

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2015.0522

常洋洋, 陈庆欣, 李宁, 等. 2016. 饮用水消毒技术发展趋势的文献计量学分析[J]. 环境科学学报, 36(2): 413-419

Chang Y Y, Chen Q X, Li N, et al. 2016. Development tendency of drinking water disinfection based on a bibliometrics analysis [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 36(2): 413-419

## 饮用水消毒技术发展趋势的文献计量学分析

常洋洋<sup>1,2</sup>, 陈庆欣<sup>1,2</sup>, 李宁<sup>1,2</sup>, 曾凡付<sup>2,\*</sup>, 李菁<sup>3</sup>, 赵楠<sup>3</sup>, 兰华春<sup>1</sup>

1. 中国科学院饮用水科学与技术重点实验室, 北京 100085

2. 中国科学院大学, 北京 100039

3. 海通证券股份有限公司, 上海 200001

收稿日期: 2015-05-09

修回日期: 2015-06-16

录用日期: 2015-06-16

**摘要:** 消毒过程是饮用水安全保障研究的热点, 本文采用文献计量学的方法对 2000—2012 年间的学术论文和发明专利进行了分析, 明确了全球在饮用水消毒领域的研究动态和趋势以及我国存在的主要差距。结果表明全球对该领域研究的关注度持续增加, 其研究热点主要集中在消毒技术工艺和消毒副产物两方面, 其中氯化、臭氧氧化、氯化消毒副产物是近十余年的关注焦点。美国和瑞士作为本领域研究的主要领先国家分别在文章产出量和研究水平上位列第一, 值得注意的是瑞士在本领域的研究偏重于高级氧化技术和新型消毒副产物。我国的发文量仅次于美国而专利申请量仅次于日本, 但研究水平远落后于世界领先国家。我国的研究工作主要集中在氯化消毒工艺和常规消毒副产物生成与控制, 原创性研究有待加强。本研究对明确我国饮用水消毒技术发展趋势和研究人员选题具有重要意义。

**关键词:** 饮用水; 消毒; 水处理; 发展趋势

文章编号: 0253-2468(2016)02-413-07

中图分类号: TU991.25

文献标识码: A

## Development tendency of drinking water disinfection based on a bibliometrics analysis

CHANG Yangyang<sup>1,2</sup>, CHEN Qingxin<sup>1,2</sup>, LI Ning<sup>1,2</sup>, ZENG Fanfu<sup>2,\*</sup>, LI Jing<sup>3</sup>, ZHAO Nan<sup>3</sup>, LAN Huachun<sup>1</sup>

1. Key laboratory of Aquatics Science and Technology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Science, Beijing 100085

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039

3. Haitong Securities Company Limited, Shanghai 200001

Received 9 May 2015;

received in revised form 16 June 2015;

accepted 16 June 2015

**Abstract:** Disinfection is an important water treatment process for safeguarding safe drinking water. A bibliometrics analysis was used for the citations and patents from Web of Science during 2000—2012 in order to provide insights into research tendencies of the global drinking water disinfection and the gap between China and other countries. Results indicated that drinking water disinfection was always under great concern, which mainly focused on disinfection technologies and disinfection by products (DBPs). Among them, more attention was paid to chlorination, ozonization and chlorinated DBPs. USA and Switzerland as the leading countries played a dominant role in research publications and capacities, respectively. Notably, the research hot spots were advanced oxidation technologies and emerging DBPs in Switzerland. Moreover, the research outputs and patent applications of China were next to USA and Japan, respectively, but research capacity was still lower than other leading countries. Concurrently, researchers in China still devoted themselves to the study of chlorination and regulated DBPs, thus it is necessary to strengthen our novelty in future research. This study would be of great significance to clarify the research orientation and the topics for drinking water disinfection.

**Keywords:** drinking water; disinfection; water treatment; research tendencies

### 1 引言 (Introduction)

饮用水消毒是饮用水净化过程中的最后一个

环节, 也是和人体健康最直接相关的技术单元, 始终作为饮用水安全保障的研究热点。20 世纪初, 研究者主要致力于控制饮用水中的大肠杆菌 (Savage,

基金项目: 国家自然科学基金 (No. L1322015)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. L1322015)

作者简介: 常洋洋 (1987—), 女, E-mail: 445334298@qq.com; \* 通讯作者 (责任作者), E-mail: lhclan@126.com

Biography: CHANG Yangyang (1987—), female, E-mail: 445334298@qq.com; \* Corresponding author, E-mail: lhclan@126.com

1902)和释放有害物质的细菌(Vaughan, 1904).随着氯(Ditthorn, 1915)、氯胺(Brodthmann Jr and Russo, 1979)、臭氧(Peeters *et al.*, 1989)等消毒技术的出现,人们有效抑制了上述污染物导致的病原性传染病,从而保证了饮用水的微生物安全性(Bull and Kopfler, 1991).但与此同时,这些氧化剂与原水中有机物发生加成、取代和氧化等反应,生成大量消毒副产物,对水体产生了二次污染(Von Gunten *et al.*, 2001).1974年,Rock等首次在饮用水氯化过程中检测出消毒副产物-三氯甲烷(Bellar *et al.*, 1974),在随后的40年中,越来越多对人体健康具有潜在风险的消毒副产物被研究者报道(Richardson *et al.*, 2007).在饮用水消毒过程中如何平衡饮用水微生物安全性与化学安全性是亟待攻克的一个重大难题,成为当前饮用水消毒技术研究的重要内容.针对消毒过程的基础和应用研究发展迅速的现状,亟需系统梳理和分析饮用水消毒与风险控制研究的热点和趋势.因此,分析全球饮用水消毒技术研究总体情况以及我国在该领域的研究水平和与发达国家之间的差距,对明确我国饮用水消毒技术的发展趋势和研究人员选题具有重要意义.

文献计量分析方法是利用统计学的方法将来自图书馆学和信息科学的数据进行统计分析,从而定量描述和解释一个给定主题、领域、机构和国家的文章或专利分布情况和变化规律.该方法在许多领域研究发展趋势分析中得以应用(Falagas *et al.*, 2006, Rajendram *et al.*, 2006),并做出了如下假定,即:①一个国家在某个领域的文章和专利发表量代表该国对此领域研究的关注程度;②文章被引频次与该领域在此领域的研究水平相关;③关键词出现的频次与该技术在某阶段的研究热点相关.本研究利用文献计量分析方法对2000—2012年间与饮用水消毒相关的SCI论文和专利进行了统计分析.我们首先对论文和专利的发文量、被引频次、领先国家进行定量描述,然后通过关键词分析了解饮用水消毒技术的研究趋势和热点以及我国与发达国家存在的差距.

## 2 研究方法(Methods)

本研究所获得的数据分别来自文献检索和专利检索,并通过文献计量分析法对其进行统计分析.文献和专利检索的时间跨度均为2000—2012年.

### 2.1 文献检索

学术论文主要反映基础研究情况.文献检索采

用Web of Science中的科学引文索引数据库,其检索领域包括“environmental sciences”,“water resources”和“environmental engineering”.文献检索式为:“drinking water \*” AND (disinfect \* OR disfection \*); “drinking water \*” AND (adsorpt \* OR sorpt \*); “drinking water \*” AND (chlorin \* OR (chlorine dioxide) OR chloramin \* OR monochloramin \*); “drinking water \*” AND (ozone OR ozonation); “drinking water \*” AND (hydrogen-peroxide OR (hydrogen NEAR/1 peroxide) OR H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>); “drinking water \*” AND (UV \* OR ultraviolet \*) NOT visible; “drinking water \*” AND (photodegrad \* OR photooxid \* OR photolysis OR photocatalysis).

### 2.2 专利检索

专利申请更多反映技术应用研究情况.专利检索选取Web of Science中德温特世界专利索引数据库,在国际专利分类为C02F \*下进行.专利检索式为:( (“drinking water” AND ((“disinfect \*” AND (“ozone” OR “chlorin \*” OR UV)) OR “disinfect \*”) ) OR (((“disinfect \*” AND (“ozone” OR “chlorin \*” OR UV)) OR “disinfect \*”) AND water) NOT (“waste \* water \*” OR “atmosphere” OR “circulat \* water” OR “deionized water” OR “wastewater” OR “industr \*” OR “sewage”))).

## 3 结果与讨论(Results and discussion)

### 3.1 总体情况

根据检索结果,共有2119篇文章和2856项专利符合检索条件.为了进一步了解2000—2012年饮用水消毒领域的发展状况,文献和专利检索结果按时间(年)展开.由图1可以看出在这13年间,全球

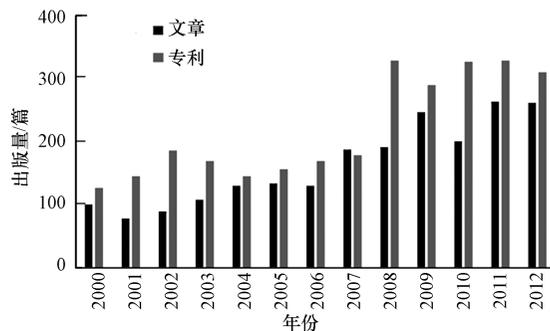


图1 2000—2012年饮用水消毒技术文章和专利发表数量

Fig.1 Annual publication outputs of articles and patents about drinking water disinfection during 2000—2012

饮用水消毒领域发文和专利数量呈逐年上升的趋势,且 2012 年发文数量达到了 2000 年发文量的 2.6 倍,专利申请量达到了 2000 年专利申请量的 2.5 倍,表明研究者对饮用水消毒领域的科学研究和技术转化应用的关注一直处于持续增长中.此外,饮用水消毒领域的专利数略高于发文数,表明这 13 年间研究者不仅关注了饮用水消毒领域的科学研究,并且致力于将研究成果转化为技术应用于实际生产中.

### 3.2 研究趋势及热点

为了了解 2000—2012 年饮用水消毒领域的主要研究方向及整体变化趋势,我们对本领域处于前 10 位的关键词及其出现的频次进行了统计,并且细分了 3 个阶段(2000—2004 年、2005—2008 年和 2009—2012 年)来研究.如图 2 所示,“消毒副产物”、“氯和氯化”、“臭氧和臭氧发生器”、“三卤甲烷”、“卤乙酸”和“腐殖质”这几个关键词在 3 个阶段均排在前 10 位,表明这 13 年来饮用水的消毒研究方向主要集中在消毒工艺方法和消毒副产物两方面.其中“消毒副产物”、“氯和氯化”和“臭氧和臭氧发生器”这 3 个关键词在 3 个时间段的出现频次始终处于领先地位,进一步确定消毒工艺方法和消毒副产物研究在饮用水消毒领域研究的重要性.

在消毒工艺方法方面,由图 2 可以看出关键词“氯和氯化”出现的频次由 2000—2004 年的 139 上升到 2008—2012 年的 291,关键词“臭氧和臭氧发生器”出现的频次由 2000—2004 年 119 上升到 2008—2012 年的 139,表明在这 13 年间,研究者持续高度地关注了氯化和臭氧氧化消毒工艺.这主要是由于氯是一种世界范围内使用最广的消毒剂,而臭氧消毒是欧洲主要城市饮用水深度净化的重要手段(Price *et al.*, 1993).此外,“二氧化氯”作为十大关键词之一出现在 2000—2008 年,随后消失,表明该技术在近几年受到的关注度有所降低.

在消毒副产物方面,图 2 显示 2000—2012 年间,生成消毒副产物的反应动力学、生成种类以及消毒副产物的去除持续受到研究者的关注.常规的消毒副产物“三卤甲烷”和“卤乙酸”一直是研究热点,并呈逐年增长的趋势.在 2005—2008 年间,“溴化物”第一次成为前 10 个热点关键词之一,表明研究者开始重点关注消毒过程中产生的溴代物.并且溴代物已被证实其毒性要远高于氯代物(Nobukawa and Sanukida, 2001, Von Gunten, 2003),可能对人

类健康造成较强的潜在危害.此外,一些新型的消毒副产物如含氮消毒副产物,由于研究时间不长,发文数量较少,在 2000—2012 年间未能成为高频关键词.但考虑到它们对人体健康和生态环境存在较高的潜在风险,因此未来很可能得到研究者的重点关注.在 2005—2008 年,研究者开始将目光转移到消毒副产物生成的源头-“前驱物”上,其中最受关注的是“腐殖酸”.研究者主要是通过“混凝”的方法去除这类大分子前驱体,从而达到控制消毒副产物的目的.在 2009—2012 年,上述关键词出现频次均有一定的上升.与此同时,关键词“基因毒性”的出现,表明研究者的关注重点不再局限于消毒副产物种类和含量的测定或是简单的去除,已经着眼于它们的毒性检测及对人体健康的风险评估方面(Plewa *et al.*, 2004, Richardson *et al.*, 2007).

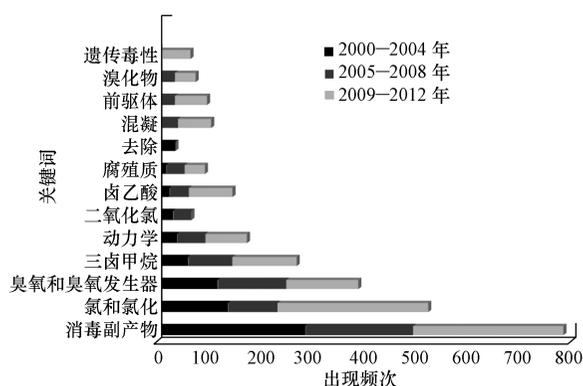


图 2 2000—2012 年饮用水消毒技术的关键词

Fig.2 Key words of drinking water disinfection

我们对 2000—2012 年国际消毒技术热点专利进行分析,了解研究者重点将哪些研究成果转化为技术应用于实际生产中.根据图 3 和表 1 我们发现该领域的技术热点集中在饮用水消毒工艺技术和

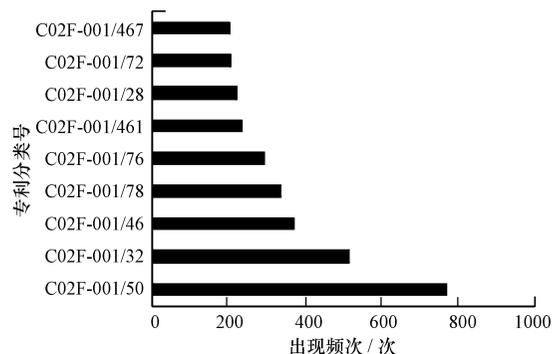


图 3 2000—2012 年国际饮用水消毒技术热点专利分类

Fig.3 Classification of international patent hot spots about drinking water disinfection during 2000—2012

消毒副产物去除两方面.研究者重点关注的消毒技术从高到低依次为:消毒剂消毒、紫外消毒、电化学消毒、臭氧消毒、电解消毒.可以看出除传统消毒技术以外,越来越多新型消毒技术被应用.这些技术可以控制消毒过程中副产物的产生,从而降低消毒副产物对人体健康和生态环境带来的潜在危害和风险.

表 1 饮用水消毒技术不同专利号与相对应的研究方向

Table 1 Meanings of different international patent classification codes

专利分类号	专利分类号所代表含义
C02F-001/50	添加消毒剂
C02F-001/32	利用紫外光
C02F-001/46	通过电化学方法
C02F-001/78	利用臭氧
C02F-001/76	利用卤素和含卤素的化合物
C02F-001/461	通过电解
C02F-001/28	通过吸附
C02F-001/72	通过氧化
C02F-001/467	通过电化学消毒

### 3.3 领先国家饮用水消毒技术及我国与其研究差距

3.3.1 领先国家消毒领域总体情况 为了进一步了解各国饮用水消毒领域发展状况,我们选择 5 个在该领域研究处于领先地位的国家进行调查,并将我国的发展情况与其他国家进行对比分析.

从图 4 可以看出在 2000—2012 年间,美国不但发文量位列第一,而且文章被引频次(16736)也远高于其他国家,表明美国在饮用水消毒领域做了大量高水平的研究.瑞士发文量和文章被引频次(2464)虽远低于美国,但其篇均被引频次(36.78)要远高于美国(21.76),可以认为瑞士在这方面的研

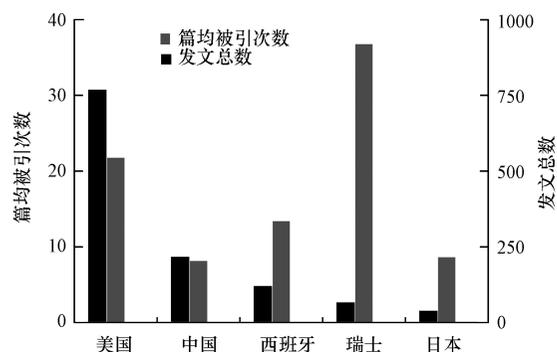


图 4 2000—2012 年饮用水消毒技术发文总数和篇均被引次数

Fig.4 Total publication outputs and average citation about drinking water disinfection during 2000—2012

究得到广泛的认可,居于国际领先水平.而我国发文量虽仅次于美国,但篇均被引频次只有 8.14,与其他 4 个领先国家相比差距明显,表明我国在饮用水消毒方面的研究虽投入大量的精力,但仍处于追随者的阶段,缺乏原创性的研究.

由图 5 可以看出这 5 个国家发文数的总体趋势是随时间而增加,尤其在近 5 年来达到了新高,表明这些国家越来越重视饮用水消毒领域方面的研究.通过对比各国每年发文数量可以看出,在 2000 年我国的发文量最低,因而我国在该领域的研究起步要晚于其他领先国家.但我国发展势头迅猛,近年来发文数量已经赶超除美国以外的其他国家,进一步表明我国对饮用水消毒研究的高度重视.

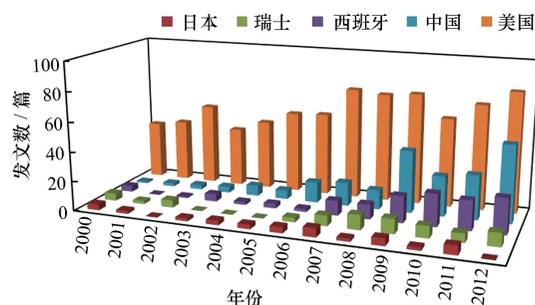


图 5 2000—2012 年领先国家饮用水消毒技术发文数量

Fig.5 Publication outputs about drinking water disinfection during 2000—2012

通过对上述 5 个国家专利申请量统计分析(图 6)可知,日本专利申请量最多,中国次之,然后是美国和欧盟.由此表明日本虽然在饮用水消毒的基础研究产出较少,但在饮用水消毒的应用研究方面却产出颇丰.我国对饮用水消毒技术的实际应用也保持了较高的关注.

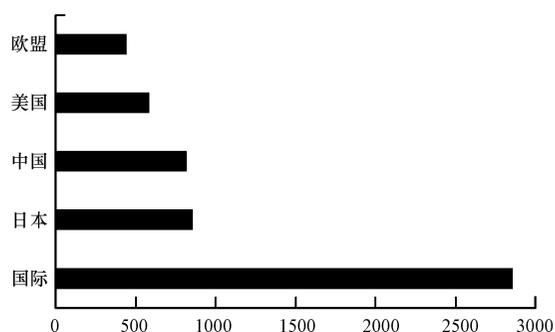


图 6 2000—2012 年全世界和领先国家饮用水消毒技术专利数

Fig.6 Patent applications of international and leading countries about drinking water disinfection during 2000—2012

3.3.2 领先国家研究热点 我们分 3 个阶段(2000—2004 年、2005—2008 年和 2009—2012 年)列出美国、瑞士和中国排在前 10 位的关键词,从而反映这 3 个国家的研究热点及趋势。

根据表 2 可知,美国在饮用水消毒领域最为关注的是消毒副产物和消毒方法工艺。在消毒工艺技术方面,该国主要是以氯化法和臭氧氧化消毒研究为主。而在消毒副产物方面,“三卤甲烷”和“卤乙酸”持续受到研究者的重点关注。2005—2012 年期间,“腐殖酸”和“天然有机物”作为前驱体对消毒副产物生成的影响以及其去除方法引起美国研究者的关注。2009—2012 年,关键词“基因毒性”首次出现,消毒副产物的毒性检测及其对人体健康的影响已成为美国的研究热点。

由表 2 看出,瑞士在该领域持续而高度关注了消毒工艺技术、消毒过程的动力学以及消毒副产物的产生及去除。在消毒工艺方面,瑞士一直关注的是臭氧氧化等高级氧化技术。在 2009—2012 年,“太阳能消毒”首次出现在前 10 个关键词中,表明研究者在关注高级氧化技术效能的同时,开始将重心转移到技术的实用性和可操作性上。在消毒副产物方面,2000—2004 年期间饮用水中含溴前驱物和溴化消毒副产物已经受到研究者的高度关注,较其他国家至少提前了 5 年。在 2005—2008 和 2009—2012 这两个阶段,研究者通过“可同化有机碳”的变化重点关注了饮用水在输配过程中细菌的繁殖状况。2009—2012 年关键词“雌激素活性”和“流式细胞术”的出现,表明评估与控制消毒副产物对人体健康和生态环境带来的风险已成为近年来瑞士的研究热点。

我国在这 13 年间出现的高频关键词如表 2 所示(不含台湾地区的数据)。“氯和氯化”、“消毒副产物”是我国在 2000—2012 年饮用水消毒领域所发文章出现频次最高的关键词。在消毒工艺方面,由于目前我国自来水厂大部分采用的是氯消毒工艺,因此对该消毒技术的关注在我国一直居高不下。其他添加杀菌剂的化学消毒方法如“氯胺消毒”和“二氧化氯消毒”在我国也均有所研究。而高级氧化技术之一“臭氧氧化消毒”在 2009—2012 年才受到高度关注,与瑞士和美国相比落后近 10 年。在消毒副产物方面,我国研究者一直重点关注的是常规消毒副产物“三卤甲烷”和“卤乙酸”,这与我国采用的消毒方式息息相关。2009—2012 年,“基因毒性”出现在我国饮用水消毒领域前 10 个关键词中,表明我国在饮

用水风险评估方面的研究已经紧跟发达国家。另外,在消毒副产物控制方面,我国倾向于利用混凝工艺来去除饮用水中的消毒副产物前驱体来减少消毒副产物的生成。

表 2 2000—2012 年美国、瑞士、中国饮用水消毒技术高频次出现的关键词

Table 2 Key words with high frequency about drinking water disinfection in American, Switzerland and China during 2000—2012

领先国家	2000—2004	2005—2008	2009—2012
美国	消毒副产物	消毒副产物	消毒副产物
	消毒	氯和氯化	氯和氯化
	臭氧和臭氧发生器	三卤甲烷	三卤甲烷
	三卤甲烷	臭氧和臭氧发生器	基因毒性
	氯	动力学	动力学
	动力学	氯胺	氧化
	去除	卤乙酸	臭氧和臭氧发生器
	二氧化氯	腐殖质	氯胺
	卤乙酸	氧化	卤乙酸
	模型	二氧化氯	天然有机物
瑞士	臭氧和臭氧发生器	消毒	消毒
	动力学	臭氧和臭氧发生器	动力学
	消毒	消毒副产物	消毒副产物
	消毒副产物	氯	氧化
	反应速率	动力学	臭氧和臭氧发生器
	溴化物	去除	太阳能消毒
	含溴水源	高级氧化	亲和性有机碳
	高级氧化	小球隐孢子虫	雌激素效应
	溴酸盐生成	氧化	流式细胞术
	溶解性有机物	亲和性有机碳	有机物
中国	氯和氯化	氯和氯化	消毒副产物
	消毒副产物	消毒副产物	氯和氯化
	卤乙酸	去除	去除
	MX	溴化物	基因毒性
	二氧化氯	混凝	三卤甲烷
	混凝	碳	卤乙酸
	腐殖质	吸附	动力学
	羟基自由基	二氧化氯	前驱体
	微生物	动力学	混凝
	氯胺	氯胺	臭氧

由图 7 和表 3 可以看出在 2000—2012 年间,美国、日本、欧盟和中国在饮用水消毒应用研究中最关注的是饮用水消毒技术工艺和消毒副产物去

除技术.在消毒工艺技术方面,氯化消毒成为关注最多和应用最为成熟的技术.其他消毒工艺技术根据关注程度从高到低依次排序:美国为紫外消毒、电化学消毒以及氧化消毒;日本为电化消毒、紫外消毒、氧化以及臭氧消毒;欧盟为紫外消毒、电化

消毒、氧化和臭氧消毒;中国为紫外消毒和臭氧消毒.可以看出与其他领先国家相比,我国消毒技术研究重点仍在于传统的消毒技术,而对新兴消毒工艺(如:电化消毒)关注相对较少.

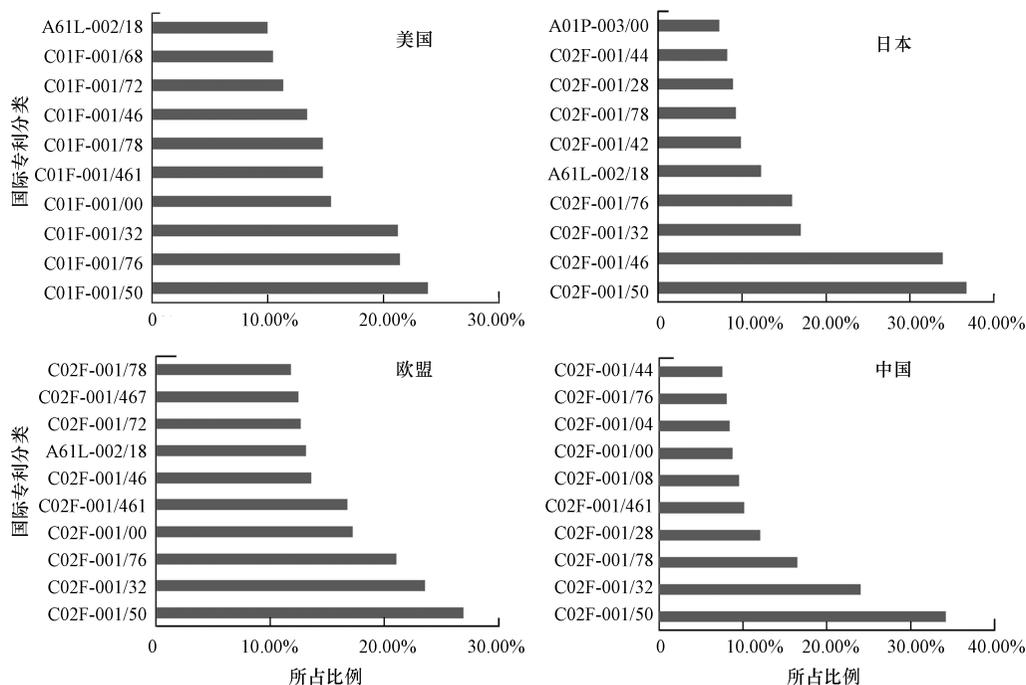


图7 2000—2012年领先国家饮用水消毒技术热点专利分类

Fig.7 Classification of international patent hot spots about drinking water disinfection in leading countries during 2000—2012

表3 饮用水消毒技术不同专利号与相对应的研究方向

Table 3 Meanings of different international patent classification codes

国际分类号	专利分类号所代表含义
C02F-001/50	消毒剂或微动处理
C02F-001/32	利用紫外光
C02F-001/46	通过电学方法
C02F-001/78	利用臭氧
C02F-001/76	利用卤素和含卤素的化合物
C02F-001/461	通过电解
C02F-001/28	通过吸附
C02F-001/72	通过氧化
C02F-001/467	通过电化消毒
C02F-001/44	渗透和反渗透
C02F-001/42	离子交换
C02F-001/48	利用电磁场法
C02F-001/30	通过照射
以 A 开头	液体物质(不分析)
C02F-001/00	水处理

#### 4 结论 (Conclusions)

1) 在2000—2012年国际上对饮用水消毒研究

的关注度持续增加.该领域的基础研究和应用研究关注重点主要集中在消毒工艺技术、消毒副产物以及研究方法方面.在消毒工艺技术方面,氯化消毒一直是国际研究的重点.随着消毒副产物的不断发现,高级氧化技术(紫外、臭氧)作为相对安全的替代技术已经步入应用.在消毒副产物方面,研究者最初关注的是消毒剂与水中天然有机物生成的常规消毒副产物,如三卤甲烷和卤乙酸.随着臭氧氧化技术的应用,水体中无机物溴离子在此过程中生成的溴代物也引起研究者的高度关注.在研究方法方面,研究者一直致力于消毒副产物生成动力学及控制技术的研究.近年来随着消毒副产物对人体健康危害的不断发现和认知,研究者开始引入毒理学指标来评价饮用水的安全性.

2) 我国与在本领域领先国家美国、欧洲相比,研究起步晚,但近几年研究产出增长显著.在研究水平上,我国原创性研究较少,整体仍然处于跟跑地位.我国的研究工作主要集中在氯化消毒工艺和常规消毒副产物方面,近几年来高级氧化技术和一

些新兴的消毒副产物也开始受到关注. 为保障我国饮用水安全, 在关键的饮用水消毒工艺环节, 亟需开展低风险的消毒技术与工艺研发, 新型消毒副产物的控制, 以及引入水质毒理学评价指标等研究, 进一步提高我国消毒技术研究和应用水平.

**责任作者简介:** 曾凡付, 男, 中国科学院大学在读博士, 主要从事水质安全保障技术原理与应用的研究工作. E-mail: lhclan@126.com.

#### 参考文献 (References):

- Bellar T A, Lichtenberg J J, Kroner R C. 1974. The occurrence of organohalides in chlorinated drinking waters [J]. *Journal: American Water Works Association*, 66(12): 703-706
- Brodthmann Jr N V, Russo P J. 1979. The use of chloramine for reduction of trihalomethanes and disinfection of drinking water [J]. *Journal: American Water Works Association*, 71(1): 40-42
- Bull R J, Kopfler F C. 1991. Health effects of disinfectants and disinfection by-products [R]. Denver CO: American Water Works Association
- Ditthorn F. 1915. Article for the sterilisation of drinking water with chlorine [J]. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 41(38): 1127
- Falagas M E, Karavasiou A I, Bliziotis I A. 2006. A bibliometric analysis of global trends of research productivity in tropical medicine [J]. *Acta Tropica*, 99(2/3): 155-159
- Nobukawa T, Sanukida S. 2001. Effect of bromide ions on genotoxicity of halogenated by-products from chlorination of humic acid in water [J]. *Water Research*, 35(18): 4293-4298
- Peeters J E, Mazás E A, Masschelein W J, *et al.* 1989. Effect of disinfection of drinking water with ozone or chlorine dioxide on survival of *Cryptosporidium parvum* oocysts [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 55(6): 1519-1522
- Plewa M J, Wagner E D, Jazwierska P, *et al.* 2004. Halonitromethane drinking water disinfection byproducts: chemical characterization and mammalian cell cytotoxicity and genotoxicity [J]. *Environmental Science & Technology*, 38(1): 62-68
- Price M L, Bailey R W, Enos A K, *et al.* 1993. Evaluation of ozone/biological treatment for disinfection byproducts control and biologically stable water [J]. *Ozone: Science & Engineering*, 15(2): 95-130
- Rajendram R, Lewison G, Preedy V R. 2006. Worldwide alcohol-related research and the disease burden [J]. *Alcohol and Alcoholism*, 41(1): 99-106
- Richardson S D, Plewa M J, Wagner E D, *et al.* 2007. Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: a review and roadmap for research [J]. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 636(1/3): 178-242
- Savage W G. 1902. The significance of *Bacillus coli* in drinking water [J]. *Journal of Hygiene*, 2(3): 320-357
- Vaughan V C. 1904. Some toxicogenic germs found in drinking water [J]. *The Journal of the American Medical Association*, 42(15): 935-941
- Von Gunten U, Driedger A, Gallard H, *et al.* 2001. By-products formation during drinking water disinfection: a tool to assess disinfection efficiency? [J]. *Water Research*, 35(8): 2095-2099
- Von Gunten U. 2003. Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine [J]. *Water Research*, 37(7): 1469-1487