

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202006004

www.dxhx.pku.edu.cn

探访铁村

张来英, 朱亚先*

厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005

摘要: 铁在人类的生产和生活中都发挥着重要的作用。本文通过探访的方式, 借用拟人化的手法, 介绍了铁的物理性质、化学性质及其在生活、生产中的应用, 让读者以生动活泼的方式了解铁及其化合物。

关键词: 铁; 性质; 应用

中图分类号: G64; O6

To Visit the Iron's Village

Laiying Zhang, Yaxian Zhu *

College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, P. R. China.

Abstract: Iron has played an essential role in human life and production. Herein, by means of visit, this paper personifies Iron to describe its physical properties and chemical properties and its application in life and production. Our aim is to make it easier for readers to understand in a more lively way.

Key Words: Iron; Property; Application

清晨, 阳光透过层层烟雾照射在大地上, 唤醒了沉睡中的大华和小化, 他们约好了今天一起去探访铁村。

1 村落介绍

匆匆吃完早饭, 大华和小化便赶紧驱车来到向往已久的铁村。首先映入眼帘的是一块巨大的方形钢板, 远看凹凸不平, 只有最前面的“村落介绍”几个大字清晰可见。

两人有些好奇, 连忙走过去。原来, 凹凸不平是工匠师在钢板上敲出的一行行文字:

欢迎来到铁村! 铁村位于元素国第四周期第 VIII 族的“铁系”乡, 与我同一个乡的还有钴村和镍村。铁村村民众多, 有赤铁矿(Fe_2O_3)、磁铁矿(Fe_3O_4)、菱铁矿(FeCO_3)、褐铁矿($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)、黄铁矿(FeS_2)……铁村村民旅居世界各地, 其中澳大利亚、巴西、俄罗斯、印度和中国是铁村村民最喜欢住的地方。

大华忙着拍照, 小化则认真地记着笔记。他们继续往下看:

先来认识一下我们的村长铁先生。

铁, 拉丁文名称为 Ferrum, 英文名 Iron, 在元素国第四周期、VIII 族, 排在第 26 位, 有金属光泽, 身披白色或者银白色的长衣, 是柔韧而延展性较好的金属元素, 熔点 $1538\text{ }^\circ\text{C}$, 沸点 $2861\text{ }^\circ\text{C}$, 具有导电、导热性能^[1]。

收稿: 2020-06-01; 录用: 2020-06-08; 网络发表: 2020-06-29

*通讯作者, Email: yaxian@xmu.edu.cn

基金资助: 国家基础科学人才培养基金项目(J1310024); 2017 年厦门大学教学改革研究项目(JG20170222)

铁先生是一位热心人士，生活中处处可见他的身影。铁先生与氧先生、硅小姐、铝先生合称“地壳四君子”，在地壳中的丰度排在大哥氧、二姐硅和三哥铝之后的第四位，达到了 4.1%呢^[1]。

铁先生和强酸、中强酸是好朋友，他们在一起时就会溶在一起，如胶似漆的。但与水小姐却没有眼缘，刚见面互相不搭理，时间长了才能产生些许好感。

铁先生有很强的铁磁性，属于磁性材料。他常常奔波于各行各业，磁铁、药物、墨水、颜料、磨料等都有他的身影。由于铁先生的表面常常覆盖着一层主要成分为黑色四氧化三铁的保护膜，人类将他与铬先生、锰先生统称为“黑色金属”。

.....

2 铁史馆

看完铁村介绍，大华和小化顺着往前走，就来到了“铁史馆”。馆里的灯光柔和，让人觉得幽静、神秘。“铁史馆”有两个展区，一个是古代展区，另一个是现代展区。

2.1 古代展区

首先映入眼帘的是一块巨大的陨石，它来自久远的太空。从此，铁先生进入了人类的世界。陨石含铁的百分比很高，是铁和镍、钴的混合物。

陨石旁边是一把铜柄铁刀匕首，来自公元前 2500 年左右的古代小亚细亚半岛(也就是现今的土耳其)的赫梯人墓葬^[2]，这可是人工冶炼的铁制品哦，铁先生开始和人类交朋友了。

与人类相识后的铁先生，总想着为人类做更多的贡献。公元前 1500 年以后，他到过安纳托里亚高原，去过美索不达米亚，拜访了埃及，并继而游历世界。所到之处，铁先生的各种制品层出不穷。

“瞧，这个其貌不扬的东西居然摆放在橱窗里？”小化有点不解。

“别看他其貌不扬，这是非同小可的珍稀之物——商朝时期的铁刃铜钺^[3,4](图 1a)。”大华忙着解释道，“这是 1977 年北京市平谷县出土的，是出土的青铜器中最引人注目的一件！铁刃由陨铁锻制、柄部由青铜浇铸，说明铁先生在 3300 多年前就来到了中国。铁先生作为一种新的金属，正式出现在中华民族的文化之中。”



图 1 铁刃铜钺(a)、铁条和铁锈块(b)、碳钢剑(c)^[5]

铁刃铜钺的橱窗旁，呈现在两人眼前的是铁条和铁锈块(图 1b)，来自甘肃临潭磨沟遗址，2009 年出土，约诞生于公元前 14 世纪左右，是目前铁先生在中国境内最早的人工冶铁的证据。

两人继续往前走，异口同声道：“碳钢剑(图 1c)！”剑的旁边有文字注解。

碳钢剑，1978 年出土于湖南长沙春秋晚期的墓葬，是含碳量 0.5%左右的中碳钢，金相组织比较均匀，进行过热处理！

没错，距今大约 2500 年的春秋战国之交时期，中国人对铁先生有了进一步的认识，冶炼技术逐步发展，铁先生在人类的生产生活中发挥着越来越广泛和重要的作用。

2.2 现代展区

大华和小化看着说着就来到了现代展区，这里的展品琳琅满目，有热氢发生器、凝胶推进剂、燃烧

活性剂、催化剂、水清洁吸附剂、营养增补剂(铁质强化剂)、各种电子元器件、各种硬质合金材料……

“钢——铁碳合金的统称。”小化认真地记着笔记。

大华指着展品说：“为满足建筑业、制造业和人们日常生活的需要，人们在冶炼时加入硅、锰、铬、镍、钼、钨、钒、钛、铌、锆、钴、铝、铜、硼、稀土元素等炼成合金钢……”

“我知道，我知道”，小化抢着说，“不锈钢中就含有 17%–22% 的铬元素。这些合金钢高强度、高韧性、耐磨、耐腐蚀、耐低温、耐高温、无磁性，性能优越，用途可广啦。”

“是的。”大华接过话头，“纯铁可用于制造发电机和电动机的铁芯，钢铁用于制造机器和工具，铁及其化合物还可用于制磁铁。此外，在胶黏剂中用作环氧胶黏剂的填料，配制铸件修补胶。”

3 铁家见闻

从铁史馆出来，便来到“铁家见闻”。展厅内陈列着五组风格迥异的展项。

3.1 色彩斑斓，铁化合物的颜色

首先展现在大华和小化眼前的是“色彩斑斓”组，这里摆放着五颜六色的铁的化合物。

“怎么会有这么多的颜色呢？而且，你看，Fe(II)与 Fe(III)的化合物颜色不同，晶体是否含有结晶水颜色也不一样哦。”小化不禁感叹和疑惑起来。

大华接过话头：“这和铁离子的 d 轨道处于未充满状态关系很大哦！配合物中 d 轨道发生分裂， d 电子可以吸收某一波长的光从低→高跃迁，该光的互补色就呈现出来。不同的金属离子、不同配体，分裂能就不相同，电子跃迁吸收的光不同，呈现的互补光的颜色当然不相同了。当光被全吸收时就呈现黑色啦。”

“当然，颜色也不全是 $d-d$ 跃迁，有的是由荷移跃迁引起的。”不愧是才华横溢的大华，解释起来头头是道。

小化一边听大华解释，一边忙着画表格记录下铁先生常见化合物的颜色，如表 1 所示^[6]。

表 1 铁元素常见化合物的颜色*

化合物	Fe(II)	Fe(III)
水合离子	淡绿 ⁶	淡紫 ⁶
氢氧化物	白	红棕
氧化物	黑	砖红
硫化物	黑	黑
氯化物	白	棕黑
水合氯化物	蓝绿 ⁴	黄 ⁶
硫酸盐	白	灰白
水合硫酸盐	蓝绿 ⁷	黄 ⁹
水合硝酸盐	绿 ⁶	紫灰 ⁹

*颜色右上角数字表示结晶水分子数目

小化一转身，看到墙壁上挂着一幅中世纪的油画，上面蓝色深沉、浓重，问道：“这蓝色就是传说中的普鲁士蓝么？”

“普鲁士呈现颜色就不是 $d-d$ 跃迁了，而是电子从 Fe(III)通过配体 CN^- 向 Fe(II)跃迁，这个过程吸收橙红光，我们眼睛就看到了蓝色。”

“可是……”小化还有疑问，但是却被一场表演吸引了。

3.2 知遇之“溶”，铁化合物的溶解性

“快看！”小化指着一个小舞台叫了起来。

一队铁先生的各类化合物排着队，依次跳起，翻转 360°，优雅地跃入水中……

只见铁先生的硝酸盐、氯化物、硫酸盐遇到水小姐，瞬间不见了踪影，和水小姐完全溶在了一起，捉起了迷藏。

而碳酸盐、磷酸盐和硫化物，还有氢氧化物、氧化物等则保持着高冷，对水小姐的柔情视而不见，任凭水小姐软磨硬泡也无济于事。

“是否知己，一遇便知！”大华和小化似乎心有灵犀，异口同声说道。

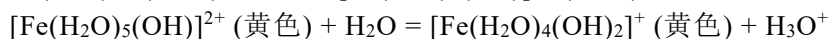
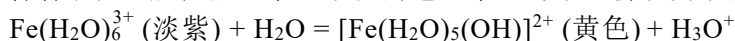
3.3 萍水相逢，铁化合物的水解性

大华和小化继续往前走，只见三价的铁先生正和六位水小姐手拉着手，呈现出美丽的淡紫色。

“紫气东来，真好看！不过，我怎么从来没见过紫色的三价铁离子？幻觉吗？”小化喃喃自语道。

话音未落，紫色就变成了黄色。

大华看着小化一脸茫然，拿过小化的笔记本，写下三价铁离子的水解方程式：



大华解释道：“因为三价铁离子价态高，属于 9-17 电子层构型，特别容易水解，其水解第一步、第二步的产物都是黄色的。水解的产物还可以相互结合生成双核配合物(图 2)，也是黄色的，所以我们经常看到的铁盐溶液都是黄色的喽……”

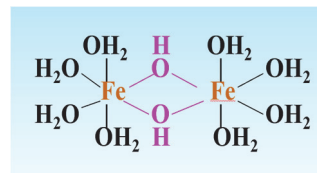


图 2 双核配合物

还没等大华解释完，随着溶液 pH 的不断升高，黄色又变成了黄棕色，进而变成了深棕色，最后定格在红棕色沉淀。

小化看得目瞪口呆。

“水解的用途很大呢，在 pH 为 6-7 的污水处理中，利用三价铁离子的水解产物吸附油腻、聚合物等悬浮物，同时可以沉淀重金属离子。”

大华拍了拍小化的肩膀：“水解的神奇作用不止这些呢！走，到下个展厅瞧瞧。”

3.4 上下求索，铁化合物的氧化还原性

大华和小化进入“上下求索”展厅。这里正在进行一项魔术表演。

黄棕色的氯化铁先生伸手拉住紫红色的铜先生，没一会儿，整个空间变成了蓝色。

小化凑到大华耳边，窃窃私语道：“我知道原因，是因为三价的铁离子先生有氧化能力，而铜先生有还原性，他们在一起时三价铁离子先生把铜先生的电子抢了过来。”

小化说着，在笔记本上写下了下面的方程式：



“嗯，不错！”大华竖起大拇指鼓励小化，悄声补充道，“三氯化铁先生和铜先生是好哥们，三氯化铁先生常到铜电路板上溜达，两个人一边聊天、一边帮着人类蚀刻铜电路板呢。”

就在这时，魔术布垂下挡住了视线，四周黑漆漆的一片。

随着中间灯光的亮起，大华和小化看到亚铁离子站在那儿，正在等着谁似的，只见氢氧化钠小姐姗姗而来……，亚铁离子被征服了，出现白色沉淀，说时迟那时快，氧气妹妹从空中飘然而至，白色的氢氧化亚铁迅速地氧化成了红棕色的氢氧化铁。

小化拍手叫好！

“其实，铁先生有很多价态，有 0、+2、+3、+4、+5 和 +6 等，其中 +2 和 +3 较常见，+4、+5 和 +6 相对少见。为了更好地服务人类，铁先生经常在不同价态间上下求索，尽量发挥自己的氧化和还原能力呢！”博学多才的大华解释着。

正说着，眼见着氯气先生和热量爷爷也过来了，他们一个钻入溶液，一个在旁边“煽风点火”，溶液变成了紫色的高铁酸盐。

大华侃侃而谈：“高铁酸盐只有在强碱性溶液中才稳定。人们利用他的水解能力制成净水剂……”话音未落，调皮的小氢离子突然跑过来，一把推开氢氧化钠小姐，钻进溶液中，溶液的紫色又消失了。

小化看呆了，不知道该如何记录。

“我帮你吧。”大华接过小化的笔记本，写写画画，一会儿就把高铁酸盐的制备和应用列了出来，如图 3 所示。

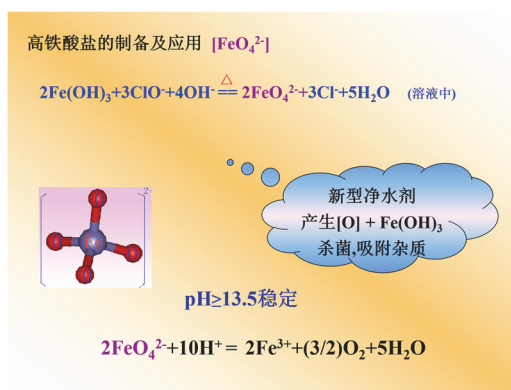


图 3 高铁酸盐的制备及应用

3.5 八方呼应，铁的配位化合物

进入“八方呼应”展厅，一些颜色和形状各异的铁的配合物迅速吸引了大华和小化的眼球。

两人真是大饱眼福，红色大环状的 $\text{Fe}(\text{phen})_3^{2+}$ 、棕色环状的 $\text{Fe}(\text{NO})(\text{H}_2\text{O})_5^{2+}$ 、黄色反式结构的 $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、黄绿色镜像双齿状的 $\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-}$ 、绿色晶体状的 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、红色的 $\text{Fe}(\text{SCN})(\text{H}_2\text{O})_5^{2+}$ 、淡黄色的 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 、无色的 $[\text{FeF}_5(\text{H}_2\text{O})]^{2-}$ ……目不暇接，铁先生好友甚多，真是“八方呼应”，配合密切。

“瞧，这个结构好特别哦，真漂亮！”小化停在左边的展箱旁，里面是两个夹心式的橙黄色晶体，一个是遮盖式的，另一个是交错式的，如图 4 所示。

“这是人类俗称的二茂铁，于 1950 年首次合成^[1,6]”，大华看着小化好奇的眼神忙着解释道，“二茂铁的出现，引热了这类化合物的合成和表征，各种金属的夹心化合物及其衍生物层出不穷。与此相关的研究还获得了 1973 年的诺贝尔化学奖呢！”

两人转过身，看到一件立方体的展品，如图 5 所示。

“又见普鲁士蓝。”大华说，“普鲁士蓝与滕士蓝的结构相同，三价铁和二价铁相互交替地排列在立方体的顶点，氰根配体位于立方体的棱上，钾离子则位于正六面体的空穴中，平衡着铁氰骨架的负电荷。还记得它的蓝色吗？”

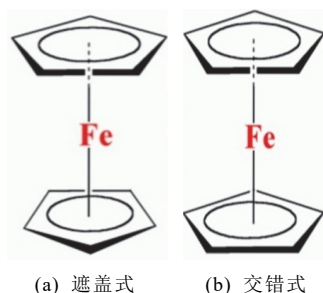


图 4 二茂铁的两构象

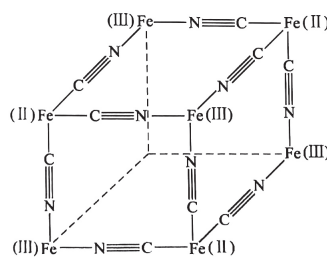


图 5 普鲁士蓝的结构

小化盯着结构端详了一会儿：“哦，刚才的疑问解开了，我明白蓝色的奥秘了！Fe(III)原来是这样通过配体 CN^- 向 Fe(II) 跃迁的。”

大华想考考小化：“与三价铁配位的是氰配体中的氮原子，与二价铁配位的是氰配体中的碳原子，请问，为什么呢？”

小化紧锁眉头，脑子拼命的搜索着老师讲过的知识：“好像，好像，有个什么软硬酸碱理论……”

小化一拍脑袋：“想起来了，Fe(III) 是比 Fe(II) 更硬的酸，N 是比 C 更硬的碱，硬酸配硬碱么。”

“嗯，棒棒哒！”大华竖起了大拇指。

4 命不可缺，生命体中的铁

走过琳琅满目的“铁家见闻”，两人来到了最后一个展项——“命不可缺”。

“这个红色大环状的铁的卟啉配合物是血红蛋白，在生命过程中不可或缺哦。”大华领着小化来到一块大大的展板前，画下了氧合血红蛋白的示意图(图 6)。

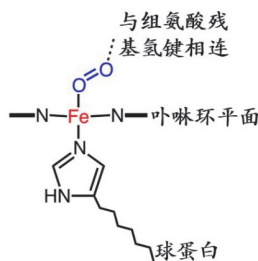
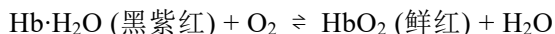


图 6 氧合血红蛋白结构示意图

“好漂亮的配合物，Fe(II) 是中心离子呢。”

“你知道血红蛋白(hemoglobin, Hb)是如何载氧的吗？”大华一边说，一边走到一个心脏和肺部的模型处，转动手柄，心脏跳动起来，黑红色的静脉血液流入肺部，但从肺部出来却神奇地变为鲜红色。一个方程式随即出现：



“这是一个典型的化学平衡，肺部氧气分压比较大，反应向右边进行，成为氧合血红素，随着心脏的跳动流向全身；由于身体各个部位氧气的分压小，反应向左边进行，游离出 O_2 供生命体使用。”

小化记得手都酸了，却笔耕不辍，恨不得都记下来。

“铁先生可使人体内淋巴细胞、血清补体活性、吞噬细胞功能、中性白细胞的杀菌能力保持正常；另外， β -胡萝卜素转化为维生素 A，嘌呤与胶原的合成，抗体的产生，脂类从血液中转运以及药物在肝脏的解毒等过程都与铁先生的催化促进有关^[7-9]。”

“铁先生是人体必需的微量元素，铁缺乏可引起缺铁性贫血，使人的体质虚弱，皮肤苍白、易疲劳、头晕、对寒冷过敏、气促、甲状腺功能减退……”

“嗯，铁先生对人类这么重要，平时我们怎么补充铁呢？”

“动物的肝脏、红肉、血、黑木耳、红枣、豆类等含铁较多，烹调食物使用铁锅、铁铲，也可以起到一定的补铁作用，呵呵。”

“哦，食物这么多，一时记不住啊……”小化挠挠头，“我想到办法了，药店有补铁制剂，多买一些吃吧，多多益善么。”

“不行！不行！再好的东西也不能过量。摄入过量的铁将产生慢性或急性铁中毒，如肝脏含有大量的铁将导致肝硬化、胰腺纤维化等慢性中毒，急性铁中毒使胃肠道上皮发生严重而广泛的坏死

啊^[1]。”

两人你一言我一语，不知不觉地来到了铁村的出口处，四目相对，异口同声道：“今天收获可真不小啊！”

参 考 文 献

- [1] 宋天佑, 徐家宁, 程功臻. 无机化学(下册). 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [2] 刘学堂. 中国文物报, 2017-09-22 (6).
- [3] 张之恒. 中国考古通论. 南京: 南京大学出版社, 2009.
- [4] 吴杏全. 河北经贸大学学报(综合版), 2009, 9 (3), 55.
- [5] 中国最早铁器是出现在什么时候? 铁器与青铜器在战争中的地位角逐. [2020-05-20].
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1636191615245087646&wfr=spider&for=pc>.
- [6] 宋天佑. 无机化学教程. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [7] 刘新锦, 朱亚先, 高飞. 无机元素化学. 北京: 科学出版社, 2005.
- [8] 路慧哲, 杜凤配, 李向东. 大学化学, 2010, 25 (增刊), 85.
- [9] 杨克敌. 微量元素与健康. 北京: 科学出版社, 2003.

欢迎订阅《大学化学》

《大学化学》是由教育部主管, 北京大学和中国化学会共同主办的教育研究性学术刊物。以促进深化大学化学教育改革为宗旨, 为提高我国化学教学水平服务。读者对象为高等学校化学教师、研究生、本科生, 中学化学教师, 对化学有浓厚兴趣的中学生, 以及化学教育领域的各级管理人员和其他岗位上的化学工作者。主要栏目有: 今日化学、教学研究与改革、知识介绍、化学实验、师生笔谈、自学之友、大学化学先修课程、竞赛园地、未来化学家、科普、国外化学教育、化学史以及专题讨论等。

《大学化学》现为月刊, 大 16 开本, 亚光铜版纸印刷。2021 年每本定价 30.00 元, 全年出版 12 期, 共 360.00 元。

全国各地邮局均可订阅, 邮发代号: 82-314。为方便读者订阅, 本刊编辑部全年办理邮购业务。

地址: 北京大学化学学院《大学化学》编辑部

邮编: 100871

电话: 010-62751721

邮箱: dxhx@pku.edu.cn

网址: <http://www.dxhx.pku.edu.cn>

《大学化学》编辑部