失踪的镧系元素

庾晓萍[§], 朱亚先^{*}

厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005

摘要: 镧系元素是第 57 号元素镧到 71 号元素镥 15 种元素的统称。它们的化学性质相似, 在生产、生活中起着重要的作用。本文假想镧系元素失踪后地球发生的一系列变故, 借此体现它们在人类生活中的重要性。

关键词: 镧系元素; 发现; 性质; 应用

中图分类号: G64; O6

The Lanthanides Are Missing

Xiaoping Yu [§], Yaxian Zhu ^{*}

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

Abstract: The lanthanides include elements having atomic numbers 57 (lanthanum) through 71 (lutetium). They all behave in a similar way in chemical reactions and play an increasingly important role in production and life. This article imagines a series of changes that have taken place on the earth since the disappearance of lanthanides, which shows their importance in human life.

Key Words: Lanthanide; Discovery; Property; Application

1 镧系元素的失踪

多多从睡梦中醒来, 打开电视, 看到新闻在不停地滚动播报:

“今天早上七点, 科学家发现地球上的镧系元素正在消失, 原因不明。镧系元素的失踪将会对通信、医疗、石油工业等多方面造成严重影响。现已宣布进入紧急戒备状态, 请大家不要恐慌……”

这时, 显示屏突然闪烁一下, 新闻主播焦急的声音仍然回响在房间, 电视画面却像是蒙上了一层纱, 什么也看不清。

这是怎么回事? 多多突然想起, 镧系元素可以突出显示屏的色彩。镧系元素失踪, 电视画面自然就模糊不清了。多多在柜子里找到了说明书, 果然, 上面写着电视的 OLED 显示屏的发光层材料是镧系元素之一——铕的化合物^[1,2], 用的荧光粉材料也列有铕的伙伴——铽的大名^[3,4]。

多多打开电脑, 页面却显示网络未连接。这又是怎么回事? 她赶忙在书柜里找到了一本镧系元素的读物。

原来, 我们的互联网是靠光纤传输信号的, 光纤是一种由玻璃制成的纤维, 重要成分之一就是氟化镧。多多继续往下读, 发现制造光隔离器需要钇镓石榴石, 光纤放大器需要镨、钕, 光纤传感器需要铈^[5,6]……这么多镧系元素失踪, 难怪电脑上不了网了!

收稿: 2020-09-08; 录用: 2020-09-15; 网络发表: 2020-09-21

^{*}通讯作者, Email: yaxian@xmu.edu.cn

[§]2019 级本科生

基金资助: 国家基础科学人才培养基金(J1310024)

多多看着空白的网页，一筹莫展。然而，更大的乱子还在后头。镧系元素莫名其妙人间蒸发，给地球这个小行星带来了接二连三的麻烦。

2 无法发动的汽车

多多今天要去医院看望生病的妈妈，她刚出小区，发现街道停着长串的汽车，后面的司机不停按着喇叭。

“这是怎么了？”多多好奇地问。

一辆汽车缓缓降下挡风玻璃，里面的司机探出头来，“小姑娘，你不知道，今天早上什么失踪后，很多汽车无法启动，交通全瘫痪了！”

副驾驶位坐着一个与多多年龄相仿的女孩，她无奈地说道：“爸爸，是镧系元素失踪了！很多汽车电机都是由稀土永磁材料制成，如钕铁硼永磁体、钕钴永磁体等^[7]。镧系元素在其中都是不可或缺的核心。现在电机无法启动，这些汽车自然也难以行驶了。”

“除此之外，镧系元素中铈的失踪还带来了另外两件麻烦事儿。铈是汽车尾气催化剂中必不可少的成分，它和铂铑这些贵金属一起将一氧化碳、氮氧化物和未完全燃烧的烃类转化为无毒的二氧化碳、水和氮气^[8]，可以说是减少大气污染的大功臣。”

“同时，铈也作为添加剂被大量应用于汽车玻璃中。它可以吸收紫外线和红外线，不仅起到降低车内温度的作用，更保护我们远离了皮肤癌等种种疾病^[9]。”

“看来，镧系元素的确很重要啊！”多多感叹道。

3 乱成一团的医院

多多到达医院后，发现放射科前排起了长队，患者们拿着单子，唉声叹气。一位患者告诉她，是放射科的设备出了问题。那么，这也和镧系元素有关吗？

“没错。”一旁的医生听到他们的对话，回答道，“钆的失踪让我们苦恼极了。骨折病人拍 X 光片用到的荧光增感剂是添加了三价铈的硫酸化钆。核磁共振成像中，我们也会用钆对比剂来加强扫描^[10]。现在这些检测都难以进行，实在是件愁人的事。”

多多继续向前走，发现泌尿科门口聚集了不少人，一位医生正通知病人们今天的结石手术取消。

原来，人们通常靠体外冲击波来治疗结石。但肾结石、输尿管结石和膀胱结石由于位置特殊，体外冲击波的本领无处施展，需要钬激光器的帮助^[11]。钬的失踪导致结石手术不得不暂缓了。

不仅如此，钬激光器还可以用于切除组织，给血管止血。它的同伴铒也是个重要角色。铒激光器能量低于钬，不能碎石，却能切除软组织，特别用于口腔治疗和白内障手术中，曾给无数白内障病人带来了光明^[12]。

多多若有所思，她穿过人群，途经肿瘤科，听见里面的医生正在焦急地讨论，他们科室看起来也遇到了不小的麻烦。

“唉，镧系元素可是放疗的大功臣，它们辐射轻，对人体的危害小。镥还被称为癌症克星，现在钷-153、铽-170、镥-177 失踪^[13]，放射治疗只能暂缓了，真是一场灾难……”

多多走进妈妈的病房，主治医生这时正巧也在房间，多多向他们讲述了今天的所见所闻。

4 各行各业的麻烦

听完多多的话，大家都叹口气。

“哪只是医院呢，”护士说，“我们家孩子在野外露营，不知道为什么，打火机和火石都点不着了，现在正在山上冻得发抖呢。”

“这是因为打火机里的火石是铈铁。”多多说，“原本齿轮摩擦，镧系元素燃烧，迸出火花便能点燃液态丁烷。如今铈、镧、钕、镨这些元素失踪，打火机便点不着火了。”

“核电站也不得不停运了，”妈妈补充道，“我听同事说，是反应堆控制棒的问题。钐的同位素钐-155和钐-157在所有元素同位素中，热中子吸收截面最大，因此被应用在钐制轻水堆和快中子增殖堆中。除钐外，钐、镉也是强效的中子吸收器，用来控制核反应速度^[14]，现在镧系元素失踪，核电站也只好停运了。”

“我是钢铁行业的，”隔壁床的病人也加入了谈话，“镧系元素容易和氧、硫、铅等元素化合成熔点高的化合物，这些元素填补在晶粒缺陷中，生成阻碍晶粒继续生长的膜，从而使晶粒细化，显著提高钢的耐磨性、耐腐蚀性和韧性^[13]，是十分重要的工艺。如今镧系元素失踪，对我们也是不小的损失。”

“还有储氢材料，”另一位病人说，“稀土储氢材料贮存密度大于液氢，体积却只有普通钢瓶的六分之一，是一种更为简便易行的理想储氢方式。在大容量电池领域，应用镧镍合金的镍氢电池具有很大的发展空间^[13]。镧系元素对我们产业也是至关重要。”

“远不止这些呢，”主治医生连叹了好几声，“摄影摄像的镉灯报废了，单反需要的镧系光学玻璃使用不了，石油催化裂化至关重要的镧系催化剂失效^[14]……各种各样的麻烦事接踵而至，各行各业的人们面临数不尽的困难，谁也不知道该怎么办好。”

5 多多与镧的会面

回到家后，多多坐在桌前，一边看书上有关镧系元素的知识，一边陷入深思。镧系元素加上铈、钇共17位被称为稀土元素，但其实一点也不“稀”，更不是“土”，只是历史上一个美丽的误会。它们在地壳中丰度有万分之一，甚至超过了常见金属铜、铅、锌、锡呢^[14]。

现在，镧系元素为什么失踪了？人们以后的生活会怎么样呢？多多想着想着便陷入了梦乡。

梦中她来到一座矿山，工人们正在热火朝天地采矿。这时，突然有只金属般冰凉的手从身后拉住她。

“你是谁？”多多惊讶地睁大双眼，看到一个全身银白的小孩。

“我是镧，也就是元素周期表的57号元素。你可以叫我小镧。”

多多一把抓住她：“到底发生了什么，你们为什么会失踪呢？大家都急坏了。”

小镧笑了笑，“别着急，你先看看这个地方。”

“这是1787年瑞典首都附近的伊特比村。别看它只是一个小村子，我的三个弟弟妹妹——铈、钇、镱都是以这个小村庄的名字命名的。”

“这些工人在矿中开采出了一种未知的黑色矿石。1794年，芬兰化学家加多林在这类未知矿物中分离出了一种新的氧化物，给它起名钇土。后来，其他化学家又从‘钇土’中提取了好几种稀土矿物^[14]。这是人类发现镧系元素的源头。”

“目前，世界上发现的稀土矿物有两百多种，具有工业价值的有五十到六十种，其中具有开采价值的只有十种左右。我再考考你，你知道世界上已探明稀土储量最多的地方在哪吗？”

多多不假思索，“是我们中国内蒙古的白云鄂博！”

小镧笑道，“是的。世界稀土资源分布不均，中国、美国、俄罗斯、加拿大、澳大利亚等是稀土储量比较丰富的国家，中国探明的储量居世界之首。现在中国生产的高纯度稀土已占世界产量的80%以上，比较著名的产地有白云鄂博稀土矿、山东微山稀土矿、冕宁稀土矿等。中国是世界上最大的加工产品出口国^[15]。”

见多多点头，小镧又道，“走吧，我带你去见我的弟弟妹妹。”

6 难以区分的家族

眼前的画面一转，小镧带多多来到了一个聚会。“那是我的弟弟妹妹们，”小镧指着和它长相相似的元素们说，“我们个性十分相近，里面最像的就数铈和钇了，历史上，人们一度把它们当一

种元素，直到 1885 年，奥地利化学家卡尔将两者成功分离，它们才拥有了自己单独的名字^[14]。”

“好神奇啊，就像 15 位多胞胎？”多多问。

“嗯，这是我们电子排布的特殊性导致的。”小镧笑道，“随着原子序数的增加，我们依次增加的电子主要排在了内层的 4f 能级上。由于位于内层的 4f 轨道屏蔽能力强，随着原子序数的增加，有效核电荷增加较少。通俗说，虽然我们的父亲——原子核越来越强势，但是我们的母亲聪明地缓解了父亲的力量，价电子受到的‘掌控’变化不大，因此我们兄弟姐妹的长相、性格比较相近。但是，毕竟不是同父同母的多胞胎，仔细看还是有不少差异哦！你看，我们个头的总趋势是减小的。”

“我知道！”多多抢着说：“这就是著名的镧系收缩^[16]。”

“没错。我和老十五镱，个头就差 14 pm，性格也不太一样。你再看铈和镱，它们的个头比相邻兄弟大得多，这是因为它们的 4f 轨道电子是半充满或全充满的，这种结构能更好地屏蔽来自父亲的掌控，身体就更舒展了呢。”

“镧系收缩还对我们后面的元素有影响，如铈和钨、铈和钽、铈和钿的个头差不多，是三对形影不离的好朋友。此外，镧系收缩也使铈的离子半径和我们家族的铈、钽相近，这也是铈爱同我们一起出现的原因^[16]。”

多多说：“我明白了。你们这么相似，又喜欢居住在一起，难怪人们很难将你们分离。”

“虽然难，但是人们还是找到了很多办法，比如氧化还原法、溶剂萃取法、离子交换法等，这些分离手段使我们的应用大大拓展了^[16]。”小镧道。

这时，突然有元素兴奋地大喊起来。

小镧朝那边望了一眼，“氧来参加舞会了，我可以给你露一手！”

7 镧系元素的性质

在化学国度中，氧可谓人缘最好的元素，除了向来高冷的稀有气体，几乎每个元素都同氧交好。随着欢快的乐曲声响起，小镧和氧走到舞台中央，轻盈地旋转起来，随着舞步加快，四周溅开火花，美丽极了。

多多不由竖起大拇指：“跳得真好！”

小镧腼腆地笑了笑，“谢谢！不只是我，我们家族的铈、钨都会这样的舞蹈。人类正是利用这一点，制成了火石等物品。除氧之外，我们也能和氮与氯的单质发生类似的反应呢。”

“你们待在周期表的下面，离大家那么远，是不是有点孤独啊？”多多好奇地问。

“不会，”小镧摇头说，“我们的朋友很多，虽然住得远，但是大家经常走动。我们十分好客，化学活性与第二主族的碱土金属相近，喜欢把电子送给别人或与他人分享。除了与非金属反应，我们还可以和绝大部分金属形成金属间化合物，而且这些金属间化合物大多都具有特殊的性能。比如我们与铁族形成的化合物具有永磁性能，与镍形成的化合物具有强烈的吸氢性能，与镁等有色金属形成的化合物具有良好的力学性能^[14]。这样看来，我们在周期表中算比较受欢迎的家族呢。”

多多点点头。

“来，一起喝下午茶吧。”小镧提议道。

8 神奇的色彩与磁性

镧系元素们面前摆的下午茶有趣极了，从 La^{3+} – Lu^{3+} 摆成了 U 型，钆离子在 U 型底部坐镇，其他离子分列两旁，U 型左侧的颜色依次为无色、绿色、红色、紫色、浅黄色、浅紫色，U 型右侧的颜色依次为浅紫色、浅黄色、褐色、红色、绿色，最后到无色^[14]，不仅色彩斑斓且十分对称，看起来交相呼应，仿佛一圈彩虹。

铈向多多介绍，“这些下午茶都是我们的离子颜色，4f 轨道电子喜爱串门，容易发生 f-f 跃迁，电子在跃迁时吸收了部分可见光的能量，我们的离子就呈现出了相应互补光的色彩。”

小镧补充道：“随着原子序数增加，电子有规律地填充，因此，我们的颜色变化相当有规律。”

多多仔细地看了一圈，“瞧，个别元素多吃多占，有两杯茶哦。”

铈笑道，“呵呵，这是个人能力所致。我们属于 IIIB 族，大多数兄弟姐妹习惯失去外层的三个价电子，成为三价离子，所以只有一杯茶。但是，由于电子层的构型缘故，有的元素可以呈现两种价态。拿铈说吧，它面前无色的是三价离子，橙黄色的是四价离子。铈呢，除了浅紫色的三价离子，还有草黄色的二价离子^[14]。”

多多不好意思地笑了。铈继续说：“由于我们的电子能级极为丰富，因此具有复杂的光、电、磁等性能。人们也将我们用于制造彩色玻璃：加入钕可使玻璃成酒红色，加入镨可使玻璃变成绿色；我嘛，可使玻璃变成粉红色……这些彩色玻璃色泽变幻莫测，美丽非凡^[13]。”

多多惊叹一声。

这时，音乐响了起来，元素们开始翩翩起舞。钕拉着舞伴，旋转起来，最后越旋越高，飞到了空中……

“奇怪！竟然没有掉下来？”多多惊讶地问。

镨笑着说：“这是我们的磁性导致的，磁性可以说是我们家族最重要的特征之一，钕是我们之中最杰出的一个，它制成的钕磁铁一克能够吸引起两公斤的铁呢！人们将我们制成的稀土永磁材料称为永磁之王。我们的纳米磁性材料用于磁存储器、磁流体、巨磁阻，可以使性能提高、器件小型化。此外，我们的磁性材料也被应用在微波通讯、仪器仪表、医疗交通等多个领域，在高新技术材料方面的应用尤其引人注目^[14]。”

镨拿出一个小球，给多多示范。它将小球放在手心，再一翻，小球没有掉落，仍然牢牢贴着。多多好奇地凑上前，碰了碰悬空的小球，谁知球一下子掉落在地上。

“对不起，”多多讪讪道，“我太不小心了。”

“不是你的错。”镨说，“是我的居里点太低了。我的磁铁在 30 摄氏度就会失去磁性，远低于你身体的温度，所以你一碰小球就掉了。”

9 尾声

快乐的时光总是过得很快，分手的时候到了。临别前，多多又提及了心中的疑惑：“我已经明白了镧系元素对人类的意义。你们就好比维生素，虽然量少，但作用巨大。人们已经离不开你们了！但是你们为什么会失踪呢？你们还会重新回来吗？”

小镧温和地看着她。

“诚然，你们需要我们。可是需要并不代表一味索取。近些年人类大肆开采稀土矿，给自然带来了许多伤害和环境污染。再者，我们在地壳中的含量虽然不少，能开采的资源却不多，而资源的浪费又非常惊人……”

多多怔怔地看着它，小镧继续说：

“倘若继续下去，也许你今天看到的灾难有一天会成为现实。万物有灵皆需爱，天地无情不可知。常将有日思无日，莫待无时思有时。”

多多看着小镧，若有所思。

“多多，醒醒！”

多多睁开眼睛，发现自己正躺在床上，妈妈没有住院，镧系元素也没有失踪，一切都井然有序地进行着。

原来一切只是一场梦啊！

或许一切也不只是一场梦。

参 考 文 献

- [1] 刘嵩. 稀土铈配合物 OLEDs 特性的研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2006.
- [2] 辛琦. 基于稀土铈配合物的有机电致发光器件性能研究[D]. 吉林: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2007.
- [3] 刘跃. 稀土信息, **2009**, No. 6, 30.
- [4] 赵文卿, 关荣锋, 王杏. 无机盐工业, **2008**, No. 10, 15.
- [5] 李鑫德. 稀土信息, **1997**, No. 1, 11.
- [6] 何钰泉, 关铁樑. 科学通报, **1984**, No. 7, 18.
- [7] 叶萧然. 铸造技术, **2015**, No. 1, 32.
- [8] 郭耘. 中国稀土学报, **2007**, No. 1, 4.
- [9] 张晓伟, 李梅, 柳召刚, 胡艳宏, 吴锦绣. 硅酸盐通报, **2009**, No. 6, 108.
- [10] 苏锵. 稀土元素. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [11] 何家杨. 尿石防治. 上海: 复旦大学出版社, 1998.
- [12] 谢品华, 刘文清. 光电子技术与信息, **1997**, No. 4, 5.
- [13] 本刊讯. 首都食品与医药, **2018**, No. 9, 5.
- [14] 叶信宇. 稀土元素化学. 北京: 冶金工业出版社, 2019.
- [15] 袁光宇. 百科知识, **2009**, No. 7, 29.
- [16] 刘欣锦, 朱亚先, 高飞. 无机元素化学. 北京: 科学出版社, 2008.