

从青藏高原的隆起看柴达木盆地的 形成与演变

车自成

(西北大学地质系)

柴达木盆地面积约 120000 km², 平均海拔 2700—2900 m, 是我国最大的高原盆地。本文从构造与沉积特征两个方面论述了柴达木盆地的挤压性质, 认为盆地的成因与印度板块的向北推挤和盆地下部地壳的相转换有关, 这可能是我国西部诸大型挤压型盆地的形成原因之一。

一、盆地的演化

柴达木盆地的发育历史开始于印支运动以后, 大致经历了山前坳陷、大型坳陷和隆起褶皱三个阶段。

(一) 侏罗纪至始新世——山前坳陷盆地发育阶段

柴达木盆地的基底: 就目前已有资料分析, 很可能是一个以欧龙布鲁克地区为代表的古老地块。盆地南缘为可可西里-巴颜喀拉华力西-印支褶皱带。盆地北缘为南祁连加里东褶皱带。中吾农山海槽沿南祁连褶皱带与盆地北缘的交界地带由东向西伸入到鱼卡附近(图1)。构成盆地的东北边界。该海槽主要发育一套石炭-二叠系浅变质的类复理石建造和火山岩建造, 上覆三叠系结晶灰岩、砂岩、砾岩及火山岩, 二者之间虽有缺层现象(青海地质研究所, 1980), 但产状完全一致。由中吾农山向东, 在青海河南县一带见泥盆-石炭-二叠-三叠系连续沉积, 故可以认为中吾农山为印支运动回返的华力西-印支褶皱带。

印支运动以后, 周边山系隆起, 才开始了盆地沉积盖层的发育。侏罗系到始新统是在挤压背景下发育的山前坳陷型沉积, 这主要表现在以下几个方面:

1. 侏罗系沉积主要分布在两个山前地带(图1): 北带在祁连山中间隆起带南缘, 青海木里、热水和大通等侏罗系煤田就分布在这一坳陷带中; 南带位于达肯达坂-中吾农山

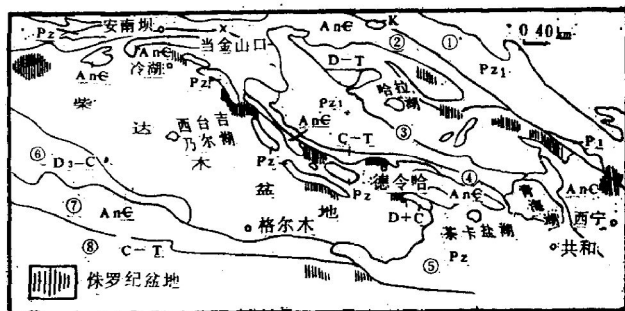


图1 青海省北部侏罗纪盆地构造位置略图

①—北祁连加里东褶皱带, ②—中祁连前寒武纪隆起带, ③—南祁连加里东褶皱带, ④—中吾农山华力西-印支褶皱带, ⑤—西倾山华力西-印支褶皱带, ⑥—祁漫塔克华力西褶皱带, ⑦—东昆仑前寒武纪隆起带, ⑧—可可西里-巴颜喀拉华力西-印支褶皱带

南缘, 侏罗纪盆地断续分布在从冷湖到德令哈近400km长的东西一线上。此外, 在阿尔金山山前也有一些零星的侏罗系分布。

2. 祁连山可能隆起较早, 所以侏罗纪沉积主要分布在柴达木盆地的北部边缘, 由北而南逐层超覆。后期, 盆地南缘的可可西里-巴颜喀拉山也强烈隆起, 所以白垩系到始新统的沉积从南北两侧的山前地带逐层向柴达木盆地内部超覆。据近期地震资料分析, 白垩系沉积可能已经分布到霍布逊湖以西的广大地区。但据钻井资料研究, 从古新世到始新世, 在盆地内部并无任何湖盆, 只有一些河流泛滥沉积, 坳陷中心仍然位于山前地带¹⁾。

3. 由于山系的隆起一般都是从缓慢上升到急剧上升, 所以早期(侏罗纪)以细粒沉积为主, 砾岩少见; 晚期(白垩纪到始新世)发育以粗粒沉积为主的类磨拉石建造。早期都是相互隔绝的一些小型盆地, 有煤和滞流环境下的生油岩系形成; 晚期盆地面积扩大, 都是强烈氧化环境下的红色沉积。这些山前坳陷型盆地都是不对称盆地, 或为北断南超, 或为南断北超。盆地断陷下沉的原因, 可能是山前地带大量沉积物的自重引起基底岩系的断裂下沉。当沉积物逐渐向盆地内部推移时, 同样引起那里基底岩系的块断下沉, 块断范围随着沉积范围的扩大而扩大。这些断层都是重力断层, 是挤压状态下的差异升降所致, 随着挤压作用的加强, 后期都具有压扭性质, 在剖面表现为下(中生界)张上(第三系)压的特征。

4. 拉张盆地往往有两个构造层, 下部为拉张形成的块断构造层; 上部为坳陷沉积构造层, 二者之间常为不整合面^[1]。而本区从侏罗纪到渐新世沉积基本上是连续的, 仅局部地区(冷湖至鱼卡一带)由于块断升降的差异在白垩系顶部有不同程度的剥蚀, 与上覆第三系呈微角度不整合接触(一般小于 10°)。这也是挤压型盆地的构造特征之一。

(二) 渐新世至中新世——大型坳陷盆地发育阶段

自渐新世起, 柴达木盆地进入了全面接受沉积的时期, 除个别地区外, 几乎都有渐新世及其以后的沉积。同时, 坳陷幅度也急剧增大, 显示盆地开始了一个新的发展阶段。

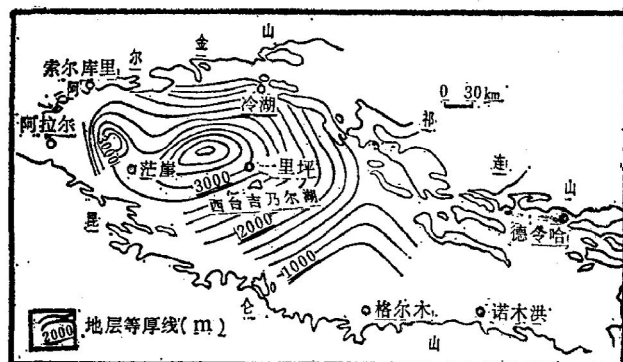


图2 柴达木盆地第三系渐新一中新统等厚图

生油岩。其它地区, 可能由于补给较充分的原因, 主要是河湖相的红色碎屑岩建造。

这时, 坳陷中心由山前地带迁移到湖盆中心的茫崖以北至一里坪东西一线, 成为一个南北大致对称的盆地(图2)。由于盆地南北两侧隆起幅度的差异, 这个时期的沉积中心与坳陷中心不相吻合。沉积中心位于盆地西南缘的茫崖一带, 在这里形成了一套深湖和半深湖相的暗色泥岩, 这是盆地中最主要的

1) 杨绍清, 1985, 青海省含油气区构造基本特征及其含油气远景评价。

(三) 上新世至第四纪——缓慢抬升到褶皱阶段

上新世早期 (N_2^1) 的古地理情况与中新世相似。主要为一套河湖相的红色碎屑岩建造,但在有些凹陷中可相变为较深湖相,岩性变细,具备一定的生油能力。

从上新世中期 (N_2^2) 起,盆地西部开始抬升,水域面积缩小,拗陷中心和沉积中心东移(图3)。但拗陷幅度却增大,该期最大沉积

厚度可达2200m,是盆地演化中沉积速度最快的时期。到上新世晚期 (N_2^3),普遍开始隆起,沉积速度大大减慢,沉积物粒度变粗。整个上新统在沉积剖面上表现为下细上粗的反旋回沉积特征。

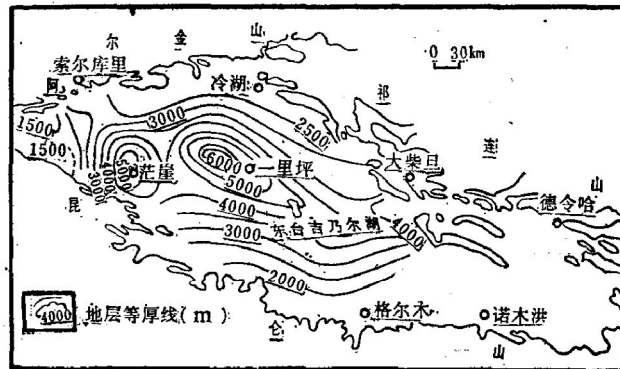


图3 柴达木盆地第三系上新统等厚图

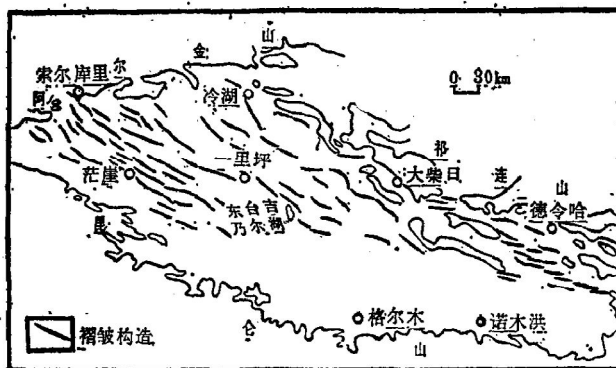


图4 柴达木盆地褶皱构造平面展布图

盆地中的断裂也以近北西西向的压性断裂为主,与褶皱构造带伴生。在断裂带附近,常见到前中生界变质岩、火山岩、石灰岩、碎屑岩推覆到中生界砂砾岩之上,使下伏的中新生代地层直立,甚至倒转。

这些断裂的后期活动仍很强烈,在达肯达坂山、赛什腾山南坡,靠近断层的第四系的倾角常达70—80°。

经过第三纪末期两次构造变动,盆地西部逐渐隆起,第四系沉积中心和拗陷中心迁移到东部地区(台吉乃尔湖以东)(图5)。

中更新统沉积后,盆地全面隆起和褶皱,基本结束了盆地发育的历史,

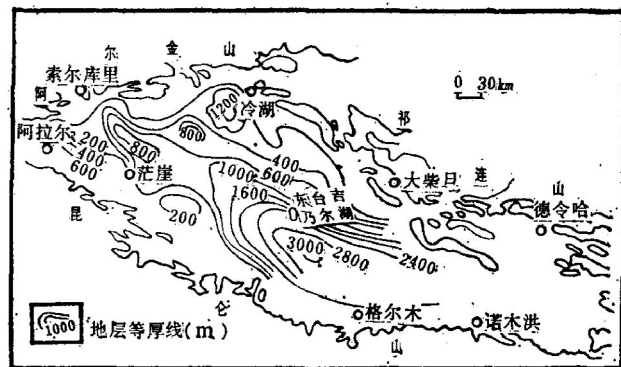


图5 柴达木盆地第四系等厚图

二、盆地的演化与青藏高原的隆起大致是同步的

柴达木盆地的主要拗陷时期实际上是从渐新世开始的(表1),这正是青藏高原开

表1 青藏高原隆起与柴达木盆地构造运动对比表

青 藏 高 原 隆 起 时 期 ^[2,3]			构造运动	柴达木盆地构造运动		
构造分期	隆起高度(m)	主 要 表 现		构造分期	沉积厚度(m)	主要表现
Q ₄	300—500	继续隆起		Q ₃₊₄	0—200	盆地全面褶皱隆起
Q ₃	1500—2000					
Q ₂	1000					
Q ₁	1000	喜山强烈隆起,西瓦里克群褶皱,断裂活动强烈,形成巨大的逆掩断层		Q ₁₊₂	0—3000	北缘及西部褶皱隆起,东部强烈拗陷
		强烈隆起,贡巴砾岩形成				
		上西瓦里克砾岩形成,褶皱、断裂,区域变质与混合岩化	喜山Ⅱ	N ₂ ³	1500	
N ₂	1000±	喜山开始隆起,其南侧形成西瓦里克群,下第三系褶皱、断裂,内部形成新的断陷盆地,有大面积安山岩,玄武岩喷发(N ₁ 早期)	喜山Ⅰ	N ₁ ²⁻³	6200	南北边缘开始隆起
E ₃ —N ₁		冈底斯山开始隆起,高原海侵结束(中始新世末),拉萨-波密北侧强烈火山喷发及区域变质	喜山Ⅰ	E ₃ —N ₁	400 4000	盆地开始全面拗陷
E ₁₊₂		冈底斯-拉萨-波密带隆起,褶皱变质及岩浆活动	燕山Ⅱ	E ₁₊₂	200 1200	拗陷扩大,向南超覆
K		羌塘地块隆起成陆,唐古拉、喀拉昆仑褶皱隆起	燕山Ⅰ	K	0—900	拗陷扩大,向南超覆
J		可可西里-巴颜喀拉褶皱隆起	印支	J	0—1800	中吾农山褶皱隆起,轻变质,柴北缘山前拗陷开始发育
T				AnJ		

始隆起的时期。始新世—渐新世末期发生的喜马拉雅运动第一幕(55—27万年)¹⁾结束了青藏高原海侵的历史。随着印度板块的向北推挤,高原开始抬升,长期处于隆起状态的柴达木地块则相对下沉,拗陷中心由山前地带不断向盆地中心迁移,逐渐发育成一个大型的拗陷盆地。

据渐新世到中新世的古气候分析^[2],当时喜马拉雅山脉隆起的幅度并不大,未能阻挡西南季风的北上,故孢粉反映为海拔低的炎热潮湿气候,具有明显的纬向气候分带,主要形成砂岩、页岩和泥灰岩沉积。这正是盆地稳定下沉的主要时期,故沉积以细粒为主,有数百到上千米厚的暗色泥岩。其中栎粉(*Meliaceae*)、栎粉(*Quercus*)等孢粉组合亦反映有潮湿气候的影响。

喜马拉雅运动第二幕发生于中新世—上新世早期(25—6百万年),因印度板块向北的推挤增强,喜马拉雅山急剧隆起,柴达木盆地南北两侧山系的隆起幅度增大,湖水

1) 对喜山运动的分期,系依据柴达木盆地的沉积发育史和地层接触关系,参考了陈祥高等人的意见^[3]和李吉均等人的工作成果^[3]而提出来的。

逐渐收缩,上新世形成了一套由细到粗的反旋回沉积。盆地边缘的局部地区褶皱,使上新统中段和上段(N_2^2 与 N_2^3)间呈不整合接触。

据古岩溶、孢粉组合和三趾马动物群的分布高程判断^[2],上新世晚期青藏高原夷平面的海拔高度大致为1000m左右。高原强烈隆起的时间始于上新世末,即喜马拉雅运动第三幕。从上新世末到晚更新世,推测高原面上升了3000—4000m。高原内部上新统细粒的湖相与河流相沉积被以“贡巴砾岩”为代表的砾石沉积所取代。贡巴砾岩与上下岩层间均为不整合接触,据此划分出青藏高原有三次强烈抬升,即早更新世末、中更新世末和晚更新世末(表1)。柴达木盆地第三纪末期(N_2^3)的孢粉组合为松属(*Pinus*)、云杉属(*Picea*)和冷杉属(*Abies*)。根据当时气候条件下植物的垂直分带判断,盆地的海拔高度不会超过1500m。盆地现在的高程约3000m,说明其主要抬升时期在第三纪以后,这和高原其它地区的隆起时期是基本一致的。

盆地中、新生代地层的褶皱时期正好与高原的强烈抬升时期吻合。上面谈到,盆地中、新生代地层的第一个明显的不整合面出现在上新统中段(N_2^2)和上段(N_2^3)间,但仅见于边缘的局部地段。上新世末高原强烈抬升时期才是盆地中、新生代地层的普遍褶皱时期,周边和内侧次一级隆起上的褶皱构造均于这次运动完成,使上新统与第四系之间多为角度不整合接触。另一次普遍褶皱作用发生在中更新统沉积以后,盆地内侧和次一级凹陷地带的褶皱构造都形成在这一时期。盆地中、新生代地层的褶皱与高原强烈抬升在时间上的一致,说明二者有着成因上的联系。

从沉积速度看,从渐新世到更新世逐渐加快。渐新世到中新世的最大沉积厚度4000m,而上新世的最大沉积厚度却达6000m,在第四纪短短200—300万年间,最大沉积厚度竟达3000多米,显然这与高原抬升逐渐加剧有关。

三、成因探讨

关于沉积盆地的成因, M. H. P. Bott (1976)^[4]将它归并为三大类,即重力说、热力说和应力说。

应力说在这里是对那些拉张型盆地的成因而言,显然不符合挤压型的柴达木盆地的形成过程。

重力说把沉降归因于沉积荷载作用下的均衡下沉。不可否认,任何地区在其构造发育过程中均有重力参与,但对柴达木盆地来说,它虽然能够解释盆地早期的拗陷过程,但无法解释盆地后期的抬升和褶皱,更何况这又不是应力场变化所致,所以在盆地演化过程中必然有另外一些更重要的因素在起作用。

那么拗陷时的地壳下沉会不会是挤压力作用下的地壳弯曲呢?很可能不完全是。因为青藏高原的强烈隆起发生于上新世以后,而盆地的强烈拗陷时期发生在渐新世至上新世;青藏高原第三纪以来隆起4000—5000m,而同一时期盆地最大拗陷幅度却达15000m。应力作用时间和强度的差异说明盆地的拗陷也不是简单的地壳弯曲所能解释的。

热力说是否适用于柴达木盆地呢?热力假说的几种设想之一是:认为地壳下部因热力作用而变质生成麻粒岩和榴辉岩,使下部地壳密度增加而下沉。

辉长岩与榴辉岩相变引起地壳下沉与隆起的假说称为相转换假说^[5]。即把榴辉岩看作是辉长岩高压致密的化学相当物,据H.S. 约德和C.E. 蒂利(1962)试验成果,这一转换发生在压力为10—20kbar,温度为900—1200℃处。在一定的温度条件下,当压力增大,辉长岩就不稳定,会逐渐向榴辉岩转变;当温度升高时,如果相应的压力不是相当大,榴辉岩就会向辉长岩转变。主张这一学说的学者都把早期压力的增加归因于盆地中沉积物的荷载;把晚期温度的升高归因于放射性元素衰变所产生的热。从柴达木盆地的演变过程来看,相转换可能是盆地形成的重要原因之一。其大致过程可推断如下:

始新世以前,青藏高原仍处于不断向南增生的过程,还没有来自南部的强大推挤力,故这时发育在沉积荷载作用下的山前拗陷盆地。

始新世中晚期后,海水完全退出青藏高原,印度板块开始向北俯冲,青藏高原开始隆起。这时,一方面由于柴达木盆地接受了大量来自两侧隆起山脉的剥蚀产物,沉积荷载不断增大;另一方面来自南部的强大推挤力作用于盆地基底。两者共同导致盆地地壳底部岩石的相变,由密度低的变为密度高的,地壳因密度加大而下沉,这就引起大型拗陷盆地的发育。

到上新世末,盆地的沉积厚度已达万米。由于沉积物的导热率是低的,并且比周围岩石更富含放射性元素,这样,在新形成的沉积物掩盖下,放射性元素所产生的热会逐渐聚集,从而使深处温度缓慢上升,最终将导致相平衡界面向上移动,使榴辉岩反过来相变为辉长岩,引起体积的膨胀(至少膨胀10%),这就导致盆地后期的隆起和地壳加厚。盆地隆起时间与青藏高原的强烈隆起时间完全一致,说明盆地的隆起不单单是沉积作用的结果,而且有强大挤压应力参与。

以台吉乃尔湖为界,盆地东、西的拗陷时间和构造特征是不一样的。东部只是到第四纪才强烈拗陷,仅下、中更新统的厚度就达3000m,超过该区整个第三纪的沉积厚度,以发育灰色泥岩、粉砂岩为特征,而这时在盆地的西部和北部边缘均以红色粗粒沉积物为主。高的拗陷幅度和快速沉积有利于有机物的保存,所以,虽然在气候相当干燥的条件下,由于沉积物来不及氧化,仍然形成了我国西部唯一的第四纪含气盆地。构造上以形成平缓构造为特征。

盆地东西差异的原因何在?前人多认为是由于基底性质不同:西部为片麻岩基底,强度小,易弯曲下沉;东部为花岗岩基底,强度大,不易弯曲,所以拗陷比较晚。东西基底性质的不同,固然可能是原因之一,但拗陷中心的迁移也与盆地所处的构造环境有关。柴达木盆地西侧的阿尔金山是一个复杂的北东向断裂带,至少从加里东期以后开始发育,后期活动明显。当盆地受南北向挤压应力作用时,必然首先在阿尔金断裂一侧,由于应力集中而拗陷;当西部开始隆起时,拗陷中心才向东部迁移。盆地西部拗陷中心由南北两侧向中心迁移的现象,也应该与盆地南北边缘断裂存在有关,与上述原因是一样的。

图6是柴达木盆地东部地壳速度综合分布图^[11],计算结果说明,在42.9—50.9 km的深度上,存在一个P波速度为7.8 km/s(或7.6 km/s)的速度层。据伯奇(F. Biren)发表的数据^[9],闪长岩P波速度为6.0—6.7 km/s,辉长岩为6.5—7.2 km/s,榴辉岩为7.0—8.0 km/s,橄榄岩为7.5—8.4 km/s,说明这一速度层有可能是榴辉岩层,也可能是

含有榴辉岩团块的壳幔混合层。由于这里不存在上涌的地幔底辟，这类异常速度层只可能是相转换的产物。

上面用挤压作用与深部岩石相转换假说解释了柴达木盆地成因的有关问题，尽管相转换假说目前争议仍然很大，但人们普遍认为，在岛弧、裂谷、造山带等构造活动带，可能存在着深部的相转换，因为那里的地壳底部莫氏面界线不清，存在着壳-幔混合层。在强大挤压应力长期作用下的柴达木盆地在其形成时期，应当说是一个构造上活动的地区，图6也说明可能有壳幔混合层存在，这就是我们引入相转换概念的依据。

文中资料主要来自青海石油勘探局地质研究所，汤锡元、陆岩、狄恒恕老师，姜洪训、谢广成等同志参加了野外工作，并提出许多宝贵意见，朱翥浩老师帮助分析了部分孢粉资料，在此一并表示感谢。

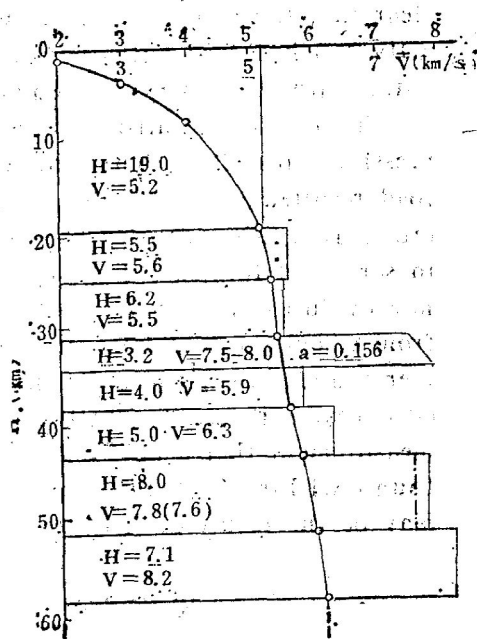


图6 柴达木盆地东部地壳速度综合分布和速度界面图

V—地层速度， $\bar{V}$ —平均速度，
a—速度梯度(km/s/km)
(据滕吉文等，1974)

主要参考文献

- [1] Артышков, Е. В. и Беар, М. Р., 1983, О роли вертикальных и горизонтальных движений образований прогибов на континентальной коре в складчатых поясах. Серия Геологическая, No. 9
- [2] 李吉均等, 1979, 青藏高原隆起的时代、幅度和形成问题的探讨. 中国科学, 第6期.
- [3] 陈祥高等, 1979, 西藏南部同位素地质年龄的测定与喜马拉雅运动的分期. 地质科学, 第1期.
- [4] Bott, M. H. P., et al, 1976, Mechanisms of basin subsidence and introductory review. Tectonophysics, Vol. 38, No. 1-3.
- [5] 威利, P. J., 1971, 动力地球学. 朱夏译, 1978, 地质出版社.
- [6] 滕吉文等, 1974, 柴达木盆地深层地震反射波和地壳构造. 地球物理学报, 第2期.

THE FORMATION AND EVOLUTION OF QAIDAM BASIN IN RELATION TO THE UPLIFT OF QINGHAI-TIBET PLATEAU

Che Zhicheng

(Geology Department, Northwest University)

Abstract

Qaidam Basin began to develop after Indosinian movement. During the Jurassic-Eocene, the basin was small, confined within mountain fronts, and in the Oligocene-Miocene, the whole basin subsided, thus formed a huge depression. In the Pliocene-Quaternary, it uplifted and folded slowly. It is

clear that the main period of subsiding and folding of the basin was generally synchronized with the intense uplifting of Qinghai-Tibet Plateau, originated with the northward compression of India Plate.

The basin's evolution process has revealed itself in a roughly N-S compression stress field. The strong compression force and increasingly depositing load resulted in a variation of lithofacies in the lower part of the earth's crust, i. e., rock density becomes heavier and heavier, then the crust began to sink and formed a huge depression basin. The uplift of the basin in its late evolution may relate to the expansion of the former rocks which changed from eclogite into gabbroite resulted from the exothermic reaction of radioactive elements under the huge sedimental cover. The folds and overthrusts were formed apparently due to continuous compression. It is shown by crustal depth measurement that a abnormal velocity layer of 7.8 km/sec of P wave can be found within the basin which is between the crust and the mantle. This may be the result of lithofacies variation.

我国煤成气研究工作获得重大进展

地质矿产部向国家提交的《中国煤成气形成赋存条件及资源评价》研究报告和7个次级课题的研究报告,于1985年12月下旬在北京被通过、验收。由各方面专家组成的评审验收委员会确认,研究工作在某些方面达到了国内外先进水平。

我国于七十年代后期开始进行煤成气研究工作。1981年在扬州召开的、由著名地质学家关士聪倡议并主持的第一次全国煤成气学术讨论会,对煤成气的研究工作起了重要的推动作用。1983年,国家正式把“煤成气开发”列为第六个五年计划期间科技攻关项目第18项,由地质矿产部、石油工业部、中国科学院和煤炭工业部承担。动员科技人员之多,研究范围之广,进展速度之快,研究成果之多,经济效益之大,都是我国煤成气研究史上前所未有的。

地质矿产部的广大科技人员以高度的工作热情和严谨的工作作风实行多兵种联合作战,分别从大地构造学、地震地层学、沉积学、石油地质学、煤田地质学、有机地球化学等学科的角度进行了扎扎实实的研究工作,并配合进行了必要的地球物理勘探工作和钻探工作,从而对煤成气(油)藏的形成机理和形成条件以及我国煤成气(油)资源的分布情况,有了比较系统的认识。这次验收通过的总报告,被专家们确认为首次全面论述我国煤成气资源问题的专著,有较高的学术水平。在研究工作顺利开展的同时,地质矿产部在东海等地区相继发现了一批煤成气(油)藏,表明研究工作的社会效益和经济效益十分显著。

这一课题的研究内容包括我国主要含煤-含油气盆地的分布概况、发展历程和大地构造性质,煤系沉积相序列、沉积模式以及沉积环境与煤的显微组分的关系,不同煤阶煤样的催化热解实验和非催化热解实验,源岩类型、有机地化特征(包括生物标记物特征)和其他特征, C_1-C_4 烷烃的稳定碳同位素,煤系的温度史和演化历程,储层特征和成岩后生作用对储层物性的影响,盖层特征,保存条件,圈闭类型和煤成气藏特征,天然气成因类型的判别标志,煤成气(油)资源量的估算方法和估算结果,分区综合评价和普查勘探战略,等等。研究思路开阔,结论新颖。例如,张义纲、张士亚等对综合利用甲烷和乙烷的 $\delta^{13}C$ 值判别天然气成因类型问题进行了思路互不相同的探索,梅博文等发现形成暗煤的弱氧化-弱还原偏酸性环境能促进甾类分子的重排和单芳化并加速甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ 构型向 $\alpha\beta\beta$ 构型的转化以及苯并藿烷的生成,诸如此类的研究成果都很有参考价值。

笔者在参加评审工作之余还想到的是:煤成气的研究工作虽已取得重大进展,但进一步的研究工作探索性更强,难度更大;为了在第七个五年计划期间取得更加丰硕的研究成果和勘探成果,还必须动员更多学科(特别是化学动力学、传热学、数学、流体力学等学科)的科技力量协同作战,以便最后解决诸如天然气成因类型的准确判别和气源岩的准确确定、古地温的准确确定、煤成油气生成-演化作用的详细机理、盖层封闭性能的定量预测等等基础性问题,以及勘探开发过程中遇到的某些技术性问题。

(杨文宽)