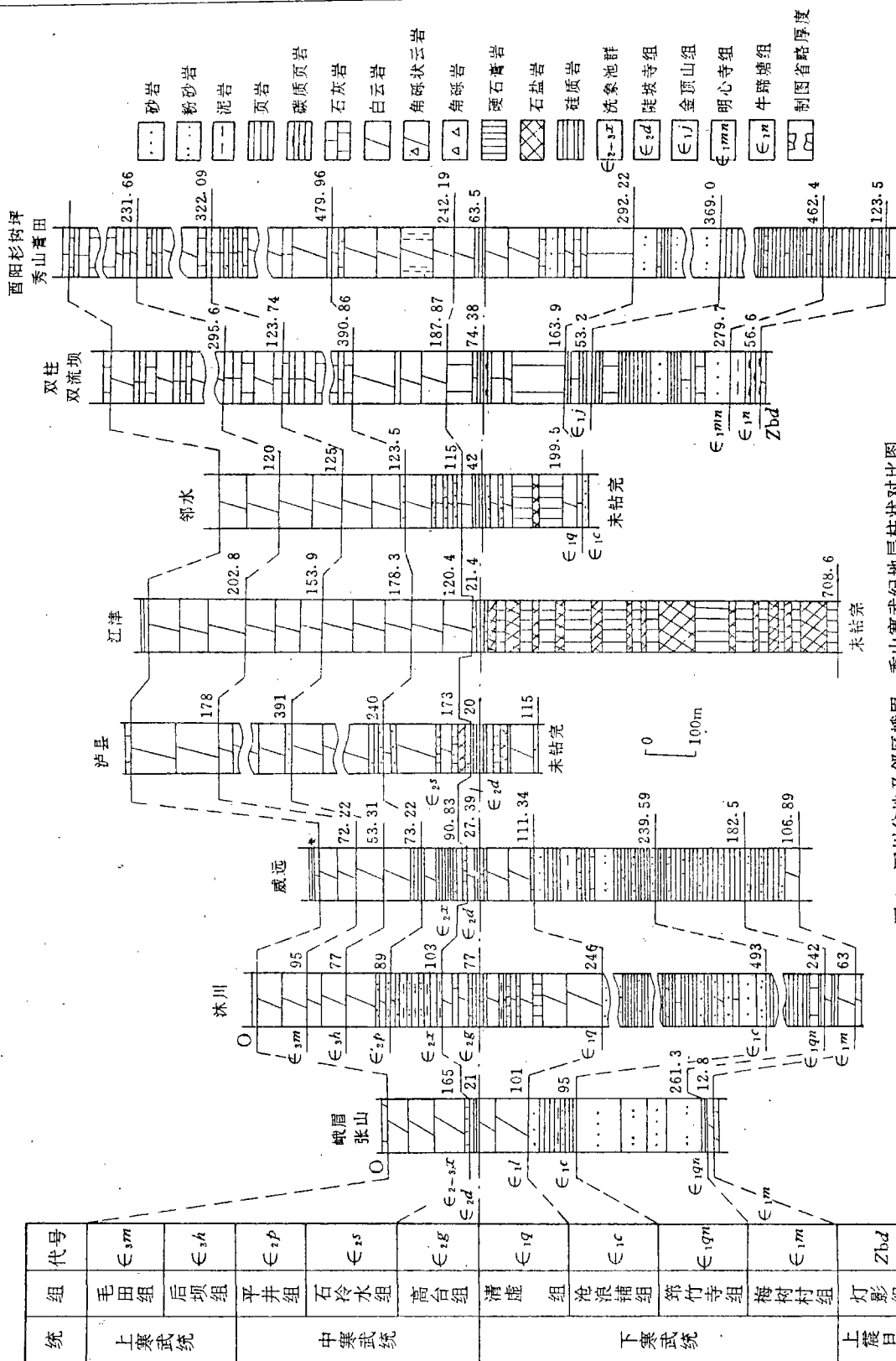


图 1 四川盆地及邻区峨眉山—秀山寒武纪地层柱状对比图

Fig. 1 Stratigraphic columnar correlation of the Cambrian strata in the Emei—Xiushan zone in the Sichuan Basin and its adjacent areas

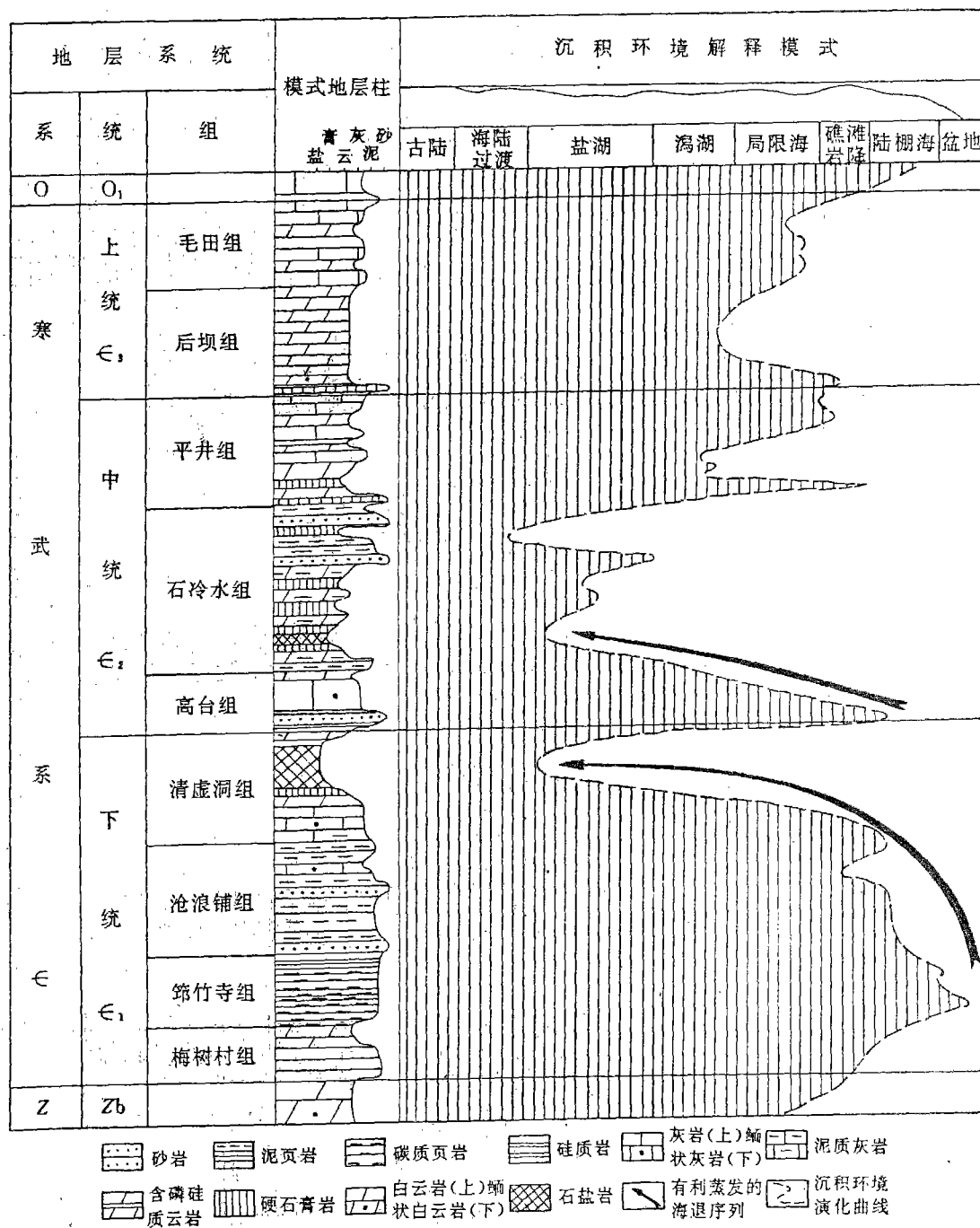


图 2 四川盆地寒武纪地层相演化模式图

Fig. 2 Model showing the evolution of the Cambrian stratigraphic facies in the Sichuan Basin

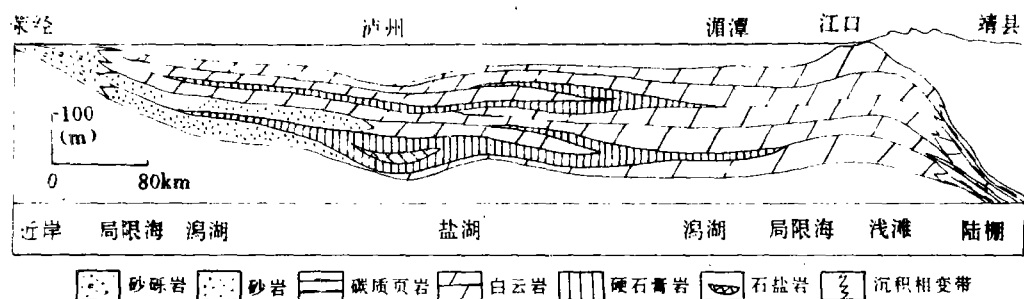


图 3 四川盆地中寒武统石冷水组横剖面示意图

Fig. 3 Schematic cross-section through the Middle Cambrian Shilengshui Formation in the Sichuan Basin

2 含盐地质标志及成矿地质背景

在寒武系成矿地质背景研究及蒸发岩沉积记录中,迄今发现的含盐地质标志有地层标志、构造标志、岩相古地理标志、地球物理标志、地球化学标志、水文地球化学标志、矿物岩石标志及古气候标志等,兹简述如下:

2.1 地层标志

运用地层法则,建立了工作区的寒武系地层系统,对距今 600Ma 的寒武系划分为三统十阶九组。地层对比(图 1)发现,中统的石冷水组和下统的清虚洞组是主要蒸发岩层位,而后者是钾盐预测的主要目的层。

2.2 岩相古地理标志

寒武纪为海相碎屑岩、碳酸盐及少量蒸发岩的沉积组合。早、中寒武世大体经历了从盆地相到台地碳酸盐-蒸发岩相的沉积演化过程。在沉积盆地中形成不同的沉积序列,图 2 表明,中、下寒武统有指示蒸发矿产沉积趋势及找钾方向的很好的海退序列。

在石冷水期,图 3 展示该层位沉积序列的横向变化;西部主要为红色碎屑岩组合,东部为碳酸盐组合,其间为碳酸盐-蒸发岩组合。图 4 可见上扬子海域的岩相古地理轮廓,呈现碳酸盐-硫酸岩-氯化物沉积相带,蒸发岩分布区近十八万平方公里,古盐湖卤水达到氯化物盐类沉积咸化阶段。

在清虚洞期,图 5 为岩相横剖面图,说明台缘隆起及生物礁滩的形成对台内蒸发岩的控制作用。岩相古地理图(图 6)中可见川东黔北坳陷的持续稳定沉降发展形成的蒸发盆地。台盆内已形成从碳酸盐到硫酸盐到氯化物的环状沉积相带,氯化物盐类广泛分布,有利于钾盐沉积。

上扬子海台盆呈西高东低的斜坡(图 7),台盆蒸发岩的发现及其广泛分布改变了华南早、中寒武世的古地理面貌(图 8)。台地三面有古陆及岛陆,一面有深断裂及台缘浅滩与藻礁筑成的屏障,从而使台内海域处于半封闭的局限海→潟湖→盐湖蒸发沉积环境,有利于盐类矿产的形成。

2.3 古构造标志

呈菱形的四川盆地在构造上处于华南褶皱系、松潘-甘孜褶皱系及秦岭褶皱系之间,位于扬子准地台西北隅。盆地构造形态既受周边褶皱系也受基底构造的控制。盆地中部的稳

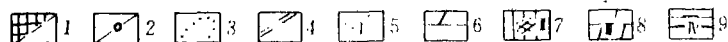
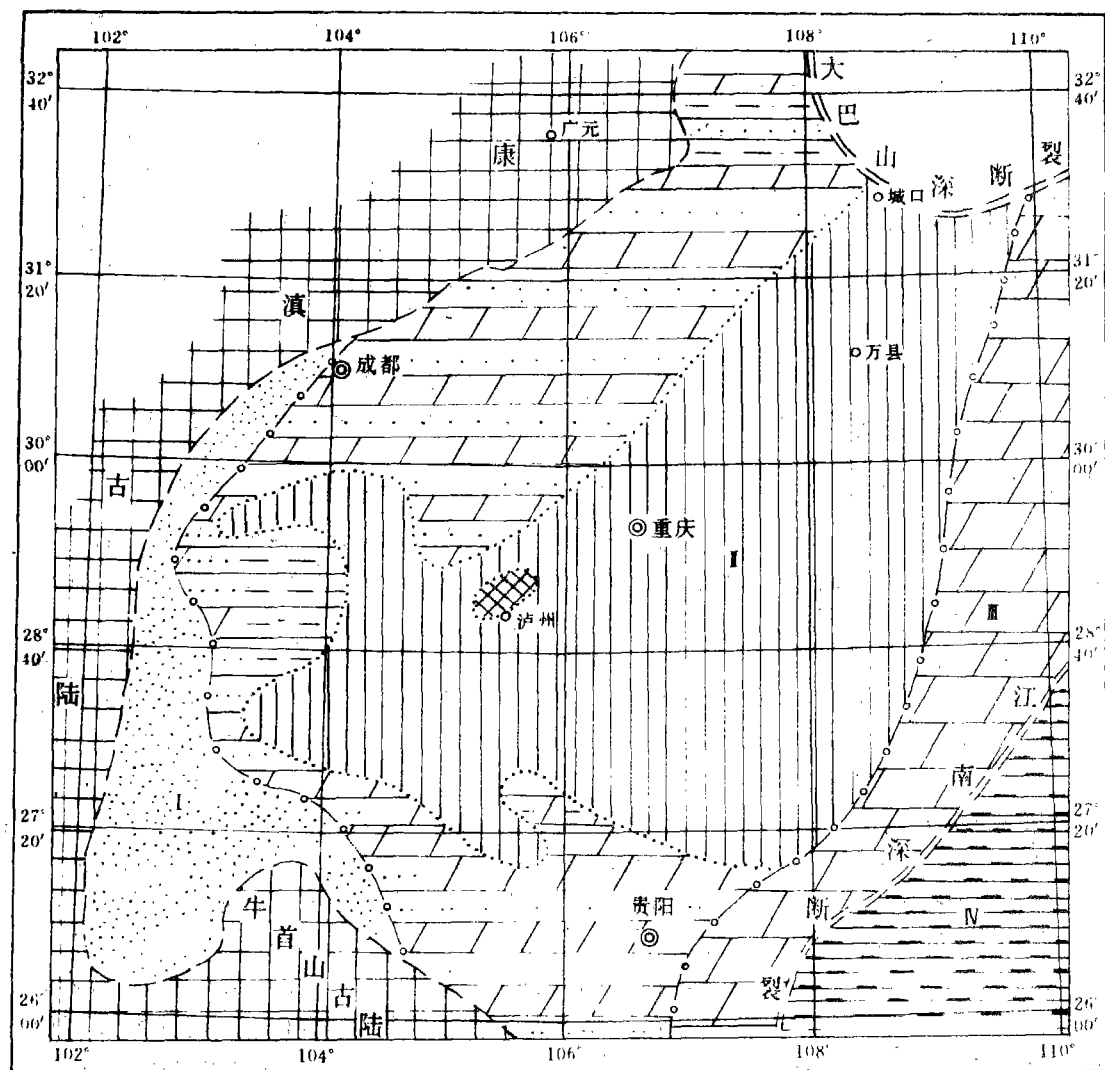


图4 四川盆地及邻区中寒武世石冷水期沉积岩相古地理略图

1. 古陆; 2. 相区界线; 3. 岩相界线; 4. 古断裂; 5. 台地相(陆地边缘相区);
6. 台地局限海-潟湖碎屑岩-碳酸盐相; 7. 台地潟湖-盐湖碳酸盐-蒸发岩相(台地相区);
8. 台缘碳酸盐相(台地边缘相区); 9. 陆棚碳酸盐-碳泥质岩相(陆棚相区)

Fig. 4 Shilengshui (Middle Cambrian) sedimentary facies and

palaeogeographic map of the Sichuan Basin and its adjacent areas

- 1=ancient land; 2=facies region boundary; 3=lithofacies boundary; 4=palaeofault;
5=platform facies (pericontinental facies region); 6=platformal restricted sea-lagoonal
clastic rock-carbonate facies; 7=platformal lagoon-saline lake carbonate-evaporite facies
(platform facies region); 8=periplatformal carbonate facies (platform-margin facies region);
9=shelf carbonate-carbonaceous and argillaceous rock facies (shelf facies region)

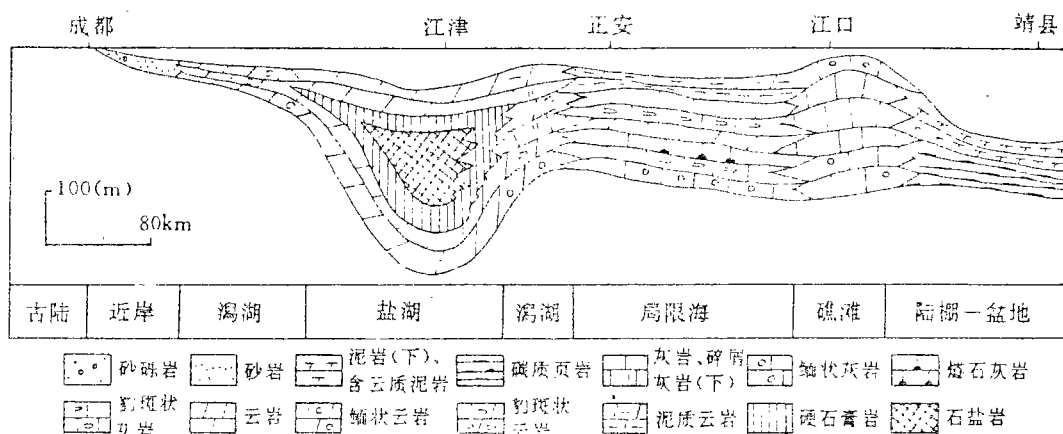


图 5 四川盆地地下寒武统清虚洞组横剖面示意图

Fig. 5 Schematic cross-section through the Lower Cambrian Qingxudong Formation in the Sichuan Basin

定性取决于基性、中基性杂岩组成的刚性基底的制约;而盆地东部的不稳定性乃是弱磁性-无磁性副变质岩体组成的塑性基底的作用。它是沉积盆地形成发育的理想基础。周边板块活动的驱使,塑性基底的挠折,促使台缘隆起及台内坳陷的形成(图 9)。沉积盆地的形成机理及大地构造图解说明,川东南、黔北为与巨厚蒸发岩沉积分布相关的稳定坳陷区或蒸发岩古含矿构造带。

2.4 地球物理标志

根据地球物理测井资料建立了预测区的物性地层系统。蒸发岩中的氯化物沉积具有视电阻率低、声波速度高、钻时低及井径扩大的特点。物性标志明显,易于识别。

2.5 地球化学标志

石盐岩中的 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 值 0.18—0.40, $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 及 K/Br 值在剖面上部有增高的趋势(图 10),推测蒸发盆地卤水部分达到钾石盐沉积的早期阶段。

2.6 水文地球化学标志

寒武系蒸发岩地质体周围有两种成因类型的水,即沉积水和淋滤水,还有混合水。在盆地深埋区主要为沉积水,矿化度高($>140-346\text{g/L}$),多为氯化物型, $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 值高(2.96—6.88), NNa/NCl 值 <0.85 , 含钾(K^+)量 0.15—4.76g/L;在露头及浅埋区多为淋滤水,水质以硫酸盐型为主,矿化度较低($<10\text{g/L}$), NNa/NCl 值 0.86—2.04, 含钾量 $<0.15\text{g/L}$ 。国内外已知钾盐矿床淋滤水的水化学异常评价标准是: $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 0.67—0.83, $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl} > 20$, $\text{K} \cdot 10^3/\Sigma\text{M6}-10$, $\text{K}/\text{Br} > 5$, $\text{Br}/\text{K} < 0.17$, $\text{Cl}/\text{Br} < 1200-1500$ ^①, $\text{Na}/\text{K} < 32-200$ 等。与之比较,四川盆地边缘(如巫溪、彭水等地)盐泉卤水水化学系数大部分达到含钾异常评价标准。R 型聚类分析谱系图表明,钾与常量组分钠、镁、钙、氯根、硫酸根及矿化度呈正相关关系,相关系数 0.84,说明盐泉水中的钾物质可能主要来自固相含钾盐类,展示较好的钾盐前景。

① S. M. Korenevski, 1973, 与盐类建造有关的矿产的预测方法,地质科学院情报所。

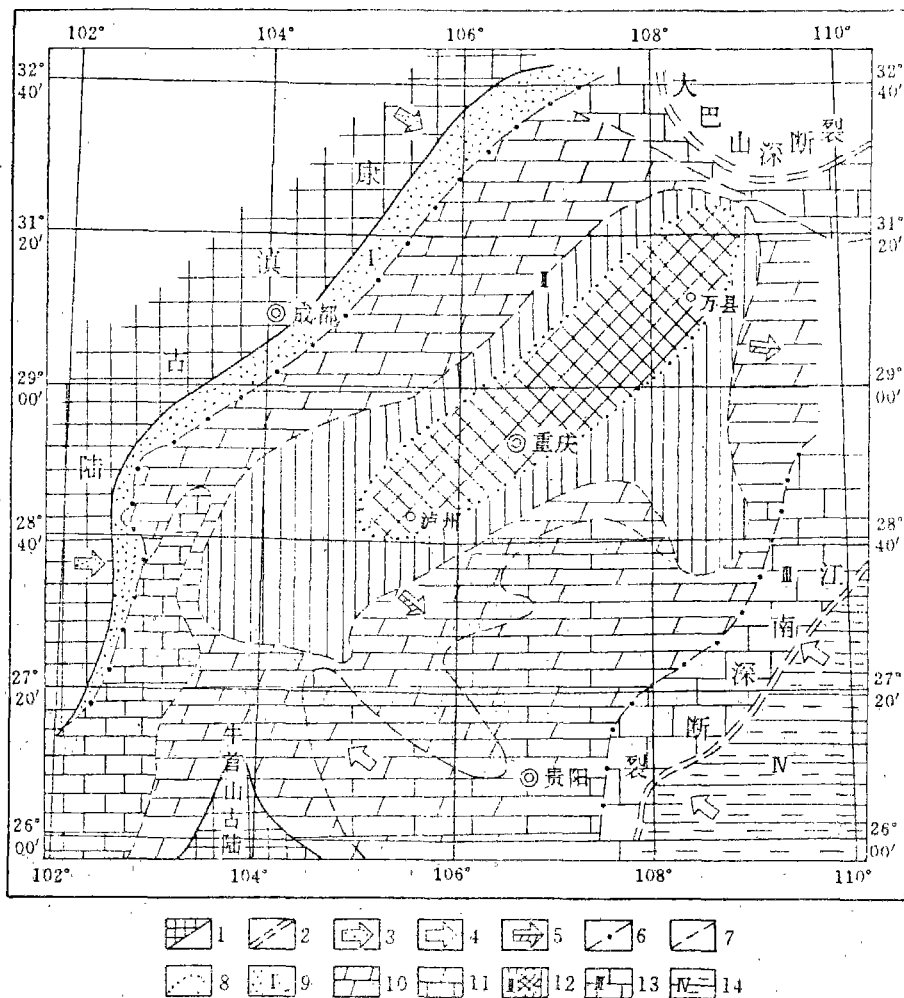


图6 四川盆地及邻区早寒武世清虚洞期沉积岩相古地理略图

1. 古陆; 2. 古断裂; 3. 陆源供给方向; 4. 海进方向;
5. 海退方向; 6. 相区界线; 7. 岩相界线; 8. 石盐沉积盆地界线; 9. 陆源碎屑岩相(陆地边缘相区);
10. 台地局限海-潟湖白云岩相; 11. 台地局限海碳酸盐相; 12. 台地潟湖-盐湖碳酸盐-蒸发岩相(台地相区);
13. 台缘鲕粒浅滩碳酸盐相(台地边缘相区); 14. 陆棚浅海泥质岩相(陆棚相区)

Fig. 6 Simplified Qingxudongian (Early Cambrian) sedimentary facies and

palaeogeographic map of the Sichuan Basin and its adjacent areas

- 1=ancient land; 2=palaeofault; 3=terrigenous supply direction; 4=transgression direction;
5=regression direction; 6=facies region boundary; 7=lithofacies boundary; 8=halite basin
boundary; 9=terrigenous clastic rock facies (continental-margin facies region); 10=platformal restricted
sea-lagoonal dolostone facies; 11=platformal restricted sea carbonate facies; 12=platform
lagoonal-saline lake carbonate-evaporite facies (platform facies region);
13=periplatformal ooidal shoal carbonate facies (platform-margin facies region);
14=shelf shallow sea argillaceous rock facies (shelf facies region)

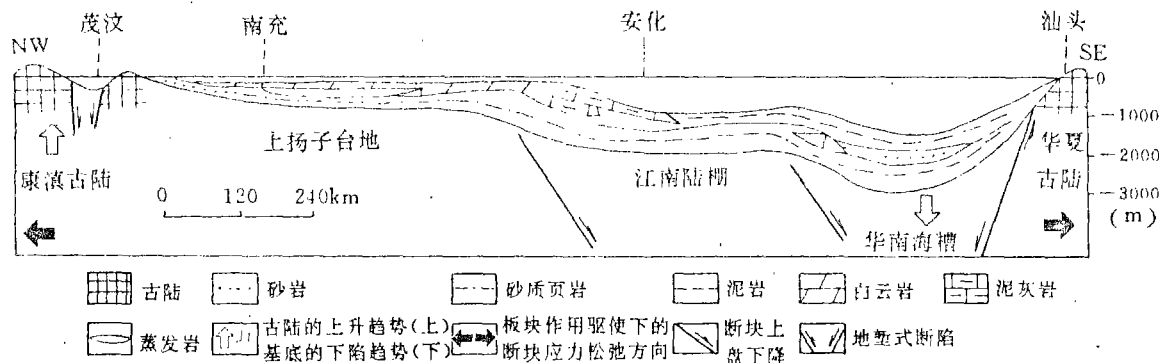


图7 受基底断裂构造控制的华南早寒武世古地理格局

(示地堑式断陷形成西高东低的阶梯状海底地形)

Fig. 7 Schematic cross-section showing the palaeogeographic framework of South China controlled by basement fault structures during Early Cambrian time

2.7 矿物岩石标志

在预测区内已经发现的盐类岩石有溶蚀角砾岩、石膏(硬石膏)岩及石盐岩类。

(1)溶蚀角砾岩:乃原生带硬石膏岩等盐类沉积经溶蚀去硫酸盐化的产物,地表为碳酸盐组分,半淋滤带为石膏质角砾岩。见于中、下寒武统的碳酸盐沉积序列中。分布于滇东北、黔北、川东南、湘西北、鄂西及陕东南等省区。

(2)石膏及硬石膏岩:在川、滇、黔、鄂等省区的地表及浅部钻井剖面中见石膏,在深部石油钻井岩屑中发现硬石膏,多达数十层,厚数百米。

(3)石盐岩:根据地球物理测井及岩屑录井资料,可以解释岩盐数十层,厚逾数百米,主要赋存于清虚洞组中。含溴氯值较高的石盐的发现,为认识该层位的成钾可能性提供了重要依据。

2.8 古气候标志

在寒武系地质记录中搜集到以下与古气候相关的资料:①早寒武世,板块作用下的深断裂带及盆地边缘,岩浆活动及火山喷发剧烈,致使海水及大气增温;②鄂西、滇东、川西寒武系地体古地磁测试数据说明预测区位于赤道附近(古纬度北纬1—5°),为热带气候,暖流环境;③筇竹寺组(ϵ_1)、都柳江组(ϵ_2)的黑色碳、泥质岩是高海面海洋环境产物,高温导致海侵及缺氧事件的发生;④稳定同位素资料: $\delta^{18}\text{O}$ 呈高负值(-3—-14‰), $\delta^{13}\text{C}$ 为低负值或趋向于零, $\delta^{34}\text{S}$ 为高异常值(30—35‰),指示高温(“热相”)环境;⑤有壳生物的超史前繁盛和快速演化,标志海水及大气温度的增高。古杯海绵、葛万藻、叠层藻、藻礁或生物丘的发现,说明当时是热带海洋环境;⑥在沉积相剖面中,红层与碳酸盐地质体呈楔状交错岩相侧变,或边缘为红色沉积,向盆地过渡为以蒸发岩为主的沉积类型(图3),指示干旱条件下的海相潟湖-盐湖环境;⑦沉积层面上的干裂、冲刷面、渗流豆石、渣状层及石盐假晶等标志指示干旱、暴露及咸化环境;⑧蒸发沉积序列中的红色粘土、硬石膏及石盐等矿物是潟湖-盐湖干旱环境的直接标志等等。以上沉积记录的定性及半定量参数说明寒武纪古气候具有炎热、干燥特

点。而形成钾盐矿床的重要条件之一是与海洋隔离的沉积盆地的水,由此可见,上扬子区寒武纪古气候条件有利于蒸发矿产的形成。

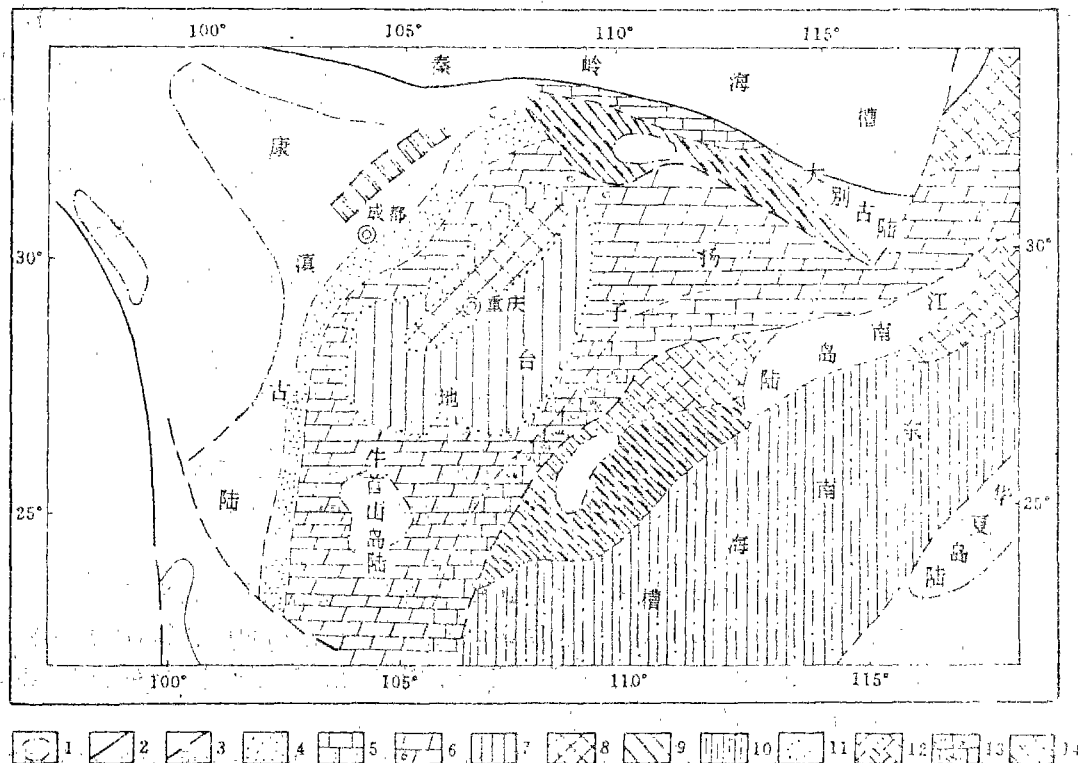


图8 四川盆地及华南早、中寒武世古地理概略图

1. 古陆; 2. 古板块消减带; 3. 推测古断裂带; 4. 陆缘碎屑岩; 5. 台地灰岩; 6. 台地云岩、鲕云岩;
7. 蒸发岩及盐泉水分布区; 8. 石盐岩及含钾卤水分布区; 9. 碳泥质岩组合; 10. 半深海砂泥质复理石组合;
11. 蒸发盆地; 12. 过渡相泥质碳酸盐组合; 13. 台缘生物礁、滩碳酸盐组合; 14. 泥质、硅质组合

Fig. 8 Simplified Early and Middle Cambrian palaeogeographic map of the Sichuan Basin and South China

- 1=ancient land; 2=palaeoplate subduction zone; 3=inferred palaeofault zone;
4=pericontinental clastic rock; 5=platformal limestone; 6=platformal dolostone and oolitic dolostone;
7=distributive province of evaporites and saline springs; 8=distributive province of halite rocks and K-bearing brines; 9=carbonaceous and argillaceous rock association; 10=bathyal sandy and argillaceous flysch association; 11=evaporitic basin; 12=transitional argillaceous carbonate association; 13=periplatformal organic reef and bank carbonate association; 14=argillaceous and siliceous association

3 蒸发岩成因解释

对蒸发岩成因的解释在很大程度上是一种艺术,当然首先应当承认它是科学,特别是水下沉积的观点。前人总结的若干成盐模式,有重要借鉴价值和指导意义,虽然多在假说阶段,所以有待资料积累,不断完善。寒武系地质记录表明,当台缘隆起和滩礁生长呈“堡岛”出现时,台内海域水体便处于蒸发浓缩环境中,并依次向远离台缘方向浓缩,出现由石灰质→白云岩→硬石膏→石盐岩组成的侧向演化序列,显然是一个由台地局限海—潟湖—盐湖环境

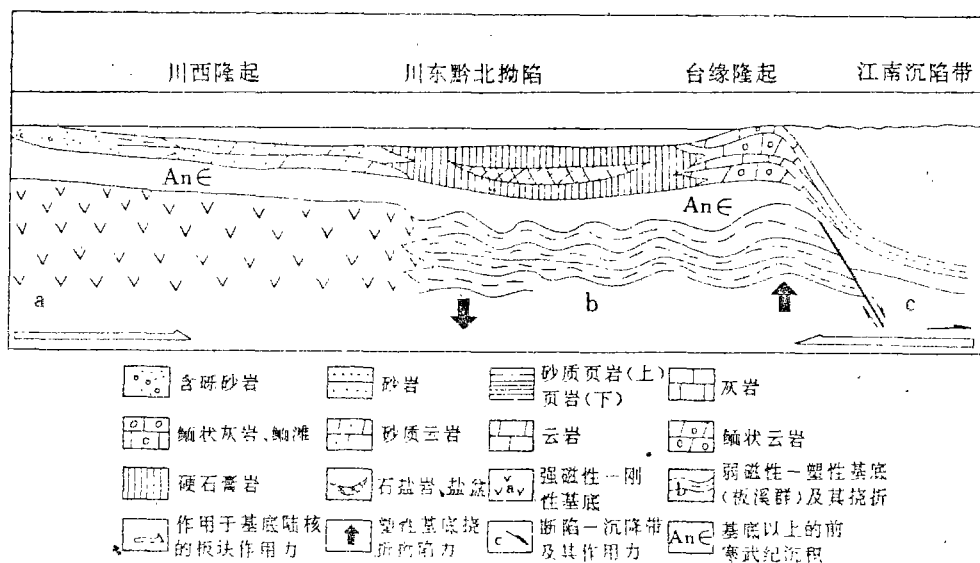


图9 四川盆地及周边寒武纪基底构造(岩相)对台地蒸发盆地沉积控制示意图

Fig. 9 Diagrammatic illustration of the controls of the Cambrian basement structures

(lithofacies) on the platformal evaporitic basin deposits in the Sichuan Basin and its peripheral regions

控制的分级浓缩过程,在平面上呈“泪滴式”或环状相带,显示咸化梯度或咸化阶段差异(图4、6),最后达到氯化物盐类的沉积阶段及相应的构造封闭程度。由此可见,预测区的寒武纪蒸发岩是在有相当深度的台地海域因台缘关闭在台内蒸发盆地中浓缩沉积的产物(图11)。

4 含盐性及蒸发岩成矿前景评述

从全球钾盐矿床的形成规律看,古生代钾盐的矿床分布在古老台地的稳定盆地内,属海相碳酸盐型钾盐矿床。沉积特征为干旱条件下的海退序列,沉积盆地的最拗陷部位是浓缩卤水沉积钾盐的最有利部位。上扬子海盆寒武纪成盐规律与世界古生代钾盐矿床相似。在古老基底构造控制的稳定拗陷区(或蒸发岩含矿构造带),在沉积盆地中碳酸盐—蒸发岩系发育,含盐性好;有炎热干旱的古气候条件;在海退沉积序列中有巨厚石盐岩,石盐溴氯比值0.18—0.40,有广泛分布的成盐找钾标志;在岩盐体周边有矿化高度的氯化物型溶滤水及沉积水,水化学系数如 $K \cdot 10^3 / Cl$, K / Br 等多显示含钾异常;在蒸发盆地中卤水达到氯化物盐类沉积的浓缩咸化阶段及相应的构造封闭程度,展示较好的钾盐成矿前景。当前的工作业已证实,以四川盆地为代表的上扬子区寒武系是我国的一个有希望的成盐找钾地区和层位。但由于目的层深埋地腹,超过钾盐普查深度范围,因而有必要在浅埋区开展工作,以便寻找成矿条件、保存条件及找矿相对较好的远景区。

先后参加野外地质调查工作的还有刘世万、陈林蓉、黄大元等同志。四川石油管理局及其川南矿区提供搜集部分钻井资料及岩屑采样的方便。成都地质矿产研究所吴应林研究员惠予指导,特此致谢。

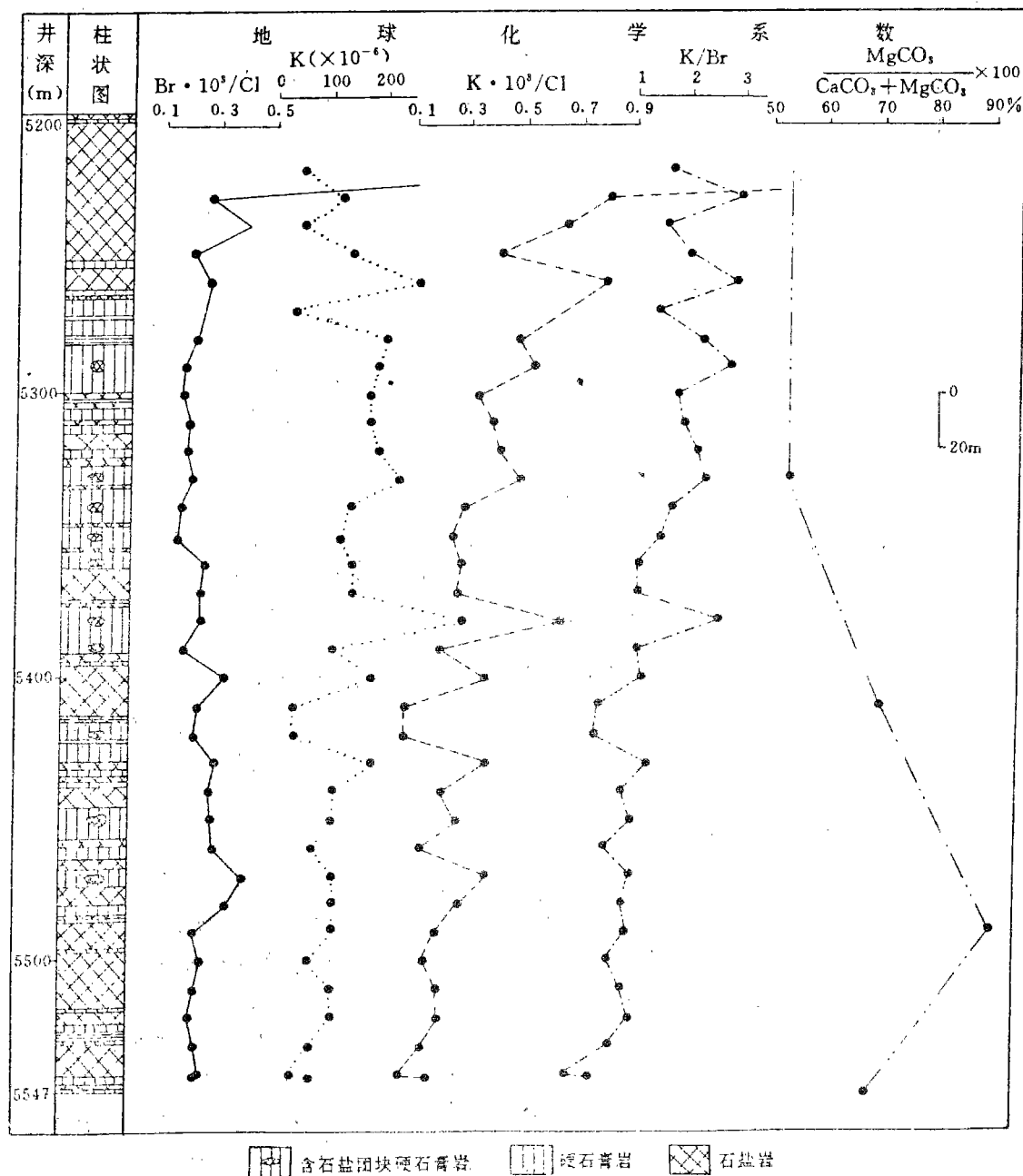


图10 四川盆地寒武系清虚洞组蒸发岩地球化学柱状剖面图

Fig. 10 Geochemical column of the evaporites from the Cambrian Qingxudong Formation in the Sichuan Basin

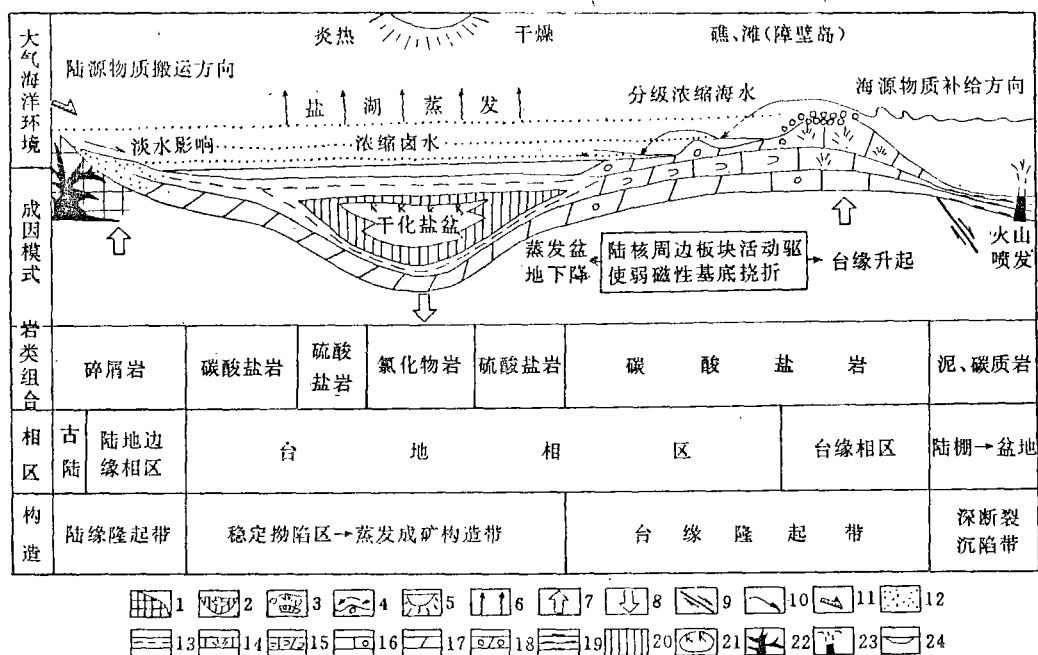


图11 四川盆地寒武系蒸发岩成因地质解释模型

1. 古陆; 2. 蒸发沉积盆地; 3. 台缘碳酸盐藻礁、鲕粒滩; 4. 不同沉积环境海水的分级浓缩; 5. 赤道海空的炎热气候;
6. 盐湖卤水的强烈蒸发; 7. 台地边缘的上升趋势; 8. 基底挠折控制蒸发盆地稳定下降; 9. 台缘深断裂及两侧的升降趋势; 10. 陆源淡水影响; 11. 陆源物质搬运方向; 12. 陆地边缘碎屑岩(相); 13. 盐湖泥岩;
14. 藻礁灰岩; 15. 豹斑状灰云岩; 16. 灰岩、鲕状灰岩; 17. 白云岩; 18. 鲕状白云岩; 19. 碳泥质岩;
20. 硬石膏岩; 21. 石盐岩顶为钾盐; 22. 台缘岩浆活动; 23. 断裂沉陷区海底火山喷发;
24. 浓缩海水、卤水

Fig. 11 Genetic interpretation of the Cambrian evaporites in the Sichuan Basin

1=ancient land; 2=evaporitic basin; 3=periplatformal carbonate algal reefs and oolitic shoal; 4=graded concentration of sea water from different sedimentary environments; 5=hot climates in the equatorial territory; 6=intense evaporation of the saline lake brines; 7=ascension trends for the platform margins; 8=steady subsidence of the evaporitic basins controlled by the basement flexure folding; 9=periplatformal deep faults and ascension and descension trends for their flanks; 10=terrigenous fresh-water effect; 11=transport direction of the terrigenous material; 12=pericontinental clastic rock (facies); 13=saline lake mudstone; 14=algal reefal limestone; 15=leopard lime dolostone; 16=limestone and oolitic limestone; 17=dolostone; 18=oolitic dolostone; 19=carbonaceous and argillaceous rocks; 20=anhydrite; 21=sylvite on the top of halite rock; 22=periplatformal magmatism; 23=submarine volcanic eruption in the fault subsidence region; 24=concentrated sea water and brines

主要参考文献

- 孙焕章, 1984, 扬子断块区基底的形成与演化, 地质科学, 第4期。
瓦里亚什科, М.Г., 钾盐矿床的地球化学, 钾盐专辑, 第1辑, 中国工业出版社。

刘宝珺等, 1985, 岩相古地理基础及工作方法, 地质出版社。

Richt-Bernbury, G., 1972. Sedimentological problems of saline deposits, *Geology of Saline deposits*, Earth Sciences Unesco Paris, pp. 33—39.

SALTNESS AND GEOLOGIC BACKGROUND OF THE CAMBRIAN STRATA IN THE SICHUAN BASIN IN THE UPPER YANGTZE AREA

Huang Jianguo

(No. 2 Geological Party, Ministry of Geology and Mineral Resources)

ABSTRACT

As a matter of record, little research was made on the Cambrian gypsoliths in the Upper Yangtze area. A wide range of evaporites such as corroded breccia, anhydrite, halite and K-rich brines have now been noticed in this area. Sedimentary facies have experienced the evolutionary stages from the basin facies through platform facies to evaporite facies. The regressive sedimentary sequences have been found in the Middle and Lower Cambrian strata. The palaeotectonic and palaeogeographic settings are believed to be the important ore-controlling conditions. The movement of the peripheral plates and folding of the plastic basement resulted in the formation of the periplatform uplifts and intraplatform depressions. The sedimentary facies and palaeogeographic maps display a pattern of sedimentary facies belts as the "tear-drop pattern" ranging from carbonates through sulfates to chlorides. The evaporites rest on the periplatform uplifts, and the reef growth has graded into the barrier lagoon to saline lake stages.

The evaporite series are developed in the sedimentary basins in steadily subsiding area, with thicker halite rocks whose Br/Cl ratios range between 0.2 and 0.4. The palaeoclimates are dry and hot. The sedimentary (confined) water and leach water occur around the evaporite rock bodies, with K (K^+) contents varying between 0.1 and 4.76g/l. The hydrologic-geochemical values (such as K/Cl ratios, sylvite ratios and K/Br ratios) indicate a normal K content. The concentrated brines in the saline lakes reach the depositional stages of the chlorides. There exist the corresponding tectonically enclosed conditions. The salt-bearing geological indicators occur on a wide range of scales. It is concluded that there may be the mineralization conditions for potassic salts in the study area. However the target strata are buried too deeply, and therefore the effective metallogenic prognosis should be made in the shallower depths.

Key words: evaporite, salt-bearing indicator, geologic background, genetic interpretation, Cambrian strata