



国家电网公司
电力科技著作出版项目

科普系列图书

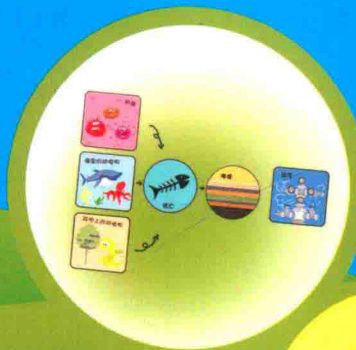
CSEE-KPN1-2016-B1

三小时读懂页岩气

——会“出气”的黑石头



中国电机工程学会 组编
张金川 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
电力科技著作出版项目

科普系列图书

CSEE-KPN1-2016-B1

三小时读懂页岩气

——会“出气”的黑石头

中国电机工程学会 组编
张金川 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内容提要

页岩气作为一种新型绿色能源，从发现之日起便引起很大的关注。本书通过通俗易懂的文字描述、直观具体的照片、妙趣横生的插图、提纲挈领的问答，介绍页岩气的来源、生成、勘查、资源、开发及利用等内容，简洁明了、条理分明。

本书适合不同的读者群了解、认识页岩气的来龙去脉，也可作为中学生的科普扩展读物。

图书在版编目（CIP）数据

三小时读懂页岩气：会“出气”的黑石头 / 张金川主编；中国电机工程学会组编. —北京：中国电力出版社，2016.12

ISBN 978-7-5123-5983-3

I. ①三… II. ①张…②中… III. ①油页岩—普及读物IV. ①P618.12-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第118952号

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市东城区北京站西街19号（邮政编码100005）

网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑：马首鳌 联系电话：010-63412396

责任校对：闫秀英 王开云

装帧设计：张俊霞

责任印制：藺义舟

印 刷：北京瑞禾彩色印刷有限公司

版 次：2016年12月第一版

印 次：2016年12月北京第一次印刷

开 本：710毫米×980毫米 16开本

印 张：4.75

字 数：53千字

印 数：0001—1000册

定 价：18.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

《三小时读懂页岩气——会“出气”的黑石头》

编审组

组 长 张金川

副 组 长 唐 玄 黄 璜

编写成员 (按姓氏笔画排序)

马广鑫 石 刚 史 森 刘 冲 朱亮亮

任珠琳 杨升宇 陈 前 杜晓瑞 荆铁亚

郭睿波 裴松伟

审稿人员 肖 兰 何 郁 李卫东 韩晓平

策划编辑 肖 兰

责任编辑 马首鳌

美术编辑 张俊霞

序

页岩气属于新型的绿色能源资源，是一种非常规天然气。近年来，页岩气的勘探开发异军突起，已成为全球油气工业中的一匹“黑马”。作为重要的清洁能源，页岩气的高效开发将会在能源和经济领域中起到不可低估的作用。页岩气用途非常广泛，将在居民燃气、城市供热、绿色发电、汽车燃料、化工原料等方面产生重要影响。它的应用，可对解决环境破坏、大气雾霾、温室效应等困扰人民生活的问题，提供一种绿色环保的有效方案。

作为国家能源安全的重要组成部分，页岩气是一种有望改变中国能源结构、增加中国能源资源的新兴绿色能源。页岩气的开发可进一步优化中国能源结构，并降低油气能源对外依存度。2011年，国务院正式批准页岩气成为中国第172个矿种，为中国页岩气的快速发展奠定了基础，短短几年内便实现了从区域普查到发现高产气田的飞跃。

中国电力出版社在科普图书出版方面经验丰富，中国地质大学（北京）是中国最早开始系统研究页岩气的单位之一，在科研、教学、实验、实践等方面一直走在前列。在中国页岩气开发快速起步的今天，由中国电力出版社策划、中国地质大学（北京）张金川教授页岩气团队编写的这本《三小时读懂页岩气——会“出气”的黑石头》，将会让广大读者对页岩气有一个全面的认识 and 了解。

中国科学院院士



2016年11月

前言

当今社会，能源已经成为每一个人都必须关注和面对的话题，能源优化、资源转型、生态平衡、结构改革、能源投资等议题不断进入大众视野。其中，油、气、电与我们日常生活息息相关、密不可分。

页岩气资源丰富，用途广泛，开采技术发展迅速。作为能源领域中的后来居上者，页岩气广受关注和青睐，它不仅影响了世界能源格局，而且改变了一些国家的能源战略布局。作为国家能源科技实力的象征，页岩气技术迅速发展，将增加中国可开采能源资源量，提高我们每个人的生活质量。

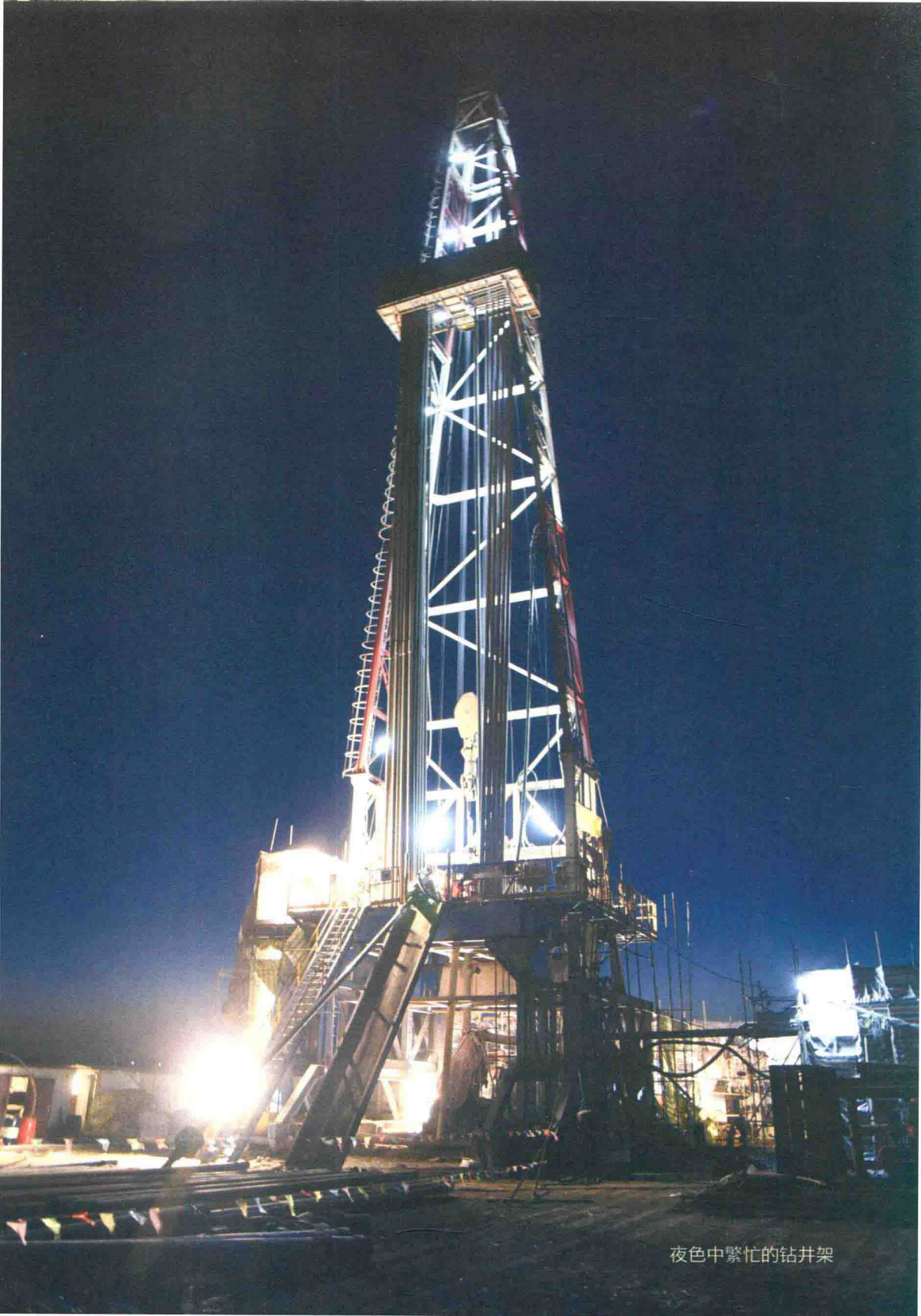
页岩气生成并赋存于“调皮”的黑色页岩中，要发现高产页岩气田并非易事。尽管页岩气分布广泛，但商业化开发更需要方方面面的知识和技术支持。新能源领域正在不断拓展，“页岩气速度”正在不断刷新，蓝天白云下的惬意生活正在向我们招手。

本书旨在通过通俗易懂的语言、简单明了的插图、引领思考的问答，向读者展现一幅页岩气画卷。整本书花小半天时间就可以读完，除了能了解页岩气这个新能源的面貌之外，亦可或多或少地唤起读者对天然气、绿色能源、能源地质等方面知识的兴趣和思考。

尽管呈献在读者面前的文字只有区区数万字，但其中所蕴含的工作量巨大，包含了三批作者前赴后继、追求完美的态度和付出。本书由中国地质大学（北京）页岩气团队历时四年编写完成，其间三易其稿，先后经历了一稿撰写、改进与提升，二稿修订、补充与凝练，三稿审定等过程。其中，一稿作者为杨升宇等人，二稿作者为裴松伟等人，三稿作者为史淼等人。丁江辉、刘子驿、李哲、陈莉为本书提供了部分照片和插图。全书由我统编定稿。书中如有不足之处，敬请读者批评指正。

张金川

2016年11月



夜色中繁忙的钻井架

目录

序
前言

1 页岩气的“家世”

- 1.1 地球的皮肤——三大类岩石..... 2
- 1.2 层层叠叠的岩石——页岩和它的小伙伴们..... 3
- 1.3 富含有机质的黑石头——黑色页岩..... 6
- 1.4 天然气家族长子——页岩气的“家谱”..... 8
- 1.5 特立独行走江湖——页岩气的特殊性..... 9

2 页岩气的生成

- 2.1 古代生物存遗存——页岩气的“前世”..... 14
- 2.2 自然界中的“高压锅”——页岩气的形成..... 15
- 2.3 巧妇难为无米之炊——判断页岩气生成的尺子..... 17
- 2.4 煮熟的米饭放哪里——页岩气的赋存..... 18
- 2.5 欲善其事必先利其器——页岩气赋存规律..... 19

3 页岩气的勘查

- 3.1 地质“旅游”探宝藏——野外地质调查..... 23
- 3.2 地球体检化验单——实验测试与分析..... 25
- 3.3 火眼金睛看地球——地球物理方法..... 27

3.4 一孔之见探地宝 —— 钻探取心	29
3.5 酒香不怕巷子深 —— 页岩气的发现	32

4 页岩气资源

4.1 黑色石头“憋”着气 —— 页岩含气量的测定	37
4.2 占卜与科学预测 —— 页岩气资源评价方法	38
4.3 观山望水相“龙穴” —— 页岩气有利区优选	40
4.4 资源评价靠科学 —— 页岩气资源量计算	42
4.5 冰山才露尖尖角 —— 页岩气资源分布	42

5 页岩气开发

5.1 上天容易入地难 —— 页岩气开发工程	47
5.2 随心所欲钻地洞 —— 水平井技术	49
5.3 为页岩气“开路” —— 大型水力压裂	50
5.4 接“地气”获高产 —— 页岩气开采与地面建设	52

6 页岩气的经济开发与环保

6.1 “柳暗花明又一村” —— 页岩气革命	56
6.2 长江后浪推前浪 —— 能源接替新领域	57
6.3 青山绿水好家园 —— 页岩气的开发利用与环保	57
6.4 能源领域赛“黑马” —— 页岩气的经济性	59
6.5 方兴未艾新产业 —— 页岩气发展趋势	60

索引	64
----------	----

1

页岩气的“家世”

穿行在崇山峻岭间，我们会经常看到一些像书页一样层层叠叠的岩石，它由很多细腻的薄层所组成，或松软或坚硬，各色各样。仔细一看，很可能整片山区都有这种石头。这种岩石从哪里来、它能做什么、传说中的页岩气又是什么？带着这些问题，让我们打开页岩气的家谱，一睹为快吧！



像书页一样的岩石——页岩



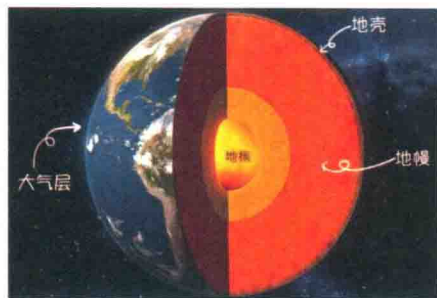
1.1 地球的皮肤 —— 三大类岩石

在浩瀚的宇宙中，我们所生活的地球是蓝色的。它不仅是太阳系中唯一存在智慧生物的天体，也是人类目前所知宇宙中唯一存在生命的天体。

我们都习惯说地球是蓝色的圆球体，但地球表面是非常崎岖不平的。剥除大气圈，再扣除水圈，剩下的固体地球外形极不规则，与月球表面非常相似。



3D 打印的固体地球模型



地球内部的结构

类似于鸡蛋，地球内部也分为三层，从内到外依次为地核、地幔和地壳。由岩石组成的地壳是固体地球的最外层，也就是地球的“皮肤”。

组成地壳的岩石可分为三大类，分别是沉积岩、岩浆岩和变质岩。沉积岩也称水成岩，是母岩风化物、火山碎屑物、沉积有机物及少量宇宙物质，在冰川、河流、湖泊、海洋等作用下，经过搬运、堆积和埋藏作用而形成的层状岩石，它分布于地壳浅层，部分出露于地表；岩浆岩也称火成岩，它来源于地壳深部，由地球内部的熔浆凝固结而形成，可分布于地表；若岩浆岩或沉积岩经受了深埋后的高温高压作用，岩石结构或组织发生改变，就形成了变质岩。

三大类岩石中以沉积岩的出露面积最大，现在的陆地和海洋底部几乎全部为沉积岩或沉积物所覆盖，其中不乏大量的黑色页岩。

固体地球表面蕴含着各种丰富的矿藏资源，也是地球上矿藏资源最为多样化的部分，如煤炭（coal）、石油（oil）、天然气（natural gas）等化石能源矿产，金、银、铜、铁等金属矿产。当然，还包括品目繁多的其他矿产。其中，页岩气（shale gas）是天然气中的一种，它安静地躲在黑色页岩中，等待着被人类发现、开发和利用。



1.2 层层叠叠的岩石——页岩和它的小伙伴们

地球上原始存在的岩石坚硬而沉默，在高山或者海边默默承受着风吹雨打和日晒。但是它们不会永远都是这个样子，光阴荏苒，这些母岩可以因热胀冷缩而产生裂纹，可以被地壳运动所破碎，也可以被水、风，甚至生物影响而加快风化及剥蚀速度，形成越来越小的岩石颗粒。

破碎的岩石颗粒会随着洪流、溪流、江河等地表径流来进行搬运，黄河就是因为水中携带了大量的泥沙才变成了黄色，黄河、长江、珠江等三角洲就是河流搬运的杰作。当风夹带大量浮土和沙尘的时候，



看起来是黄色的，形成我们常说的“沙尘暴”，因此风也是微细颗粒搬运的一种方式。甚至，细小的矿物颗粒还会躲在一只鸟的羽毛里，旅行到遥远的地方。



知识链接

风化（weathering）是指地表或接近地表的坚硬岩石与大气、水及生物接触，产生物理或化学变化而在原地形成松散堆积物的过程。风化作用可分为物理风化、化学风化、生物风化三种。



当流水或风的搬运能力降低时，岩石颗粒就沉积下来形成堆积，渐渐地就形成了层层叠叠的沉积岩。特别是在远海或者湖泊的中心地方，沉积水体几乎完全处于静止状态，对岩石颗粒的搬运能力消失，细小的颗粒在这里沉积。与细小颗粒同时沉积的还有死亡的动物、植物碎屑，它们可能来自远处有机物的搬运、就近的沉积，或者原地的堆积。若这些细小的矿物颗粒与有机物一起堆积，就可能为日后页岩的形成做好了物质准备。

由于古气候变化，一段时间可能以泥质颗粒和生物碎屑沉积为主，另一段时间可能以粗粒沉积为主并缺乏生物碎屑，如此循环往复，形成了厚度巨大的页岩地层。



层状页岩岩心

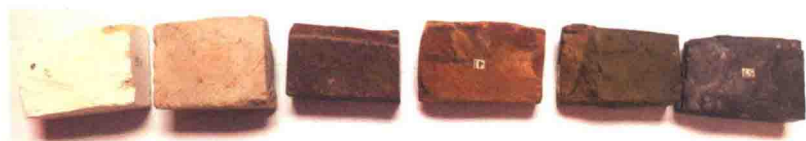


层层叠叠的黑色页岩

随着时间的推移，这些沉积物越埋越深，也被压得越来越紧密。经过地层中的高温高压作用，交替形成的松散沉积物就逐渐固结形成了带有一定纹理的页岩。

页岩成分复杂，除黏土矿物外，还含有许多碎屑矿物和自生矿物。页岩具有页状或薄片状层理，风化后会形成薄如书页的纹层状，这也是“页岩”这个名字的由来。页岩抵抗风化的能力弱，在地形上往往因剥蚀而形成沟谷。

提到页岩，我们往往会联想到书页状的纹理，事实上纹理并不存在于所有的页岩中，我们有时候能看到纹理，有时候又看不到纹理。页岩有各种各样的颜色，常见的有灰绿色、灰黑色、黑色、灰白色等，有时也可见白色、紫红色，表明页岩的形成环境或其中所含的矿物质有所不同。作为本书的“主角”，黑色页岩含有数量较多的有机物质，表明它们来自于缺氧的海洋底部、湖泊底部等环境。



不同颜色的页岩

(从左至右，依次为：白色、灰白色、紫色、褐黄色、灰绿色、黑色页岩)



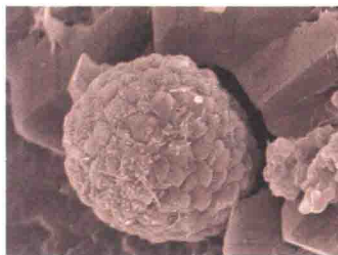
页岩是沉积岩中沉积物颗粒最小且数量较多的一种，比页岩颗粒大的碎屑沉积岩还有泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩、中砂岩、粗砂岩、砾岩等。



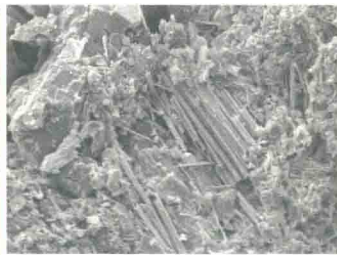
碎屑岩类型
(从左至右, 依次为: 砾岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩)

1.3 富含有机质的黑石头——黑色页岩

黑色页岩的化学成分和矿物成分十分复杂。化学成分主要为二氧化硅、氧化铝和水，其次为铁、镁、钙、钠、钾的氧化物及一些微量元素等；矿物成分主要有石英、长石、云母、黄铁矿以及黏土矿物（高岭石、伊利石等）、碳酸盐矿物（方解石、白云石等）。特别是，黑色页岩中含有能够生成石油和页岩气的成分——有机质。



草莓状黄铁矿



伊利石



富有机质黑色页岩（污手）

富含有机质的黑色页岩可形成于海洋（海相）、湖泊（陆相）和海陆交替（海陆过渡相，如三角洲、潮滩、沼泽等）三种地质环境，其特点差异明显。形成于海相环境的页岩分布面积大、单层厚度大、横向变化连续性强，颜色黑、硬度大，中国南方省份的大部分黑色页岩（如礁石坝气田）均属此类；形成于湖相条件下的页岩分布面积较小，页岩地层中常夹有砂岩和粉砂岩，尽管页岩的最大累计厚度较大，但厚度的侧向变化较快，常表现为棕褐色、褐黑色，华北、东北、西北等地区的油田，譬如大庆、胜利、辽河、华北、中原、苏北、延长油田等，属于此种类型；形成于海陆交替条件下的页岩常呈薄层状，与粉砂岩、灰岩及煤层薄互层频繁交替过渡，多呈灰黑色、深灰色，颜色偏浅，硬度偏小，南方和北方与煤系同层的页岩均属此类。

相比于砂岩，页岩的硬度较小，在相同的应力作用下，页岩更容易变形、破裂或遭受剥蚀。特别是当页岩被抬升至地表时，更容易遭受风化剥蚀作用而很快褪色（其中的有机质被雨水淋滤）、夷平（从山体去凸化的圆润形态到夷为平地）、消失（被新的沉积物所覆盖）。页岩地层易于松软成壤，且有机碳含量高，常是植被发育的良好温床，许多页岩就躲藏在农田或杂草之下。



植被覆盖下的褪色页岩
（南方，来自海相）



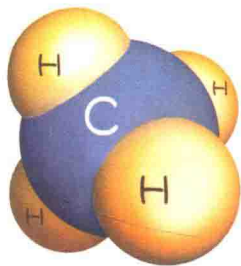
躲藏在植被下的褪色页岩
（北方，来自海陆过渡相）



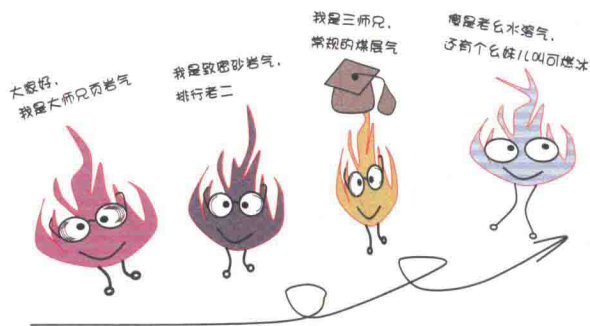
有机质在漫长的地质历史时期中不断发生变化。随着埋深的增加，地层温度和压力不断上升，有机质发生复杂的生物—化学反应，高分子有机化合物不断发生化学键断裂，在条件合适时形成可以流动的石油或者天然气。

1.4 天然气家族长子——页岩气的“家谱”

天然气成分以甲烷为主，还可能有乙烷、丙烷、丁烷等其他可燃气体，也可包括少量氮气、二氧化碳、硫化氢等，是一种高效、清洁的能源（clean energy），主要被用做燃料和原料。作为燃料，天然气已被广泛应用于发电、居民燃料以及交通运输等生产生活的各个方面。作为原料，则可在农业、化工、橡胶、纺织等领域大显身手。页岩气是天然气中的一种，与通常所说天然气的成分和用途完全相同。



甲烷分子



天然气家族排行榜

根据形成和分布特点，地质研究人员把天然气分为常规气和非常规气两种。前者是以前我们所认知、已有悠久勘探开发历史的天然气；后者是相对于常规

而言的，主要有页岩气、煤层气、致密砂岩气、水溶气以及可燃冰等。在黑色页岩地层中，以多种方式存在且能够进行商业开发的天然气，就是通常所说的页岩气。