

城市地质环境问题分析与评价——以山东省聊城市为例

杨丽芝¹, 王国明^{2,3}, 韩博^{2,3}, 李状^{2,3*}, 陈瑶⁴

(1. 山东省地质调查院, 济南 250014; 2. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170;

3. 华北地质科技创新中心, 天津 300170; 4. 聊城市自然资源和规划局, 聊城 252001)

摘要: 本文基于聊城市不同精度的基础地质、水工环地质资料以及InSAR解译成果等数据,对聊城市中心城区目前存在的地面沉降、土壤盐渍化、水土污染等环境地质问题进行了分级评价,并分析了环境地质问题的发育特征与分布范围。结果表明:聊城市中心城区2008—2018年的地面沉降比较均匀,没有明显的沉降漏斗中心,2016年以来,地面沉降速率逐渐变缓,地面沉降发育程度逐渐从中等发育转变为弱发育;研究区大部分土壤处于未盐渍化状态,土壤盐渍化现象基本消失;研究区郊区地下水污染程度很轻,城区及附近浅层地下水污染较重,主要受三氮和半挥发性有机指标苯并[a]芘等指标影响;研究区良好级水(II、III类)、较差级水(IV类)和极差级水(V类)分别约占全区总面积的0.6%、53.4%和46%,部分水样硝酸根、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等单项指标达到V类或IV类;研究区广泛分布易液化砂土,但对建筑未造成危害。本次研究成果可为聊城市规划建设和可持续性发展提供地质依据和技术支撑。

关键词: 环境地质问题; 分级评价; 发育特征; 城市地质调查; 聊城市

中图分类号: X141; X821

文献标识码: A

文章编号: 2097-0188(2023)02-0051-12

聊城市地处中原腹地、山东省西部,临河南、河北,位于华东、华中、华北三大区域交界处,是国家历史文化名城,中国优秀旅游城市^[1]。黄河与京杭大运河在此交汇。聊城是京九铁路与胶济铁路、胶济邯铁路、济郑高铁在山东省内的交汇点,横跨冀鲁豫三省的最大交通物流枢纽。聊城是中国重要的能源基地、内陆口岸,是辐射冀鲁豫交界地区的中心城市,中原经济区东部的核心城市。

聊城市作为“江北水城”^[1],其地质环境条件复杂,随着经济迅速增长,工农业用水不断增加,地下水超采,导致地面沉降,加之土壤盐渍化、水土污染及砂土液化等使研究区环境地质问题日益突出,严重制约当地社会经济的发展。因此,揭示地面沉降、土壤盐渍化、水土污染及砂土液化等环境地质问题的分布特征和成因,是当前聊城市中心城区城市地质调查的重要内容,也是城市发展的基础地质工作。

本文基于聊城市不同精度的基础地质、水文地质、环境地质、工程地质资料以及InSAR解译成果等数据,依据《地质灾害危险性评估规范》(GB/T 40112-2021)^[1]、《盐渍土地区建筑技术规范》(GB/T 50942-

2014)^[2]、《地下水污染调查评价综合研究技术要求》^[3]和《地下水环境质量标准》(GB/T 14848-2017)^[4]等规范标准,对聊城市中心城区环境地质问题进行综合评价,并对环境地质问题评价结果和分布特征进行讨论分析,为聊城市中心城区城市地质调查和规划建设提供地质依据及技术支持。

1 区域地质环境概况

1.1 自然地理条件

1.1.1 地理位置

研究区位于聊城市中心城区,根据《聊城市城市总体规划(2014—2030年)(2018年发布)》,中心城区北至规划北苑路、西至德上高速公路,东至机场东路,南至规划南苑路。研究区面积为606.43 km²,地理坐标:东经:116°10′20″~116°30′38″,北纬:37°20′40″~37°40′40″(图1)。

1.1.2 地形地貌

研究区地势较平缓,地面有微倾斜,倾斜方向基本自西南向东北倾斜,最高海拔37.5 m,最低海拔31.0 m^[5]。研究区地貌类型为第四纪全新世黄河泛滥

收稿日期:2023-05-05

资助项目:山东省地质调查项目“聊城市中心城区城市地质调查(No.SDGP371500000202202000055)”

作者简介:杨丽芝(1966-),女,博士,研究员,主要从事水工环地质、城市地质调查与研究工作,Email:ylz200456@163.com;

*通讯作者:李状(1995-),男,硕士,助理工程师,主要从事水工环地质、城市地质调查与研究工作,Email: li-zhuang01@mail.cgs.gov.cn。

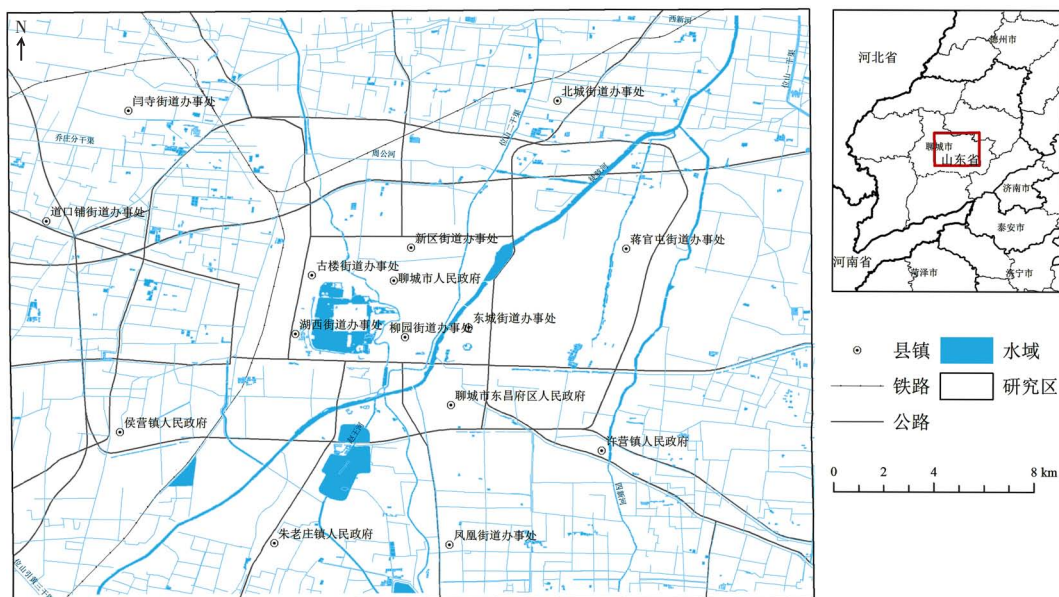


图1 研究区地理位置图

Fig.1 Geographical location map of the study area

冲积平原,由于历史上黄泛影响,形成了地表局部起伏的岗、坡、洼相间的地貌(图2)。微地貌类型有河滩高地、浅平洼地和缓平坡地。河滩高地为黄河故河道河漫滩沉积而成,多呈南西-北东向带状分布。

1.1.3 气象水文

聊城市处于暖温带季风气候区,具有明显的季风气候特征,为半干旱大陆性气候,春夏秋冬四季分明。四季气候的基本特点是“春旱多风,夏热多雨,

晚秋易旱,冬季干寒”。聊城市年平均气温为 13.5°C ,极端最高气温为 41.8°C (2002年、2009年),极端最低气温为 -22.3°C (1990年)。全年平均日照时数为2 323小时,全年无霜期208天,冻土深度0.5 m。多年平均降水量为581.8 mm(1971—2020年)(图3),最大1 116.1 mm(1964年),最小274.2 mm(2017年)。冬季雨水稀少仅占全年降水量的15%,夏秋雨水较多,7~9月份降水量最为集中,约占全年降水量的70%左右。多年平均水面蒸发量达1 065.25 mm(2000—2022年,大蒸发皿),又以5、6月份蒸发最为强烈,占全年30%左右,造成了春旱、夏涝、晚秋又旱,旱涝交替的气候特点。

聊城市河流纵横交错,河网密布,流经研究区的水系属海河水系,主要有古运河、南水北调东线、徒骇河3条城区主干河流和周公河、双力河、西新河、四新河等多条不同尺度的河渠支流。湖泊主要有东昌湖、望岳湖、九州洼、莲湖4个核心生态景观湖面。

1.2 区域水文地质条件

聊城市中心城区全区被第四系覆盖,主要含水岩组为第四系松散岩类孔隙含水岩组(图4)^[6,7]。结合地下水的开发利用现状,根据含水层埋藏深度,将500 m以浅含水层自上而下分为浅层、中深层、深层三个含水岩组^[6]。

1.2.1 浅层含水岩组分布发育规律及其特征

浅层含水岩组埋深在60 m以内,地下水为潜水-微承压水^[8]。岩性多为细砂、中细砂和粉细砂。富水

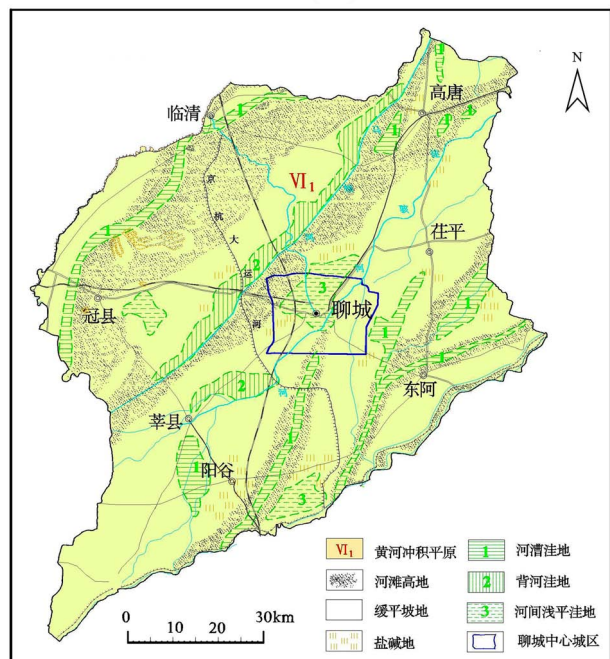


图2 聊城市地貌图

Fig.2 Geomorphological map of Liaocheng City

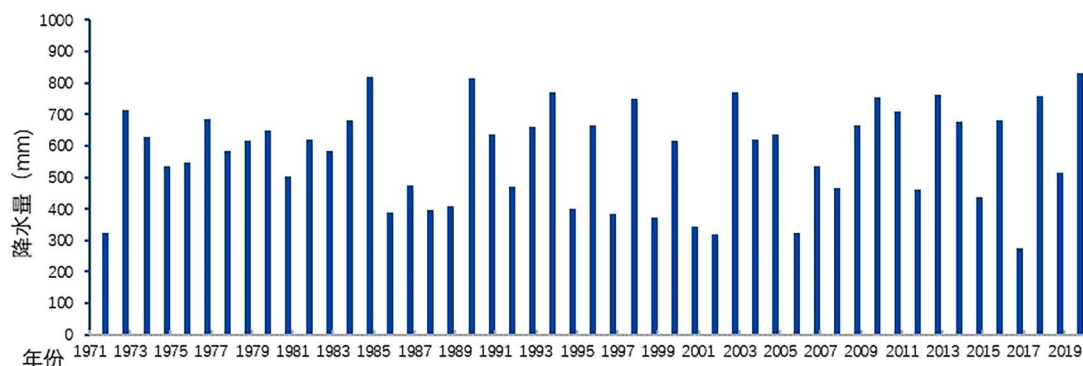


图3 聊城市城区历年降水量直方图

Fig.3 Annual precipitation histogram of Liaocheng City

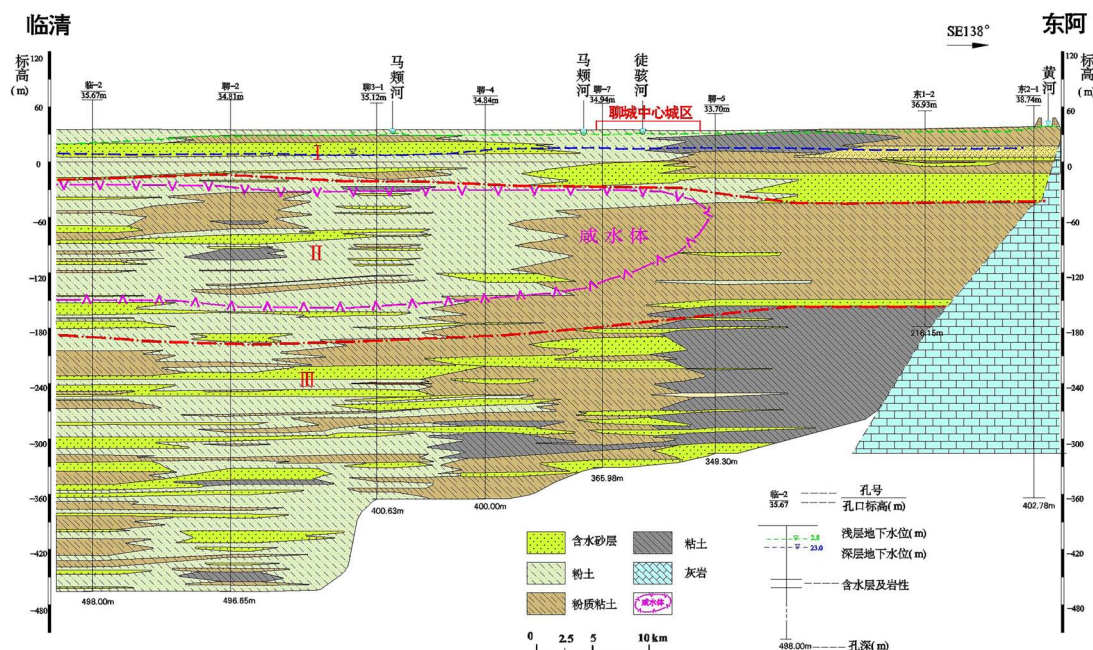


图4 聊城市区域水文地质剖面图

Fig.4 Regional hydrogeological profile of Liaocheng City

性较好单井出水量40~60 m³/h。地下水化学类型主要分为HCO₃·Cl-Na·Mg型、HCO₃·Cl·SO₄-Ca·Na·Mg型和SO₄·Cl-Na·Mg型三种类型。矿化度与地下水化学类型具有一致性,HCO₃型水矿化度一般小于1 g/L,HCO₃·Cl型水矿化度一般在1~2 g/L,SO₄·Cl型水矿化度一般都大于2 g/L^[9]。

1.2.2 中深层含水岩组分布发育规律及特征

中深层含水岩组是位于浅层含水岩组和深层含水岩组中间的含水层,其顶、底板埋深在60~260 m之间。含水砂层累积厚度一般30~50 m左右,矿化度一般2~5 g/L,个别高达17 g/L。目前,该层地下水主要为咸水,开发利用程度低。

1.2.3 深层含水岩组分布发育规律及特征

深层含水岩组其顶、底板埋深一般在260~550

m,含水层厚度18~80 m,岩性为粉砂、细砂、中细砂、中砂、中粗砂、粗砂及粗砂夹砾石,但以中细砂为主。深层承压水水化学类型为HCO₃-Na型水,矿化度一般1~1.5 g/L。

浅层地下水的运动方向以垂向运动为主,补给来源主要是大气降水、地表水、灌溉水,补给方式是垂向渗入,排泄则是通过地表土层的蒸发作用及人工开采,水交替快,动态变化大。深层承压水,以水平径流为主,动态变化小,与季节关系不明显,以开采为主要排泄方式^[10,11]。

1.3 区域工程地质条件

聊城市中心城区土体20 m深度内,主要是全新统黄河冲积物,古河道普遍发育,上部多被粘性土覆盖,下部为粘性土与砂性土互层。砂性土岩性为粉

砂、粉细砂,其次中细砂;粘性土性为粉土、粉质粘土,其次粘土(表1)。根据土体工程地质性质及其组合,可分为3种岩土体结构类型。

1.3.1 粘性土单层结构

分布于中心城区的东南、东北局部地区。土体结构单一,由粘性土组成,厚度>20 m。岩性为土黄、黄褐色粉土、粉质粘土,其次粘土,夹淤泥类土,含钙质结核;土质松散-中密,软塑-可塑,压缩性中等。粘性土 $f_k=120\sim 250$ kPa。

1.3.2 上层粘性土下层砂性土双层结构

广泛分布于中心城区。上部粘性土厚一般>10 m,局部5~10 m,或<5 m,岩性为土黄、黄褐色粉土、粉质粘土,其次粘土,局部夹淤泥类土,含钙质结核。下部砂性土岩性为土黄、灰黄色粉细砂、细砂,局部

为中细砂。砂层沿古河道带呈北东-南西向展布,自古河道带至河间带,砂层由厚变薄,一般厚度>10 m。砂性土层性状湿-饱和,松散-中密。砂性土 $f_k=160\sim 280$ kPa,粘性土 $f_k=120\sim 200$ kPa。

1.3.3 上层粘性土多层结构

分布于中心城区东南,南西-北东呈条带状分布。上部粘性土厚5~10 m,局部<5 m,或>10 m。下部粘性土与砂性土互层。粘性土有1~2层,单层厚2~10 m,岩性为粉土、粉质粘土,其次粘土,局部夹淤泥类土。土层为灰黄、黄褐色,湿-饱和,松散-中密,可塑,中等压缩性。下部砂性土有2~3层,单层厚2~3 m。岩性为粉砂、粉细砂,其次中砂,浅灰、浅黄及黄褐色,湿-饱和,松散-中密,含钙质结核。粘性土 $f_k=120\sim 190$ kPa,砂性土 $f_k=130\sim 320$ kPa。

表1 各土层基本参数表
Table 1 Basic parameters of soil layers

土体类型	颜色	厚度 / m	密实度	标贯击数	饱和度	承载力/(kPa)
粉质粘土	黄褐-灰褐	0.6 ~ 20.3			81% ~ 90%	120 ~ 370
粉土	褐黄-褐灰	0.7 ~ 9.1	稍密-密实	6 ~ 37	57% ~ 91%	120 ~ 350
粉砂	黄褐-灰褐	0.9 ~ 14.7	稍密-密实	10 ~ 27	稍湿-饱和	140 ~ 360
细砂	黄褐-灰褐	1.4 ~ 30.5	中密-密实	11 ~ 42	饱和	160 ~ 390
中砂	黄褐-灰褐	1.2 ~ 2.7	中密-密实	20	饱和	280 ~ 300
砾砂	黄褐-灰褐	1 ~ 6	中密-密实		饱和	280 ~ 300

2 环境地质问题分析

研究区地貌条件比较简单,以黄河冲积平原为主,微地貌形态主要为浅平洼地低坡缓平坡地。由于聊城市本地水资源相对短缺,地下水资源开采量较大,产生了地下水降落漏斗并引发地面沉降。同时还存在土壤盐渍化、水土污染及砂土液化等其他环境地质问题^[12,13]。

2.1 地面沉降

地面沉降是在人类工程经济活动的影响下,由于地下松散地层固结压缩而导致地壳表面标高降低的一种地质现象,目前已成为一个世界性的环境地质问题^[14-16]。

2.1.1 地面沉降发育特征

聊城市地面沉降监测起步较晚,全市地面水准分别于2013年7月和2014年11月监测2期^[17]。现有国家二等水准监测点5个,省级地面沉降B级GPS监测墩15个。聊城地区地面沉降总体特征表现为单一沉降中心漏斗明显。聊城地区地面沉降与深层地下水超采漏斗具有显著的相关性,分布在茌平、临清和高唐三处明显的沉降中心^[18]。此外,聊城市城区、冠

县及东阿等地区也有一定程度地面沉降发育。

2.1.2 地面沉降评价

依据《地质灾害危险性评估规范》(GB/T 40112-2021)^[1],地面沉降发育程度可根据表2进行分级。根据2008—2018年InSAR解译成果等地面沉降监测资料,绘制聊城市中心城区地面沉降发育程度分级图。

2008—2010年,聊城市中心城区地面沉降比较均匀,没有明显的沉降漏斗中心,沉降速率普遍介于10~30 mm/a,地面沉降发育程度均为中等发育区(图5)。2012—2015年,聊城市中心城区地面沉降发育程度降低,地面沉降速率逐渐变缓。工作区西南部地区沉降速率小于10 mm/a,为弱发育区,面积为37.7 km²,占工作区6.23%。大部分地区地面沉降发

表2 地面沉降发育程度分级表

Table 2 Development degree classification scale of land subsidence

发育程度	发育特征	
	近5年平均沉降速率/(mm/a)	累计沉降量/mm
强发育	≥30	≥800
中等发育	10 ~ 30	300 ~ 800
弱发育	≤10	≤300

注:上述二项因素满足一项即可,并按照强至弱顺序确定。

育程度仍介于 $10 \sim 30 \text{ mm/a}$, 为中等发育区, 面积为 568.64 km^2 , 占工作区 93.77% (图6)。

2016—2018年, 聊城市中心城区东南部地区地面沉降进一步发育, 出现地面沉降强发育区; 同时其他工作区地面沉降发育程度降低, 表现为弱发育区面积增加, 中等发育区面积减少, 地面沉降发育程度逐渐从中等发育转变为弱发育。其中弱发育区面积为 389.78 km^2 , 占工作区 64.27% ; 中等发育区面积为 196.69 km^2 , 占工作区 32.43% ; 强发育区面积为 19.96 km^2 , 占工作区 3.29% (图7)。

根据2008—2018年InSAR解译成果显示, 聊城市中心城区2008—2018年的地面沉降比较均匀, 没有明显的沉降漏斗中心, 沉降速率小于 30 mm/a , 普遍沉降速率为 $0 \sim 20 \text{ mm/a}$ (图5~图7)。从2016年以来, 随着地下水控采措施的严格实施, 地面沉降速率逐渐变缓, 大部分地区沉降速率小于 10 mm/a 。地面沉降发育程度逐渐从中等发育转变为弱发育。

2.2 土壤盐渍化

土壤盐渍化主要是因为浅层地下水位高, 水位埋深局部多小于 3 m , 小于潜水蒸发的临界深度, 地下水的矿化度多大于 2 g/L , 且土壤表层质地轻, 多为

粉质粘土, 毛细管作用强, 有利于潜水的蒸发^[19]。地下水在地面蒸发, 盐分汇集于地表, 易形成土壤盐渍化^[20,21]。根据前人资料显示^[12,22], 中心城区的东南和北部, 自然状态下土壤盐渍化较严重, 仅东昌府区的许营镇、梁水镇等地地带, 土壤盐渍化面积约 6.35×10^4 亩。随着浅层地下水位的下降, 盐渍化土壤分布面积逐年减少, 土壤盐渍化程度减轻。平原水库的建设, 人为抬高了浅层地下水位, 需防治次生土壤盐渍化。

2.2.1 土壤盐分分布特征

本次在工作区共收集土壤样品204组, 其中水平方向上采集 $0 \sim 2 \text{ m}$ 深度范围内土壤样品82组, 垂直方向上采集 $2 \sim 100 \text{ m}$ 深度范围内土壤样品122组。土壤盐分测试指标主要包括 pH 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、全盐量 (表3)。

工作区土壤 pH 介于 $6.97 \sim 9.83$ 之间, 平均值为 7.94 , 呈中性, 变异系数为 0.04 , 呈弱变异性。土壤易溶盐总量为 $288.00 \sim 6\,996.00 \text{ mg/kg}$, 平均值为 982 mg/kg , 变异系数 0.77 , 含量分布具有强变异性。阳离子 Na^+ 含量为 $10.03 \sim 905.44 \text{ mg/kg}$, 平均值为 218.81 mg/kg , 变异系数 0.65 , 含量分布具有强变异

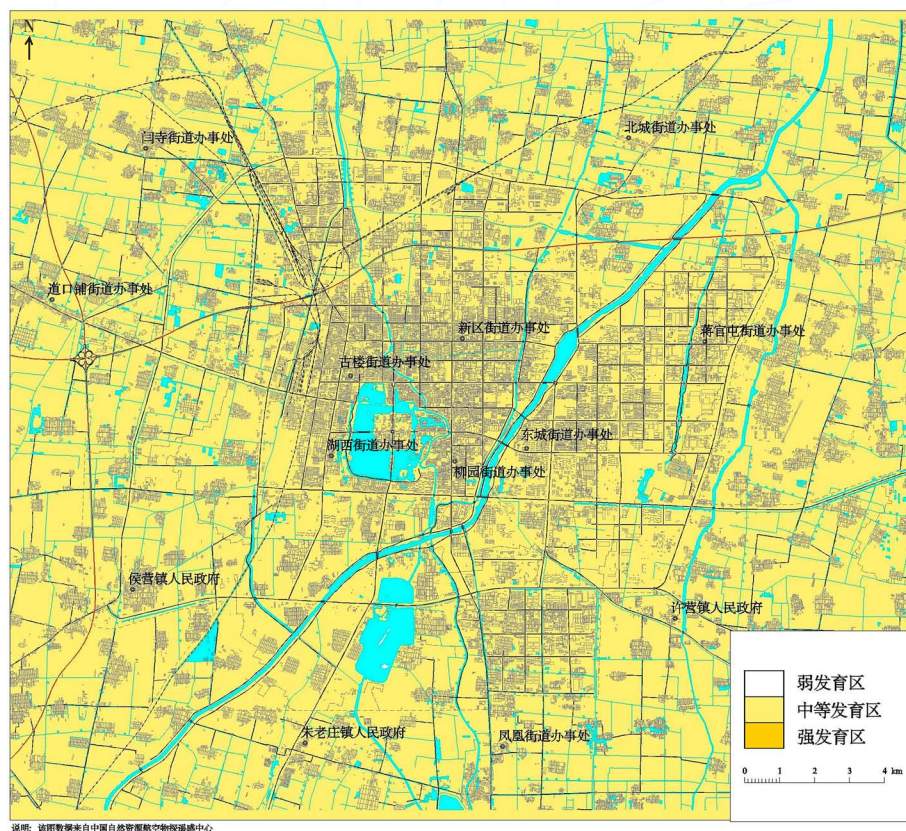


图5 聊城市中心城区地面沉降发育程度分级图(2008—2010)

Fig.5 Classification map of land subsidence development in the central area of Liaocheng City (2008—2010)

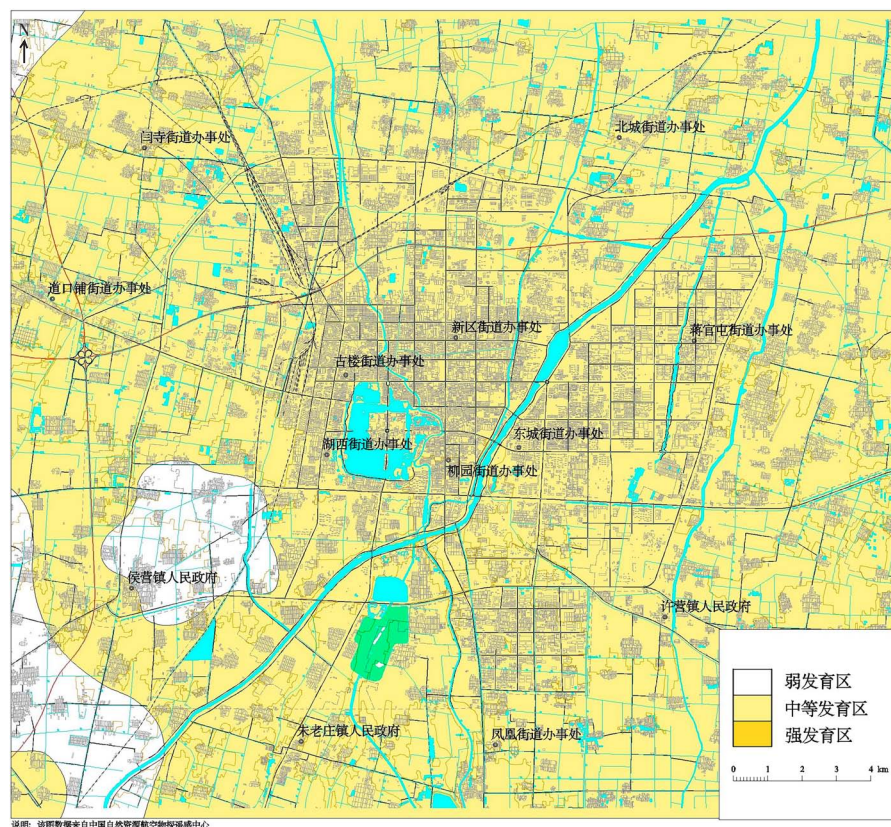


图6 聊城市中心城区地面沉降发育程度分级图(2012—2015)

Fig.6 Classification map of land subsidence development in the central area of Liaocheng City (2012—2015)

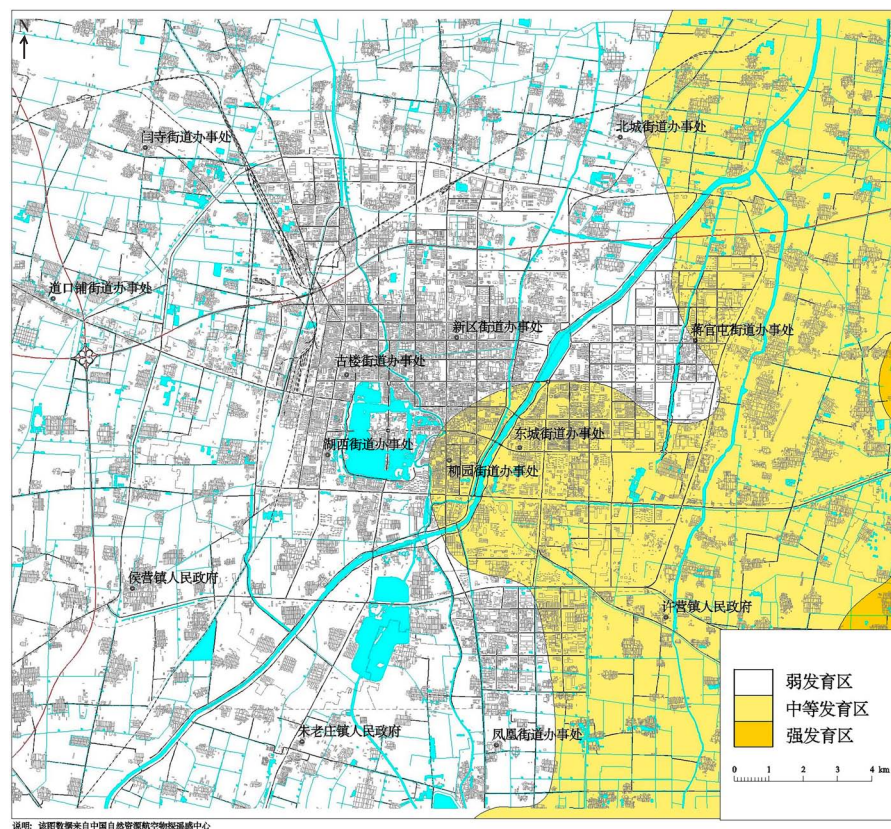


图7 聊城市中心城区地面沉降发育程度分级图(2016—2018)

Fig.7 Classification map of land subsidence development in the central area of Liaocheng City (2016—2018)

表3 研究区土壤样品盐分离子含量统计表
Table 3 Statistics table of salt ion content of soil samples in the study area

项目/(mg/kg)	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数	观测数
pH值	9.83	6.97	7.94	0.34	0.04	204
K ⁺	202.38	2.37	17.18	30.24	1.76	204
Na ⁺	905.44	10.03	218.81	142.03	0.65	204
Ca ²⁺	1 813.37	13.28	96.56	175.14	1.81	204
Mg ²⁺	105.75	3.33	25.61	18.55	0.72	204
Cl ⁻	660.33	2.23	115.13	116.94	1.02	204
SO ₄ ²⁻	4 431.63	9.41	325.59	463.57	1.42	204
HCO ₃ ⁻	653.14	201.76	361.28	81.34	0.23	203
CO ₃ ²⁻	149.14	22.94	46.88	31.36	0.67	15
易溶盐总量	6 996	288	982.16	752.83	0.77	204

性。K⁺含量为2.37~202.38 mg/kg,平均值为17.18 mg/kg,变异系数1.76,含量分布具有强变异性。Ca²⁺含量为13.28~1 813.37 mg/kg,平均值为96.56 mg/kg,变异系数1.81,含量分布具有强变异性。Mg²⁺含量为3.33~105.75 mg/kg,平均值为25.61 mg/kg,变异系数0.72,含量分布具有强变异性。阴离子Cl⁻含量为2.23~660.33 mg/kg,平均值为115.13 mg/kg,变异系数1.02,含量分布具有强变异性。SO₄²⁻含量为9.41~4431.63 mg/kg,平均值为325.59 mg/kg,变异系数1.42,含量分布具有强变异性。全盐量与K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻等显著正相关,说明全盐量会随

这些离子含量的增加明显升高;Cl⁻与Na⁺、Ca²⁺等明显正相关,SO₄²⁻与Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺等明显正相关,揭示土壤中盐分主要以NaCl、CaCl₂、Na₂SO₄、MgSO₄等形态存在。

2.2.2 土壤盐渍化状态

按照《盐渍土地建筑技术规范 GB/T 50942-2014》^[2],以含盐量来评价土壤盐渍化程度,将盐渍土分为弱盐渍土、中盐渍土、强盐渍土和超强盐渍土四类;根据本研究采集的土样品易溶盐测试结果,204组样品中仅有3组属于弱盐渍土,样品点盐渍化比例为4.0%,聊城市中心城区大部分土壤处于未盐渍化状态,土壤盐渍化现象基本消失。

水平方向上,易溶盐总量与地下水位埋深具有显著负相关(图8),仅在中心城区西侧闫寺街道铁屯村周边、德上高速与济聊高速立交东侧周边易溶盐总量达到0.3%以上,湖西街道八东村南侧、北杨集乡杨集村南侧周边易溶盐总量达到2 900 mg/kg,林场新村周边易溶盐总量达到2 400 mg/kg,其余地区均处于未盐渍化状态。

垂向上,易溶盐总量随深度变化如图9所示,由图可知,易溶盐总量随深度先减少后增加,在深度0~15 m范围内易溶盐总量逐渐降低,深度15~40 m范围

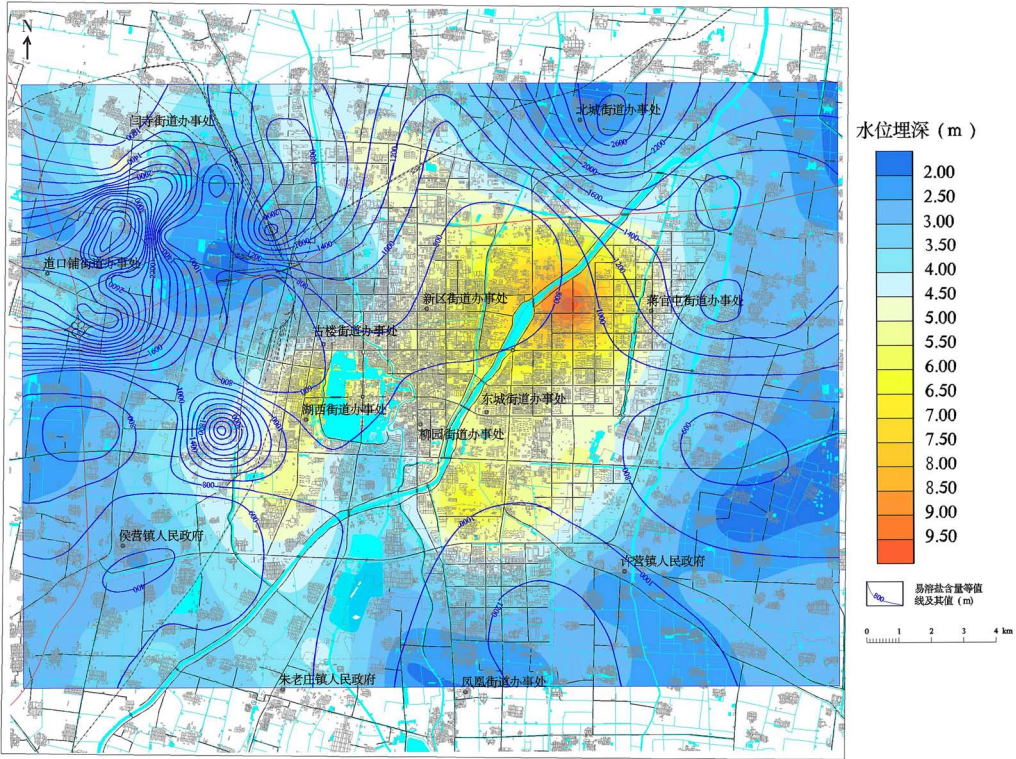


图8 聊城市中心城区易溶盐含量与地下水位埋深图
Fig.8 The map of soluble salt content and groundwater depth in the central area of Liaocheng City
<http://hbdz.org.cn>

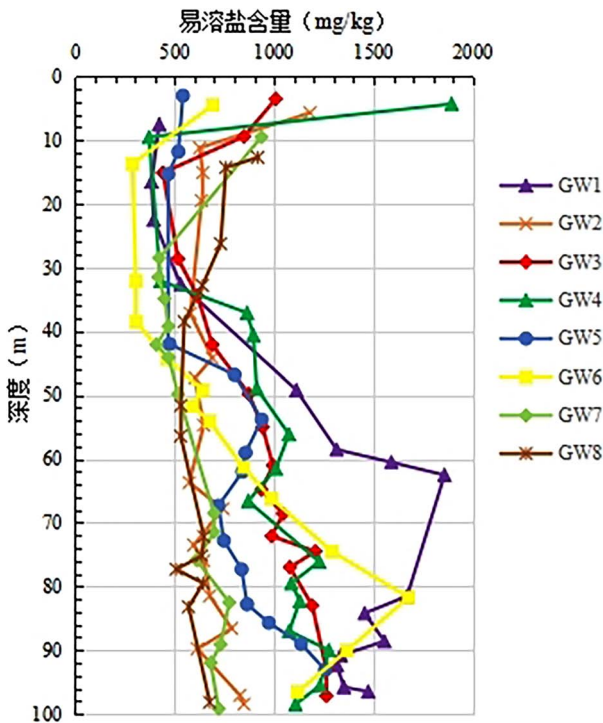


图9 聊城市中心城区易溶盐含量随深度变化曲线图
Fig.9 Variation curve of soluble salt content with depth in the central area of Liaocheng city

内易溶盐总量较稳定,处于最低值,在400 mg/kg左右,深度40 m以下,随着深度加深,易溶盐含量逐渐升高。

2.3 地下水污染

据前人资料,聊城市郊区地下水污染程度很轻,城区及附近浅层地下水污染较重^[23,24]。其中中心城区的东南部及北部局部,浅层地下水受到较严重的三氮污染;中心城区的西部,浅层地下水受到重金属污染;中心城区的南部,浅层地下水受到较严重的有机污染。郊区污染源主要来自农业化工肥料以及农药的使用,部分污染来自灌溉的污水;城区污染主要为工业生产、居民生活废水^[25]。

2.3.1 城市地下水污染评价

依据《地下水污染调查评价规范》^[3],采用“单因子污染评价方法”,对工作区浅层地下水进行单指标地下水污染评价(即毒性(类)重金属指标、挥发性有机指标和半挥发性、无机毒性指标)和地下水综合污染评价。

(1)地下水综合污染评价

根据前人研究成果,前期地下水污染综合评价是对研究区浅层地下水进行评价,样品总数为20组。地下水污染综合评价统计结果(表4)。

结果显示,工作区无污染类样品数占总样数的40%,重污染(V类)为5%,极重污染(VI类)为55%,无II、III、IV类污染。从区域分布来看,工作区南部较北部严重,重污染区主要集中在工作区东南许营镇、

表4 研究区地下水综合污染评价结果统计表

Table 4 Statistical table of comprehensive ground water pollution evaluation results in the study area

共20组	I		II		III		IV		V		VI	
	组	%	组	%	组	%	组	%	组	%	组	%
	8	40							1	5	11	55

西南的潘屯镇以及东北部的鲁西化工厂一带,且都为极重污染区(图10)。

(2)单指标地下水污染评价

根据收集资料的评价结果(表5):在污染指标中,三氮总污染样品数占总样品数的35%,其中NO₂污染样品数占20%,NO₃⁻、NH₄⁺污染样品数各占10%。毒性重金属指标中,未污染样品为100%,其中,砷为检出,镉、铬、铅、汞未检出。

对于挥发、半挥发性有机指标,其中挥发性有机指标中未污染水样为100%;半挥发性有机样品中,总六六六、林丹、总滴滴涕、六氯苯各指标未污染水样品占总样品数比例均为100%;苯并[a]芘污染样品占总样品数的30%。

(3)分类指标地下水综合污染评价

①“三氮”指标综合污染评价

根据“三氮”指标综合污染评价结果,工作区三氮污染样共有7组,且全为极重污染(VI级),占总样品数的35%,未污染样占总样品数的65%。从区域分布来看(图11),三氮指标极重污染区主要集中在主城区东部鲁西化工厂附近以及工作区西北部的钱庄村周围,南部杨庄村、郑官屯村周围。

②毒性重金属综合污染评价

毒性重金属指标包括砷、镉、六价铬、铅、汞5项,工作区未污染样占总样品数的100%。

③挥发、半挥发性有机指标综合污染评价

挥发、半挥发性有机指标综合污染评价结果(表5)显示,重污染(IV、VI类)占5%,极重污染占30%,中污染(III类)占5%,未污染占60%。从分布区域上看(图12),重污染(IV、VI类)主要分布在工作区的南部。

2.3.2 城市地下水质量评价

依据《地下水环境质量标准》(GB/T14848-2017)^[4],选取铵盐、硫酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、氯化物、氟化物、总硬度、溶解性总固体、铁、锰、砷、汞、铜、

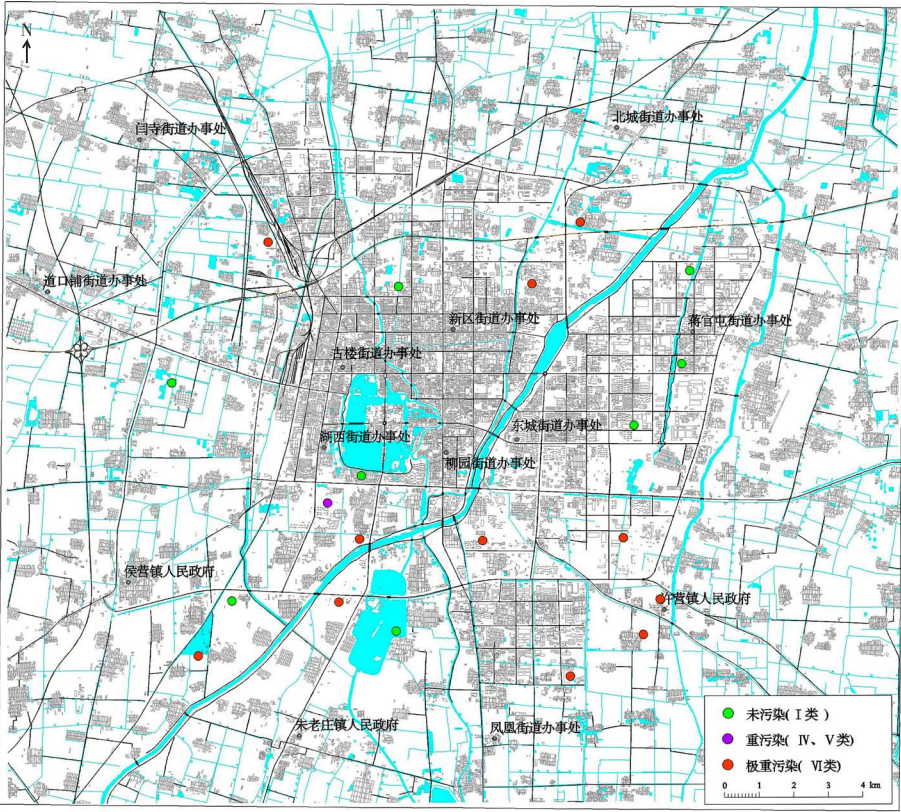


图 10 研究区地下水综合污染程度分布图

Fig.10 Distribution map of comprehensive groundwater pollution in the study area

表 5 地下水污染单项指标评价结果统计表

Table 5 Statistical table of evaluation results of single index of groundwater pollution in the study area

评价项目	样品数/(组)	达标率/(%)					
		I	II	III	IV	V	VI
NO ₃ ⁻	20	90					10
NO ₂ ⁻	20	80		5			15
NH ₄ ⁺	20	90					10
砷	20	100					
镉	20	100					
铬	20	100					
铅	20	100					
汞	20	100					
苯	20	100					
甲苯	20	100					
乙苯	20	100					
二甲苯	20	100					
总六六六	20	100					
总滴滴涕	20	100					
六氯苯	20	100					
苯并[a]芘	20	60		5	5		30

铅、六价铬、锌、镉、pH等指标,对本次地下水调查取样分析结果的主要组分指标进行单项评价和综合评价^[26,27]。

(1)地下水单项组分评价

对照地下水质量标准五个级别进行划分,首先

对调查区内样品测试结果中的各单项组分,级别与类别代号相同,不同类别标准值相同时从优不从劣,评价统计结果见图 13。

本次评价所选单项组分大部分仅达到I类和II类。除了全硬度和矿化度单项指标多达V类,部分氟化物、硫酸盐、硝酸盐、铵盐、亚硝酸盐、硝酸盐等单项指标中多达到V类或IV类。

(2)地下水质量综合评价

按《地下水环境质量标准》(GB/T 14848-2017)^[4]中给定的综合指数法对研究区地下水质量进行评价,将工作区地下水质量划分良好区、较好区、较差区和极差区,无优良级地下水,如图 14所示。区内良好级水(II、III类)约占全区总面积的0.6%,主要分布在东昌湖南部的姚庄、付坟、西钱村周围;较差级(IV类)水分布范围较广,约占全区总面积的53.4%;极差级(V类)水约主要分布工作区西部的能源区和东部的开发区,约占全区总面积的46%,除了全硬度和矿化度单项指标多达V类,部分硝酸根、Cl⁻、SO₄²⁻等单项指标中多达到V类或IV类。

2.4 其他环境地质问题

前人研究资料显示^[12-13,28],聊城市其他环境地质

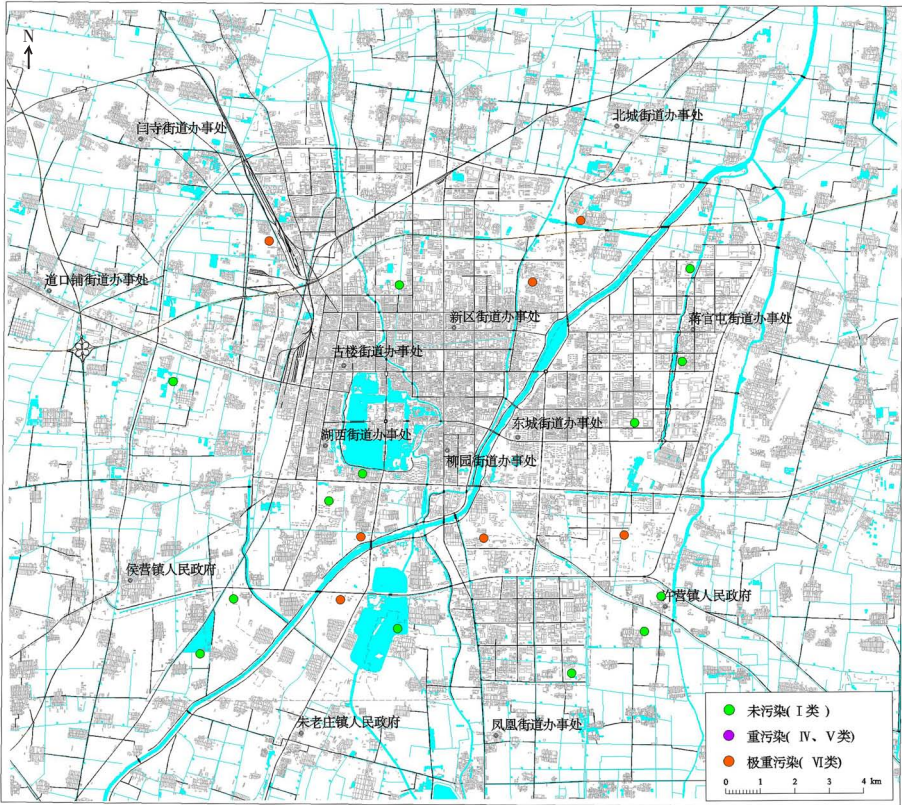


图 11 研究区地下水三氮指标综合污染程度分布图

Fig.11 Distribution map of comprehensive pollution degree of groundwater trinitrogen index

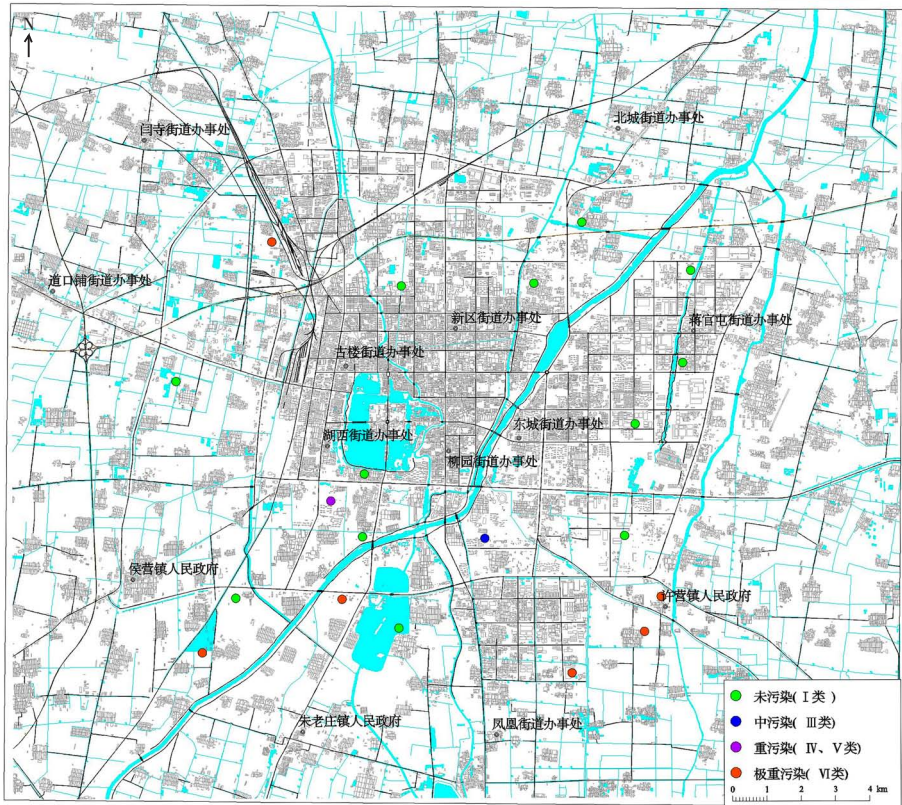


图 12 研究区地下水有机指标综合污染程度分布图

Fig.12 Distribution map of groundwater organic index comprehensive pollution degree in the study area

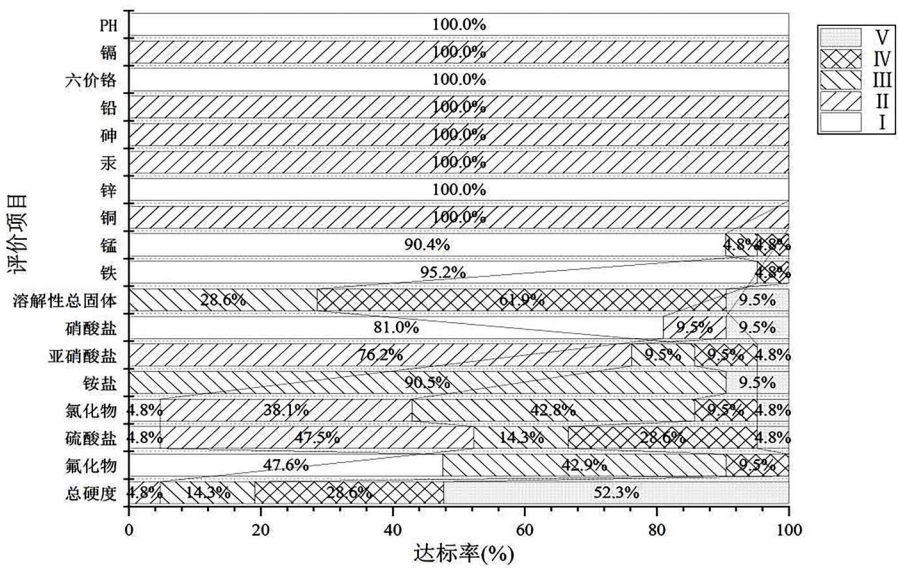


图 13 研究区地下水质量单项指标评价结果

Fig.13 Evaluation results of single index of groundwater quality in the study area

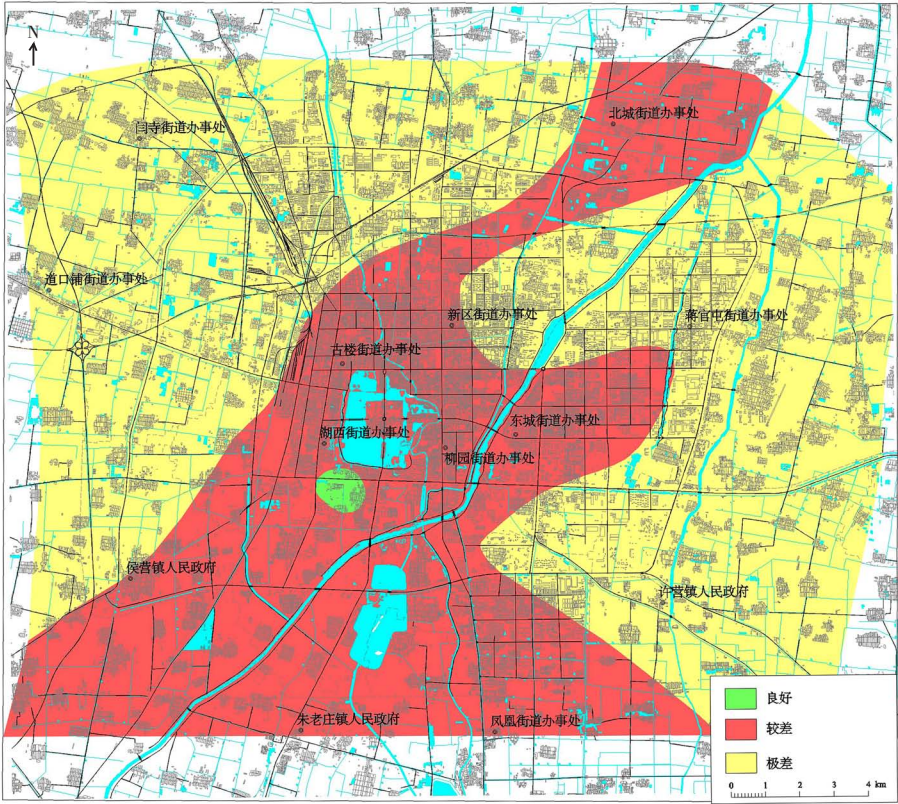


图 14 研究区地下水质量综合分区图

Fig.14 Comprehensive zoning map of groundwater quality in the study area

问题还有砂土液化问题。液化砂土在聊城中心城区分布面积较广,易液化饱和粉砂及粉土主要分布于聊城市东昌府区中西部。随着远离河道,液化程度有逐渐减弱的趋势。液化土的存在,突出的危害是对建筑物危害,必须对建筑物地基进行处理,液化土若不处理,在地震作用下,可造成建筑物位移,甚至

倒斜^[29,30]。具体液化分区需要根据钻孔标贯击数,按《建筑抗震设计规范》^[31]进行评价。

3 结论

通过对聊城市中心城区环境地质问题进行评价分析,得出了以下主要结论:

(1)2008—2010年,聊城市中心城区地面沉降比较均匀,没有明显的沉降漏斗中心。2012—2015年,聊城市中心城区地面沉降速度放缓,西南部地区为弱发育区,其他地区为中等发育区。2016—2018年,聊城市中心城区东南部地区出现地面沉降强发育区;其他工作区地面沉降发育程度降低,表现为弱发育区面积增加,中等发育区面积减少。

(2)聊城市中心城区大部分土壤处于未盐渍化状态,土壤盐渍化现象基本消失。仅在中心城区西侧闫寺街道铁屯村周边、德上高速与济聊高速立交东侧周边,易溶盐总量达到0.3%以上。

(3)聊城市郊区地下水污染程度很轻,城区及附近浅层地下水污染较重。郊区污染源主要来自农业化工肥料以及农药的使用,部分污染来自灌溉的污水;城区污染主要为工业生产、居民生活废水。

(4)根据已有资料数据,液化砂土在聊城中心城区分布面积较广,易液化饱和粉砂及粉土主要分布于聊城市东昌府区中西部。易液化砂土目前未对聊城市建筑造成危害。

参考文献:

- [1] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 地质灾害危险性评估规范 GB/T 40112—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 盐渍土地区建筑技术规范 (GB/T 50942—2014)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [3] 中国地质调查局. 地下水污染地质调查评价规范 DD2008—01[S]. 2008.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 地下水质量标准 GB/T 14848—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [5] 聊城市地方志志编纂委员会. 聊城市志 (1997—2015)[M]. 北京: 方志出版社, 2020.
- [6] 安梦岭. 鲁北平原地下水资源综合评价研究报告[R]. 山东省地矿局第二水文地质队, 1985.
- [7] 北京地质学院. 聊城幅 J-50-32 1/20 万综合水文地质图幅说明书[R]. 河北地质局水文工程地质大队, 1959.
- [8] 许庆涛. 聊城市地下咸水地质特征与综合开发利用[J]. 水资源开发与管理, 2015(2): 35—37.
- [9] 李群智, 苏付刚, 常玉会, 等. 华北平原典型区浅层地下水现状分析及保护对策—以山东省聊城市为例[J]. 水利发展研究, 2014, 14(6): 61—63.
- [10] 马晓红. 聊城市区地下水资源的动态分析与开采研究[J]. 地下水, 2009, 31(6): 26—28.
- [11] 吴传贵, 李俊杰, 岳青. 聊城市地下水资源的开采与补给问题的探讨[J]. 地下水, 2005, 27(2): 99—101.
- [12] 郭秀岩. 山东省聊城市环境地质调查评价报告[R]. 山东省地质科学实验研究院, 2007.
- [13] 魏伟. 山东省聊城城市地质调查报告[R]. 山东省第一地质矿产勘查院, 2015.
- [14] Navarro-Hernandez MI, Valdes-Abellan J, Tomas R, et al. ValInSAR: A systematic approach for the validation of Differential SAR Interferometry in land subsidence areas[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2022, 15: 3650—3671.
- [15] Fernandez-Torres EA, Cabral-Cano E, Novelo-Casanova DA, et al. Risk assessment of land subsidence and associated faulting in Mexico City using InSAR[J]. Natural Hazards, 2022, 114(3): 3861—3861.
- [16] Becek K, Ibrahim K, Bayik C, et al. Identifying Land Subsidence Using Global Digital Elevation Models[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2021, 14: 8989—8998.
- [17] 张永伟, 邵明, 肖敏. 山东省地面沉降监测与防治工作进展[J]. 山东国土资源, 2018, 34(8): 62—66.
- [18] 张静. 聊城市东昌府区地下水超采现状及治理措施研究[J]. 陕西水利, 2022, (1): 115—117.
- [19] 张人权, 梁杏, 靳孟贵, 等. 水文地质学基础 (第七版)[M]. 北京: 地质出版社, 2018.
- [20] 陈彭, 王威, 王国明, 等. 沧州东部滨海平原土壤盐渍化特征分析[J]. 华北地质, 2022, 45(3): 36—43.
- [21] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [22] 王遵亲, 黎立群, 刘有昌, 等. 山东聊城盐渍土的形成条件及其分布规律[J]. 土壤学报, 1963, (4): 343—360.
- [23] 李扬, 吉龙江, 窦炳臣, 等. 聊城市地下水水质特征及评价方法选择研究[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(5): 29—34.
- [24] 庄付磊, 郭中伟, 赵红金. 聊城市浅层地下水水质评价及建议对策[J]. 山东水利, 2022, (9): 54—55.
- [25] 李扬, 刘术明, 于健, 等. 聊城城郊浅层地下水水质特征及其成因研究[J]. 环境科学与管理, 2020, 45(6): 57—62.
- [26] 蒋万军, 孟利山, 柳富田, 等. 张家口地区地下水资源与环境质量现状及开发利用保护建议[J]. 华北地质, 2022, 45(3): 44—54.
- [27] 费宇红, 张兆吉, 郭春艳, 等. 区域地下水质量评价及影响因素识别方法研究—以华北平原为例[J]. 地球学报, 2014, 35(2): 131—138.
- [28] 姚新华. 谈聊城古城区的砂(粉)土液化及其判别[J]. 山西建筑, 2013, 39(2): 79—80.
- [29] 刘颖, 谢君斐. 砂土震动液化[M]. 北京: 地震出版社, 1984.
- [30] 石兆吉, 王兰民. 土壤动力特性液化势及危害性评价[M]. 北京: 地震出版社, 1999.
- [31] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑抗震设计规范 (GB 50011—2010)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.