

# 海洋冻融环境防腐阻锈混凝土的研究与应用

□□ 陈喜旺,黄天贵,史 忠,丁 宏,李路明 (北京建工集团 商品混凝土中心,北京 100022)

**摘 要:**根据曹妃甸工业区所处海洋冻融环境的特点,研制出防腐阻锈混凝土,并应用于首钢搬迁建设工程中。结合工程实例,分析了防腐阻锈混凝土的物理力学性能和耐久性能以及工程应用情况。

**关键词:**海洋冻融环境;防腐阻锈混凝土;耐久性  
**中图分类号:**TU 528.33;TV 431      **文献标识码:**A

## 引言

2005年2月18日,国家发改委作出批复,“原则同意首钢实施搬迁、结构调整和环境治理方案”;“按循环经济理念,结合首钢搬迁和唐山地区钢铁工业结构调整,在曹妃甸建设一个具有国际先进水平的钢铁联合企业”。曹妃甸地处河北唐山南部的渤海湾西岸,位于天津港与京唐港之间,夏季炎热、冬季寒冷,最冷月份气温 $<-15^{\circ}\text{C}$ ,混凝土结构遭受海水腐蚀和冻融破坏,工程建设环境十分恶劣。为了保证混凝土在严酷的海洋环境中具有较高的使用寿命,在首钢搬迁和曹妃甸工业区建设方面,决定采用防腐阻锈高性能混凝土技术方案。

## 1 研究内容及技术指标

### 1.1 原材料选择

(1)水泥:选用唐山冀东水泥厂生产的P·O 42.5水泥,28 d抗压强度55.6 MPa。

(2)砂:经过试验比较,选用河北卢龙中砂,为B类低碱活性骨料,细度模数2.6,含泥量0.8%,泥块含量0.2%。

(3)碎石:选用丰润碎石,5~25 mm连续级配,为B类低碱活性骨料,针片状含量3.3%,压碎指

标值4.1%。

(4)粉煤灰:选用北京宝路通达粉煤灰公司生产的I级粉煤灰,烧失量1.28%,需水量比91%,0.045 mm筛筛余8.5%。

(5)矿渣粉:选用唐山双龙建材公司生产的S 95级粒化高炉矿渣粉,28 d活性指数106%,流动度比105%,比表面积 $462\text{ m}^2/\text{kg}$ 。

(6)外加剂:经过试验比较,采用鞍山市鹏程混凝土外加剂公司生产的NST防腐阻锈型高性能混凝土防水剂,减水率23%,含气量4.5%,相对耐久性指标95%。

### 1.2 防腐阻锈混凝土配合比设计

经试配计算,设计出的防腐阻锈混凝土系列配合比见表1。

表1 防腐阻锈混凝土系列配合比表<sup>1)</sup>

序号	强度等级	W/C	SP	用水量	水泥	砂	石子	粉煤灰	矿粉	外加剂
1	基准 C 35	0.35	45	150	429	820	1 001	0	0	14.59
2	C 35	0.35	44	150	287	798	1 016	75	73	17.40
3	C 40	0.33	42	150	309	751	1 038	75	77	18.44

1) 基准 C 35 混凝土外加剂为 Sden-1 型高效减水剂,其他为 NST 防腐阻锈型高性能混凝土防水剂。

## 2 试验内容与结果分析

### 2.1 防腐阻锈混凝土拌合物的物理性能

按 GB/T 50080—2002《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》,对防腐阻锈混凝土进行坍落度、扩展度、湿密度、含气量、凝结时间等试验,混凝土和易性良好,试验结果见表2。

表2 防腐阻锈混凝土拌合物物理性能试验结果

序号	强度等级	坍落度/mm	扩展度/mm	1 h 坍落度/mm	2 h 坍落度/mm	含气量/%	湿密度/( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	凝结时间/(h: min)
1	基准 C 35	220	480×510	200	180	2.1	2 400	14: 25
2	C 35	240	540×550	230	210	5.7	2 365	20: 20
3	C 40	240	560×570	230	210	5.4	2 380	22: 05

由表2可以看出,在配制防腐阻锈混凝土的过程中,由于大量掺入了活性矿物质掺合材料,较基准

混凝土延缓了混凝土的凝结时间,推迟了绝热温升峰值出现的时间,降低了防腐阻锈混凝土的水化热,可用于海洋环境大体积混凝土的浇注。

坍落度和坍落扩展度的试验数据表明,防腐阻锈混凝土具有高流动性,并且和易性好。在海洋地下结构工程施工中,拌合物与海水短暂接触而不至于分散离析。

2.2 防腐阻锈混凝土的力学性能

防腐阻锈混凝土的抗压强度试验结果见图 1。试验结果表明,基准系列混凝土的早期强度较掺有掺合料的系列混凝土要高,但其强度发展缓慢,到 28 d 时已经低于掺有掺合料的系列混凝土,这说明防腐阻锈混凝土并没有因为掺入防腐阻锈防水剂而偏离了普通混凝土的强度发展规律。

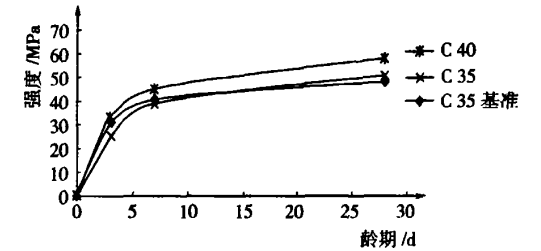


图 1 强度增长趋势图

2.3 防腐阻锈混凝土的耐久性能

2.3.1 抗冻性能试验

防腐阻锈混凝土的冻融试验结果见表 3。

表 3 防腐阻锈混凝土抗冻融试验结果

序号	强度等级	项 目	冻融循环次数						
			0	50	100	150	200	250	300
1	基准 C 35	相对动弹性模量/%	100	90.5	79.7	66.6	51.3	—	—
		失重率/%	0	0.15	1.35	2.42	3.74	—	—
		失重率/%	0	0	0.06	0.14	0.25	0.48	1.02
2	C 35	相对动弹性模量/%	100	96.4	93.9	92.4	91.5	87.6	82.4
		失重率/%	0	0	0.05	0.16	0.21	0.45	0.93
		失重率/%	0	0	0.05	0.16	0.21	0.45	0.93
3	C 40	相对动弹性模量/%	100	98.5	96.8	94.2	93.2	89.0	84.3
		失重率/%	0	0	0	0.08	0.17	0.37	0.88
		失重率/%	0	0	0	0	0.12	0.43	0.87

由表 3 可以看出,防腐阻锈混凝土掺有引气型防腐阻锈防水剂,新拌混凝土的含气量在 5 % ~ 6 % 之间,经 100 次冻融循环,相对动弹性模量能保持在 90 % 以上,质量损失几乎为零;经 300 次冻融循环,相对动弹性模量能保持在 74 % 以上,且大部分在 80 % 以上,大大优于基准混凝土。这表明防腐阻锈混凝土有比普通混凝土更高的抗冻性能。

2.3.2 抗氯离子渗透性试验

通过测试混凝土抗  $\text{Cl}^-$  离子扩散系数,来评定混凝土的抗  $\text{Cl}^-$  离子渗透性能。试验利用 Nernst - Einstein 方程和 NEL 型混凝土快速真空饱水饱盐装置及混凝土渗透性电测仪,来检测混凝土中的  $\text{Cl}^-$  离子扩散系数  $D_{\text{nel}}$ 。试验结果见表 4。

表 4 防腐阻锈混凝土抗  $\text{Cl}^-$  离子渗透性试验结果

强度等级	基准 C 35	C 35	C 40
$\text{Cl}^-$ 离子扩散系数 $\times 10^{-10}/(\text{cm}^2/\text{s})$	546	146	159

根据 NEL 方法建议的混凝土渗透性评价标准,基准混凝土的  $\text{Cl}^-$  离子渗透性较高,而防腐阻锈混凝土由于掺有一定比例的矿物掺合料,其渗透性比基准混凝土低,掺合料改变了防腐阻锈混凝土的抗  $\text{Cl}^-$  离子渗透性,使之得以较大幅度地提高。因此,采用大掺量矿物掺合料的低水胶比混凝土并保证适量的胶凝材料体积,是降低混凝土渗透性的有效途径。

2.3.3 抗海水腐蚀性试验

抗海水腐蚀性试验采用海水干湿循环的加速试验方法,试验结果见表 5。

表 5 抗海水腐蚀性试验结果

序号	强度等级	28 d 抗压强度/MPa	80 次干湿循环质量损失率/%	80 次干湿循环外观质量
1	基准 C 35	46.7	5.11	表面明显破坏剥落
2	C 35	50.7	0.93	表面完好,未破坏
3	C 40	58.4	0.87	表面完好,未破坏

由表 5 可以看出,经 80 次干湿循环后,基准混凝土的质量损失率已 > 5 %,混凝土表面明显破坏;而防腐阻锈混凝土表面完好、未破坏,较基准混凝土的抗海水侵蚀能力强。随着混凝土强度的提高,混凝土的抗海水侵蚀能力逐渐增强。掺入矿物掺合料后,发挥了掺合料的形态效应、微集料效应和活性效应,使混凝土的孔隙率大幅度降低,结构更为均匀密实,抗海水侵蚀能力增强。

3 工程应用

首钢京唐公司钢铁厂 2 250 mm 热轧工程水处理区漩流池工程为地下结构工程,由中国第九冶金建设公司承建。地下结构主要为宽 1 m、深 20 ~ 50 m 不等的地下连续墙,共分 20 个槽段。设计要求采用 C 35、P 8、F 300 的防腐阻锈混凝土。我们采用与原料场翻车机室地下连续墙同样的配合比进行生产、施工。目前,已向该工程供应混凝土 10 000 余  $\text{m}^3$ ,

施工单位和监理单位非常满意。

## 4 结论

4.1 防腐阻锈混凝土在水中施工时,混凝土拌合物下落时容易受到环境水的冲洗、稀释,造成混凝土各组分离,使水泥浆流失,混凝土的强度大为降低,工程质量无法保障。因此,在设计防腐阻锈混凝土时,要考虑提高混凝土的抗水冲分离能力,提高混凝土的粘聚性,使混凝土能够与水短暂接触而不至于分散离析。

4.2 优质的矿物掺合料具有优异的火山灰效应、“微珠”效应和填充密实效应,利用粉煤灰、矿粉“双掺”的超叠加技术,可大幅度增强防腐阻锈混凝土内部结构的致密性,改善混凝土和易性,降低防腐阻锈混凝土的渗透性,提高混凝土的耐久性能。

4.3 NST 防水剂是一种有机、无机复合型的混凝土外加剂,其中的无机组分能与混凝土中的水分和  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  发生反应生成稳定的水化产物,并填充到 C-S-H 凝胶形成的骨架的空隙中,使混凝土更加密实,促使混凝土的过渡层变薄,减小了由于过渡层结构薄弱而引起裂缝的可能,从而达到很好的阻锈、防水、防腐的效果;而其中的有机组分则在钢筋表面形成一层致密的吸附膜,并具有良好的渗透迁移作用,能在钢筋的周围形成一个优异的保护网膜,加之无机组分在钢筋表层形成坚固的钝化层,使得该外加剂的阻锈作用更为优异,有机组分中的引气成分使得混凝土中布满均匀的细小密闭气泡,提高了混凝土抗冻性和耐久性。

4.4 不同的水灰比、坍落度、环境温度、搅拌方式下,同一配合比混凝土的含气量不同。因此,在实际生产和施工过程中,要注意控制好防腐阻锈混凝土的含气量,以确保混凝土 300 次水中冻融循环的相对动弹性模量  $\leq 60\%$ 。

### 参考文献:

- [1] 冯乃谦. 高性能混凝土[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
- [2] 朱宏军, 程海丽, 姜德民. 特种混凝土和新型混凝土[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [3] 黄智山, 王大超. 混凝土的耐久性[J]. 混凝土, 2004, (6): 25-28.
- [4] 屠柳青, 张国志, 夏卫华, 等. 抗氯盐污染高性能混凝土及评价方法研究[J]. 混凝土, 2004, (2): 33-35.
- [5] 中国工程院土木水利建筑学部咨询研究项目组. 混凝土结构耐久性设计与施工指南[M]. 北京: 中国建筑工业

出版社, 2004.

- [6] GB/T 50080—2002, 普通混凝土拌合物性能试验方法标准[S].
- [7] GB/T 50081—2002, 普通混凝土力学性能试验方法标准[S].
- [8] GB 82—85, 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法[S].
- [9] CCES 01—2004(2005 版), 混凝土结构耐久性设计与施工指南[S].
- [10] JGJ 55—2000, 普通混凝土配合比设计规程[S].
- [11] JTJ 270—98, 水运工程混凝土试验规范[S].
- [12] JTJ 269—96, 水运工程混凝土质量控制标准[S].
- [13] DBJ/T 01—64—2002, 混凝土矿物掺和料应用技术规范[S].

## Study and Application of the Anti - corrosion - & - rust Concrete in the Oceanic Freeze - thaw Surroundings

CHEN Xi - wang, HUANG Tian - gui, SHI Zhong, DING Hong, LI Lu - ming

( Commercial Concrete Center, Beijing Construction Group, Beijing, 100022, China)

**Abstract:** According to the characteristics of the oceanic freeze - thaw surroundings where the Caofeidian Industrial Zone is located, the anti - corrosion - & - rust concrete is developed and used in the course of move and reconstruction of the Capital Iron & Steel Complex. Combined with what has been done in the reconstruction, the mechanical property and durability of the anti - corrosion - & - rust concrete and how it is used in this reconstruction are analyzed.

**Key words:** oceanic freeze - thaw surroundings; anti - corrosion - & - rust concrete; durability

作者简介: 陈喜旺(1975-), 男, 河南安阳人, 工程师, 1998 年 7 月毕业于哈尔滨建筑大学无机非金属材料专业, 现攻读清华大学工程硕士, 从事预拌混凝土全面质量控制与技术管理工作。

收稿日期: 2008-09-22

(编辑 盛晋生)

沟通信息的窗口 传播技术的桥梁

——建材技术与应用

邮发代号: 22—49