

走近诺贝尔奖丛书

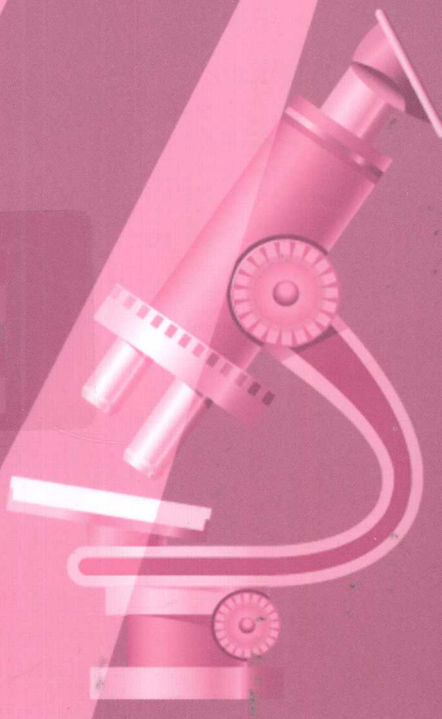
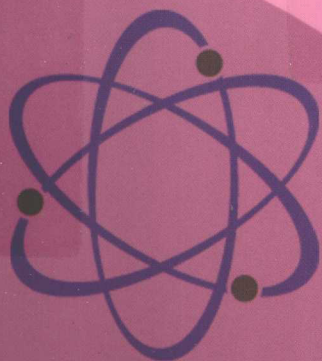
主编/王子安



元素的神探

走近92位诺贝尔化学奖精英

Nobelprize



天津科学技术出版社

元素的神探

走近82位诺贝尔化学奖精英

主 编/王子安

Nobel

图书在版编目(CIP)数据

元素的神探/王子安主编. —天津:天津科学技术出版社,2010.10

(走近诺贝尔奖. 走近92位诺贝尔化学奖精英)

ISBN 978-7-5308-6094-6

I. ①元… II. ①王… III. ①诺贝尔奖金—化学家—生平事迹—世界
IV. ①K816.13

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第200927号

元素的神探

责任编辑:布亚楠

编辑助理:柯 睿

责任印制:王 莹

天津科学技术出版社出版

出版人:蔡 颢

天津市西康路35号 邮编 300051

电话(022)23332401(编辑部) 23332393(发行部)

网址:www.tjkjcs.com.cn

新华书店经销

北京密云铁建印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 16 字数 150千字

2010年10月第1版第1次印刷

定价:29.80元

前 言

哲人云“知识就是力量”，更有人说，知识就是高度。在知识的内涵、外延里，科学技术无疑是最重要的一环。从某种程度上来说，人类文明的动力来源于科学技术的发展，正是由于科技的历史性进步，由此而推动着人类历史由蒙昧走向文明、由刀耕火种走向科学现代。可以说，人类的历史在一定意义上来说，即是人类的科学技术与人类的思想文明的结合。历史因科技的融入而变得可感，社会因科技的融入而变得丰富、多彩。

在人类科学历史的宏观体系中，依据文明的东西方形态也可以划分为东方科学技术体系、西方科学技术体系，其中东方科学技术体系从历史的角度来说，应以中国为代表。比较而言，东方科学技术体系富有深厚的人文科学、社会科学传统，在诸如文学、史学、哲学、宗教、艺术、政治、经济、法律等领域，古籍留存众多，内容博大精深。而西方科学技术体系则深富自然科学、实验科学的传统，因而造就出其最早的工业革命运动，形成实验手段与理论体系丰富的诸如物理学、化学、工程机械等成果。总之，东西方的科学技术传统各有所长。东方的人文与西方的自然，如能够完美结合，则是人类科学技术发展的最好模式。

在西方科学技术体系中，既有宏观的科学门类也有微观的分支科学。从自然科学的科学分类学角度而言，可以细分为物理、数学、化学、生物、地学等属种。在复杂庞大的科学技术体系外，西方还建立起了比较完善的学科标准体系与科技奖惩制度、科技创新制度，由此而推动着西方科学技术的不断更新、发展。诸如西方历史上的第一次工业革命、二次工业革命、信息化社会、知识化社会等，皆是这种科学技术完美发展的结果。在丰富多彩的西方科学技术创新与奖惩制度体系中，诺贝尔科学奖金的设立即是推动西方百年来科学文明发展的重要一点。诺贝尔奖金由瑞典化学家、自然科学家诺贝尔通过捐献毕生的私人财产设立，这种崇尚科学、崇尚知识的精神，值得东方社会认真思索、务实学习。整个诺贝尔奖初期划分为物理、化学、生理医学、文学与和平五个奖项，这充分反映了诺贝尔本人不仅关注自然科学的发展，也关注人类精神世界、人类人文素养的发展。后来随着社会的不断发展，诺贝尔奖项又多出经济学奖、环境奖两种，每

一个奖金项目都紧密结合着人类社会的现实需要。

时至今日，诺贝尔奖已经走过了100多个春秋，即使是迟到的经济学奖也已经走过40年的岁月。作为人类科学技术领域的一种百年知识品牌，其中不仅有许多的科学成就值得我们学习，而且其中的每一个获奖者也值得我们研究。科学家的成果与科学家的精神及方法，相比较而言，最重要的是科学方法，而最核心的则是科学家的精神。所以为了便于中国读者，尤其是今日的中国青少年了解、掌握近现代西方物理科学、化学科学、生理医学、文学艺术、经济理论的过程、成果，我们编辑委员会经过半年多的艰辛策划、编写，终于完成这部多达25册的《走近诺贝尔奖》大型丛书。

从本套《走近诺贝尔奖》丛书的编写体例上来说，我们以人物为单元，以时间为线索，以有关每个人物的“生平事迹”“科学成果”等为板块，而对于每个入选诺贝尔奖的获奖者给予解剖。当然这种解剖，既是对其人生历程、生平事迹的叙述，也是对其人生哲学、科学精神、人文情怀的一种铺陈。具体而言，在叙述每个人物时，我们尽量做到一一将人物那种坚定的信念、务实的精神、执着的工作态度，所受到的家庭教育、学校教育、社会教育，以及他们个人的素质、修养、性格、经历等元素，均给予呈现，从而使读者体会到他们那种背后的执着爱好、坚持理想、强烈求知、意志坚强、迎接挑战与勇于创新的人生品质。另外，我们在每一人物的最后部分附上包含涉及与该学科领域相关的学科简史、学科流派等内容的“经典阅读”栏目，以帮助读者较系统地掌握相关学科的必备知识理论。

总之，我们期望广大读者能够通过本套《走近诺贝尔奖》丛书，深思、体味、参照、借鉴这些文学精英、科学精英的生平与精神，而规划出自己的成才之路，并能够在人生的路上“坚持理想、执着奋斗、锲而不舍、勇于创新、戒骄戒躁”，终获成果。有时，一句话可以改变人的一生，成为个人的人生座右铭；相信一套科学、有益的图书，同样具备相似的功能。当然，水平与时间的有限、仓促，使得本套丛书难免会存在一些瑕疵，期待读者给予批评，以期再版时予以改正、更新。

《走近诺贝尔奖》丛书编辑委员会

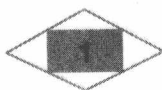
2010年9月15日



(071)	.....	祺安·文旭
(951)	.....	瓦肖·夫野
(121)	.....	市世林·神印野
(081)	.....	克更威
(50)	.....	薛印恩林
(605)	.....	尔神武·高部洋
(515)	.....	曾林不

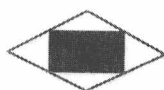
目 录

保罗·克鲁岑	.....	第 1 章 (1)
斯莫利	.....	第 2 章 (11)
波耶尔	.....	第 3 章 (25)
斯科	.....	第 4 章 (32)
沃克	.....	第 5 章 (40)
约翰·包普尔	.....	第 6 章 (47)
沃尔特·科恩	.....	第 7 章 (54)
艾哈迈德·泽维尔	.....	第 8 章 (62)
艾伦·黑格	.....	第 9 章 (74)
马克迪尔米德	.....	第 10 章 (80)
白川英树	.....	第 11 章 (86)
威廉·诺尔斯	.....	第 12 章 (96)
野依良治	.....	第 13 章 (101)
夏普莱斯	.....	第 14 章 (107)
田中耕一	.....	第 15 章 (114)
约翰·芬恩	.....	第 16 章 (121)
库尔特·维特里希	.....	第 17 章 (130)
彼得·阿格雷	.....	第 18 章 (138)
罗德里克·麦金农	.....	第 19 章 (146)
阿龙·切哈诺沃	.....	第 20 章 (154)
阿夫拉姆·赫什科	.....	第 21 章 (163)





欧文·罗斯	(170)
伊夫·肖万	(178)
罗伯特·格拉布	(184)
施罗克	(189)
科恩伯格	(197)
格哈德·埃特尔	(206)
下村脩	(212)
马丁·查尔菲	(218)
钱永健	(223)
附录一 诺贝尔	(232)
附录二 1901—2009 年诺贝尔化学奖获得者	(239)

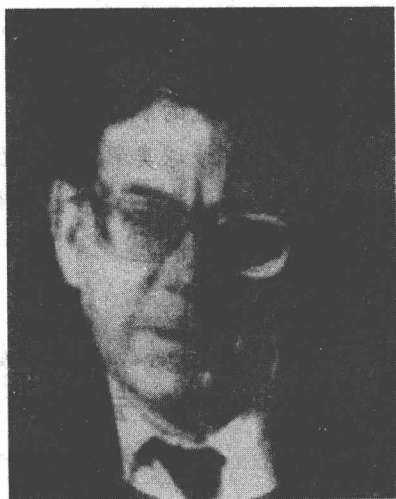




保罗·克鲁岑

(Paul J. Crutzen)

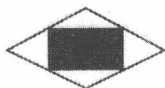
保罗·克鲁岑 (1933—)，荷兰大气化学家，1995 年诺贝尔化学奖获得者。1933 年 12 月 3 日出生于荷兰首都阿姆斯特丹。1963 年获瑞典斯德哥尔摩大学科学硕士学位，1968 年获哲学博士学位，1973 年获理学博士学位。1954—1958 年，在阿姆斯特丹市桥梁建造局工作。1958—1959 年，在瑞典 (Gzvie 房屋建造局工作。1959—1974 年，在斯德哥尔摩大学学习。1974—1980 年，在美国科罗拉多国家大气研究中心工作，同时在环境研究实验室、国家海洋和大气部兼职。1981—1985



保罗·克鲁岑

年，在德国梅因茨普朗克化学研究所工作，1983 年任执行所长。1992 年起兼任圣地亚哥加州大学斯科利浦斯海洋学研究所教授。美国文理科学院和国家科学院院士，现任加利福尼亚大学化学系教授。

克鲁岑是以研究臭氧层的破坏机理而闻名的，其研究方向为“平流层和对流层臭氧在生物地球化学循环和气候中的作用”。他也是“核冬天”理论的创始人之一。因为其臭氧研究成果的警示，1987 年联合





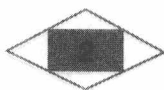
国在加拿大蒙特利尔召开了国际会议，与会国签订了“有关臭氧层保护条约的协议书”，有力推动了人类对大气环境的共同保护。克鲁岑还引进了“人类世”的概念，即环境进入到越来越受到人类活动影响的一个新的地质时期。“人类世”的提出不仅是地质学的一个飞跃，更是人类生存与发展哲学的一个飞跃。

1995年，与莫利纳、罗兰德因阐明了人造化学物质对臭氧层构成破坏及其化学机理，共同获得诺贝尔化学奖，这是环境科学首次获得诺贝尔奖。克鲁岑重点研究平流层和对流层臭氧的自然光化学模式和受到人为破坏的光化学模式。在研究过程中，他还发现生物质燃烧，尤其是干季赤道地区的生物质燃烧，是广泛的大气污染的重要原因，并且可能对地球气候造成不良影响。主要著作有《大气的改变》《大气的改变：对地球系统的展望》《云，化学和气候》《大气，气候和变化》《超音速运输机对地球臭氧保护层的威胁》《由于自然原因和人类活动使臭氧整体发生可能变化的估计》《由于增加对土壤施固定氮肥而引起大气中臭氧减少的上限》。

动荡不安的童年岁月

1933年12月3日，克鲁岑出生在荷兰阿姆斯特丹的一户普通人家。家里有两个孩子，他排行老大。父亲约瑟夫·克鲁岑出生在荷兰的帕尔斯，这里是荷兰与比利时以及德国三国交界的地方，因此他会讲三国语言，在饭店当侍者。母亲安娜·高克是一个来自乡村的农家姑娘，17岁时从德国鲁尔工业区来阿姆斯特丹，在那里认识了约瑟夫·克鲁岑并与之结婚。婚后，安娜到附近的一家医院的食堂里做厨娘。

1940年初夏，纳粹德国军队侵入了法国和比利时。6月中旬，法国





宣布投降。随后德军又入侵了荷兰，那里的人们不知道什么样的灾难将降临在他们自己的头上。9 月份，克鲁岑家附近的公立小学在一种沉闷和阴郁的气氛中开学了，不满 7 周岁的克鲁岑高高兴兴地走入了学堂。不久，人们的预感就应验了，德国人占据了这所小学的所有校舍，克鲁岑和其他同学都被从学堂里赶了出来。

孩子是祖国未来的希望。尽管局势混乱，但仍有一些极富有责任心老师千方百计地坚持继续给学生们上课，他们四处租借房屋来充当临时教室。由于这些房屋有的会被德国统治者随意占用，有的房屋主人不幸被捕入狱，老师们只得再去找新“教室”。克鲁岑记不起那时候到底搬了几次家，每周学生们只能在“学校”上几个小时的课。

局势越来越严峻了，有的老师被德军抓走了，有的被迫逃到国外去了，有的则下落不明。到处都是德国兵和密探，只要被他们怀疑是地下抵抗组织成员，就会遭到逮捕或枪杀。在这种险恶的情况下，家长们怎么能放心让孩子们去上学呢？到小学的最后一年，几乎所有的学生都辍学在家了。但克鲁岑对于知识的渴望战胜了对德国兵的恐惧。他和另外两个同学在老师的关照下，完成了小学的全部学业。而其他的同学则是等到战争结束以后，在 1945 年 9 月新学期开始后才恢复了正常的学习。

在战争期间，食品和燃料非常缺乏，战争结束前的最后几个月简直太艰难了，特别是被荷兰人称为“饥荒的 1944 年的冬天”，更加难以度日。生活用水被严格限量使用，每天只有几个小时供水。这使得卫生条件极差，许多人因饥饿和疾病而早早地死去，这其中也包括克鲁岑的几个非常要好的同学。

1945 年初，瑞典红十字会用降落伞空投食品以挽救荷兰人的生命，这才使饥荒得以稍许缓解。每当瑞典飞机飞临阿姆斯特丹上空时，克鲁岑就和大人们一起到街道上挥动着红白三色的荷兰国旗表示欢迎。当时，他只知道瑞典为他们送来了救命粮，而瑞典将在他此后的生活中变得多么重要，他当时还无从知晓。

由于没有放弃学习，克鲁岑顺利地考进中学。学校要求学生必须熟



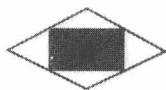
练掌握英语、法语和德语。克鲁岑从小就生活在几种语言的环境中，跟着父亲学习法语，跟着母亲学习德语。他喜欢物理和数学，但不喜欢化学。他最热衷的运动是滑冰、打橄榄球、骑自行车和下国际象棋。他广泛阅读关于旅行、天文以及建筑方面的书。在中学时代，克鲁岑对科学产生了浓厚的兴趣，科学家是他心中的偶像，他下定决心长大后要从事科学研究，从事具有学术地位的职业。

心中的理想永远不灭

为了能够考上大学，为了能够实现心中的理想，克鲁岑进行了认真充分的准备。但他在考试前夕生了一场病，发高烧，影响了正常水平的发挥，考试成绩十分不理想，失去了取得大学奖学金的资格。父亲工作不稳定，经常被老板解雇，母亲的收入也非常少，对克鲁岑来说，失去奖学金就等于失去了上大学的希望。

为了不加重父母肩上的负担，他选择了中等技术学校，以便成为土木工程师。这当然是他极不情愿的，但是他必须成为自食其力的人。1951年，克鲁岑进入阿姆斯特丹中等技术学校学习。在第二年的实习期里，克鲁岑挣得一份不多不少的薪水，足够他两年的生活费。1954年，克鲁岑毕业后到阿姆斯特丹桥梁建设局工作。工作后他到瑞士旅行，遇见了芬兰赫尔辛基大学历史系女学生索妮娜。他们一见钟情，1958年2月结了婚。这一年，克鲁岑在政府的房屋建设局找到了一份收入不错的工作，年底他们有了第一个孩子。

娶妻生子，工作稳定，衣食不愁，这对于一般人来说，完全可以知足了。但是克鲁岑一直希望能够从事具有研究和学术性质的工作，可是必须首先取得大学的文凭。这样一个念头一直在他的脑海里翻腾，使他





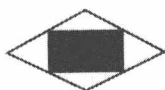
终日闷闷不乐：难道一辈子就这样过下去吗？不，决不能这样！克鲁岑耐心地寻找和等待着机会的降临。

1958 年等待许久的机会终于来了。一天，克鲁岑在一份瑞典语报纸上看到了斯德哥尔摩大学气象系招收计算机编程员。那时，斯德哥尔摩大学气象学院研究所及其相关的国际气象研究所都处于民办气象学研究的最前沿，但对于克鲁岑来说，最吸引他的是能够有机会跟读某些大学课程。尽管他缺乏气象方面的知识，也丝毫没有过计算机编程方面的经验，但为了能走进大学校园，他还是毅然报了名，并参加了面试。幸运的是，在众多报名者中他竟然被录取了。

1959 年，克鲁岑辞去了政府职员的工作，举家搬迁到斯德哥尔摩。他一边工作，一边在大学里听课，他学习了数学、数理统计和气象学等课程。但是他没有上任何物理或化学课程，因为这些课程需要在实验室里做大量的实验，而他却没有时间。对于这一点，克鲁岑深感遗憾。在获诺贝尔化学奖之后，他曾经感慨万千地说：“在我的学习生涯中，我错过了直接动手做实验的机会，这是非常可惜的。也许，4 年后，在我正式退休之后，我将考虑这方面的问题。”靠这种办法，克鲁岑在 1963 年取得了相当于硕士学位的资格。

投身地球环境的研究工作

作为气象研究所的一名雇员，论文的题目当然也要与气象学有关，这样克鲁岑就开始与气象学打交道了。气象研究所本来把进一步发展热带气旋的数值模型这一课题交给了克鲁岑，但是 1965 年研究所又把帮助美国来的科学家研制一个氧的同素异形体在大气平流层中的分布的数值模型的任务交给了克鲁岑。这个课题使克鲁岑对大气层中臭氧的光化





学反应产生了极大兴趣，他开始大量地阅读科学文献。到 60 年代后期，他已经掌握了平流层化学多方面的科学知识，这为他以后的科学生涯奠定了坚实的基础。

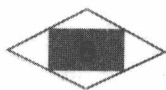
当时气象研究所主要的研究课题是由大气动力学、云物理学、碳循环、雨水的化学组成，特别是酸雨问题在研究所内更是备受关注。而克鲁岑则偏爱平流层的化学研究，对其他课题都不感兴趣，他要做有关自然界过程的纯科学研究，因此选择了平流层臭氧问题作为他的研究课题。

1930 年，研究人员开始对臭氧层作全球性系统观察，揭示出太阳的大部分紫外线没有到达地面之前被臭氧层吸收了。这有助于保护人类的脱氧核糖核酸（DNA）免遭损害。DNA 的损害会导致皮肤癌、白内障等疾病，并且会伤害人的免疫系统。臭氧层的存在对所有动植物的生存都是必不可少的。

克鲁岑通过一系列的研究发现：臭氧在平流层的分布很可能存在一种尚未发现的附加光化学过程。进一步的研究发现了氮化物对臭氧层光化学的影响，克鲁岑证实了氮的氧化物对平流层臭氧的破坏作用，这一破坏作用是人类活动的最终结果。

很长一段时间内，克鲁岑的发现并未被人们充分接受和重视，但他仍然继续自己的研究课题。20 世纪 70 年代初，他发现欧洲的“协和式”及苏联的图-144 超音速客机在平流层下部飞行时，飞机排出的气体中的氮氧化合物会破坏臭氧层。70 年代中期，美国化学家舍伍德·罗兰和马里奥·莫利纳也在臭氧层研究中取得了重要成果。他们发现人们常用的气雾剂和制冷剂中的氟利昂对臭氧层构成威胁，并可能带来灾难性的后果。

克鲁岑的研究成果在 20 世纪 70 年代中期得到了广泛认可。1974 年，他发表了关于氮氧化物破坏臭氧层的论文，这一发现引起了科学界的极大关注。1977 年，他再次发表了关于氮氧化物破坏臭氧层的论文，进一步证实了他的研究成果。1985 年，他发表了关于氟利昂破坏臭氧层的论文，这一发现也引起了科学界的极大关注。1987 年，他发表了关于臭氧层破坏的综述论文，总结了臭氧层破坏的现状和未来的研究方向。





未学过化学专业的化学家

克鲁岑、罗兰和莫利纳等人的研究终于引起了人们的高度警觉。20 世纪 70 年代末，人们发现南极上空的臭氧明显减少，80 年代这种倾向更加明显，而且逐年加剧。人造卫星的观测也发现：覆盖在南极大陆上空的臭氧减少区十分明显，好似从臭氧层凿了一个“洞”，因此被称为“臭氧空洞”。1986 年，南极臭氧空洞的面积与美国国土相当，几年后就覆盖了整个南极大陆，后来又发现北极上空也存在着同样的臭氧空洞。臭氧减少已成为全球性问题。观测发现，大气层中臭氧量的减少是全球性环境污染所引起的。

1987 年 9 月，24 个国家的政府官员在加拿大的蒙特利尔召开了国际会议，签订了“有关臭氧层保护条约的议定书”。该条约于 1990 年生效。克鲁岑多年来辛勤的工作受到了人们的重视。1995 年 10 月 11 日，瑞典皇家科学院宣布，1995 年诺贝尔化学奖授予三位证明了人造化学物质对臭氧层构成破坏作用的科学家——克鲁岑、罗兰和莫利纳。这是诺贝尔奖第一次授予从事环境保护问题研究的科学家。

这位 26 岁才得以上大学的科学家，其科学生涯起步较晚，而且也没有什么良好的专业知识，但是他凭着多年的努力，终于取得了巨大的成就。在获奖后，他说到：“我很高兴地说，我对大气化学研究的兴趣和热情将不会减少。在这一领域，尽管已经有许多东西被发现了，甚至我——一个非专业人员、没有正规化学学习背景的人——也能做出发现。因此，这里仍有许多许多东西等待其他人去发现。”





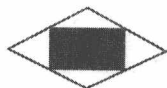
经典阅读

人造化学物对臭氧层的破坏

人类活动排入大气中的一些物质进入平流层与那里的臭氧发生化学反应，导致臭氧耗损，使臭氧浓度减少的现象被称作臭氧层破坏或臭氧层损耗。臭氧层中的臭氧是在离地面较高的大气层中自然形成的，其形成机理是：高层大气中的氧气受阳光紫外辐射变成游离的氧原子；有些游离的氧原子又与氧气结合就生成了臭氧，大气中90%的臭氧是以这种方式形成的；臭氧是不稳定分子，来自太阳的紫外辐射既能生成臭氧，也能使臭氧分解，产生氧气分子和游离氧气原子，因此大气中臭氧的浓度取决于其生成与分解速度的动态平衡。

人为消耗臭氧层的物质主要是：广泛用于冰箱和空调制冷、泡沫塑料发泡、电子器件清洗的氯氟烷烃（CFCs）以及用于特殊场合灭火的溴氟烷烃（哈龙）等化学物质。这些物质被称为消耗臭氧层物质，国际社会为了保护臭氧层，将这些物质列入淘汰或受控制使用的名单中，因此也称这些物质为“受控物质”。

消耗臭氧层的物质，在大气的对流层中是非常稳定的，可以停留很长时间，以 CFC_{12} 为例，它在对流层中寿命长达120年左右，因此这类物质可以扩散到大气的各个部位，但是到了平流层后，就会被太阳的紫外辐射分解，释放出活性很强的游离氯原子或溴原子，参与导致臭氧损耗的一系列化学反应：游离的氯原子或溴原子与 O_3 分子反应，产生氯或溴的一氧化物，夺走 O_3 分子的一个氧原子，使之变成氧分子。氯或溴的一氧化物与游离的氧原子反应，释放“夺来”的氧原子，形成更多的氧分子和游离氯原子或游离溴原子，新的游离氯原子或溴原子重新与其它 O_3 分子反应，再度生成 O_2 分子和氯或溴的一氧化物，这样的反





应循环不断，每个游离氯原子或溴原子可以破坏约 10 万个 O_3 分子，这就是氯氟烷烃或溴氟烷烃破坏臭氧层的原因。

保罗·J. 克鲁岑与美国科学家马里奥·J. 莫利纳和弗兰克·S. 罗兰三人“因为在大气层化学，特别是臭氧的形成和研究方面的工作”，而共享 1995 年度诺贝尔化学奖。在地球上空 30 千米处大气层中，有一层少量气体——臭氧层，它素有地球“铠甲”之美称，这是因为臭氧层可以吸收太阳辐射的紫外光，臭氧层仅 3 毫米厚。臭氧数量虽少，人类却少不了这层“铠甲”，否则动植物将无法继续生存下去。

近几十年来，人类已经探明地球的臭氧层一直在减少、变薄。特别令人担忧的是南极洲上空的臭氧层每年 9~11 月份急剧减少，形成一个大漏洞，这就是“南极洞”。南极洞的出现，给人类乃至整个地球带来了不祥的威胁和恐惧。因此，了解调节大气中臭氧含量的过程不仅非常重要，而且十分紧迫。

克鲁岑、莫利纳和罗兰三位科学家在解释大气中臭氧如何通过化学过程形成和分解方面，率先做出了杰出的贡献。他们的研究表明，臭氧层对自然界和人类活动中释放出的某些化合物极为敏感，如果掉以轻心，大气层中薄薄的臭氧层极有可能受到严重的破坏，从而对人类和地球造成可怕的灾难性后果。

克鲁岑是一位向更深层理解臭气层化学变化的科学家，他的研究迈出了关键性的一步。1970 年，克鲁岑发现氮的氧化物 NO 和 NO_2 可以与臭氧发生催化反应，而在反应中 NO 、 NO_2 本身并不减少，但臭氧含量却将迅速降低。大气中氮的氧化物是通过 NO_2 分解而来，而 NO_2 则由土壤中微生物转化作用生成。1976 年克鲁岑在一篇文章中指出了施氮肥与臭氧减少的关联，并证实了土壤中微生物与臭氧层厚度之间的联系。由于他的这一研究，使全球性生化循环研究有了长足的进展。

在同一时期，克鲁岑和美国的约翰斯顿注意到，超音速运输机在海拔 20 千米处高空飞行，而这儿正好是臭氧中心层，因此这些机群可能会对臭氧层带来“威胁”。由于这方面深入而有成效的研究，在全球引





发了全面深入研究大气化学的高潮。莫利纳和罗兰也在这一时期进入了研究行列，并于1974年发表了现已广为人知的理论研究，即氟氯烃（CFC）气体对臭氧层具有破坏性的结论，这使得臭氧层化学的研究又达到了一个新的水平。现在人类已充分认识到他们研究结果的重要价值，并于1987年在加拿大的蒙特利尔市签订了关于保护大气臭氧层的协议，要求全世界各国在一定期限内禁止向大气排放对臭氧层有害的气体。

荷兰大气化学家克鲁岑在21世纪伊始提出了一个关于地质时代的崭新概念“人类世”，认为自工业革命完成以来，人日益成为一种重要的地质影响力，其对地球表面所造成的影响极大，把人类世的时间跨度定为1874年到未来一万年。拉迪曼认为应该从农业社会开始，这就往前提了五六千年。我国著名地质学家刘东生院士十分赞成克鲁岑的提法，他认为人类大规模改变环境从新石器时代起就很显著，晚年一直倡导呼吁加强这方面的研究，主要研究短尺度的气候、环境变化。