

论氢化物是成矿的重要迁移形式

郑大中, 郑若锋

(成都综合岩矿测试中心, 四川 成都 610081)

摘要: 通过对氢与化学元素起源的相关性, 一些类地行星大气含氢及氢化物, 单质及合金氢化物的形成条件和理化性质的讨论, 结合现代火山、温泉气体组成, 矿物岩石流体包裹体化学成分, 认为在地球深部高压富氢强还原性环境, 含有单质及合金氢化物。这些氢化物较对应的单质、合金的熔点、沸点低许多, 具有高扩散性、高化学活性、易碎性, 可形成具个性差异的氢化物气体、液体和纳米固体氢化物粒子, 并能在多次地质事件中反复迁移, 直至地球浅部。由于压力、温度骤降, 氧逸度剧增, 酸碱度发生变化, 上述氢化物分解、水解、氧化、硫化沉淀富集形成各种矿床。

关键词: 单质氢化物; 合金氢化物; 迁移形式; 成矿机理

中图分类号: P571 文献标识码: A 文章编号: 1008—858X(2004) 04—0009—09

1 氢与化学元素起源的相关性

在大量核反应实验基础上建立并逐步完善的“核合成理论”最能阐明化学元素的起源及其丰度^[1~3]。化学元素起源始于宇宙大爆炸, 宇宙中的光子、正电子、电子、中微子、反中微子、中子、质子之间发生核反应, 形成大量¹H、⁴He及少量的²H、³He和⁷Li。随着宇宙膨胀、冷却使核与电子结合形成原子, 得到H、He。H、He相互吸引, 气体在引力下逐渐缩小, 宇宙出现大规模的不均与聚集, 形成原始星云。随后原始星云不断收缩, 内部温度达到千万度以上, 恒星内部相继出现氢燃烧、碳燃烧、氧燃烧、硅燃烧, 合成的元素从氢一直到铁。通过S过程、R过程、P过程、X过程等方式合成铁以后的所有元素, 并随超新星的爆发抛射到宇宙空间^[2]。其中氢燃烧所释放的能量数倍于其余各阶段能量的总和。氢燃烧是天体演化过程中经历时间最长的过程^[1, 3]。氢是形成其它元素的始祖。氢是宇

宙中丰度最大的化学元素, 氢原子的数目比宇宙空间中其它所有元素的总和约大100倍, 占宇宙质量的98%以上^[4]。在元素合成过程中, 除形成元素单质外, 还可能形成各类合金、碳化物、氮化物、硅化物、磷化物、低价氧化物、硫化物、氟化物、氯化物、单质氢化物、合金氢化物等^[7]。

2 类地行星概况

地球与类地行星同属于太阳系, 来源于同一群星云物质, 前期它们具有许多共性、演化性, 地球在演化过程中产生了游离氧后, 则具有明显的差异性。因此, 类地行星的现状对研究地球的形成、演化及元素的迁移成矿具有重要的参考价值。

类地行星大气化学成分体积分数(%) : 木星, H₂ 89, He 11, CH₄ 0.06, NH₃ 1.2×10^{-3} , H₂O 8.8×10^{-11} , 微量GaH₄、PH₃; 水星, H₂ 58, He 0.41, CO₂ 1.2, H₂O 18, O₂ 5.9×10^{-7} , CO 1.2;

收稿日期: 2004—06—17

作者简介: 郑大中(1937—), 四川资中人, 教授级高级工程师, 主要从事元素浓度值及其存在形式测试方法与地球化学研究。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

土星, 主要是 H_2 、 CH_4 , 少量 NH_3 ; 海王星的大气是 H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 ; 冥王星的大气是 H_2 、 He 、 Ne , 其它气体已液化、冻结^[1]。木星、水星的星壳、星幔均由液态分子氢、液态原子氢组成^[8]。太阳的大气中氢占 81.75% (以原子百分数计), 氢是太阳风的主要成分, 月壤细颗粒中的太阳风气体浓度 ($w_B/10^{-6}$): H 10 ~ 211, C 4 ~ 280, N 7 ~ 2 100 及 He 、 Ne 、 Ar 、 Kr 、 Xe 等^[9]。值得注意的是, 氢是原子质量最小的。

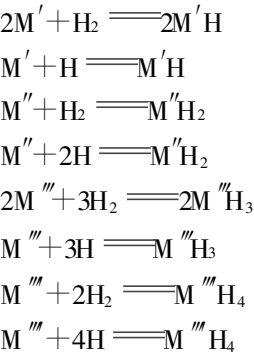
地球的形成过程既有太阳物质的抛出, 又有宇宙物质的俘获, 是一个综合演化过程^[5], 地球胚阶段其原始大气成分可能以 H_2 、 He 为主^[10]。现在地球的大气是次生的, 其演化经历了以 H_2O 、 N_2 、 CH_4 、 H_2S 、 CO_2 等组成的火山型大气再到 N_2 、 O_2 型大气的过程。

3 单质氢化物与合金氢化物

3.1 氢化物的形成条件

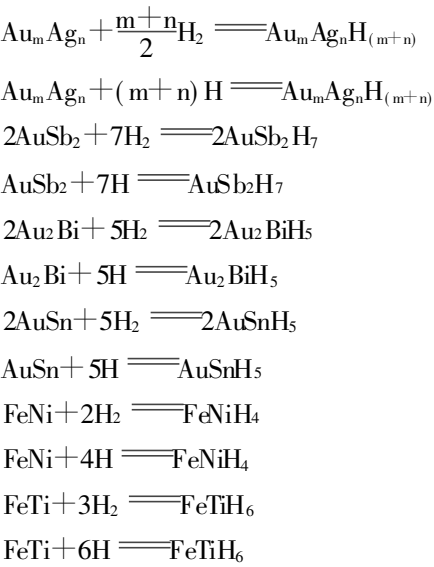
在一定温度高压强还原富氢环境, 许多单质、合金、化合物等均能形成氢化物, 其主要形成方式有:

(1) 氢 (H_2 、 H) 与单质、合金直接反应生成单质氢化物、合金氢化物。原子氢 (H) 的化学性质更活泼, 不需经过解离过程, 即能快速与其它单质、合金、化合物生成氢化物。且其原子半径很小 ($0.32 \times 10^{-10} \text{m}$), 易渗透入单质、合金内部进行反应。钯能吸收相当于自身体积 2 800 倍的氢^[7], 纯钛的吸氢密度高达 9.2×10^{22} 氢原子/ cm^3 , 比液氢密度大 1 倍多, 钛铁合金更易吸氢。

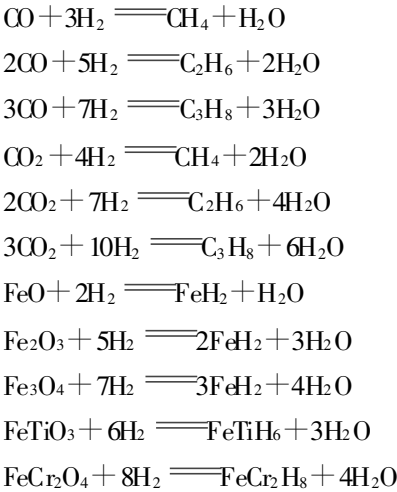


式中, $\text{M}' = \text{Li}$ 、 K 、 Na 、 Rb 、 Cs 、 Au 、 Ag 、 Cu ; $\text{M}'' =$

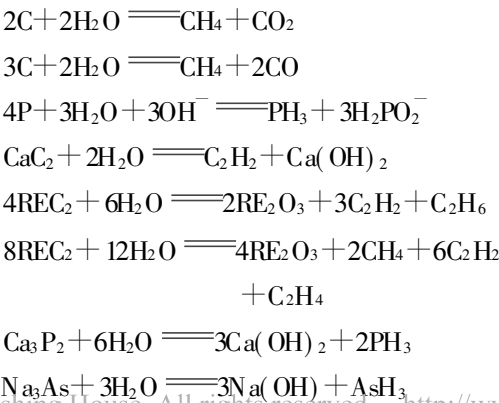
Be 、 Mg 、 Ca 、 Sr 、 Ba 、 R_2 、 Fe 、 Ni 、 Co 、 Cd 、 Zn 、 Hg 、 PGE ; $\text{M}''' = \text{As}$ 、 Sb 、 Bi 、 Cr 、 Al 、 Ga 、 In 、 Tl 、 Sc 、 Y 、 P 、 N 、 REE ; $\text{M}''' = \text{Ti}$ 、 Zr 、 Hf 、 Si 、 Ge 、 C 、 Sn 、 Pb ; $\text{PGE} =$ 铂族元素; $\text{REE} =$ 稀土元素。

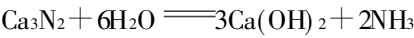


(2) 氢 (H_2 、 H) 与一些氧化物作用生成单质氢化物、合金氢化物。

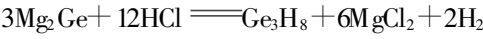
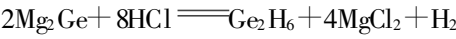


(3) 一些单质、合金与水反应生成氢化物。

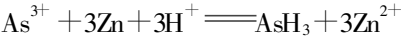
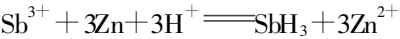
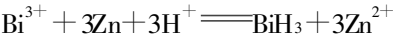




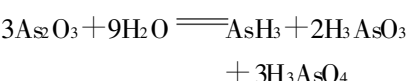
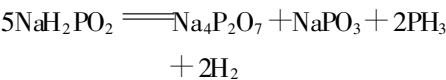
(4) 一些合金与酸作用形成氢化物。



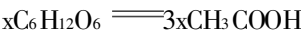
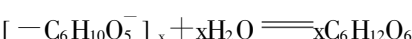
(5) 一些金属、非金属离子在酸性介质与强还原剂作用生成氢化物。



(6) 一些低价化合物歧化也能产生氢化物。



(7) 有机物被微生物催化降解亦能产生氢化物。



3.2 元素周期系各类元素生成氢化物的类型

元素生成氢化物的类型呈现规律性变化：元素周期表中 1A、1B 族为 MH；11A、11B 族为 MH₂；111A、111B 族为 MH₃；IVA、IVB 族为 MH₄；VA 族为 MH₃；VIA 族为 H₂M；VIIA 族为 HM；而 VB 族为 MH，VIB 族为 MH₃，VIIB 族为 MH₂；VIII 族为 MH₂。

元素可以有多种氢化物，如磷有 PH₃、P₂H₄，铅有 PbH₄、PbH₂，铁有 FeH₂、FeH，钽(铌) 有 Ta(Nb) H、(Ta, Nb) ₂H，硅有 SiH₄、Si₂H₆、Si₃H₈、Si₄H₁₀、Si₅H₁₂、Si₆H₁₄ 等，硼有 B₂H₆、B₄H₁₀、B₅H₉、B₆H₁₀、B₁₀H₁₄ 等。

3.3 氢化物的物理化学性质

(1) 氢化物具高扩散性

氢化物的熔点、沸点较相对应的单质、氧化物的熔点、沸点低得多，易于迁移扩散。具代表性的单质及其氢化物、氧化物的熔点、沸点，列于表 1。

表 1 代表性的单质及其氢化物、氧化物的熔点沸点

Table 1 Melting and boiling points of representative elementary substances and their corresponding hydrides and oxides

单质 名称	熔点 /℃	沸点 /℃	氢化物 名称	熔点 /℃	沸点 /℃	氧化物 名称	熔点 /℃	沸点 /℃
硼	2300	2550	B ₂ H ₆	− 165. 5	− 92. 5	B ₂ O ₃	460	1860
磷	44. 1	280	PH ₃	− 133	− 87. 7	P ₂ O ₅	580	升华
硅	1410	2355	SiH ₄	− 185	− 111. 8	SiO ₂	1713	2230
钙	848	1487	CaH ₂	816		CaO	2580	2850
锡	232	2270	SnH ₄	− 150	− 52	SnO ₂	1127	1800
铅	327. 3	1744	PbH ₂ [*]		13	PbO	888	
锑	630. 5	1380	SbH ₃	− 88	− 18. 4	Sb ₂ O ₃	656	1500
铋	271. 3	684. 9	BiH ₃		16. 8	Bi ₂ O ₃	820	
砷	817	升华	AsH ₃	− 166. 9	− 62. 5	As ₂ O ₃	193	457. 2
锗	937. 4	2830	GeH ₄	− 165. 9	− 88. 5	GeO ₂	1115	1200
硒	217	684. 9	H ₂ Se	− 65. 73	− 41. 25	SeO ₂	340	升华
碳	3550	4827	CH ₄	− 182. 5	− 161. 5	CO ₂	− 56	升华

^{*}PbH₄ 的沸点比 PbH₂ 更低。

(2) 氢化物具脆性^[11, 12]

铁、钛、锆、钽、铌、钒等金属与氢生成脆性氢化物，沉积在金属内部引起脆化，且使材料的

磁性、耐腐蚀性恶化。氢脆粉化成纳米微粒氢化物将有利于熔点较高的氢化物迁移扩散。因为纳米微粒的熔点较对应的宏观块体的熔点低

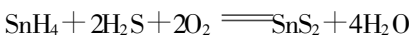
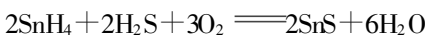
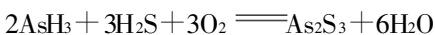
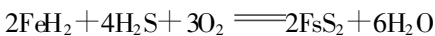
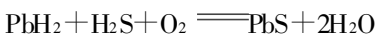
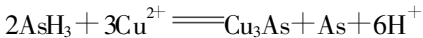
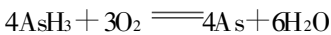
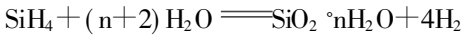
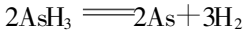
得多,如 2nm 金粒子的熔点为 327 °C,而金的宏观块体的熔点为 1 063 °C^[13,14]。此外,也有利于未氢化完全的金属粒子的完全氢化,还有利于氢化物失氢后重新氢化。因为纳米物质有很大的比表面积,表面原子周围缺少相邻的原子,有许多悬空键,易于与氢原子结合成氢化物,也易于与其它单质形成合金,产生协同的氢化反应^[15]。

(3) 高化学活性

氢化物在高压富氢碱性还原环境相当稳定,不分解、不水解、不氧化、不硫化,一些硫化物反而能氢化,如:

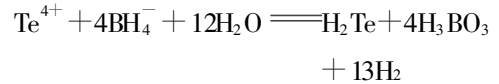
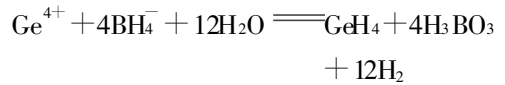
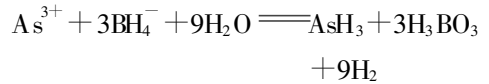
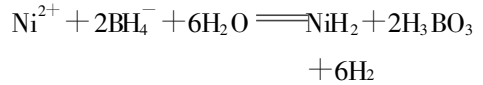
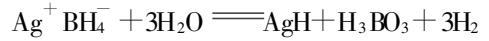


然而在常压(低压)贫氢酸性氧化环境,则易分解、水解、氧化、硫化。



还原能力强的氢化物在常温常压条件下,能将其它一些金属、非金属离子转化成氢化物,如用 NaBH_4 可将 As^{3+} 、 Sb^{3+} 、 Bi^{3+} 、 Hg^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Ag^+ 、 Tl^{3+} 、 Ge^{4+} 、 Se^{2+} 、 Te^{4+} 等定量转化成易扩散挥发的氢化物: AsH_3 、 SbH_3 、 BiH_3 、 HgH_2 、 NiH_2 、 ZnH_2 、 CdH_2 、 SnH_4 、 PbH_4 、 AgH 、 TiH_3 、 GeH_4 、 H_2Se 、 H_2Te , 并可用惰性气体定量载入检测系统准确进行测定^[16~20]。即使这些离子浓度已达痕量亦能完全转化,这不仅有利于贱金属迁移成矿,且十分有利于稀有、分散元素

的迁移富集成矿。重要的化学反应式如下:



(4) 氢化物具个性差异

前已阐明氢化物的理化性质共性,但由于不同元素的物理化学性质不同,生成氢化物的难易程度和条件不同,因此,不同元素的氢化物的理化性质不同。如钠、钾在 300~400 °C 即能与氢作用生成 NaH 、 KH , 而 Li 约在 725 °C 才能与氢作用生成 LiH , 钼即使 2 610 °C(熔点), 钨即使达 3 380 °C(熔点)亦难与氢生成氢化物。钼、钨与其它单质生成的合金即能在较低温度下就形成合金氢化物,如已获得专利并生产的储氢非晶合金 AaMbM'_c , 式中, A 为一个以上下列元素: Ag 、 Au 、 Hg 、 Pd 、 Pt ; M 为一个以上下列元素: Pb 、 Cu 、 Ru 、 Cr 、 Mo 、 Si 、 W 、 Ni 、 Al 、 Sn 、 Co 、 Fe 、 Zn 、 Cd 、 Ga 、 Mn ; M' 为一个以上下列元素: Ca 、 Mg 、 Ti 、 Zr 、 Hf 、 Y 、 Nb 、 V 、 Ta 、 RE (稀土元素); $0 < a < 0.8$, $0 < b < 0.7$, $0 < c < 0.95$ ^[21]。再如钛钼合金氢化物^[22]、钛钨合金氢化物^[23]。不同元素氢化物的熔点、沸点、密度、水溶性、水解性、对压力尤其是氢分压的敏感性、热稳定性、耐酸解性、抗氧化性等性能不同。一般情况下,同一族元素同一类型氢化物的沸点与原子量有关。如原子量 $\text{C} < \text{Si} < \text{Ge} < \text{Sn} < \text{Pb}$, 则其氢化物($\text{M}''\text{H}_4$)沸点分别为: -161.5 °C、-111.8 °C、-88.5 °C、-52 °C、<-13 °C; 又如原子量 $\text{P} < \text{As} < \text{Sb} < \text{Bi}$, 则其氢化物($\text{M}''\text{H}_3$)的沸点分别为: -87.7 °C、-62.5 °C、-18.4 °C、16.8 °C; 再如原子量 $\text{S} < \text{Se} < \text{Te} < \text{Po}$, 则 H_2M 的沸点分别为: -61 °C、-41 °C、-2 °C、37 °C。同一元素的不同类型氢化物的沸点与该类氢化物的分子量有关,分子量越大沸点越高。如分子量甲烷<乙烷<丙烷<丁烷,其沸点分别为: -161.7 °C、-88.6 °C、

—42.1℃、—0.5℃;又如分子量 $B_2H_6 < B_4H_{10} < B_5H_9 < B_5H_{11} < B_6H_{10}$, 其沸点分别为: —92.5℃、18℃、48℃、63℃、110℃。且氢化物分子量越大水解性越差,如 B_2H_6 在室温即能较快水解,而 B_4H_{10} 则水解缓慢, B_5H_9 在 90℃, 72 h 亦未水解完全。 B_4H_{10} 水解的反应式为:



4 现代火山及温泉气体的化学成分

现代火山气体及一些温泉气体的化学成分分别列于表 2、表 3。

表 2 现代火山气体的化学成分($w_B/\%$)

Table 2 Chemical composition of modern volcanic gases

火山地	H ₂	CO	CO ₂	SO ₂	H ₂ O	其它
夏威夷	0.9	0.8	24.4	11.5	52.7	12.7
扎伊尔	0.8	2.4	40.9	4.4	43.2	8.3
冰 岛	2.8	0.3	4.6	4.1	83.1	5.1
大洋洲	1.1	8.3	10.4		71.3	8.9

资料来源: 据文献[24] 整理。

表 3 腾冲温泉部分气体化学组成和氦同位素组成

Table 3 Chemical and helium composition of some Tangchong hot springs

编号	采样地	水温 /℃	N ₂	CO ₂	CH ₄	Ar	He	H ₂	³ He/ ⁴ He
			/‰				/10 ⁻⁶		
1	热水塘	95	25.33	32.41	0.34	0.63	31.5	75.5	4.59
2	朗蒲	90	71.23	10.33	0.00	0.83	3.5	8.6	3.21
3	澡塘河	96	47.67	42.38	0.04	0.56	5.2	220.0	4.00
4	黄瓜箐	90	61.35	25.08	0.93	0.77	99.6	663.0	6.02
5	硫磺塘	86	41.83	46.69	1.03	0.56	129.4	802.0	5.01
6	小滚锅	80	38.08	55.20	0.33	0.40	39.0	23.0	5.46
7	大滚锅	92	54.75	35.26	0.33	0.61	41.0	140.0	5.40
8	和顺乡	20	14.52	80.13	0.00	0.18	91.0	1.3	7.18
9	迭水河	24	62.47	26.62	0.02	0.78	150.0	9.0	6.89
10	石墙	65	32.35	62.89	0.01	0.40	3.3	9.3	0.93
11	瑞滇	71	36.68	62.51	0.02	0.42	70.6	18.6	0.67
12	瑞滇	85	41.48	49.77	0.03	0.56	128.0	5.0	0.69
13	东坡中	88	0.58	97.30	0.10	0.04	7.7	128.0	5.45
14	西坡中	84.5	1.07	96.38	0.06	0.03	6.8	72.0	5.09
15	三坡顶	71.2	1.29	97.66	0.47	0.05	40.0	900.0	5.89
16	再爆泉点	82.5	1.29	98.31	0.45	0.05	50.0	400.0	6.29
17	澡塘河北	96.2	1.86	96.16	0.21	0.03	20.0	7500.0	5.61

资料来源: 据文献[25、26] 整理。

编号 10~12 为非火山区, 余均为火山活动区。

表 2、表 3 表明, 现代火山气体及云南腾冲火山活动区温泉气体中含较高的氢、氢化物等还原性气体。氦同位素组成表明, 它们主要来源于地球深部。CO₂ 含量很高, 它是碳的最高氧化态, 可能主要是碳、碳氢化物氧化的结果。西藏羊八井地热田气体成分中含 H₂ 0.065% ($w_B/\%$)^[27], 还含有 B₂H₆^[28]。云南腾冲、西藏、

四川一些温泉含有 H₂S, 泉口附近被硫磺环染, 地面有硫华、有的硫磺晶体熠熠生辉。

5 矿物岩石流体包裹体气相成分

具代表性的矿物岩石流体包裹体气相成分列于表 4、表 5。

表 4 矿物流体包裹体气相成分

Table 4 Components of the gaseous mineral fluid wrappages

编号	矿物名称		H ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	H ₂ O	资料来源
1	石	英	5.90	8.18	2.90	< 0.05	6.14	113.60	826.83	[29]
2	石	英	4.23	12.66	3.39	< 0.05	4.39	37.85	786.7	[29]
3	石	英	8.96	20.27	3.50	0.00	6.35	235.0	1072.1	[29]
4	石	英	2.18	nd	1.34	8.50	1.58	48.0	24.0	[30]
5	石	英	0.48	nd	1.25	2.03	10.00	11.0	240.1	[30]
6	石	英	0.05	11.60	31.60	0.00	2.10	100.0	750.0	[31]
7	紫色萤石		2.34	nd	0.86	nd	5.20	13.60		[32]
8	紫色萤石		0.15	26.87	11.25	nd	4.93	125.15	372.33	[33]
9	方解石		9.02	nd	0.00	nd	nd	6.91		[32]
10	方解石		0.09	0.69	0.39	nd	0.28	24.2	65.8	[34]
11	氟碳铈矿		0.20	0.15	0.23	nd	0.78	18.9	148	[34]
12	重晶石		0.11	0.48	nd	nd	0.18	34.5	114	[34]
13	金刚石		43.1	2.6	12.9	nd	14.7	9.5	17.0	[35]
14	金刚石		29.4	3.7	8.2	nd	9.4	10.0	33.2	[35]
15	金刚石		37.4	7.3	6.5	nd	21.0	7.5	16.5	[35]
16	锡石		2.51	3.93	0.49	nd	165.85	564.20	422	[36]
17	锡石		1.76	2.57	0.28	nd	39.58	752.29	109	[36]
18	锡石		2.77	1.50	0.70	nd	188.46	1257.36	145	[36]
19	磷黄铁矿		0.59	nd	0.14	nd	1.02	95.71	383	[37]
20	闪锌矿		0.09	0.00	0.47	nd	0.01	241.2	278.4	[38]
21	闪锌矿		0.08	0.00	0.47	nd	19.23	87.3	257.0	[38]
22	闪锌矿		0.10	0.00	1.40	nd	9.62	605.7	230.3	[38]
23	闪锌矿		0.14	0.00	0.93	nd	3.21	107.8	232.9	[38]
24	方铅矿		0.19	0.00	2.33	nd	9.62	1888.8	487.3	[38]
25	黄铁矿		0.02	0.00	1.86	nd	0.00	313.3	396.2	[38]
26	黄铁矿		0.02	0.00	0.93	nd	0.00	292.6	417.7	[38]
27	黄铁矿		0.04	0.00	1.40	nd	0.00	333.6	460.5	[38]
28	重晶石		0.11	1.56	0.00	nd	0.00	33.4	134.6	[38]

气相成分单位: 编号 13~15 为(%); 余均为 $w_B/10^{-6}$ 。

表 5 火成岩中气体化学成分($\mu\text{l}/100\text{g}$)

Table 5 Chemical composition of the gases in igneous rocks

岩石产地及名称	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	H ₂
日照榴辉岩	3270	140.0	19.3	77.4	12.2	355.2
莒南榴辉岩	3860	886.9	5.7	47.0	4.0	114.7
二辉橄榄岩	4160	373.3	30.9	185.3	37.9	154.8
紫阴金伯利岩	6380	2178	50.7	257.6	37.4	355.2
汝山橄榄岩	15100	168.1	14.1	66.7	4.0	139.2
密云花岗岩	2080	129.6	19.9	58.6	4.7	355.2
九华山花岗岩	1630	109.6	8.6	19.9	11.8	318.5
鼓浪屿花岗岩	2920	98.5	17.3	60.1	5.0	242.8

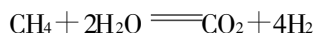
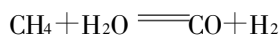
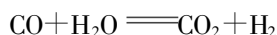
资料来源: 据文献[39]。

南乌拉尔裂隙状蛇纹岩中钻进时发生 CH_4 气爆。纯橄榄岩体气喷成分为 (%): H_2 80, CH_4 10, N_2 10。在致密铬铁矿石的空洞中也有类似气体。希宾碱性岩体运输巷道炮眼中天然气压力约为 2.03 ~ 3.04 MPa, 主要是 CH_4 、 H_2 。洋底“黑烟囱”、“白烟囱”100 ~ 450 °C 上涌泉和金属矿液中同时有高压天然气排放, 已拍摄出高达 600 ~ 1 000 m CH_4 “火炬”的照片^[40]。

张家口大麻坪、辉南, 吉林汪清、蛟河的二辉橄榄岩中气相成分(w_B / %): CH_4 12.1 ~ 17.5, C_2H_6 4.9 ~ 5.2, C_3H_8 5.4 ~ 14.9, C_2H_4 9.0 ~ 19.1, C_2H_2 9.4, C_3H_6 3.6 ~ 11.9, H_2S 3.5 ~ 8.1, H_2 4.9 ~ 19.3, SO_2 6.8 ~ 7.7, CO_2 22.1 ~ 51.1, H_2O 14.3 ~ 16.2^[40]。

从上述及表 4、表 5 看出, 矿物岩石流体包裹体气相成分中普遍含有氢、氢化物等还原性气体, 且含 H_2O 、 CO_2 相当高, 其中部分 H_2O 、 CO_2 可能是 H_2 、 CO 、碳氢化物被氧化所致。

值得一提的是, CO 、碳氢化物在一定条件下与水作用亦能产生 H_2 ^[41]。



在地球内 H_2 、 CH_4 、 CO 、 CO_2 、 H_2O 及其它氢化物和有关单质处于动态平衡中, 它们的浓度和比例受氧逸度、酸碱度、温度、压力等条件控制。

6 结 语

(1) 在一定温度高压富氢强还原碱性环境, 化学元素(除惰性元素外), 大都能形成单质氢化物、合金氢化物, 由于化学元素的物理化学性质各异, 其形成氢化物的难易不同, 形成条件也有差别。

(2) 氢化物的熔点、沸点一般较相对应的单质、氧化物的熔点、沸点低许多, 具有高扩散性、易挥发性、易粉碎性、高化学活性。

(3) 氢化物可形成具个性差异的气体、液体和(或)纳米固体氢化物进行迁移。它们在迁移过程中速率不同, 可与非氢化物及不同种属的

氢化物进行分异。并能在多次地质事件中反复氢化、迁移, 直至迁移到地球浅部。

(4) 在压力、温度骤降, 氧逸度剧增, 酸碱度发生变化, 氢化物分解、水解、氧化、硫化沉淀富集成矿的条件不同, 因而形成各种矿床^[7, 15, 42 ~ 57], 氢化物迁移矿具有普遍性。

(5) 利用氢化物的理化性质, 结合地质实际, 可合理解释一些地质事件^[58, 59] 和新矿物^[60]、特殊矿物^[61] 成因。

参考文献:

- [1] 欧阳自远, 天体化学[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 1—360.
- [2] 欧阳自远, 邹永廖, 刘建忠, 等. 地球化学若干领域的回顾与展望[J]. 地球科学进展, 2001, 16(5): 617—623.
- [3] 於崇文. 地质系统的复杂性—地质科学的基本问题[J]. 地球科学, 2002, 27(5): 509—519.
- [4] 於崇文. 固体地球系统的复杂性与自组织临界性[J]. 地学前缘, 1998, 5(3): 158—182; (4): 347—368.
- [5] 李虎侯. 化学元素的形成和地球年龄[J]. 第四纪研究, 2000, 20(1): 30—40.
- [6] C. J. 阿莱格尔. 陨石地球太阳系[M]. 北京: 地质出版社, 1989. 139—141.
- [7] 郑大中, 郑若锋. 金银铂族元素成矿机理的新探索[J]. 四川地质学报, 2002, 22(4): 210—218.
- [8] 盖保民. 地球演化(第一卷)[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996. 67—181.
- [9] 林文祝, 欧阳自远. 重返月球[J]. 地质地球化学, 1995, (4): 38—44.
- [10] 刘朝晖, 欧阳自远. 地球环境演化的阶段性及其形成机制探讨[J]. 地质地球化学, 1995(5): 81—89.
- [11] 左景伊. 腐蚀数据手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1991. 31.
- [12] 侯红亮, 李志强, 王亚军. 钛合金热氢处理技术及其应用前景[J]. 中国有色金属学报, 2003, 13(3): 533—549.
- [13] 郑大中. 金的高温热液地球化学新探[J]. 四川地质学报, 1996, 16(3): 267—293.
- [14] 郑大中, 郑若锋. 胶东金矿金的迁移富集机理新探[J]. 地质实验室, 1998, 14(2): 105—111.
- [15] 郑大中, 郑若锋. 论氢化物迁移成矿机制—兼论钒钛磁铁矿成矿的化学模式[J]. 四川地质学报, 1998, 18(4): 271—279.
- [16] 刘明钟, 陈焕文, 金钦汉. 原子荧光光谱分析的一些新进展[A]. 地质实验工作 50 周年文集[C]. 北京: 地质出版社, 2003. 285—299.
- [17] 周焕英, 马泓冰, 徐淑坤. 流动注射氩性样品注入蒸气发生原子吸收光谱法测定银的初步研究[J]. 冶金分析, 2001, 21(4): 4—7.

[18] 江祖成, 胡斌, 彭天右. 原子发射光谱分析[J]. 分析试验室, 2001, 20(2): 101—108.

[19] 郭小伟, 郭旭明. 硼氢化物与锌在水溶液中的反应研究及其分析应用[J]. 分析化学, 1998, 26(6): 674—676.

[20] Liao Y, 等. 氢化物发生石墨炉原子吸收光谱法测定铊[J]. 有色金属文摘, 1998, 13(6): 119.

[21] Grasse li R K, 等. 储氢非晶合金的生产 US4902579[J]. 有色金属文摘, 1991, 6(7—8): 106.

[22] 赵越, 郑华, 等. 钛—钼合金的结构及吸放氢性能研究[J]. 金属学报, 2003, 39(1): 89—93.

[23] Веллсчек иџ В Н, 等. 钛—钨—钼合金与氢作用[J]. 有色金属文摘, 1991, 6(7—8): 104.

[24] 张美娣. 二氧化碳找矿方法及其应用[J]. 矿产与地质, 1996, 10(5): 336—345.

[25] 杜建国, 王先彬, 谢鸿森. 深部物质运动气体地球化学特征[J]. 地球科学进展, 1994, 9(3): 48—51.

[26] 上官志冠, 赵慈平, 李恒忠, 等. 腾冲热海火山地热区近期水热爆炸的阶段性演化特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(2): 124—128.

[27] 廖志杰, 赵平, 多吉, 等. 滇藏地热带[M]. 北京: 科学出版社, 1999. 61—127.

[28] 张锡根. 西藏羊八井现代地下热水系统硫矿的成矿作用[J]. 化工矿产地质, 1998, 20(1): 1—10.

[29] 曲延波, 许洪泉, 孙忠实. 试论大型金矿金质来源的途径—以吉林和山东地区金矿为例[J]. 山东地质, 1999, 15(2): 15—23.

[30] 康吉昌. 可可塔勒铅锌矿床地质特征及其成因初探[J]. 矿床地质, 2001, 15(2): 89—93.

[31] 龙训荣, 徐新煌. 赤普铅锌矿床成矿物理化学条件研究[J]. 四川地质学报, 1997, 17(1): 29—35.

[32] 李建威, 李紫金, 李先福, 等. 湘东地区某些典型铀矿床的成矿流体特征[J]. 地质科技情报, 1999, 18(4): 63—66.

[33] 王学明, 邵世才, 汪东波. 西秦岭金矿床包裹体氢氧同位素特征及其地质意义[J]. 贵金属地质, 2000, 9(1): 44—48.

[34] 袁忠信, 施泽民, 白鸽, 等. 四川冕宁牦牛坪稀土矿床[M]. 北京: 地震出版社, 1995. 42—100.

[35] Л. Ф. 伊万金, 等. 金伯利岩形成作用阶段和金刚石形成条件的演变[J]. 国外地质科技, 1989, (4): 1—6.

[36] 邓贵安. 老厂花岗岩破碎带型锡矿床地质地球化学特征[J]. 矿产与地质, 1998, 12(4): 230—236.

[37] 梁有彬, 朱文凤, 宋国仁, 等. 金川铜镍型铂族元素矿床地质地球化学特征[J]. 矿产与地质, 1997, 11(1): 1—13.

[38] 臧世权, 侯满堂, 王文昭. 镇旬铅锌矿田矿物包裹体研究[J]. 陕西地质, 2001, 19(1): 30—36.

[39] 杜乐天, 陈安福, 王驹. 地球的排氢作用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1995, (3): 193—195.

[40] 杜乐天, 王驹, 黄树桃. 地球的排烃作用[J]. 矿物岩石地球化学通讯, 1995, (1): 45—47.

[41] 张铭杰, 王先彬, 李立武. 地幔流体组成[J]. 地学前缘, 2000, 7(2): 401—412.

[42] 郑大中, 郑若锋. 硼氢化物是形成硼矿床的主要迁移形式[J]. 盐湖研究, 2000, 8(4): 1—7.

[43] 郑大中, 郑若锋. 天然碱矿床及其盐湖形成机理初探[J]. 盐湖研究, 2001, 10(2): 1—9.

[44] 郑大中, 郑若锋. 硝酸盐矿床及其盐湖形成机理初探[J]. 盐湖研究, 2000, 8(3): 6—13.

[45] 郑大中, 郑若锋. 铜镍硫化物矿床的成矿机理新探[J]. 四川地质学报, 1999, 19(1): 38—45.

[46] 郑大中, 郑若锋. 大水沟独立碲矿床形成机理研究[J]. 地质找矿论丛, 2000, 15(3): 230—237.

[47] 郑大中, 郑若锋. 小秦岭金矿床金的迁移富集机理新探[J]. 黄金, 1999, 20(8): 1—5.

[48] 郑大中. 宁芜地区铁磷矿床形成机理探索[J]. 安徽地质, 2000, 10(4): 265—271.

[49] 郑大中, 郑若锋. 锡氢化物是锡的主要迁移形式[J]. 四川地质学报, 2001, 21(4): 215—222.

[50] 郑大中, 郑若锋. 磷氢化物是磷的主要迁移形式[J]. 化工矿产地质, 2001, 23(1): 1—7.

[51] 郑大中. 硅迁移的主要形式—硅氢化物[J]. 地质科技情报. 2001, 20(2): 45, 50.

[52] 郑大中, 郑若锋. 自然铜铜合金及其矿床形成机理新探索[J]. 四川地质学报, 2002, 22(2): 72—81.

[53] 郑大中, 郑若锋. 砷氢化物是砷的主要迁移形式[J]. 化工矿产地质, 2002, 24(2): 101—114.

[54] 郑大中, 郑若锋. 铀的迁移富集机理新探索[J]. 四川地质学报, 2003, 23(2): 77—86.

[55] 郑大中, 郑若锋. 钛迁移成矿地球化学模式新探索[J]. 化工矿产地质, 2003, 25(1): 13—23.

[56] 郑大中, 郑若锋. 稀土元素的迁移形式富集机理新探索[J]. 化工矿产地质, 2003, 25(4): 219—228.

[57] 郑大中. 铅的成矿机理新探索[J]. 云南地质, 2003, 22(4): 382—394.

[58] 郑大中. 水热爆炸归因浅析[J]. 盐湖研究, 2001, 9(4): 1—7.

[59] 郑大中, 郑若锋. 孔子鸟类集群死亡之谜[J]. 地球, 2004, (1): 2—3.

[60] 郑大中. 硅金矿的形成机理初探[J]. 江西地质, 2001, 15(3): 192—196.

[61] 郑大中, 郑若锋. 块金成因新见及其分极[J]. 江西地质. 2000, 14(4): 300—305.

Study on Hydrides as Significant Transferring Forms of Mineral Formation

ZHENG Da-zhong, ZHENG Ruo-feng

(Chengdu Comprehensive Mineral Deposit Testing Center, Sichuan 610081, China)

Abstract: Based on the discussion of the relativity of hydrogen and the origin of chemical elements, and the forming conditions and physical-chemical properties of the hydrogen, hydrides, and alloy hydrides from the atmospheres of some quasi-earth planets, and in view of the gaseous compositions of modern volcanoes, hot springs and mineral fluid wrappings, the authors deem that in the hyperbaric hydrogen-rich and highly reductive environment of the deep inner earth, lied elementary hydrides and alloy hydrides. Such hydrides have much lower melting and boiling points than their corresponding elementary substances and alloys, with highly diffusive, reactive and fragile properties. Moreover, they can transform into much distinctive gaseous hydrides, liquid hydrides and nano-hydride particles, which can undergo extensive transfer during repetitious geological events, till they reach the outer parts of the earth. As temperature and pressure sharply drop, oxidization speed multiplies, and the acidity or alkalinity changes, the hydrides decompose, hydrolyze, oxidize, sulfurize, settle down and enrich into various mineral deposits.

Key words: Elementary hydride; Alloy hydride; Transferring form; Mineral formation mechanism

全国唯一的研究盐湖科学和技术的专业性学术期刊 欢迎订阅《盐湖研究》

《盐湖研究》是原国家科委批准的学术类自然科学期刊,由中国科学院青海盐湖研究所主办,科学出版社出版,1993年创刊并在国内外公开发行。

《盐湖研究》是国内唯一的研究盐湖科学和技术的专业性期刊。面向国内外报导交流盐湖、地下卤水、油田水、海水等基础、应用、开发和技术及管理的研究报告、论文和成果,探讨其资源的分离提取技术与综合利用途径。

《盐湖研究》主要栏目:学术论文,综述与评述,盐湖科技动态,科技探索,技术介绍,学位论文简介,简讯等。

《盐湖研究》可供有关从事地学、无机化学、化工、盐化工、分析化学、采选矿技术等学科的科研、设计、生产人员和管理人员及相关专业的大中专院校师生阅读。也可供轻工、冶金、建材系统的有关人员参阅。

《盐湖研究》为季刊, A4开本, 72页, 每季末月5日出版发行。单价: 8.00元/本, 全年订价: 32.00元。中国标准刊号: ISSN1008-858X; CN63-1026/P。邮发代号: 56-20。全国各地邮局均可订阅, 也可直接与《盐湖研究》编辑部联系, 联系电话: 0971-6301683。