

垃圾焚烧炉渣再生微粉稳定碎石强度特性研究

时正凯¹, 董云^{2*}, 刁家康³, 张国瀛³, 刘畅³

(1. 淮安市交通运输局, 江苏 淮安 223021; 2. 淮阴工学院; 3. 南京工业大学)

摘要:为高效再生利用垃圾焚烧炉渣,采用垃圾焚烧炉渣再生微粉(WISRP)部分替代水泥,进行了不同水泥、再生微粉掺量稳定碎石的无侧限抗压强度试验和劈裂强度试验。结果表明:在同样水泥用量时,掺入少量再生微粉可显著提高稳定碎石的强度;在同样胶凝材料用量时,随 WISRP 替代水泥比例的增加,强度均先缓慢后大幅度降低;WISRP 部分替代水泥对稳定碎石早期强度影响较小,对长期强度影响相对较大,对劈裂强度的影响远大于对抗压强度的影响。研究成果说明:利用 WISRP 按照合理的比例替代水泥稳定碎石是可行的。

关键词:垃圾焚烧炉渣再生微粉; 水泥稳定碎石; 抗压强度; 劈裂强度

1 引言

随着中国城市化高速发展,城镇人口数量急剧增长,截至2018年城镇人口总量已超过8.3亿人。生活垃圾无害化处理主要是填埋和焚烧,但由于填埋需占用大量的土地,且极易因渗漏等造成污染,而生活垃圾焚烧减量效果显著,可节省填埋用地,还可消灭各种病原体,将有毒有害物质转化为无害物,且随着机械炉排炉、流化床焚烧炉、回转窑焚烧炉技术以及垃圾气化热解焚烧技术的发展,垃圾焚烧处理效率逐步提高,垃圾焚烧法已成为城市垃圾处理的主要方法之一。

垃圾焚烧后,其体积大大缩减,产生的飞灰和炉渣约为原体积的20%。飞灰中的二噁英及重金属浸出可能会带来环境问题,因此,研究其应用较多,主要作为煅烧水泥及沥青胶浆掺合料等再生利用。炉渣主要是由质地较坚硬的熔渣、玻璃、陶瓷和砖头、石块等组成的非均质混合物,另外还有少量金属制品和塑料、纸类等未完全燃烧有机物。目前,炉渣经分选后,主要作为填料和再生骨料用于沥青混凝土、水泥混凝土及制作烧结砖骨料等。但部分学者及该项目的前期研究表明:垃圾焚烧炉渣经破碎、研磨后,具有与水泥类似的凝胶活性,而把炉渣作为填料或再生骨料用于路堤填筑或混凝土中时,并没有充分发挥其潜在的凝胶活性。

该文以垃圾焚烧炉渣再生微粉(以下简称“再生微粉”)部分替代水泥,配置水泥稳定碎石混合料,探究再生微粉+水泥稳定碎石的力学性能,以进一步提高垃圾焚烧炉渣的再生利用价值。

2 主要材料及配合比设计

2.1 胶凝材料

前期研究表明,垃圾焚烧炉渣易于研磨,强度活性指数可达85以上,此次研究采用强度活性较高的比表面积为700~800 m²/kg的再生微粉,其颗粒级配组成如图1所示,其中10 μm以下活性较高的微粉颗粒含量约占总量的65%。

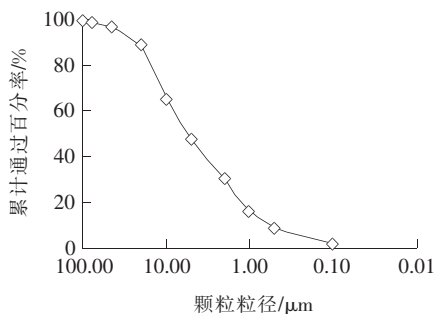


图1 炉渣再生微粉粒径分布曲线

水泥采用普通 P. O. 32.5 级硅酸盐水泥。

收稿日期:2020-12-19

基金项目:江苏省高校自然科学研究重大项目(编号:17KJA560001);江苏省六大人才高峰高层次人才项目(编号:JZ-011);江苏省住建厅建设系统科技项目(编号:2016ZD21);江苏省经济和信息化委员会扶持项目(编号:2017-21)

作者简介:时正凯,男,大学本科,高级工程师. E-mail:1732156836@qq.com

* 通信作者:董云,男,博士,教授. E-mail:hadyun@163.com

2.2 级配碎石

碎石级配按照最大密度曲线理论,采用 n 法确定。
碎石的理论级配组成,如表 1 所示。
结合工程具体情况,利用不同粒径组成的粗集料(A 料、B 料)和石屑(4.75 mm 筛余,以下简称“C 料”),按上述理论级配进行掺配,最终 A 料 : B 料 : C 料的质量比为 :28 : 40 : 32,结果如表 2 所示。

表 1 级配碎石理论级配组成			
筛孔/mm	通过率/%	筛孔/mm	通过率/%
31.5	100	2.36	27.4
19.0	77.7	0.6	13.8
9.5	54.9	0.075	4.9
4.75	38.8		

表 2 级配碎石实际级配组成							
项目	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%						
	31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
A 料	100	48.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
B 料	100	100	45.7	1.7	0.6	0.5	0.3
C 料	100	100	100	99.6	85.5	38.1	9.2
合成级配	100	85.5	50.4	32.7	27.6	12.4	2.0

由合成级配、理论级配与 JTG D50—2006《公路沥青路面设计规范》规定的骨架密实型水泥稳定基层级配范围的级配曲线对比(图 2)可见:理论级配接近规范规定的级配上限,合成级配总体与理论级配吻合较好。相比于理论级配,合成级配中 9.5~19 mm 颗粒含量略高,2.36~4.75 mm 颗粒含量略低,2.36 mm 以下颗粒含量基本一致,且接近规范的上限,更有利于形成骨架。理论级配中 0.075 mm 以下颗粒含量高于级配上限,而合成级配则完全位于规范规定的级配范围内。

表 3 试验配合比				
试验编号	胶凝材料 用/%	再生微粉 替代量/%	实际水泥 用量/%	再生微粉 用量/%
DZ ₄	4	0	4.0	0
DZ ₅	5	0	5.0	0
TD ₅₁	5	10	4.5	0.5
TD ₅₂	5	20	4.0	1.0
TD ₅₃	5	30	3.5	1.5

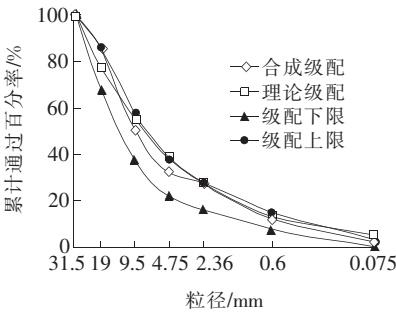


图 2 碎石级配曲线对比

2.3 水泥稳定碎石配合比设计

为探究垃圾焚烧炉渣再生微粉部分替代水泥对水泥稳定碎石路用性能的影响,结合水泥稳定碎石中胶凝材料的常规掺量以及某工程的实际生产配合比,以胶凝材料用量为 4% 和 5% 作为标准对照组,记为 DZ₄、DZ₅;采用再生微粉按 10%、20%、30% 的质量比例内掺等量替代 DZ₅ 中的水泥作为替代组,记为 TD₅₁、TD₅₂ 和 TD₅₃。各试验方案如表 3 所示。

3 试验结果与分析

参照 JTG E51—2009《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》,室内进行了各配合比的击实试验,依据击实试验结果制作试件,进行了无侧限抗压强度试验和间接抗拉强度试验(劈裂试验)。

3.1 无侧限抗压强度试验结果及分析

各配合比不同龄期(7、28 d)的无侧限抗压强度试验结果如表 4 所示。

表 4 结果对比 JTG D50—2006《公路沥青路面设计规范》对水泥稳定类材料的强度要求可见:

(1) 对比 DZ₄ 和 TD₅₂ 可见,在水泥用量同为 4% 时,掺入 1% 再生微粉,其 7 d 和 28 d 无侧限抗压强度平均值分别提高了 9.9%、13.1%,强度代表值分别提高了 9.8%、11.1%,说明垃圾焚烧炉渣再生微粉具有胶凝活性,掺入再生微粉可以提高水泥稳定碎石的无侧限抗压强度。

(2) 对比 DZ₅ 和 TD₅₁、TD₅₂、TD₅₃ 可见,在同样

表 4 无侧限抗压强度试验结果

试件 编号	7 d			28 d		
	强度均 值/MPa	变异系 数/%	强度代表 值/MPa	强度均 值/MPa	变异系 数/%	强度代表 值/MPa
DZ ₄	5.44	10.37	4.51	6.94	10.33	5.76
DZ ₅	6.12	9.76	5.13	8.25	10.47	6.83
TD ₅₁	6.03	10.44	4.99	7.88	9.65	6.62
TD ₅₂	5.98	10.41	4.95	7.85	11.22	6.40
TD ₅₃	5.52	10.84	4.53	7.26	11.68	5.87

胶凝材料用量的前提下,水泥稳定碎石的无侧限抗压强度随再生微粉替代量的增加逐步降低,说明再生微粉替代水泥对稳定碎石的长期强度影响明显大于对早期强度的影响;当替代量较小时,水泥稳定碎石强度降

低也较小,当再生微粉替代水泥超过一定比例后,会造成水泥稳定碎石强度较大幅度的降低。

3.2 劈裂强度试验结果及分析

不同配合比、龄期的劈裂试验结果如表 5 所示。

表 5 劈裂强度试验结果

试件 编号	7 d			28 d		
	强度均 值/MPa	变异系 数/%	强度代表 值/MPa	强度均 值/MPa	变异系 数/%	强度代表 值/MPa
SN ₄	0.31	9.34	0.26	0.39	9.21	0.33
SN ₅	0.48	8.63	0.42	0.54	8.23	0.47
SN ₅₁	0.46	9.45	0.39	0.49	9.66	0.41
SN ₅₂	0.45	9.90	0.37	0.49	10.19	0.40
SN ₅₃	0.30	11.07	0.24	0.41	10.16	0.34

由表 5 可见:不同配合比及龄期的劈裂强度变化规律与无侧限抗压强度的变化规律基本一致;在水泥用量同为 4%时,掺入 1%再生微粉,7、28 d 劈裂强度均有提高;在胶凝材料用量同为 5%时,随再生微粉替代水泥比例的增加,劈裂强度降低明显;说明再生微粉的掺加对劈裂强度的影响远大于对抗压强度的影响。

分析认为,由于再生微粉具有一定的胶凝活性,且细度小于水泥颗粒,掺入后具有活性的颗粒可以发挥胶凝作用,超细的惰性颗粒也可起到一定的充填作用。因此,替代量小时,强度降低不明显,而替代超过一定比例后,虽然超细惰性颗粒的充填作用发挥完全,但可能造成细颗粒越多需要的胶凝材料也越多以及再生微粉胶凝活性低,从而导致水泥稳定碎石无侧限抗压强度较大幅度降低。另外,由于再生微粉中小于 10 μm 的活性颗粒相对较多,早期水化反应速度快,因此,对早期强度的影响较小。

4 结论

通过垃圾焚烧炉渣再生微粉部分替代水泥稳定碎

石的无侧限抗压强度、劈裂强度试验,得到如下结论:

(1) 在同样水泥用量时,掺入少量再生微粉,可显著提高水泥稳定碎石的无侧限抗压强度和劈裂强度,证明再生微粉具有与水泥类似的胶凝活性。

(2) 在同样胶凝材料用量时,采用再生微粉部分替代水泥会造成无侧限抗压强度和劈裂强度随替代比例的增加而降低,当替代水泥比例小于 20%时,强度降低较小,大于 20%时,强度降低显著增加。再生微粉部分替代水泥对水泥稳定碎石早期强度影响较小,对长期强度影响相对较大,对劈裂强度的影响远大于对抗压强度的影响。

(3) 鉴于上述再生微粉部分替代水泥对稳定碎石强度的影响,利用垃圾焚烧炉渣再生微粉替代水泥稳定碎石是可行的,但替代比例应控制在合理的范围。

参考文献:

[1] 乔建刚,韩苗苗,王英,等.生活垃圾焚烧飞灰沥青混合料的路用性能[J].材料科学与工程学报,2019(2).
[2] 颜可珍,郑凯高,胡迎斌.城市生活垃圾焚烧飞灰在沥青胶浆中的应用[J].铁道科学与工程学报,2018(10).