



大学科普丛书

第一辑 潘复生主编

The World of Plastic

塑料的世界

魏昕宇◎著



令人大开眼界的不只是塑料，
这个世界远比我们了解的更加广阔、复杂和有趣，
来吧，我们一起塑造更美好的未来！



科学出版社

大学科普丛书
第一辑 潘复生主编

The World of Plastic

塑料的世界

魏昕宇◎著

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

塑料的世界 / 魏昕字著. —北京: 科学出版社, 2019.5

ISBN 978-7-03-060991-5

(大学科普丛书)

I. ①塑… II. ①魏… III. ①高分子材料-普及读物 IV. ①TB324-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 067095 号

丛书策划: 侯俊琳

责任编辑: 牛 玲 / 责任校对: 韩 杨

责任印制: 张克忠 / 封面设计: 有道文化

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 5 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2019 年 7 月第二次印刷 印张: 17 1/2

字数: 210 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

“大学科普丛书” 顾问委员会

潘复生 钱林方 杨俊华 张卫国

周泽扬 杨 竹 刘东燕 唐一科

“大学科普丛书” 第一辑编委会

主 编 潘复生

副主编 靳 萍 沈家聪 佟书华

编 委 (按姓氏笔画排序)

万 历 王晓峰 朱才朝 向 河 向中银

刘 珩 刘东升 刘雳宇 孙桂芳 李 森

李成祥 肖亚成 沈 健 张志军 张志强

林君明 郑 磊 郑英姿 胡学斌 柳会祥

侯俊琳 曹 锋 龚 俊

总序

人类历史是一部探索自然和社会发展规律的编年史。无论是混沌朦胧的原始社会，还是文明开化的现代社会，人类对自身的所处所在都充满了与生俱来的天然好奇心。在历史发展的长河中，通过不断地传承、质疑、探索、扬弃，人类在认知自我、认知自然、认知社会的过程中集聚了强大的思想动能，为凸显人类理性光辉、丰富人类精神生活、推动人类社会持续进步提供了有力的精神武器。科学，作为运用范畴、定理、定律等形式反映现实世界各种现象的本质、特性、关系和规律的知识体系，既可以解释已知的事实，也可以预言未知的新的事实，在人类文明发展中始终扮演着重要的角色，随着人类对未知世界深入探索，在当今以至未来社会，科学知识的普及和传播必将发挥越来越重要的作用！

2016年5月30日，习近平总书记在全国科技创新大会、两院院士大会、中国科学技术协会第九次全国代表大会上发表重要讲话，提出了“到新中国成立100年时使我国成为世界科技强国”的奋斗目标。总书记还强调，“科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼，要把科学普及放在与科技创新同等重要的位置。没有全民科学素质普遍提高，就难以建立起宏大的高素质创新大军，难以实现科技成果快速转化。希望广大科技工作者以提高全民科学素质为己任，把普及科学知识、弘扬科学精神、传播科学思想、倡导科学方法作为义不容辞的责任，在全社会推动形成讲科学、爱科学、学科学、用科学的良好氛围，使蕴藏在亿万人民中间的创新智慧充分释放、创新力量充分涌流。”从中可以看出：科学普及不仅是推动经济发展、提升公民科学素养的必要手段，而且也应该成为高等院校和科研机构服务社会的重要职责。

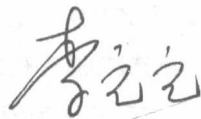
在当前国内科普图书市场上，原创科普佳作依然难得一见，广受关注和好评的还多数是引进版，这与我国科研水平快速提升的现状极不相

称。近年来，科学普及受到全球各国政府、社会组织以及公众的高度重视，形成了快速发展态势，科学普及工作也有了很多新的变化。在现代科学传播理念的指引下，科学普及既要关注科学的产生、形成、发展及其演变规律，包括人类认识自然和改造自然的历史；也要关注自然界的一般规律、科学技术活动的基本方法和科学技术与社会的相互作用等问题。科学普及不仅要传播自然科学和人文社会科学知识，更要积极引导公众在德、智、体、美等方面的全面发展。因此，需要不断创新，务求实效。

由重庆市科学技术协会主管、重庆市大学科学传播研究会主办、面向全国《大学科普》杂志，自2007年创刊以来，始终以“普及科学知识，创新科学方法，传播科学思想，弘扬科学精神，恪守科学道德”为己任，致力于推动大学与社会的结合，通过组织全国科学家解读科学发现和技术发明，创作高水平的科普文章和开展丰富多彩的科普活动，激发公众的科学热情，传播科学精神和创新精神，在全国科普界独树一帜，影响深远，为提升全民科学素养做出了积极的贡献。

十年磨一剑，砺得梅花香。《大学科普》杂志围绕广受公众关注的科技话题，通过严谨而细致的长期打磨，积累了丰富的高校科普资源，全国一大批科技工作者由此走上科普创作之路，在此基础上，组织一套原创科普佳作可谓水到渠成。科学出版社对科普工作高度重视，双方经过一年多的合作策划，形成了明确的丛书组织思路，汇集了全国众多来自高等院校和科教机构的优秀科普专家，以科学技术史、科技哲学、科学学、教育学和传播学等学科为支撑，将自然科学、工程技术科学和人文社会科学等融合传播，力求带给读者全新的科学阅读体验，真正起到激发科学热情、传播科学思想、弘扬科学精神的作用。在此，我们也热忱期待有更多科学家和科普工作者加入这一行列，为全民科学素养的提升、为国家创新发展贡献出智慧和力量！

中国工程院 院士
中国材料研究学会 理事长
吉林大学 校长



2017年3月20日

序 言

科学出版社的编辑前不久找到我，希望我能够为即将出版的《大学科普》丛书中的一本关于高分子材料的科普作品——《塑料的世界》作序，但又担心我工作繁忙没有时间。我说，请你们放心，我很高兴看到关于高分子的科普作品面世，一定会抽出时间完成这个任务。

高分子材料自古以来就是人类生活中不可或缺的一部分。木材、纸张、羊毛等天然高分子材料的重要性自不必说，以塑料为代表的合成高分子材料，诞生不过一百多年，却迅速取代了大量的传统材料，给人类带来了堪称翻天覆地的变化。毫不夸张地说，我们正生活在一个“高分子时代”。在21世纪，随着经济发展带来的资源紧张、环境污染等问题日益严峻，对可持续发展的呼声日渐高涨，高分子材料还将发挥着更加重要的作用。

然而，近些年来，虽然我国高分子科学领域的教学科研飞速发展，高质量的论文、专著和教材层出不穷，面向普通读者的普及性作品却似乎难觅踪影，偶尔遇到一些，很多是翻译国外的科普作品，这不能不说是非常令人遗憾的。由于相关科普的缺失，普通民众对于高分子材料往往缺乏充分和正确的了解，而媒体在报道相关的话题时，也大多仅仅关注甚至渲染“白色污染”“添加剂危害”等负面的内容，却全然没有意识到，如果没有高分子材料，我们的生活将会是多么的黯淡无光。

正因为如此，当这本《塑料的世界》科普读物摆在我面前时，我感到眼睛为之一亮：这真是一本来得及时的好书。全书虽然篇幅不长，内容却十分翔实丰富，既介绍了高分子科学的重要基本概念，又普及了常见高分子材料的性能、特点和发展简史，还解读了3D打印、智能高分子材料等高分子科学的发展前沿。尤为可贵的是，对于高分子材料发展和应用中产生的资源、环境、健康等问题，作者也没有回避，而是为读者进行理性的分析。虽然涉及大量的专业知识，作者却总能用通俗的语言将其阐述清楚，

并且用清晰的脉络将复杂的内容贯穿起来，由此可见作者扎实的专业基础和深厚的写作功底。

关于本书作者魏昕宇博士，我此前不曾了解，只是从科学出版社编辑那里得知他是一位热心科普的年轻人，在从事本专业研究工作之余，撰写了不少科普文章，这是他第一次出版科普图书。作为一名从事了几十年科研工作的“老兵”，我深知科研人员特别是年轻的研究人员常常要面对沉重的工作和生活的压力，能够抽出额外的时间坚持科普创作实属不易，需要极大的热忱和毅力。我想魏博士一定也是为这本书付出了很多努力，从他的字里行间，我看到了他对于高分子科学的热爱。我为有这样一位积极献身科普事业的同行感到骄傲，希望他再接再厉，创作出更多优秀的科普作品。同时，我也希望有更多的青年科研工作者能够投身科普，为科学知识的传播尽自己的一份力量。

最后，我真诚地希望每位读者都能够认真地读一读这本书，更好地了解与我们生活休戚相关的高分子材料，了解整个高分子科学界为了人类社会发

中国石化集团首席科学家

乔金樑 研究员

前言

假如没有塑料

2017年7月的一天，我像往常一样打开科技新闻的网站，一则消息吸引了我的注意：自20世纪50年代至2015年，人类已经生产了83亿吨塑料，其中的63亿吨已成为垃圾。如果按照这样趋势推算，在未来的30多年中，将有3倍于此的塑料垃圾产生在我们这个地球上。

的确，随着塑料制品的日益普及，塑料带来的环境问题也日益严峻：众多的塑料制品在使用完毕后被随手丢弃，成为令人头疼的“白色污染”；进入海洋中的塑料垃圾严重威胁着各种海洋生物的生存；塑料的生产加工消耗了石油、煤炭等不可再生的化石能源，同时排放出大量的温室气体二氧化碳，成为造成全球气候变暖影响因素之一。正因为如此，近些年来，少用塑料甚至不用塑料的呼吁或者倡议时常见诸各种媒体。

然而，你是否想过，如果没有了塑料，我们的生活会变成什么样子呢？你可能对此不以为意：塑料的诞生发展也就是一百多年的事，在此之前的几千年，没有塑料，人类不也是过得好好的嘛。真的是这样吗？让我们不妨选取日常生活中的一个片段，来看看塑料对我们的影响究竟有多大吧。

设想某天傍晚，华灯初上，你完成了一天的工作，收拾好东西准备离开办公室。不过你还不能马上回家，因为有三件事需要完成：首先，家中的冰箱已经差不多空了，你需要去超市采购食品和其他日用品；其次，回家的路上要路过一家医院，你的一位老友最近正在那里住院，你打算顺路去看望他；最后，你还打算到健身房去锻炼一下身体。不过，你最先要做的是给自己的汽车加满汽油。

在加油站，看着工作人员递上来的账单，你忍不住摇头：这辆汽车是

上个月刚刚购买的，当时厂家宣传说这款新车的燃油经济性有了显著的提高，所以你最终相中了它。可是看起来似乎没怎么省油嘛，莫非是厂家在骗你？这还真不能怪厂家。有研究表明，如果车身重量减少 10%，燃油经济性就能够提高 6% ~ 8%。现在没有了塑料及基于塑料的复合材料，汽车中的零部件只能用金属来代替，车身重了不少，能省油才怪呢。

给汽车加完油，你走进超市，来到摆满饮料的货架前准备买一些碳酸饮料。往常这些饮料大都是装在塑料瓶里，现在没有塑料，很多饮料只能装在玻璃瓶里。当你把一箱饮料从货架上搬到购物车里时，你觉得货物怎么重了许多。没错，同样尺寸的塑料瓶要想换成玻璃瓶，重量至少要增加 100 克，现在买了几十瓶饮料，你自己算算包装会增加多少重量吧。而且要想把这几十瓶玻璃瓶装的饮料运回家，开车时还得格外小心。万一瓶子碎了饮料洒出来，买饮料的钱打了水漂儿还是小事，要是把新买的车弄脏了，那就实在不妙了。当然了，你也可以选择装在铝制易拉罐里的饮料，这样就不用担心瓶子摔碎的问题了。然而铝的生产需要耗费大量电力来电解氧化铝，因此铝是臭名昭著的耗能“大户”，提炼铝矿石过程中产生的污染就更不用提了。想到这里，你是否有些怀念塑料饮料瓶了呢？

买完饮料，你走到超市的生鲜区。往常各式各样的农产品总是让你目不暇接，但今天你似乎感觉果蔬的品种少了许多。没错，离开了塑料，地膜、温室大棚等重要的农业生产手段都无从谈起，即便有了先进的育种技术、发达的物流，我们的口福仍然很可能要大打折扣。如果你像笔者一样来自北方，冬天一到，你很可能又要像我们的父辈一样，忍受没有新鲜蔬菜水果，只能吃冬储大白菜甚至咸菜的生活呢。

采购完毕，该付账了。你拿出钱包寻找里面的信用卡，却发现它们都不翼而飞了。信用卡的主要材质是塑料，没有了塑料，你怎么会有信用卡可用呢？那用手机支付？别逗了，没有塑料，手机能不能顺利地造出来还不好说呢。这些支付方法都不能用，你多半只能老老实实在地用现金付账了。钱包里放那么多纸币，既不方便也不安全，但没办法，没有塑料，你只能选择忍耐了。

离开超市，你来到医院，这时护士正准备给你的朋友输液。这本是一项再简单不过的操作，护士却犯了难。因为没有了聚氯乙烯这种常见塑

料，我们找不到合适的材料来制成轻柔且又不失牢固的输液管。旁边一位患者的情况更为糟糕，他的情况危急，需要立刻输血，可是没有聚氯乙烯，如何生产血浆袋也成了问题。你想起昨天才看到一篇文章，提到聚氯乙烯制品中的增塑剂会逐渐从塑料中游离出来，进入人体后会危害健康，所以应当远离聚氯乙烯云云。然而正是这种“声名狼藉”的塑料在为保护我们的健康做贡献。此时此刻，你是否觉得需要重新审视一下塑料的价值了呢？

探望完朋友，你来到健身房，准备好好地活动一下。你从小就喜爱运动，但自从用眼过度导致近视，不得不佩戴眼镜之后，每次运动时你总是要提心吊胆。你至今还清楚记得初中某次体育课上，你和同学一起踢球，飞过来的足球刚好砸到你的眼镜上，瞬间就让玻璃镜片粉身碎骨。不过好在碎玻璃没有伤到眼睛，算是不幸中的万幸了。后来，你把玻璃镜片换成了更加轻便且耐冲击的塑料树脂镜片，就再没有这方面的烦恼了，但框架眼镜在运动中仍然会不时掉落，让你觉得不够尽兴，于是你又配了一副隐形眼镜，从此在运动场上挥洒自如。然而如果没有塑料，无论是树脂镜片还是隐形眼镜都只能存在于科幻作品中。看着你重新戴上“瓶子底”镜片走上运动场，还真让人不得不为你捏一把汗呢。

从上面这个很小的生活片段中我们不难看出，塑料制品的使用极大地改善了我们的生活。如果离开了塑料，我们的生活或许仍然能够继续，但会失去很多方便和舒适。如果把与塑料同属高分子材料的合成橡胶、合成纤维等也算上，我们就更离不开它们了。当然，强调塑料对人类的重要性，并不意味着忽视甚至否认塑料对环境造成的负面影响。的确，目前塑料制品从生产、使用到废弃和再利用的各个环节都存在着许多不尽如人意之处。例如笔者在文章开头提到的研究就指出，目前的塑料废弃物中只有9%被回收再利用，12%以焚烧的形式产生能量，剩下的近80%作为废弃物全部都进入了垃圾填埋场或者环境中。如果我们将塑料垃圾回收再利用的比例哪怕提高几个百分点，由此带来的环境收益都是不可估量的。同样，通过改进塑料生产和加工的工艺，提高对原材料和能源的利用率，我们完全有可能进一步减轻塑料对环境的负面影响。

但笔者需要指出的是，解决塑料带来的环境问题，需要从技术到管理

的方方面面的努力，而不是一味地妖魔化塑料或者不切实际地号召人们远离塑料，这样做的结果只会是适得其反。事实上，塑料及其他高分子材料的使用对保护环境所做出的贡献是相当可观的。有研究指出，如果将日常用品中的塑料全部替换成其他类型的材料，我们将要付出的环境方面的代价会增加到现有水平的近四倍。这个数字虽然听起来极不合理，实际上却并不出乎意料：由于塑料轻便耐用的特点，将它们替换成其他材料后，我们往往需要更多的材料才能完成相同的任务，这就意味着需要消耗更多的资源。因此，塑料虽然对环境有着不可忽视的负面影响，但是塑料也是我们解决环境问题，更好地实现可持续发展的重要武器。

我们人类从诞生的那一天起，就没有停止过追求更加美好的生活，而这就使得我们不可避免地在环境中留下了越来越多的印记。面对不断出现的问题，我们应该做的是正视问题、解决问题，而不是一味地倒退。我们担心化石能源的消耗造成全球气候变暖，但如果没有电力，绝大部分人恐怕都无法忍受；我们抱怨汽车的大量使用造成城市交通拥堵、空气质量下降，但也没有谁真的想回到必须依靠走路和马车出行的年代。同样，对于塑料，我们为什么不能积极客观地去面对它呢？这也正是笔者写作此书的重要缘由。

笔者从2013年起，陆续写了一些关于塑料和其他高分子材料的科普文章。此次在这些文章的基础上加以整理和补充，使之成为更加连贯和完整的科普图书。笔者希望通过这本书，能够让更多的读者认识身边的高分子材料，了解高分子科学的一些重要概念和发展历程，以及高分子材料对我们生活的改变和影响。由于时间和能力所限，书中难免有一些错漏之处，还望广大读者指正。

魏昕宇

2018年12月

目 录

总序 i

序言 iii

前言 假如没有塑料 v

第一章 能塑：千变万化的塑料 / 001

第一节 了解高分子，从这个问题开始 / 003

第二节 最重要的塑料，最不平凡的历程 / 017

第三节 让塑料变透明的秘密 / 029

第四节 添加剂：塑料的“亲密小伙伴” / 046

第五节 带来美好童年的不凡材料，为什么有如此拗口的名字 / 059

第二章 有形：交联带来的神奇体验 / 069

第一节 塑料不耐热，怎么破 / 071

第二节 橡胶为什么有弹性 / 082

第三节 热塑弹性体：独特的组合 / 095

第四节 一次性尿布和隐形眼镜有什么共同点 / 107

第五节 如何让水凝胶穿过针头 / 120

第六节 打造属于你的“变形金刚” / 130

第三章 黏合：让万物紧密相连 / 143

第一节 坚硬的塑料如何“如胶似漆” / 145

第二节 邮票的背胶的秘密 / 153

第三节 没有溶剂，胶如何粘得牢 / 160

第四节 撕出石墨烯的胶带，究竟有何奥妙 / 171

第五节 胶水变墨水：高分子材料与3D打印 / 183

第四章 重生：高分子材料与环境 / 199

第一节 让材料自我修复，不再是梦想 / 201

第二节 靠细菌和虫子能吃掉白色污染吗 / 210

第三节 塑料回收，咋就这么难 / 221

第四节 如果石油用完了，我们拿什么造塑料 / 230

主要参考文献 / 241

附录 / 258

后记 / 263

第一节 了解高分子，从这个问题开始

塑料、橡胶、合成纤维等形形色色的高分子材料在我们的生活中发挥着越来越重要的作用，这已是不争的事实。那么究竟什么是高分子材料呢？相信稍有化学知识的朋友都不难回答：高分子材料就是以高分子化合物为基础所构成的材料，而高分子化合物（简称高分子）一般指相对分子质量高达几千到几百万的化合物。

不过接下来这个问题恐怕就没那么容易回答了：怎么证明高分子化合物的分子真的有那么大呢？

有的朋友可能会说：“我确实不知道怎么回答，但化学家们应该知道答案吧。”这个问题对于现在的化学家来说当然是小菜一碟，但如果时光倒流到一百多年前，当时的化学家面对这个问题，多半会回答道：“不用证明，这么大的分子根本就不存在。”

是因为那时的人们没见过高分子化合物吗？当然不是。我们的祖先很早就学会将纤维素、蛋白质等天然存在的高分子作为材料使用，木材、纸张、棉纱、蚕丝等就是很好的例证。到了19世纪末20世纪初，随着现代科学特别是化学的发展，人们不仅学会对天然存在的高分子材料进行改造使之性能更加优越，而且还开始尝试完全人工合成高分子材料。19世纪下半叶，第一种塑料——由纤维素改性而来的赛璐珞走进人们的视野。1907年，第一种完全人工合成的塑料——酚醛树脂问世。毫不夸张地说，当时材料科学的一场新的变革已是呼之欲出。但就在这个关键的时刻，大多数化学家仍然固执地认为，在这个世界上根本不可能存在如此庞大的分子。

然而像纤维素、天然橡胶这样的高分子材料毕竟真真切切地摆在眼前，并且呈现出与小分子化合物截然不同的性质，如更高的机械强

度，这又该如何解释呢？当时的化学家认为，这归功于分子间作用力。分子间作用力，顾名思义，就是分子之间的相互作用力，它包括了广泛存在于任意两个分子之间的范德瓦耳斯力，即由于分子极化产生的分子间静电作用，以及存在于特定分子之间的特殊相互作用，如氢键。分子间作用力的强度远远弱于分子内部将原子连接起来的共价键，但它仍然具有相当重要的意义。如果没有分子间作用力提供的相互吸引，大部分物质都只能以气体形式存在，我们眼前的图景将变得截然不同。

不幸的是，正是这种重要的相互作用让科学家们在很长时间内“误入歧途”，认为所谓的高分子化合物，不过是小分子通过分子间作用力形成的聚集体罢了，一个典型的例子是关于天然橡胶结构的推断。

一、天然橡胶的结构究竟是什么样的

每当我们遇到一种未知的化学物质，鉴定它的结构总是第一要务。现在，这一任务可以通过质谱、色谱、核磁共振等仪器设备来完成，但在一百多年前，这些先进的分析手段还没有诞生，化学家们不得不依赖于更为原始和间接的方法，其中一种常用的手段就是让未知物质和已知的化合物发生化学反应，然后从反应产物来推断未知物的结构。例如，德国化学家卡尔·哈里斯（Carl Harries）就经常用臭氧与其他化合物反应，以此来推断未知的有机物中是否存在碳碳双键这种结构（附录-1^①）。

为什么通过这样一个反应就可以推断未知物的结构呢？我们不妨打个比方：假设有一根铁链，你想看看这根铁链究竟有多长，上面的每个铁环都是什么颜色。我说，对不起，现在不能直接给你看，但可以先用我的剪刀剪一下再给你看，而我的剪刀有个特点，那就是只能把红色的铁环一分为二。结果剪过之后，我们得到了两条断链，其中一边是两个绿色环和半个红色环依次相连，而另外一边是三个蓝色环

^① 为方便不同层次的读者的阅读，书中涉及的若干化学结构式和反应式统一附于书后，供有兴趣的读者查阅。

和半个红色环相连，那么你就可以推断出：这个铁链原本由六个铁环组成，它们的颜色依次是“绿-绿-红-蓝-蓝-蓝”。在哈里斯的实验中，臭氧就相当于这把剪刀，而碳碳双键这种结构就是被它剪断的红色铁环。

现在我们用这把剪刀去剪另一根铁链，结果发现，得到的断链只有一种：两个彼此相连的蓝色环前后两端分别连着半个红色环。为什么会出现这种结果呢？一种可能是这根铁链不仅非常长，而且在它的链条上反复出现“红-蓝-蓝”的组合，当我们用剪刀去剪它时，所有的红色环都会被剪断，自然形成了刚才说的这种断链。哈里斯用臭氧处理天然橡胶时，就遇到了这种情况——得到的产物只有一种，名为乙酰丙醛，它的结构表明这个分子的两端都应该被臭氧“剪”过（附录-2）。根据这个结构，我们不难推断，天然橡胶是含有大量碳碳双键结构的天然高分子化合物。

然而哈里斯并不相信高分子化合物真的存在，因此他想到了另外一种可能：原先的这根铁链实际上是六个铁环按照“红-蓝-蓝-红-蓝-蓝”的顺序首尾相连，形成一个圈。由于这个圈的结构左右对称，当我们用剪刀剪断红色环时，自然只会看到一种断链。据此，哈里斯认为天然橡胶是由无数含有碳碳双键的环状分子——二甲基环辛二烯形成的聚集体（附录-2）。可是怎么解释天然橡胶有很强的机械性能呢？哈里斯认为，这是由于碳碳双键的存在导致二甲基环辛二烯的分子间作用力较一般分子更强。

哈里斯发表了他的研究结果后，真的有人试图通过合成二甲基环辛二烯来生产天然橡胶，结果自然是以失败而告终。如果一直用这样的错误结构去指导生产实践，那真可谓以其昏昏使人昭昭，不知道要走多少弯路呢。幸运的是，一些研究人员开始意识到，当时人们对于高分子化合物的认识或许是不正确的。德国化学家赫尔曼·施陶丁格（Hermann Staudinger）正是其中的一员。

二、有机化学界的“叛逆”

施陶丁格 1881 年 3 月 23 日出生于莱茵河畔的德国城市沃尔姆斯