

新疆岩石圈三明治结构与油气资源

袁学诚

(中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘要:重力勘探是普查油气盆地常用的方法。利用重力研究岩石圈构造时,卫星重力具有独特的作用。它不但与自由空气重力异常相似,能直接反应岩石圈物质的积聚或亏损。可以获得较深处物质产生的重力场,还可以利用对重力场的分解处理,突出分层深度的异常特征,用以分析研究不同深度物质对重力场的贡献。根据对卫星重力异常的解释,可以将新疆地区岩石圈分成 3 层。最上层是中新生代陆相断陷盆地巨层。它的特点主要是四盆(伊宁盆地、准噶尔盆地、吐哈盆地和塔里木盆地)三山(阿尔泰山、天山和阿尔金山)的特殊景观。中间层是海相古生代盆山构造巨层。它是在印支—燕山期,强烈的挤压褶皱使地壳发生规律的平行线状排列盆山构造。最下层是低密度块体基底层。新疆地区岩石圈三明治结构的形成是因为在喜马拉雅期,印度板块自西南向东北的俯冲作用下,对古生代末已拼合成大陆的新疆地区进行改造,西天山的婆罗科努山、察布查尔山、阿拉沟山、额尔宾山、霍拉山等山系横向隆升,它们和南天山山脉一起,将新疆地区分割而成。从这项研究中得到启示,西部寻找油气资源不应局限于新生代盆地,而要考虑深部构造对地表出露盆山构造的控制。

关键词:新疆岩石圈;卫星重力异常;油气资源

中图分类号: P313.2; **文章标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)01-0001-07

1 引言

卫星重力场的研究是航天技术在地学中应用的高新技术之一。近年来,卫星重力场的研究方兴未艾。随着卫星重力测量精度的提高,除了利用卫星测量得到的地球稳定重力场解决地球的内部构造和地质缓慢过程(如地幔对流)外。已可分解出由于地球、大洋、大气的物质分布发生变化的动力学过程所引起的全球重力场的时变场。

卫星重力场数据的获得可以有卫星测高(海洋地区)、卫星轨道分析,或星载重力仪等几种不同方法。

《中国地球物理图集》^[1]刊登了 5 幅根据卫星轨道分析得到的卫星重力异常图。它们的球谐系数阶次分别为 2-49 阶、50-100 阶、101-180 阶、2-180 阶、2-360 阶^[2-4]。重力场源深度可以用 Bowin^[5]基于点源模型推算出的近似公式估算:

$$H=R/(n-1)$$

其中, R 为地球半径($\sim 6400\text{km}$), n 为球谐系数的阶次。

对卫星重力异常的研究认为,新疆地区中下地壳内存在规律、清晰的平行线状排列盆山构造^[6]。中下地壳这种构造形

态似乎与当今日表的四盆(伊宁盆地、准噶尔盆地、吐哈盆地和塔里木盆地)三山(阿尔泰山、天山、阿尔金山)结构大相径庭,但实际上,地表四盆三山构造与中下地壳的平行线状盆山构造一脉相承,地表构造是由中下地壳演化而来的,并且中下地壳构造控制着地表构造。

2 新疆岩石圈三明治构造模型

可以用三明治结构来表述新疆地区的这种岩石圈。上述中新生代陆相断陷盆地构成的岩石圈表层是三明治岩石圈模型的顶层。海相古生代盆山构造巨层是中间层。低密度块体基底层是最下层。笔者在研究中发现,最上层构造是中间层构造改造的结果。这种岩石圈结构再一次说明,地表构造往往是与深部构造不相同的,同时它们又互相依存。

2.1 中新生代陆相断陷盆地巨层

新疆岩石圈的最上一个巨层是由多个新生代断陷盆地组成的近地表构造层。新生代断陷盆地包括塔里木、准噶尔、吐哈及伊犁等四大盆地及其他一些小盆地。

2-360 阶重力异常是一个涵盖几乎全空间异常源的总

收稿日期:2006-11-05;改回日期:2006-12-08

基金项目:国土资源部专项计划项目(20010103)资助。

作者简介:袁学诚,男,1928年生,教授级高级工程师,主要从事深部地球物理研究;E-mail:xcyuan@263.net.cn。

场。虽然理论上它可以反映全空间物质分布的不均匀,由于位场异常随着异常源与观察点之间的距离2次方的反比衰减,因而位场的总场中总是包含更多的短波长成分,突出近地表构造。同时,由于它的观察点的高度高,许多更高次的短波长异常已被滤去,更能反映出大区域构造面貌。在2-360阶卫星重力异常图上(图1),可以清晰地看到天山、阿尔泰山和西准噶尔界山等山脉产生的明显的重力高和塔里木盆地中巴楚隆升产生的重力高,以及准噶尔、塔里木、三塘湖和吐哈等盆地产生的重力低。形态与地表观察到的山脉和盆地均极相似。

2-360阶卫星异常显示准噶尔盆地与伊宁盆地、克拉玛依油气田等断断续续分布在一个带上,这个带向西延伸到哈萨克斯坦境内,向东延伸到中蒙边界的三塘湖。在异常图上塔里木盆地向东延伸到敦煌、酒泉、张掖,终止于武威,并与巴丹吉林沙漠相连。

从2-360阶卫星重力异常图上还可以识别出3条重要隐伏断层:

北塔山—乌鲁木齐—库尔勒断裂:此断裂分开准噶尔盆地与吐哈盆地,同时又为准噶尔盆地的东界。

下马崖—白山断裂:是吐哈盆地和三塘湖盆地的东界。

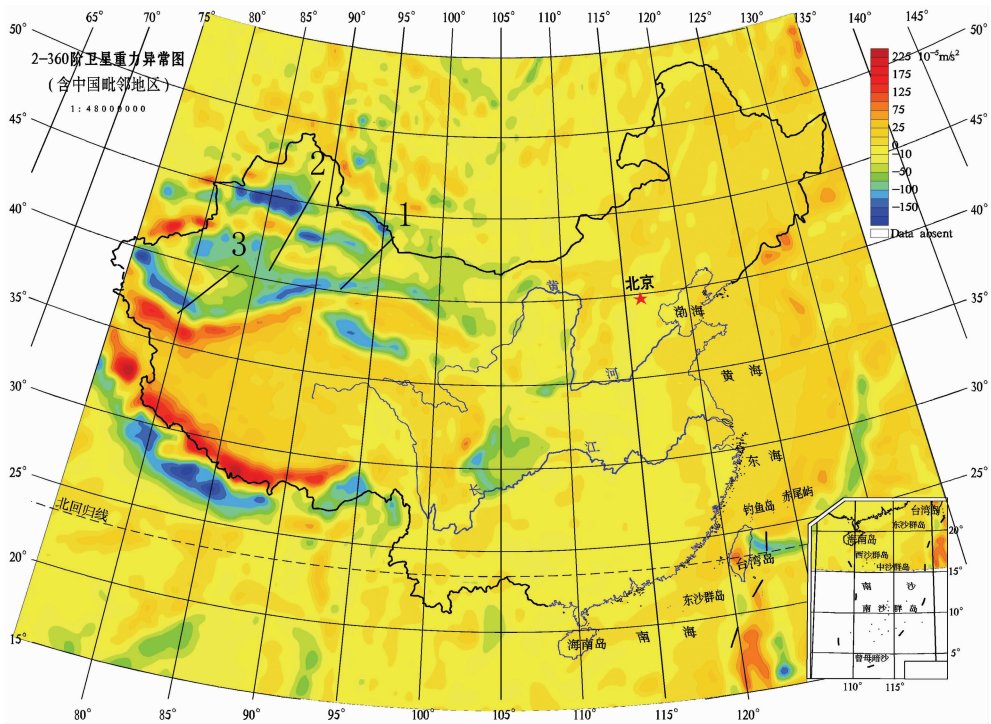


图1 2-360阶卫星重力异常图

推测隐伏断层:1—下马崖—白山断裂;2—北塔山—乌鲁木齐—库尔勒断裂;3—于田—克里雅河断裂

Fig.1 2-360 satellite gravity anomaly

Interpreted hidden faults: 1-Xiamaya-Baishan fault; 2-Beitashan-Urumqi-Korla fault; 3-Yutian- Keriya River fault

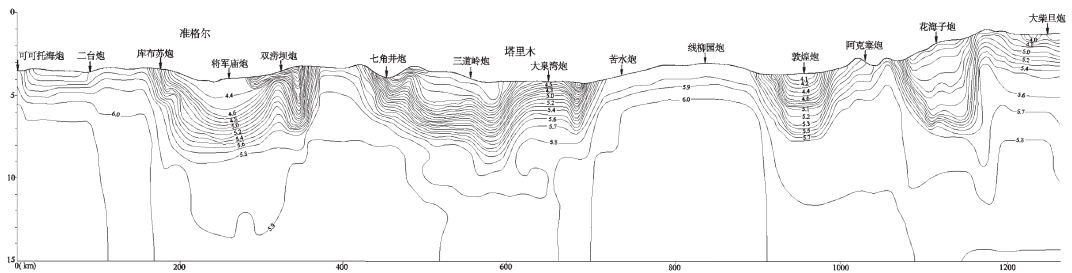


图2 阿尔泰—阿克塞一段地学断面的宽角反射地震浅层剖面(据王有学,未发表)

Fig.2 Shallow wide-angle seismic reflection profile of the Altay-Aksay

(after Wang Youxue, unpublished)

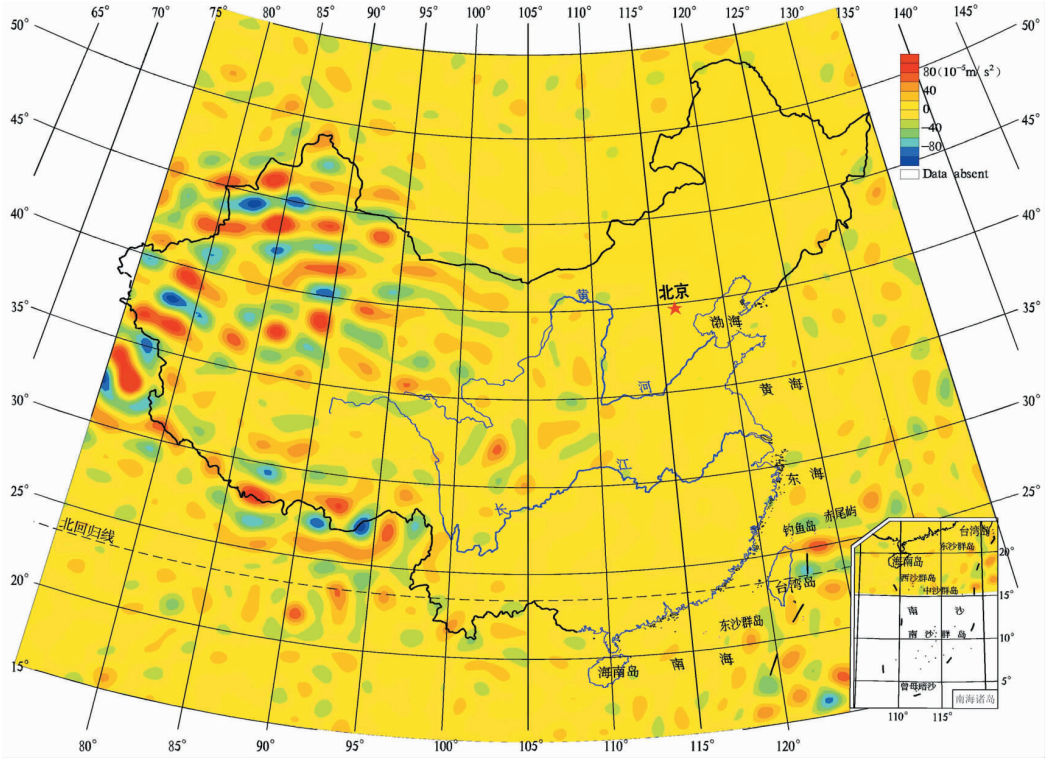


图 3 101-180 阶卫星重力异常图
Fig.3 101-180 satellite gravity anomaly map

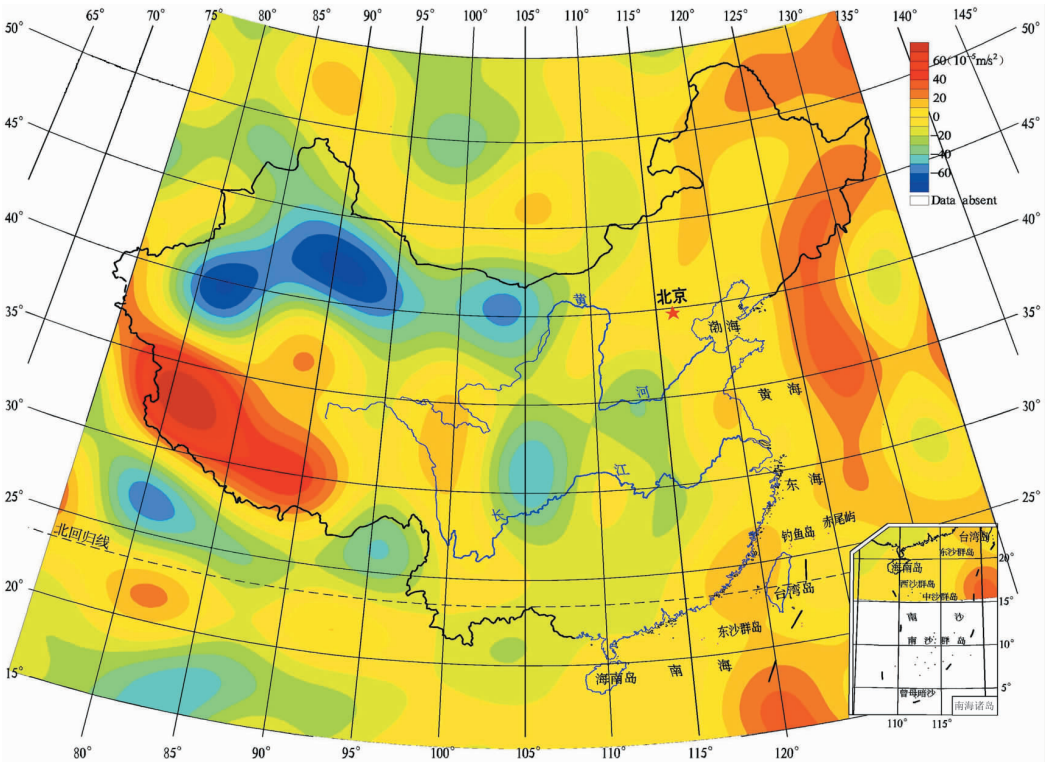


图 4 2-49 阶卫星重力异常图
Fig.4 2-49 satellite gravity anomaly map

于田—克里雅河断裂;它是巴楚隆起的东界。还不清楚它和北塔山—乌鲁木齐—库尔勒断裂的关系。如果它们相连,是同一断层,则意义更为重大。

从地质剖面的宽角反射地震测深结果来估计这一层的厚度。图 2 是《北冰洋—欧亚大陆—太平洋地学断面》^[9]中通过新疆地区(阿尔泰—阿克塞)的宽角反射地震浅层速度经过特殊处理后得到的剖面。剖面通过东疆地区。在剖面中,速度等值线很好地勾画出东准噶尔盆地、吐哈盆地和东塔里木盆地的垂向形态。准噶尔盆地的北部界线是库布苏(克拉美丽断裂),南界约为木垒。在双涝坝处局部隆升。吐哈盆地从七角井到苦水北。东塔里木盆地从红柳园与阿克苏之间穿过。3 个盆地的底界均约在 8 km 之内。剖面没有穿过准噶尔盆地和塔里木盆地的腹地,估计不超过 10 km。因此,笔者从浅层宽角反射地震剖面出发,推测新疆新生代断陷盆地构造层的深度为 6~10 km。

2.2 海相古生代盆山构造巨层

101—180 阶卫星重力异常是切除了区域重力场背景,和切除了近地表地壳不均匀引起的重力场后剩余的卫星重力异常(图 3)。按 Bowin 近视公式计算,它的深度为 36~62 km。在这张图上,整个新疆地区呈现多条正负相间重力异常带^[6]。它们依次为:塔南(塔里木盆地南缘)重力低带、塔中(巴楚—库鲁克塔格—北山)重力高带、天南(天山南缘)重力低带、天山重力高带、淖毛湖重力低带、天北(天山北缘)重力低带、北准格尔重力高带、额尔齐斯重力低带和阿尔泰重力高带。

塔南重力低带由和田重力低,且末重力低、罗布泊重力低和河西走廊重力低(红柳园—金昌)等 4 个重力低组成。它们是青藏板块与塔里木板块碰撞造成的前陆盆地。

巴楚—库鲁克塔格—北山重力高。由巴楚重力高,库鲁克塔格重力高,公婆泉—巴丹吉林沙漠重力高(北山重力高)等 3 个重力高组成。地表地质对这 3 个地区的构造归属观点有分歧。巴楚和库鲁克塔格比较普遍地被认为是塔里木盆地内的隆升块体,但北山则既非属于中朝克拉通,也不属于塔里木,认为它是一个独立的块体。卫星重力显示,在地壳深部,巴楚、库鲁克塔格和北山同属一条横亘在新疆和甘肃地区的塔里木盆地内古生代隆起带。

当天山山脉划分为北天山(吐哈盆地以北)、西天山(伊犁盆地以北)和南天山。南天山的南缘尼古拉也夫断层被认为是天山山脉的南部边界。在 101—180 阶卫星重力异常中(图 3),天山重力高约从阿拉木图,经乌鲁木齐到巴里坤。它的南部边界与地表南天山的位置相符,东段与北天山的位置相符。但没有重力高与西天山吻合。这说明,西天山是薄皮构造,它产生不了明显的卫星重力异常。

天南重力低是最值得注意研究的构造带。它从阿克苏,经库尔勒、焉耆盆地到吐哈盆地。地表地质几乎都认为库尔勒盆地、焉耆盆地和吐哈盆地是隶属于不同构造背景的盆地。库尔勒和焉耆是塔里木盆地北缘的天山山前盆地,而吐哈盆地是天山山间盆地。但卫星重力却显示,它们的古生代

原盆地可能是一个相连的盆地带。

淖毛湖—哈日熬日布格重力低。约从淖毛湖,经额济纳旗到呼和浩特。沿中蒙边境分布。比 2—360 阶卫星重力异常(图 1)中的三塘湖略靠北,它们可能是同一盆地带不同深度的反映。

天北重力低。西从伊宁盆地开始,经奎屯、准噶尔盆地内昌吉凹陷到哲金。

北准噶尔重力高。这一重力高向西延伸到阿拉套山,到哈萨克斯坦的萨尔坎德;向东经二台到蒙古的布尔干。

额尔齐斯重力低带。在中国境内仅有布尔津到富蕴盆地一小段。

阿尔泰重力高带。在中国境内,只有纳雷姆山到科布多一小段。

2.3 低密度块体基底层

在 2—49 阶卫星重力异常中(图 4),新疆地区有一个区域卫星重力低。异常范围几乎包括整个新疆,并向东延伸到阿拉善地区。向西北延伸到哈萨克斯坦的斋桑泊。

这个重力低异常以其明显的区域重力低与具有明显高的青藏高原形成强烈的对比。这个重力低带包括 3 个局部重力极小值,分别位于塔里木、吐鲁番与巴丹吉林沙漠。其中,数值最低范围最大的重力低位于吐哈盆地与罗布泊间地区。这个重力低基底对油气藏的控制几乎没有直接影响,在这里暂不讨论它们的形成机制以及它们的地质意义。

3 对形成新疆地区岩石圈三明治结构的成因及含油气盆地的探讨

笔者将以新生代断陷盆地为主要特点的最上层和以中生代挤压变形为主要特点的中间层的结构画在一张图上(图 5)。以底色表示中间层的划分,以花纹表示最上层构造。

根据地表地质研究,新疆可分成位于准噶尔盆地东北外侧的西伯利亚板块,包括准噶尔盆地、吐哈盆地在内的哈萨克斯坦—准噶尔板块和包括塔里木盆地及其东西延伸的塔里木板块等 3 个板块。它们的形成与演化历史各不相同。

晚寒武世—早奥陶世,西伯利亚板块和哈萨克斯坦—准噶尔板块之间的古亚洲洋北支斋桑—额尔齐斯洋盆关闭,两板块沿额尔齐斯缝合带拼合。早二叠世末,位于哈萨克斯坦—准噶尔板块与塔里木板块之间的古亚洲洋南支沿中天山南缘断裂关闭。新疆地区拼合成一个完整的大陆。新疆便成为一个统一的大陆。

要想从区域地球物理资料提供新疆地区如何从洋陆变迁,演化成一个大大陆的佐证是困难的。在新疆地区,地球物理资料主要反映在形成一个完整的大陆块体后,这个块体在外力作用下所发生的变质变形。

新疆地区拼合成一个大陆后,遭受到印支运动的改造,整个地区大幅度挤压隆升,到早中侏罗世一度夷平。燕山运动使新疆地区的基底和盖层一起褶皱,形成盆山构造。101—180 阶卫星重力异常(图 3)所反映的岩石圈中间巨层盆山构造主要是印支—燕山期形成的褶皱构造。它们超越当今地表

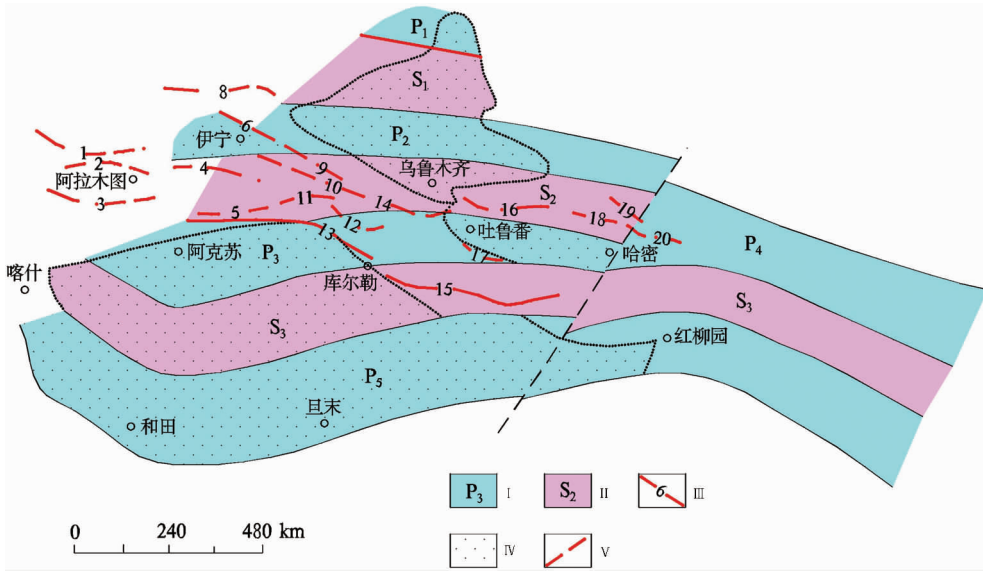


图 5 新疆地区岩石圈三明治结构图

I—中间层盆地带;P₁—额尔齐斯重力低带;P₂—天北(天山北)重力低带;P₃—天南(天山南)重力低带;P₄—淖毛湖重力低带;P₅—塔南(塔里木南)重力低带;II—中间层隆升带;S₁—北准噶尔重力高带;S₂—天山重力高带;S₃—塔中(巴楚—库鲁克塔格—北山)重力高带;III—天山山脉山系:1—外伊犁阿拉套山;2—孔格伊山;3—帖尔斯克伊山;4—察布查尔山;5—哈尔克山;6—婆罗科努山;7—阿吾拉勒山;8—阿拉套山;9—依连哈比尔山;10—阿尔善山;11—那拉提山;12—额尔宾山;13—科克铁盖塔乌克山;14—乌肯山;15—库鲁克塔格;16—博格达山;17—觉罗塔格;18—巴里坤山;19—天山北山;20—哈尔里克山;IV—新生代盆地;V—推测断层

Fig.5 Sandwich lithospheric structure of the Xinjiang region

I—Basin belt of the middle megalayer;P₁—Ertix gravity low;P₂—Tianbei (north margin of the Tianshan) gravity low;P₃—Tiannan (south margin of the Tianshan) gravity low;P₄—Naomaohu gravity low;P₅—Tanan (south margin of Tarim) gravity low;II—Uplift of the middle megalayer: S₁—North Junggar (north margin of Junggar) gravity high;S₂—Tianshan gravity high;S₃—Tazhong (Bachu—Kuruktag—Beishan) gravity high;III—Tianshan mountain system:1—Zailiyskiy—Alatau;2—Konggeyi Mountains;3—Tariskay Mountains;4—Qapqal Mountains;5—Halik Mountains;6—Borohoro Mountains;7—Awulale Mountains;8—Alataw Mountains;9—Eren Habirga Mountains;10—Alxa Mountains;11—Narat Mountains;12—Erbeng Mountains;13—Koktegakewuke Mountains;14—Wuken Mountains;15—Kuruktag;16—Bogda Mountains;17—Qoltag Mountains;18—Barkol Mountains;19—Tianshan Beishan;20—Karlik Mountains;IV—Cenozoic basin;V—Inferred fault

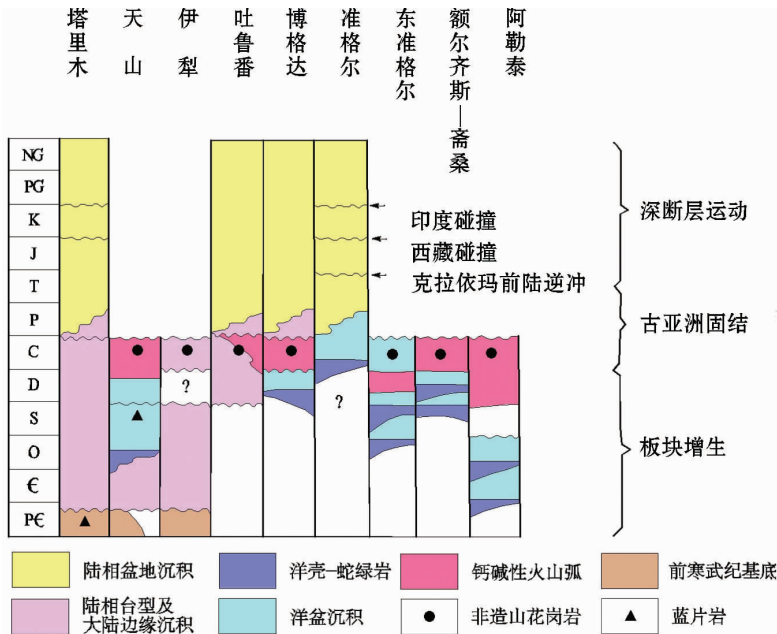


图 6 新疆不同块体演化图(据 R. Coleman)

Fig.6 Evolution of different blocks in Xinjiang (after R. Coleman)

盆地界限,形成连续的东西向平行线状构造。这种构造格局包括整个新疆。在东部延伸到阿拉善,直至鄂尔多斯北。

而当今新疆地区三山(阿尔泰山、天山和阿尔金山)四盆(准噶尔盆地、塔里木盆地、吐哈盆地和伊宁盆地)的构造格局则是新近纪—第四纪喜马拉雅期构造运动改造的结果。在喜马拉雅运动时期,印度板块向青藏地区俯冲,但俯冲只发生在西藏的西部,最强烈的是帕米尔地区。在其东部只有碰撞而无俯冲。在新疆地区,由于印度板块自西南而东北的强烈推挤,引发了北塔山—乌鲁木齐—库勒断裂、下马崖—白山断裂、与于田—克里雅河断裂等北东向断裂,并使婆罗科努山、依连哈比尔尕山等西天山急剧隆升,这些山系向东南穿过库勒勒与吐鲁番之间后与库鲁克塔格相连。与南天山一起,分割了新疆地区地表构造,相对地形成了伊宁盆地、准噶尔盆地和塔里木盆地。所以,新疆地区的盆地与其说是下陷盆地,不如说它是由于周边山系隆升形成的圈闭(trapped)盆地。

这种由于印度板块的北东向俯冲挤压造成的新疆地区一系列北西—南东走向褶皱和一系列北东—南西走向断层(或韧性走滑带)所形成的构造格局,控制新疆地区当今构造格局。

对找油气有意义的古生代盆地带:

根据天北重力低划分的天北盆地带是从伊宁盆地,经奎屯、准噶尔盆地内昌吉凹陷到哲金的一个狭长的地带。通常认为伊宁盆地和准噶尔盆地是两个独立的盆地,但它们的原盆地应是被西天山新生代隆起所隔开的同一盆地带。克拉玛依位于此带北部,如今已是亿吨级油田。

根据天南重力低划分的天南盆地带是从阿克苏,经库车盆地、焉耆盆地到吐哈盆地。这个盆地带的地域包括地表塔里木和吐哈等两个盆地。塔里木是中国最大的内陆盆地。天南盆地带中所包括的塔里木盆地中的库车凹陷,通常认为是塔里木盆地的边缘凹陷。吐哈盆地被认为是被天山围绕的山间盆地。两个盆地分别隶属于不同的构造单元。但从深部构造来说,它们也是被西天山隔开的同一古生代盆地带。因而,在吐哈盆地、焉耆盆地,应该同样存在与库车盆地类似的深部海相古生代油藏。如果这种推测被证实,天南盆地带的前途无可估量。

根据塔南重力低划分的塔南盆地带是从和田,经且末、罗布泊,到河西走廊。重力低带由4个重力低组成。这个盆地带的划分可能没有什么分歧,但深部构造显示,它是一条完整的极长的山前凹陷,有很大的找油气远景。

淖毛湖—哈日熬日布格重力低。约从淖毛湖,经额济纳旗,到呼和浩特,沿中蒙边境分布。它们的规模不亚于吐哈盆地,值得进一步工作。

卫星资料所得到的是概略的,加之地球物理的多解性,深部构造确难以验证。因而本文只是提出问题。离解决问题还有很长一段路程。

参考文献(References):

- [1] 袁学诚主编. 中国地球物理图集[M]. 北京:地质出版社,1996.
Yuan Xuecheng (ed.). Atlas of Geophysics of China [M]. Beijing: Geological Publishing House,1996(in Chinese).
- [2] 宁津生,李建成,陈建国,等. 2-49 阶卫星重力异常图[M]//袁学诚主编. 中国地球物理图集.北京:地质出版社,1996:33-34.
Ning Junsheng, Li Jiancheng, Chen Jianguo, et al. 2-49.Satellite gravity anomaly[M]// Yuan Xuecheng (ed.). Atlas of Geophysics of China. Beijing:Geological Publishing House, 1996:33 -34 (in Chinese).
- [3] 宁津生,李建成,陈建国,等. 2-180 阶卫星重力异常图 [M]//袁学诚主编. 中国地球物理图集. 北京:地质出版社,1996:46-47.
Ning Junsheng, Li Jiancheng, Chen Jianguo, et al. 2-180.Satellite gravity anomaly[M]//Yuan Xuecheng (ed.). Atlas of Geophysics of China. Beijing:Geological Publishing House,1996:46-47(in Chinese).
- [4] 宁津生,李建成,陈建国,等. 2-360 阶卫星重力异常图 [M]//袁学诚主编.中国地球物理图集. 北京:地质出版社.1996:50-51.
Ning Junsheng, Li Jiancheng, Chen Jianguo, et al. 2-360.Satellite gravity anomaly[M]//Yuan Xuecheng (ed.). Atlas of Geophysics of China. Beijing: Geological Publishing House, 1996:50-51(in Chinese).
- [5] 宁津生,李建成,陈建国,等. 50-100 阶卫星重力异常图[M]//袁学诚主编.中国地球物理图集.北京:地质出版社,1996:38-39.
Ning Junsheng, Li Jiancheng, Chen Jianguo, et al. 50-100.Satellite gravity anomaly[M]//Yuan Xuecheng (ed.). Atlas of Geophysics of China. Beijing:Geological Publishing House, 1996:38-39(in Chinese).
- [6] 宁津生,李建成,陈建国,等. 101-180 阶卫星重力异常图[M]//袁学诚主编.中国地球物理图集.北京:地质出版社,1996:2-43.
Ning Junsheng, Li Jiancheng, Chen Jianguo, et al. 101-180 Satellite gravity anomaly[M]//Yuan Xuecheng (ed.). Atlas of Geophysics of China. Beijing:Geological Publishing House, 1996:42 -43 (in Chinese).
- [7] Bowin C. Depth of principal mass anomalies contributing to the Earth's geoidal undulations and gravity anomalies [J]. Marine Geodesy, 1983, 7(1):61-101.
- [8] 袁学诚. 论中国西部岩石圈三维结构及其对寻找油气资源的启示 [J]. 中国地质,2005,32(1):1-12.
Yuan Xuecheng. 3D lithospheric structure of western China and its enlightenment on petroleum prospecting [J]. Geology in China, 2005,32(1):1-12(in Chinese with English abstract).
- [9] 袁学诚主编. 北冰洋—欧亚大陆—太平洋地学断面[M]. 北京,科学出版社,2000.
Yuan Xuecheng (ed.). Global Geoscience Transect 21:Arctic Ocean - Eurasia - Pacific Ocean[M]. Beijing:Science Press,2000(in Chinese).

Sandwich lithospheric structure of Xinjiang and its relation to petroleum resources

YUAN Xue-cheng

(Center of Development and Research, Chinese Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: Gravity survey is a method commonly used in petroleum basin reconnaissance. Satellite gravity is favorable for studying lithospheric structure because from it we can not only get more deep information of inhomogeneity in the lithosphere but also resolve the gravity field into different layers to show the inhomogeneity at different depths. According to the satellite gravitational data, the lithosphere of the Xinjiang region may be divided into three megalayers. The top is a megalayer consisting of Meso-Cenozoic continental downfaulted basins, including the Yining basin, Junggar basin, Tarim basin, Tuha basin and Tarim basin, surrounded by the Altay, Tianshan and Altyn Tagh mountains. The middle megalayer consists of a series of Paleozoic marine parallel ranges and basins formed by strong compressional folding during the Indosinian-Yanshanian. The lowest megalayer is the low-density block basement. The sandwich lithospheric structure formed by reworking of the Xinjiang lithosphere beneath the continent assembled at the end of the Paleozoic due to Cenozoic northeastward subduction of the Indian plate. The Borohoro, Qapqal, Alagou, Erbenq and Horo mountains of the West Tianshan mountain system were uplifted transversely and they together with the South Tianshan mountain system divided the Xinjiang block into a series of new mountains and basins. This study leads to a conclusion that petroleum exploration in western China should not be restricted in Cenozoic basins but that we should consider the controls of deep structure on the basin-and-range structure exposed at the surface.

Key words: lithosphere of Xinjiang; satellite gravity anomaly; petroleum resources

About the author: YUAN Xue-cheng, male, born in 1928, senior researcher, mainly engages in deep geophysical survey; E-mail: xcyun@263.net.cn.