

学生最喜爱的科普书

XUESHENGZUIXIAIDEKEPUSHU

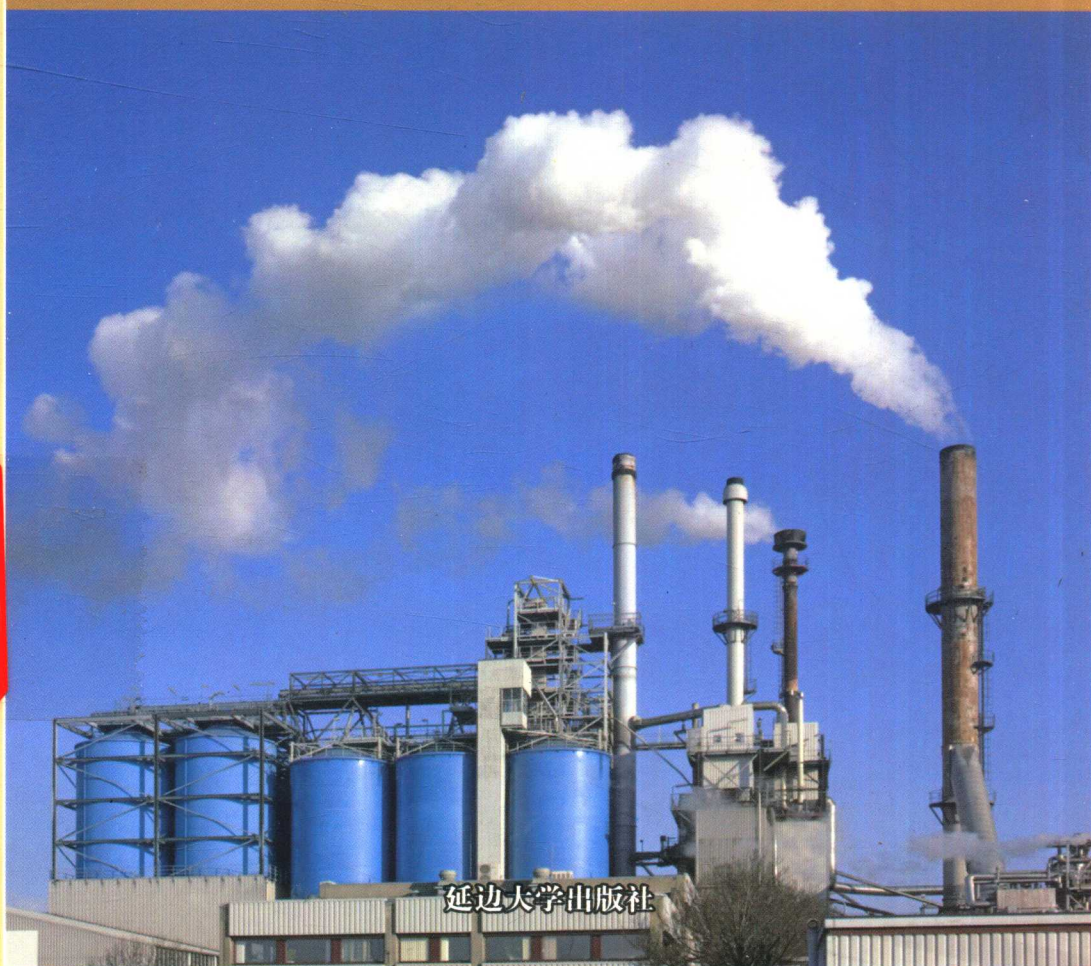
在未知领域 我们努力探索
在已知领域 我们重新发现

刘盼盼◎编著

认识我们



身边的天然气



延边大学出版社



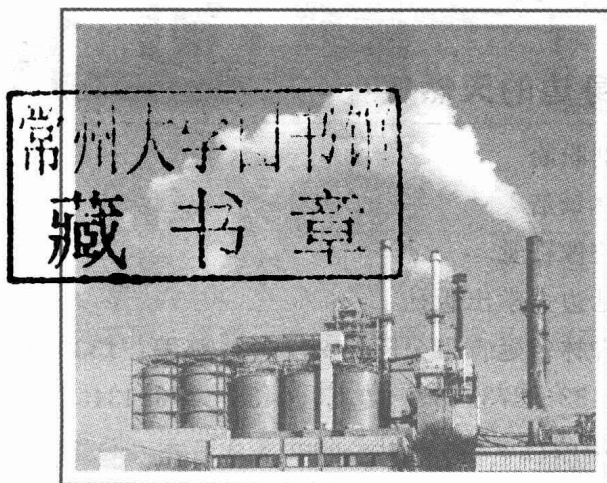
学生最喜爱的科普书

XUESHENGZUIXIAIDEKEPUSHU

认识我们

身边的天然气

刘盼盼◎编著



常州大学图书馆
藏书章

在未知领域 我们努力探索
在已知领域 我们重新发现

延边大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

认识我们身边的天然气/刘盼盼编著. —延吉:
延边大学出版社, 2012. 4

ISBN 978-7-5634-4623-0

I. ①认… II. ①刘… III. ①天然气—青年读物
②天然气—少年读物 IV. ①TE64-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 051763 号

认识我们身边的天然气

主 编: 刘盼盼

责 编: 林景浩

封面设计: 映像视觉

出版发行: 延边大学出版社

社 址: 吉林省延吉市公园路 977 号 邮编: 133002

电 话: 0433-2732435 传真: 0433-2732434

网 址: <http://www.ydcbs.com>

印 刷: 北京一鑫印务有限责任公司

开 本: 16K 690×960 毫米

印 张: 11 印张

字 数: 120 千字

版 次: 2012 年 04 月第一版

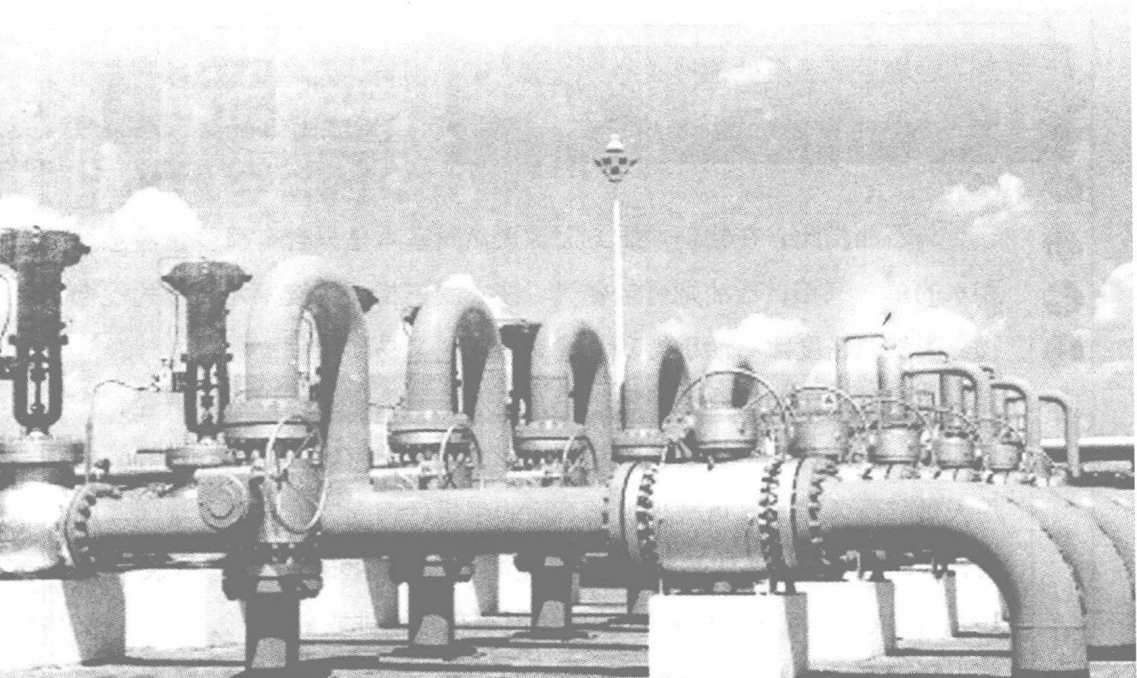
印 次: 2012 年 04 月第一次印刷

印 数: 1~5000 册

书 号: ISBN 978-7-5634-4623-0

定 价: 22.00 元

版权所有 侵权必究 印装有误 随时调换



前言

Foreword

天然气作为一种高效、优质、清洁的能源，其用途越来越广泛，需求量也在不断地增加。对天然气的利用已经引起了人们的广泛关注。本书内容丰富，针对性强，附有大量的图片，没有太多的专业术语而是改用通俗易懂的文字展现在读者面前。

天然气是一种多组分的混合气体，主要成分是烷烃，其中甲烷占绝大多数，另有少量的乙烷、丙烷和丁烷，此外一般还含有硫化氢、二氧化碳、氮和水气，以及微量的惰性气体，如氦和氩等。在标准状况下，甲烷至丁烷以气体状态存在，戊烷以下为液体。天然气蕴藏在地下多孔裂隙岩层中，主要成分为甲烷，比重约 0.65，比空气轻，具有无色、无味、无毒之特性。天然气在空气中含量达到一定程度后会使人窒息。

天然气水合物是分布于深海沉积物或陆域的永久冻土中，由天然气



与水在高压低温条件下形成的类冰状的结晶物质。因其外观像冰一样而且遇火即可燃烧，所以又被称作“可燃冰”或者“固体瓦斯”和“气冰”。

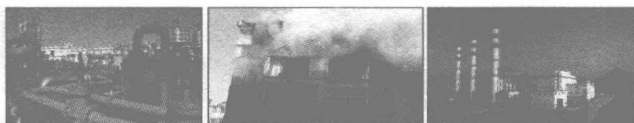
与石油相比，在物理性质方面，天然气基本是只含有极少量液态烃和水的单一气相；石油则可包容气、液、固三相而以液相为表征的混合物。天然气密度比石油小得多，既易压缩，又易膨胀。

天然气是较为安全的燃气之一，它不含一氧化碳，也比空气轻，一旦泄漏，立即会向上扩散，不易积聚形成爆炸性气体，安全性较高。采用天然气作为能源，可减少煤和石油的用量，因而大大改善环境污染问题；天然气作为一种清洁能源，能减少二氧化硫和粉尘排放量近100%，减少二氧化碳排放量60%和氮氧化物排放量50%，并有助于减少酸雨形成，舒缓地球温室效应，从根本上改善环境质量。天然气将慢慢走进我们生活中，我们的生活中将会有更多天然气的应用和利用。目前，天然气还主要应用在化工方面，有很多化工产品的原料就是天然气。甲醇制烯烃和甲醇制丙烯是两个重要的C1化工新工艺，是指以煤或天然气合成的甲醇为原料，借助类似催化裂化装置的流化床反应形式，生产低碳烯烃的化工技术。

本书内容丰富，可阅读性强，实用性强。目前天然气工业已进入迅速发展阶段，天然气的利用在全国范围内将逐渐扩大，本书对天然气的气藏分类及其组分性质等进行了介绍，书中有当今国内外天然气的燃料利用、化工利用及副产品的综合利用，并对天然气的资源、产量等技术作了介绍。书中附有大量的图片，图文并茂让读者读起来更加形象，更容易理解。如果你还对天然气一无所知，那么为自己补充些知识吧，天然气前景可观，了解认识我们身边的天然气是必不可少的任务。

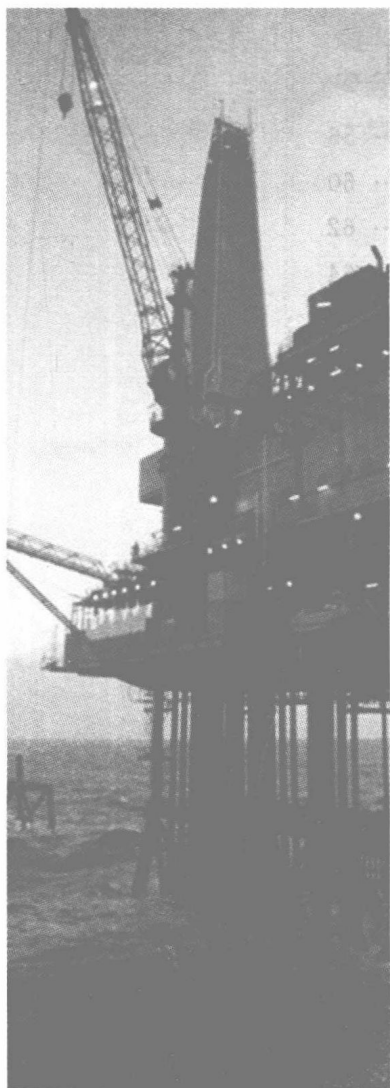
目 录

CONTENTS



第①章

天然气的基本知识

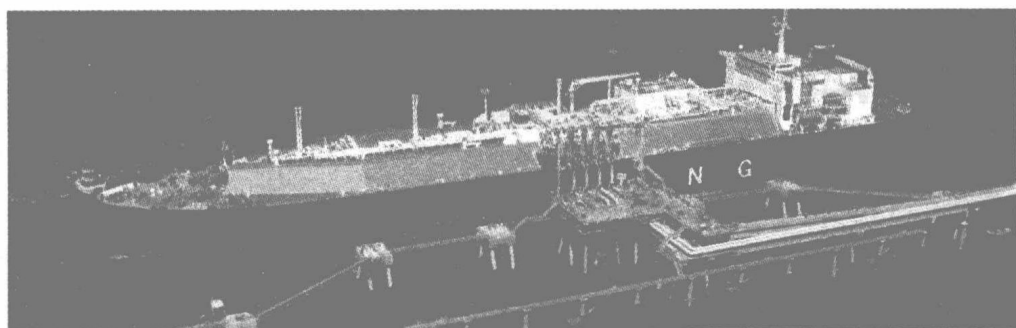


天然气形成原因	2
天然气的开采	11
天然气组成和分类	14
液化天然气生产和使用的必要性	18
天然气的性质	20
商用天然气的质量要求	22
天然气的危害性	28
天然气主要分布	30
天然气与煤气的区别	32
天然气的生成条件	38

第②章

天然气与石油对比

石油的简述	40
海洋石油污染形成原因	43
对比石油	44
为什么有石油的地方就有天然气	46
应用领域	48
主要优点	50
生活燃气	53



第③章

天然气的管道发展

输气管道概念	56
输气管道结构和特点	60
管道燃气安全知识	62
天然气的前景	64

第④章

天然气的发展状况

天然气在国民经济中的重要性	68
天然气消费市场	71
中国未来对天然气需求预测	73
我国天然气的利用现状及发展展望	76

第⑤章

天然气的生活应用

天然气作城镇燃气的优势	82
天然气民用燃具	84
天然气汽车	89
城镇民用天然气安全设计	93



天然气发电	96
燃气发电机	97
安全管理	103
天然气空调	109

第⑥章

天然气的化工利用

天然气制合成氨的技术概况	112
天然气制甲醇前景	114
以天然气为原料的其他传统产品	117
天然气制合成油	123
天然气制二甲醚	125
典型的 MTO 工艺	131
天然气水合物	135
天然气压缩机	149
天然气加气站	151

天

天然气的基本知识

TIANKRANQIDEJIBENZHISHI

第一章



从广义的定义来说，天然气是指自然界中天然存在的一切气体，包括各种自然过程形成的气体。我们平常对“天然气”的定义，是从能量角度出发的狭义定义，是指天然蕴藏于地层中的烃类和非烃类气体的混合物，主要成分烷烃，其中甲烷占有很大的比例，另有少量的乙烷、丙烷和丁烷。天然气在我们生活应用的非常广泛。本章带我们一起去了解一下天然气的基本知识。

天然气形成原因

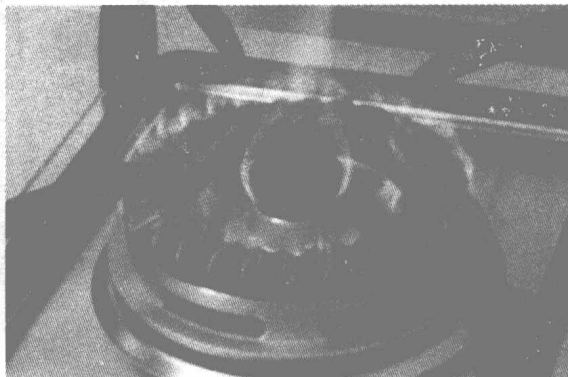
Tian Ran Qi Xing Cheng Yuan Yin

天然气与石油生成过程在紧密相连中还存在着区别：

石油的形成主要存在于深成作用阶段，由催化裂解作用引起；而天然气的形成是贯穿成岩、深成、后成直至变质作用的始终。

与石油的生成所不同的是，无论是原始物质还是生成环境，天然气的生成比石油的生成更为广泛、迅速、容易，各种类型的有机质都可形成天然气——腐泥型有机质则既生油又生气，腐殖型有机质主要生成气态烃。因此天然气的成因是各种各样非常多的。

总的来说，天然气的成因主要是：生物成因气、油型气和煤型气。



※天然气

◎生物成因气

生物成因气是指在成岩作用早期阶段，在浅层生物化学作用带内，沉积有机质经微生物的群体发酵和合成作用形成的天然

气。其中有时混有早期低温降解形成的气体。生物成因气出现在埋藏浅、时代新和演化程度低的岩层中，其中以含甲烷气为主。

◎形成条件

生物成因气形成的前提条件是要有更加丰富的有机质和强还原环境。

最有利于生物成因气的有机母质是草本腐殖型—腐泥腐殖型，这些有机质多分布于陆源物质供应丰富的三角洲和沼泽湖滨带，通常含陆源有机质的砂泥岩系列最有利。硫酸岩层中并没有条件可供大量生物成因气的形成，受硫酸的影响，对甲烷菌的产生有很有明显的抵制作用， H_2 优先还

原 $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-}$ 形成金属硫化物或 H_2S 等, 因此 CO_2 不能被 H_2 还原为 CH_4 。

只有在合适的地化条件下甲烷菌的才会良好的生长, 最主要的是要有足够强的还原条件, 一般 $\text{Eh} < -300\text{mV}$ 为宜 (即地层水中的氧和 SO_4^{2-} 依次全部被还原以后, 才会大量繁殖); 其次对 pH 值来说, 接近中性是最合适的, 一般 60~80, 最佳值 72~76; 再者, 甲烷菌生长温度 0~75℃, 最佳值 37℃~42℃。在没有这些生活条件下, 甲烷菌是不能生长的, 缺少了甲烷菌这一重要条件, 甲烷气的生成便不能进行下去。

◎化学组成

生物成因气几乎全部由甲烷组成, 其含量一般 >98%, 高的可达 99% 以上, 重烃含量则很少, 一般 <1%, 其余是少量的 N_2 和 CO_2 。因此生物成因气的干燥系数 ($\text{Cl}/\sum \text{C}^{2+}$) 一般在数百至数千以上, 是最为典型的干气, 甲烷的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值一般 -85‰~-55‰, 最低可达 -100‰。世界上的许多国家与地区都发现存在生物成因气藏, 如在西西伯利亚 683~1300 米白垩系地层中, 发现了可采储量达 105 万亿立方米的气藏。中国柴达木盆地 (有些单井日产达 1 百多万方) 和上海地区 (长江三角洲) 也发现了这类气藏。

◎油型气

油型气主要有湿气 (石油伴生气)、凝析气和裂解气这 3 种。它们是沉积有机质特别是腐泥型有机质在热降解成油过程中, 同石油一起生成的, 或者是在后成作用阶段由有机质和早期形成的液态石油热裂解所形成的。



※天然气管道

◎形成与分布

与石油经有机质热解逐步形成相同的是, 天然气的形成同样具有明显的垂直分带性。

在剖面最上部 (成岩阶段) 是生物成因气, 在深成阶段后期是低分子

量气态烃 (C₂~C₄) 即湿气, 以及由于受高温高压使轻质液态烃逆蒸发的因素而形成的凝析气。在剖面下部, 由于受温度上升的影响, 生成的石油裂解为小分子的轻烃直至甲烷, 有机质也进一步生成气体, 以甲烷为主石油裂解气是生气序列的最后产物, 这一阶段通常被称为干气带。

由石油伴生气→凝析气→干气, 随着甲烷含量的逐渐增多, 干燥系数也随之升高, 甲烷 $\delta^{13}C_1$ 值随有机质演化程度增大而逐渐增大。

经过对中国四川盆地气田的研究得知, 该盆地的古生代气田是高温甲烷生气期形成的, 从三叠系→震旦系, 干燥系数由小到大 (T: 355→P: 731→Z: 3871), 重烃由多到少。川南气田中, 天然气与热变沥青共生, 这一系列变化直接说明了天然气是由石油热变质而成的。

◎煤型气

煤型气是指煤系有机质 (包括煤层和煤系地层中的分散有机质) 热演化而生成天然气。

在煤田开采中, 经常会出现大量瓦斯涌出现象, 如四川合川县一口井的瓦斯突出, 排出瓦斯量竟高达 140 万立方米, 由此得知, 煤系底层也可以生成天然气。

煤型气是由多种成分组成的混合性气体, 其中烃类气体以甲烷为主, 重烃气含量少, 一般为干气, 但有时也会是湿气, 甚至凝析气。有时可含较多 H₂ 蒸气和 N₂ 等。

在一定情况下, 煤型气也是可以形成特大气田的, 1960 年以来在西伯利亚北部、荷兰东部盆地和北海盆地南部等地层发现了特大的煤型气田, 这三个气区探明储量 22 万亿立方米, 占世界探明天然气总储量的 1/3 多。据统计 (MT 哈尔布蒂, 1970), 在世界已发现的 26 个大气田中, 有 16 个属煤型气田, 数量占 60%, 储量占 72.2%, 由此可见, 煤型气在世界可燃天然气资源构成中占有重要地位。中国的煤炭资源是十分丰富的, 据统计有 6 千亿吨, 在全世界位居第三, 聚煤盆地发育, 现已发现有煤型气聚集的有华北、鄂尔多斯、四川、台湾—东海、莺歌海—琼东南以及吐哈等盆地。据研究调查得知, 鄂尔多斯盆地中部大气区的气多半来自上古生界 C—P 煤系地层 (上古: 下古气源=7:3 或 6:4), 可见煤系地层有生成天然气的巨大潜力。

◎成煤作用与煤型气的形成

成煤作用包括泥炭化和煤化作用两个阶段。泥炭化阶段，是指那些堆积在沼泽、湖泊或浅海环境下的植物遗体和碎片，经过长期复杂的生态变化逐渐形成煤的前身——泥炭；加之盆地沉降，埋藏加深和温度压力随之增高，便由泥炭化阶段进入到煤化作用阶段，在煤化作用中泥炭经过微生物酶解、压实、脱水等共同作用最终变为褐煤；当埋藏逐步加深，已形成的褐煤在温度、压力和时间等因素作用下，按长焰煤→气煤→肥煤→焦煤→瘦煤→贫煤→无烟煤的序列转化。

影响煤型气的形成及产率的因素不是只有煤阶，它还与煤的煤岩组成有着紧密的联系，腐殖煤在显微镜下可分为镜质组、类脂组和惰性组三种显微组分，中国大多数煤田的腐殖煤中，镜质组的含量在各组分含量中是最高的，约占 50%~80%，惰性组占 10%~20%（高者达 30%~50%），类脂组含量最低，一般不超过 5%。

在成煤作用中，每个组分对它的形成都是很重要的，是缺一不可的。长庆油田与中国科学院地化所（1984）在成功地分离提纯煤的有机显微组分基础上，开展了低阶煤有机显微组分热演化模拟实验，并探讨研究出了不同显微组分的成烃贡和成烃机理。发现三种显微组分的最终成烃效率比约为类脂组：镜质组：惰性组 = 3：1：0.71，产气能力比约为 33：1：0.8，说明惰性组同样具有生氣的能力。

◎无机成因气

地球深部岩浆活动、变质岩和宇宙空间分布的可燃气体，以及岩石无机盐类分解产生的气体，都属于无机成因气或非生物成因气。它属于干气，主要成分是甲烷，有时含 CO_2 、 N_2 、 He 及 H_2S 、 Hg 、蒸汽等，甚至以它们的某一种为主，最终形成用于工业上的非烃气藏。

◎甲烷

无机合成： $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ，条件：高温（250℃）、铁族元素。

地球原始大气中甲烷：主要吸收于地幔，沿深断裂、火山活动等缓缓排出。



板块俯冲带甲烷：大洋板块俯冲高温高压下脱水，分解产生的 H、C、 $\text{CO}/\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4$ 。

◎ CO_2

天然气中高含 CO_2 与高含烃类气一样，它的经济意义同样是非常巨大的，就 CO_2 气藏来说，具有经济意义的是 CO_2 含量 $>80\%$ （体积浓度）的天然气，它可以很广泛用于工业、农业、气象、医疗、饮食业和环保等领域。中国广东省三水盆地沙头圩水深井天然气中 CO_2 含量高达 9955%，日产气量 500 万方，在所有的气藏是很有经济价值的。

目前世界上已发现的 CO_2 气田藏主要分布在中—新生代火山区、断裂活动区、油气富集区和煤田区。在成因上分析，一共有以下几种：

◎无机成因

①上地幔岩浆中富含 CO_2 气体，当岩浆沿地壳薄弱带上升、压力减小，其中 CO_2 逸出。

②碳酸盐岩受高温烘烤或深成变质会生成大量的 CO_2 ，当有地下水参与或含有 Al、Mg、Fe 杂质， $98^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ 也能生成相当量 CO_2 ，这种成因 CO_2 特征： CO_2 含量 $>35\%$ ， $\delta^{13}\text{CCO}_2 > -8\text{‰}$ 。

③碳酸盐矿物与其他矿物相互作用也可生成 CO_2 ，如白云石与高岭石作用便可以生成 CO_2 。

◎有机成因

N_2 是大气中的主要成分，经研究得知，分子氮的最大浓度和逸度出现在古地台边缘的含氮地层中，尤其是在蒸发盐岩层分布区的边界内含量最大。氮是由水层迁移到气藏中的，由硝酸盐还原而来，其先体是 NH_4^+ 。

N_2 含量大于 15% 者为富氮气藏，在天然气中 N_2 的成因类型主要有：

①有机质分解产生的 N_2 ， $100^\circ\text{C} \sim 130^\circ\text{C}$ 分解产生量达到最高，生成的 N_2 量占总生气量的 20%，含量较低；（有机）

②地壳岩石热解脱气：如辉绿岩热解析出气量， N_2 可高达 52%，此类 N_2 可富集；

③地下卤水（硝酸盐）脱氮作用：硝酸盐经生化作用生成 $\text{N}_2\text{O} + \text{N}_2$ ；

④地幔源的 N_2 ：如铁陨石含氮数十至数百个 ppm；

⑤大气源的 N_2 ：大气中 N_2 由于受地下水循环的影响而往深处运移，所以在其中混入最多的是温泉气。

由同位素特征可以知道，一般来说最重的氮集中在硝酸盐岩中，较重的氮集中在芳香烃化合物中，而较轻的氮则多集中在铵盐和氨基酸中。

◎ H_2S

在全球已经发现气藏中，几乎都存在有 H_2S 气体， H_2S 含量 $>1\%$ 的气藏为富 H_2S 的气藏，具有商业意义者需 $>5\%$ 。

经研究得知 (Zhabrew 等, 1988)，具有商业意义的 H_2S 富集区主要是大型的含油气沉积盆地，在这些盆地的沉积剖面中均含有厚的碳酸盐—蒸发盐岩系。

自然界中的 H_2S 生成主要有以下两类：

①生物成因 (有机)：包括生物降解和生物化学作用；

②热化学成因 (无机)：有热降解、热化学还原、高温合成等。根据热力学计算，自然环境中石膏 ($CaSO_4$) 被烃类还原成 H_2S 的需求温度高达 $150^\circ C$ ，因此自然界发现的高含 H_2S 气藏均产于深部的碳酸盐—蒸发盐层系中，并且碳酸盐岩有良好的储集性。

◎ 稀有气体 (He 、 Ar)

虽然在地下的含量中稀有气体的含量是非常少的，但是稀有气体有很特殊的地球化学行为，因此它们常常被科学家们称作是地球化学过程的示踪剂。

He 、 Ar 的同位素比值 $3He/4He$ 、 $40Ar/36Ar$ 是查明天然气成因的极重要手段，因沿大气 $\rightarrow$ 壳源 $\rightarrow$ 壳、幔源混合 $\rightarrow$ 幔源，二者不断增大，前者由 $139 \times 10^{-6} \rightarrow > 10^{-5}$ ，后者则由 $2956 \rightarrow > 2000$ 。

地球上的所有元素都会地经历了类似现在太阳上的核聚变的过程，当碳元素由一些较轻的元素核聚变形成后的一定时期里，它便通过与大气里的氢元素反应生成甲烷，随着温度下降，氧气变得十分活跃，它氧化、聚合了甲烷形成了石油分子，经过一定长时间的氧化、聚合，石油分子就会越来越大，最后形成了大量的近似沥青的物质，当早期地球频繁的火山熔岩喷发在沥青上时，因为熔岩的密度大，沉入石油底部对其隔绝空气进行持续的加强热，导致碳氢键断裂，最终释放氢气，形成我们所知道的煤炭。一部分石油分子不是甲烷经氧化、聚合而形成的，而是在地球较高温



度时，由碳、氢直接形成不饱和烃聚合而形成的。

天然气在自然界的分布是很广泛的，成因类型众多且热演化程度各不相同，其地化特征更是各不一样，所以用相同的指标来识别的话是很难进行的。经过很多次的实践得知，用多项指标综合判别比用单一的指标准确性更高更为可靠。天然气成因判别所涉及的项目，主要有同位素、气组分、轻烃以及生物标志化合物等四项，其中有些内容判别标准截然，它的意义是绝对的，有些内容则在三种成因气上有些重叠，只具有一定的相对意义。

◎天然气的形成

天然气系古生物遗骸长期沉积地下，经长时间的一系列的地质变化而逐渐转化及变质裂解而产生之气态碳氢化合物，具有可燃性，多在油田开采原油时随之溢出。

天然气蕴藏在地下约 3000~4000 米之多孔隙岩层中，是埋藏在地下的古生物经过数亿万年的高温和高压等的共同作用而形成的可燃气，是一种无色无味无毒、热值高、燃烧稳定、环保干净的优质能源。构成天然气的主要成分是甲烷，热值为 8500 千卡/立方米是一种主要由甲烷组成的气态化石燃料。它主要存在于油田和天然气田，会有少部分与煤层出现。

在石油地质学中，通常指油田气和气田气。其组成以烃类为主，并含有非烃气体。广义的天然气通常是指地壳中一切天然生成的气体，其中包括油田气、气田气、泥火山气、煤撑器和生物生成气等。依据天然气在地下存在的相对状态可分为游离态、溶解态、吸附态和固态水合物。只有游离态的天然气经聚集形成天然气藏，才能被开发和利用。天然气有很广泛的应用，其中最主要用途是作燃料，可制造炭黑、化学药品和液化石油气，由天然气生产的丙烷、丁烷是现代工业的重要原料。天然气主要由气态低分子烃和非烃气体混合组成。

当甲烷飘散到大气层中时，它会是一种直接导致温室效应急速加剧的温室气体，飘散在空气中的甲烷是一种空气污染物，并不是有用的能源。然而，在大气中飘散的甲烷一旦与臭氧相遇发生氧化反应，产生二氧化碳和水，因此排放甲烷所导致的温室效应是相对短暂的。而且就燃烧这一方面而言，天然气要比煤这类石炭纪燃料产生的二氧化碳要少很多。甲烷的重要生物形式来源是白蚁、反刍动物（如牛羊）和人类对土地的耕种。据估计，这三者的散发量分别是每年 15、75 和 100 百万吨（年散发总量约

为1亿吨)。

若天然气在空气中浓度为5%~15%，一旦遇到明火便会发生严重的爆炸，这个浓度范围是天然气的爆炸极限。爆炸在瞬间产生高压、高温，其破坏力和危险性都是很大的。

根据天然气的溶解性，又可以分为构造性天然气、水溶性天然气、煤矿天然气等三种。而构造性天然气又可分为伴随原油出产的湿性天然气、与不含液体成分的干性天然气。

天然气主要存在于油田气、气田气、煤层气、泥火山气和生物生成气中，会有很少量的出于煤层。天然气又可分为伴生气和非伴生气两种。伴随原油而生成的，与原油同时被采出的油田气叫伴生气；非伴生气包括纯气田天然气和凝析气田天然气两种，在地层中都以气态存在。凝析气田天然气从地层流出井口后，由于受到压力和温度的下降的影响，分离为气液两种形态，气相是凝析气田天然气，液相是凝析液，叫凝析油。

与煤炭、石油等常见的能源相比，在燃烧过程中，天然气产生的对人体呼吸系统有害的物质非常的少，产生的二氧化碳量也仅为煤的40%左右，同样二氧化硫含量也是非常少的。天然气燃烧后没有废渣、废水的产生，具因此相比以往的那些燃料，使用起来更安全、洁净环保，又加上天然气的热值高，所以时间也比其他的燃料用的短，无论在哪个方面都有很大的优势。但是，与煤炭、石油相同的是，燃烧天然气也会产生加速温室效应的温室气体。因此，这是不能把天然气当作新能源的原因。

◎化学成分

天然气的主要成分是甲烷(CH_4)，甲烷是最短和最轻的烃分子，但在组成成分上它也会含有一些较重的烃分子，例如乙烷(C_2H_6)、丙烷(C_3H_8)和丁烷(C_4H_{10})，还有一些不定量的含有气体的硫黄，可以参见天然气冷凝物。

有机硫化物和硫化氢(H_2S)是较为常见的杂质，在绝大部分利用天然气的情况下都必须预先除去含硫杂质多的天然气，用英文的专业术语形容为“sour (酸的)”。

天然气本身是无色无味的，但是在送到最终用户之前，还要用硫醇来给天然气添加气味，这样做的目的是防止泄漏，在泄漏的时候能够感觉到。天然气不像一氧化碳那样具有毒性，它本质上是对人体无害的但是当空气中天然气的含量太大，导致空气中的氧气不足以维持生命的话，依然