



# 水泥稳定碎石生产配合比设计 在港口堆场工程中的应用

董志芳, 范文博

(中交第三航务工程局有限公司江苏分公司, 江苏连云港 222042)

**摘要:** 水泥稳定碎石材料已被较多地应用于路面基层, 但在港口工程中鲜有应用。结合某港口码头堆场基层施工, 进行水泥稳定碎石生产配合比设计的研究, 分别从目标配合比确认、集料生产级配调试、水泥含量-EDTA关系曲线、延迟曲线和强度-含水率曲线等几个方面阐述港口工程水泥稳定碎石材料生产配合比设计过程, 确认了施工阶段集料级配、水泥剂量、含水量、碾压延迟时间等生产参数, 为该堆场的施工提供了理论依据。

**关键词:** 港口工程; 堆场; 水泥稳定碎石; 生产配合比设计

中图分类号: U 655.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)11-0055-04

## Application of cement stabilized aggregate production mixture proportion in port yard engineering

DONG Zhi-fang, FAN Wen-bo

(Jiangsu Branch of CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Lianyungang 222042, China)

**Abstract:** The cement stabilized aggregate has been widely used in the pavement base, but it is rarely used in port engineering. Combining with a port yard base construction, we study the production mix ratio design of the cement stabilized aggregate, expound on the design process of the production mix ratio of the cement stabilized aggregate from the confirmation of the target mix proportion, grading adjustment of the aggregate production respectively, cement content-EDTA relation curve, delay curve and strength-water content curve, and confirm the production parameters including aggregate gradation, cement dosage, water content, as well as rolling delay time, providing a theoretical basis for the construction of the yard.

**Keywords:** port engineering; storage yard; cement stabilized aggregate; production mix ratio design

水泥稳定碎石材料因具有较高的强度、较好的抗冻性及抗渗性、价格低廉、易机械化摊铺、成活后遇雨不泥泞等特性已越来越广泛地应用于各种高速公路的建设中<sup>[1-2]</sup>。水泥稳定碎石材料配合比的设计及控制是水稳材料质量的重要保障, 将会直接影响水泥稳定材料的施工质量。李朋飞<sup>[3]</sup>、赵峰<sup>[4]</sup>、司马静<sup>[5]</sup>对路面水泥稳定碎石材料实验室目标配合比有较详细的介绍。目前, 港口堆场工程水泥稳定碎石材料基层施工尚缺少相关

水运行业标准规范指导, 对其生产配合比设计的报道较少。水泥稳定碎石材料生产配合比是对其实验室目标配合比施工过程中的验证及调整, 是确定施工参数的关键。施工过程中集料粒径变化、含水率波动、物料仓计量等现场因素导致施工配合比相对于目标配合比发生了变化, 致使摊铺不易碾压、粗集料离析、裂缝等缺陷, 仅目标配合比已不能满足施工质量控制要求<sup>[6]</sup>, 因此, 生产配合比的设计越来越被重视。本文以淮阴港区城

东作业区一期工程 HYG-CD 标段码头堆场为例, 探讨港口工程堆场施工中水泥稳定碎石材料生产配合比的设计过程, 确定施工过程中集料级配调整、水泥剂量、含水率、碾压允许延迟时间等生产参数, 为本工程的顺利施工提供了理论依据。

## 1 工程概况

淮阴港区城东作业区一期工程 HYG-CD 标段码头泊位岸线挖入式布置, 岸线总长 828 m, 待泊区长度 910 m。后方陆域面积 36.9 万 m<sup>2</sup>, 建设有相应的散货堆场、件杂货堆场和集装箱堆场、仓库及配套工程。该陆域工程设计水泥稳定碎石层作为其基层, 设计强度为 4.0 MPa, 水泥推荐掺量为, 5:95(水泥:集料), 压实度要求≥98%。

## 2 原材料选择

1) 水泥: 江苏山河产 P·O 42.5 水泥, 经检测其凝结时间满足 JTGT F 20—2015《公路路面基层施工技术细则》中初凝时间应>3 h、6 h<终凝时间<10 h 的要求, 其强度及安定性等满足 GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》要求。

2) 集料: 连云港产, 经过考察选用 4 档集料, 分别为 1# 料 26.5~31.5 mm、2# 料 9.5~26.5 mm、3# 料 4.75~9.5 mm 和 4# 料 0~4.75 mm, 筛分数据如表 1 所示。

表 1 各档集料筛分数据

筛孔尺寸/mm	实测通过率/%			
	1# 料	2# 料	3# 料	4# 料
37.500	100.0	100.0	100.0	100.0
31.500	64.9	100.0	100.0	100.0
26.500	18.9	98.0	100.0	100.0
19.000	2.4	50.9	100.0	100.0
16.000	0.4	40.4	100.0	100.0
13.200	0.4	31.5	97.5	100.0
9.500	0.4	12.5	65.2	100.0
4.750	0.4	1.6	9.6	83.5
2.360	0.4	0.7	5.7	52.7
1.180	0.4	0.7	4.5	39.4
0.600	0.4	0.7	2.1	30.0
0.300	0.4	0.7	2.1	23.2
0.150	0.4	0.7	2.1	18.8
0.075	0.4	0.7	1.9	14.4

经检测, 各级集料压碎值、针片状颗粒含量等满足 JTJ /T F 20—2015 二级及二级以下公路规定的要求, 指标如表 2 所示。

表 2 各档集料针片状颗粒含量和压碎值

料种	针片状颗粒含量/%	压碎值/%
1# 料	8.1	21.2
2# 料	6.0	23.3
3# 料	7.6	-
4# 料	-	-

3) 拌合水: 自来水, 满足拌合要求。

## 3 目标配合比设计

水泥稳定碎石材料目标配合比是整个水稳层施工的基础。通过实验室原材料检测和集料筛分拟合级配及标准击实试验可以得出初步的集料级配、水泥剂量、最佳含水率和最大干密度等参数<sup>[7-8]</sup>。

通过多次调整各档集料比例, 最终确定本工程集料(1#~4# 料)比例为 15:30:20:35 的水泥稳定碎石混合料可满足设计要求及 JTJ /T F 20—2015 二级及二级以下公路 C-C-1 标准的要求。验证方法为按比例配置混合料, 分别取 2 个试样平行试验 2 次, 取平均值作为每号筛上筛余量的试验结果。水洗筛分数据如表 3 所示。

表 3 目标配合比集料级配

筛孔尺寸/mm	质量通过百分率/%		平均值/%	技术指标/%		
	试样 1	试样 2		上限	下限	中值
31.500	97.7	96.4	97.1	100	90	95
26.500	93.5	90.0	91.8	94.0	81.0	87.5
19.000	82.8	79.2	81.0	83.0	67.0	75.0
16.000	74.6	69.7	72.2	78.0	61.0	69.5
13.200	70.5	65.1	67.8	73.0	54.0	63.5
9.500	61.1	55.6	58.4	64.0	45.0	54.5
4.750	42.0	38.0	40.0	50.0	30.0	40.0
2.360	28.1	26.8	27.5	36.0	19.0	27.5
1.180	20.9	19.9	20.4	26.0	12.0	19.0
0.600	14.7	14.1	14.4	19.0	8.0	13.5
0.300	8.1	8.0	8.1	14.0	5.0	9.5
0.150	6.2	6.1	6.2	10.0	3.0	6.5
0.075	3.4	3.2	3.3	7.0	2.0	4.5

以筛孔尺寸的 0.45 次方作横坐标, 普通坐标为纵坐标, 绘制目标配合比合成级配曲线, 如图 1 所示。

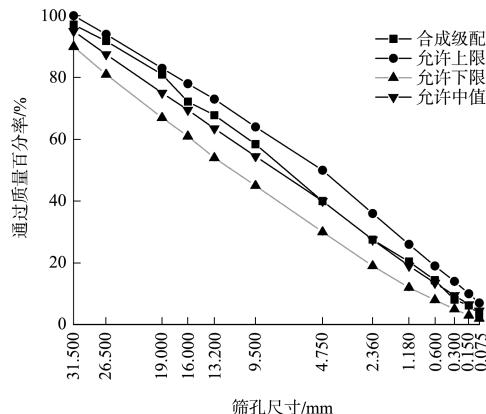


图 1 目标配合比合成级配曲线

根据设计文件要求, 水泥推荐掺量为 5:95 (水泥:矿料), 确定本工程水泥稳定材料 (1#~4#料) 实验室目标配合比为 15:30:20:35, 水泥与集料比例为 5:95。经实验室 7 d 无侧限抗压强度试验及标准击实试验验证, 该选定目标配合比 7 d 无侧限抗压强度值为 4.6 MPa, 满足设计强度的要求, 最佳含水率为 4.2%, 最大干密度为 2.316 g/cm<sup>3</sup>。

## 4 生产配合比设计及验证

### 4.1 集料级配验证

集料在水泥稳定碎石材料中起到骨架的作用。为降低集料粒径变化对级配的影响, 在正式铺设前应先验证拌合站出料的级配, 对拌合设备进行调试和标定, 微调各单档集料的比例以确定合理的生产参数。具体方法是取拌合站稳定后传送皮带上一定量的混合料进行水洗筛分检测, 并与目标配合比及规范允许波动上限及波动下限进行对比。根据目标配合比以各档集料 (1#~4#料) 比例 15:30:20:35 出料, 对拌合设备进行调试和标定, 进行第 1 阶段试生产。经水洗法试验筛分, 得到生产级配、目标配合比集料级配、允许波动上限及允许波动下限关系曲线 (图 2)。

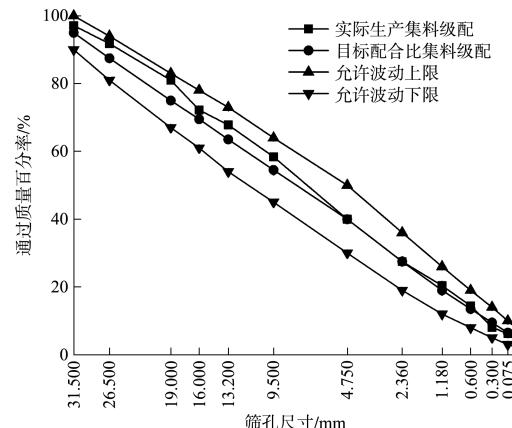


图 2 生产配合比集料级配验证曲线

由图 2 可知, 该水泥稳定碎石材料集料生产级配曲线在规范要求允许波动上、下限曲线范围之内, 且与目标级配曲线较为吻合, 证明该水泥稳定碎石生产配合比集料级配满足规范和设计要求, 拌合站可以按此比例出料, 否则应调整拌合站料仓系统直至出料骨料级配接近目标级配。

### 4.2 灰剂量 EDTA (乙二胺四乙酸二钠) 标准曲线确定

水泥在水泥稳定碎石材料中起到胶凝板结集料的作用, 水泥剂量的大小对材料碾压后密实度和强度有较大的贡献: 水泥剂量过小可能会造成材料碾压后松散不密实, 强度不满足设计要求; 水泥剂量过大则会造成干缩裂缝, 增加成本。因此, 施工中合理控制水泥剂量的变化范围尤为重要。

水泥剂量 EDTA 标准曲线是施工过程中动态控制水泥含量的依据。为指导施工、保证水稳材料质量, 在生产配合比验证阶段要根据现场原材料预先绘制 EDTA-水泥剂量变化曲线。试验方法为: 选用已验证的生产配合比集料级配, 按质量比分别加入 1%、3%、5%、7%、9% 的水泥, 室温条件下配制出标准水泥含量的混合料, 经 EDTA 滴定试验得出灰剂量 EDTA 标准曲线 (图 3)。

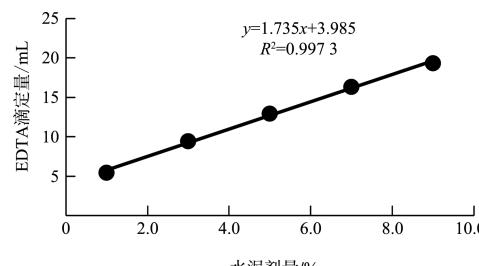


图 3 灰剂量 EDTA 消耗标准曲线

由图 3 可知, 随着水泥剂量的增加, EDTA 滴定量呈逐渐增加的趋势。对试验数据拟合分析得  $R^2=0.9973$ , 所拟合回归直线线性较好, 拟合回归直线公式可表达为:  $y=1.735x+3.985$ , 此公式有助于在施工过程各阶段由实时 EDTA 滴定量快速计算出当前水泥含量, 以动态监控水泥稳定材料水泥剂量的波动情况。

#### 4.3 延迟时间曲线

水泥稳定碎石材料受水泥凝结时间的影响, 拌合后随着时间的延迟, 胶凝材料的水化程度不同, 在不同水化阶段碾压, 直接影响材料最终的强度和密实度。因此, 应分别进行不同成型时间条件下的混合料强度试验, 绘制相应的延迟时间曲线, 并根据设计要求确定容许延迟时间。试验方法采用已验证生产配合比拌合水泥稳定碎石混合料, 按现行规范规定采用  $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$  的圆柱体试件, 结合水泥终凝时间制定了分别在混合料拌合结束后 0, 1, 2, 3 和 4 h 后室温条件下成型无侧限抗压强度试件, 经 6 d 标准湿气养护和 1 d 标准水养护后进行实验室无侧限抗压强度试验, 得到不同延迟时间下试件 7 d 无侧限抗压强度值变化曲线(图 4)。

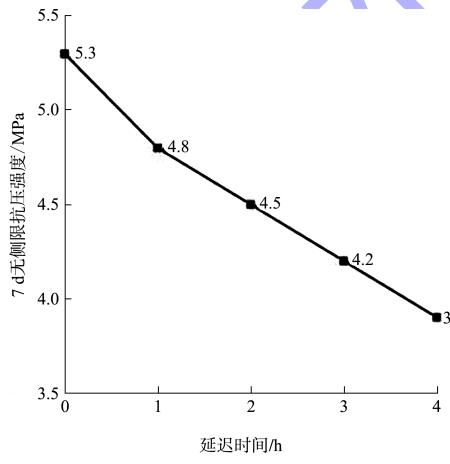


图 4 水泥稳定材料延迟曲线

从图 4 可以看出, 随着混合料成型时间的推迟, 各成型试件试验所得 7 d 无侧限强度值逐渐降低, 拌合后即时成型可得最大强度值 5.3 MPa, 4 h 后成型试件强度仅有 3.9 MPa, 结合设计强度大于 4.0 MPa 的要求, 本工程水稳材料的容许延迟时间

可定为 3.5 h。即混合料拌合 3.5 h 后成型无侧限试件有强度不合格的风险, 因此在实际施工过程中应该科学合理安排施工工序和车辆调度, 确保混合料在搅拌楼拌合后 3.5 h 前完成碾压工作。

#### 4.4 含水率-强度曲线

含水率对水泥稳定材料碾压效果影响较大: 含水率低会降低水泥水化反应程度, 含水率过高则容易造成水稳不易压实、泌水、集料离析或者弹簧现象。因此, 要提前掌握含水率对水泥稳定碎石材料强度的影响变化程度以确定允许的含水率范围。试验方法为: 结合实验室目标配合比最佳含水率及现场施工可能发生的含水率波动范围情况, 制定混合料含水率分别为 3.7%、4.2%、4.7%、5.2%、5.7% 时的 7 d 无侧限强度试验计划。通过先把原材料烘干, 再按比例要求人工加水的方法, 配置出不同含水率的标准混合料(水泥剂量按设计要求取 5%), 室温条件下分别成型不同含水率条件下的无侧限抗压强度  $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$  圆柱体试件, 经 6 d 标准湿气养护和 1 d 标准水养护后进行实验室无侧限抗压强度试验, 得到不同含水率成型条件下 7 d 无侧限抗压强度值随成型含水率变化曲线(图 5)。

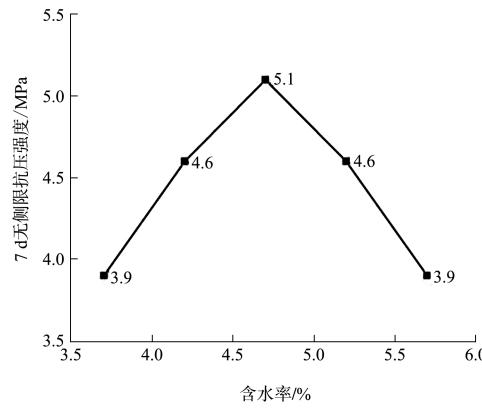


图 5 7 d 无侧限抗压强度随含水率的变化曲线

从图 5 可以看出, 随着混合料含水率的增加, 7 d 无侧限抗压强度呈现先增长后降低的抛物线趋势, 并在含水率为 4.7% 时, 强度达到最高值 5.1 MPa, 施工过程中水泥稳定材料含水率在 4.0%~5.5% 范围内 7 d 无侧限抗压强度可满足设计强度大于 4.0 MPa 要求。

(下转第 92 页)