

沈阳城市地质环境问题的研究

石旭飞,代雅建,崔 健,马宏伟,张梅桂,杨佳佳

中国地质调查局 沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110034

摘 要: 对沈阳煤田采空区地面沉陷、地下水污染和土壤重金属污染问题展开了深入的调查分析研究。结果表明:沈南煤田矿区各沉陷区面积为 3.85~17.19 km²,沈北煤田矿区各沉陷区面积为 0.21~4.89 km²。研究区地下水污染从山前地带到平原地区逐渐加重。东部山前地带工业不发达,污染较少;北部和南部地区地下水埋藏较深,污染源较少,不易造成污染,整体污染较轻;西部工业发达,污染源较多,地下水污染较重。沈阳市区土壤重金属污染较为普遍,以铁西区原工厂区为中心形成面积性污染,中心城区及于洪工业区存在 Se、Zn、Pb、Hg 高浓度区。

关键词: 采空区;地面沉陷;地下水污染;土壤重金属污染;沈阳市

STUDY ON THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF SHENYANG CITY

SHI Xu-fei, DAI Ya-jian, CUI Jian, MA Hong-wei, ZHANG Mei-gui, YANG Jia-jia

Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110034, China

Abstract: This paper investigates and analyzes the surface subsidence of mined-out coalfield, groundwater pollution and heavy metal pollution of Shenyang City. The results show that the subsidence areas are 3.85 – 17.19 km² in the coalfields in Southern Shenyang and 0.21 – 4.89 km² in the north. The groundwater pollution becomes heavier from the piedmont to the plain in the study area. The eastern piedmont area is less polluted due to undeveloped industry. In the northern and southern regions, the groundwater is buried deeply less polluted sources, therefore the pollution is slight. In the west, where the industry is developed with more pollution sources, the groundwater is heavily polluted. Heavy metal pollution of soil is common in Shenyang, with Tiexi District as the center to form areal pollution. There is a high concentration zone of Se, Zn, Pb and Hg in the central city and Yuhong industrial area.

Key words: surface subsidence; mined-out coalfield; groundwater pollution; heavy metal pollution of soil; Shenyang City

0 引言

沈阳市是配套完整的重要装备制造业和原材料工业基地^[1],工业实力较强,是辐射带动东北地区振兴发展的龙头。但是城市建设和社会经济发展不可避免地

会对地质环境造成不良影响。

沈阳市在长期建设和发展过程中,产生了煤田采空区^[2]地面沉陷、地下水污染、土壤重金属污染^[3-4]等一系列地质灾害问题,已经严重制约了沈阳市的社会

收稿日期:2017-02-16;修回日期:2017-03-20。编辑:李兰英。

基金项目:中国地质调查局项目“沈阳经济核心区地质环境综合调查评价”(12120115032901)。

作者简介:石旭飞(1986—),男,博士,工程师,主要从事水文地球化学方面研究,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail//shixufei1986@163.com

经济建设和可持续发展,也对地质环境基础研究工作提出了更高的要求。

因此,本次研究在搜集整理已有资料基础上,对研究区煤田采空区地面沉陷、地下水污染和土壤重金属污染问题展开调查,并对调查结果进行深入研究分析,为沈阳城市基础设施建设和国土开发规划、矿业城市环境恢复治理提供科学依据。

1 研究区地质概况

沈阳市位于辽东山地与下辽河平原的过渡地带,西部为下辽河平原,东部为辽东丘陵山地,北部为辽北丘陵,总体地势东北高、西南低。地貌由山前冲洪积平原逐渐过渡到辽河冲积平原(图1)。

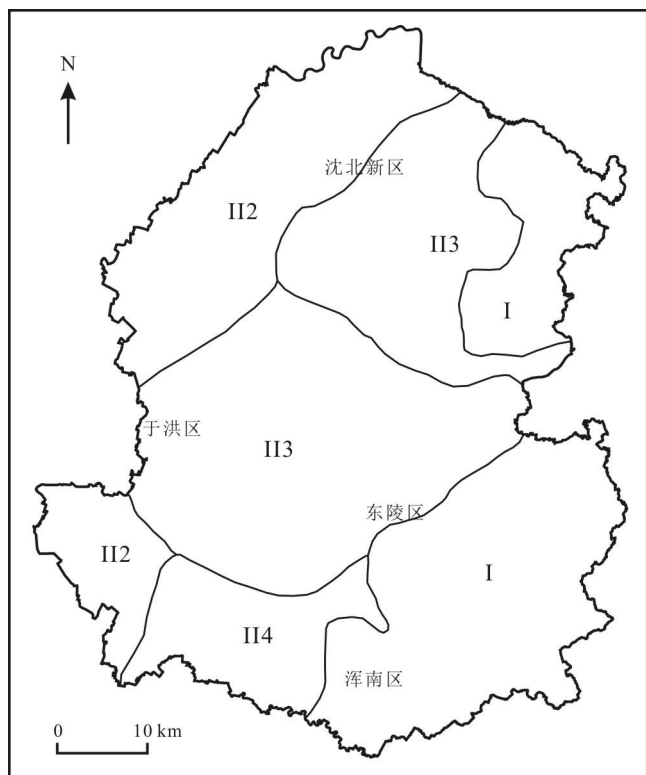


图1 研究区地貌分区图

Fig. 1 Geomorphologic zonation map of the study area

I—构造剥蚀低山丘陵 (structural denuded low hill); II1—浑河冲洪积扇 (Hunhe River alluvial fan); II2—辽河冲洪积扇 (Liaohe River alluvial fan); II3—波状岗台地 (undulating platform); II4—饶柳河泛平原 (Rao-Liu River flood plain)

研究区属华北地层区,大面积地区为第四系地层覆盖,东部丘陵山区基岩出露。区内地层除缺失上奥陶统、志留系、下石炭统、上白垩统外,其余各时代地层

皆有不同程度发育。第四系大面积分布于西部平原区,东部山区仅分布于河谷及山前地带,超覆于前第四纪地层之上。地层发育良好,从下更新统至全新统均有出露,成因类型复杂,主要有冲积层、冲洪积层、洪积层、坡洪积层、冰碛及冰水堆积层、火山堆积层,主要组成辽河、浑河扇形地。第四系由东向西沉积粒度由粗变细,层位由单层、双层增加至多层,地层厚度逐渐由10 m增至140 m^[5]。

区内水系分属辽河、浑河两大水系。辽河于工作区北部边缘由北及西流过,其境内支流主要为北沙河及一些较小的季节性河流。浑河是区内的主要河流,在傍河大量开采地下水的条件下,浑河水成为地下水的主要补给源之一。

2 研究方法

2.1 煤田采空区地面沉陷问题

研究中充分搜集整理了前人调查资料,重点调查了沈南煤田矿区和沈北煤田矿区地面塌陷、地面沉降和地裂缝现状,对上述地质灾害的范围、深度、影响、发展趋势以及造成的损失进行了深入系统的调查。

2.2 地下水污染问题

在利用前人已有调查资料的基础上,综合分析了沈阳地区水文地质条件^[6]、土地利用类型^[7]、污染源类型等因素后,以面上控制和局部加密为原则在沈阳市城区范围内进行了补充采样,并进行分析测试。累计共搜集了浅层地下水样(埋藏相对较浅、与大气降水或地表水联系密切的潜水)325组。利用样品测试数据构建如下计算公式:

$$P_{ki} = \frac{C_{ki} - C_0}{C_{III}}$$

式中: P_{ki} 为 k 水样第 i 个指标的污染评价指数; C_{ki} 为 k 水样第 i 个指标的测试结果; C_0 为对于无机组分,代表 k 水样所在区域指标 i 的参照值,由统计计算而得,对于有机组分,该值为0; C_{III} 为《地下水质量标准(GB/T 14848-93)》^[8]中指标 i 的III类指标限值。

利用公式分别计算各水样点单因子污染指数结果 P_{ki} ,并同表1中污染分级标准对照划分污染等级,得出各水样单因子污染等级划分结果。

表 1 污染指数分级标准
Table 1 Grading standard of pollution index

污染类别	未污染	轻污染	中污染	较重污染	严重污染	极严重污染
污染分级	I	II	III	IV	V	VI
指数范围	$P \leq 0$	$0 < P \leq 0.2$	$0.2 < P \leq 0.6$	$0.6 < P \leq 1.0$	$1.0 < P \leq 1.5$	$P \geq 1.5$

对单因子污染评价完成并依次划分好等级后,将各水样单因子污染等级做比对,规定其中污染等级最高因子的等级划分结果作为该水样点的地下水污染综合评价结果.

2.3 土壤重金属污染问题

在分析前人调查研究成果的基础上,在沈阳三环路以内城区范围取表层土壤样共 473 件,采样深度 20 cm,采用多点刻槽法采集非扰动原地土样,分析测试 As、Hg、Cr、Pb、Cd、Cu、Zn、Ni、Se 元素的含量,系统调查沈阳城市区土壤重金属元素的污染程度.

3 煤田采空区地面沉陷问题

受人类采矿活动的影响,研究区内矿区发生地面沉陷、地裂缝等一系列地质灾害,主要分布在煤矿开采区.

3.1 沈南煤田矿区

沈南煤田矿区地势较平坦,采煤形成的沉陷区有 3 处,即红菱煤矿的红菱堡沉陷区、林盛煤矿的沙河堡沉陷区和林盛堡沉陷区.红菱煤矿自开采以来,形成 4 处地下采空区,面积 3.85 km²; 2 处沉陷区,面积 9.38 km²,最深处 3.96 m,发生在北树村.林盛煤矿自开采以来,形成地下采空区面积达 5.87 km²; 沉陷区面积达 17.19 km²,最深处 2.11 m,发生在沙河堡镇和林盛镇 2 个乡镇.

1)红菱堡沉陷区:位于南红、北红、烟台 3 个村,沉陷区长约 3500 m,宽约 2100 m,为北东向展布的长条形,面积为 7.35 km²,塌陷深度约 1.5 m.在区内东北部边缘多年前发育地裂缝,现已填埋.在西南的烟台村居民家院内出现过地裂缝,填埋后现又裂开,长约 80 m,宽 0.5 m,深 1.5 m,沿北西向向沙河堤坝延伸.

2)沙河堡沉陷区:分布于该镇的官电和高力屯两村,平面形状为南北长 2000 m、东西宽约 1800 m 的长方形,最大沉陷深度约为 1.4 m.在此沉陷区的东南部边缘,发育 3 组 6 条地裂缝,长 80~500 m,宽 0.2~0.3

m,深 0.4~1.8 m(图 2a).

3)林盛堡沉陷区:主要包括林盛、吉祥、南乱木、北乱木 4 个村,以长大铁路为界,分为两片,沿北东向展布的长条形沉陷区.西区长约 5300 m,宽 1900 m,沉陷深度为 1.5 m.区内吉祥村发育两个小型塌陷坑,直径 4~5 m,深 1.5~3.0 m.在两个小塌陷坑的边缘伴生 3 条地裂缝,长 30~100 m,宽 0.2~0.5 m,深 0.4~1.0 m.东区长约 3500 m,宽 1500 m,面积为 4.2 km² (图 2b).



图 2 沈南煤田矿区地裂缝

Fig. 2 Ground fissures in the coalfield, southern Shenyang
a—沙河堡镇官屯村地裂缝(Guantun Village);b—林盛堡镇吉祥村地裂缝(Jixiang Village)

3.2 沈北煤田矿区

与沈南煤田沉陷区不同,沉陷区以塌陷坑和地裂缝发育为主(图 3).

1)清水煤矿塌(沉)陷区:煤矿经过多年的开采,形成地下采空区面积 3.19 km²,沉陷区面积达 4.44 km²,最大塌陷深度 9.68 m,分布在四家子村、松树村、孙家村、大蔡台村.形成 6 处积水塌陷坑,积水面积 0.055 km²,水深一般在 1.0~2.0 m.其中四家子塌陷积水坑水较深,水深达 4.0 m.

2)蒲河煤矿塌(沉)陷区:煤矿开采后,共形成地下采空区面积达 2.49 km²,沉陷区面积 3.79 km²,最深处 16.99 m,分布在松树村、望花台村、崔公堡村、中五旗



图3 沈北煤田矿区地面沉陷

Fig. 3 Surface subsidence in the coalfield, northern Shenyang
a—清水台镇三井社区地面沉陷积水坑(Sanjing Community); b—马古村
地面塌陷积水坑(Magu Village)

村、东五旗村,形成3处大型积水坑,水面面积达0.4762 km²。

3)大桥煤矿塌(沉)陷区:煤矿经过3年开采,形成采空区面积达0.07 km²,沉陷区面积达0.21 km²,塌陷深10.53 m,分布在虎石台镇东岗子村。

4)前屯煤矿沉陷区:位于前屯—熊家岗子,煤矿形成沉陷区面积4.89 km²,最深达5.98 m。发育有3个中型塌陷坑,其中前屯社区矸子山片发育有东西向串珠状排列的4个积水坑,坑的直径为5~15 m,分布在长300 m、宽150 m的长条形塌陷区内。在前屯村农田里,有长1000 m、宽100 m的长条形塌陷洼地,积水深度2 m,最近10年下沉明显。另一处塌陷坑位于熊家岗子村农田里,塌陷坑长约400 m,宽约150 m,面积0.06 km²。

5)马古煤矿和进步煤矿沉陷区:位于马古煤矿和进步煤矿采区,沉陷区面积1.15 km²。区内发育有3个大型塌陷坑、2个中型塌陷坑及1组4条地裂缝。在3个大型塌陷坑中,有2个位于马古家村内,为塌陷群坑。第一处位于村西,原有南北向串珠状6个塌陷坑,现已形成一个1200 m、宽200 m的积水大坑,深6 m。

距此群坑东约1 km,有直径30~60 m、深度6~7 m的5个积水坑群集式排列,形成第二处塌陷群坑,分布面积约0.785 km²。在该塌陷群坑的西部边缘,有4条走向320°,平行排列的阶梯状地裂缝,长度150~300 m,宽0.3~1.0 m,深1.0~1.5 m。

4 地下水污染问题

总体上,整个研究区地下水均不同程度地遭到污染,改变了地下水的天然状态。整个工作区的地下水污染较重,主要污染物包括无机指标的挥发酚、氨氮、硝酸盐、氯化物、硫酸盐、总硬度、Pb、TDS、耗氧量和有机指标的苯并(a)芘、1,2-二氯丙烷。

研究区共有I类未污染点50个,占样品数的15.4%,主要分布在沈阳市区西北部的辽河扇地、东南部的浑河南岸丘陵区以及城区的部分水源地;II类轻污染点总数43个,占样品数的13.2%,主要分布在沈阳市中北部的虎石台—道义—皇姑区一带、浑河南岸的长白—竞赛—夹河范围以及东南部的丘陵山区;III类中污染点39个,占样品数的12.0%,主要分布在沈阳市北部—东北部的尹家—新城子—棋盘山一线、浑河中游汪家湾—大青段沿岸地区,西部和南部仅小范围出现;IV类较重污染点37个,占样品数的11.4%,分布在沈阳市主城区—浑河站朝鲜族乡—苏家屯城区一线及西南部浑河下游的王纲堡—永乐乡—沈旦堡一线分布;V类严重污染点12个,占样品数的3.7%,在沈阳市内零星分布于西南部的浑河下游两岸以及浑河站朝鲜族自治县附近,主要影响指标包括Pb、COD、氨氮以及有机污染物挥发酚、苯并(a)芘;VI类极严重污染点144个,占样品数的44.3%,以条带状广泛分布在沈阳市的西部、西南部的细河与浑河下游两岸的张士—郎家—大潘镇—高花镇—彰驿镇—长滩镇等地区,主要影响指标包括Pb、Al、COD、氨氮以及有机污染物挥发酚、苯并(a)芘和1,2-二氯丙烷,在北部的平罗镇—道义镇—虎石台镇—黄家—新台子范围内片状分布。

综上,研究区地下水污染呈现从山前地带到平原地区逐渐加重的规律(图4)。东部山前地带所处的水文地质条件良好,加之人类活动较少,污染源较少,因而除个别点外,污染较轻,甚至未污染。市区南部地区位于浑河冲洪积扇新扇上,覆盖较厚的黏土、亚黏土,地下水埋藏较深,人类活动以农业活动为主,污染源较

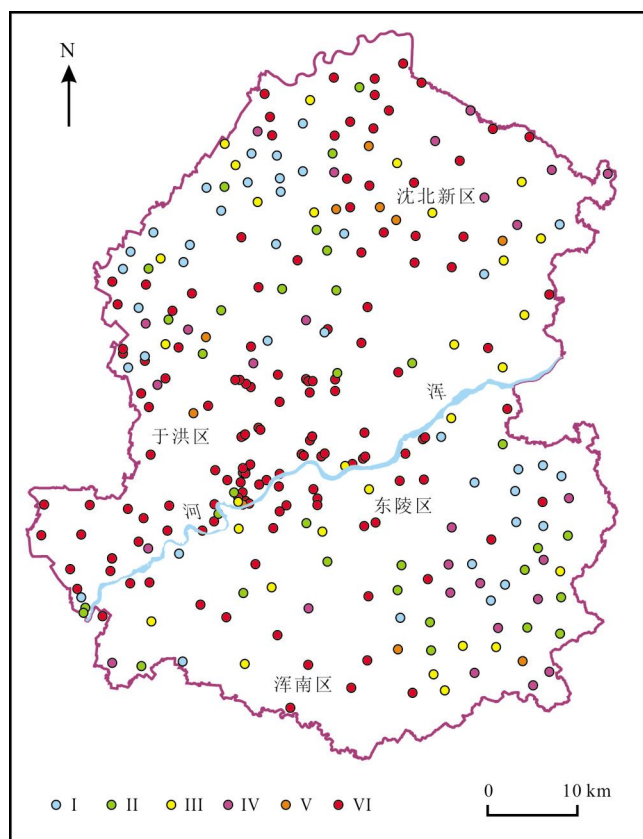


图4 研究区地下水采样点分布和污染现状综合评价图

Fig. 4 Distribution of groundwater samples and evaluation of pollution status in the study area

I—未污染点 (uncontaminated); II—轻污染点 (slightly contaminated); III—中污染点 (medium contaminated); IV—较重污染点 (heavy contaminated); V—严重污染点 (severely contaminated); VI—极严重污染点 (extremely contaminated);

少,除个别地段外,一般不易造成污染,因而整体污染较轻。北部地区位于浑河老洪积扇及辽河冲洪积扇上,覆盖较厚的黄土状黏土,地下水埋藏较深,人类活动以农业活动为主,污染源相对较少,除个别地段外,一般不易造成污染,因而整体污染较轻,基本为轻污染和中污染。西部位于浑河冲洪积扇前缘平原区,虽然地表有薄层黏土或亚黏土盖层,地下水水位埋藏较深,但含水层颗粒较细,地下水径流速度变缓,加之该地区人类活动强烈,工业发达(沈西工业走廊),污染源较多,地表水系(浑河和细河)发达且污染较重,因而地下水污染较重。

5 土壤重金属污染问题

总体上,沈阳市表层土壤受 Cd、Hg、Pb 重金属元

素污染较重,并存在 Cu、Zn、Se、As、Cr、Ni 等元素的污染(图5)。

As 元素平均值为 10.14×10^{-6} ,变化范围 $2.47 \times 10^{-6} \sim 43.00 \times 10^{-6}$ 。As 元素高含量区主要分布于铁西原工业区地段,极大值点位于原冶炼厂旁老居民区绿地。土壤中可见少量煤灰,为原厂区落尘及工业废渣人为堆填扩散造成。地表土壤中 As 元素含量较高。

Cd 元素平均值为 0.71×10^{-6} ,变化范围 $0.04 \times 10^{-6} \sim 7.42 \times 10^{-6}$ 。Cd 元素高含量区主要分布于铁西原工业区地段老居民区,土壤中可见少量煤灰。原厂区落尘及工业废渣人为堆填扩散造成地表土壤中 Cd 元素含量较高。铁西新区新工业区范围内也出现土壤 Cd 元素较高现象,工业活动对土壤产生了影响。

Cr 元素平均值为 77.02×10^{-6} ,变化范围 $35.3 \times 10^{-6} \sim 435.00 \times 10^{-6}$ 。Cr 元素高值区分布较为分散,分别位于铁西原钢板厂老居民区、新工业区及新开河等原排污河河漫滩或河边绿地,主要为原工业区及生活区落尘及废水排放、固废人工堆填所致。同时新工业区土壤也已受工业生产及排放的污染。

Cu 元素平均值为 50.10×10^{-6} ,变化范围 $9.5 \times 10^{-6} \sim 407 \times 10^{-6}$ 。Cu 元素极大值点位于沈阳站南老居民区,该区原分布有供暖公司。土壤 Cu 元素其他高含量区分别分布于原铁西老厂区的居民区、万泉公园河岸绿地、浑南沈阳出口加工区的老居民区等地。上述地区区内土壤均为含少量煤渣煤灰、砖屑等的杂填土,造成土壤 Cu 元素含量较高。

Hg 元素平均值为 0.26×10^{-6} ,变化范围 $0.02 \times 10^{-6} \sim 5.72 \times 10^{-6}$ 。Hg 元素极大值点位于铁西细河下游沿岸绿地,其他高含量区主要分布于浑河下游漫滩、南运河及北运河城区河段绿地、部分老居民区。

Ni 元素平均值为 32.7×10^{-6} ,变化范围 $14.6 \times 10^{-6} \sim 197 \times 10^{-6}$ 。Ni 元素高含量区集中分布于城区东部黎明航空发动机集团公司周边南、北运河沿岸绿地及老居民区。

Pb 元素平均值为 83.05×10^{-6} ,变化范围 $9.72 \times 10^{-6} \sim 3834 \times 10^{-6}$ 。Pb 元素极大值点位于市区东部高官台铁路沿线绿化带,该处林地土壤多为固废堆放而成,造成 Pb 元素含量极高。Pb 元素高值区在铁西老工业区分布较广,主要分布于老居民区及公路旁绿地。

Zn 元素平均值为 160.52×10^{-6} ,变化范围 $30.4 \times 10^{-6} \sim$

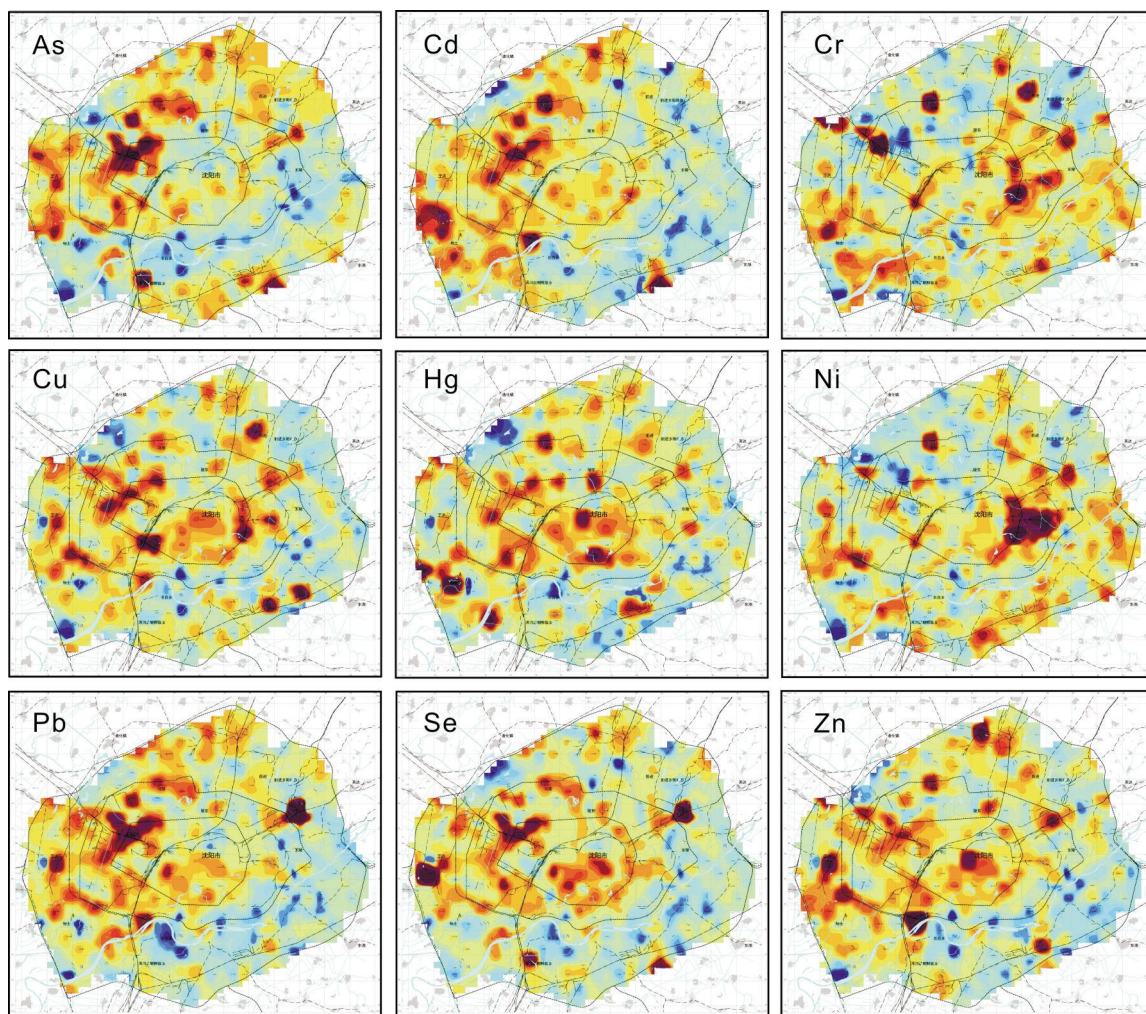


图5 研究区土壤重金属元素空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution of heavy metals in the soil of study area

3086×10^{-6} . Zn 元素极大值点位于市区东南浑河北岸林地,该处浑河岸边原多堆填大量固废,造成土壤 Zn 元素含量高达 3086×10^{-6} .

Se 元素平均值为 0.58×10^{-6} , 变化范围 $0.03 \times 10^{-6} \sim 8.89 \times 10^{-6}$. Se 元素极大值点位于于洪广场西侧工业区街头公园绿地.

综上所述,沈阳城市区土壤 Cd、Hg 等重金属污染较为普遍(图5). 以铁西区原工厂区为中心形成面积性污染, Cd、Hg、Pb、Zn、Cr、Ni、As、Se 各元素浓度均较高. 中心城区及于洪工业区存在 Se、Zn、Pb、Hg 高浓度区. 细河下游沿岸地带 Zn、Cu、Cr、Cd 浓度较高. 部分老居民区、城区浑河下游段漫滩区、各废弃铁路沿线存在点状及线状土壤重金属污染区.

6 结论

1) 沈南煤田矿区采煤形成的沉陷区有红菱煤矿的红菱堡沉陷区、林盛煤矿的沙河堡沉陷区和林盛堡沉陷区 3 处. 红菱煤矿自开采以来, 形成 4 处地下采空区, 面积 3.85 km^2 ; 2 处沉陷区, 面积 9.38 km^2 , 最深处 3.96 m , 发生在北树村. 林盛煤矿自开采以来, 形成地下采空区面积达 5.87 km^2 ; 沉陷区面积达 17.19 km^2 , 最深处 2.11 m , 发生在沙河堡镇和林盛镇.

2) 沈北煤田矿区沉陷区以塌陷坑和地裂缝发育为主. 清水煤矿塌陷区面积 4.44 km^2 , 最大塌陷深度 9.68 m , 分布在四家子村、松树村、孙家村、大蔡台村. 蒲河煤矿塌陷区面积 3.79 km^2 , 最深处 16.99 m , 分布在松树村、望花台村、崔公堡村、五旗村. 大桥煤矿塌陷区面积 0.21 km^2 , 塌陷深 10.53 m , 分布在虎石台镇东岗子

村. 前屯煤矿沉陷区面积 4.89 km², 最深达 5.98 m, 分布在前屯社区、熊家岗子村. 马古煤矿和进步煤矿沉陷区面积 1.15 km², 深 1.0~1.5 m, 主要分布于马古家村内.

3) 沈阳市内地下水污染呈现从山前地带到平原地区逐渐加重的规律. 东部山前地带工业不发达, 污染较少. 北部和南部地区覆盖较厚的黏土、亚黏土, 地下水埋藏较深, 污染源较少, 不易造成污染, 因而整体污染较轻. 西部人类活动强烈, 工业发达(沈西工业走廊), 污染源较多, 地表水系(浑河和细河)发达且污染较重, 因而地下水污染较重.

4) 沈阳市区土壤 Cd、Hg 等重金属污染较为普遍. 以铁西区原工厂区为中心形成面积性污染, Cd、Hg、Pb、Zn、Cr、Ni、As、Se 各元素浓度均较高. 中心城区及于洪工业区存在 Se、Zn、Pb、Hg 高浓度区. 细河下游沿岸地带 Zn、Cu、Cr、Cd 浓度较高. 部分老居民区、城区浑河下游段漫滩区、各废弃铁路沿线存在点状及现状

土壤重金属污染区.

参考文献:

- [1] 韩瑞玲. 沈阳经济区经济与环境协调发展研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2012.
- [2] 卢守青, 程远平, 王海峰, 等. 红菱煤矿上保护层最小开采厚度的数值模拟[J]. 煤炭学报, 2012, (S1): 43-47.
- [3] 吴学丽, 杨永亮, 徐清, 等. 沈阳地区河流灌渠沿岸农田表层土壤中重金属的污染现状评价[J]. 农业环境科学学报, 2011(2): 282-288.
- [4] 温海威. 沈阳浑河冲洪积扇区重金属污染特征与评价[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [5] 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [6] 刘玉玉. 沈阳市城区地下水系统优化管理研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2010.
- [7] 孙雁, 刘志强, 王秋兵, 等. 1910-2010 年沈阳城市土地利用空间结构演变特征[J]. 地理科学进展, 2012(9): 1204-1211.
- [8] GB/T 14848-93, 地下水水质标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.

(上接第 382 页 /Continued from Page 382)

参考文献:

- [1] 苏飞, 李臻, 张健, 等. 内蒙古突泉盆地突 D2 井上二叠统林西组烃源岩新发现[J]. 地质与资源, 2017, 26(3): 268-274.
- [2] 陈树旺, 丁秋红, 郑月娟, 等. 松辽盆地外围新区、新层系——油气基础地质调查进展与认识[J]. 地质通报, 2013, 32(8): 1147-1158.
- [3] 李世臻. 内蒙古突泉盆地突参 1 井施工现场及所获原油[J]. 地球学报, 2015, 36(1): 封面故事.
- [4] 李世臻, 周新桂, 王丹丹, 等. 内蒙古突泉盆地突参 1 井原油地球化学特征与油源分析[J]. 地质通报, 2015, 34(10): 1946-1951.
- [5] SY/T 5735-1995. 陆相烃源岩地球化学评价方法[S]. 1995.
- [6] 王大锐. 塔里木盆地中、上奥陶统烃源岩的碳同位素宏观证据[J]. 地质论评, 2000, 46(3): 328-334.