

海砂资源化及海水海砂纤维混凝土的应用研究进展

赵英键 于建军

河北科技大学建筑工程学院 河北 石家庄 050018

摘要: 鉴于当前淡水和河砂资源的日益匮乏, 本文结合地方海砂和海水资源的实际情况, 系统分析了海砂资源应用的必要性和可行性。通过对国内外海砂资源利用现状及海水海砂混凝土耐久性研究的综述, 探讨了保持和提高海水海砂混凝土耐久性的方法, 分析了掺加纤维对海水海砂混凝土性能提升的原理, 并对未来海水海砂纤维混凝土的研究给出了研究思路, 以期对海水海砂混凝土应用于实际工程应用提供借鉴。

关键词: 海水海砂纤维混凝土; 耐久性; 混杂纤维; 单掺纤维; 提升机理

引言

随着全球建筑业的迅猛发展, 淡水和河砂资源的消耗量日益增加, 资源的匮乏问题逐渐显现。为了应对这一挑战, 研究和利用替代材料成为解决资源短缺的重要途径。海砂是丰富且易得的资源, 与河砂相比, 其具有含泥量低和细度适中的优点, 然而, 由于海砂携带海水中的氯盐、硫酸盐、镁盐等成分对混凝土的力学性能及耐久性造成了许多不确定的影响。海水中的氯离子导致混凝土中钢筋腐蚀、锈蚀膨胀和黏结力减弱^[1]; 同时, 海砂中的碱性物质会与混凝土发生化学反应, 生成水化产物而引起膨胀开裂, 进一步加速了氯离子的侵蚀。因此, 淡化海砂是制备海水海砂混凝土的首要步骤。然而, 部分研究者逐渐关注通过在混凝土基体中掺入纤维材料, 以利用纤维的界面“桥连”效应来增强混凝土的抗损伤能力, 代替传统的淡化处理方法^[2]。所以, 研究海水海砂纤维混凝土的应用, 探讨其耐久性提升方法, 具有重要的实际意义。

1 国内外海砂资源应用概况

1.1 国外海砂资源应用概况

海砂指的是未经过淡化处理且受海水侵蚀的砂, 是重要的海洋矿产资源之一。全球范围内包括英国、荷兰、日本、韩国等多个国家的土木工程项目都曾使用过海砂。荷兰在欧洲国家中对海砂的需求量和开采量居

首, 并且是全球最早系统性进行海砂资源调查、评估与应用的国家之一。如图1所示, 从2000年至2005年, 欧盟国家中荷兰的年均海砂使用量最高^[3]。

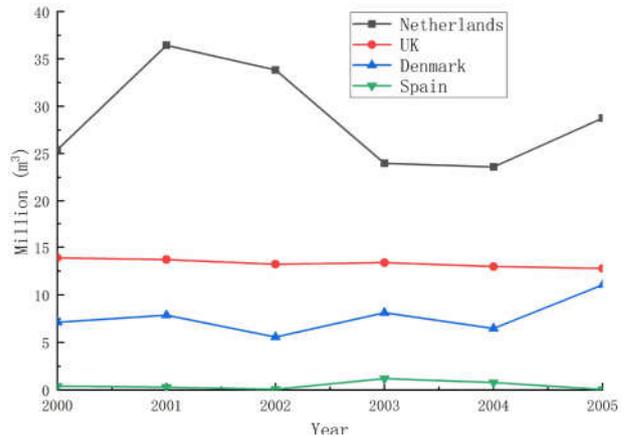


图1 欧洲国家海砂使用量

在亚洲, 日本是最早使用海砂的国家之一, 其在混凝土中的应用历史可以追溯到明治初期。根据一项调查显示^[4], 在受访的998个工厂中, 有380个工厂(约占38%)建设中使用海砂, 这些工厂分布于包括北海道在内的大部分沿海地区。韩国自20世纪90年代起开始开采并利用海砂资源, 大量海砂开采后被用于混凝土骨料^[5]。为此不同国家针对海砂资源的开采和应用都制定了相应的标准与规范, 如表1^[6]。

表1 不同国家海砂资源应用情况

国家	使用年份	相关标准	代表工程
荷兰	20世纪初期	《开采法案》	鹿特丹港
英国	20世纪中期	(BSEN12620:2002+A1:2008)	布莱顿码头
日本	明治初期	《建筑工程标准说明书》(JASS5)	肥前长崎鼻灯塔
中国	20世纪80年代	《海砂混凝土应用技术规范》	上海宝钢马迹山港
韩国	20世纪90年代	《KSF2374:混凝土用砂的规范》	釜山国际金融中心

1.2 国内海砂资源概况

中国作为海洋大国, 海域国土面积约为 $3 \times 10^6 \text{ km}^2$,

拥有6500多个海岛,大陆海岸线长度达 $1.8 \times 10^4 \text{ km}$,近海水海砂资源总量约为 $7 \times 10^{10} \text{ m}^3$,海洋资源非常丰富,具有十分重要的经济和战略地位^[7]。我国不同海域海砂化学成分及含量见表2^{[8]~[10]}。

表2 我国海岸沿线海砂质量指标

地区	海域	氯离子含量/%	贝壳含量/%	含泥量/%
宁波	东海	0.110	8.2	0.53
青岛	黄海	0.149~0.225	1.1	0.78
漳州	台湾海峡	0.073~0.080	10.0	0.64
珠江口	南海	0.062	2.0~3.0	0.75

2 海水海砂混凝土耐久性保持与提升技术

2.1 钢筋缓蚀剂

海水海砂混凝土与普通混凝土中钢筋的腐蚀机理如

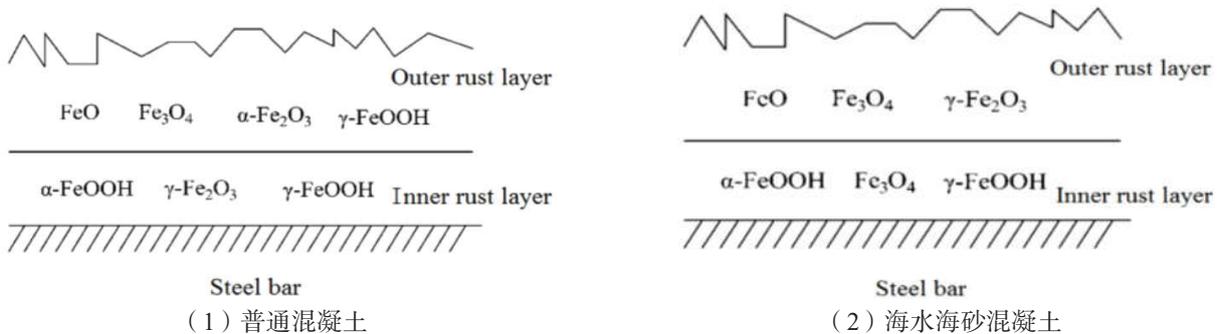


图2 不同钢筋混凝土锈蚀分层示意图^[11]

2.2 添加矿物掺合料

在工程实践中,常用的优质矿物掺合料包括粉煤灰、矿粉、硅灰等。矿物掺合料中的活性物质与水泥水化产物钙羟石(CH)反应产生比表面积更大的硅酸钙水化物(C-S-H),从而吸附游离氯离子并控制其在混凝土内部的扩散,此外,矿物掺合料中的氧化铝与CH反应生成水化铝酸钙,它将结合游离氯离子生成水化氯铝酸钙晶体,能够填充混凝土内部孔隙,使其更加紧密,从而有效提高混凝土抗离子渗透能力,增加混凝土的使用寿命。

2.3 掺加纤维增强材料

目前在建筑行业中,常用的纤维有钢纤维、碳纤维、玄武岩纤维、聚乙烯纤维、聚乙烯醇纤维等纤维^[13],在混凝土中掺加适量纤维能提高混凝土的力学性能,以及材料的密实度和耐腐蚀性。

黄学开^[14]研究在混凝土基体中添加玄武岩纤维和聚丙烯纤维,结合优质矿物掺合料,进行了不同纤维体积掺量下的纤维混掺海水海砂混凝土抗侵蚀性能试验。试验结果表明,混掺纤维能够有效抑制内部裂缝的进一步扩展,从而显著提升混凝土的耐久性。

图2^[11],海水海砂混凝土由于其内部较高的氯离子含量,会在较短时间内引起钢筋的腐蚀。然而,腐蚀过程存在一个临界点,超过该临界点后,腐蚀程度不会显著增加。钢筋在混凝土中发生锈蚀需要满足三个条件:(1)钢筋表面存在电位差形成腐蚀电池;(2)钢筋钝化膜被破坏并处于活化状态;(3)存在足够的水和氧供反应发生。因此,若能有效阻止上述三个条件的出现,就可以保护海水海砂混凝土中的钢筋,从而提高其耐久性。

国内外关于海水海砂混凝土中钢筋锈蚀及其防锈措施的研究,主要集中在新型复合缓蚀剂的开发和组合。其作用机理在于通过化学缓冲作用提高氯化物的临界阈值,或在腐蚀开始后减缓腐蚀速率^[12]。

3 海水海砂纤维混凝土性能提升原理

混凝土中掺入纤维与否是纤维混凝土和普通混凝土的主要区别,纤维混凝土的性能主要由纤维混凝土结构中纤维的力学性能决定。纤维种类繁多并且纤维各具特点,混凝土中单掺与混掺纤维作用也不尽相同。

3.1 单掺纤维的效果

单掺纤维是指在混凝土中仅添加一种类型的纤维,例如钢纤维、聚丙烯纤维或玻璃纤维等。研究表明,单掺纤维可以显著提高海水海砂混凝土的抗裂性能和韧性,减少裂缝的产生和扩展,从而提高混凝土的耐久性。

3.2 混杂纤维的效果

混杂纤维是指在混凝土中同时添加两种或多种类型的纤维,通过不同纤维的协同作用,进一步提升混凝土的综合性能如图3。纤维的添加能够在混凝土中形成局部致密的结构,其在面层和基体内部的高分散性有助于增强混凝土的整体致密性。故而可以有效地延缓外部侵蚀性物质的渗入。同时,对于已渗入的侵蚀性物质以及混凝土内部固有的侵蚀性成分,纤维的存在也能起到显著的缓释作用。同时,混杂纤维的协同效应可以有效弥补单一纤维的不足,显著提升海水海砂混凝土的整体性能。

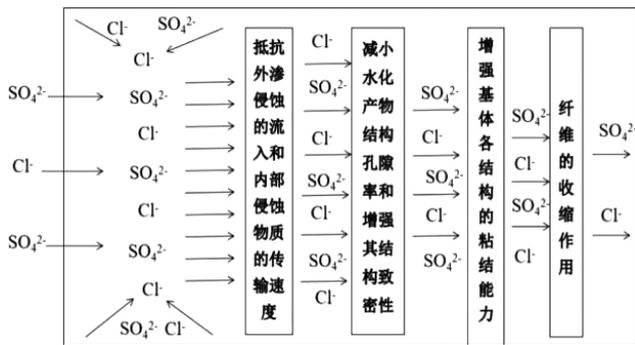


图3 纤维增强机理

4 结语

海水海砂混凝土的研究和应用，是应对淡水和河砂资源匮乏的重要途径。通过合理的材料选择和技术手段，可以有效提升海水海砂混凝土的性能和耐久性。对于海水海砂纤维混凝土未来的研究应继续关注新材料如纳米纤维、复合纤维等材料的开发，以期海水海砂纤维混凝土在实际工程中的应用提供坚实的理论和政策支持。

参考文献

[1]姜玉丹.海工混凝土中Cr10Mo1耐蚀钢筋钝化与脱钝研究[D].青岛理工大学,2023.DOI:10.27263/d.cnki.gqudc.2023.000016.
 [2]王苏岩,李璐希,洪雷.荷载与冻融循环对CFRP-高强混凝土界面黏结性能影响[J].建筑材料学报,2016,19(03):479-484.
 [3]Velegrakis A F , Ballay A , Poulos S E , et al.European marine aggregates resources: Origins, usage, prospecting and dredging techniques[J].Journal of Coastal Research, 2010, SI

51(6):1-14.DOI:10.2307/40928815.

[4]山崎宽司,曾瑞玉.对于在日本使用海砂作为混凝土骨料的想法[J].水利水运科技情报,1975,(03):117-122.
 [5]Kim T G .Efficient management of marine resources in conflict: An empirical study of marine sand mining, Korea[J].Journal of Environmental Management, 2010, 91(1):78-86.DOI:10.1016/j.jenvman.2009.07.006.
 [6]史迪,王子潇,刘志勇.海砂资源化与海砂混凝土耐久性研究进展[J].青岛理工大学学报,2014,35(4):6.DOI:10.3969/j.issn.1673 - 4602.2014.04.005.
 [7]宋建欣.改革开放以来中国共产党维护南海主权权益研究[D].长春:吉林大学, 2020.
 [8]黄一杰,吴纪达,肖建庄,等.钢管海砂再生混凝土轴压性能试验与分析[J].建筑材料学报,2018,21(1):85-90.
 [9]邢丽,薛瑞丰,曹喜.海砂海水混凝土性能研究[J].混凝土,2015(11):137-141.
 [10]倪博文,王晶,王祖琦,等.纤维对海砂超高性能混凝土性能的影响[J].新型建筑材料,2018,45(10):5-7.
 [11]Wang,Wu,Li,et al.Microscopic Analysis of Steel Corrosion Products in Seawater and Sea-Sand Concrete[J].Materials, 2019, 12(20):3330-.DOI:10.3390/ma12203330.
 [12]张航,陈国福,宋开伟,等.适用于海水海砂混凝土阻锈剂的作用机理[J].材料导报,2014,28(20):116-121.
 [13]邓友生,陈国军,李培鹏,等.高韧性纤维混凝土特性及工程应用[J].混凝土,2023,(05):158-162+174.
 [14]黄学开.混掺纤维海水海砂混凝土抗侵蚀性能研究[D].河北科技大学,2022.DOI:10.27107/d.cnki.ghbku.2022.000704.