

Thermodynamic Behavior Analysis of Ironmaking Process of Martian Soil Aqueous Compounds

Guofeng Gao^{1,2}, Xiaolei Zhou^{1,2*}, Zhe Shi^{1,2}, Bangfu Huang^{1,2}, Lei Liu^{1,2}, Yingtao Meng^{1,2}, Jinlin Lu^{1,2}, Weisai Liu^{1,2}, Lanpeng Liu^{1,2}

¹Faculty of Metallurgical and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan

²Clean Metallurgy Key Laboratory of Complex Iron Resources, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan

Email: *zhouxiaolei81@163.com

Received: Dec. 26th, 2018; accepted: Jan. 8th, 2019; published: Jan. 15th, 2019

Abstract

The Gibbs free energy function algorithm was applied to calculate the thermodynamic reaction that occurred during the reduction of iron resources in the formation of Martian soil, to study the feasibility of ironmaking in Martian soil. In this paper, the generation of hydrogen from solar electrolyzed water is used to reduce iron resources, and only the influence of ambient pressure and the composition of Martian soil on its reduction is considered. Thermodynamic calculation results show that there are two kinds of iron-containing compounds, FeSO₄ and Fe₂O₃, which are mainly produced by heating and dehydration of compounds containing crystalline water in Martian soil. The reduction reaction is done to the iron-containing compound by hydrogen; when the temperature is above 900°C, the reaction of FeSO₄ is first reduced, then the reaction of Fe₂O₃.

Keywords

Martian Soil, Thermodynamics, Reduction

火星土壤含水化合物炼铁过程热力学行为分析

高国锋^{1,2}, 周晓雷^{1,2*}, 施哲^{1,2}, 黄帮福^{1,2}, 刘磊^{1,2}, 孟颖涛^{1,2}, 卢金霖^{1,2}, 刘维赛^{1,2}, 刘兰鹏^{1,2}

¹昆明理工大学冶金与能源工程学院, 云南 昆明

²昆明理工大学复杂铁资源洁净冶金重点实验室, 云南 昆明

Email: *zhouxiaolei81@163.com

收稿日期: 2018年12月26日; 录用日期: 2019年1月8日; 发布日期: 2019年1月15日

*通讯作者。

文章引用: 高国锋, 周晓雷, 施哲, 黄帮福, 刘磊, 孟颖涛, 卢金霖, 刘维赛, 刘兰鹏. 火星土壤含水化合物炼铁过程热力学行为分析[J]. 自然科学, 2019, 7(1): 24-28. DOI: 10.12677/ojns.2019.71004

摘要

应用物质吉布斯自由能函数算法计算火星土壤还原生成铁资源过程中所发生的热力学反应。研究火星土壤在火星环境中进行炼铁的可行性。本文利用太阳电解水生成氢气对铁资源进行还原,并且只考虑环境气压与火星土壤成分对其还原的影响。热力学计算研究结果表明:火星土壤含有结晶水的化合物进行加热脱水反应发现主要生成的含铁化合物为两种,分别是 FeSO_4 和 Fe_2O_3 。通过氢气对含铁化合物进行还原反应,当温度在 900°C 以上时,反应 FeSO_4 要比反应 Fe_2O_3 先发生还原反应。

关键词

火星土壤, 热力学, 还原

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

人类文明从诞生起到现代社会,成加速发展的趋势。对于自然资源的消耗也日益加剧。但是,地球资源有限。随着人类社会的加速发展,对地球资源的加速消耗。总有一天,地球资源将消耗殆尽,人们不得不从其它途径寻求解决资源问题。随着,人类航天技术的发展,使人们从其他星球获取资源成为了可能。而土星在很久以前就发现了水资源的存在,被认为地球移居的首选星球,因此对其资源的开发也至关重要。

火星土壤是指火星岩石受风化后产生的碎屑物质。它们的化学成分主要是: O (50%)、Si (15%~30%)、Fe (12%~16%)、Mg (5%)、Ca (3%~8%)、S (3%~4%)、Al (2%~7%)、K (<0.25%)、Ti (0.5%~2.0%)、a (0.5%~1%); 其他还有 P、Ta、V、Gr、Mg、Co、Ni、Cu 等[1]。由此可见,火星土壤中铁含量相比地球要高很多。因此,未来对于火星铁矿石资源的开发的研究具有战略的价值。在以后人类的发展中,对于火星铁资源的开发将成为热点问题。

虽然,火星土壤的铁含量比地球要高很多,但是其铁含量还达不到直接进入高炉炼铁的要求。其含硫量是地球的 10 倍。因此,在入炉前需要对火星土壤进行选矿,并且进行烧结或者球团处理。然后进行还原处理。

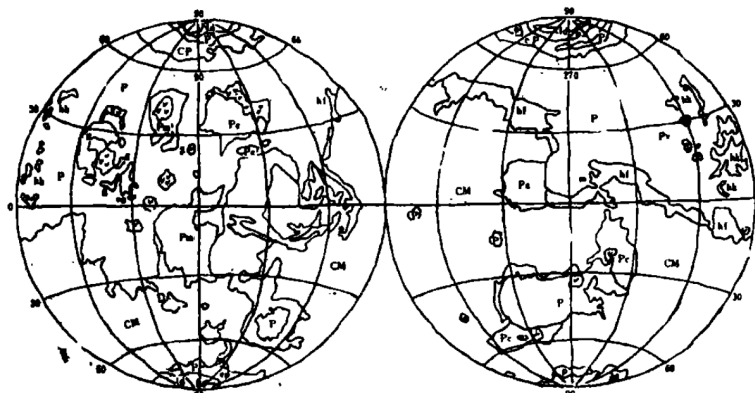
2. 还原条件及热力学基础

还原条件与热力学基础,作为热力学计算最重要的内容,对于其确定尤为重要。

2.1. 还原条件

这里所研究的原料为火星土壤,火星表面开采后,进行选矿处理。还原的环境为火星,空气气氛(火星表面稀薄大气约含二氧化碳 95.3%、氮气 2.7%和氩气 1.6%,还有微量的氧气、一氧化碳、氦气、氟气和氙气[2]),由于火星空气稀薄,按照火星压强,不利于还原反应的进行,因此利用高压装置进行还原处理,本实验采用一个大气压作为反应条件。火星两极皆有水冰与干冰组成的极冠如图 1 所示[3],可以采集后利用太阳能产生电能进行电解制造氢气,进行铁矿石的还原,同时生成水进行循环利用。对于火星

需要的热量，我们可以利用太阳能或者核反应[4]产生的电能进行升温加热。



极地建造: pi 永久性冰原, id 层状堆积区, cp 刻蚀地区; 动力建造: hc 脊岭波状高原, hf 水脊波状高原, hk 圆丘波状高原; 火山建造: v 火山机构, pv 火山堆积平原, pn 活动的火山锥平原, pc 火山锥平原; 古老建造: cv 火山建造, c 河床堆积, p 洪积平原, g 沙丘平原, m 山区, cm 古海盆地

Figure 1. Surface geological map of Mars

图 1. 火星表面地质示意图

2.2. 热力学基础

应用物质吉布斯自由能函数算法计算火星土壤球团在焙烧过程所发生的热力学反应[5], 由于在火星中大气压强比地球要小很多。因此, 为了方便计算本研究考虑将反应压强升高到一个标准大气压下进行计算。

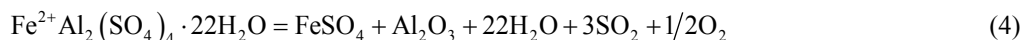
3. 热力学分析结果与讨论

火星存在的含有结晶水的含铁化合物为 FeO 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、水铁矾($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、羟基硫酸铁($\text{Fe}(\text{OH})\text{SO}_4$)、黄钾铁矾($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$)和多水硫酸盐($\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$)等[6]。本文利用 HSC 热力学计算软件, 对火星铁资源的还原过程的吉布斯自由能进行简单的分析。

3.1. 脱水反应阶段

火星由于其含有水被人们一度认为是有生命的星球。但是铁资源中水份的存在对于火星铁资源的开发是不利的。在结晶水的脱附过程中会消耗大量的能源。但是生成的水资源可供去火星工作的人饮用。

其中可能发生的脱水反应为:



对其含铁化合物进行加热脱水反应后, 可以观察到其主要生成的含铁化合物为两种, 分别是 FeSO_4 和 Fe_2O_3 。

3.2. 还原反应阶段

在自然界中铁资源存在的主要形式为化合态, 因此对铁资源的开发过程的研究就变为对铁的还原过

程。通过对火星土壤加热后，其主要生成的含铁化合物为两种，分别是 FeSO_4 和 Fe_2O_3 。

其中可能发生的反应为：



对其吉布斯自由能进行计算，其吉布斯自由能随温度变化如表 1 所示。

Table 1. The reaction of equation (6) (7) with the change of Gibbs free energy with temperature

表 1. 反应式(6) (7)的反应随吉布斯自由能随着温度的变化

T/(°C)	$\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2(\text{g}) = \text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2(\text{g})$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2(\text{g}) = 2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
	$\Delta G/(\text{KJ/mol})$	$\Delta G/(\text{KJ/mol})$
0.000	51.275	58.879
100.000	47.558	45.057
200.000	42.435	32.518
300.000	36.122	21.089
400.000	28.237	10.589
500.000	18.586	0.871
600.000	7.398	-8.188
700.000	-5.174	-16.676
800.000	-19.038	-24.912
900.000	-34.037	-33.072
1000.000	-50.048	-41.182
1100.000	-66.875	-49.058
1200.000	-84.440	-56.723
1300.000	-102.687	-64.210
1400.000	-121.542	-71.499
1500.000	-141.065	-78.827
1600.000	-161.629	-87.013
1700.000	-183.028	-95.665
1800.000	-204.939	-104.212
1900.000	-227.331	-112.667
2000.000	-250.172	-121.037

其吉布斯自由能温度变化的曲线如图 2 所示。

通过热力学计算发现通过氢气对含铁化合物进行还原反应，发现反应(6) (7)反应产物为 Fe 、 H_2O 和 SO_2 。当温度在 900°C 以上时，反应(6)要比反应(7)先发生。且在 900°C 反应(6) (7)的吉布斯自由能仅为 $-30\sim-40 \text{ KJ/mol}$ ，此时的反应还非常缓慢。

6. 结语

1) 通过对火星土壤含有结晶水的化合物进行加热脱水反应发现主要生成的含铁化合物为两种，分别

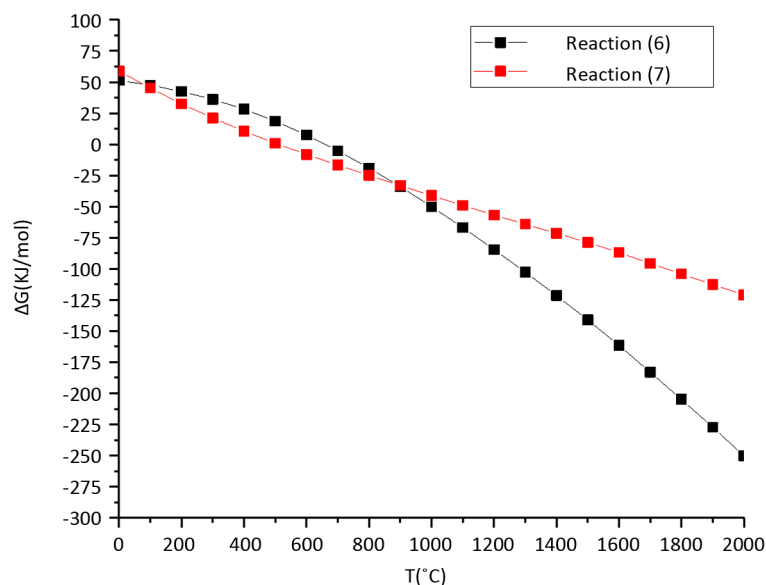


Figure 2. The reaction of equation (6) (7) with the change of Gibbs free energy with temperature

图 2. 反应式(6) (7)的反应随吉布斯自由能随着温度的变化

是 FeSO_4 和 Fe_2O_3 。

2) 通过氢气对含铁化合物进行还原反应, 当温度在 900°C 以上时, 反应 FeSO_4 要比反应 Fe_2O_3 先发生还原反应。

基金项目

云南省教育部资助的 KKJB201752017 项目; 云南省教育部科研基金 2016CYH07 产业发展项目; 云南省科技计划项目 2017ZE033。

参考文献

- [1] 黄宗理. 地球科学大辞典[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [2] 刘高同, 孙宇, 张磊. 火星大气环境模拟装置设计及仿真分析研究[J]. 中国空间科学技术, 2016, 36(5): 65-71.
- [3] 陈荫祥, 刘惠芬. 火星表面地质概况[J]. 地球, 1988(4): 1-2.
- [4] 姚成志, 胡古, 赵守智. 火星表面核反应堆电源方案研究[J]. 原子能科学技术, 2016, 50(8): 1449-1455.
- [5] 叶大伦, 胡建华. 实用无机物热力学数据手册: 第 2 版[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.
- [6] 苟盛. 火星表面含水矿物探测进展[J]. 遥感学报, 2017, 21(4): 531-548.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-1724，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojs@hanspub.org