

攀枝花钒钛磁铁矿区土壤重金属地球化学特征及污染评价

庑先国¹, 徐争启¹, 滕彦国², 穆克亮¹

1. 成都理工大学, 成都 610059; 2. 北京师范大学, 北京 100875

摘要:为了解攀枝花钒钛磁铁矿区土壤重金属的特征及污染程度,采集了矿区表层土壤样品和两个土壤剖面,用多种分析方法有针对性地分析了 Cu、Pb、Zn、Ti、V、Co、Ni、As、Cd、Cr、Hg、Mn 十二种元素。在分析分布特征基础上,对重金属进行了污染物负荷指数评价,结果发现:1)攀枝花钒钛磁铁矿区表层土壤大部分属于中等污染,少数属于强污染,个别达到了极强污染;2)Co、V、Cu、Cd、Ti 几种元素的最高污染系数大,Zn、Mn、Ni、Cr 四种元素的最高污染系数次之,Hg、Pb 两种元素的最高污染系数较小,As 的最高污染系数最小;3)从各区域的污染物负荷指数来看,排土场周围和朱矿采矿场下游附近污染程度较大,远离矿区以及矿区上游污染较小。

关键词:重金属;污染物负荷指数;攀枝花钒钛磁铁矿区;土壤

中图分类号:X142 文献标识码:A 文章编号:1007-2802(2007)02-0127-05

The Geochemical Characteristics of Heavy Metals in Soils in the Panzhihua V-Ti Magnetite Mine and the Pollution Evaluation

TUO Xian-guo¹, XU Zheng-qi¹, TENG Yan-guo², MU Ke-liang¹

1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract:In order to find out the geochemical characteristics and the pollution degrees of heavy metals in soils in the Panzhihua V-Ti Magnetite mine, samples of surface soils and soils from two vertical profiles in the area have been collected in this study. Twelve elements (Cu, Pb, Zn, Ti, V, Co, Ni, As, Cd, Cr, Hg and Mn) are analyzed for these samples by using several methods respectively. Then the distribution characters of heavy metals in soils have been discussed and the polluting indexes of heavy metals have been evaluated. Results show that the surface soils in the most area of the Panzhihua V-Ti Magnetite mine are intermediately polluted by heavy metals, with high pollution locally and extremely high pollution occasionally. The highest polluting coefficients are decreased from those of Co, V, Cu, Cd and Ti, to those of Zn, Mn, Ni and Cr, to those of Hg and Pb, and to that of As. According to the pollution loading indexes of soils for various areas, the soils surrounding the dump and near the lower reaches of Zhujiabao Mining area are quite severely polluted, whereas the soils in the areas far away from the mine or in the upper reaches of the mine are only slightly polluted.

Key words: heavy metal; pollution loading index (PLI); Panzhihua V-Ti Magnetite Mine; soil

矿业活动会对周围生态环境产生严重的影响^[1-5],它关系到矿山的安全、生活及和谐生产。土壤是接受污染的重要介质,矿山的废水污染了土壤,露采场的粉尘也是周围土壤污染的重要原因。在当前资源紧缺和加强环境保护的情况下,必须将“资源效应”和“环境效应”结合起来进行研究。矿山环境质量的监测和评价是地学工作者和环境工作者的重要任务。

四十多年来,攀枝花钒钛磁铁矿在为国民经济的发展做出重要贡献的同时,也产生了较为严重的环境问题。一些学者探讨过攀枝花钢铁基地矿业开发过程中减轻环境影响的对策和植被复垦等问题^[6-7],研究了攀枝花市约 100 多 km² 范围内的新近系到第四系昔格达组土壤中重金属的分布特征和土壤地球化学基线^[8-9],以及水系沉积物中重金属的特征^[10],并评价了土壤和水系沉积物中重金属污

收稿日期:2006-12-06 收到,2007-01-10 改回

基金项目:国家 973 前期研究项目(2005CCA05400)资助;国际合作项目(2005DFA20900)资助;国家自然科学基金资助项目(40673058)

第一作者简介:庑先国(1966—),男,教授,博导,核技术应用专业,从事核技术应用及环境地球化学研究。

染。结果发现,无论是土壤还是水系沉积物,重金属的污染程度都属于中等到强度污染,并以采、选、冶区的污染程度最强。但由于上述研究范围大,采样密度小,不可能对矿区周围的土壤做详细研究,也不可能详细探讨采矿过程对周围环境质量的影响和机理。因此,本文专门采取矿区周围的土壤样品,以研究重金属在矿区土壤中的分布特征,评价土壤环境质量,追踪污染来源。

1 样品采集与分析

1.1 样品采集

矿区土壤样品产自 2005 年 11 月。根据采矿活动的范围和特点,将矿区分为五个采集区域(图 1),分别是: I 区位于采矿场上游,采取样品 6 件; II 区为尖山矿和兰山矿排土场下游附近,采取样品 21 件; III 区位于排土场下游,远离矿山,采取样品 7 件; IV 区,位于朱家包包采矿场下游,排土场上游,采取样品 6 件; V 区在朱矿排土场下游附近,采取样品 19 件。共采集样品 59 件。各采样点均采集了表层土壤、耕作或曾经耕作过的土壤,考虑到区内耕作层较浅,采样深度为 0~5 cm。土壤类型主要是砂质、粉砂质壤土,大部分为风化坡积、残积层或河沟冲积物形成的耕作农田。样品用不锈钢铲采取。为保证样品的代表性,在采样点附近 10 m 范围内取 3 个点组合为一个样品。53 号和 9 号采样点分别选取了一个土壤剖面,两剖面均剔除表面风化物后分层采集新鲜土壤。样品装入塑料自封样袋后送实验室。

1.2 样品处理

样品自然风干,用陶瓷研钵研磨,用尼龙筛过筛,粒度为 0.074 mm,取足够量送化验室分析。

1.3 样品分析

样品由江西省地矿局实验测试中心分析。每个样品均分析了 Cu、Pb、Zn、Ti、V、Co、Ni、As、Cd、Cr、Hg、Mn 等 12 种元素(表 1)。

分析质量监控按地质矿产实验室测试质量管理规范 DZ0130.6 的要求执行。各元素准确度监控分析结果合格率为 100%。内检合格率: Mn、Cu、Ti、Pb、Zn、V、Co、Ni、Cr 为 100%, As、Hg、Cd 为 92.31%。

2 矿区土壤重金属的特征

2.1 重金属的平面分布特征

各元素的分析结果见表 2。

由表 2 可知,所有元素的变化范围都很大,最大值远远高于全省土壤背景值,除 As 外,所有元素的平均值也都大于全省背景值。最大值是最小值的十

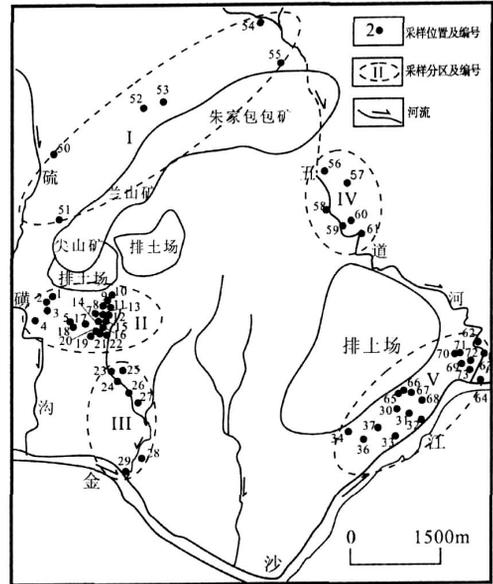


图 1 采样位置图

Fig. 1 A sketch showing sampling locations

表 1 各元素的分析方法

Table 1 The analytical methods for various elements

元素	分析方法	检出限 / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	检测仪器
Zn		4	
Mn	6g 样压饼, X 荧光光谱法	10	PW2403 型 X 射线荧光光谱仪
Ti		10	
Pb		2	
Co		1	
Cr	0.1000g 样, 四酸溶矿, 电感耦合等离子光谱法	5	PE5300DV 型电感耦合等离子光谱仪
Cu		1	
Ni		2	
V		5	
Hg	0.5000g 样, 王水溶矿, 原子荧光法	0.01	XGY-1011A 型原子荧光光度计
Cd	0.2000g 样, 四酸溶矿, 原子吸收分光光度法	0.03	508 型原子吸收光度计
As	0.5000g 样, 王水溶矿, 原子荧光法	1	AFS-230a 型原子荧光光度计

几到几十倍,说明重金属元素受土壤的性质及外界影响的程度有所不同。

从不同区域统计数据看, II 区土壤中 Cu、Pb、Zn、V、Co、Ni 的含量较高, IV 区 Cd、Hg、Cr 的含量较高, V 区 Ti、As 的含量较高, I 区 Mn 的含量较高, III 区重金属的含量较低。

2.2 重金属的剖面特征

两个典型土壤剖面分别为辉长岩风化剖面(剖面 1, 53 号采样点)和更长花岗岩风化剖面(剖面 2, 9 号采样点)。各元素在剖面上的变化见图 2, 图 3。

表 2 攀枝花矿区土壤样品分析结果

		Table 2 Contents of various elements in different places											mg/kg
		Cu	Pb	Zn	Ti	V	Co	Ni	As	Cd	Cr	Hg	Mn
I 区	最大	144.5	23.7	173.2	15367.0	283.4	71.9	84.8	3.0	0.391	130.4	0.160	2434.0
	最小	34.2	6.0	76.8	8089.0	164.6	39.5	26.1	0.9	0.109	22.7	0.010	936.0
	平均	91.1	14.6	112.2	11487.0	237.1	53.7	59.9	2.4	0.236	68.2	0.044	1506.3
II 区	最大	186.7	372.0	892.1	18010.0	455.3	93.9	124.2	14.3	1.624	280.9	0.340	2427.0
	最小	27.3	9.1	95.5	4641.0	126.0	14.1	18.0	1.8	0.075	25.2	0.013	724.0
	平均	91.4	35.9	178.1	9810.4	258.9	51.2	68.8	4.6	0.333	121.0	0.088	1286.1
III 区	最大	70.1	29.5	152.2	7377.0	221.3	43.1	71.8	6.3	0.297	203.9	0.094	1498.0
	最小	14.1	13.8	108.9	4275.0	75.9	13.4	19.1	1.2	0.063	48.7	0.014	935.0
	平均	41.1	20.4	126.2	5982.6	157.9	28.5	46.4	3.2	0.142	123.1	0.037	1156.9
IV 区	最大	70.7	41.6	210.1	8949.0	197.3	50.0	76.4	5.0	0.433	233.1	0.370	1349.0
	最小	43.3	19.2	126.8	5715.0	140.3	27.2	49.7	3.4	0.274	76.6	0.099	885.0
	平均	54.4	30.4	161.2	7159.5	170.5	35.1	64.0	4.1	0.344	146.4	0.187	1122.3
V 区	最大	86.9	261.4	395.5	98480.0	506.4	140.4	102.1	13.8	0.537	185.2	0.270	2124.0
	最小	10.6	6.0	85.2	3667.0	48.9	9.0	8.0	0.5	0.097	18.3	0.006	801.0
	平均	44.5	36.4	154.4	15406.7	238.2	43.9	42.4	5.2	0.219	87.7	0.036	1437.2
全区	最大	186.7	372.0	892.1	98480.0	506.4	140.4	124.2	14.3	1.624	280.9	0.37	2434.0
	最小	10.6	6.0	76.8	3667.0	48.9	9.0	8.0	0.477	0.063	18.3	0.006	724.0
	平均	66.5	31.5	155.9	11059.4	229.0	44.8	56.2	4.35	0.265	107.7	0.071	1325.2
标准偏差		40.1	56.038	109.1	12918.6	99.55	26.05	25.36	3.01	0.213	56.3	0.084	371.379
四川省土壤背景值 ^[11]		31.1	30.9	86.5	4000	96.0	17.6	32.6	10.4	0.079	79	0.061	657

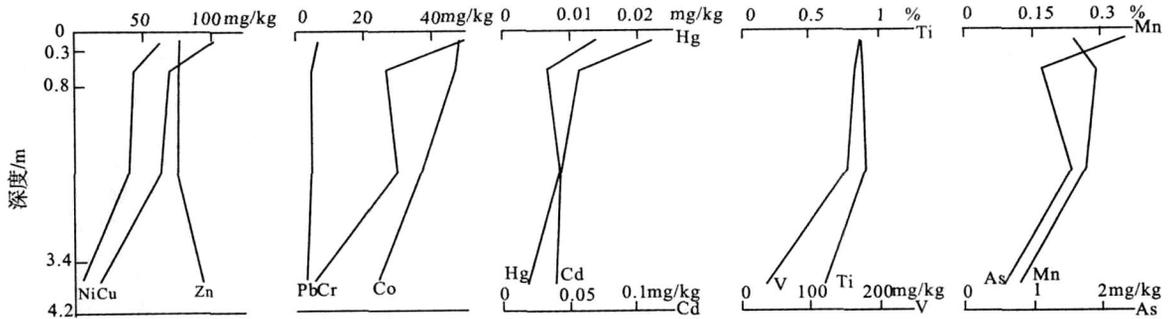


图 2 重金属在土壤剖面 1(点 53) 中含量变化

Fig. 2 Content variations of heavy metals in soils at profile 1 (No. 53 sampling spot)

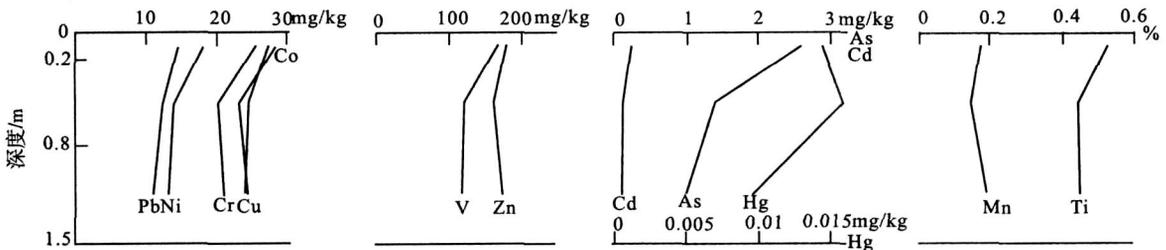


图 3 重金属在土壤剖面 2(点 9) 中含量变化

Fig. 3 Content variations of heavy metals in soils at profile 2 (No. 9 sampling spot)

从图 2 和图 3 可见,剖面基岩不同重金属元素含量差异较大。除 Pb、Zn、As、Cd 在花岗岩风化的土壤剖面中含量高之外,其他元素在辉长岩风化剖面中的含量较高,其中 Cu、Co、Cr、Ti、Mn、Ni 在辉长岩土壤剖面中的含量远高于花岗岩剖面,V 和 Hg 含量略大于花岗岩土壤剖面。这说明基岩的成分和性质直接关系到土壤剖面重金属的含量。此

外,除 Zn 外,所有元素由表层向深部含量降低。

3 矿区土壤重金属的污染评价

环境质量评价是对环境污染评估和治理的前提,目前对环境质量的评估有多种方法。污染负荷指数法(Pollution Load Index)是 Tomlinson 等人在从事重金属污染水平的分级研究中提出来的

评价方法;主要针对某一点的重金属综合污染程度和区域综合污染程度进行评价,应用比较广泛^[12]。污染负荷指数由区内多种重金属成分共同构成,能直观地反映各个重金属对某一点污染的贡献程度及在时间、空间上的变化趋势。

污染负荷指数应先进行最高污染系数(CF_i)的计算: $CF_i = G_i / C_{0i}$,式中 CF_i 为元素的*i*最高污染系数, G_i 为元素*i*的实测含量, C_{0i} 为元素*i*的评价标准,即背景值。为了便于比较,本文选择四川省土壤背景值进行评价。

某一点的污染负荷指数(PLI)为:

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n}$$

表3 各元素的污染系数(CF_i)及污染物负荷指数

Table 3 CF_i and PLI of heavy metal elements

区域	元素	CF_i												PLI	PLI_{zone}
		Cu	Pb	Zn	Ti	V	Co	Ni	As	Cd	Cr	Hg	Mn		
I区	最大	4.65	0.77	2.00	3.84	2.95	4.08	2.60	0.28	4.95	1.65	2.62	3.71	1.94	1.28
	最小	1.10	0.20	0.89	2.02	1.71	2.24	0.80	0.09	1.38	0.29	0.16	1.43	0.96	
	平均	2.93	0.47	1.30	2.87	2.47	3.05	1.84	0.23	2.99	0.86	0.72	2.29	1.33	
II区	最大	6.00	12.04	10.31	4.50	4.74	5.34	3.81	1.37	20.55	3.56	5.57	3.69	3.40	1.60
	最小	0.88	0.29	1.10	1.16	1.31	0.80	0.55	0.17	0.95	0.32	0.21	1.10	0.90	
	平均	2.94	1.16	2.06	2.45	2.70	2.91	2.11	0.44	4.21	1.53	1.44	1.96	1.68	
III区	最大	2.25	0.96	1.76	1.85	2.31	2.45	2.20	0.61	3.76	2.58	1.54	2.28	1.70	1.07
	最小	0.45	0.45	1.26	1.07	0.79	0.76	0.59	0.12	0.80	0.62	0.23	1.42	0.68	
	平均	1.32	0.66	1.46	1.50	1.65	1.62	1.42	0.31	1.80	1.56	0.60	1.76	1.12	
IV区	最大	2.27	1.35	2.43	2.24	2.06	2.84	2.34	0.48	5.49	2.95	6.07	2.05	1.82	1.67
	最小	1.39	0.62	1.47	1.43	1.46	1.55	1.52	0.33	3.46	0.97	1.62	1.35	1.51	
	平均	1.75	0.98	1.86	1.79	1.78	1.99	1.96	0.40	4.35	1.85	3.06	1.71	1.68	
V区	最大	2.79	8.46	4.57	24.62	5.28	7.98	3.13	1.33	6.80	2.34	4.43	3.23	2.22	1.24
	最小	0.34	0.20	0.99	0.92	0.51	0.51	0.24	0.05	1.23	0.23	0.10	1.22	0.56	
	平均	1.43	1.18	1.79	3.85	2.48	2.50	1.30	0.50	2.77	1.11	0.59	2.19	1.30	
全区	最大	6.00	12.04	10.31	24.62	5.28	7.98	3.81	1.37	20.55	3.56	6.07	3.71	3.40	1.38
	最小	0.34	0.20	0.89	0.92	0.51	0.51	0.24	0.05	0.80	0.23	0.10	1.10	0.56	
	平均	2.14	1.02	1.80	2.77	2.39	2.54	1.72	0.42	3.35	1.36	1.16	2.02	1.45	

研究区各污染物负荷指数法评价结果表明,总体上Co、V、Cu、Cd、Ti的最高污染系数大,Zn、Mn、Ni、Cr次之,Hg、Pb的最高污染系数较小,As最小。单个元素的污染程度由大到小也是上述顺序。

全区无污染区占20.3%,中等污染区占64.4%,强污染区占13.6%,极强污染只有一个采样点(占1.7%)。全区总体上以中等污染为主,无污染和强污染较少,极强污染则为个别点。矿区的区域污染指数(1.38)也证明了这一点。

从污染区的分布看,IV区和II区土壤的污染物负荷指数较大,I区和V区次之,III区较小。I区(矿区上游)以中等污染为主,少数达到了强污染;II区(兰尖矿排土场周围)土壤达到了中等至强污染,个别为极强污染;III区(兰尖矿下游,远离矿山及排土场)土壤以中等污染为主,部分无污染;IV区

式中, PLI 为某一点的污染负荷指数, n 为评价元素的个数。某一区域(流域)的污染负荷指数(PLI_{zone})为:

$$PLI_{zone} = \sqrt[n]{PLI_1 \times PLI_2 \times PLI_3 \times \dots \times PLI_n}$$

式中, PLI_{zone} 为流域污染负荷指数, n 为评价点的个数(采样点的个数)。污染负荷指数一般分为4个等级:0级为无污染($PLI < 1$),I级为中等污染($PLI 1 \sim 2$),II级为强污染($PLI 2 \sim 3$),III级为极强污染($PLI > 3$)。该方法考虑到了每一种元素(污染物)对环境的贡献,能较全面地反映区域污染状况。

按上述评价方法计算了区内表层土壤中重金属的污染物负荷指数,评价了污染程度(表3,图4)。

(朱矿采场下游)土壤以中等生态危害为主,部分达到了强生态危害;V区(朱矿排土场周围)以中等污染为主,部分达到了强污染,少数为无污染。各区的污染物负荷指数分别为:1.28、1.60、1.07、1.67和1.24,都没有超过2,属于中等污染。

从不同区域的污染物负荷指数来看,采场和排土场废石堆放对生态环境有重大影响,远离矿区则影响渐小。表明除各区的地质背景之外,矿业活动是重金属的一个重要来源。

4 结 论

(1)因基岩不同矿区表层土壤中重金属含量变化较大,剖面上表层土壤重金属含量高于下部。

(2)表层土壤重金属的污染物负荷指数较低,大部分为中等污染,少数为强污染,个别达到极强污染。

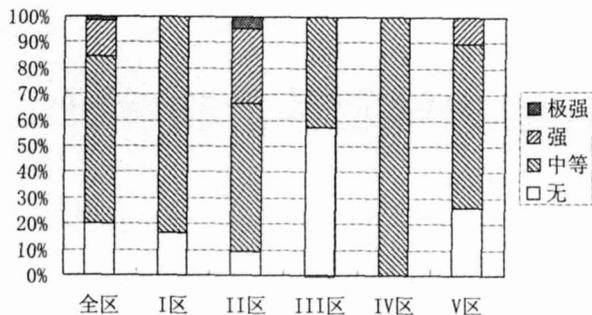


图 4 重金属的污染程度统计

Fig. 4 Statistics of pollution degrees of heavy metal elements

(3) Co、V、Cu、Cd、Ti 的最高污染系数大,Zn、Mn、Ni、Cr 次之,Hg、Pb 较小,As 最小。

(4) 排土场周围和朱矿采矿场下游不远处污染程度较大,远离矿区以及矿区上游污染较小。

(5) 排土场及采场是矿区周围土壤污染的主要影响因素,但影响范围有限。

参考文献 (References) :

[1] 崔毅, 辛福言, 马绍赛, 宋云利, 陈碧鹃, 陈聚法. 乳山湾沉积物重金属污染及其生态危害评价[J]. 中国水产科学, 2005, 12(1) : 83 - 90.
Cui Yi , Xin Fuyan , Ma Shaosai , Song Yunli , Chen Bijuan , Chen Jufa. Pollution of heavy metals in sediments and its evaluation of potential ecological harm in Rushan Bay, Shandong Peninsula [J]. J. Fishery Sci. China, 2005, 12(1) :83 - 90. (in Chinese with English abstract)

[2] 黄顺生, 范迪富, 陈宝, 金洋. 太湖北部沉积物重金属污染及其潜在生态危害评价[J]. 江苏地质, 2005, 29(1) : 43 - 45.
Huang Shunsheng, Fan Difu, Chen Bao, Jin Yang. A temporal assessment on ecological risk caused by heavy metals in north Taihu basin[J]. Jiangsu Geology, 2005, 29(1) : 43 - 45. (in Chinese with English abstract)

[3] 黄宏, 郁亚娟, 王晓栋. 淮河沉积物中重金属污染及潜在生态危害评价[J]. 环境污染与防治, 2004, 26(3) :207 - 208, 231.
Huang Hong , Yu Yajuan , Wang Xiaodong. Pollution of heavy metals in surface sediments from Huaihe River and its assessment of potential ecological risk[J]. Environ. Pollu. Control, 2004, 26(3) : 207 - 208, 231. (in Chinese with English abstract)

[4] 石俊艳, 于伟君, 刘中, 王丹. 双台子河主要重金属污染及其潜在生态危害[J]. 水利渔业, 1995(4) : 21 - 24.
Shi Junyan, Yu Weijun, Liu Zhong, Wang Dan. Key heavy metal pollution and latency zoology harm in Shuangtaizi River [J]. Reservoir Fisheries, 1995(4) : 21 - 24. (in Chinese)

[5] 尚英男, 倪师军, 张成江, 黄艺, 尹观. 成都市河流表层沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 生态环境, 2005, 14(6) : 827 - 829.
Shang Yingnan , Ni Shijun , Zhang Chengjiang , Huang Yi , Yin

Guan. Pollution of heavy metals in the surface sediments from rivers in Chengdu and their potential ecological risk [J]. Ecol. Environ. , 2005, 14(6) : 827 - 829. (in Chinese)

[6] 滕彦国, 倪师军, 张成江, 马玉孝. 攀枝花钢铁基地矿业开发过程中减轻环境影响的对策[J]. 中国矿业, 2000, 9(4) : 95 - 98.
Teng Yanguo , Ni Shijun , Zhang Chengjiang , Ma Yuxiao. Countermeasures of reducing environment impacts from mining activity in Panzhihua iron and steel base[J]. China Mining, 2000, 9(4) : 95 - 98. (in Chinese)

[7] 滕彦国, 倪师军, 张成江, 李玉昌. 攀枝花钢铁基地环境恢复与生态重建的对策[J]. 四川环境, 2001, 20(1) : 31 - 34.
Teng Yanguo , Ni Shijun , Zhang Chenjiang , Li Yuchang. Countermeasures to restore environment and rehabilitate ecology in Panzhihua mining industry base[J]. Sichuan Environ. , 2001, 20(1) : 31 - 34. (in Chinese with English abstract)

[8] 滕彦国, 倪师军, 张成江. 攀枝花地区昔格达组土壤中微量元素地球化学分异特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2005, 32(3) : 288 - 294.
Teng Yanguo , Ni Shijun , Zhang Chengjiang. Geochemical variation of trace elements in soils from the Xigeda formation of the Panzhihua region, China [J]. J. Chengdu Univ. Tech. (Sci. & Tech.) , 2005, 32(3) : 288 - 294. (in Chinese with English abstract)

[9] 滕彦国, 倪师军, 张成江, 马玉孝. 攀枝花地区土壤环境地球化学基线的影响因素研究[J]. 矿物岩石, 2002, 22(2) : 38 - 42.
Teng Yanguo , Ni Shijun , Zhang Chengjiang , Ma Yuxiao. Factors affecting the environmental geochemical baselines of soil in Panzhihua region[J]. J. Miner. Petro. , 2002, 22(2) : 38 - 42. (in Chinese with English abstract)

[10] 徐争启, 倪师军, 张成江, 虞先国, 滕彦国. 应用污染负荷指数法评价攀枝花地区金沙江水系沉积物中的重金属[J]. 四川环境, 2004, 23(3) : 67 - 67.
Xu Zhengqi , Ni Shijun , Zhang Chengjiang , Tuo Xianguo , Teng Yanguo. Assessment on heavy metals in the sediments of Jinsha River in Panzhihua area by pollution load index [J]. Sichuan Environ. , 2004, 23(3) : 67 - 67. (in Chinese with English abstract)

[11] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
China Environment Monitoring General Station. Background value of soil elements in China[M]. Beijing: China Environment Science Publishing House ,1990. (in Chinese)

[12] 贾振邦, 周华, 张宝权, 赵丽华. 应用污染负荷指数法评价太子河(本溪市区段) 沉积物中重金属污染[J]. 环境科技, 1992, 12(6) : 55 - 61.
Jia Zhenbang , Zhou Hua , Zhang Baoquan , Zhao Lihua. Assessment on heavy metals in the sediments of Taizi river in Benxi area by pollution load index [J]. Environ. Tech. , 1992, 12(6) : 55 - 61. (in Chinese)