

天然气地质学

〔苏〕И.В. 维索茨基 著

石油工业出版社

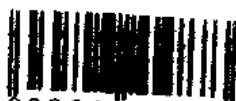
27825

天然气地质学

[苏]И.В.维索茨基 著

戴金星 吴少华 郑汉璇 徐树宝 李祐佑译

戴金星 杨宝善 校订



00264488



200366022

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是目前最为系统,内容又极丰富的天然气地质学专著,它阐明了天然气的地质学与地球化学的主要问题,对沉积岩、结晶岩和变质岩中各种天然气的性质、组分和分布;气田(藏)类型、天然气的聚集带、主要的含气盆地以及气和油聚集空间上分异;天然气的多种成因;天然气的运移、聚集的形式和演化、气田的形成和气藏形成的时间及其破坏等许多重要问题进行了论述。

该书可供油气地质、地球化学和煤田地质等方面的生产部门和科学研究人员使用,并可作高等学校,特别是石油院校有关专业师生的重要参考书。



И. В. Висоцкий

Геология Природного Газа

Москва «Недра» 1979

*

天 然 气 地 质 学

(苏)И. В. 维索茨基

戴金星 吴少华 郑汉族 徐树宝 李祐佑译

戴金星 杨宝善校订

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲86号)

北京顺义燕华营印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 15 1/4印张 381千字 印1—2,260

1986年9月北京第1版 1986年9月北京第1次印刷

书号: 15037·2592 定价: 3.10元

译者 的话

—— 为《马克思恩格斯选集》第一卷《费尔巴哈论》作序 ——

序 言

天然气作为一种最廉价的能源的作用日益重要，这是当代世界能源发展的一个特点。此外，天然气及其各种成分越来越广泛地用作化学工业原料，主要是用作生产各种合成物质和矿物肥料的原料。近十年来，苏联用于化学工业的气量约增加了三倍。在冶金、金属加工和水泥工业中，利用天然气大大提高了劳动生产率和产品质量。

由于在气田中发现大量凝析油和硫化氢储量，天然气作为化学原料的价值大为提高。

大量气体用于气化城市和农村。到1975年底，苏联城市气化水平达到67%。

加速发展天然气工业是使国家科学技术进步和提高生产力最重要的方向之一。天然气产量的大幅度增长始于1955年，首先是由于在乌克兰（谢别林卡）和前高加索（北斯塔夫罗波尔），而后在乌兹别克（加兹里）发现了一系列气田并投入开采的结果。其后的20年内，苏联发现了30多个储量各大于1000亿米³的气田。在这一期间，查明了一系列以发育气田为主的盆地或盆地的大部分地区（第聂伯—顿涅茨盆地，卡拉库姆〔Каракумский〕盆地，西西伯利亚盆地北部的鄂毕河—塔佐夫区）。所有这些都为苏联天然气工业提供了可靠的原料基地。

加速发展天然气工业，要求不断增加天然气储量。而增加天然气储量，则首先要提高天然气普查勘探工作的效率。为此，必须经常总结研究作为生产实践和科学研究成果所积累下来的资料。

在本书中，作者在对目前有关天然气（首先是可燃气）地质学和地球化学知识进行专门分析和总结的基础上，试图阐明天然气地质学的一些主要问题，即天然气的生成条件，天然气聚集的形成特点和空间分布规律，特别是天然气与石油的关系。

编写本书时，按每一专题都要研究大量文献资料（不限于本书参考书目上所列出的）。在参考书目中，仅列出近十年来发表的主要文献和一些至今尚未失去意义的较早期著作。

作者在本书中，无意对一切涉及到的问题都进行充分探讨。为了解决天然气成因、天然气聚集的形成和气田分布规律等问题以及制订一套完善的、有针对性的天然气普查方法，尚需大批学者和实际工作者进行长期研究。

作者编写本书时，曾得到莫斯科大学可燃矿产地质和地球化学教研室的全体人员 and Ф.А.阿列克谢耶夫(Алексеев)、В.И.叶尔马科夫(Ермаков)、Л.М.佐里金(Зорькин)、В.Л.索科洛夫(Соколов)等教授的帮助和建议，谨对他们表示谢意。

作者将感谢读者对本书提出批评和希望。

目 录

序言

结论	(1)
----	-------

第一章 天然气的性质、组分与分布	(4)
------------------	-------

第1节 一般知识	(4)
----------	-------

第2节 天然气的物理性质和气态定律	(8)
-------------------	-------

密度	(8)
----	-------

分子量	(9)
-----	-------

临界温度和压力	(9)
---------	-------

溶解度	(11)
-----	--------

反溶解	(16)
-----	--------

吸着作用	(18)
------	--------

粘度	(24)
----	--------

隙透	(25)
----	--------

扩散	(26)
----	--------

水化物的形成	(29)
--------	--------

气态的基本定律	(29)
---------	--------

第3节 天然气的分布和存在条件	(33)
-----------------	--------

大气圈气	(33)
------	--------

水圈气	(33)
-----	--------

岩石圈气	(34)
------	--------

第4节 气体在自然界出现的形式(气体露头)	(35)
-----------------------	--------

第5节 天然气的化学组分	(39)
--------------	--------

游离聚集气(气藏)的化学组分	(42)
----------------	--------

石油中溶解气(伴生气)的化学组分	(47)
------------------	--------

水中溶解气的化学组分	(48)
------------	--------

含煤盆地气的化学组分	(53)
------------	--------

结晶岩和变质岩气的化学组分	(56)
---------------	--------

火山气的化学组分	(59)
----------	--------

第二章 岩石中天然气聚集的埋藏条件	(62)
-------------------	--------

第1节 天然气聚集存在的温度压力条件	(62)
--------------------	--------

第2节 天然油(气)贮	(72)
-------------	--------

储集层	(73)
-----	--------

储集层性质变化的分带性	(79)
-------------	--------

封隔气的盖层	(82)
--------	--------

第3节 气藏和气田类型	(89)
-------------	--------

按照油气的圈闭类型和天然气贮类型的气藏和(或)油藏的分类	(91)
------------------------------	--------

气田类型	(104)
------	---------

第4节 天然气聚集带和天然气聚集带分布区	(108)
----------------------	---------

第5节 含气盆地和含油气盆地	(109)
----------------	---------

含油气盆地的分类	(112)
----------	---------

盆地中油气聚集的空间分异	(121)
第三章 天然气的成因	(153)
第1节 概述——天然气的成因分类	(153)
第2节 有机成因气(有机生成气)	(156)
岩石中分散有机质的气	(156)
有机质的组分	(156)
分散有机质的转化	(159)
气体形成的成因分带	(162)
气体形成的强度	(172)
集中有机质(煤质)的气	(177)
分散含煤物质的气	(182)
第3节 岩石成因气	(183)
第4节 放射性成因气	(188)
第5节 宇宙成因气	(188)
第6节 烃气的转化	(189)
第7节 气藏气化学组分的形成	(192)
第四章 气田的形成	(196)
第1节 气体的运移	(196)
第2节 气体聚集的形成和演化	(211)
第3节 油气藏形成过程中油、气的分异	(218)
第4节 气藏形成的时间	(221)
第5节 气藏的破坏	(227)
结 论	(230)
参考文献	(232)

绪 论

有关天然气的最早报导已是很久远的事了,许多旅行家对天然气露头都有过记述,他们把燃烧的气体叫作“长明火”。在欧洲东南部和亚洲西南部,“长明火”曾被发现并视为圣火。远在公元前一千五百年,格罗多特^①(Геродот)就指出,在小亚细亚南部沿岸地带,距奇纳利(Гинали)一公里被称作希麦拉^②(Химера)的山上,发现过一种“长明火”。老普利尼(Плиний Старший)和谢涅卡·柳齐^③(Сенека Люций)也曾记述过希麦拉“长明火”。在山上天然气出露的地方,希腊人建造了一座《天地火神》庙。为了纪念这个神奇的喷火怪物,他们把这座山命名为希麦拉山。Е.季特采(Титуе)在1885年最后一次记述过希麦拉“长明火”,当时他见到火舌高达一米,宽0.4米。希麦拉山上的火至少燃烧了二、三千年。

在伊朗、阿塞拜疆和伊拉克,自古就发现有许多火泉。在伊朗,正是由于丰富的火泉而创建了拜火教,这一宗教也曾在印度出现。印度有一个名叫伊阿瓦拉穆卡(Иаваламука)的火神庙(在旁遮普省),在其附近升起着不大的、永久燃烧着的火舌。

在阿普歇侖半岛(在苏拉汉 Сурахан),至今还保存着一座拜火教神庙(图1)。十九世纪七十年代初期,还住过一些拜火教祭司。现在这座神庙具有古代纪念碑的意义。

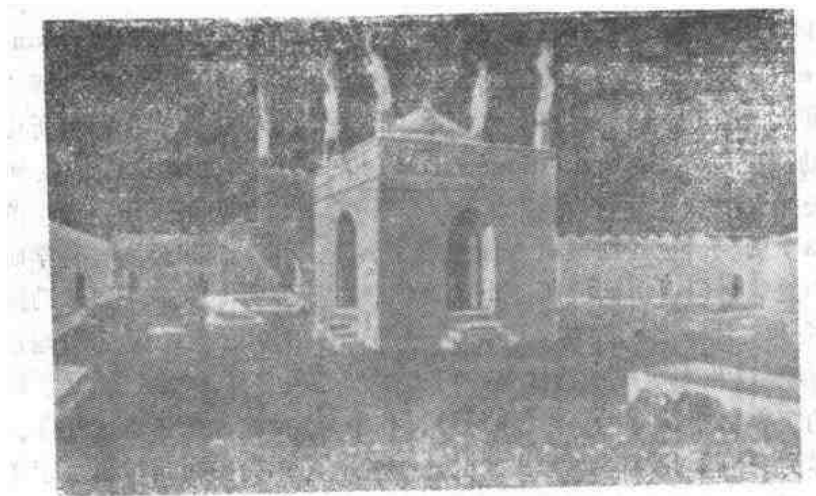


图1 1872年的苏拉汉拜火教神庙

俄罗斯军医И.列尔赫(Лерхе)在1733~1735年曾参观巴库和一些拜火圣地,他在描述这次旅行时写道:火焰出自长四十米、深一米的裂缝,有些地方火焰高达六米。

在阿尔巴尼亚(尼姆费乌姆-Нимфеум区)、罗马尼亚(洛帕塔里-Лопатари,安德列

① 格罗多特(生于公元前490~480之间的某一年,卒于公元前425年),古希腊历史学家。——校者

② 希麦拉,古希腊神话中狮头蛇尾羊身的喷火怪物。——校者

③ 老普利尼(公元43~79年),古罗马作家、科学家。古罗马作家小普利尼的继父。谢涅卡·柳齐(公元前4年~公元65年),古罗马政治家、哲学家和作家。——校者

希-Андреаша), 缅甸(仁安佳-Енапьят), 婆罗洲(赞加-Занга-Занга附近的火焰山)和其它地方都有“长明火”。

最后,在古代还广泛知道,并在旅行家的笔记中多次提到“喷火泥山”或泥火山。

目前,在六十个国家发现了并开采着约一万个纯气田,还从差不多同样数目的油田中开采天然气。在七千米深度内,整个显生界沉积岩都是含气的。从前寒武纪岩石中也获得了很大的气流。

В.И.维尔纳德斯基(Вернадский)第一个对天然气进行了成因分类(1912~1914, 1931~1934),他的研究作为系统研究天然气成分^①、形成条件及其在地壳中的存在和分布奠定了基础。В.В.别洛乌索夫(Белоусов)、А.Л.科兹洛夫(Козлов)、В.А.索科洛夫(Соколов)、В.П.萨夫钦科(Савченко)、И.В.维索茨基(Высоцкий)和其他人对天然气进行过专门研究。В.А.索科洛夫在天然气地质和地球化学方面作出过特别重要的贡献(1965—1966, 1971)。

近年来,Ф.А.阿列克谢耶夫, Г.И.阿穆尔斯基(Амурский), П.А.安托诺夫(Антонов), Т.А.鲍特涅瓦娅(Ботневая), В.Г.瓦西利耶夫(Васильев), И.В.维索茨基, М.Г.古列维奇(Гуревич), Ф.Г.达达舍夫(Дадашев), В.И.叶尔马科夫(Ермаков), И.П.扎勃列夫(Жабров), А.С.津格尔(Зингер), Л.М.佐里金(Зорькин), А.Л.科兹洛夫(Козлов), В.Н.科尔增什捷伊(Корценштейн), А.И.克拉夫佐夫(Кравцов), Г.Л.利金(Лидин), Э.Е.隆顿(Лондон), М.С.利沃夫(Львов), А.Ю.纳米奥特(Намюот), В.Е.纳里日娜娅(Нарижная), В.Ф.尼科诺夫(Никонов), Е.А.罗戈齐娜娅(Рогозина), В.П.萨夫钦科, В.А.索科洛夫, И.С.斯塔罗宾茨(Старобинц), М.И.苏鲍塔(Суббота), Э.В.恰伊科夫斯卡娅(Чайковская), В.П.亚库采尼亚(Якуценция)和许多其他人的著作,对天然气(包括地层水中溶解气)地质学和地球化学的一些重大问题(成因、运移、气田水文地质、分布规律等)都有所论述。

太阳天然气勘探公司(Гелиогазразведки)(1932~1941)的地质工作者、地球化学和化学工作者在研究天然气地球化学(包括搜集实际资料)方面作了大量工作,而全苏天然气勘探公司(1944~1953)则在研究气田地质方面进行了大量工作。全苏天然气科学研究所及其分所、全苏核地质和地球物理科学研究所,以及石油科学研究所(全苏天然气勘探科学研究所——ВНИГРИ,全苏石油地质勘探科学研究所——ВНИГНИ等)对天然气地质和地球化学进行了大量研究。现在已相当明确地形成了一门天然气地质学科。天然气地质学问题过去一般是在石油地质学的著作中附带论述一下(在国外著作中,到目前为止还是这样)。第一次试图把天然气地质学作为一门单独学科划分出来的是作者本人,我在1954年出版了《天然气地质学原理》^②一书。后来В.А.索科洛夫(1966, 1971)在他的两部专著中探讨了天然气地球化学问题,从而大大地提高了天然气学说理论一章的水平。

近年来的地球化学和同位素研究,对认识烃气及其聚集的形成特点作出了重大贡献。这些研究使我们得以评价不同成因的岩石中分散有机质在形成各种成分气体中的作用,得以在含油、气盆地的地层垂直剖面上划分出纯成气带或主要成气带,确定烃类圈闭的形成时间和

① “Газ”一词出处不明,十六世纪与十七世纪之交,荷兰物理学家凡·格利蒙特(Ван Гельмонт)第一次使用这个名词,但不能肯定就是他的创造。有人认为这位学者是根据希腊词“Хаос”(永久黑暗)的意义使用这个词的。

② 从书后文献目录可知,作者1954年出版的为《天然气地质学原理(Основы Геологии Природного Газа)》,并非《天然气地质学》(Геология Природного Газа),原文误。——校者

不同岩石成分盖层对天然气聚集的作用，以及在形成烃类聚集时气体驱替效应的作用等。

近年来，对含有溶解汽油——挥发油的气体聚集，即凝析气聚集十分重视。这种聚集的形成与纯气藏的形成有区别。近年来，在自然界发现了一种烃类气体存在的新形式——结晶水化物。已经证实，正是以这一形式存在着大量气体聚集。毫无疑问，它将得到进一步的利用。

虽然现在对控制地球上沉积岩壳中各种成分天然气形成的过程有了相当明确的概念，但是由于这一过程的多样性，以及气体成分与其存在条件变化的复杂性，使一系列天然气地质、地球化学的理论与实际问题难以简单地解决。

对油气聚集、干气聚集、湿气和凝析气聚集，以及含硫化氢和含氮气聚集在空间上的分布情况，分别确定一些预测标志，即对一定物质成分的气体进行普查，是当代天然气地质与地球化学最重要的任务之一。为了解决这一问题，要求非常深入地研究各种成分气体在自然界的生成条件；气体聚集形成的条件；及其在整个地质时期内地质环境、地球化学和温度压力环境不断变化情况下的保存条件。

现在已经很明显，解决上述问题，甚至一般地进一步发展理论和实用天然气地质学，也只有广泛利用现代基础科学，首先是物理化学、物理学和数学的成果才有可能。特别需要应用溶液和表面现象理论的规律，以及化学动力学、热力学、孔隙介质中饱含气液体动力学等理论的规律。此外，还需利用物理与数学模拟、实验装置和数字处理以及广泛应用系统分析等。

第一章 天然气的性质、组分与分布

第1节 一般知识

可燃天然气是自然界经常遇到的气体化合物与气体元素的混合物，如自 CH_4 到 C_5H_{12} 烷烃系列、二氧化碳、氮、硫化氢、氧、氢、一氧化碳、二氧化硫和稀有气体——氦、氖、氩、氪、氙。由于天然气形成过程的多样性，决定了它的组分和在自然界存在与出现形式的不同，这是天然气的特点。

在天然气中，对人类生活最有意义的是**可燃气(烃气)**，它是热能的来源，也是一系列重要化学产品的原料。这类气体在岩石中形成巨大的聚集或气藏，以每昼夜数百万立方米的产量采至地表，有时持续生产达数十年之久。其它组分天然气的份量不大，因此，实际上经常是把可燃气体理解为天然气。

按化学组成而言，可燃气是烷族烃系列的单类气态化合物的混合物。烷族烃的通式是 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ，式中 n 为1至5。在大气条件下，甲烷(CH_4)、乙烷(C_2H_6)、丙烷(C_3H_8)、丁烷(C_4H_{10})是气态烃；在一定条件下，戊烷也是气态烃。

甲烷 通常是可燃天然气的主要组成部分。在与其它烃类气体的混合物中，其含量经常超过90%。纯甲烷为无色气体，稍具大蒜气味。它比空气轻得多；在15°C和标准压力下1米³甲烷重0.677公斤。

甲烷具有高的热稳定性。它明显开始分解的温度不低于600°C。甲烷碳同位素组成可用 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比值表示，其值为89~92。碳同位素组成的国际通用标准PDB●●相对美国芝加哥白垩系箭石属标准的比值变化在5.5~5.8。这种变化是由于形成条件的差异引起的。甲烷中氢同位素 ^1H (氕)和 ^2H (氘)比值变化在3895~4436，即气体中不同程度富含氘。

甲烷具有很高的热值(8098~8997千卡/米³●)，比煤大一倍半。

沼气可作为自然界纯甲烷气存在的例子，它是沼泽植物在沼泽中腐烂形成的。

甲烷是可燃天然气的主要成分(其含量有时达99%)，而且是油藏气的必然成分。在伴生气中，由于含有重烃(如乙烷、丙烷、丁烷等)，其百分含量略微降低。在煤矿中也经常存在甲烷。

乙烷 无色气体，比空气稍重，在标准状况下1米³乙烷重1.270公斤。在自然界未见过纯乙烷单独存在，一般与甲烷伴生。它的热值从14416到15751千卡/米³●。

丙烷 同样为无色气体，比空气重，在标准状况下1米³丙烷重1.9659公斤。象乙烷一样，丙烷在自然界没有纯的单独存在，而且是油藏气的必然伴生物。丙烷的热值从20637到22425千卡/米³。

$$\bullet \quad \delta^{13}\text{C} = \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{样品}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标准}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标准}}} \times 100$$

当样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值比标准样品重时为正，轻时为负。

● 原文把PDB误写为POB。——译者

● 原文漏写“标准”。——译者

● 原文漏写“千”字。——校者

丁烷（正构） 具有比空气大一倍的密度。在 15°C 和标准压力下， 1米^3 丁烷重 2.454 公斤。在标准压力下，仅当温度大于 $+0.6^{\circ}\text{C}$ 时，纯丁烷才以气态存在。在 $+15^{\circ}\text{C}$ ， 1.8 公斤力/厘米 2 压力时，丁烷变为密度为 0.582 克/厘米 3 的液体。

除正丁烷外，还有异丁烷。它们具有同样的化学成分，但分子内部结构不同。异丁烷的物理性质也与正丁烷略有不同。如在标准压力下，异丁烷到 -11°C 还处于气态，仅更低●温度时，才变成液体。

丁烷一般仅在油藏中遇到，因此是指示与油有关的气标志之一。丁烷的热值从 26821 到 29064 千卡/米 3 ●。

戊烷 与丁烷一样有两个变种：正戊烷与异戊烷。后者是汽油的组成部分。

戊烷在烃类天然气中以稀有掺和物状态出现，其含量一般不超过 2% （体积）。例外情况是：油藏气中，戊烷含量可达 10% （体积）。

在甲烷同系物中，一般以乙烷为主，其次是丙烷。丁烷和戊烷（及其异构物）的含量变化不定，但一般比其它成分低。甲烷同系物的同位素组成以下列 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为特征：乙烷 -3.4% ，丙烷 -2.9% ，丁烷 -2.7% 。

可燃天然气中，除烃类成分外，一般含有不同量，有时甚至是大量的二氧化碳、氮和硫化氢，含较少量的氢、氧、一氧化碳及少量的氮和其它稀有气体。

二氧化碳 CO_2 在自然界广泛分布。在大气中它的含量约 0.04% 。在近火山区及工厂附近，大气中二氧化碳含量增加。在地壳火山活动区和岩石强烈变质地区，二氧化碳广泛分布，当其出露地表时，往往形成气泉（纳尔赞型矿泉水等）。例如：科托帕克西火山，每年析出约十亿米 3 二氧化碳。在高加索，大量泉水以析出二氧化碳闻名，其分布范围几乎形成接连不断的环形包围整个高加索山脉。在耶先土基，鲍尔若米等地的二氧化碳泉（水中溶解气）是众所周知的。

二氧化碳气经常与可燃气伴生，并且有时含量达 35% ，但一般变化在百分之几到 $10\sim 15\%$ 。但也有以 CO_2 为主或高含 CO_2 的游离气聚集。例如：在米海伊（Михайи）气田（匈牙利潘诺含油气盆地），气体中含 $95\%\text{CO}_2$ 和 $4.5\%\text{CH}_4$ 。在该盆地中，某些天然气藏（克勒希-谢戈帕季——Кереш-Сегопати气田，英克——Инке气田，麦泽克列斯捷什——Мез-екерестеш气田等）含 45% 到 80% 的二氧化碳。在萨穆特涅利（Самутнельский）气田（西西伯利亚含油气盆地）含 CO_2 达 70% 。

CO_2 碳同位素组成以具有 $\delta^{13}\text{C}$ 大变化幅度值为特征——从 $+0.20$ 到 -3.10 。天然气中 CO_2 含量和碳同位素组成的大幅度变化都与 CO_2 形成条件的多样性有关（有机质的分解，碳酸盐岩和结晶岩的动力、热变质作用以及空气成因等）。

二氧化碳气无色，具有非常微弱的气味。它比空气重 50% ， 1米^3 二氧化碳气在标准状况下重 1.878 公斤。二氧化碳气在水中有高的溶解度。例如：在 $+15^{\circ}\text{C}$ 时， 100 单位体积水中可溶解 101.9 单位体积的二氧化碳气（甲烷仅能溶解 3 单位体积）；而在 0°C 时则可溶 171.3 单位体积二氧化碳气（甲烷仅能溶解 5 单位体积，氮可溶 2 单位体积）。因此，二氧化碳气在自然界一般以溶解在水中的状态出现。二氧化碳溶于水后，将提高后者的溶解度，从而有利于形成矿化水。有时这种水具有医疗作用（纳尔赞——北高加索一种碳酸矿泉水，鲍尔若

● 原文误为“仅更高温度时，才变为液体”。——译者

● 原文漏写“千”字。——校者

米——格鲁吉亚一种矿泉水，耶先土基矿泉水等）。

当 $+15^{\circ}\text{C}$ 和压力超过56.5公斤力/厘米²时，二氧化碳气转化为液态。二氧化碳与水形成水化物 $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。二氧化碳具有高的热稳定性，仅当温度超过 2000°C 时才分解为碳与氧。

氮 N_2 是大气的主要成份，平均含量占大气圈重量的75.5%。在自然界，氮的总量等于 4×10^{18} 吨。地壳中见到的氮气主要通过循环的地下水（次哈耳土博矿泉疗养区）、雨水等从大气携带而来。

在天然气中，氮气比二氧化碳更常遇到。它的含量通常不超过10%（经常为2~3%），但也有纯氮气流或含氮气50%以上、并含大量二氧化碳的气流。发现过纯氮气聚集，如在伏尔加-乌拉尔含油气盆地西界（在北部）二叠纪和石炭纪沉积中就存在一个氮气分布带（甲烷含量不超过1%）。在煤田气、油田水和地层水、以及结晶岩中，有时都含有大量氮气。

氮有两个稳定同位素—— ^{15}N 和 ^{14}N 。按Т.Хоуринг的资料(1958)其含量分别为0.365%和99.635%；在大气中 $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 比值等于273。

氮为无色无味不活泼气体，1米³重1.183公斤。在大气压下，温度低于 -195°C 时氮气开始液化。

硫化氢 H_2S 是一种带有讨厌臭味的可燃气体。燃烧1米³硫化氢需7.15米³空气（而甲烷需9.53米³空气）。1米³硫化氢重1.438公斤。硫化氢易溶于水。20 $^{\circ}\text{C}$ 时，单位体积水中可溶2.582单位体积硫化氢气，而0 $^{\circ}\text{C}$ 时可溶4.670单位体积。

地壳中常见硫化氢。在火山区和山区地表广泛见到它的露头。高加索山脉中央区、阿塞拜疆和土库曼南部是典型的硫化氢露头分布区。在某些地区（土库曼、乌兹别克、巴什基里亚等）的可燃烃气中含有硫化氢，但其含量一般不超过5~6%。在西加拿大含油气盆地某些气田（克罗斯菲尔德——Кросфилд气田、瓦捷尔顿——Ватертон气田、哈尔马坦——Харматтан）有很高的硫化氢含量（20~53%）。在大型的拉克（法国）气田中硫化氢含量高达17%。在墨西哥湾含油气盆地（墨西哥的坦比哥-而克斯潘——Тампико-Тукспан带，美国的海湾区）、波斯湾含油气盆地（伊朗）、卡拉库姆含油气盆地（乌奇克尔-古古尔特利——Учкыр-Гугуртлинский带等）等某些气田中，也发现硫化氢含量升高。

硫S 有四个同位素： ^{32}S 、 ^{33}S 、 ^{34}S 、 ^{36}S ，在自然界中相应按如下比例分布：95.1；0.74；4.2和0.016%。硫的同位素组成与地层水中硫酸盐有关。

氢 H_2 具有很大热值（23000~33900千卡/公斤）的可燃气。它是所有已知气体中最轻的，比空气轻13.3倍。

在 $+15^{\circ}\text{C}$ 、760毫米水银柱压力时，1米³氢气重0.085公斤。纯氢气在自然界罕见，并且数量很少；一般是以掺和物形式在不同成分气体中存在。在烃气中它的含量很少超过3%，但是已知有含 H_2 量达15%的气体出露处（产自阿塞拜疆的泥火山）。在非烃气中，氢可能达到很高浓度。如俄罗斯地台西部耶耳斯克和克列斯捷茨（Крестечский）井产的气体全由氢气组成（М.Г. Гуревиг, 1969）。在阿腊耳井产自井深5400米的气中，氢含量为13~28%（Н.Р. Шерохова, Е.П. Шипенина, 1967）。

在上卡姆斯克和索利卡姆斯克钾盐田光卤石带气中，硫含量高达50%（В.П. Савченко, 1958）。在勒拿河中游一口钻开寒武纪灰岩的井中，溶解气含98%的氢（Л.М. Зорькин, 1973）。在含煤盆地中，气体中氢含量可达40%（卡拉干达，顿巴斯）到87%（巴尔扎斯区）（А.В. Тыжнов, 1938）。引人注目的是，在结晶岩、变质岩气中氢含量很

高。如在塔吉耳河下游，在井深600米橄榄岩岩体气中，含氢量高达79.4%，在南乌拉尔皮里克林（Пирклиньский）峡谷的岩石气中，80.4%由氢组成。产自井深763米的特尔内一熬兹钨酸铝矿气，含氢87.4%（М.Г. Гуревиг, 1969; Л.М. Зорькин, 1973）。

氧 O_2 无色无气味，比空气稍重，1米³氧气在标准状下重1.351公斤。

氧具有高的化学活动性，因此仅在大气中以纯氧存在，其含量占大气重量的23.01%。氧很少加入地壳天然气组成中。当空气渗入地壳时，氧很快由于氧化反应被消耗，以至到20米深处，其含量就不超过1%，而到大于100米深处，氧实际上已不复存在。在浅处超期循环条件下的大气成因气中，氧含量可高达20%，在这种情况下，同时含大量氮。

一氧化碳 CO 无色无气味的可燃气体，燃烧1米³一氧化碳气需要2.38米³空气。一氧化碳的热值不超过2418千卡/公斤。1米³一氧化碳在标准状况下重1.001公斤。

在自然界未遇到过单独存在的纯一氧化碳气，一般 CO 与高温析出气伴生（如火山爆发或伴随有气体燃烧的泥火山爆发）。

二氧化硫 SO_2 存在于与火山活动有关的气体中。如硫质喷气孔之一的埃特纳火山，在1856年析出气中含二氧化硫气34.1%（还有5.9%的氮）。

二氧化硫气比空气重；1米³ SO_2 在标准状况下（760毫米水银柱压力和温度+20°C）重2.705公斤。在标准压力下，二氧化硫气在-10°C时液化，而当压力为5公斤力/厘米²时，温度不低于+32.1°C才能以气态存在。析出二氧化硫气的气流一般具有高温。如上述埃特纳火山在+60.5°C析出二氧化硫。

稀有（惰性）气体 指的是门捷列夫周期表中占据零族的气体元素，并因在自然条件下本身化学的惰性而得名。稀有气体无色无气味，它们首先在大气中发现，其含量很少（表1）。

在地下稀有气体没有形成游离聚集，它们以掺和物形式存在于烃气或氮气中，其含量很少超过1%。氦是例外，其含量可达百分之几。加美国亚里佐纳州诺瓦伊-切姆别尔斯（Новайо-Чемберс）氮气田中，氮含量达10%。但这样高的氮含量是非常罕见的。气体中氮含量超过0.1%就具有工业开采意义。

表1 在太空中（到60公里）稀有气体的含量

气体	氢	氦	氩	氖	氙	氮
体积%	0.933	0.00182	0.00053	0.00011	0.000009	6×10^{-12}
1厘米 ³ 地球表面，克	12.9	0.013	0.00096	0.0029	0.00037	—

氦 有两个同位素： 3He 和 4He ，但在大气中 3He 含量甚微。 $^3He/^4He$ 比值在大气中为 1.4×10^{-6} ，在烃气藏中为 $10^{-9} \sim 10^{-8}$ ，在铁陨石中有时达 10^{-1} ，在火山喷发气中为 10^{-5} 。

氩 有三个同位素： 36Ar ， 38Ar 和 40Ar ，在地球大气中相对含量分别为0.337%，0.063%和99.600%（Ю.А. Шукодюков, Л.К. Левский, 1972）。在烃气中，氩含量最常见为 $8 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-3}\%$ 。

$^4He/^40Ar$ 比值具有特姆意义，在沉积岩中为6~12，而在结晶岩中为3~7。

氖 有三个同位素： ^{20}Ne ， ^{21}Ne 和 ^{22}Ne 。在大气中， ^{20}Ne 占总氖量的90.51%， ^{21}Ne ——0.266%， ^{22}Ne ——0.22%。在天然气中，氖含量变化在 $n \times 10^{-7} \sim n \times 10^{-5}\%$ 广大范围内。

● 近来在实验室条件下得到约150种氦和氮的固态化合物。

氙有六个稳定同位素： ^{78}Kr ， ^{80}Kr ， ^{82}Kr ， ^{83}Kr ， ^{84}Kr 和 ^{86}Kr ，在大气中分别占总氙含量的(%)0.354;2.27;11.56;11.55;56.90和17.37%。在天然气中，氙含量从 $n \times 10^{-8}\%$ 变化到 $n \times 10^{-7}\%$ 。

氡有九个同位素，其中 ^{220}Xe ， ^{222}Xe 和 ^{224}Xe 分布较广(分别占氡总量的26.44%;21.18%和26.89%)。在天然气中，氡含量由 $n \times 10^{-7}\%$ 变化到 $n \times 10^{-9}\%$ 。

在某些气田气中发现有汞蒸气。如在谢别林卡气田(第聂伯-顿涅茨含油气盆地)，汞含量为 $1.0 \times 10^{-8} \sim 4 \times 10^{-6}\%$ (Л. М. Зорькин, Е. В. Стадник等, 1974)。在荷兰格罗宁根大气田，汞平均含量为0.18毫克/米³(И. Моррисон, 1972)。在该气田气中汞的总量约340吨。在德意志联邦共和国巴连鲍尔斯塔尔(Баренборсталь)气田，下三叠统地层气中含汞0.45毫克/米³。

第2节 天然气的物理性质和气态定律

反映气体存在条件和决定气体聚集形成及物质本身生成条件的最重要性质有：密度，分子量，临界温度，临界压力，溶解度(正、反)，吸着作用，粘度，渗透(Эффузия)，扩散和水化物的形成。

密 度

气体密度用在0°C和大气压时1米³气体的质量表示，其单位为立方厘米气体的克重量数。在实际应用中一般使用气体的相对密度，即标准状况下(在0°C和760毫米水银柱压力下)单位体积气体质量相对单位体积空气的质量比。

这样得出的密度值与单位体积的质量大不相同。如甲烷的相对密度为0.5543，而1米³甲烷的质量为0.7166；对于乙烷则相应为1.0488和1.3561；而丙烷相应为1.5617和2.0193等(表2)。

表2 天然气与烃气的密度和分子量

成分	化 学 分 子 式	在0°C和760毫米水 银柱压力下相对空气 的密度	在0°C和760毫米水 银柱压力下1米 ³ 气体 的质量	分 子 量
甲烷	CH_4	0.5543	0.7166	16.042
乙烷	C_2H_6	1.0488	1.3561	30.069
丙烷	C_3H_8	1.5617	2.0193	44.095
丁烷	C_4H_{10}	2.0665	2.6720	58.121
戊烷	C_5H_{12}	2.4872	3.2159	72.147
氢	H_2	0.06952	0.0899	2.016
氧	O_2	1.1058	1.4289	32.000
氮	N_2	0.9673	1.2505	28.016
二氧化碳	CO_2	1.5291	1.9768	44.010
硫化氢	H_2S	1.1906	1.5392	34.070
水蒸气	H_2O	0.5941	0.7680	18.016
空气	—	1.0000	1.2928	28.966
氦	He	0.1380	0.1782	4.000

气体密度与其分子量呈正比关系。

分子量

分子量等于组成该分子的原子的质量和。

与分子量相同公斤数的物质叫公斤分子或克分子。例如：甲烷的克分子是16.04，乙烷的克分子是30.06等。

根据阿佛加德罗定律，在相同压力和温度下，同样体积的不同气体含有相同数的分子。在0°C和1公斤力/厘米²压力下，1厘米³理想气体含 2.7×10^{23} 个分子（洛什米德常数），而在这样条件下一克分子气体含 6.06×10^{23} 个分子（阿佛加德罗常数）。

从这一定律得知，相同体积气体的质量取决于它们的分子量，即下述关系成立：

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m_1}{m_2} \quad (1)$$

式中 ρ_1, ρ_2 ——气体密度，公斤/米³；

m_1, m_2 ——气体分子量。

从式(1)得

$$\rho_1 = \frac{\rho_2 \cdot m_1}{m_2} = k m_1 \quad (2)$$

系数 k 对所有气体为常数，等于 $\frac{1}{22.412}$ ，即

$$\rho = \frac{m}{22.412} \quad (3)$$

如果气体密度为相对空气密度，则由(3)式得

$$\rho = \frac{m}{22.412 \times 1.293} \quad (4)$$

(3)(4)式分母中的22.412值是分子量与密度的比值($\frac{m}{\rho}$)，它具有自己的物理意义。

如果质量为公斤分子，当密度单位为公斤/米³，则公斤分子气体体积为22.412立方米。换句话说，1公斤分子任何气体（16.042公斤甲烷，30.069公斤乙烷等）在大气压和0°C时都有22.412米³体积。

已知化学组成气体混合物的密度（或相对密度）可用气体组成中每一成分的密度（或相对密度）乘它在混合物中的百分含量，相加其所有乘积求得。

临界温度和压力

在自然（地下）条件下，气体是否以气态存在取决于温度和压力（温度和压力参数），既取决于它们的绝对值也取决于其比值。这里首先指的是在某些条件下气体凝析出液体的能力。图2是恒温时（等温曲线）二氧化碳气随压力升高的体积变化曲线。该曲线对于其它气体也是典型的。

在曲线a—d段，即当温度10°C时，在不太压力和大体积条件下，二氧化碳处于蒸气状态。随着压力升高，二氧化碳体积减少。当压力将近46公斤力/厘米²时，达到d点。在该压力下气态二氧化碳逐渐转化为液体，而达d点时则全部二氧化碳转化为液体状态。b—r段已相应为液相，这时压力再增加也不再引起二氧化碳体积的变化。

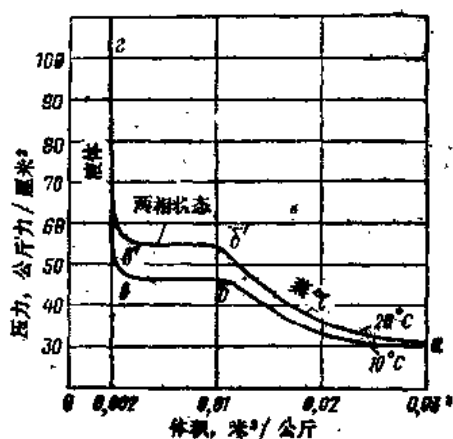


图2 在等温压缩时二氧化碳气的体积变化

蒸气转化为液体时的压力和温度可用蒸气压表示。蒸气压为一定温度下气体存在的最大压力。

在烃气中甲烷具有最大蒸气压，在标准状况下甲烷不能转化为液体。在+20°C时乙烷的蒸气压为37.3公斤力/厘米²，即当压力高于37.3公斤力/厘米²时乙烷将转化为液体。丙烷的蒸气压为9.1公斤力/厘米²，而戊烷是0.42公斤力/厘米²等。一般讲，气体越重，蒸气压越小。

表3和图3列出了某些烃气的蒸气压资料。

表3 不同温度时烃气的蒸气压 (公斤力/厘米²)

烃气	温 度 (°C)								
	-160	-20	-10	0	10	20	30	50	80
甲烷	1.23	—	—	—	—	—	—	—	—
乙烷	0.003	14.0	18.3	23.6	29.8	37.3	46.1	—	—
丙烷	—	2.5	3.5	4.9	6.9	9.1	12.1	1.94	34.2
丁烷	—	0.55	0.85	1.25	1.7	2.2	3.3	6.00	11.9
戊烷	—	0.09	0.16	0.24	0.3	0.42	0.67	1.56	3.70

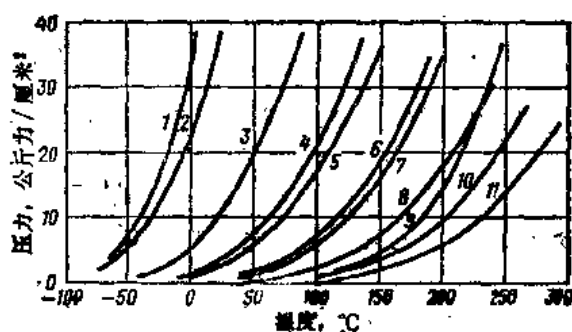


图3 纯烃气的蒸气压

1—二氧化碳；2—乙烷；3—丙烷；4—异丁烷；5—正丁烷；6—异戊烷；7—正戊烷；8—正己烷；9—水蒸气；10—正庚烷；11—正辛烷

体。当具有这样温度的气体压缩时，尽管密度和粘度升高，但仍保持气态。例如：在这样温度下，压力达1000公斤力/厘米²时，丙烷的密度已达到一倍于水的密度，但仍不转化为液体状态。

高于某一温度，物质（气体）不采用简单升高压力的办法（不降低温度）使之转化为液体，该温度叫临界温度。

在临界温度时，气体凝析所需的压力叫临界压力。

临界温度的概念是Д.И.门捷列夫(Менделеев)于1861年首次提出，他称这一温度叫绝

在各种气体的混合物中，各个成分的蒸气压不是常数，而取决于混合物的总压力，并随压力增加而升高。在不大压力（小于10公斤力/厘米²）时，蒸气压增加不大，但随着压力的升高可能达到很大值。例如，实验确定，在氨和氮、氢的混合物中，在总压为1000公斤力/厘米²时，氨的蒸气压4倍于标准压力。

因此，在混合气体中，蒸气压不仅取决于温度，而且与混合物的总压有关。

实验确定，存在这样的温度，在该温度下，不管承受多大压力，气体仍不转化为液体。