

# 页岩气开发场地多种重金属含量与污染风险探究

王润泽

中煤科工重庆设计研究院(集团)有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i5.2693

**[摘要]** 本研究以某地区页岩气开发区为样本,重点分析页岩气开采作业对土壤重金属环境质量造成的影响机理情况,通过获取13处采样点中Cd、Hg、As等8种关键元素的浓度数据,借助多元评价模型开展潜在生态风险分析。结果显示:As和Cr的平均值远超背景值,其中As超标率达76.92%,Hg、Cd及As展现较为明显的空间分层差异性特征,并且受人为扰动所累及程度较大;凭借潜在生态风险评估来确定Cd和Hg均处在中度危险水平范围内,总的综合风险级别虽不高,不过在某些地方还存在中度危险态势的现象出现着;其综合污染指数均值得到1.189的计算得出结论为,66.19%的采样点判定为轻污染状态,这一现象被揭示是由于As颗粒聚集所致;研究显示出页岩气的开发行为对于土壤重金属方面产生了比较。

**[关键词]** 环境工程学; 页岩气场地; 土壤; 重金属污染; 生态风险; 综合污染

**中图分类号:** X131.3 **文献标识码:** A

## Study on Heavy Metal Content and Pollution Risk Impact in Shale Gas Development Sites

Runze Wang

China Coal Technology and Engineering Group Chongqing Design & Research Institute (Group) Co., Ltd.

**[Abstract]** This study takes a shale gas development area in a certain region as the research sample, focusing on analyzing the impact mechanism of shale gas extraction operations on the environmental quality of soil heavy metals. By obtaining the concentration data of 8 key elements such as Cd, Hg, and As from 13 sampling points, a multivariate evaluation model was used to conduct a potential ecological risk analysis. The results show that the average values of As and Cr far exceed the background values, among which the over-standard rate of As reaches 76.92%. Hg, Cd, and As exhibit relatively obvious spatial stratification differences and are significantly affected by human disturbances. Through the potential ecological risk assessment, it is determined that both Cd and Hg are within the range of moderate risk levels. Although the overall comprehensive risk level is not high, there are still phenomena of moderate risk in some places. The calculated average value of the comprehensive pollution index is 1.189, and 66.19% of the sampling points are judged to be in a state of light pollution, which is revealed to be caused by the accumulation of As particles. The study shows that shale gas development activities have a relatively significant actual impact on soil heavy metals. Therefore, it is necessary to strengthen the intensity of control and intervention in high-risk areas.

**[Key words]** Environmental Engineering; Shale Gas Sites; Soil; Heavy Metal Pollution; Ecological Risk; Comprehensive Pollution

## 引言

全球能源需求不断增长的背景下,页岩气作为清洁高效的非常规天然气资源,其勘探开发规模正在逐渐扩大,在钻井、压裂以及废弃物处理等环节当中,重金属或许会通过工作液渗漏或者岩屑扩散之类的方式进入到土壤环境之中,从而给周边的生态系统带来潜在的危害,某地区是我国页岩气开发的关键区域,地质条件复杂,生态环境脆弱,页岩气开发与土壤保护之间的矛盾日益凸显。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域及样品采集

研究区域位于某地区页岩气开发区,呈南北向狭长分布,地势南高北低,海拔310~1642米,属亚热带季风气候,年均气温18.2℃,年降水量1143.6毫米。核心研究区为长宁区块中心(坐标28.1588° E, 104.8155° N),平均海拔约464米,是我国页岩气开发的关键区域,地质条件复杂,生态环境脆弱。

### 1.2 试验方法

土壤样品经自然风干、剔除杂质、研磨过 100 目筛后,避光存放于聚乙烯密封袋中,备用。

对于土壤中重金属元素的测定,采用以下方法:

样品经标准方法消解(硝酸-高氯酸-氢氟酸体系)后定容,用于后续检测。

元素测定:

铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)、铜(Cu)、镍(Ni)、锌(Zn)含量采用原子吸收分光光度计(AAS)或电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定;

汞(Hg)含量采用原子荧光分光光度计(AFS)测定,测定前需进行还原处理(如加入硼氢化钾溶液);

砷(As)含量采用原子荧光分光光度计(AFS)测定,通过硫脲-抗坏血酸溶液预还原后上机检测。

### 1.3 潜在风险分析

本研究采用Hakanson潜在生态风险指数模型,通过综合考量重金属毒性参数、环境敏感性及污染程度,评估土壤重金属的潜在生态风险(各元素毒性系数参考行业标准:Hg=40, Cd=30, As=10, Pb=5, Cu=5, Ni=5, Cr=2, Zn=1),计算单因子生态风险指数及综合生态风险指数(RI),以此划分风险等级。

### 1.4 综合污染指数法

本研究采用单因子污染指数与内梅罗综合污染指数结合的评价体系,评估土壤重金属污染程度。单因子指数反映单个元素污染状况,综合指数兼顾污染最严重元素的影响,污染等级划分为安全、警戒线、轻度污染、中度污染、重度污染五级,用于分析单一及复合污染特征。

## 2 结果与讨论

### 2.1 页岩气开发场地土壤重金属分布特征

表1 页岩气开发场地土壤重金属质量比分布及超标情况统计

元素	质量比范围	质量比平均值±	质量比对照值	变异系数	土壤污染风险管控	
	/(mg·kg <sup>-1</sup> )	标准差/(mg·kg <sup>-1</sup> )	/(mg·kg <sup>-1</sup> )		超标指数	超标率1%
Cd	0.057~0.830	0.196±0.149	0.451	0.760	0.107~0.840	8.65
Hg	0.034~0.269	0.145±0.052	0.196	0.359	0.082~0.372	8.65
As	3.530~43.960	24.718±2.296	20.160	0.497	0.051~1.180	76.92
Pb	24.300~39.900	34.804±4.413	47.047	0.127	—	—
Cr	51.200~175.070	107.468±29.200	99.830	0.272	0.042~0.753	60.57
Cu	31.400~61.750	46.823±9.509	55.064	0.203	0.040~0.121	25.00
Ni	38.200~59.730	42.474±10.429	48.273	0.246	0.019~0.237	25.00
Zn	77.850~107.450	94.246±8.312	97.739	0.088	0.005~0.099	37.50

注:“—”表示数值小于0。

表1展示了页岩气开采区土壤重金属的空间分布情况,Cd的质量比对照值(0.451mg/kg)远超筛选阈值(0.300mg/kg),其他元素均未超标,从统计结果来看,采样点中Pb含量大多处于较低水平,不过局部地区As超标率高达76.92%,Cr为60.57%,Cd仅为8.65%;就全部监测指标而言,仅As和Cr的平均浓度稍高于背景

值,分别为24.718mg/kg(对照值20.160mg/kg)和107.468mg/kg(对照值99.830mg/kg),其余元素的质量比均小于对应参考标准,整体超标状况比较有限且程度轻微。统计分析显示,Hg、Cd、As这三种重金属的变异系数全部大于0.36,这意味着它们在空间分布上的离散程度比较大,属于高变异性类型,由此可以看出页岩气开发活动大概会对土壤中的重金属质量分数带来比较明显的影响效果。

### 2.2 页岩气开发场地土壤重金属潜在生态风险评价

根据第1.3建立的评价指标体系,采用一定的计算公式及生态风险分级标准,对页岩气开发区域土壤中重金属的潜在生态风险进行分类研究,研究表明,Cd和Hg由于其较大的毒性系数(分别为30和40)使得部分采样点在单因子生态风险指数上呈现出明显的高值特点 $E_r^i \geq 40$ ,由研究数据可知,在中等生态风险

水平下,As与Pb的贡献占比分别为4.35%和8.69%。在页岩气开采场地不同采样点处,土壤中As、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn六种重金属元

素单因子生态风险指数均值 $E_r^i < 40$ 均为轻微生态危害风险,其中元素Cr、Zn的毒性系数分别为2和1,使其单因子生态风险指

数 $E_r^i$ 相对较小。由于 $23.694 \leq I_r \leq 151.555$ 虽然综合生态风

险指数Ir均值(70.357)低于阈值150,但仍有0.67%的区域属于

中度生态风险区,主要是因为部分采样点中镉(Cd)、汞(Hg)含量

过高而造成毒性系数急剧增大所引起的。

表2 页岩气开发场地土壤重金属潜在生态风险评价

元素	$E_r^i$ 范围	$E_r^i$ 平均值	所占比例 1%				
			轻微	中等	较强	很强	极强
Cd	3.791~55.211	13.038	95.65	4.35	0.00	0.00	0.00
Hg	6.939~54.898	29.591	91.31	8.69	0.00	0.00	0.00
As	1.751~21.806	12.261	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	2.583~4.240	3.699	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	1.026~3.507	2.153	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu	2.851~5.607	4.252	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	3.957~6.187	4.399	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.796~1.099	0.964	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RI	23.694~151.555	70.357	99.33	0.67	0.00	0.00	0.00

### 2.3 页岩气开发场地土壤重金属综合污染评价

根据第1.4所建立的评价指标体系和土壤重金属综合污染分级标准,对页岩气开发区域重金属综合污染等级进行评价,并将评价结果汇总到表3中。在研究区采集的土壤样品中,Ni和Zn的单因子污染指数均大于0.7,约有37.50%的区域为轻度污染,说明该类污染比较常见;部分采样点As含量超标,单因子污染指数大于1.0,导致中度污染占4.35%。

表3 页岩气开发场地土壤重金属污染分析

元素	$P_i$ (或P) 范围	P (或P) 平均值	污染程度1%				
			安全	警戒线	轻度污染	中度污染	重度污染
Cd	0.124~1.840	0.435	91.30	4.35	4.35	0.00	0.00
Hg	0.173~1.372	0.740	30.43	60.87	8.70	0.00	0.00
As	0.175~2.181	1.226	30.43	13.04	52.17	4.35	0.00
Pb	0.517~0.848	0.740	31.58	68.42	0.00	0.00	0.00
Cr	0.513~1.754	1.077	14.29	23.81	61.90	0.00	0.00
Cu	0.570~1.121	0.850	33.33	41.64	25.03	0.00	0.00
Ni	0.791~1.237	0.880	0.00	62.50	37.50	0.00	0.00
Zn	0.797~1.099	0.964	0.00	62.50	37.50	0.00	0.00
P	0.709~2.050	1.189	0.00	30.46	68.19	1.35	0.00

由于0. P值介于709-2.050区间内, 其均值达到1.189, 这意味着综合污染风险总体处于较低水平, 从统计情况看, 大概有30.46%的样本点风险等级接近警戒阈值, 68.19%的数据体现出轻度污染的特性, 仅有1.35%的数据显示出中度污染的趋势, 这种情况多半由于某些地方砷(As)元素的质量比远远超出正常范围所引发。

#### 2.4页岩气开发过程对其场地土壤重金属污染风险分析

场地区域Cd、As与Hg的空间分布显示, 页岩气开发活动对场地内土壤重金属质量分数造成了明显影响, 各功能区间的Cd、As、Hg质量比存在显著差异: 废液池周边和固废堆放区的Cd和Hg质量比显著高于其他区域, 而As的质量比分布趋势相反, 这归因于Cd与As具有不同的地球化学行为特性。

不同开发阶段土壤重金属质量比变化显示: 钻前准备阶段, 7号采样点Cd浓度已超过0.40mg/kg; 随着开发进程推进, 钻进至压裂阶段, Cd、Hg质量比逐渐上升(压裂返排液流量大及管线泄漏可能是主因), 完井及生产阶段维持较高水平; As在废液池边缘采样点(10号、11号、13号)呈现累积特征, 与Cd、Hg的变

化趋势形成互补, 反映不同重金属在开发过程中的迁移规律。

### 3 总结

本研究选取某地区页岩气开发区域作为研究对象, 对土壤中的砷、铬、汞、镉等八种重金属元素含量进行了全面采集并加以检测, 还通过对比分析来评价开发活动给土壤带来的影响程度, 结果表明开发活动明显改变了土壤重金属背景值, 砷和铬的平均浓度比对照组高出许多, 而且砷超标率达到了76.92%, 汞、镉以及砷在空间上存在明显的异质性分布特点, 按照潜在生态风险评价模型来看, 镉和汞的风险等级都是中等, 综合污染指数分析显示大约68.19%的采样点属于轻度污染, 主要由砷造成, 热点区域集中在废液池和固废堆放区, 大概率跟工作液泄漏以及固废渗滤有关联, 要降低土壤重金属污染风险, 就要加强对关键区域防渗处理设施的建设与运行管理, 还要形成起长期动态监测体系。

#### [参考文献]

- [1]谢洪斌,姚光华,罗真富,等.GIS与RS技术在页岩气钻场选址中的应用——以重庆酉阳东页岩气勘查区块为例[J].遥感信息,2017,32(4):5.
- [2]张超,胡圣标,黄荣华,等.干热岩地热资源热源机制研究现状及其对成因机制研究的启示[J].地球物理学进展,2022,37(5):1907-1919.
- [3]朱天菊,宋娇,张超,等.某页岩气开发场地重金属污染风险分析[J].安全与环境学报,2023,23(1):240-249.
- [4]刘志磊.页岩气开发场地典型污染物的赋存特征及生态、健康风险评估[D].仲恺农业工程学院,2023.
- [5]陈启宇.重庆页岩气开发场地周边土壤中重金属和多环芳烃的风险防控管理研究[D].中国医科大学,2023.

#### 作者简介:

王润泽(1993--),女,汉族,四川人,硕士研究生,研究方向:环境工程学。