

# 滇西南思茅盆地盐构造研究及找钾初探

刘璿<sup>1)</sup>, 郑绵平<sup>1)</sup>, 张震<sup>1)</sup>, 于常青<sup>2)</sup>, 苗忠英<sup>1)</sup>, 张凯<sup>3)</sup>, 高磊<sup>4)</sup>

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京, 100037;

2) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 3) 中国矿业大学, 北京, 100083;

4) 中国煤炭地质总局华盛水文地质勘察工程公司, 河北邯郸, 056000

**内容提要:** 滇西南思茅盆地是我国重要的含钾盐盆地, 勐野井钾盐矿也是我国目前发现唯一的固体氯化钾盐矿床。本文通过综合分析滇西南成盐成钾的地质背景、古环境和构造演变、含盐(钾)地层的沉积建造特征、矿区勘探剖面的盐构造的形态、重力剖面和EH4测量电性断面, 参照2500m、3000m的MK-1和MK-2基准井, 推测了研究区的断裂构造、底辟构造, 认为勐野井钾盐矿体是沿断裂由深部在挤压构造作用下底辟浅部揉扭流动至浅部地层中, 并采用3D建模及可视化技术, 建立了岩盐体在地下3D结构。利用“平衡剖面技术”的原理, 示意深部岩盐体在拉张和挤压构造作用下, 岩盐体沿断层塑流的过程, 分析了形成各种底辟构造的动力机制。该研究拓展了滇西南思茅盆地的找盐(钾)思路, 为思茅盆地未来找钾和勐野井钾盐矿的后期开发具有参考意义。

**关键词:** 盐构造; 勐野井钾盐矿; 思茅盆地; EH4; 重力勘探; 3D建模

钾盐是我国较为紧缺的战略资源之一(郑绵平等, 2012; 2015), 是农业生产中不可缺少的肥料, 在国民经济中有着举足轻重的地位(袁见齐等, 1961; 姚远等, 2004; 曲一华, 1984)。随着我国经济快速发展, 钾盐消费快速增长, 需求强劲, 逐年递增(郑大中, 2006)。目前国内发现的含钾卤水和固体钾盐矿规模不大, 仅可满足我国钾肥需求的30%左右(郑绵平等, 2010)。已发现的固体钾盐矿床分布于特提斯带, 该地区地质构造背景稳定或处于相对活动的亚稳定区, 有利于含钾盐盆地的形成。由于我国成盐地质构造条件复杂, 寻找固体钾盐的难度很大, 这成为长期以来找矿的“硬骨头”(郑绵平等, 2015)。

盐构造一直是构造地质学家的关注研究对象。在过去的几十年间, 地质学家对盐构造的成因、变形机制、构造特征与构造样式等做了大量的研究。针对岩盐的力学和热力学基本参数测定, 以及在高温高压下的蠕变和塑性流动前人已经做很多研究(李江海等, 2014)。油气与盐系地层(尤其钾盐)的形成与保存条件具有相似性, 岩盐也是油气盆地的聚集和储存很好的盖层, 世界上大多数固体钾盐矿

床都是在油气勘探中发现的(刘群, 1995)。近年来, 随着基础地质资料的积累和深入研究, 盐构造理论取得了快速发展。如通过地表和地质资料研究盐构造样式来构建的盐构造模型及各种底辟模式(Hudec et al., 2013); 尤其是地球物理勘探(2D—3D地震成像技术)及数据处理的技术和方法提高, 更能清晰刻画岩盐体及盐下构造(杨勤林等, 2013; Van et al., 2011); 采用重力方法研究盐构造, 圈定勘探靶区(Imen et al., 2009; Djebbi et al., 2015); 通过二维、三维物理模拟和数值模拟指导、构建模盐构造样式(张洁, 2008; Hemin et al., 1993); 盐运动恢复重建(Lamarche et al., 2005)。在国内外, 盐构造研究主要集中在油气盆地, 国外如新生界的北海盆地盐构造, 压缩大陆边缘的安哥拉盆地, 新生界的墨西哥湾盆地; 国内如库车盆地, 东濮凹陷的文留盐构造等(戈红星等, 1997), 莱州湾的滨海盆地等(余一欣等, 2008)。云南思茅盆地勐野井矿区自三叠纪以来, 经历了剧烈的构造变动, 尤其在古近纪强烈的喜马拉雅造山运动, 该地区由大面积沉积转为全面的水平挤压, 造成了地层的褶皱、倒转、变质及逆掩断裂的发育, 为蒸发盐盆地的盐构造的形成和发育

注: 本文为中国地质调查局项目(编号: DD20160054, 1212011085524 和 1212011085517)的成果。

收稿日期: 2017-01-07; 改回日期: 2017-04-11; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.03.003

作者简介: 刘璿, 男, 1986年生。博士研究生, 主要从事地球物理勘探。Email: liuying\_131@163.com。通讯作者: 郑绵平, 男, 1934年生。研究员, 中国工程院院士。主要从事盐湖和盐类矿床研究。Email: zhengmp2010@126.com。

奠定了基础(曲一华等,1998)。

前人对思茅盐盆地及勐野井钾盐矿的研究主要集中于岩盐的物质来源、地层年代的归属,但对该地区岩盐层在构造应力下的运动研究较少,因此急需对该地区的盐构造及地下地质情况的研究。本文通过对思茅盐盆地的形成背景、含钾地层的沉积建造,矿区勘探线岩盐体的2D剖面进行盐构造分析,采用3D建模可视化技术,推测岩盐沿断裂是由深部揉扭至地表。利用地球物理方法重力勘探剖面 and 低频EH4电性断面测量,依据MK-1及MK-2两口勘查井作为参考,推断勐野井地区地下断裂及底辟构造;应用“平衡剖面技术”的原理,探讨岩盐体在拉张与挤压构造应力下,岩盐体从深部侏罗系地层上升到浅部地层的过 程。该研究对在思茅盆地寻找钾盐矿及勐野井钾盐矿区的后期勘探及开发具有启示意义。

## 1 地质背景

思茅盆地位于金沙江—哀牢山深断裂带和澜沧江深断裂带之间,呈北西—南东向带状展布,其北与兰坪盆地相接,向南延伸入老挝、泰国境内,是印度板块、欧亚板块以及其间的特提斯相互作用的产物(陈跃昆等,2004),可能属于冈瓦纳大陆分离的大陆碎块,中生代后与扬子地块连成一体(范承钧,1982)(见图1)。盆地演化经历了元古代结晶基底形成、震旦纪—早泥盆世被动大陆边缘、古特提斯大陆边缘、印支期俯冲碰撞、中—新生代陆内拗陷、喜马拉雅造山及后造山期的7个阶段(刘俊昌等,2007)。

思茅中、新生代盆地是在滇西南古特提斯多岛洋构造格局基础上发育的,与特提斯—三江造山带的构造演化密切相关(廖宗廷等,2005)。晚华力西期古特提斯洋消亡,思茅盆地进入裂前预备期,由于陆块碰撞,陆壳隆升,普遍缺失下三叠统。中三叠世( $T_2$ ),随着中特提斯洋开启,印支地块由于陆块碰撞挤压向南滑移裂陷沉降形成海槽,思茅中生代盆地原型开始形成,一些咸化泻湖盆地出现蒸发岩建造,该时期为盆地裂陷沉降期。晚三叠至早侏罗世,中特提斯洋关闭,造山运动造成下侏罗统部分缺失。中侏罗世( $J_2$ )新特提斯洋开启,盆地再次下沉,沉积了巨厚的红色含盐建造。晚白垩海水全面撤退,最终形成大型内陆湖盆。喜马拉雅造山运动期间( $E_1-E_2$ ),思茅盆地遭受强烈变形,在中生代盆地基础上叠加了新生代的拉分盆地,为盐类矿物陆相

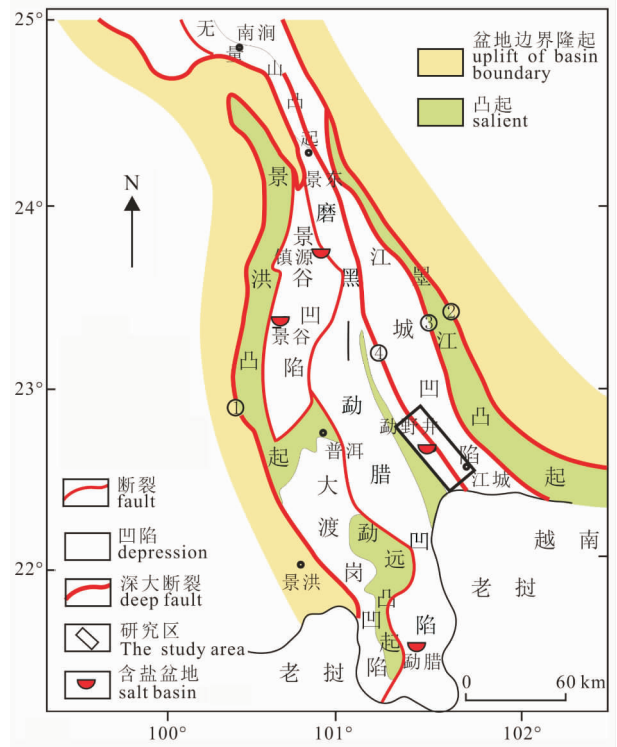
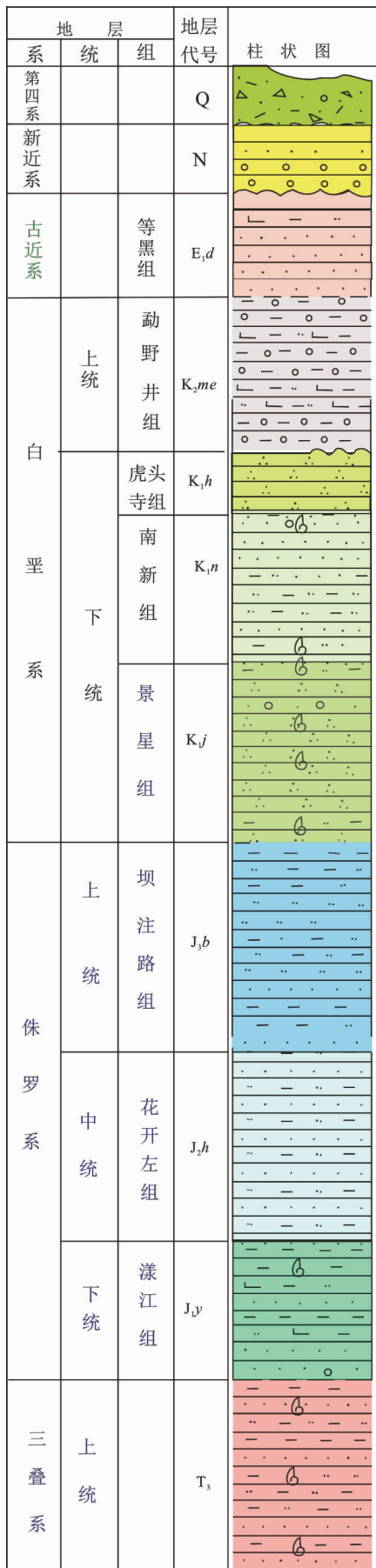


图1 思茅盆地构造分布及研究区位置图  
(据郑智杰等,2012)

Fig. 1 The map of tectonic distribution for Simao Basin and the study area location (after Zheng Zhijie et al., 2012&)

- ①—澜沧江深大断裂;②—哀牢山—金沙江深大断裂;  
③—安定断裂;④—把边江断裂  
①—Lancang River fault; ②—Ailao Mountain—Jinsha River fault; ③—Anding fault; ④—Babian River fault

沉积提供了预备盆地。古新世至始新世中期,在营盘山地垒两侧形成复杂的堑垒式构造,原来统一的大湖盆因气候干旱,盆地覆水面积缩小而成淡水氧化的小盆地。中始新世末由于印度板块向北俯冲碰撞,盆地进入隆升阶段,巨厚的中、新生代沉积连同基底一起褶皱成山,导致深部盐层受挤压塑流。晚始新世,印度板块持续俯冲,沿褶皱构造轴部和断裂带发生剧烈改造,使原来相对统一的沉积盆地被割裂成若干互不相连的构造残留体(欧天明等,2014;帅开业,1998)。盆地内盐层被挤压变形,甚至发生塑性流动,形成盐构造并大范围发育。在印度板块与欧亚大陆板块相互作用下,滇西三江造山带在新生代中期发生大规模逆冲和推覆作用形成众多的“飞来峰”构造(王二七等,2006)。“飞来峰”在渐新世时与下伏岩层一同卷入了强烈的褶皱变形并在后期改造成分选极差的重力滑塌沉积,覆盖于盐系地层之上,保护岩盐层免于被淋滤溶蚀。



## 2 沉积建造及含盐(钾)地层特征

思茅盆地沉积建造由海相、海陆交互相、陆相组成,从下至上主要为上三叠统、侏罗系、白垩系和古近系一新近系(云南省地质局,1976)。由于各单位的研究目的和认识不同,对勐野井组的时代归属争议较大。本文参考2014年郑绵平钾盐团队的研究成果,认为含盐地层勐野井组属于上白垩统(图2)。

江城勐野井钾盐矿区位于思茅盆地东部的走滑挤压盆地和逆冲推覆构造带附近。在印度大陆与亚洲大陆碰撞过程中,受其北向运动的拖曳和挤压发生顺时针旋转,正断层经多次被改造为逆断层(刘善印,1998)。由于断裂及挤压构造的作用,地层破碎,各地层在研究区内均有出露(见图3)。根据滇西南中一新生代成盐作用的古气候研究,含盐地层主要有中侏罗统花开左组及上白垩统勐野井组。

中侏罗统花开左组有强烈的含盐显示,盐霜、盐泉、石膏遍布,部分地区有泥砾岩分布和含钾水化学显示。在该区部署的MK-1井及MK-2基准井,该组含盐性得到验证。

白垩统勐野井组是滇西南红层中重要的含盐矿地层,由红色细碎屑岩和蒸发盐组成。该地层特有的泥砾岩是划分岩性段的重要标志,也是寻找钾钠盐矿直接标志。由于地层性质柔软,抗风化能力弱,易受淋滤呈岩溶和盆地。勐野井钾盐矿区钾盐矿体层数较多、规模较小、变化较大、构造形态复杂,盐构造发育是岩盐体塑性流动的标志。

## 3 矿区盐构造变形特点

盐构造是指由于岩盐或其他蒸发岩的流动变形所形成的地质变形体,包括盐变形体本身及其周围的其他变形岩层(戈红星等,1996)。由于岩盐体的塑性特点,随着埋深的增加,岩盐密度一般不发生变化,上覆的碳酸盐岩和碎屑岩的密度大于岩盐体的密度,从而形成密度反转,在应力作用(挤压或重力)下发生塑性流动和局部聚集加厚,从而控制其上、下地层的构造变形(汤良杰等,2003)。构成盐构造的驱动力分别有:浮力作用、差异负载作用、重力扩张作用、热对流作用、挤压作用、拉张作用。在这些作用力的综合作用力下形成样式繁多的盐背

图2 思茅盆地勐野井地区地层柱状图

Fig. 2 The stratigraphic column of Mengyejing area in Simao basin



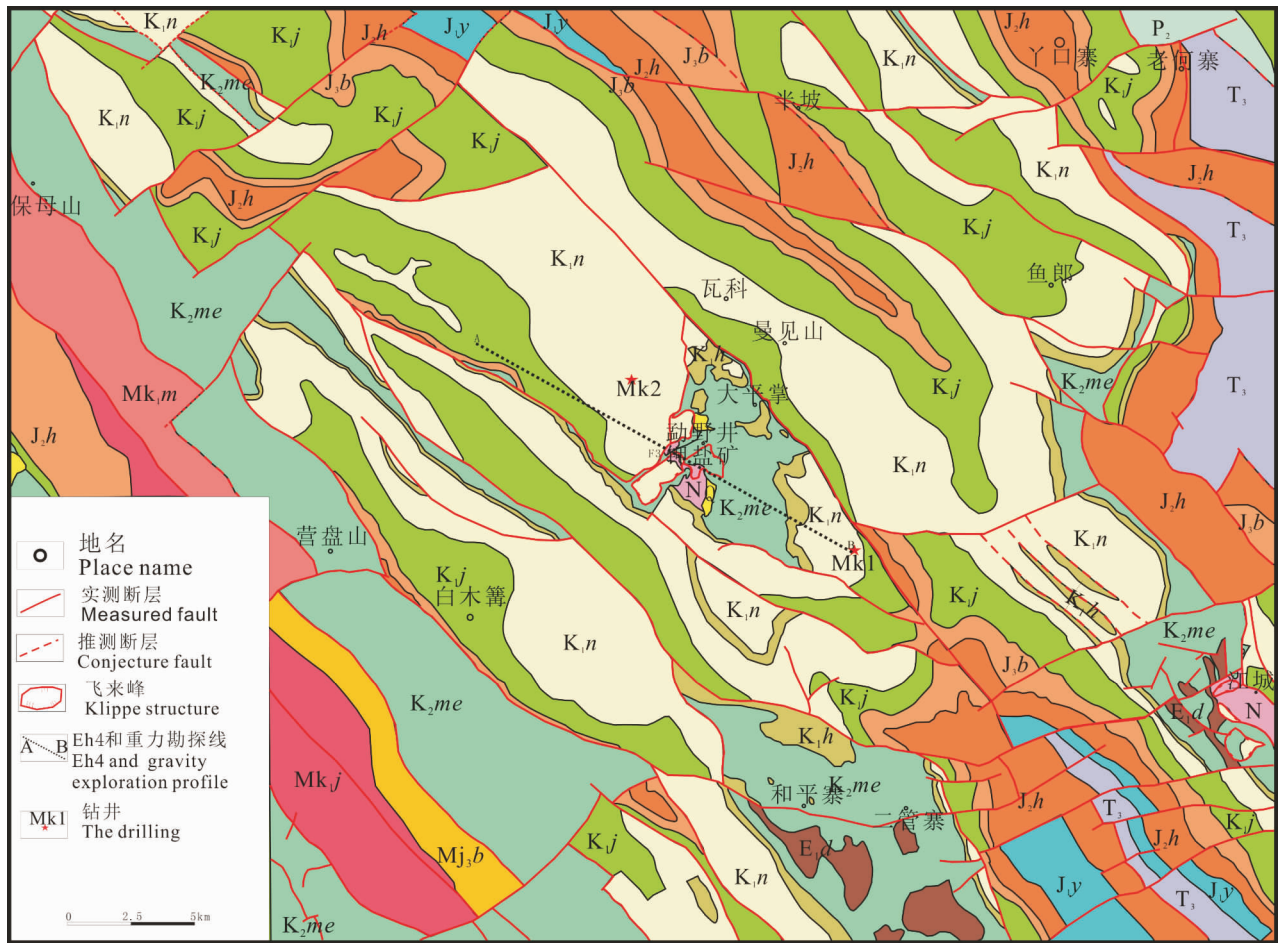


图 3 勐野井矿区及周边地质图(据:江城勐野井区域地质图修编)

Fig. 3 The geological map of the Mengyejing deposit and its adjacent area  
(after regional geological map of Mengyejing area Jiangcheng)

Q—第四系;N—新近系;E<sub>1d</sub>—古近系等黑组;K<sub>2me</sub>—上白垩统勐野井组;K<sub>1h</sub>—下白垩统虎头寺组;K<sub>1n</sub>—下白垩统南新组;K<sub>1j</sub>—下白垩统景星组;J<sub>3b</sub>—上侏罗统坝注路组;J<sub>2h</sub>—中侏罗统花开左组;J<sub>1y</sub>—下侏罗统漾江组;T<sub>3</sub>—上三叠统;P<sub>2</sub>—上二叠统;M—不同时期的变质岩

Q—Quaternary;N—Neogene;E<sub>1d</sub>—Palaeocene Denghei formation;K<sub>2me</sub>—Upper Cretaceous Mengyejing Formation;K<sub>1h</sub>—Lower Cretaceous Hutousi Formation;K<sub>1n</sub>—Lower Cretaceous Nanxin Formation;K<sub>1j</sub>—Lower Cretaceous Jingxing Formation;J<sub>3b</sub>—Upper Jurassic Bazhulu Formation;J<sub>2h</sub>—Middle Jurassic Huakaizuo Formation;J<sub>1y</sub>—Lower Jurassic Yangjiang Formation;T<sub>3</sub>—Upper Triassic;P<sub>2</sub>—Upper Permian;M—Metamorphic rock on Different periods

斜、盐颈、盐滚、盐推覆、盐篷、盐焊接、盐株、盐墙、盐底辟等盐构造形态(图 4)。底辟作用可分为活化底辟、主动底辟、和被动底辟,在拉张和挤压等构造作用力下上述底辟作用会发生相互转化。盐构造理论在墨西哥湾中生代深水盆地和北海新生代盆地以及库车盆地得到很好的研究和发展(余一欣等, 2011)。

盐体变形的主要应力来自于区域构造,特别是断裂构造活动产生的侧压力。就思茅盆地而言,东部哀牢山深断裂和西部澜沧江深断裂控制了坳陷的

边界,在喜马拉雅运动造山期的强大应力场中,均以 SW—NE 向挤压为主,因此盐体总体变形都是受北西向的断裂所控制。江城勐野井钾盐矿区在区域构造上位于康平张性断裂与营盘山隆起带的交汇部位,是一个被逆断层切割破坏呈北西—南东向展布的短轴向斜构造,其核部赋存呈“牛舌状”钾盐石盐矿体。此外勐野井含钾盐体与围岩(碎屑岩)呈物理接触,缺乏与硫酸盐类和碳酸盐类的过渡关系,盐体中心部位夹杂有大小不等的岩块,钾盐层剖面结构呈马尾丝展布,因此推断勐野井钾盐体遭受过

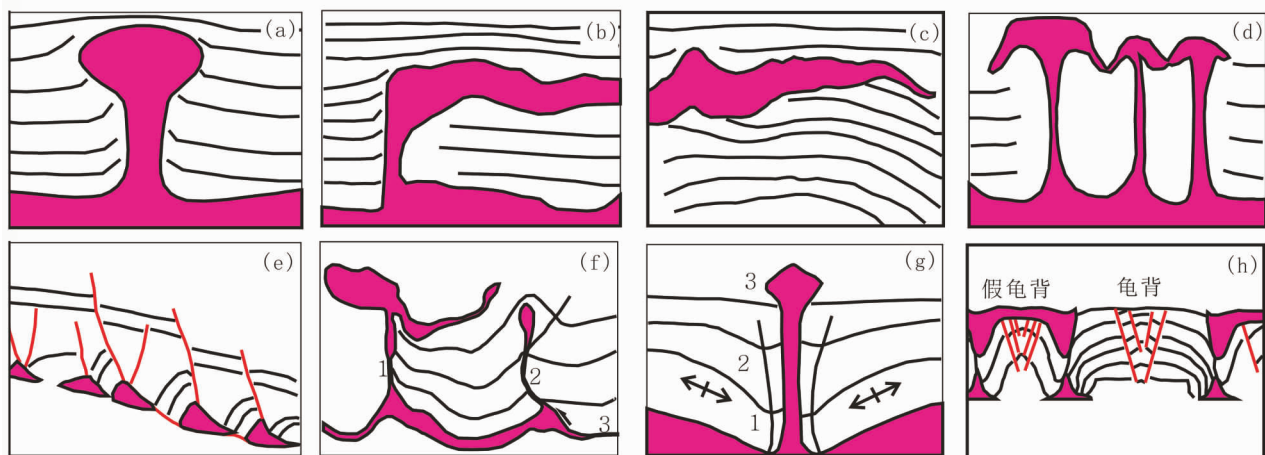


图4 主要盐构造样式剖面示意图(据余一欣等,2011)

Fig. 4 The sketch map of main salt tectonic style profile(after Yu Yixing et al. ,2011&

- (a) 盐株;(b) 外来盐席;(c) 盐床;(d) 盐篷和盐缝合;
- (e) 盐筏;(f) 盐焊接和断层焊接;
- (g) 盐边凹陷;(h) 龟背和假龟背
- (a) Salt stock;(b) Allochthonous salt;(c) Salt bed;(d) Salt tent and salt suture;(e) Salt raft;
- (f) Salt (fault) welds;(g) Salt sag;(h) Salt (fake) turtle

强烈的后期构造运动改造,受底辟作用由深部挤压塑流到表层来的,在不同方向作用力下形成不同样式的盐构造(郑绵平等,2014)。

根据勐野井钾盐矿区钻探勘探资料(图5),两条勘探线中岩盐体在构造作用力下形成“牛舌钩状”(5a)和“楔状”(5b)的盐构造形态。楔状盐构造是沉积地层向盐底辟方向变细,尖灭处为一套更新的地层,具有相对宽广轻缓的褶皱几何形态;钩状

盐构造是盐被动底辟隆升速度小于周边地层的沉积速度,沉积地层超覆与岩盐体的顶部形成厚层顶板,在后续的盐底辟发育褶皱变形。此外,在勐野井盐矿层中夹有泥砾岩和泥岩薄层,也可以证实是岩盐生长速度慢于上覆勐野井组的沉积速度而形成夹层。因此可以通过盐构造形态研究岩盐生长过程的盐动力学以及与围岩的关系。此外在勐野井盐矿区还有“马鞍状”、“盐篷”等盐构造形态。

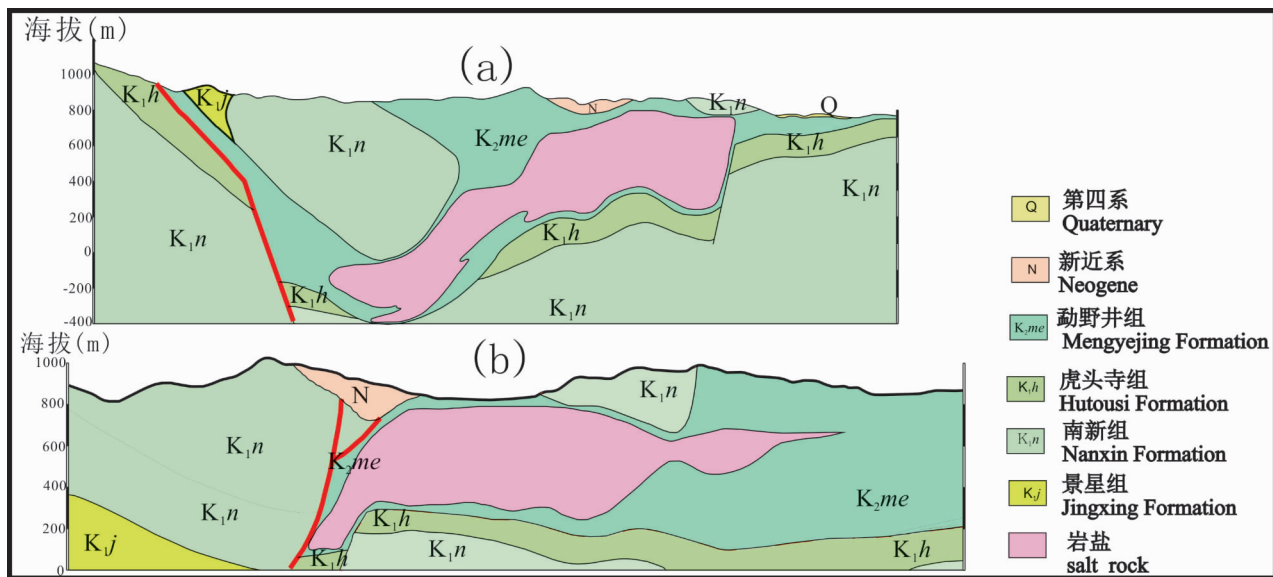


图5 勐野井钾盐矿盐构造2D形态图

Fig. 5 The shape of salt tectonics in Mengyejing deposit

近年来,随着建模技术及3D建模软件功能日益完善和强大,3D建模已经广泛应用于深部成矿预测和矿体形态的精细刻画,并在生产中取得了很好的应用效果。通过三维地质建模,把空间分布不均匀、不连续的地质信息通过曲面拟合与图形学技术结合,变成可视的、连续的、形象直观的三维地质模型和图形图像,综合反映地下地质结构全貌。本文依据2D勘探剖面成果,利用geomodeller强大的计算与成图功能,对受构造运动改造的岩盐体进行建模,精细刻画地下岩盐体的结构、形态,形成3D可视化地质模型(如图6)。可以看出,岩盐沿断裂从深部右旋揉扭至浅部地层形成“牛舌状”盐体。深部岩盐体在挤压应力下沿其他断裂流走或者已经被围岩断裂挤断排空,形成盐焊接构造。3D建模及可视化技术的应用对盐矿后期的勘查和开发具有指导

作用。

#### 4 地球物理响应及盐底辟构造

勐野井钾盐矿区开展低频大地电磁法剖面(EH4)测量(工作频段频率:0.1~1000Hz),A—B剖面方向为120°点距均为100m,勘探线长度为16.7km。测量结果经反演得到电阻率断面图重力剖面数据由该地区1:50000重力测量网格化数据提取(如图7)。

通过对该区地层、测井、岩芯测试等资料分析,测区出露地层主要为白垩系景星组、南新组和勐野井组地层,仅在研究区北部局部有侏罗系出露,白垩系地层以粗砂岩、细粉砂岩、泥质岩为主。从岩性电阻率的一般特征看,区内地层除石英砂岩电阻率相对较高外,其余岩层由于孔隙率较高,导通性好,体

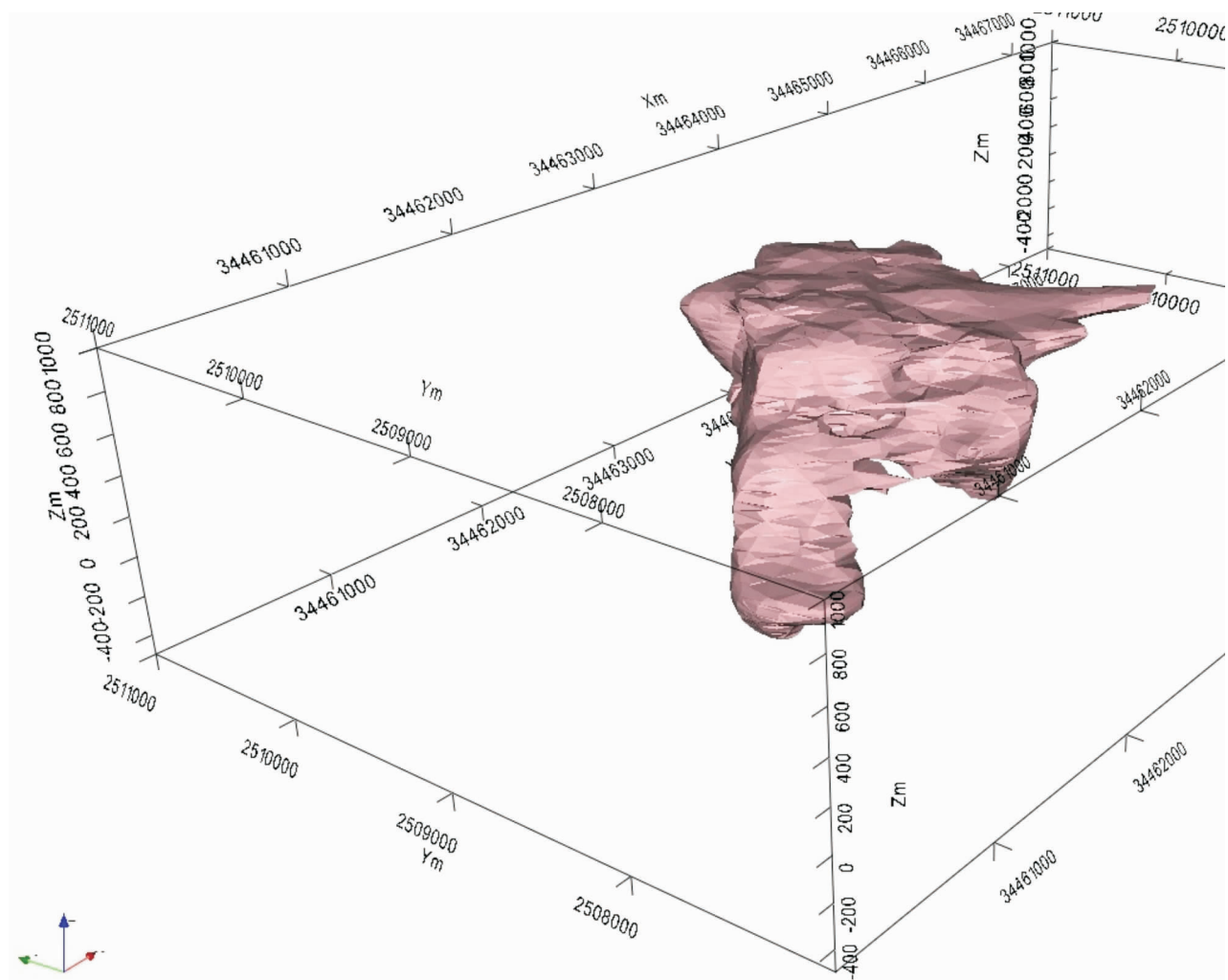


图6 勐野井钾盐矿盐构造3D形态图

Fig. 6 The 3D shape of salt tectonics in the Mengyejing deposit



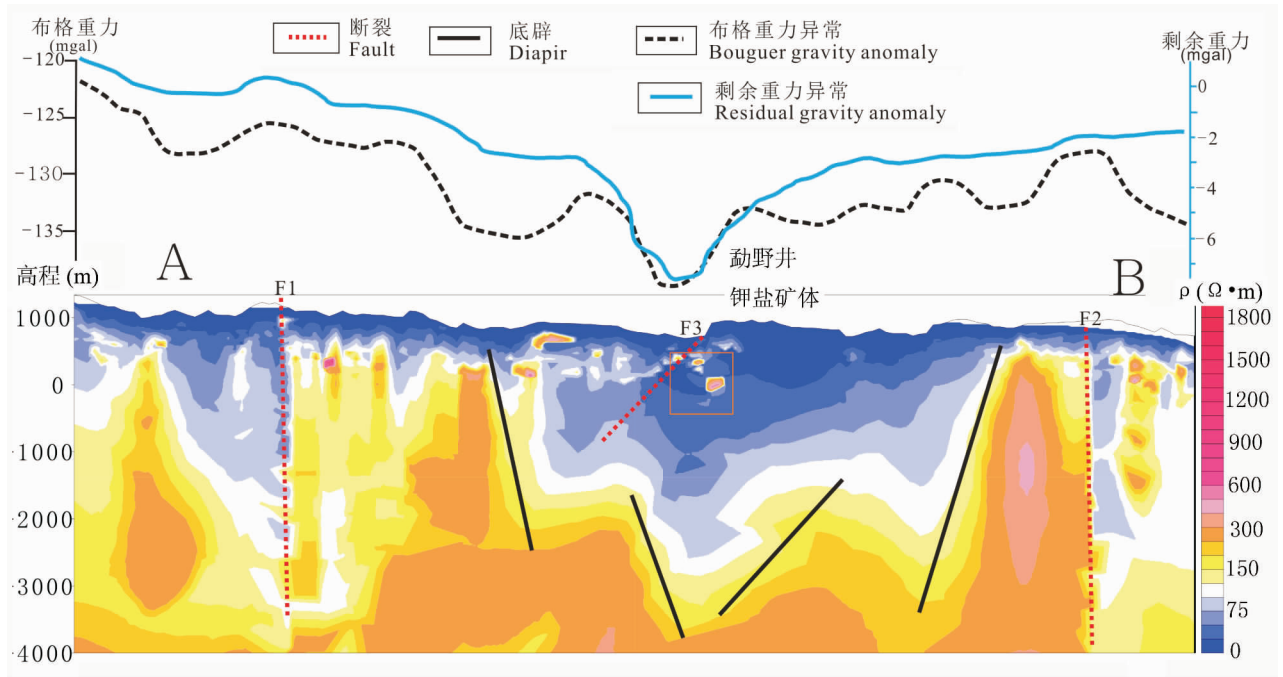


图7 地球物理响应与底辟构造

Fig. 7 The map of geophysical response and the diapirs

现出相对低阻的特征;而岩盐层结晶程度高、孔隙率小,一般为相对高阻特征,且电阻率高于石英砂岩。本文解译参照在已知钻孔 MK-1 和 MK-2 钻井的地层对比花开左组含盐地层厚度划分(见图 8),主要在测量结果中圈定相对中高电阻层,再结合区域构造分析底辟构造与岩盐层的相互关系。

此前在该地区开展过 1:50000 重力勘探,对布格重力采用向上延拓法求取剩余重力异常。测量剖面显示:布格重力异常和剩余重力异常对盐盆地和钾盐矿都显示为负异常,由于底部巨厚的含盐地层的存在,整体上曲线较为平滑。剩余布格异常在钾盐矿区负异常极值与钾盐矿有很好的对应关系,最大有约 5mgal 的重力差,异常梯度显示了钾盐矿区周边的底辟断裂和地层不整合面接触关系。

从 EH4 电阻率反演断面图,结合地质图可以看出, F1 和 F2 断层与该地区地层不整合界面有很好的对应关系, F1 为勐野井组和南新组的分界, F2 为虎头寺组与勐野井组的分界。电阻率断面图清楚的显示了勐野井矿区盐盆地的向斜构造特征以及盆地在拉张环境下形成的活化底辟构造,并且可以看出由于后期来自西北部强烈的构造挤压应力的作用,底辟构造的倾角变陡,成为非对称的地堑构造。电阻率断面和重力剖面反映了勐野井矿区构造应力从

拉张道挤压的过程。从侧面证明电阻率法在研究盐构造方面具有一定的优势。

## 5 勐野井钾盐矿盐构造运动示意与讨论

勐野井矿区盐体流动与汇集过程,就是盆地演化和盆缘断裂不断活动的过程。这些断裂严格地控制了盆地的沉降和抬升,使古地理格局不断变迁(刘善印, 1995)。在三叠纪和侏罗纪海侵地质时代,盆地接受大量海水物质的补给,在构造运动末期盆地抬升,发育浅水浅湖—盐湖和泻湖的沉积环境,在持续干旱的气候条件下,盐湖逐渐演化为巨厚的盐类矿床,在其盆地边缘或各级次级盆地中心部位可能沉积钾盐层。在成盐后构造运动过程中,岩层受拉张作用而产生断裂,由于盐的塑性流动和深部压力和热力的影响下,该断裂正好为侏罗纪时期盐的运移提供通道。在始新世,该地区以北东—南西向的强烈挤压为特征,形成北西—南东向构造断裂及推覆运动,岩盐沿着该断裂向上运移到坚硬的虎头寺组砂岩层之上,挤入较为松软的勐野井组,之后被勐野井组之上地层保护并进一步接受改造。

本文根据矿区的钻探、地表地质,重力勘探、低频 EH4 电性断面所分析的底辟断裂及盐界面等资

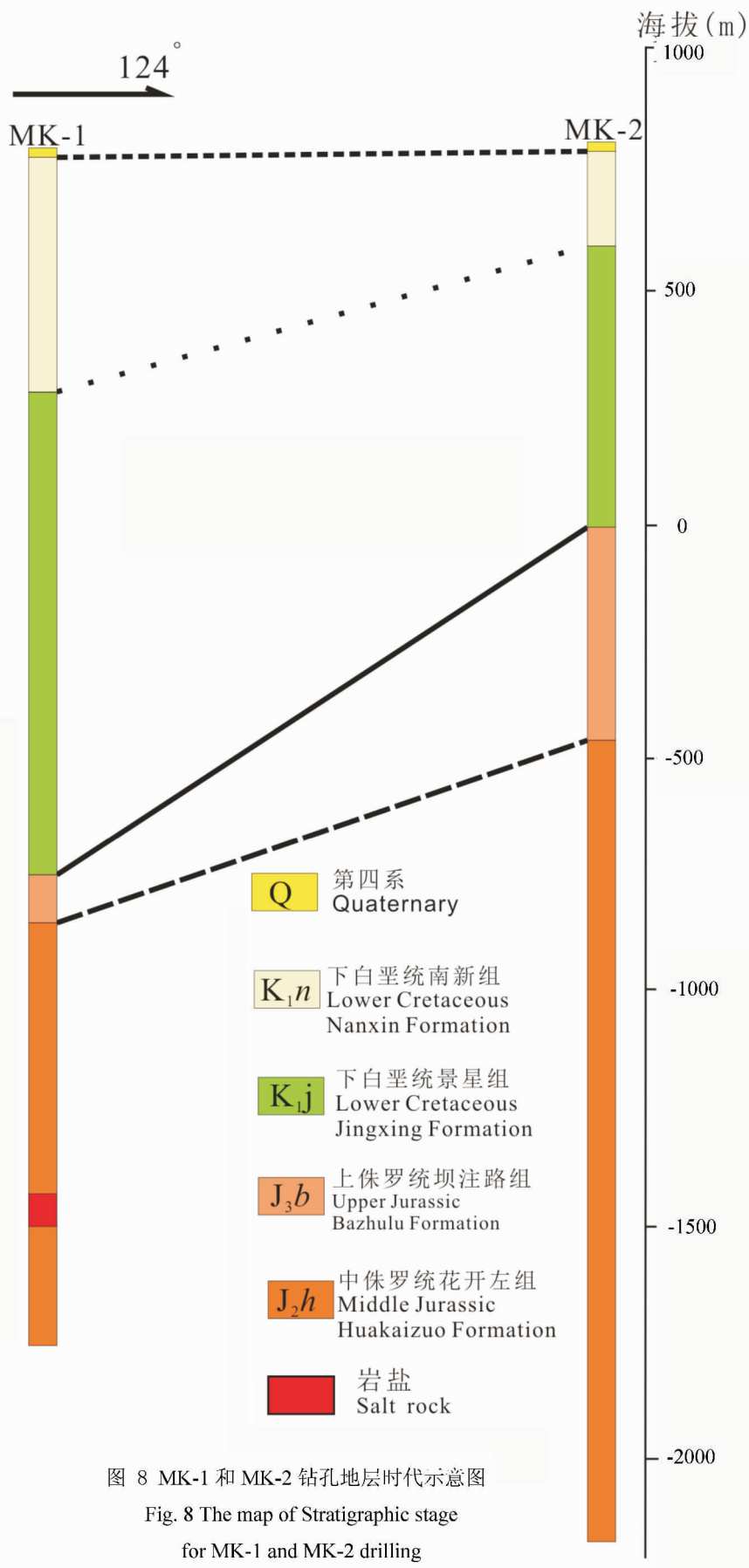


图 8 MK-1 和 MK-2 钻孔地层时代示意图

Fig. 8 The map of Stratigraphic stage for MK-1 and MK-2 drilling

料,应用平衡剖面技术的模拟原理,提出了勐野井钾盐矿区各阶段的盐构造演化的示意图(见图 9)。平衡剖面技术是指物质体积不变、岩层厚度不变,标志性岩层长度一致为原则的几何剖面恢复技术。该技术目前广泛应用于构造地质、石油地质、盆地模拟、盐构造等领域。近些年在墨西哥湾、北海、非洲被动大陆边缘、库车前陆冲断带采用平衡剖面复原技术,分析盐构造演化、复原剖面 and 运动学特征,得到了普遍应用。

(a) 中侏罗世,由于气候持续干旱炎热及有利的古地理、古纬度环境,在思茅盆地沉积了厚层海相岩盐,被晚侏罗世坝注路组( $J_3b$ )所覆盖。

(b) 早白垩世,沉积了景星组和南新组。由于板块内拉张产生地堑,在构造张应力作用下,未减薄地堑地层与减薄地层之间形成重力差异负载,断裂也使上覆地层弱化,盐体沿断裂由薄弱处向上挤压,形成活化底辟。

(c) 早白垩世中晚期,沉积了虎头寺组。在张应力、重力差异负载、底辟断裂的作用下,岩盐体持续向上挤压,上覆地层南新组被岩盐顶起抬升,形成主动底辟。

(d) 始新世,受喜山期多幕区域化强烈挤压作用,构造应力由拉张转变为挤压。受其影响,断层性质转为压扭性,坚硬的南新组石英砂岩断裂。使盐沿断裂穿过虎头寺组被迫向上运移,形成盐席构造。在向前流动过程中,盐流前端出现“楔状”构造形态。

(e) 始新世中后期,构造



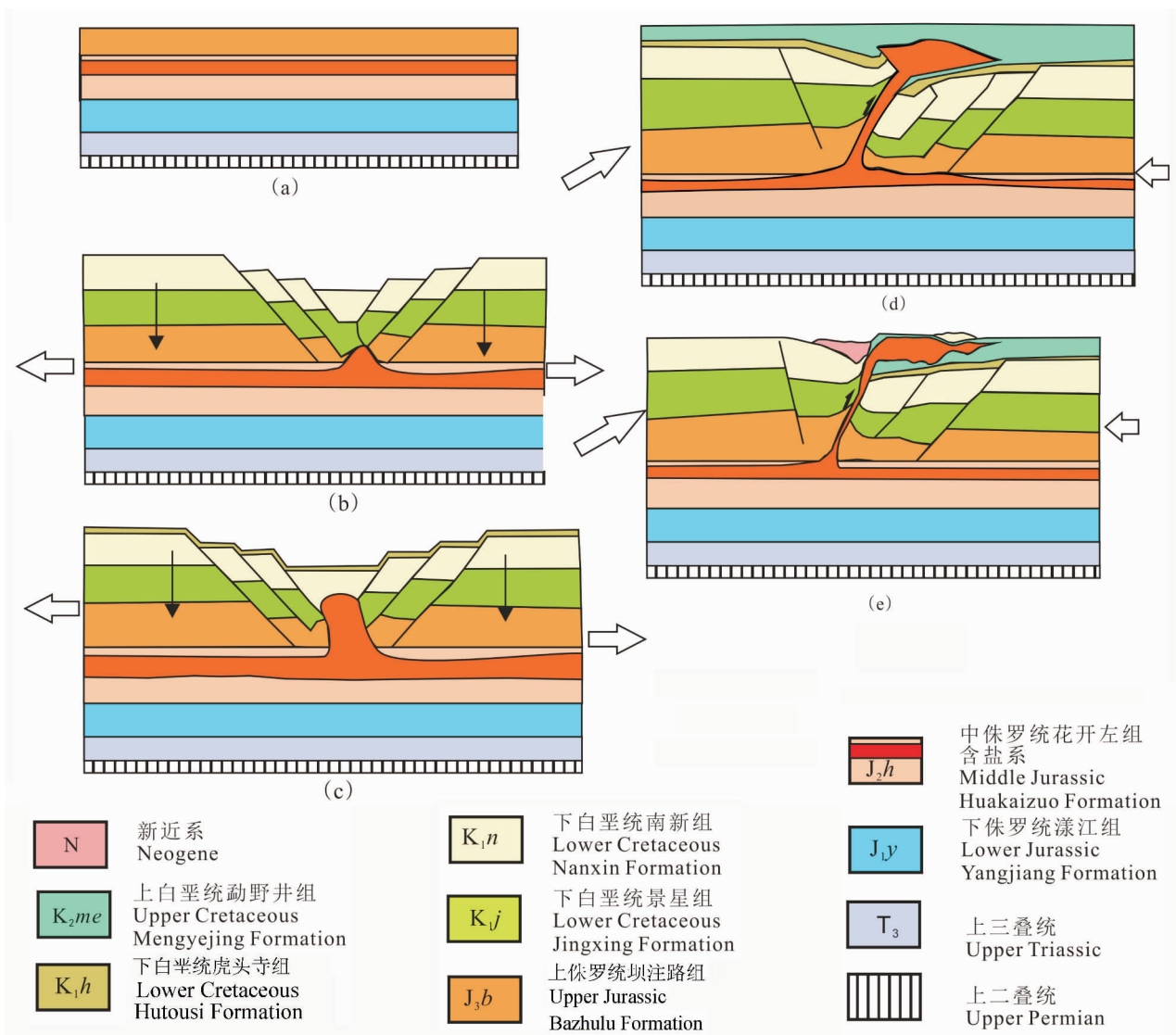


图9 勐野井盐构造演化示意图

Fig. 9 The map of simulating salt tectonic evolution for the Mengyejing deposit

挤压作用更加强烈,并形成推覆构造。推覆地层覆盖于盐岩层之上。盐层随挤压构造运动和围岩作用下,形成不同的盐构造体。断层上盘的部分地层被剥蚀,下盘继续接受古近纪—新近纪沉积。在后期随着板块构造运动,盆地抬升,部分推覆被剥蚀而发育飞来峰构造,形成现今的勐野井地区的构造格局。

## 6 结论

(1) 思茅盐盆地形成于特提斯海相环境,是在特定的古地理,古气候以及地质构造运动等条件下的产物。由于喜马拉雅造山运动,盆地遭受强烈的构造破坏。在强大的应力场下,岩盐沿断裂被挤压

至浅部较松软的勐野井组而保留下来。

(2) 通过研究勐野井钾盐矿区的含钾地层及沉积建造,分析2D勘探剖面形成各种盐构造形态,采用3D建模可视化技术,可以清晰确定岩盐体是从深部揉扭到表层的形态,该建模技术有助于后期矿山的勘探和开发。

(3) 分析勐野井矿区重力剖面以及低频EH4反演电阻率断面,对比MK-1和MK-2勘查深井,推定了盐盆地形态、底辟断层、地层不整合面等地质信息。

(4) 应用平衡剖面技术的原理,探讨在拉张和挤压构造运动下,勐野井钾盐矿的岩盐体沿断裂由深部塑性流动到浅表的过程,分析了岩盐体在塑流

过程中形成各种底辟构造的动力机制和底辟特点。在该方法在未来思茅盆地寻找钾盐矿床具有启示意义。

## 参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

陈海泓,郝杰,Dobson J P, Heller F, Kennech J H. 1993. 云南思茅地区新生代的持续旋转. 科学通报,38(24):2269~2272.

陈跃昆,廖宗廷,魏志红,李明辉. 2004. 兰坪—思茅中生代盆地的特征及构造演化. 石油实验地质,26(3):219~228.

陈书平,汤良杰,漆家福,屈东萌,孙萌思. 2007. 盐在变形中的作用:库车坳陷与东濮坳陷盐构造对比研究. 地质学报,81(6):745~754.

崔天秀. 1995. 钾盐找矿工作中的综合地球物理—地质研究. 化工矿产地质,17(3):198~206.

段建中,薛顺荣,钱祥贵. 2001. 滇西三江地区新生代地质构造格局及其演化. 云南地质,20(3):243~252.

范承钧. 1982. 滇西区域地质特. 云南地质,1(4):323~336.

戈红星, Martin P A J, Bruno C V. 1997. 文留盐构造成因与掩埋机制. 石油学报,18(2):38~43.

戈红星, Martin P A J. 1996. 盐构造与油气圈闭及其综合利用. 南京大学学报(自然科学版),32(4):94~103.

贾承造,赵文智,魏国齐,刘德来,张君峰. 2003. 盐构造与油气勘探. 石油勘探与开发,30(2):17~19.

廖宗廷,陈跃昆. 兰坪—思茅盆地原型的性质及演化. 2005. 同济大学学报(自然科学版),33(11):109~113.

刘成林. 2013. 大陆裂谷盆地钾盐矿床特征与成矿作用. 地球学报,34(5):515~527.

刘俊昌,徐新学. 2007. 大地电磁测深资料在思茅坳陷基底构造特征研究中的应用. 物探与化探,31(3):193~197.

刘群. 1995. 西伯利亚涅帕钾盐矿床地质、发现经过及其对我国找钾工作的启示. 地球学报,1(1):45~54.

刘善印,钟大赉,吴根耀. 1995. 滇西南晚第三纪含煤盆地的形成与演化. 煤炭学报,20(4):351~355.

刘善印,钟大赉,吴根耀. 1998. 滇西南景谷—镇沅地区早第三纪陆—陆碰撞期走滑挤压盆地. 地质科学,33(1):1~7.

刘祚冬,李江海. 2009. 西非被动大陆边缘含油气盐盆地构造背景及油气地质特征分析. 海相油气地质,14(3):46~52.

欧天明. 2014. 滇南勐野井钾盐矿床成因新解,33(1):6~13.

彭文绪,王应斌,吴奎,彭刚,王德英,毛云新,张涛. 2008. 盐构造的识别、分类及与油气的关系. 石油地球物理勘探,43(6):689~698.

曲懿华. 1997. 试论盐系中泥砾岩成因. 化工矿产地质,19(3):162~166.

钱鑫,冯庆来,王岳军. 2016. 老挝西北部琅勃拉邦构造带放射虫硅质岩及其构造意义. 地学前缘,23(6):287~298.

帅开业. 1987. 云南中、新生代地质构造演化与蒸发岩建造. 现代地质,1(2):208~229.

宋旭锋,代达龙,曹涛,付彦平,杨照河. 2014. 高精度重力测量在云南勐腊地区某岩盐矿勘查中的应用. 地质找矿论丛,29(3):445~449.

孙大鹏. 1986. 大陆含钾盆地钾盐沉积的形成问题. 矿物岩石,6(2):34~45.

孙大鹏. 1980. 论大陆含钾盆地钾盐沉积的形成问题. 科学通报,1

(7):429~432.

汤良杰,余一欣,陈书平,万桂梅,金文正. 2005. 含油气盆地盐构造研究进展. 地学前缘,12(4):375~383.

王二七,王世锋,樊春,王刚. 2006. 滇西一些新生代飞来峰的构造演化. 地质科学,41(1):170~180.

王猛,韦昌山,王敏. 2015. 呵叻盆地与兰坪—思茅盆地钾盐成矿特征分析及找矿启示. 矿产勘查,6(2):149~153.

魏东岩. 1999. 试论钾盐矿床的成矿条件. 化工矿产地质,21(1):1~6.

徐伟,王宇,李航空. 2015. 盐构造成因演化机制及其对研究钾盐矿床成因的意义. 中国矿山工程,44(2):48~51.

颜茂都,张大文. 2014. 中国主要陆块特定时期的漂移演化历史及其对海相钾盐成矿作用的制约. 矿床地质,33(5):945~963.

杨勤林,王彦春,张静,刘文卿,王震. 2013. 滨里海盆地下构造处理解释一体化研究. 物探与化探,37(2):323~327.

姚远,马海州,谭红兵,董亚萍,马万栋. 2004. 古钾盐成矿条件和塔里木盆地找钾研究. 盐湖研究,12(2):8~13.

余一欣,周心怀,彭文绪,魏刚,吕丁友. 2011. 盐构造研究进展述评. 大地构造与成矿学,35(2):169~182.

余一欣,周心怀,汤良杰,彭文绪,吕丁友,王应斌. 2008. 渤海海域莱州湾凹陷 KL11-2 地区盐构造特征. 地质学报,82(6):731~737.

袁见齐,高建华. 1987. 中国中新世盐盆地的构造控制. 地球科学,12(4):337~347.

袁见齐,霍承禹,蔡克勤. 1985. 干盐湖阶段的沉积特征兼论钾盐矿层的形成. 地球科学,10(4):1~9.

袁见齐. 1961. 中国内陆盐湖钾盐沉积的若干问题. 地质学报,41(1):1~5.

袁见齐. 1980. 钾盐矿床成矿理论研究的若干问题. 地质论评,26(1):56~59.

袁秦,秦占杰,魏海成,盛淑蓉,山发寿. 2013. 云南江城勐野井组钾盐成矿时代及其古环境研究. 地球学报,34(5):631~637.

张洁,尹宏伟,孟令森,徐士进. 2008. 主动底辟盐构造的二维离散元模拟. 地球物理学进展,23(6):1924~1930.

张勇刚,吕福亮,范国章,王彬,李丽,李东,邵大力,杨姣. 2012. 盐相关盆地油气地质特征及其勘探认识——以红海盆地为例. 盐湖研究,21(1):9~15.

郑大中,郑若锋. 2006. 论钾盐矿床的物质来源和找矿指示. 盐湖研究,14(4):9~17.

郑绵平,侯献华,于常青,李洪普,尹宏伟,张震,邓小林,张永生,郭廷峰,韦钊,王绪本,安莲英,包贞,谭筱虹,张雪飞,牛新生. 2015. 成盐理论引领我国找钾取得重要进展. 地球学报,36(2):129~139.

郑绵平,袁鹤然,张永生,刘喜方,陈文西,李金锁. 2010. 中国钾盐区域分布与找钾远景. 地质学报,84(11):1523~1553.

郑绵平. 2006. 盐湖学的研究与展望. 地质论评,52(6):737~746.

郑绵平,张震,侯献华. 2015. 中国钾资源远景与矿业发展战略. 国土资源情报,10:1~9.

郑绵平,张震,尹宏伟,谭筱虹,于常青,施林峰,张雪飞,杨尖絮,焦建,武国朋. 2014. 云南江城勐野井钾盐成矿新认识. 地球学报,35(1):11~24.

朱洪发,刘翠章. 1985. 从世界大型钾盐矿床形成的控制条件评述我国几个重要含盐系找钾前景. 矿物岩石,5(3):51~59.

Abdallah A Z, Brink U S. 2001. Salt diapirs in the Dead Sea basin and their relationship to Quaternary extensional tectonics. Marine and Petroleum Geology, 18:779~797.

Antonio T R, Christian G, Alain Ma, Wiktor W. 2004. Salt tectonics a controlling factor on the development of the Marseilles and Grand-

- Rhone sedimentary ridges, Gulf of Lions, western Mediterranean Sea. *Tectonics*, 336:143 ~ 150.
- Berta L, Josep A M, Jes s G S. 2014. Restoration of basins driven by extension and salt tectonics: Example from the Cotiella Basin in the central pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 69:147 ~ 162.
- Bridge C T, Calon T J, Hall J, Aksu A E. 2005. Salt tectonics in two convergent-margin basins of the Cyprusarc Northeastern Mediterranean. *Marine Geology*, 221:223 ~ 259.
- Chen Haihong, Hao Jie, Dobson J P, Heller F, Kennech J H. 1993&. Yunnan Simao region of Cenozoic, *Chinese Science Bulletin*, 38 (24):2269 ~ 2272.
- Chen Shuping, Tang Liangjie, Qi Jiafu, Qu Dongmeng, Sun Mengsi. 2007&. Roles of Salt in Deformation: Compression of the Salt-Related Structures between Kuqa Depression and Dongpu Depression. *Acta Geologica Sinica*, 81(6):745 ~ 754.
- Chen Yaokun, Liao Zongting, Wei Zhihong, Li Minghui. 2004&. Characteristics and tectonic evolution of the Lanping—Simao Mesozoic basin. *Petroleum Geology&Experiment*, 26(3):219 ~ 228.
- Clausen O R, Nielsen S B, Egholm D L, Godowski B. 2012. Cenozoic structures in the eastern North Sea Basin — A case for salt tectonics. *Tectonophysics*, 514 ~ 517.
- Cui Tianxiu. 1995&. Collective Application of Geological and Geophysical Methods to Prospecting For Potash Resource. *Geology of Chemical Minerals*, 17(3):198 ~ 206.
- Davison I, Dailly P. 2010. Salt tectonics in the Cap Boujdour Area Aaiun Basin NW Africa. *Marine and Petroleum Geology*, 27:435 ~ 441.
- Decarlis A, Maino M, Dallagiovanna G, Lualdi A, Masini E, Seno S, Toscani G. 2014. Salt tectonics in the SW Alps (Italy France) from rifting to the inversion of the European continental margin in a context of oblique convergence. *Tectonics*, 636:293 ~ 314.
- Djebbi M, Gabtni H. 2015. 3D gravity modeling of a salt structure associated to the Trozza Labaied lineament (Central Tunisia) constrained by seismic and borehole data. *Journal of African Earth Sciences*, 103:71 ~ 80.
- Duan Jianzhong, Xue Shunrong, Qian Xianggui. 2001&. The Cenozoic geological tectonic framework and evolution in the three-river area of west, Yunnan. *Yunnan Geology*, 20(3):243 ~ 252.
- Fan Chengjun. 1982#. *Regional Geology in Western of Yunnan*. *Yunnan Geology*, 1(4):323 ~ 336.
- Ge Hongxing, Martin P A J, Bruno C V. 1997&. Structural evolution of the Wenliu salt diapir and graben, Bohai bay. *Acta Petrolei Sinica*, 18(2):38 ~ 43.
- Ge Hongxing, Martin P A J. 1996&. Salt structures hydrocarbon traps and mineral deposits. *Journal of Nanjing University*, 32(4):94 ~ 103.
- Gradmann S, Christian H, Avraham Z B, Gajewski D, Netzeband G. 2005. Salt tectonics off northern Israel. *Marine and Petroleum Geology*, 22:597 ~ 611.
- Guillaume B, Graham B, David G, Wolfgang P, Andrew A. 2010. Basin geometry and salt diapirs in the Flinders Ranges, South Australia: Insights gained from geologically-constrained modelling of potential field data. *Marine and Petroleum Geology*, 27:650 ~ 665.
- Heijn V G, Janos L U, Martin K. 2011. The internal geometry of salt structures—A first look using 3D seismic data from the Zechstein of the Netherlands. *Journal of Structural Geology*, 33:292 ~ 311.
- Hemin K, Christopher J T, Bjorn O T. 1993. Salt diapirs of the southwest Nordkapp Basin; analogue modelling. *Tectonophysics*, 228:167 ~ 187.
- Hoppers J, Rathore J S, Feng Jianhua, Finnstrom E G, Holthe J. 1988. Salt tectonics in the Norwegian—Danish Basin. *Tectonophysics*, 149:35 ~ 60.
- Hudec M R, Jackson M P A. Terra I. 2007 Understanding salt tectonics. *Earth Science Reviews*, 82:1 ~ 28.
- Imen H N, Mohamed H I, Abdelhamid B S, Said T, Abdelbaki M. 2009. Gravity contributions to the understanding of salt tectonics from the Jebel Cheid area. *Geophysical Prospecting*, 57:719 ~ 728.
- Jean P B, Thomas P O, Mauduit. 2008. Rollovers in salt tectonics: The inadequacy of the listric fault model. *Tectonophysics*, 457:1 ~ 11.
- Jean P B, Xavier F. 2004. Compressional salt tectonics. *Tectonophysics*, 382:129 ~ 150.
- Jean Pierre Brun, Xavier Fort. 2011. Salt tectonics at passive margins Geology versus models. *Marine and Petroleum Geology*, 28:1123 ~ 1145.
- Jia Chengzao, Zhao Wenzhi, Wei Guoqi, Liu Delai, Zhang Junfeng. 2007&. Salt Structures and Exploration of Oil and Gas. *Petroleum Exploration and Development*, 30(2):17 ~ 19.
- J rgen A, Ge Z Y, Mariana S. 2012. Post-rift salt tectonic evolution and key control factors of the Jequitinhonha deep water fold belt central Brazil passive margin: Insights from scaled physic experiments. *Marine and Petroleum Geology*, 37:70 ~ 100
- Lamarche J, Magdalena S W. 2005. 3D structural model of the Polish Basin. *Tectonophysics*, 397:73 ~ 91.
- Liao Zongting, Chen Yuekun. 2005&. Nature and Evolution of Lanping—Simao Basin Prototype. *Journal of Tongji University*, 33(11):109 ~ 113.
- Liu Chenglin. 2013&. Characteristics and Formation of Potash Deposits in Continental Rift Basins: A Review. *Acta Geoscientia Sinica*, 35(5):515 ~ 527.
- Liu Junchang, Xu Xinxue. 2007&. Electric Conductivity Characteristics of Basement Tectonics in Simao Basin, Yunnan Province. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 31(3):193 ~ 197.
- Liu Qiong. 1995&. Geology and discovery process of the Nepa potash deposit in Siberia and Its Enlightenment for potash searching work in China. *Acta Geoscientia Sinica*, 1(1):45 ~ 54.
- Liu Shanyin, Zhong Dalai, Wu Genyao. 1995&. Formation and evolution of late tertiary coal-bearing basin in southwest Yunnan. *Journal of China Coal Society*, 20(4):351 ~ 355.
- Liu Shanyin, Zhong Dalai, Wu Genyao. Jingu—Zhengyuan. 1998&. Transpressional basin during continent—continent collision of early Tertiary in southwest Yunnan China. *Scientia Geologica Sinica*, 33(1):1 ~ 8.
- Liu Zudong, Li Jianghai. 2009&. Tectonic Evolution and Petroleum Geology Characteristics of Petroliferous Salt Basins Area along Passive Continental Margin, West Africa. *Marine Oil and Gas Geology*, 14(3):156 ~ 167.
- Michael R H, Martin P A J. 2013. The salt mine, Zhejiang University Press, 10 ~ 200.
- Ou Tianming. 2014&. A new recognition of genesis of Mengyejing K salt in south of Yunnan. *Journal of Yunnan Geology*, 33(1):6 ~ 13.
- Peng Wenxu, Wang Yingbin, Wu Kui, Peng Gang, Wang Deying, Mao Yunxin, Zhang Tao. 2008&. Recognition and classification of salt structure and relative to oil/gas. *Petroleum Geophysical Exploration*, 43(6):689 ~ 698.
- Qian Xin, Feng Qinglai, Wang Yuejun. 2016&. Radiolarian cherts from the Luang Prabang tectonic zone in NW Laos and their tectonic



- implications. *Earth Science Frontiers*, 23(6):287~298.
- Qu Yihua. 1997. On Origination of Clay Conglomerate Associated with Salt Sequences. *Geology of Chemical Minerals*, 19(3):162~166.
- Rachel H, Huuse M. 2015. Salt on the move Multi stage evolution of salt diapirs in the Netherlands North Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 61:39~55.
- Scheck M, Bayer U, Bjorn L. 2003. Salt redistribution during extension and inversion inferred from 3D back stripping. *Tectonophysics*, 373:55~73.
- Shuai Kaiye. 1987. Geologic Tectonic Evolution and Evaporate Formation of Mesozoic—Cenozoic Era in Yunnan. *Geoscience*, 1(2):208~229.
- Song Xufeng, Dai Dalong, Cao Tao, Fu Yanping, Yang Zhaohe. 2014. Application of high precision gravity survey to a rock salt mine in Mangla country, Yunnan province. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 29(3):445~449.
- Sun Dapeng. 1980. The formation of the theory of continental potassium potash deposit problem. *Chinese Science Bulletin*, 1(7):429~432.
- Sun Dapeng. 1986. The origins of potash deposits in continental potash bearing basins. *Minerals and Rocks*, 6(2):34~45.
- Tang Liangjie, Yu Yixin, Chen Shuping, Wan Guimei, Jin Wenzheng. 2005. Major developments of research on salt tectonics in oil gas bearing basins. *Earth Science Frontiers*, 12(4):375~383.
- Telford W M, Geldart L P, Sheriff R E. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press; 321~333.
- Wang Erqi, Wang Shifeng, Fan Chun, Wang Gang. 2006. Tectonic evolution of some Cenozoic klippen in western Yunnan. *Chinese Journal of Geology*, 41(1):170~180.
- Wei Dongyan. 1999. On conditions for origination of potash deposits. *Geology of Chemical Minerals*, 21(1):1~6.
- Xu Wei, Wang Yu, Li Hangkong. 2015. Genesis evolution mechanism of salt tectonics and its significance to the genesis of potash deposit. *China Mine Engineering*, 44(2):48~51.
- Yan Maodu, Zhang Dawen. 2014. Drifting history of China's main blocks during specific periods and its tectonic constraints on marine potash formation. *Mineral Deposits*, 33(5):945~963.
- Yang Qinlin, Wang Yanchun, Zhang Jing, Liu Wenqin, Wang Zheng. 2013. The integration for processing and interpretation of sub-salt structure in pre-Caspian basin. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 37(2):323~327.
- Yao Yuan, Ma Haizhou, Tan Hongbing, Dong Yaping, Ma Wandong. 2004. Potash deposit formation condition and Tarim Basin potash deposit exploration Research. *Journal of Salt Lake Research*, 12(2):8~13.
- Yu Yixin, Zhou Xinhui, Peng Wenxu, Wei Gang, Lv Dingyou. 2011. An overview on salt structures. *Geotectonica & Metallogenia*, 35(2):169~182.
- Yu Yixin, Zhou Xinhui, Tang Liangjie, Lv Dingyou, Wang Yingbin. 2008. Salt Structural Features in KL11-2 Area of the Laizhouwan Depression, Offshore Bohai Bay Basin. *Acta Geoscientica Sinica*, 82(6):731~737.
- Yuan Jianqi, Huo Chengyu, Cai Keqin. 1985. Characteristics of salt deposits in the dry salt lake and the formation of potash beds. *Earth Science*, 10(4):1~9.
- Yuan Jianqi, Gao Jianhua. 1987. Structural control of Meso-Cenozoic salt basin in China. *Earth science*, 12(4):337~347.
- Yuan Jianqi. 1961. Some problem of salt lake potash deposits in China. *Acta Geoscientica Sinica*, 41(1):1~5.
- Yuan Jianqi. 1980. Some problems for Potash deposit research. *Geological Review*, 26(1):56~59.
- Yuan Qin, Qin Zhanjie, Wei Haicheng, Sheng Shurong, Shan Fashou. 2013. The ore forming age and palaeoenvironment of the Mengyejing formation in Jiangcheng, Yunnan province. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(5):631~637.
- Zhang Jie, Yin Hongwei, Meng Lingsen, Xu Shijin. 2008. Simulation of active salt domes using 2D discrete element method. *Department of Earth Sciences*, 23(6):1924~1930.
- Zhang Yonggang, Lv Fuliang, Fan Guozhang, Wang Bin, Li Li, Li Dong, Shao Da Li, Yang Jiao. 2012. Salt-related Basin Hydrocarbon Geology Characteristics and Exploration Recognition—A Case Study of Red Sea Basin. *Journal of Salt Lake Research*, 21(1):9~15.
- Zheng Dazhong, Zheng Ruofeng. 2006. Material Sources and Prospecting Indicators of Potassium Deposits. *Journal of Salt Lake Research*, 14(4):9~17.
- Zheng Mianping, Hou Xianhua, Yu Changqing, Li Hongpu, Yin Hongwei, Zhang Zhen, Deng Xiaolin, Zhang Yongsheng, Guo Tingfeng, Wei Zhao, Wang Xuben, An Lianying, Nie Zhen, Tan Xiaohong, Zhang Xuefei, Niu Xinsheng. 2015. The Leading Role of Salt Formation Theory in the Breakthrough and Important Progress in Potash Deposit Prospecting. *Acta Geoscientica Sinica*, 36(2):129~139.
- Zheng Mianping, Yuan Heran, Zhang Yongsheng, Liu Xifang, Chen Wenxi, Li Jinsuo. 2010. Regional Distribution and Prospects of Potash in China. *Acta Geologica Sinica*, 84(11):1523~1553.
- Zheng Mianping, Zhang Zhen, Yin Hongwei, Tan Xiaohong, Yu Changqing, Shi Linfeng, Zhang Xuefei, Yang Jianxu, Jiao Jian, Wu Guopeng. 2014. A new viewpoint concerning the formation of the Mengyejing potash deposit in Jiangcheng, Yunnan. *Acta Geoscientica Sinica*, 35(1):11~24.
- Zheng Mianping, Zhang Zhen, Hou Xianhua. 2015. The prospects and the mining development strategy of potassium resources in China. *Land and Resources Information*, 10:1~9.
- Zheng Mianping. 2006. Salinology: Research and Prospects. *Geological Review*, 52(6):737~746.
- Zhu Hongfa, Liu Cuizhang. 1985. Prospective of main salt bed ring formations in China. *Minerals and Rocks*, 5(3):51~59.

## Salt Tectonic and Prospecting Potassium Research in Simao Basin

LIU Ying<sup>1)</sup>, ZHENG Mianping<sup>1)</sup>, ZHANG Zhen<sup>1)</sup>, YU Changqing<sup>2)</sup>,  
MIAO Zhongying<sup>1)</sup>, ZHANG Kai<sup>3)</sup>, GAO Lei<sup>4)</sup>

1) *MLR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*

2) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*

3) *China University of Mining & Technology, Beijing, 100083;*

4) *The Company of Huasheng Hydrological Geological Survey, China National Administration of Coal Geology, Handan, Hebei, 056000*

**Abstract:** The Simao basin is an important potassium salt basin in our country and the Mengyejing potash deposit is the only halide solid potash deposit in China. In this article, we comprehensive analysis of the geological background, the ancient environment, tectonic evolution, the characteristics of sedimentary and potassium salt layers. Using two geophysics methods to explore in studying area, for example: gravity and AMT. By studying the gravity profile map and the resistivity cross-section, and then compared with two drillings, which named MK-1 and MK-2, and their depths are up to 2500m and 3000m. We can infer the fracture structure, diapirs, and then speculated that Mengyejing potash ore body was knead twist flows to shallow along the fracture from deep in extrusion structure. Analyzing two geological exploration profiles from the Mengyejing mineral deposit, researching the distribution characteristics of salt rock and the formation process under the background of tectonic movement, applied 3D model and visualization technology, to recover the 3D the salt body. By using the principle of "balanced section technique" to simulate the process of salt extruding along the fault under Spin and extrusion force. Through these research, expand the through of finding potassium salt in Simao basin, and provide better foundation for the next phase work.

**Keywords:** salt tectonics; Mengyejing potash deposit; Simao basin; diapirs; EH4; gravity exploration; 3D modeling

**Acknowledgement:** This study was jointly supported by China Geological survey Bureau under the geological survey (No. DD20160054, 1212011085524&1212011085517). We would like to express our thanks to professor ZHANG Yuxu from Editorial department of Geological review.

**First author:** LIU Ying, male, born in 1986, Phd candidate, mainly engaged in geophysical exploration and mineral exploration. Address: No. 26, Baiwanzhuang Street, Xicheng District, Beijing, 10037. Email: liuying\_131@163.com

**Corresponding author:** ZHENG Mianping, male, born in 1934, Professor, engaged in salinology and salt deposit geology. Email: zhengmp2010@126.com

Manuscript received on: 2017-01-07; Accepted on: 2017-04-11; Edited by: ZHANG Yuxu.

**Doi:** 10.16509/j.georeview.2017.03.003