

文章编号:1005-0523(2011)04-0089-05

# 环鄱阳湖区高速公路周边土壤重金属特征分析

吴刚, 郑明新

(华东交通大学道桥与岩土工程研究所, 江西南昌 330013)

**摘要:**通过对环鄱阳湖地区周边昌九、南昌东绕城、梨温、景鹰、九景5条高速公路沿线土壤表层0~10 cm 重金属Zn, Cu, Pb, Cr, Cd含量的调查研究, 以江西省表层土壤背景值和国家环境质量标准中I类土壤环境质量为评价标准分析该区段污染程度和潜在的生态风险。结果表明, 5种重金属离子土壤浓度依次为:  $Zn > Cr > Cu > Pb > Cd$ , 污染程度依次为:  $Cd > Cu > Pb > Zn > Cr$ ; 除Cd污染程度属于轻度污染外, 其他重金属离子的污染程度都在尚清洁和安全范围。从数据上来看, 湖区南部重金属离子含量分布略高于北部。5类重金属潜在生态危害指数都处于较低值, 其中Cd的潜在单线污染指数最高。

**关键词:**环鄱阳湖; 高速公路周边; 重金属; 污染评价

**中图分类号:** X53; X825

**文献标识码:** A

## 1 采样中心概况

鄱阳湖区位于长江中下游的南岸, 跨长江中下游平原及华东南地区丘陵两大地貌单元。湖区地势低平, 四周山丘环绕, 在九江、湖口间向北开敞。地貌形态多样, 有山、丘、岗地、平原4个类型, 其中平原及岗地分布面积较大, 一共占全区总面积的61.9%, 为区内的主要地貌地形。鄱阳湖区土壤母质以第四纪红色黏土为主, 土壤为红壤及水稻土<sup>[1]</sup>。鄱阳湖周边有昌九高速、南昌绕城高速、昌樟高速、生厚高速、梨温高速、景鹰高速、九景高速及彭湖高速8条高速公路。其中昌九高速、南昌东绕城高速、梨温高速、景鹰高速、九景高速5条高速公路形成环绕鄱阳湖的一个环形高速公路圈, 本次试验选取高速公路圈沿线不同方位的7个采样中心点进行土壤采样, 如图1所示。

## 2 研究方法

### 2.1 土样采集地点和位置

本次试验只研究道路交通环境(即行驶车辆尾气排放的重金属)对道路周边土壤的影响, 所选采样中心点的布设应远离明显的其他干扰因子, 如工厂、垃圾场、排污口、居民区等, 从高速公路圈沿线不同方位各选取一到两个适合取土的采样中心, 从而研究环鄱阳湖区不同方位的高速周边地区重金属含量差异。

从每个采样中心点向高速公路一侧布设各5个采样点。采用点距道路边界的距离分别为1, 10, 20, 30, 50 m。每个采样点在1 m<sup>2</sup>范围内, 以梅花形采集5个0~10 cm 土壤表层样本。采集的土样应用原子吸收分光光度计测定来测定Cd, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn的含量。



图1 土壤采样中心位置图

Fig.1 Map of soil sampling location

收稿日期: 2011-03-21

基金项目: 江西省自然科学基金(2009BSB08701)

作者简介: 吴刚(1986—), 男, 硕士研究生, 主要从事路基的环境岩土研究。

## 2.2 土壤评价标准

采用国家环境质量标准中I类土壤环境质量标准,I类为主要适用于国家规定的自然保护区(原有背景重金属含量高的除外)、集中式生活饮用水源地、茶园、牧场和其他保护地区的土壤,土壤质量基本上保持自然背景水平,土壤质量对植物和环境不造成危害和污染。参照江西省土壤环境背景值<sup>[2]</sup>,江西省中北部地区pH值为5.5~6.2。参照GB15618-1994《土壤环境质量标准》中的一级标准中的pH值小于6.5的I类土壤环境质量标准为:  $Cu \leq 35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $Zn \leq 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $Pb \leq 35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $Cd \leq 0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $Cr \leq 90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

## 2.3 污染程度评价方法

采用内梅罗综合污染指数法<sup>[3]</sup>对高速周边土壤进行评价,这种方法同时兼顾了单项污染指数的平均值和综合污染指数,既能反映土壤中单项重金属污染程度,也能较全面地反映土壤样本的总体质量。

首先计算各个重金属元素的污染分指数,  $I_i = C_i/S_i$ ,式中:  $I_i$ 为土壤中第*i*种污染物的污染分指数;  $C_i$ 为土壤中第*i*种污染物实测含量;  $S_i$ 为第*i*种污染物在中国国家土壤环境质量标准I类土壤含量。然后计算内梅罗综合污染指数,  $I = \{[\text{average}(C_i/S_i)^2 + \max(C_i/S_i)^2]/2\}^{1/2}$  式中,  $I$ 为土壤重金属综合污染指数,  $\text{average}(C_i/S_i)$ 为土壤各重金属污染分指数的平均值,  $\max(C_i/S_i)$ 为土壤重金属污染指数中最大的污染指数。污染程度的分级按照土壤环境监测技术规范(HJ/T166-2004),基于土壤内梅罗综合污染指数分为5个级别,见表1。

## 2.4 土壤重金属潜在生态危害指数法

为了确定鄱阳湖周边高速公路沿线土壤重金属可能存在的生态危害效应和反映特定区域的特殊性,本研究应用 Hakanson 潜在生态危害指数法<sup>[4-6]</sup>,以国家环境质量标准中I类土壤环境质量标准作为参比值对阳湖周边高速公路沿线土壤重金属潜在的生态风险进行评价。

某类重金属的潜在生态危害系数 $E_i$ 的计算公式为:  $E_i = T_i \times C_i$ ,式中:  $C_i$ 为重金属污染分指数;  $T_i$ 为重金属的毒性系数( $Cd=30$ ,  $Cu=5$ ,  $Pb=5$ ,  $Cr=2$ ,  $Zn=1$ )<sup>[7-8]</sup>。区域内多种重金属的潜在生态危害指数  $RI = \sum E_i$ 。

根据 $E_i$ 和 $RI$ 的值,参照土壤中重金属潜在危害系数、生态危害指数与污染程度的关系(见表2),得出潜在重金属生态危害。

表1 内梅罗综合污染等级划分标准

Tab.1 Classification standards of N.L. Newerow integrated pollution level

| 分级  | 污染指数             | 污染等级 | 污染水平       |
|-----|------------------|------|------------|
| I   | $I \leq 0.7$     | 安全   | 清洁         |
| II  | $0.7 < I \leq 1$ | 警戒线  | 尚清洁        |
| III | $1 < I \leq 2$   | 轻污染  | 土壤作物已受轻微污染 |
| IV  | $2 < I \leq 3$   | 中污染  | 土壤作物已受中度污染 |
| V   | $I \geq 3$       | 重污染  | 土壤作物已受重度污染 |

表2 土壤重金属潜在生态危害等级划分标准

Tab.2 Grading classification standards of soil potential ecological risk of heavy metals

| 指数类型  | 范围                   | 污染程度 | 指数类型 | 范围                  | 污染程度 |
|-------|----------------------|------|------|---------------------|------|
| $E_i$ | $E_i < 40$           | 轻微   | $RI$ | $RI < 150$          | 轻微   |
|       | $40 \leq E_i < 80$   | 中等   |      | $150 \leq RI < 300$ | 中等   |
|       | $80 \leq E_i < 160$  | 强    |      | $300 \leq RI < 600$ | 强    |
|       | $160 \leq E_i < 320$ | 很强   |      | $RI \geq 600$       | 很强   |
|       | $E_i \geq 320$       | 极强   |      |                     |      |

## 3 结果与分析

### 3.1 不同采样中心重金属分布特征

对各个采样中心重金属含量分布结果(见表3)进行对比可以得出,环鄱阳湖区道路边表层土壤的重金属含量湖区西南部略大于东北部。各中心重金属含量排序(见图2)为:  $C > D > E > B > A > F > G$ 。其中G点为西北部鄱阳湖自然保护区<sup>[9]</sup>,人口稀少、交通量较小地区道路边表层重金属浓度最低;C点距离南昌市、抚州市较近,属于人口密集区,道路密度和交通量较大,重金属浓度较高<sup>[10]</sup>。各采样中心综合污染指数

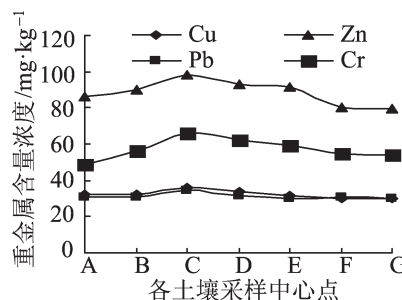


图2 重金属含量分布规律图  
Fig.2 Distribution of heavy metals

计算结果(见表4)表明:A点、B点、F点和G点综合污染程度为警戒线范围,大小分别为0.89,0.91,0.85和0.81;C点、D点和E点综合污染程度为轻污染范围,大小分别为1.26,1.24,1.16。应注意加强对C点、D点和E点道路周边区域土壤重金属含量控制。

表3 采样中心重金属含量分布表

Tab.3 Distribution of the content of heavy metals in the central sampling location

| 重金属种类 | 采样中心重金属含量/mg·kg <sup>-1</sup> |       |       |       |       |       |       | 平均值/<br>mg·kg <sup>-1</sup> | 环境标准/<br>mg·kg <sup>-1</sup> |
|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|------------------------------|
|       | A点                            | B点    | C点    | D点    | E点    | F点    | G点    |                             |                              |
| Cu    | 32.07                         | 32.31 | 35.73 | 33.39 | 31.62 | 30.19 | 29.64 | 32.14                       | 35.00                        |
| Pb    | 31.05                         | 30.72 | 34.86 | 31.16 | 29.95 | 30.61 | 29.70 | 31.15                       | 35.00                        |
| Zn    | 86.13                         | 89.74 | 97.89 | 93.15 | 91.85 | 80.61 | 79.18 | 88.36                       | 100.00                       |
| Cd    | 0.23                          | 0.24  | 0.29  | 0.29  | 0.27  | 0.21  | 0.16  | 0.24                        | 0.20                         |
| Cr    | 48.84                         | 56.01 | 65.90 | 62.37 | 59.30 | 54.51 | 53.84 | 57.25                       | 90.00                        |

表4 采样中心重金属污染指数分布表

Tab.4 Pollution index of heavy metal in the central sampling location

| 参数     | 单项重金属污染指数I |      |      |      |      |      |      | 平均值  |
|--------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | A点         | B点   | C点   | D点   | E点   | F点   | G点   |      |
| Cu     | 0.92       | 0.92 | 1.02 | 0.95 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 0.92 |
| Pb     | 0.89       | 0.88 | 1.00 | 0.89 | 0.86 | 0.87 | 0.85 | 0.89 |
| Zn     | 0.86       | 0.90 | 0.98 | 0.93 | 0.92 | 0.81 | 0.79 | 0.88 |
| Cd     | 1.15       | 1.20 | 1.46 | 1.45 | 1.35 | 1.05 | 0.80 | 1.21 |
| Cr     | 0.54       | 0.62 | 0.73 | 0.69 | 0.66 | 0.61 | 0.60 | 0.64 |
| 平均值    | 0.87       | 0.90 | 1.04 | 0.98 | 0.94 | 0.84 | 0.78 |      |
| 综合指数   | 0.89       | 0.91 | 1.26 | 1.24 | 1.16 | 0.85 | 0.81 |      |
| 综合污染程度 | 警戒线        | 警戒线  | 轻污染  | 轻污染  | 轻污染  | 警戒线  | 警戒线  |      |

3.2 不同重金属含量特征及与当地背景值对比

不同重金属在土壤含量分布大小排序(见表3)为:Zn>Cr>Cu>Pb>Cd,分别与选取采样地区土壤环境背景值的5个参数<sup>[2]</sup>进行综合分析,分别包括采样地区:中小地形、行政区划、成土母岩与母质、土地利用情况和植被情况。对不同参数下的土壤环境背景值进行分析,得出采样地区不同重金属含量的综合值和比值。以A点为例,采样地区Cu,Pb,Zn,Cd,Cr综合背景值(见表5)分别为17.93,33.22,69.35,0.10,47.04,实测值与综合背景值比值分别为1.79,0.93,1.24,2.30,1.47,除Pb外其余4种重金属均超过当地背景。其他6个采样中心的金属实测值与背景值比值范围如下:Cu:1.32~1.67,Pb:0.95~1.19,Zn:1.07~1.35,Cd:1.33~2.08,Cr:1.06~1.21。Zn,Cr,Cu略高于当地土壤环境背景综合值,Cd超出当地土壤环境背景综合值较多,某些地区高达2倍多。

重金属平均浓度与国家土壤环境质量标准I级标准相比,Zn,Cr,Cu,Pb都没超过上限值,污染指数平均值(见表4)分别为0.92,0.89,0.88,0.64,污染水平属于清洁范围。但Cd污染较为严重,污染指数达到1.34,属于轻度受污染范围,污染指数计算结果与实测、背景两值比较结果相吻合。

表5 A点土壤环境背景值及综合值

Tab.5 Background and comprehensive value of soil environmental at Point A

| 重金属种类 | 山地-坡中部 | 九江区   | 泥质岩   | 天然林   | 灌丛    | 综合值   | 实测值与<br>综合值比值 |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| Cu    | 16.79  | 20.40 | 20.64 | 15.80 | 16.03 | 17.93 | 1.79          |
| Pb    | 36.19  | 31.07 | 28.90 | 35.66 | 34.28 | 33.22 | 0.93          |
| Zn    | 71.31  | 76.68 | 65.04 | 64.07 | 69.63 | 69.35 | 1.24          |
| Cd    | 0.13   | 0.11  | 0.08  | 0.09  | 0.10  | 0.10  | 2.30          |
| Cr    | 42.06  | 50.86 | 51.77 | 39.78 | 50.71 | 47.04 | 1.47          |

### 3.3 不同重金属的含量横向空间变化规律

本次实验只研究地表(0~10 cm)重金属含量,故只考虑横向空间重金属含量变化规律,不考虑纵向空间的变化规律。从采样中心中取出A点为例,从土壤重金属含量统计值(见表6)和重金属横向空间变化规律图(见图3)中的变化趋势可以明显看出,土壤中Cu, Cr, Pb, Cd的含量在距离道路1~20 m时呈上升趋势,在20 m处达到最高值,而后在20~50 m处呈微弱下降趋势,在50 m处含量达到最低值。土壤中Zn的含量在距离道路1~10 m时呈上升趋势,在10 m处达到最高值,而后在10~50 m处呈微弱下降趋势,在50 m处含量达到最低值(见图3)。

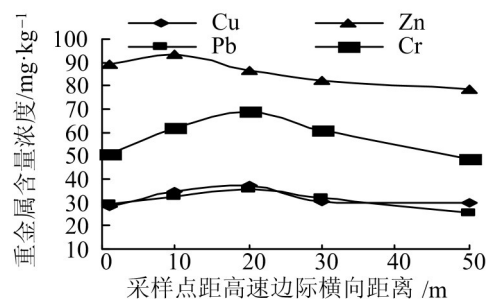


图3 A点重金属含量变化规律图  
Fig.3 Variation of the content of heavy metals at point A

表6 A点土壤重金属含量统计值

Tab.6 Statistics of heavy metal content at Point A

| 元素 | 含量/mg·kg <sup>-1</sup> |       |       |       |       | 平均值   | 最大值   | 最小值   | 标准差  | 变异系数  |
|----|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
|    | 1 m处                   | 10 m处 | 20 m处 | 30 m处 | 50 m处 |       |       |       |      |       |
| Cu | 28.34                  | 34.42 | 37.58 | 30.39 | 29.63 | 32.07 | 37.58 | 28.34 | 3.14 | 9.80  |
| Pb | 29.49                  | 32.37 | 35.76 | 31.89 | 25.72 | 31.05 | 35.76 | 25.72 | 2.75 | 8.87  |
| Zn | 89.53                  | 93.63 | 86.81 | 82.28 | 78.39 | 86.13 | 93.63 | 78.39 | 4.63 | 5.38  |
| Cd | 0.25                   | 0.27  | 0.30  | 0.17  | 0.18  | 0.23  | 0.30  | 0.17  | 0.05 | 20.17 |
| Cr | 50.48                  | 61.71 | 68.84 | 60.97 | 48.41 | 58.08 | 68.84 | 48.41 | 6.91 | 11.90 |

### 3.4 土壤重金属潜在生态风险评价

采样中心潜在生态危害指数计算结果(见表7)表明,以国家环境质量标准中I类土壤环境质量标准作为参照值时,环鄱阳湖区高速周边土壤重金属潜在生态危害指数(RI)在34.47~56.18之间,平均值为47.43,为轻微生态危害程度,各采样中心潜在生态危害指数大小排序为:C>D>E>B>A>F>G。对不同重金属潜在危害指数大小进行排序可得: Cd>Cu>Pb>Cr>Zn,其中Cd离子指数最大,为36.24; Zn离子指数最小,为0.88。Cd为生物非必要元素,具有较大毒性,应注意对道路边际土壤中Cd离子浓度的控制<sup>[11]</sup>。

表7 采样中心重金属潜在生态危害指数

Tab.7 Index of potential ecological risk of heavy metal in the central sampling location

| 参数     | 单项重金属潜在危害指数E <sub>i</sub> |       |       |       |       |       |       | E <sub>i</sub> 平均值 | 单项污染程度 |
|--------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------|
|        | A点                        | B点    | C点    | D点    | E点    | F点    | G点    |                    |        |
| Cu     | 4.58                      | 4.62  | 5.10  | 4.77  | 4.52  | 4.31  | 4.23  | 4.59               | 轻微     |
| Pb     | 4.44                      | 4.39  | 4.98  | 4.45  | 4.28  | 4.37  | 4.24  | 4.45               | 轻微     |
| Zn     | 0.86                      | 0.90  | 0.98  | 0.93  | 0.92  | 0.81  | 0.79  | 0.88               | 轻微     |
| Cd     | 34.50                     | 36.00 | 43.65 | 43.50 | 40.50 | 31.50 | 24.00 | 36.24              | 轻微     |
| Cr     | 1.09                      | 1.24  | 1.46  | 1.39  | 1.32  | 1.21  | 1.20  | 1.27               | 轻微     |
| RI     | 45.46                     | 47.15 | 56.18 | 55.04 | 51.53 | 42.20 | 34.47 | 47.43              |        |
| 综合污染程度 | 轻微                        | 轻微    | 轻微    | 轻微    | 轻微    | 轻微    | 轻微    | 轻微                 |        |

## 4 主要结论

通过对环鄱阳湖区道路边际表层土壤的重金属含量的调查(这里主要考虑道路车辆尾气排放的影响),初步可以得到:

1) 重金属含量从湖区西南部略大于湖区东北部。其中在距离南昌市较近的西南区域高速交通量大,重金属含量最高,综合污染指数和潜在生态危害指数最大,分别为1.26和56.18,综合污染程度和潜在生态

危害程度评价分别达到轻污染和轻微污染;而湖区西北部为鄱阳湖自然保护区,生态环境较好,人口密度低,交通量较小,重金属含量最低,综合污染指数和潜在生态危害指数最小,分别为0.81和47.43,综合污染程度和潜在生态危害程度评价分别为警戒线和轻微污染。

2) 在同一采样中心,不同采样点距路面的横向距离不同,各点重金属含量表现出一定的变化规律,即Cu,Cr,Pb,Cd的含量在距离道路1~20 m时呈上升趋势,在20 m处达到最高值,而后20~50 m范围呈微弱下降趋势。土壤中Zn的含量在距离道路1~10 m时呈上升趋势,在10 m处达到最高值,而后10~50 m范围呈微弱下降趋势。

3) 在同一采样点,不同重金属在土壤中的含量不同,五种元素的平均含量大小依次为:Zn>Cr>Cu>Pb>Cd,其中Zn,Cr,Cu略高于当地土壤环境背景综合值,分别为1.07~1.35倍、1.06~1.21倍和1.32~1.67倍。Cd的含量高出当地土壤环境背景综合值1.33~2.08倍。有关部门应加强对道路周边土壤重金属含量的控制,保证道路周边居民的生活、生产安全。

#### 参考文献:

- [1] 江西省自然保护区管理办公室. 鄱阳湖候鸟保护区珍禽悦动生态考察报告[M]. 南昌:江西科技出版社,1995.
- [2] 何纪力,徐光炎,朱惠民,等. 江西省土壤环境背景值研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,2006,9.
- [3] 夏家洪. 土壤环境质量标准详解[M]. 北京:中国环境科学出版社,1996.
- [4] 王健鹏,李阿红,王会志. 有机肥对土壤理化性质的影响[J]. 吉林蔬菜,2007(1):51-53.
- [5] 方晰,金文芬,李开志. 长沙市韶山路沿线不同绿地土壤金属含量及潜在生态风险[J]. 水土保持学报,2010(5):1-7.
- [6] 徐争启,倪师军,庾先国. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. 环境科学与技术,2008(2):112-115.
- [7] 郭平,谢忠雷,李军,等. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价[J]. 地理科学,2005,25(1):108-112.
- [8] 孙晋伟,黄益宗,石孟春. 土壤重金属生物毒性研究进展[J]. 生态学报,2008,28(6):2861-2869.
- [9] 余欣荣. 鄱阳湖开发区研究[D]. 南京:南京农业大学,2000.
- [10] WONG J W C, MAK N K. Heavy metal pollution in children playgrounds in Hong Kong and its health implications[J]. Environmental Technology, 1997(18): 109-110.
- [11] 王云,魏复盛. 土壤环境化学[M]. 北京:中国环境科学出版社,1995.

## An Analysis of Features of Heavy Metal in the Soil of the Highway around Poyang Lake Region

Wu Gang, Zheng Mingxin

(Institute of Bridge Road and Geotechnical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** By studying the content of the heavy metals Zn, Cu, Pb, Cr, Cd in the 0~10cm surface soil of the five highway which are respectively in Changjiu, Nanchang East Loop, Liwen, Jingying, Jiujiing around the Poyang Lake region, the degree of pollution and the potential ecological risks are analyzed based on surface soil background value in Jiangxi Province and Class I standards in the national environmental quality standards. The result shows that the degree of soil concentration of these 5 heavy metal ions is Zn>Cr>Cu>Pb>Cd, the degree of pollution is Cd>Cu>Pb>Zn>Cr. Cd pollution is slight. The pollution degree of other heavy metal ions concentration is in the sphere of cleanliness and safety. The distribution of heavy metal ion content decreases gradually from the south to the north in the region. The potential ecological risk of the 5 heavy metals is in a lower index value, but the single potential pollution of Cd is in the highest index.

**Key words:** around area of Poyang Lake; area around express way; heavy metals; evaluation of pollution