

内部文章

自然界新元素探索 及其有关问题

(译文集)

国家地震局兰州地震大队
区划抗震队化学连同位素组

一九七三年六月

前言

探索新的元素和同位素是现代科技界重点研究领域之一。寻找新元素，一方面可以开拓巨大的新型能源，另一方面也将为元素的形成和演化，物质运动的数量等综合过程提出论据。它无疑将充实地球史和天体史的研究，为人类认识自然、改造自然带来新的突破。

1970年12月21日周恩来总理在接见计委地质局“抓革命，促生产”会议代表时，曾指示要在化学元素周期表中，填上我国发现的新元素。这是一项极为光荣而又艰巨的政治任务。

根据“古为今用、洋为中用”的原则，在开展有关研究时，有分析、有批判地借鉴前人的经验是必要的，有益的。目前就我们所知，国内已出刊了几份关于新元素探索问题的综合报导如地质科学院的探索新元素参考资料，贵阳地球化学研究所的自然界新元素的发现与探索等。

我们在工作中接触到新元素有关问题，查阅了部分资料，为了组内进行交流，将较有价值部分译成中文，相互传阅。在北京地质所等单位的鼓励下，我们决定将这些译文汇集成一个小集子，以便更广泛的进行交^流，更好的向其它单位学习。

译文除部分^略有节删外，原则上全文译出，我们的想法是：通过阅读者自己的^略目^略，取其精华，去其糟粕，在一定程度上或^可弥补综合性资料之不足。

新元素探索主要地是人工合成和在自然物体中寻找两个途径，作为地学有关人^略着眼点当然是从各种矿物、岩石或其它物体中^略寻找。因此，我们搜集的资料除少部分涉及人工合成及超重核的理论^略言外，主要是前人在自然界寻找超铀和超重元素的报导。

自然界新元素探索是一项艰巨复杂的任务，在战略上应当有信心去攻克这一堡垒，因为我们有毛主席、党中央的正确领导，有优越的社会主义制度的保证，同时我们也相信，自然界（包括地壳）的元素不是一成不变的，元素也有其产生、发展和消灭的历程，目前人们所知的地球上元素的分配状态只不过是元素的阶段平衡罢了。还应当存在尚未被认识的新元素。至今为止，国际上从人工合成到在自然界中寻找已进行大量工作。但是，除人工合成至105号元素并在自然界发现极微量的 $\text{Pu}239$ 、 $\text{Pu}244$ 、 $\text{Cm}247$ 等外，被认为在自然界最可能存在的超重核，无论是人工合成或在自然界中寻找，均无肯定结果。如苏联的弗列洛夫在1970年前后，曾发表在古老的铅玻璃中，发现超重核的裂变径迹。但是当工作进一步深化，他又于1972年底著文否定了自己的意见。

总的说来，国外在探索新元素工作上，可以说采用了最新的技术成就，进行了大量精密、细致的工作，但收效极微，对此应予充分考虑。

在进行自然界新元素探索时，我们应充分发挥我国政治制度优越、国土幅员辽阔和一些独具的地质特色，走出自己的道路来。例如国外目前在自然界寻找超重元素主要是从化学性质相似的角度去选择对象，即在铂的矿物中寻找110号元素类铂，在铅的矿物中寻找114号元素类铅如是等等。但这是正确的途径吗？有的同志形象的将此比喻为只是从社会关系入手而没有抓住血缘关系，也就是说，只考虑了化学性质相似，可能共生，而没有考虑超重元素在自然界成因条件这样的内在因素，因而没有抓住主要矛盾。如何才是正确的途径呢？这是一个有待在实践中解决的问题。

假设以至幻想在一定程度是科研工作所不可缺少的，可以这样设

想，超重核可能在地球形成初期的某个阶段存在的多次核爆炸的过程中形成。从这点出发，就可以在我国一些稀土元素特别富集的地段或某种特殊的铀矿区中寻找。另外，也可以在我国某些老地层内富集了大量放射成因氮、氦的天然气中去寻找超重的惰性气体。当然，这只是一些极为初步和粗糙的想法。

最后应当说明，由于我们政治水平和业务水平的限制，译文中不当和错误之处在所难免，恳请同志们批评指正。本译文集的图幅全部是绘图组同志清绘，译文打印由打字室同志完成，对他们的辛勤劳动表示感谢。

兰州地震大队同位素组

一九七三年六月

自然界新元素的探索 及其有关问题

(译文集)

第一部分：超铀元素和氦异常

- | | |
|----------------------------------|------|
| 1 天然气中的氦 | 1970 |
| 2 地球矿石中的碘-129 | 1971 |
| 3 在地球上已经死绝了的放射性X _e 标志 | 1971 |
| 4 寻找自然界中超铀元素的裂变产物——氙的同位素 | 1972 |
| 5 Pu-244的衰变特性和它在自然界存在的组分 | 1966 |
| 6 自然界的Pu-239 | 1968 |
| 7 Pu-244确认为一个已死绝了的放射性 | 1971 |
| 8 地球上的Pu-244 | 1971 |
| 9 自然界中Pu-244的测定 | 1971 |

第二部分：超重元素的探索

- | | |
|--------------------------|------|
| 10 研究比铀重的稳定元素 | 1969 |
| 11 重的超铀元素的合成与寻找 | 1970 |
| 12 原子序数为112号的超重元素可能存在的据证 | 1971 |
| 13 在汞源上先前观察的自发裂变 | 1971 |
| 14 氦离子诱导核的完全融合：指示超重核的合成 | 1971 |
| 15 地球物质中超重元素的研究 | 1971 |
| 16 对超重核的预言 | 1972 |
| 17 通过铀的次级反应研究超重元素的产生 | 1972 |

18 铅玻璃中裂变碎片径迹的起源问题	1972
19 自然界中超重元素的研究	1972
20 在 Z=164 附近的超重元素的化学	1969

第三部分：

21 采用离子微分析器测定绝缘物质的新分析技术	1972
22 用 OR-5 质谱计快速灵敏测定 U^{235}/U^{238} 的同位素比值	1972
23 海底玄武岩中的过剩氦和一个地球大气圈演化模型	1972
24 铀矿物中铀的同位素组分	1970
25 裂变新见介	1969

第四部分：

26 100 号以外的元素的现状与展望	1968
27 超重核的合成	1972

天然气中的氙

摘要：分析四个天然气样品中的惰性气体表明，放射性成因的 He^4 、 Ar^{40} 、过剩的 Ne^{21} 和 α 诱导反应产生的 Ar^{38} 以及过剩的非 β 屏蔽氙同位素⁽¹⁾ 丰度模型是与 U^{238} 自发裂变不相同的。这些气样中过剩的 Xe^{129} 、 Xe^{131} 、 Xe^{132} 、 Xe^{134} 和 Xe^{136} 的模型同陨石中原始氙的混合，能得出大气氙中比 Xe^{128} 重的全部同位素的丰度模型。这个奇特的“裂变产额”模型起因于 Cameron 早先提出的机理：太阳风使大气氙增加了 β -屏蔽氙同位素⁽²⁾。经过修正的 Cameron 假说认为太阳风的氙，除含有 Xe^{128} 和 Xe^{130} 以外还含有过剩的 Xe^{124} 和 Xe^{126} ，这些太阳风的氙加到大气和陨石氙中，可解释通常已经观察过的陨石氙的同位素异常模型，解释富氙的陨石中 Xe^{131} 和 Xe^{132} 的很低的裂变产额和计算表明的大气氙和地球大气氙中 Xe^{131} 和 Xe^{132} 的很高的裂变产额。

译者注：

(1) 非 β —— 屏蔽氙同位素原文为 “the β -unshielded xenon isotopes”。—— 意指后文中讲到的对称裂变产物经 β —— 蜕变形成的氙同位素。

(2) β —— 屏蔽氙同位素原文为 “ β -shielded xenon isotopes”。—— 意指后文中讲到的太阳风中由碎变形成的氙同位素 Xe^{128} 以及 Xe^{130} 。

已证明地球和陨石物质的少数挥发性元素中惰性气体几乎是耗尽了 (Suess, 1949; Brown, 1949)。由于后期放射性蜕变或其他核反应, 残存的惰性气体常显示有很大的同位素异常 (Reynolds, 1967)。

除了已知核反应产生的惰性气体同位素外, 陨石中观察到的氦 (Geering 和 Lenski, 1956) 和氩 (Reynolds, 1960b) 同位素成份与大气的差别很大, 氦的同位素有微小的差别 (Marti, 1967; Eugster et al., 1967)。大气中显然是富氦的重同位素, 某些陨石在一定的温度表证有简单的质量分馏 (Suess 1949, Signes 和 Suess 1963, Mannel 1968), 或是存在几种不同类型的氦 (Papin 1967a, Black and Papin 1970)。根据质量分馏可以预料大气和陨石氦的微小差别显然也是适合丰度模型的, 但是陨石中富集重氦同位素表明陨石氦比大气氦有更大的分馏效应。

氩类似于氦, 在大气中富集较重的同位素 (Reynolds 1960b)。Kurata (1960) 指出这是由于大气中含有大量的裂变成因的氩。这一假设通常要求 $x_{0.131}$ 和 $x_{0.132}$ 有很高的产额 (Kurata, 1960, Krummenacher et al. 1962)。反复地强调大气氩是由于过分的质量分馏产生这一点, 要说明氦、氩缺乏相似的分馏模型事实上是困难的 (Reynolds 1960b, Krummenacher et al. 1962), 同时为了解释氩同位素分馏模型在

Xe¹³² 处的不连续性需要陨石中裂变成氙或有很高的浓度。

大气惰性气体同位素成分并不是不变的，分析者的样品可以得到大气异常的氦、氖和氩的原始资料 (Canlas et al 1968)。。但这是比较困难的，因为难以确定样品是否能代表老的大气样品。研究现代漏入大气中的惰性气体给这个问题提供了一个近似的结果。地球上在不断地产生着放射性成因的 He⁴ 和 Ar⁴⁰，这两种放射性成因的气体可作示踪剂，用来估计气体样品含有的从地球固体物质中漏出的惰性气体量。

前人指出天然气样品是富放射性成因的 He⁴ 和 Ar⁴⁰ 的，同时也含有比大气更高的 Xe/Kr 和 Xe/Ar 比值 (Clarke 和 Thode 1964; Wasserburg 和 Mazer 1965)。这是预计的近代从地球漏出的惰性气体的丰度模型。天然气井中惰性气体同位素成份的研究为大气惰性气体演化方向提供了新证据。

实 验 程 序

本文分析的天然气样品事先收集在用所采集的气体冲洗过的压缩容器中。为了被免充满分析所用的小体积样品瓶时发生任何气体的分馏作用，原始容器用两个被小容器隔开的 Teflon 密封活塞同玻璃支管连接起来。选取小容器的体积，使得气体充满玻璃支管后二者中气体的压力大约是 6-9 托。然后得校正过的安培瓶 封接到玻璃支管上。玻璃支管被抽到 $\sim 10^{-5}$ 托，用容器中的气体冲洗，再抽至 $\sim 10^{-7}$ 托。关闭玻璃支管，在此压力下封下一安培瓶，用该系统空白分析。然后两个活塞之间

的小容器用气体充满，并膨胀至玻璃支管，安培瓶大约是 (-30 cm^3) ，在 $6-9$ 个压力封下，然后接到质谱计样品系统上。

样品系统压力达到 $\sim 10^{-9}$ 个后，用事先装在玻璃管中的铁棍敲碎安培瓶，使天然气进入样品系统。气体先用 CuO 在 550°C 净化，然后用钛在 850°C 净化。净化后的气体用活性炭在液氮温度下吸附到系统的“清洁”部分，关闭活塞使系统的这两部份分开。从活性炭上放出气体，用热锡带分解残存的碳氢化合物，并第二次用钛炉在 850°C 净化。

气体分成如下四部分进入 Reynolds (1956) 的高灵敏度质谱计中： He 和 Ne ， Ar ， Kr 最后是 Xe 。详细的分析程序 Alexander 和 Manuel (1967)，

Munk (1967) 已发表，仅作了如下修正，由于只有痕量的 He^3 和 Ne ，因此首先用质谱计测量 He 和 Ne 。最初我们没有打算测量这些气体中的 He^4 的丰度，因为在第一部分氦、氖中它的量是太大了。后来决定抽掉最初的 He 、 Ne 部分，然后使 He 、 Ne 气体连续膨胀到质谱计中以估计 He^4 的丰度。经过四到五次膨胀后测定 He^4 的峰，并根据膨胀计算每次进入质谱计的 He 的分数。用这样的方法确定了 He^4 浓度和 He^3/He^4 比值。

每次分析样品前后，用少量的空气 ($\sim 0.02\text{ cm}^3 \text{ STP}$) 校正质谱计。质谱计的灵敏度和质量歧视根据空气标准进行计算。本文发表的除了 $\text{Ne}^{21}/\text{Ne}^{22}$ ， He^3/He^4 比值外，所有同位素比值都作了质量歧视校正。将得到的比值外推到气体进入质谱计时，以校正质谱计记忆效应对同位素成份的影响。本文同位素比值的误差以标准偏差 (σ) 表示在该比值的后面。本底引起的

任何系统误差未考虑。质谱计系统的空白信号与样品信号相比可忽略不计，故未进行空白校正。

表 1 天然气样品的来源和成份

样品体积 (cm^3STP)	B-69 0.03569	C-17 0.1955	B-62 0.03783	C-16 0.2476
井	Bush B-3R	Bivins A-8R	sleeper Unit #1	气体取自 Lisbon unit, Plant #28 17个井
深度 (呎)	2523	2555	4500	8000- 9000
层位 及区域	略			

以前选择分析的成份 (体积%)

参 考	Emerson (1968)	Miller and Norrell (1965)	Boone (1958)	Eklund (1969)
N_2	-	25.4	24.7	15.1
CO_2	-	0.2	0.5	28.5
O_2	-	0.0	痕量	-
H_2	-	0.1	0.0	-
He	0.676	1.9	2.1	-
Ar	-	痕量	0.1	-

本文气样的有关资料列在表 1 中。表中样品排列从 B-69 至 C-16 井深增加，前三样品分析结果氦气浓度是随之减少，二氧化碳浓度随之增加。

结 果 和 讨 论

丰度模型

表 2 给出了 He^4 及其他惰性气体各自的典型的非放射性成因

表 2 天然气中惰性气体浓度
($\text{cm}^3 \text{STP} / \text{cm}^3 \text{STP}$ 天然气)

	空气	B-69	C-17	B-62	C-16
$\text{He}^4 \times 10^{-6}$	5.24	1000	3930	6250	2220
$\text{Ne}^{22} \times 10^{-9}$	1680	55.0	4.46	12.2	3.93
$\text{Ar}^{36} \times 10^{-7}$	315	25.6	8.26	6.64	1.12
$\text{Kr}^{84} \times 10^{-9}$	650	47.7	38.7	29.9	9.23
$\text{Xe}^{130} \times 10^{-10}$	35.5	3.31	3.29	3.50	1.42
被分析的体积 ($\text{cm}^3 \text{STP}$)	—	003569	01955	003783	02476

的同位素浓度。除氦外，其他的浓度的准确度在 $\pm 2.0\%$ 范围内。

空气中惰性气体的浓度也给出了，便于对比。确定氦的浓度没有用与标准空气比较的方法。表 1 和表 2 表明从井 B-69 到 C-17，B-62 氦的浓度是逐渐增加的。我们分析的氦浓度较以前分析的低 (Emerson 1968, Miller 和 Norrell,

1965, Boone 1958)。这种矛盾并不是我们确定氮浓度的误差引起的, 因为我们的氮的结果与氧的 α -诱导反应产生的 N_2 浓度一致。在后面将讨论这一点。

为了定量地比较天然气中惰性气体和其他样品的丰度模型, Canals 等人 (1968) 相对于最重的非裂变成因的氙同位素定义了一个分馏因子 F^m : $F^m = (X^m/X_{0.130} \text{ 样品} / (X^m/X_{0.130}) \text{ 宇宙}) \dots (1)$

方程(1)中 X^m 是质量数为 m 的惰性气体同位素。比值 $(X^m/X_{0.130})$ 宇宙是 Suess 和 Urey (1956) 给出的宇宙丰度。大气、天然气体以及 Murray 陨石的分馏因子表示在图 1 中。选取 Murray 陨石惰性气体资料作比较是认为, 除 Nere Urei 外它比其他陨石含有更高的氙。同时已测定过 Murray 陨石的全部惰性气体 (Reynolds 1960)。

从图 1 可以看到, 天然气与大气比较, Ar Kr 不同, 二者有较大的分离, 但又比 Murray 陨石的分离小。这与宇宙中 Ar 和 Kr 的散失有关。除 C-17 外, M0 也有同样关系。在 C-17 中 M0 与 Ar 的分离几乎要比其他天然气样大一个数量级。尽管在 M0 的分析中记录可产生一个数量级的误差, 但重复记录并未确定这点。因此我们在计算样品 C-17 的 M0 的浓度时, 分析过程中采用“标尺因子”作为它的原始记录。M0 是放射性成因的, 它的丰度相对于 X0 没有反映出其他惰性气体那样的质量分馏效应。这些样品与大气的 Kr 和 Ar 的分馏模型更类似 (M0 和 C-17)。这也表明更接近于大气的氙的

分馏模型。不同来源的惰性气体分馏模型的这种关系表明，这些天然气样品中存在有不同程度的大气成份。应注意到表 1 中样品大气成份随钻井变浅而增加。可以预料地球是优先失去较轻的惰性气体的。从地球散失气体的丰度模型，可预计它比早先逸出到大气中的气体有更尖锐的质量分馏模型。因此图 1 显示的惰性气体丰度模型显然是证实了我们以前的观点，即天然气井中放射性成因的 He^4 和 Ar^{40} 以及其他惰性气体同位素成份，可以反映出地球连续脱气引起的大气惰性气体的年代变化。

氦、氖和氩

表 3 给出了氦、氖和氩的同位素成份。 He^3/He^4 比值是一个近似值，它是根据进入质谱计的第一部份氦的 He^3 峰高和第四或第五部份氦的 He^4 峰高计算的。前面已指出， He^4 的信号太大，进入质谱计的气体必须经过 4—5 次膨胀使氦体积减小后才进行测量。确定 He^3/He^4 比值时，没有用空气标准校正质谱计。因此，Aldrich 和 Nier (1948) 的 He^3/He^4 比值可能比表 3 中我们的 He^3/He^4 比值更准确。不考虑我们测量的系统误差，显然 He^3/He^4 比值是随深度而增加的。Clarke 等人 (1969) 指出深海洋水是富 He^3 的，并认为这是现代从地球逸出的原始氦。

质谱计在质量数 20 的信号受到 Ar^{40} 二级电离的干扰，不可能准确地测定 Ne^{20} 的浓度。全部天然气样品的 $\text{Ne}^{21}/\text{Ne}^{22}$ 比值都比大气的 $\text{Ne}^{21}/\text{Ne}^{22}$ 比值高。可能是由于 $^{18}\text{O}(\alpha, n)^{21}\text{Ne}$ 反应的结果 (Wetherill 1954)。 $\text{Ar}^{38}/\text{Ar}^{36}$ 值也比大气中 $\text{Ar}^{38}/\text{Ar}^{36}$ 的比值稍高。Fleming 和 Thode

表 3 天然气的氮、氧和氩

	空 气	B-69	C-17	B-62	O-16	其 他 气 井*
He3/He4	1.3×10^{-6}	$\sim 3.2 \times 10^{-6}$	$\sim 7.4 \times 10^{-6}$		$\sim 9.4 \times 10^{-6}$	$(0.05-0.5) \times 10^{-6}$
Ne21/Ne22	0.02904	0.03050 ± 0.00058	0.03256 ± 0.00113	0.04330 ± 0.00075	-	$0.042-0.172$
Ar38/Ar36	0.1869	0.1878 ± 0.0015	0.1938 ± 0.0015	0.1903 ± 0.0010	0.2055 ± 0.0035	$0.193-0.207$
Ar40/Ar36	295.5	474 ± 2	1263 ± 3	2265 ± 38	4990 ± 60	$383-22100$
He4r (cm^3/cm^3)	-	1.00×10^{-3}	3.92×10^{-3}	6.35×10^{-3}	2.22×10^{-3}	$(0.23-84) \times 10^{-3}$
Ne21r (cm^3/cm^3)	-	2.53×10^{-11}	4.69×10^{-11}	1.24×10^{-11}	-	$(36-194) \times 10^{-11}$
Ar40r (cm^3/cm^3)	-	4.56×10^{-4}	8.03×10^{-4}	13.0×10^{-4}	5.26×10^{-4}	$(2.6-074) \times 10^{-4}$
He4r/Ne21r	-	3.95×10^7	3.34×10^7	2.62×10^7	-	$(2.9-5.9) \times 10^7$
He4r/Ar40r	-	2.29	4.38	4.88	4.22	$3.6-17.9$

*除 He^3/He^4 比值是 Aldrich 和 Nier (1948) 资料外, 其余全是 Stroud 等人的资料 (1967)。

(1953) 指出放射性矿物由于核反应比如 $0.35(\alpha, p) \text{Ar}^{38}$ 是富 Ar^{38} 的。

过量的 Ne^{21} 、 He^4 和 Ar^{40} 的量及其比值列在表 3 的底部。假定 He^4 全部是放射性成因的。过量的 Ne^{21} 和 Ar^{40} 可用如下方程计算：

$$\text{Ne}^{31} r_m = \left(\frac{\text{Ne}^{21}}{\text{Ne}^{22}} \right)_{\text{样品}} - \left(\frac{\text{Ne}^{21}}{\text{Ne}^{22}} \right)_{\text{空气}} \cdot \left(\frac{\text{Ne}^{22}}{\text{Ne}^{20}} \right)_{\text{样品}} \quad (2a)$$

$$\text{Ar}^{40} r_m = \left(\frac{\text{Ar}^{40}}{\text{Ar}^{36}} \right)_{\text{样品}} - \left(\frac{\text{Ar}^{40}}{\text{Ar}^{36}} \right)_{\text{空气}} \cdot \left(\frac{\text{Ar}^{36}}{\text{Ar}^{38}} \right)_{\text{样品}} \quad (2b)$$

$\text{He}^4 r_m / \text{Ne}^{21} r_m$ 和 $\text{He}^4 r_m / \text{Ar}^{40} r_m$ 比值同 Stroud 等人 (1967)、Wasserburg 等人 (1957)、Zartman 等人 (1961) 以及 Wasserburg 等人 (1963) 发表的其他气井值符合。

结束讨论轻的惰性气体之前, 应注意到表 3 中 $\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{36}$ 比值, $\text{Ne}^{21}/\text{Ne}^{22}$ 比值以及 He^3/He^4 比值有接近于大气值的趋势。图 1 中它们的分馏模型也接近于大气的分馏模型。不可能完全防止大气污染, 我们认为 C-16 惰性气体同位素成份能较好地代表地球连续脱气引起的大气惰性气体的变化方向。从 C-16 至 B-62, C-17, B-69 天然气中大气成份可能是逐步增加的。

氦 和 氖

在统计误差 ± 6 范围内。这次分析的天然气样品显然含有大气成份的氦。这同 Clarke 和 Thode (1964), Wasserburg 和 Mafay (1965)的结果一致。这些作者指出,要发现任何裂变成份的氦,要比发现氩困难得多。因为氦的浓度较高,而在氦质量范围的裂变产额较氩质量范围内的产额低。

表4给出了天然气样品氩的同位素成份以及大气、Novo Urei 陨石的氩同位素成份。选取 Novo Urei 陨石来进行比较是因为它在已发表的陨石资料中氩的浓度最高(Marti 1967)同时该陨石低的 $x_{0.129}/x_{0.130}$ 比值表明,已死亡的 $x_{0.129}$ 蜕变引起的同位素成份变化相对地小。因 $x_{0.124}$ 和 $x_{0.126}$ 的浓度太低,以致B-69, B-62的少量气样不能进行测量。 $C-17$ 和 $C-16$ 也几乎是达到测量极限。因此 $C-17$ 和 $C-16$ 的 $x_{0.124}$ 和 $x_{0.126}$ 值有相当大的误差。附加上统计误差列在表4中。由于以前分析的中子照射样品含有大量的 $x_{0.128}$,质谱计常常有大的 $x_{0.128}$ “记忆”峰,因而没有给出样品B-69和B-62的 $x_{0.128}$ 值, $C-17$ 和 $C-16$ 的值也只能认为是近似值。因为这三种较轻的氩同位素值不可靠我们除了指出 $x_{0.124}$ 、 $x_{0.126}$ 和 $x_{0.128}$ 这三种同位素在天然气中相对于 $x_{0.130}$ 的丰度值显然是介于大气与Novo Urei 陨石值之间外,将不讨论表4给出的它们的值之间的差别。

所有天然气样相对于大气氩是富重氩同位素 $x_{0.129}$ 和 $x_{0.131-136}$ 的。其他研究者曾观察到富 H_2 的天然气和 CO_2