

世界最大含油气盆地

——“无花岗岩”型盆地的 结构和地球物理参数

〔苏〕 B. C. 沃里茨基 著
H. C. 沃里茨基



石油工业出版社

070622

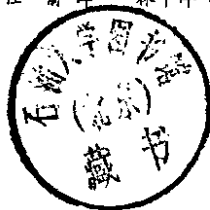


200313954

世界最大含油气盆地
“无花岗岩”型盆地的结构
和地球物理参数

52134/06
[苏] Б.С. 沃里沃夫斯基 著
И.С. 沃里沃夫斯基

任 俞 译 林中洋 校



00678070

石油工业出版社

070622



Б.С. Вольвовский

И.С. Вольвовский

СТРУКТУРА И ТЕОФИЗИЧЕСКИЕ
ПАРАМЕТРЫ “БЕЗГРАНИТНЫХ” ВПА-
ДИН — КРУПНЕЙШИХ НЕФТЕТАЗО-
НЫХ БАССЕЙНОВ МИРА

©ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕД О-
ВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ТЕОЛОТОРАЗ-
ВЕДОЧНЫХ РАБОТ, 1988

世界最大含油气盆地——“无花岗岩”型

盆地的结构和地球物理参数

Б.С. 沃里沃夫斯基 著
【苏】 И.С. 沃里沃夫斯基

任 俞 译 林中洋 校

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷 排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092 毫米 32 开本 2 $\frac{5}{8}$ 印张 54 千字 印 1—2,000

1991 年 6 月北京第 1 版 1991 年 6 月北京第 1 次印刷

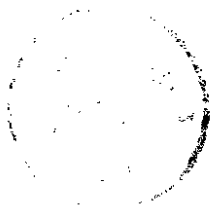
ISBN 7-5021-0543-3/TE · 519

定价: 1.20 元

内 容 提 要

本书作者通过对滨里海、西西伯利亚、维柳伊、南巴伦支、北海、黑海、南里海、墨西哥、波斯湾等盆地深部结构特征及地震波速度、重磁异常、热流量等地球物理参数的剖析，描述了“无花岗岩”型盆地地壳结构的综合地球物理模型，进而探讨了其地质构造的性质和形成机制。最后的结论是，当前世界上发现的所有超巨型石油天然气田都与“无花岗岩”型盆地有关。因此，提醒人们应注意对“无花岗岩”型盆地的研究，因为这是石油开采工业近期发展远景的主要对象。

本书可供石油地质、地球物理勘探工作者参考。



前 言

根据当前积累的地质、地球物理资料可以用崭新的观点来解释被巨厚沉积建造充填的、地壳最深盆地的构造性质，滨里海盆地就是其中最典型的例子之一。地壳有限区段在洼地状态下的这种稳定发展现象不仅激发了人们科研的兴趣，同时还可确定大规模石油天然气资源的可预见远景。由此，人们开始懂得，正确地理解这些未经区域变质和褶皱过程的最大沉积岩储藏地的构造性质和形成机制是多么重要。

根据全球的地球物理资料查明，大陆地壳的平均统计厚度为 $40.5 \pm 1.6\text{km}$ ，而其结晶部分为 $36 \pm 1.7\text{km}^{[9]}$ 。在其近一半面积之上覆盖着沉积岩，沉积岩的平均厚度是 $3.5 \sim 4\text{km}$ 。上述这些地壳，其结晶部分和沉积岩厚度数字可以认为是不同于大陆地台的正常数值。同时还计算出，有 30% 的大陆领土明显地偏离上述数字，这里的构造是特殊的发展类别。其中极深的沉积盆地（约占地球面积的 8%）占有特殊地位。这些盆地的沉积厚度达到 $15 \sim 20\text{km}$ 或更厚，其地壳总厚度及其结晶部分的厚度值也具有与大陆地壳不同的数值。在个别巨大的坳陷中，如滨里海、西西伯利亚、通古斯和维柳伊盆地之内集中了整个地台沉积冲填物的 40%^①。例如，在滨里海盆地内部集中了 $650 \times 10^4\text{km}^3$ 的沉积物，在西西伯利亚和通古斯盆地内也具有与此数字相近数量的沉积物。已计算出^[9]，在苏联领土上的内陆“无花岗

① 现代大陆沉积岩的总体积为 $5.8 \times 10^8\text{km}^3^{[65]}$ 。

岩”型盆地之内，沉积岩的总体积超过 $4500 \times 10^4 \text{km}^3$ 。盆地的形状和大小（例如，滨里海盆地的面积是 $90 \times 10^4 \text{km}^2$ ，而其“无花岗岩”部分为 $24 \times 10^4 \text{km}^2$ ）以及基底的下沉深度（滨里海盆地为 23km）本身就决定了在其深部寻找石油天然气的极高远景。但是，与此同时，还有一系列已知的既大又很深的内陆基底拗陷（例如，费尔干纳、特尼斯、米努辛斯克和其它盆地），其油气储量却很少，并且在一系列具有很厚沉积层的海洋盆地之内（例如，西北非、美国东部陆棚、佛罗里达陆棚、阿拉斯加湾等），在钻井过程中取得的成果也极微薄^[46]。因此，越来越多的事实表明，巨大的油气储藏通常出现在深厚的沉积盆地之内，而且是在地壳属于所谓“无花岗岩”型的地区。实际上，至今世界上发现的所有超巨型石油天然气田都与“无花岗岩”盆地有关：墨西哥、北海盆地和波斯湾等。其中每一个的可开采储量都超过 $25 \times 10^8 \text{t}$ ^[40]。从针对“无花岗岩”盆地的含油气性已建立的共同地质构造前提出发，对其它“无花岗岩”盆地也可以预告同样的含油气远景。这种相似性不仅在于其深部结构的特征，也在于其构造、形成史和充填盆地的沉积岩套的成分。其相似性还在于一些指标，如古生代沉积缓慢，而中—新生代沉积速度骤增，其地层的垂向组合和“无花岗岩”洼地中心的生成时期也都有共同之处。在此还发现构造形状几乎相同的二级和三级线性及拱状隆起，同类岩套朝向盆地边缘上升，并伴随着厚度急剧变薄。在所有研究过的盆地内已查明，富含油气构造层的地层体积和构组成分基本相同^[17]。

“无花岗岩”盆地深部的高地热状态也是发现石油天然气大量聚集的重要前提。众所周知，它影响着生成碳氢化物的强度和时问，影响到油气的运移和油藏的形成。大多数已

研究过类型的盆地，如滨里海、北海、维柳伊、波斯湾、斯维尔德鲁朴(岛)、墨西哥等都属于世界上的巨型盐丘盆地，这也是确定区域含油气性具有一定意义的因素。

我们从含油气性的角度出发谈论“无花岗岩”盆地的意义时强调，在当前开采油气的增长速度之下，地质勘探工作的战略原则不应该是单纯地增加储量，而是在于不断地开辟新的油气资源潜力丰厚的巨型含油气地区。根据联合国(OOH)专家们的估计^[40]，到20世纪末，全世界的石油天然气需要量与80年代初相比，将增至1.5~2倍，即到2000年(不到20年)石油的开采量必须达到 $600 \sim 620 \times 10^8 \text{ t}$ ，天然气达到 $30 \sim 35 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

自然，碳氢化合物开采量的这种剧烈跃增只有以开辟大型和巨型油气田为基础才有可能。因此，在初始勘探“无花岗岩”盆地阶段选择靶区的作用就是显而易见的了。在苏联领土内，滨里海、西西伯利亚、南巴伦支和南里海盆地已经在开展紧张的物探和钻探工作，在东西伯利亚的维柳伊和通古斯盆地，中亚的咸海(Аральская)、木尔加布和南塔吉克盆地以及喀拉、白令海、南鄂毕次克、黑海等其它盆地也应该加强勘探工作。

目 录

一、滨里海盆地的深部结构特征	(1)
二、其它“无花岗岩”型盆地地壳的结构和地球 物理参数	(9)
三、“无花岗岩”型盆地地壳结构的综合地球 物理模型	(46)
四、“无花岗岩”型深盆地地质构造的性质和形 成机制	(54)
五、结论	(67)
参考文献	(68)

一、滨里海盆地的深部结构特征

滨里海盆地位于东欧地台的东南边缘。其西面与北面的边界是盆地外缘基底埋藏不深之处，东面是南乌拉尔和木哥扎雷褶皱带，盆地西南与顿巴斯和卡尔平斯克地轴交界，南面边界为潜伏在里海水域内的 авлакоген 系统^[23]。盆地面积大于 $90 \times 10^4 \text{km}^2$ 。利用深地震观测（深地震测深法、大爆破、天然地震转换波法——МОБЗ、共深度点法——МОГТ）已将此盆地研究得很清楚。观测密度达每 km^2 22km 测线^[12]。

地震纵波场统观可分为二类^[14]：边缘带（图1(a)）及中央带（图1(б)）。第一类时距曲线在震源距 20 ~ 50km 内是来自盐层以上沉积层 ($V^* = 2.8 \sim 4.0 \text{km/s}$)、来自盐层顶界面 ($V^* = 4.5 \sim 4.7 \text{km/s}$) 和来自盐层下第一、二个界面 ($V^* = 5.7 \sim 6.6 \text{km/s}$ 和 $5.8 \sim 6.8 \text{km/s}$) 的折射波。在震源距 50 ~ 150km 的记录段内初至波是来自基底的折射波 ($V^* = 5.9 \sim 7.0 \text{km/s}$)，在 150 ~ 170km 段内为来自莫霍界面的折射波 ($V^* = 7.6 \sim 8.4 \text{km/s}$)。从续至波可鉴别出盐层下二个层的反射波，地壳内的反射波和强烈的莫霍界面反射 (M)。M 界面反射波的记录段是 65 ~ 150km， $V^* = 9 \sim 6.7 \text{km/s}$ 。

在第二类时距曲线上，“沉积层”波的记录段延伸到 80km；“无花岗岩层”的波，在 100 ~ 140km 以内，它被 $V^* = 6.4 \sim 7.3 \text{km/s}$ 来自蛇纹岩化超基性岩界面上的波所代

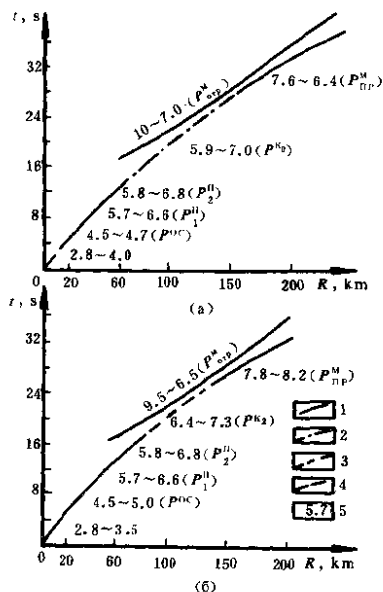


图1 滨里海盆地边缘带(a)与中央带(6)的地震波
试验综合时距曲线图^[14]

1 ~ 4 为折射波时距曲线:

1—沉积岩层界面(P^{OC} , P^H); 2—结晶地壳表面($P_{K_2}^M$); 3—粒
变基性岩组顶界($P_{K_2}^M$); 4—莫霍界面(P_{TP}^M); 5—莫霍界面反射
波时距曲线(P_{OT}^M)

替^[55]。在100 ~ 140km 以上的时距曲线尾端是来自莫霍界
面的折射波, $V^* = 7.8 \sim 8.2 \text{ km/s}$ 。

滨里海盆地的波场特点还在于：没有一个地段在时距曲线的初至波之后不共同出现续至的“花岗岩层”和“玄武岩层”组折射波。第一类多出现在盆地的边缘地带和周围地区，第二类仅出现于中央地带。这两组波在初至区的波场内，其横向上互相置换，并在“沉积层”波之后立即就能追踪到，而后被莫霍界面上的折射波所置换。

文献^[14,44]中对滨里海盆地的基底面起伏描述得很详细。这里只对其结构的一般特点作一描述(图2)。依据基底的埋藏深度、起伏和物质成分，可划分为三大构造区：中央

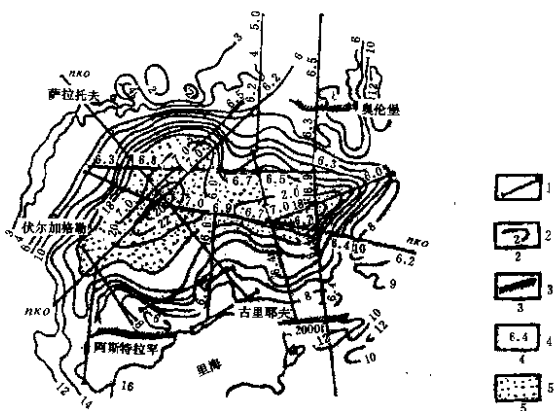


图2 滨里海盆地结晶基底表面起伏图^[14]

- 1—深地震测深剖面；2—等深线；3—基底面下沉陡的地区；
4—界面速度值，km/s；5—“无花岗岩”地壳区

滨里海洼地，边缘带内侧地区和外边缘带地区。中央洼地面积大于 $24 \times 10^4 \text{km}^2$ ，基底面近于水平，埋深 $18 \sim 23 \text{km}$ 。其中央部分由一系列的阶地 ($H=18 \sim 20 \text{km}$) 和凹陷 ($21 \sim 23 \text{km}$) 构成，使其复杂化。其中最大的阶地有霍伯吉夫 (Хобдивский)、阿腊尔索尔 (Аралсорский)、顺加 (Шунгайский)；其凹陷有库舒木 (Кушумский)、富尔马诺夫 (Фурмановский)、卡腊提尤别 (Каратюбинский)。边缘带内侧地区宽数百公里，长度大于 1000km 。基底面在此处深 $5 \sim 16 \text{km}$ ，因一系列巨大阶地 ($H=6 \sim 8 \text{km}$) 而复杂化：阿斯特拉罕 (Астраханский)、北里海 (Северо-Каспийский)、毕伊克贾里 (Биикжальский)、克孜耳—得贾尔 (Кзыл-джарский)、延别克 (Енбекский) 等。其外围与一些深 ($10 \sim 13 \text{km}$) 边缘凹陷相邻，如滨木哥扎尔斯克 (Примугоджарский)、南厄姆巴 (Южно-Эмбинский)、卡腊库尔 (Каракульский) 等。外缘带基底埋深不到 5km ，其结构极不对称：北缘与西缘既窄又陡，南缘与东缘较宽并平缓。

边缘带基底属前寒武纪，而盆地中央的基底是蛇纹岩化的超基性塑性层。边缘带基底的界面速度为 5.8 到 6.5km/s ，而中央洼地下塑性层的界面速度变化甚小，为 $6.7 \sim 6.8 \text{km/s}$ 。

根据盆地内沉积层岩性—物理参数的总合可划分为四套构造—地层组：盐下第一、第二组，含盐组与盐上组^[44]。盐下下组 (第二) 基本分布在洼地中心，由速度高 ($V_{\text{层}} = 4.8 \sim 6.4 \text{km/s}$)、褶皱强，很致密 ($\sigma = 2.7 \text{g/cm}^3$) 的岩石组成，年代初定为下古生代—上元古代，总厚 $8 \sim 14 \text{km}$ 。盐上下组 (第一) 分布很广，厚 $1.5 \sim 4 \text{km}$ ，由泥盆

系、石炭系和下二叠统所组成，主要是低速的 ($V_{L2} = 4.5 \sim 5.6 \text{ km/s}$, $\sigma = 2.55 \text{ g/cm}^3$) 陆相碳酸盐岩。下二叠统孔谷组 ($V_{L2} = 4.5 \sim 5.0 \text{ km/s}$, $\sigma = 2.17 \text{ g/cm}^3$) 的含盐组和晚二叠世新生代沉积 ($V_{L2} = 3.75 \text{ km/s}$, $\sigma = 2.48 \text{ g/cm}^3$) 的盐上组到处都有分布，但厚度变化甚大，从 0 到 10 km。

沉积盖层速度剖面的主要特点是自盐下层直到基底平均速度的剧烈变化，是因有盐丘而造成的。总体说来基底面以上的平均波速在边缘带是 $3.6 \sim 4.4 \text{ km/s}$ ，在中央洼地是 $3.8 \sim 4.3 \text{ km/s}$ [11]。

在盆地范围内莫霍界面深度的变化大于 10 km —— 从中央部分阿腊尔索尔 - 霍勃金隆起处的最低值 (30 km) 到外缘带的 40 km (图 3)。地壳底面深度在盆地周围地区更

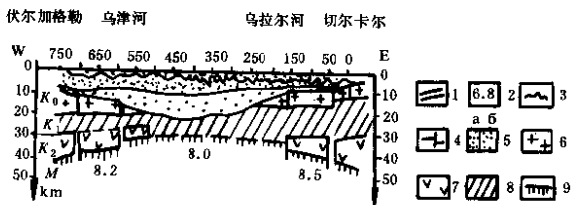


图 3 滨里海盆地内沿切尔卡尔 - 伏尔加格勒深地震测深剖面的地壳截面图 [12]

(由 И. С. Вольвовский 成图)

- 1 — 地震界面 (粗线 —— 结晶地壳顶面 (K_0) 和底面 (M)); 2 — 地震波传播速度值, km/s; 3 — 盐丘; 4 — 断裂; 5 — 沉积岩套 (a — 疏松沉积, $V_{L2} = 3.0 \sim 3.5 \text{ km/s}$; b — 致密岩层, $V_{L2} = 4.7 \sim 5.4 \text{ km/s}$); 6 — 花岗片麻岩套, $V_{L2} = 5.8 \sim 6.3 \text{ km/s}$; 7 — 粒变基性岩套, $V_{L2} = 6.9 \sim 7.2 \text{ km/s}$; 8 — 蛇纹岩化的超基性岩层, $V_{L2} = 6.5 \sim 6.8 \text{ km/s}$; 9 — 上地幔, $V_{L2} = 8.0 \sim 8.5 \text{ km/s}$

大, 在沃罗涅日(Воронежский)陆背斜和卡尔平斯克(Карпинский)地轴下面是 $42 \sim 43\text{km}$ 。在伏尔加 - 乌拉尔陆背斜下面和木哥扎雷山附近为 $43 \sim 45\text{km}$ 。边缘带的莫霍面界面速度为 $8.3 \sim 8.4\text{km/s}$ 。到盆地中央则减为 $8.0 \sim 8.2\text{km/s}$ 。地壳结晶部分的厚度在盆地中央(在此是蛇纹岩化的超基性岩, $V_{\text{基}} = 6.7 \sim 6.8\text{km/s}$, $\sigma = 2.8\text{g/cm}^3$)是 $8 \sim 10\text{km}$, 在边缘带却猛增到 $35 \sim 40\text{km}$, 这是由于此处出现了花岗片麻岩组($V_{\text{基}} = 5.8 \sim 6.2\text{km/s}$, $\sigma = 2.75\text{g/cm}^3$)和粒变基性岩($V_{\text{基}} = 6.9 \sim 7.2\text{km/s}$, $\sigma = 2.9\text{g/cm}^3$), 且厚度骤增之故。因此, “花岗岩”和“玄武岩”仅在盆地周边发育, 并包围着沿盆地的长轴近东西向拉长的无花岗岩地壳地区。在此“窗口”范围之内, 沉积盖层直接覆于蛇纹岩化的超基性岩层之上。根据深地震测深资料可确定: 在上地幔最顶部, M 界面下约 20km 处存在一薄低速层。自此层上界面到 M 界面间的地幔层具有波速剧烈变化的特点(从 8.2km/s 变到 8.7km/s), 并且局部波速最高的地带与阿腊尔索尔和霍勃金处的重力高相吻合。在上地幔较深部分还可划分出一系列不均匀体——低速与高速层。它们与 M 面形态大致吻合, 这些速度不均匀体与壳 - 幔过渡带、地幔物质在破裂带密度的变小或地壳剧烈变薄带的共同存在, 显示出整个岩石圈截面图上下之间的密切关系。

滨里海盆地之内的软流圈顶界面(大地电磁测深法确定它为高导层)深 $90 \sim 130\text{km}$, 较之周围地区要浅 100 余公里(例如在阿克秋宾乌拉尔附近深度是 215km)。导电层偏浅表明盆地下面地幔偏热。热流分布图^[12]也证明了这一点——盆地下面是 $60 \sim 70\text{mW/m}^2$, 这比东欧地台的平均值($40 \sim 45\text{mW/m}^2$)高约 20% 。在 10km 深度处绝对温度

从 100 K 变为 600K。

盆地内的重力场特性也与其周围构造大不相同。在东欧地台呈现总体重力场为正的背景之上，滨里海盆地几乎全呈负值，唯有个别小面积地区接近零值。在霍勃金和阿腊尔索尔隆起地区却呈现数十毫伽的正值重力异常。沿盆地边界显示出较深的重力极小值，达 $60 \sim 100 \text{mgal}$ 。这一负值场 Δg_0 是由较厚的疏松沉积岩层造成的，它在霍勃金和阿腊尔索尔极大值地区的负值影响完全被固结地壳表面的上隆所抵销。

盆地的磁场以负值为主。 ΔT_{is} 的总趋势是自边缘 (400nT) 朝向中央 ($150 \sim 200 \text{nT}$) 逐渐下降，中央是广扩的磁场极小值区。地磁异常场的特点是面积大，而且具有轮廓不明显的等轴形状。深地震测深和天然地震转换波法 ($\Gamma\text{C3-MOB3}$)^[21] 所获资料和速度剖面的分析^[14] 允许人们为滨里海洼地中央部分的地壳结构建立几个别样的模型。问题是出自对低速层 ($V_p = 6.0 \sim 5.8 \sim 6.7 \text{km/s}$) 的地质解释，该层是根据在距离炮点 80km 以后的初至波走时突增，在沉积岩剖面的下部 ($18 \sim 23 \text{km}$ 处) 鉴别出来的。可以设想，沉积剖面在 $15 \sim 18 \text{km}$ 深处以高速层告终 ($V_p = 6.0 \text{km/s}$)，其下面正是低速 ($V_p = 5.8 \text{km/s}$, $H = 18 \sim 23 \text{km}$) 的花岗片麻岩组，即东欧地台的褶皱基底。这种地壳结构模型与位于盆地中央部分的励磁体上端位置比基底顶界的普遍深度浅 $3 \sim 5 \text{km}$ 时的特征相符^[20]。因此，已有的资料使滨里海盆地中央部分的结晶地壳结构存在两种不同的模型——“无花岗岩”型与具有薄 ($5 \sim 7 \text{km}$) “花岗岩”组的模型，表现为波速场的弱逆转带。

在滨里海盆地之内盐上岩套的工业含油气层多出现在上

二叠统、三叠系、中侏罗统和下白垩统地层中。储油层多为砂岩、砂泥岩和砂砾岩。钻井已验证了盐下沉积层的区域性含油气性。钻井所发现的工业含油层中最老的是早石炭世地层。近年来在此接连发现一系列大油气田：油田有田吉兹 (Тенгизское)；扎诺若里 (Жанажольское)；凝析油气田有卡腊查加纳科 (Карачаганакское)；凝析气田有阿斯特拉罕 (Астраханское)。

二、其它“无花岗岩”型盆地地壳的结构和 地球物理参数

在重复为滨里海盆地建立深部结构的主要因素时，每一个相似的构造都表现出其特有的差异，显然，这是由于它们的地质发展阶段不同所造成的。只有研究和比较这些相似及差异才有可能总结出判断盆地是否“属于”“无花岗岩”结构范畴(或类型)的标志。

在欧亚大陆内部及其周边海域共发现十多个“无花岗岩”盆地，其中研究得最好的，除上述滨里海之外，还有西西伯利亚、维柳伊、北海、南白令海、南里海、黑海盆地。这些盆地深部结构的基本特征对于大陆“无花岗岩”构造的所有类型来说都是典型的。

1. 西西伯利亚盆地

盆地位于西西伯利亚地坪北部。其西边和西北边以乌拉尔和派霍伊(Пайхой)褶皱为界；北边和东北以滨海构造和西伯利亚地台为界；南边的边界为基底的中鄂毕—上塔左夫(Среднеобско—Верхнетазовское)隆起系统。盆地面积 $160 \times 10^4 \text{km}^2$ 。其中超深下沉的基底面积为 $85 \times 10^4 \text{km}^2$ 。

在盆地范围内完成了4条深地震测深(ГСЗ)剖面(大爆破法)^[22]，5条天然地震转换波法(МОБЗ)^[49]，10条区域性对比折射法(КМПВ)剖面和一系列共深度点法剖面，研究深度达 $10 \sim 12 \text{s}^{[50]}$ 。ГСЗ 和 МОБЗ 法剖面总长度达 4750km，相当于平均观测密度——每千 km^2 上