

老挝万象盆地通芒地区盐构造特征及成因机制

李善平^{1,2}, 马海州¹, 山发寿¹, 高东林¹, 王明祥^{1,2}, 唐启亮¹, 程怀德^{1,2}

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 万象坳陷盆地腹地通芒地区古新世—始新世沉积了巨厚的膏盐岩, 塔贡组下盐层钾镁盐矿体呈盐构造, 钾镁盐矿体与上覆碎屑岩之间整合接触, 在喜马拉雅运动中晚期的强烈挤压与差异载荷等作用下, 形成通芒地区狭长形隆起的盐背斜构造。研究表明通芒地区盐构造的成因受多重作用影响, 差异负载是通芒地区盐构造初始形成时的动力来源, 盐上盖层快速沉降是盐构造生长缓慢的主要原因。强烈的区域挤压作用促进了差异负载、重力作用与浮力作用的进一步发展, 所形成的构造样式相对较简单, 以发育盐构造初期的盐枕及盐背斜为主。盐构造对于研究钾镁盐体的成因、运动规律和成矿作用具有重要意义。

关键词: 万象盆地; 盐构造; 成因机制; 差异负载; 构造挤压; 重力作用; 浮力作用

中图分类号: P542

文献标识码: A

文章编号: 1008—858X(2009)02—0005—08

盐构造广泛分布于大陆架及陆地, 盐构造的研究在构造地质学、含油气盆地分析和古钾盐成矿成藏等领域具有重要地位, 是当前世界含油气、古钾盐成盐盆地构造研究热点问题之一^[1]。盐构造与古钾盐成矿成藏密切相关, 戈红星^[2]认为前积作用(差异负载作用之一)在许多前陆盆地、拉裂盆地和被动大陆边缘盆地中对盐构造的触发有着极大的影响。挤压区的盐较少发育到刺穿阶段, 大多停留在盐枕阶段^[3]。早期盐构造(盐枕、盐隆)与上覆沉积盖层呈整合接触关系^[4]。盐岩易发生塑性流动, 因而盐层可改变自身及上覆地层产状, 形成多种类型圈闭^[1]。但在古钾盐盐构造驱动机制方面研究尚显不足, 特别是对老挝万象盆地第三系古钾盐矿床盐构造的研究更显粗浅。此次笔者等在万象盆地腹地通芒地区通过钻孔对钾镁盐矿层的揭露以及参考前人在该区的资料, 对该区所揭露的盐构造进行详细剖析, 为万象盆地古钾盐成矿成藏、盐盆地构造形态以及钾盐矿床成矿规律等提供重要依据。

1 区域地质特征

万象盆地属沙空那空盆地一部分, 位于东印板块北部(图 1)。其南、西、北部分别为北柬埔寨、南乌江、湄公河深大断裂控制, 构成一个独特的长期稳定持续下降的坳陷带。其中沉积了广厚的中生代红色碎屑岩建造, 特别是早白垩世晚期燕山运动, 使坳陷内沿大断裂方向形成一系列的凹陷和水下隆起, 严格制约着本区古近纪的石盐或钾盐盐盆展布。

万象盆地西起班农阿布, 东至班南罗, 北自班当坎, 南到湄公河, 地势平坦, 西部属低山丘陵区。出露二叠系至第四系地层, 受近东西向的挤压或引张, 盆地内东北缘及南部构造活动相对较发育, 以北北西向纵断层、褶皱及近北东向横断层为主, 岩浆活动不发育。区内水系较发育, 为热带雨林湿热气候。通芒地区位于万象盆地腹地, 区内地形相对平坦, 海拔标高 160.68~182.85 m, 相对高差约 22 m。塔贡组

收稿日期: 2008—12—10 修回日期: 2009—04—11

基金项目: 云南中寮矿业开发投资有限公司老挝万象钾盐矿床补充勘探项目

作者简介: 李善平(1974—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事区域地质及古环境地质工作。E-mail: lishanping952@163.com

为主要含盐地层,第四系冲积物厚度较薄,构造形迹不发育,多为村庄、稻田、林地、水塘及沼泽大面积覆盖。

2 盐构造特征

2.1 含盐地层特征

区内出露二叠系至第四系地层,主要为侏罗系、白垩系、古近系及第四系,缺失三叠系、侏罗系上统、白垩系上统。含盐构造地层主要为塔贡组,根据岩性及沉积组合特征,分为下、中、

上三段及六个亚段,钾镁盐矿主要产于下盐组。塔贡组与上覆地层古近系古新统一始新统班塔博组(E_{-2}^{bt})呈角度不整合,与下伏地层白垩系下统班塔拉组(K_1^{bt})呈平行或微角度不整合关系。

1)上段(E_1^g)。上碎屑岩层:棕红、紫红色中—厚层状、块状含粉砂泥岩,局部含少量白云质泥岩、有少量石膏细脉,底部为灰、灰紫色含石盐泥岩,具纹层状构造,含灰绿色白云质团粒;产介形类。*Sinocypris subovata* Gou, *S. suboblonga* Gou, 轮藻等^[5];上盐层:灰白、无色石盐岩,含少量纹层状、条带状、薄层状硬石膏。

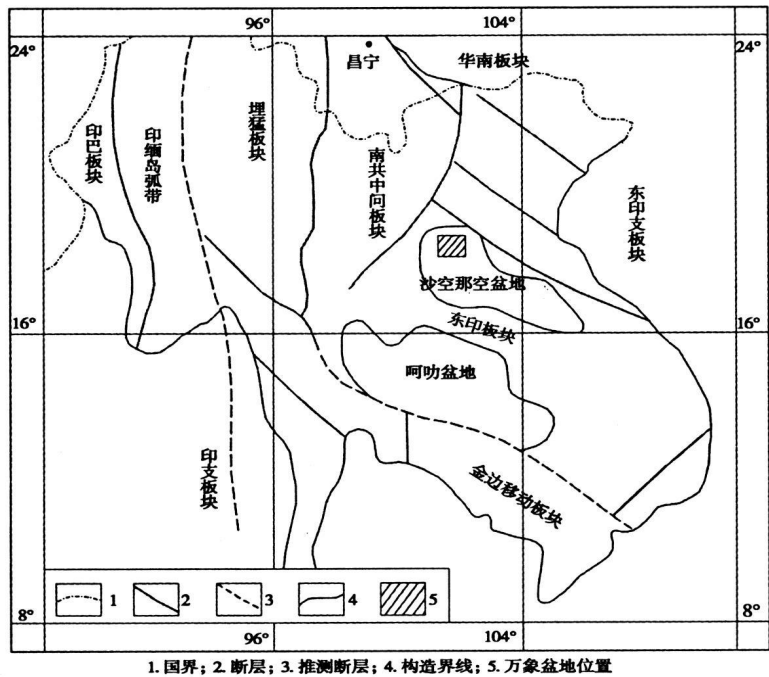


图 1 万象盆地大地构造图
1. National boundary 2. Fault 3. Supposed fault 4. Structure boundary 5. Location of Vientiane basin
Fig 1 Tectonic map of Vientiane basin

2)中段(E_1^g)。中碎屑岩层:紫红、暗紫红中厚层状粉砂质泥岩,含粉砂泥岩,局部夹粉砂岩,含灰绿色白云质团粒、石膏团块及石盐细脉,见水平层理、斜层理构造,底部为灰黑、灰紫、灰色含石盐泥岩、含石膏泥岩;产介形类 *Candona* Sp, *Sinocypris zhengdongensis* Gou, 轮藻, *Gyrogonia qianjiangia* Z Wang等^[5]。中盐层:灰白色、无色石盐岩,含少量纹层状、条带状硬石膏,中上部夹 1.70~6.07 n 钾镁盐矿,中

下部偶夹薄层或纹层状含白云质硬石膏,含深灰色有机质条带,硬石膏中包裹有少量细粒赤铁矿、菱镁矿、石英。

3)下段(E_1^g)。下碎屑岩层:灰绿、灰褐色白云质泥岩,裂隙发育,裂隙中充填桔红色或蜜黄色次生光卤石细脉。下盐层:顶部,浅白色中—细粒块状石盐岩,见浅灰色硬石膏细脉,底部夹蜜黄色溢晶石;中上部,无色、灰白色细—粗粒块状钾镁盐矿,矿物成分以光卤石、石盐为

主, 少量溢晶石、水氯镁石、钾石盐, 部分钻孔底部见厚 4 m 左右的钾石盐; 下部, 灰色、灰白色中粗粒块状石盐岩, 部分钻孔顶部见含光卤石石盐岩, 下部见深灰色有机质和灰色硬石膏网脉; 底部, 深灰、灰白色中厚层状硬石膏, 含深灰色有机质纹层。

各盐段受溶解或盐体塑性流动等因素影响, 钾镁盐矿层厚度有一定差异, 其厚度一般为 18.39 ~ 110.94 m; 平均 56.92 m, 呈中部厚四周薄的变化趋势。下盐段钾镁盐层的岩相、沉积类型和保存质量由于溶解和盐构造而变得复杂。通芒地区钻孔揭露石盐层较厚, 其中 ZK3、T3 钻孔该层厚分别为 345.27 m、402.13 m, 光卤石厚度大于钾石盐, 钾石盐呈层状或夹层状产出。

2.2 盐构造形态

据钻孔所揭露地层显示, 区内沉积了较厚的石盐及钾镁盐, 钾镁盐体严格受盆地形态、沉积旋回及盐构造的控制。万象盆地基底为元古

代结晶岩系, 为稳定的沉积基底。通芒地区未发现对古钾盐层有较大破坏的断裂构造, 且成盐后构造活动亦较微弱^[5]。钻孔揭露盐层底板(盆地基底)埋深 1K1Q 127.12 m, 1K1₁ 417.15 m, ZK3 615.00 m, ZK4 686.70 m^[5-6]。显示盆地内由西向东、由盆地边缘向盆地中心逐渐变深的过程, 与盆地的构造形态基本一致。通芒地区塔贡组下盐层钾镁盐矿体呈现盐构造特征, 钾镁盐矿体与上覆碎屑岩之间呈整合接触, 构成狭长形隆起的盐背斜构造(图 2)。盐背斜轴面倾向南西, 西翼钾镁盐矿体相对较陡, 倾角约 14°~16°, 向外逐渐变缓至 10°以下; 东翼近核部钾镁盐矿体倾角约 6°, 向外逐渐变缓至近水平^[5], 呈两翼不对称背斜。翼部地层变化平缓、开阔, 底板形态与顶板基本一致但更平缓, 向西有上翘过渡到另一盐背斜的趋势。钾镁盐构造之上塔贡组中盐层及上盐层呈平缓的楔状产出, 背斜核部盐层厚度相对较薄, 往翼部逐渐增厚。

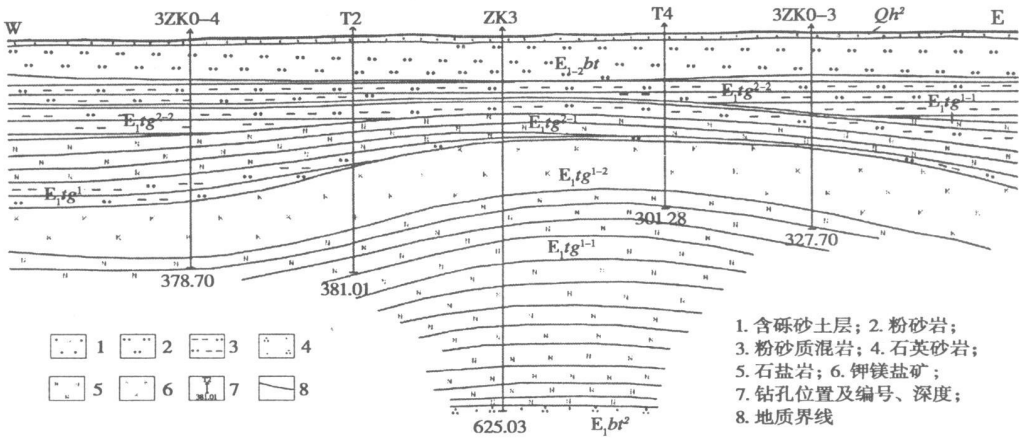


图 2 通芒地区盐构造剖面示意图

Fig 2 Salt structural section diagram of Tongmang region

2.3 盐岩流变特征

钾镁盐矿物多易溶于水, 硬度小 (<4), 密度低 (1.6 ~ 1.99)。具极强的吸湿性, 在空气中易潮解, 抗压强度较弱、弹性模量较小、容易流动。这些性质都说明钾镁盐属软弱层, 在垂直应力、水平应力作用下极易发生变形, 从而影响和控制其上、下地层的构造变形行为。

一般而言, 湿盐比干盐容易流动, 而自然界的岩盐都含有 0.1% ~ 1.0% 的晶间卤水^[7]。在多数盐盆中, 深度达到 2 500 ~ 3 000 m 温度 100℃时, 盐就可以发生塑性流动^[8]。汤良杰^[9]认为只有在离地表极浅(几米到几十米), 偏差应力较大和应变率较高的情况下, 岩盐可能表现为脆塑性体, 而在其它情况下, 盐岩则表现为强烈的塑性流体。在一定条件下, 盐岩在

几百米深处就可以产生塑性流动,这主要与盐的纯度、地温梯度和盐的干湿度等因素有关。湿盐没有屈服强度,故其断裂作用甚微,上覆层或基底层中的断裂一般都终止于与盐层的接触处,湿盐的形变全部由塑性流变完成。

由上述石盐及钾镁盐体的物理性质及力学性质等特征显示,盐体塑性流动和非常规变形是盐构造的主要特点,是导致盐岩塑性流变的重要因素,而上覆层的密度、区域挤压作用以及重力滑动等为塑性流变提供了外应力作用。因而,钾镁盐在一定的地形地貌、构造环境、适宜的温压等条件下极易发生塑性变形,形成盐构造。

3 盐构造成因

早白垩世中晚期,晚燕山运动逐渐加剧,在万象盆地内表现出近东西向的挤压抬升特征,在盆地东北缘及西部形成深大断裂,盆地地壳曾多次发生缓慢抬升—沉降构造旋回,形成短暂的湖泊沉积环境。晚白垩世盆地持续抬升,此时,万象盆地的雏形已基本形成。古近纪是红色陆源碎屑膏盐沉积盆地的形成阶段,盆地内发育三次明显的膏盐沉积,早期裂陷沉降和晚期挤压抬升的构造作用较为显著。新近纪为红色陆源碎屑沉积及盐构造开始逐渐形成与演化阶段,盐构造向盐背斜阶段发展。据盐构造发育特征、古地理特征以及钾盐物理性质等特征,初步认为通芒地区盐构造触发机制由以下4种作用引起。

3.1 差异负载作用

差异负载作用在盐构造的发育中具有普遍性^[10-12],是指由于上覆层出现的厚度或相的变化导致塑性层侧向压力差,促使塑性层从高压区流向低压区,而其引发的构造变形往往是局部的且变形幅度较小。

据万象坳陷盆地沉积盐膏层的厚度、密度、强度以及古地理、区域地质特征等分析,差异负载作用包括两种类型,一是因沉积差异而造成盆地内沉积厚度的变化而形成沉积差异负载,主要是上覆地层沉积厚度差异,而使盐膏层产

生差异负载作用。通芒地区始新世—第四系厚度多在 153.18~430.86 m,而处于盆地边缘的那单地区厚达 500 m 以上,促使盐膏层向盆地中心流动,造成盐构造作用的发生;二是剥蚀差异负载作用,因强烈的剥蚀作用使盆地内多数地区缺失新近系地层,造成盐膏层上覆地层沉积厚度变薄,有利于盐构造作用的产生。

盆地内差异沉降、沉积相的变化普遍存在,差异负载作用贯穿盐构造形成演化的全过程。始新世以来强烈的差异沉降增强了差异负载作用,差异负载成为盐构造初始发育的主要动力,盐膏层自盆地周缘向沉降中心快速运移,形成低幅度的盐枕构造。

3.2 浮力作用

Jackson^[13]认为当盐层被上覆其它沉积物掩埋到一定深度时,由于碎屑沉积物的压实、失水、胶结等成岩作用,上覆层的密度变得比盐体的密度要大,导致密度反转(即密度大的物体位于密度较小的物体上),促使盐构造的发育与生长。戈红星^[2]认为绝大多数盐构造都发育在地壳的浅部($<8\text{ km}$),而位于此范围内的沉积岩一般都表现为脆性变形。在重力作用下,随着密度更大的上覆地层的下沉,盐体会向上抬升,但模拟实验结果表明,上浮力对盐构造的触发作用并不是很明显^[14]。

因盆地内古近系仅存古新统和始新统,新近系地层整体缺失^[5-9],含盐地层被塔贡组紫色、砖红色陆源细碎屑湖泊沉积与班塔博组紫色陆源碎屑河流沉积、第四系冲积物所覆盖。而塔贡组膏盐层沉降速度快,盆地地温梯度低,且盐上盖层部分地层缺失、压实时间短、成岩作用较慢以及早期形成的盐体浮力与流动性较差,可能造成盐体浮力作用相对较小。

3.3 重力滑移作用

重力滑动在盐构造初始形成期具有重要作用^[15-19]。Jackson^[13]认为基底倾角超过 1° 时,侧向上盐层的塑性流动就比较有利。万象盆地膏盐岩沉积时受盆地东北及西南部断裂控制,在断续构造挤压作用下盆地南西不断抬升,盆地向东掀斜,西南缘沿断裂可能发生重力滑动,

表现为漂浮在盐膏层之上的地层产生向东的重力滑覆。盐膏体在重力作用下沿斜坡发生流动,产生由盆地边缘向中心运移的趋势,膏盐层聚集加厚隆升形成早期的盐枕构造。

早期盐构造生长缓慢且稳定,自始新世晚期以来,在构造挤压与差异负载等作用下,盐膏层自盆地边缘向中心运动,促使钾镁盐体向盆地中心运移,具有加速生长的作用。

3.4 构造挤压作用

一般认为,盐运动事件的时间通常与活跃的区域性沉积作用事件的时间是一致的^[17]。区域构造挤压对万象坳陷盐构造晚期快速生长有一定影响。白垩纪晚期以来,随着晚燕山运动的发展,万象坳陷进入强烈的构造挤压作用环境,强烈的近东西向挤压抬升在盆地东北部形成一系列北北西向褶皱及断层,使盆地东北缘及西部强烈冲断抬升,造成盆地坳陷中心快速沉降,造成地层水平缩短,此时盐膏层沉积厚度薄。古新世初期,万象盆地快速裂陷沉降,在盆地东北部边缘出现北北西向正断层,盆地中心快速沉降,气候干旱酷热,盐膏层沉积快速,构造挤压对盐膏层影响甚微。始新世晚期,强烈的喜马拉雅构造运动在盆地内出现近东西向挤压抬升,在盆地东北缘及西部出现北北西向褶皱、近东西向平移断层,可能对成盐盆地的形成有一定的控制作用。挤压作用加速了盐膏层的塑性变形,同时上覆盖层增厚,造成差异负载作用加强。早期断续构造作用可能促使膏盐上覆层局部减薄而产生构造差异负载作用,可能对膏盐层的流动产生重要影响。这种构造作用产生的流动在早期可能大于浮力作用和差异负载作用。

另一方面,始新世晚期以来,由于喜马拉雅强烈的构造运动,造成万象坳陷山前冲断带与盆地的整体抬升,剥蚀程度强烈,致使新近纪沉积物缺失,盐上盖层的卸载有利于盐构造的生长,且构造作用形成的地形高差是重力作用发生与发展的基础。因此,挤压构造对盐构造的分布与规模起到控制作用,表征为通芒地区盐构造呈快速生长趋势。

4 盐构造演化过程分析

盐构造在不同地区具有不同构造样式,因而其形成演化过程也不尽相同。根据万象坳陷盆地盐构造形态、塑性流变特征以及区域构造等特征的综合分析,将通芒地区盐构造划分为4个演化阶段。

4.1 盐盆地形成阶段

白垩纪以前,万象盆地沉积了巨厚的灰色含火山质夹煤陆源碎屑、红色陆源碎屑^[5],沉积盆地与冈瓦纳古陆关系较为密切,可能属特提斯海的一部分,沉积盆地处于裂陷沉降与挤压抬升逐渐形成与演化阶段。早、中白垩世晚燕山运动逐渐加剧,在盆地内表现出近东西向的挤压抬升特征,在盆地东北部及西部形成深大断裂,盆地地壳曾多次缓慢沉降,沉积了以楔状交错层理岩屑石英砂岩及砂砾岩为主的白垩系下统班塔拉组岩石组合,形成短暂的河流湖泊沉积环境。

晚白垩世万象盆地的雏形已基本形成(图 3—A),为万象红色含陆源碎屑膏盐沉积盆地的形成与演化奠定了坚实的基础。在炎热干燥环境下沉积了少量的石膏及石盐岩,盆地持续抬升,李兴振^[18]认为此次构造抬升的时限与中特提斯海洋的封闭时间完全一致。

4.2 膏盐层沉积阶段

古近纪是红色陆源碎屑膏盐沉积盆地的形成与演化阶段,万象坳陷盆地内发育三次明显的膏盐沉积,沉积了较厚的石盐层以及钾镁盐层,较为纯净,钻孔揭露石盐层以及钾盐层厚度相对较稳定,反映盆地盐构造发育缓慢(图 3—B)。

古新世初期,受晚燕山运动影响,万象坳陷基底强烈沉降,盆地开始坳陷形成沉积盆地。此时盆地周边地区地形平坦,剥蚀作用微弱,陆源碎屑物供给不足,仅在入湖口处沉积砂泥质^[5]。气候极为干燥炎热,盆地的蒸发量大于补给量,面积逐渐减少,溶解度小的碳酸盐最先析出,钾盐最后才析出,盆地内所形成的膏盐直接沉积于班塔拉组岩屑石英砂岩及砂砾岩之

上, 呈平行不整合接触。沉积的石盐层厚度大且厚度变化较为平稳, 石盐岩上沉积不均匀的钾石盐, 厚度薄且变化较大, 之上为厚度相对较大的光卤石层, 间夹极易溶解的水氯镁石及溢

晶石。石盐及光卤石较为纯净, 反映在沉积过程中受陆源碎屑物的浸染较少。在膏盐层之上, 覆盖着粒度不等、颜色不同、平均厚 35.75 m 的塔贡组下段陆源细碎屑物。

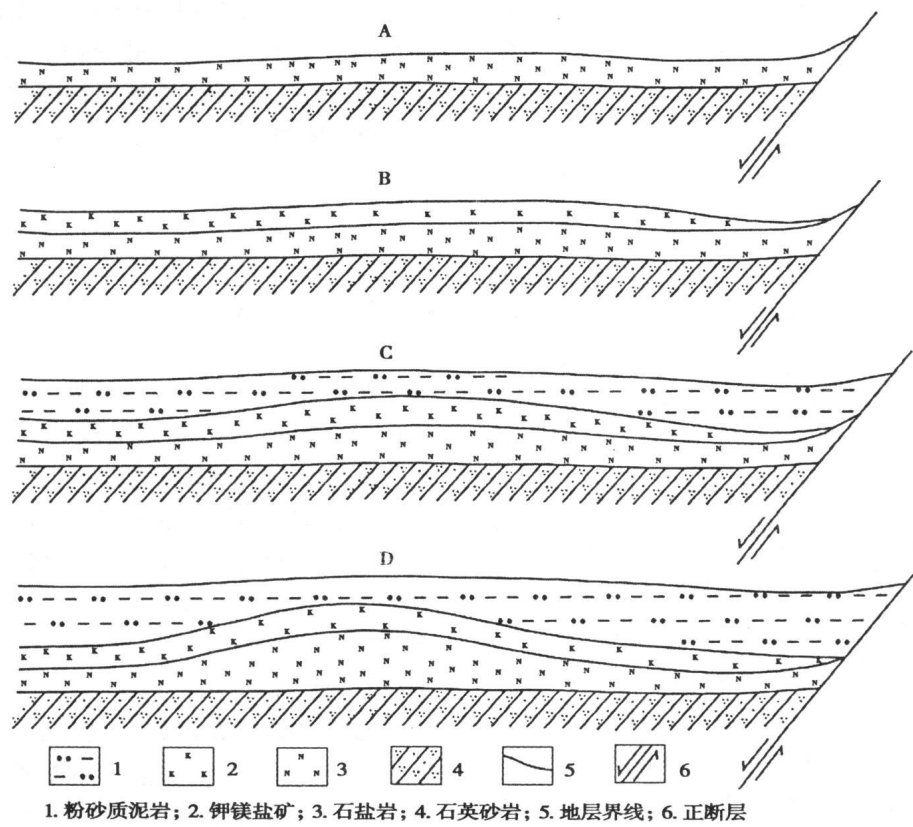


图 3 通芒地区盐构造演化示意图
Fig 3 Salt tectonic evolution diagram of Tongmang region

古新世中、晚期, 盆地内发生较强烈的裂隙和不均匀沉降作用, 红色含陆源碎屑膏盐沉积物在盆地内分布不均, 且厚度差异较大。水体面积进一步由西、北及周边不断向南缩小, 在西部局部地区残留次级盆地, 沉积了厚平均 26.34 m 的膏盐层, 并直接整合于塔贡组中段泥岩之上。随着气候转为炎热多雨, 沉积了平均厚 67.35 m 的塔贡组上段泥质层, 从而结束了三个旋回的膏盐沉积。

4.3 盐枕发育阶段

古新世—始新世, 随着班塔博组盖层粉砂质泥岩沉积, 标志着红色含陆源碎屑膏盐沉积盆地的消亡。盐膏岩在持续埋藏过程中易发生流动^[19-20], 在盐膏岩密度小于上覆岩层密度的

情况下, 上覆盖层差异沉降造成的不均匀的压力差异促使盐膏岩层发生横向流动, 造成压力相对较大的沉积边缘部位的盐膏岩向压力相对较小的盆地中心部位流动, 形成波状的低幅度褶皱, 使局部盐膏岩总体厚度增大, 形成盐枕构造(图 3—C), 与上覆碎屑岩呈整合型接触关系。上覆碎屑岩层因风蚀、水蚀作用造成部分地层缺失, 而造成对下伏盐膏层压实程度较低, 有利于盐构造的进一步发展。

4.4 盐背斜形成阶段

盐背斜是盐层与上覆层之间为整合接触的狭长形盐隆。更新世时, 在最晚一次近东西向挤压作用下, 在盆地东北缘及西部山前相继形成一些次一级断裂^[5], 盆地腹地地层发生收

缩, 并在全新世后万象坳陷盆地整体缓慢抬升。盐膏层在近东西向区域性挤压作用、上覆层的密度差异、差异负载以及重力滑动等作用逐渐增强的趋势下, 导致地层整体压缩, 盐膏体发生塑性流动和非常规变形, 在横向上流动加速, 使早期产生的盐枕构造因塑性流变而进一步增强, 逐步汇聚形成整合接触的狭长形盐隆构造(图 3—D), 盐构造进一步发育。但在发育过程中, 随着近东西向挤压作用逐渐减弱直至停止构造运动的情况下, 盐膏层上覆盖层密度所形成的上浮作用、差异负载以及重力滑动等作用成为盐构造生长的主要动力, 而盐膏层上覆层由于风蚀、水蚀等作用造成部分地层出现沉积间断, 使上覆层厚度相对较薄, 盐构造的驱动机制在作用幅度方面有所减弱, 因而导致通芒地区盐背斜构造仍处于发育阶段。

由上所述, 钻孔揭露通芒地区盐构造严格控制钾镁盐矿体, 钾镁盐矿体与上覆碎屑岩呈整合接触, 盐构造形态呈狭长形盐隆, 呈现盐构造核部钾镁盐矿体较薄, 两翼逐渐增厚趋势。在呵叻盆地钾盐矿床及万象盆地塔贡及那单等矿段钾镁盐矿床中均可见盐构造, 以发育低幅度盐枕或盐背斜构造为特征, 反映盐背斜为钾镁盐矿体的控矿构造, 对万象盆地钾盐找矿及控矿规律具有一定指示意义。

5 结 语

1)万象坳陷盆地钾镁盐矿体由西向东、由盆地边缘向盆地中心逐渐变深, 与盆地的构造形态基本一致。在通芒地区钻孔揭露塔贡组下盐层钾镁盐矿体呈现盐构造特征, 形成狭长形隆起的盐背斜构造, 盐背斜轴面倾向南西, 西翼钾镁盐矿体相对较陡, 东翼较缓, 向外逐渐变缓至近水平, 呈两翼不对称盐背斜构造, 背斜核部盐层厚度相对较薄, 往翼部逐渐增厚。

2)差异负载及区域性挤压构造作用是通芒地区盐枕构造形成的主要动力, 由于盐膏岩上覆层因风蚀、水蚀等强烈作用而导致部分地层缺失, 产生的浮力作用较小。盐盆地的不对称形态以及膏盐岩特有的物理力学特征, 促使盐膏岩体向盆地中心运移, 对盐构造具有加速

生长的作用。

3)通芒地区盐构造演化可分为盆地基底形成阶段、盐膏层沉积阶段、盐枕发育阶段、盐背斜逐渐发育形成阶段四个连续演化阶段。因万象盆地构造基底相对较为稳定, 后期构造运动对盆地内的改造相对较为薄弱, 但仍具有一定影响。据钻孔揭露, 盐构造呈狭长形隆起的盐背斜构造, 与上覆碎屑岩层呈整合接触关系, 因盐上盖层部分沉积地层缺失以及盖层压实程度差、盖层与盐膏层密度差异小、盐膏层的流动性差、盐构造生长时间短等因素的影响, 盐构造仍处于缓慢而稳定的发育阶段。

致谢: 本次参加万象通芒矿段钾盐矿床补充勘探工作的还有曾金波、徐黎明、王相明、李海军, 云南中寮矿业开发投资有限公司的何勇、黄昆林等, 一并表示衷心感谢!

参考文献:

[1] Jackson M P A, Roberts D G, Snelson S. Salt Tectonics: A Global Perspective [J]. AAPG Memoir 65, 1995, 1—474

[2] 戈红星, Jackson M P A 盐构造与油气圈闭及其综合利用 [J]. 南京大学学报 (自然科学版), 1996, 32 (4): 640—649

[3] Velajit T, Davison I, Serjania A, et al. Thrust tectonics and the role of evaporites in the Ionian Zone of the Albanides [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83 (9): 1408—1425.

[4] Ge H, Jackson M P A, Vendeville B C. Kinematics and dynamics of salt tectonics driven by Progradation [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81 (3): 398—423

[5] 郭远生, 吴军, 朱延浙, 等. 老挝万象钾盐地质 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2005, 45—65

[6] 严城民, 朱延浙, 吴军, 等. 老挝万象地区基础地质调研的主要进展 [J]. 地球学报, 2006, 27 (1): 81—84

[7] 袁见齐. 钾肥与钾盐矿床 [M]. 北京: 石油化学工业出版社, 1977, 25—49.

[8] 马新华, 华爱刚, 李景明, 等. 古盐油气盆地 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000, 54—102

[9] 汤良杰, 余一欣, 陈书平, 等. 含油气盆地盐构造研究进展 [J]. 地学前缘, 2005, 12 (4): 375—383

[10] 孙和风, 周心怀, 彭文绪, 等. 莱州湾凹陷垦利 II 区盐构造特征及成藏分析 [J]. 海洋石油, 2007, 27 (3): 46—50

[11] 陈书平, 汤良杰, 漆家福, 等. 盐在变形中的作用: 库车坳陷与东濮坳陷盐构造对比研究 [J]. 地质学报, 2007, 81 (6): 745—754

- [12] 唐文旭, 陈凤玲, 范传军. 潜江凹陷王场盐构造的油气成藏特征[J]. 资源环境与工程, 2007, 21(4): 385—387.
- [13] Jackson M P A, Talbot C J. External shapes, strain rates, and dynamics of salt structures[J]. AAPG bulletin, 1986, 97(3): 305—323.
- [14] Vendeville B C, Jackson M P A. The rise of diapirs during thin skinned extension[J]. Marine and Petroleum Geology, 1992, 9(4): 331—353.
- [15] 汤良杰, 贾承造, 皮学军, 等. 库车前陆褶皱带盐相关构造样式[J]. 中国科学 D 辑, 2003, 33(1): 38—46.
- [16] 邬光辉, 刘玉魁, 罗俊成, 等. 库车坳陷盐构造特征及其对油气成藏的作用[J]. 地球学报, 2003, 24(3): 249—254.
- [17] 邬光辉, 王招明, 刘玉魁, 等. 塔里木盆地库车坳陷盐构造运动学特征[J]. 地质论评, 2004, 50(5): 476—483.
- [18] 李兴振, 刘振生, 丁俊. 大渭公河次地区构造单元划分[J]. 沉积与特异地质, 2004, 24(4): 13—21.
- [19] 戈红星, Uarín P A, Vendeville B C. 文留盐构造成因与掩埋机制[J]. 石油学报, 1997, 18(2): 35—41.
- [20] 刘晓峰, 解习农. 与盐构造相关的流体流动和油气运聚[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 343—349.

Salt Tectonic Characteristic and Genetic Mechanism of Thongmang Region in Vientiane Basin, Laos

LI Shan-ping², MA Hai-zhou¹, SHAN Fa-shou¹, GAO Dong-liu¹,
WANG Ming-xian¹, TANG Qi-liang¹, CHENG Huaide²

(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract Palaeocene-Eocene deposited thick gypsum-salt rock layer in Thongmang area which is located in the hinterland of Vientiane basin. Potassium and magnesium salt deposit of Tagong group and overlying clastic rock have a conformable contact. A strip shaped uplift of the salt anticline was formed in Thongmang area because of strong extrusion and difference of overlying weight in middle and late Himalayan movement. The salt tectonic was influenced by many factors in Thongmang region. Difference of overlying weight was the power source of forming salt structure, and rapid settlement of the cap layer was the main reason for slow salt tectonic growth. And strong regional squeezing action accelerated further development of overlying weight differences, gravity and buoyancy. The patterns of salt anticline tectonic are relatively simple which mainly being salt pillow and salt anticline. Research on salt tectonic has great significance for studying the causes of potassium and magnesium salts tectonization and mineralization.

Key words Vientiane basin; Salt tectonic; Formation mechanism; Difference of overlying weight; Extrusion tectonics; Gravity effect; Buoyancy effect