

振动搅拌与普通搅拌对水泥稳定碎石强度影响的研究

杨怡

武汉中和工程技术有限公司，湖北省武汉市，430080；

摘要：近年来，我国现代化建设正在飞速进行中，公路工程作为城市建设中的纽带，担负着经济大动脉的责任，道路质量的好坏，使用周期的长短严重影响着现代化建设的发展。

目前国内外水泥稳定碎石基层料普遍采用的自落式与强制式搅拌技术，以上两种方式实际上均是一种静力搅拌技术。当前国内拌制稳定土的搅拌机械主要是以应用强制搅拌技术为主的连续式强制搅拌机，而研究与实践证明连续式强制搅拌机存在以下不足：1)搅拌时间太短，稳定土微观匀质性差。2)搅拌线速度较低，搅拌强度不够，搅拌效率低。当搅拌超过临界转速时由于离心力的存在，物料将会附着在搅拌筒壁上随着筒壁一起转动；并且当搅拌速率过快时，混合料斗中各成分会由于不同的惯性以不同速度抛离搅拌叶片，造成物料离析，使混合料的均匀度下降。因此，一般搅拌过程中搅拌速度不能太高。3)存在速度梯度和搅拌低效边区域。混合料搅拌过程中，近中心的部分运动速度低，靠近拌筒壁处的速度高，存在速度梯度现象。要在保证一定生产效率的条件下获得更高搅拌质量的水泥稳定碎石，就必须解决传统搅拌技术的缺陷。针对普通搅拌技术存在的问题，可采用振动搅拌稳定碎石技术。这种搅拌技术可以大幅度提高水泥稳定碎石混合料的无侧限抗压强度，并且低水泥剂量混合料的无侧限抗压强度可达到较高水泥剂量的强度水平，在足同样强度要求的情况下，可节约水泥用量，将产生显著的社会效益及经济效益。

关键词：路面基层；振动搅拌；普通搅拌；无侧限抗压强度；水泥稳定碎石

DOI： 10.69979/3029-2727.26.03.015

1 原材料要求

1.1 水泥

强度等级为 32.5 或 42.5，水泥的初凝时间应大于 3h，终凝时间应大于 6h 且小于 10h。

1.2 水

符合现行《生活饮用水卫生标准》（GB 5749）的饮用水可直接作为基层底基层材料拌和与养生用水，非饮用水的水质检验，技术要求应符合下表规定：

非饮用水技术要求

项次	项目	技术要求	试验方法
1	pH 值	≥4.5	JGJ 63
2	Cl ⁻ 含量 (mg/L)	≤3500	
3	SO ₄ ²⁻ 含量 (mg/L)	≤2700	
4	碱含量 (mg/L)	≤1500	
5	可溶物含量 (mg/L)	≤10000	
6	不溶物含量 (mg/L)	≤5000	
7	其他杂质	不应有漂浮的油脂和泡沫及明显的颜色和异味	

1.3 粗集料

用做被稳定材料的粗集料宜采用各种硬质岩石或砾石加工成的碎石，也可直接采用天然砾石，根据设计要求及本工程特性，粗集料应符合 JTG/T F20-2015 《公路路面基层施工技术细则》^[6] 的技术要求。

细集料应洁净、干燥、无风化、无杂质，并有适当的颗粒级配，细集料应符合符合 JTG/T F20-2015 《公路路面基层施工技术细则》^[6] 的技术要求，对 0-3mm 和 0-5mm 的细集料应分别严格控制大于 2.36mm 和 4.75mm 的颗粒含量。对 3-5mm 的细集料应严格控制小于 2.36mm 的颗粒含量。

1.4 细集料

1.5 混合料要求

本次研究选取骨架密实型水泥稳定类集料级配, 详见下表:

筛孔尺寸 (mm)	37.5	31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
通过百分率%	--	100	68-86	38-58	22-32	16-28	8-15	0-3

2 原材料的选取与试验

2.1 水泥的选取与试验

水泥选用葛洲坝松滋水泥有限公司 P·C 32.5 规格水泥, 其各项指标应满足 GB 175-2023《通用硅酸盐水泥》^[4] 要求, 对其各项指标按 JTG 3420-2020《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》^[2] 做完试验, 其初凝时间 363min, 终凝时间 465min, 能够满足初凝时间应大于 3h, 终凝时间应大于 6h 且小于 10h 的要求, 其余各项指标均合格。

2.2 水

选用当地自来水。

2.3 粗细集料的选取与试验

此次试验选用湖北佳恒非金属材料有限公司生产的粗细集料。按 JTG 3432-2024《公路工程集料试验规程》^[1] 对粗细集料进行了各项试验, 均符合要求。

3 配合比设计

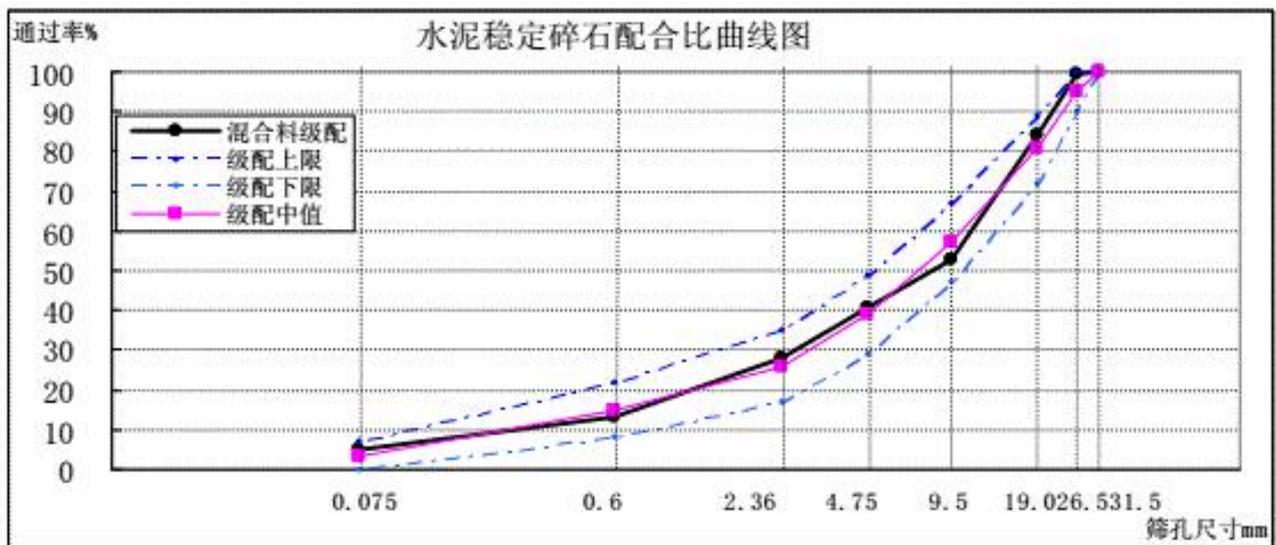
3.1 混合料级配的选择

根据粗细集料试验结果, 按照 1.5 对混合料的要求, 进行配合比组成设计, 选用 20-30mm、10-20mm、5-10mm、0-5mm 共四档料合成, 所用的比列为 22:31:18:29, 详见下表:

混合料合成级配

集料规格 (mm)	比列 (%)	通过下列筛孔 (mm) 的百分率%						
		31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
20-30	22	100	2.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2
10-20	31	100	86.1	8.6	0.8	0.2	0.2	0.2
5-10	18	100	100	98.4	7.4	3.8	0.7	0.7
0-5	29	100	100	100	86.3	61.1	35.1	4.5
合成级配	--	100	74.2	49.5	26.7	18.5	10.2	1.4
要求通过百分率%	--	100	68-86	38-58	22-32	16-28	8-15	0-3

合成后的级配曲线图



3.2 不同拌和方式混合料的击实试验

试验室及水稳站分别用普通拌和、振动拌和两种拌和方式按 JTG 3430-2020《公路土工试验规程》^[3] 的方

法对水泥含量为 3.5%、4.0%、4.5%、5.0% 的混合料进行了拌和及最大干密度试验, 最大干密度采用标准重型击实试验方法测得, 分三层, 每层击实 98 击。具体结

果详见下表:

水泥剂量 (%)	不同拌和方式结合料的最大干密度 (g/m³) 和最佳含水率 (%)			
	普通拌和		振动拌和	
	最大干密度	最佳含水率	最大干密度	最佳含水率
3.5	2.341	4.8	2.324	4.4
4.0	2.348	4.8	2.344	4.6
4.5	2.349	4.8	2.351	4.6
5.0	2.352	4.8	2.359	4.7

3.3 不同拌和方式混合料无侧限试件的成型及强度试验

按 JTG 3441-2024 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》^[5] 对混合料进行试验; 根据得出的最大干密度和最佳含水量, 试验室及拌合站采用厂拌的方式进行取样, 成型方式采用静压法成型, 选用直径*高=∅150mm*150mm 的试模, 用 98% 的压实度计算混合料的

用量。成型后的试件前 6 天将试件放入塑料袋中, 放入标准养护室养护, 第七天将试件取出, 浸泡在 20℃±2℃ 的水中, 使水面高出试件表面约 2.5cm。将已浸水一昼夜的试件从水中取出, 用软布吸取试件表面的水分, 将试件放在压力试验机上, 保持加载速率为 1mm/min。记录试件破坏的最大荷载, 并计算无侧限试件的抗压强度。结果详见下表:

普通拌和 7 天无侧限试件抗压强度值

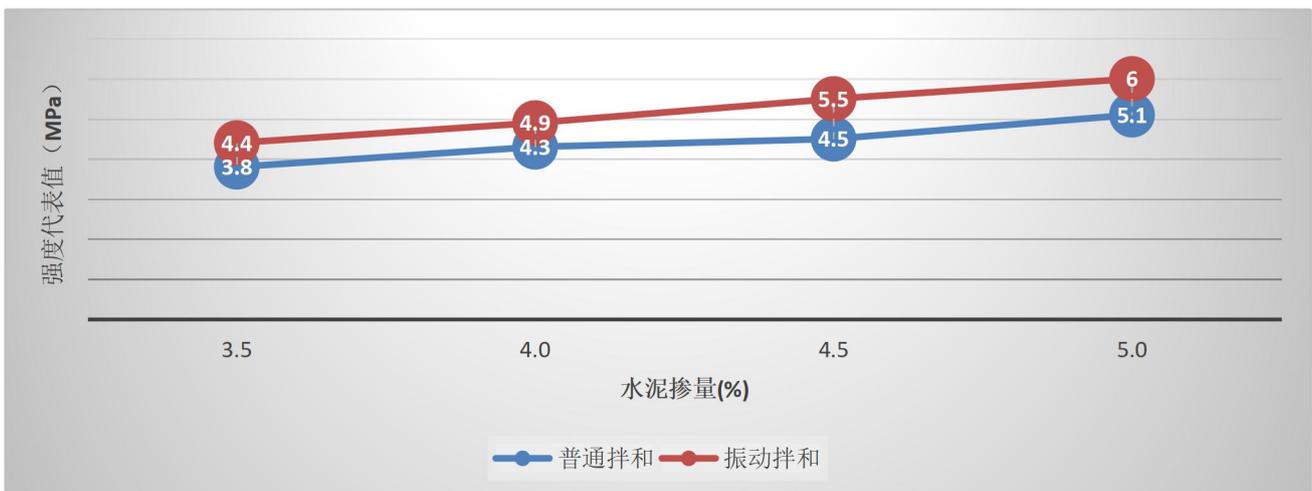
结合料剂量(%)	强度平均值 (MPa)	强度标准偏差 (MPa)	变异系数(%)	强度代表值 (MPa)
3.5	4.1	0.17	4.2	3.8
4.0	4.5	0.14	3.1	4.3
4.5	4.5	0.24	4.9	4.5
5.0	5.4	0.21	3.9	5.1

振动拌和 7 天无侧限试件抗压强度值

结合料剂量(%)	强度平均值 (MPa)	强度标准偏差 (MPa)	变异系数(%)	强度代表值 (MPa)
3.5	4.7	0.19	4.0	4.4
4.0	5.2	0.20	3.9	4.9
4.5	6.0	0.29	4.8	5.5
5.0	6.4	0.23	3.6	6.0

相同水泥剂量无机结合料振动拌和高出普通拌和强度值

结合料剂量(%)	强度平均值 (MPa)		高出值	高出百分比%	强度代表值 (MPa)		高出值	高出百分比%
	普通	振动			普通	振动		
3.5	4.1	4.7	0.6	14.6	3.8	4.4	0.6	15.8
4.0	4.5	5.2	0.7	15.6	4.3	4.9	0.6	14.0
4.5	4.5	6.0	1.5	33.3	4.5	5.5	1.0	22.2
5.0	5.4	6.4	1.0	18.5	5.1	6.0	0.9	17.6



从上图表中可以看出,水泥含量从3.5%到5.0%剂量,无机结合料7天无侧限抗压强度平均值振动拌和普通拌和高出0.6 MPa到1.5 MPa,占比14.6%到33.3%。强度代表值高出0.6 MPa到1.0 MPa,占比14.0%到22.2%。

4 结论

在其他条件都相同的情况下,采用振动拌和方式生产的无机结合料7天无侧限抗压强度比采用普通拌和方式生产的无机结合料高出14.0%到22.2%,平均高出约0.8MPa。

参考文献

- [1]JTG 3432-2024 公路工程集料试验规程;
- [2]JTG 3420-2020 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程;
- [3]JTG 3430-2020 公路土工试验规程;
- [4]GB 175-2023 通用硅酸盐水泥;
- [5]JTG 3441-2024 公路工程无机结合料稳定材料试验规程;
- [6]JTG/T F20-2015 公路路面基层施工技术细则。