

# 地球深层天然气

吉江照一

(日本能源综合工学研究所)

**摘 要** 介绍了天然气成因学说、地球深层天然气研究状况和一些国家超深钻探计划的文献调查结果,认为研究开发地球深层天然气有重要意义。

**关键词** 天然气 天然气成因 地球深层天然气

## 1 前言

天然气作为一种洁净、方便的化石燃料被广泛使用,占全世界一次能源消费的20%。地球环境问题的严重化、反原子能发电运动的高涨及中东局势的紧张化,使得天然气的重要性越来越突出。可以说天然气的资源量与石油基本持平,到21世纪将面临着枯竭的危险,但近来地球深层的非常规天然气资源颇受关注,其开发前景十分广阔。

在这种背景下,能源综合工学研究所于1989年受通产省资源能源厅的委托,对地球深层天然气进行了文献调查。调查的内容是与地球深层天然气有关的理论、探矿和钻探技术发展以及日本国内的研究现状。在实施该调查时,设立了地球深层天然气实证调查委员会(委员长:功刀泰硕,东京大学名誉教授)及其下属的调查分会(调查主任:星野一男)。本文将介绍该项调查研究成果。

## 2 关于天然气成因说

天然气的成因说,大体可分为有机成因说和无机成因说两种。

### 2.1 有机成因说

有机学说认为石油和天然气的成因是生物起源有机物变质所致,在有机学说中目前占主流的是干酪根来源假说。所谓干酪根是指沉积岩中不溶有机质,即没有一定化学结构的高分子有机物。干酪根受地层温度和压力的影响,成熟演化生成了碳氢化合物,然后运移并聚集到由孔隙率较高的砂岩和碳酸盐岩所构成的储层中形成了油藏。为说明石油和天然气的形成过程而进行的干酪根成熟演化的实验研究结果,与在实际沉积层中观察到的事实一致。人们把含有大量干酪根并能产生大量烃的沉积岩称为油气源岩。关于油气从源岩到储层的运移机理是干酪根来源说的主要研究课题。

### 2.2 无机成因说

对于石油、天然气的起源问题,相对于有机成因说,无机成因说的提出比较早。早期的无机成因说中有化学家巴朗德罗和门捷列夫提出的电石假说。该学说的主要内容是:在地球深部,二氧化碳与由碱性金属生成的电石以及深部的金属电石反应生成了乙炔,经聚合或缩合反应后生成了各种碳氢化合物。而俄罗斯的地质学家索罗科夫提出了石油的宇宙成因假说。

石油蕴含在星云物质中,在太阳系形成之际作为雨凝结降到地表后,通过沉积作用,被吸入地球内部,然后再通过地球脱气作用排出地表。无机成因说近年来倍受关注是与 T. Gold 密切相关的。Gold 生于澳大利亚,是毕业于英国剑桥大学的天文学家,曾经执教于美国的哈佛、康奈尔大学,退休后作了 Trinity 学院的名誉教授。以下介绍的无机成因说主要包括 Gold 与东京大学肋田教授的地球深部起源假说。

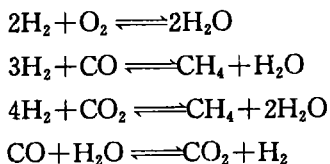
### 2.2.1 Gold 的地球深层天然气学说

Gold 在他的著作“Power from the Earth”(来自于地球的能量)中详细介绍了地球深层天然气。在地球深部,存在大量的原始甲烷,其是天然气的供给源。因为太阳系的原始陨石和行星大气中存在甲烷及其构成元素氢和碳,所以地球中也应该存在这些物质,从地球大气的元素丰度来看,该两种元素大部分应该处于地球内部。地壳中的油田、天然气田是在地球深层的甲烷向地表释放过程中形成的。Gold 还提供了地球深层天然气存在的证据,主要包括:①海岭、火山湖、泥火山和红海等地壳裂缝喷出的甲烷不是生物起源的甲烷,也就是说,世界上大多数的油田和天然气田分布在与地壳深部大规模构造运动有关的线性或弧形地域。在东太平洋海盆海岭和非洲火山湖有喷出甲烷现象,从典型的地壳裂缝之一的红海深部,涌出着超过通常海水浓度一千倍的盐水;②不仅是沉积层产出有石油和天然气,位于其下方的结晶基岩中也有富含碳氢化合物的潜势。③深部高温岩层产出的石油几乎没有表征出生物起源的证据(光学活性和碳的奇偶性质)。

但在地球深部的温度和压力的条件下,甲烷能否稳定存在的问题现在还不完全明确。Gold 引用了苏联学者切卡纽克的研究,推论出在地下 100~300 km 深度大部分的碳氢化合物是稳定的。

### 2.2.2 肋田的火山作用说

肋田基于日本东北部以火山岩为储集岩的天然气中氮的同位素异常高的现象,认为存在于 green tough 层中的天然气是由源于地下岩浆中的二氧化碳和氢等反应生成的,并提出了以下化学反应。



在这组反应中,高温下  $\text{CO}_2$  占优势,降低温度则甲烷浓度增加,所以含有岩浆的火山灰经过长时间与海水的接触发生低温变质,有生成甲烷的可能性。图 1 是肋田对日本国内的天然气试样的同位素分析结果。从这些结果推论出 green tough 层中的天然气中含有 30%~40% 的岩浆起源气体。

以下简单的谈一下图 1 中所示的碳与氮的同位素比。大部分碳原子质量数为 12,但其中掺杂着 1% 的质量数是 13 的碳原子。 $^{13}\text{C}$  的比例越高,被视为无机起源的天然气的可能性也就越大,其衡量标准是  $\delta^{13}\text{C}$ ,即用千分比表示的同位素  $^{13}\text{C}$  和  $^{12}\text{C}$  比的标准物质差。该值越大,无机的倾向越大。氮的同位素中原子质量数一般是 14,但存在极少量的质量数是 15 的氮。 $^{15}\text{N}$  是由于岩石中的铀和钍等元素发生放射性衰变产生的物质, $^{15}\text{N}$  是被地幔等地球内部所吸收的原始物质。因此  $^{15}\text{N}$  与  $^{14}\text{N}$  比例较高的天然气来源于地球深层而且无机起源的可能性更大。

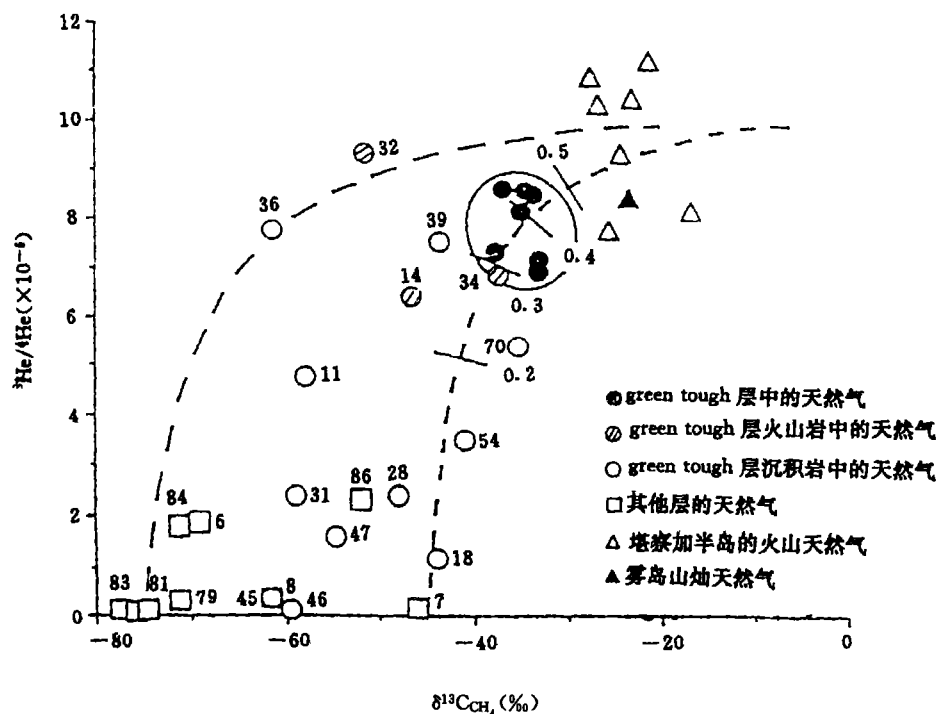


图1 日本国内天然气氦、碳同位素比

### 3 关于地球深层天然气研究

#### 3.1 美国的研究状况

支持 Gold 并对地球深层天然气产生兴趣的芝加哥天然气研究所(美国天然气研究所),从 1979 年到 1988 年的 10 年间进行了题为《天然气的成因和运移》的调查研究。接受了该项委托的全球地球化学组织于 1989 年 3 月归纳总结出了《地壳天然气分析》的最终报告。该书分析研究了采自美国国内的商业天然气田的 600 个天然气样品,其主要结果如下:① $\text{CH}_4$  中  $\delta^{13}\text{C}$  的值大于  $-20\text{‰}$  时,无机起源的可能性较大,  $(^3\text{He}/^4\text{He}) > 0.1 (^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{air}}$  时,氦是深层起源的可能性很大;②北加利福尼亚的 sakurament 盆地中的一部分天然气被认为是无机起源;③美国中部的一部分天然气田中 1%~10% 的甲烷是无机起源。

1987 年在亚利桑那州的菲尼克斯召开了美国地质学会有机地球化学机构的专题讨论会——“地球甲烷的成因”,该书是将这次讨论会的论文及其相关论文归纳总结之后于 1988 年出版的。书中讨论大气甲烷、浅层细菌甲烷、深层热分解甲烷、商业气田甲烷以及在非生物甲烷等多种甲烷的成因问题。其结论是多种多样的,而且商业气田中也含有少量的地球深层的天然气。但没有发现深层天然气藏。

#### 3.2 日本研究状况

日本的天然气产于全国各地,关于天然气性状的研究报告也很多。对于天然气的成因除了主张肋田关于 green tough 层的一部分甲烷是由岩浆气体中的  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2$  反应生成的无机成因假说之外,大部分的研究者都站在有机成因说的立场。日本没有开展证实深层天然气资源赋存情况的调查研究。通产省资源能源厅加强了始于 1990 年的“第七个国内石油以及可

燃性气体资源开发的5年计划”中的深层天然气的基础研究。以相马海域为首,预定在今后5年钻探10口井,并对各地层的天然气进行分析。

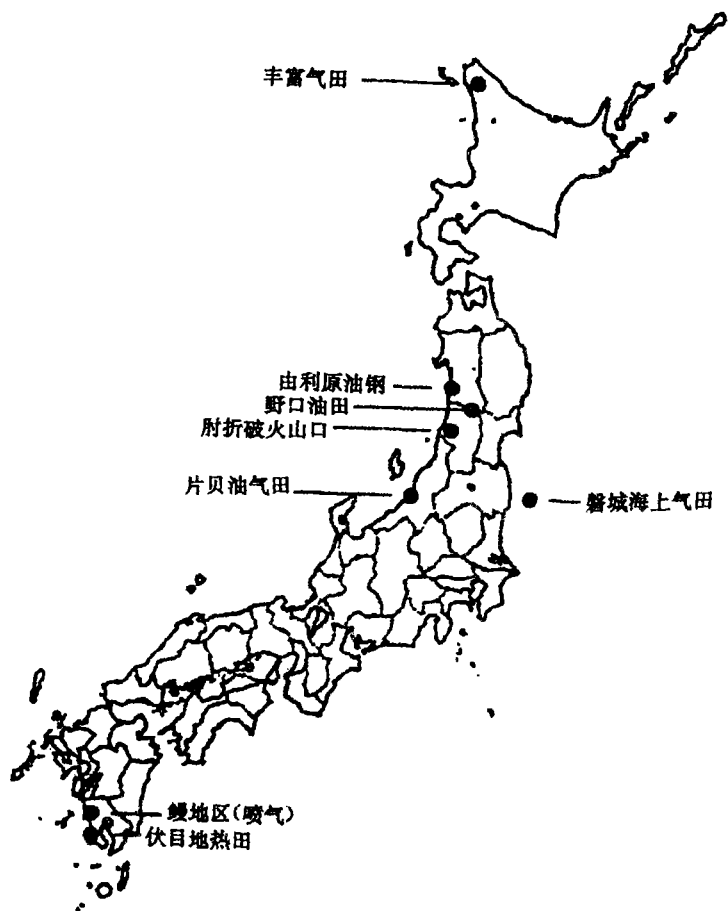


图2 调查采样位置图

### 3.3 调查委员会的现场调查

上述调查委员会采集了从北海道到鹿儿岛8个油田和天然气田的天然气、地热井的非凝析天然气以及露头喷出气等9个试样,进行了组成分析、甲烷碳以及氮同位素组成的分析。图2为采样位置图。图3的Bernard曲线是对天然气的分析结果。根据伏目地热田以及鳎地区喷出气中甲烷所含的碳同位素比,判断这些地区的气体具有地球深层起源的可能性。而且已经发现了超出GRI标准的碳同位素,也检出了不饱和的碳氢化合物。其它天然气试样则被认为是有机物的热解天然气。

## 4 关于深层天然气勘探计划

Gold认为地球深层天然气大部分气体来源于地幔,要想在数千米地壳深处取证调查这一点,深层钻探是不可缺少的。迄今为止,世界上人工钻探最深的是前苏联在科拉半岛钻探的深12 000 m的井。在“第6个国内石油以及可燃性气体资源开发的5年计划”的实施

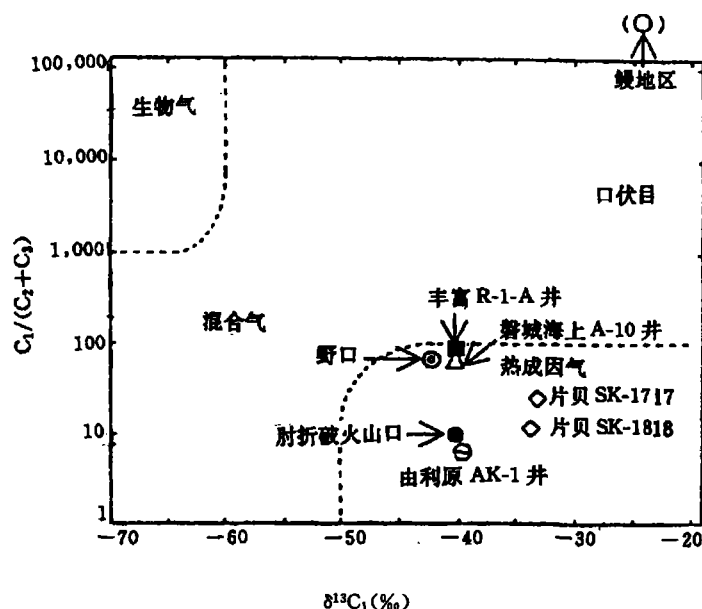


图3 日本国内天然气分类 Bernard 曲线

在新泻县东颈城钻探的 6 000 m 深井是日本最深的探井。现在,世界各国都在实施关于深层天然气的正式勘探计划。表 1 中列出了具有代表性的深层天然气的勘探计划。表中的前 3 项计划都是以深层天然气的证实与商业化为目的,深层天然气的提出者 Gold 参加了这 3 个项目。

表 1 一些国家的深层天然气勘探计划

国别	计划	钻探地点	推动主体	目的	现状
1 瑞典	锡利扬计划	锡利扬陨石坑 斯勒的纳维纳 半岛	瑞典电力厅	深层天然气的 证实与商业化	1986 年 7 月开始钻探,1987 年 9 月钻探到 6 400 m 后中止,1988 年 8 月以 7 500 m 为目标再次钻探到 6 700 m 结束,开始了第三次钻探计划,检出了无机成因的甲烷
2 瑞士	TGK 计划	阿尔卑斯山脉 海尔维第地区 沙勒沃伊陨石 坑,圣劳伦斯地 沟带	瑞士汽油社、苏 尔寿社联合组 织	深层天然气的 证实与商业化	1987 年计划开始,地表预备调查结束
3 加拿大	沙勒沃伊计划	沙勒沃伊陨石 坑,圣劳伦斯地 沟带	生物燃料公司	深层天然气的 证实与商业化	1986 年计划开始 地表预备调查结束
4 西德	KTB 计划(大 陆深层钻探计 划)	上普法尔兹	国家计划(研究 技术部、研究协 会、地质调查 所)	科学钻探	1985 年 2 月正式确认,1987 年 9 月开始了钻探(目标 14 000m),1990 年计划钻探目标 14 000 m
5 前苏联		科拉半岛	国家计划	科学钻探	1970 年钻探开始,现在约 12 000 m 深(世界上最深的坑井)检出了无机成因甲烷

瑞典的锡利扬计划是世界上初次以 Gold 假说为根据、以发现深层无机天然气为目的的钻探计划。钻探场所选择了欧洲最大的陨石坑(泥盆纪陨石碰撞地球时产生的环状体——

锡利扬圈)。选择它的理由是因为陨石碰撞地球时,在环状体地下岩石受到破坏而产生了许多裂缝,这些裂缝为来自地球深层的天然气的运移和储集创造了合适的地质构造。该项计划的推动主体是瑞典的国营电力公司。钻探计划开始于1983年,已钻到6 700 m深度。据截止目前报道,未发现商业性天然气田,但却发现了能确认为无机成因的少量甲烷。

瑞士的深层天然气调查和开发由深层天然气国际财团(TGK)担任。TGK是1987年为了开发调查瑞士国内的深层天然气而设立的,它是瑞士汽油公司、苏尔寿公司以及国立能源财团的联合组织。阿尔卑斯山脉北部的海尔维第是非洲高原和欧洲高原的分界处,该计划以开发此处复杂的褶皱地层为对象,期望发现来自地球深层的脱气和能够保存这些气体的高压层。计划分4个阶段,第一阶段已经结束。根据对天然气的分析再决定了具体的钻探地点。

在加拿大,以具有同锡利扬相似地质构造的沙勒沃伊为对象,由生物燃料公司策划了探查深层无机甲烷的钻探计划。地点是魁北克省的圣劳伦斯河流域,现在正在详细调查中。

以科学钻探为目的的深层钻探计划是德国和苏联的钻探计划。

德国的KTB计划是为欧洲中部的深层地质构造调查而制定的纯研究性的科学计划。以波希米亚的上普法尔兹为对象,实现14 000 m的钻探目标,1987~1989年间进行了4 000 m深的先行钻探,所采集到的天然气被认为是热分解成因气体。

对于前苏联来说,地下资源的开发是国家的重要目标。关于超深钻探,其是世界上最早进行国家。现在,原先的超深钻探计划作为在地质部门指导下的超深度项目,并制定了全国11个地方的钻探计划。其中的5个已经执行。科拉半岛的SG—3井是世界上钻探最深的钻井,为12 066 m深。从7 000 m深处的岩芯中也检出了微量的甲烷。

## 5 总结

有文献报导了无机成因可能性较大的甲烷气混入常规天然气的若干事例,并且从地热区的现场采样中也发现同样的情况。这些结果虽是研究地球深层天然气方面有用的资料,但未必能肯定Gold的假说。关于天然气的成因和来源,尚无明确的定论,余留给今后的课题还很多。例如有机、无机的判定方法,甲烷的深层稳定性,脱气及储集机理等等。

从资源角度看,认为气田和油田形成于较浅沉积层的观点是现代理论的主流,但其储量有限。从长远的观点看,欧美正在进行所谓的非常规天然气即地球深层天然气的研究。探求将这些非常规天然气作为能源资源的可能性是无油气资源国家应该积极参与的。尤其地球变暖、中东局势紧张化的情况下更加让我们认识到了天然气的重要性。

随着科学的进步,地球上的许多现象甚至包括距离我们几十亿光年的星云物质正在被我们认识。虽然观测地球内部1万m深度有许多困难,但这种困难将留给我们许多梦想。

### 主要参考文献

- 1 能源综合工学研究所. 地球深层天然气实证调查报告书. 1990, 3.
- 2 T Gold. 地球深层天然气. 东京: 日本经济科学出版社, 1988.
- 3 肋田宏. 源于岩浆的天然气. 东京: 科学出版社, 1990.