

浴火重生——火灾烟气的“化学秘密”

卢宇涛¹, 吴静^{2,*}

¹ 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083

² 中国地质大学(北京)数理学院, 北京 100083

摘要: 火灾是人类社会生活中发生频率最高的一类灾害, 火灾的发生常常会带来财产损失和人员的伤亡, 严重威胁着公众安全和社会发展。当人们提起火灾时, 通常会想到火焰和烟雾, 但很少有人会意识到在火灾中燃烧生成的有毒气体才是导致火灾伤亡的主要原因之一, 正因为如此, 了解火灾烟气中存在的“化学秘密”变得至关重要。本文运用拟人夸张手法, 讲述一段星球探险故事, 旨在向大家科普火灾中常见的有毒气体以及如何保护自己免受这些气体的伤害。

关键词: 火灾; 烟气; 有毒气体

中图分类号: G64; O6

Rebirth from the Flames: Unveiling the “Chemical Secrets” of Fire Smoke

Yutao Lu¹, Jing Wu^{2,*}

¹ School of Engineering and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China.

² School of Science, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China.

Abstract: Fire, the most frequent disaster in human society, often results in property damage and casualties, posing a significant threat to public safety and societal development. While flames and smoke are commonly associated with fires, few realize that toxic gases generated during combustion are among the primary causes of fire-related injuries and fatalities. Understanding the “chemical secrets” within fire smoke becomes crucial. This paper employs an anthropomorphic and exaggerated narrative approach, depicting a tale of planetary exploration, to educate readers on the toxic gases commonly encountered in fires and how to safeguard against their harmful effects.

Key Words: Fire; Smoke; Toxic gases

2100年, 人类的航空事业不断进步, 已经可以前往太阳系之外进行星际探索。有一个特工组织专门为了探索星球而成立, 他们的成员以编号命名。在一次的星际探索中, 他们在 β 星系发现了一颗名为赤火星的星球。相传这颗星球本是一颗生机盎然的星球, 星球上的各类生物也如同在地球上一样和平相处, 但不知怎的, 突发灾难, 该星球上的各类生物消失得一干二净, 只剩下了三个由“气体人”组成的部落生活在赤火星上。面对一颗从未探索过的星球, 人类这边决定派地球头号特工001前去探索了解这一颗星球。组织给001配备好各种高精尖设备, 命令他独自一人前往赤火星。在临行前, 地球顶尖科学家——张博士给了他三个锦囊妙计, 并让他不到万不得已之际不要打开。于是001

收稿: 2024-01-02; 录用: 2024-02-21; 网络发表: 2024-07-29

*通讯作者, Email: wujing@cugb.edu.cn

基金资助: 中国地质大学(北京)2023年学科发展研究基金项目(2023XK204)

踏上了赤火星的探索之路。

飞行器很快降落在赤火星上，001发现了一位落单的“气体人”，他一路跟随偷听，了解到想要揭开这个星球的秘密，就得获得三大部落的三块钥匙碎片，把它们组合在一起，形成一把新的钥匙，然后前往赤火星中心的祭坛，在那里才能揭开这个星球的秘密。于是，001开始了收集三个部落的钥匙碎片之旅。

1 电极反应露峥嵘，氧化还原显神通

哼着悠闲的小曲，001很快就来到了第一部落的领地，他躲在草丛中远远观望，见到了许多长着两个脑袋三条腿的生物(如图1)站在门口准备通过传送门进入部落。通过窃听器的声波截收，001在草丛里听见他们讨论，原来只有通过身份检测才能被传送进入部落。001通过人类近些年刚发明的生物图鉴(利用元素分析的方法来获取生物体内的元素组成，以此来判断该生物的身份)得知了这些“怪物”原来是一氧化碳(CO)，它是燃烧过程中碳元素不完全氧化而产生的，是火灾中最常见的有毒气体之一。001远远望去，发现他们的身体主要由三根骨头构成：中间一根最粗(σ 键)，它的两端重叠程度很高，足以支撑起CO的主要躯干；另外还有一根较细的骨头(π 键)和一根空心的骨头(反馈 π 键)。看着CO一个个通过传送门进入了一个水池(电解液)，水池的角上竖着三根柱子(三个电极：工作电极、对电极和参比电极)，只见CO游到一号柱子(工作电极)旁边发生了化学变化(化学反应式1)，变成了它的哥哥二氧化碳(CO₂)，同时生成的H⁺和e⁻会扩散到二号柱子(对电极)，与O₂发生反应生成H₂O分子(化学反应式2)，这时柱子上方的“电线”便被导通了，水池上方的显示屏会亮起绿光表示身份检验通过(图2)^[1]。最后，只见CO₂通过火热的木炭通道又重新变回了CO(化学反应式3)，传送到了部落中。了解了CO身份检验装置的原理后，001运用元素组合器(可以更改隐藏自身元素组合并重新排列)使自己变成了CO。001从草丛中站了起来，掸去身上残留的草屑，向着传送门走去，检验装置通过电化学传感器检验，并未发现001身上的异常，于是001畅通无阻，通过传送门进入到了部落当中。

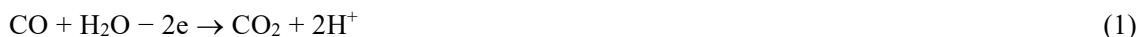


图1 一氧化碳结构式

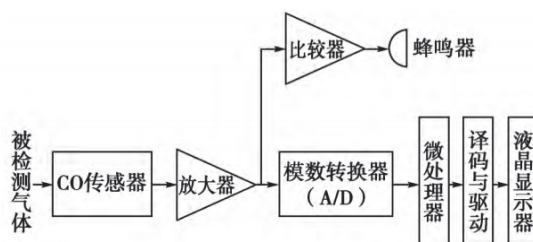
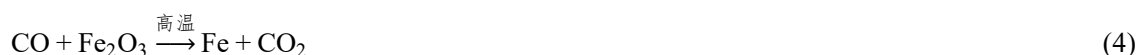


图2 CO-1A型一氧化碳检测报警仪工作原理^[1]

进入到部落当中，001环顾四周，发现钥匙就存放在北边的储物室当中，储物室门口站满了值班的CO哨兵。他们拥有隐身的技能，在正常的状态下，他们是无色无味的，但他们有着很强的战斗力，他们与人体内的血红蛋白结合的能力要强于氧气与血红蛋白结合的能力，导致血液无法有效地携带氧气，从而引发人体CO中毒。这些哨兵的存在阻碍了001的继续前进，就在他愁眉不展、不知如何是好之际，他突然想起在出发之前张博士给了他三个锦囊妙计，让他在无可奈何之时可以打开锦囊来解决困境。001从背包里拿出了第一个锦囊打开，发现上面只写了“Fe₂O₃”一个化学式。就在001

一头雾水，不知道张博士为什么给他留下一张氧化铁(Fe_2O_3)的纸条时，突然001灵光一闪，“对啊，自己怎么把初中学过的化学知识给忘记了：CO有个哥哥 CO_2 ，他们都属于无机碳氧化物，两兄弟虽然看着像，但两个人的性格却全然不同，弟弟CO活泼好动，十分讨厌人类，还会对人体造成危害；而哥哥 CO_2 温文尔雅，是植物光合作用不可或缺的一员。我们只需要把CO通过氧化还原反应转化为他哥哥 CO_2 就可以了。CO和 Fe_2O_3 在加热条件下会发生反应生成无毒的 CO_2 和Fe (方程式4)。”于是001从背包里面拿出 Fe_2O_3 和火枪，向院子里面喷火同时发射 Fe_2O_3 ，点燃了那些在门口看守的CO哨兵，很快看守的CO全部被氧化成 CO_2 ，001大摇大摆地进入了房间，从储物室的箱子中拿到了第一块钥匙碎片。



2 氢氰化物散毒性，氧化水解得新生

在取得第一块钥匙碎片后，001觉得凭借自己强硬的特工经验，一定可以轻松取得三块钥匙碎片，揭开这个星球的奥秘，于是他信心满满地向着第二部落进发。在路途中，炙热的气浪扑面而来，看着满地狼藉，他不禁潸然泪下，他迫切地想知道这颗星球到底发生了什么，究竟是怎样的力量将这片大地烧成了灰烬，让万种生灵消失，只剩下无限的黑暗与哀嚎。001一边思索，一边前行。忽然，他远远闻到了一股苦杏仁的味道，他顿感不对劲，一个连杏仁都已经不复存在的星球，哪里来的苦杏仁味？于是他凭借多年特工经验和对于危险事物的本能反应，立马戴上了防毒面具。原来，001在不知不觉中已经走到了第二部落的门口，就在刚才夺取第一部落的钥匙碎片时，听门口的CO描述，第二部落的氰化氢(HCN)和第三部落的芳香族有机化合物与他们可是仇敌，他们三个部落都想一家独大，消灭吞并掉剩下两个部落，集齐三块钥匙碎片，揭开这个世界的本源秘密，成为这个星球唯一的部落，统治赤火星。

001找了一处隐蔽的地方略作躲藏，开始回忆自己曾在大学化学课程中学习到的氰化物知识。他回忆起氰化物气体主要以HCN为主，是在火灾中一些含氮物质(如氮含量较高的塑料、橡胶、羊毛、丝绸等)燃烧时，其中的氮原子与氢原子、碳原子结合产生的，或者某些本身含有氰基的化学物质燃烧时也会生成HCN。他们浑身上下散发着一股苦杏仁的味道，具有极强的毒性。如果附近有少量的HCN，可能会对呼吸系统和神经系统产生严重影响，如果旁边一次聚集大量的HCN，可能会导致人体迅速中毒死亡，达到致命的效果^[2]。想到这里，他不禁汗流浹背，要不是他刚才戴上防毒面具，现在可能已经中毒昏迷甚至死亡了。001心中庆幸着逃过了一劫，脸上再无先前那般傲慢的神色了，他表情不禁凝重起来，思考着该如何闯过这样一片“有毒”的守卫，去夺取第二块钥匙碎片。

看着门口乌泱泱的HCN大军，001又陷入了迷茫之中，自己虽然知道了他们的特点，可是又要如何消灭他们，夺取第二块钥匙碎片呢？万般无奈之下，001只好打开了张博士给他的第二个锦囊，上面写了两个化学式—— NH_3 、 H_2O_2 ，001又陷入了沉思当中，不知这两个化学式又有何作用呢。突然，001猛地一惊，发现自己已经明白了：原来， H_2O_2 是个“粗暴”的人，他把自己身上的O原子硬塞给HCN，使HCN氧化为HCNO (化学方程式5)。而HCN也不喜欢这个别人硬塞给自己的O原子，他与身上的氧原子不合，想要把这个氧原子给别人，这时来劝架的 NH_3 和 H_2O 立马安抚HCNO，他们紧紧抱在一起，生成了 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (化学方程式6)。剩下一部分脾气火爆的HCNO则是返回去找 H_2O_2 ，希望他可以帮忙解决身上的累赘，于是两个人互相交换身上的“躯干”，重新组合生成了 N_2 、 CO_2 、 H_2O 、 O_2 (化学方程式7)^[3]。这样，原本剧毒的HCN气体通过氧化水解反应就变成了无毒的 CO_2 和 N_2 了，这二者都是地球空气中所含有的气体成分，绿色环保地解决了HCN气体毒性的问题。



想到这里, 001便放心了, 他从背包中找到了双氧水(H_2O_2)和氨气(NH_3), 把他们制成了 $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ 武器, 于是拿着新型武器向着第二部落进发了。001一边使用新型武器消灭着敌人, 一边向部落内部挺进, 很快便消灭了全部守卫, 来到了第二部落存放钥匙碎片的地方。只见一块钥匙碎片被放在一个玻璃罩当中, 001小心翼翼地打开玻璃罩, 生怕其中有什么陷阱, 最后成功地拿到了第二块钥匙碎片。

3 芳香族类难反应, 生物降解保环境

在离开第二部落后, 001便又踏上了夺取第三块钥匙碎片的征途, 决定去会一会那以芳香族碳氢化合物为首的第三部落。走在路上, 001开始思考接下来的对策, 他开始回忆曾经学习过的芳香族化合物的知识: 芳香族化合物是历史上一类从植物胶中提取出的具有芳香气味的物质, 正是凭借这股芳香气味, 她们才得名为芳香族化合物。她们一般都是含有苯环的一类物质, 苯环是由六个碳原子手牵手构成的, 她们每个人的身后也拉着一个氢原子(凯库勒式如图3所示)。芳香族化合物就是由一个苯环或者多个苯环手牵手组成的一类化合物, 其中苯环中碳原子之间手拉手比较牢固, 而氢原子则是拉着碳原子的衣服, 比较容易掉落。在火灾中, 芳香族化合物主要由有机物质(如木材、纸张、塑料等)不完全燃烧产生, 而火灾中的高温环境也会促使有机物发生裂解、重排而形成芳香族化合物。

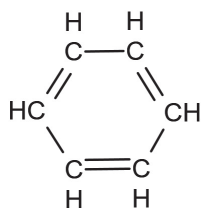


图3 苯环的凯库勒结构式

001一边想着一边继续往前走, 不知不觉中, 001就已经来到了第三部落的门口, 望着远处一个个张牙舞爪的芳香族碳氢化合物, 001心中不禁开始打起了退堂鼓。他心中暗想: 虽然我对他们的特点稍微有点了解, 但是我也找不到消灭他们的方法啊。想着想着, 001愈加地想要放弃, 正当他准备返回宇宙飞船去寻求帮手的时候, 忽然想到自己的包里还剩下张博士给的最后一个锦囊。于是, 001就从包中翻出了第三个锦囊, 打开一看, 这次的内容写了满满一页。只见上面写着:

“芳香族化合物在我国工业生产当中起着重大作用, 但因其复杂的苯环结构特性, 使其成为令我们头疼的环境污染物。含有苯环结构的化合物具有强毒性, 并且有致癌风险, 在工业生产使用的过程中不可避免地会泄漏到环境中去, 对于生态系统以及人类生存健康造成巨大的威胁。我们需要采取一种有效、简洁的应对措施来治理芳香族化合物污染环境的问题。通过几代人的努力, 我们发现利用微生物降解法有着安全有效、成本相对便宜等优点, 成为降解芳香族化合物的首选。微生物降解在污染物的迁移转化乃至最终消减的过程中占有重要地位, 是环境中芳香化合物去除的最主要途径^[4]。

迄今为止, 已研究报道的芳香族化合物降解菌包括白腐真菌(*Phanerochaete Chrysosporium*)、假单胞菌属(*Pseudomonas*)、棒状杆菌属(*Corynebacterium*)、芽孢杆菌属(*Bacillus*)、诺卡氏菌属(*Nocardia*)、微球菌属、红球菌属(*Rhodococcus*)、产甲烷菌属(*Methanogenium*)、蓝细菌(*Cyanobacteria*)以及酵母菌(*yeast*)和霉菌(*moulds*)等^[5], 它们目前主要应用于降解造纸废水、印染废水、生活污水、残留石油、农药中的芳香族污染物。

芳香族化合物的生物降解大致分为5个步骤: 化合物进入微生物细胞→产生苯环裂解的前体→苯环裂解→转化为两性中间产物→两性中间产物被微生物利用(图4)。不同于别的分解反应都是从苯环上的H原子这一薄弱部分下手, 生物降解法是从内部分裂苯环, 让原先手牵手的C原子反目成仇、产

生隔阂，这样降解芳香族化合物变得容易了。面对不同种类的芳香族化合物，我们可以在不同环境下破坏他们的“友谊”，也可以派出不同的微生物去策反他们的“友谊”，使原本坚不可摧的苯环变得容易降解^[5,6]。这种多层次、多角度的生物降解方法帮助我们应对处理不同种类的芳香族化合物，我们可以通过了解芳香族化合物的特性，来寻找到合适的微生物来对其进行降解，解决芳香族化合物污染环境的问题。

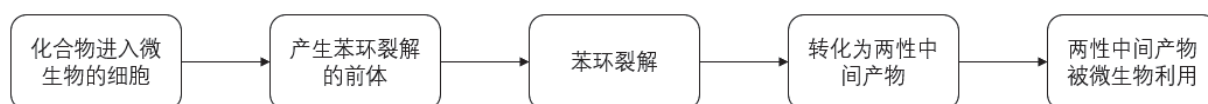


图4 芳香族化合物生物降解的五个步骤

看完这一锦囊妙计，001不禁感慨于张博士的神机妙算，想到有此锦囊相助，又有什么困难是无法摆平的呢。于是001又重拾闯关信心向第三部落闯去。他从背包中拿出了不同种类的降解菌，将其投放在第三部落内，任由他们自由地生长。而001则是悠哉游哉地躺在部落外的一颗大树之上，静静地观察着这里的一切。他还在思考为什么这个星球只存在三种气体部落，思考着思考着，001感到一阵困意袭来，便昏昏沉沉地睡了过去。原来，是这段时间的高压工作让他身体感到疲惫，芳香族化合物分解产生的氧气让001重新感受到了地球的生态系统，这样一下，便身感困意，睡了过去。一觉醒来，第三部落的守卫们也被分解完了，001顺利地进入了第三部落，拿到了第三块钥匙碎片。

4 钥匙碎片终齐聚，生态环境靠延续

最终，001拿着三块钥匙碎片来到了赤火星的中心祭坛处，只见三块钥匙碎片不受控地飞了出去，在空中逐渐合成一把新的钥匙，一道金光闪过，祭坛中央出现了一本书，记载了这颗星球曾经发生的故事。原来，赤火星本来是一颗生机盎然、各类生物和谐共生的星球，直到有一天，森林发生了一场火灾，人们以为只要远离火焰，不要被火烧到就可以，却不曾想，火灾中最危险的是它燃烧生成的有毒气体。就这样任由大火肆意地燃烧，浓烟弥漫着整颗星球，将天空染成了漆黑，散发出一股令人窒息的恶臭。火焰燃烧着无边的燃料，发出可怕的噼啪声，就像是恶魔在嘲笑人类的无助。大火整整烧了三年，烧到星球上已不再有东西可以燃烧才停下，赤火星上充满了有毒气体，这些有毒气体主要也就是后来所诞生的三大部落，他们随着时间不断地推移，慢慢诞生了灵智，并且在这颗星球上生存。书的最后描述了想要恢复星球原本的面貌，需要慢慢地吸收、排出星球内的有毒气体，并且大规模种植植物，把一些生物从别的星球迁移过来，以补全完善赤火星的生态系统。只有拥有健康的生物链，使其慢慢恢复发展，赤火星才能重焕荣光。

完成任务之后，001返回到宇宙飞船当中，他向大伙讲述了这一路的故事，并下定决心要好好学习化学课程，就这样，特工组织当中少了一位特工001，而多出来了一位热爱化学的博士……

5 火灾烟气伤身体，应急措施需牢记

赤火星的旅行告一段落，但是我们防范火灾烟气的意识绝不可懈怠。越来越多的人因为火灾烟气知识的匮乏导致在火灾逃生中吸入过多的有害气体，对身体造成不可逆的创伤甚至死亡。在加强预防火灾发生的同时，我们也要加强对火灾烟气危害的宣传。本文主要介绍了火灾中的有毒气体的危害，在危险真正地来临之时，还要注意火势的大小。在火灾疏散过程中，要避免使用电梯，选择靠近地面的安全逃生通道，并使用湿毛巾遮住口鼻以防止吸入有害气体。在成功逃离火灾现场后，切勿返回，即使是寻找贵重物品，我们应等待消防人员的指示和确认，确保安全后才可再返回现场。火灾无情，人亦有情，愿大家在阅读本文以后，可以更好地认识到火灾烟气中的化学知识，了解燃烧生成的有毒烟气，尽最大的可能保护自己和他人免受火灾燃烧烟气伤害。

参 考 文 献

- [1] 王水成. 林业劳动安全, **2016**, *29* (3), 33.
- [2] 赵杰. 疾病控制杂志, **2003**, No. 3, 338.
- [3] 李战, 习海玲, 刘志农. 安全与环境学报, **2019**, *19* (1), 314.
- [4] Meynet, P.; Head, I. M.; Werner, D.; Davenport, R. J. *Fems Microbiol. Ecol.* **2015**, *91* (6), 1.
- [5] 林颖, 蔡容华. 福建轻纺, **2006**, No. 2, 6.
- [6] 王鑫宇. 火灾烟气毒性研究进展//中国消防协会学术工作委员会, 中国人民警察大学防火工程学院. 中国消防协会学术工作委员会消防科技论文集. 北京: 中国石化出版社, 2022: 34–36.