

# 雄安新区水土腐蚀性地质成因研究

夏雨波<sup>1,2</sup>, 郭旭<sup>1,2</sup>, 王冰<sup>3</sup>, 韩博<sup>1,2</sup>, 窦占续<sup>4</sup>(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 华北地质科技创新中心, 天津 300170;  
3. 天津地热勘查开发设计院, 天津 300250; 4. 中国城市发展规划设计咨询有限公司, 北京 230071)

**摘要:**河北雄安新区是一座正在建设的城市。随着新区城市建设的加快,浅层地下水和土壤对工程的腐蚀性以及对工程结构设计的影响也越来越受到关注。本文对雄安新区地下水和土壤的腐蚀性进行了评价和分区研究,分析了地下水和土壤腐蚀性的特征。结果显示,水文地球化学反应-迁移-分异过程、包气带淋滤作用与全新世淤泥质粉质粘土吸附作用,是形成雄安新区高水土腐蚀性地区的地质条件。本次研究是城市地质调查工作全面支撑规划建设的一次有力实践,可以为雄安新区的城市规划和工程建设提供借鉴。

**关键词:**雄安新区;地下水;土壤;腐蚀性评价

**中图分类号:** P641.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2097-0188(2022)03-0069-08

设立河北雄安新区,是以习近平同志为核心的党中央作出的一项重大历史性战略选择,是千年大计、国家大事<sup>[1]</sup>。规划建设不可避免要考虑到地质条件对工程建设的影响<sup>[2-8]</sup>,其中地下水和土壤对地基的腐蚀性,是工程设计中需要考虑的重要因素之一,也是城市地质调查工作重要的组成部分<sup>[9-10]</sup>。

地下水和土壤的腐蚀作用,主要反应在它们对混凝土与金属材料和设备的破坏上,腐蚀成分破坏混凝土基础,危害建筑物或构筑物的稳定性,进而影响混凝土基础结构的耐久性与工程寿命<sup>[11-12]</sup>。随着雄安新区城市建设的加快,浅层地下水和土壤对工程的腐蚀性以及对工程结构设计的影响也越来越受到关注。在国外,地下水和土壤对混凝土的腐蚀很早就引起了人们的注意,美、英等国家从1920年起就先后开始研究了混凝土及钢筋混凝土的腐蚀机理及主要影响因素<sup>[13-15]</sup>。近年来,我国也开展了建筑结构的腐蚀机理、腐蚀测试与评价、腐蚀防治等方面的研究,主要关注沿海的天津<sup>[16]</sup>、唐山<sup>[17]</sup>、山东<sup>[18]</sup>等地,其次关注内陆地区<sup>[19,20]</sup>。在评价方法方面主要是基于《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)<sup>[21]</sup>中有关腐蚀性评价方面的规定进行实践<sup>[22]</sup>,并对其评价方法进行了探索<sup>[23-28]</sup>。

以往的工作多侧重于工程勘察或地质调查工作

的需要,对水土腐蚀性的地质成因分析不足,本次工作根据雄安新区地下水和土壤的特点,针对雄安新区规划建设对地质信息的需求,进行腐蚀性评价,以地质沉积和水化学动力学理论为基础,评价雄安新区水土腐蚀性强度,揭示其地质成因为工程的防腐设计提供依据,有助于辅助制定工程防腐措施、降低建设成本。对提高基础结构的耐久性、延长工程使用寿命具有重大的意义,为雄安新区的城市规划和工程建设提供借鉴。

## 1 研究区概况

雄安新区位于太行山以东平原区,地势由西北向东南逐渐降低,地面高程多在5~26 m,地面坡降小于2‰。本区位于太行山东麓冲洪积平原前缘地带,属堆积平原地貌。根据成因类型及地表形态,进一步划分为冲洪积平原亚区、冲湖积平原亚区、冲积平原亚区。

冲洪积平原亚区位于工作区北部,主要分布在雄县乐善庄村-雄县县城-容城县小里镇一线以北。上部为近代河流冲积层或扇前洼地堆积物,下伏冲洪积层。冲湖积平原亚区位于工作区中南部地区,分布于雄县乐善庄村-雄县县城-容城县小里镇一线

收稿日期:2021-11-08

资助项目:中国地质调查局项目:“雄安新区水土质量与地质调查评价”(DD20189122);“滦河流域水文地质调查”(DD20190338);“内蒙古内陆河及海河北系水文地质与水资源调查监测”(DD20221759)

作者简介:夏雨波(1982-),男,博士,高级工程师,主要研究方向为城市地质调查评价、水工环地质调查评价,E-mail: soso-dragon@163.com。

以南,由近代河流冲积和湖沼沉积形成。

## 2 评价方法

### 2.1 水土腐蚀性的机理

水土介质中的侵蚀性  $\text{CO}_2$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、pH等在一定浓度或pH值下会对与之接触的混凝土、混凝土中的钢筋、钢结构等产生腐蚀性。

水土中Cl是金属材料的主要腐蚀剂,Cl对钢筋钝化膜的破坏作用最强,氯盐通过混凝土中的毛细孔或微裂缝渗入到钢筋的表面,直接攻击钝化膜,当钢筋表面的氯离子含量超过临界值,钢筋保护膜即遭到破坏,如果在上述情况下有氧气和水的供给和参与,将会造成钢筋局部发生腐蚀。

$\text{SO}_4^{2-}$ 为混凝土材料等最常见的腐蚀剂。进入到混凝土中的 $\text{SO}_4^{2-}$ 离子可与混凝土中游离的CaO作用形成石膏结晶( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ),此时其体积较二者结合之前的体积增大61%,由于体积的增大,因而在混凝土内部会产生巨大的膨胀压力,并导致混凝土材料酥解(结晶性腐蚀)。另外, $\text{SO}_4^{2-}$ 还有不同于其它阴离子的特点,在有机质存在的清水条件下, $\text{SO}_4^{2-}$ 能够通过微生物的作用参与阳极去极化反应,从而加速钢铁的腐蚀。

### 2.2 水土腐蚀的环境类型和评价标准

工作区1956—2015年多年平均降水量500 mm左右,多年平均水面蒸发量1 761.7 mm,干旱指数大于1.5,工作区属于II类环境。

地下水及盐碱土的腐蚀性评价,包括对混凝土结构的腐蚀性评价、对混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价和对钢结构的腐蚀性评价。遵循综合腐蚀等级评价原则,各项腐蚀介质腐蚀等级,就高不就低。

#### 2.2.1 水土对混凝土结构的腐蚀性

研究表明,雄安新区内水和土的pH均大于6.5,地层渗透性影响造成的腐蚀性不占主导地位,基本可忽略不计。对混凝土结构的腐蚀性评价则以环境类型影响的评价为标准。

根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009年版)及附录中的相关条款<sup>[21]</sup>,雄安新区环境地质条件属于湿、很湿的弱透土层,雄安新区属于II类环境类型,水和土对混凝土结构的腐蚀性,分别执行表1、表2的标准。

#### 2.2.2 水土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性

雄安新区地下水和盐碱土对钢筋混凝土结构中

钢筋的腐蚀性评价,执行表3、表4的标准。

#### 2.2.3 水土对钢结构的腐蚀性

雄安新区地下水和土壤对钢结构的腐蚀性评价,执行表5、表6的标准。

表1 水对混凝土结构的腐蚀性评价表

Table 1 Evaluation criteria of corrosiveness of groundwater to concrete structures

腐蚀等级	$\text{SO}_4^{2-}$ mg/L	$\text{Mg}^{2+}$ mg/L	$\text{NH}_4^+$ mg/L
微	<300	<2 000	<500
弱	300 ~ 1 500	2 000 ~ 3 000	500 ~ 800
中	1 500 ~ 3 000	3 000 ~ 4 000	800 ~ 1 000
强	>3 000	>4 000	>1 000
腐蚀等级	苛性碱 mg/L	总矿化度 mg/L	
微	<43 000	<20 000	
弱	43 000 ~ 57 000	20 000 ~ 50 000	
中	57 000 ~ 70 000	50 000 ~ 60 000	
强	>70 000	>60 000	

表2 土壤对混凝土结构的腐蚀性评价表

Table 2 Evaluation criteria of corrosiveness of soil to concrete structures

腐蚀等级	$\text{SO}_4^{2-}$ mg/kg	$\text{Mg}^{2+}$ mg/kg	$\text{NH}_4^+$ mg/kg	苛性碱含量 mg/kg
微	<450	<3 000	<750	<64 500
弱	450 ~ 2 250	3 000 ~ 4 500	750 ~ 1 200	64 500 ~ 85 500
中	2 250 ~ 4 500	4 500 ~ 6 000	1 200 ~ 1 500	85 500 ~ 105 000
强	>4 500	>6 000	>1 500	>105 000

表3 水对混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价表

Table 3 Evaluation criteria of corrosiveness of groundwater to reinforced steel in concrete structures

腐蚀等级	水中氯离子含量 / mg/L	
	长期浸水	干湿交替
微	<10 000	<100
弱	10 000 ~ 20 000	100 ~ 500
中	-	500 ~ 5 000
强	-	>5 000

注:表中CL<sup>-</sup>的含量是指CL<sup>-</sup>与 $\text{SO}_4^{2-}$ 折算之后的CL<sup>-</sup>之和,即 $\text{CL}^- = \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} \times 0.25$ 。

表4 土壤对混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价表

Table 4 Evaluation criteria of corrosiveness of soil to reinforced steel in concrete structures

腐蚀等级	土中氯离子含量 / mg/kg	
	A	B
微	<400	<250
弱	400 ~ 750	250 ~ 500
中	750 ~ 7 500	500 ~ 5 000
强	>7 500	>5 000

注:A为地下水位以上的碎石土、砂土,坚硬、硬塑的粘性土;B为湿、很湿的粉土,可塑、软塑、流塑的粘性土。

表5 水对钢结构的腐蚀性评价表

Table 5 Evaluation criteria of corrosiveness of groundwater to steel structures

腐蚀等级	PH值	CL <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)
弱	3~11	<500
中	3~11	≥500
强	<3	任何浓度

表6 土壤对钢结构的腐蚀性评价表

Table 6 Evaluation criteria of corrosiveness of soil to steel structures

腐蚀等级	pH值	氧化还原电位/mV	视电阻率/Ω.m	极化电流密度/(mA/cm <sup>2</sup> )	质量损失/g
微	>5.5	>400	>100	<0.02	<1
弱	4.5~5.5	200~400	50~100	0.02~0.05	1~2
中	3.5~4.5	100~200	20~50	0.05~0.2	2~3
强	<3.5	<100	<20	>0.2	>3

注:土壤对钢结构的腐蚀性评价,取各指标中腐蚀等级最高者。

### 3 雄安新区水土腐蚀性空间分布特征

#### 3.1 地下水的腐蚀性评价

##### 3.1.1 地下水对混凝土结构的腐蚀性评价

雄安新区按环境类型地下水对混凝土结构微腐蚀区广泛分布在新区北部及西部,南部局部地区也有分布。弱腐蚀区主要分布在新区南部至东北部老河头镇-同口镇-苟各庄镇-龙湾镇-咎岗镇一线,安州镇及大王镇等地零星分布。中腐蚀区主要分布在刘李庄镇-同口镇及咎岗镇南部-双堂乡一带,大王镇西南及龙湾镇东部、南部零星分布。强腐蚀区主要分布在刘李庄镇-同口镇一带,双堂乡零星分布(图1)。

##### 3.1.2 地下水对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性评价

雄安新区按环境类型地下水对钢筋混凝土中钢筋微腐蚀区广泛分布在新区北部。弱腐蚀区在新区南部至东北部广泛分布,南张镇北部、大营镇东北等地零星分布。中腐蚀区主要分布在刘李庄镇-同口镇一带,郑州市南部,张岗乡东部及双堂乡等地零星分布。无强腐蚀区(图2)。

##### 3.1.3 地下水对钢结构的腐蚀性评价

工作区内按环境类型地下水对钢结构无强腐蚀区。中腐蚀区主要分布在刘李庄镇-同口镇一带,大王镇西南,郑州市西南、苟各庄镇、龙湾镇及咎岗镇等地零星分布。弱腐蚀区在新区内其他地区广泛分布(图3)。

#### 3.2 土壤的腐蚀性评价

##### 3.2.1 土壤对混凝土结构的腐蚀性评价

雄安新区按环境类型土壤对混凝土结构的腐蚀

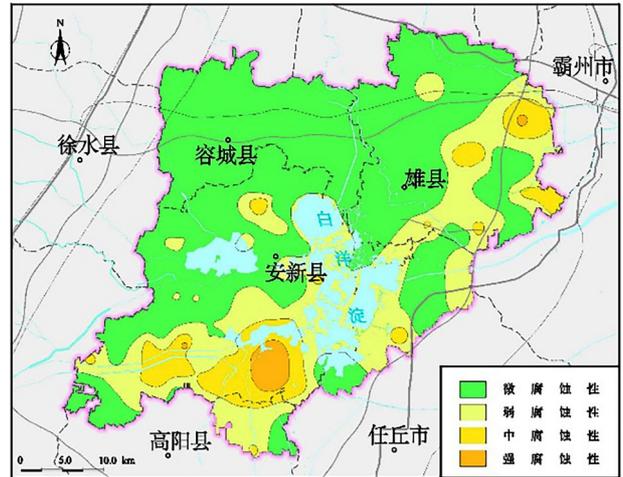


图1 雄安新区地下水对混凝土腐蚀性分区图

Fig. 1 Corrosiveness zoning map of groundwater on concrete in Xiongan New Area

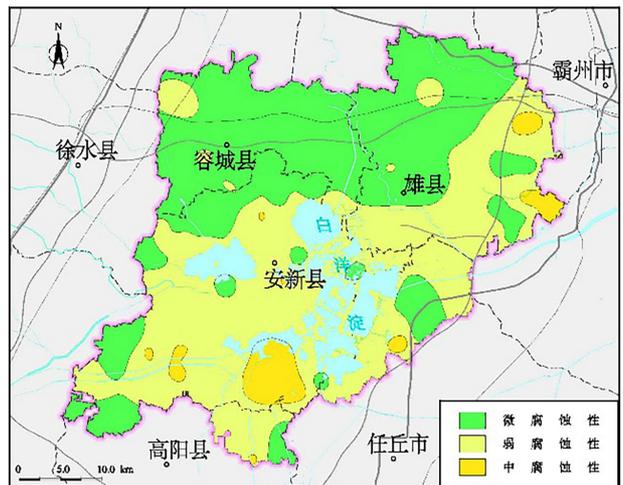


图2 雄安新区地下水对混凝土中钢筋腐蚀性分区图

Fig. 2 Corrosiveness zoning map of groundwater on rebar in concrete in Xiongan New Area

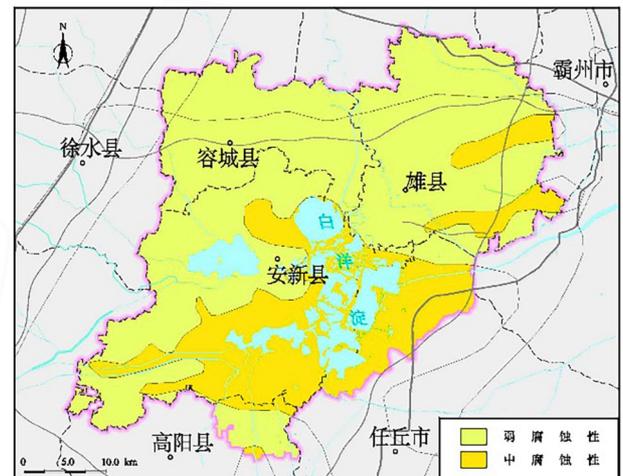


图3 雄安新区地下水对钢结构的腐蚀性分区图

Fig. 3 Corrosiveness zoning map of groundwater on steel structures in Xiongan New Area

性处于微腐蚀或弱腐蚀,少部分地区为中腐蚀、强腐蚀,整个新区土壤对混凝土结构腐蚀性的影响不大(图4)。微腐蚀区和弱腐蚀区在新区内广泛分布;中腐蚀区成片状分布在同口镇、郑州市及龙湾镇东部地区;强腐蚀区在郑州市北部、龙湾镇东部零星分布。

### 3.2.2 土壤对混凝土中钢筋的腐蚀性评价

工作区大部分地区按环境类型土壤对混凝土结构的腐蚀性处于微腐蚀区,雄县东部、白洋淀东部和南部部分地区为弱腐蚀区和中腐蚀区,无强腐蚀区,整个新区土壤对钢筋混凝土中钢筋腐蚀性的影响不大。中腐蚀区仅在郑州市等地零星分布(图5)。

### 3.2.3 土壤对钢结构的腐蚀性评价

雄安新区内土壤对钢结构的腐蚀性均为微腐蚀。

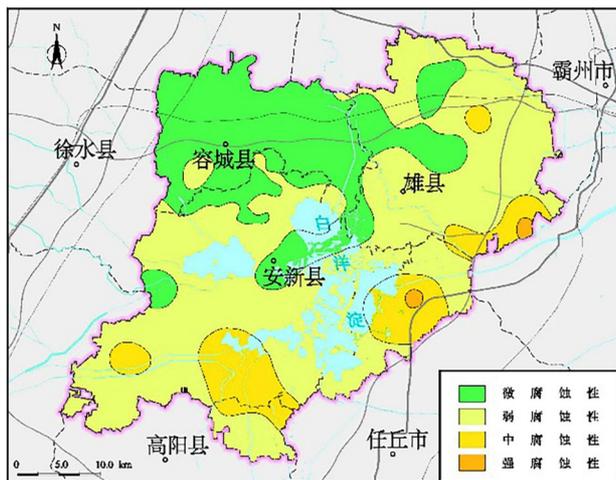


图4 雄安新区土壤对混凝土腐蚀性分区图

Fig.4 Corrosiveness zoning map of soil on concrete in Xiongan New Area

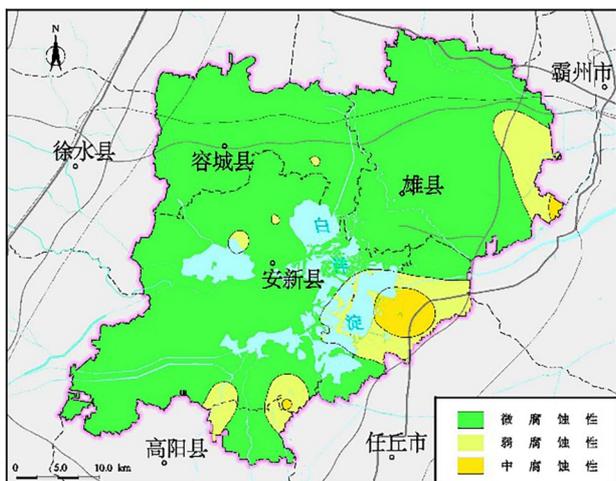


图5 雄安新区土壤对混凝土中钢筋腐蚀性分区图

Fig.5 Corrosiveness zoning map of soil on rebar in concrete in Xiongan New Area

## 4 水土腐蚀性地质条件分析

### 4.1 地下水腐蚀性地质条件分析

雄安新区地表出露地层为第四系松散层,成因类型以冲积、洪积、湖积为主,岩性以粉土、粉质粘土、粉细砂为主。其中,冲积洪积平原区15 m以浅以粉土为主,局部夹粉细砂和粉质粘土,下部为粉质粘土、粉土与粉细砂互层;冲湖积平原区10 m以内存在1~3层淤泥质粘土层或灰黑色粉质粘土层。浅层地下水水位埋深一般在5~20 m,白洋淀周边区域地下水水位埋深较浅,一般小于5 m。浅层地下水总体由西北向东南方向流动,在白洋淀附近形成局部水丘。

#### 4.1.1 腐蚀性中、强地区特性分析

地下水腐蚀性中、强的地区主要位于刘李庄镇-同口镇地区,该地区地下水开采层位小于50 m,地下水类型为 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 或 $\text{SO}_4 - \text{Na} \cdot \text{Mg}$ ,矿化度范围在3.44~8.41 g/L之间, $\text{SO}_4^{2-}$ 范围在1 290~4 345 mg/L之间, $\text{Cl}^-$ 范围在33~1 727 mg/L之间, $\text{Mg}^{2+}$ 范围在208~648 mg/L之间, $\text{NH}_4^+$ 范围在0~0.10 mg/L,侵蚀性 $\text{CO}_2$ 未测出,pH值在7.05~7.65之间, $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 是影响地下水的侵蚀的主要离子(表7)。

表7 地下水侵蚀性因子分布范围统计表  
Table 7 Statistical table of distribution range of groundwater corrosiveness factors

	中、强腐蚀区	微、弱腐蚀区
矿化度范围(g/L)	3.44~8.41	0.76~0.88
$\text{SO}_4^{2-}$ 范围(mg/L)	1 290~4 345	131~187
$\text{Cl}^-$ 范围(mg/L)	33~1 727	73~93
含水层沉积相	冲洪积为主	冲洪积、入湖三角洲
视电阻率范围( $\Omega \cdot \text{m}$ )	10~22	>50

该区域范围内钻孔揭示的地层发育有冲洪积、冲湖积、入湖三角洲等沉积相地层,含水层发育层段为19.0~26.0 m、30.8~33.65 m、38.0~39.3 m、43.55~44.7 m、47.6~55.53 m,50 m内含水层累积厚度为13.75 m,含水层岩性为粉砂。

#### 4.1.2 腐蚀性微、弱地区特性分析

地下水腐蚀性微、弱的地区分布较广,容城大部、安新北部、雄县西北部地下水腐蚀性均较弱,对该地区地下水开采层位小于50 m的民井进行统计,地下水类型以 $\text{HCO}_3$ 型或 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4(\text{Cl})$ 型为主,矿化度范围在0.76~0.88 g/L之间, $\text{SO}_4^{2-}$ 范围在131~187 mg/L之间, $\text{Cl}^-$ 范围在73~93 mg/L之间, $\text{Mg}^{2+}$ 范围在45~53 mg/L之间, $\text{NH}_4^+$ 范围在0~0.05 mg/L,侵蚀性 $\text{CO}_2$ 在0.19~1.18 mg/L之间,pH值在7.81~7.89

之间。

北部地区受到拒马河控制,钻孔中揭示的地层发育以冲洪积相为主,含水层岩性为粉细砂或中砂,含水层主要为古河道。视电阻率曲线反应含水层所对应的取值范围为大于 $50 \Omega \cdot m$ 。

#### 4.1.3 地下水腐蚀性成因分析

微、弱腐蚀区砂层较中、强腐蚀区发育,这是形成地下水溶质赋存的地质条件。根据地质调查数据显示,20 m以下砂层均在地下水水位以下,微、弱腐蚀区在含水层段视电阻率明显升高,而中、强腐蚀区视电阻率没有明显变化,这反应出含水层中含水量及溶质含量存在较明显的差异。从水化学测试的结果也反映出,腐蚀性中、强地区矿化度高、 $SO_4^{2-}$ 和Cl含量高。

地下水化学动力学理论认为,地下水径流通道上水文地球化学反应-迁移-分异过程,形成了地下水中物质成分的组成<sup>[29,30]</sup>。雄安新区北部地区受到南拒马河下游控制,地层中古河道较为发育,地下水径流条件为中或强级别,方解石、白云石、石膏、岩盐的饱和指数均小于1,水岩作用以溶解为主,对应的水化学类型为 $HCO_3^-$ 型为主,局部存在 $HCO_3^- \cdot SO_4^{2-}$ (Cl)型地下水,矿化度低、 $SO_4^{2-}$ 和Cl含量相对不高(图6);白洋淀淀区及周边地区地层中砂土比含量低,以冲湖积地层为主,地下水径流条件为弱或中等级别,方解石、白云石饱和指数大于1,石膏、岩盐的饱和指数小于1,即存在 $CaCO_3$ 、 $MgCa(CO_3)_2$ 沉淀、也存在石膏和岩盐溶解,水岩作用存在溶解和容纳、积累、迁移和分异等多种作用,水矿化度大于1,水化学

类型以 $SO_4 \cdot Cl$ 型或 $SO_4$ 型为主,矿化度高、 $SO_4^{2-}$ 和Cl含量高(图6)。这是该地区地下水腐蚀性相对较强的地质原因。

地下水的物质成分是在水、气、岩(岩石矿物)相互作用体系中,水沿着渗透或径流路径溶解矿物逐步形成的,在浅层地下水渗流系统中,水岩的作用较其他相态的交换更为强烈。研究区内古元古界-太古宇地层岩性以片麻岩和斜长角闪岩为主,中元古界长城系和蓟县系发育有石英砂岩、白云质砂岩和白云岩,古近系地层岩性以湖相和河流相的砂岩、泥岩为主,局部发育砾岩和页岩<sup>[31]</sup>。河流发育于雄安新区西部太行山地区,流域内主要涉及蓟县系高于庄组、雾迷山组、洪水庄组及铁岭组,岩石以白云岩为主<sup>[32]</sup>。由于研究区内的蒸发浓缩和离子交换强度尚未达到使 $HCO_3^-$ 、 $Mg^{2+}$ 、pH、 $CO_2$ 等浓度成为影响地下水腐蚀性的主要因子,因此本文仅分析 $SO_4^{2-}$ 和Cl的水文地区化学来源。造成地下水对各类地基具有侵蚀性的主要造岩矿物溶蚀后,其化学组分进入水中。

#### (1) 石膏的溶解

硫酸盐的产生存在多种可能,如石膏的溶解(公式1)、含硫矿物的氧化还原反应、植物的固硫和微生物的分解<sup>[33]</sup>、酸雨入渗、含硫酸盐的化肥溶解等。



作为溶解能力不强的矿物,地层中存在石膏的碎屑或伴生矿物。根据石膏饱和指数(北部地区-3.30~-1.95,白洋淀及周边地区-1.95~-0.12)、 $SO_4^{2-}$ 浓度(图6)分析,其分布规律与含水层系统、水化学类型以及地貌分布规律近似。北部地区阴离子以 $HCO_3^-$ 为主,逐渐过渡为 $SO_4^{2-}$ 型,沿着地下水径流方向, $SO_4^{2-}$ 的浓度和占阴离子的比重都是逐渐加大的,说明随径流场 $SO_4^{2-}$ 呈现富集状态,因此我们认为矿物的溶解贡献了 $SO_4^{2-}$ ,是形成该种地下水中离子分布的主要作用。

#### (2) 含氯矿物

根据对研究区及上游地区地质条件的分析,流域内并不系统发育含Cl矿物的地层,由于盐类矿物溶解能力都很强,因此含水层中也不存在稳定的盐类矿物(岩盐未达到饱和)。其分布规律较 $SO_4^{2-}$ 更为发散,也更容易在古河道含水层<sup>[34]</sup>中富集(图6),因此我们认为径流条件是影响Cl分布的关键因素,溶解或离子交换作用是从系统上影响Cl的整体分布,古河道含水层更容易富集由侧向径流汇集的Cl。根据

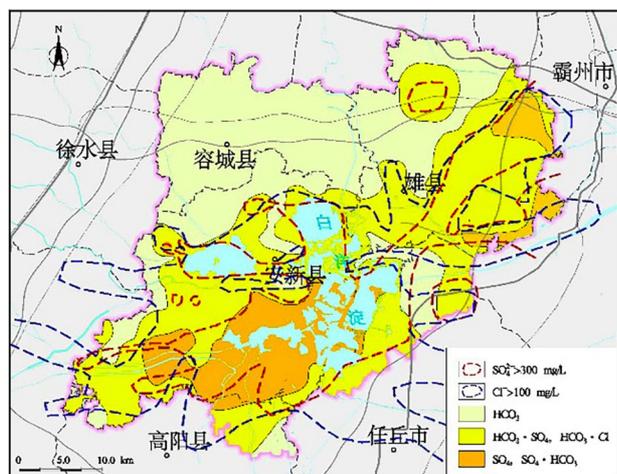


图6 雄安新区地下水化学类型及 $SO_4^{2-}$ 和Cl<sup>-</sup>含量分布图

Fig.6 Chemical types of groundwater and distribution map of  $SO_4^{2-}$  and Cl<sup>-</sup> Contents in xiongan New Area

土地利用类型和北方城市生产、生活特点推测,含Cl<sup>-</sup>的化肥、融雪剂等的贡献显著。含Cl<sup>-</sup>的其他矿物的贡献虽然不能明确,但不能忽略不计。

#### 4.2 土壤腐蚀性地质条件分析

##### 4.2.1 中、强盐化土区特性分析

中、强盐化土区主要位于刘李庄镇-同口镇-鄭州镇-苟各庄地区,该地区易溶盐含量范围在2.28~2.70 g/kg之间,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>范围在493~883 mg/kg之间,Cl<sup>-</sup>范围在154~524 mg/kg之间,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>的含量影响土壤对混凝土侵蚀。

##### 4.2.2 轻微盐化土、非盐化土区特性分析

轻微盐化土、非盐化土区主要位于北部地区,该地区易溶盐含量范围在0.74~0.84 g/kg之间,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>范围在125~144 mg/kg之间,Cl<sup>-</sup>范围在58~67 mg/kg之间,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>的含量影响土壤对混凝土侵蚀。

##### 4.2.3 土壤腐蚀性成因分析

本次土壤腐蚀性评价所采集的样品深度范围在1~10 m,中、强土壤腐蚀性区主要位于冲湖积平原洼地小区(图7),该地区靠近白洋淀淀区,受到蒸发浓缩作用的影响,靠近白洋淀越近的采样点地下水位越高,埋藏越浅。

地下水水位小于3 m的采样点,由于与白洋淀的水力联系相对密切,受到地表水成分的控制,易溶盐随深度的变化趋势不明显;大于3 m的采样点总体呈现先下降,后上升的趋势。易溶盐受到岩性的控制较为显著,浅部以粉土为主,表层蒸发浓缩作用相对强烈,在淋滤作用的影响下向下迁移,浓度降低;随着深度的增加,6~10 m的地区存在1~2层中全新世的淤泥质粉质粘土,黏粒含量、有机质含量高,受到细颗粒对易溶离子的交换吸附作用,盐分在此处富集,形成盐分累积带。

从地貌上来说,雄安新区主要分为冲积洪积平原区和冲湖积平原区,冲积平原区主要分布于雄安新区东南侧。从水动力学的角度分析,冲积洪积平原区地表水动力条件相对较好,搬运能力较强,剩下的主要是相对较粗的颗粒,可以通过遥感解译手段进行验证<sup>[31]</sup>,表现出的是岩性和沉积条件的差异。从元素沉积的角度来说,由于水动力条件变化而产生的土壤颗粒质地的差异,使得远离母岩的水系下游平原区洼地中因富含吸附载体(淤泥质粉质粘土)而呈现富集特征,在吸附能力较差的河床地带中呈现贫化特征<sup>[2]</sup>。这是形成白洋淀地区土壤盐分含量高、



图7 雄安新区地貌简图及土壤SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和Cl<sup>-</sup>含量分布图

Fig.7 Topographic map of xiongan new area and distribution map of soil SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and Cl<sup>-</sup> content

腐蚀性离子浓度高的地质原因。

## 5 结论

(1)根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)的规定进行评价,雄安新区地下水对混凝土结构的腐蚀性以微腐蚀为主,无强腐蚀区;对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性以微腐蚀和弱腐蚀为主,无强腐蚀区;对钢结构的腐蚀性以弱腐蚀和中腐蚀为主,无强腐蚀区和微腐蚀区。

(2)雄安新区土壤对混凝土结构的腐蚀性以微腐蚀和弱腐蚀为主;对混凝土结构中钢筋的腐蚀性以微腐蚀为主,无强腐蚀区;对钢结构的腐蚀性均为微腐蚀。

(3)北部冲积洪积平原区及南部冲湖积平原区地下水径流条件不同,在水文地球化学反应-迁移-分异过程中,形成了不同的地下水中物质成分组成,导致地下水具有不同的侵蚀性,其中石膏类矿物的溶解导致了SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度的升高,Cl<sup>-</sup>是通过地下水径流和地表入渗,在蒸发浓缩作用下形成高浓度区;包气带土壤在淋滤作用下,受到细颗粒对易溶离子的交换吸附作用,盐分易在全新世的淤泥质粉质粘土富集,形成盐渍土,这是白洋淀及其周边地区包气带形成侵蚀性土壤的原因。

## 参考文献:

- [1] 新华社. 受权发布: 中共中央、国务院决定设立河北雄安新区[OL]. [http://www.xinhuanet.com/politics/2017-04/01/c\\_1120741571.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2017-04/01/c_1120741571.htm).
- [2] 周亚龙, 郭志娟, 王乔林, 等. 基于土壤化学元素探讨雄安新区沉积地貌特征、物质来源及其与环境的关系[J/OL]. 中国地质, 1-16.
- [3] 马震, 夏雨波, 李海涛, 等. 雄安新区自然资源与环境-生态地质条件分析[J]. 中国地质, 2021, 48(03): 677-696.
- [4] 李海涛, 凤蔚, 王凯霖, 等. 雄安新区地下水资源概况、特征及可开采潜力[J]. 中国地质, 2021, 48(04): 1112-1126.
- [5] 李刚, 马佰衡, 周仰效, 等. 白洋淀湖岸带地表水与地下水垂向交换研究[J]. 水文地质工程地质, 2021, 48(04): 48-54.
- [6] 韩博, 夏雨波, 裴艳东, 等. 雄安新区地下空间工程地质特征及环境地质效应[J]. 工程勘察, 2020, 48(03): 1-8.
- [7] 郝爱兵, 吴爱民, 马震, 等. 雄安新区地上地下工程建设适宜性一体化评价[J]. 地球学报, 2018, 39(05): 513-522.
- [8] 郭淑君, 于蕾, 任政委, 等. 高密度电阻率法在雄安新区起步区第四系地质结构精细划分中的应用研究[J]. 华北地质, 2021, 44(01): 45-51.
- [9] 林良俊, 韩博, 马震, 等. 雄安多要素城市地质标准体系研究[J]. 水文地质工程地质, 2021, 48(02): 152-156.
- [10] 林良俊, 李亚民, 葛伟亚, 等. 中国城市地质调查总体构想与关键理论技术[J]. 中国地质, 2017, 44(6): 1086-1101.
- [11] 孙秀娟. 邯郸市地下水对混凝土的腐蚀性评价与试验研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2007.
- [12] 王合玲. 邯郸市市场地土对建筑基础的腐蚀性评价研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2008.
- [13] KING R A. Prediction of corrosiveness of sea-bed sediments[J]. Materials Performanc, 1980, 19(1): 39-42.
- [14] DAILY S F. Galvanic cathodic protection of reinforced and prestressed concrete using a thermally sprayed aluminum coating[J]. Concrete Repair Bulletin, 2003, 16(4): 12-15.
- [15] DAVID T, PAULO J M. Corrosion performance of conventional (ASTM A615) and low-alloy (ASTM A706) reinforcing bars embedded in concrete and exposed to chloride environments[J]. Cement and Concrete Research, 2005, 35(3): 562-571.
- [16] 李凤宪, 王华, 王永建. 天津地区地下水和土腐蚀性评价关键问题探讨[J]. 土工基础, 2015, 29(2): 100-104.
- [17] 柳富田, 秦雅飞, 孟利山, 等. 曹妃甸滨海区浅层地下水腐蚀性评价[J]. 地质调查与研究, 2018, 41(4): 294-298.
- [18] 王涛, 王延师, 张海林. 山东半岛海岸带北段地下水土腐蚀性评价[J]. 山东国土资源, 2016, 32(06): 51-54.
- [19] 田建林. 宁夏中南部地区环境水土腐蚀性问题及其对输水建筑物的影响[OL]. 宁夏回族自治区, 宁夏水务投资集团有限公司, 2015-01-23.
- [20] 赵鹏. 衡阳市地下水对混凝土结构腐蚀性评价及来源分析[J]. 铁道勘察, 2017, (3): 42-45.
- [21] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 岩土工程勘察规范 (GB50021—2001) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009, 89-92.
- [22] 周凯, 任治军, 葛海明. “GB/T50942-2014”在水土腐蚀性评价中的应用[J]. 电力勘测设计, 2016, (05): 28-33.
- [23] 程祖锋. 建筑基础腐蚀性试验与评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [24] 张晓燕. 水和土腐蚀性的评价解析[J]. 山西建筑, 2005, 31(10): 41-42.
- [25] 徐清扬. 工程勘察中水、土腐蚀性试验研究[C]//2019年全国工程地质学术年会论文集, 2019, 542-545.
- [26] 韦秀燕. 水、土对混凝土化学腐蚀性评价探讨[J]. 建材与装饰, 2018, (40): 143-144.
- [27] 熊健. 环境水土腐蚀性类型及其分析评价要点探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018, (09): 73.
- [28] 齐雷, 田志飞, 刘军. 一种地下水腐蚀性评价新方法[J]. 矿产勘查, 2022, 13(01): 115-121.
- [29] 曹玉清, 胡宽瑛, 胡忠毅. 水文地球化学反应-迁移-分异模型[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(3): 251-256.
- [30] 曹玉清, 胡宽瑛. 地下水化学动力学与生态环境区划分[M]. 科学出版社, 2009: 7-8.
- [31] 何登发, 单帅强, 张煜颖, 等. 雄安新区的三维地质结构: 来自反射地震资料的约束[J]. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(9): 1207-1222.
- [32] 刘志远, 李晓, 张云鹏, 等. 河北省顺平县太行山山前平原区浅层地下水及界河冲积扇电性特征研究[J]. 工程地球物理学报, 2021, 18(06): 930-937.
- [33] 张宏, 李颖杰, 王文颖, 等. 微生物硫循环网络的研究进展[J]. 微生物学报, 2021, 61(06): 1567-1581.
- [34] 龙慧, 孙晟, 谢兴隆, 等. 多源探测数据揭示雄安新区浅部三维地质结构特征[C]//中国地球物理学会地球物理技术委员会第九届学术会议—全域地球物理探测与智能感知学术研讨会会议摘要集.[出版者不详], 2021: 130-139.
- [35] 张竞, 马震, 吴爱民, 等. 基于岩性光谱特征的雄安新区地面古河道识别研究[J]. 地球学报, 2018, 39(05): 542-548.

## Study on the geological origin of groundwater and soil corrosivity in Xiong'an New Area

XIA Yu-bo<sup>1</sup>, GUO Xu<sup>1</sup>, WANG Bing<sup>2</sup>, HAN Bo<sup>1</sup>

(1. China Geological Survey, Tianjin Geological Survey Center, Tianjin 300170, China; 2. North China Center for Geoscience Innovation, Tianjin 300170, China; 3. Tianjin Geothermal Exploration and Development- Designing Institute, Tianjin 300250, China)

**Abstract:** Xiongan New Area in Hebei is a city under construction. With the acceleration of urban construction, the corrosiveness of shallow groundwater and the influence on engineering structure has been paid more and more attention. In this paper, the groundwater and soil corrosivity in Xiongan New Area were evaluated and subdivided, and the characteristics of groundwater and soil corrosivity were analyzed. It concluded that the geological conditions of forming high groundwater and soil corrosivity in Xiongan New Area were hydrogeochemical reaction- migration- differentiation, vadose zone leaching and Holocene silty clay adsorption. This research is a powerful practice for urban geological survey to support the planning and construction, it can provide reference for the urban planning and engineering construction of Xiongan New Area.

**Key words:** Xiong'an New Area; groundwater; soil; corrosivity evaluation

## Grain size and distribution characteristics of sediments in Xiangyun Island, Laoting county, Hebei province

WEN Ming-zheng<sup>1,3,4\*</sup>, ZHANG Yun-ling<sup>2,5</sup>, LI Yong<sup>1,3,4</sup>, YANG Peng<sup>1,3,4</sup>, TIAN Li-zhu<sup>1,3,4</sup>, SHANG Zhi-wen<sup>1,3,4</sup>, HU Yun-zhuang<sup>1,3,4</sup>, WANG FU<sup>1,3,4</sup>

(1. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 2. Tangshan ocean ranch Industry Co., Ltd, Tangshan, 063604, China; 3. CGS Key Laboratory of Coastal Geo-environment, Tianjin, 300170, China; 4. North China Center of Geoscience Innovation, Tianjin 300170, China; 5. Offshore Ecological Restoration Technology Innovation Center of Hebei, Tangshan 063604, China)

**Abstract:** Based on the grain size analysis of the surface sediments in Xiangyun Island, this paper described the grain size and distribution characteristics of sediments in the study area. The sedimentary dynamic conditions in the study area are calculated and analyzed combined with the field measured hydrodynamic data. The results show that: the surface sediments of Xiangyun island are mainly divided into four types: Sandy Silt (st), silty sand (TS), silt (T) and sand (s). The median grain size of surface sediments gradually coarsens from northeast to southwest along the direction parallel to the shoreline of Xiangyun Island, and narrows from near shore to far shore along the direction perpendicular to the shoreline of Xiangyun island. The average grain size of sediments in the study area is mainly concentrated in 2~10  $\Phi$ . The grain size distribution of the sediments shows two patterns: unimodal and bimodal. The surface sediments are mainly transported by suspension, and the grain size distribution of sediments is closely related to hydrodynamic conditions. The periodic effect of current makes the surface sediments in the process of suspension, sedimentation, resuspension and redeposition for a long time, and the fine sediments are continuously taken away by resuspension, which leads to the spatial differentiation of sediment grain size.

**Key words:** grain size; distribution characteristics; suspended sediment; hydrodynamics; Luanhe Delta; Bohai Sea