

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201605012



# 超荷载条件下成型水泥混合料 拌堤坝弹性恢复机制

王侠<sup>1</sup>, 孙文君<sup>2</sup>

(1. 河北水利电力学院 基础部, 河北 沧州 061001;  
2. 河北水利电力学院 教务处, 河北 沧州 061001)

**摘要:** 通过对水泥材料、特定温拌剂的添加量、温度拌合技术和拌合摊铺技术等方面的优化分析, 探讨在超荷载条件下堤坝弹性恢复能力的恢复机制. 结果表明: 改进的水泥混合料拌成型技术所修筑的堤坝在超荷载下抗荷载强度提高明显, 弹性恢复机制可以提高成型堤坝在超荷载下的弹性恢复能力.

**关键词:** 堤坝; 水泥混合料; 拌成型; 超荷载; 弹性恢复机制

**中图分类号:** TU 338      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-5013(2016)05-0587-04

## Elastic Recovery Mechanism of Synthetic Cement Mixture Mixed Dam Under Over Load

WANG Xia<sup>1</sup>, SUN Wenjun<sup>2</sup>

(1. Basic Science Department, Hebei University of Water Resources and Electric Engineering, Cangzhou 061001, China;  
2. Educational Administration Department,  
Hebei University of Water Resources and Electric Engineering, Cangzhou 061001, China)

**Abstract:** The mechanism of the dam elastic recovery ability under over load was discussed by the optimal analysis of the cement material, amount of special warm mix additives, mixing temperature and mixing paving technology. The results show that the strength of the dam constructed by the improved mixing technology of cement mixed material increases significantly under over load, and elastic recovery mechanism can improve the elastic recovery ability of the formed dam under over load.

**Keywords:** dam; cement mixture; mix molding; over load; elastic recovery mechanism

在我国防洪堤坝建设过程中, 传统方法采用常温下水泥混合料作为堤坝表层来加强堤坝的稳定性. 传统水泥混合料主要由一定配比的矿物质与水泥组成. 具体拌合流程: 将各种矿物混合料、一定量的水泥进行配比和拌成型, 在规定的时间内对成型堤坝各项指标和弹性恢复相关性能进行测定<sup>[1-2]</sup>. 传统的水泥混合料拌合一般采用连续搅拌楼(SEA)技术<sup>[3-4]</sup>, 其最大特点是使用的混合料中细料较少, 矿粉和粗料较多, 这一特点增加了混合料的拌合难度. 此外, 由于粗料的比例较大, 如果不能合理地配置细料仓与粗料仓的数量, 就容易发生亏料和溢仓的情况. 在这种条件下, 水泥混合料拌合配料时, 不容易控制粗料仓的开合, 从而不可能最大限度地保持混合料的干燥性, 无法精准地掌握混合料干拌和湿拌的时间, 而且在拌合中, 还要适量地添加纤维, 因此, 在混合料拌合均匀后, 不能储存较长时间<sup>[5]</sup>. 由于 SEA 技术的这些弊端, 容易产生水泥混合料的析漏, 使水泥混合料中的水泥量流失, 所筑基堤坝弹性恢复强

收稿日期: 2016-06-21

通信作者: 王侠(1973-), 女, 副教授, 主要从事建筑与土木工程的研究. E-mail: hebeiwangxia@163.com.

基金项目: 河北省高等学校人文社会科学研究规划项目(GH161029)

度降低,很大程度上影响了防洪堤坝的质量.因此,本文对水泥混合料拌合成型堤坝在超荷载下弹性恢复机制进行了研究.

## 1 弹性恢复机制影响因素的优化

对水泥的选用、添加特定的温拌剂、温度范围的控制、混合料的拌合摊铺等方面进行优化,使之在超荷载条件下提高堤坝的弹性恢复能力.

### 1.1 混合料中水泥的选择和性能测试

选用 ROL-2000 型抗重载细基质水泥,将其与传统的 YC-100 水泥<sup>[6]</sup>进行对比,结果如表 1 所示.表 1 中: $M_c$  为 100 g, 25 °C, 5 s, 0.1 m 条件下的粘合力; $K_c$  为 15 °C, 5 cm·min<sup>-1</sup> 条件下的延展度; $\theta$  为应变软化温度; $\rho$  为密度; $S$  为溶解度; $A_w$  为低温成型度.由表 1 可知:ROL-2000 型抗重载细基质水泥的各项指标都远远优于传统 YC-100 混合水泥.

表 1 不同型号抗重载细基质水泥测试指标对比

Tab. 1 Comparison of test indexes of different type fine cement matrix under over load

性能指标	$M_c$	$K_c$	$\theta/^\circ\text{C}$	$\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$S$	$A_w$
ROL-2000	95	240	82	1.15	0.04	300
YC-100	83	180	63	0.90	0.01	265
标准范围	88~96	$\geq 160$	$\geq 55$	0.80~1.20	$\leq 0.05$	245~310

### 1.2 水泥混合料特定温度拌合技术

采用间歇式水泥拌合机对水泥混合料进行拌合,根据多次实验结果将拌合温度恒定在特定的范围.混合料拌合温度的设定应根据 Rolbaos 系列公式在不同的施工季节、气候条件、运输条件、运输距离及摊铺设备、碾压设备等因素,在区间内进行调整<sup>[7]</sup>.

温度拌合技术又可以分为热拌和温拌,热拌主要将温度控制在 165 °C,温拌将温度控制在 140 °C.因此,在进行水泥混合料拌合时,需要对温度进行严格控制,在拌合的同时,不影响水泥混合料的性能<sup>[8]</sup>.与此同时,一定要防止产生离析现象,不影响拌和效果<sup>[9]</sup>.

Rolbaos 系列公式表示为

$$\alpha(\theta_1) = [y_1(\theta_1 + 1), y_1(\theta_1 + 2), \dots, y_1(\theta_1 + n)], \quad (1)$$

$$\alpha(\theta_2) = [y_1(\theta_2 + 1), y_1(\theta_2 + 2), \dots, y_1(\theta_2 + n)], \quad (2)$$

$$\alpha(\theta_n) = [y_1(\theta_n + 1), y_1(\theta_n + 2), \dots, y_1(\theta_n + n)], \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \theta_{\max} \frac{\partial^2 \Omega}{\partial u^2} \sum_{n=1}^n \alpha(\theta_n), \\ \omega &= \theta_{\min} \frac{\partial^2 \Omega}{\partial u \partial v} \sum_{n=1}^n \alpha(\theta_n), \\ \theta &= (\omega - \sigma) \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x - \mu}{\sigma}, \quad \frac{x - \mu}{\sigma} \geq 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式(1)~(4)中: $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$  为不同环境温度下微调温度; $\alpha(\theta_1), \alpha(\theta_2), \dots, \alpha(\theta_n)$  为环境温度变化修订系数; $\theta_{\min}, \theta_{\max}$  为环境温度变化最大范围; $\theta$  为根据不同的环境温度修订后的特定温度中心值,该中心值的变化率应控制在 $\pm 10\%$ .

通过式(1)~(4),可以确定拌合温度区间,拌合时要严格控制.在混合料生产过程中,若混合料的干湿程度、拌和系统加热速率、温度传感器的敏感性与准确性等控制不好,出现较大的偏差,要及时查找原因,并迅速修正.

### 1.3 特定温拌剂的添加

在进行水泥混合料拌合时,采用为配合 Rolbaos 系列公式修订的温度而开发的 AEM 型水泥混合料温拌剂. AEM 型水泥混合料温拌剂是一种腊状粘性剂,它的最高熔点不超过 100 °C,可以完全溶解在 Rolbaos 温度范围内最低温度的水泥混合料中. AEM 在水泥混合料中具有网状的晶粒分布结构,可以增加水泥混合料的稳定性,增加堤坝的弹性,提高堤坝在使用温度范围内的抗荷载性能.在添加特定

温拌剂时, 需要注意添加速率, 要求水泥罐车和特定温拌剂同时卸完, 基本上要同步<sup>[10]</sup>.

添加 AEM 型水泥混合料温拌剂后, 堤坝在超荷载下的弹性机制表示为

$$\left. \begin{aligned} \theta_{\max} &= \delta \sum_{i=1}^n X_i Y_j, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \\ \theta_{\min} &= \delta \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2, \quad i = 1, 2, \dots, m, \\ \sum_{i=1}^n X_i Y_i &= MT_a \frac{x - \mu}{\sigma} (N_0 + 1), \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \\ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 &= ET_a \frac{x - \mu}{\sigma} (N_0 - 1), \quad i = 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\lambda(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_{\max} - \theta_{\min}. \quad (6)$$

式(5),(6)中: $\theta_{\max}$ ,  $\theta_{\min}$ 分别为 AEM 型水泥混合料温拌剂适宜温度范围的最大值和最小值; $\lambda(\theta)$ 为在此温度范围内的抗荷载函数值.

根据式(5),(6)计算的特定温度范围内, 添加 AEM 温拌剂和未添加 AEM 温拌剂的抗荷载特性曲线, 如图 1 所示. 图 1 中: $\theta$ 为温度. 用抗荷载系数对其进行描述, 表示为

$$\tau = \frac{\lambda(\theta)}{W} \times 100\%. \quad (7)$$

式(7)中: $\tau$ 为抗荷载系数; $W$ 为总载荷. 由图 1 可知: 在特定温度下, 添加 AEM 温拌剂的混合料筑成的堤坝比未添加 AEM 的抗负载系数提高近一倍.

### 1.4 新型水泥混合料摊铺技术的引入

水泥混合料拌合后, 需要借助摊铺机在特定的温度下进行持续摊铺作业. 因此, 在摊铺前, 必须对熨平板进行预热, 预热时间控制在 15 min 左右为宜<sup>[11]</sup>. 在进行摊铺时要注意两点: 一是摊铺时, 要尽量维持在一个速度上, 因为摊铺速度发生变化会导致摊铺表面不平衡<sup>[12]</sup>; 二是摊铺方式的选择, 常用的摊铺方式为热接热的方法, 该方法可以增加摊铺后水泥混合料的性能<sup>[13]</sup>.

引入了一种新型水泥混合料摊铺技术. 在摊铺开始时, 由于新型拌合技术下水泥混合料的出口温度不能低于 100 °C, 在该初始温度下, 对摊铺机工作温度进行实时调整, 并对熨平板进行持续加热, 确保摊铺过程中满足混合料的要求.

由于速度是 ROL-2000 型抗重载细基质水泥能否与温拌剂相结合的关键, 根据不同温度对摊铺速度进行自适应调整. 摊铺速度过快, 容易使 ROL-2000 型抗重载细基质水泥表面的粗颗粒向外滑动, 造成堤坝的凹凸; 摊铺速度过慢, 则影响施工效率, 加重施工成本<sup>[14]</sup>. 在铺筑中, 还应使 R-L 型螺旋送料器<sup>[15]</sup>慢速、均匀、持续不断地向两侧分别送料, 使送料器中的料始终维持在 R-L 型螺旋送料器的旋叶片上. 随着摊铺机前进, R-L 型螺旋摊铺器即在摊铺带宽度上均匀地摊铺水泥混合. 配合 ROL-2000 型抗重载细基质水泥与 AEM 型水泥混合料温拌剂新型铺摊技术的相关参数, 如表 2 所示. 表 2 中: $\theta_m$ 为拌合温度; $t$ 为铺筑预热时间; $\theta_{o, \min}$ 为出料最低温度; $\theta_p$ 为铺筑温度; $v$ 为铺筑速度; $d$ 为层间错缝.

表 2 新型水泥混合料拌合成型技术下的铺筑参数

Tab. 2 Paving parameters of synthetic technology of new cement mixture

混合料 型号	$\theta_m / ^\circ\text{C}$	添加 成分	$t / \text{min}$	$\theta_{o, \min} / ^\circ\text{C}$	$\theta_p / ^\circ\text{C}$	$v / \text{m} \cdot \text{min}^{-1}$			$d / \text{cm}$	
						上层	中层	下层	纵缝	横缝
ROL-2000	100~160	AEM	15	100	100~160	1.5~3.0	2.5~4.5	2.5~4.5	$\geq 10$	$\geq 2$

表 2 的参数是改进型水泥混合料拌合成型技术在铺筑堤坝时必须遵循的基础参数, 也是修筑堤坝在超荷载时, 能够确保弹性恢复的前提条件.

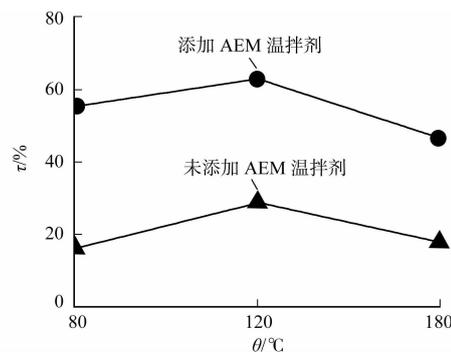


图 1 添加 AEM 温拌剂前后的抗负载对比  
Fig. 1 Comparison of strength before and after adding AEM warm mix agent

## 2 仿真分析

对改进的水泥混合料拌成型堤坝弹性恢复机制进行仿真分析,将改进后和传统弹性恢复方法的相关参数及施工条件进行对比分析,比较不同方法修筑后堤坝的弹性恢复效果.为了凸显改进后水泥混合料成分、拌合温度、AEM 添加剂等主要因素对弹性机制的影响,在施工速度和层间错缝等基础数据相同的条件下,进行仿真分析.传统 SEA 技术的铺筑参数:拌合温度为室温;无添加成分;无铺筑预热;出料最低温度为环境温度;铺筑温度为  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

通过计算机辅助计算,可得改进后水泥混合料拌成型技术和传统 SEA 技术的抗荷载能力分别为  $96,67\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ ;弹性恢复系数分别为 0.92,0.71.

对不同水泥混合料拌成型技术下的抗荷载能力和弹性恢复系数对比分析可知:改进的水泥混合料拌成型技术所修筑的堤坝在超荷载下抗荷载强度提高明显,弹性恢复机制也有所提高.说明改进的弹性恢复机制,可以提高成型堤坝在超荷载下的弹性恢复能力.

## 3 结束语

传统水泥混合料拌成型方式修筑堤坝表层软硬程度不均一,在超荷载条件下对堤坝的损伤较大.通过改变水泥混合料的成分,选择合适的拌合温度和摊铺温度以及加入特殊的添加剂等方式对堤坝弹性恢复能力进行改进.实验结果表明:在超荷载状况下,抗荷载强度提高明显,弹性恢复能力也有所提高.改进的弹性恢复机制可以提高成型堤坝在超荷载下的弹性恢复能力,为不同环境温度下堤坝建设提供了科学依据.

### 参考文献:

- [1] 王铁庆,杨人凤,李爱国. 橡胶沥青弹性恢复性能指标的对比试验研究[J]. 公路交通科技,2016(4):32-38.
- [2] 刘静静,黎圣,覃朝科,等. 铅锌硫化矿尾矿用作生产复合硅酸盐水泥混合材料的试验研究[J]. 矿产与地质,2015,29(5):678-681.
- [3] 王连捷,崔军文,孙东生. 腾冲科学钻探孔非弹性应变恢复法三维地应力测量[J]. 地球学报,2016(1):111-115.
- [4] 魏鹏. 不同水泥用量对乳化沥青冷再生混合料性能的影响[J]. 城市道桥与防洪,2014,7(7):328-330.
- [5] 卢红,武海龙,王卫华. 水泥基快硬瓷砖胶中铝酸盐复合胶凝体系的试验[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2015,36(1):69-73.
- [6] 王官超,杜启振. 基于包络目标函数的弹性波波反演[J]. 石油物探,2016(1):133-141.
- [7] 黄丽媚,郭松,赵骞. 热塑性聚烯烃弹性体的单向形状记忆行为[J]. 化工学报,2016(2):661-666.
- [8] 林生峰. 温拌纤维沥青混合料在旧水泥路面加铺的应用[J]. 广东建材,2015,31(5):17-19.
- [9] 胡尚军. 水泥稳定碎石混合料施工分离析技术研究[J]. 交通科技,2014(6):123-125.
- [10] 杨融,韩鹏. 温拌沥青混合料 SMA 在宁高高速公路改造工程中的应用[J]. 四川水泥,2015(10):326-327.
- [11] 尹锦明,田涛,王永. 强震后铅芯橡胶支座在简支梁桥恢复重建中的应用[J]. 中外公路,2016(1):140-143.
- [12] 边玉强. 高速公路沥青路面施工中双层摊铺技术的应用[J]. 工程建设与设计,2016(2):141-143.
- [13] 杨永红,任亚鹏,王选仓,等. 沥青面层双层摊铺混合料疲劳性能[J]. 建筑材料学报,2015,18(3):458-463.
- [14] 孔纲强,周航,曹兆虎. 扩底楔形桩水平向承载力理论计算方法研究[J]. 现代隧道技术,2016,53(1):119-126.
- [15] 周航,孔纲强,曹兆虎. 椭圆形孔扩张弹性分析[J]. 固体力学学报,2015(1):85-91.

(责任编辑:黄晓楠 英文审校:方德平)