

文章编号: 0451-0712(2007)03-0147-05

中图分类号: X53; U419.1

文献标识码: A

# 岩溶地区公路路侧土壤中重金属污染及其评价

鲁光银<sup>1,2</sup>, 熊 璞<sup>1</sup>, 朱自强<sup>1</sup>

(1. 中南大学信息物理工程学院 长沙市 410083; 2. 中南大学信息科学与工程学院 长沙市 410083)

**摘 要:** 在2002年和2004年, 分别对地处岩溶地区的衡昆高速公路湖南段、207国道、322国道的多个路段, 在距离公路5 m、10 m、15 m、25 m、40 m、60 m、80 m、100 m、120 m、150 m处采集土壤样品, 采用原子吸收光谱法测试土壤中的Cu、Pb、Zn、Cd等重金属元素的含量, 并对其结果进行了分析与评价。研究结果表明, 岩溶地区公路两侧土壤中的Pb、Zn、Cd等重金属元素的含量在公路运营之后显著增加, 其中, 土壤中Cd元素的污染严重, 轻度污染的元素为Pb、Zn, 基本上未受到Cu的污染影响, 土壤对重金属元素的吸附及污染程度为: Cd>Pb>Zn>Cu。重金属污染影响范围自公路起大约80~100 m; 岩溶地区公路路侧水田中重金属元素含量较旱地、果园低, 但影响范围更广。

**关键词:** 岩溶地区; 土壤; 公路; 重金属; 污染

土壤是人类赖以生存的最重要的自然资源之一, 但是城市和公路两侧, 由于交通频繁, 汽车废气造成了土壤和植被的重金属污染, 进而影响土壤的正常功能, 造成食物链的污染, 对人类健康和环境质量产生威胁<sup>[1,2]</sup>。为此, 一些学者开展了相关研究, 但是这些研究大都集中在土壤背景值<sup>[3~5]</sup>, 公路两侧土壤与植被的铅污染<sup>[2,6,7]</sup>, 土壤的生态毒性<sup>[8]</sup>, 生态环境的保护与恢复<sup>[9,10]</sup>等方面。我国西部的高山低谷岩溶地貌区, 地势起伏较大, 地表土层较薄, 长期遭受人类活动的侵扰, 生态环境破坏严重, 生态系统非常脆弱。作为西部开发与经济发展的重要基础设施的公路建设, 势必给沿线的生态环境带来一系列的问题<sup>[11,12]</sup>。为了对岩溶地区公路两侧土壤受重金属污染程度和影响范围进行研究, 笔者对地处岩溶地区的衡昆高速公路湖南段、207国道永州段、322国道永州段等多个路段两侧土壤中的重金属元素(Cu、Pb、Zn、Cd)污染情况进行了土壤采样与测试, 并与公路运营之前或者相对清洁样点进行了对比研究, 以分析和探讨岩溶地区公路两侧土壤的污染程度和影响范围, 为岩溶地区公路建设中水土保持和环境保护方案的确定提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与处理

为保证分析数据的可靠性及有效性, 设置采样点时按照以下原则进行: (1) 采样点有代表性和典型性; (2) 水田、旱地、林地和果园分别采样; (3) 有排水沟或者河流通过的地方适当选点采样; (4) 采样剖面垂直于公路, 采样距离相当; (5) 在高速公路和国道分别布置采样剖面; (6) 在距离公路2 km以上, 周围无化工厂三废污染和不施用工业污泥肥料, 土壤类型与被调查公路旁的土壤基本一致的清洁对照区布置采样剖面进行采样; (7) 同一采样剖面在2002年(衡昆高速公路湖南段运营前)与2004年(衡昆高速公路湖南段运营后)两次采样。按照上述原则, 在衡昆高速公路永州段、207国道永州段、322国道永州段共布设4条采样剖面 and 4条对比剖面共进行了10次样品采集<sup>[12]</sup>(见表1)。

采样剖面设置在高速公路两侧有代表性的地方, 每组样品按垂直于公路5 m、10 m、15 m、25 m、40 m、60 m、80 m、100 m、120 m、150 m的间距取10个样。每个取样点地块面积大约1 m<sup>2</sup>, 依照地块形状采用梅花形取样, 取土点数约5~8个, 每个点采5~10 cm深的地表土壤, 先用铁铲挖出方形土坑, 在土坑不同位置取样, 最后将多点取得的土样充分混合, 保留1 kg左右土样, 装入布袋, 写好标签, 运回室内。

将采集来的土壤在半干状态时压碎, 摊放在铺有洁净牛皮纸的实验台上, 铺成薄层, 经常翻动, 在

表 1 采样剖面基本情况

序号	剖面编号	采样位置	采样时间	土地类型	备注
1	采样剖面 1	衡昆高速公路 K153+500	2002 年、2004 年	水田	
2	采样剖面 2	永州黄田铺	2002 年、2004 年	水田	采样剖面 1 清洁对照区
3	采样剖面 3	衡昆高速公路 K142+940	2002 年、2004 年	旱地	
4	采样剖面 4	永州老埠头	2002 年、2004 年	旱地	采样剖面 3 清洁对照区
5	采样剖面 5	207 国道 K2752+955	2004 年	水田	
6	采样剖面 6	永州陈家湾	2004 年	水田	采样剖面 5 清洁对照区
7	采样剖面 7	322 国道 K402+500	2004 年	果园	
8	采样剖面 8	永州五里堆	2004 年	果园	采样剖面 7 清洁对照区

阴凉处使其慢慢风干。剔除石块、残根等杂物,用木棍碾压碎土块,风干期间防止酸碱和灰尘污染。风干后的土样经专业粉碎机碾碎,通过毫米筛(尼龙筛)去除细小的沙砾和植物残留物。取出部分土样,均匀铺在纸上,用方格取样法挖取 50 g,用全新的牛皮纸

袋装好,标明标签,供分析测定用。

## 1.2 样品测试

土壤样品中重金属元素的测试方法及所用仪器如表 2 所示。

表 2 土壤重金属元素测试方法

元素	前处理方法	测定方法	方法来源	检出限/( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )
Cu	HF-HClO <sub>4</sub> 氟钨锅消解法	火焰原子吸收法直接测定	GB/T 17138-1997	0.002
Pb	HF-HClO <sub>4</sub> 氟钨锅消解法	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141-1997	0.001
Zn	HF-HClO <sub>4</sub> 氟钨锅消解法	火焰原子吸收法直接测定	GB/T 17138-1997	0.002
Cd	HF-HClO <sub>4</sub> 氟钨锅消解法	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141-1997	0.001

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同路段土壤污染分布特征

图 1~图 4 分别为 2004 年在衡昆高速公路 K153+500、衡昆高速公路 K142+940、207 国道、322 国道布设的 4 条采样剖面 and 4 条对比剖面上采集土样对 Cu、Pb、Zn、Cd 等元素分析测试结果图。

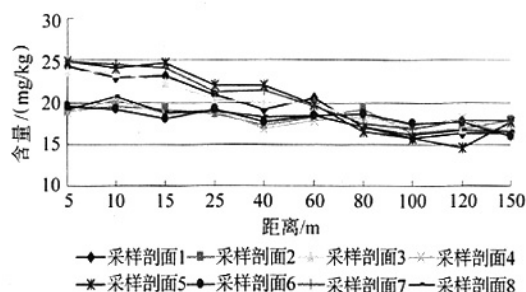


图 1 公路路侧不同距离土壤中 Cu 含量(2004 年)

图 1 为 2004 年在 4 个不同路段和相应对比剖面上 Cu 含量与距离的变化曲线。曲线中,采样剖面 2、4、6、8 来自清洁对照区,曲线变化不大,在平均值 18.7 mg/kg 左右变化,采样剖面 1、3、5、7 随着距离增

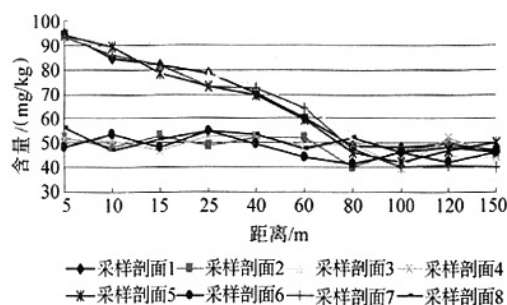


图 2 公路路侧不同距离土壤中 Pb 含量(2004 年)

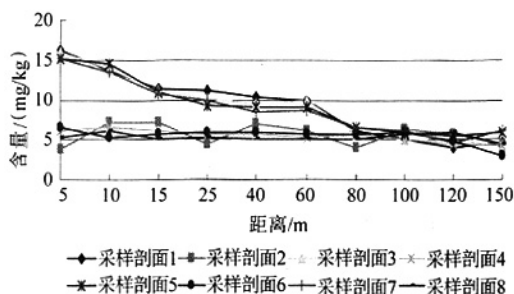


图 3 公路路侧不同距离土壤中 Cd 含量(2004 年)

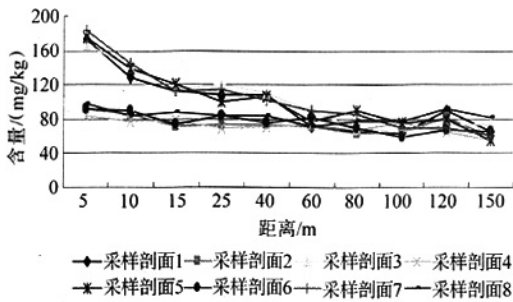


图4 公路路侧不同距离土壤中Zn含量(2004年)

大,Cu含量逐渐减少,在距离公路80 m内土壤中Cu含量较高,远大于清洁对照区Cu含量,而在距离公路80 m以外区域,Cu含量趋于稳定。曲线表明,岩溶地区公路两侧土壤中Cu元素污染主要集中在公路两侧80 m范围内。由于322国道、207国道通车时间较衡昆高速公路时间长,因此,曲线中剖面5和剖面7的Cu元素含量较剖面1和剖面3中偏高;但在距离公路60 m以外,Cu含量反而偏小,则说明岩溶地区高速公路造成的Cu污染范围较国道大,公路等级越高,造成的Cu元素对土壤污染范围越大。

图2为2004年在4个不同路段和对比剖面上Pb含量与距离的变化曲线。曲线中,采样剖面2、4、6、8来自清洁对照区,曲线变化较大,但基本在平均值47.8 mg/kg上下变化,而在公路路侧的采样剖面1、3、5、7中,变化则更为突出,随着距离增大,Pb含量降低较快,到距离公路80~100 m时,土壤中Pb含量均值从最高处的94.4 mg/kg迅速降到46.2 mg/kg,与清洁对照区土壤中Pb含量的平均值相近,而在距离公路100 m以外区域,Pb含量变化不大,趋于稳定。曲线中,剖面1和剖面5的Pb元素含量分布降低得比剖面3和剖面7迅速,剖面1、5在60 m左右即降低至清洁土壤平均含量,而剖面3、7则在100 m左右位置才降至清洁土壤平均含量。分析剖面1、5与剖面3、7对应的土地类型,剖面1、5对应于水田,而剖面3、7对应于旱地和果园,综合分析,这主要是由于岩溶地区水的迁移作用造成水田中Pb的含量比旱地、果园等距离区域的含量低,而对于距离较远处(距离公路100~150 m),则情况正好相反,旱地与果园中Pb含量比水田中含量低一些。对比衡昆高速公路与207国道、322国道公路两侧Pb元素含量分布,虽然衡昆高速公路通车时间较短,但由于车流量大,造成路侧Pb元素含量较207国道、322国道两侧含量高。

图3为2004年不同距离在4个不同路段和对比

剖面上Cd含量的变化曲线。曲线中揭露,Cd元素含量在清洁对照区在5.02 mg/kg上下变化,而在高速公路两侧Cd元素含量从16.3 mg/kg,国道两侧从12.66 mg/kg迅速下降,至距离公路两侧100 m左右下降至与清洁对照区的Cd元素含量相当。曲线表明,高速公路两侧Cd元素含量较国道两侧高,反映出高速公路由于车流量大,汽车、柴油燃烧排除的尾气造成的Cd元素污染较国道严重。

图4为2004年不同距离在4个不同路段和对比剖面上Zn含量的变化曲线。曲线中也揭露出Zn元素含量在清洁对照区含量均值为56.1 mg/kg,而在公路两侧,随着距离变大,Zn元素含量从170 mg/kg逐渐减小,至距离公路60~80 m左右降至与清洁对照区含量相近。

## 2.2 不同剖面污染分布特征

为便于分析,笔者采用单项污染指数法对公路两侧土壤质量进行评价,评价公式为:

$$P_i = C_i / S_i$$

式中: $C_i$ 为土壤污染物*i*的实测浓度; $S_i$ 为污染物*i*的评价标准。评价结果中, $P_i \leq 0.7$ ,非污染; $0.7 < P_i \leq 1$ ,警戒级、尚清洁; $1 < P_i \leq 2$ ,轻污染; $2 < P_i \leq 3$ ,中度污染; $P_i > 3$ ,重污染。

按照上述思路,对公路两侧的剖面1、3、5、7进行评价,评价结果如表3所示。从表3可以看出,岩溶地区公路路侧土壤中镉(Cd)的污染最突出,无论是国道,还是高速公路污染水平均已达到重污染等级。Pb、Zn次之,仅部分区域受到了轻度污染,污染水平在非污染—轻污染之间,基本没有影响周边植被及农作物生长。而研究区域土壤环境质量基本未受到Cu的污染影响。

## 2.3 土壤中重金属元素污染累积效应

图5~图8分别为2002年和2004年在衡昆高速公路K153+500、衡昆高速公路K142+940两条采样剖面上的采集样本对Cu、Pb、Zn、Cd等元素分析测试结果图。为便于对比分析,2004年采样剖面1、3与2002年采样剖面1、3位置保持不变。2002年衡昆高速公路(湖南段)尚未运营,2004年该段高速公路已经竣工通车。

图5~图8为2002年和2004年采样剖面1、3上Cu、Pb、Cd、Zn元素含量变化曲线。曲线中,2004年,Cu、Pb、Cd、Zn元素的含量明显高于2002年,反映出2004年衡昆高速公路通车后,公路路侧土壤中Cu、Pb、Cd、Zn元素的含量已经开始积累,并且

表 3 剖面 1、3、5、7 污染情况分析结果

		Cu	Pb	Zn	Cd
剖面 1	$P_i$	0.56	1.89	0.98	14.6
	污染等级	安全	轻污染	警戒级	重污染
	污染水平	清洁	土壤作物已受到污染	尚清洁	土壤作物受污染已经相当严重
剖面 3	$P_i$	0.57	1.89	1.04	14.5
	污染等级	安全	轻污染	轻污染	重污染
	污染水平	清洁	土壤作物已受到污染	土壤作物已受到污染	土壤作物受污染已经相当严重
剖面 5	$P_i$	0.58	1.78	0.99	13.5
	污染等级	安全	轻污染	警戒级	重污染
	污染水平	清洁	土壤作物已受到污染	尚清洁	土壤作物受污染已经相当严重
剖面 7	$P_i$	0.59	1.43	1.01	13.4
	污染等级	安全	轻污染	轻污染	重污染
	污染水平	清洁	土壤作物已受到污染	土壤作物已受到污染	土壤作物受污染已经相当严重

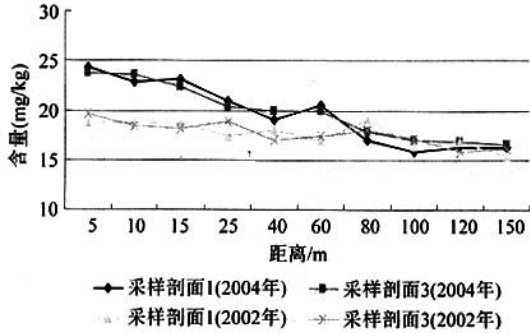


图 5 公路路侧不同时间土壤中 Cu 含量

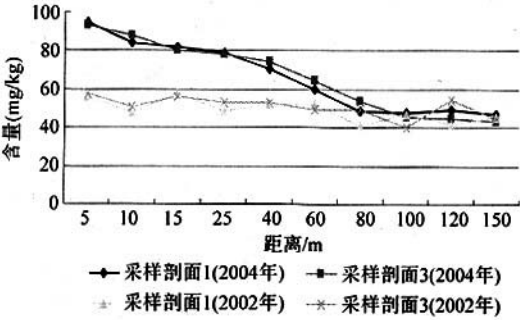


图 6 公路路侧不同时间土壤中 Pb 含量

由于车流量较大,累积效应比较明显。而在2002年,公路路侧土壤中Cu、Pb、Cd元素也呈现出随着不同距离,含量逐渐减小的趋势,初步分析为,这主要是在施工过程中,施工车辆排出的废弃物开始对路侧土壤产生影响,但这些影响较小,曲线中反映不是特别明显。

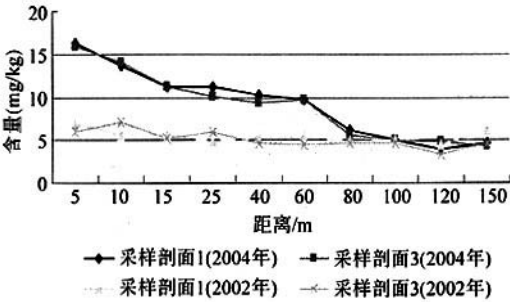


图 7 公路路侧不同时间土壤中 Cd 含量

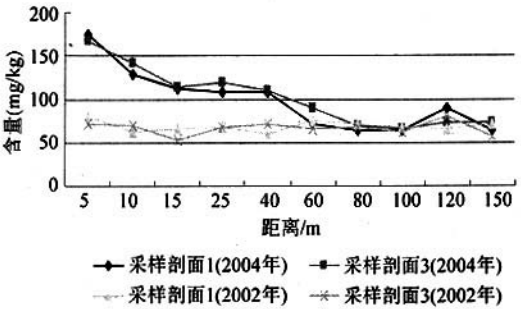


图 8 公路路侧不同时间土壤中 Zn 含量

3 结论

(1)岩溶地区公路两侧土壤对重金属元素的吸收及污染程度为Cd>Pb>Zn>Cu,目前达到重度污染的元素为Cd,达到轻微污染的元素为Pb、Zn,而Cu对土壤质量基本无影响。

(2)岩溶地区公路两侧土壤中重金属元素污染

晕以公路为浓度集中中心,呈带状顺公路延伸,主要影响范围为公路路侧80~100 m。且影响范围内水田中重金属元素含量较旱地、林地、果园低,但其影响范围稍宽。

(3)岩溶地区公路两侧土壤中Cu、Pb、Zn、Cd等重金属元素的含量,随着公路运营之后机动车辆运行,重金属元素向公路两侧的释放和沉积显著增加,高速公路尤为明显。虽然这次分析结果,除了Cd含量异常超标之外,整体来说污染小,没有造成很大的影响,但是随着车流量的继续增大,公路周围土壤重金属污染会日趋严重。有关部门应采取措施控制车流量,以及加强对无铅汽油的推广,监控公路两侧土壤中重金属元素的分布,防止对土壤的进一步污染,以维持岩溶地区的脆弱的生态平衡系统。

#### 参考文献:

- [1] 林健,邱卿如,等.公路旁土壤中重金属和类金属污染评价[J].环境与健康,2000,17(9).
- [2] 索有瑞,黄雅丽.西宁地区公路两侧土壤和植物中铅含量及其评价[J].环境科学,1996,17(4).
- [3] 陈同斌,郑袁明.北京市土壤重金属含量背景值的系统研究[J].环境科学,2004,25(1).
- [4] Chen M, Ma L Q. Arsenic background concentration in Florida, USA, surface soils: determination and interpretation[J]. Environmental Forensics, 2001, 2.
- [5] Cheng J S, Wei F S. Background concentrations of elements in soils of China[J]. Water, Air and Soil Pollution, 1991, 57/58.
- [6] 曹立新,李浙川.公路边土壤和水稻中铅的分布、累积与临界含量[J].环境科学,1995,16(6).
- [7] 师利明,郭军庆.对公路两侧土壤中铅(Pb)累积模式的理论探讨[J].西安公路交通大学学报,1998,18(7).
- [8] 宋玉芳,周启星.土壤整体质量的生态毒性评价[J].环境科学,2005,26(1).
- [9] 赵勇,孙中党.高速公路建设项目对生态环境影响综合评价研究[J].安全与环境工程,2003,10(9).
- [10] 孙青,卓慕宁.高速公路建设中的生态破坏及其恢复[J].土壤与环境,2002,2(11).
- [11] 谢立新,鲁光银.浅谈岩溶地区公路建筑环境保护问题[J].水土保持研究,2003,6(10).
- [12] 西部岩溶课题研究组.岩溶地区公路建筑环境保护问题研究报告[R].长沙:湖南交通勘察设计研究院,2005,12.

## Pollution of Heavy Metals in Soil Along Highway in Karst Area and Assessment

LU Guang-yin<sup>1,2</sup>, XIONG Ying<sup>1</sup>, ZHU Zi-qiang<sup>1</sup>

(1. School of Info-Physics and Geomatics Engineering, CSU, Changsha 410083, China;

2. School of Information Science and Engineering, CSU, Changsha 410083, China;)

**Abstract:** Soil samples are collected respectively in karst area along several sections of Hengyang-Kunming Expressway, No. 207 National Road and No. 322 National Road in 2002 and 2004, with the site of 5 m, 10 m, 15 m, 25 m, 40 m, 60 m, 80 m, 100 m, 120 m, 150 m away from highways. Then the levels of heavy metals (Cu, Pb, Cd, Zn) in soil samples are determined by Atomic Adsorption Spectrophotometer and their results are analyzed and discussed. The research results indicate that in karst area the levels of heavy metals in soil samples along the highway increase prominently after the highway operation. The soil samples are highly polluted by Cd, slightly polluted by Pb and Zn, and not polluted by Cu. The adsorption capacity of soil to heavy metals and its pollution levels are in the following order: Cd>Pb>Zn>Cu. In karst area, two zonal pollution areas are distributed along the both sides of highway road with a width between 80 and 100 meters. Among these zonal pollution areas, the levels of heavy metals in paddy field is smaller than in dry land and orchard, but its incidence is wider.

**Key words:** karst area; soil; highway; heavy metals; pollution