

文章编号: 1009-3850(2003)02-0035-08

中国西北部南北向伸展构造存在的新证据 ——酒泉早白垩世半地堑断陷成因初探

李奋其

(成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘要: 酒泉早白垩世半地堑断陷呈南北向或北东向展布, 进一步分为多米诺骨牌式、对倾式和背倾式三种。其充填物明显地受近南北向或北东向正断裂控制, 其中的火山岩均为碱性玄武岩, 可能由地幔熔融形成。初步认为, 酒泉半地堑断陷是早白垩世陆内地幔热隆诱发的近南北向伸展构造。在新生代, 由于印度板块的挤压作用, 北祁连山前展式北向推覆作用可能使早白垩世半地堑断陷的南部地区转换成山脉, 现今的半地堑南部边界被掩伏于北祁连山之下; 同时, 印度板块的挤压作用使控制半地堑沉积体系的近南北向或北东向正断裂转换为逆冲断裂, 发生反转。

关键词: 南北向构造; 半地堑; 早白垩世; 中国西北部; 酒泉; 甘肃

中图分类号: P542

文献标识码: A

侏罗-白垩纪地幔软流圈上隆并诱发了东西向伸展作用, 从而在中国东部出现了由一系列由半地堑组成的东北裂谷系、华北裂谷系^[1, 2]。发育于在阿尔金断裂与走廊过渡带交汇部位的酒西、酒东和花海-金塔白垩纪原型盆地(图1)均由一系列北北东向—北东向半地堑组成, 但长期以来在中国西北部被认为是挤压或夷平状态^[3]。笔者对半地堑从构造型式、充填物、火山活动特征以及后期构造的改造作用等方面进行了研究, 认为它属于近南北向或北东向伸展构造, 是早白垩世软流圈上拱的表部响应。但由于新生代以来印度板块的挤压, 造成北祁连山的前展式推覆作用和控制半地堑的正断裂反转, 使酒泉原型盆地群南的半地堑构造遭到很大破坏。

1 区域地质概况

研究区位于阿拉善地块南缘的“走廊过渡带”西段, 经历了漫长而复杂的演化历史。古元古代末, 区

内发生了区域动力热流变质作用, 形成构成阿拉善地块结晶基底的敦煌岩群^[3]。中寒武世早期, 统一的中国古陆发生裂解, 于晚奥陶世末碰撞成山, 志留系在褶皱山系前形成前陆盆地^[4]。此次板块开合作用形成了一系列北西西向断裂。到泥盆纪, 进入碰撞期后造山阶段。经过泥盆纪强烈的构造剥蚀, 到石炭纪初, 酒泉盆地群及其南北邻区已经夷平到准平原化程度。石炭纪—侏罗纪, 区内表现为一系列东西向展布的山间断陷含煤建造。进入白垩纪, 转入南北向伸展状态, 形成半地堑构造, 并有短暂的火山喷发。此种伸展状态持续到早白垩世末期, 晚白垩世未见沉积记录。古近纪, 地壳下凹, 为陆相湖泊环境^[5]。新近纪以来, 由于印度板块的挤压力波及区内, 地壳表现为由早期的缓慢隆升到晚期的快速隆升^[6], 并表现为大规模的北向推覆作用。

酒西盆地群半地堑构造发育于早古生代浅变质岩系和古元古代结晶岩系之上(图2), 均受北北东向—北东向正断裂控制。盆地南部的半地堑构造被

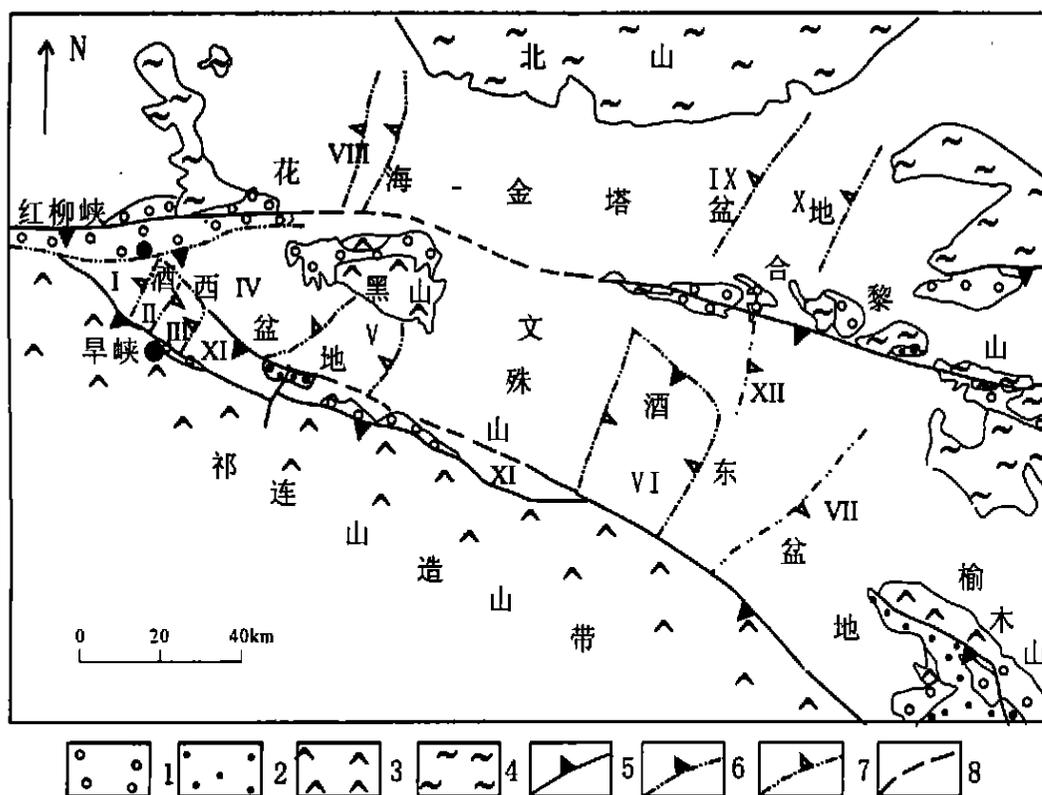


图1 酒泉半地堑构造分布简图

1. 白垩系; 2. 石炭-侏罗系; 3. 下古生界; 4. 阿拉善地块结晶基底; 5. 逆冲推覆断裂; 6. 隐伏逆冲推覆断裂; 7. 隐伏白垩纪正断裂; 8. 推测断层及次级构造单元界线。I. 红南半地堑; II. 青西低凸起; III. 青南半地堑; IV. 石北半地堑; V. 大红圈半地堑; VI. 营尔半地堑; VII. 马营半地堑; VIII. 花海半地堑; IX. 金塔半地堑; X. 双树子半地堑; XI. 南部断褶带; XII. 盐池半地堑

Fig. 1 Distribution of the half grabens in Jiuquan

I = Cretaceous; 2 = Carboniferous-Jurassic; 3 = Lower Palaeozoic; 4 = Alxa crystalline basement; 5 = overthrust; 6 = buried overthrust; 7 = buried Cretaceous normal fault; 8 = inferred fault and secondary tectonic boundary. I = Hongnan half graben; II = Qingxi swell; III = Qingnan half graben; IV = Shibei half graben; V = Dahongquan half graben; VI = Ying'er half graben; VII = Maying half graben; VIII = Huahai half graben; IX = Jinta half graben; X = Shuangzi half graben; XI = southern fault-fold zone; XII = Yanchi half graben

北祁连山推覆体掩盖, 以致盆地南界不明。赤金堡组是裂陷初期的产物, 下部沉积了灰绿色、灰棕色、黄绿色砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩与砂质泥岩, 厚达550m; 中部为灰绿色、灰黄色、灰棕色泥页岩、砂质泥岩、泥质粉砂岩夹黄绿色、灰黄绿色含砾砂岩, 一般厚380余米; 上部为黄绿色、灰褐色、灰绿色砂质泥岩、粉砂岩夹黄绿色、灰绿色含砾砂岩及砾岩。反映了粗→细→粗的沉积旋回, 湖泊由浅变深、再由深变浅的过程。下沟组下部为紫红色砾岩夹紫红色砂岩, 中部为灰绿色、灰黑色泥岩、页岩、泥灰岩、生物碎屑灰岩、白云质灰岩和砂岩, 上部为紫红色、灰绿色砂砾岩、砂岩与紫红色、灰绿色粉砂质泥岩、泥质、页岩、泥岩互层。半地堑边部厚度为100~380m, 深

的部分加厚至700~800m, 属洪积、河流-湖泊相沉积。中沟组下部为紫红色砂砾岩与粉砂质泥岩、泥质粉砂岩互层, 上部为灰绿色、黄绿色泥岩、页岩、粉砂岩与黄绿色砂岩互层, 夹膏盐岩层, 属河流-湖泊相沉积, 预示着湖盆发育的结束, 厚度100~1100m。

2 早白垩世盆地半地堑充填物特征

2.1 沉积记录

早白垩世发育的北东向或近南北向生长正断裂对研究区具有明显的分割性, 使其形成以北东向为主的凹凸相间的构造格局, 由此伴生了一系列东深西浅的分割性半地堑半地堑(图2上图), 控制了早白垩世的沉积, 并反映出以下特征。

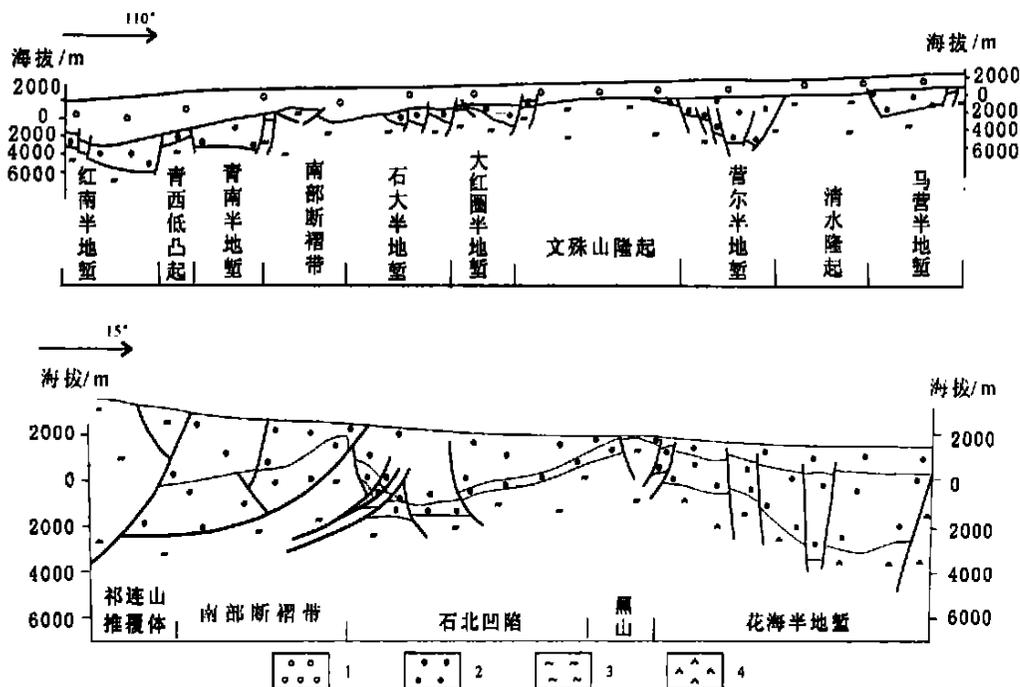


图2 酒泉盆地群半地堑构造剖面图(据玉门石油管理局资料编)

1. 新生界; 2. 白垩系; 3. 下古生界浅变质岩系; 4. 结晶基地

Fig. 2 Cross section through the half grabens in Jiuquan

1=Cenozoic strata; 2=Cretaceous strata; 3= Lower Palaeozoic low-grade metamorphic rock series; 4= crystalline basement

(1) 断层两侧地层厚度变化大。在断层上盘(即半地堑中), 白垩系厚度较大, 赤金堡组、下沟组和中沟组得以保存完整; 在下盘即突起部位, 缺失白垩系或只有很薄的沉积, 层位也不全(图2上图)。如鸭西509断层, 在东侧的下盘, 白垩系厚度为0~200m, 而西侧的上盘则急剧加厚至1000~1600m, 并出现深湖相黑色泥岩(图3)。可见正断裂活动诱发的盆地沉降控制着早白垩世沉积。

(2) 相带窄、岩性变化大。由于半地堑范围小, 上、下盘地形升降大, 因此反映在沉积物厚度上, 常在数千米内厚度由千余米减至二三百米, 甚至尖灭。岩相变化大, 有跳相现象。横向上砾岩很快变成泥岩、砂岩, 相带很窄, 甚至消失; 纵向上也出现深湖相的黑色泥岩与冲积扇相红色砾岩直接交替, 前者暗示着沉降速率大于沉积物供给速率, 后者表明了下盘的快速隆升。这些特征表明, 正断层的活动控制着箕状半地堑沉积建造。

(3) 北北东向—北东向正断裂活动幅度的差异造成上盘地层厚度的不一致。大红圈半地堑边界断层部位上盘的白垩系厚度为1300m, 石北半地堑为

1050m, 青南半地堑为2300m。Gawthorpe和Leeder对裂谷盆地半地堑构造的研究^[7]表明, 此种地层厚度的变化与正断层的位移量密切相关, 厚度愈大, 位移量愈大, 而位移量与伸展强度密切相关。暗示着酒西盆地西部伸展强度较大。

(4) 沿半地堑展布的砂砾岩体受生长正断裂的控制。冲积扇体(或扇三角洲)呈裙带状展布于上盘靠近下盘的部位, 且形态不规则。扇根部位砾石粒径较大, 物源来自下盘高地。从垂向上看, 一系列叠置的砂砾岩体均源于北北东或近南北向断裂部位(图3)。可见, 正断裂活动诱发的沉降主要发生于上盘靠近下盘的部位, 它不仅控制了砂砾岩体的展布, 而且显示正断裂不断活动的特征。在下沟组中普遍见滑塌构造, 这可能与正断裂的活动有关。

(5) 伸展作用造成的正断层控制着各半地堑地层厚度向南、向北变薄, 且南北两侧为粗粒岩相, 暗示着断层向南、向北翘起, 向中部倾伏的特点, 亦表明断层中部位移量较大。此种现象在美国新墨西哥州的Rio Grande裂谷、苏伊士湾和盆岭地区亦存在, 是正断层不断向两侧增生之故^[7]。

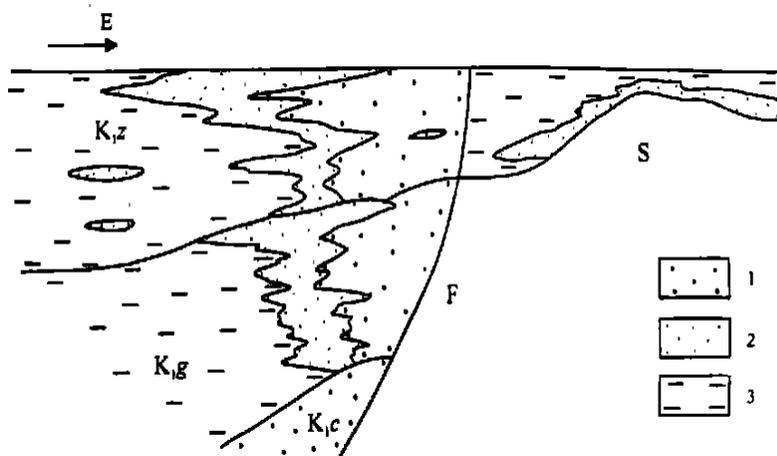


图3 下白垩统沉积相图(据玉门石油管理局资料编)

K_{1z} . 中沟组; K_{1g} . 下沟组; K_{1c} . 赤金堡组 1. 砂砾岩; 2. 砂岩; 3. 泥岩。F. 509断层(为青南半地堑的东界)

Fig. 3 Sedimentary facies of the Lower Cretaceous strata

K_{1z} = Zhonggou Formation; K_{1g} = Xiagou Formation; K_{1c} = Chijinbao Formation. 1= sandstone and conglomerate; 2= sandstone; 3= mudstone. F= No. 509 fault (the eastern boundary of the Qingnan half graben)

2.2 火山活动

研究区的火山岩目前仅见于酒西盆地南、北的旱峡、红柳峡,以及酒东盆地东北缘。前两者长期以来被认为是新生代构造运动的产物^[5,8],后者产于侏罗系玄武玢岩。笔者的调查表明,旱峡地区的火山岩处于北祁连推覆体的前缘地带,但推覆距离尚不明,它呈夹层状赋存于下白垩统下沟组地层中,厚度达200m,岩石类型主要有橄榄粗玄武岩、碱玄武岩,气孔发育且被后期方解石充填,显示出明显的水下喷发特征。红柳峡地区的火山岩覆于赤金堡组之上,由火山颈相和喷溢相两部分组成,岩颈部分为一孤立的突出地表高约100余米的陡崖,形态为一窄条状,长约310m,宽处达105m,长轴方向为北东向—南北向,显示裂隙喷发的特征,熔岩同位素年龄为106~112Ma^[9]。岩石类型主要有粗面玄武岩和玄武粗安岩。镜下观察显示,火山熔岩斑晶含量达18%,以橄榄石和斜长石斑晶为主,少量为单斜辉石,基质显示拉斑玄武结构。橄榄石斑晶粒度为1~2mm,具明显的环带,核部为贵橄榄石(Fo 含量为80%~84%),边部为透铁橄榄石(Fo 含量为58%~67%),初步推测为深源捕虏晶。斜长石斑晶粒度多数为2~3.5mm,聚片双晶发育,成分为拉长石。辉石斑晶粒度为1~5mm,为透长石(Wo 为42%~50%, En 为45%~50%, Fs 为6%~9%),常呈集合体,粒度大,为镶嵌状,亦可能为深源捕虏体。由上

分析看来,研究区在早白垩世期间发生了两次火山活动,岩浆可能沿切穿地壳的断裂侵位。

3 早白垩世伸展构造特征

地球动力背景控制着形态各异的构造样式。研究区早白垩世构造样式是由众多的半地堑断陷组成的,这些半地堑是引张力作用于地壳的结果,是以正断层为主的构造组合体。控制半地堑的正断层往往穿切或消失于先期的北西西向断裂附近,可见后者对前者有一定的影响。虽然研究区近南北向或北东向正断裂的南段普遍被北祁连山推覆体掩盖,但从正断裂控制沉积物厚度和岩相这一情况看,研究区单条正断裂总体上呈向北、向南翘起,向中部倾伏的特点。正断层是组成这些构造组合最基本的构造要素,主要构造形式有半地堑、半地垒(或地垒)。

引张伸展作用形成的正断层有两类,即非旋转型和旋转型。前者断面平直、面状,岩体不发生旋转,属纯剪切作用;后者断面上陡下缓,凹面向上呈铲形,岩体发生旋转,属单剪切作用。在酒泉盆地的地震反射剖面中,目前所发现的半地堑边界断层均属铲形正断层。这些铲形正断层均具有生长性质,断层向下变缓变平,可能归并于沉积层的软弱带或地壳韧性剪切带内。平面上与作为断陷北界的北西西向断裂呈弧形连接,如营尔半地堑的东部边界断层、花海半地堑东界断层、石北半地堑东界断层和青

西半地堑边界断层等,反映断层在生长过程中各地质块体发生过旋转。根据最基本的构造要素及其与之配套正断层的相互关系,可将半地堑组合划分为对倾式、背倾式及多米诺式等组合。

1. 对倾式组合

该组合以青南及营尔两个半地堑较典型,断陷内部发育许多倾向相对的断裂,但东侧边界断层控制着早白垩世半地堑沉积。断面上陡下缓,为铲形断裂,穿切由志留系构成的盆地基底。以营尔半地堑(图4)为例,西部为文殊山隆起,东部为清水凸起,断陷内部发育了许多倾向相对的正断裂,但位于东侧的边界断层控制了断陷的发育,且对上盘变形具有控制作用。这是因为边界主断层的伸展,其上盘岩体必然产生同向与反向断层来调节,使之不会产生无限度的伸展。

2. 背倾式组合

该组合以清水隆起最典型。该隆起东西边界均为倾向相反的、走向近南北的铲形正断裂,分别构成其与营尔半地堑、马营半地堑的西、东边界(图5)。西界断层断面西南倾,包容了次级同向或反向正断层,使半地堑复杂化。该隆起缺失下白垩统,但其两侧的半地堑中容纳了厚逾3000m的下白垩统沉积物,属高凸起调节带。背倾式组合的高凸起调节带两侧的铲形正断层相背旋转、掀斜,地壳向东西方向伸展,而断层下盘断块体必然上升,以使伸展应变达到平衡。

3. 多米诺式组合

该组合见于酒西盆地的石北半地堑和大红圈半地堑、金塔-花海盆地的半地堑断陷。此种组合表现为同向倾斜的正断层,其特点是基底岩块旋转方向

与断层倾向相反。多米诺伸展构造系统的断层是在统一的构造引力场中形成的相似的高角度正断层,在断层发育过程中,上下盘断块产生与断层倾向相反的同幅度的掀斜运动,平直断面在旋转运动中使断层倾角变小,旋转同期的沉积盖层呈楔状向背离断层的方向尖灭,形成箕状半地堑。

4 后期构造对盆地的改造作用

盆地演化过程中,包含着地球动力背景的转化,即所谓盆地构造属性可以从一种属性转化为另一种属性。进入新近纪,由于印度板块的挤压应力场波及研究区,区内地球动力学背景发生改变,从而造成断裂及地质块体运动方式的改变。主要有控制半地堑的正断裂的反转、先期北西西向断裂的复活和大规模的逆冲推覆作用等运动方式,它们共同塑造了酒泉盆地群的现今构造形态,即南部断褶带、中央凹陷带和北部单斜带(图2上图)。

酒泉盆地群南缘的北祁连山在地表呈被一系列倾向南南西、倾角 $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 断裂分割的冲断片,但这些冲断层向下倾角变缓(图5)并归并于滑脱面上^[10]。玉门石油管理局已在盆地南缘由下古生界构成的北祁连山推覆体下面的白垩纪地层中发现了石油。关于研究区逆冲断层发育的次序,冲断作用由造山带向盆地内依次变新,即由后向前扩展,故称前展式组合^[11]。单条推覆断层较早起源于相对较深层次的老地层中且产状平缓,但由于挤压作用的持续,推覆断层向上生长,切断、拖曳中新生界而在断坡部位形成背斜构造(图2下图)。这样,在推覆体前缘,北祁连推覆体逆冲于第四系之上,而后缘表现为白垩纪盆地的基底隆起。关于推覆距离,目前尚无定论。黄华芳根据对北祁连山的古地磁研究结



图4 营尔断陷北部构造形态(据玉门石油管理局)

Fig. 4 Structural configuration of the northern part of the Ying'er fault depression

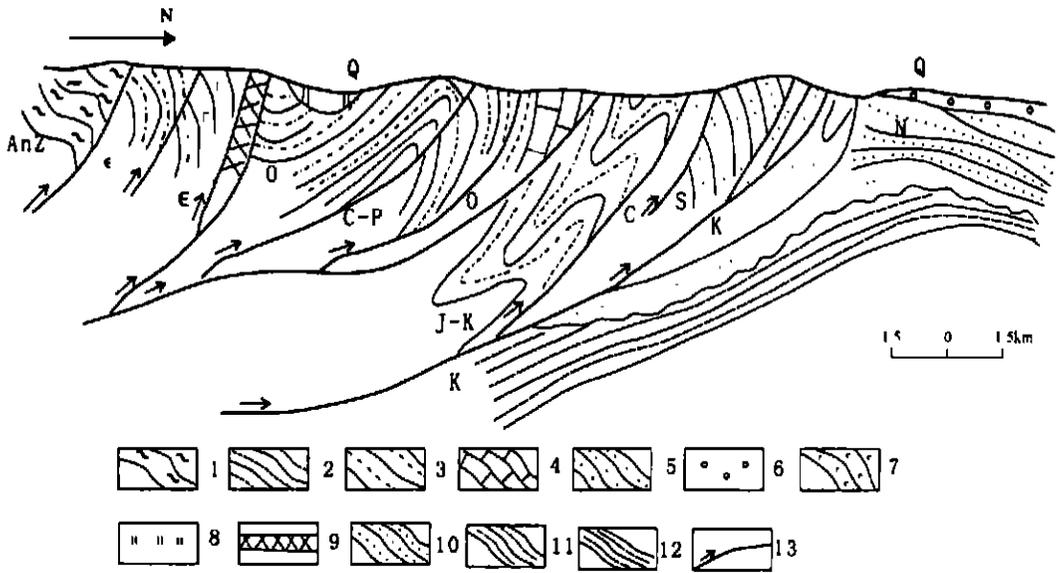


图5 酒泉盆地南缘推覆构造图(据玉门石油管理局资料编)

1. 前震旦系结晶基底岩片; 2. 千枚岩; 3. 粉砂质千枚岩; 4. 大理岩; 5. 变砂岩; 6. 砾岩; 7. 变质玄武岩; 8. 黄土; 9. 变质基性超基性岩; 10. 砂岩; 11. 粉砂质泥岩; 12. 泥岩; 13. 逆冲推覆断裂

Fig. 5 Profile through the Nappe structures in southern Jiuquan Basin

1= pre-Sinian crystalline basement slices; 2= phyllite; 3= silty phyllite; 4= marble; 5= metasandstone; 6= conglomerate; 7= metabasalt; 8= loess; 9= metabasic-ultrabasic rocks; 10= sandstone; 11= silty mudstone; 12= mudstone; 13= overthrust

果,认为新生代以来推覆了 $100\text{km}^{[10]}$ 。不难看出,酒泉白垩纪盆地可能有较大的南北向长度,但在喜马拉雅期以来被改造成山脉。关于花海-金塔盆地的南界断层(图1,图2下图),在花海半地堑南部的红柳峡一带被称为阿尔金断裂,在深部表现为南倾的反射产状,上陡(约 40°)下缓(约 30°)^[12],它是阿尔金断裂复合于北祁连北西西向断裂的产物。

新生代地球应力场转变到挤压状态的另一重要标志是东西向掀斜,分划酒东盆地、酒西盆地的由新生代地层构成的文殊山背斜正是这一事件的响应^[11, 13]。在各盆地内部,控制次级半地堑的北北东向或北东向断裂反转成为逆冲断裂。酒东盆地营尔半地堑东侧断层是营尔断陷的主控断层,是具有生长性质的正断层;下白垩统中沟组沉积后,该断层曾发生反转作用,使下白垩统抬升遭受侵蚀。喜马拉雅期早期,研究区下凹,接受了古、新近纪沉积;晚期,发生侧向掀斜,酒泉盆地群内部横向构造掀斜,盆地反转,形成了由新生界构成的牵引构造。该组合的特点是反转构造作用虽继承了老断面,但其上部又有新生的逆冲断层面反转。此外,古生代形成的北西西向断裂的复活错断了白垩纪形成的北东或近南北向断裂。

5 伸展构造成因探讨

世界上的裂谷大多由半地堑构造组成。关于其成因机制,主要有主动裂谷和被动裂谷两种。Ziegler认为,地幔上隆不是裂谷形成的主要动力,地幔对流对岩石圈底部和地壳的摩擦力,以及岩石圈下部和软流圈部分熔融是岩石圈伸展和减薄的主要原因,地幔对流上隆引起的张应力和板块间相互作用引起的区域张应力也不同程度的参与^[14]。还有不少人认为,地壳的侧向粘性流动是盆地成生以及构造变形的的主要原因^[15]。东北裂谷系、华北裂谷系也均由一系列半地堑构造组成,与太平洋板块的俯冲有关,认为是地幔热隆的产物^[1, 15]。酒泉盆地群深居大陆内部,产出的构造背景与上述裂谷存在着明显的差异,但在盆地充填物、构造样式和火山岩等方面与其一致。酒泉盆地现今地温梯度及大地热流值都较低,地温梯度主要为 $2.51 \sim 3.00^\circ\text{C}/100\text{m}$,大地热流值为 $50 \sim 57\text{mW}/\text{m}^2$;中生代晚期古地温梯度为 $3.75 \sim 4.50^\circ\text{C}/100\text{m}^{[16]}$,属明显的地温异常,与现代裂谷地温梯度基本一致,属于热盆。上述现代裂谷均具有很大的走向长度,而现今的酒泉裂谷盆地很短,但从旱峡一带的位于北祁连推覆体前缘的白垩系发育火山岩这一情况看,该盆地在早

白垩世可能具有很大的长度, 现今之所以较短是由于其南界被推覆体掩埋之故。值得提及的是, 现代裂谷一般都具有相对四周较薄的地壳, 而现今的酒泉盆地群位于重力梯度带上, 莫霍界面平均深48~54km, 其北部的北山莫霍界面平均深45km, 南部的祁连山莫霍界面最深达70km^[17], 可见与世界现代裂谷存在着差异。关于此种现象, 可能是酒泉盆地向北推覆(其推覆面在红柳峡—合黎山一带)使地壳加厚之故; 现在的 Moho 面形状, 既不是岩石圈伸展和收缩的证据, 也不是岩浆侵入和板底垫托的证据^[14]。

综上所述, 在侏罗-白垩纪全球伸展的背景下, 岩石圈下部和软流圈部分熔融体的侧向流动造成岩石圈伸展和减薄, 半地堑构造开始形成, 随着伸展量的积累, 断陷盆地进一步沉陷、扩大, 深源岩浆沿断裂溢出地表; 之后, 随着熔融体的冷却, 裂谷盆地逐渐转入废弃阶段。酒西盆地、酒东盆地和花海-金塔盆地均由近南北向或北东向半地堑组成。无疑, 它们是统一的构造-热事件的产物, 受近南北向生长正断裂控制的盆地充填物记录着它们的形成和消亡过程。赤金堡组下部为巨厚的红色砂砾岩, 为冲积扇相, 砾石成分主要是志留系浅变质砂岩、千枚岩, 标志着裂谷作用的发生; 在红柳峡地区, 中上部为灰黑色泥页岩, 表明湖盆加深到了一定程度; 夹于其中的厚约100余米的碱性熔岩亦受正断裂的密切控制, 是强烈拉伸作用过程中, 深源岩浆沿断裂侵位而溢出地表的。在靠近下盘的部位, 下沟组下部主要为一套厚逾500m灰白色砾岩, 明显的超覆于赤金堡组之上, 为冲积扇-扇三角洲相, 花岗质砾石出现且向上愈来愈多, 反映了上盘的迅速沉降和下盘的快速隆升、剥蚀。基性岩浆沿断裂溢出地表, 预示着裂谷作用的全胜阶段。中部为深湖-半深湖相喷流型白云岩、泥页岩, 代表着裂谷规模的最大时期。上部主要为一套灰黄色—紫红色砂砾岩, 但砾石粒度相对较细, 可能是裂谷作用减弱造成的。中沟组主要为一套砂泥岩类, 主要为滨浅湖-河流相沉积, 含铁质结核, 其顶部为石膏层, 反映地壳相对稳定, 水体较浅,

标志着裂谷作用的废弃阶段。

参考文献:

- [1] 刘本培, 张世红. 侏罗—白垩纪地球圈层结构演化节律及相互关系[J]. 地质前缘, 1997, 4(3-4): 65-75.
- [2] 席解农. 中国东部中生代盆地形成演化与深部过程的耦合关系[J]. 地质前缘, 1998, 5(增刊): 161-165.
- [3] 甘肃省地质矿产局. 中华人民共和国地质矿产部地质专报—区域地质(第19号)·甘肃省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989. 961.
- [4] 冯益民, 吴汉泉. 祁连山及其邻区古生代以来大地构造演化初探[J]. 西北地质科学, 1992, 13(2): 61-70.
- [5] 玉门油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十三)·玉门油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1987.
- [6] 宋春晖, 方小敏, 李吉均. 青藏高原北缘酒西盆地 13Ma 以来沉积演化与构造隆升[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(增刊): 155-162.
- [7] GAWTHORPE R L, LEEDER M R. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins [J]. Basin Research, 2000, 12(3): 195-218.
- [8] 赖绍聪, 邓晋福, 赵海玲. 青藏高原北缘火山作用与构造演化[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996. 138.
- [9] 杨经绥, 孟繁聪, 张建新, 等. 重新认识阿尔金断裂东段红柳峡火山岩的时代及构造意义[J]. 中国科学, 2001, 31(增刊): 83-89.
- [10] 黄华芳, 郑国东, 方国庆. 酒西盆地南缘推覆构造及其含油气领域[J]. 石油与天然气地质, 1993, 14(3): 181-191.
- [11] 国家地震局地质研究所. 祁连山-河西走廊活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 1993. 340.
- [12] 高锐, 成湘洲, 丁谦. 格尔木-额济纳旗地学断面地球动力学模型初探[J]. 地球物理学报, 1995, 38(增刊): 3-14.
- [13] 方小敏, 赵志军. 祁连山北缘酒东盆地晚新生代磁性地层[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(增刊): 195-201.
- [14] ZIEGLER P A. Plate tectonics, plate moving mechanisms and rifting [J]. Tectonophysics, 1992, 215(1): 9-34.
- [15] BIRD. Lateral extrusion of lower crust from under high topography in the isostatic limit [J]. Journal of Geological Research, 1996, 96(B6): 10275-10286.
- [16] 任战利, 刘池阳, 张小会, 等. 酒泉盆地群热演化史恢复及其对比研究[J]. 地球物理学报, 2000, 43(5): 635-646.
- [17] 周永胜, 王绳祖. 裂谷盆地成因现状综述与成因讨论[J]. 地球物理进展, 1997, 14(3): 29-47.

New evidences for the presence of the NS-trending extensional structures in northwestern China: An example from the Early Cretaceous half-graben fault depressions in Jiuquan, Gansu

LI Fen-qi

(*Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*)

Abstract: The Early Cretaceous half-graben fault depressions in Jiuquan are aligned along the N-S or N-E directions and classified into three types: Domino, opposite dip and trailing dip types. The filling material is obviously constrained by the NS- or NE-trending normal faults. The volcanic rocks are composed, without exception, of alkaline basalts that may be of mantle-melted origin. The half graben fault depressions in Jiuquan are interpreted to be built up of nearly NS-trending extensional structures triggered by the intracontinental mantle thermal upwelling during the Early Cretaceous. Till the Cenozoic, the compressional processes of the Indian plate and the northward thrusting of the North Qilian Mountains may give rise to the transition of the southern parts of these Early Cretaceous half-graben fault depressions into mountain ranges. The present-day southern boundaries of the half-graben fault depressions have been overlain by the North Qilian Mountains. Furthermore, the compression of the Indian plate caused the NS- or NE-trending normal faults to be overturned to form the thrusts.

Key words: NS-trending structures; half-graben; Early Cretaceous; northwestern China; Jiuquan; Gansu