

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX201904011

www.dxhx.pku.edu.cn

点石成金——人造钻石的真相

王雪², 杨礼宏³, 龚钰扉¹, 郑学丽^{1,*}¹ 四川大学化学学院, 成都 610064² 昆明医科大学基础医学院, 昆明 650500³ 中南林业科技大学风景园林学院, 长沙 410004

摘要: “钻石恒久远, 一颗永留传”, 钻石不仅作为稀有宝石被人们喜爱, 而且在工业上的应用也日益广泛。随着科学技术的不断发展, 人造金刚石在近几十年间发展迅猛。本文以创意故事的形式, 讲述了石墨和钻石的结构与性质, 介绍了人工合成金刚石的基本方法和触媒作用, 解答读者关于人造钻石的疑惑。

关键词: 石墨; 钻石; 人造金刚石; 触媒作用

中图分类号: G64; O6

Work Miracles: The Truth of Artificial Diamonds

WANG Xue², YANG Lihong³, GONG Yufei¹, ZHENG Xueli^{1,*}¹ College of Chemistry, Sichuan University, Chengdu 610064, P. R. China.² College of Basic Medicine, Kunming Medical University, Kunming 650500, P. R. China.³ College of Landscape Architecture, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, P. R. China.

Abstract: “A diamond is forever”, diamond is not only seen as a kind of precious stones, but also used in industry. With technology and science continuing to develop, synthetic diamond is developing rapidly. To answer readers' confusion of synthetic diamond, there is a wonderful story, which tells readers about structure and properties of graphite and diamond, the basic method and catalysis of synthetic diamond.

Key Words: Graphite; Diamond; Artificial diamond; Catalyst action

1 序幕: 神秘大陆有奇人

曾经有一片神秘的大陆, 大陆上的人们一边享受着科学带来的便利, 一边却对科学的发展进程漠不关心。受其影响, 科学各分支学科的研究进展都较为缓慢, 在化学方面, 情况尤为糟糕, 几乎处于停滞状态。

但与此同时, 也有着迷于化学的人, 他终日沉浸在那奇妙世界中, 领略其风采。他就是谭诞——一个穷得叮当响的化学家。不过, 除他之外, 也有其他人在“刻苦钻研”化学知识, 只因其独特的赚钱之道。他就是李皮彭, 人送外号“点石成金手”。

2 开端: 传闻散布引风波

这天, 李皮彭又动起了坏心思。“这次我一定要搞一个大新闻, 然后当上 CEO, 迎娶白富美, 走

收稿: 2019-04-11; 录用: 2019-05-20; 网络发表: 2019-06-05

*通讯作者, Email: zhengxueli@scu.edu.cn

基金资助: 四川大学新世纪高等教育教学改革工程第八期(SCU8163); 四川大学“小规模在线开放课程(SPOC)”有机化学课程项目

上人生巅峰!”他一边走,一边自言自语道。“确认过眼神,就拿你去骗人……”他哼着歌,瞟了一眼手中那并不起眼的石墨,嘴角勾起了一抹不易察觉的笑。

一周后的元素城中,一则传闻掀起了舆论大波。

谭诞买完泡面,走在返回实验室的路上,听到旁人正热火朝天地讨论着什么,好奇心驱使他前去探个究竟。

“哎,你听说了吗?有个科学家刚研究出了一种特殊的活化剂,只要把它和石墨一起放到高压锅里,就能合成出钻石。只要 998,钻石带回家!网上都传疯啦!”路人甲说。

“什么?这靠不靠谱啊?”谭诞问。

路人乙:“我也不太清楚,但我记得石墨和钻石都是由碳元素组成的,只是原子的排列方式不同,石墨是六边形排列,而钻石则是四面体结构^[1]……”

话音未落,路人丙嚷嚷道:“要照你这样说啊,若想石墨变钻石,岂不是只要让那些原子小球重新排队就行?那自己在家做,应该也不难,我感觉好像还挺靠谱的,要不到时候我们也去看看?”

……

看着远去的一行人,谭诞掏出手机上网查了查,自言自语道:“4月1日……无机大厦6楼……产品发布会?有点儿意思。”

3 发展:石墨钻石初领略

发布会如期而至,李皮彭穿上藏好吊牌的昂贵西装,戴上鎏金镀银的蓝宝石平光眼镜,今天,他是李教授。

开场前,现场已经聚满了前来参加发布会的人——有相关的专家和研究人員,有各知名电视台的记者,还有很多冲着低价钻石来的人。发布会开始,两位主持人上台。

主持人齐:“尊敬的各位专家和来宾,电视机前的各位观众朋友们,大家下午好。”

主持人女:“众所周知,石墨和钻石同为碳的同素异形体,他们就像是碳氏族里的两系家族,虽然是相互独立的不同物质,有着不同的家风和个性,但骨子里又都流淌着相同的元素。”

“和钻石相比,石墨的家风似乎更加温润内敛一些。他们不但吃苦耐劳,能耐受 3850 °C 左右的高温,能耐受腐蚀,而且越挫越勇,温度越高强度越强。他们坚韧不拔,性质稳定,抗热震性好,即使温度剧烈变化也无法被摧毁。他们温良敦厚,导电导热性好,可塑性很强,能作为耐磨润滑材料。那么,究竟是什么让石墨具有如此优良的性质?”

“这得益于每一个碳原子之间的相处模式,即石墨的原子结构。在石墨家庭里,每个成员都拉着另外三个成员,他们彼此之间有 142 pm 的距离,以共价键联系对方,最后连接成一个蜂巢状的平面大家庭^[2] (图 1)。每个家庭之间的距离有 340 pm,他们以范德华力互相扶持,心系彼此,最终构成了石墨大家族。”

主持人男:“哎,你对石墨还挺了解的。那接下来,就由我来说说这钻石。”

“钻石是碳氏族里的另一大家族,比起石墨家族,他们就要特立独行得多。在钻石家族里,他们个个都是硬汉,是自然界中最坚硬的物质。他们有军队般坚强的意志,性质稳定,耐酸耐碱,熔点极高,哪怕是 3500 °C 的高温都对其束手无策。他们身体健壮硬度大,摩氏硬度标准将他们定为最高的第 10 级,可以用作钻头、磨料或玻璃刀等。同时,他们被万众瞩目,在聚光灯的照耀下,反射率极高,临界角较小,能产生很高的亮度并展露良好的闪烁光。并且他们的全反射的范围宽,光量大,容易使光发生全反射和色散,发出金刚光泽,让自己更加耀眼。”

“钻石家族的闪耀之处不仅体现在光学性质,而且还表现在他们苛刻的成长环境。在钻石家族中,每一个碳原子成员都经历了高温高压的洗礼,恶劣的环境让彼此都更加地团结,他们伸出所有

的手，用非极性共价键牢牢抓住距自己 154 pm 之外的其他四个同伴，最终构成了高度对称的四面体结构^[1](图 2)。正如苦难总是让人成长，但只有少数人能成功，那些历经风雨而不改初心的钻石，备受人类的青睐，被赋予了特殊的意义。”

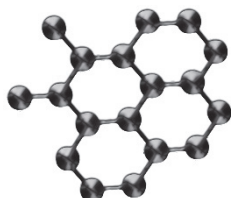


图 1 石墨层状原子结构图

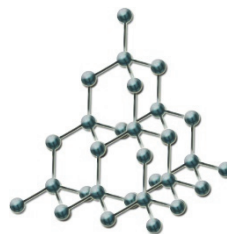


图 2 金刚石原子结构图

主持人女：“物以稀为贵，对于大多数人来说，天然的钻石是可望不可及的。今天，我们就给大家带来了一件神奇的产品——点石成金催化剂，让你轻松拥有私人定制钻石。下面有请李教授为我们介绍一下今天的产品。”

李皮彭：“大家好，感谢大家光临此次发布会。说起钻石，可能大家想到的都是戒指、项链、耳环等装饰品，但随着科学技术的进步，金刚石也渐渐走进工业发展的舞台中心。众所周知，天然钻石数量稀少，远远无法满足各个方面的需求，再加上一些珠宝商的炒作，钻石离普通大众的生活就更远了。如今，我们实验室倾尽全力研究出了一种特殊催化剂，它能在高压锅中轻易地将石墨转化成钻石。只要两小时就能合成出肉眼可见的钻石晶体，仅需一周就能长成一克拉以上的钻石。”

听完李皮彭的发言，谭诞大吃一惊：“天哪，要知道此前人工合成金刚石的技术，在同样添加催化剂的情况下，所需温度仍在 1400 K 以上，所需压力仍在 5.4 GPa 以上^[3]，所需时间仍在数天以上。金刚石在工业上的应用相当广泛，据他所知，金刚石的坚硬耐磨性让它在航空航天和汽车工业的新型硬合金等材料的精细加工中大显身手，而微米级的金刚石则摇身一变成了一把精密的划刀，用于切割半导体和玻璃材料等。通过化学气相沉淀(Chemical Vapor Deposition, CVD)法得到的高纯度的金刚石则神通广大，抗高辐射的传感器是它，常温下的存储量子位是它，轻质耐用音频高的声学元件也是它，小巧快速大功率的光电子器件还是它，极宽透射光谱的光学棱镜和光学窗材料都是它^[4]。现在竟两个小时就能合成出钻石，而且还只用高压锅！若是这催化剂当真如李教授所言，那着实是合成金刚石技术的一大飞跃。不过，这真的可能吗？”谭诞若有所思。

主持人男：“谢谢李教授的精彩发言，接下来进入记者提问环节。”

记者甲：“李教授好，我是 ECTV (Element City Television, 元素城电视台)的记者，请问您这个催化剂的作用原理是什么？能简单地介绍一下吗？”

李皮彭：“这个问题问得很好。”他内心补充道：“我稿子背得也很好。”

“正如前面主持人所说，石墨和钻石都属于碳单质，是由相同元素构成的矿物晶体，但是碳原子的排列方式和晶体构型不同。钻石的前身——金刚石的生活环境是岩浆翻涌的地幔，也就是说要达到形成钻石的高温高压条件是相当困难的。”

“但在实验过程中，研究者们偶然发现了铁能提升合成金刚石的成功率，后来研究发现，确实存在一些物质能使金刚石的合成难度降低。这些物质被称为触媒，也就是催化剂，它能够改变化学反应进行的速率，降低反应所需的条件，使反应能更容易进行。”

“触媒就像是一个隧道，反应就像是要穿越一片山区，原本需要先爬到山顶再下山才能通过，但加入了催化剂之后，便打通了这一捷径，从而使反应更容易进行。”

“人工合成金刚石常见的触媒是金属触媒，除此之外还有非金属化合物触媒和超临界流体触媒。

接下来请看大屏幕(图 3), 我们可以看到: 金属触媒可分为单质金属触媒和合金触媒, 单质金属触媒主要有纯铁、纯铜和镁, 合金触媒有镍基触媒(如镍锰、镍锰铜、镍锰钴等)和铁基触媒(如铁镍、铁钴、铁锰、铁镍钴、铁镍锰钴等)^[5]。”

“总之啊, 我们的催化剂就是一种刚研制出的新型高端触媒, 催化效率极高而且完全没有任何毒副作用, 大家可以放心购买。”

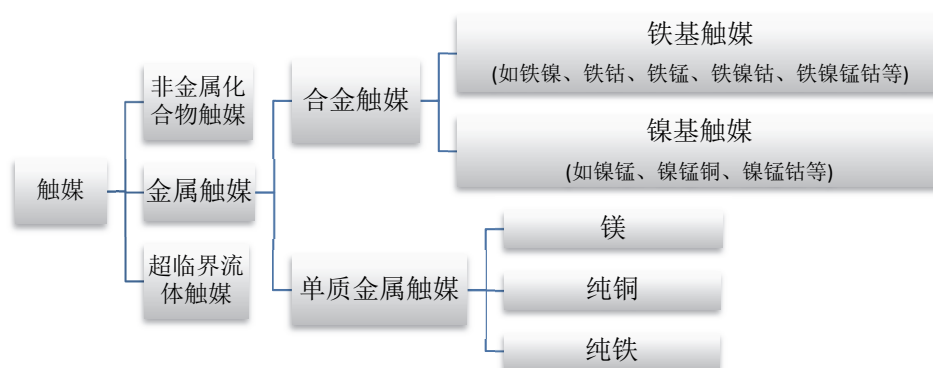


图 3 触媒种类示意图

4 高潮：谭诞机智解玄机

主持人女：“接下来请把麦克风交给那位男记者吧。”

谭诞灵机一动，抛出了问题：“李教授好，我是‘谭诞说新媒体’的记者，最近我也在关注人造金刚石的相关研究，天然的钻石是在地壳深处形成的，火山喷发时的高温高压帮助纯碳物质进行涅槃，以璀璨钻石的身份重现世间。而高压锅和火山提供的条件完全不在一个数量级，您的催化剂真有那么神奇吗？”

这个问题提得真刁钻，李皮彭脸色微变，强行定了定神后说道：“这……这个问题问得好，科学的力量是无穷的，我的催化剂就是那么神奇，不信你就买来试试。”

谭诞：“的确，科学的力量是无穷的。一个叫皮尔曼的研究者曾通过计算得出了用石墨合成金刚石的条件，即温度：1200–1500K，压力：4–5 万个大气压^[6]（约 $(4-5) \times 10^8$ Pa）。1953 年，因为高温高压技术和设备的发展，人类跨越了技术性的难关，第一颗人造金刚石问世了。目前高温高压法生产人造金刚石有两种装置：一种是六面顶压机；另一种是两段式分球式压机^[7]。一般做法是：用特定设备提供高温高压的环境，选择适宜的金属液体作为催化剂，以石墨为碳源，并用一颗很小的天然钻石作为种子，在这种条件下石墨中的碳原子就会在天然钻石的周围重新排列，形成新的钻石^[8]。在上世纪中叶，相关研究者又提出了行之有效的钻石制造办法——化学气相沉淀法。简单来说就是碳等离子体沉积、积聚和硬化形成钻石晶体，然后再进一步切割打磨^[9]。后来还提出了可以合成纳米金刚石的爆轰法^[10]。所以李教授，希望您从科学的角度再给我们解释一下，仅用高压锅是如何攻克高温高压技术壁垒的？”

李皮彭此时虚汗直冒，但他还是强装镇定地说：“首先钻石肯定是在高温高压的条件下生成的，所以高压锅必不可少。而且发挥主要作用的是催化剂，它可以简化反应条件，你如果不相信，可以观看现场演示实验。”说完，台下掌声雷动。在阵阵掌声中，李皮彭又得意起来，甚至回想起了他的“峥嵘岁月”。还记得在初中时，他曾经通过点燃葡萄糖酸钙来举办了一场“怪兽秀”，赚走了全村其他小朋友一周的零花钱(图 4)；高中时，他以极高的价格卖给了急需舞台特效的剧组一桶普通的冰块(图 5)；后来他又扑灭了墓地中白磷自燃的火焰，并收取了高额的仪式费(图 6)……他将思绪拉回现实，随后又检查了一遍提前准备好的石墨，确认藏在石墨里的假钻石没有露出马脚。



图4 怪兽秀



图5 真假干冰

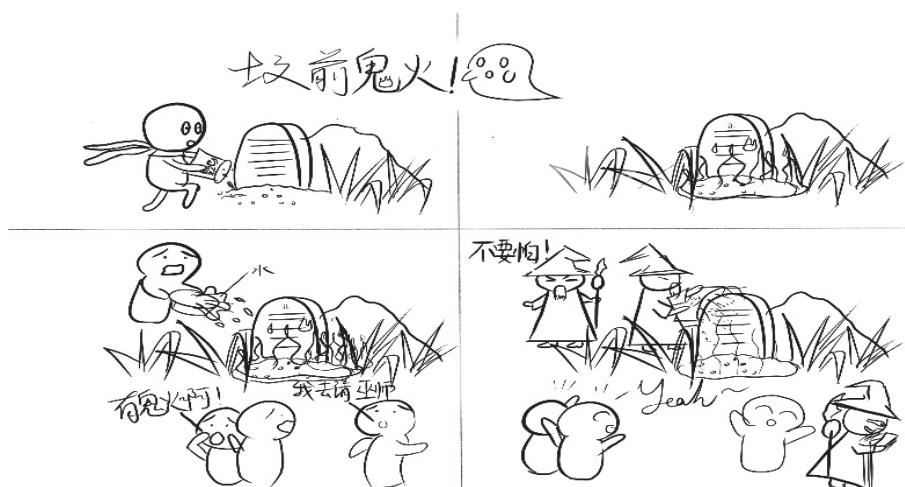


图6 白磷自燃

主持人女：“接下来，开始现场演示实验，请工作人员将材料和工具拿到台上来。”

李皮彭走上演示台，有模有样地带上手套，将小块状的石墨放进锅里，然后将催化剂倒进一旁盛有油的碗里搅了搅，最后将油倒入锅中、盖紧锅盖、打开电源……整套动作一气呵成。

看着台下神色各异的人，他开口道：“油既可以使催化剂与石墨混合充分，还能使石墨受热均匀，现在只需静待两个小时就能看到初步的成果了。产品经过无数次的试验和测试，技术和质量都有所保证，同时操作简单，成本还低……大家心动不如行动，在发布会现场交付定金的人还能参加买二送一的优惠活动呢。”

台下已经有人开始排队交付定金了，在场的专家们也众说纷纭，但大家都在等待两个小时后真相的面纱被揭开。

在一片喧闹声中，谭诞独自走到演示台前，看着洒落在桌面上的催化剂粉末，他用手沾了一些检查起来，随后发现这一黑色的金属粉末，似乎是铁粉？铁粉的确可以作为触媒，但其所需要的条件也绝不是高压锅和油能够达到的，那问题就一定出在石墨上了！想到这，谭诞已然明白了一切。

5 结局：正义不败骗局破

突然，一个声音透过音响将嘈杂平息，只听谭诞说道：“李教授！经过我刚才初步地辨认，您的催化剂的主要成分似乎是铁粉？您能详细和我们讲讲这催化剂的成分吗？”

李皮彭被这突如其来的变故打了个措手不及，气急败坏地说道：“怎么又是你，你今天是故意来

搅局的吗？”

谭诞淡定回应：“我并不是来搅局的，我只是一个科学的探索者和化学的痴迷者，不为别的，只为探寻真相，所以我希望您能让我检查一下您刚才放进锅里的石墨。”

众人也纷纷附和道：“是啊，你打开给我们看看，反正真金不怕火炼。”

李皮彭还没来得及阻止，锅就被围观的人打开了，藏好的钻石也被找了出来。但他还在狡辩道：“这……这就是我造出来的钻石，你们……”不知是谁打断了他：“这才 20 分钟不到，你这催化剂是吸收了天地灵气，集聚了日月精华吗？”李皮彭知道大势已去，一下子瘫坐在了地上，随后便被警方带走了。

6 尾声：求真务实永存心

之后，谭诞成了媒体的焦点，他在镜头前说道：“科学研究绝不是一蹴而就的，我们站在无数踏实勤恳的科学前辈的肩膀上，凭借着对科学探索的孜孜不倦和执着追求，才前行至今。化学研究始终向着人类未知的世界前进，其研究道路之崎岖，无疑需要我们为之风雨兼程。科学研究常遭遇瓶颈，我们也总会有迷茫的时候，可我们不能自欺欺人。那些缺乏毅力、畏惧失败、弄虚作假的研究者，终将会被定在历史的耻辱柱上。从此以后，我将投身于化学知识的宣传普及的工作当中，让更多的人了解化学、热爱化学，进而让化学素养根植于每一个人的心中，让每一个人的生活因化学而变得更加美好！”

这次事件闹得满城风雨，李皮彭在大陆上也臭名远扬。人们如梦初醒，方知化学乃至科学研究的重要性。从此，大陆进入了前所未有的“全民化学”新时代！

参 考 文 献

- [1] 白俊逸. 中学化学, **2018**, No. 1, 22.
- [2] 宋世杰, 葛钧, 李新风, 马俊鹏, 张云龙. 地球, **2013**, No. 5, 105.
- [3] 罗宁, 胡强, 李尚升, 李小雷, 宿太超, 贾晓鹏. 中国科技博览, **2010**, No. 20, 257.
- [4] 谈耀麟. 超硬材料工程, **2014**, 26 (3), 30.
- [5] 于昆鹏, 李尚升, 明黄亮, 王健康, 韩飞, 高广进, 郭明明, 王君卓, 宿太超, 胡美华, 胡强, 吴玉敏. 人工晶体学报, **2018**, 47 (8), 1714.
- [6] 袁振东, 杜卫民. 化学教学, **2017**, No. 12, 88.
- [7] 王东胜, 王志勇, 董耀华. 科技风, **2010**, No. 7, 229.
- [8] 邦迪 F. P., 吕反修, 译. 北京大学学报: 自然科学版, **2002**, 38 (B12), 56.
- [9] 沈才卿. 超硬材料工程, **2012**, 24 (6), 52.
- [10] 张书达. 超硬材料工程, **2015**, 27 (3), 21.