

地热井均位于凸起和凹陷的边界断裂附近。

上述地热井所处地质构造环境均有可能为构造圈闭型热储。

3 结 论

笔者提出了一种新的地热资源概念模式——构造圈闭型地热资源,构造圈闭型热储一般位于凸起和凹陷的边界断裂附近靠近凹陷的一侧,类似于构造圈闭型油气藏。在凹陷区内部合适的构造组合部位,由于阻水岩性配合,也可能形成构造圈闭型热储。

构造圈闭型热储处于一个相对封闭的水文地质环境,赋存于其中的地下热水径流非常滞缓,变质程度较高,发生的水-岩反应更加充分,溶解的围岩化学元素成分更多,有可能形成良好的医疗热矿水。但是由于补给能力较弱,构造圈闭型热储地热资源主

要为消耗型资源。因此,在地热资源勘查中应充分重视这一地热资源概念模式,做好地热资源勘查开发规划,保护好构造圈闭型热储中的地热资源,充分发挥地下热水的医疗保健功能。

参考文献 (References):

- [1] 鲁雪松, 鲁红利, 蒋有录, 等. 东濮凹陷兰聊断裂带流体活动的证据[J]. 断块油气田, 2007,14(2):12-13.
Lu Xuesong, Lu Hongli, Jiang Youlu, et al. Evidence on fluid activity of Dongpu hollow Lanliao fracture [J]. Block Oil and Gas Field, 2007,14(2):12-13(in Chinese with English abstract).
- [2] 于翠玲, 曾溅辉, 林承焰, 等. 断裂带流体活动证据的确定[J]. 石油学报, 2005, 26(4):36-37.
Yu Cuiling, Ceng Jianhui, Lin Chengyan, et al. Evidence identification of fracture fluid activity [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005,26(4):36-37(in Chinese with English abstract).

Geothermal resource of structural trap type: an important geothermal resource conceptual model

ZHANG Bao-jian¹, WEN Dong-guang², SHEN Zhao-li¹, QI Lin³

(1. China University of Geoscience, Beijing 100083, China; 2. China Geological Survey, Beijing 100037, China;
3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract: Based on the abnormal chemical composition phenomena of underground hot water along the principal fault, this paper has advanced a new conceptual model for geothermal resource, i.e., structural trap type of geothermal resource. The structural trap type energy is stored in a relatively closed hydrogeological environment characterized by slow underground water runoff, high degree of metamorphism, complete water-rock interaction, and abundant chemical elements in dissolved rocks, thus likely to form a kind of good medical hot mineral water. The structural trap type energy has a special significance in geothermal resource exploration, and hence researchers should pay full attention to the medical treatment and health care function of underground hot water in the structural trap type energy storage.

Key words: structural trap type; conceptual model; medical hot mineral water; geothermal resource

About the first author: ZHANG Bao-jian, male, born in 1973, Ph.D candidate, mainly engages in hydrogeological and environmental geological research and exploration; E-mail: baojianzh@sohu.com.

河北省唐—秦地区表层土壤地球化学质量评价

李随民^{1,2} 栾文楼² 魏明辉³ 宋泽峰²

(1.河北省生态环境监测实验室,河北 石家庄 050030; 2.石家庄经济学院资源学院,河北 石家庄 050031;
3.河北省地矿局第三地质大队,河北 张家口 075000)

摘要:唐山—秦皇岛地区是河北省重要的农业经济区,土壤质量的安全评价具有十分重要的现实意义。笔者利用唐山—秦皇岛地区表层土壤中重金属元素分析结果,在考虑土壤 pH 值对重金属元素含量影响的前提下,采用单因子指数法和尼梅罗综合指数法对区内土壤质量进行了评价。结果表明,区内主要的重金属污染元素是 Ni、Cr、Cu、Cd 4 种元素。其中 Ni、Cr、Cu 3 种重金属元素污染区域主要集中在卢龙、抚宁、昌黎 3 个县交界处及北部的局部区域。Cd 元素污染主要集中在唐海县西部和西北部。综合评价表明,唐山—秦皇岛地区绝大部分区域处于无污染的水平,土壤的地球化学质量是较好的。

关键词: 重金属污染;表层土壤;唐山—秦皇岛

中图分类号: P595 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)04-0932-08

重金属是指相对密度在 4.0 g/cm^3 以上的约 60 种金属元素或相对密度在 5.0 g/cm^3 以上的 45 种金属元素。由金属向非金属过渡的中间元素砷称之为内金属,但它的毒性和某些性质与重金属相似,所以将砷列入重金属范围内。重金属元素的污染物质来源包括两个方面:一是自然源,二是人为源。随着经济的迅速发展,土壤中重金属元素的人为来源比重越来越大,主要通过污水灌溉、农药、化肥的使用和大气降尘等途径进入土壤。土壤中重金属元素污染既不易被水淋滤,也不能为生物降解,相反却能被植物吸收,造成农作物产量和质量的下降,并通过食物链危害人类健康。因此,土壤重金属污染已经引起各国政府、研究人员的广泛重视,成为当今环境地球化学研究的重要内容。

根据《中华人民共和国土壤环境质量标准 GB15618—1995》,8 种重金属是农业生态环境中应重点监控的有害元素,分别为汞、砷、镉、铬、铜、铅、锌、镍。目前土壤环境质量评价的方法主要有污染指数法、地质累积指数法、污染程度法、富集因子法、潜在生态危害指数法以及回归分析法等数十种方法。

其中,指数法在土壤质量评价中应用较为广泛,该方法也是中国绿色食品发展中心推荐的方法。指数法评价模型包括单因子污染指数法和综合污染指数法。该方法由于地域差异等各种因素的影响,没有统一的评价标准,一般多采用中国土壤环境质量标准(GB15618—1995)。

唐山—秦皇岛地区是河北省重要的农业经济区,也是华北地区重要的农副产品生产基地和供应基地,土壤质量的安全评价研究具有十分重要的现实意义。笔者采用指数法评价了唐山—秦皇岛地区土壤中重金属元素的污染状况,评价结果可为当地污染治理、农业规划布局等提供依据。

1 地质地貌概况及样品采集

1.1 研究区地质地貌概况

研究区内位于河北省东部,包括唐山市和秦皇岛市,面积 $13\,808 \text{ km}^2$ (不包括滩涂)。涉及北部山区(包括台地及丘陵)和南部平原区(包括冲积平原和海滨洼地)两个地貌单元。地势总体上由北向南逐渐降低。北部紧邻燕山山区,主要为低山丘陵区,中部

收稿日期:2008-10-20; 改回日期:2009-05-16

基金项目:河北省气象与生态环境重点实验室项目(M-0605)及中国地质调查局“河北省农业地质调查”项目(20041420007)资助。

作者简介:李随民,男,1971 年生,博士,副教授,主要从事地球化学和地学信息处理的教学和研究工作;E-mail:snli71@163.com。

为山前冲洪积倾斜平原,南部为冲积平原、冲积海积平原,近渤海有滨海滩涂。上述地貌单元的形成与研究区的地质构造作用关系密切。

研究区北部出露地层为古—中太古代结晶基底和中—新元古代沉积盖层,南部主要为新生代疏松沉积物形成的平原区(图 1)。其中,变质基底主要由麻粒岩和各种片麻岩等深变质岩组成。原岩为火山—沉积岩系,夹薄层含铁硅质岩。值得强调的是,在迁西期强烈火山活动中,裹挟了数以千计的小型镁铁—超镁铁岩体,形成北部镁铁—超镁铁岩特征的元素地球化学分布。中—新元古代沉积地层主要包括长城系、蓟县系和青白口系,地层为几个完整的海进沉积旋回,主要岩石类型为碳酸盐岩、碎屑岩和粘土岩等。古生代和中生代地层分布很局限。区内岩浆岩发育,特别是燕山期中酸性岩浆活动强烈,形成岩基或岩株。平原区冲积物主要来源于燕山山地的风化剥蚀物质,并为河流运积。

1.2 样品采集及分析

研究区表层土壤数据由河北省地质调查院提供。表层土壤样品采样密度为 1 个样/ km^2 ,取样深度为 0~20 cm,4 个土壤样组合成 1 个分析样(即表层土壤样品分析密度为 4/ km^2)。组合分析的表层土壤有 3380 个(图 2),样品由河北省地矿中心实验室(原地质矿产部河北省中心实验室)分析项目包括 pH 值、有机炭和 52 个元素含量,共计 54 项指标。

2 表层土壤重金属元素污染评价

2.1 不同 pH 条件土壤重金属含量特征

土壤酸碱度对土壤中重金属的含量及活性有明显的影响。虽然对作物起作用的只限于重金属元素的活性(有效量)部分,全量不能很好地反映植物的受害效应,但全量反映了重金属在土壤中的现有容量,目前仍以全量作为土壤重金属污染评价标准。研究区不同酸碱度土壤中重金属元素的含量变化表明

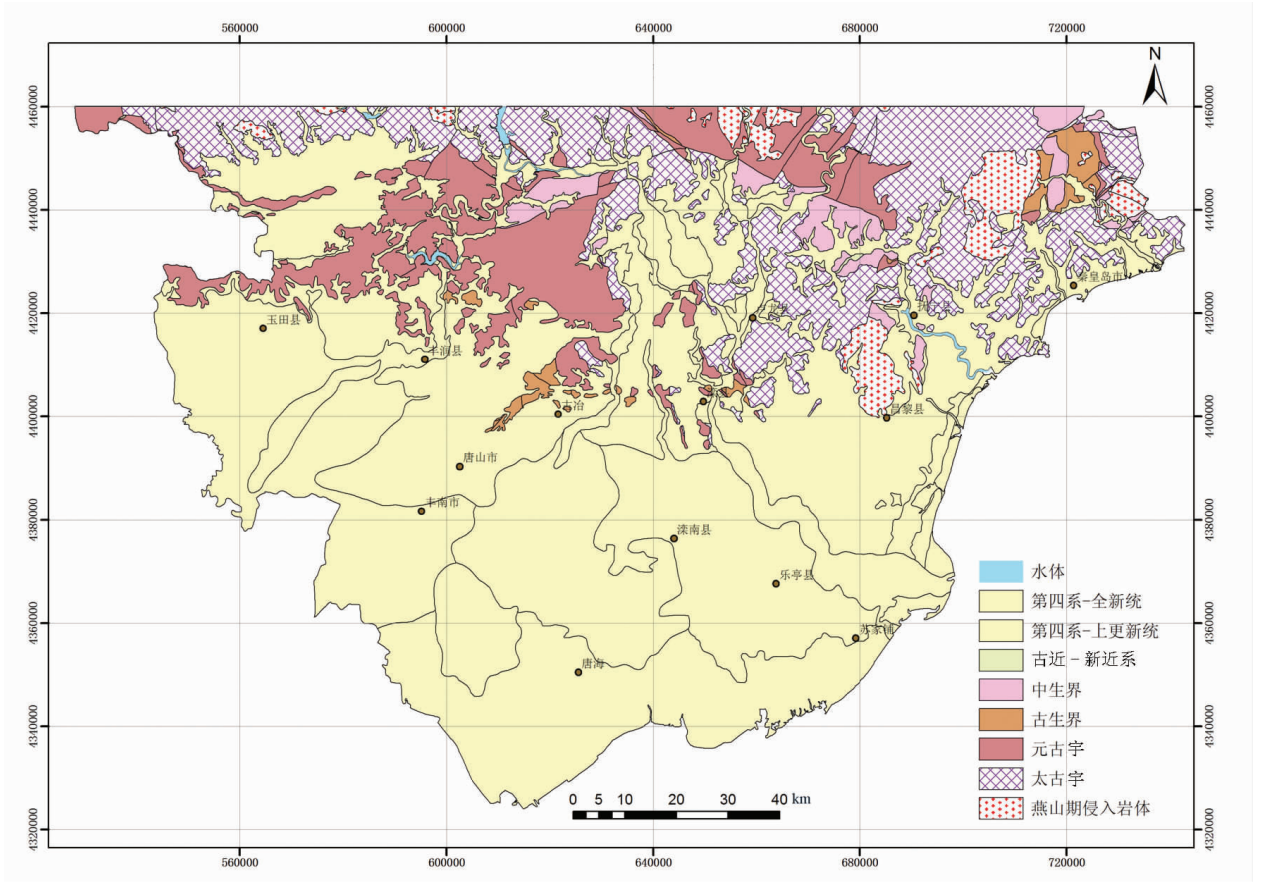


图 1 唐山—秦皇岛地区地质简图

Fig.1 Geological sketch map of Tangshan and Qinghuandao area

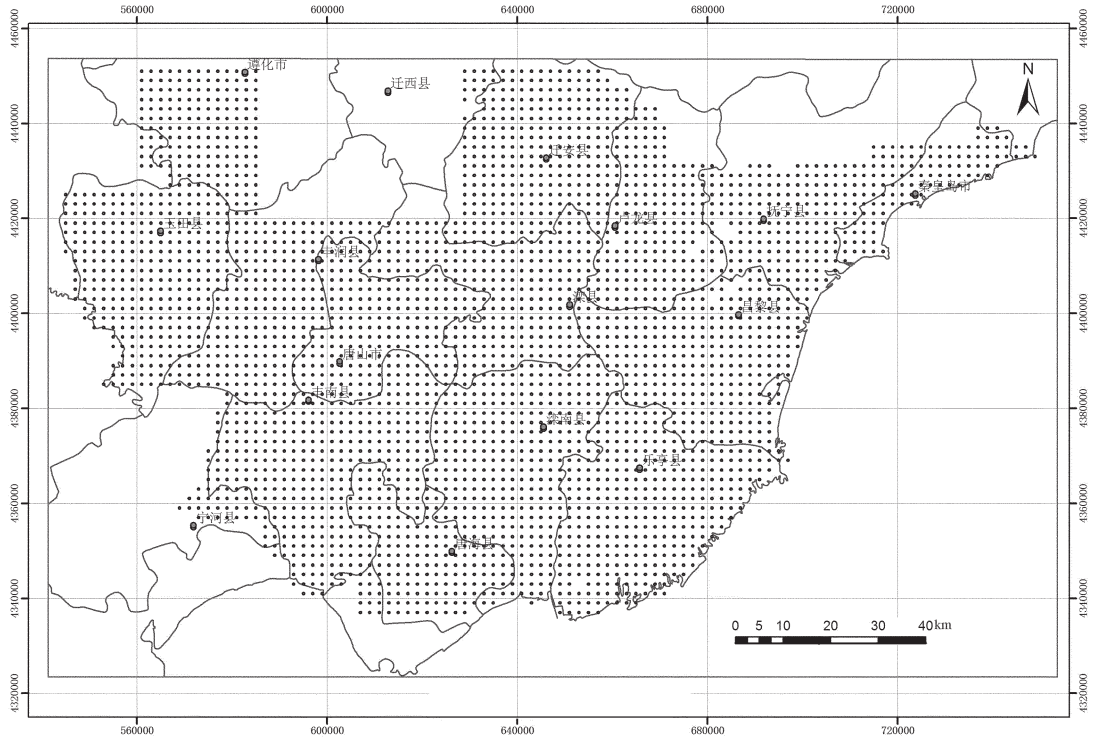


图 2 研究区表层土壤组合样位置图

Fig.2 Location of topsoil assembled sample in the study area

表 1 不同酸度土壤中重金属元素平均含量

Table 1 Average content of heavy metal elements in soils of different acidities

| pH | 样本数 | Cu | Pb | Zn | Ni | Cr | Cd | As | Hg |
|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| <6.5 | 882 | 21.22 | 21.53 | 51.43 | 22.58 | 62.05 | 0.10 | 6.38 | 33.27 |
| 6.5~7.5 | 973 | 21.53 | 22.37 | 57.20 | 23.74 | 60.40 | 0.11 | 7.15 | 35.44 |
| >7.5 | 1525 | 22.66 | 24.11 | 67.78 | 26.17 | 61.82 | 0.15 | 7.42 | 41.98 |

元素单位: Hg 为 ng/g; 其余为 μg/g。

(表 1), 碱性土 (pH>7.5) 中重金属元素含量高于中性土 (pH 为 6.5~7.5), 中性土中金属元素含量高于酸性土 (pH<6.5), 即土壤碱性程度越高, 重金属元素含量越高。这是由于土壤在酸性条件下, 包括重金属在内的各种阳离子易淋失, 导致含量降低。

2.2 表层土壤污染评价方法选择

土壤中重金属元素污染的评价方法很多, 不同的评价方法侧重点不同, 目前使用较多的评价方法主要有指数法: 包括单因子指数法和尼梅罗综合指数法 (多因子综合指数法)、污染负荷指数法、潜在生态危害指数法、环境风险指数法。其中, 单因子指数法和尼梅罗综合指数法是国内评价土壤、水、大气和

河流沉积物重金属污染的常用方法。该方法具有计算简单、公式意义明确、在 GIS 平台上易于实现等特点。其计算公式如下:

$$P_i = C_i / S_i$$

$$\text{当 } C_i \leq X_a \text{ 时, } C_i / S_i = C_i / S_a;$$

$$X_a < C_i \leq X_p \text{ 时, } C_i / S_i = 1 + (C_i - X_a) / (X_c - X_a);$$

$$X_c < C_i \leq X_p \text{ 时, } C_i / S_i = 2 + (C_i - X_c) / (X_p - X_c);$$

$$X_p < C_i \text{ 时, } C_i / S_i = 3 + (C_i - X_p) / (X_p - X_c)$$

式中, P_i 为土壤中污染元素 i 的污染指数; C_i 为土壤中污染元素 i 的实测值; S_i 为土壤中污染元素 i 的评价标准。 X_a 、 X_c 、 X_p 分别代表土壤污染积累起始值、

中度污染起始值和重度污染起始值。 $P_i \leq 1$ 则表明土壤未受污染,相应地区为清洁区; $1 < P_i \leq 2$, 轻污染,相应地区为轻度污染区; $2 < P_i \leq 3$ 属中度污染,相应地区为中度污染区; $P_i > 3$, 重污染,相应地区为重度污染区。即数值越大,说明受到污染程度越严重。

从单因子指数法的计算公式可以看出,该方法仅能对某一种重金属元素污染进行评价,而土壤污染往往是多个重金属元素复合污染导致的,因此该方法不能全面地、综合反映土壤的污染程度。在评价区域内土壤中多种重金属元素的污染时,需要将单

表 2 中国土壤环境质量标准(GB15618-1995)(mg/Kg)
Table 2 China's soil environmental quality standards(GB15618-1995)

| 项目 | 一级 | 二级 | | | 三级 | |
|------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| | 自然背景 | <6.5 | 6.5-7.5 | >7.5 | >6.5 | |
| Cd ≤ | 0.20 | 0.30 | 0.30 | 0.60 | 1.00 | |
| Hg ≤ | 0.15 | 0.30 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | |
| As | 水田 ≤ | 15.00 | 30.00 | 25.00 | 20.00 | 30.00 |
| | 旱地 ≤ | 15.00 | 40.00 | 30.00 | 25.00 | 40.00 |
| Cu | 农田 ≤ | 35.00 | 50.00 | 100.00 | 100.00 | 400.00 |
| | 果园 ≤ | | 150.00 | 200.00 | 200.00 | 400.00 |
| Pb ≤ | 35.00 | 250.00 | 300.00 | 350.00 | 500.00 | |
| Cr | 水田 ≤ | 90.00 | 250.00 | 300.00 | 350.00 | 400.00 |
| | 旱地 ≤ | 90.00 | 150.00 | 200.00 | 250.00 | 300.00 |
| Zn ≤ | 100.00 | 200.00 | 250.00 | 300.00 | 500.00 | |
| Ni ≤ | 40.00 | 40.00 | 50.00 | 60.00 | 200.00 | |

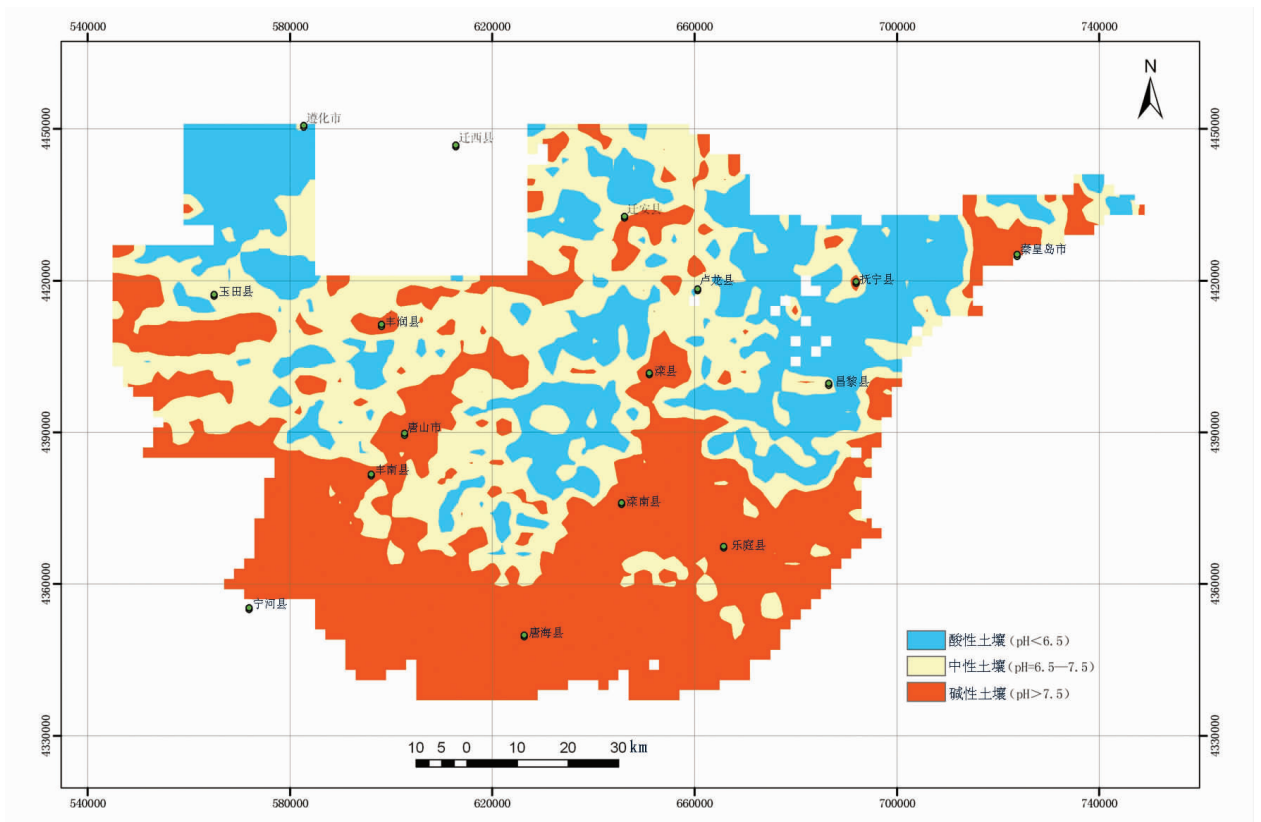


图 3 唐山—秦皇岛地区表层土壤 pH 值分布
Fig.3 pH distribution of topsoil in Tangshan and Qinghuandao area

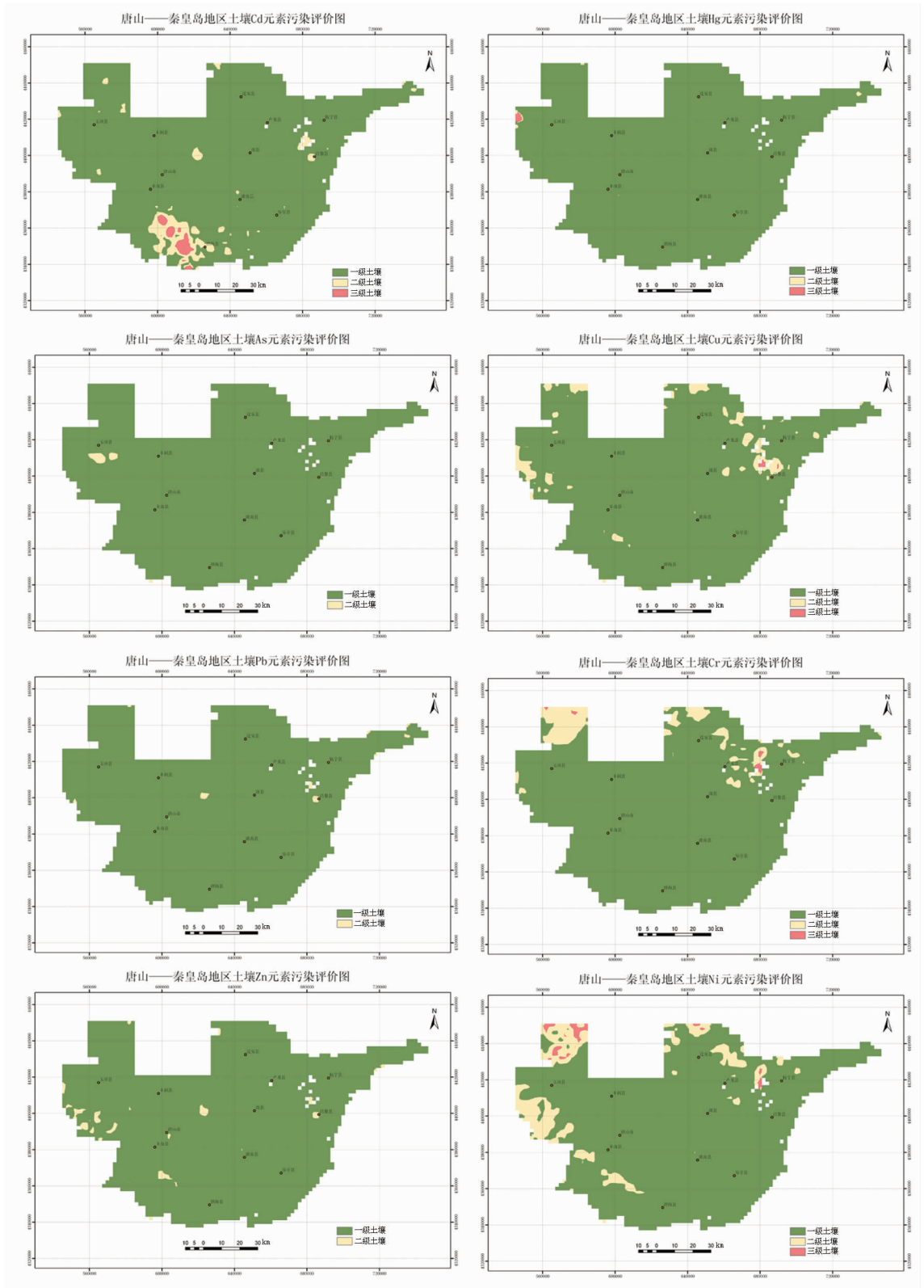


图4 唐山—秦皇岛地区土壤重金属元素污染分布图

Fig.4 The distribution of topsoil heavy metal element pollution in Tangshan and Qinhuangdao region

因子污染指数按一定的方法综合起来进行评价,即尼梅罗综合指数法。尼梅罗综合指数法计算公式如下:

$$I = \sqrt{\frac{P_{i_{\text{最大}}}^2 + \left(\frac{1}{n} \sum P_i\right)^2}{2}}$$

式中, I 为尼梅罗综合污染指数, P_i 为土壤中 i 元素单因子指数, $P_{i_{\text{最大}}}$ 为所有重金属元素污染指数中的最大值。

尼梅罗综合污染指数的计算公式中含有评价参数中最大的单项污染分布指数,突出了污染指数最大的重金属元素对土壤环境质量的影

2.3 污染评价实现过程及结果评述

由于土壤的酸碱度对重金属元素的含量及活性影响较大,因此,土壤环境质量标准(GB15618—1995)对一、二和三级土壤的划分也参考了土壤酸碱度(表 2)。土壤环境质量标准表明,除 As 元素外,总的规律为土壤碱性程度越高(pH 越大),允许的重

金属元素含量也越高。

因此唐山—秦皇岛地区土壤质量评价时,首先按土壤 pH 值分别提取了酸性土壤(pH<6.5)、中性土壤(pH=6.5~7.5)和碱性土壤(pH>7.5)区域内的表层土壤样品(图 3),这样在利用单因子指数法计算时就考虑了不同 pH 值对重金属元素含量的影响。以土壤环境质量标准(GB15618—1995)作为土壤质量评价标准,运用单因子指数法分别计算了唐山—秦皇岛地区表层土壤中 Cd、Hg、As、Cu、Pb、Cr、Zn、Ni 等 8 种重金属元素的污染指数(图 4)。在此基础上,运用尼梅罗综合污染指数评价了区内土壤重金属元素综合污染情况(图 5)。

从单元素污染情况看(表 3),唐山—秦皇岛地区一级土壤面积占绝大多数,主要污染元素为 Ni、Cr、Cu 和 Cd 4 种元素,其余元素污染面积较小。其中,Cd 元素污染主要集中分布在唐海县西北部和西部,Cu、Cr、Ni 3 种元素污染主要集中在卢龙、抚宁、昌黎 3 个县交界处的局部和北部区域。将单元素污染区域与研究区地质图叠加对比可发现,卢龙、抚

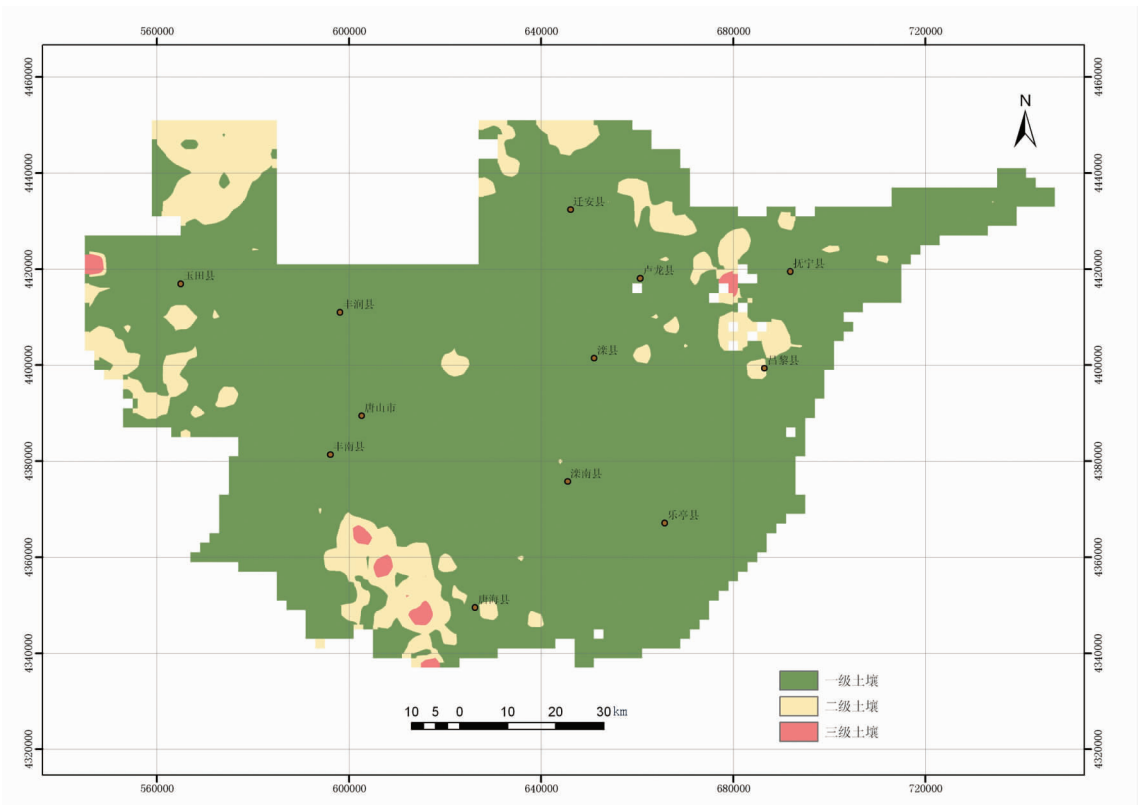


图 5 唐山—秦皇岛地区重金属综合污染分布图

Fig.5 Distribution of heavy metal element comprehensive pollution in Tangshan and Qinhuandao area

表 3 研究区重金属元素污染面积统计
Table 3 Statistics of heavy metal element pollution areas

| 元素 | As | | Cd | | | Cr | | | Cu | | |
|--------------|-------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 所占面积比 例/% | 99.51 | 0.49 | 94.29 | 4.68 | 1.03 | 93.68 | 6.04 | 0.27 | 94.9 | 4.95 | 0.15 |

| 元素 | Hg | | | Ni | | | Pb | | Zn | |
|--------------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 所占面积比 例/% | 99.7 | 0.18 | 0.12 | 89.25 | 9.57 | 1.18 | 99.42 | 0.58 | 98.12 | 1.88 |

注:1,2,3 分别表示一级土壤、二级土壤和三级土壤。

宁、昌黎 3 个县交界处的 Cu、Cr、Ni 元素污染区域与燕山期闪长岩体对应关系明显,初步推断该区域 Cu、Cr、Ni 元素的污染与该岩体分布有关,污染属自然成因。研究区北部也存在 Cu、Cr、Ni 3 种元素的污染区域,这可能与北部变质结晶基底内裹挟了数以千计的小型镁铁-超镁铁岩体,形成的区域元素分布特征关系密切。在唐海县西部和西北部的 Cd 元素污染区域主要分布在第四纪地层出露区,其成因有待进一步研究确定。此外,由于本次是以元素全量作为评价参数,因此唐—秦地区土壤中 Cd 元素是否已对农作物造成污染,也有待进一步研究。

多元素综合污染指数图表明(图 5),唐山—秦皇岛地区一级土壤占到总面积的 87.6%,二级土壤面积占 11.7%,仅有接近 0.7%的土壤为三级土壤。上述分析说明研究区内土壤整体上污染程度很小,绝大部分土地未受到重金属元素污染,污染较严重的地区主要分布在北部丘陵区 and 卢龙、抚宁、昌黎 3 个县交界附近,其成因主要为自然源。

3 结 论

(1) 土壤中重金属元素的含量与 pH 值关系密切。研究区内土壤碱性程度越高,重金属元素含量越高。这是由于土壤在酸性条件下,包括重金属在内的各种阳离子易淋失,导致全量降低。

(2) 唐—秦地区表层土壤的重金属污染元素主要是 Ni、Cr、Cu 和 Cd 4 种元素。其中 Ni、Cr、Cu 3 种重金属元素污染区域主要集中在卢龙、抚宁、昌黎 3 个县交界处的局部和北部区域。污染可能以自然成因为主。Cd 元素污染主要集中在唐海县西部和西北部区域,其成因有待进一步确定。

(3) 唐山—秦皇岛地区绝大多数土地未受到重金属元素污染,土地质量较好。

参考文献(References):

- [1] 于磊,张柏,宋开山. GIS 支持下的黑龙江省中部黑土区环境地球化学质量评价[J]. 农业系统科学与综合研究, 2004, 20(2):109-112.
Yu Lei, Zhang Bai, Song Kaisha. The geochemical environment quality evaluation on the black soil region based on GIS [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2004, 20(2): 109-112(in Chinese with English abstract).
- [2] 廖启林,吴新民,翁志华,等. 南京地区多目标地球化学调查基本成果及其相关问题初探[J]. 中国地质, 2004, 31(1):70-77.
Liao Qilin, Wu Xinmin, Weng Zhifeng, et al. Basic results of multi-target geochemical survey in the Nanjing area and its relevant problems [J]. Geology in China, 2004, 31(1):70-77 (in Chinese with English abstract).
- [3] 马生明,朱立新,王之峰. 平原区区域 Cd 地球化学异常成因及其生态效应[J]. 地质通报, 2004, 23(11):1083-1087.
Ma Shengming, Zhu Lixin, Wang Zhifeng. Origin and ecological effect of regional Cd geochemical anomalies in plain areas [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(11):1083-1087 (in Chinese with English abstract).
- [4] 朱立新,马生明,王之峰,等. 平原区多目标地球化学调查异常查证及生态效应评价方法[J]. 中国地质, 2004, 31(4):431-435.
Zhu Lixin, Ma Shengming, Wang Zhifeng, et al. The method for anomaly inspection and ecological appraisal in multi-purpose geochemical survey in plain areas [J]. Geology in China, 2004, 31(4):431-435 (in Chinese with English abstract).
- [5] 雷凯,卢新卫,王利军,等. 渭河西安段表层沉积物重金属元素分布及潜在生态风险评价[J]. 地质科技情报, 2008, 27(3):83-87.
Lei Kai, Lu Xinwei, Wang Lijun, et al. Distribution and evaluation on potential ecological risk of heavy metals in Wei river surface sediment of Xi'an [J]. Geological Science and Technology Information, 2008, 27(3):83-87 (in Chinese with English abstract).

- [6] 杨忠芳, 朱立, 陈岳龙. 现代环境地球化学[M]. 北京:地质出版社,1999.
Yang Zhongfang, Zhu li, Chen Yuelong. Modern Environmental Geochemistry [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1999 (in Chinese).
- [7] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京:科学出版社,1997.
Zhao Zhenhua. Geochemical Principles of Trace Elements [M]. Beijing: Science Press, 1997(in Chinese).
- [8] 奚小环. 生态地球化学与生态地球化学评价 [J]. 物探与化探, 2004, 28(1):10-15.
Xi Xiaohuan. Eco-geochemical research and eco-geochemical evaluation [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2004, 28 (1):10-15(in Chinese with English abstract).

The evaluation of the present situation of the heavy metal pollution in the top soil of Qinghangdao-Tangshan area, Hebei Province

LI Sui-min^{1,2}, LUAN Wen-lou², WEI Ming-hui³, SONG Ze-Feng²

(1. Ecological Environment Monitoring Laboratory of Hebei Province, Shijiazhuang 050030, Hebei, China;
2. Shijiazhuang College of Economy, Shijiazhuang 050031, Hebei, China; 3.No.3 Geological party, Hebei Bureau of Geological Exploration, Zhangjiakou 075000, Hebei, China)

Abstract: The Tangshan-Qinghuangdao area is an important agro-economic tract in Hebei Province, and the safety evaluation of its soil quality has a considerable realistic significance. According to the regional topsoil geochemical data, the authors employed the single factor index method and the Nemerow synthetic index method to make soil quality assessment. The results indicate that the pollution of heavy metal elements is caused mainly by Ni, Cr, Cu and Cd. The polluted areas of heavy metal elements Ni, Cr and Cu are mainly concentrated in the border area and the northern part of Lulong, Funing and Changli counties, whereas the polluted areas of Cd heavy metal element are mainly concentrated in the western and northwest parts of Tanghai County. The environmental geochemical quality of most soils in Tangshan-Qinghuangdao area is proved to be pretty well, with no obvious pollution.

Key words: heavy metal pollution; topsoil; Tangshan-Qinghuangdao area

About the first author: LI Sui-min, male, born in 1971, doctor, associate professor, mainly engages in teaching and research of geochemistry and geoscience information processing; E-mail: sml71@163.com.