

日本的天然气水合物地质调查工作

宋海斌^{1,2} 松林修²

1(中国科学地质与地球物理研究所 北京 100010)

2(日本地质调查所 筑波 3058567)

摘要 介绍了日本天然气水合物研究概况、研究计划和对日本南海海槽天然气水合物的地质调查工作。

关键词 天然气水合物 日本 南海海槽

由于日本国内缺乏常规油气资源,因此对海洋天然气水合物的开发寄予厚望。日本基于其雄厚的经济实力投入巨资设立国家计划,组织石油公司、国立研究所、大学的研究与技术人员开展海洋天然气水合物研究、勘探工作。并积极开展国际合作(包括加拿大、美国等),充分结合深海钻探 DSDP/大洋钻探 ODP 的工作,取得了世人瞩目的成就。日本在世界天然气水合物的勘探与研究中占非常重要的地位。因此,介绍日本在其周围水域特别是南海海槽的海洋天然气水合物研究工作是很有必要的。

1 日本天然气水合物研究简况

日本对天然气水合物的研究可简单分为两个阶段,5年(1995~1999)计划开始前与5年计划开始后,也就是1994年以前与1995年以后。

5年计划开始前,在20世纪80年代晚期,有一些国产研究所,主要是地质调查所开展了小规模甲烷水合物研究,目的是调查日本周围海域水合物存在的可能性。其他工作通常是通过国际交流完成的。南海海槽的深海钻探31航次、87航次、大洋钻探131航次,日本海的大洋钻探808孔均钻取了水合物岩样,得到水合物存在的依据。作为1995年ODP164航次首席科学家的Mastumoto博士也无疑给日本的水合物研究增添了活力。

5年计划开始后,石油公司团组织10家公司开展东南海海槽调查与钻探工作,其主要工作是钻探及其相关技术,集中在水合物是否能成为将来的能源这一主题上。而地质调查所与东京大学等的一些科学家还在其他项目的支持下开展深入的研究工作。自1994年以来,日本地质所与东京天然气公司、大阪天然气公司、日本石油勘探公司合作进行天然气水合物的基础研究。1997~1999年通产省下的新能源·产业技术综合开发机构NEDO还设立了以研究为主题的项目——天然气水合物资源化技术先导研究开发。日本的主要精力花在西南海海槽与东南海海槽的天然气水合物勘探、钻探与研究。至今为止,在这两个地区积累了丰富的地球物理(包括多道地震、高分辨率地震、深拖地震、海底地震仪观测、广角地震、“学院式”三维地震、高精度热流等等)、钻探、深潜器、地质与地球化学资料。这两个地区可以说是世界

天然气水合物研究最合适的工作区之一(其他两个为布莱克海台与 Cascadia 大陆边缘)。这一阶段国际合作更加广泛,有例行的日加工作会议(加大方主要是冻土带与 Cascadia 大陆边缘水合物的研究者),美国、法国科学家也常常来日本完成有关工作。

2 日本天然气水合物研究计划与研究方向

2.1 研究计划

日本天然气水合物与研究方向。日本天然气水合物的海洋地质与地球物理研究主要由日本地质调查所、日本石油公团以及有关的公司(如日本石油勘探公司 JAPEx)、东京大学等三个部分组成。基于 1993 年的实例研究,地质所估算了日本周围海域的甲烷水合物资源量大约为 $6 \times 10^{12} \text{ m}^3$,是 1992 年日本全国天然气消耗量的 100 倍。许多研究者指出日本周围的深海沉积物中的甲烷水合物蕴藏有巨量甲烷。上述估计与观点影响了日本石油委员会,他们在 1994 年向通产省提交了一份水合物研究建议书。建议书在国家第 8 个 5 年计划内,也就是在 1995~1999 年计划进行地球物理与钻探调查,并在 1999 年钻探天然气水合物。1998 年在加拿大马更些三角洲冻土带水合物的钻探是该项目的重要组成部分。在通产省的资助下,日本石油公团开始执行“作为未来能源的甲烷水合物的评估”项目。计划的评估方法包括地震调查和野猫井钻探。野猫井命名为通产省南海槽井(MITI“Nankai Trough”),在 1999 年末钻探作为非常规油气藏的甲烷水合物推进委员会。为了 1999 年的南海海槽的成功钻探,委员会在 1996 年实施了与钻探、地球物理调查有关的技术上的综合研究。然后,与天然气水合物勘探有关的大部分科学家与技术人员集中研究钻探计划。项目还包括 1995 年 ODP164 航次钻探的初步研究及与加拿大、美国、俄罗斯开展冻土带钻探的国际合作。

与钻探为主题的项目相对应,1997~1999 年通产省下的新能源·产业技术综合开发机构 NEDO 还设立了以研究为主题的项目——天然气水合物资源化技术先导研究开发。由通产省工业技术院的日本地质所、日本海洋钻探公司、能源综合工学研究所、工程振兴协会等 4 个单位合作进行天然气水合物的探查、钻探、利用系统、环境影响 4 个方面的深入研究,取得了丰硕的成果。

这两个计划已于 2000 年 3 月完成,在 2001 年 3 月前新的研究计划还没有开始实施。由于野猫井的钻探取得了令人鼓舞的成果,预测很快就会开始实施新的大型项目。

2.2 甲烷水合物相图研究

日本地调所利用实验得到了甲烷水合物相图。具体包括以下几个方向:①研制了甲烷水合物合成仪器,并进行了改进以观测甲烷水合物的合成与分解过程;②研究了纯水与纯甲烷合成甲烷水合物、甲烷水合物分解的温压条件,研究表明甲烷水合物形成与分解相比,需要较低的温度、较高的压力;③用盐水与纯甲烷合成甲烷水合物,盐水的相平衡曲线与纯的相平衡曲线相比向低温、高压方向移动;④利用甲烷水合物合成实验了解温度、压力(水深)、气体与水的组分等因素的相互关系;⑤利用甲烷水合物实验得到的相图,探讨甲烷水合物自然界中的赋存条件与注入暖和的盐水进行甲烷水合物开发的模型^[2],地震反射剖面上的 BSR 与实验得到的相图相关联。

2.3 周围海域天然气水合物分布研究

自 1974 年以来,日本地调所利用 R/V Hakurei-maru 号在日本周围海域进行海洋地质与地球物理调查,编制海洋地质图。同时,通产省在 2 000 m 水深范围内进行了以海上石油

与天然气勘探为目标的地球物理调查。这些调查获得的反射地震剖面的分析表明,BSR 主要分布在南海海槽的内陆坡与北海道周围海域。

(1) 南海海槽的地质背景与 BSR。南海海槽是上新世以来菲律宾海板块向欧亚板块俯冲形成的年轻海沟。在水深 800~2 000 m 的内陆坡,分布有数个上第三系沉积物充填的弧前沉积盆地。在弧前盆地的外侧,较深的陆坡处有增生楔发育。BSR 通常分布于南海海槽北侧的弧前盆地内。形成单个“圈闭”,这些“圈闭”与局部地形高有关,并可能与下部的沉积与基底构造高对应。区域上 BSR 分布于南海海槽的下陆坡、增生楔发育的地方。通常被逆冲断层错断,并被滑坡堆积扰动,因此 BSR 的分布相当复杂。在南海海槽区深海沉积盆地的 BSR 分布区,地震反射较强,可能与甲烷水合物层下方游离气的存在有关。

(2) 北海道周围的地质背景与 BSR。由于北海道岸外海水温度较低,因此 BSR 广泛分布于北海道周围海域,特别是鄂霍次克海水深超过 500 m 的地方,强 BSR 分布较多,值得指出的是,这一地区一些 BSR 与水合物无关,代表的是蛋白石的相变带,这些 BSR 为正极性。

日本周围海域有两种 BSR 分布类型,一种是闭合的,大体与下部地层地质构造有关的地形高对应;另一种是平坦/平原类型,BSR 分布均匀并与沉积平原对应。前一种在南海海槽深海台地的东端非常典型。1983 年在深海台地附近,有一口老的勘探井,深达 469 m(比 BSR 浅)。钻遇的下部地层——下中新统有丰富的生烃潜力与相当高的成熟度,也有气显示。但是,在这一地区,可能有深部供给的热成因气运移到水合物稳定带。而后者主要分布在鄂霍次克海地区,那里分布着厚厚的比下中新统还年轻的地层。

基于多年研究,Krasov 与 Matsumoto 估算了日本南海海槽天然气水合物的体积为 $(0.42 \sim 4.20) \times 10^{12} \text{ m}^3$ 和 $(0.8 \sim 8.0) \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。Saton 等估算了四国岸外南海海槽地区的天然气水合物与有关的游离气资源量,分别为 $2.71 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 与 $1.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

3 对日本南海海槽天然气水合物的地质调查

3.1 对西南南海海槽的天然气水合物调查与钻探

南海海槽从本州中部岸外、延伸到四国岸外,再向南到九州以东,最大水深 4 800 m。南海海槽地区的地质与地球物理资料非常丰富。有工业部门与研究机构的反射与折射地震数据、完整的水深与旁侧声纳数据、大量的热流分析数据以及四个航次(31、87、131、190)的 DSDP/ODP 数据。值得指出的是,在 1999 年 6 月~8 月日美合作还采集了 80 km 宽 8 km 的三维多道地震数据。

高分辨率的地震剖面揭示了通过增生楔的数个构造单元的面貌,根据 Ewing 9907/9908 航次 3 维地震数据的解释表明,沿着 Muroto 断面自海沟向陆方向,增生楔可划分为南海海槽轴心带、原逆冲带 PTZ(proto-thrust zone)、叠瓦状逆冲带 ITZ(imbricate thrust zone)、前缘无序逆冲带 OOSZ(out-of-sequence thrust zone)、大个逆冲板片带 LTSZ(large thrust slice zone)与向陆倾斜反射带 LDRZ(landward-dipping reflector zone)。

虽然 2000 年的 190 航次没有采获天然气水合物实物,但有其存在的间接依据。在陆坡上的 1176 站位与 1178 站位,温度测量与孔隙水氯离子浓度数据都指示有天然气水合物。由于水合物在外界温度与压力条件下是不稳定的,因此在采获过程中,水合物分解了。如果不是特别丰富的话,采获固体水合物不太可能。

1176 与 1178 站位位于海水甲烷水合物稳定带内。由于在这些站位甲烷是主要的气体,

而且这些站位是非热成因的大洋站位,如果存在天然气水合物,必定是甲烷水合物。甲烷水合物的形成是一个高度的放热反应,而它的分解需要消耗大量的热能,并使岩心冷却。在 1176 站位的两个钻孔,在距海底 220~240 m 处测量到比周围还冷的温度,才 4~5℃。由于岩心采收率很低,在 240~320 m 范围没有数据。孔隙流体氯离子浓度指示比其他稀释过程少稀释约 1%。

在 1178 站位,天然气水合物似乎特别丰富。基于孔隙流体氯离子浓度资料,在 120~400 m 之间存在甲烷水合物,在 150~200 m 处,测量到 4~6℃ 的温度。

在 1178 站位,氯离子浓度—深度剖面显示,在 90~200 m 有较陡的下降,并有两个极小值,第 1 个位于 170~185 m,第 2 个极小值为 524 mM,而底水的值为 558 mM。这对应甲烷水合物分解造成大于 6% 的稀释。在 150~200 m 之间背景稀释值为 3%。在 200~400 m 之间,氯离子浓度继续下降,逐渐从 547 mM 下降到 BSR 深度(420 m)处的 517 mM,对应 7% 的稀释。

在氯离子浓度剖面上,叠加在背景值上有很多极小值。这表明在 90~400 m 之间,存在分散状的天然气水合物,对应 3%~4% 的氯离子稀释值,特别是粗颗粒的沉积层中有较高的饱和度,对应 6%~7% 的稀释值。

在 BSR 下方,氯离子浓度急剧下降,500 m 处达到 470 mM 的最小值,至少 6% 的稀释值。这个低值带的原因仍然不清楚。这可能与更丰富的古 BSR 对应,水合物分解来不及释放稀释信息。与这一情形对应,在这一深度,有高浓度的甲烷。沉积与构造可能导致这种 BSR 的向上移动。

3.2 对东南海海槽天然气水合物的调查与钻探

3.2.1 1996 年的地震调查与井位确定

东南海海槽地区被选为调查区有以下原因:①在这一地区有常规油气远景;②在水深小于 1 000 m 的浅水区发现有 BSR;③BSR 分布区与深部油气目标在同一位置。此外,南海海槽地区接近日本太平洋海岸工业带,是日本最大的油气消耗地区,开采甲烷水合物中的天然气在运输上方便。

日本石油公团 JNOC 于 1996 年在东南海海槽进行了常规与高分辨率地震调查。与常规地震相比,高分辨率地震给出了层理、断层、BSR 等较好的横向与垂向分辨图像。与常规地震相比,高分辨地震调查的气枪体积小、气枪与检波器的深度浅、采样间隔小、道间距也小。处理方面,只应用了几何扩散校正、没有使用自动增益控制以保持相对真振幅信息,没有用倾斜时差校正与多次波压制以不扭曲子波波形。在高分辨地震记录上,BSR 有以下特征:与海反射相比为反极性,相对高的振幅及部分不连续与不清楚(不是单个层而是高振幅带)。

处理结果表明,调查区内有 4 块明显的 BSR 分布区,分别是东南陆坡(水深 900~1 500)、第一 Tenryu 圆丘南部斜坡(水深 600~800)、Tenryu 峡谷与 Ryuyo 峡谷之间的鼻状地形区(水深 900~1 200)、第二 Tenryu 圆丘的西坡(水深 500~1 200)。在第一与第二 Tenryu 圆丘的顶部,水深小于 500 m,没有识别出 BSR,这些地区的温压条件不能满足水合物稳定带的存在。

建议的通产省南海海槽位于 Tenryu 峡谷与 Ryuyo 峡谷之间的鼻状地区;井位处 BSR 的深度为 290 m。

勘探区的附近通产省有 2 口钻井,即“Sagara”与“Omaezaki-oki”的上渐新统与“Sagara”

的上渐新统与下中新统的 TOC 为 0.5%~1%, 据此, 认为它们是烃源岩。预测成熟的烃源岩 ($R_o \geq 0.5$) 在“Omaezaki-oki”井 3 000 m 以下, 在下沉地区大部分的上渐新统与下中新统被认为是成熟的。特别 Tenryu 峡谷地区有厚厚的沉积, 烃类物质在那里生成。“Sagara”井的 Sagara 组有大于 20% 的孔隙度, 通过 DST 测试证实有天然气产出。Sagara 组被认为是在这个地区广泛分布, 有砂岩发育。

与生物成因天然气有关的冷泉被深潜器、ROV 调查与流体分析观测或检测到。被认为是由水合物分解形成的流体与天然气造成的。这样的冷泉主要分布在平行南海海槽轴向的断裂处, 并存在 Calyptogena 生物群落。在活动断裂附近也观测到大尺度的凹坑状的凹陷, 这些凹陷的成因被解释为与活动断裂的活动有关的水合物的分解相联系。石油公团在 Ryuyo 峡谷的一个活塞样品中发现富甲烷天然气的 $\delta^{13}\text{O}$ 值为 -75.4‰, 意味着其是生物成因。

根据石油公团的地震调查资料(包括 1996 年的高分辨率地震)确定了野猫井的位置。建议的野猫井距 Tenryu 河口 40 km。它位于第一 Tenryu 圆丘的西南延伸部分上, 在北西以 Tenryu 峡谷为界, 在南东以 Ryuyo 为界。圆丘与峡谷在周围区域也很发育, 局部地形的走向与南海海槽平行, 为北东东—南西西向。野猫井的选取主要是因为在同一位置上识别出中新统远景目标与清晰的似海底反射层。也就是说, 通产省—石油公团计划的野猫井, 一方面勘探甲烷水合物, 另一方面勘探 BSR 下方的游离气与深部常规油气藏。从勘探甲烷水合物的角度来说, 钻探的目标是澄清 BSR 的成因与甲烷水合物的产状, 评估 BSR 下方的游离气, 收集帮助阐明甲烷水合物经济意义的基本数据。这一野猫井水深 950 m, BSR 深度是距海底 290 m, 设计井深距海面 2 800 m。

3.2.2 1997 年的井位调查

1997 年石油公团进行了 1999 年野猫井的井位调查, 包括钻了两口深达 250 m 的井、间断取样与地震调查。目的是预测浅层气的分布以预防钻井灾害, 为设计 1999 年的钻探下套管计划提供技术资料。采集样品以检查甲烷水合物的存在与否, 并进行一些地质评价的参数测量。

在两个深约 250 m 钻孔中采集了样品。证实地层有足够的强度放置套管。钻探时温度测量表明地温梯度为 $4^\circ\text{C}/100\text{ m}$, 海底的温度为 $3\sim 4^\circ\text{C}$ 。利用地温梯度与 Dickens 等(1994)的相图, 甲烷水合物稳定带的底界在 250~300 m。钻取的地层包括了大部分甲烷水合物稳定带地层, 采集的岩芯包括以泥岩为主的碎屑沉积, 并有少量沙层, 但在井孔的下部有更多的沙层。虽然岩芯中没能观测到甲烷水合物, 没有甲烷水合物的直接存在依据, 但一些层的孔隙水氯离子浓度较低表明可能存在水合物。

井位调查时取得的地震剖面上, BSR 的分布清晰明了。与 1996 年的高分辨地震相比, 浅地震数据有非常高的分辨率。由于新剖面上的 BSR 不连续, 原先设计的井位向南南东方向移 300 m。新井位处有连续的 BSR, 在它的下方有连续的反射层, 推测与气水界面有关。BSR 的不连续被认为是与地层孔隙与渗透率的不均匀分布有关。一个倾斜的高孔隙度的砂岩层在层内可能有水平的 BSR。而不渗透的泥岩层, 不含水合物, 没有 BSR。甲烷水合物在倾斜层中发育, 形成了不连续的 BSR。

3.2.3 1999 年的钻探工作

2000 年 1 月 20 日, 日本石油公团发布了东南海海槽水合物钻探与评价的初步成果。

作业者为 JAPEx。井位离 Shizuoka 省的 Omaezaki Spur 岩外 Tenryu 河出海口 50 km, 水

深 945 m。计划井深距海面 2 800 m,距海底 1 855 m。钻机是美国 Reading & Bates Falcon Drilling 公司的“M. G. Hulme Jr.”。预算为 50 亿日圆。井位的 WGS-84 坐标为 137°44'52'E、34°13'08"N。

1999 年 11 月 12~14 日,为调查浅层气,进行了水深 945 m、井深 1 600 m 的第一口先导孔钻探。为了预报钻探的热引起水合物分解有可能造成的天然气的突然排出,在井孔处装备有遥控潜水器 ROV(Remotely Operated Vehicle)进行监测。但在钻探过程中,没有发现排出的天然气。

1999 年 11 月 14~16 日为了检查水合物是否存在并预报其深度,进行了带随钻测井的水深 945 m、井深 1 486 m 的第二口先导孔钻探。在反射地层资料预测的深度处,发现了高电阻率层的存在。

1999 年 11 月 16 日,主孔开钻。1999 年 11 月 19 日~12 月 2 日。进行了常规的取芯。在 1 110~1 146 m 与 1 151~1 175 m 处进行了 5 次取芯,采收率为 35.5 m/60 m。在 1 254~1 272 m 处尝试了保温保压取芯仪,采收率为 5.5 m/18 m。石油公团研制开发的保温保压取芯仪第一次在日本海域使用。但是,由于操作困难,保温保压取芯没有完成。在 1 175~1 254 m 尝试了 27 次保温保压取芯,采收率为 27.0 m/79 m。

利用保温保压取芯仪与其它取芯仪采获了 1 110~1 272 m 处的一些砂岩层。根据岩样释放的大量天然气、异常低的岩样温度与孔隙水氯离子浓度低异常,证实了在 1 152~1 210 m 处总厚 16 m 的三层沉积物中存在甲烷水合物。

在岩芯被带到船上时,已经没有水合物存在了,一些沉积物可能由于气体流动与后续的脱水作用显得有些扭曲。因此,没有采获固体水合物,至今为止,天然气水合物量的估计是根据氯离子浓度的分析计算得到的。这三层沉积物中天然气水合物占总体积的 20%,因此,饱和度高达 80%,是布莱克海台的 10 倍。初步估算,含有 $525 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的甲烷气。这些钻探成果表明,从水合物中提取甲烷是有前途的。

虽然被发现的水合物层比希望的要薄,但水合物饱和度特别高,达到 80%,钻探的结果是有前景的,以后的研究与开发活动更实在了。如果有足够量的水合物被识别,开采方法达到完善,估计开始甲烷水合物的商业开采的最早时间为 2010 年左右。甲烷水合物的采收率达到 10%,就被认为完全有经济价值。

4 小结

对西南海海槽与东南海海槽的一些新资料(三维地震、高精度热流、钻探资料)深入的综合研究无疑会给世界水合物研究增添新的内容。此外,新一轮勘探开发研究也即将实施。其中包括:ODP196 航次于 2001 年将在西南海海槽进行钻探,会进行随钻测井测量、并安放一些长期观测设备;集中在双 BSR 与天然气水合物的动态演化这一主题上,关于在东南海海槽 ODP 的进行钻探建议也有几年了,将来可能也会实施。因此,日本南海海槽的天然气水合物研究更会举世注目。

主要参考文献

- 1 Okuda Y.. Natural gas hydrate as future resources. Jour. Jap. Inst. Ener., 1993, 6:425~435.

- 2 Okuda, Y.. Introduction to exploration research on gas hydrates in Japan. Bulletin of the Geological Survey of Japan, 1998, 49(10): 494~500.
- 3 Yamano, M., Uyeda, S., Aoki, Y., *et al.* Estimates of heat flow derived from gas hydrates. *Geology*, 1982, 10: 339~343.
- 4 Ashi, J., and Taira, A.. Thermal structure of the Nankai accretionary prism as inferred from the distribution of gas hydrate BSRs. In Underwood, M. B. (Ed.), Thermal evolution of the Tertiary Shimanto Belt, Southwest Japan; an example of ridge-trench interaction. Spec. Paper. — Geol. Soc. Am., 1993, 273: 137~149.
- 5 Karig, D. E., Ingle, J. C., Jr., *et al.* Init. Repts. DSDP, 31; Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1973.
- 6 Kagami, H., Karig, D. E., and Coulbourn, W. T., *et al.* Init Repts. DSDP, 87; Washington (U. S. Govt. Printing Office). 1986.
- 7 Taira, A., Hill, L., Firth, J. V., *et al.*, Proc. ODP, Init. Repts., 131; College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1991.
- 8 Matsumoto, R., Watanabe, Y., Sato, M., *et al.* Distribution and occurrence of marine gas hydrates—Preliminary result of ODP leg 164; Blake Ridge Drilling. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 1996, 102: 932~944.
- 9 Maekawa, T., Imai, N. Stability conditions of methane hydrate in natural seawater. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 1996, 102: 945~950.
- 10 Kuramoto, S. Geophysical investigation for methane hydrates and the significance of BSR. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 1996, 102: 951~958.
- 11 Satoh, M., Maekawa, T., Okuda, Y.. Estimation of amount of methane and resources of natural gas hydrates in the world and around Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 1996, 102: 959~971.
- 12 Arato, H., Akai, H., Uchiyama, S., *et al.* Origin and significance of a bottom simulating reflector (BSR) in the Choshi Spur Depression of the Offshore Chiba Sedimentary Basin, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 1996, 102: 972~982.
- 13 Matsubayashi, O. Heat flow measurement as an exploration tool for subbottom methane hydrates. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 1998, 49: 541~549.
- 14 Matsubayashi, O., Edwards, R. N. Relationship between electrical and thermal conductivities for evaluating thermal regime of gas hydrate bearing sedimentary layers. *The Annals of the New York Acad. of Sci.*, 2000, 912: 167~172.
- 15 Aoki, Y., Shimizu, S., Yamane, T., *et al.* Methane hydrate accumulation along the western Nankai Trough. *The Annals of the New York Acad. of Sci.*, 2000, 912: 136~145.
- 16 Moore, G. F., Shipley, T. H., Stoffa, P. L., *et al.* Structure of the Nankai Trough accretionary zone from multichannel seismic reflection data. *J. Geophys. Res.*, 1990, 95: 8753~8765.
- 17 Stoffa, P. L., Wood, W. T., Shipley, T. H., *et al.* Deepwater high-resolution expanding spread and split spread marine seismic profiles in the Nankai Trough. *J. Geophys. Res.*, 1992, 97: 1687~1713.
- 18 Hyndman, R. D., Wang, K. and Yamano, M. Thermal constraints on the seismogenic portion of the southwestern Japan subduction thrust. *J. Geophys. Res.*, 1995, 100: 15373~15392.
- 19 Tsuji, Y., Furutani, A., Matsuura, S., *et al.* Exploratory surveys for evaluation of methane hydrates in the Nankai Trough area, offshore central Japan. *Methane hydrates, Resources in the near future, JNOC-TRC*, 1998: 15~25.
- 20 Bangs, N. L., Taira, A., Kuramoto, S., *et al.* U. S. — Japan Collaborative 3-D seismic investigation of the Nankai Trough plate-boundary interface and shallowmost seismogenic zone. *Eos*, 1999, 80: F569.
- 21 Kuramoto, S., Hiramura, J., Joshima, M., *et al.* Nature of gas hydrates in the Nankai Trough accretionary prism. *Methane hydrates, Resources in the near future, JNOC-TRC*, 1998: 43~47.
- 22 Kuramoto, S., Taira, A., Bangs, N. L., *et al.* Seismogenic zone in the Nankai accretionary wedge; General summary of Japan—U. S. collaborative 3-D seismic investigation. *Jour. of Geography*, 2000, 109(4): 531~539.
- 23 Martin, V., Lallemand, S. J., Pascal, G., *et al.* Structure and tectonics of the 2000 French-Japanese 3D seismic studies, the Second Joint Japan—Canada Workshop, 2000: 256~273.
- 24 Tono, S.. Japanese strategy for the R&D of methane hydrate; resources evaluation and operational point of view. Abstract, Gas Hydrates Symposium, Geoscience (Keele, U. K.), 1998. 10.

- 25 Matsumoto, R. Methane hydrate estimates from the chloride and oxygen anomalies; Examples from the Blake Ridge and Nankai Trough Sediments. Methane hydrates; Resources in the near future, JNOC-TRC, 1998. 49~53.

香山科学会议第 160 次学术讨论会与会人员名单

金翔龙	(院士,国家海洋局)
戴金星	(院士,中国石油勘探开发研究院)
金之钧	(教授,北京石油大学)
郭天民	(教授,北京石油大学)
侯学志	(高工,大庆油田建设设计研究院)
张 锐	(高工,大庆油田建设设计院)
葛树生	(高工,大庆油田建设设计院)
黎明碧	(高工,国家海洋局)
于晓果	(副研,国家海洋局)
方银霞	(副研,国家海洋局)
马在田	(院士,同济大学)
翁焕新	(教授,浙江大学)
陈汉林	(教授,浙江大学)
吴必豪	(研究员,中国地科院)
张启明	(教授,中国海洋石油南海西部公司)
朱伟林	(高工,中国海洋石油总公司)
张 抗	(教授,中国石化股份有限公司)
宋 岩	(教授,中国石油勘探开发研究院)
夏新宇	(高工,中国石油勘探开发研究院)
何丽娟	(助研,中科院地质所)
宋海斌	(副研,中科院地质与地球物理所)
赵振华	(研究员,中科院广州地化所)
陈多福	(研究员,中科院广州地球化学所)
樊栓狮	(研究员,中科院广州能源研究所)
欧阳自远	(院士,中科院贵阳地球化学所)
泰蕴珊	(院士,中科院海洋所)
汪品先	(院士,同济大学)
吴时国	(研究员,中科院海洋所)
王先彬	(研究员,中科院兰州地质所)
雷怀彦	(研究员,中科院兰州地质所)
周 蒂	(研究员,中科院南海海洋所)
史 斗	(研究员,中科院资环科学信息中心)
贾承造	(高工,石油股份公司总裁办公室)
张金东	(高工,中科院资源局)
杨炳忻	(教授,香山科学会议)
赵生才	(高工,香山科学会议)