

# 滨海新区地下桩腐蚀情况调查与研究

王毅, 林瑞, 吴昊翔  
(天津市建筑科学研究院有限公司, 天津 300193)

[摘要] 天津市滨海新区地下潜水对基础和工程桩的腐蚀性一直是滨海新区工程建设比较棘手的问题, 长期以来也一直未能得到有效地解决。对塘沽开发区某一拆迁场地的混凝土桩进行挖掘, 通过钻芯取样, 进行抗压强度、回弹仪检测、钢筋锈蚀和抗氯离子渗透性等试验及地下潜水水质分析, 调查其受腐蚀情况。结果表明, 在该地区, 虽然地下潜水腐蚀了混凝土桩但破坏不明显。

[关键词] 混凝土桩; 水质分析; 钻芯取样; 抗压强度; 钢筋锈蚀

中图分类号: TU528.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2016)02-0082-04

## Corrosion survey and research on Binhai New Area underground pile

Wang Yi, Lin Rui, Wu Haoxiang

(Tianjin Research Institute of Building Science Co., Ltd., Tianjin 300193, China)

**Abstract:** Foundation and pile corrosive construction due to Tianjin Binhai New Area underground dive has been a tough problem for a long time to Binhai New Area engineering construction which is unable to be effectively addressed. To excavate the concrete piles of one demolished sites in Tanggu Development Zone, techniques include coring boring sampling, compressive strength, resilience detected, reinforcement corrosion, resistance of chloride ion penetration, other tests and diving underground water quality analysis were used to investigate the corrosion circumstances. The results show that in the area, although underground water eroded concrete piles but the damage is not obvious.

**Keywords:** concrete pile; water quality analysis; coring boring sampling; compressive strength; reinforcement corrosion

### 0 引言

为更深层次地了解滨海新区地下混凝土桩的腐蚀情况, 选取塘沽开发区某一拆迁场地(属于氯离子浓度较高地区), 通过钻芯取样, 对预埋的混凝土桩进行抗压强度、回弹仪检测、钢筋锈蚀和抗氯离子渗透性等试验, 调查其受腐蚀情况。

#### 1 试验场地地下潜水腐蚀性分析

本项目试验场地的地下潜水分析是由天津市勘察院完成的, 其分析结果如下。

##### 1.1 地下潜水位及类型

勘察期间测得场地地下水水位如下: 初见水位埋深 2.50~3.00m, 相当于标高 1.20~0.69m; 静止水位埋深 1.50~2.00m, 相当于标高 2.19~1.84m。表层地下水属潜水类型, 主要由大气降水补给, 以蒸发形式排泄, 水位随季节有所变化。一般年变幅在 0.50~1.00m 左右。

##### 1.2 地下潜水的腐蚀性

在场地桩基附近选取三个点位取样进行地下潜水室内水质分析。试验结果表明, 场地地下水属  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  型弱酸性~中性水, pH 值在 5.91~6.14 之间, 水中各离子含量见表 1。

根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)

有关条款, 按 III 类环境判定, 在无干湿交替作用(长期浸水)条件下, 本场地地下潜水对混凝土结构具有强腐蚀性, 腐蚀介质为  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  和总矿化度; 对钢筋混凝土结构中的钢筋具有弱腐蚀性, 腐蚀介质为  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ 。在干湿交替作用下, 本场地地下潜水对混凝土结构具有强腐蚀性, 腐蚀介质为  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  和总矿化度; 对钢筋混凝土结构中的钢筋具有强腐蚀性, 腐蚀介质为  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ ; 对钢结构具有中等腐蚀性, 腐蚀介质为  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ 。

水中各离子含量/(mg/L) 表 1

孔号	pH 值	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{CO}_2$	总矿化度
1	5.91	4 671.39	65 189.96	2 024.11	99.62	0	104 962.78
2	6.14	9 950.53	77 189.22	8 708.38	323.77	0	131 161.75
3	5.97	3 932.54	63 757.22	2 965.56	99.62	0	104 781.31
平均	6.01	6 184.82	68 712.13	4 566.02	174.34	0	113 635.28

### 2 试验桩选择

由于桩基受到地下潜水及地下土壤离子腐蚀, 因此腐蚀离子受混凝土毛细管作用分布在桩基内部, 若桩基受腐蚀较严重, 很有可能造成内部破坏涨裂。本场地原为 1992 年兴建的 6 层或 7 层居民住宅楼, 均采用直径 450mm、桩长 24~25m 的

作者简介: 王毅, 硕士, 正高级工程师, 二级建造师, Email: 27488193@163.com。

沉管灌注桩,采用“四瓣”或“五瓣”桩尖,桩体混凝土强度等级为 C20,保护层厚度为 50mm,设计采用的单桩承载力标准值为 400~450kN。场地勘察资料反映场地地下潜水对混凝土均有强腐蚀性,但设计人员未对混凝土采取防腐措施。本试验选用编号为 S5~S8 的 4 根桩进行钻芯取样并采集相关数据,主要进行抗压强度、回弹仪检测、钢筋锈蚀和抗氯离子渗透性的相关试验,分析混凝土桩的受腐蚀情况。其中 S6 为混凝土桩,其余 3 根为钢筋混凝土桩。

### 3 数据分析

#### 3.1 编号规则

在桩身上钻芯取样,每根桩取 3~4 个试件,每个试件截取 2~3 个试块。靠近桩身表面的编号为 T,靠近桩身中轴线的编号为 Z。当试件截取 2 个试块时,长度为 100mm 和 50mm,并且没有尾标;当试件截取 3 个试块时,尾标 1 表示长度为两个 100mm 和一个 50mm 试件;尾标 2 表示长度为一个 100mm 和两个 50mm 试件。比如编号 S5-1-T1 中,S5 表示桩基号、1 表示试件号、T 表示试块号,最后面的 1 为尾标。现场照片如图 1~5 所示。

#### 3.2 腐蚀环境对混凝土桩抗压强度的影响

对 S5~S8 号桩进行钻芯取样,截取直径 100mm、高 100mm 的圆柱形试块,检测其抗压强度,并



图 1 S5 号桩

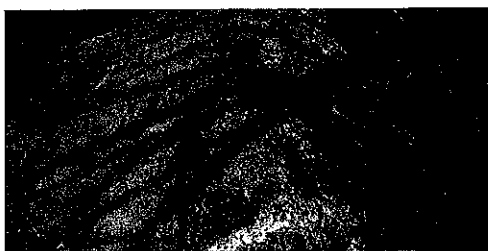


图 2 S6-1



图 3 S6-2

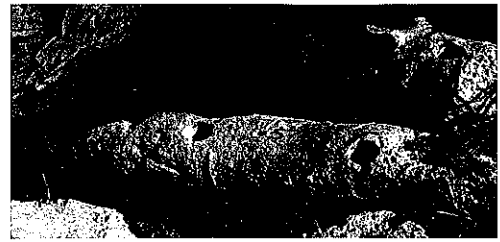


图 4 S7 号桩



图 5 S8 号桩

根据《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(CECS 03—2007)进行计算,试验数据见表 2~5。

S5 号桩取样抗压强度/MPa 表 2

编号	S5-2-Z1	S5-2-Z2	S5-4-T
抗压强度	15.29	23.31	27.13

S6 号桩取样抗压强度/MPa 表 3

编号	S6-1-T	S6-2-Z	S6-3-Z	S6-4-Z	S6-5-T	S6-6-Z	S6-7-T	S6-8-Z
抗压强度	14.65	39.87	28.28	33.5	35.92	25.48	30.57	33.25

S7 号桩取样抗压强度/MPa 表 4

编号	S7-1-Z	S7-2-Z	S7-4-T
抗压强度	23.82	33.25	27.64

S8 号桩取样抗压强度/MPa 表 5

编号	S8-1-Z	S8-3-Z	S8-2-T
抗压强度	40.89	28.15	14.3

S5 号桩为钢筋混凝土桩,S5-2-Z1 和 S5-2-Z2 的强度差异较大。

S6 号桩为无钢筋混凝土桩,但地连梁上有钢筋,S6-1-T 和 S6-2-Z 为地连梁上取样,其他为桩身上取样。只有地连梁上的 S6-1-T 强度较低,其余强度差异不大,试验结果表明,S6 号桩桩身强度分布较均匀,桩内部应尚未被破坏。

S7 号桩为钢筋混凝土桩,强度为 23~33MPa,均属于 C20 以上混凝土,试验结果表明,S7 号桩未见明显腐蚀。

S8 号桩为钢筋混凝土桩,只有 S8-2-T 强度较低,其余取样所测强度均满足 C20 以上混凝土强度等级,试验结果表明,S8 号桩未见明显腐蚀。

#### 3.3 腐蚀环境对混凝土桩回弹值的影响

用回弹仪测量桩基强度,由于回弹仪测量范围的局限性,只能在平面并垂直回弹仪的位置上测试,

因此本试验以桩基上钻芯取样孔周围区域以及桩头一端的截面中心和截面边缘区域作为回弹区进行测试,试验结果见表6,表中的1~4表示随机取的4个点。

表6 桩基回弹值/MPa

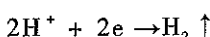
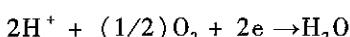
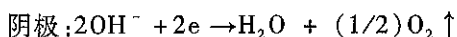
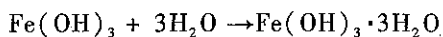
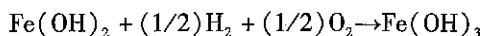
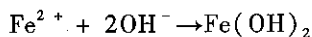
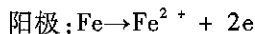
桩号	回弹位置	截面中心	截面边缘	1	2	3	4
	S5号桩	回弹值	40	35	47	37	36
S6号桩	回弹位置	截面中心	截面边缘	1	2	3	4
	回弹值	52	58	48	52	39	45
S7号桩	回弹位置	截面中心	截面边缘	1	2	3	4
	回弹值	40	46	48	47	45	40
S8号桩	回弹位置	截面中心	截面边缘	1	2	3	
	回弹值	60	35	42	42	37	

用回弹仪所测的值并非混凝土的强度,需根据混凝土的碳化深度查《回弹法检测混凝土抗压强度规程》(JGJ/T 23—2011)中测区混凝土强度换算表后才能得到相应的强度值,由于条件所限本次检测的桩未测碳化深度,故以实际回弹值作为对比参考值。试验结果表明:S5~S8号桩的回弹值除个别数值离散,其余分布较均匀,均满足C20以上混凝土强度等级。

### 3.4 腐蚀环境对钢筋混凝土桩中钢筋的影响

通常钢筋混凝土结构由于水泥石中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的存在,使混凝土处于高碱性状态,pH值一般在12以上,钢筋在高碱状态下表面会生成一层钝化膜,能保护钢筋不被锈蚀;在外界介质作用下,随着混凝土碳化和溶出性侵蚀过程的进行, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的含量减少,混凝土碱度降低。当混凝土的pH值降到10以下时,钢筋表面的钝化膜逐渐破坏,表面处于活性状态,在腐蚀性介质与水与氧气的共同作用下,将会遭到严重锈蚀。

钢筋锈蚀机理为:



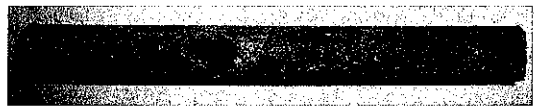
$\text{Fe}(\text{OH})_3$ 在潮湿环境中与 $\text{H}_2\text{O}$ 反应生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的过程中伴随着体积膨胀,表面混凝土在这一膨胀压力的作用下,沿钢筋方向引起开裂,并有 $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 胶体渗出,甚至出现混凝土大块剥落导致结构破坏。 $\text{Cl}^-$ 并不直接参与化学反应,但是 $\text{Cl}^-$ 的存在,将使钢筋的锈蚀过程大大地加速( $\text{Cl}^-$ 起到类似催化剂的作用)。

因此,本试验将S8-3-Z, S8-1-Z, S7-4-T, S5-2-Z1试块劈开,取出钢筋,参照《水工混凝土技术规程》(DL/T 5150—2001)中的水工混凝土钢筋快速试验进行锈积率试验。检测方法:用玻璃纸描绘钢筋表面的锈蚀面积,然后复印在方格纸上,所得的锈蚀面积除以钢筋表面积即为锈积率。试验结果见图6~9,其中S8-3-Z和S8-1-Z是同一桩身上的两根钢筋段,从图中所测钢筋锈蚀情况可以看出,S8号桩已有部分钢筋被严重腐蚀。



注:钢筋直径为12.32 mm,长度为85.2 mm,表面积为1049.66 mm<sup>2</sup>,锈积率为100%。

图6 试件S8-3-Z



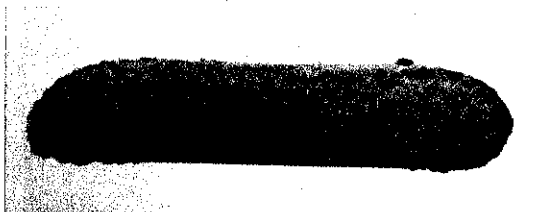
注:钢筋直径为11.97 mm,长度为98.28 mm,表面积为1176.41 mm<sup>2</sup>,锈积率为13.6%。

图7 试件S8-1-Z



注:钢筋直径为12.60 mm,长度为92.25 mm,表面积为1162.35 mm<sup>2</sup>,锈积率为0.3%。

图8 试件S7-4-T



注:钢筋外侧表面被钻出,内侧表面稍有锈蚀。

图9 试件S5-2-Z1

### 3.5 腐蚀环境对混凝土桩抗氯离子渗透的影响

用来检测混凝土抗氯离子渗透性的试验方法通常有两种,包括电通量试验和氯离子扩散系数试验。根据《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01—2004)的推荐,快速测定混凝土中氯离子扩散系数的试验方法为RCM法和NEL法,除此之外,国内许多部门也用电量指标评价混凝土的渗透性,主要依据的方法是美国材料试验协会的《关于混凝土氯离子渗透性的电导试验方法》(ASTM C1202-97)。为更好地找到这几组桩的腐蚀规律性,采用电通量和氯离子扩散系数RCM法进行了相关试验。

### 3.5.1 电通量

混凝土电通量试验是混凝土氯离子渗透性的电导试验方法,其结果来表征混凝土抗氯离子渗透性的强弱。参照 ASTM C1202-97,将 S5~S8 号桩钻芯取样、截取试块后进行电通量试验。

根据施工配合比配制或钻芯取样  $\phi 102\text{mm} \times 51\text{mm}$  试件(每组 3 个试件),在  $80^\circ\text{C}$  下烘干 3~5h,然后将圆柱面用熔化的热蜡或密封胶封好以防止干燥脱水。将封好的试件放入密闭器皿,一端与负压泵连接,另一端与冷却的开水连接,打开真空泵(在数分钟内达到 1mm 汞柱,即 133Pa)抽真空 3h,然后将冷却的开水(减少空气含量)抽入器皿对试件进行真空饱水,1h 后关闭负压泵,在负压下饱水  $(18 \pm 2)\text{h}$ 。

将饱水的试件取出后,放入有机玻璃模具中,两端溶液池中分别加入 3% NaCl 和 0.3mol/L NaOH 溶液,接通 60V 直流电源,正极连接 NaOH 溶液,负极连通 NaCl 溶液,测量初始电流。以后每 30min 测量一次,共测 6h,并根据 6h 中的电流计算通过试件的总电量。判定标准见表 7,本试验中数值越低,抗氯离子渗透性越强。试验结果见表 8。

电通量试验判定标准 表 7

电通量/C	>4 000	2 000~4 000	1 000~2 000	100~1 000	<100
Cl <sup>-</sup> 渗透性	高	中	低	很低	不渗透

电通量试验结果 表 8

编号	S5-1-T	S5-3-Z	S6-1-Z	S6-2-T	S6-3-T	S6-4-T
电通量/C	2 081	446	1 165	1 455	887	1 207
编号	S6-7-Z	S6-8-Z	S7-2-T	S7-4-Z1	S8-1-T	
电通量/C	1 140	820	681	367	2 929	

试验结果表明,S5 和 S8 号桩的抗氯离子渗透性较差,S6 号桩的抗氯离子渗透性居中,S7 号桩的抗氯离子渗透性较强。

### 3.5.2 氯离子扩散系数 RCM 法

参照《NT Build 492 混凝土氯离子扩散系数快速测定的 RCM 法》,将 S5~S8 号桩钻芯取样、截取试块后进行氯离子扩散系数试验。

将混凝土试件尺寸为  $\phi 102\text{mm} \times 51\text{mm}$  的试块(每组 3 个试件)放入保温箱中,一天后取出并抹上环氧胶。进行 3h 的抽真空(在数分钟内达到 1mm 汞柱,即 133Pa),然后将饱和石灰水(减少空气含量)抽入器皿对试件进行真空饱水,1h 后关闭真空泵,在负压下饱水  $(18 \pm 2)\text{h}$ 。

将试块从容器中取出,用橡胶筒和不锈钢环箍将试块装好并放到 RCM 测试仪里。通电后测得初始的温度、电压、电流,根据不同的初始电流决定通电时间,试验结束后,记录最终的 KOH 溶液的温度。

取出试块擦干后将其沿直径方向劈开,在劈开面滴上  $\text{AgNO}_3$  溶液,当试块表面晾干后,出现白色沉淀的高度就是氯离子扩散高度,记录氯离子扩散高度计算其扩散系数。判定标准见表 9,本试验中数值越高,抗氯离子扩散性越差。试验结果见表 10。试验结果表明:S5 号桩和 S8 号桩的抗氯离子扩散性较差,S6 号桩的抗氯离子渗透性居中,S7 号桩的抗氯离子扩散性强。

氯离子扩散系数 RCM 法判定标准 表 9

扩散系数 $D/(\times 10^{-10}\text{m}^2/\text{s})$	抗氯离子渗透性
$D \leq 2$	非常好
$2 < D \leq 8$	较好
$8 < D \leq 16$	一般
$D > 16$	不适用于严酷环境

氯离子扩散系数/ $(\times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s})$  表 10

编号	S5-2-T	S5-4-Z	S6-5-Z	S6-6-T	S7-1-T	S7-3-Z	S7-4-Z2	S8-3-T
扩散系数	11.39	3.25	1.92	3.72	3.1	1.18	1.39	5.34

电通量试验与氯离子扩散系数试验结果表明,这两种试验方法所测得的结果基本一致。其中,电通量数值更能体现抗氯离子渗透性的强弱。

## 4 结论

(1)通过对所取得的桩试件进行抗压强度及回弹值试验进行分析表明:不论是桩基表面还是桩基内部,强度基本上都保持在 20MPa 以上,而且靠近桩基内部的混凝土强度更高,其强度等级满足 C20 混凝土设计要求。其中存在少数一些强度异常点,如 S5-2-Z1,S6-1-T,S8-2-T 等,通过对其中钢筋分布及桩基外形的观察分析,有可能是由于当时的施工工艺等原因造成的,其结果不影响总体强度及强度变化趋势,经分析得出桩基受到的腐蚀破坏不明显。

(2)通过对所取得的桩试件钻芯中钢筋锈积率的结果进行分析,结果表明:虽然有钢筋已经锈蚀,但直径依然保持在 12mm 左右;除此之外,其余钢筋锈积率很低,没有出现明显的腐蚀缩径现象。故分析得出桩基受到的腐蚀破坏不明显。

(3)对所取得的桩试件进行抗氯离子渗透及抗氯离子扩散试验表明:只有 S7 号桩的抗氯离子扩散性强,其余桩抗氯离子渗透性较弱;但从混凝土设计强度分析,对于 C20 混凝土在强腐蚀环境下其抗氯离子渗透性本不会太强,因此所得结果属正常现象,不能作为判定桩基是否受到腐蚀破坏的最终依据。故分析得出桩基受到的腐蚀破坏不明显。

(4)本次调查试验仅在一个场地进行,尚不具有普遍性。为进一步了解滨海新区地下潜水及土质对桩的腐蚀性,仍需继续开展此类工作,进一步研究不同桩型在地下潜水强腐蚀环境下的受腐蚀程度。