重金属有效态环境过程及效应

【获奖等级】 理论成果奖二等奖

【任务来源】 国家科技计划项目、其他项目

【起止时间】 2016 年 1 月～2021 年 1 月

【完成单位】 中国水利水电科学研究院

【主要完成人】 高　博、吴文强、高继军、徐东昱、万晓红、高　丽、李艳艳、刘晓茹、张盼伟、李　昆、赵晓辉、李　昂

一、研究背景

重金属是环境中的重要污染物之一，具有三致作用（致癌、致畸、致突变）、在环境中难以降解并会随食物链富集，被称为“生物定时炸弹”。目前我国重金属污染问题严峻。据统计，我国土壤污染总超标率为 16.1%，其中珠江三角洲土壤重金属超标率达到了 40%，我国受重金属污染的耕地约有 1.5 亿亩，占总耕地面积的 20%左右。2003 年全国湖库底泥污染状况调查显示，全国湖库沉积物 906 个监测断面中，有 46.4%的断面重金属含量超标。环境中重金属污染问题备受国家、社会和科学界的关注。目前，我国颁布的各项环境标准中均包含了重金属指标，我国地表水环境质量标准（GB3838-2002）中 24 项基本评价指标中有 8 项涉及重金属元素。

目前，针对环境中重金属污染物研究理论体系（时空分布、迁移转化、评价标准及源解析等）大多基于重金属总浓度的异位

监测研究。然而，重金属在环境中的迁移性和生物有效性主要取决于其化学形态而非简单的总浓度。传统异位研究过程中重金属的形态会发生改变，无法真实反映环境中重金属元素的迁移性和生物有效性，进而导致对重金属污染物环境行为和生态风险的误判。依托多项国家自然科学基金及中国水科院“三型人才”~基础型研究计划项目的支持，本研究围绕“重金属有效态环境过程及效应”，开展了基于重金属有效态的环境中多介质时空分布格局及生态风险评价、多界面迁移转化动力学过程及驱动机制及“陆~库~河~海”多系统传输通量等研究，并在此基础上提出了原位价态概念及方法框架。本理论成果可以为我国重金属生态环境风险评估及防控提供理论和技术支撑。

二、主要内容

1、针对重金属有效态浓度评价体系的缺失问题，原位高分辨探究了重金属在沉积物剖面固相~孔隙水~上覆水及土壤固相~孔隙水系统中的空间分布格局、迁移转化规律及影响因素，构建了环境介质中（水体、土壤、沉积物）重金属有效态生态风险评价体系，实现了对重金属有效态生态环境风险的精准评估。相关成果发表在环境科学领域高质量 SCI 期刊 Science of the Total Environment、Environmental Pollution、Chemosphere 等。

2、突破了以总浓度为基础的传统研究体系，基于 DGT 原位采样技术，阐明了土壤/沉积物固相~液相体系重金属有效态的释放~再供给动力学过程及驱动机制，并进一步量化了流域尺度重金属有效态在“陆~库~河~海”系统的传输，丰富了重金属在环

境地球化学领域理论研究。相关成果发表在水文、环境科学、土壤科学高质量 SCI 期刊 Journal of Hydrology、Geoderma、Science of the Total Environment 等。

3、针对多价态痕量有毒元素（Cr、As、Sb 等），提出了重金属元素的“原位价态”概念，构建了基于原位采样技术与高效液相色谱~电感耦合等离子体质谱联用（DGT-HPLC-ICP-MS）相结合的原位价态方法框架及铬形态分析技术，丰富了重金属环境效应研究理论体系。研究成果在环境科学领域高质量 SCI 期刊 Science of the Total Environment 中连续发表学术论文 3 篇，并牵头制定铬形态分析标准 1 项，推动了国内外相关学科的发展。

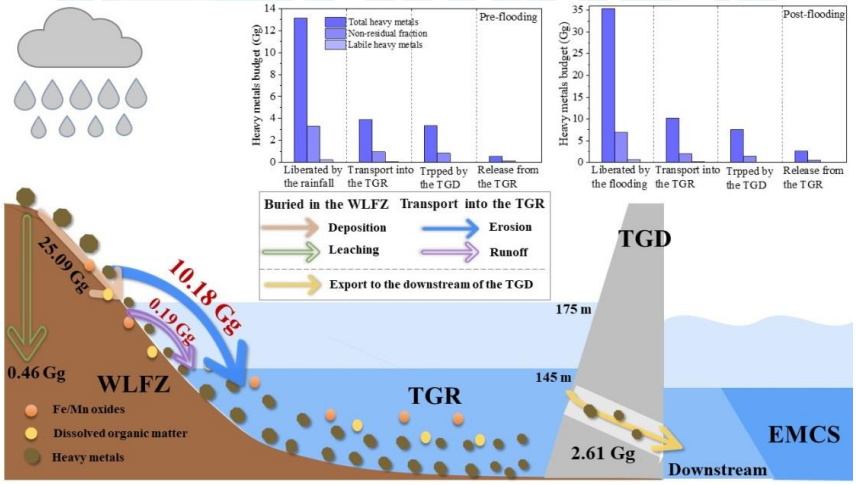

图 1 不同水文情势下重金属的传输通量及归趋

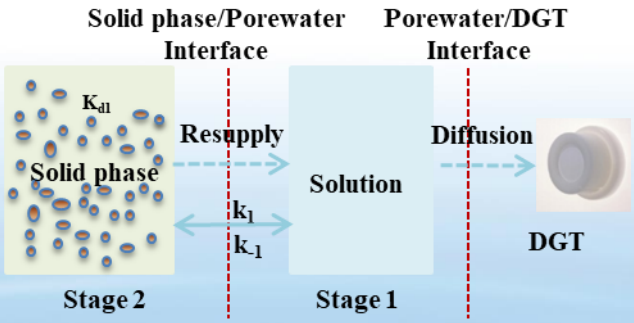

图 2 土壤/沉积物固相~液相~DGT 系统原位价态重金属的动力学过程

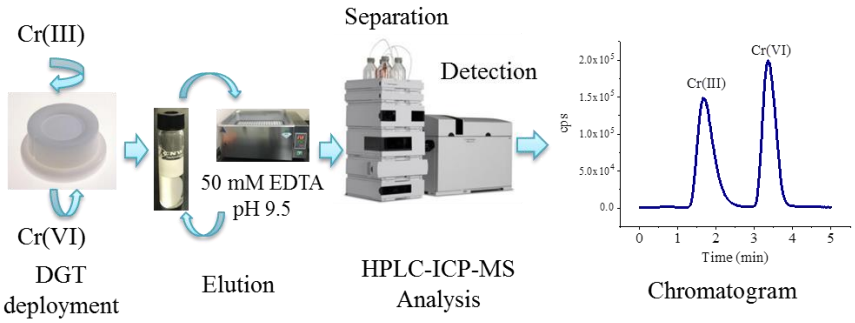

图 3 结合 DGT 和 HPLC-ICP-MS 同时测定 Cr(III)和 Cr(VI)

三、创新点

1、揭示了重金属有效态在环境多介质中的时空分布格局，发现深大水库沉积物剖面存在“热点”释放现象，形成了新认知，并建立了重金属有效态生态风险评估体系，为科学评估环境多介质中重金属的生态环境风险提供了方法依据。

2、阐明了环境中多界面重金属有效态的动力学过程及驱动机制，量化了流域尺度重金属有效态在“陆~库~河~海”系统的传输，实现了重金属从总浓度深入到有效态浓度的精细化研究。

3、提出了重金属元素的“原位价态”概念，构建了重金属原位价态分析方法框架，推动了水环境中原位价态分析技术研究领域的发展，为进一步开展重金属污染物环境行为及生态效应研究提供了新思路与技术支撑。