

话说

HUASHUO
XINNENGYUAN
CONGSHU

新能源丛书

李代广 编



神秘的 可燃冰

SHEENIMI DE
KERANBING



化学工业出版社

话说

HUASHUO
XINENGYUAN
CONGSHU

新能源丛书



神秘的 可燃冰

李代广 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是《话说新能源丛书》之一，面向广大喜欢科普图书的读者朋友。

《神秘的可燃冰》用通俗易懂的文字从可燃冰的由来、可燃冰的分布、可燃冰的储量、可燃冰的开采、可燃冰的用途等方面介绍了天然气水合物——可燃冰这种海底宝藏。希望启迪读者朋友了解可燃冰，研究、探究和利用可燃冰。

本书图文并茂，特别适合喜欢科普图书的朋友和新能源行业人士阅读。

图书在版编目(CIP)数据

神秘的可燃冰/李代广编. —北京：化学工业出版社，2009.6

(话说新能源丛书)

ISBN 978-7-122-05056-4

I. 神… II. 李… III. 天然气水化物-普及读物
IV. P618.13-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第036830号

责任编辑：戴燕红 郑宇印

装帧设计：王晓宇

责任校对：徐贞珍

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）

印 装：北京市彩桥印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张5³/₄ 字数77千字 2009年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

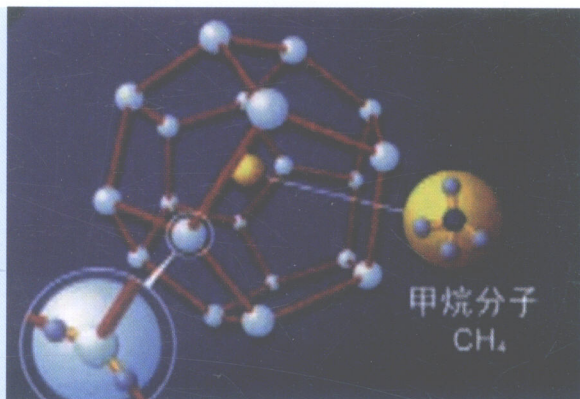
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：25.00元

版权所有 违者必究



可燃冰



可燃冰的分子结构



蕴藏可燃冰的海底



祁连山的冻土层内可能存在可燃冰



砂岩



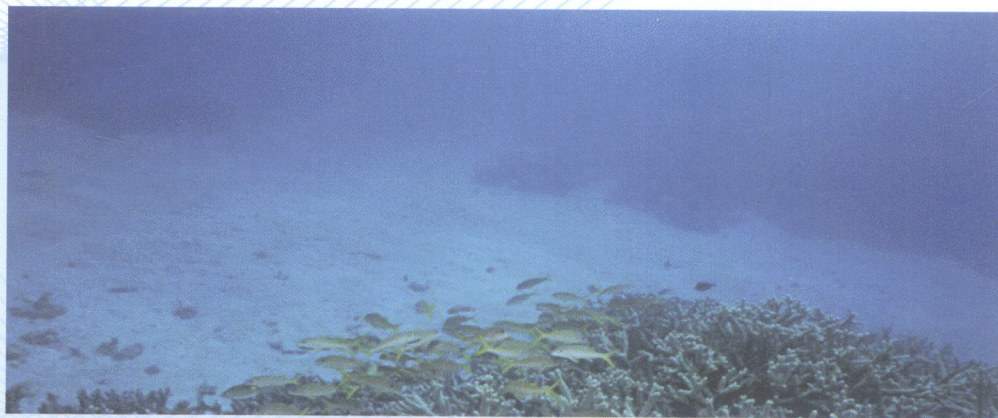
高原冻土层



北极冻土区



蕴藏着可燃冰矿藏的羌塘盆地



南海海底蕴藏着丰富的可燃冰



前言

FOREWORDS

谈到能源，人们立即想到的是能燃烧的煤、石油或天然气，而很少想到晶莹剔透的“冰”。然而，自20世纪60年代以来，人们陆续在冻土带和海洋深处发现了一种可以燃烧的“冰”。这种“可燃冰”在地质上称为天然气水合物，又称“笼形包合物”。

天然气水合物是一种白色固体物质，外形像冰，有极强的燃烧力，可作为优质能源。它主要由水分子和烃类气体分子（主要是甲烷）组成，所以也称它为甲烷水合物。天然气水合物是在一定条件下，由气体或挥发性液体与水相互作用过程中形成的白色固态结晶物质。一旦温度升高或压强降低，甲烷气就会逸出，固体水合物便趋于崩解。所以固体状的天然气水合物往往分布于水深大于300米以上的海底沉积物或寒冷的永久冻土中。海底天然气水合物依赖巨厚水层的压力来维持其固体状态，其分布可以从海底到海底之下1000米的范围以内，再往深处则由于地温升高，其固体状态遭到破坏而难以存在。

与世界其他国家相比，我国可燃冰储量丰富，“南海大发现”使得我国可燃冰调查研究水平一举步入世界先进行列，它向我们展示了后石油时代我国能源战略的又一种选择。

本书用浅显易懂的文字系统介绍了可燃冰的相关知识。本书图文并茂，文字说明深入浅出，特别适合作为广大中学生增长知识、开阔视野的课外读物，对广大新能源行业人士也具有可读性和收藏价值。

在本书的编写过程中，参考引用了一些文献资料，在此向文献作者致以诚挚的谢意！

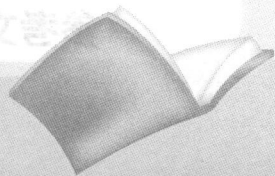
由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2009年3月

话说
新能源丛书

HUASHUO XINNENGYUAN CONGSHU



目录

CONTENTS

第一章 什么是可燃冰

能燃烧的冰	2
未来新能源	4
可燃冰从哪里来	6
可燃冰的探索历程	9
可燃冰矿藏的特点	13
可燃冰的分类	15

第二章 可燃冰的分布和储量

可燃冰在地球上的分布	18
我国可燃冰的分布	24
地球上可燃冰的储量	28

第三章 可燃冰的调查

海底可燃冰的识别	32
可燃冰的调查技术	37

第四章 可燃冰的开采

棘手的新能源	42
可燃冰的开采方法	52

第五章 可燃冰的开发

国外可燃冰研究和勘探	58
我国可燃冰开发状况	75

参考文献	88
------------	----

第一章

什么是可燃冰



能燃烧的冰

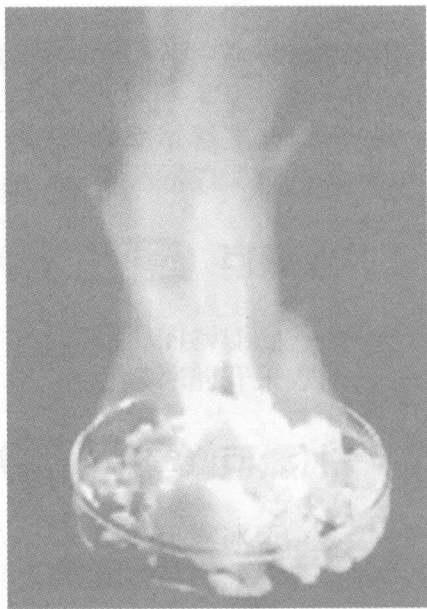
冰是水在摄氏零度（冰点）以下所凝结的透明固体物质。夏天，冰是消暑降温的佳品；冬天，冰则使人感到彻骨的寒冷。我们平时看到的冰，无一例外都是在吸收热量，没有人会相信冰块会燃烧。冰块遇到火，只能融化为水，而绝不会燃烧。那么，世界上有没有能释放热量，能够为人们供暖的冰呢？答案是肯定的。

“请大家注意，精彩的表演马上开始！我们将为您展示一种不可思议的‘冰’。”随着讲解员的操作，一块看上去很平常的白色冰块，“噗”的一声燃起了蓝色的火焰——这是发生在日本爱知万国博览会上的一幕，让在场的观众惊奇不已。这种能燃烧的冰块就是

被称为“可燃冰”的天然气水合物，外貌与常见的冰雪极为相似，用一根火柴就可以点燃，像蜡烛一样燃烧。

可燃冰就是能够燃烧、能够供暖的一种特殊的“冰”。可燃冰是一种很特殊的物质，是由天然气与水在高压低温条件下结晶形成的固态笼状化合物。纯净的天然气水合物呈白色，形似冰雪，能像固体酒精一样直接点燃，被形象地称为“可燃冰”。

20世纪70年代，美国地质工作者在海洋中钻探时，意外地发



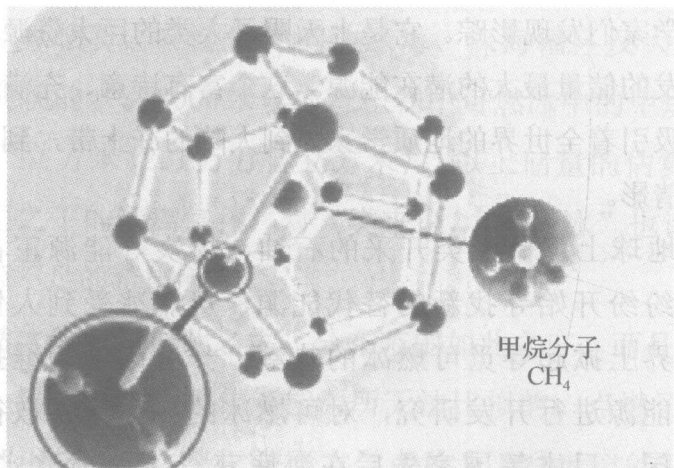
可燃冰

现了一种看上去像普通干冰的东西，当它从海底被捞上来后，那些“冰”迅速融化，成为冒着气泡的一滩泥水，而那些气泡却意外地被点着了，这些气泡就是甲烷。这些像干冰一样的灰白色物质就是可燃冰。

可燃冰还有另外几个名字，分别叫天然气水合物、固体瓦斯、笼形包合物，英文为Natural Gas Hydrate，简称Gas Hydrate。可燃冰是一种化学物质，它的化学式为 $\text{CH}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 。是一种白色固体结晶物质，外形像冰，有极强的燃烧力，是一种极具开采潜力的优质能源。

可燃冰的分子结构非常复杂，最常见的是甲烷水合物，就是46个水分子包围了8个甲烷分子，就像一个一个“笼子”，由若干水分子组成一个笼子，每个笼子里“关”一个气体分子。它最大的特点是可以燃烧。这是由于小“笼子”里含有甲烷分子超过99%，因此遇火即可燃烧。

可燃冰就像一个天然气的压缩包，包含着数量巨大的天然气。据理论计算，1立方米的可燃冰可释放出164立方米的甲烷气和0.8立方米的水。这种固体水合物只能存在于一定的温度和压力条件下，一般它要求温度低于 $0 \sim 10^\circ\text{C}$ ，压力高于10MPa，一旦温度升



可燃冰的分子结构

高或压力降低，甲烷气则会悄悄逸出，固体水合物便趋于崩解，倏然消失。在常温常压下，可燃冰会分解成水与甲烷。因此，也可以将可燃冰看成是高度压缩的固态天然气。

未来新能源

1996年夏天，在北太平洋水域航行的一艘海洋考察船上，德国科学家正在搜寻洋底的神秘晶体——可燃冰。令人惊喜的是，经过连续几天的努力，水下摄像机终于在800米深的黑洞洞的海底拍摄到了晶莹的亮光。科学家们立即行动，用特殊设备从海底取出了样品。为了验证这块冰晶体是否充满甲烷，一位科学家从这种冰块上取下一小块，迅速用火柴点燃，这块冰雪一样的东西开始燃烧，燃起呈淡红色的火焰，一边燃烧，一边融化，不一会儿，冰块变成了一滩水。

可燃冰外貌似冰雪，却可以燃烧。它遍布全球，但直到20世纪才被科学家们发现踪影。它是上天赐予人类的巨大资源，是地球上尚未开发的储量最大的潜在能源。这个富有诗意、充满神秘的海底矿藏，吸引着全世界的地质学家们到大陆的冻土带，到深海底去寻找它的情影。

目前地球上可供人类开采的石油、煤炭等能源正在日益减少，各国纷纷开始寻找新的替代能源，可燃冰受到人们的密切关注。世界上掀起寻觅可燃冰的热潮，一些国家相继把可燃冰作为后续能源进行开发研究，对可燃冰的科学考察取得了可喜成绩。美国、日本等国家先后在海底获得了可燃冰实物样品，而加拿大在冻土带内找到了可燃冰。因此，有专家认为，可燃

冰这种新型能源一旦得到开采，将使人类的燃料使用史延长几个世纪。

据粗略估算，在地壳浅部，可燃冰储层中所含的有机碳总量大约是全球石油、天然气和煤等化石燃料含碳量的两倍，海底可燃冰的储量够人类使用1000年。世界上绝大部分的可燃冰都分布在海洋里，据科学家估算，海洋里可燃冰的资源量是陆地上的100倍以上，海底可燃冰分布的范围约占海洋总面积的10%，相当于4000万平方公里，是迄今为止海底最具价值的矿产资源。据最保守的统计，全世界海底可燃冰中储存的甲烷总量约为1.8亿亿立方米，约合1.1万亿吨，如此数量巨大的能源是人类未来动力的希望，是21世纪具有良好前景的后续能源。

可燃冰具有非常高甚至比石油还高的使用价值，1平方公里的可燃冰等于164平方公里的常规天然气藏；它又具有独特的高浓缩气体的能力，也就是说，高浓度气体等于高储量。充填甲烷的可燃冰的能量密度是煤和黑色页岩的10倍左右，因此是一种罕见的高能量密度的能源。

据专家估算，在全世界的边缘海、深海槽区及大洋盆地中，目前已发现的水深3000米以内沉积物中可燃冰中的甲烷资源量为 2.1×10^{16} 立方米(2.1万万亿立方米)。以上储量的估算尚不包括可燃冰层之下的游离气体，对人类来说，“可燃冰”也许是解决地球上能源不足的希望所在。

可燃冰的储量如此之大，分布范围如此之广，而且清洁高效，是石油、煤、天然气等传统能源所无法比拟的，点燃了人类21世纪能源利用的希望之光，被西方学者称为“21世纪能源”或“未来新能源”。

可燃冰从哪里来

1927年的一天傍晚，前苏联克里米亚地区居民的平静生活忽然被一件离奇的怪事打断了。伴着怪异的隆隆声，一团耀眼的火苗突然蹿出了海面。黑海着火了！熊熊火焰直冲云天，向空中足足延伸了250米，海面出现一座高达数百米的火焰山。从海面到天际都被染成了血一般可怕的红色！向来平静的黑海为何突发大火？一丝不祥征兆夹杂着恐惧和好奇，把人们的目光第一次吸引到了暗无天日的神秘世界——人们相信，在莫测的深渊之下，黑暗中一定有某种可怕的神秘物质在蠢蠢欲动！

因为克里米亚地区发生了大地震，这次地震引发了黑海海面上的一场大火，这是一个不可思议的现象，自古水火不相容，在这里水和火居然可以共同存在。于是，黑海大火成为一个谜。长期以来，人们都认为，是海里的硫化氢酿成了这场火灾，但后来认定，这种气体在深水中的含量太少，不具备那么强的爆炸力。经过近百年的研究，人类终于明白，是可燃冰导致大海着火。在自然界，可燃冰的第一次正式亮相就给人类世界带来了一个难解之谜。那么，可燃冰从哪里来呢？

先不要着急，我们再来看一件事，这件事也发生在前苏联。从前，前苏联有一位天然气专家忽发奇想，他想知道如果往天然气井里注水，会对产气量有何影响。于是，他让工人们用水管把20吨水一股脑注入一口气井里。不料，注完水之后，气井变得静悄悄的，不再产气了。难道水会压住天然气？似乎不大可能。这位天然气专家又决定向气井里注入2吨甲醇。甲醇是什么呢？甲醇是一种易挥发的可燃有毒液体酒精，通常用作溶剂、防冻剂或普通酒精变



蕴藏可燃冰的海底

性剂以及用于合成其他化学制品。几个小时之后，井下重新喧闹起来，气井又喷气了。

这位天然气专家对这个现象产生了极大的兴趣，继续探索这一奇怪现象，终于发现，原来气体在低温和高压条件下很容易形成水合物。在气井深处，由于温度低，压力大，水注入之后，就与井里的天然气很快结合起来，形成一种特殊的水合物——可燃冰。气与水形成可燃冰，变成固体，又怎么能有天然气喷出气井呢？原来是因为注入甲醇之后，甲醇与水有很大的亲和力，这样就破坏了可燃冰的结构，把天然气解放出来，重新喷出地面。

人们通过这件事得到启发，在大海深处，很可能存在丰富的可燃冰。经过海洋学家和化学家的努力，这个猜想终于得到证实，在北极的海底发现了大量的可燃冰。

可燃冰的形成与海底石油、天然气的形成过程相近，而且密切相关。可燃冰是海洋板块活动的产物。当海洋板块发生下沉时，较古老的海底地壳会缓慢下沉到地球内部，海底石油和天然气便随板块的边缘涌上表面。这个道理很简单，下面做一个小小的实验：我

们找来一块沉重的石板，再把这块石板平放到泥塘里，石板会慢慢地下沉，随着石板的下沉，泥浆会从石板的边缘慢慢地蔓延过来，直到最后完全包裹石板，石板沉入泥塘。古老的海底地壳下沉到地球内部，从地壳边缘涌上来的石油和天然气接触到冰冷的海水和深海压力，天然气与海水产生化学作用，就形成可燃冰。又因为海底的温度和压力比较稳定，这就会使可燃冰保持稳定的状态，长期沉睡在深深的海底。

可燃冰是特定温度、压力条件下的产物。可燃冰的形成必须有三个基本条件。第一是温度条件，生成可燃冰的温度不能太高，也不能太低，生成可燃冰的适宜温度在 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 之间，最高限是 20°C 左右。第二是压力条件，形成可燃冰要有足够的压力，但也不能太大，在零度时，30个大气压以上它就可能生成。第三是地底要有气源，“巧妇难为无米之炊”，也就是必须要有天然气，没有天然气就不能形成可燃冰。这三个条件缺一不可。

海底可燃冰的分布范围要比陆地大得多，据科学家大致估算，可燃冰分布的陆海比例为1 : 100。大约27%的陆地，包括极地冰川冰土带和冰雪高山冻结岩，以及90%的大洋水域是可燃冰的潜在区，其中大洋水域的30%可能是其气藏的发育区。为什么大部分可燃冰都分布在海底，陆地上的分布比较少呢？原因很简单，因为在陆地上，除了永久冻土层，其他地方很少像海底一样具备可燃冰形成的三个条件，在适当的温度和压力条件下，陆地冻土带里的天然气能够变成可燃冰，又因为冻土带的温度和压力几乎长期保持恒定，这样就使蕴藏在冻土带里的可燃冰长期保持保持稳定的固态。在陆地上，只有永久冻土带里才能具备低温高压条件，而在海底300 ~ 500米的沉积物中都可能具备。

海底的天然气能够形成可燃冰，那么，这些天然气又是从哪里来？千百年来，海底的动物不断出生，走完生命过程之后相继死去，遗体不断堆积，最后形成有机质。在缺氧环境中，埋藏在海底地层深处的大量有机质被厌气性细菌分解，最后形成石油和天然

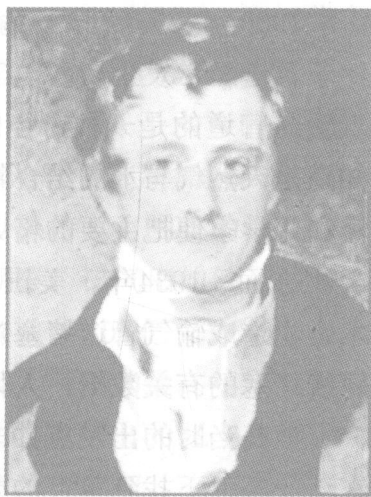
气。海底的天然气生成之后，在海底特定的温度和压力下，许多天然气又被包进水分子的小房子里，形成“天然气水合物”。

可燃冰是在压力下生存的，离开压力，可燃冰就不存在了。海水是有压力的，随着深度增加，海水的压力也在逐渐增大。海水的压力对海底的可燃冰很重要，只有在足够的压力下，海底可燃冰才能够保持固体状态。埋藏在海底沉积物中的可燃冰要求该处海底的水深大于300~500米，这样巨厚的海水水层就能压着它，这样厚的海洋大“水饼”产生的压力刚好就能维持它的固体状态。

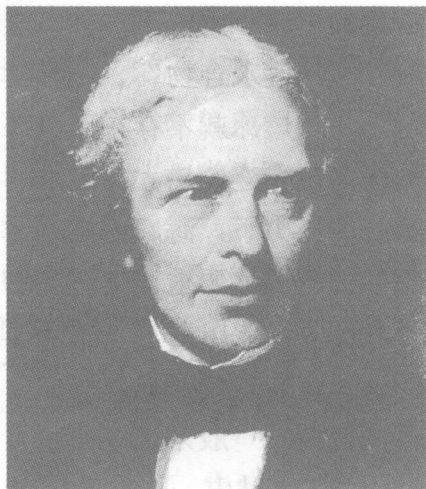
在海洋深处，可燃冰有其特定的存在范围。一般来说，海底可燃冰只能存在于海底之下500~1000米的范围以内，再往海底的深处深入的话，就会因为海底产生的地热使海水升温，不再符合可燃冰存在的温度条件。

可燃冰的探索历程

在很久以前，人类就已经开始了可燃冰的探索历程。早在1778年，英国化学家普得斯特里就着手研究气体生成的气体水合物的温度和压强。1810年，英国科学家戴维在伦敦皇家研究院实验室中把氯气通入水中，首次合成氯气水合物。在摄氏零度以上出现了“冰块”，这是人类首次认识到气水合物这种物质。1811年，在戴维的著作中，最早提到气水合物（Gas Hydrate）一词。在这以后的120多年



英国科学家戴维



英国科学家法拉第

中，人们仅通过实验室来认识水合物。

1832年，法拉第在实验室合成氯气水合物，并对水合物的性质作了较系统的描述。此后，人们陆续在实验室合成了溴、二氧化硫、二氧化碳、氢硫酸等的气水合物。德布·雷提出了著名的德布·雷规则：“在给定温度下，所有可分解成固体和气体的固态物质都有一个确定的分解压力，

其随温度变化。”1884年，罗斯提出了天然气水合物形成的相理论。此后不久，维纳德在实验室合成了甲烷、乙烷、聚氯乙烯、乙炔等的水合物。此后，科学家纷纷把各种各样的气体通入水中试一试，看是否能够形成“冰块”，例如甲烷、二氧化碳等。

1919年，谢弗和梅耶尔建立了一种新的动力学理论方法来直接分析天然气水合物，他们应用三相平衡曲线来推测水合物的组成。

1930年，美国为了输送天然气，开始铺设巨型天然气管道。由于管道经常发生堵塞，工程师不得不将管道剖开，发现堵塞天然气输送管道的是一种奇怪的“冰块”。对这种物质进行研究后，才知道是天然气与水的结合物，有很强的燃烧能力。于是石油地质学家和化学家便把主要的精力放在如何消除这种堵塞管道的天然气水合物方面。1934年，美国科学家汉默施密特发表了《关于天然气水合物造成输气管道堵塞》的论文，发表了水合物造成天然气输气管线堵塞的有关数据，人们开始更加详细地对天然气水合物进行研究。但是当时的出发点并非是作为一种能源来加以研究，只是希望在工业条件下找到可行的办法，对堵塞管道的可燃冰进行预报和清除。自那以来，一些国家的科学家开始了探寻可燃冰之旅。