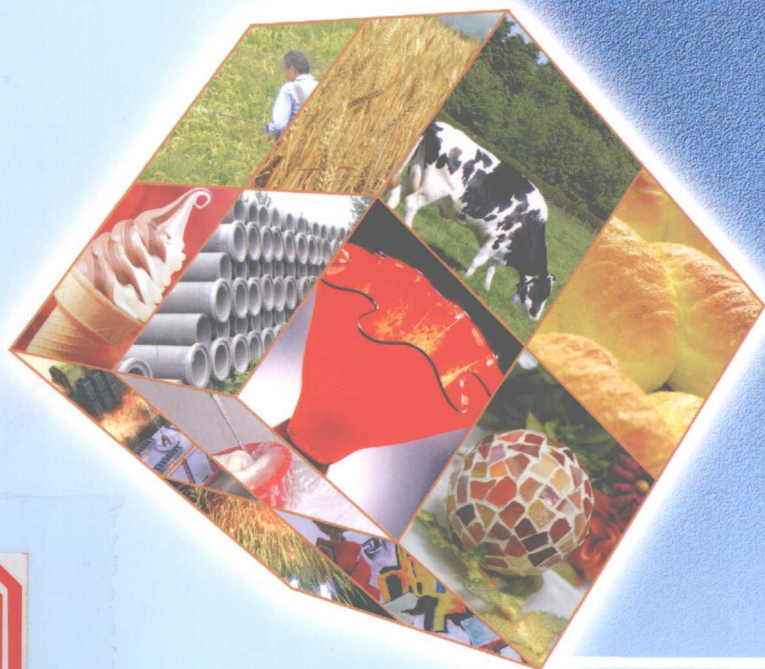


■ 赵玉芬 编著

磷

PHOSPHORUS IN DAILY LIFE

与生活



13.62
1

 郑州大学出版社

0613.62

1

磷

PHOSPHORUS IN DAILY LIFE

与生活

赵玉芬 编著

图书在版编目(CIP)数据

磷与生活 / 赵玉芬编著. — 郑州: 郑州大学出版社,
2008. 1

ISBN 978 - 7 - 81106 - 600 - 5

I. 磷… II. 赵… III. 磷 - 应用 - 普及读物 IV.
0613.62 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 121583 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人: 邓世平

全国新华书店经销

河南第二新华印刷厂印制

开本: 787 mm × 1 092 mm

印张: 9

字数: 122 千字

版次: 2008 年 1 月第 1 版

邮政编码: 450052

发行部电话: 0371 - 66966070

1/16

印次: 2008 年 1 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978 - 7 - 81106 - 600 - 5 定价: 36.00 元

本书如有印装质量问题, 由本社负责调换

赵玉芬简介

赵玉芬，我国著名有机化学家，中国科学院院士，清华大学、厦门大学、郑州大学教授。曾任清华大学生命有机磷化学及化学生物学教育部重点实验室主任、清华大学生命科学与工程研究院副院长。主要从事生命有机化学、有机磷化学、生命起源、药物化学、化学生物学领域的研究。现担任国际磷化学学会理事、Main Group Chemistry 国际学会理事、国际生命起源学会委员、《国际杂原子化学杂志》编委。并任 2005 年第 14 届国际生命起源大会主席和 2007 年第 17 届国际磷化学大会主席。

获中国青年科学家奖、教育部全国百名优秀博士论文导师奖、第二届新世纪巾帼发明家称号。“有机磷试剂在合成杂环化合物中的应用”、“N-磷酰化氨基酸的新性质”、“磷酰化氨基酸与小肽”、“氨基酸与小肽的FAB-MS 研究”等获多项中国科学院和教育部科技进步奖。

赵玉芬院士在生命起源的研究中，发现磷酰氨基酸能同时生成核酸及蛋白，又能生成 LB-膜及脂质体，因此提出了它是生命进化的最小系统的崭新观点；发明了合成丙谷二肽的新方法，并获美国及中国专利，已产业化，获得原料药及制剂的新药证书；发现了丝组二肽可以切割蛋白及 DNA；利用电喷雾质谱技术研究了一系列磷酰化小肽的裂解及重排规律，进行了生物大分子和有机小分子的弱相互作用研究以及蛋白的序列分析等。迄今为止，已在国际、国内刊物上发表 300 多篇论文，出版专著 5 部，获专利成果 11 项。



内容提要

本书针对普通大众，以简练通俗的文字，配合大量生动图片，介绍了磷在日常生活中的应用，读者容易理解和接受。

磷不仅是生命的元素，而且在日常生活中应用广泛。本书涉及磷在金属表面处理、农药、医药、饲料、工业用品、洗涤剂、肥料、食品添加剂、水处理、阻燃剂、光电材料和烟火等方面的应用。有些内容对于专业人士也有一定的参考价值。

序 一

磷是一种广泛存在于自然界的元素。磷的性质很奇特，如元素磷（黄磷）易自燃，但不少含磷的化合物又是性能良好的阻燃剂；又如有些磷酸酯为胆碱酯酶的抑制剂，剧毒，用作农用杀虫剂或杀菌剂，而有些磷酸酯则可作为抗生素、抗癌药及预防骨质疏松的药物。当然，磷又是组成核酸的元素，在生命中起了很重要的作用。还有其他不少有意义的磷的化合物已广泛应用于国民经济。我国的磷矿品位虽不很高，但储量丰富，云南、贵州及湖北一带是磷矿丰产区。由于我国的磷精细化工产品没有得到应有的开发和广泛的应用，磷产地的资源优势未能及时地转变为产业优势、经济优势，所以一本适合广大读者的有关磷化学与应用的高级科普读物为我国磷化学和化工业进一步发展所必需。

由赵玉芬院士编写的此书，正适应了社会的需求。从内容上看，本书可视为曾任美国化学会纽约分会主席多年的华裔美籍磷化学家 Arthur D. F. Toy 所编写的 *Phosphorus Chemistry in Everyday Living*（1987年美国化学会出版）的补充，但更适合中国读者。

此书编写层次分明，文字流畅，是一本适合我国广大读者，特别是理工科大学学生的高级科普读物。它将对我国磷化学与化工的发展起到积极作用。

是为序。

袁承业 

2007年6月

序 二

磷是什么？磷与我们的日常生活有什么关系？这是从事磷化学研究的科学家应该解释的问题。近五十年来磷化学研究出现令人瞩目的新进展，磷与人类的日常生活、工业发展密不可分，已经渗透到人类生活的方方面面。磷化学研究呈现欣欣向荣的景象：新型结构类型的磷化合物大量涌现，生命有机磷化学研究成为热点，有机磷药物有重大发现，含磷的多功能材料在许多领域被广泛使用，等等。既然磷与人类生活如此密切相关，人们理应渴望更多地学习磷化学知识，了解磷的作用和功能，更好地认识磷在人类现代生活中的重要地位。

赵玉芬院士长期从事磷化学和生命化学的研究，在生命科学研究领域取得了重要的研究成果。《磷与生活》是赵玉芬院士及其同仁向社会奉献的一部高水平介绍磷及磷化学的科普著作，为向大众普及磷化学知识，提高公众的科学素养做出了非常有益的工作。

本书层次分明，语言活泼流畅，通俗易懂，可读性强，非常适合广大读者了解磷与磷化学的发展。相信本书的出版必将对我国磷化学与化工的发展起到积极的促进作用。

陈玉

2007年7月于南开园

目 录

绪言

/ 1

一 神奇的元素

——磷/ 3

磷在人体中的重量百分比为1%，在遗传物质DNA中磷的含量为9%。到底是磷造就了生命，还是生命富集了磷呢？

二 金属的防护衣

——磷化膜/ 8

金属腐蚀在不知不觉中给我们造成大量的经济损失。如果这些金属表面有一层磷化膜，那就可以防止它们被腐蚀，从而挽回不必要的经济损失。

三 工业中的“万金油”

——磷酸酯/ 16

磷酸酯可以作为汽油添加剂、抗腐蚀剂、防锈剂、防辐射剂、固化剂、油漆、黄金的萃取剂等，简直是工业中的“万金油”！

四 农作物的守护神

——有机磷农药/ 22

有机磷农药是农药中的佼佼者，它们曾经垄断了农作物守护神的大部分岗位。但在今天，我们更需要环境友好的有机磷农药。

五 健康的卫士

—磷与药物/ 28

磷是生命的元素。随着人类对含磷物质认识的加深和科学的新发现，磷对人类健康的益处越来越显著。磷元素已经在许多疾病治疗上发挥着重要的作用，被人们称为“健康的卫士”。

六 身体硬件的替身

—骨水泥/ 35

含磷的骨水泥具有很好的生物相容性，把它植入体内以后，其外表可以长出血管和神经呢！

七 卫生的保障

—洗涤剂/ 41

现在，很多洗涤剂都打上“无磷”的标志，其实磷并没有过错！洁净的生活离不开磷！

八 缤纷的节日

—烟花与火柴/ 51

逢年过节，人们总喜欢用烟花爆竹来烘托喜庆的气氛。然而你可知道，从烟花到引燃它的火柴里，都有磷在发挥作用？

九 火灾的克星

—含磷阻燃剂/ 57

在火灾中，80%左右的死亡是由烟尘和有毒气体导致窒息而造成的。磷阻燃剂能够抑制烟尘产生，而且不像含卤阻燃剂那样产生有毒气体，因此含磷阻燃剂是火灾的最大克星。

十 农业增收的保证

—磷肥/ 66

我们一直都希望农作物产量更高一些。因为磷肥对农业的增产效果已经在全世界得到证明，所以，我们还很需要磷肥。

十一 牲畜健康的保护神

—含磷饲料添加剂/ 73

生命的起源离不开磷，生命的健康更离不开磷。牲畜的饲料中有了磷，就会使牲畜更健康、健壮，从而使养殖者损失减少，收益增大。

十二 美食中的磷

—食品添加剂/ 82

磷既是营养剂，也是食品改良剂。在不同种类、不同口味的食品中，磷都有不同的用途，真的很奇妙呀！

十三 水循环使用的功臣

—含磷水处理剂/ 93

循环用水使工业生产节约了大量的水资源，但水垢的产生又带来了新的麻烦。其实，用一点点磷制剂，就能轻而易举地“化解”水垢。

十四 奇妙的玻璃

—磷酸玻璃/ 101

玻璃是易碎的，但是磷酸玻璃居然可以制作高机械强度的运动器材，它也是医学、光学、电子方面的有用材料，你说奇妙不奇妙？

十五 功能非凡的水泥

—磷酸盐胶凝材料/ 108

磷酸盐胶凝材料因其凝结方式不同，应用也迥然不同：磷酸盐水泥用于抢修水泥路面、码头等；磷酸耐火浇注料广泛用于高温窑、炉的内衬；磷酸盐胶结剂又能用于粘接电子元件。

十六 生活的调色板

—染料与颜料/ 114

千年前唐三彩中美丽的颜料就是磷酸盐颜料，可见我国古代的颜料业已经十分发达。

十七 磷与荧光灯

—磷在光电材料方面的应用/ 120

磷有荧光性，聪明的人类利用它做出了不同颜色的霓虹灯来装扮黑色的夜空。

结束语 / 128

后记 / 130

元素周期表 / 131

绪言

磷是生命的元素，它在人体中的作用是不言而喻的。说到磷与生活的关系，很多人会自然地想到磷肥和磷饲料。的确，由于磷对生命体的重要性，农作物和牲畜都不能少了这一元素。磷肥和磷饲料的使用明显提高了农作物的产量，还保障了牲畜的健康成长。

不知道大家有没有听说过“第三营养素”卵磷脂，它是天然物，其医疗保健作用非常明显。除了这个卵磷脂，含磷药物在抗癌、抗病毒、抗关节炎等领域中也扮演着重要的角色。其实，磷在医药方面尤为值得一提的是它可以替换人体的“零件”，含磷骨水泥可以替代人的牙齿、骨骼甚至眼球，在这些“替代零件”表面可以生长黏膜、血管等，从而与人体相容。

磷污染的说法可能也是大家比较熟悉的，因此我们会经常看到洗涤剂包装上的“无磷”标志。洗涤剂真的要禁磷吗？其实，洗涤剂中不用磷，就得使用大量其他表面活性剂，会造成更大的污染。有些原本禁磷的发达国家已经解禁了，允许在洗涤剂中添加少量磷化合物，来减少其他表面活性剂的用量。

除了这些以外，磷在生活和工业的很多方面都有广泛的应用。比如很受人们欢迎的可乐需要添加磷酸来调节酸味，并防止饮料发生沉淀；北方人爱吃的油条现在都不再添加有害健康的明矾了，而是用含有磷酸盐的复合蓬松剂，不仅改善品质，还增加营养。

金属是很容易被腐蚀的，因此而造成的经济损失让人触目惊心，但是在它们表面加上一层磷化膜就能防止腐蚀的发生，挽回那

原本无可奈何的经济损失。除了做金属的防护衣，含磷化合物还可以“淘金”、为塑料“整容”、固化油漆、剥离颜料、清洗金属等。

玻璃的作用相信大家都有切身的体会了，但是磷酸盐玻璃与普通的玻璃可不同，这不同之处是两个极端：一个极端是可以溶解，溶解以后就能杀菌，还能作为药物载体在人体内溶解而无害；另一个极端就是坚固，经得起摔打，可以制造雪橇、滑雪杖等运动器材。当然，磷酸盐玻璃还有其他奇妙的作用，本书相关章节中会详细介绍的。

还有一个重要的领域需要含磷化合物，那就是阻燃剂。以前使用较多的是含氯或含溴的卤系阻燃剂，这类阻燃剂阻燃效果虽好，但其毒性也比较大，发生火灾时会生成大量的烟尘，而统计显示，火灾中，80%的死亡是由烟尘和毒气窒息造成的。因此，欧盟已经颁布了溴系阻燃剂的禁用令。而含磷的磷系阻燃剂就没有这种环境问题，所以这种阻燃剂有很好的应用前景。

由此可见，磷与我们的日常生活是密切相关的。面对将来可能存在的磷资源匮乏问题，我们应该有所警惕，早做准备，尤其应切实做好磷资源的循环利用。欧盟已经出台有关法律文件，规定其成员国中的磷工业不得再全部以磷矿石作为生产原料，而要求磷工业所使用的原料中必须至少有50%为回收磷。对于我们这样一个资源消耗大国，更应积极重视磷的回收再利用。

希望通过本书大家对磷有较深入的认识，也希望更多的科学工作者参与磷的科技事业及产业，为人类作出更大的贡献！

一 神奇的元素

——磷

磷元素的符号是 P，在元素周期表中的序号是 15。在人类已经发现的将近 120 种元素中，磷元素在宇宙中的丰度处于第 17 位，磷在地壳中的丰度处于第 11 位，含量为 0.12%，含量比较丰富。而人体中磷的重量百分比为 1%，在遗传物质 DNA 中磷的含量为 9%，可以说磷与生命息息相关。

磷矿与磷工业

磷元素最早是在 1669 年由德国的 Henning Brand 发现的。他听说从尿中能提炼黄金，就把砂、木炭、石灰跟尿混合提炼。经过多次实验，没有得到黄金，却意外地得到了一种白色质软的物质——它能在黑暗中闪光，于是 Brand 就将其称为“phosphorus”，意思是发光。所以现代名词“phosphorus”的含义除了是磷元素以外，还有一个含义是发光体或闪光体。Brand 当初所得到的物质其实就是白磷。

磷元素有三种同素异形体，它们分别是白磷(也称为黄磷)、红磷和黑磷，其中以白磷和红磷最为常见。它在自然界中并不以单质形态存在，而是以其氧化形态——磷酸盐(酯)的形式存在。

后来人们发现人或动物的骨骼、牙齿中也含有较多的磷。人或动物躯体埋在地下腐烂，发生着各种化学反应。其中磷转化为燃点较低的化合物，沿着地下的裂痕或孔洞冒出到空气中燃烧，发出蓝色的光，这就是磷火，也就是人们所说的“鬼火”。

1779 年 Gahn 发现了磷灰石到现在，已经发现的含磷矿物大约有 300 余种，但只有磷灰石的储量丰富且含磷量高，能够满足工业需求。

绝大部分磷灰石呈灰白色或绿色(见封底照片)，这种矿石还经常含有氟和碳酸钙。比较重要的磷灰石主要分布在摩洛哥、美国、俄罗斯、哈萨克、中国和突尼斯等国。现在，摩洛哥、中国、美国和俄罗斯是世界上最大的磷矿出产国，这四个国家的磷矿储量占世界的 75%。

磷矿物的发现为磷工业提供了充足的原料，磷灰石取代骨灰成为制备黄磷的主要原料。人类发明了将磷灰石除去杂质后，用石英、焦炭在电炉中熔炼制备黄磷的方法，在第一次世界大战后，黄磷逐渐实现大规模生产，为磷化物和磷酸盐生产奠定了良好的基础，使磷在人类生产和生活中得到广泛应用(图 1-1)。

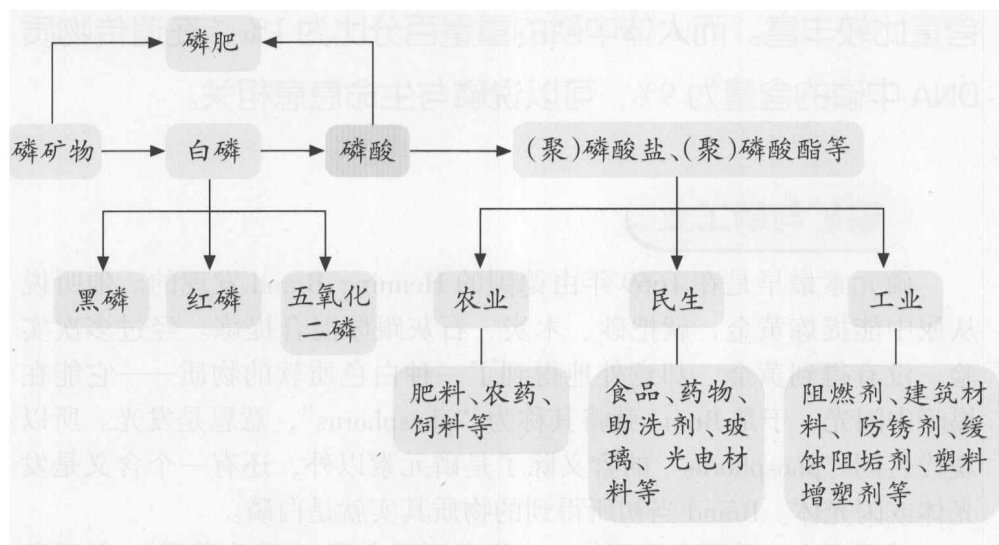
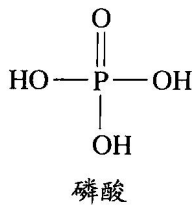


图 1-1 磷的转化及应用

目前工业生产磷酸的方法主要有热法和湿法。热法磷酸是最早用于磷酸生产的，是将磷矿石经热法加工制得黄磷，再氧化、水合制得。湿法磷酸是用无机酸与磷矿石反应，分离磷石膏和杂质制得磷酸。

磷酸(H_3PO_4)，是合成所有人工合成磷化合物的重要中间体，可用

于生产磷酸盐、多磷酸盐、磷酸酯等含磷化合物。这些含磷化合物广泛应用于生产和生活中。



目前，全世界生产的无机磷化合物除去磷肥，仍有 200 多种。正磷酸和多磷酸盐（尤其是它们的钠盐、铵盐、钙盐）和磷酸的商业生产大大超过所有其他含磷化合物的生产。这些产品在化肥工业、洗涤剂、动物食品、金属处理剂和食品生产等行业中都有重要应用。

利用无机磷可以进一步生产有机磷化合物。全球生产的有机磷化合物有 1 万多种，主要是磷酸酯、亚磷酸酯、硫代磷酸酯、卤代磷酸酯等。有机磷化合物生产量虽然较小，但具有非常多样而且重要的用途。它们被广泛用作杀虫剂、贵金属萃取剂、塑料增塑剂、阻燃剂、磷酸玻璃、表面活性剂、医药和饲料添加剂等，是功能性强、用途广的精细磷化工产品。

磷与生命

磷在人体中的含量为 1%(表 1-1)，远远大于它在自然界中的含量，它对于人体乃至生命都是至关重要的。比如生命的遗传因子 DNA 和 RNA 都采用磷酸二酯作为基本骨架（图 1-2），人体活动所需的能量来源于三磷酸腺苷(ATP,图 1-2)，生物膜的重要组分是磷脂。

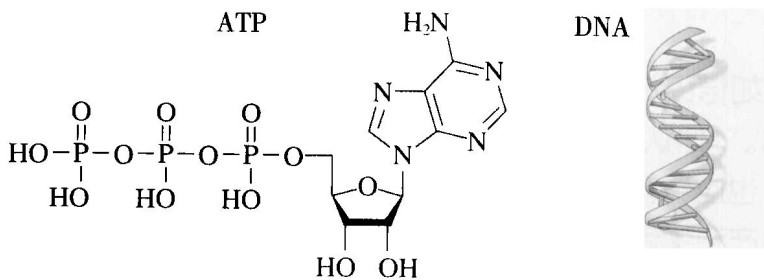


图 1-2 生命活动中最重要的两个含磷物质——ATP 和双螺旋 DNA

表 1-1 磷在一些物质中的含量

生命物质	含量(质量分数,%)	无机物质	含量(质量分数,%)
DNA	9	磷矿石	10.0~15.0
血液	0.04	磷青铜	0.10~0.50
人体	1.00	混凝土	0.01~0.05
骨骼	12.00	红黏土	0.10~0.20
大脑	0.30	砂	0.04
啤酒用酵母	1.80	海水	$10^{-4} \sim 10^{-3}$
植物	0.05~1.00	污水的淤泥(干)	2.60
牛粪	1.00	土壤	0.02~0.50
鸡蛋黄	0.60	钢铁	0.02~0.05
肝脏	0.20	木灰	4.00~9.00
牙齿	8.00	陨星	0.20
牛奶	0.10	骨灰瓷	3.00
烟草花叶病毒	0.50	鸟粪石	10.00

磷在生命起源的化学进化过程中也起到了举足轻重的作用，如在光照条件下，如果没有磷酸存在，腺嘌呤和脱氧核糖就不能合成脱氧腺苷；聚磷酸盐可以在水溶液中与氨基酸缩合形成肽； α -氨基酸与磷结合后，可以自组装成多肽，而且使核苷转化为核苷酸。这些发现从生物进化观点来看是非常有趣的。科学家们利用含有碳同位素的磷灰石矿物，已经找到了可能是地球上最古老生物的痕迹。

正如诺贝尔奖获得者 L. Todd 教授提出的：“哪里有生命，哪里就有磷。”他认为，科学家们在太空寻找新生命的标志不仅仅应该有水，也应该有磷。在后面的章节，我们将分别为大家介绍磷对于人类生产和生活的重要性。