

# 中美欧海洋混凝土结构耐久性设计参数对比分析

冯云芬<sup>1</sup>, 冯泽玉<sup>2</sup>

(1. 聊城大学建筑工程学院, 山东 聊城 252059; 2. 莘县黄河河务局, 山东 莘县 252400)

**摘要:** 海洋环境是混凝土结构耐久性问题的主要诱因,有必要对国内外海洋混凝土结构耐久性设计方法进行对比分析,为设计施工人员进行涉外工程提供参考。对中美欧海洋环境下的主要耐久性参数:水灰比、最小混凝土强度和最小保护层厚度进行对比分析。结果表明:确定耐久性参数时,欧洲与我国规范均比较全面,整体上我国更详尽与严谨;最大水灰比与最小混凝土强度各国均考虑了环境因素;美国规范在确定最小保护层厚度时单独列出了壳体和折板构件,比中欧规范更全面。

**关键词:** 混凝土结构; 海洋环境; 耐久性; 混凝土强度; 保护层厚度; 水灰比

中图分类号: U654 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2022) 11-0156-03

## 1 引言

海洋环境是引起混凝土耐久性劣化的主要诱因之一<sup>[1]</sup>。随着我国经济的发展与“一带一路”倡议的提出,我国建筑企业涉外工程日益增多,国际设计、施工单位也逐渐进入国内市场。规范在结构设计方面起着重要的指导作用<sup>[2]</sup>,各国混凝土结构耐久性设计规范的相关规定也不尽相同,因此有必要研究国内外混凝土结构耐久性设计方法的异同之处。

目前,国际上最具影响力的混凝土设计规范主要是美国规范《混凝土结构建筑规范》(ACI318-19)<sup>[3]</sup>与欧洲混凝土结构设计规范(EN1992-1-1: 2004 混凝土结构设计-第1-1部分:一般规程与建筑设计规程)<sup>[4]</sup>,我国《混凝土结构耐久性设计标准(GB/T 50476-2019)》<sup>[5]</sup>在前几版的基础上,经过修改也更规范化。目前,各国的耐久性设计思路一般都是先确定环境类型与环境作用等级,再确定混凝土水胶比(或水灰比)、混凝土强度、保护层厚度等设计参数<sup>[6]</sup>。本文针对中、美、欧海洋环境混凝土结构耐久性设计的相关设计参数进行对比分析,旨在分析国内外混凝土耐久性设计方法的异同,为我国混凝土结构设计规范的进一步修订提供参考,为设计施工人员进行涉外工程提供帮助。

## 2 水灰比与混凝土强度

混凝土密实性与抗渗性是氯离子扩散速度及混凝土耐久性的重要影响因素,这主要与混凝土水灰比、胶凝材料的组成及混凝土强度有关。

### 2.1 我国规范 GB/T 50476-2019

我国规范规定的海洋环境混凝土结构的最低混凝

土强度等级、最大水胶比和最小混凝土保护层厚度,见表1<sup>[5]</sup>。

### 2.2 欧洲规范 EN1992-1-1

欧洲规范规定的海洋环境混凝土结构的最小混凝土强度和最大水灰比,见表2。

### 2.3 美国规范 ACI318-2019

美国规范环境类别中没有单列海洋氯盐环境,仅在暴露类别:钢筋防腐环境C2中提及海水环境,其最大水胶比与最小抗压强度,见表2。C2类别规定的混凝土最低抗压强度为5000psi(34.48MPa),大体相当于我国的C40混凝土。

### 2.4 对比分析

由此表1和表2可看出,中、美、欧规范都以环境条件为主要因素,但由于国情、所用材料、地理位置、环境等条件不同,所考虑因素也不同。确定结构等级与混凝土强度时,我国考虑了设计使用年限、环境等级与构件类型等因素<sup>[5]</sup>;欧洲规范考虑了设计使用年限与环境等级;美国规范仅考了环境作用等级。我国将海洋环境分为4个等级,其中潮汐区与浪溅区考虑了气候影响,将其分为Ⅲ-E和Ⅲ-F两级,因此我国相比欧美更为严谨,对混凝土强度的要求也相对较高。

确定最大水灰比时,中欧规范基本都考虑了环境类别、环境等级、结构设计年限等因素;美国规范考虑因素较单一,仅考虑了环境作用,由于自身未划分环境作用等级,因此并未规定不同环境作用等级下的水胶比。各国水灰比的规定差距不大,基本在0.35-0.5之间。

表 1 海洋环境混凝土结构的混凝土强度等级、水灰比与最小保护层厚度 c(mm)<sup>[5]</sup>

构件类型	环境作用等级	100 年			50 年			30 年		
		砼强度等级	最大水胶比	c	砼强度等级	最大水胶比	c	砼强度等级	最大水胶比	c
板、墙等面形构件	III-C	C45	0.40	45	C40	0.42	40	C40	0.42	35
	III-D	C45	0.40	55	C40	0.42	50	C40	0.42	45
		≥C50	0.36	50	≥C45	0.40	45	≥C45	0.40	40
	III-E	C50	0.36	60	C45	0.40	55	C45	0.40	45
		≥C55	0.33	55	≥C50	0.36	50	≥C50	0.36	40
	III-F	C50	0.36	65	C50	0.36	60	C50	0.36	55
梁、柱等条形构件	III-C	C45	0.40	50	C40	0.42	45	C40	0.42	40
	III-D	C45	0.40	60	C40	0.42	55	C40	0.42	50
		≥C50	0.36	55	≥C45	0.40	50	≥C45	0.40	40
	III-E	C50	0.36	65	C45	0.40	60	C45	0.40	50
		≥C55	0.33	60	≥C50	0.36	55	≥C50	0.36	45
	III-F	C50	0.36	70	C50	0.36	65	C50	0.36	55
≥C55	0.33	65	≥C55	0.36	60					

表 2 欧美海水环境最小混凝土强度与最大水灰比<sup>[3,4]</sup>

欧洲规范		美国规范			
环境等级	最大水灰比	混凝土最小强度	环境等级	水胶比	最小抗压强度
XS1	0.50	C30/37			
XS2	0.45	C35/45	C2	0.4	5000psi(34.84MPa)
XS3	0.45	C35/45			

注：斜杠前面为圆柱混凝土强度，后面为立方体混凝土强度；欧洲规范相关数据是根据设计使用寿命 50 年确定的。

### 3 混凝土保护层厚度

增大混凝土保护层厚度是提升混凝土结构耐久性的重要措施<sup>[7]</sup>。中、美、欧规范均规定了满足耐久性要求的保护层厚度，均考虑了环境等级、设计使用年限、混凝土强度等级等因素，由于种种原因，规定的最小保护层厚度有一定的差距。

我国混凝土保护层厚度是指混凝土表面到钢筋公称直径外边缘的最小距离<sup>[5]</sup>。欧洲规范规定的混凝土保护层厚度是混凝土表面至最外层分布筋或箍筋表面的距离<sup>[4]</sup>，欧洲规范的施工图标注的一般为名义厚度。

#### 3.1 我国规范 GB/T 50476–2019

我国规范规定的海水环境的最小保护层厚度见表 1。

#### 3.2 欧洲规范 EN1992–1–1

欧洲规范将名义保护层厚度定义为最小混凝土保护层厚度加上设计偏差裕度：

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} \quad (1)$$

式中： $c_{\text{min}}$  为满足粘结、耐腐蚀和防火要求的最小保护层厚度，见表 3； $\Delta c_{\text{dev}}$  为设计中的偏差裕度。

满足粘结和环境条件的最小保护层厚度  $c_{\text{min}}$  为：

$$c_{\text{min}} = \max\{c_{\text{min},b}; c_{\text{min},\text{dur}} + \Delta c_{\text{dur},\gamma} - \Delta c_{\text{dur},st} - \Delta c_{\text{dur},add}; 10\text{mm}\} \quad (2)$$

式中： $c_{\text{min},b}$  为满足粘结要求的最低保护层厚度 (mm)； $c_{\text{min},\text{dur}}$  为满足环境条件的最小保护层厚度，与结构等级

和环境暴露等级有关； $\Delta c_{\text{dur},\gamma}$ 、 $\Delta c_{\text{dur},st}$ 、 $\Delta c_{\text{dur},add}$  分别为附加安全厚度，采用不锈钢时最小保护层厚度的减量和为采用附加防护措施如涂层时，最小保护层厚度的减量，可由执行欧洲规范国家的国家附录规定，若无进一步说明，欧洲规范推荐取 0。

表 3 按 EN 10080 设计的钢筋混凝土构件满足

耐久性要求的最小保护层厚度  $c_{\text{min}}$  (mm)

环境等级 结构等级	XS1	XS2	XS3
S1	20(30)	25(35)	30(40)
S2	25(35)	30(40)	35(45)
S3	30(40)	35(45)	40(50)
S4	35(45)	40(50)	45(55)
S5	40(50)	45(55)	50(60)
S6	45(55)	50(60)	55(65)

注：括号内为预应力混凝土构件的最小保护层厚度。

#### 3.3 美国规范 ACI318–19

美国规范 ACI318–19 分现浇与预制两种情况，考虑暴露类型、构件类型与采取的钢筋直径等因素，确定了最小混凝土保护层厚度。氯盐环境的最小混凝土保护层厚度，见表 4。

表 4 美国氯盐环境混凝土构件保护层厚度<sup>[3]</sup>

构件类型	墙、板	其他构件
保护层厚度	2in(50.8mm)	2.5in(63.5mm)

#### 3.4 对比分析

混凝土保护层厚度与诸多因素有关，我国规范考虑了环境类型与环境等级（III-C—III-F 四个等级）、构件类型（条形构件与面型构件）和混凝土强度等级等因素，考虑因素比较全面细致。由表 1 可看出，所处环境等级越高，混凝土保护层厚度越大；所处环境与设计使用年限相同时，由于受力情况不同，条形构件的保护层厚度较面形构件高 5mm；同一环境等级下，混凝土等级增加一级，混凝土保护层厚度会相应减小 5mm；同一设计年限下，混凝土强度与水灰比相同时，环境等级增加一级，混凝土保护层厚度大致增加 5–10mm。

欧洲规范确定混凝土保护层厚度时，考虑因素也较多，其中包含粘结、防火和耐久性要求。通过选用合适的钢筋类型（普通钢筋还是钢筋束）确定相应保护层厚度以满足粘结要求；根据结构所处环境类型与环境等级与结构等级确定满足最低耐久性要求所需的混凝土保护层厚度<sup>[2]</sup>。考虑施工时混凝土保护层厚度不易控制，欧洲规范规定了最小混凝土保护层厚度可接受的负偏差，规范推荐值为 10mm，若构件是遵循相关质量保证体系制作的或采取非常精确的仪器测量保护层厚度并摒弃不

# SHA 对沥青性能的影响

徐海峰<sup>1,2</sup>, 曹安贞<sup>1,2</sup>, 尹茂群<sup>3</sup>

(1. 山东建筑大学交通工程学院, 山东 济南 250001; 2. 山东省交通科学研究院, 山东 济南 250014;  
3. 菏泽市建设工程质量检测中心, 山东 菏泽 274000)

**摘要:**介绍了煤基超硬质沥青(SHA)的来源、组成以及理化性质。总结了目前国内学者有关于将SHA用作沥青改性剂的研究成果,包括单一改性和与其他改性剂共混后的改性剂改性。试验结果表明SHA应用于沥青改性是可行的,但是仍然有许多问题需要解决,能否用于工业生产仍需进行大量研究。

**关键词:**煤液化残渣;超硬质沥青;改性沥青;沥青混合料;研究现状

中图分类号: U414 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973(2022)11-0158-03

沥青产品可以说在其他很多的道路材料结构组合方式中能够同时起到沥青粘结剂的重要辅助支撑作用,所以提升沥青产品本身的整体路用结构性能同时也意味着对于整体提升沥青路面系统结构的总体结构强度、耐久性、稳定性方面将能够起到一个至关而最重要的作用。随着当今我国城市公路交通的建设及水平提高,交通量压力也日益在不断增大,车辆也日趋大型化、重载化以及沟渠化作用,使得我国普通城市沥青路面工程将面临

着的各种考验也会是愈加严峻,传统的沥青路面在建成后不久便会出现譬如车辙、横纵向裂缝、松散、拥包、坑槽等病害。

在此基础上,我国开始广泛采用SBS改性沥青为主的聚合物改性沥青。SBS改性沥青可以通过有效措施改善沥青制品的抗车辙能力,降低沥青剥离强度和沥青温度敏感性,但是由于SBS与基质沥青在结构和性质上的巨大差异,导致其加热剪切搅拌时相容困难。在车辆储

合格产品时,保护层设计偏差裕度可视情况降低。

美国规范ACI318-19分现浇与预制两种情况,并考虑了暴露条件、构件类型、与钢筋类型和型号。与中欧规范相比,美国规范针对不同钢筋直径,规定了不同的混凝土保护层厚度。预应力构件保护层厚度较非预应力构件稍薄,条形构件较其他构件的保护层稍厚一些。此外,该规范在构件类型中单独列出了壳体和折板构件,而我国规范并未列出。

## 4 结论

(1)最大水灰比与最小混凝土强度各国均考虑了环境因素。我国同时考虑了设计使用年限、环境作用等级与构件类型;欧洲考虑了设计使用年限和环境作用等级;美国仅考虑了环境作用等级。整体看,我国相对比较严谨。

(2)对于最小保护层厚度,我国考虑了环境类型与环境等级、构件类型和混凝土强度等级等因素,考虑因素比较全面细致。欧洲规范根据环境类别与环境作用等级、钢筋类型分别确定了满足最低耐久性与粘结要求的最低保护层厚度;此外还规定了保护层厚度的负偏差。美国规范分现浇与预制两种情况,考虑了暴露条件、构件类型、钢筋类型和型号、钢筋直径的影响等因素。在

考虑构件类型时,美国规范较我国更全面,列出了壳体和折板构件,不过整体上我国考虑的因素更为详尽。

## 参考文献:

- [1] 牛荻涛. 混凝土结构耐久性与寿命预测 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
  - [2] 贡金鑫, 魏巍巍, 胡家顺. 中美欧混凝土结构设计 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
  - [3] ACI 318-19. Building code requirements for structural concrete [S]. 2019.
  - [4] EN 1992-1-1:2004. Design of concrete structures[S]. 2004.
  - [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 50476-2019 混凝土结构耐久性设计规范 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
  - [6] 杨绿峰, 洪斌, 余波. 混凝土结构耐久性控制区及设计参数的定量分析 [J]. 建筑结构学报, 2016, 37(1):126-134.
  - [7] 马景才, 姚继涛. 混凝土结构耐久性及各国最小保护层厚度对比分析 [J]. 四川建筑科学研究, 2008, 34(4):110-112.
- 基金项目: 山东省住房城乡建设科技计划项目(2021-K3-1); 聊城大学博士科研启动基金(318051702, 318051533)