

未来能源的选择

——论非生物成因天然气*

王先彬

(兰州地质研究所 兰州 730000)

摘要 文章论述了第四代能源的最佳选择——天然气,特别是对利用非生物成因天然气的可能性、争论焦点及我国在这一领域研究工作取得的突破性进展作了介绍。

关键词 能源,天然气,非生物成因

人类大约在 21 世纪后期将面临石油资源枯竭的问题。在经历了生物质(以木材为主)、煤和石油三代能源之后,不得不转向寻求可供利用的第四代能源。这不仅要在技术和蕴藏量上能够满足人类日益增长的经济增长需求,更要满足人类与大自然协调发展对环境的要求。经济—能源—环境已成为一个不可分割的整体。

1 人类第四代能源——天然气

对技术和能源资料的综合分析结果表明,核能、煤和天然气有可能在未来替代石油。 H_2 作为未来的能源也正在引起强烈的关注。 H_2 与 CH_4 、煤、石油不同,其燃烧时不产生污染物或温室气体,仅仅产生水蒸汽。但 H_2 在地壳中不可能形成大的储量,它不是化石燃料。如果依赖于其它能源(电能、太阳能、风能等)生产 H_2 ,则 H_2 的广泛应用必将受到限制。

在人类最终的能源结构中,核能会占有相当重要的地位,但在目前只占全球能源结构的 6%。在技术上对核泄漏和核废料处理未能达到使社会大众感到安全之前,大规模地利用核能似乎还不太可能。同时,随着和平利用核能的过程,核技术和核原料的扩散和拥有,会带来核武器扩散的潜在危险。

煤在人类能源供给方面一直扮演着十分重要的角色。按照人类目前的消费水平和煤的最终储量预计,它至少可供我们用到 22 世纪结束。但由于煤从开采至燃烧带来的一系列环境问题,又使得以煤为主要能源的时代不可能再现。“洁煤技术”的突破,或许将会为煤的使用展现广阔的前景。

综上所述,人类第四代能源的选择,最佳候选对象将是天然气。

* 收稿日期:1996 年 7 月 18 日。修改稿收到日期:1996 年 10 月 14 日

2 天然气的分类

广义而言,自然界一切天然生成的气体都可称为天然气。但在能源地质学领域,对“天然气”所赋予的特定并广为接受的概念是指可燃的烃类气体或叫能源气体。

天然气是一种以甲烷为主的气体混合物,含有少量乙烷、丙烷和其它不可燃气体组分。甲烷与石油相比具有极高的稳定性,在正常压力下,石油在 150℃ 以上就会分解,而甲烷在 1 600℃ 尚可稳定存在。

2.1 天然气的成因类型

占天然气主要成分的甲烷,有广泛的来源。就甲烷的成因而言,可将天然气划分为三类:生物成因气、热成因气和非生物成因气。

2.1.1 生物成因气(Biogenic Gas)

生物成因气是由微生物在近地表缺氧环境中分解有机物产生的天然气,也称为菌解气。其理论温度低于 97℃。沼泽或稻田中生成的沼气(甲烷)亦属此类。

2.1.2 热成因气(Thermogenic Gas)

热成因气的形成方式与石油相似,沉积有机质随着沉积物的埋深加大,温度升高,其长链有机化合物将断裂、分解形成天然气。

2.1.3 非生物成因气(Abiogenic Gas)

系指地球内部迄今仍保存的地球原始烃类气体,或地壳内部经无机化学过程产生的烃类气体。

2.2 常规天然气与非常规天然气

人类在开发利用天然气的过程中,由于勘探开发技术水平和利用程度的差异,常采用常规和非常规的概念来加以描述、分类。这仅具有相对的意义。就目前世界天然气勘探开发利用的现状可做如下划分:

2.2.1 常规天然气(Conventional Gas)

按现有技术水平,已大量勘探开发的天然气。

油型气 (Oil Gas)

煤成气 (Coal Gas)

生物气 (Biogenic Gas)

2.2.2 非常规天然气(Unconventional Gas)

已显示了广泛的资源前景,但需采用特殊的工艺技术尚可进行勘探开发的天然气。

深层气 (Deep Gas)

煤层气 (Coalbed Gas)

致密岩气 (Tight Gas)

水溶解气 (Dissolved Gas)

富有机质页岩气 (Organic-Rich Shale Gas)

甲烷水合物 (Hydrate)

天然气(甲烷)的物理化学性质,多种类型的成因和来源,使得它的地质分布与煤和石油有一定联系但又十分不同,它既可以与石油、煤有关,形成独立气藏,又有更广泛的来源和分布。以甲烷为主要成份的天然气,可能是世界上最丰富的碳氢化合物,其资源量将超过煤和石油的总和。全世界预计天然气剩余和可望发现的储量总和为 262×10^{12} 立方米。按 1990 年世界天然气消费量计算,可供人类使用 126 年。若以天然气取代石油,成为第四代能源,它在世界总能耗中的比例将由现在的 26.6% 上升到 40%,消费率为 $3\ 856 \times 10^9$ 立方米/年,仍可供我们使用 70 年。

尚需指出的是,上述对天然气储量的评估仅仅是基于常规天然气的数据,尚未考虑非常规天然气的巨大资源量。同时,对非生物成因气的研究一旦获得突破,将为人类提供更为丰富、更为巨大的天然气资源。

3 引人注目的非生物成因天然气

依据生物成因理论估算,世界石油和天然气资源量尚可供人类开采使用不足 100 年。这在六七十年代曾引起全球性的能源危机恐慌。然而,非生物(无机)成因理论认为地球深部存在大量的天然气,其资源量超过目前地球上已知的生物成因天然气资源量的总和。非生物成因理论将天然气的来源从传统的壳源有机质拓延至地球内部原始有机质,在日趋紧张的常规能源危机气氛中,这不仅有重要理论意义,还有重大实际意义。成因观念的更新,将导致勘探新方向、新技术和新方法的产生,也将获得巨大的经济效益。

非生物(无机)作用能否形成石油和天然气,这是一个多世纪以来科学界争论不休的重大科学论题。其关键的问题是:

- (1)非生物成因天然气的理论依据是什么;
- (2)地质地球化学特征及判识标志是什么;
- (3)能否形成具商业开采价值的非生物成因天然气藏;
- (4)非生物成因天然气的成藏特征和分布规律是什么。

对非生物成因天然气理论持反对见解的诸问题是:

- (1)地幔的氧化-还原性问题:认为地幔的氧化性太强,甲烷不稳定;
- (2)甲烷的热力学稳定性问题:认为地壳深部高温使甲烷不稳定;
- (3)认为甲烷碳同位素的 $\delta^{13}\text{C}$ 值具多解性;
- (4)甲烷同系物碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值反序排列问题:认为是不同类型生物成因气混合的结果;
- (5)成藏问题:认为甲烷量太少,不可能成藏。

近 10 多年来,我们针对上述关键问题和反对者的见解,开展大量的研究工作,取得了重要

进展,引起国内外强烈关注。

4 中国非生物成因天然气研究

关于非生物成因天然气研究,涉及地球科学若干前沿领域:从太阳星云和地球的形成演化到地球内部的物理化学状态及其气体特征、行为等。依据对非生物成因天然气理论的论述,针对上述关键问题和反对者的见解,我国在此领域的大量研究工作也取得了重要进展,引起国内外的强烈关注。

4.1 系统地论述了非生物成因天然气理论

烃类是太阳系的主要含碳分子,在行星形成时,地球从原始太阳星云获得大量的这种原始烃类气体。地球在太阳系所独具的特征,使得这部分烃类有可能赋存在地球内部。地球深部的高压条件不仅有抑制烃类系列化合物热分解的作用,而且可以促进烃类的环化作用、聚合作用和凝析作用向着复杂烃类系列演化。在地壳深部和上地幔,高压能使 CH_4 趋于稳定。这些烃类同其它深部气体一起沿地壳薄弱带向上运移,在适合的成藏条件下,将形成具有商业价值的天然气藏,其资源量将大大超过地球上已知的天然气资源的总和。

4.2 提出了非生物成因天然气的宇宙化学依据

通过对星际有机分子、行星大气及陨石有机质的对比研究,阐明地球从太阳星云俘获的原始烃类气体是非生物成因天然气藏的主要物质来源。

4.3 获得了非生物成因天然气的地球化学证据

在大陆板块碰撞边界地热区获得的如下资料: $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值为 5.01×10^{-6} 至 6.02×10^{-6} , 甲烷的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -16.6% 至 -21.6% , $\text{CH}_4/^3\text{He}$ 为 1.5×10^7 至 2.9×10^7 , $\text{H}_2/^3\text{He}$ 为 0.11×10^6 至 10.6×10^6 , 与 Craig 等人 在大洋中脊的发现一致,是非生物成因甲烷的重要地球化学证据。

4.4 在松辽盆地发现了非生物成因的天然气藏

松辽盆地是中国重要的油气产区,在区内已进行商业开采的天然气井中,获得了非生物成因天然气成藏的重要地球化学证据。通过地质、地球化学、地球物理资料的综合分析研究,充分论述了非生物成因天然气形成商业气藏的科学证据。这是该领域研究取得的重要进展和突破。

4.5 在松辽盆地的重要发现得到验证

通过著名费-托反应所获结果,验证了在松辽盆地的重要发现。

模拟原始太阳星云中地球吸积区物理化学条件,进行原始宇宙成因烃类的合成实验(Fischer-Tropsch synthesis)。所获甲烷同系物的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值排序与生物(有机成因烃类)的相反,即具“反序”排列特征, $\delta^{13}\text{C}_1 > \delta^{13}\text{C}_2 > \delta^{13}\text{C}_3 > \delta^{13}\text{C}_4$ 。这一实验结果不仅对研究原始太阳星云演化有重要理论意义,而且进一步验证了在松辽盆地的发现。

4.6 高温高压条件下 C—H—O 体系的实验研究

地球深部甲烷等烃类的热力学稳定性问题是非生物天然气理论的重要论据之一。在温度为 600℃—800℃, 压力 20 千巴—30 千巴(相当于陆壳 60 公里—90 公里深度)条件下, 以玄武岩为载体, 在不同反应物体系中均得甲烷, 乃至高碳数烃类化合物稳定存在的实验结果。

4.7 地幔氧化-还原性问题研究

通过对中国东部地幔包体的气体地球化学研究, 指出地幔的气体化学组成是不均一的, 其氧化-还原特性也是不均一的。某些地区地幔还原性较强, 某些地区氧化性较强。还原性较强的地幔区域有利于非生物成因天然气的稳定存在。

4.8 甲烷同系物碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值反序问题

生物(有机)成因论者认为不同演化阶段生物成因气的混合可以构成 $\delta^{13}\text{C}$ 值的反序排列。但通过数值模拟并结合松辽盆地的实际资料, 证实生物成因气的混合, 不可能构成在松辽盆地的发现, 也就是说甲烷同系物反序排列是非生物成因天然气成藏的重要地球化学证据。

中国非生物成因天然气研究取得的进展, 是在我国寻找非生物成因天然气的一个突破。但对非生物成因天然气理论及资源前景这一已经争论上百年的重大地学前沿论题作出客观、公正的评价, 尚为时过早, 还有许多涉及地学基础问题的的工作有待深入。未来的探索, 坚持“亦此亦彼”, 而不是“非此即彼”的思路, 将是符合客观实际的正常逻辑思维。

5 结语

天然气具有十分可观的蕴藏量(特别是非生物成因天然气), 其使用技术也日趋成熟。同时, 更为重要的是, 它还具备清洁燃烧性质, 受到各国能源决策部门和环境学家们的青睐。

诚然, 使用天然气并不能彻底改变人类对使用矿物能源所造成的环境污染和破坏, 而且, 同其它矿物能源一样, 它也是不可再生的, 总会有枯竭的一天。在未来世界里, 人类肯定会寻找比天然气更丰富、更洁净的能源。但不管将来谁代替它, 天然气将会起到向新能源迈进的桥梁作用, 它也会满足人类在下一个世纪对经济日益增长的需求, 在人类从工业文明到绿色文明的过渡中将起重要作用。