

1995—2014 年废水资源回收研究发展态势分析 —— 基于文献计量学方法及数据

张丽 刘阳生[†]

北京大学环境科学与工程学院, 城市固体废物资源化技术与管理北京市重点实验室, 北京 100871;

[†] 通信作者, E-mail: yshliu@pku.edu.cn

摘要 为了深入了解废水资源回收相关研究的全球状况和前沿动态, 客观地反映相关国家在该领域的科学能力和科学影响, 利用 ISI Web of Science 引文数据库, 采用文献计量学方法, 对 1995—2014 年 SCI 收录的相关文献进行计量分析。结果表明: 1) 1995—2014 年 SCI 收录的废水资源回收领域论文中, 水回收所占比例最高, 为 72.0%; 2) 废水资源回收主要涉及环境科学、环境工程、水资源、化学工程、生物技术与应用微生物等学科, 其中环境科学学科论文年度增长速度最快; 3) 发表论文数和论文被引用率排名均靠前的国家为美国、西班牙和印度, 中国论文数增长的趋势最为显著; 4) 美国加利福尼亚大学、印度理工学院以及西班牙科学研究理事会 3 个研究机构在当前废水资源回收领域综合实力最强, 中国科学院、清华大学等机构近几年国际影响力有明显提升。

关键词 废水资源回收; 科学引文索引; 文献计量学

中图分类号 X703

Development and Trend Analysis of Wastewater Resource Recovery Research Based on Bibliometrics Methods and Data during the Period 1995–2014

ZHANG Li, LIU Yangsheng[†]

College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing Key Laboratory for Municipal Solid Waste Utilization and Management, Beijing 100871; [†] Corresponding author, E-mail: yshliu@pku.edu.cn

Abstract For better understanding the global trend in wastewater resource recovery and reflecting major nation's scientific capability and influences on the world's science community in the field, a bibliometric analysis was conducted using the literatures in the Science Citation Index (SCI) database during the period 1995–2014. Results indicate that: 1) among all articles included by the SCI, water recovery from wastewaters account for the largest percentage with 72.0% of all related research fields. 2) The mainly involved subject areas are Environmental Sciences, Engineering Environmental, Water Resources, Engineering Chemical, Biotechnology Applied Microbiology, and so on. The number of the Environmental Sciences articles has the largest annual growth. 3) The top-ranked countries of both the total number of articles and the average impact factor are USA, Spain, and India. However, China has the fastest growth rate of publishing articles only. 4) Three research institute including University of California System, India Institute of Technology, and Consejo Superior De Investigaciones Cientificas are the most abundant research institutes in this field. The Chinese Academy of Sciences and Tsinghua University were the two toppest institutions in China that have advance its international influence in recent years.

Key words wastewater resource recovery; science citation index; bibliometric analysis

随着社会经济的发展及人类对自然资源的耗竭,资源回收利用越来越受到国际社会的重视。其中,废水资源化作为资源回收利用的一个方面,已成为环境工程领域重要的研究方向之一。为了深入了解目前废水资源回收技术的研究现状,及时把握其发展新动向及其前沿,采用文献计量学的方法可以获得最有价值的信息。

文献计量学最早由 Pritchard^[1]提出,随着各个学科的发展,对于文献计量分析的需求也越来越多。近年来,文献计量学广泛应用于各研究领域已发表学术论文的统计研究中,以便对当前研究和未来研究方向有具体的了解和认识^[2]。目前,利用文献计量学的方法对环境相关领域研究状况的分析包括长江中下游河湖湿地研究^[3]、中国生态脆弱性^[4]、我国碳排放^[5]、气候政策建模研究^[6]、清洁生产^[7]、土壤重金属污染^[8]和焚烧技术^[9]等。

科学引文索引(Science Citation Index, SCI)来自美国科学信息研究所(Institute for Scientific Information, ISI)的网络科学数据库(Web of Science Databases),是文献计量学分析中最重要和最常用的源数据库^[10]。本文采用文献计量学方法,利用 SCI 收录的废水资源回收领域相关文献数据进行统计分析。

1 数据来源

本文基于科学引文检索扩展版(Science Citation Index Expanded, SCIE)基础进行统计分析。

通过拟定废水资源回收主题,选取该领域被引率较高的几篇综述文章以便对该领域有一定了解,在此基础上,利用资源(resource or material* or energy or heat)、回收(reclamation or reuse or recovery or recycl*)、废水(wastewater or sewage or effluent)等关键词之间的组合限定,写出总的检索式(见附录)。根据检索式,检索出 11468 篇文章,利用 SCI 提供的 Analyze Results 系统、Excel 透视表、Endnote 软件和 ucinet 软件进行统计分析,包括全球论文发表数年度变化趋势分析、主要研究领域分析及分领域论文年度变化趋势分析、学科分布情况及学科分布年度变化趋势、国家分布特征、国家研究实力比较以及中国和美国论文发表总体水平年度变化趋势与比较分析、全球研究机构实力比较、国内科研机构与国际科研机构论文发表总体水平年度变化趋势与比较分析、发表论文期刊分布特

点及期刊所属领域分析以及论文关键词分析。根据这些分析结果了解当前废水资源回收领域发展情况,并对其发展趋势做出预测。

2 全球废水资源回收研究进展分析

2.1 论文发表数年度变化

1995—2014 年 SCI 收录有关废水资源回收的相关论文共 11468 篇。从图 1 中论文数随年份(1995—2014)变化情况可以看出,废水资源回收领域研究起步较早,1995 年发表论文数便接近 200 篇,从 1998 年开始呈现稳步上升的趋势。实际上,当放开检索范围时间限制时,发现从 1991 年开始,废水资源回收方面的论文数目增长较快,由 25 篇(1990 年)一下子增加到 116 篇(1991 年)。根据搜索资料发现,废水资源回收领域发展迅速的原因是 1991 年日本、美国两国在污水深度处理工艺(如新型脱氮除磷技术、膜分离技术、膜生物反应器技术等)方面取得较大的进展,两个国家的论文数量占当时所有论文数量的 90%以上。

中水回用是一直以来关注度比较高的课题。该技术包括物理化学方法和生物方法,如吸附、膜分离技术等。工业废水里往往含有加工残余的有价值物质(如氮、磷、金属元素以及高分子残留物),回收这些有价值的物质,可以实现资源的循环利用。按照资源回收的目标,废水资源回收研究主要可以划分为水资源回收(中水回用)、能源能量回收和废水资源物料回收三方面。按照统计结果分析(图 2),水资源回收方面发表的文章数量占总文章数的 72.0%;其次是物料回收,所占比例为 24.2%;能

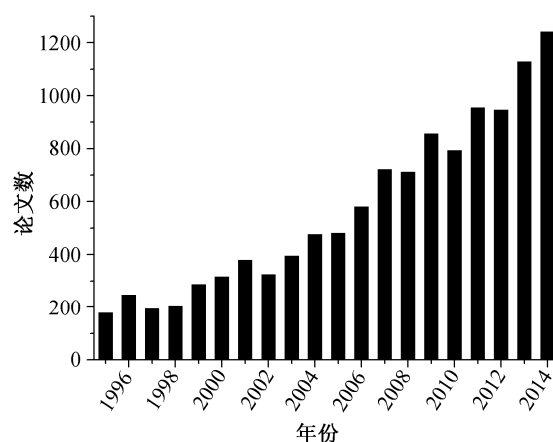


图 1 1995—2014 年废水资源回收领域论文数
Fig. 1 Total number of articles related to wastewater resource recovery during 1995—2014

量回收所占比例最低,为 3.8%。从各个领域论文随年份变化情况(图 3)可以看出,物料回收方面,在 1995 年之前就有人提出废水中的氮、磷元素的回收课题,但该方向的论文增长幅度并不大。近几年,磷回收利用再度变成研究热点,主要是因为人类对磷资源将近枯竭现状的关注。由于当前全世界都面临水资源枯竭的问题,各国不得不将大部分的注意力放在水资源回用上。因此,水资源回用的研究一直长盛不衰,特别是 2000 年以后,该领域论文数目增长非常迅速。能源回收则相对是一个比较新的概念,20 世纪几乎很少有人关注,发表的文章数也较少。之后,随着微生物燃料电池的兴起,对废水资源中的能源回收起到一定的促进作用,因此能源回收在 2010 年后发展较迅速,目前已成为值得关注的研究领域。

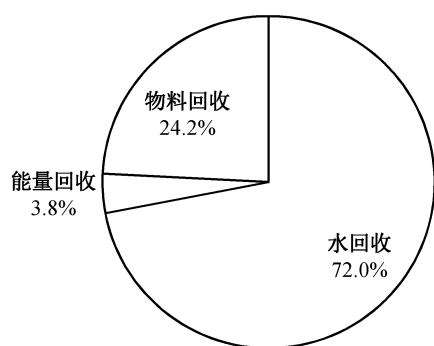


图 2 废水资源回收各个不同领域论文发表比例

Fig. 2 Proportion of published articles in different fields of wastewater resource recovery

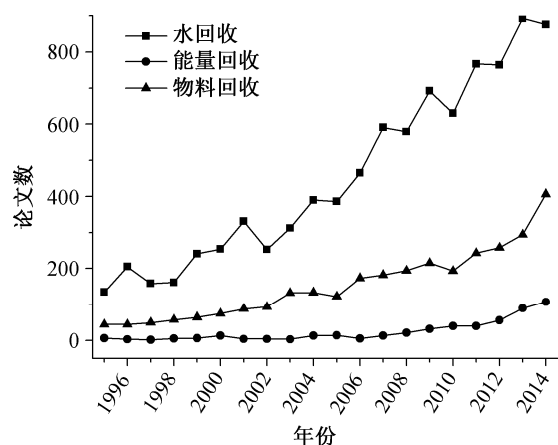


图 3 1995—2014 年废水资源回收各个不同领域论文发表情况

Fig. 3 Total number of articles in different fields of Wastewater resource recovery during 1995—2014

2.2 学科分布特征

按照学科分布对 11468 篇论文进行统计,结果表明废水资源回收主要分布在环境科学、环境工程、水资源、化学工程、生物技术与应用微生物学等 139 个学科领域。

从论文数量分布上看(图 4),环境科学所占比例为 21.03%;其次是环境工程、水资源和化学工程 3 个学科领域,分别为 14.71%, 14.67% 和 11.50%;排名其后的是生物技术与应用微生物学,占 4.17%。从各学科论文数年增长速度来看(图 5),环境科学学科论文数量在 2009—2012 年没有增长,而在 2013 年得到跨越式的增长,增长速度最快,而环境工程和水资源学科增长相对较缓。这从一个侧

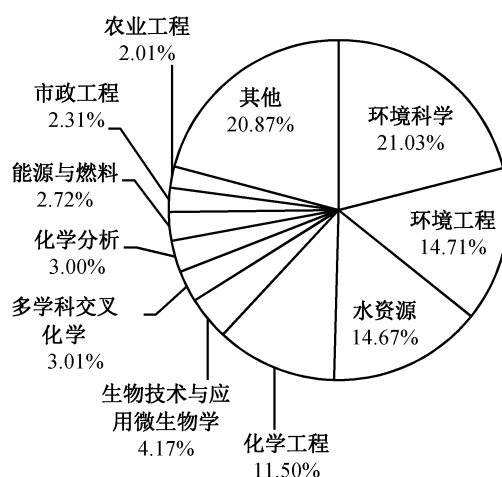


图 4 1995—2014 年不同学科领域论文分布情况

Fig. 4 Proportion of articles in different field of disciplines during 1995—2014

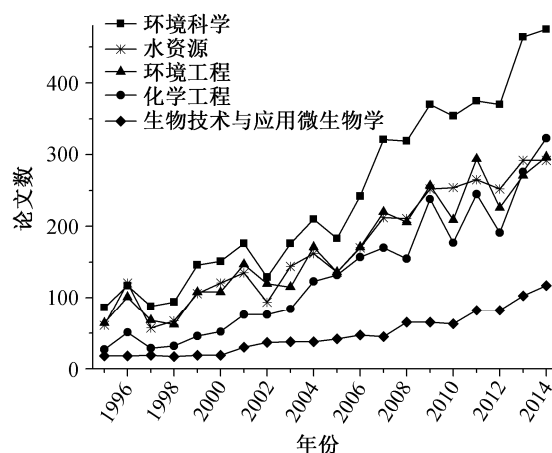


图 5 1995—2014 年不同学科领域论文发表情况

Fig. 5 Total number of articles in different fields of disciplines during 1995—2014

面反映废水资源回收在这些学科领域的发展态势以及学科的发展状况。环境科学偏重于理论研究,说明废水资源回收理论性的研究增长较快,工程应用类文章滞后于理论研究,这也是很多研究方向普遍存在的现象。

2.3 各国研究实力比较

通过已发表论文总数、总被引用量以及平均引用率等对各国研究实力进行比较。在 1995—2014 年发表的 11468 篇关于废水资源回收论文中,美国发表 1609 篇,占总数的 14.03%。中国发表 1577 篇,紧随美国之后。另外,西班牙、印度和澳大利亚 3 个国家发表论文数在 500~1000 篇之间;加拿大、日本、英国、意大利、巴西等国发表论文数在 400~500 篇之间。发表文章总数并不是衡量一个国家研究实力的唯一标准,总被引用量也是衡量指标之一。从表 1 可以看出,美国、中国、西班牙、印度以及澳大利亚的文章被引次数都超过 10000 次,中国居第 2 位。但是从平均引用率(平均引用率是最能评价一个国家发表文章质量的一个关键参数)来看,排名前十的国家(除中国和巴西外)所发表文章的平均引用率均超过 10,其中美国所发表文章的平均引用率达到 22.08,排名第一;其次是加拿大,为 19.10;排名第三的是意大利,为 18.52。综合以上 3 个因素,无论从文章发表量,总被引用量和平均引用率来看,美国、西班牙、印度都相对较高。从总体上看,中国虽然发表的文章总数较多,但是平均引用率相对较低,说明中国在该领域发表文章的质量还有待提高,也需要进一步得到国际同行的

认可。

通过比较中国和美国文章发表总数、总被引用量和平均引用率随年度变化情况,证明中国学者发表文章的质量已经不逊于美国。从图 6 可以看出,美国近 20 年在废水资源回收领域发表文章数量呈现一个平缓增长趋势;中国虽然在废水资源回收方面的研究起步较晚,一开始研究力量也比较薄弱,但是中国研究者在此领域发表的论文总数随年度的变化却呈现指数上升的趋势。从 1995 年几乎为零的起步到 2008 年之后,中国在年度发表文章数量上已赶超美国,2014 年发表的论文总数为美国的两倍。图 7 和 8 分别对两国在不同年份发表论文的

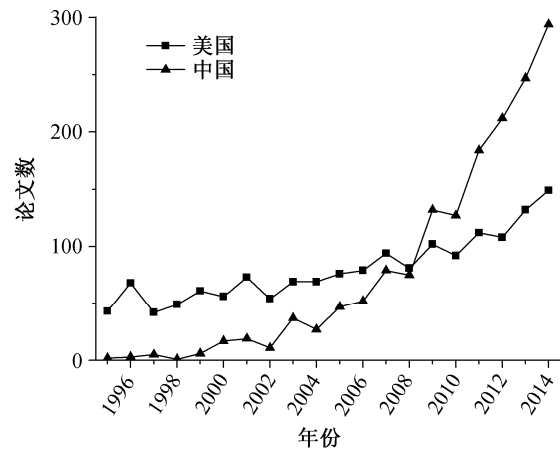


图 6 1995—2014 年中国和美国发表论文总数随年度变化情况

Fig. 6 Total number of published articles between China and USA during 1995–2014

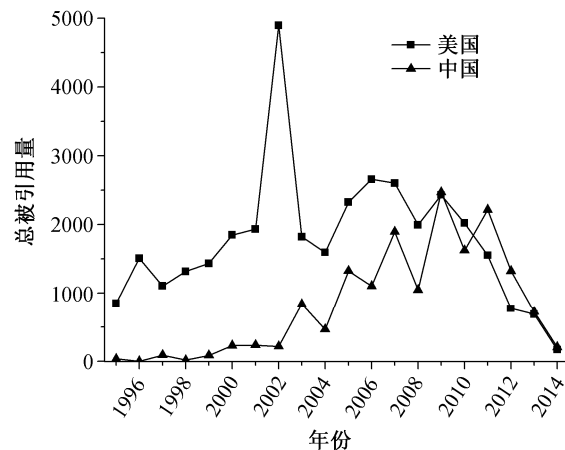


图 7 1995—2014 年中国和美国发表论文总被引用量随年度变化情况

Fig. 7 Total number of quotations of the published articles between China and USA during 1995–2014

表 1 1995—2014 年论文发表排名前十的国家/地区

Table 1 Top 10 of the most productive countries/regions of articles during 1995–2014

排名	国家	总发表量	总被引用量	平均引用率
1	美国	1609	35522	22.08
2	中国	1577	16169	10.25
3	西班牙	878	14330	16.32
4	印度	687	12067	17.56
5	澳大利亚	602	10209	16.96
6	加拿大	494	9435	19.10
7	日本	465	5666	12.18
8	韩国	457	5678	12.42
9	意大利	424	7852	18.52
10	巴西	423	3182	7.52

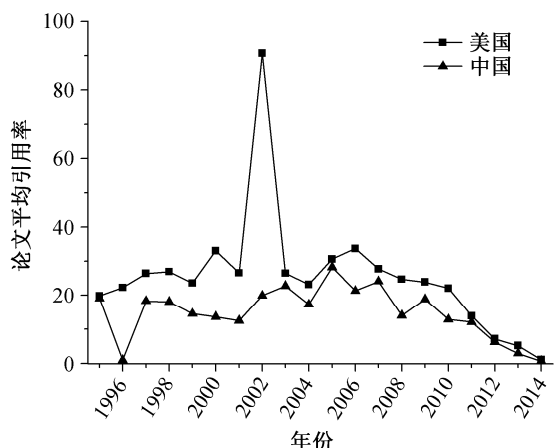


图 8 1995—2014 年中国和美国发表论文平均引用率随年度变化情况

Fig. 8 Average quotation rates of the published articles between China and USA during 1995–2014

总被引用量和平均被引率进行比较,发现中国论文的总被引用量在 2010 年后开始赶超美国。从平均被引率来看,中国最近 3 年所发表文章的平均被引率由原来的与美国差距很大到现在的基本上一致,说明中国所发表文章的质量相对于过去有很大的提高,中国研究者在该领域的影响力已经初步形成。

2.4 全球机构研究实力比较

目前,全球有 5586 个机构发表了关于废水资源回收方面的论文,其中前十位的研究机构如表 2 所示。中国科学院(Chinese Academy of Sciences)发表的论文总数最多,共计 231 篇。印度科学与工业研究理事会(India Council of Scientific Industrial Research)、美国加利福尼亚大学(University of California System)、印度理工学院(India Institute of Technology)、清华大学(Tsinghua University)、西班牙科学研究理事会(Consejo Superior de Investigaciones Científicas)、法国国家科学研究院(Centre National de la Recherche Scientifique)以及哈尔滨工业大学(Harbin Institute of Technology)等机构发表论文均在 100 篇以上。科研机构按发表文章数排名情况,从一个侧面反映了一个国家的综合科研实力。结合 2.3 节中国家发表论文情况来看,排名前四的国家分别是美国、中国、西班牙和印度。这 4 个国家分别都有代表性的研究机构入选,说明这些国家在废水资源处理领域的研究已经形成一定的国际影响力。

从机构发表文章的总被引用量上分析,印度理

工学院发表的 133 篇文章当中,总被引用量达到 3390 次,平均引用率为 25.49。排名其后的是美国加利福尼亚大学,发表的 156 篇文章中总被引用量为 3365 次,平均引用率达到 21.57。从平均引用率来看,排名第一的当属西班牙国家科学研究理事会。该机构发表的 111 篇论文总被引用量为 2993 次,发表论文的平均引用率达到 26.96。因此,综合三者来看,印度理工学院、美国加利福尼亚大学以及西班牙科学研究理事会在当前废水资源回收领域综合实力最强。

从表 2 还发现,按论文发表总量排名前十的研究机构中,来自中国的有 3 所,分别是排名第一的中国科学院、排名第 5 的清华大学以及排名第 8 的哈尔滨工业大学,这 3 个研究机构在废水资源回收方面的研究实力较强。但是,从论文的引用率来看,这 3 个机构并不占优势。

从图 9 可以看出,中国科学院文章发表总数从 2009 年开始急剧上升,远高出其他研究机构;清华大学发表的论文总数从 2014 年开始呈现增长趋势。从图 10 看出,中国科学院和清华大学近 3 年发表文章的平均引用率与国外两个顶尖研究机构非常接近。论文的引用量在一定程度上会随着时间的增加而增加,因此近期发表文章的引用量会相对较低。中国虽然在废水资源回收方面的研究起步较晚,但是最近几年呈现突飞猛进式增长,中国代表性研究机构论文引用情况与国外代表性研究机构的差距已经逐渐缩小,表明中国机构发表论文的影响力不断增大。

表 2 1995—2014 年论文发表排名前十的研究机构
Table 2 Top 10 of the most productive institutes of articles during 1995–2014

次序	研究机构	总发表量	总被引用量	平均引用率
1	中国科学院	231	2514	10.88
2	印度科学与工业研究理事会	167	2348	14.06
3	美国加利福尼亚大学	156	3365	21.57
4	印度理工学院	133	3390	25.49
5	清华大学	114	1129	9.90
6	西班牙科学研究理事会	111	2993	26.96
7	法国国家科学研究院	101	2332	23.09
8	哈尔滨工业大学	100	801	8.01
9	佛罗里达州立大学	93	2054	22.09
10	澳大利亚昆士兰大学	91	1762	19.36

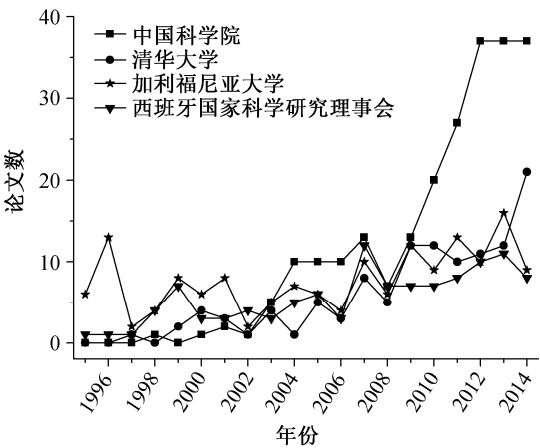


图 9 1995—2014 年代表性研究机构发表论文总数
Fig. 9 Total number of published articles by the representative institute during 1995–2014

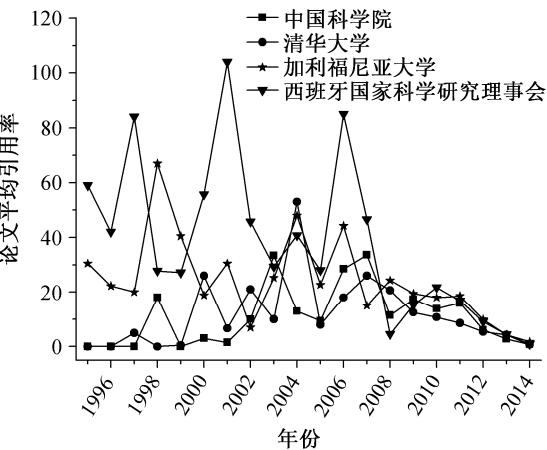


图 10 1995—2014 年代表性研究机构发表论文平均引用率
Fig. 10 Average quotation rates of articles by the representative institute during 1995–2014

2.5 发表论文章期刊分布特点

1995—2014 年关于废水资源回收方面的 11468 篇论文共发表在 1177 个学术期刊上, 其中 405 个期刊发表论文篇数在 4 篇以上, 占期刊总数的 34.4%, 占论文总数的 90.3%; 20 个期刊发表论文篇数在 100 以上, 占期刊总数的 1.7%, 占论文总数的 46.0%。这表明 1.7% 的期刊囊括了 46.0% 的废水资源回收领域的论文。表 3 列出相关期刊的文章发表量、总被引用量、平均被引率, 期刊的排名是综合考虑这三方面的排名之后得出的。排名第一的期刊为《Water Research》, 发表论文总量为 480 篇, 论文总被引用量排名第一, 平均引用率达到 33.92。期刊影响因子排名较前, 无疑为废水资源领域中的期刊首选。《Environmental Science and Technology》排名第二, 发表文章数仅为 172 篇, 但是文章的平均引用率排名第一, 达到 56.73。作为环境领域的顶级期刊, 它对环境领域的影响力体现在环境领域研究中的各个方面。从期刊的领域小类归属来看, 《Water Research》, 《Environmental Science and Technology》和《Journal of Hazardous Materials》属于工程, 环境(engineering, environmental)领域; 《Desalination》和《Water Science and Technology》属于水资源(water resources)领域; Bioresource Technology 属于生物工程与应用微生物(biotechnology and applied microbiology)领域; 《Journal of Membrane Science》属于高分子科学(polymer science)领域; 《Chemosphere》属于环境科学(environmental science)领域; 《Separation and

表 3 1995—2014 年前 10 个发表废水资源回收领域论文的期刊
Table 3 Top 10 most active journals with the number of articles, impact factor during 1995–2014

排名	期刊名称	总发表量	总被引用量	平均引用率	影响因子	小类
1	Water Research	480	16283	33.92	4.655	工程, 环境
2	EST	172	9758	56.73	5.257	工程, 环境
3	Desalination	685	11910	17.39	3.041	水资源
4	Water Science and Technology	1138	12568	11.04	1.102	水资源
5	Journal of Hazardous Materials	324	9114	28.13	3.925	工程, 环境
6	Bioresource Technology	361	7286	20.18	4.750	生物工程与应用微生物
7	Journal of Membrane Science	145	4483	30.92	4.093	高分子科学
8	Chemosphere	168	4559	27.14	3.137	环境科学
9	Separation and Purification Technology	178	4248	23.87	2.894	工程, 化工
10	Science	5	172	34.40	31.027	综合性期刊

Purification Technology》属于工程, 化工(engineering, chemical)领域。从大类来看, 这些期刊分属于工程技术、环境科学、化学 3 个领域。

2.6 研究者分析

通过对 1995—2014 年有关废水资源回收方面的 11468 篇论文作者进行统计, 列出排名前十的废水资源回收领域研究者名单, 结果见表 4。从发表文章数量来看, 排第一位的是澳大利亚悉尼科技大学的 Saravanamuthu Vigneswaran 教授, 20 多年来一直从事水处理、废水管理以及废水资源回收与循环利用方面的研究工作, 共发表 40 篇该领域的论文。从影响力来看, 来自比利时根特大学的 Willy Verstraete 教授以及来自沙特阿卜杜拉国王科技大学和德国慕尼黑工业大学的 Jörg E. Drewes 教授的 H 因子均为 17, 论文的平均引用率均大于 30, 其中 Jörg E. Drewes 教授发表论文的平均引用率达到 36.89。从作者单位来看, 澳大利亚悉尼科技大学有两位研究者分别列第一位和第三位(Saravanamuthu Vigneswaran 教授和 Huu H. Ngo 教授)。Huu H. Ngo 教授主要关注水的可持续利用、废水处理与再利用技术。从对国家/地区和研究机构的分析对比可以看出, 中国目前缺乏真正有影响力的科学家来带动废水资源回收领域核心竞争力的提升。

2.7 论文关键词分析

通过关键词, 读者可以对文献全文有一定了解。使用文献计量学的方法分析关键词, 可以了解研究方向和发展趋势, 对于指导科学和项目研究具

有重要的意义。在 1995—2014 年废水资源回收的相关研究中, 频次在前十位的关键词为 phosphorus, adsorption, reverse osmosis, ultrafiltration, irrigation, heavy metals, nanofiltration, struvite, membrane bioreactor, anaerobic digestion。其中, 反渗透(reverse osmosis)、超滤(ultrafiltration)、纳滤(nanofiltration)代表废水资源水回用中膜技术的研究方向; 磷(phosphorus)、鸟粪石(struvite)代表废水磷资源回收的研究热点; 重金属(heavy metals)代表废水资源中物料回收利用方向, 在回收重金属研究中频次最高; 吸附(adsorption)、膜生物反应器(membrane bioreactor)、厌氧消化(anaerobic digestion)以及废水再利用中的灌溉(irrigation)是水资源回收利用研究较为广泛的主题。从这些关键词分析可以看出, 污水回用、金属回收、磷回收以及废水处理膜技术、膜生物反应器、厌氧消化等都是当前废水资源回收领域主要关注的研究内容。

将 1995—2014 年划分为 4 个时间段, 排名前十的关键词出现的次数如图 11 所示。可以看出, 磷(phosphorus)一直位于前两位, 并且随着年份增加, 磷作为关键词出现的频率增加非常明显, 说明污水中磷回收问题越来越受到研究者的关注, 也是当前污水资源回收中的热点研究方向。近年来, adsorption 在关键词出现频率上一直排在第一位, 原因在于固体吸附剂能有效去除废水中多种污染物, 特别是采用其他方法难以有效处理的剧毒和难降解的污染物, 经处理后出水水质好且比较稳定,

表 4 1995—2014 年废水资源回收领域论文影响力排名前十的研究者
Table 4 Top 10 most famous persons with the number of articles and influence during 1995–2014

排名	研究者	论文发表量	总被引用量	平均引用率	H 因子	作者所属机构
1	Saravanamuthu Vigneswaran	40	579	14.48	13	悉尼科技大学
2	Willy Verstraete	38	1190	31.32	17	比利时根特大学
3	Huu H. Ngo	34	350	10.29	11	悉尼科技大学
4	Gideon Oron	31	453	14.61	13	以色列本-古里安大学
5	Rajeshwar D. Tyagi	29	454	15.66	12	加拿大魁北克大学
6	Jörg E. Drewes	28	1033	36.89	17	沙特阿卜杜拉国王科技大学、德国慕尼黑工业大学
7	Ioannis K. Kalavrouziotis	28	242	8.64	8	希腊约阿尼纳大学
8	Thomas Wintgens	27	678	25.11	13	瑞士生态创业研究所
9	Jose-Antonio Mendoza-Roca	25	402	16.08	13	西班牙巴伦西亚理工大学
10	Jaeweon Cho	25	438	17.52	12	韩国延世大学

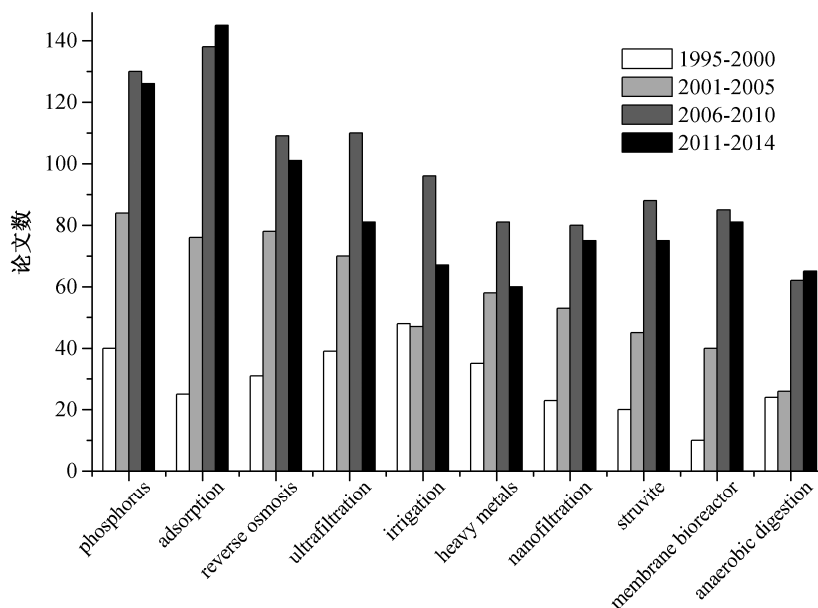


图 11 1995—2014 年前 10 个引用频率最高的关键词

Fig. 11 Top 10 most frequency of quoted key words during 1995–2014

因而吸附法在废水处理中有不可取代的作用。随着排放标准的日趋严格、水资源回收利用的日益迫切,吸附法在废水处理中的作用越来越重要。其次,反渗透、超滤、纳滤作为关键词出现的频率也明显增加,主要是因为这几种膜技术是污水回用处理中的关键技术。近年来,膜生物反应器、污水污泥中的厌氧消化处理过程、污水中重金属回收问题也是比较热门的研究课题,从科学研究到工程应用,都备受关注。

利用 Ucinet 软件对关键词之间的内部联系进行分析,发现排名前十的关键词中,除 irrigation 与其他关键词基本上没有联系之外,phosphorus, struvite 与 adsorption 之间,以及 reverse osmosis, nanofiltration 与 ultrafiltration 等关键词之间均有紧密的联系,因此,中心性分析结果呈现均一分布,较为分散。

3 结论

本文通过 SCI 提供的 Analyze Results 和 Citation Report 链接对检索到的 11468 篇废水资源回收研究论文进行统计分析,描绘了全球和中国在废水资源回收的研究情况。分别列出全球和中国排名前十的研究机构和研究者,分析论文的年度分布和应用领域分布,并比较各国及各研究机构的科研实力,

进而分析全球和中国废水资源回收领域的研究进展和趋势。

分析结果表明:1)论文发表数量随年度变化趋势为稳中有升,论文数量增加最快的领域为水资源回收(即水资源再生利用);2)从论文的学科分布来看,主要集中分布在环境科学、环境工程、水资源、化学工程、生物技术与应用微生物领域,其中环境科学论文年度增长速度最快;3)从国家研究实力来看,美国、西班牙、印度论文发表量、总被引用量和平均引用率水平都比较高。中国发表论文的平均引用率远低于这些国家,但是通过对平均引用率年度变化情况分析得出,中国最近 3 年发表论文的平均被引率与美国的差距已经不明显,说明中国发表论文的质量已有很大提高;4)从全球机构研究实力来看,印度理工学院、美国加利福尼亚大学以及西班牙科学研究理事会是当前废水资源回收领域综合实力最强的 3 个研究机构。中国近几年代表性研究机构论文引用情况与国外代表性研究机构的差距逐渐缩小,中国研究机构正不断提升在国际社会的影响力。

总之,未来废水回收领域仍然会以水资源再利用为主要方向,废水中各种可利用资源的研究也将稳步发展,废水中能源回收是个新兴课题,被认为最具发展潜力。

参考文献

- [1] Pritchard A. Statistical bibliography or bibliometrics. *Journal of Documentation*, 1969, 25(4): 348–349
- [2] Chiu W T, Ho Y S. Bibliometric analysis of homeopathy research during the period of 1991 to 2003. *Scientometrics*, 2005, 63(1): 3–23
- [3] 陈成忠, 林振山. 从国内学术论文看 1992 年以来长江中下游河湖湿地研究进展. *湿地科学*, 2010, 8(2): 193–203
- [4] 田亚平, 常昊. 中国生态脆弱性研究进展的文献计量分析. *地理学报*, 2012, 67(11): 1515–1525
- [5] 许诺. 我国碳排放研究现状的文献计量分析. *安徽农业科学*, 2011, 39(26): 16409–16412
- [6] 魏一鸣, 米志付, 张皓. 气候政策建模研究综述: 基于文献计量分析. *地球科学进展*, 2013, 28(8): 930–938
- [7] 冯春晓. 基于 SCI 的清洁生产文献计量分析. *绿色科技*, 2013(12): 207–211
- [8] 赵庆龄, 路文如. 土壤重金属污染研究回顾与展望: 基于 web of science 数据库的文献计量分析. *环境科学与技术*, 2010, 33(6): 105–111
- [9] 袁丽, 刘阳生. 应用文献计量学方法分析 1991—2010 年焚烧炉相关研究的发展趋势. *北京大学学报: 自然科学版*, 2013, 49(3): 530–536
- [10] Garfield E. Keywords plus-ISIS breakthrough retrieval method. 1. Expanding your searching power on current-contents on diskette. *Current Contents*, 1990, 32: 5–9

附录:

总检索式: #5 OR #4 OR #3 OR #2 OR #1

#1 TI=(wastewater or sewage or effluent) AND TS=(reuse or recycl* or reclamation or recovery)

#2 TS=(wastewater or sewage or effluent) AND TI=(reuse or recycl* or reclamation or recovery)

#3 TS=(“resource recycl*” or “resource reclamation” or “resource reuse” or “resource recovery” or “material* recycl*” or “material* reclamation” or “material* reuse” or “material* recovery” or “energy recovery” or “heat recovery”) and TS=(wastewater or sewage or effluent)

#4 TS=(“wastewater recycl*” or “wastewater reclamation” or “wastewater reuse” or “wastewater recovery” or “sewage recycl*” or “sewage reclamation” or “sewage reuse” or “sewage recovery” or “effluent recycl*” or “effluent reclamation” or “effluent reuse” or “effluent recovery”)

#5 TS=(phosphorus recovery or phosphate resource or struvite or nutrient recovery or metal* recovery) AND TS=(wastewater or effluent or sewage)