

曹妃甸滨海区浅层地下水腐蚀性评价

柳富田¹, 秦雅飞², 孟利山¹, 方成¹, 杜东¹

(1. 天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 北京东方利禾景观设计有限公司, 北京 100015)

摘要: 浅层地下水对地下建筑具有一定的腐蚀性, 影响建筑物安全, 沿海地区尤为严重。随着曹妃甸新区城市建设的加快, 浅层地下水和土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。本文对曹妃甸滨海区的地下水腐蚀性数据进行了统计分析, 并对地下水的侵蚀性进行了评价, 得出曹妃甸滨海区域地下水腐蚀性的规律。浅层地下水对混凝土结构具有弱-强的腐蚀性, 自北向南逐渐加重; 对混凝土结构中的钢筋普遍具有腐蚀性, 对钢结构具有弱-中等腐蚀性, 总体向南加重。此研究可以为区内的城市规划和工程建设提供借鉴。

关键词: 曹妃甸; 浅层地下水; 腐蚀性

中图分类号: P641.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2018)04-0294-05

曹妃甸区位于渤海湾北部, 属暖温带半湿润滨海大陆性季风气候。在曹妃甸岛附近有优良的海洋深槽, 已成为大型深水港口建设和临港产业发展的新开发区。曹妃甸区距离河北省唐山市南 80 km, 北京 220 km, 天津 120 km, 位于环渤海中心地带, 是河北省经济强市唐山市打造国际航运中心、国际贸易中心、国际物流核心组成部分, 属于河北省国家级沿海战略的核心和京津冀协同发展的战略核心区。根据唐山市曹妃甸新区总体规划(2008—2020年), 2020年曹妃甸新区总人口规模为 130 万, 城镇人口为 126 万, 城镇化率将达到 97%^[1]。由于曹妃甸区属于近岸地区, 处于海陆交互地带, 地质环境复杂。受历史海侵以及近年来海水入侵的影响, 滨海区地下水、土中含盐量均较高, 对工程建筑物安全的影响也较为严重, 地下水对建筑材料的腐蚀性直接影响工程设计对水泥类型、基础类型及防腐措施的选择, 最终直接影响到工程总造价^[2]。国内外因水土腐蚀性造成了巨大的损失, 也对建筑物的安全造成了威胁。美国标准局在 1975 年的调查结果显示, 全美因腐蚀而造成的经济损失可达 700 亿美元^[3]。根据地下水分布、水质特点, 进行地下水腐蚀性研究, 有助于提出减少防腐费用的应对措施, 降低成本。曹妃甸地区局部做过地下水腐蚀性相关调查评价, 多集中

于具体工程、曹妃甸工业区, 而缺少大区域性的综合评价成果^[2,4-5]。总体认为, 沿海地区按环境类型地下水在 20 m 以上对混凝土结构具强腐蚀性; 20~25 m 地下水对混凝土结构具中腐蚀性; 25 m 以下地下水对混凝土结构具弱腐蚀性^[2]。

天津地质调查中心长期在曹妃甸地区从事工程地质、环境地质调查, 本次研究按照《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)^[6]的要求对区内的地下水和土的腐蚀性进行了评价, 总结了区内的地下水和土对主要工程的腐蚀性特征。

1 水文地质概况

研究区内主要开发利用的含水层为第四系松散岩类, 其下部为明华镇组含水岩组。根据第四纪沉积物岩性及水文地质特征, 将第四系含水层系自上而下划分为四个含水层组。其中, 第一含水层组底界面埋深 10~20 m; 第二含水层组底界面埋深 120~170 m; 第一、第二含水层中的地下水对建筑物具有腐蚀影响。

1.1 第一含水层组

第一含水层组岩性以粉砂、细砂为主, 厚度小于 10 m 或 10~20 m, 含水层之上和含水层之间, 多为粉土层, 导水系数 100~150 m²/d, 单井涌水量 300~

收稿日期: 2018-09-20

责任编辑: 王国明

资助项目: 河北曹妃甸滨海地区海岸带环境地质调查评价(1212010814005、1212011120086)、京津唐张交通廊道规划建设区 1/5 万环境地质调查(DD20160233)

作者简介: 柳富田(1980-), 男, 博士, 2008年毕业于吉林大学水文水资源学专业, 主要从事同位素水文地球化学研究, Email: zihun@126.com。

600 m³/d。降水补给条件较好,但由于受潜水蒸发和海侵影响,其水质基本上全为大于5 g/L的高矿化Cl-Na型水。

1.2 第二含水层组

第二含水层组由于受晚更新世以来的海侵影响,海积层约占第二含水层组厚度的1/3~1/4。含水层以薄层细砂、粉砂为主,含水层组之间多为粘土,透水性及富水性均弱,补给条件很差,地下径流缓慢。因此,该组大部分地下水为Cl-Na型高矿化咸水。

1.3 地下水位埋深

根据实测潜水位埋深,12月潜水位埋深介于0.3~2.8 m之间,平均水位埋深1.56 m。总体上,南堡等沿海地区潜水位埋藏深度最小,旱田区及依靠地下水灌溉的水田区埋深较大,大致随靠近海岸线距离的缩短而减小。6月潜水位埋深介于0.3~2.0 m之间,平均水位埋深1.69 m,在马头营镇地区,受农业开采灌溉的影响,地下水位埋深较大(可达1.96 m),越靠近海岸线,埋深越浅。

对比分析相同观测孔水位埋深变化情况发现,6月潜水水位普遍高于12月,大约为0~1.24 m。同时,地下水位变幅表现出距离海边越远,差别越大的特征,与靠近海岸线地区的盐田、虾池、渔塘、湿地逐渐增多有很大的关系。

2 样品采集测试

在充分收集利用研究区水质资料的基础上,采集了地下水样品。其中,采样深度分别为10~15 m,1~6 m。样品采用塑料桶放置样品并按时送到实验室进行测试。本次评价共利用浅层潜水水质分析样品63件。

在本次开展工程地质钻探、人工浅钻过程中,在80个孔中包气带范围内采集土壤样品进行测试,每孔采集1~3件样品,进行易溶盐分析测试。

3 水土腐蚀性作用机理

水、土介质中的侵蚀性CO₃²⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻、Mg²⁺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^[7,8]。引发水土腐蚀的较典型环境是含各种盐环境,如化冰盐的泼洒作业区、海洋环境、含盐地下水等,因此氯盐是威胁建筑物耐久性最危险的化学物质,且对钝化膜产生局部破坏,使钢筋表面产生点状坑蚀。

SO₄²⁻为混凝土材料等最常见的腐蚀剂^[9-10]。进入到混凝土中的SO₄²⁻离子可与混凝土中游离的CaO作用形成石膏结晶(CaSO₄·2H₂O),此时其体积较二者结合之前的体积大幅增大,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,SO₄²⁻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,SO₄²⁻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。曹妃甸新区为渤海低平原区,具有湖泊淀洼和沼泽较多、全新世海侵作用频繁的特点,在这些环境条件下形成的水土中富含有机质或沉积淤泥,不仅有利于硫酸盐还原细菌的活动,而且有利于FeS和MnS的形成,相应地加速了土壤微生物腐蚀和电化学腐蚀作用。因此,水土中的Cl⁻和SO₄²⁻为工程建设中混凝土材料、金属材料的重要腐蚀剂。

4 地下水腐蚀性评价标准

4.1 水对混凝土结构腐蚀性的评价

(1)受环境类型影响水和土对混凝土结构的腐蚀性评价

根据《岩土工程勘察规范》[GB50021-2001](2009年版)^[6]及附录中的相关条款,判断研究区所处环境属于Ⅱ类环境(表1)。

表1 环境类型分类
Tab.1 Classification of environmental types

环境类型	场地环境地质条件
I	高寒区、干旱区直接临水;高寒区、干旱区强透水层中的地下水
II	高寒区、干旱区弱透水层中的地下水;各气候区湿、很湿的弱透水层;湿润区直接临水;湿润区强透水层中的地下水
III	各气候区稍湿的弱透水层;各气候区地下水位以上的强透水层

注:1)高寒区是指海拔高度大于或等于3 000 m的地区;干旱区是指海拔高度小于3 000 m,干旱指数K值大于或等于1.5的地区;湿润区是指干燥指数K值小于1.5的地区;2)强透水层是指碎石土和砂土;弱透水层是指粉土和黏性土;3)含水率w<3%的土层,可视为干燥土层,不具有腐蚀环境条件;4)当混凝土结构一边接触地面水或地下水,一边暴露在大气中,水可以通过渗透或毛细作用在暴露大气中的一边蒸发,应定为Ⅰ类;5)当有地区经验时,环境类型可根据地区经验划分;当同一场地出现两种类型时,应根据具体情况选定

(2)腐蚀性评价标准

研究表明,研究区内水和土的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。

研究区具有湿、很湿的弱透水层,环境地质条件属于Ⅱ类,因此水对混凝土结构的腐蚀性执行如下标准(表2)。

(3)水对混凝土腐蚀性的综合评价原则

地下水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。评价依据为《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)。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。

4.2 水对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价

根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001),研究区浅层地下水对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价,执行表3的标准。

4.3 水对钢结构的腐蚀性

根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001),研究区盐卤水对钢结构的腐蚀性评价,执行表4的标准。

5 地下水腐蚀性评价结果

研究区为滨海平原,场地环境地质条件符合Ⅱ类环境类型要求,在对浅层地下水的腐蚀性评价中,要用Ⅱ类环境类型标准来衡量。

表2 水对混凝土结构的腐蚀性评价标准表

Tab.2 Evaluation criteria of corrosiveness of groundwater to concrete structures

腐蚀等级	SO ₄ ²⁻ / mg/L	Mg ²⁺ / mg/L	NH ₄ ⁺ / mg/L	苛性碱含量 / mg/L	总矿化度 / mg/L
微	<300	<2 000	<500	<43 000	<20 000
弱	300 ~ 1 500	2 000 ~ 3 000	500 ~ 800	43 000 ~ 57 000	20 000 ~ 50 000
中	1 500 ~ 3 000	3 000 ~ 4 000	800 ~ 1 000	57 000 ~ 70 000	50 000 ~ 60 000
强	>3 000	>4 000	>1 000	>70 000	>60 000

表3 水对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价标准表

Tab.3 Evaluation criteria of corrosiveness of ground-water 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⁻的含量是指CL⁻与SO₄²⁻折算之后的CL⁻之和,即CL⁻=Cl+SO₄²⁻×0.25

表4 水对钢结构的腐蚀性评价标准表

Tab.4 Evaluation criteria of corrosiveness of groundwater to steel structures

腐蚀等级	pH值	CL ⁻ +SO ₄ ²⁻ / mg/L
弱	3 ~ 11	<500
中	3 ~ 11	≥500
强	<3	任何浓度

5.1 水对混凝土结构腐蚀性的评价

研究区内浅层地下水对混凝土结构的腐蚀性可划分为弱、中、强三个级别(表5),自北向南越来越强,呈东西向条状规律分布,总面积为1 407.01 km²,占研究区面积的87.28%。在十农场-孙家灶-柏各庄镇-杨岭镇-一农场三队-南庄河-古河乡一线以北地区,水对混凝土结构无腐蚀性;在十农场-孙家灶-柏各庄镇-杨岭镇-一农场三队-南庄河-古河乡一线以

表5 水对混凝土结构的腐蚀性评价表

Tab.5 Evaluation of corrosiveness of groundwater to concrete structures

腐蚀等级	面积/km ²	占研究区比例/%
弱	282.76	17.54
中	337.01	20.91
强	787.24	48.83
合计	1 407.01	87.28

南至老王庄、四分场村、柳赞镇等地,以及刘德庄附近地区,水对混凝土结构具有弱腐蚀性,分布面积为282.76 km²;在毕家圈-张庄子-五农场-高尚堡-大清河盐场以北至老王庄、四分场村、柳赞镇等地,水对混凝土结构具有中腐蚀性,分布面积为337.01 km²;在毕家圈-张庄子-五农场-高尚堡-大清河盐场以南至海岸线地区,水对混凝土结构具有强腐蚀性,分布面积为787.24 km²。

5.2 水对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价

在干湿交替条件下,研究区浅层地下水对钢筋混凝土结构中的钢筋具有腐蚀性,以强腐蚀性和中腐蚀性为主,面积1 487.42 km²,占92.27%;弱腐蚀性区仅分布于-农场-南庄河-古河乡一线以北地区及刘德庄以北局部地区,面积124.64 km²,占7.73%。强腐蚀性区分布于毕家圈-四分场村-唐海县-柳赞镇一线以南广大地区,面积994.22 km²,占研究区的

61.67%(表6、图1)。

在长期浸水条件下,研究区浅层地下水普遍对混凝土结构中钢筋的具有微弱腐蚀性,弱腐蚀区分布范围和面积同干湿条件下的强腐蚀分布区,面积994.22 km²;微腐蚀性区分布范围同干湿条件下的中、弱腐蚀分布区一致,面积617.84 km²,占研究区的38.33%(表6、图1)。

5.3 水对钢结构的腐蚀性

研究区浅层地下水普遍对钢结构具有弱-中等腐蚀性(表7),分布面积为1 612.05 km²,其中,中等腐蚀性区面积为1 491.53 km²,仅在柏各庄镇—农场—南庄河—大清河盐场一线以北地区弱腐蚀性(图2)。

表6 水对混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价表
Tab.6 Evaluation of corrosiveness of the groundwater to reinforced steel in concrete structures

腐蚀等级	长期浸水		干湿交替	
	面积/km ²	占研究区比例/%	面积/km ²	占研究区比例/%
微	617.84	38.33		
弱	994.21	61.67	124.64	7.73
中			493.20	30.59
强			994.21	61.67
合计	1 612.05	100	1 612.05	100

表7 水对混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价表
Tab.7 Evaluation of corrosiveness of the groundwater to reinforced steel in concrete structures

腐蚀等级	面积/km ²	占研究区比例/%
弱	120.58	7.48
中	1 491.47	92.52
合计	1 612.05	100

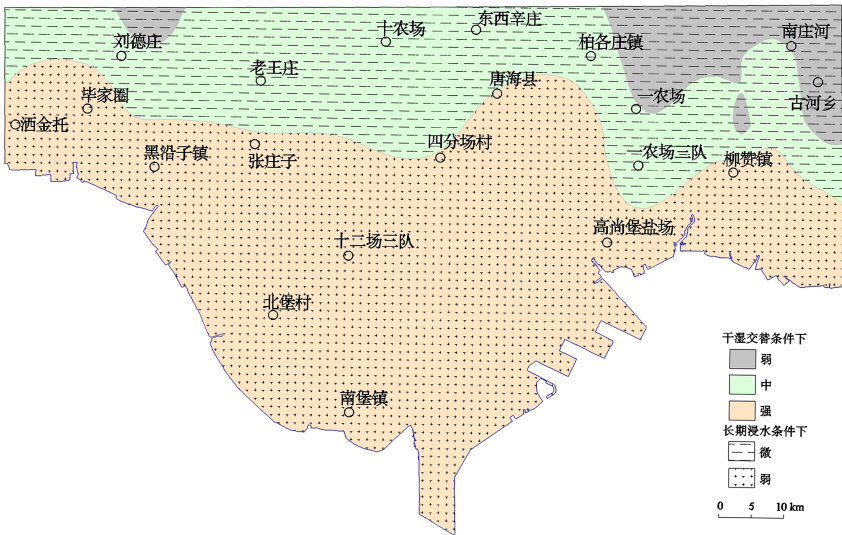


图1 浅层地下水对钢筋混凝土结构和钢结构的腐蚀性分区图

Fig.1 Corrosiveness zoning map of the shallow groundwater on concrete structures and steel structures

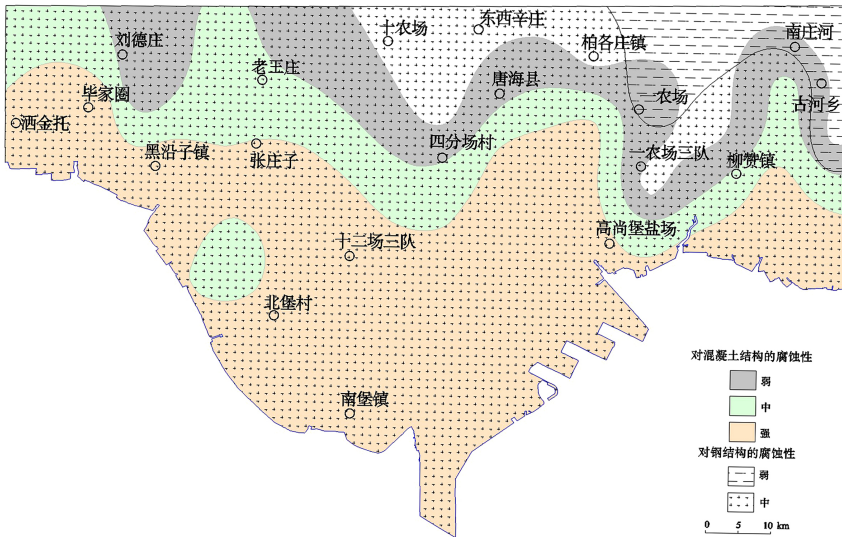


图2 浅层地下水对混凝土结构中的钢筋的腐蚀性分区图

Fig.2 Corrosiveness zoning map of the shallow groundwater on steel in concrete structures

6 结论

(1)研究区内浅层地下水对混凝土结构的腐蚀性可划分为弱、中、强三个级别,自北向南越来越强,呈东西向条状规律分布,总面积为1 407.01 km²,占研究区面积的87.28%。

(2)在长期浸水条件下,研究区浅层地下水全区普遍对混凝土结构中的钢筋具有微弱腐蚀性,以弱腐蚀性为主;在干湿交替下地下水对钢筋混凝土中钢筋普遍具有强-中腐蚀性,仅东北部局部地区具有弱腐蚀性。

(3)研究区浅层地下水对钢结构具有弱腐蚀性和中腐蚀性,其中中腐蚀性分布面积为1 491.53 km²,占研究区面积的92.52%。

参考文献:

[1] 中国城市规划设计研究院.唐山市曹妃甸新区总体规划

(2008-2020),水资源专题研究(初稿)[R],2009.

[2] 苏志友.曹妃甸某场地地下水腐蚀性变化规律分析[J].勘察科学技术,2017,(5):43-50.

[3] 周忠勤,叶景艳,董军林,等.南通某沿海地区盐渍土分布特征及其腐蚀特性研究[J].海洋开发与管理,2014,(4):42-45.

[4] 范建兵,王东芳.曹妃甸工业区区域土层特征分析[J].港口技术,2013,50(6):51-55.

[5] 张晓昆.曹妃甸工业区软土地基治理[J].交通标准化,2010,(02/03):230-233.

[6] GB 50021—2001,岩土工程勘察规范(2009 版)[S].

[7] 吴向东.500 kV 输电线路接地网腐蚀分析及防护措施[J].腐蚀与防护,2002,23(12):545-547.

[8] 金名惠,黄辉桃.金属材料在土壤中的腐蚀速度与土壤电阻率[J].华中科技大学学报,2001,29(5):103-106.

[9] 吴敏.浅谈耐久防腐混凝土及其应用[J].铜业工程,2006,(2):62-66.

[10] 宋振海,卢瑜,刘新民.混凝土及钢筋混凝土腐蚀与耐久性浅谈[J].山东交通科技,2001,(2):18-20.

Evaluation of shallow groundwater corrosiveness in Caofeidian coastal area

LIU Fu-tian¹, QIN Ya-fei², MENG Li-Shan¹, FANG Cheng¹, Du Dong¹

(1. Tianjin center, China geological survey, Tianjin 300170, China;

2. Beijing oriental bluegrass landscape design Co. Ltd, Beijing 100015, China)

Abstract: Shallow groundwater have corrosion effect to underground buildings in a certain degree, affecting the safety of buildings, especially in coastal areas. With the acceleration of urban construction in Caofeidian area, Hebei Province, the influence of the corrosiveness of shallow groundwater on engineering structure has been paid more and more attention. This paper makes statistical analysis of groundwater corrosion data in Caofeidian coastal area, and evaluates the corrosion of groundwater, and obtains the rules of groundwater corrosiveness in Caofeidian coastal area. The shallow groundwater is weak- strong corrosive to the concrete structure, and gradually aggravates from north to south. It is generally weak-corrosive to the steel in the concrete structure, weak-moderate corrosive to the steel structure, and generally aggravates to the south. The results can provide reference for urban planning and construction in the area.

Key words: Caofeidian; shallow groundwater; corrosiveness