

文章编号: 1673- 9469(2011) 01- 0014- 05

邯郸市地下水对建筑基础的腐蚀性研究

程祖锋¹, 余金²

(1. 河北工程大学 资源学院, 河北 邯郸 056038; 2. 河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘要:通过对试样进行化学分析获得地下水的腐蚀性数据,借助 GIS 软件将数据可视化处理,并依据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001),采用单因素评价的方法对邯郸市地下水的腐蚀类型和腐蚀等级进行评价,同时分析了腐蚀因子的区域分布特征。结果表明,邯郸市地下水对钢筋混凝土基础具有一定的腐蚀性,其中对混凝土存在结晶类中、弱腐蚀和分解类弱腐蚀,对钢筋存在中、弱腐蚀;主要腐蚀因子 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 等主要分布在邯郸市区的某些重点化工企业附近。

关键词:地下水; 腐蚀性; 建筑基础; 钢筋混凝土; 水化学成分

中图分类号: TU 503

文献标识码: A

Evaluation of groundwater corrosion on building foundation in Handan city

CHENG Zu-feng¹, YU Jin²

(1. College of Natural Resource, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: Groundwater corrosion data in Handan area obtained from sampling and chemical analysis were analyzed by using the GIS software. The forms, and grades of groundwater corrosion were evaluated by the single-factor judgment according to the Code for Investigation of Geotechnical Engineering(GB50021-2001), and the distribution of the corrosion factors were studied. The results show that the groundwater has medium corrosion to concrete structure: the medium, weak crystal corrosion and weak decomposition corrosion to the concrete; and the medium, weak corrosion to the concrete reinforcing bars. The major corrosion factors including SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- , are mainly distributed in the vicinity of some major chemical enterprises.

Key words: groundwater; corrosivity; building foundation; reinforced concrete; hydrochemical composition

由于建筑物所处环境以及设计、施工和使用等诸多因素的影响,建筑基础都不同程度地遭受各种侵蚀介质的腐蚀破坏,影响了建筑物的稳定性和耐久性。我国分别于 1999 年与 2002 年两次将“场地水、土腐蚀性的调查测试与评价(方法)”纳入到《岩土工程勘察规范》及《工业建筑防腐蚀设计规范》。国内学者对地下水的腐蚀性也做了大量研究。白玉华等^[1]讨论了人为因素对地下水腐蚀性的影响,认为人为因素对地下水的腐蚀性影响不容忽视。李乃珍等^[2]采用 RSD 和 SEM 等方法研究了水泥的水化过程及其耐腐蚀机理。程

祖锋等^[3]采用多因素腐蚀正交试验,对邯郸市内地下水进行腐蚀性研究及评价。

GIS 技术是一项以计算机为基础的新型技术,它具有将数据信息通过三维可视化图像反映出来的优点,通过收集 1999 年至 2005 年以来邯郸市建筑勘察场地的 393 个水样的化学分析资料,借助 GIS 软件将腐蚀资料可视化,并以此为基础,结合场地的自然地理和水文地质条件,依据《岩土工程勘察规范》,采用单因素的评价方法,对邯郸市区内地下水的腐蚀类型和腐蚀等级进行评价。

收稿日期: 2010- 12- 17

作者简介: 程祖锋(1962-),男,江西上饶人,博士,教授,从事岩土工程方面的教学与研究。

1 地下水的腐蚀原理

1.1 混凝土的腐蚀

水泥硬化以后多余的水分, 绝大部分都以自由水的形式存在, 并在混凝土内部形成大小不同的孔隙和毛细通道, 混凝土构件所处环境中的某些腐蚀介质通过这些孔隙进入混凝土内部, 与孔隙中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液及水泥水化产物接触发生化学反应及一系列的物理化学破坏作用。按照混凝土的破坏机制, 地下水对混凝土结构的腐蚀主要包括分解类腐蚀、结晶类腐蚀以及结晶分解复合类腐蚀三类^[4-6]。

1.2 钢筋的腐蚀

一般情况下, 钢筋由普通碳钢制成, 在混凝土中处于固、液、气三相体系中, 主要受混凝土微孔隙溶液的作用。当混凝土结构处在腐蚀环境中

时, 钢筋外面的保护层首先被腐蚀介质腐蚀, 导致腐蚀介质与钢筋直接接触并进一步破坏钢筋的钝化膜, 当具备一定条件时, 钢筋便开始锈蚀。钢筋的腐蚀原理有以下两种^[7]: (1) 碳化作用引起的电化学腐蚀; (2) Cl^- 引起的化学、电化学腐蚀。

2 钢筋混凝土腐蚀等级的评价标准

2.1 混凝土腐蚀等级的评价标准

依据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)^[8], 整理出分别受环境类型影响、地层渗透性影响时地下水对混凝土腐蚀等级的评价标准, 见表 1、表 2。

2.2 钢筋腐蚀等级的评价标准

依据文献[8]的规定评价地下水对混凝土结构中的钢筋的腐蚀性, 据 Cl^- 的浓度、考虑干湿交替特征与土的含水量的腐蚀性评价标准见表 3。

表 1 考虑环境类型影响时地下水对混凝土的腐蚀性评价标准(II 类环境)

Tab. 1 Evaluation criteria of corrosivity of concrete caused by groundwater considering the type of environment(II Environment)

腐蚀等级	腐蚀介质因子浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)				
	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	NH_4^+	OH^-	总矿化度
无	< 500	< 2 000	< 500	< 43 000	< 20 000
弱	500~ 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 2 考虑地层渗透性影响时地下水对混凝土的腐蚀性评价标准

Tab. 2 Evaluation criteria of corrosivity of concrete caused by groundwater considering permeability

腐蚀等级	酸型腐蚀		碳酸型腐蚀		微矿化水型腐蚀	
	A	B	A	B	A	B
无	> 6.5	> 5.0	< 15	< 30	> 1.0	—
弱	5.0~ 6.5	4.0~ 5.0	15~ 30	30~ 60	1.0~ 1.5	—
中	4.0~ 5.0	3.5~ 4.0	30~ 60	60~ 100	< 0.5	—
强	< 4.0	< 3.5	> 60	—	—	—

注: A、B 分别表示强渗透性地层和弱渗透性地层。

表3 地下水对钢筋的腐蚀性评价标准^[1]

Tab. 3 Evaluation criteria of corrosivity of concrete iron caused by groundwater

腐蚀等级	水中 Cl ⁻ 的含量/(mg·L ⁻¹)		土中 Cl ⁻ 的含量/(mg·kg ⁻¹)	
	长期浸水	干湿交替	W < 20% 的土层	W ≥ 20% 的土层
无	—	< 100	< 400	< 250
弱	> 5 000	100~ 500	400~ 750	250~ 500
中	—	500~ 5 000	750~ 7 500	500~ 5 000
强	—	> 5000	> 7 500	> 5 000

注: 当水、土中同时存在氯化物和硫酸盐时, 表中 Cl⁻ 含量 = Cl⁻ + 0.25 SO₄²⁻。

3 邯郸市地下水腐蚀性评价

收集 1999 年以来邯郸市建筑勘察场地的 393 个水样的化学分析资料(篇幅所限, 资料未列出), 以此为基础进行腐蚀性评价。

3.1 腐蚀环境类型的确定

依据文献[9], 在评价地下水对建筑材料的腐蚀性之前应确定当地的气候类型、场地环境类型、干湿交替情况、冰冻情况、地层的渗透类型、含水情况与建筑结构的临水情况等条件。

邯郸市气候类型属于干燥度指数小于 1.5 的湿润区, 区内浅基础持力层附近的地层以粘土与粉土为主, 其含水量分别为 20.0%~35.0% 和 10.0%~20.0%, 据文献[9]附录 G 的规定, 它们属于弱透水层, 综上所述, 可确定邯郸市的场地环境类型为 II 类。邯郸市一月平均气温 -2.15℃, 地面表层温度 0~4℃, 属于微冻区。但根据《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)^[10], 邯郸市的冻土深度小于 0.6m, 在绝大多数场地小于地下水的埋深, 故按不冻区(段)来考虑。市区内的建筑基础结构按具有干湿交替作用考虑^[11]。

3.2 地下水对钢筋混凝土的腐蚀性研究与评价

(1) 对混凝土的腐蚀性研究与评价

据分析, 市区内地下水对混凝土的腐蚀类型齐全, 结晶类、分解类与结晶分解复合类腐蚀都有。结晶类腐蚀样本 127 件, 占总样本数的 32.1%, 其中弱腐蚀样本 112 件, 中腐蚀样本 14

件, 分别占总样本数的 28.5% 和 3.6%。分解类腐蚀为碳酸型, 强渗透性土层与弱渗透性土层的腐蚀样本分别为 22 件与 6 件, 分别占总样本数的 5.6% 和 1.5%。复合类腐蚀样本为一强一弱共两件。上述分析表明, 区内地下水对混凝土结构有一定的腐蚀作用, 且以结晶类腐蚀为主。

(2) 对钢筋的腐蚀性研究与评价

依据文献[9], 以 Cl⁻ + 0.25SO₄²⁻ 为评价因子, 同时考虑干湿交替特征, 对地下水对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性进行评价。区内地下水对钢筋混凝土结构中钢筋具有弱、中腐蚀性的水样本分别为 231 件与 44 件, 分别占总样本数的 58.9% 与 11.4%, 无强腐蚀样本。上述分析说明研究区内地下水对钢筋有腐蚀的比例十分高, 且以弱、中腐蚀为主。

4 地下水腐蚀因子的分布特征

本文对 393 个水样的化学分析资料进行统计来评价邯郸市地下水对钢筋混凝土基础的腐蚀性时, 均考虑了土层渗透性的影响。经过统计, 得地下水腐蚀性评价有关因子特征值统计一览表, 见表 4。表中包括 13 项腐蚀性评价因子的样本数(*n*)、最大值(*X*_{max})、最小值(*X*_{min})、平均值(*X*_{av})、标准差(*s*)、变异系数(*d*)。据表 4, 评价因子的标准差、变异系数除了 pH 值一项, 其他各项都较高。尤其是 SO₄²⁻、Mg²⁺ 总矿化度、侵蚀性 CO₂ 与 Cl⁻ 的变异系数分别高达 1.05、0.99、10.23、5.14 与 1.91, 这说明区内地下水的离子成分分布极不均匀, 显然是受到过严重的人为污染。这里主要分析 SO₄²⁻、Mg²⁺、侵蚀性 CO₂ 与 Cl⁻ 的分布特征。

表 4 地下水腐蚀性评价因子特征值

Tab. 4 Eigenvalue of groundwater corrosivity evaluation factor

参数	指标									
	SO ₄ ²⁻ /(mg·L ⁻¹)/ (mg·L ⁻¹)	Mg ²⁺ /(mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ /(mg·L ⁻¹)	OH ⁻ /(mg·L ⁻¹)	总矿化度 /(mg·L ⁻¹)	pH 值	侵蚀性 CO ₂ /(mg·L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ /(mmg·L ⁻¹)	Cl ⁻ /(mg·L ⁻¹)	Cl ⁻ + 0.25SO ₄ ²⁻ /(mg·L ⁻¹)
<i>n</i>	393	393	393	393	393	393	393	393	393	393
<i>X</i> _{max}	6 370.02	429.96	60.00	331.04	19 565.46	12.20	93.67	87.47	5 512.80	7 105.31
<i>X</i> _{min}	18.52	0.00	0.00	0.00	291.63	6.50	0.00	0.00	12.43	30.79
<i>X</i> _{av}	509.13	60.15	0.91	2.66	1 899.50	7.37	1.67	7.92	320.25	447.53
<i>s</i>	533.43	59.32	4.91	27.23	1 724.82	0.50	8.56	7.12	611.19	686.29
<i>d</i>	1.05	0.99	5.39	10.23	0.91	0.07	5.14	0.90	1.91	1.53

4.1 SO₄²⁻ 分布特征

据统计得知, SO₄²⁻ 离子是研究区内地下水的主要阴离子之一。它的范围值在 18.52 ~ 2738.94mg/L, 最大值与混凝土的规范腐蚀下限 500mg/L 之比为 5.48。设该比值为混凝土的腐蚀势系数, 记为 *C_c*。若 *C_c* > 1.0 即具有腐蚀性, 否则无腐蚀性。据表 5 整理得地下水 SO₄²⁻ 各含量段的样本数。由表可见, 区内地下水含量高于 500mg/L 的样本达到 32.4%, 这说明 SO₄²⁻ 离子是研究区的主要腐蚀因子之一。研究区地下水 SO₄²⁻ 离子高浓度主要分布于市区西南的局部与北部的广大区域, 滏阳河沿岸零星有分布, 且以位于西南角的某化肥厂附近为极值点。东北角的大部分地段的浓度普遍很高, 而该处正好是研究区中比较低洼的地段, 而且其地下水位也较浅。

表 5 SO₄²⁻ 各含量分段样本数

Tab. 5 Sub- samples of SO₄²⁻

SO ₄ ²⁻ 含量/(mg·L ⁻¹)	样本数	百分比/%
0~ 500	266	67.6
500~ 1 500	112	28.5
1 500~ 3 000	14	3.6
3 000~ 6 500	1	0.3

4.2 Mg²⁺ 分布特征

在本次研究中, 发现邯郸市地下水中的 Mg²⁺ 离子含量水平较低, 其对混凝土的腐蚀性较小, 由于镁离子与硫酸根离子共存可造成复合类腐蚀, 所以有必要对 Mg²⁺ 离子的平面分布特征加以分

析。研究区的 Mg²⁺ 离子主要分布在西污水厂与滏阳化工集团一带, 极值在西污水厂附近。分布趋势与 SO₄²⁻ 基本一致, 说明研究区地下水 SO₄²⁻ 与 Mg²⁺ 主要来自 MgSO₄。

4.3 侵蚀性 CO₂ 分布特征

整理得地下水侵蚀性 CO₂ 各含量段的样本数, 如表 6 所示。由表可见, 区内地下水地下水侵蚀性 CO₂ 含量高于 15mg/L(对于强透水地层)与高于 30mg/L(对于弱透水地层)的样本分别有 14 件和 6 件, 这说明侵蚀性 CO₂ 是研究区的较主要腐蚀因子之一。尽管侵蚀性 CO₂ 为 0 的百分比达到了 90.3%。研究区内的侵蚀性 CO₂ 主要呈点状分布在比较低洼的七处, 范围不大。这可能与微生物的活动及有机质有关, 局部地段是因生产企业的生产活动所致。

表 6 侵蚀性 CO₂ 各含量分段样本数

Tab. 6 Sub- samples of erosion CO₂

侵蚀性 CO ₂ 含量/(mg·L ⁻¹)	样本数	百分比/%
0	355	90.3
0.1~ 15	24	6.1
15~ 30	8	2.1
30~ 100	6	1.5

4.4 Cl⁻ 分布特征

由于 Cl⁻ 和 Cl⁻ + 0.25SO₄²⁻ 都是评价水土对钢筋腐蚀性的因子, 只不过是当介质中同时存在 Cl⁻ 离子和 SO₄²⁻ 离子时要用 Cl⁻ + 0.25SO₄²⁻ 而不是用 Cl⁻ 离子的浓度。因为研究区内地下水同

时存在这两种离子成分,所以用于评价的是 $\text{Cl}^- + 0.25\text{SO}_4^{2-}$ 。 SO_4^{2-} 离子的分布特征前面已经叙述了,这里只分析 Cl^- 离子在研究区的分布特征。

整理得地下水 Cl^- 离子各含量段的样本数,如表7所示。由表可见,区内地下水 Cl^- 离子含量高于 100 mg/L 的样本达到了 70.2% ,这说明 Cl^- 离子是研究区内钢筋的主要腐蚀因子之一。研究区地下水 Cl^- 离子高浓度主要分布于西南的局部与北部、东北部的广大区域,滏阳河沿岸有零星分布。较大值在邯钢化肥厂、滏阳化工集团、西污水厂、市皮件厂及制革厂等地段。

表7 Cl^- 各含量分段样本数

Tab. 7 Sub- samples of Cl^-

Cl^- 含量/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	样本数	百分比/%
0~ 100	117	29.8
100~ 500	231	58.8
500~ 1 000	21	5.3
1 000~ 6 500	24	6.1

5 地下水腐蚀性的影响因素分析

地下水腐蚀区主要分布在邯郸市区的化工企业附近。根据分析,可将影响地下水腐蚀性的因素归纳为以下几个方面:

(1) 污染源分布是腐蚀性分布的关键因素。

(2) 地形地势通过制约腐蚀物的运移、富集、交替而影响腐蚀性的分布。

(3) 人为因素的影响,例如工农业生产与生活目的对地下水的过量开采、建筑施工开挖中的降水、生活垃圾与生活污水的任意排放等。

6 结论

(1) 邯郸市区内地下水对钢筋混凝土基础存在结晶类中、弱腐蚀。

(2) 地下水主要腐蚀区分布在邯郸市区重点化工企业附近。

(3) 影响腐蚀区分布的主要因素是污染源、地形地势以及人为因素等,而污染容易造成局部地区比较强烈的腐蚀。

参考文献:

- [1] 白玉华, 贺大印. 人为因素对地下水腐蚀性的影响[J]. 南京建筑工程学院学报, 1997(2): 79- 83.
- [2] 李乃珍, 金国萱, 刘兰计, 等. 抗海水水泥对高浓 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 的耐腐蚀性能及其机理[J]. 中国减灾科技, 1998(5): 7- 13.
- [3] 程祖锋, 孙秀娟, 崔吉铮. 混凝土腐蚀的正交试验研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(5): 978- 982.
- [4] 张丽霞, 袁铁铮. 地下水与工程事故[J]. 工程勘察, 1995(5): 29- 38.
- [5] 马建. 对《岩土工程勘察规范》中“水和土腐蚀性的评价”部分的分析[J]. 工程勘察, 2001, 1: 32- 35.
- [6] 余超, 沈杰, 戴明松. 泉域地下水管理信息系统[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2009, 26(2): 85- 89.
- [7] 黄晋昌. 混凝土及钢筋混凝土的腐蚀与防护[J]. 铁道工程报, 2000, 3: 99- 104.
- [8] GB50021- 2001, 岩土工程勘察规范[S].
- [9] GB50007- 2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [10] 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.

(责任编辑 马立)