

# 中国与欧盟金属产量及工业废水中重金属污染物排放区域和行业分布变化研究

李梦琳<sup>1</sup> 温丽丽<sup>2</sup> 王琮禾<sup>3</sup> 韩凌<sup>3</sup> 孙卫玲<sup>3,†</sup>

1. 深圳市重金属污染控制与资源化重点实验室, 北京大学深圳研究生院环境与能源学院, 深圳 518005; 2. 环境保护部环境规划院, 北京 100012; 3. 北京大学环境科学与工程学院, 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100871;

† 通信作者, E-mail: wlsun@pku.edu.cn

**摘要** 利用英国地质调查局、欧洲污染物排放和转移登记系统、《中国环境统计年鉴》和《中国环境统计年鉴》数据, 对比分析中国与欧盟金属产量、工业废水中重金属排放的区域和行业分布、演变规律及原因。结果显示, 1993—2014年中国黑色金属和有色金属产量快速增加, 但工业废水中重金属减排却非常明显; 生产方式的转变(清洁生产和循环经济)、生产技术的革新以及行业标准的变化促进了中国工业废水中重金属的减排; 中国工业废水中不同重金属排放的区域和行业分布不同, 相比之下, 欧盟的排放区域和行业分布变化不大, 且排放较为集中。欧盟在政策制定、监管方面值得中国学习借鉴。

**关键词** 工业废水; 重金属; 区域分布; 行业分布; 中国; 欧盟

**中图分类号** X508

## Variation of Metal Production, Regional and Industrial Distributions of Heavy Metals Discharge from Industrial Wastewaters of China and European Union

LI Menglin<sup>1</sup>, WEN Lili<sup>2</sup>, WANG Conghe<sup>3</sup>, HAN Ling<sup>3</sup>, SUN Weiling<sup>3,†</sup>

1. Shenzhen Key Laboratory for Heavy Metal Pollution Control and Reutilization, School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055; 2. Chinese Academy for Environmental Planning, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012; 3. College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, The Key Laboratory of Water and Sediment Sciences MOE, Beijing 100871; † Corresponding author, E-mail: wlsun@pku.edu.cn

**Abstract** Based on the data collected from the British Geological Survey, European Pollutant Release and Transfer Register, China Statistical Yearbook on Environment, and Annual Statistic Report on Environment in China, the variations of metal production, regional and industrial distributions of heavy metals discharge from industrial wastewater were compared for China and European Union. Although the metal production increased quickly from 1993 to 2014, the total discharge of heavy metals in wastewaters decreased. This is ascribed to the change in production modes, technology innovation, and improvement of wastewater discharge standard. The regional and industry distributions of heavy metals in wastewaters were different for different heavy metals. Whereas, the regional and industrial distributions of heavy metal discharges from industrial wastewaters of European Union change insignificantly from 2007 to 2013. Moreover, the European Union's experience in policy formulation and supervision will help China learn from it.

**Key words** industrial wastewater; heavy metal; region distribution; industry distribution; China; European Union

自《重金属污染综合防治“十二五”规划》实施以来,中国首次对 5 种重点控制的重金属(铅、汞、镉、铬和砷)提出总量控制,同时提出 4 个要求:加强污染源监管,全面整治污染源排放;加大淘汰落后产能,加快清洁化生产;调整产业结构,重点解决历史遗留问题;严格环境准入条件<sup>[1]</sup>。这些措施使中国重金属污染势头得到有效遏制。随着国家对湖南等重点省份重金属防治资金的倾斜<sup>[2]</sup>以及对金属采选冶等重点行业监管的加强<sup>[3]</sup>,中国重金属污染将得到进一步防控和治理。

对重金属污染的有效控制离不开技术支持以及对地域、行业污染情况的准确把握。国内已经对重金属污染成因、治理方法以及防治政策进行大量研究<sup>[4-8]</sup>,但缺乏针对全国范围金属行业发展情况的研究,对重金属污染物排放的区域、行业分布及其变化趋势的认识也不足。同时,重金属污染控制还需要借鉴国际上的先进经验。欧盟在全球环境治理方面一直处于领先地位,重金属污染防治的经验较为成熟<sup>[9-10]</sup>。因此,有必要对欧盟重金属污染区域和行业分布的变化趋势进行分析,为有针对性地借鉴欧盟重金属污染控制经验奠定基础。

本文通过分析中国及欧盟金属产量、工业废水中重金属排放区域和行业分布及其演变规律,进一步明确工业废水中重金属在不同省份、流域和行业排放的变化趋势以及重金属排放重点区域和行业的变化情况,以便更清晰地认识中国金属产业发展与污染情况,从而更有针对性地控制重点区域和行业的重金属污染。在此基础上,为了更精准地借鉴国际上的先进经验,本文对比中国与欧盟(简称“中欧”)重金属排放的特点。

## 1 数据基础及来源

本文分析的基础数据主要包括以下几类:主要金属(铁、铜、铅、锌、铝)的产量、欧盟和中国主

要重金属(砷、铅、铬、镉、汞)排放量。这些数据均来自官方统计数据,数据来源如表 1 所示。需要说明的是:1) 欧盟在 1993—2014 年间陆续有成员国加入,本文采用 2014 年最终确定的 27 个成员国来统计欧盟金属产量;2) 为保证数据统计的一致性,便于比较,中欧主要金属产量数据均来自英国地质调查局(The British Geological Survey, BGS);3) 中国工业废水中的总铬排放量自 2011 年开始统计,1993—2010 年只有六价铬数据,所以中国铬排放量统一使用六价铬数据,而欧盟铬排放量采用总铬数据;4) 受数据可获得性限制,中国不同区域和行业工业废水中重金属排放量从 1993 年开始统计,中国各流域重金属排放量从 2001 年开始统计,而欧盟工业废水重金属排放量从 2007 年开始统计。

## 2 结果与讨论

### 2.1 中欧矿产及金属产量分析

作为国民经济、尖端技术及高科技产业的基础原料和战略物资,金属矿产一直是国家经济发展的关键所在<sup>[11-12]</sup>。钢铁和有色金属产量是衡量一个国家经济发展水平和国力的重要指标之一<sup>[13-14]</sup>。从图 1 可以看出,2003 年以来,中国的黑色金属和有色金属产量都在迅速增长,增长速率高于全球金属产量;1993—2014 年,欧盟多种金属的产量基本上不变或呈现减少的趋势。

#### 2.1.1 黑色金属

1993—2014 年,中国生铁产量从 9 千万吨增至 7.1 亿吨,年均增长率为 10.5%,累计生产量达 72.6 亿吨(图 1(a));全球生铁产量从 5 亿万吨增至 12.6 亿吨,年均增长率为 4.3%。2004—2014 年,中国生铁产量的增速比 1993—2003 年也有所加大。1993—2014 年,中国生铁产量高速增长,而欧盟生铁产量几乎停滞不前,至 2014 年,中国生铁产量占全球产量的比例达到 56.4%,超过半数。

21 世纪以来,中国钢铁生产进入高速发展时

表 1 数据来源  
Table 1 Data sources

数据种类	金属种类	数据来源	统计时间段
金属产量	铁、铜、锌、铅、铝	英国地质调查局(BGS)	1993—2014 年
欧盟工业废水重金属排放量	砷、铅、铬、镉、汞	欧盟污染物排放和转移登记系统 (European Pollutant Release and Transfer Register, E-PRTR)	2007—2013 年
中国工业废水重金属排放量	砷、铅、铬、镉、汞	中国环境统计年鉴 中国环境统计年报	1993—2015 年 2001—2014 年

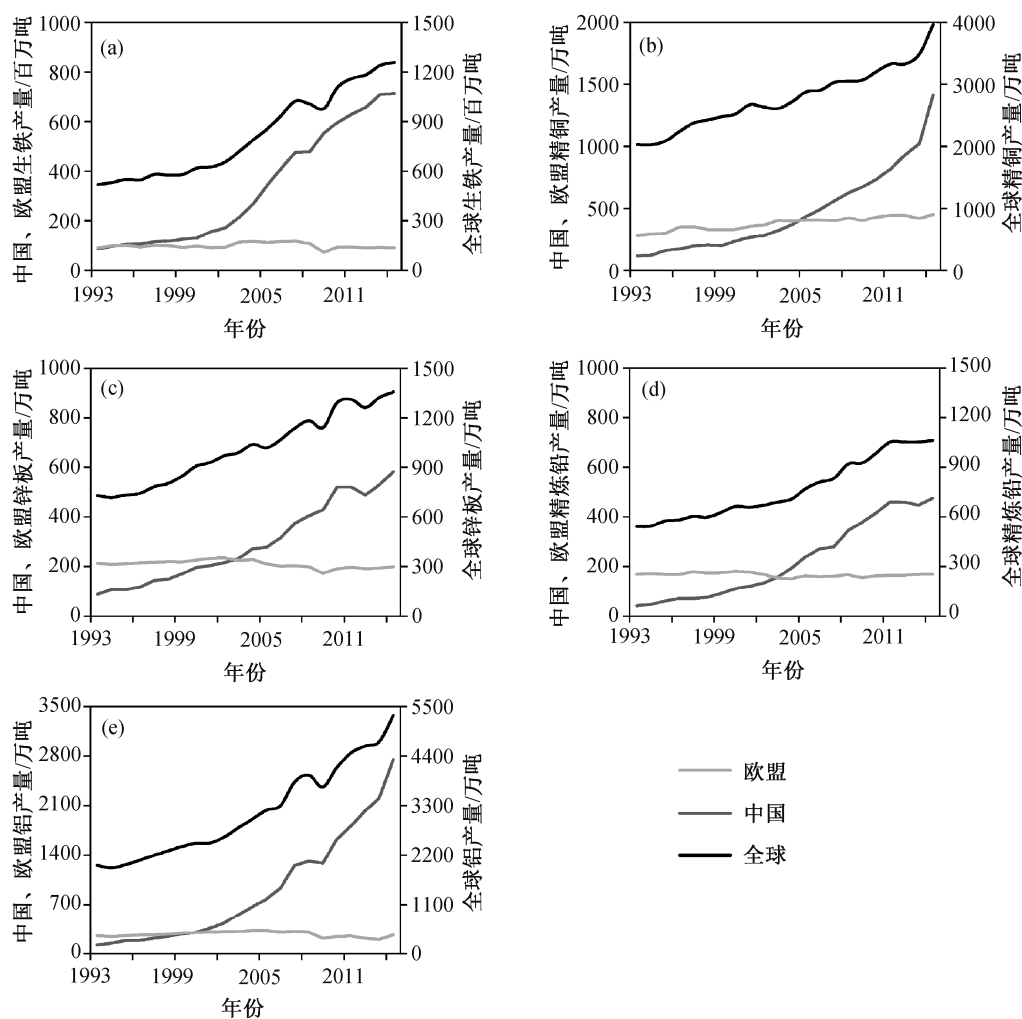


图1 1993—2014年中欧主要黑色金属和有色金属产量对比

Fig. 1 Main ferrous and nonferrous metal production in China and EU from 1993 to 2014

期。2006年开始,中国出现钢铁表观消费量高于钢铁产量的状况。2008年全球金融危机以来,中国采取增加固定资产投资规模等手段刺激经济增长,却加剧了钢铁领域的产能过剩。近年来,在政策控制下,中国钢铁产量增速放缓<sup>[15]</sup>。欧盟生铁产量在1993—2014年期间基本上保持不变,由于受2008年金融危机影响,2009年生铁产量下降<sup>[16]</sup>。

### 2.1.2 有色金属

1993—2014年,中国精铜产量增长较快,从177万吨增至1414万吨,年均增长率为12.6%,年均增速分别是全球平均水平和欧盟的4倍和5.6倍(图1(b))。欧盟精铜产量从281万吨增至450万吨,年均增速为2.3%。中国自2003年起,精铜产量迅速增加,主要源自2003年以来中国经济快速增长带来的“超常需求”。这种“超常需求”不仅结束了全

球矿业长达近5年的低迷期,更令矿产资源供应明显“反应滞后”,2004—2008年表现尤为明显。此后,由于全球众多大中型矿山相继建成并投产,产能逐步释放,供需天平再次转向过剩<sup>[17]</sup>。

锌工业在新中国成立之后才得以发展,1949年中国锌产量仅200吨<sup>[18]</sup>,而1993—2014年,中国锌板产量以全球平均增速3倍左右的速度增长,欧盟锌板产量则出现负增长(图1(c))。1993—2014年,中国锌板产量从89万吨增至583万吨,年均增长率为9.4%;欧盟锌板产量从213万吨降至198万吨;全球锌板产量从728万吨增至1357万吨,年均增长率为3.0%。

1993—2014年,中国精炼铅产量以全球平均增速3.5倍左右的速度增长,而欧盟铅矿石产量下降,精炼铅产量基本上维持不变(图1(d))。1993—2014

年,中国精炼铅产量从 41 万吨增至 474 万吨,年均增长率为 12.4%。铅广泛应用于蓄电池生产、枪炮材料及建筑材料等行业<sup>[19]</sup>,尤其是在电动车蓄电池领域,2013 年全国电动自行车社会保有量达到 2 亿辆,电动汽车保有量达 1.37 亿辆,更是促进了铅生产的发展<sup>[20]</sup>。

1993—2014 年,中国金属铝产量占全球的比例从 6.4% 升至 52.0%,欧盟金属铝产量占全球产量的比例则从 12.8% 降至 5.0% (图 1(e))。2011 年,中国成为全球最大的铝消费国,并首次超过澳大利亚成为全球第一大铝消费国<sup>[21]</sup>。

## 2.2 中欧重金属污染区域及行业分布

铅、铬、镉、汞、砷(砷是类金属元素,但常归为重金属)是对身体危害较大的 5 种重金属<sup>[22]</sup>,也是《重金属污染综合防治“十二五”规划》中重点控制的 5 种金属。本文对中国(1993—2014 年)和欧盟(2007—2013 年)工业废水中这 5 种重金属污染物排放的区域和行业分布演变情况进行分析。

### 2.2.1 工业废水中重金属总排放量

5 种重金属总排放量在 1995 年达到峰值,之后逐年下降(图 2(a)),这与中国逐渐加大对重金属污染的整治力度有关。1996 年颁布《国务院关于环境保护若干问题的决定》,明确禁止转嫁废物污染,限期治理老污染和严格控制新污染,使得国内重金属排放在 1996 年第一次出现大幅度下降。1999 年颁布《国家经贸委关于淘汰落后生产能力、工艺和

产品的目录(第一批)》和《国家经贸委关于淘汰落后生产能力、工艺和产品的目录(第二批)》,淘汰一些土法冶炼工艺和土法采矿,并关闭与矿产资源储量不匹配的小型矿山,使得全行业工业废水中的重金属排放再次出现大幅度下降。2005 年国务院发布《关于加快发展循环经济的若干意见》,鼓励开展清洁生产和资源综合利用。2006 年国家对有色金属和化工产业结构进行调整,并规定铜、钨、锡和锑的准入条件,使得重金属排放量再次降低,与 2006 年相比,2007 年有色金属和化工行业废水中重金属减排量分别为 153.2 吨和 31.3 吨,明显高于黑色金属冶炼(7.07 吨)、金属产品制造(12.8 吨)和采掘业(-98.2 吨)。

为限制重金属排放,中国 2010 年颁布《铜、钴、镍工业污染源排放标准》(GB 25467—2010),针对易污染地区,砷排放标准从 0.5 mg/L 降至 0.1 mg/L,镉从 0.1 mg/L 降至 0.02 mg/L,汞从 0.05 mg/L 降至 0.01 mg/L。“十一五”期间全国重金属污染事件集中爆发,2011 年《重金属污染综合防治“十二五”规划》提出“控新治旧、削减存量”的基本思路,对重点区域、重点行业 and 重点企业重金属排放加强控制,使得工业废水中重金属污染物排放量进一步降低。2012 年颁布《钢铁工业水污染物排放标准》(GB13456—2012),易污染地区铅排放标准定为 0.1 mg/L。在这些政策的作用下,重金属减排效果十分显著。与 1993 年相比,2014 年砷排

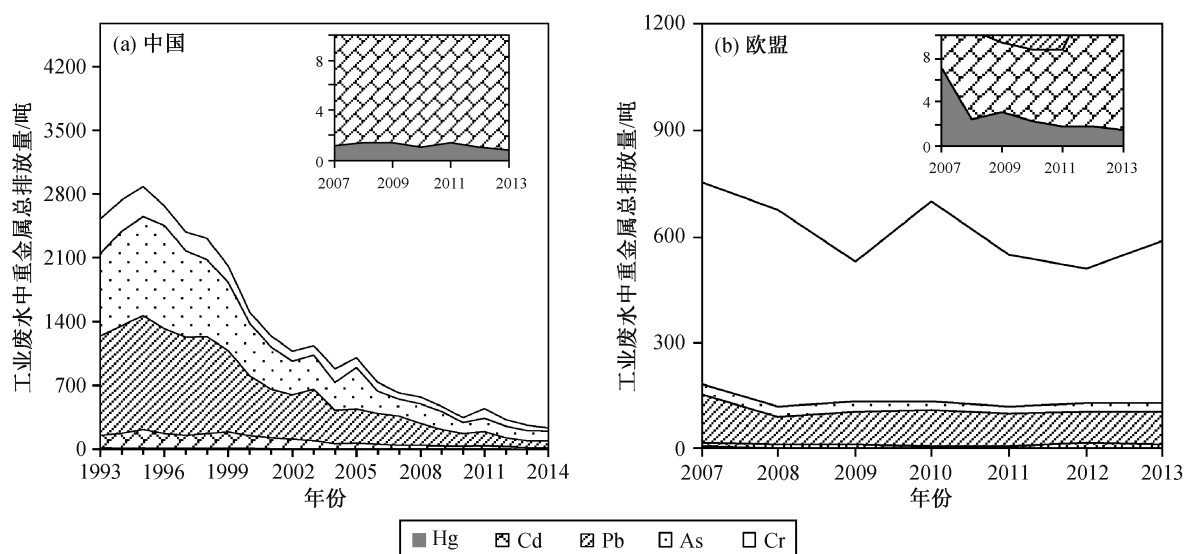


图 2 中国与欧盟工业废水中重金属排放量对比

Fig. 2 Comparison of heavy metal emissions in industrial wastewater in China (a) and EU (b)

放量下降 95.9%，铅排放量下降 93.4%，六价铬排放量下降 90.8%，镉排放量下降 87.4%，汞排放量下降 95.9%。

欧盟自 1975 年颁布第一条《有关饮用水水源地的 75/440/EEC 指令》<sup>[23]</sup>以来，发布关于水环境标准的指令近 20 条。尤其是 2000 年颁布的《欧盟水框架指令》，区别于传统水法，将河流、湖泊等水体作为整体进行管理，同时允许辖区内各国根据自身情况实行指令。2008 年，欧盟针对水体中部分重金属排放出台新的指令(2008/105/EC)，采用更严格的标准控制重金属排放<sup>[9-10]</sup>。与 2007 年相比，2013 年欧盟工业废水中砷、铅、铬、汞排放量分别下降 18.5%，36.1%，19.5%和 79.5%，汞的减排效果最显著(图 2(b))。由于采掘行业排放量大幅度增加，导致欧盟镉总排放量增加 73.2%。同期，中国砷、铅和镉的减排速率分别为 40.5%，76.8%和 54.5%，减排速率高于欧盟。对比 2013 年中国与欧盟工业废水重金属排放量可知，除铬外，中国工业

废水中砷、铅、镉和汞 4 种金属排放总量大于欧盟，其中铅排放量和汞排放量小于欧盟。中国金属产量(图 1)远远大于欧盟(如 2013 年中国主要金属产量大约是欧盟的 15 倍)，而重金属排放量仅稍高于欧盟。由此可见，中国工业废水中重金属污染物排放的控制效果十分显著。

### 2.2.2 工业废水中重金属排放的区域分布

#### 1) 中国工业废水中重金属排放的区域分布。

从全国来看，2000 年之前工业废水中重金属排放量较高，之后逐年减少。虽然各省重金属排放量都有减少趋势，但存在区域上的变化(图 3 和 4)。湖南一直是重金属排放的大省，而广西铅和汞排放量较大。砷排放量占全国总排放量的比例变化较大的省份有江苏、甘肃和江西，铅排放量占全国总排放量的比例变化较大的省份是甘肃，镉和汞排放量占全国总排放量的比例变化较大的省份有辽宁、甘肃和江西，六价铬的排放近些年有明显集中的趋势，主要集中在湖北、江西和浙江等省份。

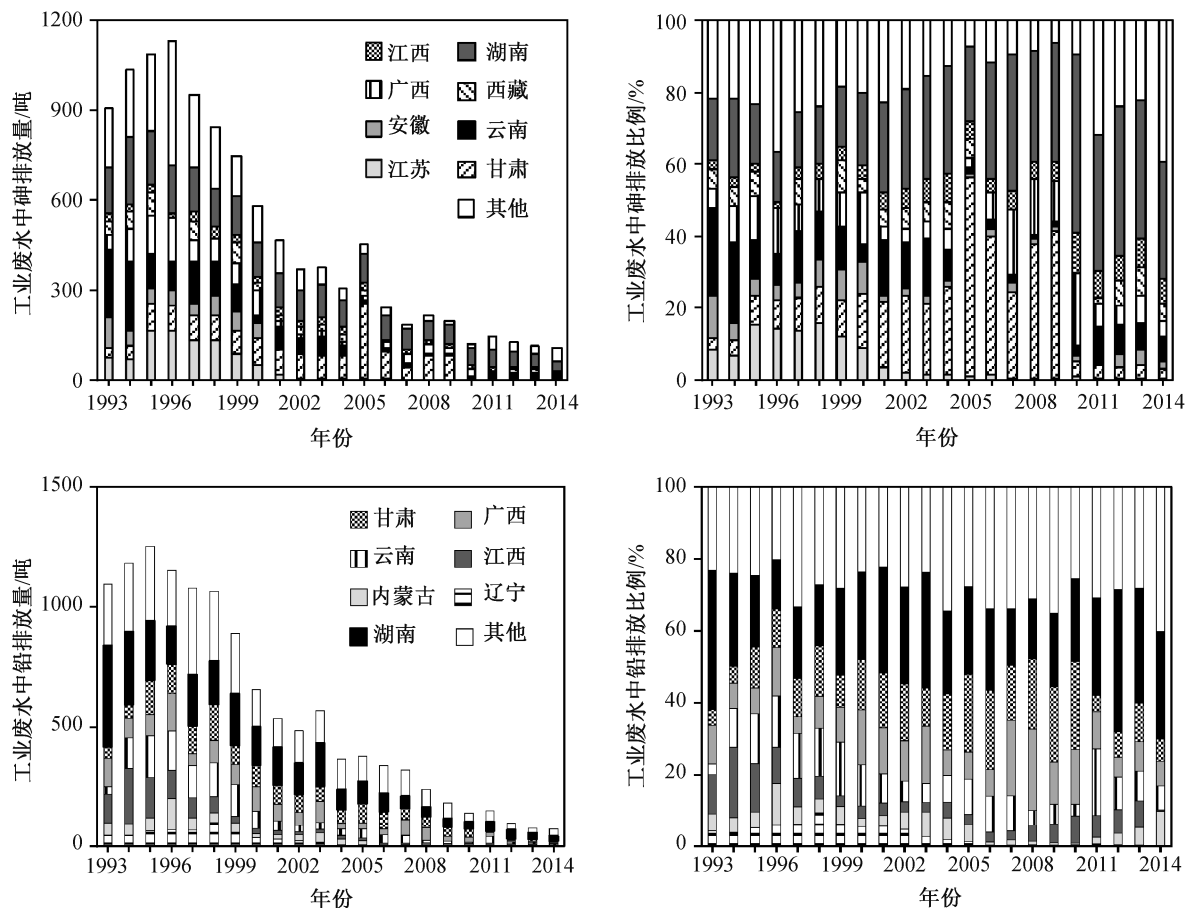


图 3 中国 1993—2014 年不同省份砷和铅重金属排放量

Fig. 3 Arsenic and lead emission in different provinces of China from 1993 to 2014

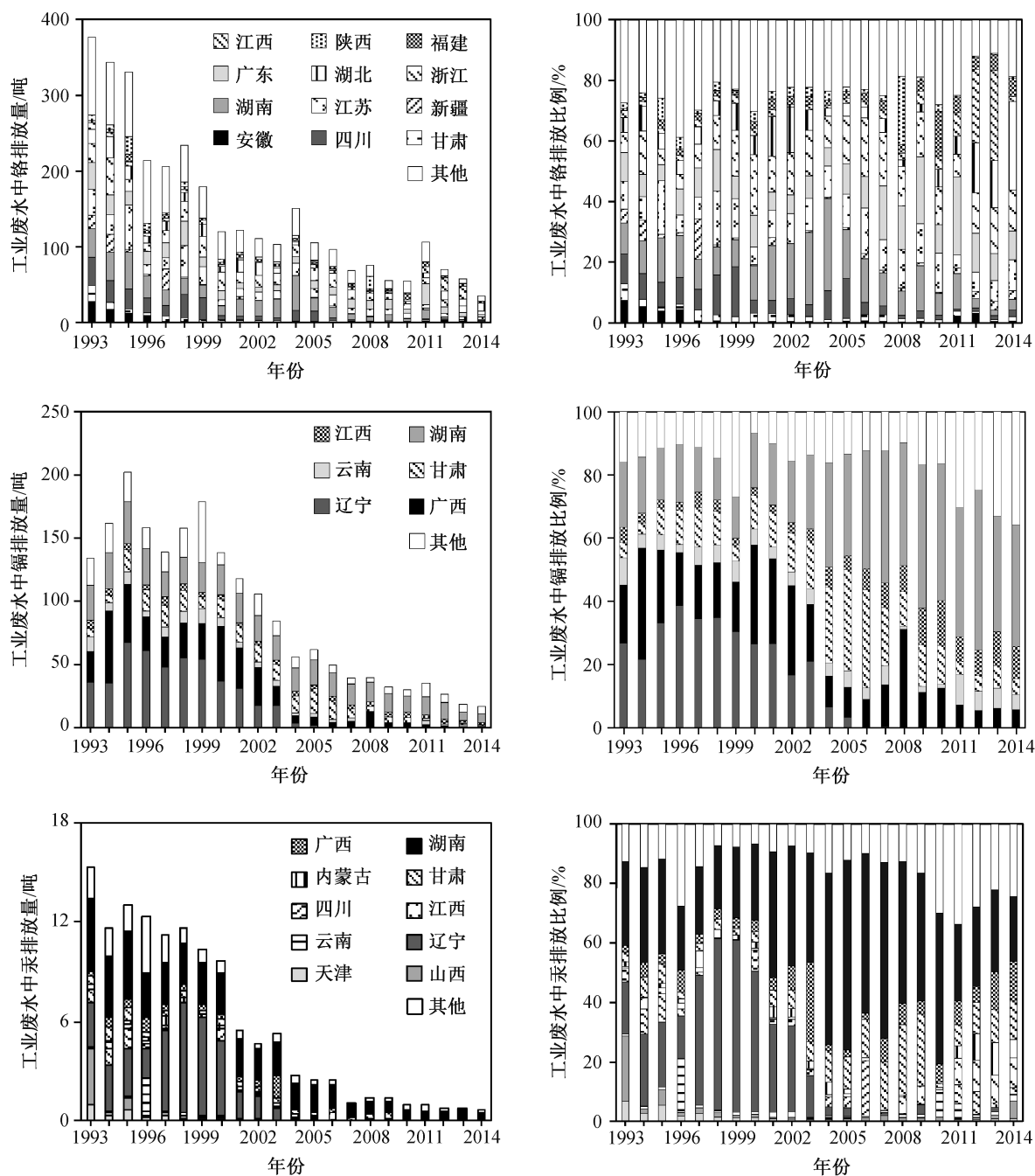


图 4 中国 1993—2014 年不同省份铬、镉和汞排放量

Fig. 4 Chromium, cadmium and mercury emission in different provinces of China from 1993 to 2014

1993—2014 年, 中国工业废水中砷排放的区域分布变化比较明显。1993—2000 年主要集中在湖南、江苏和云南等省份, 2001—2010 年主要集中在湖南、甘肃和广西等省份, 2011—2014 年主要集中在湖南、江西和广西等省份。湖南省砷排放量一直较高; 甘肃省 2001—2010 年砷排放量较高, 之后排

放量迅速减少; 云南省 2005—2010 年砷排放量迅速降低, 虽然 2011 年突然增加, 但之后仍是降低趋势。值得注意的是, 虽然西藏自治区砷排放量一直在降低, 但 2011 年之后其砷排放量占比与江西、广西和云南基本上相等, 这对生态环境相对脆弱的西藏自治区来说, 需要特别注意<sup>[24]</sup>。

中国工业废水中镉排放量的区域分布相对稳定,主要排放大省是湖南,其次是广西和甘肃;辽宁 1993—2003 年镉排放量较大,占全国总排放量的 20%~40%,但 2006 年之后降到较低水平。湖南工业废水中镉排放量占全国总排放量的比例自 2000 年起不断增加,在 2012 年达到最高值,占全国总排放量的 50%以上;广西自 2000 年起铅排放量占全国总排放量的比例不断下降,但在 2008 年突然增加,之后继续下降;甘肃 1993—2006 年铅排放量占全国总排放量的比例不断上升,之后下降;江西 2007—2014 年铅排放量占全国总排放量的比例保持在 10%左右。

1993—2014 年,中国工业废水中汞排量的区域分布变化较大,但是湖南一直位居全国第一(个别年份除外),这是由于湖南省涉汞企业较多<sup>[25]</sup>。山

西汞排放量自 1993 年起下降较快;辽宁汞排放量 1993—1999 年不断上升,占全国总排放量的比例更是从 16.5%升至 54.6%,但之后不断下降;甘肃汞排放量占全国总排放量的比例在 2009 年达到最高值 24.2%,之后下降,但依然位居全国前三;广西汞排放量占全国总排放量的比例上升比较缓慢,2014 年位居全国第二。值得注意的是内蒙古自治区,2007—2014 年汞排放量占全国总排放量的比例从 0.1%升至 6.3%。

从流域来看,中国工业废水中重金属排放主要集中在长江流域(图 5 和 6),2011—2014 年长江流域的排放量占总排放量的 50%以上,其次是黄河和珠江流域。除铬排放量呈逐年降低趋势(2008 年黄河流域铬排放量占全国总排放量的比例为 24.8%)外,2001—2005 年黄河流域砷和镉排放量占全国总

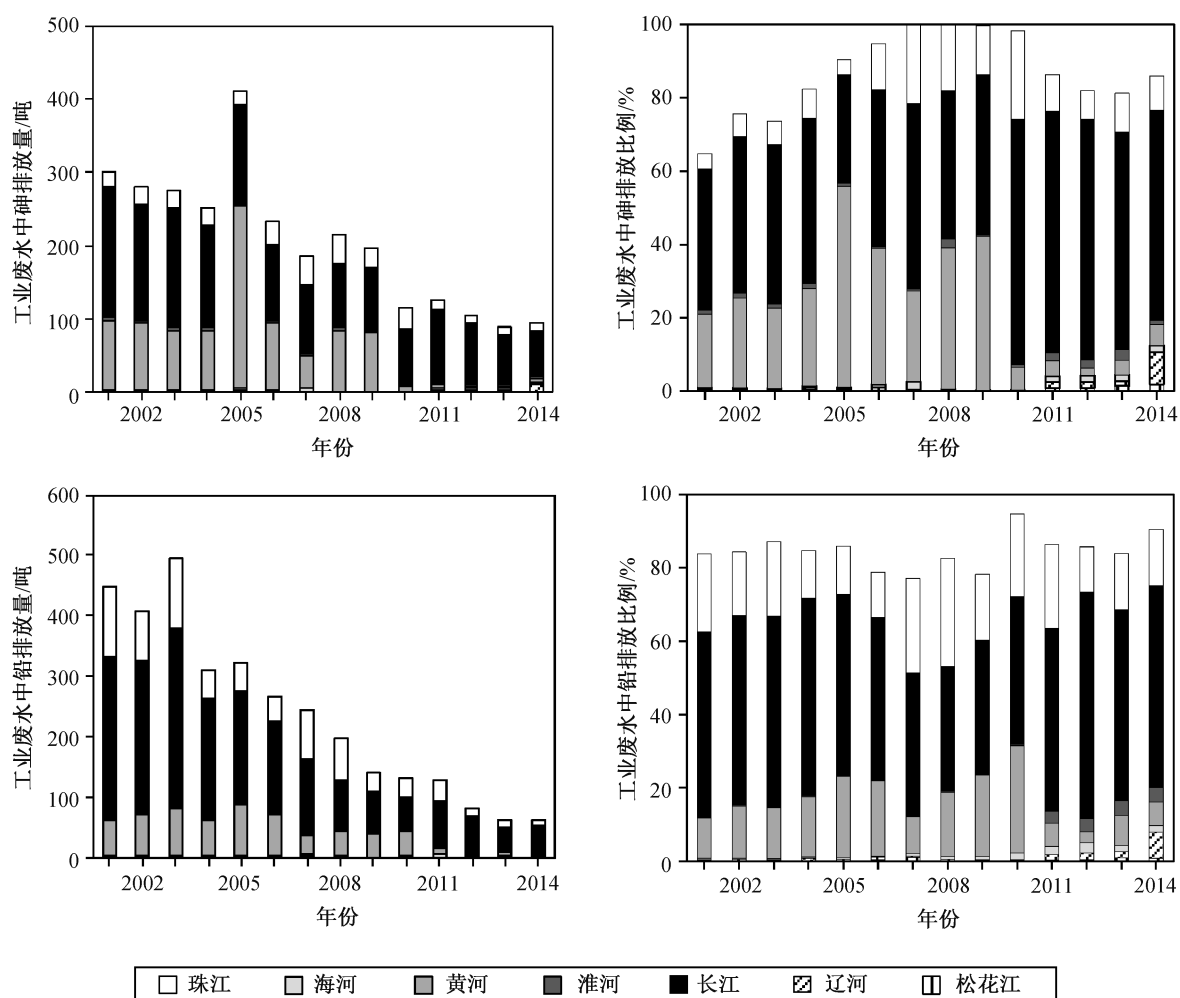


图 5 中国 1993—2014 年不同流域砷和铅排放量

Fig. 5 Arsenic and lead emission in different river basins of China from 1993 to 2014

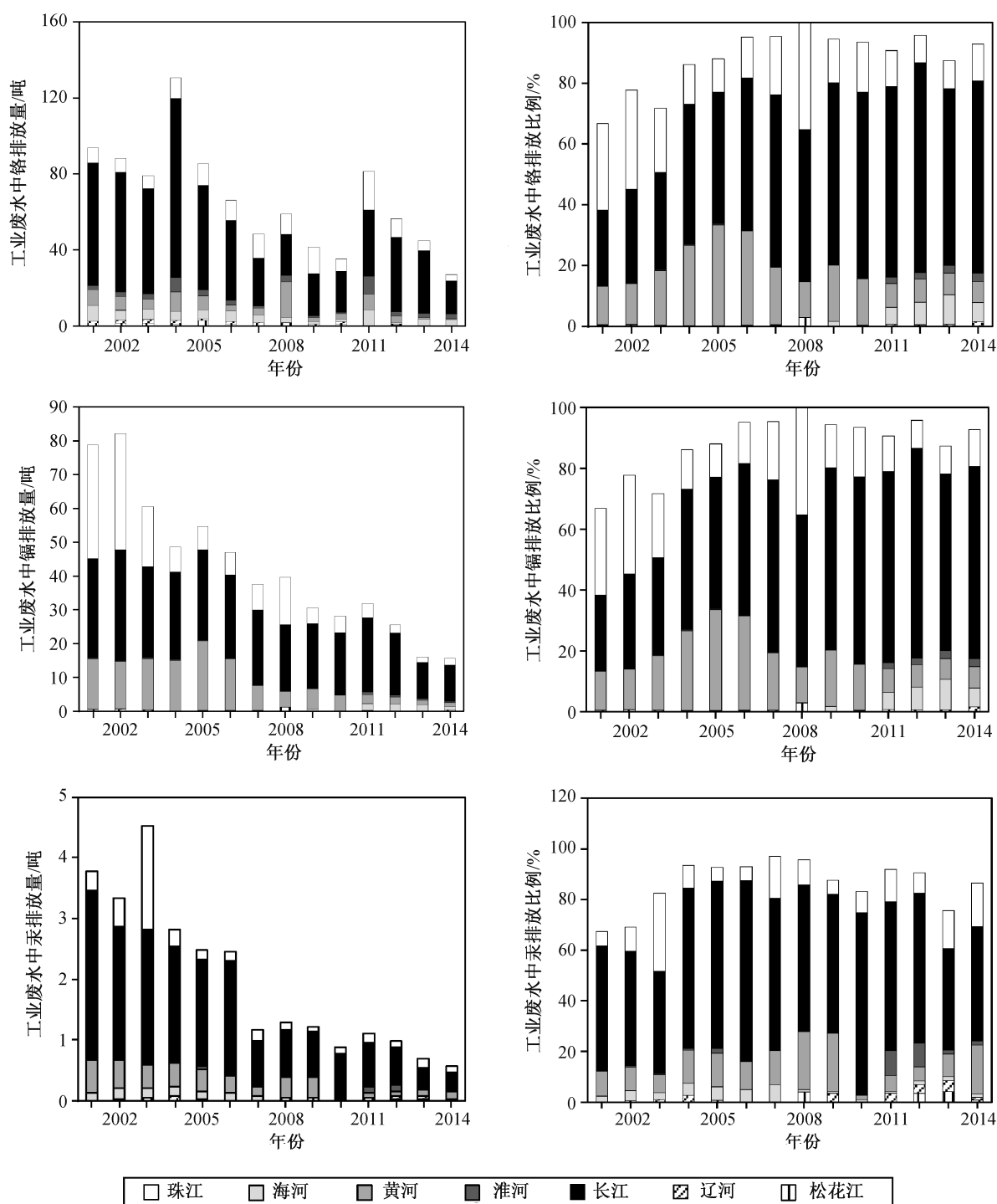


图 6 中国 1993—2014 年不同流域铬、镉、汞排放量

Fig. 6 Chromium, cadmium and mercury emission in different river basins of China from 1993 to 2014

排放量的比例逐渐升高, 2005 年分别达到 54.8% 和 33.2%, 但是 2010 年后显著降低。2001—2010 年黄河流域铅排放量占全国总排放量的比例逐渐升高, 2010 年高达 29.3%。珠江流域铅、铬和镉的排放量

相对较高。海河流域的镉排放量以及辽河流域的砷和铅排放量 2010 年之后逐渐升高。淮河和松花江流域重金属排放量较少。

2) 欧盟工业废水中重金属排放的区域分布。



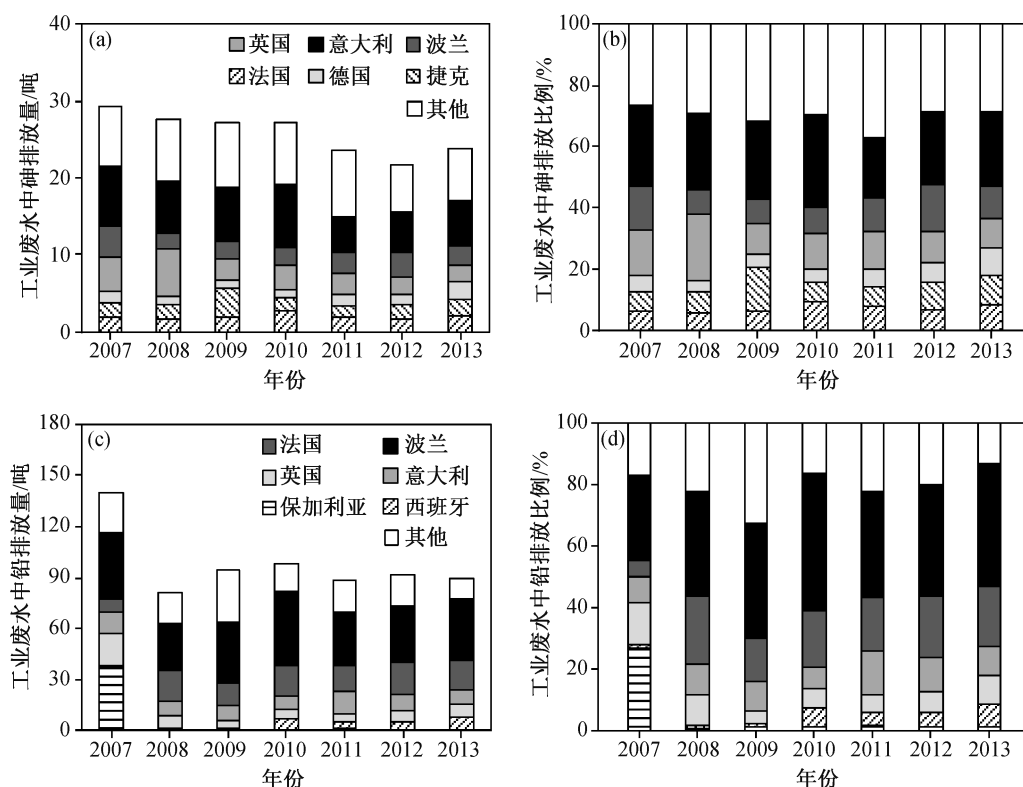


图7 2007—2013年欧盟不同区域砷和铅排放情况对比

Fig. 7 Arsenic and lead emission comparison of areas in EU from 2007 to 2013

欧盟虽然有 27 个成员国,但重金属排放集中在某几个国家,且 2007—2013 年重金属排放的区域分布变化较小(图 7 和 8)。2007—2013 年意大利工业废水中砷排放相对较多(图 7(a)和(b)),是欧盟砷总排放量的 20%~30%;其次是英国、波兰、捷克、法国和德国。与砷排放类似,欧盟工业废水中铅和铬排放量的区域分布变化也较小(图 7(c)和(d),图 8(a)和(b))。铅排放量最大的是波兰,占欧盟总排放量的 30%~40%;其次是法国、意大利和英国;保加利亚只有 2007 年铅排放量较大,占欧盟总排放量的 26.8%,之后排放量迅速减少,从 2007 年的 37.4 吨减至 2013 年的 0.65 吨。欧盟工业废水中铬排放主要集中在法国,2007—2013 年占欧盟总排放量的 70%以上。

2007—2013 年欧盟工业废水中镉和汞排放的区域分布变化相对较大(图 8(c)~(f)),镉和汞也是欧盟重点控制的两种重金属。2007 年镉和汞排放主要在意大利;2013 年则主要在波兰,其排放量占欧盟总排放量的近 70%。意大利的镉排放量在 2011 年达到最大值后迅速下降;法国和西班牙的镉排放

量在 2012 年达到最大值后迅速降低;保加利亚只在 2009 年汞排放较大,占欧盟总排放量的 42%。在镉控制方面,欧盟 2008 年颁布 2008/105/EC 指令<sup>[26]</sup>替代之前的 83/513/EEC 指令<sup>[27]</sup>,并规定按照不同水体质量限定镉的年平均排放浓度(最大值为 1.5  $\mu\text{g/L}$ )。波兰曾因环保工作不到位而被欧盟法院起诉,体现了欧盟对其成员国环境保护的监管。在汞控制方面,意大利凭借完善的环境监测网,依据当地实际情况,因地制宜地制定了不同地区的环境政策<sup>[28]</sup>,使得意大利汞排放消减比例高达 97.6%。

### 2.2.3 工业废水中重金属排放的行业分布对比

依照《环境统计年鉴》的行业划分方式,中国主要行业包括采掘(包括有色金属矿采选、黑色金属矿采选、非金属矿采选、煤炭开采和采选)、有色金属冶炼(有色金属冶炼及压延加工)、黑色金属冶炼(黑色金属冶炼及压延加工)、金属制品(金属产品制造)、汽车制造、化工(包括化学原料和化学制品制造)、皮革(皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋)、机械制造(机械、电气、电子设备制造)和电子设备制造(计算机、通信和其他电子设备制造)。依

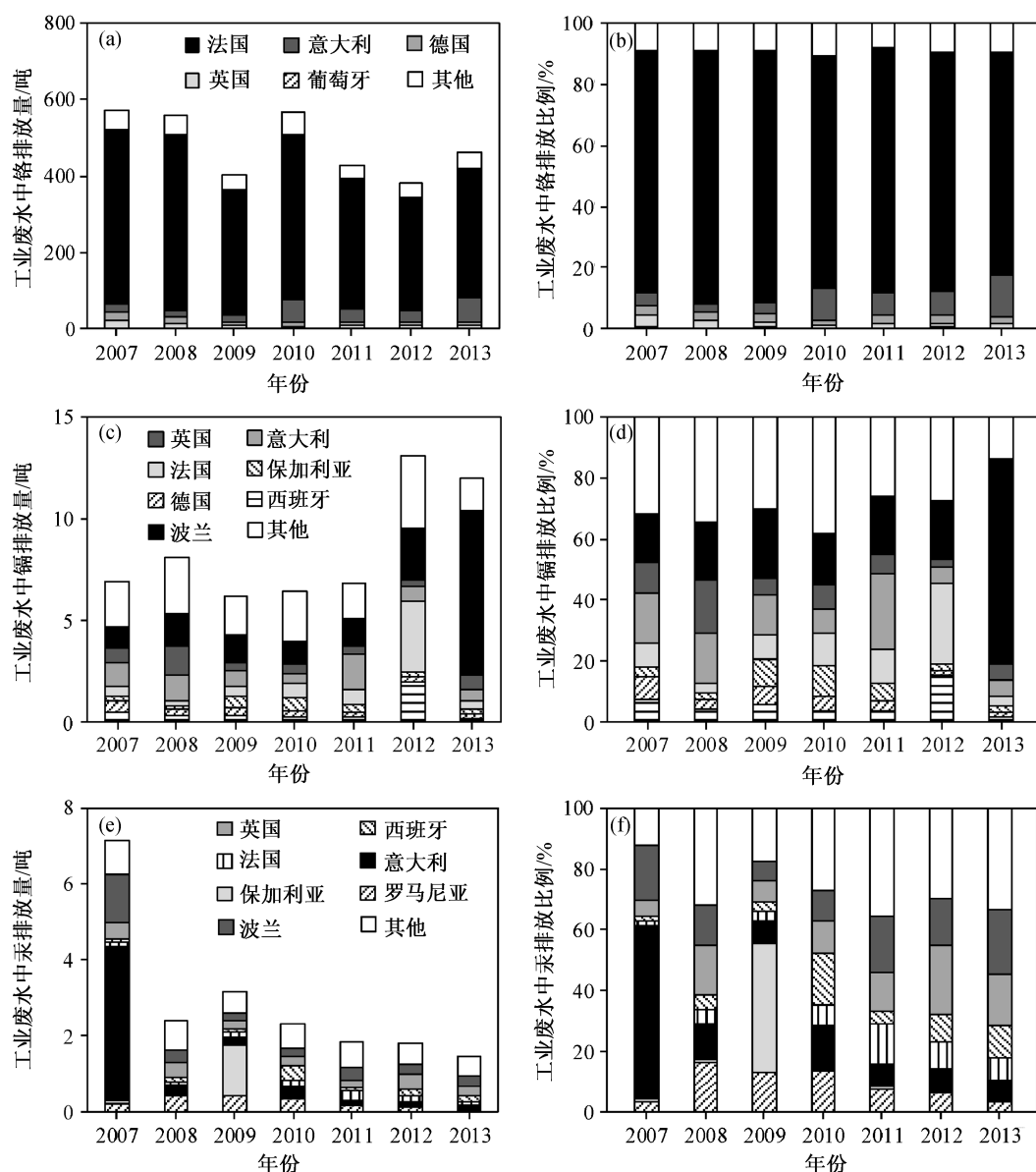


图 8 2007—2013 年欧盟不同区域铬、镉和汞排放量对比

Fig. 8 Chromium, cadmium and mercury emission comparison of areas in EU from 2007 to 2013

照 E-PRTR, 欧盟行业主要划分为能源行业(energy sector)、化工业(chemical industry)、采掘业(mineral industry)、金属冶炼业(production and processing of metals)、造纸和木材生产加工业(paper and wood production processing)以及食品加工业(animal and vegetable products from the food & beverage sector)。

#### 1) 中国工业废水中重金属排放的行业分布。

总体来看, 中国工业废水中砷、铅和镉排放的行业分布相对集中, 且随时间的变化也相对较小。1993—2014 年, 工业废水中砷排放集中在化工、采

掘和有色金属冶炼行业, 化工行业砷排放量所占比例相对稳定, 略有降低趋势(图 9(a)和(b))。采掘业砷排放量所占比例先逐年减小, 2007 年起明显增加, 2010 年又开始下降。1993—2006 年, 有色金属冶炼行业砷排放量所占比例逐渐增加, 2007 年迅速降低, 之后稳中略有增加。

1993—2014 年, 工业废水中铅排放集中在有色金属冶炼和采掘业, 其次是化工行业(图 9(c)和(d))。1993—2003 年, 有色金属行业铅排放量一直较高(30~100 吨/年), 2004 年开始明显降低。化工行业铅

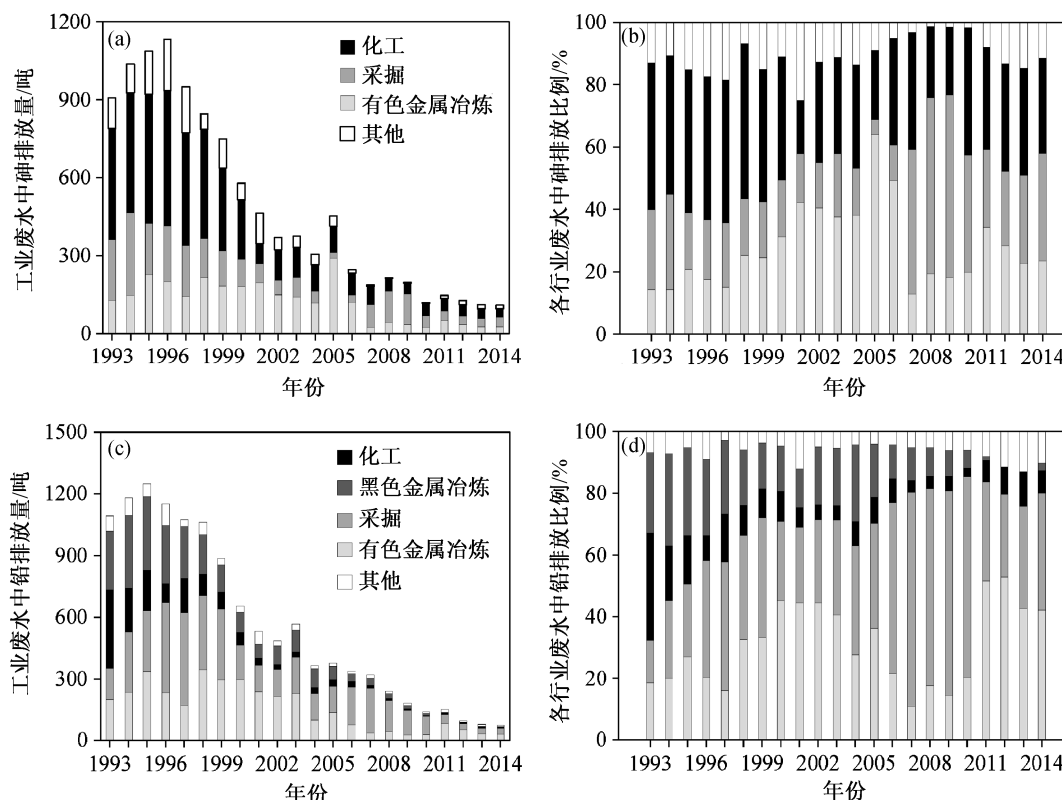


图9 中国1993—2014年不同行业砷、铅排放情况对比

Fig. 9 Arsenic and lead emission in different sectors of China from 1993 to 2014

排放量逐年降低,但所占比例相对稳定,除个别年份外,基本上在10%以内。黑色金属冶炼业铅排放量逐年降低,2012年颁布《钢铁工业水污染物排放标准》(GB 13456—2012)后,基本上不排放铅。

工业废水中六价铬排放的行业分布比较分散,且随时间变化较大。1993—2000年,工业废水中六价铬排放集中在金属产品制造业和皮革业(图10(a)和(b)),其次是黑色金属冶炼和机械制造。2001年后,化工行业排放比例不断下降,机械制造业排放接近零,金属产品制造业排放比例继续增加,2012年达到最高值64%,皮革行业2014年排放量下降至1.7吨。2012年起,汽车业的排放比例不断增加。

与其他金属排放不同,工业废水中镉排放行业分布相对集中。有色金属冶炼一直是中国工业废水中镉排放的主要行业,占总排放量的40%~80%(图10(c)和(d))。其次是采掘和化工行业,其中化工行业镉排放量逐年减少,但所占比例相对稳定,采掘业镉排放量和所占比例均变动较大。与镉排放类似,有色金属冶炼是工业废水中汞排放的主要行业,其次

是化工行业和采掘业(图10(e)和(f))。与镉排放不同的是,不同行业汞排放量所占比例随时间变动较大。

## 2) 欧盟工业废水中重金属排放的行业分布。

2007—2013年,欧盟不同重金属排放的行业分布较稳定,且集中在几个主要行业。工业废水中砷和汞排放集中在能源和化工行业(图11(a)和(b),图12(e)和(f)),其次是金属冶炼和采掘业。工业废水中砷排放量在化工行业相对较稳定,2007—2011年保持在5.0~5.6吨/年,2012—2013有增加趋势,超过6.0吨/年。采掘业砷排放比例有逐年减少趋势。工业废水中汞排放比例在能源行业从63%降至25%,化工行业则逐渐上升(2008年排放比例急剧升至63%)。目前,欧盟关于工业废水中砷的排放标准一直采用1976年发布的《危险物质指令》(76/464/EEC)<sup>[29]</sup>;对于汞,2008年颁布2008/105/EC指令替代原有的关于汞排放的指令,要求欧盟水体中汞年平均排放浓度小于0.05 μg/L。

与砷排放相比,欧盟工业废水中铅排放的行业分布更集中(图11(c)和(d)),主要是金属冶炼和采掘

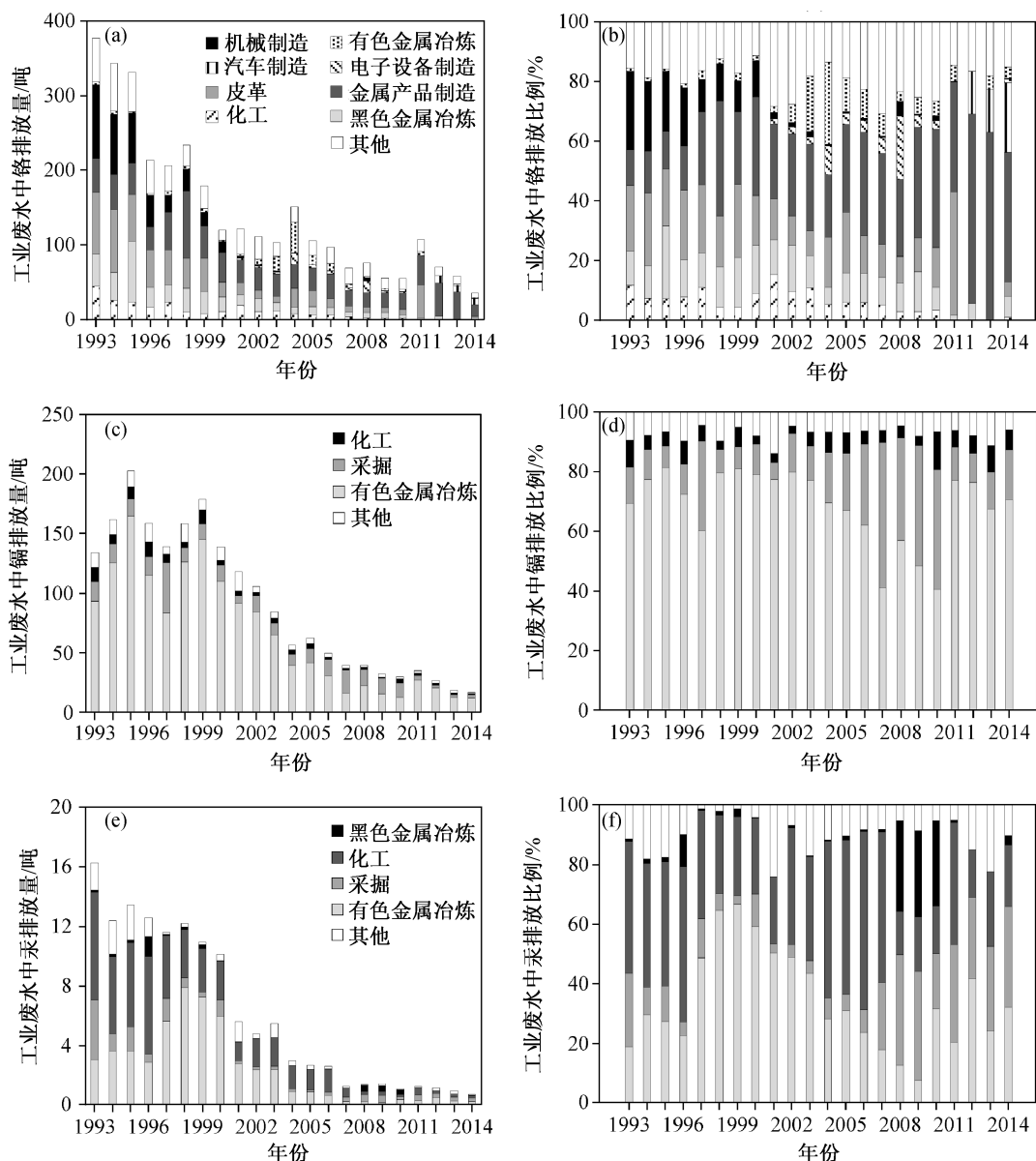


图 10 中国 1993—2014 年不同行业铬、镉、汞排放情况对比

Fig. 10 Chromium, cadmium and mercury emission in different sectors of China from 1993 to 2014

业,这两个行业铅排放量占总排放量的 70%以上。采掘业铅排放量居 2013 年欧盟铅排放量的首位,与 2007 年相比,排放量下降 7.5%,低于整体减排水平;2013 年金属冶炼行业铅的减排效果显著。与金属冶炼业相比,2007—2013 年欧盟主要矿石总产量(包括铁、铜、铅、锌矿石)上升 19.1%,这也是导致采掘业废水中铅排放量比例增加的原因之一。

2007—2013 年,欧盟工业废水中的铬排放集中在金属冶炼业(图 12(a)和(b)),铬排放量占排放总量的 70%以上,其次是化工行业。

2007—2013 年,欧盟工业废水中的镉排放集中在金属冶炼、能源、采掘、造纸和化工行业,这四大行业的镉排放量占排放总量的 97%以上(图 12(c)和(d))。2007—2011 年,各行业镉排放量相对较稳定,能源和金属冶炼业排放量相对较大。2012—2013 年,镉排放总量明显增加,其中 2012 年主要是能源、化工和采矿 3 个行业排放量增加。2013 年采掘行业排放量突然变大,且集中在波兰(图 8(c)),其他行业镉排放量都减少。与欧盟同期相比,中国采掘行业减排效果显著(图 9(c)和图 12(c))。

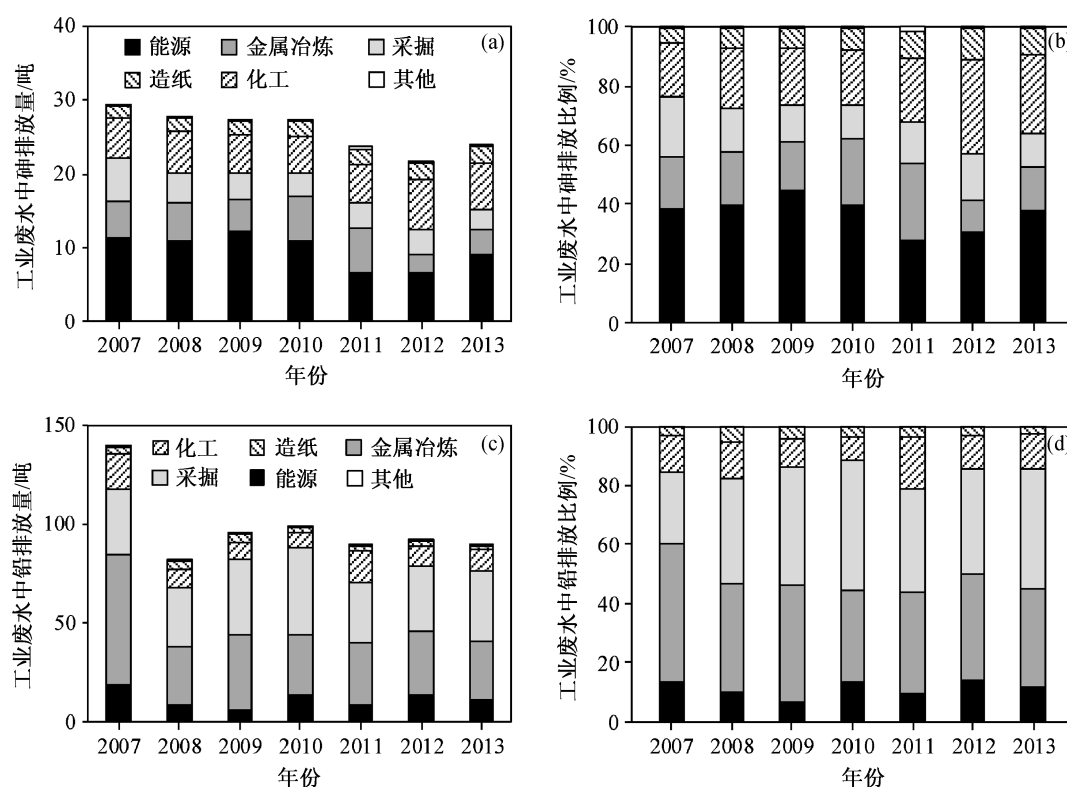


图 11 欧盟 2007—2013 年不同行业砷、铅排放情况对比

Fig. 11 Arsenic and lead emission comparison of sectors in EU from 2007 to 2013

### 3 结语

本文分析了 1993—2014 年中欧金属产量变化以及中国 1993—2014 年与欧盟 2007—2013 年工业废水中重金属排放的区域和行业分布,得出以下主要结论。

1) 1993—2014 年,中国金属产量持续增加,特别是 2004 年之后增产迅速,但工业废水中的重金属总排放量整体上在 1993—1995 年出现短期上升后快速下降,而欧盟 1993—2014 年多种金属产量变化不大。除镉外,2007—2013 年欧盟工业废水中的砷、铅、铬和汞排放量均下降,但砷、铅和镉的减排速率低于中国同期。

2) 1993—2014 年,中国工业废水中铅和镉排放的区域分布变化较小,砷、铬和汞排放的区域分布变化较大。湖南一直是重金属排放的大省,广西铅和汞的排放量较大。砷排放比例变化较大的省份有江苏、甘肃和江西,铅排放比例变化较大的省份有甘肃。镉和汞排放比例变化较大的省份有辽宁、甘肃和江西。六价铬的排放近年有明显集中的趋

势,主要分布在湖北、江西和浙江等省份。2007—2013 年,欧盟工业废水中砷、铅和铬排放的区域分布变化相对较小,集中在意大利(砷)、波兰(铅)和法国(铬);镉和汞的主要排放区域从意大利移到波兰。

3) 中国工业废水中砷、铅和镉排放的行业分布相对集中,随时间的变化也相对较小。砷排放集中在化工、采掘和有色金属冶炼行业;铅排放集中在有色金属冶炼和采掘业,其次是化工行业;镉排放主要是有色金属冶炼,其次是采掘和化工行业;汞排放行业分布与镉相似,但不同行业汞排放量所占比例随时间变动较大;六价铬排放行业分布比较分散,且随时间变化较大。

与金属产量快速增长的中国相比,欧盟金属产量一直相对稳定,重金属排放的区域和行业分布也都相对集中。中国重金属排放总量的减少体现了中国控制重金属污染一系列政策的实施成效,但重金属排放的区域和行业转移也使中国重金属污染控制面临新的挑战。

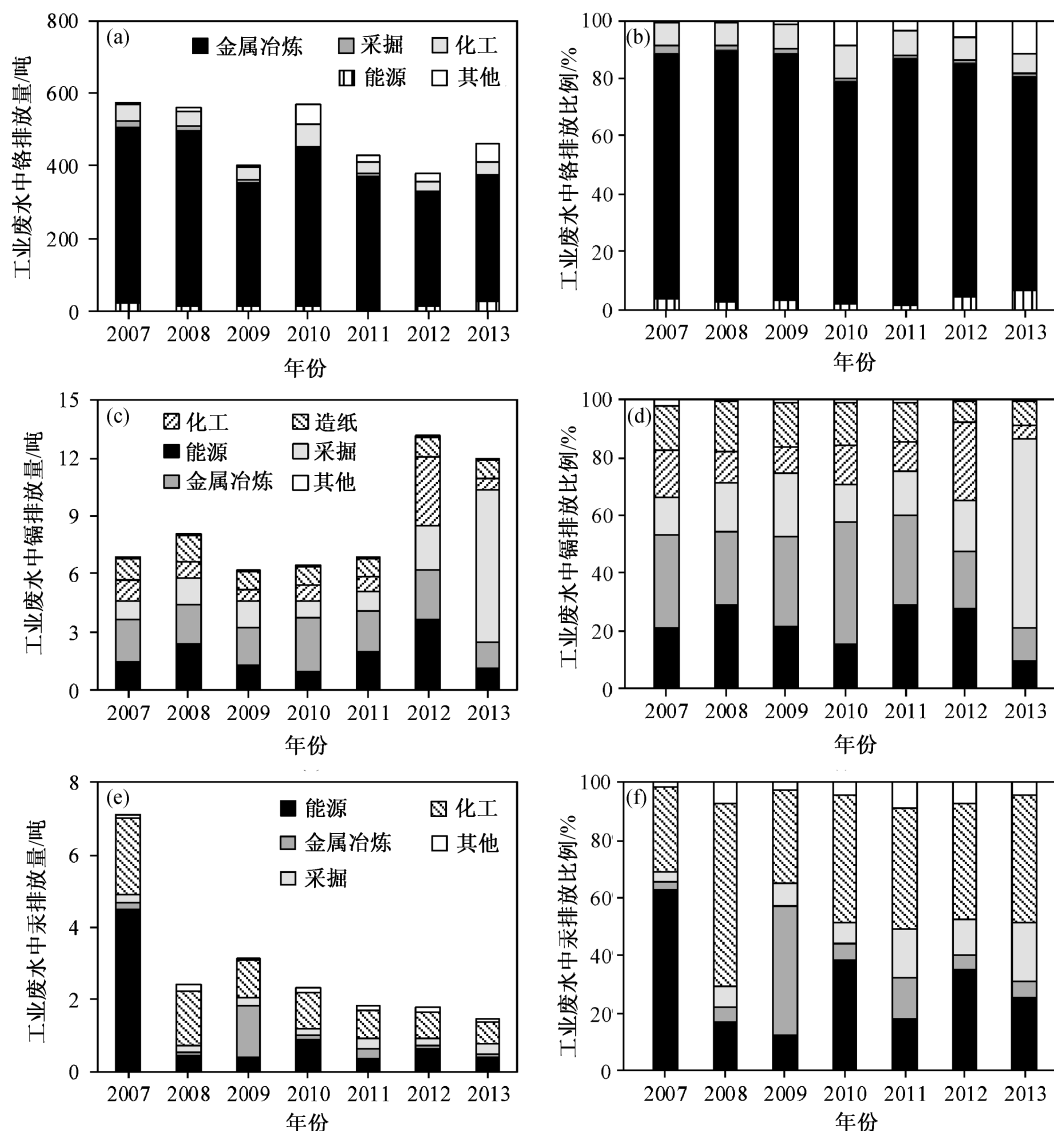


图 12 欧盟 2007—2013 年不同行业铬、镉、汞排放情况对比

Fig. 12 Chromium, cadmium and mercury emission comparison of sectors in EU from 2007 to 2013

### 参考文献

- [1] 傅国伟. 中国水土重金属污染的防治对策. 中国环境科学, 2012, 32(2): 373-376
- [2] 中华人民共和国财政部经济建设司. 2014 年重金属污染防治专项资金支出预算公示[EB/OL]. (2014-10-29) [2016-02-21]. [http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/tongzhigonggao/201410/t20141028\\_1154704.html](http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/tongzhigonggao/201410/t20141028_1154704.html)
- [3] 吴文俊, 蒋洪强. 中国工业废水重金属排放的等标负荷特征分析. 环境科学与技术, 2012, 35(11): 180-185
- [4] 陈炳辉, 韦慧晓, 周永章. 粤北大宝山多金属矿山的生态环境污染原因及治理途径. 中国矿业, 2006, 15(6): 40-42
- [5] 陈桂秋, 曾光明, 袁兴中, 等. 治理重金属污染河流底泥的生物淋滤技术. 生态学杂志, 2008, 27(4): 639-644
- [6] 刘成, 邵世光, 范成新, 等. 巢湖重污染汇流湾区沉积物重金属污染特征及风险评价. 中国环境科学, 2014, 34(4): 1031-1037
- [7] 张建伟, 魏金春. 重金属污染防治立法论纲. 环境与可持续发展, 2014, 39(1): 60-62
- [8] 孙宁, 卢然, 赵云皓, 等. 重金属污染重点防控区综合防控模式与政策分析. 环境与可持续发展, 2015, 40(2): 33-36

- [9] 徐珍, 郭小品, 丁怀, 等. 欧盟重金属污染防治制度研究. 环境污染与防治, 2014, 36(8): 102-110
- [10] 李芸, 张明顺. 欧盟环境政策现状及对中国环境政策发展的启示. 环境与可持续发展, 2015, 40(4): 22-26
- [11] Snape R H. Effects of mineral development on the economy. Australian Journal of Agricultural Economics, 1977, 21(3): 147-156
- [12] Tilton J E. Mineral wealth and economic development: resources for the future. Resources Policy, 1993, 19(1): 81-82
- [13] 李文光. 中国西部地区矿产资源概况. 吉林地质, 2002, 21(3): 106-112
- [14] 段绍甫, 郭敏. 2013 年中国有色金属矿业运行概况. 中国矿业, 2014, 23(2): 5-7
- [15] 张寿荣, 毕学工. 中国炼铁过去, 现在与展望. 炼铁, 2015, 34(5): 1-6
- [16] 赫荣亮. 近期铁矿石价格震荡筑底. 中国金属通报, 2011, 48: 30-31
- [17] 周平. 新常态下中国铜资源供需前景分析与预测 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015: 1-15
- [18] 方彰训. 中国锌工业的发展与思考. 世界有色金属, 1999(6): 20-21
- [19] 徐传华. 铅在现代工业中的应用. 矿冶, 1995, 4(3): 127-130
- [20] 姜永刚, 彭涛. 铅锌工业喜中有忧. 中国有色金属, 2014(9): 75-77
- [21] 程春艳. 经济转型背景下中国铝产业发展战略研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013: 30-35
- [22] Järup L. Hazards of heavy metal contamination. British Medical Bulletin, 2003, 68(1): 167-182
- [23] European Council. Council directive 75/440/EEC of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the member states [EB/OL]. (1975-07-25) [2016-05-08]. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:31975L0440>
- [24] 沈镭, 高丽. 中国西部能源及矿业开发与环境保护协调发展研究. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(10): 17-23
- [25] 彭庆庆, 罗岳平, 邢宏霖, 等. 湖南省涉汞行业汞污染现状及防治监管对策. 中国环境监测, 2014, 30(2): 67-69
- [26] European Council. Directive 2008/105/EC of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy [EB/OL]. (2008-12-24) [2016-05-08]. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:348:0084:0097:en:PDF>
- [27] European Council. Council directive 83/513/EEC of 26 September 1983 on limit values and quality objectives for cadmium discharges (daughter to 2006/11/EC) [EB/OL]. (1983-09-26) [2016-05-08]. <http://rod.eionet.europa.eu/instruments/531>
- [28] 李剑英, 任海静. 意大利水体环境保护先进经验与借鉴(一)水体环境质量监控与管理. 建设科技, 2012(16): 69-70
- [29] European Council. Council directive 76/464/EEC of 4 May 1976 on pollution caused by certain dangerous substances discharged into the aquatic environment of the Community [EB/OL]. (1976-05-18) [2016-05-08]. [http://ec.europa.eu/environment/water/water-dangersub/lib\\_dang\\_substances.htm](http://ec.europa.eu/environment/water/water-dangersub/lib_dang_substances.htm)