

The Experimental Research of Marine Engineering Magnesia-Phosphate Cement for Emergency Repair

Jiangbo Jiang¹, Qibin Zhang², Yangyi Lai²

¹China Unit 91531 of Navy, Sanya Hainan

²College of Logistical, Naval University of Engineering, Tianjin

Email: 419559095@qq.com, 13102170407@163.com

Received: Jun. 19th, 2017; accepted: Jul. 14th, 2017; published: Jul. 17th, 2017

Abstract

According to the particularity of emergency repair and build under marine environment, marine engineering Magnesium-phosphate Cements were made with seawater and sea sand; the best mixture ratio was obtained which meets the requirement of emergency repair and build by testing compressive strength of each age. Based on previous research results, the primary research of long-term strength performance about Marine phosphate magnesium concrete, steel-fiber reinforced Marine phosphate cement and Marine phosphate magnesium cement were performed in this paper. The research results show that early strength of all three kinds of Marine-phosphate cement overwater and underwater can meet the needs of the Marine environment emergency repair, but the long-term intensity variation regularity is not obvious. Further research about hydration and erosion influence of mix seawater should be performed.

Keywords

Magnesium-Phosphate Cement, Emergency Repair, The Marine Environment, The Seawater Mixing

应急抢修用海工磷酸盐胶凝材料试验研究

蒋江波¹, 张琦彬², 赖洋羿²

¹海军91531部队, 海南 三亚

²海军工程大学勤务学院, 天津

Email: 419559095@qq.com, 13102170407@163.com

收稿日期: 2017年6月19日; 录用日期: 2017年7月14日; 发布日期: 2017年7月17日

摘要

根据海洋环境下抢修抢建的特殊性,利用海水与海砂制备海工磷酸镁水泥砂浆。通过测试其各龄期抗压强度,获得满足抢修抢建基本性能要求的最佳配合比,在此基础上,对海工磷酸镁混凝土、钢纤维增强海工磷酸镁水泥胶砂、海工磷酸镁水泥胶砂在海洋中的水上及水下两种不同环境的长期强度性能进行了初步研究。结果表明,三种海工磷酸盐水泥基材料在水上和在水下的早期强度均能满足海洋环境下抢修抢建需要,但长期的强度变化规律不明显,需要进一步研究拌合海水对材料水硬化作用以及侵蚀作用的影响。

关键词

磷酸镁水泥, 抢修抢建, 海洋环境, 海水拌合

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

众所周知,在海洋腐蚀环境下,使钢筋混凝土结构极易发生破损,影响结构的耐久性,严重甚至会降低承载力从而影响其结构的安全性。传统海洋工程用建筑材料大多采用海工硅酸盐混凝土,其凝结速度慢,强度受温湿度等外在条件影响大,性能也远远不能满足应急快速抢修的需求。在海洋环境中进行应急抢修抢建,要求胶凝材料具备早期强度高、施工可操作性强、存放时间长、体积变形小、耐久性高等优点。磷酸镁水泥(Magnesia-Phosphate Cement, 下文缩写为 MPC)是一种能够在常温下加水后通过酸-碱反应及物理作用而变化成坚硬石材的新型胶凝材料,该材料具备水泥、陶瓷和耐火材料的主要优点,具有可塑性好、快硬早强、低温硬化及耐火度高、耐急冷急热性好等优点[1] [2],在海洋工程的快速抢修、抢建方面具有独特的优势。

在海洋环境中建造混凝土结构,拌合用淡水的缺乏是主要困难之一。如果能用海水代替淡水拌合混凝土必将大大降低工程造价、缩短工期、其经济意义不言而喻。根据应急抢修抢建环境的特殊性,抢修抢建材料最好能就地取材,这样可避免应急环境下运输的干扰和负担,增加抢修抢建保障的可靠性与安全性。因此,本文主要就地取材湛江麻斜港的海砂与海水,作为海工磷酸镁水泥砂浆制备的细骨料和拌合用水。通过前期大量的试验得到满足抢修抢建基本性能要求的最佳配合比的基础上,对海工磷酸镁混凝土、钢纤维增强海工磷酸镁水泥胶砂、海工磷酸镁水泥胶砂三者与自然养护以及海水养护的情况下的力学性能进行分析,获得最适合于海域水上以及海域水下抢修抢建的磷酸盐胶凝材料,以期对海洋工程抢修抢建以及结构服役性能提供理论支撑和保障。

2. 海工磷酸镁水泥的制备

2.1. 原材料的选择

实验用原材料包括氧化镁(MgO, 简写为 M),磷酸二氢铵($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, 简写为 P),硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 简写为 B),湛江麻斜港海砂(简写为 S),湛江麻斜港海水(简写为 W),石子及钢纤维(1 mm × 2 mm × 20 mm)。

其中氧化镁由菱镁矿经工业窑炉于 1500℃ 高温煅烧所得的重烧氧化镁破碎而成, 试验所用 MgO 颜色为棕黄色, 比表面积均为 2610 cm²/g。

2.2. 海工磷酸盐水泥基材料配合比

前期对磷酸镁水泥进行了大量的研究, 获得了能够满足抢修抢建基本性能要求的磷酸镁水泥几组最佳配合比, 详见表 1。

为考察选定的磷酸镁水泥对砂浆的适应性, 对比研究了 MPC-I、MPC-III 两种水泥配制砂浆的 1h、1d、3d、7d 和 28d 强度[3] [4]。通过对比分析, 发现对于磷酸镁水泥砂浆而言, P/M 比值较大(1/4)时要比 P/M 比值较小(1/5)时强度低。鉴于应急海洋工程抢修抢建的特点, 工程抢修抢建用胶凝材料必须具有较高的强度, 尤其是早期强度, 通常是以 2 小时以内的强度为标准。因此, 根据前期对磷酸镁水泥研究结果, 可以初步确定: 海工磷酸镁水泥净浆配合比中 P/M 比值设在 1/5 左右为宜, 而对于海工磷酸盐水泥砂浆而言, 由于砂子承担了部分 MgO 作为粗骨料, 配合比中 P/M 比值应大于 1/4, 可取 1/3。

2.3. 海工磷酸镁水泥基材料试件的制备

本文通过就地取材湛江麻斜港的海砂与海水, 作为海工磷酸镁水泥砂浆制备的细骨料和拌合用水。由以上理论分析和实验筛选, 各海工磷酸镁水泥基材料配合比如表 2 所示, 将原材料充分混合干拌均匀, 再加水搅拌约 3 分钟, 于震筛仪上振动 30 下后成型, 其中钢纤维增强海工磷酸盐水泥[4]和海工磷酸盐水泥胶砂制成 40 mm × 40 mm × 160 mm 的标准试件, 海工磷酸盐混凝土制成 100 mm × 100 mm × 100 mm 的标准试件。

2.4. 海工磷酸镁水泥基材料试件养护及实验

根据海洋工程实际情况, 实验从湛江海域水上和水下两种环境来考察所制备的海工磷酸盐水泥基材料的性能。对于海域水上部分, 将制备好的试件于露天放置自然养护; 而对于海域水下部分, 将所制备的材料自然养护 7d 具有一定的初始强度后, 则将试件放置于海底深 10 米处浸泡养护, 放置地点为湛江麻斜港, 图 1 为实验相关装置和操作。

Table 1. Magnesium-phosphate cement formula

表 1. 磷酸镁水泥配方

编号	M:P:B	水泥比面积(cm ² /g)	凝结时间(min)	抗压强度(MPa)				
				1h	1d	3d	7d	28d
MPC-I	4:1:0.20	2530	7.5	22.0	53.8	75.9	79.7	89.8
MPC-II	4:1:0.32	2530	14.5	10.4	53.9	63.8	68.9	81.2
MPC-III	5:1:0.25	2610	5.5	31.4	47.6	72.1	83.3	106.6

Table 2. The hydrate phosphate cement base material and the coagulation time

表 2. 海工磷酸盐水泥基材料配合比及凝结时间

名称	P:M	B:P	海砂/MPC	碎石/MPC	钢纤维/MPC	水/胶	凝结时间(min)
海工磷酸镁混凝土	1:3	0.300	0.52	0.98	—	0.19	28
钢纤维增强海工磷酸镁水泥胶砂	1:3	0.375	0.34	—	0.043	0.17	25
海工磷酸镁水泥胶砂	1:3	0.375	0.34	—	—	0.17	20

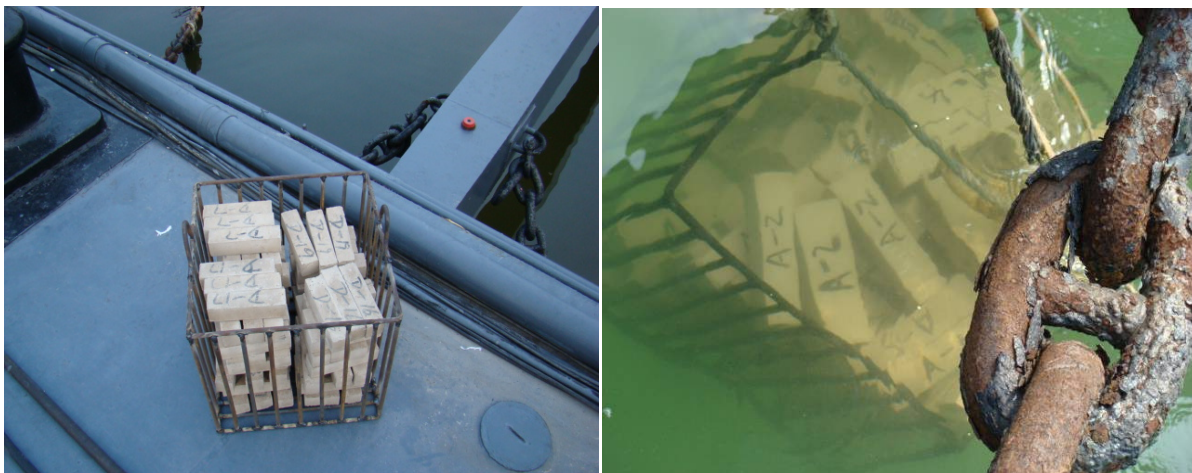


Figure 1. Specimen of Marine hydro-phosphate cement based materials for Marine underwater maintenance
图 1. 海域水下养护的海工磷酸镁水泥基材料试件

对于海域水上和水下养护的磷酸盐水泥试件，需定期拿取或打捞出以测试其宏观力学性能[5]。本实验采用电动抗折机(型号：KZJ-5)测试试件的抗折强度，采用抗折抗压实验机(型号：KZY-300)测试试件的抗压强度。采用维卡仪测定 MPC 水泥的凝结时间，由于水泥的凝结速度很快，因此搅拌时间控制在 3 分钟之内，初始阶段每隔 30 秒钟测一次，临近初凝时每隔 15 秒钟测一次。由于磷酸镁水泥的初、终凝时间间隔很短，试验中主要测定初凝时间，并作为 MPC 水泥的凝结时间。

3. 实验结果及分析

3.1. 海工磷酸镁水泥抗折强度分析

通过测试，海域水上和水下养护磷酸盐水泥试件抗折强度如表 3 所示。

从图中可见，对于钢纤维增强的海工磷酸盐水泥胶砂，自然养护试件的抗折强度随着龄期的增加而呈上升趋势，海水浸泡养护试件的抗折强度在 800d 之前随龄期增加而下降，降幅不明显，但在 900d 时抗折强度突然上升。对于海工磷酸盐胶砂，其自然养护下的抗折强度随龄期增加而上升，而海水浸泡下，其抗折强度时升时降，变化规律不明显。可见，在海域陆上，自然养护是利于海工磷酸盐水泥抗折强度的增长，而海域水下，由于海水的浸泡腐蚀，对海工磷酸盐水泥抗折强度的增长不利，但对于钢纤维增强的海工磷酸盐水泥胶砂而言，其 900d 的抗折强度在前期逐渐降低的基础上突然升高，可能是实验误差的影响，也可能是其它作用机制的结果。总之，海水浸泡养护对海工磷酸盐水泥水化硬化的发展有着一定的影响。

自然养护条件下，两种水泥的抗折强度都随龄期而增长，其中钢纤维增强海工磷酸盐水泥胶砂抗折强度要略高于海工磷酸盐水泥胶砂的抗折强度，而海水浸泡下，钢纤维增强海工磷酸盐水泥胶砂抗折强度却低于海工磷酸盐水泥胶砂的抗折强度，呈下降趋势。这说明，钢纤维增强海工磷酸盐水泥比海工磷酸盐水泥胶砂更适合于海域水上应用。但在 900d 时，钢纤维增强海工磷酸盐水泥胶砂的抗折强度却上升，而后者却下降，貌似两种材料在海水浸泡环境下的强度发展规律不明显，但强度的长期波动却充分说明了两种材料在海水养护中的水化硬化一直在进行，且与海水的侵蚀相互作用共同影响着材料强度的发展。

3.2. 海工磷酸盐水泥抗压强度分析

实验测试了海工磷酸盐混凝土、钢纤维增强海工磷酸盐水泥和海工磷酸盐水泥胶砂三种水泥基材料的抗压强度，如表 4 所示，表中填横杠的部分说明没有测到数据，主要是在实验过程中，一些浸泡于海

Table 3. The each curing period of the Marine-phosphate cement base material's bending strength
表 3. 海工磷酸盐水泥基材料各养护龄期抗折强度

名称	强度	抗折强度(单位: MPa)							
		7d	14d	28d	56d	90d	180d	800d	900d
钢纤维增强型 海工磷酸镁水泥	自然养护	7.6	9.2	10.2	7.2	10.7	7.9	9.6	10.8
	海水养护	9.3	8.8	7.2	9.0	7.5	6.5	6.2	8.8
海工磷酸镁 水泥胶砂	自然养护	9.8	9.5	10.3	6.9	8.2	8.6	10.2	12.3
	海水养护	9.2	8.7	8.7	7.4	9.2	7.0	8.1	7.1

Table 4. The compressive strength of three phosphate cement based materials in different curing environments
表 4. 不同养护环境下三种磷酸盐水泥基材料的抗压强度

名称	强度	抗压强度(单位: MPa)							
		7d	14d	28d	56d	90d	180d	800d	900d
海工磷酸镁混凝土	自然养护	53.1	52.9	43.3	52	48	64.2	74	71.5
	海水养护	39.7	32.2	52.6	34.7	34.7	34.5	—	—
钢纤维增强 海工磷酸镁水泥	自然养护	43.1	52.4	67.6	45.9	56.7	43.2	90.4	88.9
	海水养护	52.8	48.7	32.9	49.5	36.9	40.2	24.0	34.7
海工磷酸镁 水泥胶砂	自然养护	58.7	53.6	56.2	44.3	48.0	42.2	79.9	90.8
	海水养护	43.4	55.5	53.5	51.0	42.2	43.1	27.3	37.9

底的试件, 被海水冲走或无法打捞, 造成无法测到相应数据。

在自然养护条件下, 钢纤维增强的海工磷酸盐水泥前 180d 的抗压强度, 波动较大。这说明以海水作为拌和水对材料的水硬化作用有一定的消减, 尤其是海水对钢纤维的浸蚀作用。但随着龄期的增加, 材料的强度增长明显。但在后期 900d 时, 海工磷酸盐混凝土和钢纤维增强海工磷酸盐胶砂的抗压强度却在前期明显增长的基础上下降, 排除实验误差的原因, 可能是拌合用海水对材料浸蚀作用大于材料水硬化作用的一种宏观显现。在自然养护条件下, 三种材料的抗压强度总体来说在不断波动中呈增长趋势, 其中钢纤维增强海工磷酸盐胶砂试件的抗压强度增长幅度较大, 800d 的抗压强度达到 90.4 MPa, 但 900d 的抗压强度回落到 88.9 MPa, 下降幅度较小, 可能由于样品差异产生, 但也可能是以海水作为拌合水对钢纤维的侵蚀破坏作用逐渐大于水硬化作用导致强度下降, 其它两种材料试件 800d 抗压强度也都达到了 70 MPa 以上, 其中海工磷酸盐胶砂 900d 的抗压强度上升到 90.8 MPa, 且后期强度均呈稳定上升趋势, 可能该材料后期受拌合用海水的浸蚀影响较小。三种材料 7d 抗压强度均达 43 MPa 以上, 可见, 这三种海工磷酸盐水泥基材料均适宜于水上的应用。而从材料后期强度上升的稳定性和强度大小来看, 海工磷酸盐胶砂更利于应用在海洋水上的抢修抢建工程, 其次是钢纤维增强海工磷酸盐胶砂和海工磷酸盐混凝土。

而在海水浸泡养护下, 三种水泥基材料的抗压强度随着龄期的增加而明显下降, 这主要是由于海水对材料长期浸蚀的结果, 但后期 900d 的抗压强度均又较大回升, 相比 800d 的抗压强度, 平均增幅达 42%, 这说明材料的水硬化在后期仍然有着较强的发展态势。钢纤维增强海工磷酸盐胶砂在海水浸泡养护下下降幅度较大, 14d 后抗压强度相对于海工磷酸盐胶砂的抗压强度较低, 但三种材料的早期强度都较高, 其 7d 的抗压强度约在 40 MPa 以上, 而海工 MPC 胶砂和海工 MPC 混凝土 28d 的抗压强度都达到了 50 MPa 以上, 而随着海水长期的侵蚀作用, 材料后期强度却较大幅度回升, 从而说明材料水硬化的长期作用

及良好的耐久性。而从材料强度大小及其发展来看,海工 MPC 胶砂更适合于海域水下抢修抢建工程的应用,钢纤维增强海工 MPC 胶砂次之,而海工 MPC 混凝土由于数据不充分,无法定论。

4. 试验结论

综合以上分析,在所制备的三种海工磷酸盐水泥基材料中,适应于海域陆上的海工磷酸盐水泥基材料以 MPC 胶砂为最好,其次是钢纤维增强海工磷酸盐胶砂和海工磷酸盐混凝土。而适应于海域水下的海工磷酸盐水泥基材料以海工 MPC 胶砂最好,其次为钢纤维增强的 MPC 胶砂。但就目前得到的数据来看,三种海工磷酸盐水泥基材料在海域水上和水下的早期强度较高,均能够满足海洋环境下的抢修抢建的需要,但其长期的强度变化规律不是很明显,海水或拌合用海水的浸蚀作用与材料水硬化作用的相互影响机制还有待进一步研究。

参考文献 (References)

- [1] 刘凯,李东旭. 磷酸镁水泥的研究与应用进展[J]. 材料导报, 2011, 25(7): 97-100.
- [2] 蒋江波,薛明,汪宏涛,曹巨辉. 海工磷酸镁水泥基材料的制备及性能研究[J]. 功能材料, 2012, 43(7): 828-834.
- [3] 汪宏涛,曹巨辉,黄志讲,杨铁军. 新型磷酸镁水泥的研究[J]. 材料导报, 2007, 21(12A): 39-40.
- [4] 汪宏涛,钱觉时,曹巨辉,沈兵. 钢纤维增强磷酸镁水泥砂浆的性能与应用[J]. 建筑技术, 2006, 37(6): 462-464.
- [5] 标准技术委员会. JGJ/T70-2009 建筑砂浆基本性能试验方法标准[S]. 北京: 标准出版社.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ms@hanspub.org