

• 科普 •

doi: 10.3866/PKU.DXHX201803045

www.dxhx.pku.edu.cn

铜的舞台

凌一心[§], 朱亚先^{*}

厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005

摘要: 铜及其化合物在我们的生产生活中不可或缺。本文将元素周期表比作联合国, 采用话剧的形式, 借助生动的情节和拟人化的对话, 主要介绍铜及其化合物的性质和应用。

关键词: 铜; 性质; 应用

中图分类号: G64; O6

The Stage of Copper

LING Yixin [§], ZHU Yaxian ^{*}

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

Abstract: Copper and its compounds are indispensable in our life and production. This article compares the periodic table to the United Nations. We tell a story happening in the Periodic United Nations, with lively and dramatic dialogs and storyline, to introduce the properties and applications of copper and its compounds.

Key Words: Copper; Chemical properties; Application

1 序幕

明年就是元素联合国建国 150 周年纪念, 联合国秘书长氧先生最近忙得焦头烂额, 作为地球上人口最多的家族, 他不仅要管理天上地下氧家族的各个成员, 还要负责筹备 150 周年纪念日的演出。说起演出, 氧先生翻了翻手中的文件, “咦, 铜家族怎么还没有交节目单?” 他用手敲了敲圆圆的大脑袋, 决定去一探究竟。

2 第一幕

谈到铜家族, 那可就说来话长了。早在 4000 多年前, 铜就开始被人类使用, 铜家族的历史也是相当的辉煌。这天, 铜爷爷正在给孩子们讲铜家族“与众不同”的基因和家族史。

“咱们铜家族在元素共和国排行 29, 领地在第四周期、IB 族, 属于 *ds* 区元素。标准体重是 $63.546 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, 金属半径为 127.8 pm, 密度约为 $8.96 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ [1], 拥有独特的绿色火焰。咱们次外层有 18 个电子, 可不要小瞧了这 18 个电子啊, 这是咱们区别于 IA 族人的标记! 因为它们, 咱们有很好的延展性、导电性和导热性, 还具有不同的价态。咱们族人第一电离能较大, 所以性格稳重而好独居, 这个优点使得咱们领先于铁被人类冶炼和使用。从夏、商、西周开始, 青铜器就开始作为礼

收稿: 2018-03-20; 录用: 2018-03-28; 网络发表: 2018-04-24

[§]2017 级本科生

^{*}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)

乐祭祀用品接受朝拜，也作为兵器用于战争。那时候，咱们是财富和权利的象征。想当年，我披着金色的外衣，站在祭祀台上……”铜爷爷捋着胡须陷入了遐想。

“爷爷，对不对，您看您浑身都是青色的，我听人类都喊您为青铜，哪来金色的外衣啊？”铜宝在地上一蹦一跳。

铜爷爷叹了口气，“后来，国家灭亡，我也不幸被埋入了泥土，历经千年沧桑，变成了现在的肤色。虽然在电化学活性顺序中，我们具有较高的正电位(+0.35 V vs SHE)^[2]，不会发生析氢反应，但是长年生活在潮湿阴暗的地下，又与二氧化碳为伴，咳咳，皮肤上就会有绿棕色或蓝绿色的铜绿出现，加上铅和锡被氧化泛出青绿色，于是我们就被人们称为青铜。”

铜宝听了，跳入爷爷怀里，“爷爷别伤心”。

铜爷爷说，“你现在还小，等你长大了，长期暴露在空气中，吸收水分，皮肤上就会形成一层电解质液膜，接下来污染性气体和盐的颗粒吸附并且溶解在这层液膜中，使得那一层液膜厚度增大，导电性、酸性及腐蚀性增强，就会诱发电化学腐蚀^[2]，那不仅会使你迅速老去，如果做材料还极易诱发安全事故啊。”

铜宝仰起脸，望着爷爷的眼睛，“不怕，听说人类的科学家已经有办法阻止可怕的腐蚀了呢。”

“真的？”

“当然啦，不仅有传统的合成树脂涂层、缓蚀剂保护膜、自组装单分子膜以及合金涂层来保护咱们，还从咱们自身入手，通过铜合金表面形貌调控，使咱们的皮肤具有超疏水能力，水滴在皮肤表面的接触角达到了 158°，滚动角低于 10°^[3]，这样，液体介质不易渗入，咱们就自然有了自清洁和抗腐蚀的能力。”

两人正在说话间，突然传来了敲门声……

“咚，咚咚，铜爷爷在吗？演出的事儿准备得怎么样了？”是氧先生的声音。

3 第二幕

铜爷爷领着氧先生往铜家族的祠堂走去，那里已经成为彩排中心。

祠堂里正在彩排的节目是大合唱——团结就是力量，由铜家族的宝宝们出演。合唱团的队形按照铜集群而居的构型——面心立方最密堆积来排列。一个铜宝与他周围的 6 个伙伴紧密相连，他们手拉着手站在最底下的一层，第二层的铜宝们也紧紧相拥，他们的脚踩在第一层铜宝之间的空隙中，第三层也不甘落后，他们互相搀扶着，踩在第二层的空隙上，ABC、ABC 重复，层层叠叠，周而复始。每个面心立方晶胞有 8 个顶点、6 个面心，每个顶点的铜宝由 8 个晶胞所共用、每个面心的铜宝由 2 个晶胞所共用，每个铜宝周围有 12 个兄弟相拥。他们采用的是空间利用率高达 74% 的堆积方式排列，因为他们明白，他们因亲密而稳固，因稳固而更加亲密。无数的铜宝组成无数的晶胞，完成了这场气势宏伟的合唱。

合唱结束，他们开始表演杂技——变形记。这体现的正是铜家族良好的延展性。主演是“方正端庄”的铜先生——他现在的体形是他从炼铜厂出生时的形态。看，经过捶打，他可以成为轻薄的铜片，而经过拉伸，他又变成了长长的细丝。不仅如此，他还可以变身成为各种形状来适应不同的工作环境：轴承，纽扣，拉链，开关……铜遭受千锤百打却不轻易碎裂的秘诀在于，铜的最外层和次外层的电子都参与金属键的形成，铜就生活在自由电子的海洋之中，而自由电子像胶水一样把金属铜的原子和离子牢牢吸引在一起，使他们之间可相互滑动而不断裂。

氧先生看了，忍不住鼓掌叫好，铜爷爷嘴角也露出了笑容。

突然，铜爷爷眉头一皱，他看到了舞台角落的一个身影，氧先生也注意到了那个失落的女子。他们一同朝她走去。

4 第三幕

热爱舞蹈的铜姑娘渴望登上舞台。她今天穿着自己珍藏的紫红色长裙，却没有找到舞伴，忍不住伤心落泪，正巧被爷爷和氧先生发现。

氧先生摆摆手，笑着说“这有何难，我就愿意做你的舞伴。”只见氧先生手一挥，铜姑娘立刻换上了红色的礼服成为氧化亚铜(Cu_2O)，氧先生再挥一下手，铜姑娘又换上了黑色的礼服，成为了氧化铜(CuO)。

看到这里，铜爷爷握住了氧先生的手，“谢谢您啊！”

“有了氧的帮助，我们能为人类做的事儿可多了呢。”铜姑娘说道。

“是啊” CuO 先声夺人，“玻璃和搪瓷工业中需要我来着色；烟花爆竹中的响子和蓝色焰火也有我的功劳；我还在生产人造丝、电池、石油脱硫、杀虫剂，以及制氢等工业中有重要作用。我还可以作为催化剂，如乙醇在高温下氧化成乙醛就需要我的帮助；前些日子解决水中亚硝基二甲胺(NDMA)污染环境的问题也多亏了我呢，我催化零价铁还原水中亚硝基二甲胺，反应 18 h， NDMA 的去除率可达 99%以上^[4]。”

Cu_2O 也不甘示弱，“我也有很多用途，我不仅可以制造美丽的颜料，还可以用来制造船底防污漆，防污漆涂层有杀死大多数低级海洋生物的作用，所以可以防止它们附着在船底，这样可以减小航行阻力，防止设备损坏，可是轮船的保护神啊。医生还能通过葡萄糖还原反应中我出生时的颜色来诊断糖尿病呢。”

氧先生继续对铜姑娘说：“你的舞伴还有很多啊！你的氧化数有+1、+2、+3，极化力和变形性都强，易水解、易形成配离子，才艺丰富，可受欢迎了！浓盐酸做你的舞伴就很合适，在加热时生成稳定的配离子 $\text{H}_2[\text{CuCl}_4]$ ，为你们换上黄色的套装；硝酸和浓硫酸也非常乐意做你的舞伴，你与它们翩翩起舞时还会制造出美丽的气泡呢。”

正巧这时，硫酸大哥来了，他牵起铜姑娘的手登上舞台，渐渐地，铜姑娘换上了浅蓝色的衣裙。氨家族也来啦，4个氨水婆婆拉住换了装的铜姑娘跳起了拉丁舞，随着她们的旋转，四氨合铜配离子出现了，这是一种平面正方形的配合物，于是，铜姑娘又披上宝蓝色的丝带，衣袂飘飘……

看着铜姑娘婀娜的舞姿，大家开心地笑了。

这时，远方传来一声呼喊：“铜爷爷……”

5 第四幕

“爷爷，不好啦，又有人波尔多液中毒了！”铜宝慌慌张张地跑来，铜爷爷听了，倒吸了一口凉气。

“波尔多液？它是由硫酸铜、熟石灰和水配制而成，具有杀菌效果，人误服的话，会引起中毒，严重的还会发生急性溶血性贫血，危及生命”，氧先生也面色凝重。

“那可怎么办呢？”铜宝急得眼泪在眼眶里打转。

“中毒者可以饮用大量纯牛奶来保护胃黏膜，清除毒物，阻止人体吸收有毒的铜离子，也可以饮用碳酸氢钠来使尿液碱化，以防止或减少血红蛋白沉淀于肾小管^[5]。现在，赶紧把中毒的人送医院吧，医院排铜常用络合剂疗法，二巯基丁二酸胶囊(DMSA)和二巯基丙磺酸钠(DMPS)目前被认为是排铜效果较好且副反应较少的络合剂^[6]。”铜爷爷说完，捋了捋胡须。

铜宝长舒了一口气，可是他还是很伤心，“咱们铜家族对人类有这么大的危害吗？”铜宝托着腮帮子，大大地眼睛盯着氧先生。

氧先生摸摸铜宝的脑袋，说，“不是的，铜的用处可大了，波尔多液的杀菌效果就是一个很好的例子，虽然误服会造成伤害，但是用处也是显而易见的，它可以为作物防治病虫害，经常在果园

里大显身手；我们常说的铜质的门把手可以抑菌，也是多亏了铜的杀菌作用，铜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均具有强烈的杀灭作用呢。”

“不仅能杀菌，在人体内作用也不小呢。铜是人体必须的微量元素，是人体内多种反应的催化剂，也是多种酶的活性成分。例如人和动物的血液中就含有铜蓝蛋白……”铜爷爷缓缓地说道。

“哈哈，这个我知道，虾和螃蟹的血液不是红色而是青蓝色就是因为它们血液中含有血蓝蛋白——一种由 Cu^{2+} 和肽链组成的呼吸色素，能与氧结合来运送氧气。”铜宝抢着说。

氧先生点点头，“铜蓝蛋白属于多铜氧化酶家族，具有氧化酶的功能，在其铜离子中心接受、转移底物电子的过程中，铜离子和铁离子都可以作为其底物，从而铜蓝蛋白将 Fe^{2+} 和 Cu^+ 分别氧化为 Fe^{3+} 和 Cu^{2+} ，使其在体内转运与代谢^[7]。除此以外，铜蓝蛋白还具有抗氧化作用呢。”

这时传来一片锣鼓声，原来，又一场彩排开始了。

铜宝连忙跑去看。

6 第五幕

这是铜家族的又一场表演。由元素联合国的魔术师——小氢导演。别看小氢个头不大，鬼主意却不少。在他的指挥下，铜一会儿伸展长长的身体输送电流，发电厂纷纷招聘他作为运输员；一会儿蜷成一团在电机内部不知疲倦地转动；一会儿又躲藏在电子设备的内核作神经中枢，他还在大多数钟表表体内兢兢业业，一丝不苟地工作；瞧，现在他又成为了子弹的一部分，在战场上飞驰；突然，他又出现在药物中，成为病人救命的仙草……

小氢一挥魔术棒，铜的伙伴们也来啦！看，披着轻纱的是氯化铜，她最爱蓝色和绿色的衣服换着穿，她是娇弱的小女孩，遇湿易潮解，干燥又会风化，若是遇到水、乙醇或者甲醇，就躲进他们的怀抱；一身白衣的是氯化亚铜，他可以作为催化剂、脱硫剂及脱色剂等，主要工作是作为合成甲基氯化硅烷混合物单体的催化剂；还有以二聚体结构出场的乙酸铜，只见两个铜原子被乙酸根桥连在一起，Cu 与 Cu 之间还有金属键，他是常见的杀虫剂。

无水硫酸铜穿着白色的外套、走着猫步出场了，他用途广泛，是应用最广的杀藻剂之一，还兼职改良土壤细菌和真菌群落；在实验室他更是大显身手，是常用的实验试剂，可作为原电池的电解质，斐林试剂检验还原糖也会用到他，人们还常常在有机合成中见到他的身影。只见小氢再挥一下魔术棒，舞台上飘下了纷纷扬扬的雨滴，无水硫酸铜白色的外套立刻变成了蓝色，成为我们俗称的胆矾。

最后出场的是几位年轻的朋友，走在前面的是 4,4,6,6'-四叔丁基-2,2'-[乙二氧双(氮次甲基)]二酞铜，他对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和枯草杆菌均有显著的抑制作用^[8]；接下来是 $(\text{C}_{10}\text{H}_{22}\text{N}_2)_3[\text{Cu}_9\text{I}_{14}\text{Br}]$ ($\text{C}_{10}\text{H}_{22}\text{N}_2 = N,N$ -二乙基三乙烯二胺阳离子)，他是一种具有一维卤化亚铜链状结构的化合物，有较好的光致发光性质，最大激发波长为 328 nm，最大发射波长为 588 nm^[9]；走在最后的是铜锌锡硫的化合物，他目前在薄膜太阳能电池领域表现出色，有着很好的光电性能，安全无毒，非常适合用来发展高效、廉价的太阳能电池^[10]。

看着表演，铜宝很开心，“原来我们铜有这么多的作用啊，还有那么多相伴相随的小伙伴一起为人类服务。”

“不仅仅是铜，元素联合国的每一个家族都有不可或缺的作用，任何一种元素都很难独立地完成表演，只有咱们的联合才能为人类提供更多更强的价值。”氧先生语重心长地说。

7 尾声

氧先生回到家中，透过窗户看到外面的烟花，那是金属家族联合排练的烟火晚会。点火、升空，

电子小精灵能量满满，每一次跳跃，都诠释色彩斑斓的奥秘，每一次跃迁，都绽放灿烂光华，也绽放元素联合国的希望，那是什么呢？氧先生已经找到了答案。望着绚烂的烟花，氧先生信心满满，“150 周年的庆典，一定是最精彩的盛会！”

参 考 文 献

- [1] 刘新锦, 朱亚先, 高飞. 无机元素化学. 北京: 科学出版社, 2010: 172-173.
- [2] 齐东梅, 成若义, 杜小青, 陈宇, 张昭, 张鉴清. 中国腐蚀与防护学报, **2014**, 34 (5), 389.
- [3] 睢文杰, 赵文杰, 秦立光, 张星, 乌学东, 薛群基. 中国腐蚀与防护学报, **2016**, 28 (1), 88.
- [4] 韩莹, 王济禾, 李军, 李微微, 蒋贝贝, 姚杰. 中国环境科学, **2017**, 37 (6), 2100.
- [5] 王艳梅, 姜广荣, 谭翠莲. 护理学杂志, **2011**, 26 (19) (综合版), 27.
- [6] 顾金英, 朱明莉, 施宪法. 高等学校化学学报, **2012**, 33 (10), 2229.
- [7] 毕雪, 汲广东. 鲁东大学学报(自然科学版), **2015**, 31 (4), 318.
- [8] 冯建华, 吴刚. 应用化学, **2015**, 32 (5), 557.
- [9] 辛丙靖, 李鹏, 罗力莎, 夏添, 李光华. 高等学校化学学报, **2017**, 38 (4), 530.
- [10] 范勇, 秦宏磊, 密保秀, 高志强, 黄维. 化学学报, **2014**, 72, 643.