

浅谈海边灌注桩混凝土配合比设计

廖之池

江西省地质局第六地质大队

摘要: 海边灌注桩混凝土配合比设计是一项至关重要的工作, 需要充分考虑环境因素和工程要求。在配合比设计中, 强度和耐久性是需要特别关注的核心要素。考虑到海水的腐蚀性需要选择高强度等级的混凝土, 同时, 为了提高混凝土的耐久性, 需要加入适量的防腐剂和耐久性增强材料, 只有通过科学合理的设计才能确保海边灌注桩混凝土的性能和质量, 满足工程的安全性和长期使用要求。

关键词: 海边灌注桩; 混凝土; 配合比; 设计

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-627X.2023.07.086

引言

海边灌注桩混凝土配合比设计是一项系统性的工作, 通过优化配合比和选用优质原材料可以实现高性能的混凝土, 使灌注桩混凝土在沿海工程中具有良好的耐久性、强度和工作性能, 同时具有较高的经济效益。在实际工程中设计人员还需根据具体项目的要求综合考虑各种因素, 以达到最佳的设计效果。

一、工程概述

在我国沿海地区大规模兴建的背景下, 海边工程的耐久性需求日益受到重视。在浙江省海边地区, 由于海边中氯离子的渗入和扩散, 造成混凝土内部钢筋的腐蚀和膨胀, 从而引发混凝土开裂, 造成了严重的腐蚀损伤。同时, 海边中的硫酸盐(SO₄²⁻)会在混凝土中与其水化产物发生反应, 生成具有较高吸水性的难溶盐类和钙矾石, 从而引起混凝土结构损伤。当混凝土受到一定的损伤时, 其抗硫酸盐腐蚀能力明显降低。

二、海边灌注桩混凝土配合比设计的目标

1. 耐久性

海边环境中的盐分和其他有害物质可能对混凝土造成腐蚀, 提高混凝土的耐久性是设计的首要目标。要选择合适的混凝土原材料, 优化配合比, 采取适当的施工工艺。混凝土的碳化深度和氯离子渗透深度是评价混凝土耐久性的两个重要指标, 混凝土的碳化深度和氯离子渗透深度不超过5 mm时不影响混凝土结构的承载力, 对结构的耐久性影响较小; 碳化深度和氯离子渗透深度超过5 mm时会导致钢筋锈蚀, 危及结构的安全, 所以海边地区的混凝土配合比设计必须考虑混凝土抗冻性和抗氯离子渗透性能。

2. 强度

保证混凝土的强度能够满足工程要求, 特别是在承受大风和波浪冲击的情况下。为此, 需要通过合理的设计和选用高品质的原材料, 针对工程项目的特点合理选定混凝土结构形式和尺寸, 以确保结构在承受大风和波浪冲击时具有足够的强度和稳定性。在承受大风和波浪

冲击的部位, 应适当增加钢筋直径和加密间距。

3. 工作性能

混凝土配合比设计应满足混凝土的工作性能, 包括流动性、抗冻性、抗冻融循环能力等。流动性是指新拌混凝土在施工过程中能保持良好的工作状态, 不离析、不泌水和泌浆, 在配合比设计时必须予以考虑。

4. 经济性

要根据工程建设的实际情况并考虑施工、设计的合理要求确定混凝土原材料的种类、规格、数量及质量等级, 根据设计要求确定混凝土水灰比、砂率、用水量等配合比, 及时调整原材料用量, 达到设计的质量要求。根据施工机械设备和人员素质等条件制定施工配合比方案, 组织技术交底及施工过程控制, 按混凝土原材料质量要求及施工配合比要求进行试拌和混凝土试压, 及时调整原材料用量, 确保混凝土质量满足设计及规范要求。

三、灌注桩混凝土配合比设计要求

在进行灌注桩混凝土配合比设计时, 必须考虑到以下几点:

第一, 按照JTS257-2-2012《海港工程混凝土质量控制标准》3.4.1条的规定, 混凝土在海边环境下的耐久性设计, 应根据其使用环境和建筑部位的具体情况而定。

第二, 为改善混凝土耐久性和防止碱-骨料反应, 需对海边环境下混凝土中的集料进行碱性检测, 严格禁止掺入碱性集料。

第三, 水胶比要按照混凝土的抗氯盐渗透性、抗渗性能、配比强度等指标来确定, 并通过调整水胶比、外加剂掺量、品种等方法, 实现混凝土的各项性能指标。

第四, 在兼顾经济性的前提下, 混凝土的配合比设计要满足结构设计所需的强度等级、耐久性、体积稳定性和工作性能。

四、海边环境混凝土原材料

1. 水泥

水泥是混凝土的基础材料之一，常用的有普通硅酸盐水泥和海工特种水泥，由于海水中含有大量的氯离子，为了抵抗腐蚀，有时还会使用高铝酸盐水泥。按GB/T50477-2008中第B.1.6节规定的水泥中的铝酸钙含量，并根据当地土质条件，按8%-10%进行计算。根据检测结果，采用P.042.5水泥，由泰州一水泥有限公司制造，各项技术参数详见表1。

表1 水泥性能

氯离子/%	碱含量/%	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa		铝酸三钙/%
		3d	28d	3d	28d	
0.024	0.66	23.6	46.8	4.9	7.6	8.67

2. 骨料

混凝土中的骨料分为粗骨料和细骨料，在混凝土中起到骨架的作用，对混凝土的强度和耐久性有着重要影响，海边环境下应选择质地坚硬、耐久性好的骨料。

(1) 细骨料。在工程设计中，不能采用碱反应性细集料，应选用中粗砂，质量应满足《建设用砂》国家标准GB/T14684-2011，本文所选用的细集料是II级中细砂。

(2) 粗骨料。在工程设计中，不应采用碱活性骨料，应采用碎石，质量应满足GB/T14685-2011《建设用

卵石、碎石》的规定，并对其级配有较高的要求，最大粒度不超过40毫米，推荐采用5-31.5毫米。

3. 外加剂

外加剂是混凝土中不可或缺的一部分，可以改善混凝土的性能，提高混凝土的耐久性和稳定性。常用外加剂包括：抗海水侵蚀剂、减水剂、缓凝剂等。按照《混凝土外加剂》GB8076-2008标准，不同掺合料在混凝土中引入的氯离子浓度不能超过0.02%。本文采用的外加剂是一种缓凝型高效外加剂，各项技术参数详见表2。

表2 缓凝高效减水剂性能

氯离子含量/%	总碱量/%	减水率/%	含气量/%	抗压强度比/%		固含量/%
				7d	28d	
0.02	1.92	25	3.0	142	131	19.86

4. 粉煤灰

粉煤灰是一种在火力发电厂中产生的废弃物，加入混凝土中可以降低海洋混凝土的温度，降低混凝土的收缩和裂缝的产生，使混凝土在海洋环境下更稳定。在工程设计中，可以使用I级粉煤灰作为外加剂，其各项指标要满足GB/T1596-2005《用于水泥和混凝土中粉煤灰》的有关规定。本文所选用的粉煤灰为F级I级灰，各项技术参数详见表3。

表3 粉煤灰性能

细度	需水量	烧失量	含水量	三氧化硫	游离氧化钙	碱含量	氯离子
7%	83%	4.12%	0.2%	0.22%	0.51%	1.22%	0.015%

5. 矿物掺合料

矿物掺合料是混凝土中的重要组成部分，如硅灰、矿渣、粉煤灰和硅藻土等，可以增强混凝土的密实性和强度，并提高混凝土的抗风化性和耐久性。根据《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》的有关技术条件进行结构设计，设计的粒度采用S95级的矿粉，各项技术参数如表4所示。

表4 矿物掺合料性能

密度 / (g/cm ³)	比表面积 / (m ² /kg)	活性指数/%		烧失碱含氯离子		
		7d	28d	量/%	量/%	子/%
2.9	418	81	102	0.85	0.81	0.009

6. 防腐剂

防腐剂可以减轻海水腐蚀的影响，提高混凝土的耐腐蚀性。根据《混凝土抗硫酸盐类侵蚀防腐剂》的有关规范，对防腐材料的防腐性能提出了相应的要求。配制的防腐剂，其各项性能参数详见表5。

表5 防腐剂性能

抗蚀系数 (K)	膨胀系数 (E)	抗压强度比/%		膨胀率/%		碱含量 1%	氯离子含量 1%
		7d	28d	1d	28d		
0.92	0.95	102	105	0.12	0.29	0.56	0.02

7. 拌合用水

根据工程设计的需要，对混凝土拌合用水的质量控制提出了相应的指标，如JGJ63-2006《混凝土用水标准》。混凝土拌合用水中含有12.51mg/L氯离子和23.2mg/L的碱含量。

五、检测结果与配比设计的确定

1. 试配的混凝土

(1) 水泥的强度等级必须与混凝土强度等级相匹配，否则会造成单位体积水泥消耗量偏小，从而降低混凝土的强度及耐久性。反之，掺入太多的水泥，不仅增加了混凝土出现开裂的可能性，也是不经济的。

(2) 混凝土中砂粒间的空隙被水泥浆填满，为节省水泥并提高混凝土的强度，必须尽可能地减小砂粒间的间隙，只有用较小的一阶颗粒填满上一级砂粒间的空隙，然后依次类推，将粗、中、细划分成粗、中、细三种，在同等质量的情况下，粗砂的表面积小于细粉，所需的水泥用量也小于细粉，所以粗砂可以节省水泥，中砂介于二者之间，如有条件应尽可能选用级配符合II区要求的中砂。

(3) 选择碎石的指标主要包括级配、形状和强度

级配：连续级配矿物混合料的优点是密实度较高、工作性能好，不会出现分层和离析等情况，但连续级配与非连续级配相比，同样的强度等级，在配制同样强度的混凝土时需要更多的水泥。

形状：形状的检验以片状物含量为主要指标，片状物太多会对拌合物的工作性能及硬化后的混凝土强度产生不利影响。在调节连续级配时，合理控制掺入量，使级配能达到规范的要求，而且总体的片状也不会太多。

强度：为了确保混凝土的强度，粗骨料的结构要紧密，并且有一定的强度。在选择砂石时，如果对场地材料不熟悉，则需要对母材进行饱水抗压强度测试。选择质量稳定、信誉好的厂家，在进行试配时，要尽可能多地进行实验，用量不宜过大，同时要观察掺合料与水泥的配合情况，当掺入量增加或减少时，坍落度会发生显著的改变，并且不会出现渗水现象。

通过检测和调试，获得三组不同配比的混合料，如表6所示。

表6 试配配合比

试配	试配强度/MPa	砂率1%	水	水泥	砂	材料用量/(kg/m ³)			矿渣粉	阻锈剂	防腐剂
						石	减水剂	粉煤灰			
A		40	155	280.1	726	1088	5.17	86.2	64.7	12.93	12.93
B	48.2	41	155	265.2	753	1084	4.90	81.6	61.2	12.24	12.24
C		42	155	252.2	780	1077	4.66	77.6	58.2	11.64	11.64

2. 试配混凝土性能检测成果

试配混凝土的抗硫酸盐腐蚀测试。在干湿交替15次后，检测配合比A、B、C的抗压强度降低到96.9%，抗压强度降低到94.2%，抗压强度降低到91.1%。在干湿交替次数递增到90次的情况下，检测配合比A、B、C的抗压强度指标依次减小到83.1%、77.6%、70.2%。在硫酸钠水溶液中进行干、湿交替作用后，试件抗压强度和耐蚀性均有所下降。其根本原因是：在干湿交替作用下，硫酸盐中的SO²⁻会渗入到混凝土中，并与水化铝酸钙反应生成膨胀型钙矾石，引起体积膨胀，导致混凝土结构发生局部缺陷。在干湿交替作用下，硫酸盐更易渗入到混凝土中，引起结构损伤，使其强度显著降低。

3. 混凝土配合比的确定

通过对A、B、C三种检测配合比进行28天的抗压强度测试，绘制出其强度与胶水比之间的线性关系，并结合勘察报告、结构耐久性设计和经济性等因素，将检测方案B作为目标配合比。以此为基础拌和配制的混凝土拌合物，初坍至200mm左右，工作性能优良，满足工程需要。在此基础上，提出了一种新的混凝土结构体系，该体系具有良好的力学性能。混凝土中的碱量是2.434kg/m³，氯离子浓度是0.021%，氯离子扩散系数是4.8×10⁻¹²米²/s，混凝土的抗渗级别达到P12，抗硫酸盐腐蚀级别不小于KS90，这样的目标配合比混凝土能够满足50年以上的高耐久性的钢筋混凝土结构的设计要求。

六、工程应用

本文以浙江舟山某石化项目为研究对象，通过对灌注桩混凝土进行合理的配比设计与质量调控，使其在实际工程中的各项性能能够满足海水侵蚀环境下混凝土结

构的设计需求。

1. 混凝土拌合物的性能

本文设计的C40桩基在海洋环境中具有优良的工作特性，在现场施工中，其初始坍落度为(190±20)mm，1小时的坍落度损失35-45mm，含气量的3.2%~4.5%，完全能够满足工程需要。

2. 混凝土的力学性能

灌注桩混凝土试样的抗压强度为48.5-50.6MPa，其主要原因是根据海边工程混凝土的特性，对其进行了相应的提高，同时对原材料的质量进行了严格的控制，使其在工程中使用，其强度都能达到优异的标准。

3. 混凝土的耐久性

混凝土碱含量应控制在(2.1-2.5)kg/m³之间，其氯离子含量在(0.018-0.024)%之间，同时，混凝土中的氯离子扩散系数不能超过5.5×10⁻¹²米²/s。混凝土的抗渗性应达到P10以上，抗冻性应达到KS90以上，通过耐久性试验，结果表明，灌注桩的耐久性满足了设计要求。

七、结语

在海边环境中灌注桩混凝土工程中，通过调整水胶比、大掺量矿物掺合料、掺入适量掺合料、复合添加剂等方法，降低水泥用量，减少碱-骨料反应，改善混凝土力学性能、体积稳定性及抗海边侵蚀能力，并通过对混凝土原料品质的调控，制备出满足结构和耐久性指标的混凝土。

参考文献

[1] 杨绿峰, 陈旺, 陈昌, 余波. 考虑施工需求的混凝土结构耐久性定量设计参数协调取值方法[J]. 建筑结构学报, 2020, 41(3): 123-131.