



文章栏目：文献计量分析

DOI 10.12030/j.cjee.201810194

中图分类号 X53

文献标识码 A

张雅贤, 方战强. 重金属污染场地修复技术的专利计量分析[J]. 环境工程学报, 2019, 13(12): 3019-3026.

ZHANG Yaxian, FANG Zhanqiang. Bibliometric analysis of patents on the remediation technologies of heavy-metal(loid) contaminated sites[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2019, 13(12): 3019-3026.

## 重金属污染场地修复技术的专利计量分析

张雅贤<sup>1,2</sup>, 方战强<sup>1,2,\*</sup>

1. 华南师范大学化学与环境学院, 广州 510006

2. 广东省环境修复产业技术创新联盟, 广州 510006

第一作者: 张雅贤(1996—), 女, 学士。研究方向: 土壤修复与防治。E-mail: 1471353665@qq.com

\*通信作者: 方战强(1977—), 男, 博士, 教授。研究方向: 土壤修复与防治。E-mail: 142200475@qq.com

**摘要** 为探明国内重金属污染场地技术的发展现状, 通过筛选和计量分析国家知识产权局综合服务平台的数据库和中国知识资源综合数据库等数据源中 2002—2019 年申请并公开的重金属污染场地修复技术专利, 研究了我国重金属污染场地技术的专利发展现状。结果表明, 国内重金属污染场地修复技术的专利发展可分为 4 个阶段, 2013—2017 年发展迅猛, 平均增长率为 66 项·a<sup>-1</sup>, 2018 年至今发展渐缓; 全国区域范围内, 江苏省、北京市、广东省、湖南省的专利数量占据优势, 镉、铬、铜、铅、锌的污染场地修复技术发展比较成熟。根据技术类型, 分析了各项技术的发展趋势, 并综合适用对象范围、研究机构数量、公开专利数量及年份变化趋势等进行了评估, 结果表明, 发展比较好的修复技术包括固化/稳定化修复技术、淋洗修复技术和物理修复技术。其中, 固化/稳定化修复技术的主体地位优势仍然十分明显, 研究重点逐渐倾向于以废治废, 降低药剂成本, 实现绿色修复。

**关键词** 土壤污染及其防治; 专利统计; 重金属污染场地修复; 技术分析; 技术发展趋势

重金属污染场地, 指长期进行矿产冶炼、电镀加工、不锈钢生产、仪表机械制造等产业的重金属企业厂区, 因没有采取严格规范的环保措施<sup>[1]</sup>, 产生废气沉降、废液灌溉和废弃物堆积<sup>[2]</sup>等, 从而直接或间接污染土壤的工业场地, 直接或间接造成的被重金属元素污染土壤的工矿业场地。重金属污染具有隐蔽性强、潜伏期长、污染后果严重等特点<sup>[3]</sup>。据 2014 年发布的《全国污染土壤调查状况公报》<sup>[4]</sup>(简称公报), 我国土壤的总超标率达到了 16.1%。其中, 工矿业废弃地的土壤环境问题突出, 比较典型且污染严重的地块类型有 3 种: 重污染企业用地的招标点位占调查总数的 36.3%; 工业废弃地的超标点位占调查总数的 34.9%; 工业园区的超标点位占调查总数的 29.4%。土壤污染主要由无机污染物造成。该公报列举了铜、汞、镍、镉、铬、砷、铅、锌 8 种重金属元素作为无机污染物, 并对其进行了详细说明。

随着我国“退二进三”的城市化发展及产业结构升级, 城市的工业污染场地引起人们关注, 其中重金属是主要污染源, 影响周边居民健康, 制约土地资源的二次利用<sup>[5]</sup>。近年来, 我国针对重金属污染场地的污染修复技术发展日渐成熟, 基于已有的技术研究, 董家麟<sup>[6]</sup>以国内外大量文献综

收稿日期: 2018-10-31; 录用日期: 2019-09-05

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1802802)

合分析各项技术的优缺点及应用范围；宋立杰等<sup>[7]</sup>介绍且分析了各项修复技术的实施方法；晁文彪<sup>[8]</sup>通过研究专利技术对重金属污染修复技术的发展趋势作出了展望。但目前大多数研究聚焦于重金属污染土壤的整体技术发展现状，单独对场地修复技术进行研究的综述类文献较少。本研究对重金属污染场地修复技术专利(简称专利)进行了计量分析，探究各项技术的发展趋势。

## 1 数据来源与分析方法

本研究是基于国家知识产权局专利检索及分析网站进行的检索，设计检索式以关键词“重金属”和“土壤”为主，排除了农、矿、垃圾、肥、污泥等几个关键词，此外，在中国知识资源综合数据库(简称中国知网)以同一个检索式进行二次检索，以专利公开日为日期标准，截取时间段为2002年1月1日—2019年5月24日的专利，筛选排除了农田土壤修复、土壤重金属检测方法、土壤重金属来源分析及风险评估方法等专利，得到关于重金属污染场地修复技术的公开专利1556项。梳理筛选得到的专利，将专利的名称、公开日、授权日、公开号、研究机构、发明人、技术类型、目标重金属、应用效果、优点等录入Excel并利用筛选功能、查找功能进行公开年份(分析年度变化均以此为标准)、目标重金属、技术类型的统计；利用Origin软件制图。文中2019年的专利数量为2019年1月1日—2019年5月24日的专利数量总和，采用文献计量学方法系统总结了重金属污染场地修复技术的现状、特点及发展趋势。

## 2 数据分析

### 2.1 专利总量的统计与分析

1) 专利总量年度变化。2002—2019年公开的专利总数、授权发明专利数量及实用新型专利数量年度变化趋势见图1。公开专利的研究进程可以分为4个阶段。第1阶段为2002—2009年，该阶段公开的专利数量增长几乎停滞；第2阶段为2009—2013年，国内研究处于起步阶段，平均增长率约为 $16 \text{项} \cdot \text{a}^{-1}$ ；2013年进入了重金属污染场地修复的第3阶段，公开的专利数量快速增长，平均增长率为 $67 \text{项} \cdot \text{a}^{-1}$ ，尤其是2016—2017年，公开的专利数量增长了101项；第4阶段是2017年至今，公开的专利数量稍有回落，趋于稳定，2018年公开的专利数量为219项，2019年1—5月公开的专利数量为141项。第3阶段的公开专利数量增长可能因为2012年国家将土壤修复列入《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》(国发[2012]28号)的“先进环保产业发展路线图”，江苏省、广东省、重庆市、湖南省等地普遍关停了多家企业，开展了工矿企业搬迁原址场地土壤的修复<sup>[9]</sup>，激发了土壤修复产业的活力。

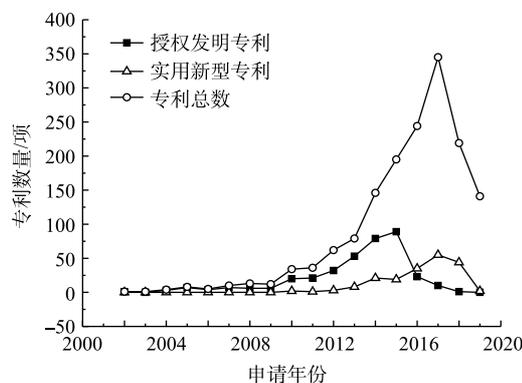


图1 2002—2019年专利数量变化

Fig. 1 changes of patent number from 2002 to 2019

在此期间，授权专利数量总体呈增长趋势，实用新型专利在2014年开始发展，专利数量占专利总数的比例逐渐增大，2014年占比为13.70%，2016年占比为14.64%，2017年占比为15.23%。这说明修复治理重金属污染场地的各项技术研究成熟后，研发具有自主知识产权、符合我国国情的重金属污染场地修复装置和设备也引起了人们重视。

2) 专利总量区域分布和机构分布。申请公开专利数量占据全国前10名的区域见表1。由表1可知，江苏省、湖南省、广东省、北京市是主要的专利申请地区，被公开的申请专利数量分别为225、155、153和147项。这4个省份公开专利数量比较多，其主要原因为：第一，可能是因为当

地科研机构多、科研氛围浓厚。全国范围内申请重金属污染场地修复技术专利的机构总数为 611 个，其中江苏省、湖南省、广东省、北京市的机构数量分别为 71、58、72 和 64 个，4 个省份的机构数量总和近乎占据了全国研究机构总量的一半；第二，可能是当地的工业结构和产业需求促进了重金属污染土壤修复技术的发展。2011 年，廖晓勇等<sup>[5]</sup>提出，我国达到工业规模级别的重金属冶炼企业及重金属压延加工企业数量众多，其中这类企业在江苏省的数量最多，浙江省、广东省、湖南省名列前茅，在产业结构调整 and 城市化发展的推动下，重金属污染场地的修复成了这些省份必须解决的问题，因此，修复技术的研究发展也相应较快。

### 3) 公开专利的重金属研究对象及其适用技术分析。

常见的重金属研究对象为镉、铅、铜、锌、铬、砷、汞、镍，其中研究镉、铬、铜、铅、锌等 5 种重金属的公开专利尤其多，用于处理镉、铅、铜、锌、铬、砷、汞、镍为主的污染场地的公开专利分别为 324、257、186、163、140、91、77 和 58 项，关于其余重金属污染场地修复技术的公开专利均不足 50 项，这说明以上列举的几种重金属的处理技术研究比较成熟。其中，铜、铬、锌、镍、锰等几种重金属的技术研究均是从生物修复技术起步，再扩展研究其他技术的应用。固化/稳定化技术在各类重金属污染场地的技术占比为 31.48%~54.55%，可以普遍应用于各种重金属污染场地，适用性广；生物修复技术则常用于镉、铅、铜、锌、锰等几种重金属污染场地，技术占比为 25.77%~41.18%，这主要取决于可筛选应用于不同重金属污染场地的生物资源丰富度；联合修复技术比较适用于铬污染场地，技术占比达到 24.29%，对于一些其他重金属污染，如钴、锑、铋、铈、硒，这几种金属的联合修复技术研究也在 2014 年和 2017 年有所发展；淋洗修复技术常用于修复镉、铅、铜、锌、镍、砷、汞等重金属污染场地，技术占比均为 10%~15%；物理修复技术在镍、锰、铬、铜、汞几种重金属污染场地应用得比较多，技术占比为 9.09%~12.14%，主要是吸附修复技术和电动修复技术发展得比较好，热脱附修复技术主要应用在汞污染场地和砷污染场地中，磁分离修复技术则主要应用于铬污染场地、铜污染场地和铅污染场地。

## 2.2 各项技术的统计与分析

固化/稳定化技术修复重金属污染场地的公开专利总数、授权发明专利数量和实用新型专利数量统计结果见图 2。该项技术在 2010 年才开始发展，整体呈现上升趋势，2013—2017 年发展最为迅猛，近 2 年发展趋势有所回落。迄今为止，2015 年固化/稳定化技术的授权发明专利数量最多，实用新型专利变化一直波动不大。固化/稳定化技术是一种高效、快速治理重金属污染场地的技术，该技术主要通过调节土壤 pH、离子交换、螯合作用、络合作用、吸附作用等方式改变重金属离子的赋存形

表 1 区域专利数量前 10 名和区域机构数量前 10 名  
Table 1 Top 10 regions in patent numbers and top 10 regions in organizations

区域	专利数量/项	区域	机构数量/个
江苏省	225	广东省	72
湖南省	155	江苏省	71
广东省	153	北京市	64
北京市	147	湖南省	58
上海市	92	上海市	38
浙江省	91	山东省	35
湖北省	86	湖北省	33
四川省	75	安徽省	32
山东省	66	浙江省	31
安徽省	57	四川省	29

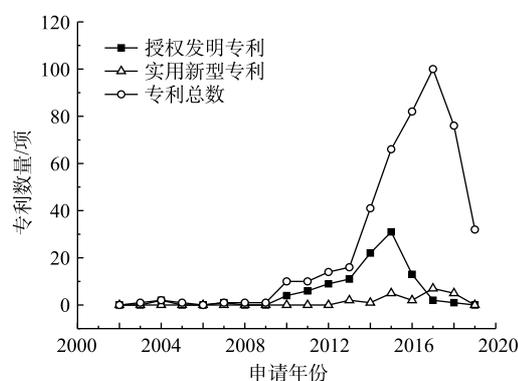


图 2 2002—2019 年固化/稳定化技术专利数量  
Fig. 2 Patent number of immobilization/stabilization technology from 2002 to 2019

态,降低其生物有效性和生态毒性,从而达到固化/稳定化重金属的目的。近几年,固化稳定化技术的主要发展趋势是研发绿色环保固化/稳定化药剂、降低二次污染的风险。以往大量研究选用水泥、石灰等作为固化/稳定化修复药剂的主要成分进行修复,易出现土壤板结或过度石灰化的现象,既覆盖了重金属污染土壤的表面,影响治理效果,也不利于污染土壤的二次利用;部分研究选用化学药剂作为固化/稳定化修复药剂,易造成土壤盐碱化或者酸化、碱化土壤。因此,天然材料如秸秆、贝壳粉、木质素等材料的应用得到了重视。此外,国内重视以废治废、变废为宝的理念,对钢渣、废弃石膏、电石渣等进行利用,但由于易造成二次污染,材料逐渐由钢渣转变成具有生物可降解性的废料,如糖醛渣、农林废弃物、城市污水厂的污泥,降低成本和环境风险。

利用生物修复技术修复重金属污染场地的公开专利总数、授权发明专利数量和实用新型专利数量统计结果见图3。自2005年起,该项技术的专利总数基本呈现上升趋势,授权发明专利的数量在2013年后呈递减趋势,实用新型专利发展缓慢。生物修复技术是指利用自然界的生物资源,如通过微生物菌株、超累积植物和蚯蚓等吸收或移除土壤中的重金属,从而对重金属污染场地进行修复。该技术主要包括植物修复技术、动物修复技术、微生物修复技术、生物联合修复技术。目前,研究者偏向于发展动物和微生物辅助超累积植物吸收重金属为主的生物联合修复技术。近几年,研究重点主要包括3个方面:一是如何提高植物对重金属的吸收效率,常用方法包括施加生物炭基肥<sup>[10-12]</sup>、微生物复合菌剂<sup>[13-15]</sup>或动物<sup>[16-17]</sup>等;二是如何保证种子在重金属污染土壤中的存活率,现有的解决办法包括生态修复床<sup>[18-19]</sup>、人工包埋种子<sup>[20]</sup>、增加纤维丝隔离层<sup>[21-22]</sup>等;三是如何筛选生物资源,植物修复技术一般采用生物量大、生长迅速、重金属超累积容量大的植物,微生物修复技术则一般采用对重金属耐受性较高的菌株,例如芽孢杆菌和霉菌。

淋洗技术修复重金属污染场地的公开专利数量、授权发明专利数量和实用新型专利数量统计结果见图4。淋洗修复技术的公开专利在2011年开始发展,专利总数基本呈现上升趋势,2017年专利总数达到44项。淋洗修复技术主要是异位修复,须依赖装置设备,提高修复效果,降低淋洗剂用量<sup>[23-27]</sup>。其核心在于淋洗剂的选用和实际场地的实施,这2个要素决定了淋洗技术能否在重金属污染场地修复领域中广泛被应用。淋洗常选用酸溶液作为淋洗剂,但EDDS、聚环氧琥珀酸、柠檬酸、苹果酸等可生物降解的酸溶液价格昂贵,因此,常配合水、硝酸或盐酸、氯化铁水溶液、吐温80等其他淋洗剂使用,从而降低环境风险和药剂成本;场地实施一般利用振荡进行淋滤,为加快淋洗速度,郭红岩等<sup>[28]</sup>和郭军康等<sup>[29]</sup>开始研究通过微波/超声波等促进淋滤过程,目前,郭军康等<sup>[30]</sup>已同步设计了超声波强化萃取装置,但尚未有应用实例。

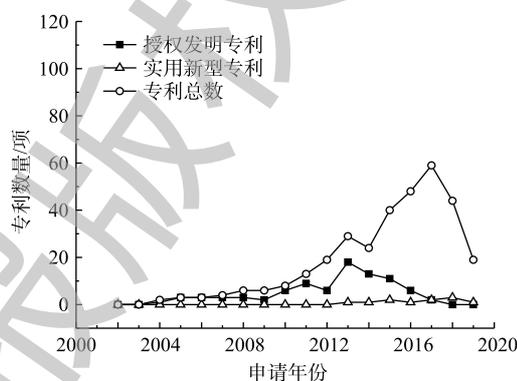


图3 2002—2019年生物修复技术专利数量  
Fig. 3 Patent number of bioremediation technology from 2002 to 2019

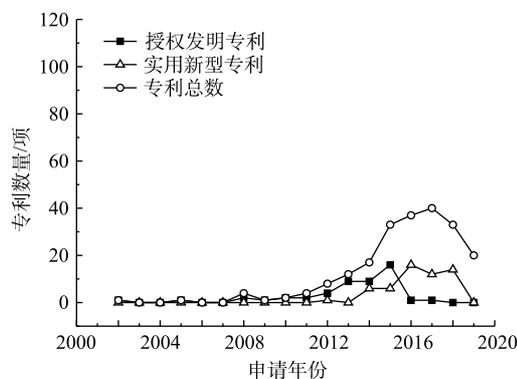


图4 2002—2019年淋洗修复技术专利数量  
Fig. 4 Patent number of rinsing remediation technology from 2002 to 2019

物理修复技术是指利用阻隔、吸附、电迁移、电泳、电渗析、热脱附、磁场效应等物理原理对重金属污染场地进行修复的技术，主要包括电动修复技术、吸附修复技术、阻隔修复技术、磁分离修复技术和热脱附修复技术。

电动修复技术的公开专利数量、授权发明专利数量和实用新型专利数量统计结果见图 5。2017 年之前电动修复技术的公开专利数量总体呈上升趋势，2017 年达到最大值 27 项；授权发明专利数量有所波动，2017 年前实用新型专利的数量呈持续上升的趋势。目前，电动修复技术的研究热点主要是电动装置的创新，既包括电极、电解液等的材料创新，也包括电动装置本身的结构组成创新。

吸附修复技术的公开专利数量、授权发明专利数量和实用新型专利数量统计结果见图 6。2014 年授权发明专利达到峰值，2015 年实用新型专利开始发展。目前，研究比较成熟的有海藻酸钠制备吸附板和吸附微球<sup>[31-33]</sup>、农业废弃物制备生物炭<sup>[34-36]</sup>等，技术重点主要是对吸附材料进行改性提高其吸附效率，增大吸附容量；常用的原材料一般是黏土矿物，如凹凸棒土、膨润土、沸石、二元水滑石等，也有有机高分子材料，例如树脂、凝胶球等。

其他物理修复技术还包括磁分离修复技术、热脱附修复技术和阻隔修复技术等。磁分离修复技术只能应用于磁性重金属，2014 年后，每年的公开专利数量维持在 4~5 项，2018 年、2019 年的公开专利总数均为 6 项；热脱附修复技术从 2014 年开始发展，整体呈缓慢的上升趋势，主要适用于含汞、砷的重金属污染场地，应用范围狭窄、耗能较高，研究重点是不同类型的热脱附装置<sup>[37-39]</sup>，2014 年开始发展，整体呈缓慢上升趋势；阻隔修复技术的公开专利数量保持波动。

联合修复技术的公开专利数量、授权发明专利数量和实用新型专利数量统计结果见图 7，该项技术从 2013 年开始发展，公开专利数量总体呈现上升趋势，2017 年，达到最大值为 87 项，主要集中为研究原位修复重金属污染的阻隔装置<sup>[40-42]</sup>；授权发明专利的数量在 2014 年较多；实用新型专利则在 2017 年达到峰值。

联合修复技术指联合 1 种或 2 种以上技术

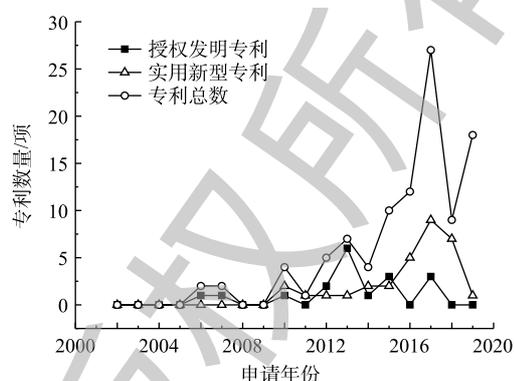


图 5 2002—2019 年电动修复技术专利数量

Fig. 5 Patent number of electric remediation technology from 2002 to 2019

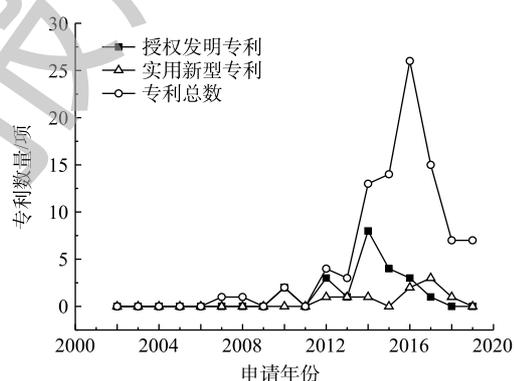


图 6 2002—2019 年吸附修复技术专利数量

Fig. 6 Patent number of adsorption remediation technology from 2002 to 2019

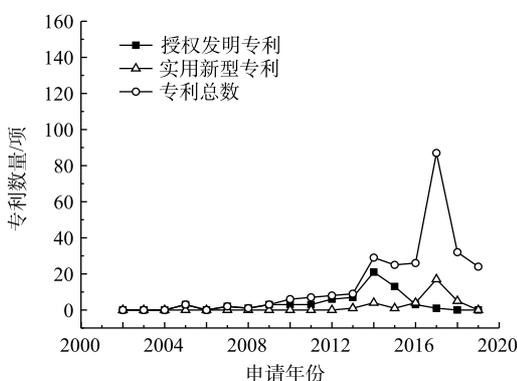


图 7 2002—2019 年联合修复技术专利数量

Fig. 7 Patent number of joint remediation technology from 2002 to 2019

进行重金属污染场地的修复治理,通常是以固化/稳定化技术、生物修复技术和淋洗修复技术为主,物理修复技术为辅进行。电动修复技术<sup>[43-46]</sup>、吸附修复技术<sup>[47-49]</sup>和热脱附修复技术<sup>[50-53]</sup>均常与淋洗修复技术联用,通过吸附等方式富集淋出液中的重金属后,淋出液可以进行回用,此外,其也常与生物技术联用,加快植物吸收重金属的速率;磁分离技术逐渐受到重视,该项技术配合固化/稳定化技术应用于重金属污染场地,可有效移除场地土壤中的重金属<sup>[54-55]</sup>,配合淋洗技术使用则可以快速吸附淋出液的重金属,使得淋出液可以回用<sup>[56-59]</sup>。

### 3 结论

1) 近几年,研究者更加重视相关装置的发展,直接反映为实用新型专利的数量占比显著提高。

2) 国内重金属污染场地修复技术的公开专利发展可分为4个阶段,2013—2017年发展迅猛,平均增长率为 $66 \text{ 项} \cdot \text{a}^{-1}$ ,近2年发展渐缓。其中,江苏省、北京市、广东省、湖南省的科研机构众多,公开专利总数也比较多。

3) 综合适用对象范围、研究机构数量、公开专利数量及年份变化趋势等因素进行评估,可以看出,目前,发展较好的重金属污染场地修复技术依次为固化/稳定化技术、淋洗修复技术、物理修复技术,以废治废、降低成本仍然是研究热点。

### 参考文献

- [1] 刘候俊,韩晓日,李军,等.土壤重金属污染现状与修复[J].[环境保护与循环经济](#),2012,15(7):4-8.
- [2] 雷停,孙传敏.重金属镍的土壤污染及迁移转化[J].[地球科学进展](#),2012,27(S1):359-361.
- [3] 黄晓纯,刘文华,赵秋香,等.工业区污染土壤中重金属Ni的形态分析及其生物有效性[J].[广东化工](#),2014,41(15):173-174.
- [4] 环境保护部,国土资源部.全国土壤污染状况调查公报[J].[中国环保产业](#),2014,19(5):10-11.
- [5] 廖晓勇,崇忠义,阎秀兰,等.城市工业污染场地:中国环境修复领域的新课题[J].[环境科学](#),2011,32(3):784-794.
- [6] 董家麟.土壤重金属污染及修复技术综述[J].[节能与环保](#),2018,35(10):48-51.
- [7] 宋立杰,诸毅,安森,等.土壤重金属污染修复技术综述[J].[山东化工](#),2018,47(10):203-207.
- [8] 晁文彪.重金属污染土壤的修复专利技术综述[J].[农家参谋](#),2018,35(19):241.
- [9] 陈家桂,黄冠焱,雷蕾,等.初探污染场地的土壤修复工作过程与修复技术[J].[四川环境](#),2012,31(S1):122-127.
- [10] 马新攀.一种酸性-重金属污染土壤的修复方法::ZL201510635592[P].2015-12-23.
- [11] 马新攀.一种生物炭和植物联合修复重金属污染土壤的方法:ZL201510635634[P].2015-12-23.
- [12] 马新攀.一种动植物-生物炭协同修复石油-重金属污染土壤的方法:ZL201510635827[P].2015-12-09.
- [13] 马新攀.一种工业废地土壤重金属污染的修复方法:ZL201510635708[P].2015-12-23.
- [14] 马新攀.一种盐碱地土壤重金属污染的修复方法:ZL201510635712[P].2016-02-24.
- [15] 包红旭,张欣,苏弘治,等.一种植物-动物-微生物联合修复土壤中重金属铜的方法:ZL201710929501[P].2018-03-09.
- [16] 夏百庆.一种快速治理土壤重金属污染的方法:ZL201610747024[P].2017-01-04.
- [17] 夏战利,陈思池,蒋晓梅.一种重金属污染土壤的综合修复方法及应用:ZL201610536019[P].2016-09-21.
- [18] 郭志火,纪清松.重金属污染土壤的生态修复床:ZL201620717718[P].2017-05-03.
- [19] 何蔚茹.一种重金属污染土壤的生态修复床:ZL201721509789[P].2018-01-30.
- [20] 苏品,马文月,张亚,等.一种通过种植苜蓿减少土壤重金属镉、铅污染的方法:ZL201710453357[P].2017-08-22.

- [21] 马彦, 王卓, 冯丹妮, 等. 一种用于重金属污染土壤种子种植方法: ZL201711384674[P]. 2018-05-15.
- [22] 杨虎德, 李崇霄, 王卓, 等. 一种重金属污染土壤修复种植方法: ZL20171138467[P]. 2018-05-15.
- [23] 钟儒波, 游建军, 胡志鑫, 等. 重金属污染土壤异位化学淋洗修复和洗出液回用装置: ZL201610522057[P]. 2017-01-04.
- [24] 丁浩然, 刘鹏, 李泰平, 等. 一种重金属污染土壤淋洗液水处理系统: ZL201720402678[P]. 2018-04-27.
- [25] 郑旭东, 高家杰. 一种重金属污染土壤的异位淋洗修复方法: ZL201710991281[P]. 2018-01-30.
- [26] 林芳, 胡学潭. 一种重金属污染土壤淋洗修复装置: ZL201721284984[P]. 2018-05-25.
- [27] 牛俊翔, 罗凯捷, 高卫国, 等. 一种用于土壤及地下水重金属污染原位修复的循环井装置: ZL201720725436[P]. 2018-02-13.
- [28] 郭红岩, 张庆泉, 刘志超, 等. 微波辅助化学淋洗修复重金属污染场地土壤的装置及方法: ZL201510674627[P]. 2015-12-23.
- [29] 郭军康, 徐慧荟, 任心豪, 等. 一种萃取土壤中重金属的修复装置及方法: ZL201710471107[P]. 2017-09-22.
- [30] 郭军康, 徐慧荟, 任心豪, 等. 一种萃取土壤中重金属的修复装置: ZL201720720243[P]. 2018-03-16.
- [31] 陈明, 王新宇, 余国强, 等. 一种重金属污染土壤的电动修复卧式装置: ZL201710042407[P]. 2017-05-10.
- [32] 陈明, 刘冠男, 陈玉衡, 等. 一种重金属污染土壤的电动修复立式装置: ZL201710042701[P]. 2017-05-10.
- [33] 陈明, 陈玉衡, 张佳文, 等. 一种重金属污染土壤的电动修复翻转式装置: ZL201710042092[P]. 2017-03-22.
- [34] 周南, 周智, 姚登辉. 一种利用柚子皮制备的生物炭、制备方法及其应用: ZL201610383280[P]. 2016-10-12.
- [35] 周南, 周智, 陈鸿钢. 一种利用香蕉皮制备的生物炭、制备方法及其应用: ZL201610381735[P]. 2016-10-12.
- [36] 周南, 周智, 邓仲华. 一种利用烟梗制备的生物炭、制备方法及其应用: ZL201610382287[P]. 2016-09-07.
- [37] 王惠惠, 巴玉鑫, 吴小飞, 等. 一种利用秸秆修复有机物-重金属复合污染土壤的系统: ZL201621251511[P]. 2017-06-27.
- [38] 王惠惠, 巴玉鑫, 吴小飞, 等. 利用秸秆修复有机物-重金属复合污染土壤的系统和方法: ZL201611029687[P]. 2017-02-15.
- [39] 王惠惠, 巴玉鑫, 吴小飞, 等. 对有机物-重金属复合污染土壤进行修复的修复装置: ZL201620557062[P]. 2016-11-23.
- [40] 胡玉洪, 吴文卫, 刘艳. 一种用于重金属污染土壤的阻隔修复装置: CN206981413U[P]. 2018-02-09.
- [41] 向奎, 李俊民, 黄玉霞, 等. 一种用于土壤重金属污染的阻隔修复结构: CN204544963U[P]. 2015-08-12.
- [42] 张杭君, 周根娣, 董鸣, 等. 用于土壤重金属阻控技术研究的实验装置: ZL201410173012[P]. 2014-09-10.
- [43] 李青云, 林莉, 胡艳平. 基于电动土工布的土壤重金属电促淋洗去除装置: ZL201621211698[P]. 2017-07-07.
- [44] 李东, 孙德林, 胡思扬, 等. 污染土壤电化学淋洗方法及装置: ZL201510303981[P]. 2015-09-02.
- [45] 李琦, 马永松. 以电动-微生物联合修复石油#重金属复合污染土壤的装置及应用: ZL201710786110[P]. 2017-12-01.
- [46] 叶正钱, 柳丹, 姚桂华, 等. 一种利用交流电场辅助东南景天修复重金属土壤的方法: ZL201610196698[P]. 2016-08-10.
- [47] 王亮, 向凯, 李磊, 等. 铅污染复合式土地种植层: ZL201621335679[P]. 2017-07-11.
- [48] 张弛, 游志勇, 闫丽梅, 等. 一种脉冲炭液修复黄土中重金属污染的技术: ZL201410546652[P]. 2015-02-18.
- [49] 余震, 周顺桂, 岳艳丽. 一种生物炭和铁还原菌剂联合修复重金属污染土壤的方法: ZL201410026686[P]. 2014-04-30.
- [50] 杨改. 一种治理重金属污染土壤的净化装置: ZL201711179563[P]. 2018-06-15.
- [51] 黄璜, 廖石榴, 曹海佳, 等. 一种促进红苋菜生长减少土壤重金属汞污染方法: ZL201710543430[P]. 2017-12-01.
- [52] 高继贤, 王伟亚, 孙一轩, 等. 污染土壤蒸汽浸提修复系统: ZL201720151581[P]. 2017-10-13.
- [53] 吴睿, 葛苏阳. 土壤有机物-重金属污染一体化修复系统: ZL201520763302[P]. 2016-03-23.

- [54] 黄志红, 肖选虎, 周晓平, 等. 一种用于含Cr(VI)土壤处理的磁性生物质新材料稳定剂及其制备方法: ZL201711348771[P]. 2018-05-18.
- [55] 马跃, 李伟, 高飞, 等. 一种重金属污染土壤净化方法: ZL201710947316[P]. 2017-12-15.
- [56] 柯国洲, 彭书平, 徐涛, 等. 一种重金属污染土壤淋洗修复系统: ZL201720287143[P]. 2018-05-11.
- [57] 柯国洲, 彭书平, 李慧, 等. 一种重金属污染土壤淋出液处理装备: ZL201720287454[P]. 2017-10-27.
- [58] 王文庆. 一种重金属污染土壤的无损修复方法: ZL201610315697[P]. 2016-09-21.
- [59] 马新攀. 一种磁性活性炭协同活化剂修复重金属污染土壤的方法: ZL201510635125[P]. 2015-12-02.
- (本文编辑: 曲娜, 郑晓梅, 张利田)

## Bibliometric analysis of patents on the remediation technologies of heavy-metal(loid) contaminated sites

ZHANG Yaxian<sup>1,2</sup>, FANG Zhanqiang<sup>1,2,\*</sup>

1. School of Chemistry and Environment, South China Normal University, Guangzhou 510006, China

2. Guangdong Environmental Restoration Industry Technology Innovation Alliance, Guangzhou 510006, China

\*Corresponding author, E-mail: zhqfang@scnu.edu.cn

**Abstract** Aiming to figure out the current status of the technology development on heavy-metal(loid) contaminated sites remediation in China, statistical analysis through Microsoft Excel and Origin was carried out after selecting the patents involving heavy-metal(loid) contaminated sites remediation technologies between 2002 and 2019 from the National Intellectual Property Office's comprehensive service platform and the China Knowledge Resources Integrated Database platform. The results showed that the patent development of domestic heavy metal(loid) contaminated site remediation technology could be divided into four stages. Of which the development was rapid with an average annual growth rate of 66 pieces from 2013 to 2017, and it has slowed down since 2018. Among our country, Jiangsu, Beijing, Guangdong, and Hunan provinces were ranked among top four areas with the most patents awarded and the most patent-awarded institutes as well. And the remediation technologies for sites contaminated with cadmium, chromium, copper, lead and zinc, were well developed. In addition, the development trends of various types of technologies were also analyzed. After making a comprehensive assessment of application scopes, the number of research institutions and public patents as well as the trend of years, the good developed technologies were determined as immobilization/stabilization remediation technology, rinsing remediation technology and physical remediation technology. Moreover, the immobilization/stabilization remediation technology still keep an obvious dominant position, and its research focus gradually tends to make use of waste, reduce the cost of chemicals and achieve green remediation.

**Keywords** soil pollution and its prevention; patent statistics; remediation of heavy metal contaminated site; technical analysis; domestic development trend of technology