

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX201905042

www.dxhx.pku.edu.cn

与碳同行

那行[§], 朱亚先*

厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005

摘要: 将碳元素拟人化, 讲述一位足球运动员闯入元素世界, 意外接受了传播元素文化的任务, 旨在让读者在趣味阅读中了解有关碳单质及含碳化合物的历史和性质。

关键词: 碳; 应用; 化学性质

中图分类号: G64; O6

A Journey with Carbon

NA Xing [§], ZHU Yaxian *

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

Abstract: This paper anthropomorphizes the carbon element and tells the story of a football player who breaks into the world of elements and accidentally accepts the task of spreading element culture, and aims to let readers understand the history and nature of carbon elements and its compounds in interesting reading.

Key Words: Carbon; Application; Chemical properties

我醒来的时候正在一个悬崖边的山洞里。

我是一名足球运动员, 我不知道我为什么会在这里, 也不知道我晕倒前正在做什么。我极力回忆着, 好像……我们踢输了一场比赛, 然后回到了更衣室, 之后……

“你醒了。”一个声音从后面传来。

我惊讶地回头, 一个小孩站在面前。他穿着休闲装, 胸前印着一个大大的字母 C, 亮晶晶的大眼睛不停地闪动着, 一副可爱的模样, 但他的皮肤却是龟裂的, 像是由很多六角形连接起来似的。

“你是……”我的声音混杂着恐惧和疑惑。

“不用紧张, 我没有恶意。我叫小碳, 是碳元素国的王子, 英文名叫: Carbon。”小碳从身上掰下一块黑色的东西, 这个东西在他的手上变成了一只碳笔, 他用碳笔在我手心写下 Carbon 六个字母, “我是元素王国的第六号元素, 位于元素周期表上第二周期, IVA 族, 元素王国的每一种元素都有自己的符号, 我的符号是 C。”

小碳指了指衣服上的符号, 继续说: “今年是元素周期表诞生 150 周年, 元素们都在寻找自己在人类世界的代言人, 你愿意做碳的代言人吗?”

我点点头, 紧接着又摇摇头, 未置可否。

小碳拍拍胸脯说: “碳是人类最早使用的化学元素之一, 其单质和化合物都在人类的生活中有

收稿: 2019-05-15; 录用: 2019-05-18; 网络发表: 2019-05-24

*通讯作者, Email: yaxian@xmu.edu.cn

[§]2018 级本科生

基金资助: “化学学科拔尖学生培养试验计划” 学生科研能力培养探索

着重要的作用，它也是生命体的常量元素，占体重的 18%左右^[1]，以蛋白质、氨基酸、核酸、脂肪、碳水化合物等形式存在。”

“我们碳元素是多胞胎，其中 C-12 是最稳定的同位素，那就是我哦，占有所有碳的含量的 98.93%，所以我的身影到处可见！我有个哥哥 C-14 擅长考古，生物可以通过呼吸作用摄入 C-14，且不断与自然界交换，处于平衡状态；一旦生物死去，交换停止，C-14 在生命体内开始衰变，它的半衰期长达 5730 年，因此人们可以通过测定 C-14 含量推断古物的大概年龄。”

小碳看出来我的疑惑：“为了让你更多地了解碳元素，我带你到碳世界去走一走吧。”小碳一声响指，周围的一切逐渐消失，变得一片漆黑。片刻，世界又恢复了色彩，但已经不是之前的山洞了。眼前出现了一个巨坑，坑中还有很多透明、带有光泽的石头，在阳光的照耀下宛如天上的星河。

一位闪闪发光的女士出现在我们的面前，“欢迎来到 1870 年的南非，来到美丽的金伯利金刚石矿。”

“我是金刚石大学士，金刚石也就是人们口中的钻石，碳的一种同素异形体。金刚石是原子型晶体，面心立方晶格，具有出色的绝缘性能；它透明、坚硬，是世界上已知最硬的材料之一，常作为磨料，也可用来切割玻璃。它莫氏硬度为 10，最坚硬的金属铬(Cr)也才只有 9 呢^[2]。”

“也就是说，我们可以通过用铁锤砸来判断我们购买的钻石项链是不是真的，对吧？”我的脑海里不经意间蹦出一个疯狂的想法。

“说的在理，不过大部分人是不会忍心向昂贵的钻石项链下手的，哈哈。”

“文艺复兴时期，金刚石粉末曾在意大利被用作慢性毒药，由于无法被胃酸(HCl)溶解，再加上它极强的硬度，服下的人最终会因为胃出血而死，金刚石曾一度被披上毒药的外衣。”

说完，她化作一颗璀璨的钻石慢慢消失在星空中。

小碳伸出手，一声响指，巨坑轰然消失，取而代之的是茂密的丛林，丛林之间矗立着一座宏伟的建筑，这应该是一家工厂。

小碳转身指了指这座工厂，说：“这里是 1889 年的新泽西州，这座工厂叫作 General Pencil，虽然不是第一家铅笔工厂，但这家工厂一直到现在还在运营，是最长寿的工厂之一了。”

一位老人从工厂里慢慢走出来：“我是石墨大学士，石墨是碳最常见的一种同素异形体。”他伸出了左手，随即手心发出了刺眼的光芒，等光芒消失，一支铅笔出现在他的手中。

“啊，2B 铅笔！”我兴奋地叫道，“我知道，铅笔笔芯的主要成分就是石墨，铅笔上的 B 是指 Black (黑度)，H 是指 Hard (硬度)，使用 2B 作为考试使用的铅笔，是因为这种类型的铅笔颜色深，而且容易擦，不容易粘附。”

老人慈祥地笑了：“没错，不仅如此，石墨还是已知最柔软的材料之一，具有超滑的特性。”他伸出了另一只手，这次手上出现的是一个由连续的六边形拼成的层状物质。

在我的脑海里还剩下不多的化学知识，这应该是石墨的结构示意图。

“石墨属于混合型晶体，层内部是共价键，层与层之间通过范德华力相互连接。范德华力能量比化学键要小得多，在外力的作用下，石墨便会按层脱落，又由于石墨具有出色的粘附性，它会在粗糙固体，例如纸张、木头等表面上留下印记，这就是能用铅笔写字的原理。而橡胶对石墨的吸附能力比纸张更强，因此用橡胶制的橡皮擦可以擦去铅笔写下的痕迹。请问，阁下知道为什么铅笔字迹可以被读卡器读出来吗？”

“因为石墨可以导电。”我果断地说了出来，原本还想继续解释一下，但却不知道该从什么方向入手。

“是的，不过也不是所有的石墨都能导电。石墨单晶由于具有各项异性，并不是每个方向都能导电，而石墨多晶却具有很出色的导电性能。碳原子呈 sp^2 杂化，简单来说，s 轨道和 p 轨道原本就像两杯液面高度不同的水一样，能量是不一样的，而 sp^2 杂化效果就像是把一杯 s 轨道和两杯 p 轨道的水平均分了，形成了三个相同液面高度的轨道。每个碳原子以 sp^2 杂化轨道与其他两个碳原子

形成 σ 键。”在一旁的小碳补充道。

“王子殿下说的对， σ 键里的电子被束缚住，只能在两个碳原子核周围运动，对导电性没什么贡献。”老人继续说，“起作用的是大 π 键中的电子。每个碳原子都有一个未杂化的 p 轨道，每个 p 轨道上有1个电子，这些轨道肩并肩重叠在一起，形成 π_6^6 键，于是电子就可以在石墨层形成的大 π 键中任意驰骋。”

老人指着投射出来的结构边讲边演示，讲到这里转身问道：“阁下对石墨烯是否有所耳闻？”

“哦，我记得在新闻上听到过，但是不是很了解。”

老人笑了笑：“石墨烯就是单层的碳原子，早在1986年就有人预言过石墨烯的产生，海姆和诺沃谢洛夫更是十分有创意，他们选择用胶带从石墨中粘出石墨烯。”

“用胶带？那怎么能保证粘下来的石墨层是单层的呢？”我有点不理解。

“是啊，就是因为不能保证，这种方法费时、效率也不是很高。后来人们选择将氧化石墨分散到液体介质中，再获得石墨烯^[3]。石墨烯可是一匹大黑马啊，它被确定为有史以来最坚固的材料之一，有出色的导热、导电能力，并且几乎是透明的。”

“嗯。”我点了点头，“那它有什么用途吗？”

“具体的用途嘛，科学家还在探究。根据它的特性，可以做成柔性的显示屏，这样，我们就可以轻松地把智能手机卷起来别在耳后^[4]。还有，石墨烯的二维平面结构使它对周围的环境十分敏感，所以石墨烯也可以用作化学传感器^[5]，在实验室中，其对多巴胺、葡萄糖的灵敏度表现得十分出色^[6]。如果把石墨烯卷成管状的碳纳米管，圆柱状的结构使它具备更强的抗拉强度、导电、导热和延展性，也许纸电池和太空电梯都需要靠它来实现。”

这时，一旁的小碳走上来，对着手心哈了口气，一个足球状的分子出现在他的手中，“看你这身打扮，对足球应该很了解吧。”

我不好意思地挠了挠头说：“说不上很了解，会踢而已。不过这分子我见过，这是富勒烯(C₆₀)，是碳的另一种同素异形体，因为长得像足球，又叫足球烯。”

“没错，”老人点了点头，“1985年，这个物质才正式被人们发现，它的结构非常漂亮，是由12个五边形和20个六边形组成。其实富勒烯的范围很广，不仅仅限于C₆₀，最小的为C₂₀，大的可以有C₇₀、C₁₀₀等^[7]”

“它们的结构有什么相同之处吗？”

“这是个很有趣的问题，当年有不少科学家都研究过。他们发现富勒烯都具有12个五元环，但六元环的数量是不同的，这好像是用欧拉多面体公式计算得出的结果，不过这个我不太懂。”

老人不好意思地挠挠头，继续说：“你听说过光动力疗法(PDT)治疗癌症吗？这种方法微创、微毒，C₆₀就可以用在这里。”

“真的吗？”这引起了我的好奇心。

“是这样的，富勒烯可以被癌细胞吸收，并对光辐射做出反应，从而引发吸收富勒烯的癌细胞凋亡。而且富勒烯还可以吸收对身体有害的自由基，以防止其他组织受到自由基的损害^[8]。”

“还有个现象很有趣，由于富勒烯内部结构是空的，它可以将额外的原子、离子或者簇群封闭在‘体内’，形成内面富勒烯。比如说包含了镧(La)元素的内面富勒烯表示为La@C₆₀，@这个符号就像一个分子被包在壳里面，形象极了！这些内面富勒烯会因为包罗的物质不一样而性质各异呢。”

“那如果包着一个Na⁺，是不是应该这样写。”我用碳笔在地上写下：Na⁺@C₆₀。

一旁的小碳向我伸出了大拇指。

告别了石墨大学士，小碳边走边说：“能源对人类太重要了，从柴、煤到石油都离不开我们碳家族！”他把手伸向空中，又是一个响指，周围的一切逐渐消失，气温突然变得很热，眼前出现了一个正在燃烧的巨坑。

“燃料大学士，恭候已多时。”一个身上窜着火苗的气态生物从天而降，“欢迎来到‘地狱之门’达瓦扎。”

“为什么叫‘地狱之门’呢？”我对这个炫酷的名字充满了好奇。

“‘地狱之门’的名字来源于天然气燃烧放出大量的热，导致坑内温度极高。1971年前苏联的科学家在地质勘探时发现了这个充满天然气的大坑，但他们由于害怕毒气泄漏而点燃了坑中的气体，这一烧就烧到了现在……”

“话说回来，我们从煤说起吧，你了解煤化进程吗？”

“呃，煤化进程。”我努力地回想之前化学老师讲述的内容，“哦，根据煤化程度，煤可以分为褐煤、烟煤和无烟煤。”

“是的，”小碳补充说：“煤炭的热值不算高，但在大气污染中却占着重要的‘席位’。中国这这些年在改善能源结构方面做得十分出色，煤炭在其能源结构中的占比逐年下降，2017年降低至60.4%^[9]。”

“石油热值高，方便开采、运输方便，是各国的‘掌上明珠’。”大学士带我来到一座油井前，“来，按下按钮。”

我照着他的指示按下绿色的按钮，“磕头机”一上一下地工作起来，但是冒出来的却是红棕色的液体。

“啊？石油是各种烷烃、环烷烃、芳香烃的混合物，应该是黑色的吧？”我惊讶地问道。

“欸，石油可不仅仅是黑色的哦，还有红的、黄的等。”小碳回答，“石油的颜色是由内部所含胶质、沥青质决定的，这两种物质的含量越高，石油的颜色也越深。”

大学士补充说：“克拉玛依油田出产的石油是黑褐色，这可能就是大多数中国人都觉得石油是黑色的原因吧！”

我点点头，抬眼看到远处有个塔的顶端在熊熊燃烧。我拉了一下小碳：“失火了，快打119。”

小碳笑道：“那是天然气作为火炬气在燃烧，天然气是开采石油的副产物，因为运输困难等问题，有些油田的天然气都被这样烧掉了。”

我惋惜地说：“那不是又浪费、又污染吗？”

“天然气的主要成分是甲烷(CH_4)，燃烧的产物主要就是水和二氧化碳，虽然不会产生严重污染，但是确实很浪费。”燃料大学士继续说。

“有机质腐烂时会产生大量天然气，故其也被称为‘生物气’。相比其他化石燃料更加清洁，几乎不含硫、粉尘和其他有害物质，是继石油之后，人类寻找化石燃料的一个新的台阶。中国1963年建立起第一条天然气管道‘巴渝输气管道’。如今，天然气已经走进了千家万户的灶台，每天为大家烧制出一道道美味可口的饭菜。”

我好像闻到了红烧肉的味道，馋虫一下子被勾引出来。

“不过，天然气不纯时易发生爆炸。由于本身无色无味，为了泄露时能使人察觉，工人们常常在其中加入乙硫醇、四氢噻吩(THT)使其有臭鸡蛋的气味。”

小碳看着熊熊燃烧的天然气，若有所思：“碳资源能源由于人类的过度开发，已经亮起了红灯。不过，随着科学技术的进步，人类正在朝着发展风能、潮汐能、地热能和原子能等清洁能源方向前进，相信这些新能源应用会越来越广泛。”

这个地方简直是个大火炉，短短几分钟，我已经满身大汗了。

小碳看看我笑了笑，又是一声响指。等我回过神来，发现我们正悬浮在空中。

“啊。”我吓得叫了出来。

“别担心，我保证你的安全。请你到这个特殊的地方，是要给你讲讲碳循环。”小碳指了指远处，“一开始，我是以二氧化碳(CO_2)的形式游荡在天地之间。”

我马上想到了温室气体：“哦，就是那个导致全球变暖的罪魁祸首！”

“什么罪魁祸首！温室效应可是对人类的生存起到了至关重要的作用。温室气体向各个方向辐射能量，一部分的辐射抵达地面，使地面变暖。自然的温室效应才造就了地球上和谐的气温条件，才有了今天的大千世界。而现在因为人类活动加重了温室效应，才造成了严重的后果，这个锅我们可不背。”

小碳顿了顿，又继续说：“地球上有五个碳库，最大的两个是岩石圈和化石燃料，不过这两个库中的碳元素活动缓慢，实际上起到的是贮存库的作用。地球上还有三个碳库——大气圈库、水圈库和生物库，这三个库之间的交换可就活跃多了。来，我们走一走简单的循环路径吧。”

小碳挥了挥手，我们开始缓慢下降。

“由于二氧化碳的摩尔质量略大于空气，在风平浪静的时候，他们会慢慢地下落。有一部分落向水面，跟水分子形成了碳酸(H_2CO_3)。但是海水并不是酸性的哦，地球上海洋的 pH 大概都在 7.9–8.4，呈微碱性，这是因为碳酸根(CO_3^{2-})很容易水解产生氢氧根(OH^-)。表层海水由于有植物光合作用吸收二氧化碳，pH 还更高一点。二氧化碳可是全球碳氧平衡中非常重要的角色。”

我们终于落到了地面。

小碳指着一株绿色植物说：“二氧化碳被绿色植物通过光合作用吸收，它以有机物的形式储存在体内，在植物死亡之后，腐殖质被沙土所掩埋，有一部分腐生细菌将腐殖质分解成二氧化碳进入到大气中，这就完成了循环过程。”

“嗯，部分被分解，也就是说还有不被腐生细菌分解的可能性咯？”

“对，另一部分呢可能埋的位置比较好，没有被腐生细菌感染，而是在压力和热的作用下形成石油、天然气和煤这些化学燃料。”

“碳单质在完全燃烧时产生的是二氧化碳。但在不完全燃烧的时候会产生一氧化碳(CO)，这是一个有毒的坏分子啊。”我脑子里闪现出了“骷髅头”的标志。

“也不能这么绝对。”小碳一声响指，我们来到一家冶金工厂，工人们正在利用一氧化碳来冶炼金属。

“你看，一氧化碳其实是一个非常有用的分子，因为它极强的还原性，所以在工业冶炼金属的过程中，它常被用作还原剂。比如冶铁，它可以将赤铁矿中的三氧化二铁(Fe_2O_3)还原成铁单质。”

“如果氧化镍(NiO)也来凑热闹，就会产生剧毒的四羰基镍($\text{Ni}(\text{CO})_4$)蒸气，人吸入可能会危及生命的。”

“那一氧化碳中毒？”

“别急嘛，我知道这是一氧化碳给人类留下的最深印象，你看……”

小碳的手上出现了一个长得像红色甜甜圈的东西，“这是红细胞，我们都知道红细胞里的血红蛋白(Hb)可以携载氧气形成氧合血红蛋白(HbO_2)，并将其输送到全身各处供细胞使用。可是，就是这么巧，一氧化碳也能和血红蛋白结合，而且亲和力更强。”

“所以，人吸入一氧化碳后，它就把氧合血红蛋白中的氧排挤出来，对吧！”我迫不及待地说。

“是的，一氧化碳和血红蛋白形成碳氧血红蛋白(HbCO)。于是，血红蛋白就失去了载氧能力，导致组织缺氧，产生中毒症状。”

正想听小碳继续讲下去，突然我眼前一片漆黑，瞬间失去了意识。等我再次醒来，发现自己带着氧气面罩躺在医院的病床上。

我好像又回到了人类世界？可为什么是在医院呢？

护士说：“你洗澡的时候燃气热水器排气管堵塞，导致了一氧化碳中毒，还好家人送来得及时，要不然小命就不保啊。”

我一瞬间仿佛想起了之前发生的所有事，“哎，原来是一场梦。”

我下意识地看了看自己的手，那用碳笔写下的 Carbon 清清楚楚地在我的手心之中。

“看来这不是梦……”

我环顾周围，到处都是碳及其化合物的影子。
小碳，我现在就为碳代言。我奋笔疾书，把刚才的故事写了下来。

参 考 文 献

- [1] 李景湘, 张兆贵. 平顶山工学院学报, **1998**, No. 2, 30.
- [2] Chang, R. *Chemistry*, 9th ed.; McGraw-Hill: New York, USA, 2007; pp 52.
- [3] Paton, K. R.; Varrla, E.; Backes, C.; Smith, R. J.; Khan, U.; O'Neill, A.; Boland, C.; Lotya, M.; Istrate, O. M.; King, P.; Higgins, T.; Barwich, S.; May, P.; Puczkarski, P.; Ahmed, I.; Moebius, M.; Pettersson, H.; Long, E.; Coelho, J.; O'Brien, S. E. *Nature Mat.* **2014**, *13* (6), 624.
- [4] 曹宇臣, 郭鸣明. 北京: 石油化工, **2016**, *45* (10), 1149.
- [5] Meyer, J. C.; Girit, C. O.; Crommie, M. F.; Zettl, A. *Nature* **2008**, *454* (7202), 319.
- [6] 朱丽梅. 石墨烯在电化学生物传感器中的应用[M]. 上海: 上海大学, 2012.
- [7] Kroto, H. W.; Heath, J. R.; O'Brien, S. C.; Curl, R. F.; Smalley, R. E. *Nature* **1985**, *318* (6042), 162.
- [8] Brown, S. B.; Brown, E. A.; Walker, I. *Lancet Oncology* **2004**, *5* (8), 497.
- [9] 国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2018.