

冲绳海槽成因的初步探讨*

吕成富 李永植

(中国科学院海洋研究所)

冲绳海槽是一个正在扩张的年轻弧后海盆。对这个海盆的研究在地层学、古海洋学、构造学、地震学及海底资源勘探等方面均具有重要意义。这个海槽处在大陆地壳向大洋地壳转化的过渡性地壳域，许多人试图从冲绳海槽的研究中，获得关于洋盆早期演化的知识。本文根据反射地震资料(图1)就该海槽成因进行初步探讨。

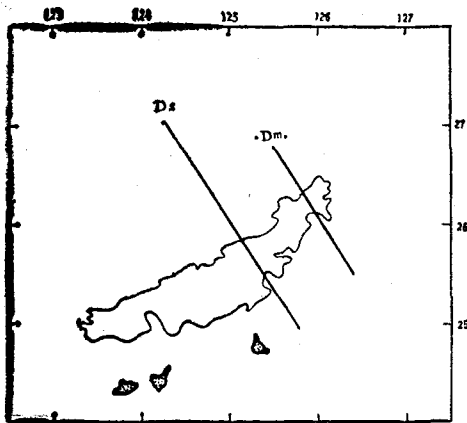


图1 冲绳海槽地震测线位置
Fig.1 Location of the seismic line of the Okinawa Trough

一、海底地形

冲绳海槽轴线呈北东走向，南端稍向西折而呈南西西走向。总的走向与琉球岛弧大体平行。海底南深北浅，南窄北宽。

海槽槽底至两侧有明显的坡度变化。这个坡度突变将冲绳海槽的地形横剖面划分为槽底、东坡和西坡三个部分(图2)。槽底与东、西两侧各以正断层为界。

海槽中南段槽底有变窄的趋势。海槽槽底有一底沟。底沟深度不大，只切割了水平地层的顶部，其横断面呈“U”字形。底沟下面的地层呈坡度较大的“V”字形。由此可见底沟以下的地层产状受槽底原始地形的控制，而底沟的形态则似乎不受其影响。底沟是在槽底原始地形被沉积物充填之后才形成的。看来底沟的形成与海底浊流冲刷不无关系。在槽底比较狭窄的D_m剖面(图3)上，不见底沟。这是

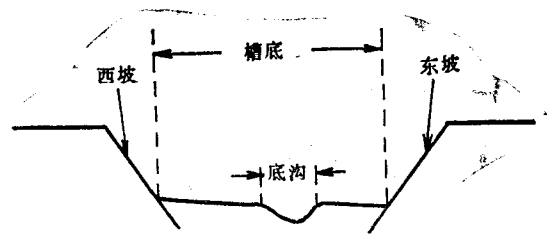


图2 冲绳海槽地形横剖面
Fig.2 Transverse section of the topography of the Okinawa Trough



图3 D_m剖面(东坡有正断层造成的多级阶地)
Fig.3 D_m section (On its east slope there are multiple terraces caused by the normal fault)

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第956号。
张景洲同志给与作者很大帮助，特此致谢。



图4 D_s剖面 (东坡的隆起与洼槽)
Fig.4 D_s section (On its east slope there are uplifts and basins)

底沟与槽底二者合而为一了。在槽底比较宽阔的D_s剖面(图4)上,可以看到有底沟存在。这两个剖面上表现出来的底沟与槽底的分异程度上的差异,反映了剖面发育程度的差异。

B. M., Herman等¹⁾认为在底沟两侧有直立断层(图5)。在D_m(图3)和D_s(图4)剖面上,这种直立断层不十分清楚,只是隐约可见。这些直立断层系海槽在拉张过程中沉积物塌陷所致。这种直立断层是造成底沟两壁呈“U”字形构造的因素。

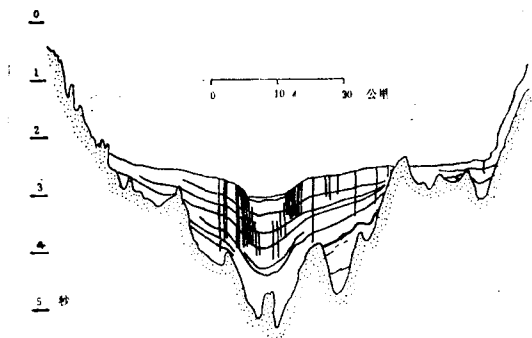


图5 C₂剖面 (其底沟两侧有直立断层)
Fig.5 C₂ section (On each side of its bottom trench there are vertical faults)

海槽北段槽底开阔平坦,底沟消失。

海槽东、西两侧地形不完全对称而各具自己的特色。

东侧坡面较陡。坡底有正断层面与槽底截然分开。D_s剖面(图4)东坡有一个较大的隆起和洼槽。D_m剖面(图3)东坡则有正断层造成的多级阶地。除此之外,整个说来海槽东坡坡面较为平整。

与此相反,海槽西坡坡面犬牙交错,坎坷不平。B. M., Herman认为,海槽西侧地形坎

坷,其原因是原始地形起伏(图6)。对于海槽西侧地形如此坎坷的原因,作者在此试作另一种设想和解释。

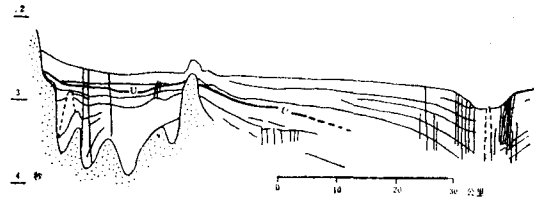


图6 V₁剖面 (B.M.Herman对冲绳海槽西侧地形的解释)
Fig.6 V₁ section (B. M. Herman's interpretation of each topography of the Okinawa Trough)

海槽西侧地形虽然有很明显的起伏,但总的趋势是由槽底向大陆架方向上升。据此,我们可以划出一个平均倾斜面(图7)。这个平均倾斜面大体上相当于海槽东侧平整剖面的倾斜面,它也就是海槽西侧固有的倾斜面。这个固有的倾斜面是与东侧倾斜面在同一正断层运动中形成的。西侧这个固有的倾斜面之所以不复存在而变成犬牙交错的形态,是由于后来的构造因素造成的。海槽西侧那些尖锐的突起极易遭到剥蚀而被夷平。它们的存在表明它们的形成年代较晚,海底的各种地质营力未及将它们破坏。

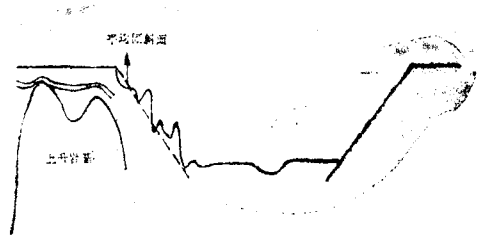


图7 冲绳海槽西侧的平均倾斜面及上升的岩基
Fig.7 Averagely tilted plane and up thrown batholith of the west of the Okinawa Trough

1) B. M. Herman, 等, 1980. 冲绳海槽的张性构造作用. 海洋地质调查. 海洋地质调查局科技情报室, 77—89.

海槽西侧各突起之间多有正断层，但并非全为正断层所分割，在D_s剖面的西侧(图4)，在地形突起之间虽然也有正断层存在，但有的断层面倾向相反。这些断层的深度很小，均系盖层断裂。显然，西侧犬牙交错的地形不是早期深部构造运动引起的。

在海槽西侧坡面之下，可以看到上升的岩基(图7)。它们的深度很浅，岩基顶面大体与海槽西侧平均倾斜面平行。在D_s剖面(图4)上，可以看到覆盖在岩基上面的水平地层厚度减薄的现象。上覆地层沿岩基表面向上牵拉。看来岩基是在水平地层形成以后发生岩浆上侵的结果。它们形成的具体年代不清楚。根据资料推测岩浆上侵的时间大致在上新世。

笔者认为，海槽西侧犬牙交错的地形是上新世岩浆上侵造成的。岩浆上侵在上覆地层中造成裂隙。小股岩浆沿裂隙外溢冷却而成岩株。海槽西侧地形上的小突起就是岩株构成的。这些岩株在地震剖面上没有分层现象。由于上拱岩浆的规模小、深度浅，且上覆地层具塑性，因此在上覆地层中造成了不甚规则的裂隙。上侵岩浆对海槽西侧造成的构造破坏，加上海底的风化侵蚀，导致中新统地层直接出露于海底。底栖拖网从海底捞到中新统地层的岩石碎块^[1]为这一解释提供了佐证。

海槽东侧坡底层面平整的正断层也是由于地幔物质上拱造成的。这个地幔上拱的范围和深度均较大，在剖面上未见显示。这次范围较广、深度较大的岩盘上升，在时间上早于海槽西侧岩基的上升。这次先期的岩盘上升在西侧亦当造成类似于海槽东侧坡底正断层的平整坡面。事实上，海槽西侧未有岩基上升的D_a剖面(图3)也似乎是十分平整的。由于后期岩基的上侵与岩株的出现，将其他剖面西侧固有的平整坡面破坏殆尽，使之显示出犬牙交错的地貌。

二、声波地层与构造

从D_s剖面(图4)上可以清楚地看到，槽底的声波地层分为两大单元，即上部的水平地

层与下部的褶皱地层。它们之间以不整合面为界。下部褶皱地层的顶面起伏不平，上部的水平地层是在这个凹凸不平的地表上堆积而成的。上部水平地层的厚度受下部褶皱地层顶面起伏的影响。在下部地层的低洼处，上覆地层的厚度较大；在下部地层的隆起处，则上覆地层的厚度变小。在剖面西段，可以看到下部地层的褶皱。由于那里临近陡峭的断层面，这里的褶皱地层面则向海槽轴部倾斜。

D_s剖面的不整合面与东侧坡底的正断层是在同一次地壳变动中形成的。它们的出现都可能起因于早期的深部大范围地幔上拱。这次岩浆上涌不但造成了D_s剖面东侧坡底的正断层，而且也造成了下部地层的褶皱。该剖面东侧坡底的正断层是造成冲绳海槽初次裂开的最早的正断层。这个断层形成的年代也即冲绳海槽的形成年代。这个正断层在其他剖面的东侧坡底均可追溯到。

D_a剖面(图3)西侧与D_s剖面东侧，其上部地层也局部地发生了褶皱。这些褶皱的两翼不对称。朝海槽内侧倾斜的一翼较为平缓，坡面与断面的交线较长；而朝海槽外侧倾斜的一翼则较陡峭，坡面与断面的交线较短。这个水平地层之所以在海槽两侧的斜坡上发生局部褶皱，恐怕是与这个部位的应力特性有关(图8)。在海槽底部，水平地层受到海底扩张的水平推力比较均匀，而且在作用力方向不变的情况下不会使地层褶皱，只是将这个均匀的力

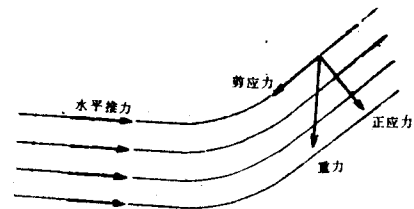


图8 水平地层在海槽东、西两侧发生褶皱的力学机制

Fig. 8 Mechanical mechanism of the horizontal strata causing folds on the east and west side of the Okinawa Trough

向海槽两侧传递。在海槽两侧坡角发生突变处,这个力产生一个向上的分力,而处于陡坡的水平地层由于本身的重力产生一个沿坡面向下的分力——剪应力,在这两个方向相反的力的推挤之下,水平地层便在倾斜面的某个特定部位发生褶皱。

上部水平地层在海槽两侧斜坡处的褶皱是一种塑性褶皱。这种褶皱是在地层形成过程中发生的,因此称作同生褶皱。它们既是海底扩张的产物,也是表明海底现代扩张活动的证据。

三、海槽的成因与演化

冲绳海槽地处西太平洋海沟-岛弧-弧后盆地过渡性地壳构造区。自中生代联合古陆解体以来,这个过渡性地壳构造区地壳演化的优势过程是陆壳向洋壳的转化。中、新生代之交,亚洲大陆东部边缘和西太平洋之间是一个广大的陆壳。大致从中生代晚期开始,这个陆块便发生断陷沉降,部分陆壳沦为沉没陆块。如日本海的大和隆起、琉球岛弧东侧的黑潮陆块、日本本州外海至日本海沟之间的亲潮陆块、菲律宾海西北部的西北菲律宾海盆陆块等。在其中一些陆块上进行深海钻探的结果证明,这些陆块在新生代期间发生了数百米乃至数千米的大幅度沉降。这种沉降使亚洲大陆边缘成为一个巨大的斜面即大陆斜坡。在这个巨大斜坡的某些部分由重力产生一个沿斜面向下的拉力,在地壳的薄弱部位则出现张裂。薄弱部位往往与大陆斜坡坡度发生急剧下倾的地方相一致。鄂霍次克海与日本海拉张最剧烈的部位在靠近岛弧的处所。在这些剧烈拉张的地方,海盆底部出现了部分的洋壳。这些洋壳向西,由于拉张力量不足,断裂深度小,至今仍保留着陆壳。冲绳海槽也处在与日本海、鄂霍次克海出现洋壳的相应部位,即靠近岛弧的内侧。海槽以东发生的大幅度沉降正好在海槽轴部造成巨大的拉力而形成原始断裂,成为海槽向弧后扩张中心演化的基础,而且海槽东、西两侧岩石圈沉降引起的巨大差异也是海槽演化的一个经常起

作用的因素。

菲律宾海深海钻孔岩芯的古地磁测量结果表明,菲律宾海底的洋壳形成于 $5^{\circ}-10^{\circ}\text{S}$ 。自始新世以来,西菲律宾海盆向北迁移了约2000千米;四国海盆自中新世以来北移了500千米^[2]。看来,菲律宾海盆北进引起向西的侧向挤压以及西菲律宾海盆的东西向扩张是造成冲绳海槽与琉球岛弧南端走向发生西折的主要原因。菲律宾海岩石圈通过琉球海沟与西南日本海槽分别向东海与日本海下面的地幔中消亡。结果引起琉球岛弧的缓慢上升和弧后盆地的微型扩张。小西健二与须藤研^[3]提出,琉球群岛中的喜界岛在最近12—13百万年间每年上升1.5—2.0毫米,冲永良部岛每年上升0.4毫米。木崎甲子郎^[4]提出,自更新世以来琉球岛弧向东迁移了大约100千米。

笔者认为,弧后盆地虽然正在进行弧后的微型扩张,但不能认为弧后海盆的形成是从弧后扩张开始的。弧后扩张只是弧后洋盆演化过程中的一个阶段。冲绳海槽如此,鄂霍次克海和日本海也是如此。所有这些海盆都有在古陆解体及东侧地壳大幅度差异沉降中首先造成原始断裂,然后再有弧后扩张使这些断裂进一步发展而成为扩张中心。洋壳向岛弧下面的消减对于弧后盆地的形成具有重大作用,但不是弧后盆地裂开的唯一原因。

众所周知,西北太平洋洋壳形成年代为中生代,菲律宾海盆洋壳开始形成于始新世,而冲绳海槽则出现于新第三纪。由此可见,这个年代次序由东向西逐渐变得年轻。即洋壳从太平洋向亚洲大陆边缘方向发展。冲绳海槽本身也表现出向西发展的迹象。在亚洲东部边缘所有各弧后盆地中,冲绳海槽最年轻。而日本海、鄂霍次克海及菲律宾海的洋壳年代则形成较早。这是由于这些海盆直接与太平洋相毗邻,而冲绳海槽与太平洋之间却隔着菲律宾海。要待菲律宾海的洋壳充分发育起来开始向大陆下面地幔中消亡之后,它才获得进一步发展的条件。

地震折射资料表明,冲绳海槽地壳厚度为

15千米，具很高的正均衡异常值，因此存在着一个巨大的地壳均衡力使海槽下面的莫霍面不断抬升，成为冲绳海槽扩张的力能来源。

综上所述，冲绳海槽的演化可以分为四个阶段(图9)。中生代末期，联合古陆的解体在冲绳海槽形成原始的裂隙。这些原始裂隙在菲律宾海与太平洋的强烈沉降下由于大陆边缘强烈倾斜而得到加强(图9a)。早第三纪，菲律宾海盆岩石圈向亚洲大陆方向消亡，造成冲绳海槽岩石圈变薄(图9b)。中新世，亚洲大陆边缘发生大范围地幔上隆，导致大陆边缘岩石圈破裂，在海槽出现最早的中央裂谷与下部地层褶皱，因此形成不整合面。至此，冲绳海槽已成雏形，琉球岛弧也出露海面(图9c)。上新世，海槽西侧发生岩浆上侵，形成岩基与岩株，海槽展宽得到初步发展(图9d)。

海槽北部断裂发育之所以较为缓慢，是由于菲律宾海自渐新世以后开始改变为向东、西两侧扩张，向北的消亡减慢，导致冲绳海槽下面地幔上升幅度减低。

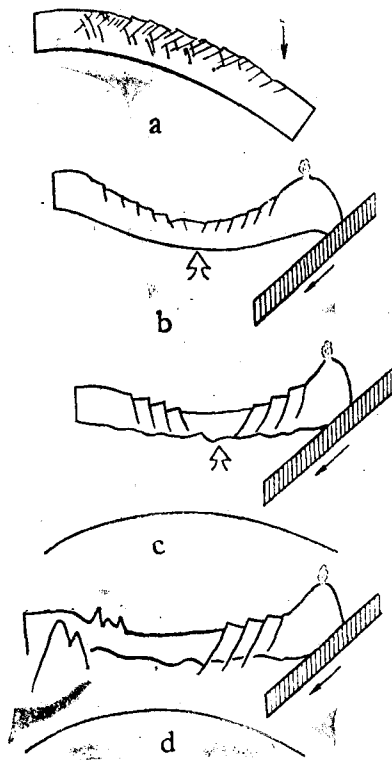


图9a 中生代末期，大陆边缘岩石圈剧烈沉

降，岩石圈顶面出现张性裂隙

图9b 早第三纪，太平洋与菲律宾海岩石圈开始向亚洲大陆下面消亡

图9c 中新世，亚洲大陆边缘发生大范围地幔上隆，导致大陆边缘岩石圈断裂，发生正断层，出现冲绳海槽雏形，琉球岛弧升出海面

图9d 上新世，冲绳海槽西侧发生小规模地幔上侵，形成岩基和岩株，海槽展宽

Fig.9a In the late Mesozoic, the lithosphere of continental margin subsided strongly and its top plane showed tension fissures

Fig.9b In the early Tertiary, the lithosphere of the Pacific Ocean and the Philippine Sea began subducting down towards the Asian continent

Fig.9c In the Miocene, the uplift of the mantle in large scale occurred on the continental margin of the Asia, leading up to ruptures of the lithosphere of continental margin. occurrence of normal faults, show of the miniature form of the Okinawa Trough, rise of Ryukyu Island Arch on the sea level

Fig.9d In the Pliocene, the uplift of the mantle in small scale occurred on the west side of the Okinawa Trough, forming the batholith and the rock pillar and widening the trough

四、结 论

冲绳海槽的演化分两个方面进行，一方面由于琉球岛弧的东迁，海槽跟着东进；另一方面，岩浆的不对称上侵，使海槽有向西扩大之势。海槽的演化与西太平洋边缘海自中生代联合古陆解体之后出现的陆壳向洋壳的演化密切相关。两期地幔物质上涌构成冲绳海槽发育的两个重要阶段。

参 考 文 献

- [1] 秦蕴珊等，1982。冲绳海槽海底中新世化

- 石的发现及其地层意义。海洋地质研究 2(1): 79—82。
- [2] 小林和男等, 1979。Leg 58四国海盆と大东海嶺の掘削。海洋科学 11(10): 816—822。
- [3] 小西健二等, 1972。琉球がウ台湾まご。科学 42(4): 221—230。
- [4] 木崎甲子郎等, 1977。琉球列島の古地理。海洋科学 9(8): 38—45。

THE PRIMARY INVESTIGATION ON THE ORIGIN OF THE OKINAWA TROUGH

Lu Chengfu Li Yongzhi

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

Abstract

The seismic data show that the topography on the east of Okinawa Trough is not symmetric with that on the west. The topography of each side has its own characteristics. The rough topography on the west was formed by the upward intrusion of the rock magma of the Pliocene which was small both in scale and in depth, while that on the east, caused by the upthrust of the large and thick mantel which took place earlier than the uplift of the batholith west of the trough, is steep and smooth.

The acoustic wave stratum breaks into two units, the upper horigontal stratum and the lower stratum, the boundary between which is the plane of unconformity. The normal fault occurred at the base of slope east of the seismic section of the trough. Moreover, the simultaneity folds which were the result of the sea-floor spreading occurred locally in the upperstratum on the east and west sides of the trough.

The developement of Okinawa Trough may be divided into four stages and in two directions. The four stages are: the strong differential settlement of the lithosphere, causing tension fissures; the disappearance of the lithosphere under the Philippine Sea towards the continent, resulting in the thinning of the crust of Okinawa Trough; the uplift of the mantel in large scale, leading to the rift of the lithosphere; the upward intrusion of the magma, bring about the widening of the trough. The two directions are: the eastward movement of the trough following the moving of the Ryukyu Island Arch; the westward extension of the trough as a result of the successive upward intrusion of the magma.