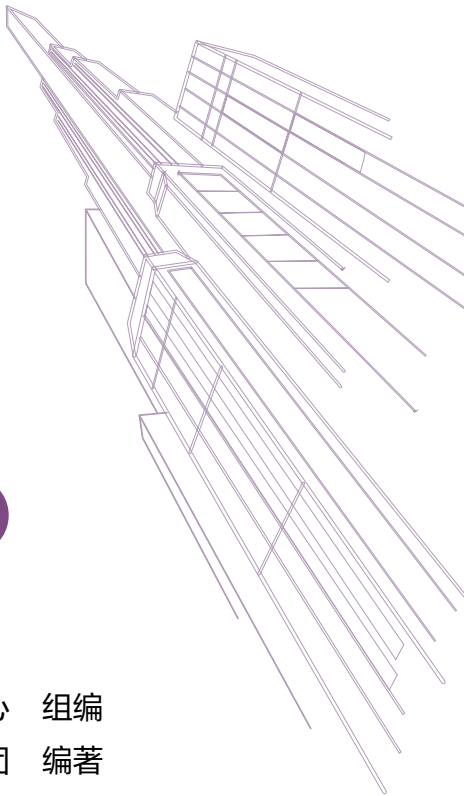




科学家讲科普

科学启示

中国科协青少年科技中心 组编
中国科学院老科学家科普演讲团 编著

科学普及出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

科学启示 / 中国科协青少年科技中心组编; 中国科学院老科学家科普演讲团编著. —北京: 科学普及出版社, 2017.7

(科学家讲科普)

ISBN 978-7-110-09605-5

I. ①科… II. ①中… ②中… III. ①科学知识—普及读物 IV. ①Z228

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 160343 号

策划编辑	郑洪炜 李 洁
责任编辑	李 洁 刘 晨
装帧设计	中文天地
责任校对	凌红霞
责任印制	马宇晨

出 版	科学普及出版社
发 行	中国科学技术出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编	100081
发行电话	010-63583170
投稿电话	010-63581070
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	142 千字
印 张	9.5
版 次	2017 年 7 月第 1 版
印 次	2017 年 7 月第 1 次印刷
印 刷	北京盛通印刷股份有限公司
书 号	ISBN 978-7-110-09605-5 / Z · 229
定 价	35.00 元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

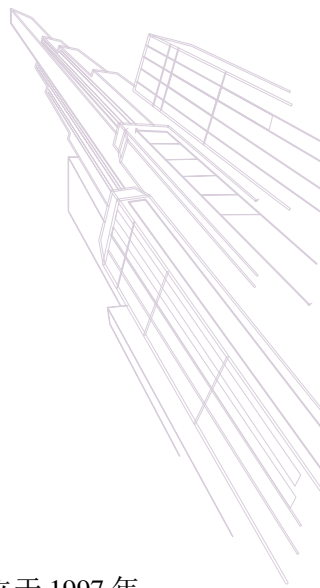
编委会

编委会主任：刘 阳

编委会副主任：刘会强 白武明

主 编：李冬晖

编 委：李 挺 徐文耀 任 高 徐德诗 潘厚任
张继民 石 磊



中国科学院老科学家 科普演讲团简介

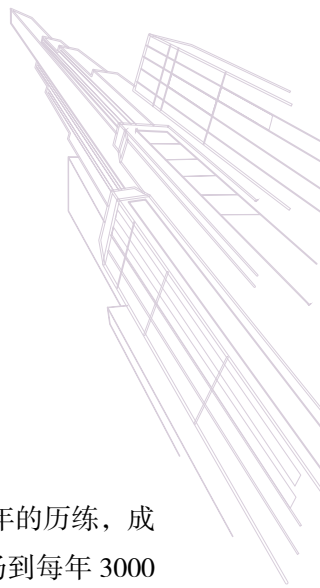
中国科学院老科学家科普演讲团（以下简称演讲团）成立于1997年，主要由中国科学院退休研究员组成，也有高等院校、解放军以及国家各部委的专家、教授参加，还吸收了一些热心科普事业的优秀中青年学者。演讲团以弘扬科学精神、倡导科学思想、传播科技知识为己任，演讲内容涵盖现代科学技术的主要领域。

演讲团成立20年来，受到了中国科学院、中国科学技术协会、北京市和各地政府部门、科协组织以及民间团体的亲切关怀和热心支持，足迹遍及全国各省、自治区、直辖市的1500多个市、县，演讲20000多场，听众超过700万人，其中有大、中、小学学生和教师，各级领导干部，部队官兵，政府公务员和社区居民。演讲团团员本着认真负责、严谨务实的精神，力求使每一场演讲富有知识性、科学性和趣味性，引发和培养听众热爱科学、亲近科学的兴趣，使听众在轻松、和谐、愉快的氛围中，真切地体会到“科学就是力量”“科技就在身边”。

演讲团的劳动受到社会各界广泛关注和高度评价。2002年，时任国务院副总理的李岚清同志亲切接见了演讲团领导和代表，2003年演讲团被评为“全国科普先进集体”，2007年荣获“全国科普教学银杏奖”，2011年被评为“首都市民热爱的品牌科普团”。

科技创新和科学普及是实现创新发展的两翼，演讲团任重道远。我们期待与社会各界建立更多、更密切的联系，我们将以热情、认真、严谨、高质量的工作回报社会的厚爱。





前言

1997年成立的中国科学院老科学家科普演讲团经过了20年的历练，成长了、发展了，从几个人到五十几人，科普报告从一年几十场到每年3000多场。至今科普团已走遍了我国33个省、自治区和直辖市，为700多万听众作了2万多场不同学科、多种风格的演讲，深受青少年的欢迎和社会各界的一致肯定。

这些年我到各地作科普报告时，经常有师生索要我的科普文章，因此在我团策划演讲团20周年庆典活动时，我想，是否能把我国专家们已出版的科普短文选编成册，作为20周年礼物之一，回报听众和粉丝。

2016年10月在广东阳江讲科普时，与孙万儒教授偶尔说起此意，孙教授也觉得很好，并有不少科普文章可提供。当中国科学技术协会李冬晖博士得知这个想法时，把它看作演讲团可挖掘的宝藏之一，立即向中国科学技术协会有关领导请示，得到了领导的肯定和支持，又及时与科学普及出版社联系具体事宜。演讲团团长高度重视，事无巨细，亲手一抓到底。团内众多专家也对此事积极响应，有30多位团员提交了近百篇科普文章，内容涵盖天文、物理、航空、航天、材料、动物、植物、环境、南北极等十几个学科领域。由于篇幅有限，本文集从中挑选了60篇文章结集出版。

本书着重文章的内涵和普及性，装帧简约质朴，使更多读者能以较低的花费分享。唯愿爱好科学的朋友们，一书在握便可欣赏到不同领域不同风格的科普文章。

潘厚任

2017年4月11日



目录

CONTENTS



陆龙骅

- 北极为什么没有臭氧洞 / 001
- 雾、霾不等于大气污染，治理污染才是根本 / 010

徐德诗

- 倾城蒙难中几段救生奇迹的启示 / 020
- 北京地震知多少 / 025

金能强

- 磁悬浮列车 / 028

陈贺能

- 119 号元素：地球期盼的下一个新生 / 042
- 清洁核电技术：钍燃料开发三思路 / 051

刘大禾

- 电磁辐射漫谈 / 062

周家汉

- 神奇的爆破 / 072

孙万儒

- 探秘海洋中的极端微生物 / 079
- 现实世界的微小造物主
——与人类息息相关的微生物 / 086
- 话说青霉素 / 093
- 淀粉，我们的糖源 / 111

陈 钰

○ 提高免疫力好吗 / 114

缓释医学

——让生命尊严谢幕 / 117

李 皓

○ 救治和预防手足口病的几点常识 / 120

城市环境工程须避免破坏城市生态 / 123

王渝生

○ 科学上的伟大发现

——居里一家两代三获诺贝尔科学奖 / 130

金雅芬

○ 两代伯乐与千里马的故事 / 138



北极为什么没有臭氧洞

陆龙骅

中国气象科学研究院 研究员

自南极春季臭氧洞发现后，北极会不会出现臭氧洞也是大家普遍关心的热点问题。特别是 2011 年春季，北极地区出现臭氧异常低值区、臭氧损耗创下历史新高，一时间“首个臭氧空洞已经形成”“史上最大北极臭氧空洞引发科学家担心，面积大如美国大陆”“地球上的人们将遭受前所未有的紫外线辐射，皮肤癌的发病概率亦将大大提高”等报道铺天盖地，众说纷纭。

那么，究竟什么是臭氧和臭氧洞，南极臭氧洞生成和异常的原因是什么？北极真的出现臭氧洞了吗？北极地区未出现臭氧洞的原因是什么？

一、什么是臭氧和臭氧洞

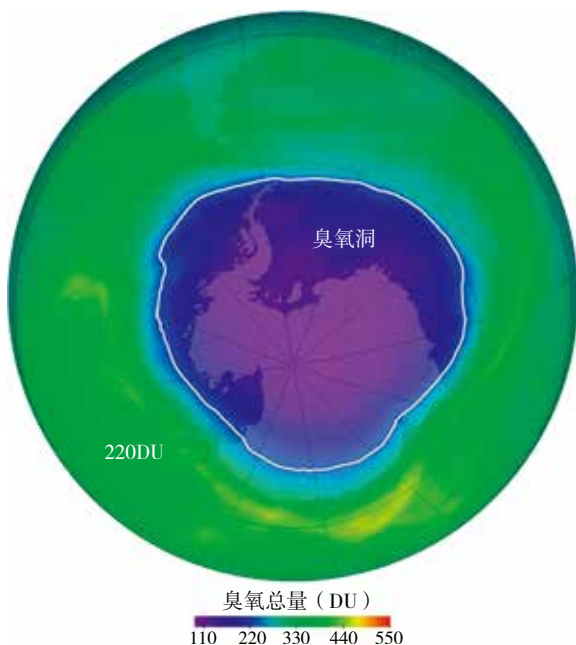
臭氧是一种由 3 个氧原子组成、有特殊“臭”味的气体，主要分布在平流层，特别是在离地面 20 ~ 30 千米的臭氧层里浓度最大。臭氧是一种痕量气体，在大气中含量很少。如果把大气柱中的臭氧全部收集起来，在标准情况下，其全球平均累积厚度仅为 3 毫米左右，即只相当于两个 5 分硬币的厚度。臭氧总量通常用多布森单位（DU）来度量。1 个多布森单位指标准状况下臭氧累积厚度为 0.01 毫米，3 毫米就是 300DU。

可别小看这区区的 3 毫米，就是这个标准情况下，平均 3 毫米的臭氧层，大量吸收了来自太阳的紫外辐射，其中对生物特别有害的 UV-B（波长为 280 ~ 315 纳米的紫外光）辐射大部分（95%）被吸收，对地球生态系统和大气环境有重要影响。可以形象地说，臭氧层是地球生命的保护伞。

若没有臭氧层，我们赖以生存的地球，就会在对生物有致命杀伤的太阳紫外线面前，毫无遮拦，其结果将是地球生灵的灭绝。因此，即使是全球臭氧层的减薄，也会对人类健康、地球生态平衡、近地面大气环境等产生重大影响。

在接近地面的对流层中，臭氧含量并不多，尤其是在近地面，臭氧是一种对生态系统有害的污染物。也就是说，在高空的平流层中，臭氧是“好”的；而在近地面的对流层中，臭氧是“坏”的。

20 世纪 70 年代末以来，全球臭氧总量在下降，尤其是在南极地区下降最为明显。80 年代中期，日本和英国科学家先后发现，春季南极站上空的大气臭氧总量出现了异常，与 10 年前相比减少了 30% ~ 40%；随后，美国科学家用卫星资料证实，这一现象在南极地区具有普遍性。在春季，南极地区臭氧总量急剧减少，会出现低于全球平均值 30% ~ 40% 的闭合低值区，与周围地区相比，就显得南极洲上空出现一个臭氧低值的“空洞”，这就是南极臭氧洞（见下图）。

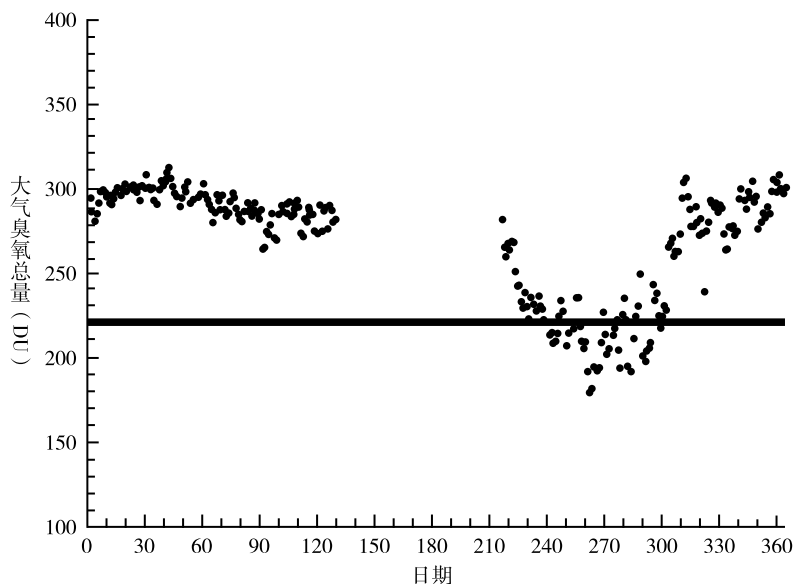


► 南极臭氧洞

臭氧洞是有严格科学定义的，并不是所有的臭氧低值区都能称为臭氧洞。以南极春季出现的臭氧洞为例，南极臭氧洞至少应具备下列三个条件：①臭氧低值的数值低，应在 220DU 以下；②臭氧低值区（低于 220DU）的范围大，经常超过百万平方千米；③臭氧低值持续时间长，经常为 2 ~ 4 个月左右。

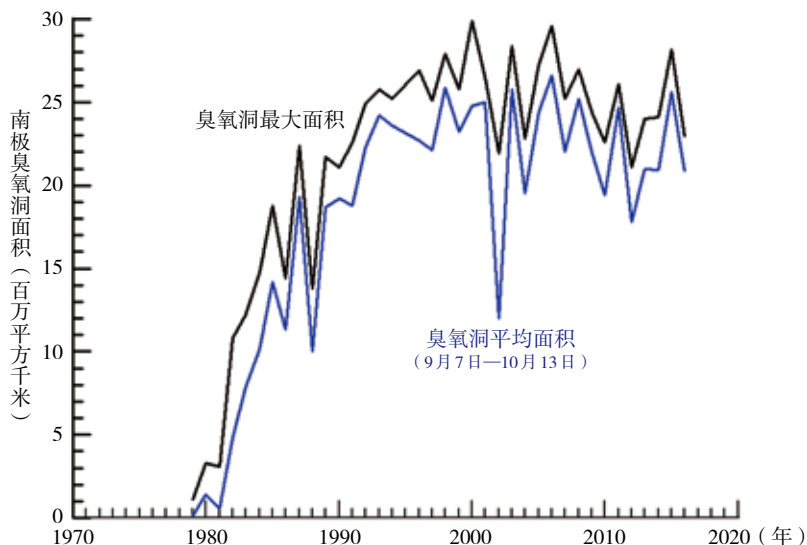
南极臭氧洞并不是

全年都存在的，只在南极春季出现。通常，南极臭氧在 7 月下旬开始减少，8 月中旬后就出现较为明显的臭氧洞，9 月下旬到 10 月上旬臭氧洞的面积最大，10 月底后臭氧急剧增加，臭氧洞逐渐填塞，12 月中旬恢复正常，就不再有臭氧洞了。从我国南极中山站上空大气臭氧的平均日总量变化（见下图）也可清楚地看出这一点。



► 南极中山站上空大气臭氧的平均日总量变化

南极臭氧洞的强度和范围时大时小，各年是有变化的，空洞中的最低值也是波动的。2000 年和 2006 年南极臭氧洞最大时，面积超过 2900 万平方千米，差不多有 3 个中国那么大，占据了整个南极大陆上空，其中心地区的臭氧总量与正常值相比耗损了 70% 左右；而在南极臭氧洞最小的 2002 年，臭氧洞的面积不到 300 万平方千米，只有近 10 年来平均值的 1/7。



► 1979—2016 年历年南极臭氧洞面积的变化

二、

南极臭氧洞生成和异常的原因

南极臭氧洞的出现与人类活动关系密切。为制造冰箱和空调等，人类发明和使用了氟利昂和溴化烃等含氯和溴的化合物。这类污染物质的化学性质十分稳定，在大气垂直环流作用下，会从对流层到达平流层，并通过大气环流的远距离输送和极涡的辐合效应，在极地平流层中积聚。人类活动排放到大气中的氟利昂和溴化烃等含氯和溴的消耗臭氧层物质，在极地平流层低温条件下形成的冰晶云或液态硫酸气溶胶表面，氯和溴的活性被激发，会在紫外线作用下大量消耗臭氧，而为这一反应提供催化剂作用的平流层冰晶云或液态硫酸气溶胶，只有在温度低于零下 78℃时才出现。

因此，形成臭氧洞要满足两个条件：大气中存在有人类活动排放的氟利昂和溴化烃等消耗臭氧层物质（人为因素），春季南极平流层极地涡旋中较长时间的低温（自然因素）。只有这两个必要条件合起来，才是形成臭氧洞的充分必要条件。

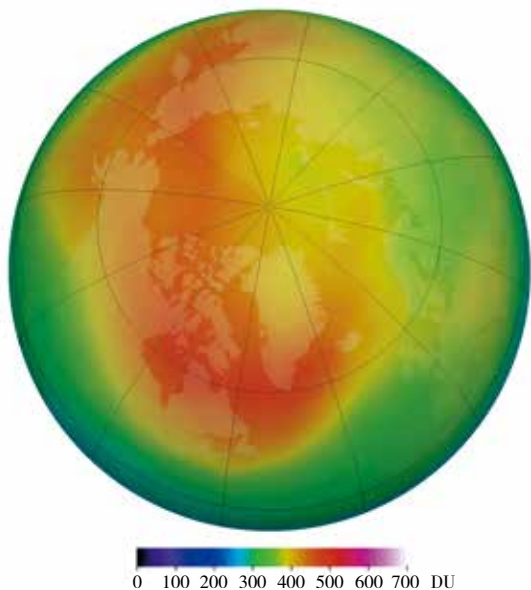
正是由于平流层温度、极地涡旋强度和位置的变化，造成了 2002 年南极春季臭氧洞的异常偏小和各年南极臭氧洞强度和范围的变化。在当前大气环境被污染的情况下，极地大气臭氧亏损的程度更多地将随大气环流，特别是极地涡旋中的低温状况而发生变化。其中，极夜结束后极涡中的持续低温是南极臭氧洞形成和变化的关键因素。

三、 北极从未出现过臭氧洞

近几十年来，北极地区的臭氧也在减少，但迄今为止，还未出现过像南极那样的臭氧洞。在春季，北极地区经常是臭氧总量为 400 ~ 500DU 的高值区，只有 1997 年和 2011 年两年情况特殊，由于平流层极地涡旋中温度偏低，出现了大气臭氧总量的异常低值，但仍未达到臭氧洞的标准。

以 2011 年为例，关于北极臭氧在媒体上的报道出现两个高潮，一次是在 3 ~ 4 月，起因是德国科学家指出 2011 年 3 月北极正面临创纪录的臭氧损失，为此，美国国家地理网站每日新闻栏目刊登了一篇名为《首个北极臭氧洞形成了吗？》(*First*

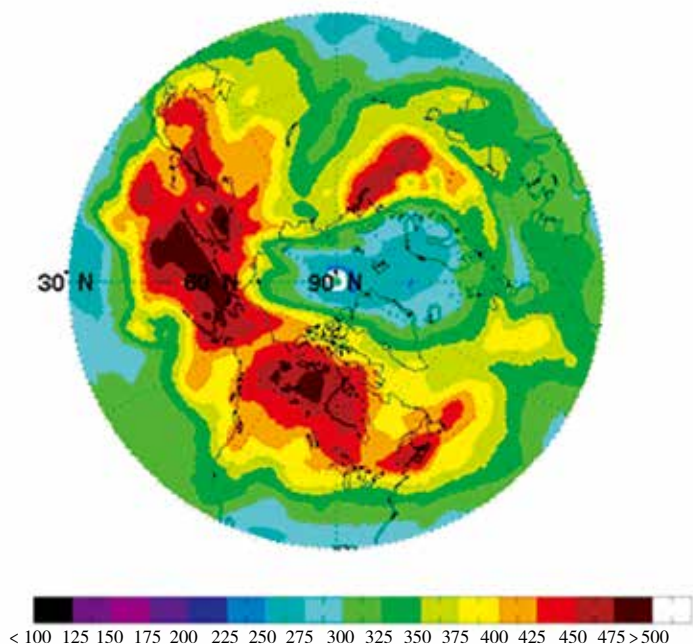
North Pole Ozone Hole Forming?) 的文章，标题是个疑问句。这篇文章发表以后，国内外媒体争相报道，“科学家推测首个北极臭氧洞已经形成”“北极上空疑现臭氧洞，面积大如美国大陆”，异口同声地报道北极臭氧洞。第二个高潮是在 10 月，英国《自然》杂志上登了一篇文章：《2011 年空前的北



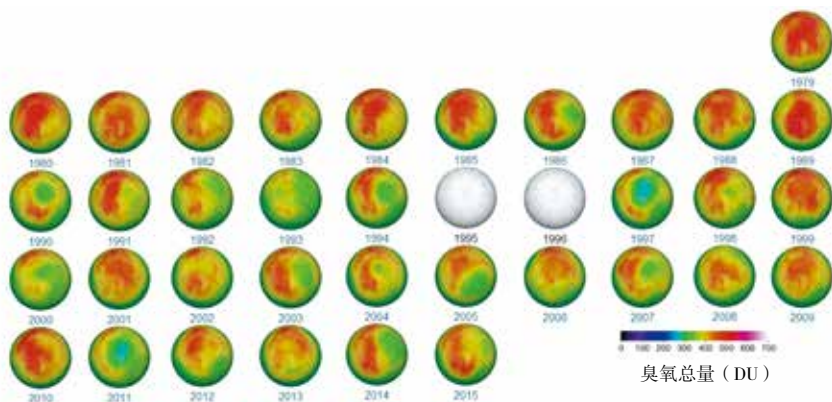
► 北半球 3 月大气臭氧平均分布 (1979—2016 年)

极臭氧损耗》(*Unprecedented Arctic ozone loss in 2011*), 有人就解读为: “2011 年出乎意料的北极臭氧层空洞。” 而英国《自然》杂志的文章只是指出 “2010/2011 年出现了可与南极臭氧洞相比拟的, 北极臭氧化学损耗” “2011 年春季持续低于 250DU 的天数达到了 27 天, 最大面积接近 2×10^6 平方千米 (差不多是德国或加州面积的 5 倍)”, 有些媒体和网站就将此误认为讲的就是北极臭氧洞, 而没有注意这种空前的北极臭氧损耗并没有达到臭氧洞 (低于 220DU) 的标准; 也没有注意在这篇文章中, 虽提到北极臭氧洞的地方有 5 处, 但没有 1 处明确指出 2011 年出现了北极臭氧洞。2011 年 3—4 月, 北极臭氧低值区的大气臭氧总量大多在 250DU 以上, 并未低于 220DU, 尚不符合臭氧洞数值低的特点, 更没有出现大范围和持续时间长的低于 220DU 的低值区。

因此, 从严格的科学意义上来讲, 不能说 “北极首个臭氧洞已经形成”。媒体往往是夸大了, 或未能正确理解专家和专业文献的内容, 国内外



► 2011 年春季的北极臭氧
(王维和等 绘)



► 1979—2015 年历年 3 月北极臭氧月平均值分布
缺少数据的年份用灰色表示。

有很多媒体对此的报道是不确切的。由历年 3 月北极臭氧月平均分布也可以清楚地看出，迄今为止，在北极并未出现过臭氧洞。

四、 北极不出现臭氧洞的原因

北极更加接近人类活动的地区，北极大气中污染物的浓度也比较高，与南半球相比污染更为严重，但是它不满足，或很难满足形成臭氧洞的平流层极涡中低温的必要条件。南极地区是一块由海洋包围的冰雪大陆，而北极是一片由大陆包围的冰雪海洋。加之南北两半球海陆分布的差异，对气候和大气环流会产生很大影响。例如，全球最低气温出现在南极地区，南极的最低气温至少比北半球低 20°C ；在平流层极地涡旋中，南极的温度也低于北极。虽然在北极冬季平流层极地涡旋中的温度也能低于零下 78°C ，但在极夜过后的春季，北极平流层极地涡旋中的温度大多在零下 78°C 以上，在春季北极平流层中，很难满足形成冰晶云的低温条件。北极春季没有臭氧洞，与北极春季平流层温度高于南极春季、平流层冰晶云等很少出现，以及北极地区大气臭氧的本底值较高有关。

人类大多居住在北半球，北极臭氧减少对于人类的影响超过南极。在南极地区，除考察队员外，没有常住居民，人们对北极臭氧减少的

担忧也是理所当然的。对此关注是应该的，而恐惧则没有必要。即使是 2011 年 3 月，北极大气臭氧总量接近有观测资料以来的最低值时，也并没有出现低于 220DU 的区域，低值区的大部分地区臭氧总量在 300DU 左右，也就是说，与大气臭氧的全球平均值相当。2011 年 3 月北京地区上空的大气臭氧总量约为 375DU，我国大部分地区也大多在 350DU 以上，到达地面的紫外辐射也是正常的，不必惊慌。

五、结语

1997 年和 2011 年春，北极惊现空前的臭氧低值区，虽尚未达到“洞”的标准，但臭氧的化学亏损基本达到了出现“洞”的边缘，这引起大家的关注。如果由于气候变化，使北极平流层温度更低，时间持续更长，那么在极端情况下，真正出现北极臭氧洞的可能性也不能排除。南极臭氧洞和北极臭氧严重耗损都在向人类敲响警钟！



► 南极中山站大气臭氧观测

人类只有一个地球，环境被污染后，其影响往往很难消除。人类活动排放的含氯和溴的消耗臭氧层的物质对臭氧的破坏作用巨大，这些物质在大气中的寿命很长，它们破坏臭氧后自身都能再生。即使目前人们不再向大气排放这类污染物，其对臭氧的破坏影响仍可以维持几十年。

作为发展中国家，近年来，我国经济持续高速发展，对使用消耗臭氧层物质及其代用品的需求也在日益增加，因此，在淘汰消耗臭氧层物质时，我国需要付出更大的努力，做出更大的牺牲。我国除了积极参与国际合作、采取切实措施逐步淘汰消耗臭氧层的物质外，还加强了对全球臭氧变化和南极臭氧洞的监测和研究工作。目前，在我国内地，有北京（香河）、昆明、青海（瓦里关山）、浙江（临安）、黑龙江（龙凤山）、拉萨六个站进行大气臭氧监测，在香港、台湾地区有三个观测站进行大气臭氧监测。在南极，中山站的气象考察人员也正在密切监视着南极臭氧的变化情况。

令人欣慰的是，由于国际社会的共同努力，特别是《蒙特利尔议定书》的执行，目前大气中消耗臭氧层物质增长的趋势已被扼制，平流层大气中氟利昂等污染物质的浓度，基本上处于平稳状态，并慢慢开始下降。与此一致，近些年南极臭氧洞的面积将继续保持稳定，然后开始缓慢减小，到2070年后有可能恢复到1980年的水平。

原文发表于《人与生物圈》，2016年第1期。

雾、霾不等于大气污染，治理污染才是根本

陆龙骅

中国气象科学研究院 研究员

近年来，在我国，特别是京津冀地区，雾、霾及以 $PM_{2.5}$ 为主要特征大气污染事件频发，成了全社会关注的焦点。雾、霾几乎成了大气污染的代名词，简直是谈雾霾色变，甚至有的地方喊出了“消灭雾霾”的口号。事实上，雾与霾均是古今中外历来有之的天气现象，并不等于大气污染，也并非人力可以消除。要解决雾、霾污染带来的诸多困扰，治理大气污染才是根本之道。

一、雾、霾是两种自然的天气现象

雾和霾是两种不同的天气现象，古今中外历来有之，两者产生的天气背景也有不同。



► 甲骨文中的雾和霾

(资料引自：张德二主编，《中国三千年气象记录总集》)

早在殷墟甲骨文中，我国就有雾和霾这两种自然天气现象的记录。张德二主编的《中国三千年气象记录总集》把收集的甲骨文卜辞按气象内容分为 12 类，其中“视程障碍类”中所列的就是霾和雾。也就是说，在距今 3000 年前、人类活动尚处于低级水平时，雾和

霾就有了。素有雾都之称的英国伦敦，1952年5月的伦敦烟雾（smog）事件及其死亡人数，给全世界留下了深刻印象。在治理了60余年后的今天，烟雾的污染当然是看不到了，但伦敦的雾并未被“消灭”。

在气象观测规范中，雾（fog）是一种大量微小水滴浮游空中，常呈乳白色，使水平能见度小于1.0千米的现象。形象地说，雾就是接近地面的云，满足一定的天气条件即可形成。

雾是湿的，主要为悬浮于近地面空气中的小水珠。从相态上来说，可以是水雾、冰雾或混合雾。与云的差别仅在于出现的高度不同。雾的形成，与天气条件有关，可分为冷却雾（平流雾、上坡雾、辐射雾）和蒸发雾（海雾、湖雾、河雾）两种。



► 雾



► 霾

相较于雾，霾这个概念对公众显得更为陌生。霾（haze）也可称为灰霾或烟霞，在气象学上指大量极细微的干尘粒等均匀地浮游在空中，使水平能见度小于10千米的空气普遍混浊现象。霾是干的，主要为悬浮于空气中的干气溶胶粒子，大多在近地面稳定无风及有逆温时出现，有重要的空气质量指示意义。形成霾的气溶胶颗粒可以源于自然，例如风扬尘土、火山灰、漂浮的海盐、花粉、真菌孢子、细菌、天然林火导致的烟尘等，也可以来自人类活动，例如化石燃料燃烧、生物质（秸秆、木柴）的燃烧、垃圾焚烧、汽车尾气以及道路扬尘、建筑施工扬尘、工业粉尘、厨房烟气等。当前，霾中的气溶胶粒子主要源于人类活动。

雾和霾在能见度范围、湿度、厚度、边界、颜色和日变化特征等方面都有明显不同。

(1) 能见度范围不同：雾的水平能见度小于 1 千米，霾的水平能见度小于 10 千米；

(2) 相对湿度不同：雾大于 90%，霾小于 80%，霪〔又称轻雾 (mist)〕介于 80% ~ 90%；

(3) 厚度不同：雾的厚度只有几十米至 200 米左右，霾的厚度可达 1 ~ 3 千米左右；

(4) 边界特征不同：雾边界很清晰，霾没有明显的边界；

(5) 颜色不同：雾乳白色、青白色，霾黄色、橙灰色或红色；

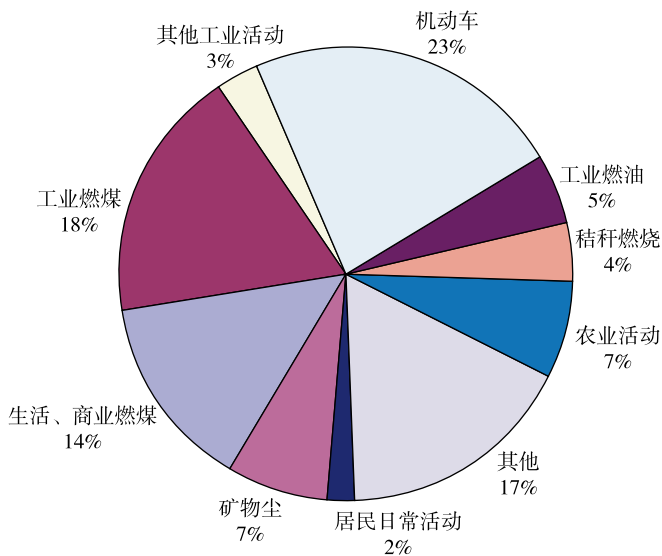
(6) 日变化不同：雾午夜至清晨最易出现，霾日变化特征不明显。

除能见度外，雾和霾最大的不同在于相对湿度，在能见度符合条件的情况下，通常相对湿度在 90% 以上是雾、小于 80% 为霾。天气现象中轻雾 (mist) 或烟幕 (smoke screen) 时相对湿度可为 80% ~ 90%，指的就是这类微小水滴或已湿的吸湿性质粒所构成的灰白色的稀薄雾幕，使水平能见度大于等于 1 千米至小于 10 千米，或大量的烟存在空气中，使水平能见度小于 10 千米的现象。

二、雾、霾与大气污染的关系

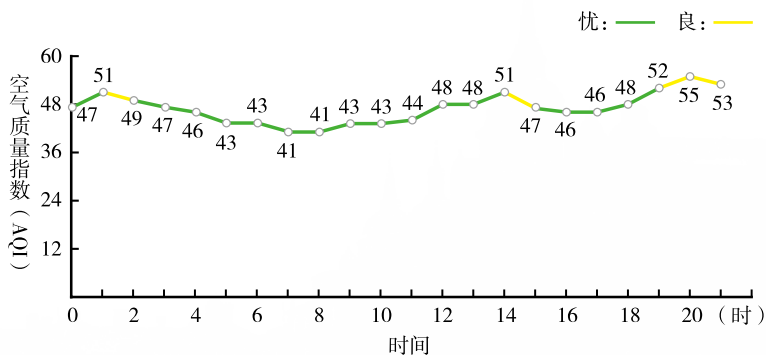
大气污染，指危害人体健康及周边环境的物质对大气层所造成的污染。目前已知的大气污染物约有 100 多种，有自然因素（例如森林火灾、火山爆发、沙尘暴等）和人为因素（例如工业废气、生活燃煤、汽车尾气等）两种来源，这些物质可以是气体、固体或液体悬浮物等。由于自然或人为原因，使大气中某些成分超过正常含量或排入有毒有害的物质，都会对人类、生物和物体造成危害。当前，影响我国的主要是由于工业生产和交通运输所造成的煤烟型污染。

从雾本身来讲，对雾滴中有无污染物并无界定。在全球变暖的大背景下，自 20 世纪 80 年代以来，我国雾日天数就呈现减少趋势，并非人们



► 影响大气的污染主要来源
(张小曳等 绘)

印象中的越来越多和“整天雾气腾腾”。在大气污染较为严重的地区和季节，雾滴中的污染物浓度也较大；而在大气污染并不严重的地区和季节，雾滴中的污染物浓度并不大。作为公众所熟知的天气现象，庐山一年中有200多天有雾，可那里污染并不严重。有雾都之称的山城重庆，位于长江和嘉陵江交汇之处，水汽丰沛，全年多雾、秋冬更甚。而在重庆全天有雾时，有时空气质量指数并不高，例如，2016年10月12日重庆全日被雾笼罩，空气质量指数仍大部分为50以下的优。



► 2016年10月12日重庆空气质量



► 2016年10月12日重庆的雾（18:00）

相对于雾而言，霾与大气污染的关系更为密切。如今的霾，与人类活动影响有关的占据了多数。人类活动的气溶胶污染能使都市霾出现频数增加，而对水雾的影响较少。霾大多在近地面稳定无风及有逆温时出现，而此时往往也是大气污染较为严重的时候。

当前，在各种媒体和公众印象中，比“雾”和“霾”出现更多的“雾霾”一词又是什么呢？首先，在科学名词中，并没有“雾霾”一词。伦敦烟雾事件用的是“smog”，在中国的自然科学名词和大气科学名词中都翻译为“烟雾”，有人将此翻译为“雾霾”是不对的。其次，如果因为雾和霾都是能见度较差的视程障碍类天气现象，有时还很难区分，因此将此类天气称之为雾霾天气，如同有时把雨、雪不加区分，称之为雨雪天气一样，作为公众的口头语言，也不是不可。但作为书面语言，还是用“雾、霾”或“雾和霾”为好。至于有些媒体将雾霾作为污染事件的代表，则对公众是一种误导，并不妥当。

环保部门是用空气质量指数（air quality index, AQI）来定量描述空气质量状况的。AQI分为六级，数值越大空气污染状况越严重。在我国，参与空气质量评价的主要污染物有细颗粒物（ $PM_{2.5}$ ）、可吸入颗粒物（ PM_{10} ）、二氧化硫（ SO_2 ）、二氧化氮（ NO_2 ）、地面臭氧（ O_3 ）和一氧化

碳（CO）六种。北京的首要污染物，在冬春是细颗粒物，而在夏季则为地面臭氧。

由此可见，人类活动所产生的污染物，既是生成霾所不可缺少的干气溶胶粒子的来源，同时也是大气污染源。从另一方面讲，形成雾、霾大多需要无风、稳定的天气条件，而这样的天气条件同时也有利于大气污染物的聚积。就这样，雾、霾与大气污染在这个关键的环节上联系在了一起，在公众的印象中，越来越“难解难分”。霾也似乎与污染关系更密切。近 30 余年来随着污染的增加，霾日天数也确实有增加的趋势。

人们往往以为天空灰蒙蒙，空气刺鼻就意味着 AQI 爆表，看起来晴朗，不觉得呛鼻则意味着没有污染？实际上，有的时候，眼睛和鼻子可能欺骗了你。在 AQI 监测的六种污染物中，PM_{2.5} 等颗粒物是造成能见度降低、让天空看起来灰蒙蒙的元凶，臭氧有一种刺激性臭味（如复印室里的呛鼻气味）；而其他污染物在可见光波段对光的吸收和衰减效应很小，对能见度几乎没有影响。

空气质量指数与分级

等级	空气质量指数
优	0~50
良	51~100
轻度污染	101~150
中度污染	151~200
重度污染	201~300
严重污染	301~500

三、PM_{2.5} 与大气污染

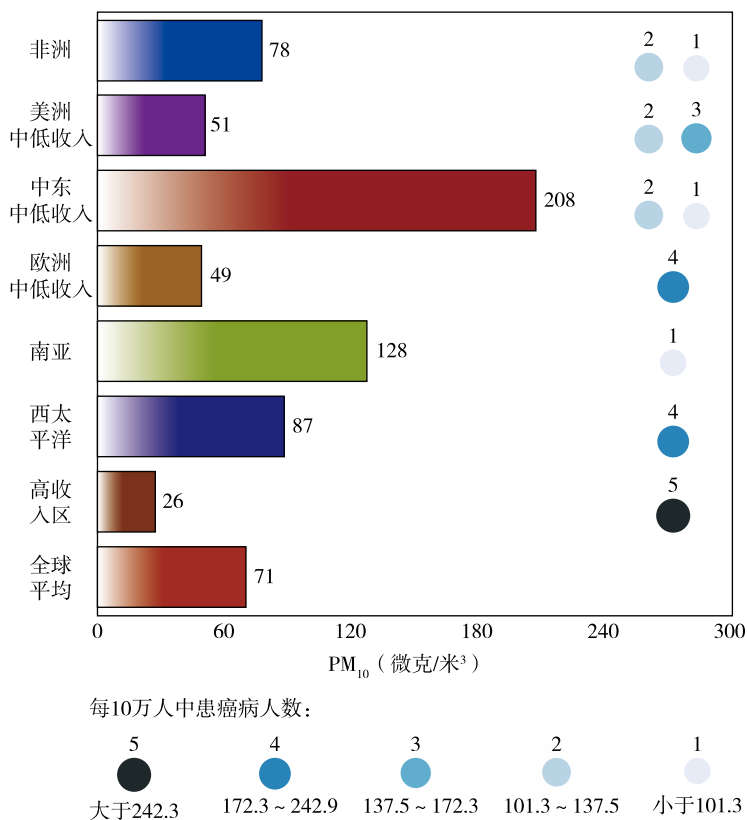
近年来，在媒体上与雾、霾一起经常出现的是 PM_{2.5}，PM 是英文 particulate matter（颗粒物）的简称，是一个群体的概念。PM_{2.5} 是细颗粒物，指的是所有粒径小于 2.5 微米的粒子；PM₁₀ 是可吸入颗粒物，为所有粒径小于 10 微米的粒子，其中包括 PM_{2.5} 和 PM₁₀。PM₁₀ 与大气污染关系密切，能进入人体的气管和支气管，而其中的 PM_{2.5} 更能进入肺气泡，对人体伤害很大，因此，备受人们关注。

出现雾或大气能见度差时并不一定 PM_{2.5} 的浓度就大，在相同 PM_{2.5} 浓度的情况下，空气湿度不同，大气能见度也会有很大差别。在大气污

染严重的地区，雾、霾中以 $PM_{2.5}$ 为主要特征大气污染物浓度很大，而在污染不严重的其他地区，雾、霾中大气污染物的浓度并不高。

雾、霾及 $PM_{2.5}$ 升高等，将导致大气能见度差，影响海、陆、空交通。侵袭呼吸系统，影响人类健康。减少地面紫外辐射，阻碍植物光合作用，也会对天气和气候产生影响。

美国国家航空航天局公布了卫星观测的 $PM_{2.5}$ 全球分布，从北非、经中东到中国东部，是全球 $PM_{2.5}$ 平均浓度的高值区。其中，数值最高，也就是污染最为严重的是中国河北、山西和山东等地区；而由世界卫生组织公布的 2008—2012 年世界各区域实测 PM_{10} 浓度分布则指出，中东和南亚地区是全球 PM_{10} 最大的地区，中国所在的西太平洋地区， PM_{10} 区域平



► 2008—2012 年世界各区 PM_{10} 浓度与癌症发病率

均值并不是全球最大；西欧、北欧、北美洲、大洋洲等高收入国家所在地区 PM_{10} 浓度最低，空气质量最好，而从 2012 年全球癌症患病情况分布则可看出，这些地区却为癌症患病高发区。在 PM_{10} 或 $PM_{2.5}$ 较高的中国和其他发展中国家，癌症发病率和死亡率并不高。说明了癌症发病率和大气颗粒物浓度等并无必然联系。

四、要治理大气污染而非雾、霾

在大气污染严重的地区，雾、霾天气出现时，近地面大气静稳，不利于污染物扩散，近地面以 $PM_{2.5}$ 为代表的大气污染物的浓度剧增。静稳天气和大气污染是雾、霾等污染事件形成和维持的重要因素。其中，大气污染才是目前面临的最大的问题，也是污染事件的元凶。把雾、霾等同于 $PM_{2.5}$ 也是不对的。

厘清了雾、霾与大气污染的关系，我们也会明白，前者只是表象，后者才是问题的本质。不弄清这一点就去治理，就会导致思路出现偏差，本末倒置做无用功。

有一些地方，由于错把“风吹雾霾散”这一表面现象当成解决问题的办法，做了劳民伤财的荒唐事。例如，兰州处于“两山夹一河”的峡谷盆地中，风力较小，污染物输送和扩散缓慢。兰州的主导风向是偏东风，大青山正好处于上风向。1997 年，该市曾提出实施大青山削山通风工程，意图在东边打开一个缺口，“借东风”吹走雾、霾，但最终不了了之。在“削平大青山”早已成烟云的 15 年后，《兰州市“十二五”环境保护规划》又拟在“十二五”期间，投资 6000 万元，试点研究实施削山通风工程，解决因地理因素造成空气扩散不畅的现状，改善兰州大气环境。据说这一工程的要点为：把一条山脉夷平 150 米，以便为市区开辟一条通道，使这个污染严重城市的有害空气排放出去，使新鲜空气流进来，从而改善人们的工作和生存环境。而当地的反对意见则认为，此举有“打着改善环境的旗号、却是为了‘削山造地’土地开发利用，把‘环境论’当成了敲门砖”之嫌。从科学性上来说，把一条山脉夷平 150 米就能引东风入金城也是论据不足



的。在出现雾、霾天气时，受天气系统的影响，城区和郊区往往风都很小，削山后无风可引。此举像“在喜马拉雅山脉上打开一个缺口，引孟加拉湾水汽北上，解决西北干旱问题”一样是荒唐的。

我国大气污染严重的地区，如京津冀、长三角、珠三角以及山西南部等地，雾、霾的多发与地理环境也有一定关系。以北京为例，冬春季雾、霾多日不散，空气质量指数居高不下，确实有地形阻挡等不利因素。但就此去“愚公移山”，消除有利于雾、霾生成的地理条件，不理智也不现实。

在国外，伦敦的治理经验可作为借鉴。在著名的“伦敦烟雾事件”发生、造成严重损失后，英国人的反应并非用“引风”或别的手段根除雾、霾，而是颁布了世界上第一部空气污染防治法案《清洁空气法》，针对各种废气排放进行严格约束，并制定了明确的处罚措施，有效减少了烟尘和颗粒物。经过近半个世纪的综合治理，逐渐改善空气质量。在国内，为保障亚洲太平洋经济合作组织（APEC）会议期间空气质量，北京及周边地区采取了一系列“史上最严”措施，使大气污染治理能坚守“最后一公里”。整个APEC会议期间，北京PM_{2.5}降低27%，一氧化氮降低75%，一氧化碳降低15%。尽管“APEC蓝”是政府用超常规手段治理出来的，并非所有保障措施都能长效化。但只要各级政府下定决心，逐步调整区域产业结构，加大治污力度，再加上老百姓的响应配合，美丽的“APEC蓝”或“北京蓝”一定会在中国成为新常态。这就是希望！

由此看来，治理大气污染才能真正解决问题。李克强总理在“两会”答记者问中已经清晰地阐述了这一思路：“我们说要向雾、霾等污染宣战，可不是说向老天爷宣战，而是要向我们自身粗放的生产和生活方式来宣战。”

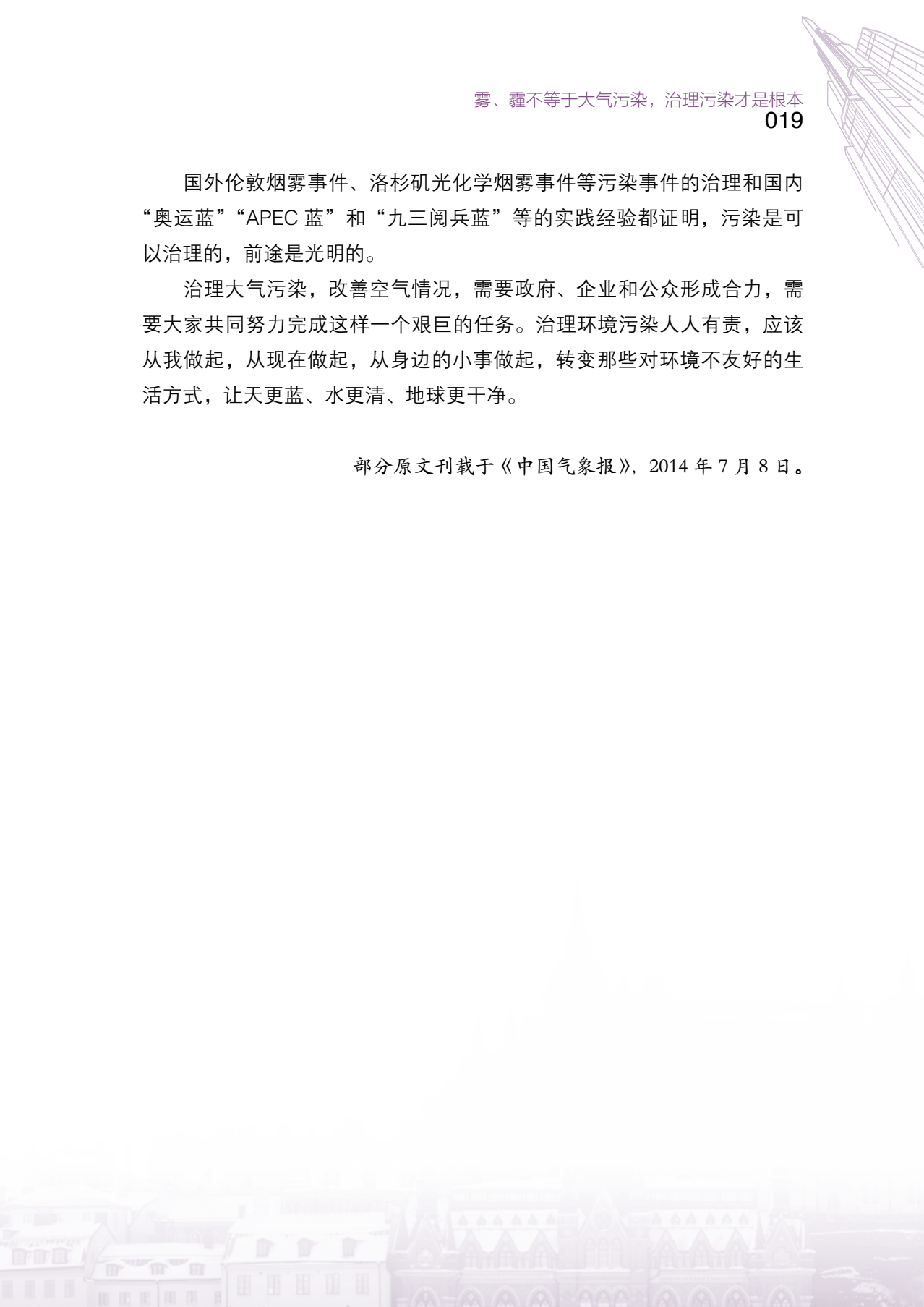
正如政府工作报告中所说，强化污染防治，以雾、霾频发的特大城市和区域为重点，以细颗粒物和可吸入颗粒物治理为突破口，抓住产业结构、能源效率、尾气排放和扬尘等关键环节，健全政府、企业、公众共同参与新机制，实行区域联防联控，深入实施大气污染防治行动计划。这些都是治理大气污染的当务之急，也是解决雾、霾困扰的根本之道。

当前解决雾、霾和PM_{2.5}带来的诸多困扰，治理大气污染是根本之道。

国外伦敦烟雾事件、洛杉矶光化学烟雾事件等污染事件的治理和国内“奥运蓝”“APEC 蓝”和“九三阅兵蓝”等的实践经验都证明，污染是可以治理的，前途是光明的。

治理大气污染，改善空气情况，需要政府、企业和公众形成合力，需要大家共同努力完成这样一个艰巨的任务。治理环境污染人人有责，应该从我做起，从现在做起，从身边的小事做起，转变那些对环境不友好的生活方式，让天更蓝、水更清、地球更干净。

部分原文刊载于《中国气象报》，2014 年 7 月 8 日。



倾城豪难中几段救生奇迹的启示

徐德诗

中国地震局 研究员

唐山地震是中华人民共和国成立以来迄今为止发生的震灾最为惨烈的地震，举世罕见，被联合国确定为 20 世纪全球十大自然灾害之一。

地震后，唐山市的生活和社会设施几乎全部被毁灭，灾民生存陷入绝境。但是，在倾城豪难中，唐山人民面对灾难、自强不息，创造了一个一个奇迹。如大地震中无一人伤亡的“青龙奇迹”、万名开滦矿工冷静有序撤离生还的奇迹、大震后无大疫的奇迹，特别是突破生命极限的救生奇迹。这些奇迹的创造，显示了生命顽强、求生欲望的强大威力，显示了百折不



► 科普演讲团团员在唐山地震纪念碑前的留影

挠、勇往直前的抗震精神，凝练了警示后人、有效减灾的应对措施和不断探索、开拓创新的经验教训。这些是人类应对地震灾害的宝贵财富。本文讨论的是突破生命极限救生奇迹的启示。

一般人认为，不吃不喝，人的生命极限是 72 小时，超过这个极限活下来的是奇迹。然而，每次地震中，几乎都有超过生命极限的奇迹发生。奇迹给苦难中的灾民，带来生的希望和信心。研究奇迹可给其他人提供减少伤亡思路和途径，创造奇迹是生命顽强的延续、最闪亮的标志。

唐山地震过去 40 年了，翻开多年前的回忆报道，仍然会引起我们新的思索，尤其是那一段段救生奇迹，唐山地震中被压埋 303 小时 38 分（约 13 天）的幸存者卢桂兰、被困在死亡废墟里 8 天 7 夜的王树斌、王子兰、孙桂敏……一个个鲜活的生命，是怎样幸存、怎样获救的，这是人类应对地震灾害、维护生命的宝贵财富。对于从未经历过灾难的人，更将是难得、重要、深刻的启示。

一、要珍爱生命、要有信心，不要放弃生命

生命是最宝贵的，无论何时何地，无论遇到多大的挫折，都不要轻易放弃生命，不要放弃生的希望。对生命要有信心，信心来自血肉相连的亲情、同甘共苦的友谊、绵长温馨的回忆、美好未来的憧憬。越是困难，越是危急，信心是生命最重要的支撑。有了这种支撑，才能创造救生奇迹。

卢桂兰说，她相信自己能活过来，最重要的是她内心始终存有一种强烈的信念：“一定会有人来救我，我一定能活着出去。”“坚持住，一切困难都会过去”“没有闯不过去的难关。”这是她在废墟中时时念叨的话。寂寞、恐惧时，她想自己还可能幸存的孩子，想他们还需要自己。

王树斌在废墟中想的是：“一定要活着出去”“我不能死在这儿，我还有父母，我还要出去和他们一起生活，还要尽赡养他们的义务。我还有女儿，我要把她养大成人，我要对得起妻子的临终所托。”

王子兰说：“能熬过那难忘的 8 天 7 夜，还是因为坚信有人正在尽最大的努力营救我们。”“不管是遇难被埋的灾民还是我们的救灾人员，只要有



“有信心有勇气就一定能战胜灾难。”“地震并不可怕，可怕的是绝望，只要有信心就一定能从黑暗中走出来。”

朴素的想法，就是对生命的信心。

二、要激发智慧、沉着冷静，不要盲目冲动

人类生命的独特性表现是智慧。危难艰险中，方能显现平时积累的人的优秀素质。卢桂兰、王树斌在遇到地震这样的自然灾害时，凭借自己的智慧、沉着冷静的态度，顽强地与死神搏斗，获得了新生。

在被压埋中，卢桂兰提醒丈夫工友不要呼喊，一定要保持体力，等待救援人员的到来；她时而沉睡保持体力，时而清醒地认真听地面的动静，听寻救援人员的脚步声，一有动静就呼喊、敲打废墟，向地面求救。有时，她还唱唱歌，唱《下定决心》和《东方红》。

在救援扒挖中，王树斌与地面人员密切配合。地面人员喊话，要他退到安全一点的地方，他就往后爬退；要他不要过多地呼喊，他就静静地待着。扒的过程中，他听到一个战士要钻进洞里看他所处的位置，便几次呼喊：“有危险，解放军不要进来！”

23岁的王子兰曾经是一个惧怕死人的人，可是在周围满是伤员的废墟中，她表现得异常冷静，她知道只有冷静才能帮助她渡过生命的难关。因为压埋的时间比较长，身体逐渐虚弱的她想出了保持体力的求助窍门：如果上面有拉床、汽车鸣笛的声音，就说明救援的队伍在上方，她和工友就大喊“救命”，而废墟上面没有动静时，她们就静静地躺着保持体能。从废墟中走出来，过上幸福生活的她告诉大家：冷静、乐观，不言放弃就一定能战胜困难，走出黑暗。

三、要把握机遇、扩大机遇，不要消极等待

创造生命奇迹，机遇是必不可少的，而机遇又是非常难得的。巨大灾难中，是机遇给了生的希望。机遇可能只是一瞬间，或者只有很短的时间，

抓住它就是抓住了生命。

卢桂兰的机遇是她曲着腿，被挤压在只有一米多长的床下，人基本上不能活动。支撑着的床架掩护了她。性格坚强的卢桂兰用各种方式寻求挑战生命极限的方法。渴了，她就从裤子上撕下一块布，蘸尿喝，为生命补充能量。

王树斌的机遇是，那楼塌下来之后，楼板直接搭在床栏杆上，床没有塌，床栏杆救了他一命。在黑暗的日子里，在开滦总医院的钢筋废墟下面的碎石中，他向外扒出一条十几米长、狭窄而漫长的巷道，等待救援。渴了就找空瓶子里的盐水和葡萄糖喝，饿了就扒开枕头吃里面的谷皮。他不停地向前爬着。

女护士王子兰、孙桂敏的机遇是，被埋在人字形的结构中，熬过了8天7夜。幸运的是，她们在黑暗中摸到了一小瓶葡萄糖水，为了维持更久的时间，两个患难与共的姐妹在废墟中小心翼翼地利用这些维持生命的宝贝，饿了、渴了就喝上一小口。

四、要坚持不懈、锲而不舍，不要放弃救援

创造生命奇迹，离不开救援人员。虽然唐山地震时，还没有专业紧急救援队伍，现代化的搜索、营救设备，现代化的紧急救援理念、技术。面对垮塌的建筑物，救援人员是用撬棍、铁镐和双手和幸存者们共同创造了奇迹。唐山人民以及十余万名解放军忘我投入、顽强拼搏、坚持不懈、锲而不舍，真正做到了不言弃、不放弃，只要有1%的可能、就要做出100%的努力。

救出卢桂兰的是北京军区38军114师341团四连的解放军官兵。他们在基建工程兵61大队两台吊车的配合下，对唐山商业医院大楼西侧展开了重点突击，扒开了50多块水泥板，清走了近50立方米的废墟。从倾倒的水泥板缝隙里发现了一张病床、听见了里面传出了一位妇女微弱的呼救声。在施救中，他们担心使用工具碰落水泥碎块、碎砖，会砸伤幸存者，就用手扒。他们担心用吊车吊水泥板，可能会断裂，砸伤幸存者，就组织人员用肩扛。1吨多重的水泥板，12名战士鼓足力气，扛走了3块。他们

实时研究改进施救方案，扒开病房西侧的断墙，平行打出通道。班长李伟和战士杨树海、李宝堂、董长林用手往下扒墙皮白灰、抠灌结沙浆、掏水泥裂缝，很快掏开了一个小洞。班长李伟等人钻进洞内，不顾手指疼痛，越扒越快。他们怕这位幸存妇女被灰尘呛着，用两个口罩捂住她的嘴和眼。从洞口往外搬运时，为了不使她碰伤和擦伤，救援的战士侧身趴在洞外，把堆在她周围的碎砖石，捧到帽子里，然后一一传递出去。这是多么顽强的救援、多么感人的救援。

救出王树斌的是北京军区坦克一师装甲步兵团九连一排的解放军官兵。他们在两台吊车的密切配合下、在兄弟连队的支援下在开滦总医院数百吨的废墟中，刨出了一个通往里面的洞。他们连续工作十几个小时，这一帮人上去了，把那一帮人换下来；那一帮人上去，把这一帮人换下来。为了避免尘土呛坏下面的王树斌，战士们不停地在抢救现场泼洒着清水。一名解放军战士给刚刚被救出的王树斌手中放上一枚五角星。刚从废墟中被抬出来的王树斌，举起右臂用微弱的声音喊着：“毛主席万岁，共产党万万岁”，打动了亿万中国人。这是王树斌亲身感受了解放军官兵徒手一天抢救出他的过程后，发出的心声。

上述救生奇迹启示中有内在的因素、有外部的力量，都是不可缺少的。救生奇迹是幸存者和所有参与行动救援者共同创造的。

参考文献

- [1] 卢桂兰 [EB/OL]. <http://baike.so.com/doc/6422689-6636361.html>.
- [2] 张崇发. 生命的赞歌——唐山大地震中的救人故事 [EB/OL]. (2014-10-16) <http://www.rmzxb.com.cn/c/2014-10-16/393219.shtml>.

原文收录于《中国防灾减灾之路 2016》，气象出版社 2016 年出版。



北京地震知多少

徐德诗

中国地震局 研究员

据统计，北京市行政区划范围内，每年发生可记录到的地震 150 次左右，绝大多数没有感觉，少数有感。如，1990 年 9 月 22 日亚运会开幕的上午，在昌平南发生了一次 4.0 级地震。但是，北京历史上也遭受过多次破坏性地震的袭击。

从历史记录上看，自公元 438 年（北魏太延四年）以来，北京有地震记录 168 次。北京及邻近地区大于 6 级的地震共发生了 8 次，即：

1057 年 5 月 宋嘉祐二年北京南部 6.8 级地震；

1337 年 9 月 8 日 元顺帝至元三年辛巳，怀来—延庆一带 6.5 级地震；

1484 年 1 月 29 日 明成化二十年一月庚寅，居庸关一带 6.8 级地震；

1536 年 10 月 22 日 明嘉靖十五年十月庚寅，通州南 6.0 级地震；

1665 年 4 月 16 日 清康熙四年三月二日午刻，通州 6.5 级地震；

1679 年 9 月 2 日 清康熙十八年七月二十八日，三河平谷一带 8.0 级地震；

1720 年 7 月 12 日 清康熙五十九年六月癸卯，沙城 6.8 级地震；

1730 年 9 月 30 日 清雍正八年八月十九日，北京西郊 6.5 级地震。

除这 8 次北京周围的地震，北京城区，历史上也记录过两次 5 级以上地震，即：

1076 年 12 月 辽太康二年十一月，前门附近 5.2 级地震；

1627 年 2 月 5 日 明天启七年正月十八日，莲花池附近 5.0 级地震。

在现代史上，造成死亡人数最多的是 1976 年 7 月 28 日的河北唐山 7.8 级地震。





北京的古建筑是地震破坏的最好见证。

宣武门外的法源寺，在辽代名为悯忠寺。在 1057 年“幽州地大震，大坏城郭，覆死数万人”的强烈地震袭击下，遭到了严重破坏。两层大阁、杰阁全部震毁。唐山地震又使寺内天王殿、大雄宝殿、无量殿、山门等十余处建筑损坏。

北海是首都的旅游胜地，琼岛上著名的白塔建于 1652 年（清顺治八年），1679 年三河平谷大震造成“白塔颓坏、次年重加庄严焉”；1730 年西郊地震又使“塔身塔座彻底闪裂”，不得不“全行拆毁重修”；唐山地震仍然使白塔损坏，以致“塔脖以上部分全部重修”。

王府井大街是北京繁华的地区之一，路东有一座天主教堂。1665 年（清康熙四年）通州 6.5 级地震时，“东堂屋顶之十字也被震落于地”，1730 年（清雍正八年）北京西郊 6.5 级地震时受破坏，唐山地震又使教堂顶端破坏受损。

现为中国佛教协会的西城阜外大街 25 号广济寺是享誉中外的寺院。1679 年三河平谷大震时“院宇倾圯，旧建俱毁”；唐山大震中 15% 的房屋遭较重损坏，其余皆有轻损。

西直门、德胜门、安定门是北京著名的旧城门。在描述 1679 年三河平谷大震的文中写道“万姓房屋倾、三门城楼倒、生命争顷刻、性命多不保”“德胜门内涌黄流”“德胜门内烈已达沟”；唐山地震时，西直门、安定门早已拆除，德胜门地区则受灾严重，城楼又遭破坏。

据不完全统计，仅北京城区见证了地震破坏的古建筑不下 50 处。

世界闻名的故宫，在唐山地震中有 36 处震害，其中 15 处在三河平谷大震时就遭到过更严重的破坏，如储秀宫、羽坤宫、永寿宫、寿康宫、养心殿、景仁宫、承乾宫、奉先殿、慈宁宫、内务府造办处等。据史书记载，大震发生后，故宫内空地上都搭起了帐篷，临时住人。康熙皇帝则带了皇后、妃宾、重要大臣逃往热河避震了。两次大震对故宫的破坏都是西北部比东南部严重。这 and 北京曾遭受唐山地震袭击时的震害分布状况一样，城区西北的震害比城区东南严重。

北京郊区遭受地震破坏也是有记载的。1679 年三河平谷大震时，平谷

是极震区。文献记有，“平谷无完屋”“城乡房屋塔庙荡然一空”。通州破坏也十分严重，“庙宇堂斋尽圯”，建于唐贞观七年（公元 633 年）的佑胜教寺燃灯佛塔历经五代、辽金元明，到清康熙九年（1670 年）又经重修。这次地震中全部倒塌，此外官廨、仓库、民房等均有损坏，并有“黑水涌出丈许”“压死人民一万有余”的记载。大兴区采育镇在这次地震中也遭到破坏。文献中记录了当时的前河东道参政李源阳“居采育死焉”，二仆中一人被压死，一仆“复活”。唐山地震时，通州、大兴、平谷仍发生了建筑物破坏、人员伤亡的震灾，是北京的重灾区。

原文写于 1991 年，北京人民广播电台多次播出。





磁悬浮列车

金能强

中国科学院电工研究所 研究员

前言

旅行需要高速列车。

衣食住行，人之必需。自古以来人类最大苦恼之一是人与货物的运输：横渡河流、穿越高山、遥远距离的行程等，想尽办法以节省时间和气力，让旅程更舒服。从步行手提、肩挑到用力拖拉，直至现代复杂的交通系统。

牛顿发现万有引力定律之前，人类就感知到地球引力的存在，人们发现，拖着重物比肩扛着省力。6000 多年前人类建造了第一组轮子：木质实心的两个轮子、一根固定的穿过轮子中心的轴及架在其上的平台，车造出来，更省力了。繁体汉字“車”形象地表征了车的架构，车的出现极大地方便了人类的出行。

1825 年世界上第一条铁路诞生，20 世纪初飞机出现，人类可以陆海空立体交通出行。随着科技的进步，各种交通工具的速度、便捷、舒适度都大为提高。

总旅行时间：人们出行总希望用最短的时间到达目的地，即旅行时间最短。所谓旅行时间等于主旅行时间与附加时间之和，通俗地讲就是从（家）门到（目的地住处）门的时间。其中，主旅行时间是旅客在旅途中所乘坐的主要交通工具花费的时间，附加时间为旅途中花费在其他辅助交通工具上的时间。粗略统计结果显示，不同交通工具的附加时间为：小汽车为零，高速铁路为 1 个小时，飞机为 2.5 个小时。下图示出不同速度下，旅行时间与旅行距离关系。



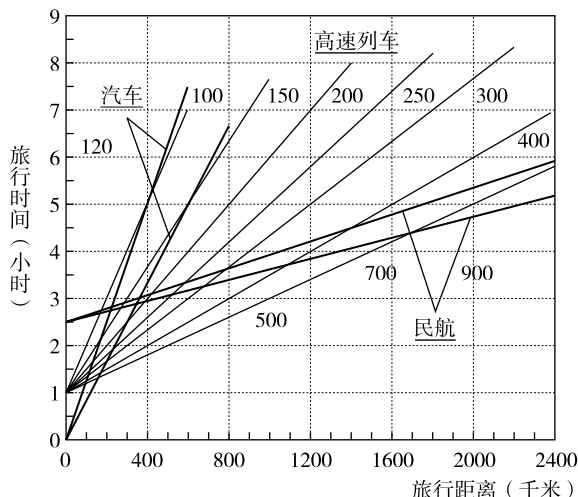
从图中可见，在2600千米距离内乘坐时速500千米的列车的旅行时间和时速700千米民航飞机（国内民用飞机常规速度）相当。如果再考虑到方便性、安全性、舒适性、节能及环保性，列车被选择的概率会更高。

迄今轮轨列车最高运营速度为350千米/时，从速度连贯性考虑，350千米/时和500千米/时之间有个断档，用什么交通工具可以填充？

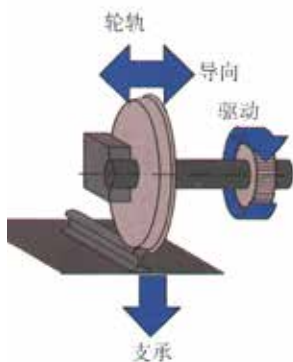
轮轨列车的局限：轮轨列车是一种靠黏着力牵引的车辆，在高速上有局限性。

首先，轮轨之间的黏着力制约了列车的高速运行。钢轮架在铁轨上支撑着车辆，凸起轮沿卡在铁轨间起导向作用，原动机（电动机、内燃机、蒸汽机）驱动轮轴转动，与其一体的轮子随之转动。列车依轮子在轨道上滚动而前行，靠的是轮子表面与铁轨表面的黏着力，黏着力不但随轮轨表面状况（如材料、表面光滑度、附着的雨、雪等）而变化，而且会随着速度增加而减小。与此同时，列车的空气阻力却随着速度显著增加，当列车速度达到一定值时，牵引力与阻力相等，列车不可能再加速了。就像冬天汽车在冰面上难以高速行驶一样，无论如何加大油门，车轮总是打滑，车速快不起来。这一速度就是列车的最高运行速度，轮轨高速列车难以突破400千米/时的运营速度。

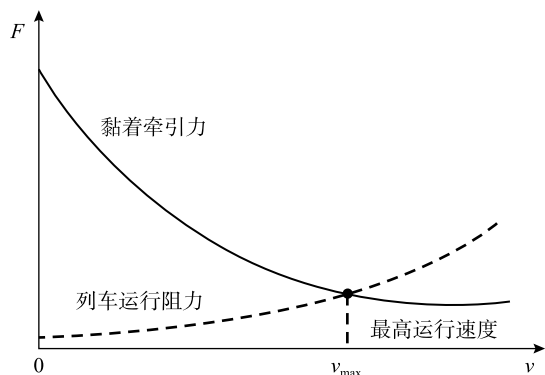
其次，当今高速轮轨列车几乎全靠电力牵引，以电力驱动的列车，在车厢顶部安装有受电弓，又称受流器，受电弓与架设在其上方的供电导线（馈电线）接触。电流从地面变电站引导至列车上，驱动电动机。为保证受



► 不同速度下旅行时间与旅行距离关系
注：图中数字表示速度，单位为千米/时。



► 轮轨列车基本运行原理



► 轮轨列车速度限制

电弓与供电导线良好接触，受电弓向上必须具备压力，车子运行时，受电弓与供电导线产生滑动摩擦，且接触压力会产生波动，受电弓发生离线现象，产生电弧，对受电弓与导线均产生烧蚀。速度再增加时，受电弓离线率会迅速增加，电弧烧蚀现象严重。20 世纪 50 年代法国创造了时速 574.8 千米的列车试验速度。但试验运行了 1000 多千米后，受电弓完全烧坏了。经半个多世纪的努力，现在受流极限速度大约是 400 ~ 500 千米 / 时。另一个因素是安全制动，与牵引力一样，制动力靠的是黏着力，高速时黏着力小，制动距离大，列车安全性受到影响。制约轮轨列车超高速化的因素还有车辆本身结构、线路的平顺度、牵引功率加大、列车运行震动、噪声等。

这些因素制约了轮轨列车的运营速度，上限值 350 千米的时速是较为适当的。



► 轮轨列车受电弓

轮轨列车牵引力是黏着力，但限制速度提高的也是黏着力，真是“成也萧何败也萧何”。可否用其他的力来支撑、导向、牵引呢？宇宙间有四种作用力：强力、弱力、电磁力、引力。电磁力和引力是长距离作用力，而且电磁力强度



远远大于引力，因此科技工作者想到了电磁力。

同时，科技工作者也考虑到用气浮和水浮的形式来悬浮和驱动列车，但由于这两种方式都造成很大的环境污染，均未能被采用。

电磁力作用和引力作用一样，是场的作用，可以隔空，完全没有机械接触。恰似一个无形的手作用着：无声、无息、无污染、高强度、高速度，完全能满足高速、超高速的要求。

二、磁悬浮列车

磁悬浮列车是一种现代高科技轨道交通工具，它通过电磁力实现列车与轨道之间的无接触的悬浮和导向，再利用直线电机产生的电磁力牵引列车运行。

1922 年，德国工程师赫尔曼·肯佩尔提出了电磁悬浮原理，继而申请了专利。20 世纪 70 年代以后，随着工业化国家经济实力的不断增强，为提高交通运输能力以适应其经济发展和民生的需要，德国、日本、美国等国家相继开展了磁悬浮运输系统的研发。其中，德国和日本取得令人瞩目的成就。

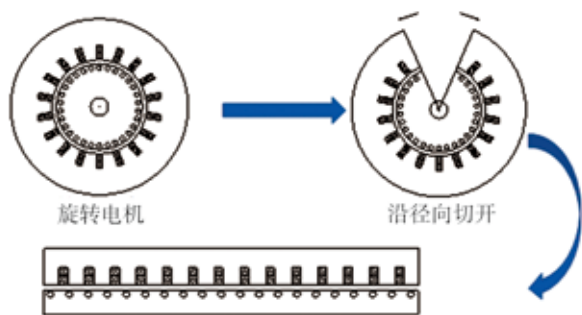
磁悬浮——行驶无轮：磁悬浮力利用同性磁极相斥、异性磁极相吸的原理，使车体悬浮。产生磁场的有常导电磁铁、超导电磁铁和永久磁铁，与之相作用的有超导体、强导磁体、金属导体，以上六种物体可以组合成多种磁浮方式。

悬浮方式按电磁原理可分为电磁式（EMS）和电动式（EDM），按悬浮力性质可分为吸引式和排斥式，按励磁方式可分为常导式、低温超导式、高温超导式和永磁式。

目前较成功地应用在磁悬浮列车中的是日本低温超导电动式磁悬浮 ML 系列技术、德国常导高速电磁式磁悬浮 TR 系列技术和日本常导中低速电磁式悬浮 HSST 系列技术。我国自主研发的常导中低速磁悬浮列车，技术与 HSST 基本相同。

直线电机——飞行无翅：直线电机，顾名思义就是线性运动的电机，





► 直线电机原理

不过旋转电机定子中旋转磁场变成直线电机初级中的直线移动磁场，与次级磁场相互作用，产生直线牵引力，驱动车辆运动。

原则上每种旋转电机都有与之相对应的直线电机，但从使用角度衡量，至今只有直线同步电机与直线异步电机比较适合用作磁悬浮列车的牵引电机。

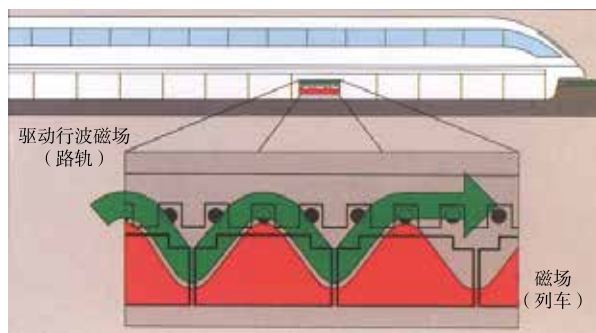
直线电机根据初级长度与驱动方式等分类，依据初级长度不同，可划分为长初级直线电机与短初级直线电机，目前较为成熟的采用直线电机驱动的磁悬浮列车中，常选择长初级直线同步电机和短初级直线异步电动机，这两种电机性能列表比较见下表。

从表中可见，短初级异步电机需要受流器供电，因此不适宜用在高速系统中。

两种直线电机的性能比较

性能	短初级直线异步电机	长初级直线同步电机
电机初级绕组安装位置	车上	地面线路上
功率因数	低	≈ 1
效率	低	高
控制难度	小	大
线路造价	低	高
是否需受流器	需要	不需要
典型应用	日本 HSST、加拿大及日本直线轮轨交通系统	德国 TR、日本 MLX，美国 Magplane，M3，GA

同步直线电机采用长初级形式，由地面供电无须受流器，其同步运行速度与初级直线移动磁场速度严格同步，如右图所示，移动磁场为电磁波，其行波速度：



► 驱动行波磁场

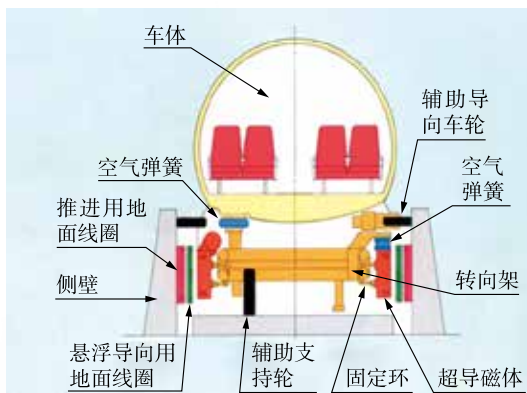
$$v = 2f\tau$$

式中， f 为初级电流频率， τ 为磁极轴线距离（极距）。当 f 和 τ 选取足够大时，行波速度将非常高，理论上可以达到光速。但对于磁浮列车而言，受电源频率、电机结构及车型阻力等因素影响，地面运行磁浮车速一般不宜大于600千米/时，然而即使是这一速度，已非常接近飞机的飞行速度（700～900千米/时）。

三、日本高速磁悬浮列车

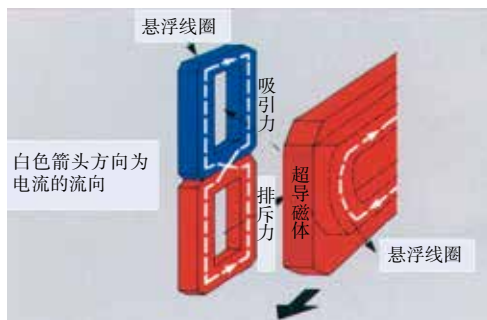
ML系列由日本铁道公司研制，采用低温超导电动式磁悬浮、无铁芯长初级直线同步电机牵引技术，列车的结构断面如下图所示，主要由车体、车载低温超导磁体和制冷器、轨道侧壁、安装其上的长初级三相绕组、用于磁浮与导向的8字形线圈及支持轮走行轨等构成。

磁悬浮原理：ML系列采用超导励磁电动式磁悬浮方式，基本原理如下图所示，车辆悬浮力来自车辆的两个

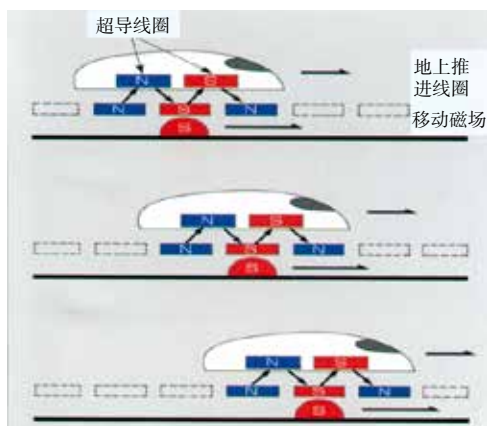


► ML 高速磁悬浮车断面图

侧面，在地面轨道的相应侧面上，沿整个运行段，按设计的极距排列着 8 字形的短路线圈，当车辆高速通过时，超导磁体（其中心磁场强度高达 5 特斯拉）在 8 字形线圈中感生出电流，此电流在上侧线圈中产生一个与超导磁体异极性的磁场，吸引磁体向上，下侧线圈则产生一个与超导磁体同极性的磁场排斥磁体向上，合力使车辆受到一个向上的力，磁力足够大时克服重力使车辆悬浮，导向力产生原理类似，也是基于电磁感应原理。



► ML 磁悬浮悬浮原理



► ML 磁悬浮驱动原理

当列车速度较低时产生的悬浮力不足以浮起车辆，需要依靠安装在转向架上的辅助车轮支撑，速度提高后车辆逐渐浮起来。ML 系列悬浮高度约为 100 ~ 150 毫米。

驱动原理：如左图所示，ML 系列车辆侧面在两端都安装有低温超导磁体，地面侧壁除安装有悬浮导向用的 8 字形线圈外，还安装有驱动用的三相绕组。三相绕组通上电流后就会产生移动磁场，这一磁场与超导磁体相互作用，产生吸引力和排斥力，合力为向前的牵引力。改变电流频率和大小，会改变牵引力的大小和车辆运行的速度，绕组通电顺序反相则会产生一个向后的制动力。

技术特点：ML 系列超导磁悬浮系统中，驱动、悬浮、导向都采用无铁芯的空心线圈。磁路中无铁芯，不存在饱和问题，但磁路磁阻增大许多，要产生相应的力，励磁场的励磁电流必须非常大。因此，有必要采用超导线圈，同时由于无铁芯，磁通在三维空间是发散的，必须在励磁体周围安

装上磁屏蔽装置，以防止漏磁场对人体和其他仪器仪表的侵害，尖端的低温超导技术是 ML 系统的核心。

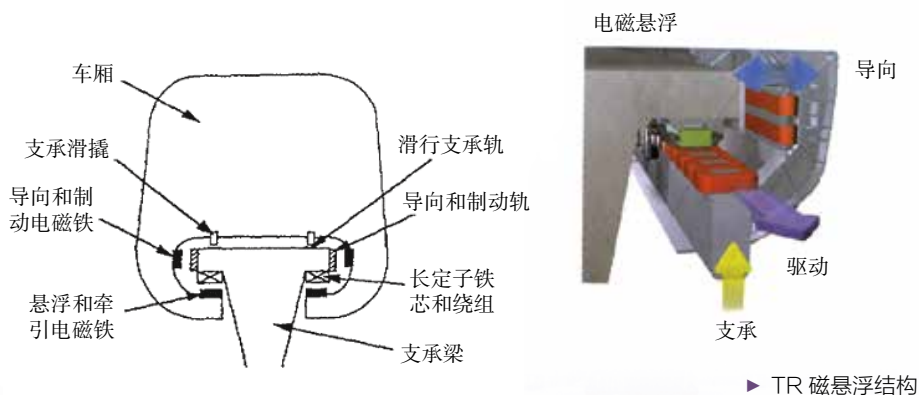
悬浮与导向特点：为电动式悬浮，地面常导 8 字形线圈起到悬浮和导向作用的电流由车载磁体感应生成，所以悬浮和导向均为自稳定系统，无须控制。且悬浮气隙大，可高达 100 毫米以上，但车辆在低速及静止时需要辅助车轮支撑、导向。

驱动特点：采用地面长初级同步直线电机。地面供电，不存在前面所述受电弓引起的问题，可提供产生大推力的电能，并且由于极距较大，通以较低频率的电流就能得到较高的同步速度，2003 年就创造了 581 千米 / 时的世界纪录。

自 1970 年开始超导磁悬浮研究以来，研究人员一直坚持研发。2005 年，日本超导磁悬浮铁路实用技术评估委员会做出实用化的基础技术已经确立的评估结论，并计划在 2018 年完成与其他交通运输方式相比具备竞争力的超高速大运量磁悬浮铁路系统的实用化技术。

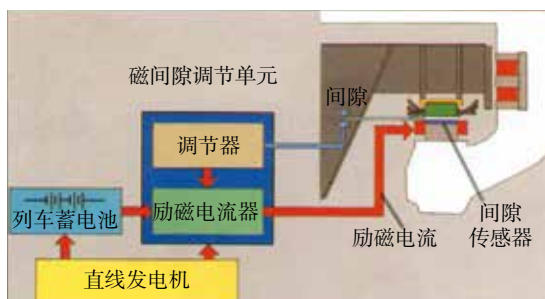
四、德国常导高速磁悬浮 TR 系统

下图是 TR 系列的列车结构。主要组成部分有：地面上的支承梁、导向和制动轨、长初级铁芯及绕组、滑行轨，车辆上的悬浮及牵引电磁铁、导向和制动电磁铁、支承滑撬及车辆。



长初级沿 T 型支承梁全线连续铺设，悬浮及牵引电磁铁既是同步电机的励磁极，又是悬浮用的电磁铁，滑撬和滑行轨用作非常状况下的紧急安全制动。

磁悬浮原理：TR 磁悬浮系统为电磁式（EMS）。下图是列车控制原理图，基本的控制过程是：固定安装在悬浮电磁铁上的间隙传感器检测出间隙



► TR 磁悬浮控制原理

的大小，并结合车辆的速度、加速度等状态，间隙调节器控制励磁电流器调节励磁电流，也就是磁悬浮电磁铁电流的大小，保证稳定的磁浮，一般情况下磁浮间隙保持在 10 ± 2 毫米。

励磁电流由车载蓄电池提供，直线发电机向蓄电池充电以保证蓄电池长期工作。

导向原理：在车辆两个侧面安装有导向电磁铁，而在导轨的两侧端面安装有导向的铁轨，二者之间气隙为 10 毫米。当车辆处于正中心位置时，两边气隙和磁吸力相等，但方向相反，车辆处于平衡状态；一旦偏离中心，传感器则会检测出变化，通过改变两侧导向磁铁电流大小，使气隙变小的一侧电流变小，使其吸力变小，而增大气隙变大一侧的电流，使其磁吸力变大，使车辆向中心复原。

驱动原理：TR 系统采用带铁芯的长初级直线同步电机驱动，初级在轨道下方沿全线铺设，通以三相电流以产生一个沿线路移动的行波磁场，这一磁场与车上的牵引电磁铁相互作用，驱动车辆。改变电流大小和频率，可以实现车辆从静止到额定速度之间的连续速度调节。

技术特点：TR 系列采用电磁悬浮（EMS），因此在车辆静止时也能悬浮起来，由于间隙较小，约为 10 毫米，可采用常导励磁。如何保证列车在高速下仍能处于稳定的磁悬浮状态，车辆的控制技术是核心，德国先进的机械工业、极致的加工精度，同样也起到保证作用。

五、两种高速磁悬浮系统的比较

高速常导磁悬浮列车 TR 系列与低温超导磁悬浮列车 ML 系列，历经近半个世纪的研发，达到很高的技术水准。

技术难度：ML 系列的列车需要车载低温系统给液氦制冷，以使超导线圈保持超导态，车载低温技术是其难点。

TR 系列的列车的常导电磁铁的磁场控制是多因素、随机的，难度很高。

磁场对环境的影响：超导体磁场是发散的，对车内主要是直流磁场影响，对车外当列车运行时是高速变化的磁场，采用磁屏蔽措施后磁场减小到 0.37 ~ 1.33 毫特斯拉，与常导磁浮列车相近，不会对旅客及线路周边人、物造成危害。

TR 系列的列车由于车载直线电机磁极上表面与路面上的直线电机定子下表面之间的间隙仅有 10 毫米，且磁力线通过双边铁磁物质闭合，磁通泄漏量极少（约 100 微特斯拉，仅是地磁场的 2 倍，彩色电视机的 1/5，电吹风的 1/1000），对周围环境不会造成影响。



► TR 高速磁悬浮列车



两个系列的列车高速运行时均采用无接触方式的支撑、导向、驱动、制动和供电，消除了传统轮轨铁路的轮轨接触噪声和受电弓的空气噪声及电弧噪声，故磁浮列车噪声比轮轨列车噪声低很多。TR07 在时速 450 千米/时的噪声与法国高速轮轨 TGV-A 在 300 千米/时相近。

能耗：两系列列车的能耗接近。500 千米/时速度下的座公里能耗 ML 系列为 89 瓦·时，而 TR07 系列的宽松座位时为 150 瓦·时，紧凑座位时为 75 瓦·时。TR 在 400 千米/时能耗与高速轮轨 300 千米/时的相当。

安全性：从轨道特征看，TR 和 HSST 系列为车辆环抱导轨型，ML 系列的车辆在 U 形导向槽中运行，不会发生脱轨、翻车等事故，长初级车辆采用地面分区段供电方式使列车不会发生追尾事故，充分的冗余设计保证了悬浮的可靠性，列车运行非常安全。

总之，两个系统由于均采用地面初级同步电机驱动，都具有爬坡能力强、曲线半径小、环境性能好、加速、制动能力强等优点。适用的运营速度范围在 400 ~ 550 千米/时之间。为速度优先、旅行优先的优选交通工具，是长大干线旅客运输的优选。

六、

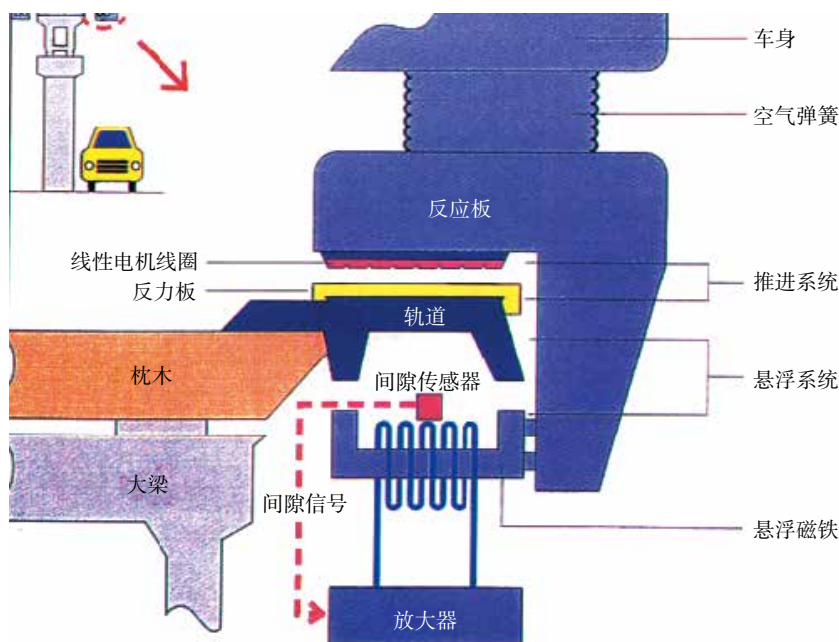
中低速磁悬浮列车

日本研发的 HSST 中低速磁悬浮列车已建成了商业运行线，于 2005 年在爱知县丰田市作为市内公交线运营。

HSST 系列是作为城市与近郊连接线开发的，可以大幅度缩短通勤、就学的时间，速度定在 100 ~ 200 千米/时，有比较广泛的区域适应范围。

磁悬浮和导向原理：HSST 系列采用电磁式悬浮 (EMS)，F 形钢轨铺设在线路两侧，安装在车上的常导电磁铁为 U 形，在 F 形钢轨下方与之对应，约 8 ~ 10 毫米气隙与 F 形钢轨形成闭合磁路，当线圈中通以直流电时，产生磁通沿上述磁路闭合，在气隙中产生磁吸引力，这个力与车重平衡时，车辆就悬浮起来，气隙中安装有气隙传感器以调节气隙大小，保证在任何工况运行时气隙维持在 10 ± 2 毫米。

列车导向原理如下图所示，当列车偏离中心位置时，这时 U 形磁铁与

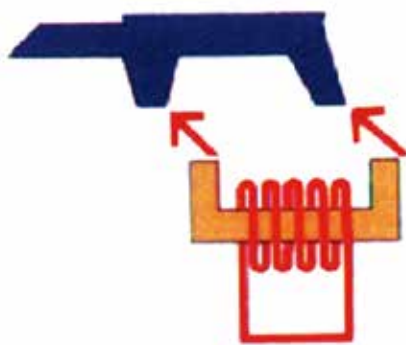


► HSST 磁悬浮结构原理

F 形钢轨中心也随之发生横向移动，磁场发生扭曲，产生一个横向分力，使磁铁回复到磁阻最小即两中心重合的位置。

驱动原理：HSST 系列采用车载短初级直线异步电机驱动方式。在 F 形轨道上放铺设铜或铝的反应板，初级通以三相电流时产生移动磁场，该磁场在反应板上感应出电流建立磁场，与初级磁场相作用产生牵引力或制动力。

短初级优点是轨道结构简单，控制方便，发车频率较高，造价较低，且磁悬浮带来的噪音低，使其适合作为市区通勤用车。



► HSST 磁浮导向原理



短初级异步电机缺点是电机功率因数低、效率低，导致功率设备容量远大于电机输出功率。

车载初级必须具备受流设备，因此车速不宜太快，作为市内及城郊的交通工具，100 ~ 200 千米 / 时的速度区间是适宜的。

七、上海磁悬浮线

我国地域广、人口多，适宜采用高速、大运量的交通工具。20 世纪末，德国 TR 高速磁悬浮铁路技术已达到商业应用程度，我国上海磁悬浮示范运营线采用 TR 技术，建成世界上第一条高速磁悬浮商业运营线，取得良好的运营业绩。

线路正线长 30 千米，辅助线长 3 千米，双线上下行折返。设 2 个车站、2 个牵引变电站、1 个运行控制中心和 1 个维修中心和车库。

该线路 2002 年年末开始全天候运营，至今已安全可靠运行了多年，验证了 TR 列车作为一种高速运营车辆的可行性。

作为一个示范线，该线路在线进行了一系列的科学实验，为我国将来推广高速磁悬浮线获取许多宝贵的数据和经验。

八、中国磁悬浮铁路的研究

中低速磁浮铁路的研究：中国的磁悬浮铁路研究，始于 20 世纪 80 年代，初期主要进行小型磁悬浮系统和直线电机的研究。

国防科技大学、西南交通大学、铁道科学研究院主要开展磁悬浮研究，中国科学院电工研究所和浙江大学侧重于牵引直线电机的研究。

1992 年，中低速磁悬浮列车关键技术研究列入国家“八五”重点科技攻关计划，1998 年在铁道科学研究院内建成 6 吨单转向架电磁悬浮试验车，参加研究单位是铁道科学研究院、国防科技大学、西南交通大学和中国科学院电工研究所。

中国首条具有自主知识产权的中低速磁悬浮商业运营线——长沙磁悬

浮快轨线，2016 年已开通运营。线路的一端为长沙高铁南站，另一端是长沙黄花机场。线路全长 18.55 千米，最高运行时速 100 千米，运行时间约 10 分钟。

高温超导磁悬浮车：1997 年，中国科学院电工研究所与德国大学合作，研制成小型高温超导磁悬浮车试验装置。采用地面初级同步直线电机牵引、地面永磁轨道与车载高温超导块磁悬浮形式。

2000 年，西南交通大学研制成载人高温超导磁悬浮车，采用地面初级异步电动机牵引、地面永磁轨道、车载高温超导块磁悬浮形式。

总的来看，世界各国高温超导磁悬浮车的研究基本上还停留在磁悬浮原理的研究上，距离实际运行车辆的研制还有很长的一段路要走。

九、结束语

将车辆悬浮在轨道上运行是人类的梦想，经过半个世纪的努力，这一梦想初步实现了。磁悬浮列车开始于德国、日本，他们有益于人类，但中国人让高速磁悬浮车驶出实验室，驶向社会大众，同样功不可没。

人类的追求永不停止，汽车、火车不是人类出行的永恒，磁悬浮列车同样也不会是交通工具的终结，现在他们相辅相成，将来也会共同发展。

原文发表于《现代物理知识》，2013 年第 25 卷第 2 期。



119 号元素：地球期盼的下一个新生

陈贺能

原中国科学院技术科学与开发局 高级工程师

2011 年 3 月 26 日，莫斯科以北 125 千米的杜布纳联合原子核研究所召开新闻发布会，核反应实验室主任、物理学家谢尔盖·德米特里耶夫教授在会上宣布，要联合来自美国的非常有名气的橡树岭实验室和利弗莫尔实验室科学家，开始新一轮合作寻找新化学元素的实验：“合成”元素周期表里第 119 号元素（暂定名为 Uue）。消息一经宣布，世界各国传媒纷纷转载，引起社会广泛关注。

浩瀚的宇宙中，化学元素是由恒星、超新星爆发形成的，这是形成我们周围的一切物体（包括我们身体）的基础。即使有一些化学元素在地球上没有找到，但是它们在太空就存在。人们注意到，最新的元素周期表的末端那六个元素原本在地球上找不到，但它们在较早前分别由德国、俄罗斯、美国、日本科学家在实验室合成出来，其中 118 号元素的合成是在 2006 年 10 月，现在已经为全球科学界接受。俄美两国科学家们还确信，118 号元素并不是最后一个。看来，俄美两国科学家不但表态要“合成 119”，而且将来还会继续“造”下去！

一系列问题提出来了！第一，第 119 号在最新版的元素周期表里是个什么特殊位置？第二，元素周期表里绝大多数元素本来就存在于自然界，只有一些确实在自然界找不到而被科学家合成出来，现在又要合成 119，119 这个位置的元素能够被合成吗？第三，为什么这些科学家想到要“人造”并热衷于而一再、再而三地合成出这些未知的元素？第四，这些被合成的新元素是怎样被证实的呢？第五，它们有什么用吗？第六，合成新元



素有什么意义吗？

为了说明这些问题，让我们先来回顾历史！

一、元素周期规律，宇宙的基本规律之一

140 多年前，俄罗斯化学家门捷列夫企图探索各种元素的性质之间是否有规律，如果有，那是什么规律？为此，他把当时已经发现的 63 种元素分别制成一张张卡片，按照元素的原子量大小来排列。几年的辛勤劳动之后，1869 年，他终于制作成功一张有规律的表！这就是大家熟知的、著名的元素周期表的前身。打个比喻，周期表里每个位置，我们称之为“房间”，每个“房间”由某一个元素占有。

虽然当时门捷列夫并不知道他所制作的表中各元素及其化合物性质什么是周期地变化的，但就是这张著名的表帮助他发现了各种元素及其化合物的性质之间确实存在周期性变化的规律，这在当时是十分了不起的发现，也是他留给后人的最珍贵的遗产。

当我们翻阅早年这张表，就会看见表里确实还留有一些空格（空“房间”）。门捷列夫坚定地认为：每个空“房间”里应该存在一种符合这张表格规律的未知元素。不仅如此，他还根据周期表的规律率先预示了这些未知元素的存在及其化合物应有的性质，等待着后人去发现。

20 世纪开始，原子物理、原子核物理学发展飞快。特别应该提到，爱因斯坦的相对论、量子力学的建立，关于原子结构的壳层模型、原子核结构的模型从提出、发展到修正，都对门捷列夫的元素周期表的完善以及对其周期性的认识产生了极其重要的、本质的影响。到今天，现代的元素周期表与原先的周期表已经有了本质的变化，各元素已经不再按照原子量由轻到重来排列，而是按照原子序数（即原子核内质子数目的多少）来排列了。

现在，人类已经能够从微观的角度，根据每个元素原子核内的质子数、中子数、外层电子的层数和最外层电子数的多少等属于原子的内在基本物理规律，来正确地解释周期表中各元素及其化合物性质的周期变化的趋势。反过来，只要认真注视这一周期性变化的趋势，人们就能预示他所关心的

那个元素及其化合物的性质，说明它的稳定性。可以这么说：组成我们这个宇宙的各种元素的周期性变化的规律就是宇宙的基本规律之一。尤其需要指出的是，元素周期表对预测尚未被发现的元素的存在和它应有的特性起到了至关重要的作用。

回到对 119 号元素的相关分析上来。人们马上就看见，周期表的这种作用是功不可没的！

二、119 号元素在周期表中的位置不一般

现今科学家已经知道下面三个事实：第一，最新的元素周期表已经排列到第 118 号，它和它之前所有“房间”已经被已知的元素占有。第二，元素周期表第 92 号元素（铀）之后的“居民”的特点是，它们不稳定，都是些很容易发生衰变的“居民”。换句话说，它们在自然界并不存在！准确

周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	轨道
1	1 H	2 He																	1s
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	2s2p
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	3s3p
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	4s3d4p
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	5s4d5p
6	55 Cs	56 Ba	57-71 La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	6s5d6p
7	87 Fr	88 Ra	89-103 Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og	7s6d7p
8	119	120	121	156	157	158	159	160	161	162	163	164	139	140	169	170	171	172	8s7d8p
9	165	166											167	168					9s9p
6	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu				4f
7	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr				5f
8	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155				6f
8	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	5g

► 按照 Pekka Pyykkö 的计算模型得到的扩展的元素周期表

地说，在地球上并未发现它们，或者说它们占在“房间”里的时间非常短，有个别甚至是“一眨眼就见不到的短暂”而变成另一个居民“溜”走了！例如第 118 号元素，它的生命周期仅有不足 $1/1000$ 秒的时间。第三，“周期表到底有没有尽头”的问题，一直没有人能准确回答。从理论上讲，虽然有人从原子核内部的核力与电磁力平衡的角度提出过分析和解释，但至今也不能预言稳定的原子核内最多可以容纳多少个质子和中子。2010 年，芬兰赫尔辛基大学化学家 Pekka Pyykkö 认为，元素的化学性质是由现代物理学中量子力学的规则和相对论函数确定的。他提出了一个计算模型并预言原子的电子轨道壳将按顺序被填满，从而提出扩展的元素周期表。从他的表中可以看到，他预测元素周期表按原子序数应扩展到 172，比现在的元素周期表多了 54 个新“居民”。当然这是进一步深入认识并正确解释物质世界的一种见解，有待验证。

从实验来看，问题更明确。如前文所述，俄美科学家已经发现 118 号元素了，这个元素的位置刚好在周期表第七横行的最末端，所有在它和它之前的“房子”里都有“居民”了。而且 118 号元素所在的纵列（族）里，从氦开始的元素全部都属于惰性元素，它们的最外层电子数都已被填满。科学家说这应是一种“最封闭”即最为稳定的外层结构，就是这种结构的特点令这一族元素最不活泼。再横看，这一周期已经到此为止了，发现新元素的任务似乎已经圆满无缺，还存在下一个元素 119 吗？如果还有所拓展，那周期表里自然就要开出新的一行——第八行，即新周期，119 号元素就是这一新行的“排头兵”！先不说它的性质，这本身就意味着，跟在后面一定还有更多新的“房间”，它们各自的“居民”有待发现。所以，119 这个位置很特别，如果真的成功发现它的“主人”，那我们对身边的物质世界的认识将继续被推进一大步，有谁会否认做这件事的意义呢！

三、能发现 119 号元素吗

上面说过，从 92 号元素（铀）之后的第 93 号到 118 号元素，它们都是那些至今在地球上未能以元素状态被发现（被找到）的元素，要通过人



为创造条件分别发现它们的确存在于它的“房间”里。反过来说，没有人为了的干预，这些元素在自然界里是无法被发现的。几十年来一些科学家就试图从地壳的岩石、矿区、海洋底部甚至从月球岩石、从太空落下的陨石中寻找它们的踪迹，但都无果而终。119号元素也同样，如果它存在，应该也无法在自然界被发现。现在的科学家有勇又有智，居然能想出办法去“干预”从而发现它们！其次，我想说，在地球上未被发现，可能是因为地球还不具备形成这种元素的物质条件，也许应能在广袤的宇宙中的什么地方找到它！在那儿，可能有这种元素存在的物质基础和生成它的极端条件。例如，人类现在已经知道太阳内部的核聚变反应生成新元素的过程。在高达1500万℃的超高温、上千亿个大气压的超高压条件下，太阳内部存在的质子不断聚合演变并生成氦-3原子核，两个氦-3原子核进一步再聚合从而诞生一个氦-4，同时飞出两个质子。这就是太阳内部新元素诞生的过程，而且这一过程早在几十年前就已经被人类在地球上成功实现，只不过人类对其所产生的巨大能量的利用更感兴趣，而不去谈论一个新元素的诞生而已。这就是说，只要有超高温、超高压的条件，物质的聚变反应过程就能发生，新元素就会诞生。那么，究竟宇宙中什么地方具备了诞生119号元素的条件？我们留给天体物理学家去回答了！现在我们关心的是，要设法“创造条件”在地球上合成它、发现它。

四、高速撞击融合，合成新元素的常规方法

这是个“怎样创造条件”发现它存在的问题。科学家们还是用老办法：经过计算选出两个相对较“轻”的元素，让它们的原子核相互高速碰撞，显然有些就被撞得粉碎了，但在原子核的高速碰撞过程中必定也会有极少部分原子核由于相互撞击而“融合”在一起，合成为一个新的原子核。这正是我们所要的结果：一个新元素“诞生”了！当然，要有相应的设备，加上必要的技术条件才能实现。多年来，美国、俄罗斯、德国、日本等国科学家就是通过带电粒子加速器这种设备的帮助来发现质量数直至118的多种超重元素的。若是你要说这些超重元素都是人类“制造”出来的，也

无妨！

粒子加速器，也称重离子加速器。我们以在德国重离子研究中心（GSI）合成 112 号元素（镆）的实验为例来说明合成过程。设法将某一种原子（这种原子的质量数是经过精心选定的，这里选质量数为 30 的锌原子）的最外层电子剥离，变成带正电的离子，用静电透镜令它们汇聚成束，注入研究中心的 120 米长的重离子加速器内，沿直线方向对它们加速（或者，用另一种称作回旋加速器的设备也可以让粒子束一边回旋一边加速）到差不多接近光速 $1/10$ 的速度，这些离子将带着巨大的动能直接撞击到所谓“靶”的材料上（靶材料也是经过精心选定的，这里选质量数为 82 的铅，它被制成薄靶）。这是当时条件下人类能够让离子束达到的最高的能量，科学家为此付出了极大的努力。

锌和铅两种原子在这种条件下高速碰撞的结果是，数以百万计发生碰撞的原子都被撞得粉碎了，但总是会有极少量通过相撞而融合在一起形成新的原子。就现在的情形，如果新原子能诞生，那它的质量数就应该是 $(30 + 82) = 112$ 。

20 世纪末至 21 世纪初，除了德国科学家外，还有俄罗斯科学家联合美国科学家，另外还有日本科学家，他们分别使用类似方法，在他们各自的重离子加速器中相继合成了超重元素 113、114、115、116 和 118 号元素。

今天的科学家用差不多相同的办法来试图合成 119、120 号等超重元素。例如德国科学家就曾经提出用过加速的质量数为 22 的钛（Ti）离子束撞击质量数为 97 的锫靶（Bk）这个方案，但未获结果。

科学家们没有放弃努力，正在尝试使用较重的铬元素（24）、铁元素（26）或镍元素（28）制成离子束，去轰击锕系元素，合成 119 号元素等未知的超重元素。

肯定有人会问，非用这种方法不行吗？当然你可以展开想象，尝试用其他的方法。没有想象就没有科学研究，这是值得的，想错了还可以修正或者放弃。制造另类的“核反应”就是另一种设想。例如，设想将一个质子（或者多于一个质子）加速，使其获得足够高的能量然后想办法“打进”比想得到的元素稍轻一点儿的那个元素（它必须存在）的原子核中，就可



以人为地“制造出”一个“新的”较重的元素。或者，用强中子束照射一个稳定的元素的核（它也必须存在），由于中子的进入，它马上变得不稳定而衰变成为新的元素，目的就达到了。举个成功的例子：铀-238 这个重元素在核反应堆中受到强中子辐照后就变成铀-239，而它不稳定，很快就经过两次 β -衰变最后变成钚-239，一个新元素诞生了！这又是一种办法。事实上，60 多年前，美国科学家就是将靶核放在核反应堆中让强中子束流照射而成功地制造过前面个别超重元素。可惜这种方法对产生 119 号元素似乎不适用。因为比 119 号元素稍为轻一点儿的超重元素刚刚被发现才几年，它的产额极少。而且这些超重元素都不稳定，很快就衰变成其他元素了。所以后面这两个办法对制造超重核 119 号元素没有现实意义。不过，即便如此，也不能肯定在宇宙的什么地方就没有可能用这种方法产生新原子。这是另外的问题了！

五、产额低、衰变快，“合成”它有棘手问题

第一，每次碰撞实验，真正能产生“融合”的机会极少，科学家称之为“反应截面极小”。这就给探测器探测新元素的工作带来极大困难。科学家面临的任务就是：设法做到“多产额”，以便能够把握这个新元素。这就需要更新现有的重离子加速器等设备。

第二，这些超重元素极易衰变。如果这些元素的寿命长，它们就应该存在于自然界，或者存在于宇宙线撞击地球的什么地方，不至于这么难发现它。正因为它们的半衰期太短，“一眨眼不到的功夫”它就“溜走”了，使监测它们的仪器设备很难发挥作用。最困难的是，我们合成了它但是未等到它到达探测器，它已经在分离器内衰变。为此，科学家改变思路应对，设法通过检测它衰变后的子产物的信息来判断它的存在。

第三，要有先进的监测手段。要监测到它，首先是要求所有仪器灵敏度极高、响应时间特别快。同时，实验数据要能用于证明这肯定就是新元素周期表中那个期望中的“居民”。

第四，还必须能重复地得到相同结果，未能重复就不算成功。等到

新元素的发现的确被他人的实验重复，相关机构才承认它真实存在，才能命名。

第五，有些科学家对是否能合成周期表未出现的第八周期的元素提出了异议。这些科学家认为，使用重离子加速器可能是仅有的方法，可是从人类目前所能达到的技术水平来看，已经把重离子加速到它速度的极限，再要提高速度（即能量），面临的困难极大。另外，根据爱因斯坦狭义相对论（ $E=mc^2$ ），随着被加速粒子速度逐步接近光速，为了加速粒子所给予的能量将逐步转换为被加速离子的质量，被加速的粒子的“表观质量”将变得更重，提速变得更棘手了。

六、前景

如前所述，所有这些新超铀元素的原子序数都很高，都是高放射性的，特别是最新的元素周期表内排在最后面的六个，它们的衰变都非常快，并且后一个超重核比前一个超重核的半衰期更短。但是人类还是抓住了它们，证明了它们的确存在，很了不起！现在，新伙伴 119 号元素在异常艰难的情况下能否成功被合成和被证明？科学家们正在艰辛努力，地球正在等待！

所幸，科学家通过研究已经发现，并不是所有超铀元素都不稳定。核物理学“稳定岛”的理论推测认为，在元素周期表中，特别是超铀元素中应该存在几个有特殊结构的元素，它们的原子核内的质子数和中子数目都在 2、8、20、28、50、82、126 甚至 184 这几个非常特殊的数字上，科学家称这些数为魔数（也称幻数），因为科学家分析发现凡是由这些数目的质子数和中子数相结合而组成原子核都“牢固”。细心的读者一定会注意到，上面所列的这几个魔数都是偶数。原子核物理学家发现，质子数目配对出现的原子核都稳定。如果是奇数，就意味着这个原子核内还有一个质子未能配成对，这个核就倾向于不稳定，它里面多出来配不成对的那个质子就要放出一个正电子和中微子而把自己变成中子，使得原子核变稳定为止。于是在众多的超重元素中，科学家通过理论计算推测，原子序数高于 110 的某个地方，就有这种具有魔数个质子数和中子数的同位素，它们比



其他同位素相对稳定得多，因而被称为“稳定岛”，它们会有相对较长的寿命（或者说它的衰变过程相对非常慢）。因为有了这一理论预期的支持，很多科学家都相信，发现第八周期的 119 号元素及其之后的超重元素的前景还是乐观的。科学家们也已做好准备，盯着这个未知领域，探索它们的物理、化学性质，有一天找到“稳定岛”。

七、人工“合成”新元素有意义吗

人类已经不是第一次地以这样的方式寻找新的超铀元素了。科学家这样特殊的“创作”，对帮助人类更深入地了解“我们周围这个物质世界究竟是怎样生成的”这个问题有非常大的意义。因为，探索、发现新元素，是人类在不断探索自然界奥秘的过程的一部分，也是人类对自然界奥秘的认识在不断深化的过程。毫无疑问，发现（合成）这些超重元素的意义在于：人类对物质世界的认识更加深入了。大自然的奥秘将进一步被揭开，我们又成功地扩展了物理世界的认知边界。

至今，科学家还不能进一步说清他们发现超重元素的实验有什么实用价值。不过，至少有一个实用例子已经肯定：这些被发现的超铀元素中，钚-239 已经被人类应用了，它其实是用铀-238 放在核反应堆中接受中子照射而最终生成的。它已经被人类广泛使用为核反应堆的燃料或生产核武器的关键原料了。

也许有人会因此而担心：虽然现在所“制造”的新的超重元素的数量极少，但有那么一天，当人类已能找到大量复制的方法之后，会不会又给人类自己带来更大灾难？对于这种担心，我们会说，和人类已经做过的太多的事情相比，这是安全的。另外，未来属于新一代，他们必将会利用各种新技术去创造新的生活，他们必将把这个世界变得更美好。让我们寄希望于他们吧！

原文刊载于《北京日报》“新知周刊”版，2011 年 4 月 13 日。

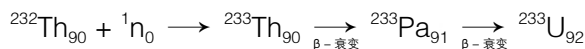
清洁核电技术：钍燃料开发三思路

陈贺能

原中国科学院技术科学与开发局 高级工程师

为解决人类未来对清洁能源的需求，人类研究和应用核能发电技术已经有 70 多年了。至今，全世界利用核能的发电量已经占到全球发电量的 11.5%^[1]。虽然这种以铀-235 燃料为基础的核能发电方式相对于煤电有其不可替代的优点，但是安全性和核废料处置两大问题一直引起公众广泛关注。2011 年 3 月因特大地震和海啸引发的福岛核危机，使世界对核电安全更加重视，寻找更清洁、更安全的能源获得方式，成为世人更加关注的问题。

翻开核能利用的研究发展史，我们注意到，科学家早在 20 世纪 50—70 年代就研究过钍元素。原来，虽然钍元素本身不是裂变物质，但研究发现一个普通的钍-232 原子核吸收一个慢中子就会变成钍-233，它很快就经历两次 β -衰变，变成铀-233：

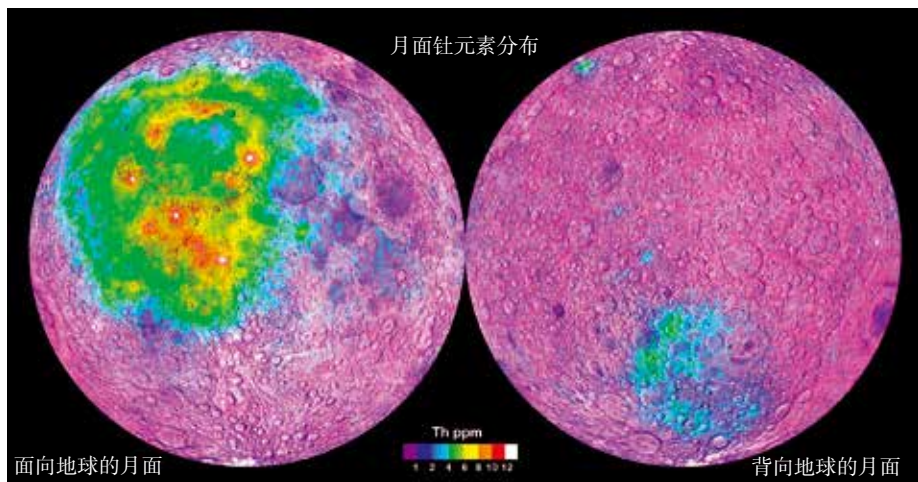


而铀-233 则是一种长寿命的易裂变物质，这个物理现象足以引起科学家对钍的极大兴趣，因为，这决定它也可以用作次级核燃料为人类提供能源。

对钍元素的深入研究还发现，它作为核燃料应用，与现今使用的铀元素相比有如下的天然优势：

储量、易提炼、更清洁，1 吨钍能抵 100 吨铀的能量

第一，自然界里的钍主要存在于独居石中，独居石易于开采而且比铀矿丰富得多。这很重要！因为，天然存在的可裂变物质铀-235 并不多。今天全世界有 447 座使用铀的核电站，全年用铀量达到 63404 吨^[1]。还有 60 座在建、164 座待建，特别是还有 347 座是各国根据自己的未来经济社会发展对能源的需求而提议要建的^[1]，按照这种发展速度，天然铀里的铀-235 只够人类使用至多百年。除非现在开始投资另外建设一种增殖反应堆（也称快中子堆^[2]、快堆），让占天然铀 99.3% 的不可裂变的铀-238 变成可裂变物质钚-239，才能大大延长天然铀的使用年限。但快堆的技术难度在很多方面比技术成熟的压水堆大，经济性也有待验证。虽然一些国家包括我国都已成功建起实验型快堆^[3]，但要建成商业化运行的快堆核电站还需假以时日。幸运的是，钍在地球上的估计储量是铀储量的 3 倍^[4]，况且人类探月工程显示月亮表面就有足够多的钍，即使地球上的钍资源用尽了，未来的人类还可以向月球甚至火星索取。这无疑为人类延续上千年地利用核裂变能奠定了坚实的物质基础。



► 月球表面钍元素含量分布
(图片来自美国国家航空航天局网站)

第二，地壳表面存在的钍就是钍-232，不含钍的其他同位素，这使它在原料提取中十分方便。大家都知道，现在的铀堆核电站用的燃料是可裂变物质铀-235，为了产生持续的链式反应，核燃料棒中铀-235的浓度至少要达到3%。但是天然铀中的铀-235的丰度只有0.72%，其余的99.27%是不可裂变的铀-238。为此必须使用现在流行的离心浓缩方式，将天然铀中的铀-235浓缩到3%以上。成千上万台离心机长时间昼夜不停运转，非常费时费事，还要耗费大量电力，成本非常高昂。如果用钍-232作为核燃料，可直接使用钍元素，不必浓缩。比起用铀-235作为核燃料发电，能省去浓缩的大麻烦。

第三，钍在核反应中能更充分地释放大量能量。有资料显示，与铀基反应堆相比，钍基反应堆运转更高效，1吨钍裂变产生的能量抵得上100吨铀^[5]在今天的压水堆核电站工作所获得的能量。还有科学家也曾经对液态钍基熔盐核反应堆运行时输出的能量做过估算，如果向其加入5千克金属钍（相当于运动场上的铅球那么大），它全部参与核反应所产生的能量相当于燃烧25000吨烟煤或55000吨褐煤，相当于300千克浓度为3%的浓缩铀在压水堆中释放的能量^[6]。

第四，有毒的放射性废物大大减少了。现在的铀基核电站产生的核废料钚-239毒性很强，它的放射性半衰期长达24000年。这就告诉我们，从安全角度来考虑，如果不设法尽快消耗掉乏燃料棒中的钚-239的话，它必须封存在深山永久深埋，达到10倍于半衰期的时间（即24万年）之后，它的放射性水平才能达到安全标准以下。但如果使用钍转变为铀-233来发电，则没有这个问题。钍基核电站整个衰变链上的那些中间产物，即使再接受中子照射也绝对不可能产生钚-239。铀-233裂变后产生碎片物质，其中只有一种的半衰期是78年，都足够短，只需存放至多300年，其后的毒性已经足够低，而且它只占全部核废料的0.6%，因而也就不产生像铀堆那样必须认真考虑的乏燃料处理的问题。

第五，正因为用钍来发电时不会产生钚，所以钍无法被用于制造大规模杀伤性武器，这对人类来说将是极大的好事。

钍元素的这些独特优势表明，如果拿它用作核燃料来发电，既安全又



绿色，是铀燃料最理想的替代品。这就是今天大家所关注的第四代核电技术之一。

现在的问题是：怎样才能使钚基反应堆中的钚-232 持续不断地转变为易裂变物质铀-233？显然关键是要提供足够强的中子源来辐照它。要实现这一点，目前世界上主要有三种设计思路。

二、

思路之一：改造现有核电站，使用钚铀混合燃料实现燃料增殖

现在正在运行的铀基核电站的反应堆本身就是强大的中子源。如果将钚嵌入低浓缩铀-235 的核反应堆中，只要设计得当，就可以改造成为钚铀混合的核反应堆，高的中子通量不但够维持链式反应的需要，而且还有足够多的中子让钚-232 持续生成新的铀-233，实现可裂变物质在堆内的不断增殖；或者将这种反应堆设计为连同新生成的铀-233 一起就地参与链式反应而被利用。

将现在正在运行的铀基核电站反应堆改造成为使用钚铀混合燃料或钚钚混合燃料，是一种容易想到的思路。这种主张认为，改造现在已经成熟运行的总比重重新设计新的要得心应手得多，况且也较为节省。印度就有这样的设计。还有位于美国的一家名为 Lightbridge 的公司提出了这样一种设计思路：在堆芯位置放入一些浓缩铀棒作为产生链式反应的“种子棒”，外围则是由氧化铀和氧化钚混合原料制成的棒所包围。这样，链式反应持续进行的同时，实现了利用钚使燃料增殖并同时就地参与链式反应，使反应堆的输出功率提高了 1/3。

三、

思路之二：设计新型钚基熔盐增殖堆

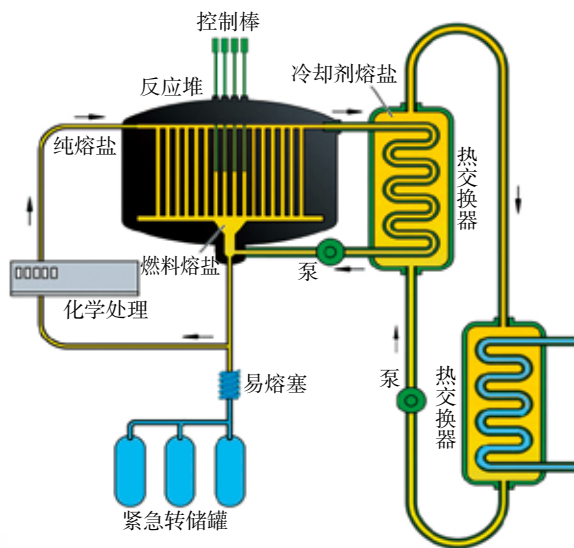
另外一种设计称为熔盐增殖反应堆。20 世纪 50—70 年代，美国橡树岭国家实验室的科学家就研究以液态氟化钚为主要燃料的钚基熔盐核反应堆，做了很多非常重要的工作，这种反应堆还成功运行了五年之久。由于

当时正值美苏两霸处于冷战状态，冷战达到高潮时，美国政府对钍基核能发电技术的研发失去兴趣，不予投资，究其原因正是因为钍基核反应堆无法产生用于制造核武器的材料钚，而铀基核反应堆在用来发电的同时就生产钚，能被用于军事目的。世界政治、军事、经济等大环境的影响，致使使用钍的核能发电技术的研究遭受重大挫折，研究工作被迫停止了近半个世纪。

今天，同样因为核电安全问题一再提出，人类过度使用化石能源导致全球气候变暖，未来世界的能源发展战略等大环境的需要，材料科学和技术科学的飞速发展，推动了钍基熔盐反应堆研究的复苏，受到各国特别是我国和印度科研机构的重视。2011 年年初，中科院宣布计划用 20 年左右时间研发钍基熔盐堆核能系统，引起了世界的广泛注意。

钍基熔盐反应堆可以有許多不同的配置。作为一个例子，这里简单介绍一种与现在见到的绝大多数核电站很不同的设计。它的设计思路是：不用燃料棒而是用与冷却剂混为一体的、化学稳定性很好的液态燃料循环工作，在高达 700°C 高温下运行但无须增压。

右图中所示的结构正是体现了这种设计思路的运行效率高的钍基熔盐堆。钍基燃料（例如液态氟化钍和氟化铀的燃料混合物，它用来制造并增殖易裂变物质铀-233）已经混合在主回路的氟化盐冷却剂中，成为一种具有化学稳定性、高温下处于熔融状态的混合盐类物质。这种含有燃料的冷却剂运行时只在途经优化设计的堆芯处达到临界。它的好处是不需设计燃料棒及其机械安装部件，不但



► 钍基熔盐堆示意图

可以简化堆芯结构，而且燃料的核反应均匀分布，还可以在运行的同时进行核燃料的后处理。

这种液态的熔盐堆还有一个特点：只需在常规的大气压状态下就可以运行。常规的沸水堆型、压水堆型核电站里，主回路的冷却剂是水。为了提高这种核电站的热效率，就要让水在高温（例如 350°C ）而又不沸腾的条件下带走链式反应热，这只有在提高主回路压力（达到 100 多个大气压）时才能实现。这样一来，主回路在高压下运行就有潜在的爆炸危险。现在采用的熔盐本来就要在高温（ 700°C ）下变成流动状态，熔盐堆只需在平常的一个大气压状态下运行，主回路就不必增加压力了，这样一来，对主回路里的泵和管道的机械性能要求低多了，运行安全有了保障，这是一大优点。

还有一个优点就是发电效率高。压水堆工作温度最多在 350°C ，它的总体热效率只有 35% 左右。而熔盐堆工作温度高达 700°C ，所以用作发电时带来的总体热效率可高达 45% ~ 50%。^[7]这也是十分诱人的优点。总之，原来的条件是低温、高压，现在是高温却只需低压。

为了将链式反应产生的温度带出去，这种反应堆设计了第二回路，将主回路的放射性物质分割开。因为是高温，所以仍然使用同一种熔融冷却剂，将热量带给发电用的第三回路（外回路）的热交换器中。

为了进一步保障安全运行，堆芯下方还设计了一个易熔塞。反应堆过热时，这个小塞子会熔化，熔盐就排入一个容器。裂变物质离开了堆芯，核反应就不会达到临界，链式反应就自动停止了，非常安全。

当然，制造这种熔盐反应堆还有很多技术问题需要研究解决。例如，要在大功率状态下发电运行，所有用于主回路的部件和管道，以及制造它们的原材料在承受高温的同时是否耐腐蚀、耐辐照的问题就显得非常重要。

这种核电站今天依然十分引人注目。美国国家航空航天局就看到，未来的太空任务需要电力，而现有的核电站所用的核反应堆（例如压水堆）结构不适合在太空中运行，所以也在积极组织对钍基熔盐核反应堆的研发。

我国也要通过加大对钍基熔盐核能系统的研发力度，以期最终掌握这

一系统所有核心技术并实现产业化，实现核燃料长期稳定供应、核废物最小化、更好的安全性和经济性，为未来人类提供长期可靠的能源保证。

四、思路之三：用加速器制造中子流注入钍堆——加速器驱动的次临界系统

从堆外制造出中子流然后注入钍堆也是启动核反应的第三种办法。具体做法是使用一台高能带电粒子加速器将带电粒子（质子）加速到足够高的能量，让它轰击一块铅靶，便会释放出中子（科学家称之为散裂中子），这些中子被注入钍堆，撞击堆芯的钍核，就诞生铀-233 从而开始裂变的链式反应。我们称这种系统为加速器驱动次临界系统（ADS）。

为什么这是一个次临界系统？常见的核反应堆在临界状态时链式反应可持续进行，不需人工干预。但问题是一旦失控就会出现严重事故。乌克兰切尔诺贝利核电站的一个反应堆就是因为在很低功率状态下运行不稳定，失控瞬间导致超临界，引发爆炸，给人类带来严重核灾难。现在的加速器驱动次临界系统则不同，当切断质子束那一刻，钍堆内立即没有中子注入，就不能产生足够的裂变物质，无法维持临界状态（没有足够裂变物质维持链式反应，就是次临界状态），于是链式反应立即自动停止。所以这种驱动方法反而成了一种非常好的安全手段，根本不需担心堆芯会熔毁。

细心的读者一定发现，堆芯已经不需要铀或钚的参与，这意味着核能的生产更加清洁安全了！

这种方法要求高能粒子加速器有较高性能，而目前能满足这种要求的，多半是直线加速器，但是它既长又大，建造起来占地面积也大，不适合商业化建造。有一种称为固定磁场交变梯度（FFAG）聚焦的同步回旋加速器，它能使被加速粒子的回旋半径大大缩小，从而缩小整个设备的体积，使商业化投资建造成为可能。英国《每日邮报》曾报道的 EMMA 电子束加速器就属于这种 FFAG 型加速器，它能产生 20 兆电子伏特的激励用电子束流，外观直径大约 10 米，用它来制造中子流，实现使用钍的核能发电。

五、结语

钍的核能应用与开发属于第四代核电技术的一种。因为它相对于第三代铀基核电技术有很多优点，核能的利用前景似乎豁然开朗了。不过，这还只是起步阶段，未来还是有很多挑战，上述三种思路中很多关于核反应堆物理、中子物理与技术可行性、工程设计等问题还需要在不断实验的过程中深入探索和论证。在未来的不长时期内我们必须找到有效应对这些挑战的方案，找到答案。

链接

先进的加速器 FFAG

这是一种固定磁场交变梯度的回旋加速器，原理在 1953 年就被提出了。自从第一个电子模型实验之后，几十年来没有什么大进展，直到十多年前日本 KEK 高能物理研究所为了研究高强度质子的加速，成功研制了一个小的原理验证装置，被加速的质子束流能量从 50 千电子伏特加速到 500 千电子伏特。此后，随着技术的不断进步，已经可建造加速至 150 兆电子伏特，甚至 2500 兆电子伏特，回转半径 38 米的 FFAG 加速器。这种加速器用途很广，英国 EMMA 电子束加速器也是 FFAG 加速器，用于癌症治疗，现在准备用于研究钍基核能发电。

延伸阅读

中国科学院拟用 20 年研发钍基熔盐堆核能系统

2011 年年初，中国科学院（以下简称中科院）宣布计划用 20 年左右的时间研发具有全部自主知识产权的钍基熔盐堆核能系统，引起了世界的广泛注意。

长期以来，我国经济与社会发展一直依赖煤炭发电，其所带来的温室气体排放量居高不下，给社会发展和人民生活带来的影响已经凸显，党中央提出了推动能源生产和消费方式变革的战略，大力研发清洁的替代能源，特别是要加快建设一批具有自主知识产权的第三代核电站，使我国的核能发电能力在 2020 年装机达到 58 万千瓦^[8]。但是我们又注意到，我国是个铀矿资源匮乏的国家，其探明储量排在世界第十位，仅为 17 万吨左右^[9]，是世界铀资源总储量的 1/40^[5]，每年还需进口的铀矿在 6000 ~ 8000 吨。最新的地质勘探结果表明，内蒙古鄂尔多斯地区（大营地区）发现了一个国内规模最大、世界级的铀矿。虽然铀矿资源短缺的情况有所缓解，未来我国核电发展对铀矿资源的需求依然难以满足。

幸运的是中国的钍资源储量估计为 28.6 万吨，占世界总储量的第二位^[10]。只是由于它常与稀土矿伴生，常被当成尾矿而被抛弃，造成惊人的资源浪费。被随处堆弃的钍资源，还因其带放射性而给当地环境和水资源带来严重污染。所以我国必须尽快开发利用这一具有战略价值的、宝贵的能源资源。

中科院按计划重点研发采用钍资源的钍基核电技术，将有助于解决国内核能发电的原材料瓶颈问题。如果技术问题得以解决，钍资源足够我国使用 300 ~ 400 年，完全可以满足国内长期的核电需求。

眼下，我们还只是起步阶段。零功率输出的钍基实验堆已经建成并运转，科研人员正在利用这一装置大力开展基础研究与技术攻关，未来无论是在这种堆型的堆物理理论、中子输运、堆中子通量分布、技术研究，还是在材料、工艺等层面都还有很多挑战。但在高新技术快速发展的今天，利用钍能发电的研究和最终实现商业化运行的前景是十分光明的。根据中科院的“三步走”计划，到 2020 年要建成 10 兆瓦的钍基熔盐原型堆，到 2030 年前后将建成 100 兆瓦的钍基熔盐示范堆。我们期待未来我国将最终掌握这一系统的所有核心技术并实现产业化，实现核燃料长期稳定供应、核废物最小化，有更好的安全性和经济性，为人类提供长期可靠的能源保证做出应有的贡献。

参考文献

- [1] World Nuclear Association. World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements [EB/OL]. (2017-01). <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx>.
- [2] [知识] 快中子反应堆 [EB/OL]. (2015-08-14). http://uzone.univs.cn/news2_2008_708634.html.
- [3] 中国实验快堆首次满功率并稳定运行 72 小时 全面掌握快堆核心技术 [EB/OL]. (2014-12-18). http://news.xinhuanet.com/tech/2014-12/18/c_1113697080.htm.
- [4] World Nuclear Association. Thorium [EB/OL]. (2017-02). <http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/thorium.aspx>.
- [5] 胡左. 白云鄂博矿钍资源回收利用不能再等了 [EB/OL]. (2016-08-10). http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2016-08/10/content_346443.htm?div=-1.
- [6] The Liquid Fluoride Thorium Reactor: What Fusion Wanted To Be, GoogleTechTalks [EB/OL]. <http://youtube.com/watch?v=AHs2Ugxo7-8>.
- [7] Liquid fluoride thorium reactor [EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_fluoride_thorium_reactor.
- [8] 核电行业迎来快速发展机遇 2020 年装机将达到 58GW [EB/OL]. (2016-12-08). <http://www.chinabgao.com/info/96265.html>.
- [9] 中国发现大铀矿打破无世界级大铀矿局面 [EB/OL]. (2016-11-

05). http://bbs.tiexue.net/post2_6387769_1.html.

[10] 钍能 [EB/OL]. <http://baike.so.com/doc/5674935-5887606.html>.

此文由作者的两篇文章合改而成。一篇刊载于《北京日报》“新知周刊”版，2011年6月29日，原题：《钍元素：核能开发三思路》；另一篇发表于《中国科技教育》，2011年第9期（总第186期），原题：《钍燃料：清洁核电技术的突破》。





电磁辐射漫谈

刘大禾

北京师范大学物理系 教授

辐射是一个人人关心，且极为敏感的问题。大家都知道放射性辐射对人类的危害，但对辐射带给人类的益处却认识不足。如何正确地认识辐射，也成为科普工作必须面对的问题。本文介绍辐射的基本常识以及辐射带给我们的利与弊。

一、什么是辐射

辐射的物理定义：自然界中的一切物体，只要温度在绝对温度零度（零下 273.15°C ）以上，都会以电磁波和粒子的形式时刻不停地向外传送能量，这就是辐射。由定义可以看到，辐射本身是一个中性词，并无好坏之分。

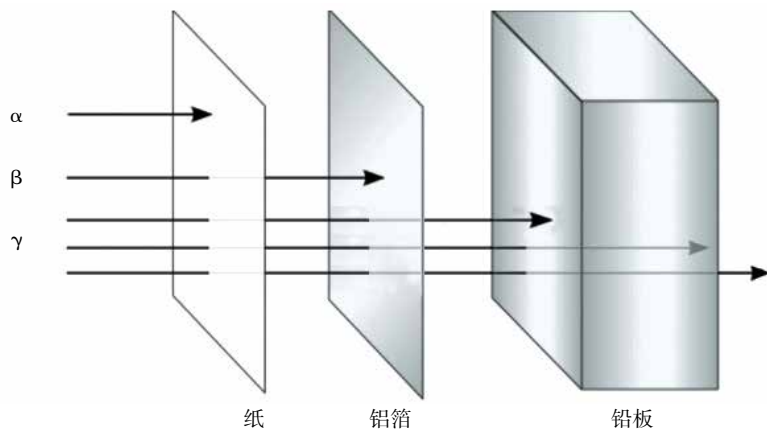
辐射包括以下几部分：

- （1）电磁辐射（即电磁波）：例如，无线电波、微波、光波（可见光、红外线、紫外线）、X射线、 γ 射线等；
- （2）粒子辐射：如， α 粒子、 β 粒子和中子辐射等；
- （3）声辐射：如，超声波、声波、地震波等；
- （4）引力辐射：如，引力波辐射或弯曲时空的涟漪。

人们对辐射的恐惧主要源于辐射的穿透力。以粒子辐射为例，穿透力越强对人类的影响也越大。下图定性给出了三种粒子辐射的穿透力。粒子的穿透能力是由其能量决定的。

我们通常所说的辐射指电磁辐射。下面，对电磁辐射做一个较详细的说明。





- 三种粒子辐射的穿透能力。典型的 α 粒子可被一张纸阻挡。 β 粒子可穿过纸，但不能穿过铝箔。而 γ 粒子不但可以穿过铝箔，甚至可以穿过一定厚度的铅板

二、电磁辐射

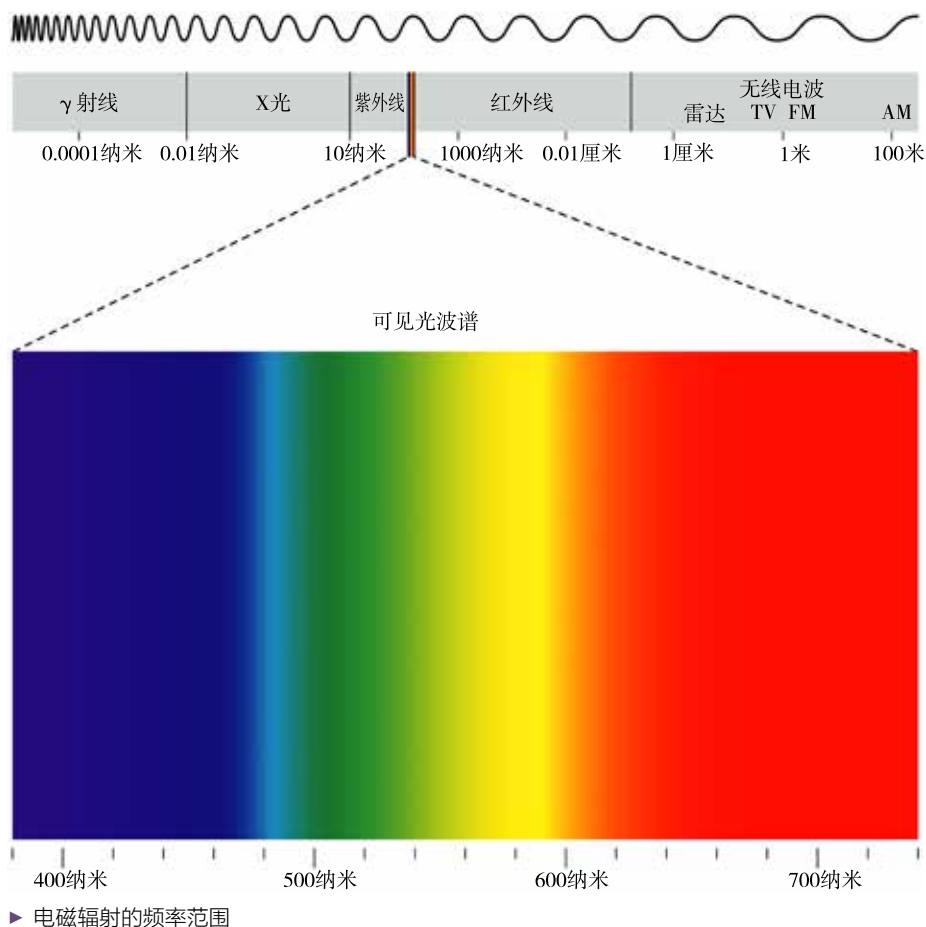
地球所接受的外部能量几乎全部来自太阳的辐射。没有辐射，地球绝不可能是今天样子。

电磁辐射指以电磁波形式发生的辐射。电磁波是现代文明的基础，没有电磁波，人类社会就不可能发展到今天的程度。电磁波包含多个波段，其频率范围非常宽，覆盖了从长波无线电波到波长极短的 γ 射线的广大范围。我们日常生活中每天都会接触多种辐射源，其中包括电灯、电视、收音机、手机、电子计算机、微波炉等。

下图给出了电磁辐射的频率范围。图中最左侧频率最高、波长最短。自左向右频率逐渐减小，波长逐渐增大。

我们先简要看一下各频率范围的辐射与我们日常工作和生活的关系。

长波辐射主要是波长在米级甚至数千米的辐射。这个波段的辐射在大气物理（如天气预报）、地球物理、水下通信等领域有重要应用。无线电波辐射主要涉及广播通信领域，我们平时收听的调频广播、调幅广播的中短波都是在这个频率范围，而电视广播、气象雷达、军用雷达、GPS 导航定



位都是工作在微波这个频率范围。这里需要特别指出，有一个跨越微波和无线电波之间的频率范围，人们称之为射频。射频的频率范围虽然不是很大，但其重要性却得到广泛认同，日常用的手机及医用核磁共振成像仪正是工作在这个频段。红外辐射是典型的热辐射，这个波段的辐射在光通信、大气、环境、医学，特别是在军事中有重要应用，其中，红外制导的导弹就是一个代表。这里，还要特别指出一点，在红外和微波这两个波段之间有一个很窄的频率范围（ 10^{12} ），称为太赫兹波，其重要性正越来越受到人们的重视。近年来，相关的研究得到了飞速发展。上图中彩色标出的狭窄部分就是可见光波段。在麦克斯韦预言电磁波之后不久，人们已认识到光

是电磁波。人类的视觉就是可见光波段的电磁波对人眼作用的结果，可见光也是区分辐射有利还是有害的重要分水岭。紫外波段的辐射在医用消毒、科研等方面得到了广泛的应用，X射线在医学诊断、科研以及测量研究领域有重要作用， γ 射线是宇宙射线和放射性辐射的重要成分。X射线和 γ 射线也叫作电离辐射。由于它们仍在电磁波的频率范围内，在本文中，我们仍称它们为电磁辐射。

有了上面的简单了解之后，我们来介绍辐射对人类的影响。

三、辐射与人类的关系

对于辐射，人类最关心的是其对我们有利还是有害。而要认识这个问题，必须从两个关键因素入手，这就是辐射的频率和剂量。辐射频率指产生辐射的电磁振荡的频率，辐射剂量指辐射总量的多少。

辐射频率的影响：根据物理学的原理，辐射并不是连续的，而是一份一份的。辐射本身的能量（注意：不是辐射剂量），即每一份辐射的能量，是由辐射频率决定的，频率越高，辐射的能量越高（即对人体的穿透能力越强）。因此，讨论辐射对人类的影响，首要的影响就是要考虑辐射频率。

可见光是整个电磁波中频率范围非常窄的一个波段。可见光是电磁辐射的一部分，在一定的剂量范围内，可见光的辐射对人类不但无害，而且是人类必不可少的。人类有五种获取外部信息的感知方式：视觉、听觉、触觉、嗅觉和味觉。其中，视觉获取的信息占人类获取信息总量的约80%。因此，在考虑辐射频率对人类的影响时，我们通常就是以可见光作为分水岭的。

离可见光最近的频率高于可见光的辐射是紫外线。紫外线的频率略高于可见光，因此，能量也比可见光高。大家都知道，紫外线对人眼有伤害，长时间照射会使人的视力受到严重损害。皮肤被强紫外线照射也会被灼伤，甚至患皮肤癌。另外，紫外线虽可用于杀菌、消毒，但杀菌、消毒作用是杀死某种生物或微生物。因此，总体上看，紫外线对人体是有害的。

紫外线左边的一段辐射是X射线。X射线的频率更高，能量也更高，

对人体有较强的穿透力。因此，X 射线被用来作为检测健康状况的医学手段，这就是医院中的 X 射线检查。这是 X 射线的有利之处。然而，由于 X 射线属于高频辐射，物理特性决定了其对我们的健康是绝对有害的。较强的高频 X 射线会破坏人体的分子结构，甚至对基因结构产生影响。大剂量的 X 射线照射更会对健康造成严重损害。但 X 射线所产生的损害经过一段时间的修养是可以恢复的，这就是一个人一年内通常不能接受两次以上 X 射线检查的原因。

必须指出的是，CT 扫描，其全称是 X 射线 CT 扫描，是工作在 X 射线频段的利用 X 射线对人体的极强穿透能力进行疾病诊断的技术。这也意味着 CT 扫描必然会对人体造成较大的伤害，这是由 X 射线的物理特性所决定的。因此，大家对 CT 扫描千万不可迷信，要正确认识其利弊。不到必要时，不要随便做 CT 扫描检查，一定听从医生的意见。



► CT 扫描



比 X 射线频率更高的辐射是 γ 射线。 γ 射线是宇宙射线和放射性辐射的重要成分。 γ 射线的能量极高，会对人体的分子结构和基因结构造成无法恢复的破坏。在载人航天中，航天员出舱进行太空行走所穿的防护服，其重要作用之一就是对其防护。受到放射性辐射的照射后，很多生物的基因被破坏，生物本身甚至其后代会发生变异。人类受到放射性辐射的照射后，患癌症的概率大幅度提高。这些都是 γ 射线影响的结果。因此，这是人类必须严格防范的辐射。人们对辐射的恐惧其实就是源于对这一频率范围辐射的恐惧。下图是航天员穿戴宇航服进行太空行走。由于放射性对人类造成的损害相当恐怖，本文不展示这方面的图片。

电磁辐射频谱图中，可见光右侧的各个波段，其辐射频率均比可见光低。从物理性质上看，这些低频辐射在安全剂量下都是无害的。

距可见光最近的低频辐射是红外线，红外线是人们所熟知的。医院的理疗实际就是接受红外辐射。红外辐射在军事、遥感领域得到了广泛的应用。

比红外线频率更低的是微波。军用雷达、气象雷达以及海洋监测雷达都是工作在微波波段。日常家用的微波炉就是利用微波辐射来加热食品，电视也是工作在微波波段。这些装置都是造福于人类的。

我们在此强调指出，已经在医疗中广泛使用的先进诊断设备——核磁共振仪就是工作在微波波段。微波的物理性质也决定了核磁共振仪对人体是无害的。核磁共振技术是利用人体分子在磁场中会与某个频率的微波发生共振的原理工作。不同的分子结构共振频率不同，改变微波的频率，就可以诊断出正常分子是否发生病变



► 太空行走，航天员必须穿戴能够阻挡宇宙
 γ 射线的特制防护服



军用雷达



气象雷达

► 微波雷达

以及病变的位置。核磁共振技术是一项伟大的发明，是物理学对科学技术的伟大贡献。核磁共振技术一共获得过六次诺贝尔奖，其中物理学奖三次、化学奖两次、生理学或医学奖一次。核磁共振可对疾病进行诊断，并且对人体无害，但在一些情况下仍无法取代 CT 扫描技术。尽管如此，我们仍再次强调：CT 扫描不是随意想做就做的，因为 X 射线辐射对人体是绝对有害的。



► 家用微波炉

绝大多数家长反对孩子玩手机，这是可以理解的，也是在一定程度上应该支持的。但反对孩子玩手机的理由却往往是不成立的。其中，最主要的反对理由是，手机有辐射，对健康有害。其实这个理由站不住脚。谈到辐射，一定要清楚辐射是哪个波段的辐射，然后，

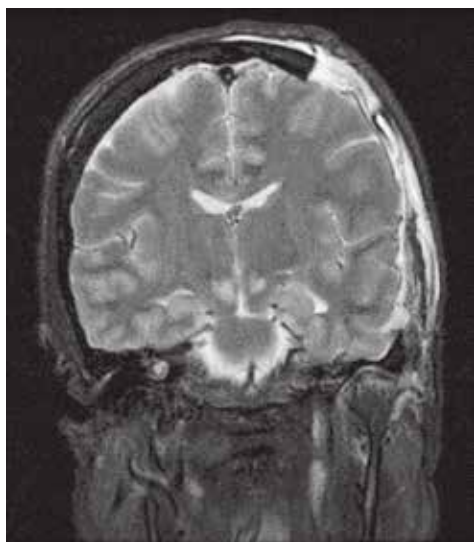
才能分析辐射是有害还是无害。手机是工作在微波波段，GPS 定位及导航也在微波波段，物理特性决定了这个波段的辐射对人体是无害的。当然，玩手机浪费时间，长时间观看刺眼的屏幕有损视力，而这才是玩手机的真正有害之处。控制孩子玩手机是对的，但要讲清道理，要有科学的根据。

比微波频率更低的是无线电波和长波无线电波。这类辐射对人体无害是众所周知的。无线电广播服务于人类已有 100 多年的历史。这里，我们不再赘述。

辐射剂量的影响：剂量是判断辐射是否产生不良影响的另一个重要因素。任何事物都有一个从量变到质变的过程，对于辐射也是这样。通过前面的论述我们知道，可见光及频率以及比可见光低的辐射本质上对人类无害。而这都是在安全剂量的前提下来讨论的，超过了安全剂量事物就会发生根本性的转变。例如，夏天很热时，吃一根冰棍我们会觉得很舒服，但连续吃 20 根冰棍就会有完全不同的结果。又如人体按摩，掌握好力度是非常重要的标准。

X 射线扫描一年不宜超过两次，就是基于辐射剂量的考虑。做 X 射线扫描或 CT 扫描检测时，医生都是在另外一间隔离室内操作仪器。这是因为，一位放射科的医生每天要为几十名病人做检测，他必须在隔离室内以避免受到超过安全剂量的 X 射线辐射照射。

核磁共振是无害的，但医生也必须在隔离室内操作仪器。核磁共振要检测身体内部是否发生病变，因此，需要较大剂量的微波照射。对一个病人，这不会有什么影响。而医生每天反复多次操作仪器，受到过量的照射也会产生有害影响，因此也需要隔离操作仪器。



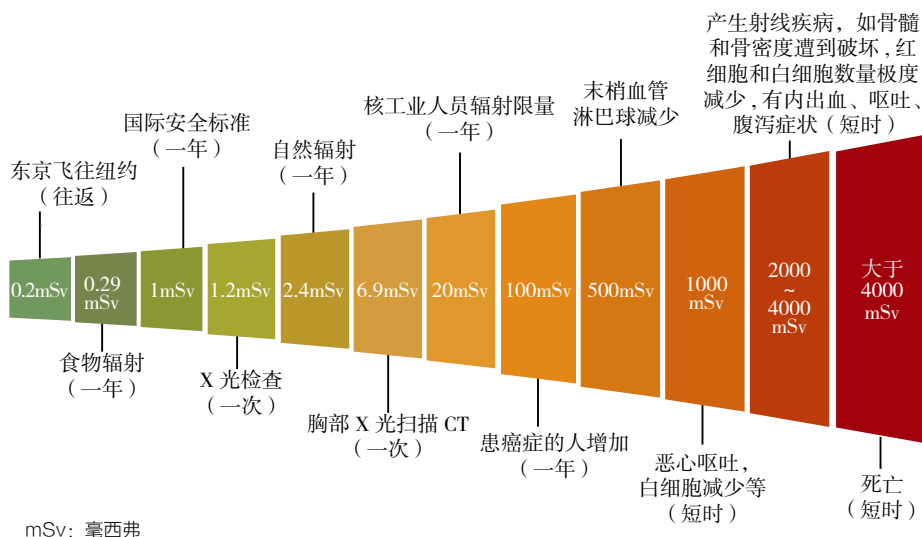
► 脑核磁共振图像

微波炉也有一个用作防护的外壳。这是因为，微波炉的作用是要把生米做成熟饭，需要足够的剂量。一些调查发现，在大功率的雷达站周围，癌症发病率高于远离雷达站的地区。产生这种现象的一个重要原因是大功率雷达要探测几千千米外的目标，需要极强的发射功率，辐射剂量之大，对人体的影响，超出人们的想象。

对于放射性、 γ 射线、X 射线这些绝对有害的辐射，我国做出了明确的安全剂量标准。由下图可以清楚看到各种辐射因素相对于国家安全标准的危险等级。我们发现，做一次 CT 扫描检查所受到的危害已超过国家一年安全剂量标准的七倍。

对辐射的防范：对于放射性辐射必须绝对禁止，即使是微小剂量的照射，也会使人体的细胞和基因结构受到无法恢复的破坏。核电站设有严格的安全措施规定，越接近核心区域，安全措施越严格。进入核电站要穿戴符合标准的防护服。

γ 射线辐射与放射性辐射一样是必须绝对禁止接触的。载人航天中的



► 放射性辐射剂量的国家安全等级标准

宇宙飞船对宇宙中的 γ 射线有很好的防护作用, 航天员出仓时必须穿戴具有很好 γ 射线防护能力的宇航服, 这些都是对 γ 射线的防范。空乘人员有严格工作时间规定就是对 γ 射线的有效防护措施。人类不受宇宙 γ 射线的危害, 是因为地球的大气层阻挡了99.99%的 γ 射线。而空乘人员工作在一万米的高空, 空气稀薄, 对 γ 射线的阻挡作用大幅度减弱。尽管飞机有防范功能, 但长时间工作所受到的 γ 射线照射仍明显多于普通乘客, 工作时间的严格规定就是出于保护他们的健康而制定的。

X射线及CT扫描检查必须听从医生的嘱咐。有些人不顾医生的建议, 哭着闹着要做CT, 其实是对辐射的危害及防范缺乏知识。X射线和CT扫描室必须与外界隔离, 这是对医生和病人家属的防护措施, 使其免受X射线辐射的伤害。

世界著名物理学家、量子力学创始人之一、诺贝尔物理学奖获得者薛定谔在其后半生, 利用量子力学原理研究高能辐射对生命和基因的影响, 写出了科学名著——《生命是什么》。书中, 薛定谔在多个章节详细讨论了X射线对人体分子结构和基因结构, 以及遗传发育的影响。我们对辐射的防护也必须建立在科学的基础上。

紫外线虽不会对人产生严重的伤害，但也需要有效防范。在强光照射时，我们会涂抹防晒霜，这就是对紫外线的防范。电焊机会产生强烈的紫外线，操作电焊机时必须戴防护面罩以保护眼睛。

电视机、手机、计算机屏幕现在都是液晶屏幕。液晶屏幕不产生X射线等有害辐射，大家不必担心，可以放心使用。当然长时间观看会对视力有不良影响，但这已不是辐射的问题了。

核磁共振检测室是隔离的，微波炉有防护外壳，也是基于对过剂量照射的防范措施。大功率雷达站应建在远离居民居住的区域正是辐射防范的必要措施。

以上关于辐射的防范措施，每一个人都应该自觉遵守和执行。病人接受核磁共振、CT扫描、X射线透视检查，不可避免地会受到一些辐射。这些检查的防护措施，主要是对医生的防护。

四、结束语

人类是生活在一个辐射无处不在的环境中，没有辐射就没有人类的今天。大家千万不要谈辐射色变。有些辐射是有害的，而多数辐射是有益的。我们要科学地认识辐射，要严格防范有害的辐射，同时要充分利用有益的辐射。



神奇的爆破

周家汉

中国科学院力学研究所 研究员

说起爆炸、爆破，离我们很远，又离我们很近。很远是说我们一般人不会接触爆破，进行爆破作业或操作施工；说近，是因为我们几乎天天在各种公众媒体上，看到有关爆炸事件的新闻、有关爆破工程报道的视频。现在，让我们了解一些有关爆破技术的科学知识，探求神奇爆破的秘密。

过年放鞭炮，也可以说是爆破，有爆有破，爆是黑火药爆炸，破是纸壳被炸碎。咱们都放过鞭炮，放鞭炮是大家知道的、离我们最近的爆破。所以，可以说我们都接触过爆破。就像街道宣传画告示的，放鞭炮是要躲防一点，不然可能被炸着。鞭炮是这样，爆破更是这样，爆破具有巨大威力，若控制不好，也会造成事故或是失败。要用好爆破，我们要知道它的原理，知道它是怎么回事。了解一些爆破的相关知识是非常有必要的。

了解爆破的威力，让我们先看一看拆除建筑。可能大家在电视节目中看到过，也可能就在身边附近的工地上有过。爆破声中，一座桥被炸垮了、一座座高楼被拆除塌落了。但是，也有例外，一次我们在看现场转播的爆破拆除的视频时，我们看到最后有两组镜头，一组是三个烟囱同时爆破，三个烟囱很听话，整齐地朝一个方向倒塌；另一组镜头，同样是三个烟囱爆破，这时有两个听话倒向一边，有一个烟囱没有按设计方向倒塌，却倒向了相反的方向，这就是爆破失败。

再看一个小朋友喜欢的动漫弹珠人和谁打仗？弹珠人要消灭“外星人”，用了一种武器——激光炮。激光炮可能成为未来战争中的武器。激光炮具有极大的爆炸威力，科幻作品里想象它以后可以应用到宇宙空间，若有外来星球要冲撞地球的时候，我们可用激光炮爆炸改变它的运行轨道。

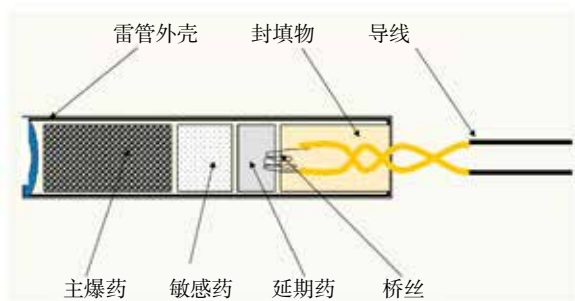


激光在战争中，是大家都想利用的武器。战争中的爆破是很常见的，我们都知道董存瑞炸碉堡的故事，在解放战争的一场战役里，为了扫清部队前进的障碍，他手托炸药包把敌人的碉堡爆破炸毁了。他是战斗英雄，我们要学习他为革命胜利的牺牲精神。战争中用的爆破就是最简单的爆破作业。

爆破、爆炸究竟是怎么回事？爆破是炸药爆炸对介质产生破坏作用。我们周围的空气、水、石头，还有各种各样的东西，都称为介质。鞭炮里爆炸的对象就是包装火药的纸壳。如果我们把爆炸物品，即雷管、炸药，装到山上岩石里去炸石头，就是矿山爆破，装进弹壳里就成了手榴弹。手榴弹里面装的炸药叫 TNT，可用雷管起爆，雷管要用拉火管点响，用手指提拽拉火管相当于划一根火柴，火苗把雷管点着，雷管再把炸药点着，这就是手榴弹爆炸的基本结构。

在常用的电雷管的结构图中，我们看到有一根电阻丝，它和电灯泡里的钨丝非常相近，但是材料不一样，灯泡里是钨丝，电雷管用的材料是镍铬丝或康铜丝。雷管里的电阻丝通电发热，周边是敏感炸药。雷管里有三种药：延期药、敏感药和主爆药。雷管技术在进步，现在有了电子雷管，除了炸药外，电子雷管里还装有一个芯片，芯片记载很多信息，起爆时间需要编码设置，编码设置保证了起爆网路的安全。雷管爆破的时间能做到精确控制，真是毫秒不差。

黑火药是我国古代的四大发明之一，距今已有 1000 多年的历史。黑火药一般由硝石（硝酸钾）、硫黄、木炭混合而成，就是我们常说的一硝二硫三木炭。黑火药在适当的外界能量



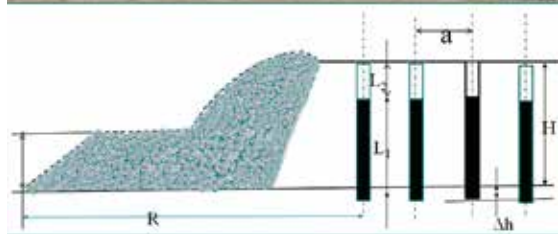
► 电雷管结构图

（火焰或是机械冲击）作用下，能进行迅速燃烧，生成大量高温燃气的物质。如今，黑火药用作推进剂、制造节日用的焰火和爆竹，我们常用的工业炸药是硝铵类炸药。炸药和雷管都是爆炸物品、危险品。雷管和炸药是

比鞭炮更危险的危险品，国家要专门进行管制和控制。有了现在需要编码才能起爆的电子雷管以后，我们对雷管的管控能力更强了。现在还有一种高级的炸药示踪技术，只要提取一点爆炸残留物，就知道炸药的来源。

什么是爆炸？我们常讲的爆炸有三种：物理爆炸、化学爆炸和核爆炸。气球爆炸，用针一扎或用脚一踩，气球就爆炸；给汽车轮胎打气打多了，轮胎也爆炸；做饭的压力锅如果气压阀老化或者气孔堵塞也会发生爆炸，这些都属于物理爆炸。放鞭炮、煤气爆炸和炸药爆炸属于化学爆炸。区别于物理爆炸，化学爆炸过程有化学反应。化学爆炸前后有分子成分的改变（固体物质变成气体物质），往往有气味的变化。核爆炸有两种，一种是利用核裂变技术制造的原子弹，一种是利用核聚变制造的氢弹。三种爆炸的共同特点是能量的突然释放。这种能量的突然释放，导致空气中压力突变，即有响声、爆炸声。能量的突然释放，对周围环境有很大影响，会造成破坏，这就是爆炸。所以，我们把爆炸定义为是物质在瞬间突然发生物理或化学变化，同时释放出大量气体和能量（光能、热能和机械能）并伴有巨大声音的现象。

爆破这两个字里一定要有破坏的对象。用炸药爆炸，破坏不同介质，会得到不同效果的爆破现象。采矿、炸石头，就是常见的矿山爆破。爆破作业是一种施工手段，用于达到一定的工程要求和目的。现代爆破技术应



► 深孔布置与爆堆

用在不同工程上，就有了很多不同的爆破技术称谓，如矿山爆破、沟槽爆破、隧道爆破、基坑爆破、拆除爆破、油井爆破、水下爆破和路堑爆破等。

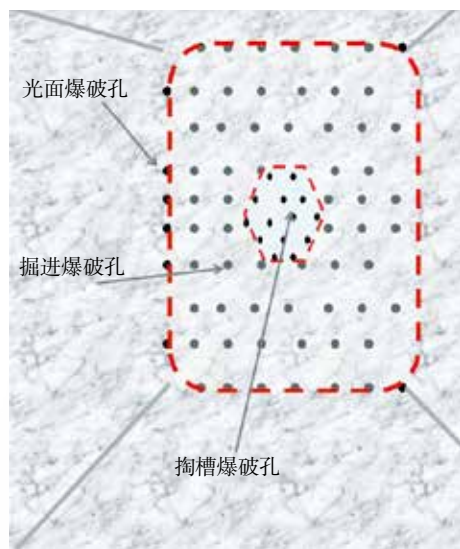
矿山爆破：用于开采各种金属矿石，各种基础建设工程都需用大量的石料。矿山爆破时，要制作炸药包，把雷管先插入炸

药里，再把做好的炸药包装到炮孔里。合闸起爆，爆破后山石被炸松，见到的是均匀破碎的矿石或岩块。爆破前，要进行钻孔，炮孔的深度、间距、每个炮孔里装多少炸药、各个炮孔的起爆顺序都要进行精心设计计算。今天，我们的城市发展日新月异，到处是建起的高楼大厦、桥梁、高速公路、高速铁路、城铁，每项工程都需要大量的混凝土，混凝土生产需要大量石子，石子就是从山上爆破开挖出来的。国家的发展，城市的变化有着我们爆破工程师、爆破员的贡献和辛劳。

沟槽爆破：广泛用于基础建设施工中。顾名思义就是爆破开挖出一条沟，或用作输送天然气、煤气管道的埋设，或用于输水渠道开挖。如陕甘岭天然气进京、西气东输工程、南水北调工程等都需要开挖沟槽。南水北调中线工程从丹江口水库调水经河南、河北将长江水输送到北京、天津。有报道说，2016 年南水北调调入北京的水已占北京市城市用水的 70%。

隧道爆破：修建铁路、地铁、高速公路都要穿过山体，需要开挖隧道。隧道爆破的炮孔布置分作三种：布置在中部的爆孔叫掏槽爆破孔，在它们的外边是掘进爆破孔，隧道周边还有光面爆破孔。掏槽孔先炸，再炸掘进孔，最后炸周边的炮孔，光面爆破后此段隧道开挖成型。一层一层、一次一次爆破后，隧道周边浇灌混凝土就成了我们看到明亮的交通隧道。

拆除爆破：旧桥梁、楼房、烟囱需要拆除更新建设，拆除爆破广泛用于城市改扩建施工。例如，武汉市有一长 3.5 千米的高架桥，工程要求晚上施工，实施爆破拆除，第二天早上马路要能恢复正常公共交通。用爆破拆除技术，仅两分钟就炸完了，五个小时内就把马路清理干净了。同样在武汉汉口，一次爆破在 10 秒钟内依次完成了 19 栋楼房的爆破，拆除建筑



► 炮孔布置



面积达 15 万平方米。

炸楼房是一门有学问的技术，爆破一座大楼先要设计安放炸药的位置和炸药起爆时间的先后，爆破后要使楼体失去稳定和平衡，在重力的作用下，大楼就会按着我们设计好的方向和位置塌落下来。爆破拆除就是充分利用建筑物的高度、质量所具有的势能，破坏其平衡，将势能转变成动能、破坏能，建筑物就被拆除解体了。如果楼房很长，我们就像切黄瓜一样布置炸药爆破支撑点，依次起爆，一片一片把它炸倒塌落。比较不同爆破方

案的爆破效果，我们就知道楼房怎么爆破才科学而精彩，怎么做效果更好。我们的结论是，一般采用的是上下分层解体原地塌落或是逐段解体塌落的方案。

烟囱爆破：我们只需在烟囱根部一侧筒壁上钻孔，把炸药装进去，堵塞炮孔，连接起爆网路爆破，烟囱就会在失去一侧筒壁支撑的情况下，向爆破一侧慢慢倒下。如果采用人工去拆除，工人在上面敲敲打打，一不小心掉下来就会有生命危险。

油井爆破：用于石油、天然气开采。油井钻到含油岩层的部位，要进行射孔弹爆破，通过其爆破打通钻井通往油层的路径，岩层中分离出的油才能流到井里。

总之，爆破是一种非常实用的技术。但是，爆破也存在一些有害效应。它们会产生地面振动、个别飞石、空气冲击波和噪声、粉尘（细小粉末、扬尘、烟雾）、有害气体（一氧化碳和二氧化氮等）。爆破工程师的职责就是要用好爆破的手段，达到工程设计施工要求的目的，同时又要尽量降低、减少危害因素的影响，防止过远的飞石伤人，防止振动导致临近房屋损坏。



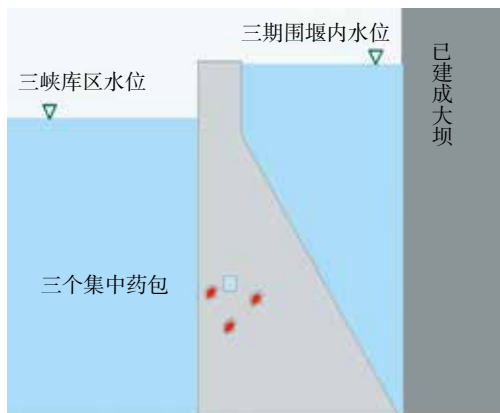
大科学家钱学森先生很关注爆破技术的研究，他曾经说过这样一段话：“爆炸的好处是速度极高，同样的人力，用其他方法、不用机器，也许得干十年，用机器得干一年，用爆炸也许一个月（连打眼、放炮、清除）就行了；爆炸的缺点是不好控制，好像是破坏力！但那是因为我们还没有掌握它，有些神秘感，一旦掌握了规律，同样是可以控制好的。”钱老这句话是对爆破工程师的要求和期望，要不断地去研究、掌握它，破解它的秘密，不断推进和提高爆破技术。

最后，给大家介绍一个典型爆破工程，那就是爆破拆除围堰。围堰是用于围护水工建筑物施工的基坑，把要在水中的施工作业面变为旱地施工，修建的临时性挡水构筑物。从而把水挡在外面，把围堰里面的水抽干以进行作业。修建水电工程拦河大坝、修桥进行桥墩桩基施工，都要有围堰。我国的三峡大型水电枢纽工程，要修建一座大坝把长江拦住蓄水发电。修建三峡大坝工程期间，修筑过几座围堰，大坝建成后，这些围堰就没有用了，要用爆破方法将这些围堰进行爆破拆除。围堰拆除后，大坝就可投入使用。修建三峡大坝工程用的围堰中，有两座土石围堰，爆破拆除时，只需要把其中的混凝土芯墙炸碎，就可以挖移完成围堰的拆除。还有一座围堰是碾压混凝土围堰。

该工程三期碾压混凝土围堰爆破拆除工程，举世瞩目，是一次十分壮观的爆破，可是这次重大爆破工程的实施却有瑕疵，留下遗憾。碾压混凝土围堰爆破拆除方案是在围堰的下部埋设三个集中药包，爆破后形成一个缺口，围堰体上部将在自身重力和堰体两侧水位高差压力的合力作用下倒向围堰上游一侧水库中，沉没落入水库死水位下的库底。但是，在碾压混凝土围堰爆破后，坝前水库中还有一段围堰，没有沉入水下。总体来看，围堰拆除爆破是成功的，但围堰没有全部被炸倒，留下遗憾，也是一个小小的爆破事故。检测后发现，事故的原因是爆破前负责连接起爆网路的工程技术人员疏忽，漏接了15围堰段设定的42发雷管，发生的拒爆事故，导致一个堰块不倒，留下遗憾。3天后再次爆破，三期碾压混凝土围堰剩下的最后一个围堰块成功爆破。

我们希望每一次爆破成功，不出事故。发生爆破事故有种种原因，例





► 三期碾压混凝土围堰爆破拆除堰块爆破药包布置

如：粗心大意网路漏接，这是最低级的错误，最不该发生的事情；线路连接质量不可靠，导线似接非接，造成局部电阻大；雷管段别未按设计配置；炮孔炸药量装错；炮孔堵塞质量不好；炸药失效等，都可能导致爆破失败或造成重大事故。身为爆破工程师，有责任把亲身经历的成功和失败讲给大家

听，一起分享成功的快乐、反思失败的过错，吸取经验教训，避免爆破事故，要牢记爆破工程师的格言“成功在于一丝不苟”。

“成功在于一丝不苟”不仅是一种科学精神，也是科学态度。爆破作业是一个团队行为，大家共同为事业负责才能成功。爆破成功在于团队每一个人的一丝不苟敬业精神，一个人的一个错误或是疏忽都可能导致爆破的失败或是重大事故。爆破施工作业需要一丝不苟的精神，我相信，记住“成功在于一丝不苟”的格言对每个人、做什么事情都是有益的。

探秘海洋中的极端微生物

孙万儒

中国科学院微生物研究所 研究员

广袤的海面占据地球面积的 70.8%，地球名副其实的是“水球”。人类生活在陆地上，很多食物来自海洋的动物和植物，一些资源取自海洋，但是对海洋既熟悉又陌生，浩瀚的海洋中生活着多少种生物，至今依然是未解之谜，我们对于海洋孕育的生物所知极为有限。目前有来自 53 个国家的 300 多位科学家参与到一项空前的合作计划中——海洋生物普查，预计至少要花上 10 年时间，需要 10 亿美元的经费投入，为所有的海洋生物进行鉴定和编写名录。

现代的海洋生物调查发现，神秘的海洋中几乎到处都有生物，包括动物、植物和微生物，构成复杂的生物群落。随着海域地理位置、海床结构、海洋深度等因素的变化，不同环境的海洋中，动物、植物和微生物的生物群落的种类组成和结构，以及各种群数量、个体大小、形态、生理生化特性等都很不同，海洋是个极为精彩又多样的世界，海洋中生物的分布格局与海洋环境有着密切的关系。

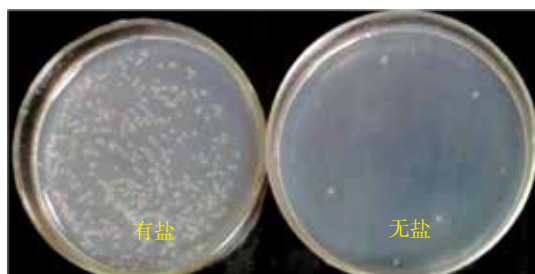
人们在关注海洋生物和环境的时候，往往重视的是动物和植物，而忽略了微生物。客观地说，海洋微生物是海洋生态系统的重要组成部分。与陆地相比，海洋环境具有高盐、高压、低温、高温和营养稀少的特点，海洋微生物长期适应复杂的海洋环境生存繁衍，因而有其独具的特性。在海洋中它们既是分解者，又是生产者，促进了物质循环，为动植物的生存提供良好的环境和资源。海洋生物群落中的自养和具有光合能力的细菌，其自身的增殖为海洋原生动物、浮游动物以及底栖动物等提供直接的营养源，在食物链上有助于初级或高层次的生物生存繁衍。在深海底部，硫细菌实



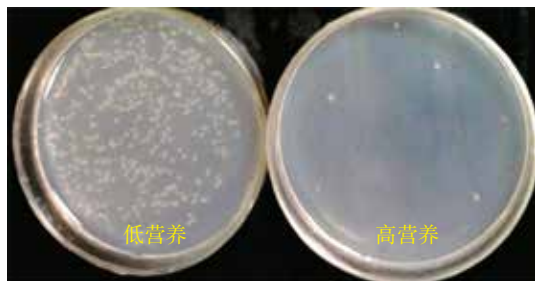
际上负担了全部初级生产。海洋微生物的拮抗作用可以消灭陆源致病菌，它的巨大分解潜能几乎可以净化各种类型的污染物。自人类开发利用海洋以来，使海洋生态系统的动态平衡遭受严重污染和破坏，微生物降解各种海洋污染物或毒物，有助于海水的自净化和保持海洋生态系统稳定。

人们对海洋生物知之甚少，对深海生物的了解更少。这里海水深达数千米，甚至万米，海水压力随着水深每增加 10 米约增加 1 个大气压，在 1 万米的深渊，压力相当于 1000 个大气压。海水吸收阳光，海深 200 米以下几乎没有阳光。除个别海域水温较高外，深海水温平均为 $1 \sim 3^{\circ}\text{C}$ ，最低可达零下 1.8°C 。海水中含有各种无机盐，盐度较高，在 35‰ 左右，各大洋盐度因所处地理位置不同有所变化。海水的含氧量随深度加深而减少，通常 500 ~ 1000 米水深处含氧量最低，其上下水层含氧量均较高。海底的沉积物多为软泥和黏土，含有少量的有机物。在这样极端环境中会有什么样的生物能够生存繁衍，是人们关心的问题。

与陆地相比，海洋微生物长期在复杂的极端环境繁衍生息，形成独有特性：嗜盐性、嗜热性、嗜冷性、嗜压性、低营养性、趋化性、附生性、发光性等。



► 在有盐培养基上生长 ► 在无盐培养基不能生长



► 少数海洋微生物需在营养贫瘠的培养基上培养

世界不同海域的盐度因地理区域和环境不同而有显著差异，海水平均盐度为 35‰。这造就了海洋微生物的嗜盐性，没有钾、钠、钙、镁、硫、磷、卤和其他微量元素就不能生长。但海洋中还存在极端嗜盐菌，在盐浓度 1.5 ~ 5.0 摩尔/升的环境下可以生长，最适生长盐浓度 3.5 ~ 5.0 摩尔/升 (29%)。主要有嗜盐杆菌和嗜盐球菌，均属于古菌。

由于海水营养物质稀薄，大部分海洋微生物已经适应这样的环境条件，因此在普通的营养丰富的培养基上不能生长，少部分需在营养贫乏的培养基上培养，而不能在营养丰富的培养基上培养。

直到 19 世纪初，科学家开始关注深海生物的研究，但因研究条件所限，难以深入海洋深处，误认为 550 米以下是无生命区，因此，相关研究进展缓慢。19 世纪 70 年代，英国“挑战者号”获得了首批深海生物样品，确证深海存在生物。此后，欧美一些国家和地区相继开展深海生物调查，20 世纪 60 年代以来，随着深海调查技术和设备不断改进，如应用新的深潜器，人们可以到达 10911 米深海，采用水下电视摄像机、水中立体照相机、机械手对深海生物进行调查研究，包括深海环境，深海生物的种群生态、生理、生化和适应机制等的研究不断取得进展。我国虽然在这方面开展研究较晚，但自行设计的“蛟龙号”已对 7000 多米的海洋深处进行科考，取得了大量的深海生物样品，推动了我国的相关研究。

1977 年，美国伍兹霍尔海洋生物学实验室的“阿尔文”深潜器在太平洋加拉帕戈斯群岛东北 300 千米水深 2550 米处的断裂带发现在海底存在一些火山口，大量含有硫化物的液体从裂缝中喷出，形成浓密的黑色烟雾，人们称之为“黑烟囱”，又称海底热液口。虽然一个热液口区面积只有几百平方米，但生活着密集的生物群落，它们是完全不依赖于光合作用而独立生存的生命体系，体系中的微生物包括嗜热的古菌、细菌，硫酸还原菌、产甲烷菌，它们都是耐压、严格厌氧的异养菌，密度高达 $10^8 \sim 10^9$ 个 / 毫升。还有大型生物如长管虫、蠕虫、蛤类、贻贝类、蟹类、水母、藤壶等，共同组成了“黑暗食物链”。让生物学家惊讶的是这里的静水压超过 1000 个大气压，而生物量是附近深海环境中生物量的数万倍，这样的环境竟能孕育出如此丰富的生物群落！



► 美国伍兹霍尔海洋生物学实验室的“阿尔文”（1997 年）深潜器

丹麦微生物生态学家罗尼·格鲁德和他领导的南丹麦大学的研究团队在世界最大海沟，位于太平洋的马里亚纳海沟深达 11000 米的海底，发现生活在这里的微生物呈现出一派生机盎然的景象。在带回来的海底泥土样本中发现每立方厘米平均含有 1000 万个微生物，这一数量是位于该海沟顶部高原收集到的泥土中微生物数量的 10 倍多。

在“黑烟囱口”附近的海水温度高达 350℃，周围的海水温度也在 100℃以上，“黑烟囱”附近到处是火山喷发出的硫黄和硫化物。斯坦福大学科学家在这里发现一株古菌，其最适生长温度为 100℃，80℃以下即失活；德国的斯泰德在海底发现一株古菌，能生活在 110℃以上高温中，最适生长温度为 98℃，降至 84℃即停止生长；2004 年，马萨诸塞州大学教授德瑞克·莱乌利从“黑烟囱口”分离一株菌，将其放入 121℃的高压灭菌锅中，加热 24 个小时，不仅没有杀死，细胞数目还增加了一倍。科学家还从深海 2000 ~ 4000 米处的“黑烟囱体”中分离出 100 多株能在 130℃、600 个大气压的环境下生长繁殖的超嗜热古菌，对它们的基因组测序，进一步研究发现它们可能起源于 30 亿年前。

将从深海热液取出的样品在实验室里进行培养，即使在“黑烟囱”喷发口的 350℃下，也不能使所有的微生物都能够生长。因深海热液口的环境非常复杂，不仅是温度、黑暗、水的静压的问题，还包括很多复杂的化学组成，甚至包括非常复杂的微生物生态系统。在实验室不可能完全模拟，所以有些微生物很难培养。表明极端环境生物的生存条件不仅是极端的，更是系统的、复杂的，研究的难度也大。

深海热液环境与地球早期环境类似，缺氧、存在各种还原性气体、高温，并保持着化学及温度梯度。对从中发现的超高温超高压微生物进行基因组测序，发现这些微生物多处于进化树的根部，它们保存了地球上最古老的生物信息。因此，这些极端微生物成为研究陆地生命起源的一个窗口。系统研究现代深海微生物基因组所蕴藏的信息，结合环境模拟来追溯形成基因组内源结构所必需的外在理化条件，与已有的地质记录相对比印证，可以为生命起源甚至早期地球环境演化的研究带来新的机遇，也可能为地球以外一些生命形式的存在提供参考。

近年来，生命的热起源假说成为生命起源的主流，但对此假说也有质疑，嗜热物种究竟是祖先，还是在极端环境的压力下选择进化的结果。对极端嗜热微生物的研究将有助于对生命热起源假说的进一步认识。更有意义的发现是，古菌遗传信息的传递与真核生物极其相似，因而古菌很可能成为了解真核生物，甚至我们人类的遗传信息传递系统的有效模型，也有助于了解地球生命的限制条件，同时为研究其他星球的生命提供重要线索。

海洋深处既有高压热环境也有冷环境，热环境大部分是在海底火山口。冷环境则是深海中，随着海洋深度的增加，水温不断降低。特别是在南北极存在大量的冰山，科学家从南极东方湖 3593 米处的冰芯中分离到 42 万年前的活细菌。美国路易斯安那州立大学布兰特·克里斯特纳和他的同事们采用了不沾染微生物的钻孔和取样技术，从南极西南极冰原下的惠兰斯湖大约 800 米深处取样，证明在黑暗寒冷环境中，存在多样生态系统。这些微生物中，有许多似乎从融冰和冰层下的岩石及沉积物中获得营养源。俄罗斯南极科学考察站的科学家也从 3500 米的冰层中取得冰芯，在严格的无菌条件下分离，发现了细菌、酵母、真菌和藻类，证明在低温环境存在嗜冷的微生物。科学家还从深海分离到一株假单胞菌，该菌可在 100 个大气压（ $1.01 \times 10^8 \text{Pa}$ ）、 3°C 的环境下生长，这样的专性嗜压菌只有在加压条件下才能够生长。深海中生存的微生物具有多重嗜极性，如既嗜冷又嗜压、既嗜热又嗜压、既嗜热嗜压又抗盐耐贫瘠，有着极为丰富的生物多样性。

不论是热环境还是冷环境，都生活着很多的远古微生物。目前世界上已知的深海微生物有百万种以上，但是科学家现在真正能够有条件研究的也就只有万分之一。随着研究的深入，科学界对极端微生物的研究兴趣越来越浓厚。短短 40 年间，对极端微生物多样性的研究取得了很大进展。仅超嗜热菌就从 1972 年的 2 个种增加到目前的 80 多个种，其他各类极端微生物的种也有 200 多个。随着研究的深入和新研究方法的采用，微生物生存的环境条件极限也将不断地被改写。

目前，我国从 5000 米左右的海底采集微生物样本进行研究，随着“蛟龙号”的入海，为未来深海极端环境微生物的深度研究提供了保障。

现代人类之所以对深海极端环境微生物有如此巨大的兴趣，除在探究

生命起源、进化和外星生命是否存在的研究有重要意义外，从更现实的角度上看，研究清楚极端微生物生理生化特性及其产生的原因，开发特殊的基因与产物，可为工业、农业、环境、能源、人类健康的发展提供新的途径，为现代生物技术带来革命性进步。

我国地质考古发现古老的燕山山脉、祁连山脉、秦岭等存在前寒武纪古老的“黑烟囱”，对其地质结构、矿物组成、结构构造进行深入研究，发现大量的微生物化石，研究表明深海热液及存在的大量极端微生物对矿化和石油、煤炭的形成起到重要作用。

极端微生物的酶和代谢产物已成为生物技术创新的源泉之一，并已经创造了财富。目前在国际上大规模产业化的极端酶，一个是1969年从美国黄石国家森林公园火山温泉中分离嗜热菌产生的Taq DNA聚合酶，该酶使DNA的体外复制变得异常简便，大大加快了生物技术、基因重组等分子生物学的进程，年销售利润达到上亿美元；另一个是嗜碱菌产生的一种纤维素酶作为洗涤剂的添加剂，已有数十亿美元的全球市场。此外，嗜盐古菌的紫视红质具有光致变色、光电响应、质子传输等性能，是构建光储存、光学信息处理、光接收器、人工视觉、光电子传感器、全息干涉器等生物分子器件的最佳材料。极端嗜盐菌产生的生物可降解生物材料，有可能取代不可生物降解的化学合成材料。同时，来自极端微生物的生物催化剂因具有耐高压、高温、低温、高盐碱或有机溶剂等特性，有望使工业生物催化过程发生巨变。

在石油开采和作为汽车燃料的酒精生产方面，极端微生物可以发挥巨大作用。一般石油开采的采出率只有30%~40%，将具有分解石蜡能力的嗜热、耐压、嗜盐、厌氧菌的培养物与水或菌剂，与营养物及水一同注入油井中，可使石油采出率增产50%。利用嗜热脱硫菌枯草芽孢杆菌和脱硫分支杆菌可以进行石油脱硫，解决燃油对环境的污染问题。嗜热芽孢杆菌敲除乳酸脱氢酶基因，用于高温乙醇发酵；可一边发酵，一边蒸馏乙醇，防止产物抑制，提高发酵酒精产量，减少冷却费用。

嗜酸菌能够将硫化物或硫氧化成硫酸，硫酸可以将矿石中的铁、铜、钴、镍、锌、锡、铀等金属溶解提取出来，进行回收，对于贫矿和多组分

矿的综合利用做出贡献。

极端嗜酸和嗜热菌可用于去除煤炭中有机和无机硫化物，减少煤炭燃烧产生的二氧化硫的排出，减少酸雨酸雾和对环境的影响，甚至可以用于石油脱硫。

在环境保护方面，工业废水一般酸性、碱性或含盐量大，只有合适的极端微生物才能够分解其中可能造成环境污染的物质，净化水质。嗜热甲烷菌能够快速将有机废物转化为甲烷，减少废物停留，提高工作效率，甲烷还可用作燃料，从而解决能源问题。

在农业方面，将极端微生物的耐冷、耐盐、耐碱、耐干旱等极端环境的特殊功能基因转入农作物，使其具有耐寒、抗旱和耐盐碱独特性能，可用于盐碱地生物改造，提高农作物产量，有利于农业的可持续发展。

另外，极端微生物也已成为新的抗生素和新药的重要来源。长期的进化以及特殊的生活环境决定了极端微生物独特的代谢和生理能力，能够产生普通生物所没有的活性物质。目前，已经从各类极端微生物中提取到多种结构新颖的抗生素，因此极端微生物及其特殊的产物有可能形成新的产业方向，其特殊的功能和适应机制，是改造传统生产工艺和提升生物技术的有效途径。

极端微生物能够适应环境的多样性，说明它们早已解决了科学家今天仍在寻找答案的那些问题，对其研究开发，将为缓解资源、环境压力，保障社会可持续发展提供有效途径，因此，深海极端微生物成为当今科学家关注和研究的重点。随着生物学及其他科学和技术的不断进步，将为深海极端微生物的研究开创更好的条件，会进一步促进深海极端微生物的研究和发展。



► 污水处理厂

现实世界的微小造物主

——与人类息息相关的微生物

孙万儒

中国科学院微生物研究所 研究员

我们的地球年龄大约是 45.6 亿年，迄今为止科学家发现的最早的古生物化石是 32 亿年前的原核生物——细菌的化石。在非洲、澳大利亚和加拿大等地的一些叠层石的岩石层中发现了远古细菌活动的痕迹，从地质年代推算，这些细菌最早应在 35 亿年前。

原核细菌是没有成形细胞核或线粒体的一类单细胞或多细胞（例如念珠藻）生物，以简单二分裂方式（无有丝分裂或减数分裂）繁殖，包括细菌、放线菌、蓝细菌、螺旋体、支原体。凡“菌”字前带有“杆”“球”“螺旋”和“弧”字的都属于细菌，即原核生物，例如大肠杆菌、枯草杆菌、肺炎双球菌、霍乱弧菌、乳酸杆菌。除此之外，还有固氮菌（根瘤菌）、硫细菌、铁细菌、硝化细菌等。常见的放线菌如小金色链霉菌、龟裂链霉菌、红霉素链霉菌和小单孢菌等属于原核生物。蓝藻，又称蓝细菌，如色球藻、念珠藻、颤藻、螺旋藻等也均属于原核生物。



► 大肠杆菌



► 肺炎双球菌



► 幽门杆菌



► 蓝藻

蓝藻的出现，对地球十分重要。因为它能够吸收阳光，利用溶解在海水里的无机物进行光合作用，合成糖类和蛋白质等有机物，放出氧气，使混沌的原始大气逐渐改善。许多细菌具有将分子氮还原成氨态氮的能力。它们不仅使原始大气中的氮气比例降低，更重要的是为其他生物的蛋白质合成提供了丰富的氮源。氧气的增加、大气组分的改善又为耗氧生物的繁荣、进化创造了条件。真核生物藻类的出现进一步加强了地球上的光合作用等物质循环，放出大量氧气，形成大气的臭氧层，减弱了日光中紫外线对生物的威胁，使水生生物有可能发展到陆地上来，也为多细胞低等动物的兴起提供了食物。

原核生物在进化过程中产生两个分支，一个是原核生物（细菌和古菌），一个是原真核生物。在之后的进化过程中细菌和古菌向不同的方向进化，细菌一直繁衍至今；另一部分发生分化和进化，形成现在的古菌。

人们发现它们与现在的许多细菌的差别很大，甚至远远大于与真核生物（真菌、植物、动物）的差别。它们是没有成形的细胞核或线粒体的一类单细胞或多细胞生物。此外，这些生物的细胞膜结构、细胞壁结构、辅酶、代谢途径、翻译机制均与一般细菌不同。

古菌是一类很特殊的细菌，多生活在极端的生态环境中。具有原核生物的某些特征，如无核膜及内膜系统；也有真核生物的特征，此外还具有既不同于原核细胞也不同于真核细胞的特征，如细胞膜的组成。与大多数细菌不同，它们只有一层细胞膜而缺少肽聚糖细胞壁。而且，绝大多数细菌和真核生物的细胞膜中的脂类主要由甘油酯组成，而古菌的膜脂由甘油

醚构成。

很多古菌是生存在极端环境中的。一些生存在极高的温度（经常 100°C 以上）下，比如间歇泉或者海底“黑烟囱”中。还有的生存在很冷的环境或高盐、强酸或强碱性的水中。然而，也有些古菌是嗜中性的，能够在沼泽、废水和土壤中被发现。很多产甲烷的古菌生存在动物的消化道中，如反刍动物、白蚁或者人类。古菌通常对其他生物无害，且未知有致病古菌。

单个古菌细胞直径在 $0.1 \sim 15$ 微米之间，有一些种类形成细胞团簇或者纤维，长度可达 200 微米。它们可有各种形状，如球形、杆形、螺旋形、叶状或方形。它们具有多种代谢类型。值得注意的是，盐杆菌可以利用光能制造ATP（腺嘌呤核苷三磷酸），尽管古菌不能像其他利用光能的生物一样利用电子链传导实现光合作用。

细菌已经进化了 30 多亿年， 30 多亿年前它们的细胞结构应该是更简单、更原始。在 30 多亿年前的那种严酷的地球环境条件下，这些细菌之间发生的吞噬、融合、基因转移、重组、杂交、突变比在现在的自然条件下可能更加频繁，因此新的物种不断出现。现今所知最古老的真核生物化石



有近 21 亿年的历史，有人推测最早的真核生物可能早在 30 亿年前就出现了。有可能真核生物单细胞藻类是真细菌与古细菌吞噬、融合、分化、进化的产物。真核生物的出现，是地球的生命大繁荣时期的前奏。

从地球上生命的诞生到 10 亿多年前原生动物的出现，这些单细胞的微生物统治地球 20 多亿年。这是个漫长的年代，也是缓慢变化的年代。这个时代后期地球环境发生了巨大变化，后来生物物种几经大灭绝和大爆发，不断地分化、进化，形成如今丰富多彩的生物世界，现在所有的动物和植

物包括我们人类都发源于这些原始的微生物。另外，微生物物种不但没有灭绝，仍保留至今，而且不断进化发展，形成了巨大的物种群。可以说，没有早期最简单的生命形式的微生物的出现，也就没有现在的地球环境、生物群和人类。

虽然微生物在地球上已经生存了 30 多亿年，但是人类认识微生物，发现它们的存在，只有短短的 300 多年历史。

这是因为它们个体太小，人们无法用肉眼看到，只有荷兰人列文·虎克发明显微镜以后人们才可能仔细地观察它们。因此，人们对肉眼看不到、须借助显微镜才能看到的生物称为微生物，它包括病毒、细菌（真细菌和古菌）、真菌、原生动物和藻类。目前人们能够培养、观察、研究的微生物仅占我们地球上总的微生物种类的 1% 左右，也就是说，还有 99% 的微生物在等待我们去认识。这个比例要比动物、植物高得多。

微生物的特点是小。个体最小的病毒只有 20 纳米；一个细菌也只是 1000 纳米，体积大约只有 1 立方微米，1 万亿（ 10^{12} ）个细菌的总体积也仅有 1 立方厘米，总重量 1 克左右，但是它们的表面积之和却接近 6 平方米。而我们一个成年人体重 60 千克，体表面积不到 1.5 平方米。按体重与体表面积比，细菌比人高 30 万倍。由于微生物个体的微小和巨大的比表面积，它们的单个细胞表面直接与周围的环境接触，不需要摄取、消化、排泄器官，营养的吸收和废物的排泄直接在细胞表面进行，因此与环境的物质、能量和信息的交流快速而充分，其代谢能力是其他生物无法比拟的。比如，一个 50 千克体重的人一天不可能吃掉 50 千克的食物，而 100 克体重的小老鼠一天吃 100 克食物没有问题。细菌 1 小时就可以消耗相当于细胞体重 2000 倍的葡萄糖，具有极高的生命活力。

在适宜的条件下，如果供给充足的营养，大肠杆菌每 20 分钟就可以进行 1 次细胞分裂，变成 2 个；1 小时分裂 3 次，变成 8 个细菌。在理论上，24 小时可分裂 72 次，就是说繁衍出 4722 亿亿（ 4.7×10^{19} ）多个细胞，这种生长繁衍速度是动物和植物无法比拟的。当然，由于自然环境不可能为其提供这样优越的条件，这种繁殖神话也很难实现，即使在液体培养条件下这种翻番式的繁殖也只能持续几个小时。但是这种巨大的潜力是存在

的，一旦有了适宜的条件，它们就会快速繁殖。如果我们不小心吃了被痢疾杆菌污染的食物，它们就会在我们体内迅速大量繁殖，大约四五个小时后，就会拉肚子。所以，致病微生物的快速繁殖成为威胁人类健康的大敌。同样人们可以利用微生物的这种快速繁殖的特点，进行大量培养，在工业上用于生产各种我们需要的产品。

根据对营养物种类需求的不同，微生物可分为自养型和异养型。只以简单的无机物为营养的微生物称为自养微生物，需要有机物作为营养的称为异养微生物。同样根据微生物代谢能量来源的不同也分为两种类型，以光作为能量来源的微生物称为光能型，以化学能为能量来源的为化能型。营养和能量是生物生存、繁衍的必需条件，据此，微生物可以分为四大类型：光能自养微生物、光能异养微生物、化能自养微生物和化能异养微生物。

我们前面介绍的蓝细菌和嗜盐细菌都属于光能自养微生物。它们和高等植物一样，以太阳光为能量来源，但他们不需要任何有机物，只利用简单的无机盐和二氧化碳就可以合成细胞所需的所有物质。蓝细菌吸收和利用太阳光的并不是叶绿素，而是一些类似于叶绿素的结构物。嗜盐细菌主要由视紫红质蛋白质构成的紫膜结构，将光能转化为生命活动所必需的能量。化能自养微生物也主要是细菌，它们不是利用光能，而是利用无机物的化学变化产生的能量进行生命活动。比如在暗无天日的深海海底火山口附近存在大量的硫细菌，它们利用从地壳中冒出的硫化氢为能源，以海底的二氧化碳为碳源即可生存、繁衍。还有氢细菌，它们不需要氧气和阳光，只以氢气为能源、二氧化碳为碳源生活，并产生甲烷。它们需要的营养和能源十分简单，所以能够适应类似于原始地球的生存条件并大量繁衍。

地球上生存的绝大多数、同时分布最广的微生物都是化能异养型，它们靠分解其他生物提供的有机物获得能量和营养。同时，也存在像含有叶绿素的藻类和叶绿素结构类似物（细菌叶绿素）的细菌，例如紫色细菌、红色细菌、绿色细菌等，它们和植物一样以阳光为能源，但却以有机物为营养物，为光能异养微生物。

微生物生存所需的能量和营养简单，而且种类繁多，所以微生物几乎

可以适应地球上任何地方的条件。在土壤、水体、空气中，在各种物体的表面，在动、植物体表、体内均存在大量的各种微生物。微生物与其他生物之间存在寄生和共生的关系，既可以引起寄主的疾病，也可以和寄主共存互利。比如包括人在内的动物肠道中就寄生大量的厌氧微生物，它们不仅帮助消化食物吸收营养，还可以产生动物必需的维生素和蛋白质，刺激肌体产生免疫反应，防止有害微生物的入侵和定居，消除有害微生物和物质，为寄主的健康做出巨大贡献。

在我们的地球上，上至高空，利用火箭携带的探测仪曾在 74 千米的高空收集到 2 种细菌和 4 种真菌孢子；下至近万米深的黑暗海底，火山口附近，在这种高温、高压的条件下生活着大量的细菌；在深入地下几千米的岩层中发现过细菌；在温度近百摄氏度的高压热泉里，在南北极零下四五十摄氏度的冰原上，在浓度很高的盐碱湖水里，甚至在 10% 的硫酸溶液里都有微生物的存在，而且正常生活。而动物和植物在这样条件下很难生存。能够在这种极端环境条件下生活的微生物统称为极端环境微生物。由于它们能够耐受这种极端条件，与其他生物相比，它们在生理、生化、细胞结构上具有十分特殊的地方，比动植物具有更丰富的多样性。因此，研究这些极端微生物，了解他们能够耐受极端条件的生物学、生理和生化原因，对我们深入认识生命、生命起源和开发应用具有极其重要的作用。

实际上，微生物在我们这个世界上担负着两个最主要的任务，一个是分解，大部分微生物属于腐生，具有很强的将有机体分解成简单有机物和无机物的能力。比如动植物死亡后，它体内的微生物和外界侵染的微生物就会大量繁殖，造成动植物尸体的快速腐烂，分解变成简单的有机物、无机物和二氧化碳而消失。分解形成的这些物质再为其他生物或微生物利用合成新的有机物，实现自然界的物质循环。如果我们这个世界没有了微生物，整个地球就将被死亡的动植物遗体所覆盖，物质循环停止，可利用的物质被动植物消耗完，因为没有新的食物和营养，最后生物会全部灭绝。

微生物的另一个最重要任务是利用简单的有机物和无机物合成复杂的有机物，包括微生物自身，它们作为其他生物的营养或食物而进入食物链，成为食物链的基础，使其他生物得以生存、繁衍、发展。因此，微生物、

植物和动物的共同存在和作用构成了地球上的生物链、食物链和物质循环链，才有了今天地球上丰富多彩的生物世界和优美的生态环境。

微生物细胞结构简单，在物理、化学因素影响下，一旦某个细胞发生变异，哪怕概率是百万到亿分之一，由于微生物具有快速繁殖能力，就会产生大量变异株，以适应各种环境条件。因此，造成微生物具有极其丰富的物种和基因多样性。这种多样性也形成了微生物的生理、生化和代谢的多样性，不仅造就了它们的惊人的生存能力，也造就了它们惊人的生产能力和破坏能力。微生物的这种容易变异的特点给微生物感染引发的疾病的预防和治疗带来困难。比如，病毒感染造成的流感，特别是易发生基因突变的 RNA 病毒引起的艾滋病和非典型性肺炎，为疫苗的开发带来困难，即使成功开发了疫苗，也会因新的突变株的出现使预防效果降低。还有目前临床上大量致病菌抗药性的产生也是因大量滥用抗生素引起突变造成的结果，这直接关系到我们人类的健康。这种特点被人们利用，通过人工的遗传变异育种的方法，不断改善其性能，提高其产生能力，为人类生产大量产品。这些产品涉及人类生活的方方面面，在工业、农业、食品、医药、轻工、化工、环境整治和保护，甚至石油开采、金属冶炼、贵重金属富集等，几乎所有的领域都发挥了巨大作用。

因此，微生物与地球环境的改变，生物繁衍、生存和进化，人类社会的进步密不可分。可以说，没有微生物就没有今天的地球和人类。

原文刊载于《中国教育报》，2004 年 2 月 1 日。

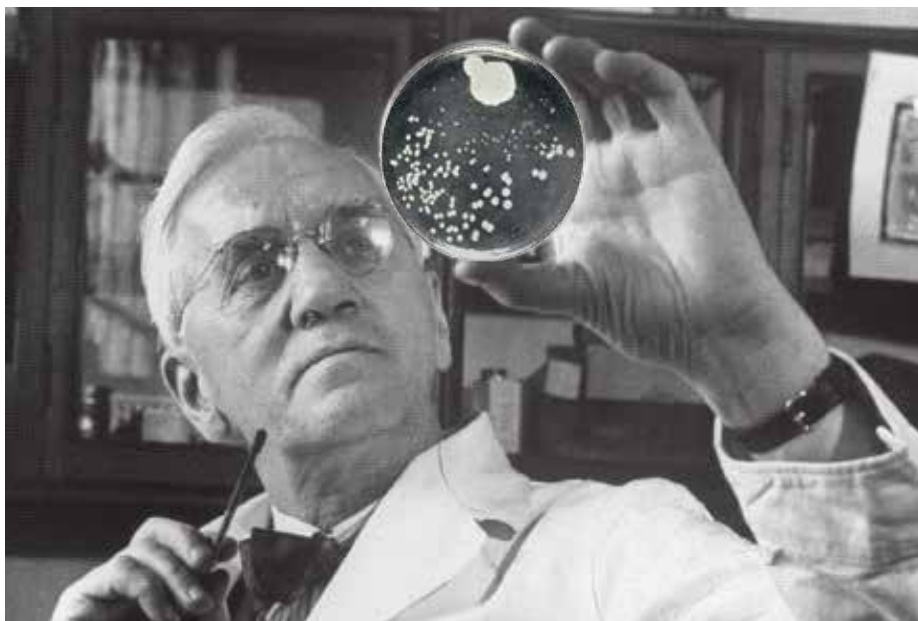
话说青霉素

孙万儒

中国科学院微生物研究所 研究员

一、几乎被埋没的偶然发现

1928年9月的一天早晨，在英国伦敦圣玛丽医学院担任细菌学讲师的亚历山大·弗莱明像往常一样来到了实验室。在实验室里一排架子上，整齐地排列着很多玻璃培养皿，里面分别培养着各种有毒的细菌。弗莱明正在寻找一种能够制服它们，或把它们变成无毒菌的方法。其中有一种在显微镜下看起来像葡萄状、存在很广泛、能够使伤口感染化脓的葡萄球菌。





► 青霉菌

弗莱明试验了各种药剂，力图找到一种能杀它的理想药品，但是一直没有成功。

弗莱明来到架子前，逐个检查着培养皿中细菌的变化。当他拿起靠近窗户的一只培养皿的时候，他皱起了眉头，自言自语道：“唉，怎么搞的，竟然变成了这个样子！”原来，这只贴有葡萄球菌标签的培养皿里的培养基发了霉，长出一团青色的霉斑。

他的助手赶紧过来说：“这是被杂菌污染了，别再用它了，让我倒掉它吧。”弗莱明没有马上把这只培养皿交给助手，而是仔细观察了一会儿。他惊奇地发现，在青色霉菌斑的周围有一小圈空白的区域，原来生长的葡萄球菌消失了。难道是这种青霉菌的分泌物把葡萄球菌杀灭了吗？想到这里，弗莱明兴奋地把它放到了显微镜下进行观察。结果发现，青霉菌附近的葡萄球菌已经全部死去，只留下一点痕迹。

他立即决定，把青霉菌分离出来进行培养。几天后，青霉菌明显繁殖起来。于是，弗莱明用一根湿线蘸上葡萄球菌，放到青霉菌的培养皿中，几小时后，葡萄球菌全部死亡。接着，他分别把带有白喉菌、肺炎菌、链球菌、炭疽菌的湿线放进去，这些细菌也很快死亡。但是放入带有伤寒菌和大肠杆菌的湿线时，这两种细菌照样繁殖。

为了试验青霉菌对葡萄球菌的杀灭能力有多大，弗莱明把青霉菌培养液加水稀释，先是1倍、2倍……最后以800倍水稀释，结果它对葡萄球菌和肺炎菌的杀灭能力仍然存在。这是当时人类发现的最强有力的一种杀菌物质了。

可是，这种青霉菌液对动物是否有害？弗莱明小心地把它注射进了兔子的血管，然后紧张地观察它们的反应，结果发现兔子安然无恙，没有任何异常反应。证明这种青霉菌液体没有毒性。

通常，在培养微生物时发生这种情况并不奇怪，这种情况是培养皿被

杂菌污染。因为在周围的空气中漂浮着各种各样的微生物，例如细菌、真菌、酵母，甚至病毒等，即使经过过滤、消毒、灭菌，仍然不会全部去除，在接种时有的还会落在培养基上，培养后长成菌落。按照常规做法，如果不影响实验结果，可以忽略；如果有影响，要重新进行实验。

弗莱明没有按常规进行处理，他仔细观察、验证，才有了青霉素的发现。弗莱明发现青霉素虽然带有偶然性，但如果不具备严谨的科学态度和追求探索的精神也不会有发现，同样，前人的经验、知识的积累也给他以莫大的启示。因此任何重大发现都是必然的偶然，这种偶然只留给那些有心人。

弗莱明的发现引起了他的一位显贵朋友的注意，并建议他申请制造青霉素的专利权，那样将来就会发大财。弗莱明经过考虑，写信婉言拒绝了那位显贵的建议。他说：“为了我自己和我一家的尊荣富贵，而无形中危害无数人的生命，我不忍心。”1929年6月，弗莱明把他的发现写成论文公开发表。在论文中他把这种青霉菌分泌的杀菌物质称为青霉素。

由于青霉素具有抑制细菌的能力，对动物无害，他建议用这种青霉菌培养液作局部外敷来治疗溃疡一类的皮肤感染。但是因为青霉素在培养物中的含量太少，没有办法大量制备供给使用。更重要的是，1932年克鲁德布科（Clutterbuck）和1935年瑞德（Reid）根据弗莱明的发现，对青霉菌的培养物也进行了研究，并提取了青霉素，他们发现在水溶液里青霉素质性质不稳定，在室温下放置时间长了就会破坏，失去杀菌作用。因此，科学家认为青霉素不适合用作抗感染性疾病的药物，也不值得进行深入的化学与生物学的研究。再加上当时科学家正热衷于磺胺药物研究，把希望寄托在正风靡一时的磺胺药物上。因此，科学家就这样把青霉素放弃了。

二、重新燃起的希望

20世纪上半叶，世界多灾多难，战争频发，疾病流行，因为无药救治造成大量人口死亡。1939年第二次世界大战爆发，造成大量伤员，这些伤员在战场上没有死，但因为感染无法控制，许多伤员在痛苦的煎熬中死去，



为拯救伤员性命，急需大量的抗感染药物进行救治。

于是，科学家又想到既然青霉素可以杀死葡萄球菌，就有可能杀死能使人致病的细菌。在牛津大学主持病理研究工作的澳大利亚病理学家霍华德·弗洛里和德国的生物化学家厄恩斯特·钱恩，仔细阅读了弗莱明关于青霉素的论文，对这种能杀灭多种病菌的物质产生了浓厚的兴趣。但是他们知道，要提取出这种物质，需要各方面科学家的共同努力。他邀请了一些生物学家、生物化学家和病理学家，组成了一个联合实验组。这之中，钱恩是他最主要的得力助手。

在弗洛里的领导下，联合实验组开展了紧张的研制工作。微生物学家每天要配制几十吨培养液，把它们灌入一个个培养瓶中，在里面接种青霉菌菌种，等它充分繁殖后，再装进大罐里，送到钱恩那里进行提炼。

提炼工作繁重而艰难，一大罐培养液只能提炼出针尖大小的一点点青霉素。经过几个月的辛勤工作，钱恩提取出了一小匙青霉素。把它溶解在水中，用来杀灭葡萄球菌，效果很好。即使把它稀释 200 万倍，仍然具有杀灭能力。

联合实验组选择了 50 只小白鼠来进行试验。把每只都注射了同样数量足以致死的链球菌，然后给其中 25 只再注射青霉素，另外 25 只不注射。实验结果是不注射青霉素的小白鼠全部死亡，而注射的只有一只死去。

之后，他们开始了更努力的提取工作，终于获得了能救活一位病人所需的青霉素。医生第一次用青霉素救治了一位患败血症的危重病人，使当时无法治疗的败血症病人恢复了健康，这引起巨大的震动。于是青霉素一时成了家喻户晓的比黄金还要贵重的救命药物。

社会需求是推动科学技术前进的动力，只要是有益于人类的发现都不会被埋没。

三、

希望变为现实

这时弗洛里清醒地意识到，为使青霉素能广泛地用于临床治疗，满足战争的需要，必须改进方法和设备，进行大规模生产。但这对联合实验组

来说非常困难。当时伦敦正遭受德国飞机的频繁轰炸，要进行大规模生产也很不安全。1941年6月，弗洛里不顾钱恩的反对，带着青霉素样品来到不受战火影响的美国。他马上与美国的科学家开始合作。经过共同努力，终于研究出以玉米汁为培养基，在24℃的温度下进行发酵的方法和设备，提炼出的青霉素，纯度和产量有了大幅度提高。在1943年实现了青霉素的工业化生产，从而很快开始了在临床上的应用。

青霉素制备最早还采用过固体表面培养法，即使用麸皮、豆饼粉、玉米粉等固体物与水混合制成的固体培养基经过加热灭菌，冷却后与青霉菌菌种液体混合，放到浅盘里，再将盛有发酵物的浅盘摆放在室内的架子上，保持室内温度和湿度，并经常翻动，进行发酵。发酵结束后，用水将产生的青霉素由固体培养基中浸提出来，制成干粉。这个生产过程与过去农村使用原始的制曲发酵生产酱油醋类似。使用这样的非常原始的生产方法虽然可以生产出青霉素产品，但存在许多问题。

为了获得足够量的青霉素，需要大量的培养基和培养室，占用的厂房非常大，这也使温度和湿度很难控制。工人在又热又潮的培养室里，劳动强度非常大，十分辛苦。更重要的是在发酵过程中，为了通气，培养基暴露在空气中，空气中的各种微生物会造成大量污染，无法做到纯种发酵，使每一次的发酵结果都不相同，很难控制发酵过程，生产的产品的质量也无法保障。像这样的问题还有很多，因此，当时利用固体表面培养法生产青霉素的水平很低，发酵效价只有40多单位/毫升，提取收率只有20%，产品纯度为20%，而且成本很高。按现在对医药产品质量要求，这样的产品很难作为药物使用。

这迫使科学家探索新的生产方法，1942年液体深层发酵法研究成功。液体深层发酵与固体表面培养相反，使用液体培养基在固定的容器内发酵。液体培养基是相对于固体培养基而言，液体培养基中水的含量达到80%~90%，而固体培养基的固体物占60%~70%，水占30%~40%。液体培养基中有能完全溶解的营养物质，也可以含有一定数量的固体营养物。

因为青霉菌生长和产生青霉素需要氧气，发酵过程必须通入大量的空

气满足它们的需要。而通入普通的空气是不行的，因为空气中存在大量的微生物，进入发酵液中会大量繁殖，造成污染，甚至喧宾夺主，使发酵遭到破坏。因此，必须彻底地清除通入的空气中的所有微生物。一般是通过加压升温、冷却除水、多次无菌过滤等方法来实现。这就需要一套制备无菌空气的设备和工艺。

另外，空气中的氧气在水中的溶解速度和量十分有限，为了满足青霉菌生长和产生青霉素的需要，要加快氧的溶解速度和提高发酵液中的氧浓度。为解决这个问题，除了加大通气量外，更重要的是将通入的空气气泡打碎、变小。对于同一体积的空气来说，气泡越小，空气与液体的接触面积越大，氧气在发酵液中的溶解速度越快，才可满足菌体的需要。为了实现这一目的，首先要将进入发酵罐的空气尽可能地分散成较小的气泡，然后再通过搅拌打成更小的气泡，这就需要精益求精地不断完善设计、改造设备。

搅拌在发酵过程中还有改善物质和热量传递的作用，使发酵物料混合均匀，防止局部温度过高，提高加热和冷却效率等。但是，搅拌不当也有负面作用，比如打断菌丝、伤及细胞、影响细胞的正常代谢和青霉素的合成。因此，为了提高搅拌效率，降低负面影响，对搅拌器的形状、大小、位置、个数以及产生的混合方式都有严格要求。影响混合效率的还有发酵罐的形状、径高比，挡板的形状、数量、设置位置、形态等。这就涉及发酵罐和辅助设备的设计和加工等一系列的工程设备问题。

对于任何一种微生物来说，它们生长和合成产物时都需要一个适宜的温度范围，就像我们人一样温度高了、低了都不行。我们可以通过增减衣服，开空调、暖气来解决。对于微生物，我们没有办法给它们穿衣服，但可以采用类似开空调、暖气的方法解决。就是在发酵罐上加上用于冷却和加热的夹套和螺旋管，通过通入冷水或热水进行冷却或加热，维持发酵温度。

另外，为了保证纯种发酵，也就是只保证能够产生青霉素的一种青霉菌生长，而不允许其他微生物生长、污染，在接种产生青霉素的青霉菌之前，要对使用的发酵罐及附带的设备和培养基进行灭菌，把其中存在的所

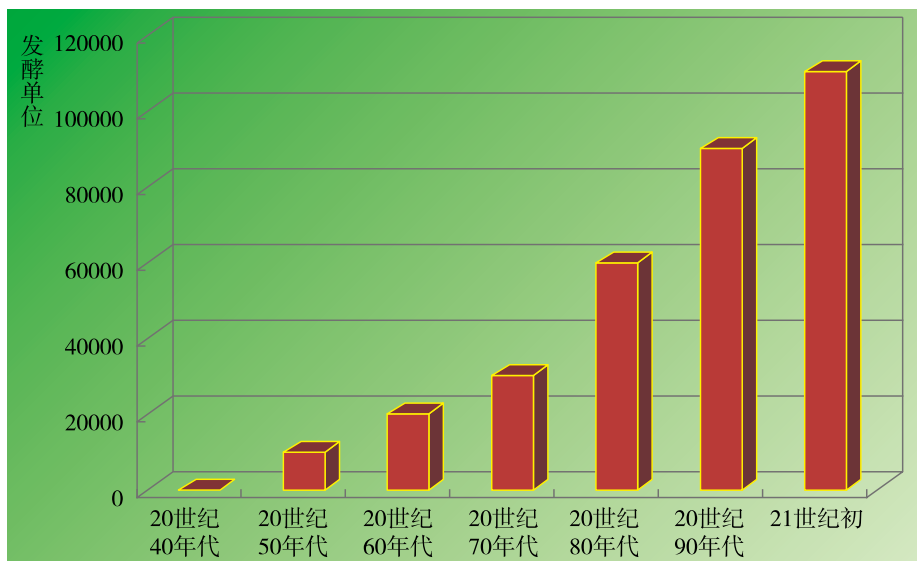
有微生物全部杀死，防止将杂菌带入发酵系统。通常使用高温灭菌法对培养基和发酵设备进行消毒灭菌，即通入高温高压蒸汽进行消毒。灭菌之后还需要进行冷却，使温度降到适合微生物生长。微生物在生长、代谢旺盛时会产生大量发酵热，使温度升高，这时需要对发酵系统进行冷却，保持适宜的发酵温度。发酵后期，微生物生长缓慢，发酵热产生减少，甚至停止，进行产物合成时又需要维持适当温度，这时要进行适当加热保温。为了在不同发酵阶段保持适宜的温度，必须有加热和冷却装置和控制系统。

发酵结束，产生的青霉素还在发酵液中，必须进行分离。首先要进行过滤，将发酵液中的固体物质，比如菌体和没有消耗掉的固体营养物质组分除去，将滤液用酸调成酸性，使青霉素成为青霉素酸，然后用有机溶剂乙酸丁酯进行萃取，将青霉素萃取到有机溶剂中，达到分离的目的，经脱色，再用碱性水从含有青霉素的有机溶剂中反萃取出来，使青霉素变成盐，重新溶到水中，经过浓缩、结晶、干燥，就可以得到青霉素产品。

为了满足青霉素发酵和提取的这些条件，就必须解决与之有关的技术设备和工艺问题。为此人们根据对青霉素发酵过程认识的不断深入，不断地研究和发展了可通入无菌空气、利用夹套和套管通入冷、热水控制温度的密封搅拌式发酵罐，配套的其他设备，如空气压缩、过滤、灭菌设备，以及相应的生产工艺和技术，使青霉素的生产从 20 世纪 40 年代初的发酵效价每毫升 200 单位、提取收率 75%、产品纯度为 60% 的水平的基础上不断提高；也使发酵所需的厂房占地面积、劳动强度、能源消耗、原材料、成本等大大降低，为青霉素在临床上的大量使用奠定了基础。

四、精益求精

虽然青霉素可以工业生产了，但这种生产水平与现在的生产水平无法相比。现在青霉素工业生产使用的发酵罐最大可达 300 立方米，生产过程全部由计算机控制，青霉素的发酵水平达到每毫升发酵液 7 万 ~ 8 万单位，实验性的发酵水平达到每毫升发酵液 10 万单位，从发酵液中提取出青霉素，制成产品的收率为 90% ~ 95%，产品纯度 99.9% 以上。仅就青



► 青霉素发酵水平变化

霉素的发酵水平的变化图就可以看到，几乎是每十年青霉素的发酵效价增加一倍。

青霉素产业化到现在也就是半个多世纪，而在这半个多世纪里，科学技术的发展突飞猛进，极大地推动了青霉素工业的发展。前30年的生产水平的提高主要依赖于微生物学、遗传学、生物化学和发酵工程学的发展。首先，生产菌种发生了巨大变化，人们在自然界广泛收集产生青霉素的微生物菌种，不断地进行对比、选择，筛选到生产水平更高的产青霉素菌种。然后，根据经典遗传学的方法，采用各种物理、化学诱变和无性杂交手段，对菌种进行改造，使菌种的产青霉素水平不断提高。另外，根据菌种的生理特性和青霉素合成代谢的特点不断改善培养基成分，投其所好，使青霉素的发酵水平逐步上升。

随着人们对青霉菌的生理、生化特性研究的不断深入，对青霉素在细胞内的合成过程也了解得越来越多，人们根据这些特点采取了各种有针对性的措施，限制对产生青霉素不利的因素，充分发挥、调动有利因素，不断优化发酵和提取的条件，在发酵设备、工艺、技术上采取相应措施，是20世纪80年代以前青霉素发酵和生产水平不断地大幅度提高的主要原因。

葡萄糖虽然是菌种生长和合成青霉素必需的碳源，但是过多的葡萄糖会产生抑制作用，特别是对青霉素的产生不利。因此，在发酵过程中随着葡萄糖不断地被菌体利用消耗而采取了不断流加补充葡萄糖的方法，保持葡萄糖浓度处于低水平，既能够满足青霉菌生长和青霉素合成的需要，又不会产生不利影响，从而使菌体生长和青霉素的合成水平大幅度提高。

对青霉素的化学结构的研究发现，青霉素由母核和侧链两部分组成。由不同的菌种产生的青霉素虽然有差别，但母核是相同的，差别只在侧链上，比如青霉素 G 的侧链是苯乙酸，而青霉素 V 的侧链是苯氧乙酸。对青霉素在细胞内合成过程的研究发现，构成青霉素 G 和 V 不可缺少的侧链前体在菌体细胞内合成速度比较缓慢，成为合成青霉素的瓶颈，因此人们想到，在发酵时添加必需的侧链苯乙酸或苯氧乙酸是否可以提高青霉素的合成速度和产量？实际的研究结果证明，确实如此。于是人们又研究什么时候加、加多少、怎样加等问题，随着侧链添加工艺的不断改进和完善，青霉素的发酵水平不断上升。

对青霉素合成途径的研究发现，该途径与赖氨酸的合成过程有关，赖氨酸生物合成的一个中间体 α -氨基己二酸参与青霉素合成。赖氨酸合成过程中，如果赖氨酸合成较多，会反过来对其本身合成过程的第一个酶——高柠檬酸合成酶的合成产生反馈抑制作用，这就限制了 α -氨基己二酸的生成，从而间接地抑制青霉素的合成。如果在青霉素发酵过程中加入 α -氨基己二酸，可减少赖氨酸的抑制作用，也就提高了青霉素的产量。这一发现又为提高青霉素的发酵水平开辟了一个新的途径。

对青霉素发酵过程中温度对菌体生长、发酵水平的影响的研究发现，总体上菌体生长的最适温度为 30℃，青霉素合成的最适温度为 20℃。根据计算机模拟对发酵最适温度的计算得出，青霉素发酵的最适温度是在最初的 5 小时维持 30℃，在较高的温度下可加快细胞成长，缩短发酵开始时细胞适应新环境的时间；随后发酵温度降低到 25℃，发酵 35 小时，控制菌丝生长和代谢水平；再降低发酵温度到 20℃，发酵 85 小时，可以促进青霉素的合成；最后发酵温度回升到 25℃继续发酵 40 小时，然后结束发酵、放罐。最后提高发酵温度的目的在于促进发酵产物青霉素从细胞内释放到



发酵液中。采用这种变温发酵，使发酵过程的细胞生长和产物合成阶段均处于最适温度条件下，其青霉素的产量要比以前的 25℃ 恒温发酵的产量高 14.7%。

科学家就是通过这样的一点一滴的详细研究的积累，不断加深对菌种和青霉素合成过程的认识，不断改进、完善发酵和提取的工艺、技术和设备，到 20 世纪 80 年代青霉素的发酵达到了每毫升发酵液 6 万 ~ 7 万单位的水平。

五、好风凭借力，送你上青天

近 10 多年来，基因工程和代谢工程的发展，为改造菌种、提高青霉素产量提供了强有力的手段。由于现在青霉素在细胞内的合成途径和关键点，以及青霉素合成途径与其他代谢途径的关系已经研究得十分清楚，因此，人们可以采用基因缺失的办法将能够消耗合成青霉素原料和干扰青霉素合成的代谢旁路的关键基因“关掉”，或将这个“控制阀门”关小，提高合成青霉素原料的利用率，减少副产物的形成，进一步提高青霉素的产量。或者用基因工程方法将控制青霉素合成途径的基因和合成青霉素途径中的关键基因转移到青霉素生产菌中，使其数量增加，这相当于将控制合成青霉素的“阀门”开大，使合成青霉素的途径更顺畅，也可以大大提高青霉素的产量。这就是利用基因工程的方法有目的地改造青霉素的代谢合成途径，因此称为代谢工程。

前面我们提到菌体生长和青霉素合成都需要大量的氧，因此在发酵过程中提供充足的氧是青霉素发酵的关键。但是在大规模生产中，因为设备条件的限制，利用提高搅拌速度、加大通气量和提高发酵罐的压力的方法提高氧的溶解速度和浓度都是有限的。为了突破这种限制，人们想到了血红蛋白，因为它是动物体内携带氧的分子，一个血红蛋白分子可以携带四个氧原子，具有富集氧的作用。因此利用基因工程方法，将血红蛋白基因导入生产青霉素的菌种中，在它的细胞内合成一定数量的血红蛋白，可以起到富集氧的作用，达到提高青霉素产量的目的。通过这样的一系列改造，获

得的工程菌的生产能力大幅度提高，再配合发酵工艺的改进，青霉素发酵效价可以达到每毫升近 10 万单位，产生的青霉素可以直接从发酵液中结晶出来。

在这半个多世纪里，青霉素的生产水平不断提高，达到现在这种水平，完全是在相关科学和技术进步带领和推动下实现的，特别是近 10 多年来，生物技术的进步和发展为青霉素生产水平的提高起到巨大的推动作用。另外，青霉素产业的发展和提高离不开工程、技术、工艺和设备的不断发展和完善，它们相辅相成，缺一不可。这也是千千万万的科学技术工作者辛勤努力的结晶。

六、继往开来

青霉素在治疗疾病上的巨大成功，极大地震撼和鼓舞了微生物学家和药物学家，使人们认识到微生物可能是一个巨大的新药宝库，为寻找新的药物开辟了新思路和途径。人们怀着如同淘金和寻宝一样的心情开始在微生物中寻找新的类似于青霉素的物质。1944 年瓦克斯曼从灰色链霉菌中发现了能够治疗结核病的链霉素。结核病一直困扰着人类，是人类极度恐慌的传染病，链霉素的发现为人类征服结核病带来了希望，同时也开辟了利用放线菌生产抗生素的途径。

随后，在微生物中发现了许多具有杀灭和抑制其他微生物，甚至是肿瘤细胞发育和代谢的生物活性物质，现在人们将之统称为抗生素，具有抗微生物作用的抗生素又称为抗菌素。20 世纪 60—80 年代是抗生素研究发展的高峰期，到目前为止从微生物中发现的抗生素有近 8000 多种，在工业上生产并在临床上应用的抗生素有近 100 种。因此，形成了一个庞大的抗生素工业产业体系。

青霉素的产业化，是由传统发酵进入现代发酵工业的转折点，标志一个新的产业部门——现代发酵工业的诞生。为了不断提高青霉素的工业化生产水平，科学家进行了大量的微生物生理、生化、代谢研究，找到了提高青霉素发酵水平的方法和条件，为保证这些方法和条件在工业上实现，



科学家又研究开发了大量新的工程、设备、技术和工艺并应用于青霉素生产，进一步促进了青霉素工业的发展。青霉素工业发展的同时，带动了其他发酵产品的研究开发，并将青霉素生产的经验、设备、技术、工艺扩展到其他发酵产品上，促进了其他发酵产业的发展，逐渐形成了抗生素、氨基酸、有机酸、酶制剂、有机溶剂、维生素、食品以及近年发展的多糖和核酸等工业系统，形成了完整发酵工业体系。它的生产总值，在我国达到整个国民经济生产总值的 4% ~ 6%，而在发达国家达到 10%。

伴随着青霉素产业的诞生和发展，为解决青霉素和现代发酵产业技术、工艺、工程和设备在研究和发展中遇到的基础理论和应用基础理论问题，一个新的学科——发酵工程学也随之诞生了，它现在已经成为生物技术中的发酵工程和生物化学工程的主要部分，为生物技术产业的发展做出了巨大贡献。

七、青霉素不灵了

青霉素之所以能够杀细菌，达到治病的目的，那是因为青霉素能够抑制或破坏细菌细胞壁的形成。这正如把一只小兔子的皮剥掉，小兔子就不能活一样。细菌细胞壁被破坏，细菌就不能够繁殖，从而达到杀菌治病的效果。

在 20 世纪 50 年代，也就是青霉素开始大量在临床上使用时，一个病人每一次注射青霉素只需要 20 万单位，而到了 90 年代，一个病人每一次注射的青霉素需要 80 万 ~ 100 万单位，青霉素用量几乎增加了近 5 倍。为什么在不到半个世纪里，病人需要注射的青霉素用量增加了近 5 倍，是不是如人们所说的现在的青霉素质量不如从前了呢？不是的。现在生产的青霉素质量不仅不比从前生产的青霉素质量差，反而还有大幅度的提高。其主要原因是由于人们长期、大量使用青霉素，特别是不科学地大量滥用青霉素，例如低剂量长期使用，使许多致病菌对青霉素产生了耐药性，医生不得不增加青霉素的用量，以保证治疗效果。

还有一些致病菌不仅能够耐药，而且还产生了破坏青霉素的能力，能

够将青霉素的母核破坏，使其丧失杀菌活性，这样青霉素就不能把它杀死。为了解决出现的这个问题，人们又开始了新的征程。

八、魔高一尺，道高一丈

在青霉素的化学结构与药效关系的研究中，科学家发现青霉素母核是由一个四元环与一个五元环并在一起所组成的分子活性部分，它是青霉素抗菌活性的关键部分，如果四元环被破坏而打开，青霉素就失去了抗菌活性；另一部分是与之连接的侧链。研究发现改变侧链的结构，可以增加母核的稳定性，增加耐受致病菌破坏的能力。同时还可以扩大抗菌谱，增加耐酸性，使之可以口服，在一定程度上也可以降低过敏性。因此，通过对青霉素的侧链结构改造，可以达到提高青霉素药效和治疗作用的目的，具有巨大的临床应用价值。

以前，科学家利用化学方法将用发酵产生的青霉素的侧链“切下”来，获得母核，然后再经化学方法给母核接上一个新的侧链，得到的是经过改造的“半合成青霉素”。致病菌对经过改装的青霉素的破坏和耐受能力降低，容易被杀死。过去病人注射一针普通青霉素要 80 万 ~ 100 万单位，而现在使用半合成青霉素，如氨苄青霉素、羟氨苄青霉素，只需要 20 万 ~ 40 万单位，就可以达到同样的治疗效果，甚至更好。

但是，用化学方法生产青霉素母核很困难，需要很繁杂的低温化学反应，一不小心，可能会失败，得不到产品。而且使用的试剂昂贵，生产的青霉素母核成本很高，阻碍了半合成青霉素的发展。

20 世纪 50 年代末期，科学家在微生物中发现了一种能够将青霉素的侧链“拆下来”得到青霉素母核的一种酶，就给它起名叫做青霉素酰化酶，但当时并没有引起人们的注意。直到 70 年代，半合成青霉素的发展需要大量的青霉素母核，而使用化学方法生产又遇到许多困难时，科学家才想到青霉素酰化酶，开始进行大量研究。

最早发现的青霉素酰化酶是由大肠杆菌细胞产生的，酶存在于细胞内，因此称为胞内酶。可以直接使用含青霉素酰化酶的大肠杆菌细胞作为酶源，



用于催化青霉素的水解反应，将侧链切掉，获得母核。后来发现其他一些细菌，比如巨大芽孢杆菌，产生的青霉素酰化酶是在细胞外的发酵液里，科学家称之为胞外酶，因为产量高，比较容易分离得到而受到科学家的重视。

但是，无论是胞内还是胞外的青霉素酰化酶，在工业上使用都有许多缺点。比如，使用细胞作为酶源时，在使用过程中细胞会破裂，由细胞释放出来的许许多多细胞内的物质会释放到反应液中产生污染，增加产物分离的负担，影响产品质量。即使细胞不破裂，因为大肠杆菌细胞很小，从反应液中除去细胞也比较麻烦。使用酶时，因酶是溶解在水里的，它催化反应结束后也需除去，但分离有一定困难，容易污染产物。另外，细胞和酶催化反应结束后，并未完全丧失催化能力，往往还可以再使用，但在溶液中的细胞和酶很难分离出来。费了很大力气生产的细胞或酶只使用了一次就丢掉了，十分可惜，也是浪费。

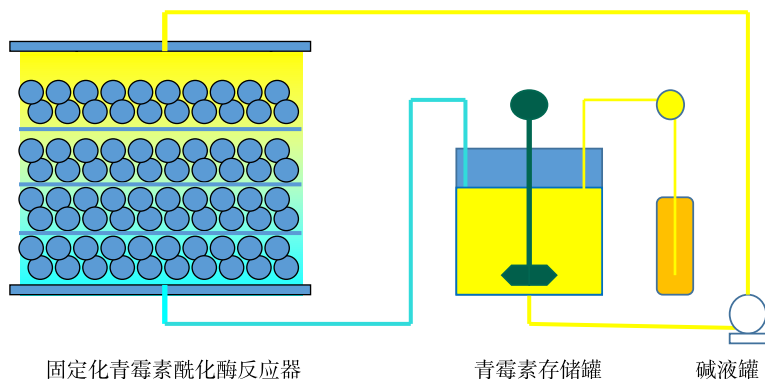
为了解决上述这些问题，20 世纪 70 年代发展了固定化技术，将产胞内青霉素酰化酶的细胞用适当的材料包埋形成小珠，制成固定化细胞，或将青霉素酰化酶结合在特殊的高分子材料上，制备成固定化酶。因为它们颗粒大，解决了难以回收的问题，而且固定化后酶的稳定性大幅度提高，可以长期反复使用。这样可以减少细胞和酶的生产成本，不必每一次都要生产酶或细胞，生产足够量的酶或细胞，进行固定化后就可以长期使用。

将固定化酶或固定化细胞装在底部有细的滤网的搅拌罐式反应器中，加入 10% 的青霉素溶液，保持温度 $35 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 左右。在缓慢的搅动下，通过 pH 自动控制仪流加碱液，保持反应液的 pH 在 $8.0 \sim 8.5$ ，进行反应。几个小时后，反应结束，打开反应罐底的阀门，将反应液放出，而固定化酶或细胞保留在反应罐内。再加入青霉素溶液，重复上述过程，就可以进行下一批反应，这样可以连续使用固定化酶或细胞。向反应液加入酸，将 pH 调到弱酸性，用有机溶剂将反应产生的侧链提取出去，留下的反应液经适当浓缩后，产生的青霉素母核即可结晶出来。

也可以将固定化酶或固定化细胞装在柱式反应器中，将青霉素溶液从柱式反应器的一端以较高的流速进入，从另一端流出到储罐中，通过 pH 自动控制仪流加碱液，保持反应液的 pH 在 $8.0 \sim 8.5$ ，反应液通过循环泵

反复通过柱式反应器，就可以将青霉素裂解，结束后利用上述方法获得青霉素母核。

利用这样的设备可以进行大规模的批式或连续生产，容易实现自动化和连续化。反应结束后，因为酶是固体的，很容易与反应液分开，酶和细胞不会污染产物。酶也可以反复使用，使青霉素母核的生产变得比较轻松，可以大幅度降低生产成本，提高产品质量。该设备为青霉素母核的生产开辟了一种全新的生产方法，克服了化学方法的缺点，解决了因此带来的环境污染等问题。



► 固定化青霉素酰化酶生产青霉素母核的示意图

过去，青霉素酰化酶都是由从自然界筛选得到的大肠杆菌或巨大芽孢杆菌生产的，产酶量比较低，虽然通过诱变和选育得到的菌种生产能力有所提高，但生产能力依然有限。现在，人们利用转基因的方法，将青霉素酰化酶基因转入原来的生产菌或其他菌种，使青霉素酰化酶的基因数量增加，可以大幅度提高青霉素酰化酶的产量，再经固定化，能够更好满足大规模的生产要求。

有了青霉素母核，再接上一个新的侧链，就成为半合成青霉素。在 20 世纪 90 年代以前，半合成青霉素都是使用化学法合成。但早在 70 年代就发现青霉素酰化酶不仅可以催化青霉素水解产生母核，也可以催化母核与新的侧链反应合成半合成青霉素。其与生产青霉素母核的反应条件不同，生产母核的反应是弱碱性条件，而合成反应是在弱酸性和有新的侧链的衍



生物存在下进行。现在，利用青霉素酰化酶催化合成氨苄青霉素已经获得成功，但还不能像化学合成方法那样可以用于合成各种半合成青霉素。

半合成青霉素，从20世纪60—70年代的第一代产品已发展到现在的第四代，我国医院大量使用的氨苄青霉素、羟氨苄青霉素是第三代产品，是现在临床上的主力药物。在国外，如果发烧病人到医院看病，大夫会给病人注射一针氨苄青霉素，因为这种药抗菌谱广，过敏反应低，疗效高，是医生信得过的药物。

与原来的青霉素相比，因为侧链改变了，原来对青霉素有抗性的致病菌对它有些“面生”，于是被“稀里糊涂”地杀死了。如果使用老的青霉素，需要注射80万~100万单位，而使用氨苄青霉素，只需要20万~40万单位。那么如果以前生产1000吨老青霉素（例如青霉素G钾盐）能够满足市场需要，现在只要生产200吨氨苄青霉素就可以了。其经济效益和社会效益可想而知。

九、青霉素的孪生兄弟

科学家很早以前就发现，在青霉菌发酵生产青霉素时，发酵液中多多少少还同时存在与青霉素类似的另一种抗生素——头孢霉素。它们在结构上有许多相似之处，均由类似的母核与侧链组成。不同之处是不仅侧链结构有差别，母核也有差别。青霉素母核上的五元环在头孢霉素母核上为六元环。它们很相像，是一对孪生兄弟。

在青霉菌发酵时，在合成的开始阶段青霉素和头孢霉素有共同的前体，不久出现分支，在分支点上，有一个重要的“调节阀门”，叫做扩环酶，将青霉素母核的五元环扩大成六元环，再反应下去合成的是头孢霉素。如果不扩环，直接反应下去则进入了青霉素合成。一般情况下，扩环酶量很少，因此，在青霉素发酵液中头孢霉素的量也很少。

科学家想到，能不能对青霉素和头孢霉素合成途径中的分路阀门进行调节，让它合成青霉素就全都是青霉素，而不产生头孢霉素；让它合成头孢霉素，就全部合成头孢霉素。不就可以进一步提高它们的产量吗？

现在，利用基因工程方法就可以做到。将扩环酶基因克隆到青霉素生产菌里，加大扩环酶基因数量，使它产生更多的扩环酶，相当于将“调节阀门”打开。同时利用基因工程方法，将临近扩环酶下游的流向青霉素合成的基因消除或“关闭”，使代谢合成青霉素的流向，全部流向头孢霉素的合成，就将原来生产青霉素的菌种改造成为生产头孢霉素的菌种。同样，如果将青霉素生产菌的扩环酶基因消除，相当于将合成头孢霉素的合成流“关闭”，菌种在发酵过程中就不会再有头孢霉素的产生，可进一步提高青霉素的产量。这也就是现在所说的，利用基因工程方法改变代谢途径的代谢工程。

利用发酵法生产的头孢霉素 C 在临床上使用得很少，因为它的疗效不是很令人满意。现在发酵法生产的头孢霉素主要是作为原料，将侧链切掉，获得头孢霉素母核 7-ACA，然后再接上一个新的侧链，生产半合成头孢霉素。头孢霉素母核的生产可以使用化学方法，也可以使用酶工程方法。因为与青霉素的侧链结构不同（头孢霉素 C 的侧链是氨基己酸），使用青霉素酰化酶不能够将其切下，必须使用另外两种酶：D-氨基酸氧化酶和 GL-酰化酶联合作用将侧链切下来，才能得到头孢霉素母核，这种方法已经在我国研究成功。

依据这个思路，科学家将 D-氨基酸氧化酶和 GL-酰化酶两个基因同时克隆到能够生产头孢霉素 C 的菌种中，使用这个工程菌进行发酵，可以在发酵液中积累头孢霉素 C 的母核 7-ACA。但是，D-氨基酸氧化酶催化氧化侧链时会产生过氧化氢，过氧化氢是强氧化剂，会使细胞和酶受到破坏，因此产量不高。现在，科学家又在考虑将能够破坏过氧化氢的过氧化氢酶基因也克隆到上述工程菌中，有可能解决这个问题。

另外，科学家从微生物中找到了头孢霉素 C 酰化酶，它可以直接将头孢霉素 C 的侧链切下，获得头孢霉素母核。然后，使用化学或酶法合成半合成头孢霉素。

现在，为了生产半合成头孢霉素，科学家利用化学法进行扩环，将青霉素 G 变成头孢霉素，因为侧链与青霉素 G 相同，使用青霉素酰化酶将侧链切下来，生产一种称为 7-ADCA 的头孢霉素母核，然后用于合成半合成



头孢霉素。这种方法已经用在工业上大量生产氨苄头孢霉素和羟氨苄头孢霉素，这两种药品已在医院里大量使用。由于它们比半合成青霉素更能够耐受胃酸，因此可以口服，使用更方便。它们过敏反应低，抗菌谱广，病菌的耐药性小，在临床上得到广泛应用。

十、功德无量

人们为了战胜疾病，围绕着青霉素开展了长达半个多世纪的坚持不懈的努力，随着科学和技术的进步，特别是生物技术的广泛应用，使青霉素的生产达到前所未有的水平。

青霉素的发现开创了抗生素时代，青霉素及其类似物在临床上的广泛应用，挽救了成千上万人的生命，使人类与疾病的斗争进入了一个全新的世纪，使人类平均寿命从 45 岁增加到 60 岁，为增进人类的健康做出了巨大贡献。

青霉素的产业化带动了现代发酵工业的诞生，形成了一个全新的产业，为人类带来了丰富多彩的产品，提高了人类的生活质量。

这一切，与青霉素的发现者弗莱明及为使青霉素工业化生产和利用奠定基础的弗洛里和钱恩有着密切关系。为了表彰他们为人类做出的巨大贡献，这三位科学家共同获得了 1945 年的诺贝尔生理学或医学奖。他们为人类文明和社会进步做出不可磨灭的贡献，我们后人将永远怀念他们。

原文发表于中国科学院情报中心网站。

淀粉，我们的糖源

孙万儒

中国科学院微生物研究所 研究员

许多人都有这种经验，吃口馒头或米饭，在口腔里慢慢地咀嚼，时间长了，会觉得饭变甜了。这是为什么？这是因为面粉或大米中含有大量的淀粉，淀粉是由一个个连接在一起的葡萄糖组成，含有大量淀粉的食物在口腔中咀嚼时，不仅被嚼碎，同时与唾液混合，而在唾液中含有一种能够将淀粉分子切成短链小分子糊精的酶，被称为 α -淀粉酶。咀嚼的时间越长， α -淀粉酶切割淀粉的时间越长，产生的糊精分子就越短。如果咀嚼时间足够长，淀粉就会有部分被切成只有两个葡萄糖连在一起的麦芽糖，它就是我们吃的关东糖的主要成分。所以，长时间咀嚼米饭、馒头会变甜。

在口腔中混合了唾液，食物到胃里进一步消化，我们的胰腺还会产生另一种被称为葡萄糖淀粉酶的酶，与消化的食物混合，它能够进一步将产生的糊精从“头”的一端将葡萄糖一个一个切下来，最后将淀粉全部变成葡萄糖，然后在小肠被吸收，进入血液，供应我们生命活动使用。这就是淀粉的消化过程，给了我们一个重要的启迪，即我们可以使用类似的方法将淀粉转化为葡萄糖。

现在科学家找到了能够产生这两种酶的许多微生物。产生 α -淀粉酶的多数是细菌，产生葡萄糖淀粉酶的多数是霉菌。由于从自然界分离的菌种产酶能力较低，过去采用菌种诱变的方法提高菌种的酶产量，现在多利用基因工程改造产酶菌种，大幅度提高了酶的产量。然后利用发酵方法，在工厂里大规模生产这两种酶。

按照食物消化的途径，先将 α -淀粉酶与 30% ~ 40% 的淀粉乳液混合，在 90℃使淀粉分解液化成糊精，然后降温，再加入葡萄糖淀粉酶，在



40℃左右将糊精水解成葡萄糖。之后经过比较简单的脱色和提取，就可以生产出我们现在使用的高质量葡萄糖。

过去，生产葡萄糖是使用1个摩尔的盐酸与10%~20%的淀粉乳液混合，在120℃下水解。因为温度高，有些淀粉和产生的葡萄糖会焦化，产生大量的焦糖，使葡萄糖溶液成为一锅黑汤，要提纯成雪白的葡萄糖，需要经过多次脱色和提纯步骤。因为使用高温、强酸水解，设备很快就会腐蚀。因此用酸法生产葡萄糖对设备要求高，产物成本高。两种生产方法相比，在工业上使用酶法生产葡萄糖更经济，更合理，现在我国的葡萄糖生产已经全部改用酶法。

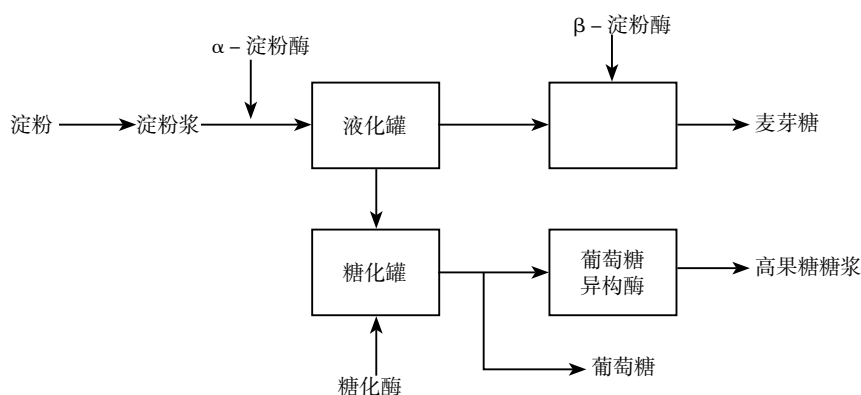
有人说葡萄糖不甜，吃起来不解馋，现在我们可以把葡萄糖变甜。这需要另外一种酶，称为葡萄糖异构酶，它主要由链霉菌或细菌产生。可在37~50℃、钴和镁离子存在的条件下，将20%~30%的葡萄糖溶液转化为含有42%果糖的高果糖糖浆。由于钴和镁离子对人有毒，在食品中不能存在。因此，转化之后，需要通过离子交换树脂处理将钴和镁离子除去。这使生产工艺复杂，成本提高。因此，近年来科学家将葡萄糖异构酶的基因分离出来，对其基因进行改造，然后转入其他微生物中，构建基因工程菌，用发酵法在工业上大量生产葡萄糖异构酶。通过基因改造的葡萄糖异构酶在转化葡萄糖时不再需要钴和镁离子。因此，在生产过程中省掉了离子交换工艺，提高了产量，降低了成本，也保证了产品质量。

天然酶都是可以溶解在水里的蛋白质，催化反应结束后，大多数酶还可以再次使用。但是，因为酶和产物混合一起，分开十分困难，即使勉强地将它们分离开，花掉的成本、时间和得到的数量都非常不划算。因此，在工业生产中待反应结束后，加热将酶变性，变性的蛋白不溶于水，通过过滤或离心等方法将酶除去，防止酶污染产品。通过千辛万苦生产的酶只使用一次，实在是巨大的浪费。

现在，科学家开发了酶固定化技术。比如，将葡萄糖异构酶结合在一种固体小颗粒上，制成固定化酶，酶就变成固体形式，不溶于水了，称为固定化葡萄糖异构酶。将它装在一个空心的柱子里，上面不断地加入30%~40%的葡萄糖液，下面连续流出的就是含有42%果糖的高果糖糖

浆。经过浓缩、去水，生产的就是瓶装的高果糖糖浆。这是一个高度自动化的连续生产过程，生产的高果糖糖浆的甜度与我们现在吃的绵白糖的甜度一样。用这种糖生产的点心口感好、酥软；用它生产饮料，口味甜润、清爽。目前我国利用这种技术每年大约生产的高果糖糖浆有百万吨。

利用 α -淀粉酶、葡萄糖淀粉酶和葡萄糖异构酶这三种酶就将淀粉变成了葡萄糖及与绵白糖一样甜的食用糖。现在，还可以利用其他酶将淀粉转化为糊精寡糖、麦芽糖、异麦芽糖、麦芽寡糖等用于食品，这就是酶工程的功劳，它使淀粉成为我们的新糖源。



► 以淀粉为原料生产不同淀粉糖的示意图

提高免疫力好吗

陈 钰

原中国人民解放军总医院免疫室 教授

“免疫”这个词大家都熟悉，如果问大家“提高免疫力好还是不好？”可能 90% 的人都说好。有的同学说：“提高免疫力好。”还有的同学斩钉截铁地说：“当然好了，提高免疫力可以让我不得病或者少得病。”大学生和成人也会点头说：“治疗肿瘤不是也要提高免疫力的吗？”是的，免疫系统的定义就是高等脊椎动物和人类体内必备的防御系统。可是它的功能告诉大家，这个系统对机体既有保护作用也有损伤作用。今天我们就来看看我们身体里的免疫系统是如何起作用的。

春天来了，万物苏醒，草木泛绿，百花呈艳，鸟儿也闻着春天的味道飞回来了。危害人类健康的病毒和细菌也没闲着，在人们脱下冬装换上单

薄衣服的时候，趁着春季气候温暖干燥之际开始进攻人体。这个时刻，谁的免疫力强谁就能免除疾病。用战争描述免疫系统的作用一点都不过分。举一个感冒的例子，一个健康的小姑娘在电梯中遇到一个患了感冒的人。他没有戴口罩，在电梯狭小的空间里打了个喷嚏。喷嚏飞沫的速度能达到每小时 64 千米，相当于 8 级风



力。飞沫中带有传染性很强的细菌或者病毒，很快这个小女孩的身体就成为战场。病毒进入到小女孩体内的 7 ~ 8 小时，她没有感到异样，这是因为病毒必须侵入喉部的某种细胞内才能开始繁殖。到了感染后的第 10 个小时我们的免疫系统发现有大量病毒存在，反击时候就到了。免疫系统的前线部队叫做自然杀伤细胞（NK 细胞），它们在人体内“巡逻”寻找病毒，它们以释放毒素的方式消灭藏在细胞内外的病毒。这种方法有点笨，会把喉部的其他正常细胞也杀伤。还有一种细胞叫巨噬细胞，它是以直接吃掉外来病毒或者细菌的方法消灭它们。如果把免疫系统的战争比作足球赛，这两类细胞就是足球场上的前锋，它们是最早发现入侵者和最早奋起反击的免疫细胞。由于它俩的反击让人体感到了不舒服，喉咙红肿和疼痛。这两类细胞在反击中释放了很多细胞因子，这些细胞因子就像信号，发送给免疫系统的“总指挥”——T 淋巴细胞。只要 T 淋巴细胞识别并认可是外来物质，免疫系统的“战斗”才叫真正地打响了。T 淋巴细胞不仅“指挥战斗”，自己也要释放有杀伤力的毒性物质，有些 T 淋巴细胞还要以“拼刺刀”的方式直接接触病毒和细菌。B 淋巴细胞会产生各种抗体来对抗。“战斗”中产生的各种炎症因子、化学因子和抗体都会让人难受，例如发烧、头疼、流鼻涕、全身无力等。一个身体健康的人只需要一周时间就能“打败”病毒，但是人的感冒症状不会立即消失，要等免疫系统的作用下降后才会好起来。65 岁以上的老年人因为体内抑制性 T 淋巴细胞的减少，恢复起来会更慢。一般病毒性感冒，只要多喝水、多休息，很快就会好起来。



免疫系统是用免疫应答反应保护我们不得病的。免疫应答反应包括免疫识别、免疫反应和免疫效应三个部分。在感冒病例中，免疫系统识别出病毒或者细菌入侵，它所发动的战争就是免疫反应；将病毒和细菌清除出去，身体恢复健康就是免疫效应。上述事例说明了提高免疫力好。同样的免疫应答反应，比如免疫系统识别错误，把自身的物质当做外来物质发起攻击，其结果就是自身免疫病，即自己的免疫系统与自己的组织或者器官打起仗来，损伤了机体的组织或者器官。自身免疫病包括红斑狼疮、类风湿关节炎、1型糖尿病、银屑病、多发性硬化症等。免疫系统给人类带来的更大的麻烦就是器官移植。如果一个人的肾脏“坏了”需要换一个肾，这种手术对外科医生而言不难做。一个人有两个肾，为了救亲人，取出一个肾给病人不就可以了吗？不行。不但不行，很多病人在等待肾源的过程中就去世了。为什么呢？这就是免疫系统惹的祸。有人说免疫系统是人体中的第二个识别系统。免疫系统的识别与大脑不同，它能识别肉眼看不到的很小的分子。如果想把父母的一个肾移植给患病的孩子，就必须“逃过”免疫系统的识别，也就是说供者和受者两个身体中的主要组织相容性抗原符合体（HLA）必须一样，一旦不一样，免疫系统就能识别出来，把医生好不容易移植过去的肾给排斥掉，临床上叫作排斥反应。要强调的是，只要是进行了器官移植的人，例如肝移植、肾移植、皮肤移植、骨髓移植或者其他，这些患者终身都要使用免疫抑制剂。目的是抑制其体内免疫系统的识别，控制免疫应答反应以保证移植的器官能在患者体内工作。到目前为止，在器官移植领域奋斗的科学家想尽一切办法降低患者的免疫应答反应（包括免疫力），试图让更多的接受器官移植的患者活下去。

用“免疫系统的是与非”来结束谈话似乎更准确。在抗感染、抗肿瘤方面，我们需要提高人的免疫力，必要时还会通过注射疫苗人为增加人体抗感染能力。相反，在器官移植、过敏反应和自身免疫病的治疗中，医生们往往会使用免疫抑制剂控制免疫系统的反应来达到治疗效果。



缓释医学

——让生命尊严谢幕

陈 钰
原中国人民解放军总医院免疫室 教授

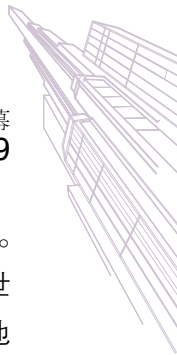
生与死从来就是一对冤家，又是谁都无法将其分开的朋友。生命有开始就有结束，这是一个定数，无人否认。而事实上，我们对死亡并没有做好充分的准备。我们希望生，那种万岁万岁万万岁的口号，那种好死不如赖活着的理念在现实中影响着我们。看看医院的病房里，有新生婴儿的妇产科最热闹，在探望病人的时刻那里门庭若市，奶奶、爷爷、姥姥、姥爷、爸爸和妈妈都喜笑颜开。而在那些中晚期患者的床前，亲人们都痛苦万分。无论医生怎样告诉家属，患者的寿命已经走到尽头了，他们都不能相信，有的说：“我们砸锅卖铁也要救人。”有的说：“我们不差钱，拜托医生救救他。”在医院里，一旦家属在《有创抢救同意书》上签了字，一切抢救便生效，那是一场又一场多么痛苦的生与死的拉锯啊。据报道，一例亚洲男性患者 80 岁，因心梗住进美国医院的重症监护室，每天的医疗费 15000 美元。因年龄过高，人工心脏没有在他体内很好地起作用，随后他的肺、肝、肾脏都出现衰竭。医生已经给出很不乐观的前景，也许他家里有钱，也许他们也受到亚洲人要尽孝道的理念影响，家属不断地说：“请尽一切努力吧，不必考虑费用。”这位亚裔患者的医生也在说：“有 1% 的希望就要尽 100% 的力量救他。”医院只能展开创伤性抢救。最终这位入院时身体还算强硕的男性逐渐变得皮包骨头，几周后痛苦地离世。还有的患者无论怎样救治也不可能起死回生，然而家属依然不肯撒手，患者死亡时身上插满了管子，手臂上插着提供食物和药品的管子，底下插着导尿管，还有的已经切开喉咙插着呼吸机。家属们认为他活着，而患者表现出的是痛不欲生。有的患者因为无法说话，在纸上写出了“生不如死”。亲人们和医生

的努力带给患者的是难以忍受的煎熬，事与愿违的现实难道不是我们要自省的么？

科学技术发展到今天，医生面临的很大问题不是如何让晚期和终末端病人活下去，而是如何让他们像人一样有尊严地、安详地、有自主选择地迎接死亡。我们每一个人也必须明白死亡是我们必然要经历的生命过程，生命到了这里就该让他自然离开。能让我们的生命尊严谢幕的学科叫作缓释医学（palliative medicine），也称姑息医学。缓释医学是给那些对治疗无反应、生存期有限（只有6个月）的患者，如恶性肿瘤晚期、慢阻肺病晚期、慢性充血性心力衰竭晚期等患者、家属进行的综合治疗和照护的临床医学学科。它的目的是帮助患者和家属获得最好的生存质量。与临终关怀相比，缓释医学有治疗手段，比如镇痛、控制症状、减轻精神、心理以及灵性的痛苦等，但是不会用创伤性手段人为地延长生命，它可以遵照患者的自主愿望让患者能够尊严地、安详地走完一生。很多国家的患者早已开始选择缓释医学方式完成生命。2007年10月，澳大利亚的一位叫苏珊的普通家庭主妇患了卵巢癌，肿瘤已经扩散到腹腔、盆腔和肺，在生命的最后她选择了缓释医学治疗。她住进了澳大利亚一个小镇的医院，医院有效地控制了她的疼痛和腹水，控制了肺部感染并缓解了她呼吸的困难，使她能够很好地休息和睡眠。她躺在宁静舒适的医院，子女们围绕在她身边祝福她、惦念她，几天后她带着幸福的神情安静地离世了。在我们身边也同样有这样的人。中国人民解放军总医院有一位百岁老专家在90多岁高龄时发现患了癌症，并且已经转移至全身。她一直生活工作在中国人民解放军总医院，她享有很好的医疗条件，然而她是一名医生，她清楚地知道晚期转移癌症的结局是什么。这位老人选择了不做创伤性治疗、不住院。在美国工作的女儿辞去工作回国陪了她两年，2006年12月末老人以100岁高龄在家里平静走完一生。遵照本人遗愿，她的遗体捐献给了协和医科大学。还有一对令人敬仰的老人，夫妇双方都80多岁了，老人因为冬季肺部感染住进医院，夫人一步不离地陪床。尽管医院积极治疗，但是老人病情恶化，最终还是进入到疾病的终末端。患者不能正常吃饭，只能通过植入体内的管道输入能量；患者小便不畅，夫人宁愿慢慢诱导也不允许插导尿

管；患者呼吸困难，夫人同意用导管导出胸水但不让做气管切开插呼吸机。两人似乎有过默契，每次治疗完成，两位老人都欣慰地对视。在老人离世前的 24 小时，人似乎很清楚，要求孩子们背起他看看外面。24 小时后他拉着夫人的手安静地闭上了眼睛。次日，老人子女到医院去办事，科里的护士长和主任都说：“你们的父母真明智，拒绝了很多有创治疗。他们留在我们脑子里的图像是两人幸福地手拉着手。”与那些看着自己的亲人在抢救中痛苦地挣扎，脑海里永远删不掉亲人那无助眼神的人们相比，这位伟大的夫人帮助他的老伴落下生命的大幕，让他尊严地走完了一生。

在生命的终端有三种求助方式：安乐死、临终关怀和缓释医学。安乐死涉及国家法律，离我们还远。临终关怀强调精神而缺少有效的医疗控制。缓释医学不仅能减少患者生理、心理的痛苦，还具有安慰家属的功能。缓释医学就在我们身边。当一个中晚期患者生命只剩 6 个月并且没有任何的治疗方案了，我们完全可以向缓释医学伸出求助之手：请减轻我的痛苦，帮助我落下生命的大幕！





救治和预防手足口病的几点常识

李 皓

原北京地球纵观环境科普研究中心 主任

2010 年 4 月，中国日报网登出一则消息，题为《我国手足口病进入流行期，防控形势严峻》。消息公布了卫生部发布的数据：截至 2010 年 4 月 11 日，全国累计报告手足口病例为 19 万多例，比 2013 年同期增加了 38%，其中重症 2000 多例，死亡 94 例。

引发手足口病的病原体是病毒。病毒是与细菌完全不同的生命体，通常比细菌小几十倍。细菌是单细胞生物，在细胞膜外有细胞壁。病毒则只是由蛋白质包裹的核酸分子，为非细胞实体，能杀死细菌的抗生素对病毒几乎无作用。以头孢菌素为例，它的杀菌原理是破坏细菌细胞壁的合成，而病毒则因为没有细胞壁而不受任何影响。

知道了病毒与细菌存在着极大的构成差异，就能懂得医治手足口病不能依靠抗生素，否则会延误治疗，导致患者病情加重。手足口病多发生于学龄前儿童，病情加重常发生在发病几天之后，患者出现肺水肿、脑脊髓炎、脑膜炎、脑炎等症状，可致死或在存活后留有后遗症。

在 1994 年德国出版的《医学微生物》教科书中，有一段对引发手足口病的 EV71 肠病毒致病性的描述，书中解释的感染过程如下：病毒先进入扁桃体或肠壁细胞内，扩增后被释放出来，然后侵入颈部或肠系膜淋巴结，扩增后，病毒被释放入血液中。通过血液循环，病毒到达神经系统以外的组织与脏器细胞，比如皮肤黏膜、心肺等，再次扩增，进入血液。最后，病毒进入中枢神经系统，扩增后在神经细胞间扩散。在整个过程的不同阶段，受感染者会表现出低热、头痛、食欲不振、手足与口腔出水疱、心肌炎、无菌性脑膜炎、脑炎、瘫痪等临床症状。



对于细菌感染，西医有好药——抗生素，但对于病毒感染，西医却无特效药。1998年我国台湾爆发手足口病时，当地一位中医系学生发表了一篇文章，题为《中医治疗“手足口病”》，他写道：“由传统医学的角度来看，肠病毒并不是什么难治的病……改变人体的内在环境，使病原体无法在此环境中生存，可以达到治疗的效果……这一系列低热、水疱、食欲不振、口疮……归属于瘟病的湿热病候，清热祛湿，疏风解毒是治疗此症候的最佳原则。”

我国研究手足口病的中医学者也指出：“中药治疗本病疗效颇佳，既能消除、缓解症状，又可缩短病程。在发病的早期和中期，一般多采用清热解毒、化湿凉血疗法。”他们得出的结论是：“大凡属于病毒传染疾病，应用中药治疗比较有效……这就不至于变成坏症，如传入脑或心肌等导致严重疾病。”这一结论已得到卫生部的认可，2010年4月下旬，卫生部发布了《手足口病诊疗指南（2010年版）》，其中公布了数个中医治疗的药方。

中药能治手足口病是中国的幸事，但能否让手足口病的传播源在环境中消失呢？答案是肯定的。手足口病主要通过接触病人的粪便和飞沫传染。在一些发达国家，手足口病几乎绝迹，这得益于那里有两大公共卫生行为要求得到了普及：一是吐痰不能裸露，不准往垃圾箱中吐痰；二是如厕用过的厕纸和坐便器纸垫必须随水冲走，不准投入垃圾桶中。

在发达国家，人们吐痰或擤鼻涕时，必须先用纸捂住口鼻，然后用纸将口痰或鼻涕包裹严密，再投入垃圾箱内。这样做能避免飞沫、口痰、鼻涕进入环境。如果直接向垃圾箱内吐痰，痰液裸露，痰中的病原体极易传播开来，使健康人受到感染。因此，要预防手足口病等通过飞沫、口痰传播的疾病，中国公众一定要学会使用纸捂口咳嗽、吐痰、包好痰液投入箱的做法。

在发达国家，所有公共卫生间与家庭卫生间对厕纸的处置都一样——必须投入便池，与粪便一起处理，常见的处理方式有两种：化粪池和污水处理厂。这样做能杜绝沾有排泄物的厕纸（包括坐便器纸垫）混入生活垃圾中，否则，生活垃圾可能在清运和处理过程中，造成病原体的大范围传播。

让厕纸和坐便器纸垫进入化粪池或污水处理厂处理有四大好处：①减少肠道病原体的传播；②厕纸与纸垫遇水后很快化解为纸纤维，污水中的微生物吸附在纸纤维上，帮助分解污水中的化合物，从而促进污水的净化；③当污水净化完成之后，纸纤维沉淀在污泥之中，这样的污泥含有大量植物纤维，通过厌氧发酵能产生沼气，收集的沼气可发电，也可提纯为天然气，提供可再生能源；④减少城市生活垃圾的清运量。

发达国家公共卫生间中设置的废物箱只用于接纳不溶于水的卫生巾、面巾纸等，而且，卫生巾必须卷裹之后，才能投入废物箱中。这类废物是可燃垃圾，在垃圾焚烧发电厂的高温之下得到清洁燃烧，病原体被杀灭，产生电能。

希望中国在防控手足口病的措施中，要着实向公众普及“吐痰纸捂口、厕纸入便池”的公共卫生行为，因为只有这样做，才能有效减少手足口病病原体的传播源。

原文发表于《科技潮》2010年第6期，修改于2017年1月。

城市环境工程须避免破坏城市生态

李 皓

原北京地球纵观环境科普研究中心 主任

铺设硬化地面、种植外国草坪、修建水泥河道会对城市环境和生态带来诸多危害，因此，它们已成为 20 世纪 90 年代国际绿色城市努力纠正的错误。改硬化地面为透水地面、用本土植物绿化环境、让河道重新自然化，才是当今世界可持续发展城市为保护城市生态、提升居住质量所追求的目标。

遗憾的是，1999 年北京实施的三大城市环境工程——王府井地面硬化工程、大面积栽种美国草坪工程、修建水泥化河道工程——却重复了西方国家城市过去所犯的错误。北京为之付出了巨额资金，却将给城市带来新的环境问题。可以说，这些工程不是环境工程，而且是对城市生态和环境有副作用的工程，工程的重建将不可避免。

进入 21 世纪，保护城市生态已为各国普遍重视，设计和实施上述工程是有损北京形象的。笔者建议：城市相关领导和工程设计者、决策者，要通过培训的方式，尽快学习当今世界保护城市环境与生态的新知识、新理念，从而了解和跟上国际环保的步伐，使用省钱、省力、顺应自然、生态效果好的可持续方法来治理城市的环境问题。

一、硬化地面危害大

1999 年国庆节前夕，北京王府井改造步行街的献礼工程登上了美国的报纸。该报道的记者对王府井地面铺设使用的石材和铺路方式进行了描述。美国公众的反应是：这样的硬化地面如何吸纳雨水？夏季地面的热反射又



如何解决？这是 20 世纪 90 年代末不该再发生的城建错误。

自 20 世纪 90 年代起，尽量避免铺设硬化地面已成为国际上城市建设的共识和做法。许多西方国家的城市都在努力将过去为步行街、人行道、自行车道、停车场、公园、学校、居民区等修建的硬化地面改造为透水地面，这样做被看作是提升城市环境质量的重要措施，其明显的效果有：减少燥热、防止水灾、保护地下水资源、有益地表生态等。在我国历史上建造的城镇、乡村、宫廷、庙宇、园林、庭院等建筑中，透水地面的铺砌十分普及。一位德国学者曾对我说：“中国的传统文化和建筑中有许多值得我们学习的东西。”可惜的是，我们把自己宝贵的东西放弃了。

铺设硬化地面会带来的危害主要有以下六点：

（1）地面硬化使雨水对地下水的补充完全被阻断，在依赖地下水作为生活水源的城市，会使地下水位下降。

（2）地面硬化使雨水在地面淤积，形成水坑，这一方面会引起城市交通不畅，由此加重机动车尾气排放的污染，另一方面会影响城市卫生，因为这些水坑在夏季是蚊子繁殖的理想场所。

（3）地面硬化使雨水只能汇集到路边的排水口流入下水道，暴雨之后，进入下水道的水量大增，会给城市的排水系统突然增加巨大的负担，若地下管道破裂，雨水冲空地下土层会发生塌陷。

（4）硬化的地面不能吸收雨水，大雨时，外排不畅的雨水将在城市的大街小巷形成水淹状况，或者雨水迅速流向城市边的河道，使河水水位迅速增高，在城市边发生水灾问题。

（5）地面硬化使雨水从地面流失或被阳光蒸发掉，使城市变为地表干燥的缺水地区，这样的城市扬尘污染会加重，而且因地表干燥而给城市绿化带来很大困难。

（6）硬化地面吸收、储存并反射太阳的辐射热，可使地面平均温度升高几度，这会增加城市夏季的炎热，降低城市生活的舒适感，同时增加城市为降温必须付出的能源消耗。

地面硬化还会引起三方面环境与生态负效应：

（1）硬化地面使地表的空气交换差、空气湿度降低，有助于城市热岛

效应的形成，加重空气污染。

(2) 硬化的地面是死亡性地表，对本地植物和动物的生存十分有害，会影响到由这些植物和动物组成的地表生态系统，影响生物的活动范围。

(3) 地面硬化使一些相互依赖而生长的植物群和动物群的生态空间分离开来，这对保护城市中“生态小岛”极为不利。

二、种美国草不健康

1999年，美国康涅狄格州（简称康州）等地降雨减少，城市蓄水水库水位下降。于是，全州发出禁止用水浇灌草地、违者拘捕甚至会监禁三个月的命令。全社会对此政令遵守良好，连小孩子也停止了玩水枪。康州政府宁愿看着当地的人工草坪成片地死亡，也不愿用水库的水来浇水挽救，因为水资源远比草地贵重（康州禁止开采地下水，城市用水由水库蓄水来维持）。

1998年，北京降雨量大大少于往年，成为百年少见的旱年，供北京用水的水库水位严重下降。然而，1999年北京绿化用水却大大增加了，原因之一就是北京引进的贵重美国草地需水量大，每周需要浇水两次。

近几十年来，在欧洲、北美等地区和日本，逐渐出现了大量人患花粉过敏病。这种病被美国一些医生称作是无法医治的“州病”或“国病”。在每年花粉过敏症爆发的季节，人们像得了流感那样打喷嚏、流眼泪、流鼻涕，持续时间数周。有些人因必须服用抗过敏药物而昏昏沉沉，无法正常开车去上班，对城市经济和人民健康带来了多方面的损失。这种病出现的原因之一就是引进和栽种了外国植物，使从未接触过这些植物花粉的当地人产生过敏。

另外，外来植物生出的病虫害往往在当地没有生物天敌，所以，虫害的控制只能靠喷洒农药。在北京，绿化工人甚至使用我国农业禁用的难降解的农药来维持这些外国草地的“健康”，这会增加城市居民接触农药的风险（因为这些绿地往往就在人们活动区域），同时还会增加城市地下水被污染的可能性。



据北京园林部门掌握的情况，1999年北京为绿化而栽种的美国草地，第二年可能会死去2/3。这说明美国草种不适应北京的环境、气候、降水和土壤条件。仅从经济上看，这种绿化方式损失巨大。

从保护城市生态和环境的角度看，引进外来草种会带来的危害可归纳为以下六点：

（1）外来草种可能会与本地植物物种竞争生存空间，甚至引发外来物种挤走本土物种的后果。由此引起本地植物、昆虫、微生物和动物组成的生态平衡发生重大改变，对城市保护本地的生物多样性十分不利。

（2）外来草种对水资源消耗高，使本来就缺水的北京为绿化而消耗掉大量珍贵的水资源，这样的绿化不可持续。

（3）外来草种对人工维护（修剪等）的要求高，会增加种植后的管理工作量和管理成本。此外，经常使用机械剪草消耗的能源、排放的尾气、发出的噪声都会给城市增加新的污染源。

（4）外来草种可能含有毒性物质，例如，北京怀柔一所高级招待所引进种植的美国草，修剪下来的草叶喂鱼会使鱼死亡，牛羊也不吃这种草，草叶甚至不能沤肥，成为新的污染性物质。

（5）外来草种普遍存在根系浅的问题，叶面色绿却没有很好的固土保水功能。由于吸收雨水和抗雨水冲刷的能力差，这类草种不利于北京的水土保持。

（6）外来草种品种单一，不适合我国城市常见昆虫（例如蝶、蜂、螳螂、蜻蜓等）栖息，把铺设美国草坪作为绿化的首选会破坏我国城市的生物多样性，有损我国城市的环保形象。

近年来，发达国家的城市绿化思路发生了很大转变。注重本土植物、栽种本地树木，容许野花、野草、野生灌木自然生长，已成为人们推崇的环境友好型的绿化做法。这样的绿化有几大好处：①保护了本地的生物多样性和植物资源，使绿化富有地方特色；②本地物种水土相符，成活率高，不依赖浇灌，人工管理少，养护成本低；③本地植物易与本地昆虫和鸟类形成生态平衡，后者能有效控制植物虫害，这样的绿化不用农药，减少环境污染；④避免外来植物与花粉危害本地生态和居民的健康；⑤绿地随季

节自然更新、自然变色，景观多样，环境功能强，具可持续性。

三、水泥化河道毁生态

1999年，北京城市河段的治理方式受到了环境学者、景观设计者和一些水利学者的质疑与批评。工程使用水泥材料来硬化河底，建造陡峭河岸，并砍掉河岸上的树木，清理沿岸的野生植物。这些做法对保护城市河流的水质、河水与河岸的生态、市民的生命安全都是十分有害的。

水泥化建造河道的做法在国际上出版的环境科学教科书中被反复告诫要尽量避免。近十年来，德国、美国和日本已先后对水泥化河道进行了大规模拆除，并在努力恢复河流与河岸的自然生态，因为人们认识到了软化河床对保护动植物资源、净化水质、减少水资源流失与防洪都有极为重要的作用。

北京对修建水泥化河道、砍掉一些河岸树木给出了两个理由：

(1) 北京的河道是引水渠，为避免水量损失（渗入地下）而修建了硬质河底。

(2) 河道输送的是饮用水，砍掉树木为的是防止树叶掉入水中污染河水，也避免给树木打农药时污染河水。

然而，这两个“理由”中的第一个在无充分调查研究的数据时（比如，软底河床会使水量流失多少？修建软硬相间的河段如何？），不能成为北京修建硬质河道的依据；第二个“理由”不成立，因为树叶有净水功能。在森林中，溪流里处处是树叶，但溪水却清澈透明，这是因为树叶表面能吸附水中杂质，树叶间形成的缝隙有利于水生生物的栖息，后者能净化水质。当河岸边长满野生植物时，鸟类会增多，树上的虫子就会减少。即使有了虫，它属于大自然的一部分，掉进河里能被鱼吃掉，完全没有必要使用杀虫剂来治理，通过生物间自行的平衡调整，河岸生态会自然健康。

让我们来了解近年来国际环保界给城市河流总结出的六大主要价值和功能：城市中野生植物和动物的重要栖息地，人们休闲喜欢的去处，垂钓的地方，洪水引流处，被处理后的城市生活废水排水道，城市地表水水库。



而一旦人们错误地使用水泥板来改造城市河流，以下六大危害会很快显现：

（1）硬化河岸与河底会使河流变成沟渠，河床没有了泥层，水中难以生长具有净水功能的植物、微生物、鱼类和其他水生生物，河中生物的种类和数量会大大减少，导致河水失去自净能力，水质会越来越差。

（2）两岸缺乏树木，河床硬化的河道易受阳光辐射影响而水温变化大。这不利于水中生态平衡的建立，因而可能导致传染性病菌和病虫在水中大量繁殖，危害人民的健康（埃及的一条引水渠就出现了钉螺爆发、使血吸虫蔓延的情况，至今难以治理）。

（3）硬化的河床与河底阻止河水渗入地下，这十分不利于地下水的补充。另外，由于硬化河道一般是直线型，水流速度比自然弯曲的河道快，这会加重水资源的流失，降雨量大时还会给下游地区造成洪水暴发的危害。

（4）硬化的河岸不能生长天然植物，就没有了保持水土的屏障。这一方面会使河水流速加快，由此加速当地淡水资源的流失；另一方面易使河岸上的泥土进入河水，加快河底泥沙堆积，形成不断需要进行河床清淤的恶性循环。

（5）河中生物的减少与河岸天然植物种类的缺乏会使沿河生存的野生生物种类减少，比如靠水栖息的鸟的种类和数量减少，由此损失生物多样性资源。

（6）硬化的河岸没有野生植物组成自然景观，这有悖于 21 世纪人们对生态的审美需求，因此，硬化河道不会成为长久的、令人喜爱的旅游休闲景点。河岸的重新自然化将不可避免。

目前保护城市河流的国际做法是尽量还河流以天然状态，包括以下方面：除去以前人工在河岸或河底建造的任何水泥板设施，软化河床，尽量使河流自然弯曲，让两岸长出多种野生植物，使河水中的水生生物与岸边的植物、栖息昆虫、小动物等形成天然的生态环境和平衡。

四、结语

今天，国际绿色城市的审美追求是：尽量把自然引回城市，尽力保留城市所剩不多的野地，尽量恢复城市河道的自然面貌，但我国的城市建设却正在斥巨资将自己的环境往相反的方向改造，这不能不说是一个极大的失误。为避免今后发生此类错误，加强城市建设与生态保护方面的国际交流非常重要。工程设计单位和决策机构要让真正懂得环境和生态保护的学者参与城市建设方案的讨论。在对城市重大建设项目做出决定之前，应把方案通过报刊和电视公布于社会，给予充分的讨论，并征集建议和意见。这样做能使我们少走弯路，尽量少花百姓的钱，做出效果好的事情来，也能使我们一步到位地用当今国际提倡的简单、易行、省钱、尊重自然的方法，来解决好中国城市的环境与生态保护问题。

原文发表于《北京观察》杂志 2000 年第 1 期，题为《治理北京城市环境工程之我见》，修改于 2017 年 1 月。



科学上的伟大发现

——居里一家两代三获诺贝尔科学奖

王渝生

中国科学技术馆 研究员

100 多年前，1898 年 7 月和 12 月，玛丽·居里夫人和她的丈夫皮埃尔·居里一道相继发现了两种新的元素——钋和镭，为此居里夫妇双双荣获了 1903 年诺贝尔物理学奖。1906 年皮埃尔·居里逝世后，居里夫人又因提炼纯镭成功和推进了镭、钋的化学性质研究而再次荣获了 1911 年诺贝尔化学奖。1934 年居里夫人逝世后，她的女儿和女婿约里奥·居里夫妇则因发现人工放射性而双双荣获了 1935 年诺贝尔化学奖。居里一家两代四口人，三度荣膺诺贝尔科学奖，在人类科学史上谱写下了光辉的篇章。

一、志同道合的科学伴侣

19 世纪末，天然放射性的发现（1896 年）同 X 射线的发现（1895 年）和电子的发现（1897 年）一道，突破了经典物理学的旧框框，使物理学的研究对象由宏观、低速领域推进到微观、高速领域，改变了人们关于物质和物质特性的传统观念，在物理学的发展中产生了一个巨大的转变，揭开了 20 世纪物理学革命的序幕。

其实，在 1896 年 3 月法国物理学家安尔尼·贝克勒尔发现铀盐能自身发出一种神秘的射线而在黑暗中使底片曝光时，并没有“放射性”这个名词，是一位波兰出生的年轻女物理学家对此现象首先使用这一名词的。这位女物理学家名叫玛丽·居里，当时她只有 29 岁。

玛丽于 1867 年 11 月 7 日生于波兰华沙一个中学教师的家庭。由于家中人口多，父母收入低微，全家生活相当清贫。



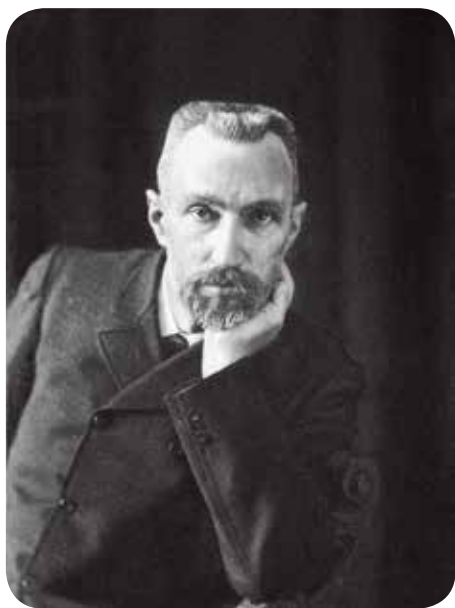
玛丽从小酷爱学习，深受父母和老师的喜爱。中学毕业后，由于大姐和母亲相继去世，家境更加困难，她只能辍学在家，操持家务。

为了从经济上支持二姐去法国学医，玛丽到一些偏僻的地方，去当了五六年的家庭教师。待二姐毕业当了医生后，她才于 1891 年辞别了父亲，去法国求学（当时华沙的大学不收女生），年仅 24 岁。

玛丽考取了巴黎大学理学院物理系。她像许多穷苦学生一样，生活十分清苦。到了冬天，在冷得无法入睡时，就干脆爬起来把所有的衣服全穿上，有时甚至把椅子压在被子上来御寒。但她早晨总是第一个来到课堂，坐在第一排，如饥似渴地学习着，成绩在班上名列前茅。两年后，她就通过了物理学学士学位考试。又过了一年，她再次通过了数学学士学位考试。27 岁的玛丽于 1894 年到皮埃尔·居里的物理实验室工作。

皮埃尔·居里于 1859 年 5 月 15 日生于巴黎一个医生的家庭，当时他 35 岁，任巴黎市立理化学学校物理实验室主任，在电磁学的实验研究方面成就卓著。他同玛丽有着献身科学的共同志愿，结下了亲密的友谊，并萌发了纯洁的爱情。

1895 年，36 岁的皮埃尔以题为《在各种温度下物质的磁性》的论文



► 居里夫妇



通过了博士学位考试，并升任理化学校教授。同年与 28 岁的玛丽结婚，他们便是日后科学史上著名的居里夫妇。

二、放射性元素钋的发现

1896 年夏天，居里夫人决定把贝克勒尔发现的铀射线作为自己博士论文的选题进行深入的研究。她想揭示这些射线的本质，弄清铀盐不断放出的能量的来源。她在理化学校的储藏室里开始了自己的实验，利用简陋的仪器认真地逐一检验当时已知的各种化学元素。

1898 年年初，居里夫人发现钍和它的化合物也能像铀一样发出射线。4 月，她向巴黎科学院提交了论文《铀和钍的化合物之放射性》。

同时，居里夫人还发现沥青铀矿和铜铀云母这两种矿物的放射强度要比铀和钍的放射强度大得多。她大胆猜测其中一定含有新的不为人们所知的放射性元素。

她的这一发现太重要了。皮埃尔决定暂时中止他在晶体方面的研究，直接参与玛丽的工作，就这样居里夫妇开始了他们在科学研究方面幸福的合作，去共同寻找那些新的、具有很大放射强度的元素。这种合作一直持续了 8 年之久，直至皮埃尔不幸逝世为止。

他们的科研工作进展很快，3 个月后，物理测量已经证明了这种新元素的存在，虽然还没有从化学上把它分离出来。1898 年 7 月，居里夫妇向巴黎科学院提交了《论沥青铀矿中的一种放射性新物质》的报告，说明发现了放射性比铀强 400 倍的放射性新元素，居里夫人建议以她祖国波兰的名字命名新元素的名称为钋（Polonium）。这一报告也用波兰文在华沙的《斯维阿特罗》画报月刊上发表。

三、放射性元素镭的发现

居里夫妇再接再厉，乘胜前进。仅过了半年，1898 年 12 月，他们又向巴黎科学院提交了报告《论沥青铀矿中含有一种放射性很强的新物质》，

发现了比铀的放射性强 200 万倍的新元素镭 (Radium, “放射” 的意思)。

镭的发现再次轰动了物理学界,但还是有些化学家表示怀疑:“没有原子量,就没有镭!镭在哪里?拿镭出来给我们看看!”

为了把镭分离出来,测出它的原子量,居里夫妇开始了艰苦的实验工作。他们没有钱购买含镭的沥青铀矿,只能改用沥青铀矿矿渣,这样只需支付这些矿渣的运费,然而镭在这些矿渣中的含量只有百万分之一!没有实验室,他们向学校申请借了一个木棚,它先前曾是医学系的一个尸体解剖室,下面是泥地,上面是千疮百孔的玻璃顶盖,夏天炎热难耐,冬天寒冷出奇。他们在这样恶劣的条件下,一锅一锅地、一天一天地坚持不懈工作了 4 年之久,硬是从成吨成吨的矿渣中,提炼出了 0.12 克镭盐(纯氯化镭),并初步测定出镭的原子量为 225(精确值为 226),由此,人们也就消除了怀疑,确信了镭的存在。但是,居里夫人的健康受到了很大的损害,她的体重减轻了 10 千克。然而,她却幸福地回忆道:“正是在这陈旧不堪的棚子里,度过了我们一生中最美好的和最幸福的年月。”

1903 年 6 月,居里夫人以其《放射性物质的研究》的论文获得索尔本大学理学博士学位。10 月,我国作家鲁迅以笔名“自树”在东京出版的《浙江潮》月刊第 8 期上首次发表介绍镭的文章《说钋》,文中把居里夫人译作古篱夫人,“钋”是“镭”的旧译。

四、居里夫妇荣获诺贝尔奖

1903 年 12 月,瑞典皇家科学院诺贝尔奖评审委员会宣布把当年度诺贝尔物理学奖授予发现天然放射性的贝克勒尔和对天然镭放射性现象进行研究的居里夫妇。居里夫妇把所获得的 7 万法郎奖金的大部分捐赠给了几个科学团体、公益事业、波兰来法求学的贫苦青年和一些穷亲戚,留给他们自己家庭的开支,只有这样两小笔:一是把房间内的破旧帐幔换了新的,二是在住宅中安装了个浴室。至于居里夫人本人,连顶帽子也没有想到去买。

1905 年 7 月,皮埃尔当选为巴黎科学院院士。



1906年4月19日，巴黎飘着细雨，皮埃尔在上街途中专心致志地思考着科学问题，不幸被一辆马车撞倒，车轮碾碎了他的头颅，夺去了这位年仅47岁的一代科学巨匠的生命。当时居里夫人只有39岁，这一突如其来的打击使她极度悲痛。

五、居里夫人再次荣获诺贝尔奖

居里夫人毕竟是一个坚强的人。她很快抑制了悲痛，谢绝了教育部提出的以居里遗孀身份领取国家抚恤金的办法，而是接替了丈夫在大学的职务，用加倍的工作来寄托对亲人的哀思。除了教学和研究工作以外，她还要抚育年仅9岁和2岁的两个女儿，以及照料79岁高龄的公公。每天清晨，她要先安排好家中的事，然后匆匆去赶火车上班，为了省钱，她一直乘坐气味难闻、设备简陋的二等车。中午，她不能回家吃饭。晚上回家后，顾不上一天工作的疲劳，还要给火炉添煤、做晚饭。一直到伺候一家老小睡觉后，她又开始了阅读、研究和写作工作，有时要到翌晨两三点钟。

居里夫妇曾经用了4年的时间，提炼出了0.12克纯氯化镭，测定了镭的原子量。皮埃尔逝世4年后，居里夫人则提炼出了纯镭元素，并测定了镭的各项物理化学性质。她还受命制备了0.21克纯金属镭，封存于小试管内，存放于巴黎国际度量衡标准局，该局将与1克镭的放射性相当的氡的放射性定义为1居里单位，成为镭的第一个标准国际计量单位。1910年，她出版了长达近千页的杰作《论放射性》上、下两卷。1911年1月，她申请竞选巴黎科学院院士，结果仅以一票之差落选，这是院方歧视妇女和某些人的嫉妒造成的不公正结果。然而，12月瑞典皇家科学院诺贝尔奖评审委员会又授予她1911年度的诺贝尔化学奖。在这之前，从来还没有别的得奖者，无论男女，获得过两次诺贝尔奖。正如爱因斯坦所说的那样：“在一切可赞美的事物中，唯有居里夫人的名声，是永不毁灭的。”

六、巴黎医学科学院的第一位女院士

1914年，巴黎镭学研究所成立。同年，第一次世界大战爆发。居里夫人把价值高昂的实验用镭1克（时值100万法郎、15万美元）密封进铅罐，秘存于保险库，以免战乱失落。战争时期，她受法国红十字会委派，奔波于国内外各地，指导战地医疗队开展X射线诊疗工作，她在给法国物理学家朗之万的信中说：“我决定把自己的一切力量贡献出来为我的第二祖国服务。”

1918年战争结束后，居里夫人立刻恢复了她在镭学研究所的研究工作。她的《放射学和战争》一书成了她在战争时期应用和发展X射线技术和镭辐射疗法的经验总结。

1922年，居里夫人当选为法国巴黎医学科学院的第一位女院士。

居里夫人曾在1921年3月接见过当时的北京大学校长蔡元培，1929年9月接收过当时清华大学物理系第一届毕业生施正元到实验室研究铀系元素钋的放射化学性质，并于1932年12月主持了施正元的论文答辩，北平研究院镭学研究所的郑大章也接受过居里夫人的指导。

长期同放射性物质接触严重损害了居里夫人的健康，她于1934年7月4日因恶性贫血等症病逝于法国的阿尔卑斯山疗养院，享年67岁。爱因斯坦在悼词中写道：“她性格坚强，她思想纯正，她严于律己，她处事客观和廉洁——所有这些品质很少在一个人身上兼而有之。她每时每刻都感到自己是在为社会服务，而她伟大的谦虚不曾给她留下自我欣赏的余地……”居里夫人则在她逝世前不久的一次国际会议的发言中这样剖析她自己：“我属于那样的人，他们认为科学是壮观的美。科学家在自己的实验室里不只是技师，而且还是面对着神话故事般的自然现象的小孩。我们不当允许人们那样想，似乎科学的进步归功于机械、机器、力的传动装置，尽管在它们之中也有自己的美……我还不认为，勇于创造的进取精神正在冒着从我们的世界上消失的危险。如果说我看到自己周围环境的某种活生生的东西的话，那么，这正好是勇于创造的进取精神，而且这种进取精神是根深蒂固的，是同求知欲密切相关的。”从战后到她去世的15年间，巴

黎镭学研究所的实验室总共提出报告 483 份，论文 34 篇，居里夫人亲自参加了其中 31 项研究课题。她在临终前才完成的第二部论述放射性的专著《放射性》，于 1935 年作为她遗著的一部分出版。

七、小居里夫妇也获得了诺贝尔奖



► 小居里夫妇

居里夫妇的事业后继有人。出生于 1897 年 9 月 12 日的女儿伊伦，于 1926 年同 1900 年 3 月 19 日出生的约里奥结婚。由于居里夫妇没有儿子，所以约里奥在同伊伦结婚后，就把岳父的姓加在自己的姓上，使居里这个著名的姓氏能够传下去。

约里奥·居里夫妇——人们又称他们为小居里夫妇，继承了居里夫妇极高的智力天赋，同时也继承了他们的坚强性格和美好道德品质。小居里夫妇曾经在 1932 年和 1933 年差一点首先发现了中子和正电子，但被查德威克和安德森抢了先而失之交臂。看来他们是注定要继承居里夫妇的事业，1934 年小居里夫妇发现了人工放射性，他们把装在小试管里的第一个人造放射性元素给了居里夫人。居里夫人用她那被镭烧伤后结了疤的手指拿起这根装有微弱放射性物质的小试管，把它放在盖革计数器附近，听到了计数器发出的“咔嗒”“咔嗒”声音。居里夫人预料到她的女儿和女婿的这项重大成果肯定能获诺贝尔奖，果然在她

逝世后的第二年（1935年），小居里夫妇荣获了诺贝尔化学奖，这是居里家中第三次获诺贝尔奖了——后来还有第四次，居里夫妇的另一个女婿亨利·拉布伊斯以联合国儿童基金会总干事的身份于1965年被授予诺贝尔和平奖。

小居里夫妇也是有正义感的科学家。第二次世界大战中，当德国于1940年占领法国时，他俩想方设法把研制原子弹所需要的重水偷运出国，藏匿起来，不让它落入德国人手中，他们自己则留下来参加反法西斯战争。战后，他们继续从事和平利用原子能的工作。1956年3月17日，59岁的小居里夫人同她母亲一样，也因长期接触强烈的放射性而死于血液病。1958年8月14日，58岁的约里奥·居里逝世。

居里夫妇和小居里夫妇两代人，生活在从19世纪50年代到20世纪50年代的100年间，他们不仅是伟大的科学家，也是伟大的爱国主义者和国际主义者。我们在纪念放射性元素钋和镭的发现时，应该记住居里夫人在放弃申请制镭的专利权，并先后两次把美国总统代表美国妇女界赠给她的价值20多万美元的2克镭分别转赠给巴黎镭学研究所和华沙镭研究所，以用于放射治疗癌症等实用和研究领域时所说过的话：

“镭只是一种元素，它属于世界所有。”

“科学应当为大众服务，它应当属于全人类。”

原文收录于《科学寻踪》，江苏教育出版社1999年出版。



两代伯乐与千里马的故事

金雅芬

中国科学院数学与系统科学研究院 研究员

2016年11月11日，我到北京市海淀区第四实验小学，为小学生们讲述“两代伯乐与千里马的故事”。很巧的是，这一天是华罗庚诞辰106周年纪念日的前一天。

讲课之前我先让同学们看了三张邮票。让他们猜一猜邮票上的科学家是谁？他们能够回答出华罗庚和陈景润这两位数学家的名字和事迹，但都不认识第一位数学家熊庆来，我告诉学生们他就是中国科学界最著名的伯乐。

接着我给学生提出了四个问题，并让他们在报告中寻找答案。

- (1) 是谁发现了千里马？谁是伯乐？
- (2) 千里马是怎样被发现的？
- (3) 你想做千里马吗？你应当如何去做？
- (4) 你记住了华罗庚的哪些治学名言？

学生们随身都带着本和笔，会场虽然没有桌子，但是他们都在认真地听和记录着。学生们听了报告，不仅了解到当年华罗庚写的一篇文章发表在《科学》杂志上，很巧被清华大学算学系主任熊庆来看到了，他认为这个自学的青年很不简单，将来一定会是一匹千里马，就把他调到清华大学工作。20年之后，千里马华罗庚也成为伯乐，他发现和培养了多匹千里马，例如王元、陈景润、陆启铿、万哲先、越民义和龚升等。

1952年，中央邀请回国专家在中南海怀仁堂看演出，华罗庚有事去晚了，毛主席让华罗庚坐他旁边的座位上。毛主席一边看戏一边与华罗庚交谈，毛主席说：“华罗庚同志，你也是苦出身，希望你为我们培养出些好学



生来!”华罗庚说:“我一定尽自己的最大努力做好这项工作。”

1956年,华罗庚在获得自然科学一等奖之后说:“我今后一定更加紧来培养青年们,使他们品质学识都优秀,并且成为接近世界水平的科学工作者。我现在领导了三个组(数论组、代数组和多复变函数论组),我希望在12年内能够在每一组都出现达到世界水平的学者。并且希望这种学者不止是一个或两个。”

在1952年后的30多年里,华罗庚无论是担任数学研究所所长还是担任中国科技大学数学系主任,都始终牢记当年对毛主席许下的“要为国家培养更多的好学生”的承诺,非常重视培养学生的工作。认识华罗庚的人都知道他是一位对自己和学生要求都非常严格的严师。他的学生陆启铿说,华罗庚老师的要求就是三严:“严肃、严格、严密”。在华罗庚的精心培养与严格要求下,他的学生个个都成大器,成为优秀的数学家和所在单位的骨干力量。

小学生们听得用心,也很认真,记住了报告中的一些重要的细节。在问答过程中他们能够快速回答我提出的多个问题。这场报告的一个突出特点就是互动环节效果非常好,学生们回答问题很踊跃,很活泼,争着要抢



► 学生们在认真地听报告并做着笔记



► 与积极回答问题的同学合影

答问题。我对学生们记录的报告内容之多感到惊讶和欣慰。

实际上，学生们回答问题的环节也是对报告重要思想与观点的又一次回忆与复习，使他们加深了对内容的理解与记忆。在我给学生们签名的时候，看了孩子们的记录本很感动，不管字迹工整还是潦草，记得全与不全，他们都记下了自己感受最深和最喜欢的华罗庚的治学名言。

会后，学校老师让积极回答问题的同学们与我合影，并告诉我，每次同学们听了报告之后都会被要求写一篇作文，还说这次要表扬作文写得好的前 20 名同学。

小学生们听报告的表现与互动环节的积极发言都说明了一个事实，他们爱听“两代伯乐与千里马的故事”，也都想当千里马，这是我们国家的希望。最后我祝愿学生们都成为小千里马，能够茁壮成长，长大之后成为国家建设与发展的栋梁。

以下图片来源于维基百科

P30 下图

作者: Chris j wood

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bahnhof_Uetliberg_Zurich_2011_086.jpg

P44

作者: Pekka Pyykkö, WhiteTimberwolf

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pyykko_periodic_table_172.svg

P81

作者: Jholman & Aarchiba

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ALVIN_submersible.jpg

P131 上图

作者: 未知

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pierrecurie.jpg>

P131 下图

作者: Fotograv. – Generalstabens Litografiska Anstalt Stockholm

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marie_Curie_\(Nobel-Chem\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marie_Curie_(Nobel-Chem).jpg)

P136 上图

作者: Nobel Foundation

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Joliot-fred.jpg>



P136 下图

作者: Harcourt

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Irène_Joliot-Curie_Harcourt.jpg

