

北京科普创作出版专项资金资助



走进 膜的世界

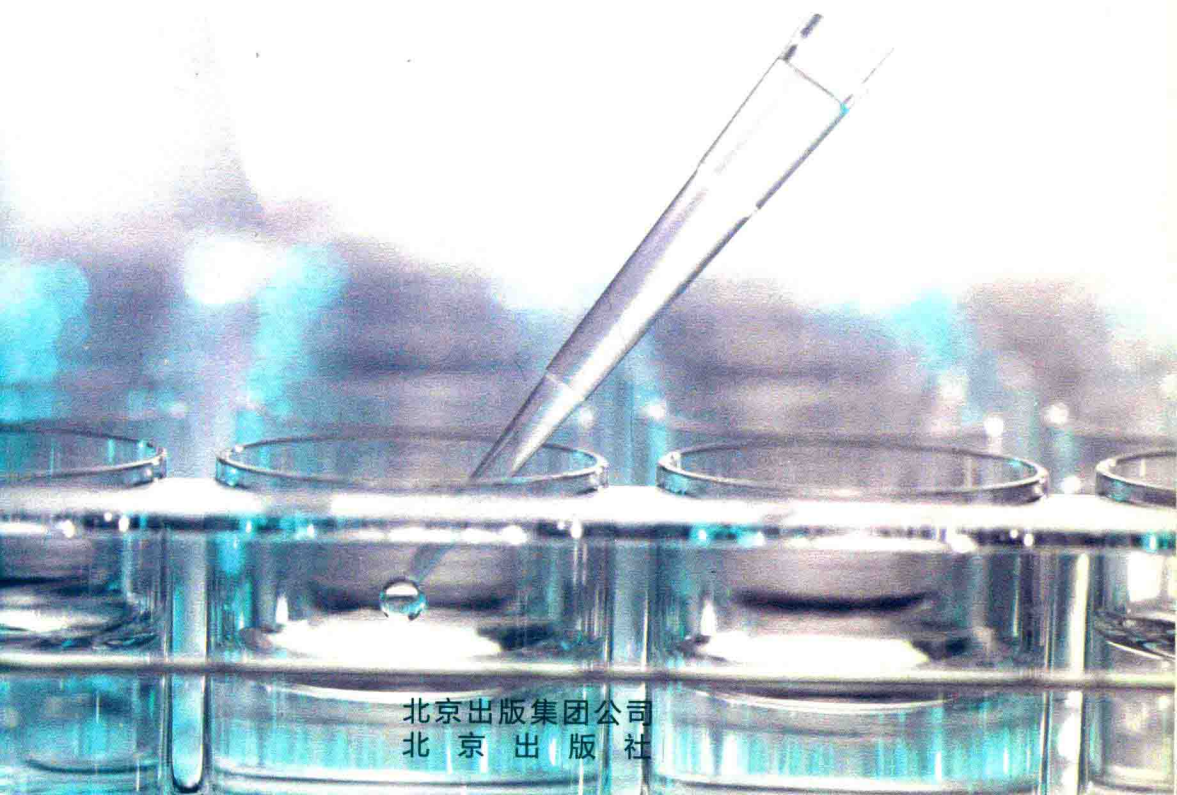
北京市科学技术协会 主编
北京膜学会 编著

北京出版集团公司
北 京 出 版 社



走进 膜的世界

北京市科学技术协会 主编
北京膜学会 编著



北京出版集团公司
北京出版社

图书在版编目(CIP)数据

走进膜的世界 / 北京市科学技术协会主编; 北京膜学会编著. — 北京: 北京出版社, 2017. 12

(科学家在做什么丛书)

ISBN 978-7-200-12266-4

I. ①走… II. ①北… ②北… III. ①生物膜—普及读物 IV. ①Q73-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第145070号

科学家在做什么丛书

走进膜的世界

ZOUJIN MO DE SHIJIE

北京市科学技术协会 主编

北京膜学会 编著

*

北京出版集团公司 出版
北京出版社

(北京北三环中路6号)

邮政编码: 100120

网址: www.bph.com.cn

北京出版集团公司总发行

新华书店经销

中国电影出版社印刷厂印刷

*

787毫米×1092毫米 16开本 11印张 200千字

2017年12月第1版 2017年12月第1次印刷

ISBN 978-7-200-12266-4

定价: 39.80元

如有印装质量问题, 由本社负责调换

质量监督电话: 010-58572393

“科学家在做什么” 丛书编委会

主任：

马 林

常务副主任：

田 文

副主任：

李金涛 王 晖 杜 扬

委员：

池宸星 崔家墅 李 斌 梁凌云

王 姝 谢姗姗

关于《走进膜的世界》 出版说明

为了发挥北京膜学会在“普及膜科学知识，增进与大众沟通”方面的作用，经理事会讨论通过，学会秘书处开展“科学家在做什么”系列丛书之《走进膜的世界》组稿工作。供稿专家来自北京、天津地区的高校和科研院所，具有多年科研开发经验，在膜分离技术领域成果丰硕。在本书出版之际，对于各位专家的辛勤工作与奉献精神，表示诚挚感谢。

安全福 教授	北京工业大学
吕晓龙 教授	天津工业大学
王保国 教授	清华大学
王建友 教授	南开大学
王 志 教授	天津大学
朱孟府 研究员	军事医学科学院卫生装备研究所
张卫东 教授	北京化工大学

此外，北京林业大学王璐莹博士，北京出版集团穆怀黎、闫颂编辑，对该书的内容进行梳理与出版加工，付出辛勤劳动，一并表示感谢。

北京膜学会秘书处 王保国

2017年11月21日



“科学家在做什么”

当今世界，创新成果不断涌现，技术更新周期不断缩短，科学技术的学科领域划分日趋精细，前沿科技成果快速进入公众的生产生活，科技对于国家富强、经济繁荣、人民幸福、社会和谐的作用日益突出，已成为引领社会发展的先导力量。在2016年5月隆重召开的全国科技创新大会、中国科学院和中国工程院院士大会、中国科协第九次全国代表大会上，习近平总书记提出了我国科技事业发展的宏伟目标：到2020年时进入创新型国家行列，到2030年时进入创新型国家前列，到新中国成立100年时成为世界科技强国。习近平总书记多次强调创新是引领发展的第一驱动力。科技兴则民族兴，科技强则国家强。要实现“两个一百年”奋斗目标，实现中华民族伟大复兴的中国梦，必须坚持走中国特色自主创新道路，加快各领域科技创新，掌握全球科技竞争先机。推进尽快形成创新驱动发展格局，既有赖于广大科技工作者的不懈努力，更离不开公众科学素质的大幅提升。科学普及和科技创新如一体之两翼，相互融合、互为支撑、互为促进。当今的科学普及不单是要提高公民素质，更要促进公众理解科学，促进科技成果的转化和应用，让广大人民群众都来运用科技，把科技成果更多地惠及人民。

科技类社会团体作为专业领域科技人才荟萃的集合体，在促进公众理解科学、向公众传播科学技术方面有着义不容辞的社会责任。首先，科学技术属于公共事业，科技事业的发展依赖于全社会的支持，科学家



只有让公众了解自己的研究内容和意义，才有可能取得社会的理解和支持；只有大力普及科学技术，创新能力才会有生长点；只有养成讲科学、爱科学、学科学、用科学的良好社会风尚，科技创新才会有深厚的社会基础。其次，科学研究成果不能仅仅停留在论文和实验室中，只有为广大公众所理解和运用，才能发挥其推动经济社会发展的最大效力。科学家应当采用各种形式，努力使公众及时了解最新的科技发现，知晓前沿科研成果，并在此过程中提升科学家及其所在学科的社会影响，彰显科学家的自身价值。

北京市科学技术协会作为北京地区广大科技工作者的群众组织，为加强科技工作者群体与社会的沟通，增进科学家与公众之间的相互理解，促进科学技术向公众传播，组织相关科技社团编写了“科学家在做什么”系列丛书，通过发挥知识密集、专家荟萃的优势，尽可能使用浅显的语言，系统介绍各个学科领域的前沿进展以及科学家在其中的重要贡献。

丛书主要面向领导干部和公务员、高校学生、学有余力的中学生及非丛书分册领域的科技工作者等几类人群。领导干部和公务员需要运用前沿科技知识做出正确的决策。对于高校学生而言，科技前沿知识可以更好地满足他们认识世界的需求与好奇心。中学生适当了解前沿热点科技知识，对他们增强求知欲、培养对科学的热爱很有好处，也可以为他们未来选择专业和人生方向提供依据。对于科技工作者而言，了解一些非本专业领域的科技前沿知识，可以进一步完善知识结构、启迪创新思维，为寻找学科交叉和融合的切入点提供帮助。

衷心希望读者从这套丛书中，了解科技前沿，感受科学的壮美，领略科学家的风采，进而参与到科技创新、强国兴邦的伟大事业中。

北京市科学技术协会党组书记、常务副主席 马林

北京膜学会的中青年科研人员，利用业余时间编写了《走进膜的世界》一书，向大众普及膜分离科学与技术知识，这种做法值得称赞。该书内容涵盖主要膜材料品种，以及主要应用场景，案例均来自于日常生活与工业生产过程，包括水资源开发、空气净化、生命与健康、食品安全、新能源电池等领域。很高兴为这本科普读物写作序言，进行推荐。

膜分离技术是在20世纪初期出现，20世纪60年代后迅速崛起的一门新技术。在常温下分离净化，选择性好，无化学变化，适应性强且能耗低。膜技术就好像是信息产业的芯片，谁掌握了膜技术，谁就掌握了21世纪化工的未来。对于解决我国面临的水资源短缺、水环境污染，以及新型能源技术开发，实现社会可持续发展具有重要战略意义。

反渗透膜是整个海水淡化系统的核心，有选择透过（半透过）性的功能，以压力差为推动力，可使水分子不断地透过膜，将水中的杂质，如可溶性盐分、离子、有机物、细菌、病毒等物质截留，从而达到淡化净化目的。此外，膜分离技术通过终端过滤、减少化学药剂使用，在提高生活用水质量，以及污染水再资源化的过程中，具有不可替代的优势。



膜分离能够实现气体混合物的高效分离，脱除天然气中所含的酸性组分，如二氧化碳、二氧化硫，以及烷烃、芳烃类物质，对于提高天然气的热值，减小气体体积，降低大气污染，有效减轻管线、装置腐蚀，对天然气的清洁高效利用意义重大。微滤膜可以将颗粒截留在滤料表面，用于建立新风系统，在送风的同时通过滤网等对进入室内的空气进行过滤、消毒、杀菌、增氧，有效缓解“雾霾”影响，保护人们的身体健康。

膜分离技术具备浓缩、澄清、提取、除菌等功能，分离过程中无需高温操作，即可实现分离，又可保证热敏性物质不受影响。因此，膜分离在生物医药、食品加工领域具有广泛应用。不管是中药制剂还是西药制剂，药物有效成分的提取、纯化、分离、浓缩的生产均离不开分离膜，包括酶制剂、蛋白质及抗生素、氨基酸和维生素的分离、浓缩和纯化。

近年来，电动汽车与新能源技术快速发展，隔膜作为能源关键材料得到高度关注。电化学体系通常包含氧化/还原两个部分，包括燃料电池、锂电池、液流电池等，如果氧化剂、还原剂直接反应，不仅降低能量效率，还会产生大量热量，对电池造成致命损害。因此，必须使用膜材料隔离，才能避免氧化剂和还原剂直接接触。与此同时，该隔膜必须能够许可特定离子透过，用来导通电池内部电路，才能实现持续的电化学反应。

膜广泛存在于自然界，与生命活动与生命起源紧密相关，在许多自



然现象中发挥重大作用，在现代社会发展与人们日常生活中也扮演着重要角色。人类对膜的认识是近200年的事，生产应用仅仅半个世纪，现在仍在快速发展。希望这本科普读物的出版，能够使更多的人了解膜科学，更多的有为之士投身到膜技术，使膜科学与技术更好地造福人类社会。

中国工程院院士

高从堦



● 第1章 膜分离与饮用水安全 /1

- 自来水的“膜法”王国 /1
- 直饮水是怎样制造的 /5
- 瓶装水是怎样制造的 /8
- 家用净水器是怎样工作的 /10
- 便携式净水器是怎样工作的 /13
- 应急供水系统是怎样工作的 /17

● 第2章 城市污水变清水的膜技术 /21

- 城市污水资源化之“膜术师” /21
- 黑臭河道清幽幽 /25
- “膜”助力垃圾渗滤液处理 /29

● 第3章 海水和工业废水再生利用 /33

- 大规模供水 /33
- 舰船上的饮用水 /37
- 自循环的工厂——废水零排放 /41
- 选矿废水变清洁水——分离膜的“膜力” /45

● 第4章 膜技术与工业高纯水 /49

什么是“高纯水”？ /49

工业高纯水的用途 /52

高纯水的传统生产工艺 /56

膜集成技术与现代高纯水 /62

● 第5章 空气净化与减少大气污染 /71

全城“霾”伏之下，扬“正气”树“新风” /71

挥发性有机物（VOCs）的治理 /78

膜法净化天然气 /83

● 第6章 气体分子分离 /89

氧气和氮气分离膜 /89

二氧化碳与氮气分离膜 /94

膜法锅炉给水脱气 /98

● 第7章 生命医用膜 /101

制药用水 /101

药物制备 /105

输液滤器 /110

血液净化 /113

呼吸用氧 /117

缓释药物 /120

● 第8章 食品饮料 /123

无醇啤酒 /123

低乳糖牛奶 /127

膳食纤维——菊糖 /132

● 第9章 “膜法”能源转化与储能 /137

夜晚还能利用太阳照明吗? /137

电储存在哪里? /140

储能电池会给生活带来哪些变化? /142

用水溶液来储存电能——液流电池 /144

会呼吸的电池——金属空气电池 /149

无机膜怎样与钠硫电池结缘 /151

电解水过程的隔膜与氢能社会 /153

未来的新型电池储能科学与工程 /156

绿色生物质燃料——乙醇 /159

第1章 膜分离与饮用水安全

MO FENLI YU YINYONGSHU ANQUAN



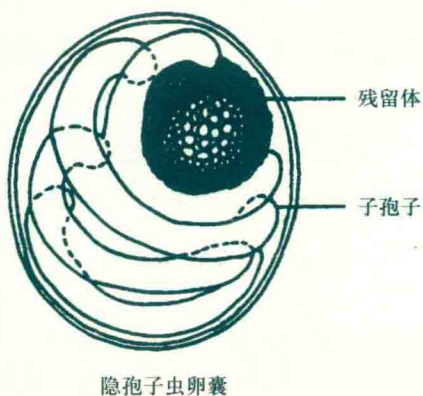
水是人体的重要组成部分，人体每天消耗的水分中约有一半需要直接喝饮用水来补充。饮用水是指可以不经处理、直接供给人体饮用的水，是人类日常生活中不可或缺的重要资源。目前，膜分离技术已成为饮用水生产和处理的主流技术。

自来水的“膜法”王国

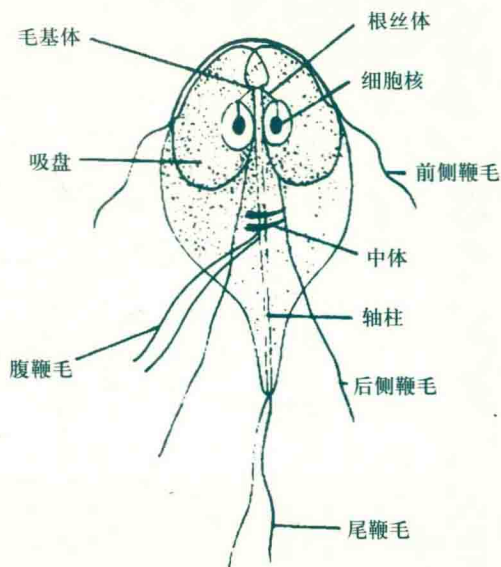
随着社会的发展，自来水已经走进了千家万户，越来越多的家庭用上了安全、放心的自来水，可是大家是否想过：自来水从哪里来？自来水安全吗？想必很多人心里都有十万个为什么，这里让我们一起走进自来水的王国。

我们都知道水是生命之源，水在滋养人类的同时，也在滋养着其他的生物，比如鱼、虾等。这些生物都是我们可以用肉眼看到的，但水中也会存在一些人类看不到的微生物，如细菌及一些其他的微生物，这其中如贾第虫和隐孢子虫等，会对我们的身体健康造成严重影响，所以世界各国都对饮用水制定了严格的水质卫生标准，我国也出台了《生活饮用水卫生标准》，旨在为广大人民群众提供安全可靠的饮用水。

自来水作为现今人们获取水资源的最重要途径之一，自来水厂的作用不容忽视。在我国，大部分的自来水厂采用的是混凝—沉淀—过滤—消毒这一传



▲ 贾第虫和隐孢子虫



蓝氏贾第鞭毛虫滋养体腹面

统的工艺,这种工艺已经不能满足新形势的需要,很难解决现在面临的很多水质问题。例如消毒的副产物、致病微生物、水浊度、水质不稳定性以及藻类和藻毒素等,这就要求我们对传统自来水厂的技术系统进行升级改造,来一场“膜法”式的改革。那应该对自来水厂施加什么“膜法”,才能为我们提供这么多安全、可靠的水呢?

这里所谓的“膜法”主要是指超滤膜技术,超滤膜技术是一种能够将溶液进行净化、分离、浓缩的膜分离技术,其作用相当于以除浊为目的的传统处理工艺,其截留机理主要是通过筛分作用来截留水中的颗粒物质,即在膜两侧一定的压力差为推动力的作用下,当水流过膜表面时,只允许各种低分子溶质(如水、无机盐、矿物质)透过膜,成为渗透液被收集,而大于膜孔的各种高分子物质(如各种悬浮物、胶体、细菌、病毒、蛋白质等)被截留成为浓缩液外排。

超滤膜技术相对于传统的水处理技术来说有很多优点：第一，超滤膜技术的使用能够保证水质的稳定，出水的浊度根本不会受到原来水质的影响，而且这种技术能够将出水的浊度控制在0.1 NTU以下。第二，使用超滤膜技术可以保证出水微生物的安全性，超滤膜能够将水体中存在的贾第虫、病毒、隐孢子虫以及细菌完全地截留住。第三，使用这种技术来对水进行过滤可以降低消毒副产物的生成量。第四，使用超滤膜技术的水厂的供水规模很灵活，只需要根据实际情况增减超滤膜的组件即可，这种技术适合对任何规模的供水量进行净化处理，而且改扩建很容易。第五，超滤膜技术的应用仅需很小的占地面积和较短的施工周期。过滤膜具有标准化、相对集约化的特点，这些特点有利于缩短传统水厂的施工周期，同时可以大大减少占地面积。除此之外，过滤膜的主体设备能够被灵活地转移到需要的地方，能够很好地适应洪涝、旱灾以及人为污染造成的水质恶化等突发事件。所以，和传统的水处理的工艺相比较，超滤膜技术更能够保证饮用水的质量，具有很好的安全性。

但是随着工业的发展，水资源中也残留了一些工业废物，如多环芳烃和有机氯农药等，虽然残留量很低，但是其对人体的伤害很大。多环芳烃是一种特殊且稳定的环状结构的化合物，难降解，容易在生物体内富集，具有明显的“三致”效应。美国环保局在其优先控制污染物黑名单中列出了16种多环芳烃。有机氯农药可长期滞留在外部环境中，不易光解，也难以通过化学或生物方式降解，且由于其高脂溶性，易在生物体内的脂肪组织中富集，进而通过食物链放大。《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》中首批控制的12种化合物中，有9种属于含氯杀虫剂。而且饮用水中微量的有害单价离子（如 NO^{-2} 、 NO_2^{-} 、 F^{-} 等）和有毒二价离子（如 HAsO_4^{2-} ）和重金属离子等都很难单纯地依靠超滤技术来解决，所以研究学者们考虑运用纳滤技术来应对这一



问题。

纳滤作为一种新型的膜技术，其孔径范围介于反渗透膜与超滤膜之间，适合分离相对分子质量在300~500克/摩尔的有机小分子物质，在去除大部分有机物的同时，还能选择性截留无机离子。但是因为驱动压力过高，运行费用相对较高，所以在饮用水的处理过程中它的应用也受到一些限制。相信随着制膜理论和工艺的发展，性能优良、价格低廉的膜会逐渐进入应用中，届时如今面临的水污染问题会得以缓解，甚至解决。