

湖北云梦、应城地区矿山地质环境问题分析

李睿昱

桂林理工大学, 地球科学学院, 广西 桂林
Email: 1500095283@qq.com

收稿日期: 2021年1月4日; 录用日期: 2021年1月21日; 发布日期: 2021年1月28日

摘要

云应地区矿产磷、盐、石膏、芒硝等资源较为丰富。矿泉水、地下水总量较丰富; 萤石、硅石、重晶石、绢云母、镍、金、铜等矿产有一定潜力。近些年来, 由于矿山开采引起一系列环境问题。矿山地质环境问题主要分为五类: 矿山地质灾害、含水层影响破坏、地形地貌景观破坏、土地植被资源占用与破坏、矿山废水及废渣对环境的影响。本文从土壤和水质两个方面对云应地区部分区域内的地质环境进行评价。对今后该地区的环境研究工作有一定参考意义。

关键词

矿山地质, 环境, 土壤, 水质

Analysis of Mine Geological Environment Problems in Yunmeng and Yingcheng Areas in Hubei

Ruiyu Li

College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi
Email: 1500095283@qq.com

Received: Jan. 4th, 2021; accepted: Jan. 21st, 2021; published: Jan. 28th, 2021

Abstract

Yunying area is rich in mineral resources, such as phosphorus, salt, gypsum and glauber's salt. The total amount of mineral water and groundwater is abundant. Fluorite, silica, barite, sericite, nickel, gold, copper and other minerals have a certain potential. In recent years, due to mining, a series of environmental problems have been caused. Mine geological environmental problems are main-

ly divided into five categories: mine geological disasters, aquifer impact damage, landform landscape damage, land vegetation resources occupation and destruction, mine waste water and waste residue impact on the environment. This paper evaluates the geological ring mirrors in part of Yunying area from soil and water quality aspects. It has certain reference significance to the environmental research work in this area in the future.

Keywords

Mine Geology, Environment, Soil, Water Quality

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

通过开展地下水水质取样分析、矿山地质环境土壤分析等工作,进一步掌握自然地质作用和人类活动影响下的地质环境演变规律和变化特征。顺应保护环境的发展趋势,减少矿山开采对人类生产生活造成的环境污染[1]。对地下水的监测与土壤的治理修复提供理论依据,为以后对该地区进行土壤水质污染的详查工作提供部分理论支撑。

2. 地质环境概况

2.1. 气象水文

云应地区属亚热带大陆性季风气候,四季分明,雨量充沛,温暖湿润,光照充足。全年主导风向为东南风,年均气温在 15.5℃~16.5℃之间,冬季气温(1月)平均 2℃~4℃,夏季气温(7月)平均 28℃~29℃。云应地区日均气温不低于 10℃。极端最低气温是 1969 年 1 月 31 日,气温为-15℃。全年无霜期 225 天~257 天,由北向南递增,初霜期南部 11 月中、下旬,北部为 3 月下旬。常年日照时数 2010 小时~2180 小时。年降雨量 1000 毫米~1200 毫米,70%降水集中在 4 月~9 月。

云应地区河湖交错,水资源丰富。主要河流有汉江、府河、汉北河、沮水、漳河、大富水等,开挖大型水渠多条,使云应地区形成河湖相通、河库相连的排灌体系。

2.2. 地形地貌

应城地处鄂中丘陵与江汉平原的过渡地带,以低岗为主,兼有平原,整个地势自西北向东南倾斜。西北部为低岗地区,约占版图总面积的 66.4%。境内低岗系大洪山余脉,其坡度一般小于 10 度,起伏平缓;海拔高程在 41~80 米之间,最高点为何家脑山主峰白沙山,海拔高程 111.6 米。境域中部的大富水两岸和东部漳河、沮水西岸为平原地区,主要为岗间冲积平原阶地,约占版图总面积的 19.6%;地势平坦,依势向东南伸展。海拔高程一般在 25~40 米之间。市境南部滨湖地带,多属湖沼洼地,约占版图总面积的 14%;地势较低,海拔高程均在 25 米以下;最低处在东汉湖的郎君镇蔡咀村,仅 20.4 米。境域地貌特征构成“七丘一湖二平川”形态。

2.3. 地层岩性

应城市北部广泛分布一套中深变质岩-混合岩系,表层风化强烈,岩性软弱破碎,南部江汉平原区

主要出露第三系、第四系沉积地层。云应地区主要出露下元古界~太古界大别山群、中元古界红安群、上元古界震旦系灯影组、中生界白垩~第三系和新生界第四系等地层,以及局部出露少量岩浆岩。现分述如下。

2.3.1. 下元古界~太古界大别山群(Ar₃Pt₁D)

分布于云应北部地区,岩性为一套钾长石化的花岗质混合片麻岩和浅粒岩。

2.3.2. 中元界红安群(Pt₂H)

广泛分布于云应北部低山丘陵区,全群为中~高压区域变质岩系,不整合于大别山群之上,可见黄麦岭组(Pt₂h)、天台山组(Pt₂t)、七角山组(Pt₂q)等岩性组[2],其主要岩性为:

1) 黄麦岭组(Pt₂h):为一套含白云钠长片麻岩、浅粒岩夹白云石英片岩、磷矿层、大理岩、石英岩和少量墨片岩的含磷岩系。

2) 天台山组(Pt₂t):主要岩性为白云钠长片麻岩、二云钠长片麻岩、白云钠长变粒岩夹斜长角闪岩、白云石英片岩、白云钠长石英片岩、钠长角闪片岩等[2]。

3) 七角山组(Pt₂q):岩性为白云钠长片麻岩、绿帘钠长角闪片岩、含榴钠长角闪片岩绿帘钠长片麻岩等,下部含石墨白云石英片岩及不稳定石墨片岩[2]。

2.3.3. 震旦系陡山沱组(Z₂d)

零星出露于北部芳畈余坡一带及应城汤池地区,主要岩性为中厚层~巨厚层白云石大理岩、大理岩,硅质条带白云石大理岩,白云岩、硅质白云岩、角砾岩、白云质灰岩。

2.3.4. 白垩系(K₂g)

分布于丘陵及岗地区坡顶处,由红色厚层状杂砾岩、含砾细砂岩夹粉砂质页岩组成。

2.3.5. 第三系(N、E)

广泛分布于南部平原陇岗地区,上第三系(N)岩性主要为灰白、灰绿色、浅黄色粘土岩,泥质粉砂岩、砂砾岩、砂岩、含砾粘土岩等半固结岩类。厚度为30~90.0 m,具有多个沉积韵律层,单层厚度变化大,且具有由南向北渐薄之特征。

下第三系(E)主要由蓝灰~深灰色钙质泥岩、褐色~蓝灰色钙质粉砂岩、泥岩,灰色硬膏质泥岩、泥质硬膏岩夹赭色、灰绿色泥质粉砂岩灰色泥质钙芒硝岩,钙芒硝质泥岩、硬膏质泥岩夹赭色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩等组成[2]。

2.3.6. 第四系(Q)

广泛分布于全市范围,在北部地区主要分布于河流阶地及山前缓坡地带,岩性为粘土、亚粘土、亚砂土、砂砾石等[2]。在南部平原区主要为全新统湖积—冲积层(Q₄^{l+al})的青灰色—灰色淤泥质亚粘土,厚5~8 m,分布于汤池镇低洼部位;全新统残积—坡积层(Q₄^{el-dl})的褐黄色含砂亚粘土,厚度为3~5 m,分布于岗坡边缘地带;晚更新统冲积层(Q₃^{al})的棕红色含碎石亚粘土或粘土,分布于广大岗地地区,厚一般5~10 m不等。

2.3.7. 岩浆岩

区内岩浆活动频繁,主要形成于扬子期和燕山期。

1) 扬子期火山岩

扬子期火山岩赋存于红安群中,本群火山岩由钠长角闪片岩、绿片岩等变基性火山岩。岩体规模较小,多呈脉状、透镜体侵入红安群中。

2) 燕山期花岗岩

燕山期为本区岩浆活动较为发育的时期,以侵入岩为主,形成时代与早白垩世大体相当。岩性为中粗粒黑云母二长花岗岩,灰白-浅肉红色,中粗粒花岗结构,块状构造。

2.4. 地质构造

红层分布区位于江汉中-新生代拗陷区东北部,是一个具备一定独立性的次级凹陷单元,称为云应凹陷。云应凹陷北接淮阳地盾,南跨南大巴山-大洪山台褶带。就在这两个刚柔悬殊的地质体衔接之处,经过燕山运动的强烈改造之后,从早白垩世开始,形成了这个陆相红色沉积盆地。云应凹陷的红层露头并不连续,较大面积分布的红色地层见于(京山县)宋河地区、(安陆县)雷公店地区及有玄武岩与红层互层产出的安陆县城附近地区。而其中又尤以宋河地区出露最为完整与连续。总观云应凹陷的红色沉积,其分布具有明显的规律性。

2.5. 水文地质条件

根据地下水的赋存条件、含水岩组的性质及水动力特征,将区域地下水类型划分为松散岩类孔隙水、碎屑岩类裂隙孔隙水、碳酸盐岩裂隙岩溶水和基岩裂隙水四大类[3]。

2.5.1. 松散岩类孔隙水

主要分布于山间河谷地带、盆地、河流洪冲积平原地带(由高漫滩、一级阶地、河间洼地组成)。含水层主要由第四系上更新统砂、砂卵石组成,其次是全新统的细砂、中细砂、中粗砂,含水层厚度一般为4.78~21.46 m,厚度由北往南增厚;王母湖、野猪湖、白水湖上游地区则较薄,多为2.5~7.5 m。砂、砂卵石层结构松散,孔隙发育,透水性较好,渗透系数 k 一般在10.05~23.66 m/d。

2.5.2. 碎屑岩类裂隙孔隙水

主要分布于区域南部,并于南部向武汉市延伸,西及西南部向云梦、汉川延展,含水层由上第三系掇刀石组半固状的碎屑岩组成岩性为砂岩、砂砾岩,其成岩程度较差,呈半固结状,裂隙孔隙发育,含水层渗透系数2.8~11.5 m/d。单井涌水量在云应盆地中心地段较丰富,为575.15~1515.25 m³/d;盆地边缘较贫乏,小于98 m³/d;边缘至盆地中心的过度地带,富水性中等,为302.12~665.12 m³/d。

2.5.3. 碳酸盐岩裂隙岩溶水

1) 大理岩裂隙岩溶水

该含水层主要分布于双峰尖复式倒转背斜的两翼,其介质为元古界红安群的大理岩,震旦系的白云质及硅质大理岩,其厚度一般十至数十米,青山口一带厚度达345 m,呈条带状产出。

大理岩岩溶发育,溶沟、溶孔顺层发育,宽0.48~1.8 cm,长数米至数十米,沿断裂带岩溶发育更甚,在青山口,据钻孔揭露,在深88 m断裂破碎带内,溶洞串珠状分布,在深21.35~23.50 m, 35.36~65.13 m, 87.83~88.13 m,三个深度段有溶洞(由碎石,粘土半充填)。

由于岩溶发育极不均一,使其富水性也不均一,泉水主要出露于断裂带,大理岩与片岩、片麻岩接触带上,泉流量一般为125~557 m³/d,钻孔抽水降深1.31~2.06 m时,单孔涌水量1048~1078 m³/d,水量中等。

2) 白云岩、灰岩裂隙岩溶水

该含水岩组仅分布于汤池镇一带,上覆第四系中更新统和下第三系地层,含水层岩性为白云岩、灰岩和硅质岩,顶板埋深10~55.0 m,地下水较丰富,地下水水化学类型为HCO₃-Ca-Mg型水,水质好,矿化度200~300 mg/l, pH值7.28~7.3,为中性低矿化度水。

汤池镇中心地段地热区,资源量较丰富,其富水性与断裂构造关系密切,水温一般 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$,地热能储量 $11,780\text{ m}^3/\text{d}$,水质类型为 $\text{SO}_4\text{—Ca}$ 型水,矿化度 $1200\sim 1300\text{ mg/l}$,具有医疗价值,天然状态下地热以泉的形式出露地表,泉流量为(八处泉眼) $3067\text{ m}^3/\text{d}$ 。

此外,白垩—下第三系地层为相对隔水层,据钻孔提水试验,单位涌水量小于 $0.0074\text{ l/s}\cdot\text{m}$,渗透系数 0.023 m/d ,局部裂隙发育地段,存在泉水,流量小于 $10\text{ m}^3/\text{d}$,且随着季节变化明显。

2.5.4. 基岩裂隙水

基岩裂隙水含层(组)大面积分布于区域的山区与丘陵地区,含水介质为太古界与元古界的变质岩系(包括各类片岩、片麻岩、千枚岩及混合岩、硅质岩等)、中生界白垩系碎屑岩类(由泥岩、泥页岩、粉砂岩、砂岩、砂砾岩等组成)、侵入岩(由花岗岩、细斑状花岗岩、各类辉绿岩组成)。其风化裂隙、构造裂隙发育一般,地下水资源总的来说较贫乏,泉点较少,泉流量较小,一般在 $5\sim 30\text{ m}^3/\text{d}$,仅沿断裂带及侵入岩与围岩的接触带部位,有少量的泉水出露,水量多小于 $250\text{ m}^3/\text{d}$ 。

2.5.5. 地下水补给与排泄

应城市地下水补给方式主要为大气降水补给及河流侧向补给,主要排泄方式主要为人为开采及潜水蒸发。

地下水水位变化受降雨量的影响,应城市地下水水位监测孔数据,与2019年月降雨量数据,绘制相应关系曲线图(图1、图2)。在4~8月份应城市进入雨季,降雨量多,地下水位较高;反之,降雨量少,地下水位较低。说明区内地下水水位的年动态变化与降水量整体呈正相关关系,雨季普遍上升,旱季普遍下降,随着降水量的峰谷变化,地下水位产生相应的季节性变化[3]。

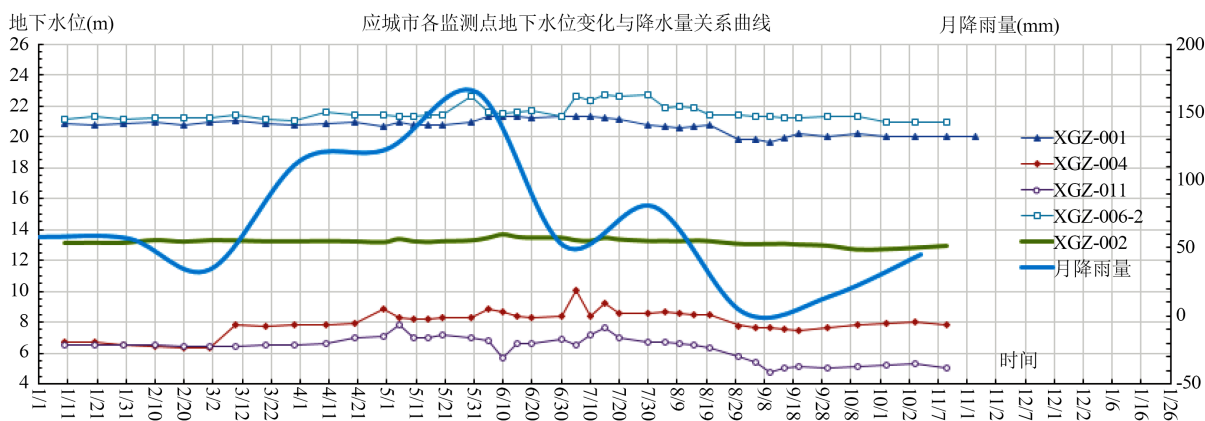


Figure 1. Curve of relationship between groundwater level change and rainfall in Yingcheng City in 2019

图1. 2019年应城市地下水水位变化与降雨量关系曲线图

2.6. 人类工程活动特征

近年来,应城市经济建设步伐不断加快,城市面貌日新月异,随着各类建设项目实施,人类工程活动愈来愈强烈,自然的地质环境被改造、破坏,大量的人类工程活动破坏了环境的自然平衡状态,并因此产生了严重的环境问题,给当地居民造成了严重损失和巨大威胁。表现突出的是城市建设、公路建设、水利水电建设、土地利用开发、矿产开发及旅游规划建设,是产生地质灾害的主要诱发因素。

人类工程活动引发地质环境问题在工作区内广泛存在,主要有:局部产生地下水污染,大量抽汲或开采地下水引起地下水位下降、地下水源地受威胁;诱发地质灾害,经济损失较大;矿山开采产生地质灾害、地形地貌景观破坏、土地荒芜、水、土污染和水土流失及石漠化等矿山地质环境问题[4]。

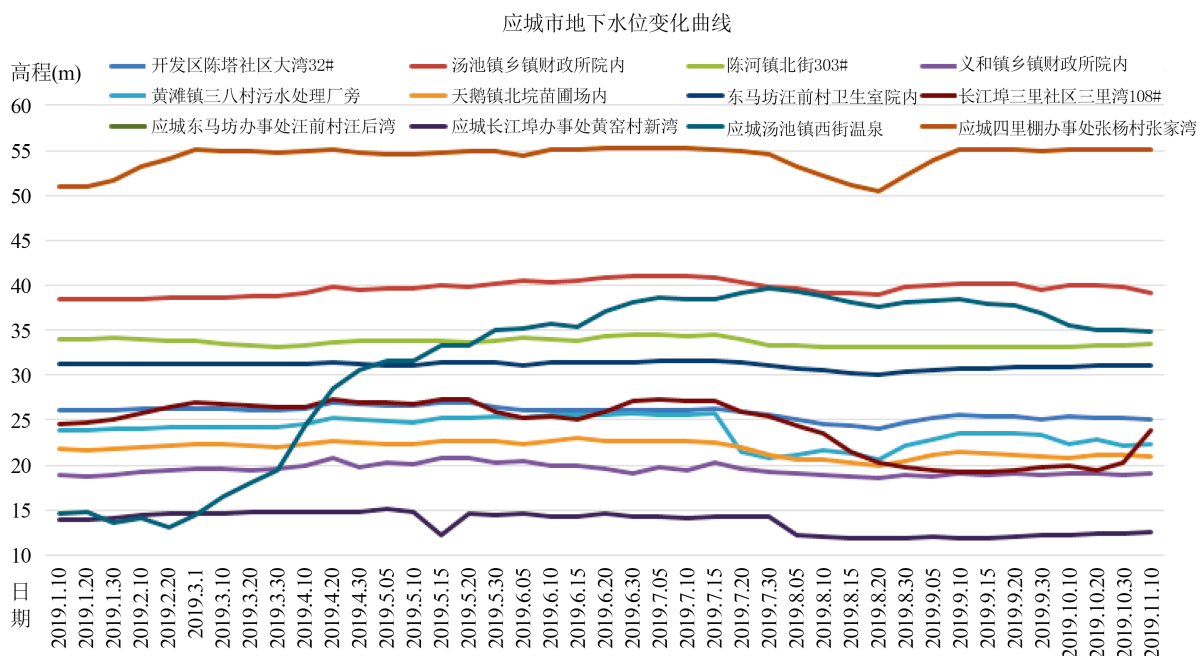


Figure 2. The groundwater level change curve of Yingcheng City in 2019
图 2. 2019 年应城市地下水水位变化曲线图

3. 主要地质环境问题

3.1. 地下水地质环境问题

应城市地下水资源比较丰富，近几年地下水水质、水位基本稳定，但局部地区有逐渐变差的趋势，主要因素是局部地区铁、锰、氨氮等含量超标。

受工程建设抽排水等影响，局部地段上层滞水流失、水位下降、大量抽汲或开采地下水引起地下水位下降等，诱发填土和软土的固结沉降等。

云应膏盐矿区采矿造成周边第四系中更新统冲洪积层粘土、粘土夹砾石孔隙潜水及第四系上更新统冲洪积砂卵石孔隙承压水受到严重污染。

其中，膏矿采矿过程中地下水疏干排水未经处理直接通过地表入渗以及露天矿渣堆砌任由雨水冲蚀，导致地下水化学类型为 $\text{SO}_4\text{-Ca}$ 型， SO_4^{2-} 最大可达 1821.75 mg/L， NO_3^- 最大可达 78.26 mg/L，总硬度最大可达 1813.2 mg/L，溶解性总固体最大可达 3286.78 mg/L，致使周边民井基本废弃。

盐矿区域含水层破坏主要为卤水通过老化破裂的井管外渗、井下开采事故造成地面塌陷、冒卤等，使卤水直接污染地下水以及盐矿生产过程违规排污，污水通过地表下渗间接污染地下水。其污染物主要为生产过程产生的 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 。在应城市城中至黄滩盐水河一带以及云梦隔蒲蓝天盐化一带，大部分手压井水质有咸味、发涩。特别以炮竹湾一带最为严重，据 1998 年 11 月 18 日该地地下水取样分析表明， Cl^- 含量为 541.5 mg/L， $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 含量为 288.8 mg/L，很明显地表水已受到严重污染。2018 年在该处选择当地手压井进行取样，水质检测分析表明地下水化学类型为 $\text{SO}_4\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型， Na^+ 274.35 mg/L， Cl^- 335.36 mg/L， SO_4^{2-} 1500.46 mg/L， NO_3^- 249 mg/L，总硬度 2035.868 mg/l，溶解性总固体 3318.22 mg/l，级别为极差级，为咸水。隔蒲潭镇府河村长湾地下水化学类型为 Cl-Ca 型， Na^+ 841.95 mg/l， Cl^- 1718.56 mg/l， SO_4^{2-} 339.00 mg/l， NO_3^- 21.8.00 mg/l，总硬度 1053.39 mg/l，溶解性总固体 3411.35 mg/l，级别为极差级，为咸水。

3.2. 矿山地质环境问题

应城市矿山类型主要为贵金属矿产、化工原料非金属矿产、建材及其它非金属矿产、能源矿产、冶金辅助原料非金属矿、有色金属矿产等，在复杂的地质背景和强烈的矿山开采活动条件下，区内矿山地质环境破坏严重，地形地貌与地质景观改变极大，生态环境明显劣化，矿山地质环境问题发育强烈。矿山开采引发的矿山地质环境问题主要分为五类：矿山地质灾害、含水层影响破坏、地形地貌景观破坏、土地植被资源占用与破坏、矿山废水及废渣对环境的影响[5]。

应城市矿山地质灾害主要为地面塌陷，主要表现为冒落型地面塌陷、土洞型地面塌陷和岩溶型地面塌陷。其次为露天开采形成的高陡边坡引起的崩塌[5]。

冒落型地面塌陷分布在应城膏矿地区；土洞型地面塌陷分布在云梦、应城盐矿地区；岩溶型地面塌陷分布在汤池温泉[5]。

含水层影响破坏分布云应膏盐矿区周边，其中膏矿采矿过程中地下水疏干排水未经处理直接通过地表入渗以及露天矿渣堆砌任由雨水冲蚀，导致第四系中更新统冲洪积层粘土、粘土夹砾石孔隙潜水受到严重污染。

地形地貌景观破坏与土地植被资源占用与破坏分布，其中地形地貌景观破坏主要为碎石场露天采矿挖损、人工堆积为主，开采矿类主要为建材及其它非金属矿产，矿种为建筑用白云岩、灰岩、大理岩。其中矿山开采占用土地最多为应城市，占比为 88.81%，云梦占比为 11.19%。其破坏方式主要为露天采场，占比达到 75.64%，破坏土地类型以草地为主，占比为 69.61% (见表 1)。

Table 1. Distribution characteristics of land resources occupied and destroyed by mines (according to the destruction method) Unit: hm²

表 1. 矿山占用及破坏土地资源分布特征表(按破坏方式)单位: hm²

破坏方式	草地	耕地	林地	合计	占比(%)
地面坍塌	17.2	1.07	0	18.27	8.80
废石(土、渣)堆场	8.47	0	6.49	14.96	7.21
工业广场	16.41	0	0.14	16.55	7.98
露天采场	102.3	0	54.6	156.9	75.64
尾矿库	0	0	0.74	0.74	0.37
合计	144.38	1.07	61.97	207.42	100
占比(%)	69.61	0.52	29.87	100	-

通过调查云应地区盐矿生产废水排放较为严重，在应城老县河上游支流盐水河段，盐矿排污致使沿河 4.65 km 水域被污染，水体呈现灰白色。

4. 矿山地质环境现状

应城市内优势矿产磷、盐、石膏、芒硝等资源较为丰富；地热资源、蛇纹岩、饰面用石材及建筑石料矿产资源潜力较大，前景广阔；矿泉水、地下水总量较丰富；萤石、硅石、重晶石、绢云母、镍、金、铜等矿产有一定潜力。其中，膏、盐、磷被誉为应城“三宝”，素有“膏都”、“盐海”、“磷山”之称。岩盐、芒硝、蛇纹岩、镍等矿产资源储量居全省第一位，石膏、地热、磷矿产资源储量分别位列全省第二、四、六位。

目前在应城市开展的矿山地质环境监测仅包含少量的矿山水土环境监测及局部地区地面变形监测，监测范围小，监测内容单一，不能及时反映由于矿山开采引起的一系列环境问题应城市矿山地质环境问

题主要分为五类：矿山地质灾害、含水层影响破坏、地形地貌景观破坏、土地植被资源占用与破坏、矿山废水及废渣对环境的影响。

5. 矿山水土环境监测评价

5.1. 矿山水土环境监测情况

本年度主要开展云应膏盐矿区水土监测，选取 21 组地下水或地表水进行水质分析，选取 21 组土样进行土壤微量元素和重金属监测，分析矿山开采对水土的污染情况，矿山取样一览表见表 2。

Table 2. List of mine water and soil environmental monitoring

表 2. 矿山水土环境监测一览表

编号	点位	经度	纬度
YCS-001	湖北汤池温泉旅游有限责任公司	113°20'44.30"	30°54'35.08"
YCS-002	应城市和昌石膏制品有限责任公司齐王石膏矿	113°25'46.8"	30°56'30"
YCS-003	应城市龙王集石膏矿业有限责任公司龙王集石膏矿	113°27'36"	30°55'45.7"
YCS-004	孝感广盐华源制盐有限公司	113°37'56.6"	30°56'26.2"
YCS-005	应城市鑫龙膏业有限公司翟河石膏矿	117°27'42.5"	30°55'45.1"
YCS-006	应城市玉峰石膏有限责任公司陈河机房石膏矿	113°28'55"	30°54'33"
YCS-007	应城市团山石膏矿业有限公司	113°28'33"	30°59'6"
YCS-008	应城市鑫鑫膏业有限公司	113°27'26.2"	30°59'0.10"
YCS-009	应城金龙膏业有限公司	113°32'33.3"	31°00'15"
YCS-010	应城市昌兴石膏矿业有限公司	113°31'37.2"	30°59'25.4"
YCS-011	应城市李咀石膏矿业有限公司	113°31'37.2"	30°59'25.4"
YCS-012	中盐长江盐化有限公司	113°44'10.1"	30°52'05.1"
YCS-013	湖北省七二八盐厂采区	113°42'58.5"	30°55'10.3"
YCS-014-1	湖北省双环化工集团有限公司盐厂水采矿区	113°40'10.01"	30°56'14.83"
YCS-014-2	湖北省双环化工集团有限公司盐厂水采矿区	113°38'53.06"	30°57'0.2"
YCS-015	久大(应城)盐矿有限公司水采矿区	113°37'56.6"	30°56'26.2"
YCS-016-1	孝感广盐华源制盐有限公司西头村盐矿	113°37'07.1"	30°57'26.3"
YCS-016-2	孝感广盐华源制盐有限公司西头村盐矿	113°37'29.67"	30°57'27.74"
YCS-016-3	孝感广盐华源制盐有限公司西头村盐矿	113°40'0.92"	30°56'57.15"
YMX-002	中盐宏博集团有限公司	113°44'23.38"	30°56'53.08"
YMX-003	湖北蓝天盐化有限公司	113°41'32"	30°55'44.4"

土壤重金属生态风险评价自 20 世纪 60 年代以来成为全球众多学者关注的焦点之一。目前，土壤重金属污染评价方法众多，如单因子指数评价法、内梅罗综合污染指数法、地积累指数法(Mull 指数)、潜在生态危害指数法、几何均值综合评价模式、灰色聚类法、污染负荷指数法、环境风险指数法、沉积物富集倍数法、模糊数学法、健康风险评价方法、基于 GIS 的地统计学评价法等[2]。本次土壤污染评价选用了单因子污染指数法中的土壤背景值分析 2019 年应城市矿区 21 个取样点中 As、Cd、Cr、Sb、Hg、Pb、Se 七大重金属的污染状况。

土壤环境背景值与当地土壤中重金属实际变化情况更为接近，同时要求也更为严格，以土壤背景值作为参考标准更能反映当地重金属污染程度。为探讨研究区重金属在区域背景值基础上的累积程度，选

择湖北省土壤背景值为评价标准，评价结果见下表。

根据 2019 年矿山土壤监测实验分析，大部分监测点为轻污染及其以上，其余 5 种重金属大部分处于清洁水平，只有少量点位受到不同程度的重金属污染。云应膏盐矿区土壤中 7 种重金属处于清洁或轻污染水平，重金属的污染程度为 I-II 类(表 3)。

Table 3. Evaluation results of soil heavy metals

表 3. 土壤重金属评价结果

送样号	As	Cd	Cr	Sb	Hg	Pb	Se	
YCS-T-001	II	I	I	I	I	II	I	
YCS-T-002	II	I	II	I	I	II	I	
YCS-T-003	I	I	I	I	I	II	II	
YCS-T-004	II	I	I	I	I	II	I	
YCS-T-005	II	II	II	II	I	II	II	
YCS-T-006	I	I	I	I	I	II	II	
YCS-T-007	II	I	I	I	I	I	I	
YCS-T-008	II	I	II	II	I	II	I	
YCS-T-009	II	I	I	I	I	I	I	
YCS-T-010	II	I	I	I	I	I	I	
YCS-T-011	I	II	I	I	I	II	I	
YCS-T-012	I	I	I	I	II	II	II	
YCS-T-013	I	I	I	I	II	II	II	
YCS-T-014-1	I	I	I	I	I	I	I	
YCS-T-014-2	II	I	II	I	I	II	I	
YCS-T-015	II	I	I	I	I	II	I	
YCS-T-016-1	II	I	I	I	I	II	I	
YCS-T-016-2	II	I	II	I	I	II	I	
YCS-T-016-3	II	I	II	I	I	I	I	
YMX-T-002	I	I	I	I	II	I	I	
YMX-T-003	I	I	I	I	I	I	II	
等级	评价等级	As	Cd	Cr	Sb	Hg	Pb	Se
I	清洁	38%	90%	71%	90%	86%	33%	72%
II	轻污染	62%	10%	29%	10%	14%	67%	28%

5.2. 矿山水土环境(土壤)盐碱化评价

土壤盐渍化是指土壤底层或地下水的盐分随毛管水上升到地表，水分蒸发后，使盐分积累在表层土壤中的过程。是指易溶性盐分在土壤表层积累的现象或过程，也称盐碱化。盐碱化使土壤理化性质变差，作物、林木和牧草的生存条件变坏[6]。2019 年矿山水土环境监测点发部分分布于云应膏盐矿区，该矿区主要以开采膏盐矿为主，针对本地区矿山开采特点分析土壤盐碱化情况。

根据 2019 年度矿山水土环境监测成果分析，25 组矿山土壤进行盐渍化程度评价，评价标准以国家天然草地退化、沙化、盐渍化分级标准(GB19377-2003)作为评价标准，土壤盐渍化等级划分标准(表 4)。

Table 4. Classification of soil salinization degree**表 4.** 土壤盐渍化程度划分表

土壤盐渍化程度	土壤盐渍化总量 (干重量%)	氯化物总量 (以 Cl ⁻ %计)	硫酸盐总量 (以 SO ₄ ²⁻ %计)	作物生长情况
非盐渍土	<0.2	<0.02	<0.1	正常
弱盐渍土	0.2~0.5	0.02~0.04	0.1~0.3	不良
中盐渍土	0.5~1	0.04~0.1	0.3~0.4	困难
强盐渍土	1~2	0.1~0.2	0.4~0.6	死亡
盐土	>2	>0.2	>0.6	死亡

Table 5. Evaluation table of soil salinization in mining area**表 5.** 矿区土壤盐渍化评价表

送样号	地点	氯含量(%)	土壤盐渍化程度
YCS-T-001	湖北汤池温泉旅游有限责任公司	0.00491	非盐渍土
YCS-T-002	应城市和昌石膏制品有限公司齐王石膏矿	0.00460	非盐渍土
YCS-T-003	应城市龙王集石膏矿业有限责任公司龙王集石膏矿	0.00498	非盐渍土
YCS-T-004	孝感广盐华源制盐有限公司	0.0236	弱盐渍土
YCS-T-005	应城市鑫龙膏业有限公司翟河石膏矿	0.00613	非盐渍土
YCS-T-006	应城市玉峰石膏有限责任公司陈河机房石膏矿	0.00601	非盐渍土
YCS-T-007	应城市团山石膏矿业有限公司	0.0037	非盐渍土
YCS-T-008	应城市鑫鑫膏业有限公司	0.00528	非盐渍土
YCS-T-009	应城金龙膏业有限公司	0.0042	非盐渍土
YCS-T-010	应城市昌兴石膏矿业有限责任公司	0.00413	非盐渍土
YCS-T-011	应城市李咀石膏矿业有限责任公司	0.00610	非盐渍土
YCS-T-012	中盐长江盐化有限公司	0.0431	中盐渍土
YCS-T-013	湖北省七二八盐厂采区	0.0160	非盐渍土
YCS-T-014-1	湖北省双环化工集团有限公司盐厂水采矿区	0.0188	非盐渍土
YCS-T-014-2	湖北省双环化工集团有限公司盐厂水采矿区	0.0283	弱盐渍土
YCS-T-015	久大(应城)盐矿有限公司水采矿区	0.261	盐土
YCS-T-016-1	广盐华源制盐有限公司西头村盐矿	0.0104	非盐渍土
YCS-T-016-2	广盐华源制盐有限公司西头村盐矿	0.00535	非盐渍土
YCS-T-016-3	广盐华源制盐有限公司西头村盐矿	0.00472	非盐渍土
YMX-T-002	中盐宏博集团有限公司	0.0145	非盐渍土
YMX-T-003	湖北蓝天盐化有限公司	0.00903	非盐渍土

根据表 5 评价结果, 2019 年度 21 组矿山土壤监测点中部分监测点出现盐渍化, 主要为盐矿采区, 其中 YCS-T-015 (久大(应城)盐矿有限公司水采矿区)土壤盐渍化最为严重, 氯含量高达 0.261%; 其次, YCS-T-004 (孝感广盐华源制盐有限公司)、YCS-T-012 (中盐长江盐化有限公司)、YCS-T-014-2 (湖北省双环化工集团有限公司盐厂水采矿区)监测点均出现不同程度土壤盐渍化。

5.3. 矿山水土环境监测(水样)评价

本年度 21 组矿山水样主要为地表水, 根据《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》(以下简称标准)

进行评价, 分为单项组分评价和综合评价两种。水质评价选取指标为 NH_4^+ 、COD、挥发酚、 CN^- 、pH、Cr(六价)、Pb、Cd、Cu、Zn、Hg、As、Se 共 13 项。

通过对矿山地表水质分析, 矿山地区地表水质整体良好。21 个监测点中 I 类 1 处, II 类 13 处, III 类 1 处, IV 类 2 处, 劣 V 类 4 处。局部地区氨氮、COD、PH、Se 超标, 其中多处氨氮超标尤为突出, 甚至达到劣 V 类(表 6)。

Table 6. 2019 mine surface water quality evaluation table

表 6. 2019 年矿山地表水质量评价表

评价	编号	NH_4^+	COD	挥发酚	CN^-	pH	Cr 六价	Pb	Cd	Cu	Zn	Hg	As	Se	综合评价
1	YCS-S-001	III	I	I	I	8.08	I	I	I	I	I	I	I	I	III
2	YCS-S-002	II	I	I	I	8.07	I	I	I	I	I	I	I	I	II
3	YCS-S-003	I	I	I	I	8.05	I	I	I	I	I	I	I	I	I
4	YCS-S-004	I	I	I	I	8.15	I	I	I	II	I	I	I	I	II
5	YCS-S-005	劣 V	IV	I	II	7.49	I	I	I	II	I	I	I	I	劣 V
6	YCS-S-006	I	I	I	I	7.61	I	I	I	II	I	I	I	I	II
7	YCS-S-007	IV	I	I	I	7.9	I	I	I	II	I	I	I	I	IV
8	YCS-S-008	IV	I	I	I	7.89	I	I	I	II	I	I	I	I	IV
9	YCS-S-009	II	I	I	I	7.76	I	I	I	II	I	I	I	I	II
10	YCS-S-010	I	I	I	I	7.64	I	I	I	II	I	I	I	I	II
11	YCS-S-011	I	I	I	I	7.58	I	I	I	II	I	I	I	I	II
12	YCS-S-012	I	I	I	I	7.98	I	I	I	II	I	I	I	I	II
13	YCS-S-013	II	I	I	I	7.42	I	I	I	II	I	I	I	I	II
14	YCS-S-014-1	I	I	I	I	7.49	I	I	I	II	I	I	I	I	II
15	YCS-S-014-2	II	I	I	I	7.58	I	I	I	II	I	I	I	I	II
16	YCS-S-015	劣 V	III	I	II	劣 V	I	I	I	II	I	I	I	I	劣 V
17	YCS-S-016-1	II	I	I	I	7.4	I	I	I	II	I	I	I	I	II
18	YCS-S-016-2	I	I	I	I	7.73	I	I	I	II	I	I	I	I	II
19	YCS-S-016-3	I	I	I	I	7.31	I	I	I	II	I	I	I	I	II
20	YMX-S-002	劣 V	IV	I	II	7.12	I	I	I	II	I	I	I	I	劣 V
21	YMX-S-003	劣 V	I	I	II	8.01	I	I	I	II	I	I	I	I	劣 V

5.4. 地下水水质监测情况

地下水分析测试项目为水质全分析及微量元素分析, 主要分析指标见表 7。

Table 7. List of water quality test indicators

表 7. 水质测试指标明细表

全分析标测试项(21 项)					
序号	测试指标	序号	测试指标	序号	测试指标
1	浑浊度	8	镁离子	15	偏硅酸
2	色	9	氯化物	16	溶解性总固体
3	嗅和味	10	碳酸根	17	总硬度
4	肉眼可见物	11	重碳酸根	18	高锰酸盐指数

Continued

5	钠	12	硫酸盐	19	氨氮
6	钾离子	13	硝酸盐	20	挥发性酚类
7	钙离子	14	亚硝酸盐	21	PH
微量元素分析测试项(24项)					
1	铁	9	砷	17	钴
2	铜	10	硒	18	钼
3	锰	11	铝	19	银
4	铅	12	铍	20	铊
5	锌	13	硼	21	溴化物
6	镉	14	铈	22	氰化物
7	铬(六价)	15	钡	23	氟化物
8	汞	16	镍	24	碘化物

2019年地下水监测点包括云应城区10个监测点位，监测点基本情况见表8、表9、表10、表11。

Table 8. Chemical classification of groundwater in Yingcheng City in the first half of 2019

表 8. 2019 上半年应城市地下水水化学分类

	编号	Na ⁺ (%)	Ca ²⁺ (%)	Mg ²⁺ (%)	Cl ⁻ (%)	SO ₄ ²⁻ (%)	HCO ₃ ⁻ (%)	矿化度 mg/L	地下水水化学类型
	YC-001	14.6	58.2	26.4	18.0	16.7	61.7	348	HCO ₃ -Ca-Mg
	YC-002	16.2	45.7	35.5	14.6	12.6	68.1	341	HCO ₃ -Ca-Mg
	YC-003	25.2	42.7	28.6	94.2	1.0	4.6	599	Cl-Ca-Mg-Na
	YC-004	25.7	47.3	25.8	6.0	6.0	87.5	124	HCO ₃ -Ca-Mg-Na
应 城	YC-005-1	14.4	56.1	29.0	17.1	22.3	60.0	294	HCO ₃ -Ca-Mg
	YC-005-2	20.7	48.1	26.8	21.5	28.0	45.8	286	HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg
	YC-006-1	19.2	53.0	26.8	19.8	7.8	72.0	267	HCO ₃ -Ca-Mg
	YC-006-2	18.0	50.2	27.1	20.0	23.6	51.6	302	HCO ₃ -Ca-Mg
	YC-008	27.8	38.2	31.0	15.0	28.7	48.2	345	HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg-Na
	YC-009	23.0	40.2	36.3	15.8	6.0	75.2	337	HCO ₃ -Ca-Mg

Table 9. Chemical classification of groundwater in Yingcheng City in the second half of 2019

表 9. 2019 年下半年应城市地下水水化学分类

区域	编号	Na ⁺ (%)	Ca ²⁺ (%)	Mg ²⁺ (%)	Cl ⁻ (%)	SO ₄ ²⁻ (%)	HCO ₃ ⁻ (%)	矿化度 mg/L	地下水水化学类型
	YC-001	21.7	53.0	24.7	15.7	9.6	71.0	320	HCO ₃ -Ca
	YC-002	26.0	46.1	26.0	18.0	13.0	64.3	437	HCO ₃ -Ca-Mg-Na
	YC-003	34.3	45.7	15.6	90.6	0.7	8.4	382	Cl-Ca-Ma
	YC-004	27.0	48.2	23.8	5.0	1.6	93.0	203	HCO ₃ -Ca-Na
应 城	YC-005-1	19.8	51.0	28.5	15.1	20.6	63.8	331	HCO ₃ -Ca-Mg
	YC-005-2	17.8	51.8	25.4	12.2	18.0	65.1	173	HCO ₃ -Ca-Mg
	YC-006-1	28.8	43.4	26.8	20.0	6.1	73.3	269	HCO ₃ -Ca-Na-Mg
	YC-006-2	21.7	45.2	27.4	25.7	13.7	43.5	222	HCO ₃ -Cl-Ca-Mg
	YC-008	13.6	51.8	30.8	9.0	16.0	74.0	130	HCO ₃ -Ca-Mg
	YC-009	32.4	42.3	24.7	12.7	5.4	79.4	271	HCO ₃ -Ca-Na

Table 10. List of groundwater monitoring points
表 10. 地下水监测点情况一览表

监测点 编号	市	地理位置	坐标		孔口标高 (m)	孔深 (m)	监测层年代、 含水层类型	地下水 类型	监测点 级别	监测点 类型
			东经	北纬						
1	应城市	宋杨村	113°53'43.65"	30°58'49.58"	29.74	55	Q3 砂砾石	承压水	市级	专门监测井
2	应城市	三里村	113°54'21.68"	30°57'44.61"	28.21	55	Q3 砂砾石	承压水	市级	专门监测井
3	应城市	陈王村	113°56'24.1"	30°57'17.21"	28.01	65	Q3 砂砾石	承压水	市级	机井
4	应城市	刘堤村	113°55'18.75"	30°56'05.51"	31.15	65	Q3 砂砾石	承压水	市级	专门监测井
5	应城市	周杨村	113°53'02.12"	30°55'35.34"	24.74	35	Q3 砂砾石	潜水	市级	专门监测井
6	应城市	周杨村	113°53'02.15"	30°55'35.36"	24.87	40	Q3 砂砾石	潜水	市级	专门监测井
7	应城市	官渡村	113°56'20.19"	30°55'45.59"	27.63	45	Q3 砂砾石	承压水	市级	专门监测井
8	应城市	官渡村	113°56'20.22"	30°55'45.64"	28.73	40	Q3 砂砾石	承压水	市级	专门监测井
9	应城市	赤岸村	113°58'02.95"	31°15'39.57"	28.72	35	Q3 砂砾石	承压水	市级	机井
10	应城市	李集村	113°50'37.74"	31°02'19.58"	32.53	65	Q3 砂砾石	承压水	市级	民井

Table 11. 2019 Yingcheng groundwater quality evaluation table
表 11. 2019 应城市地下水水质评价表

编号	时间	钠	氯化物	硫酸盐	硝酸盐	亚硝酸盐	矿化度	耗氧量	PH	铁	锰	臭味	嗅和味	浑浊度	碘化物	氰化物	挥发酚	色度	铬六价	Be	Pb	Cd	B	Cu	Zn	Al	Hg	As	Se	Sb	Ba	Ni	Co	Mo	Ag	Tl	综合评价
YC-001	2019.上	I	III	I	II	II	II	I	I	I	III	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II	II	I	I	I	I	I	II	III	I	II	I	I	III	
	2019.下	I	III	I	III	I	II	I	I	I	I	IV	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	II	III	I	I	I	I	IV	
YC-002	2019.上	I	II	I	I	IV	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II	II	I	II	I	I	I	I	III	III	I	II	I	I	IV	
	2019.下	I	III	II	I	III	I	II	I	I	I	IV	I	I	I	I	I	IV	I	I	I	II	II	I	I	I	I	I	I	III	III	I	I	I	I	IV	
YC-003	2019.上	I	IV	I	I	I	III	II	I	I	V	I	I	I	IV	I	I	V	I	I	I	I	II	II	I	I	I	I	I	II	III	I	I	I	I	IV	
	2019.下	I	IV	I	I	I	II	III	I	IV	V	I	I	I	IV	I	I	V	I	I	I	I	I	I	II	II	I	I	I	II	III	I	I	I	I	IV	
YC-004	2019.上	I	II	I	I	I	I	I	I	I	IV	I	I	I	IV	I	I	I	I	I	I	I	I	II	II	I	I	I	I	II	III	I	I	I	I	IV	
	2019.下	I	III	I	I	I	II	I	I	I	IV	I	I	I	IV	I	I	IV	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	II	III	I	I	I	I	IV	
YC-005-1	2019.上	I	III	I	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	II	II	I	I	I	I	I	II	III	I	I	I	I	III	
	2019.下	I	III	I	I	I	II	I	I	I	I	III	I	I	III	I	I	I	I	I	I	I	II	II	I	II	I	I	I	II	III	I	I	I	I	III	
YC-005-2	2019.上	I	II	I	I	III	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	III	
	2019.下	I	III	I	I	III	I	I	IV	I	I	IV	I	I	IV	I	I	III	I	I	I	I	II	II	I	II	I	III	I	II	III	I	II	I	I	IV	
YC-006-1	2019.上	I	III	I	I	I	II	I	II	I	IV	I	I	I	IV	I	I	III	I	I	I	I	I	II	II	I	I	I	I	II	III	I	II	I	I	III	
	2019.下	I	III	I	I	I	II	II	I	II	I	IV	I	I	IV	I	I	III	I	I	I	I	I	I	II	II	I	III	I	II	III	I	II	I	I	III	
YC-006-2	2019.上	I	II	I	II	II	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	III	
	2019.下	I	IV	I	I	III	I	I	IV	I	I	IV	I	I	IV	II	I	V	I	I	I	I	II	II	I	II	I	III	I	II	III	I	II	I	I	V	
YC-008	2019.上	I	III	I	II	II	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	III	
	2019.下	I	III	I	I	III	I	I	III	I	I	III	I	I	III	I	I	III	I	I	I	I	I	I	II	I	III	I	II	III	I	II	I	I	III		
YC-009	2019.上	I	I	I	I	III	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	III	III	I	I	I	I	III	
	2019.下	I	II	I	I	III	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	III	I	I	II	III	I	II	I	I	III		

注：云应地区土壤背景值中铁、锰元素较高，不参与水质结果评价。

根据应城市 2019 年水质检测结果进行分析,上半年水质与下半年水质情况相近。上半年结果显示应城水质一般,Ⅲ类水 7 处,Ⅳ类水 3 处,没有Ⅴ类水。局部地区氨氮、氯化物、硝酸盐、耗氧量、浑浊物、碘化物、色度超Ⅲ类;总硬度超标(因云应地区土壤铁锰元素背景值含量较大,不参与水质评价结果)。下半年结果显示应城市区水质,Ⅲ类水 4 处,Ⅳ类水 5 处,Ⅴ类水 1 处。局部地区氨氮、硝酸盐、耗氧量、浑浊物、色度超Ⅲ类。

6. 结论

1) 在盐矿附近,土壤盐渍化情况比较严重,但重金属污染情况较轻,目前来看,土壤污染状况属于可控范围内。

2) 应城普遍地下水水质一般,通过地下水水质评价表可知:部分区域地下水氨氮含量偏高,分析可能是浅层地下水受到了地表水的影响,而地表水的氨氮含量超标进而影响地下水中氨氮的含量。

3) 在地下水氨氮超标的区域,通常伴随着硝酸盐含量的超标。原因可能为该区域土壤中氨氮含量较高,由于农作物普遍使用氮肥,这些含氮化肥会随着大气降水等方式逐渐渗入地下,对地下水造成一定程度的污染,从而直接导致地下水硝酸盐含量的增加。

4) 部分区域浅层地下水中镍、砷含量偏高,分析可能与采矿排放污水及工业废渣有关。

5) 地下水浑浊度的加剧通常与水中矿物质含量有关,例如铁、锰等。而考虑到云应地区土壤背景值中铁锰元素含量较高,所以水体浑浊度受其影响较大。

6) 前人研究表明[7]-[16]:该地区水质及土壤的污染源主要为工业废水、工业废渣、储存装置和运输管道的渗漏及事故类污染源。造成这种现象的原因与膏矿和盐矿的开采均有密不可分的联系。

参考文献

- [1] 邱思晨. 合肥市矿山地质环境保护与治理[J]. 世界有色金属, 2019(15): 224-226.
<http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1002-5065.2019.15.134>
- [2] 邓乾忠, 李雄伟, 邓喆, 黎蓉. 再论红安群地层序列与有关问题[J]. 资源环境与工程, 2013, 27(2): 125-132.
<http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1671-1211.2013.02.004>
- [3] 尚娟娟, 包荔萍. 渭南市地下水动态变化规律分析[J]. 地下水, 2010, 32(5): 73-74.
<http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1004-1184.2010.05.033>
- [4] 周光辉, 戴长华, 黄靖. 湖南省矿山地质环境现状及变化趋势分析[J]. 世界有色金属, 2017(7): 66-67.
- [5] 续培信. 湖北某盐矿突发性地面沉降原因分析与治理方案探索[J]. 中国井矿盐, 2018, 49(2): 13-16.
<http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1001-0335.2018.02.004>
- [6] 赵忠明. 再生水灌溉对土壤重金属积累的影响及风险预测[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国科学院大学, 2012.
- [7] 谭伟, 周佑平, 李卫华. 应城市环境地质塌陷问题调查及分析[J]. 环球人文地理, 2017(10): 84-85.
<http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.2095-0446.2017.10.063>
- [8] 牛振波, 胡国闯, 李广济. 地下水开发中主要环境地质问题分析及对策[J]. 中国科技期刊数据库: 工业 A, 2016(4): 46.
- [9] 罗玮潇. 地下水开发中主要环境地质问题分析及对策[J]. 地球, 2015(4): 340.
- [10] 黄敬军, 张丽, 缪世贤. 江苏省地下水开发利用中的环境地质问题及对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(4): 101-107.
- [11] 洪成琪, 谢常. 谈地下水开发利用中引起的环境地质问题及对策[J]. 建材与装饰(下旬刊), 2008(7): 291-293.
- [12] 曹艳妮. 陕西矿山地质环境问题影响因素分析与防治对策研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2019.
- [13] 刘文辉. 咸阳市城市地质环境质量评价及可持续发展对策研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2004.
- [14] 郭富赞, 尹念文. 定西市地下水开采引起的环境地质问题及对策[J]. 甘肃科技, 2006, 22(5): 15-17.
- [15] 罗仁燕. 福建省地下水环境监测工作现状及对策研究[J]. 福建地质, 2010, 29(z1): 32-34.

<http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1001-3970.2010.z1.006>

- [16] 颜春. 江西矿山开发中的主要环境地质问题及防治对策建议[C]//江西省地质学会. 江西省地质学会年会论文集: 2015年卷. 南昌: 江西省地质学会, 2015: 204-211.