

锰渣微粉沥青性能灰色关联分析^{*}

庞彬, 李泓伟, 谭波, 傅涛

(桂林理工大学 广西岩土力学与工程重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘要: 通过扫描电镜分析粒径约 35 μm 锰渣微粉的空间物理结构;以粉油比 0、3%、6%、9%、12%、15%、18%、21% 掺入 SK70[#] A 级道路石油沥青中制备锰渣微粉沥青,通过针入度、软化点、延度试验,分析不同掺量对沥青的改性效果差异;结合灰色理论分析锰渣微粉掺量与沥青针入度、软化点及低温延度的关联性。结果表明,锰渣微粉的加入对沥青抗针入度有改善作用;软化点先上升而后下降,接近基质沥青;延度下降,总体上能提升沥青的高温受力性能;对沥青低温抗裂性无明显促进效果;粉油比 9% 为其最佳掺量;锰渣微粉掺量对沥青软化点的影响最显著,其次分别为 10 $^{\circ}\text{C}$ 针入度、20 $^{\circ}\text{C}$ 针入度、5 $^{\circ}\text{C}$ 延度、30 $^{\circ}\text{C}$ 针入度、25 $^{\circ}\text{C}$ 针入度、15 $^{\circ}\text{C}$ 针入度。

关键词: 公路;锰渣微粉;沥青胶浆;改性性能;灰色理论

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)04-0051-03

锰渣是锰铁合金冶炼过程中排放的高温炉渣经水淬而形成的一种高炉矿渣,可利用锰渣球磨成微粉来改善沥青或沥青混合料性能。传统数理统计的回归分析、方差分析和主成分分析存在需要大量样本、往往只较好地服从某种分布规律、计算量较大、可能出现量化结果与定性结果不相符的情况等缺点。而灰色系统理论提出了一种系统的关联度分析方法,该方法对样本量大小及分布规律没有过大要求,在多领域得到广泛应用,在沥青改性能研究中已有应用。该文将粒径约 35 μm 的锰渣微粉以粉油比 0、3%、6%、9%、12%、15%、18%、21% 掺入基质沥青中制备锰渣微粉沥青胶浆,通过沥青胶浆性能试验,采用灰色关联度分析方法分析锰渣微粉掺量与沥青性能的关联性。

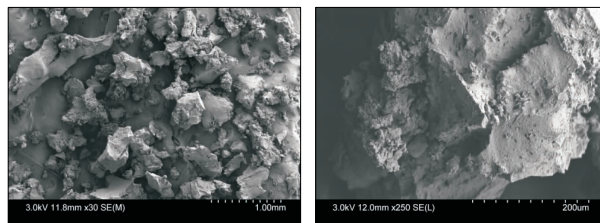
1 锰渣微粉沥青胶浆性能试验

1.1 试验原材料

1.1.1 锰渣微粉

试验用锰渣微粉由广西来宾八一铁合金厂锰铁高炉水淬渣颗粒球磨过筛而得,为灰绿色松散粉体,粒度范围为 35 μm 累积分布 60%、50 μm 累积分布 100%,密度约为 2.836 g/cm^3 ,比表面积约为 632.6 m^2/kg 。其扫描电镜分析结果见图 1。

由图 1 可知:在放大 30 倍倍数下,锰渣微粉之间



(a) 放大30倍

(b) 放大250倍

图 1 锰渣微粉 SEM 图

为独立颗粒体,无明显团聚现象;在放大 250 倍倍数下,锰渣微粉为普通粉体,无特殊的空间孔隙结构。

1.1.2 基质沥青

基质沥青采用 SK70[#] A 级道路石油沥青,其性能检测结果见表 1,满足 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》中 A 级沥青的技术要求。

表 1 SK70[#] A 级沥青的技术性能指标

项目	检测结果	技术要求
针入度(25 $^{\circ}\text{C}$, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	68	60~80
针入度指数 PI	-0.92	-1.5~1
软化点(R&B)/ $^{\circ}\text{C}$	46.6	>45
延度(5 $^{\circ}\text{C}$, 1 cm/min)/cm	100	—
延度(15 $^{\circ}\text{C}$, 5 cm/min)/cm	150	>100
闪点/ $^{\circ}\text{C}$	>260	>260
蜡含量(蒸馏法)/%	1.7	<2.2
溶解度/%	99.8	>99.5
密度(15 $^{\circ}\text{C}$)/(g \cdot cm $^{-3}$)	1.028	实测值

^{*} 基金项目: 广西科技攻关项目(桂科攻 14124004-4-16);广西岩土力学与工程重点实验室项目(11-CX-05);广西大学生创新创业项目(201710596168)

1.2 锰渣微粉沥青胶浆的性能

将锰渣微粉在 105 ℃ 下烘干至衡重,取适量 SK70[#] A 级基质沥青在 135 ℃ 烘箱中融化至流动状态,分别以粉油比(锰渣微粉质量/沥青质量)0、3%、6%、9%、12%、15%、18%、21%,采用高速剪切

分散乳化机在温度 160~170 ℃ 下循环 30 min 制备锰渣微粉沥青,分别进行针入度、软化点、延度试验,根据系列温度针入度值进行一元一次方程线性回归,计算针入度指数 PI 、当量软化点 T_{800} 、当量脆点 $T_{1.2}$ 及塑性温度范围 ΔT ,结果见表 2。

表 2 锰渣微粉沥青的性能指标

粉油比/ %	各温度(℃)下的针入度/(0.1 mm)					延度/cm		软化点	针入度	当量软	当量	塑性温
	10	15	20	25	30	1 cm/ min, 5 ℃	5 cm/ min, 15 ℃	(环球法)/ ℃	指数 PI	化点 $T_{800}/℃$	脆点 $T_{1.2}/℃$	度范围 $\Delta T/℃$
0	12.3	21.1	32.6	61.2	102.5	100	150.0	49.2	-0.92	49.40	-11.80	61.25
3	11.8	21.0	32.5	61.0	101.0	98	150.0	52.3	-0.99	49.29	-11.36	60.65
6	11.5	19.8	32.2	57.8	98.8	97	150.0	56.2	-1.00	49.54	-11.97	60.51
9	11.6	18.8	31.3	52.8	92.3	90	141.6	57.9	-0.77	51.08	-11.67	62.75
12	11.4	19.7	29.9	53.7	91.6	86	139.1	57.5	-0.81	50.85	-11.50	62.35
15	11.3	19.7	30.6	53.7	90.2	84	97.3	54.5	-0.74	51.23	-11.79	63.03
18	11.2	17.3	31.9	53.6	90.2	74	78.2	52.3	-0.90	50.55	-10.89	61.44
21	11.4	18.7	32.2	52.3	89.9	59	65.6	50.1	-0.74	51.27	-11.75	63.02

由表 2 可知:1) 粉油比 $\leq 9\%$ 时,低温(10 ℃、15 ℃)针入度基本保持不变,20 ℃针入度有所减小但不明显,高温(25 ℃、30 ℃)针入度减小明显。9%粉油比时,25 ℃针入度为 52.8 (0.1 mm),相比基质沥青的 61.0 (0.1 mm)减少 8.2 (0.1 mm)。随后增大粉油比,低温(10 ℃、15 ℃)针入度虽有细微浮动但变化较小;20 ℃针入度在粉油比为 12%时达到最小值,其后随着粉油比的增大针入度变大;25 ℃针入度在粉油比为 9%时达到最小值,其后有所增大但增大较小,基本与最小针入度持平;30 ℃针入度在粉油比为 9%时明显下降,继续增大粉油比针入度虽有减小但不明显。2) 粉油比 $\leq 6\%$ 时,改性沥青 5 及 15 ℃延度与基质沥青接近,粉油比增大到 12%后沥青延度大幅度下降。3) 沥青软化点随着粉油比的增大先上升,在粉油比为 9%时达到峰值 57.9 ℃,比基质沥青的 49.2 ℃提升 8.7 ℃,比 3%粉油比沥青的 52.3 ℃提升 5.6 ℃;随后增大粉油比,软化点下降,接近基质沥青性能。4) 沥青感温性表征沥青随温度发生性质变化的幅度,常用针入度指数 PI 描述, PI 值越小,沥青感温性越高。基质沥青的 PI 值为 -0.92。粉油比 $< 6\%$ 时, PI 值随着锰渣微粉的加入而减小,即沥青感温性升高;粉油比达到 9%时, PI 先出现峰值 -0.77,随后出现小幅下降,粉油比达到 15%时再次出现峰值 -0.74,继续增大粉油比, PI 值明显下降,即沥青感温性明显升

高;粉油比达到 18%时, PI 值降至 -0.9,随后增大粉油比, PI 值逐步增大;粉油比为 21%时, PI 值为 -0.74,与粉油比为 9%、15%时 PI 值接近。锰渣微粉沥青的最佳 PI 值为 -0.77~-0.74,相应粉油比有 9%、15%、21%。5) 当量软化点 T_{800} 表征沥青针入度值为 800 (0.1 mm)时的温度,反映沥青的高温稳定性能。随着锰渣微粉的掺入,沥青软化点提升,粉油比为 9%时, T_{800} 达到峰值 51.08 ℃,比基质沥青的 49.4 ℃提升约 1.68 ℃,随后小幅度下降;粉油比增至 15%时出现峰值 51.3 ℃,粉油比为 18%时小幅下降至 50.6 ℃,增大粉油比到 21%时, T_{800} 上升至 51.3 ℃。相比基质沥青,锰渣微粉的掺入能提升沥青的当量软化点 1.5~2.0 ℃,相应粉油比有 9%、15%、21%。6) 当量脆点 $T_{1.2}$ 表征沥青针入度值为 1.2 (0.1 mm)时的温度,反映沥青的低温抗裂性能。随着锰渣微粉的掺入, $T_{1.2}$ 先上升,即沥青低温抗裂性能下降,粉油比为 6%时达到 -11.97 ℃,与基质沥青相比增大约 0.2 ℃;粉油比为 9%时回落至 -11.67 ℃,其后呈小幅度上升;粉油比为 15%时与基质沥青相同,为 -11.79 ℃;粉油比为 18%时为 -10.89 ℃,粉油比为 21%时降至最低值 -11.75 ℃。7) 塑性温度范围 ΔT 为当量软化点和当量脆点间的差值, ΔT 范围越大则其温变区间越广,可塑性能越好。粉油比 $\leq 6\%$ 时, ΔT 先下降,随后随掺量的增大而增大,粉油比 9%时达到峰值;之后出现

小幅波动,在粉油比为 15%、21%时再次达到峰值,与 9%粉油比时的数值接近。

综上,锰渣微粉的加入对沥青的抗针入度有提升作用,对高温受力性能有一定改善,粉油比 9%为最佳掺量;对沥青低温抗裂性能无明显改善效果。

2 锰渣微粉掺量与沥青性能的关联分析

2.1 原始数据无量纲化处理与灰色关联度的确定

设参考数列为 Y_0 ,分析数列为 $Y_i (i = 1, 2, 3,$

$\dots, n)$,有:

$$Y_0 = \{Y_0(1), Y_0(2), Y_0(3), \dots, Y_0(n)\}$$

由于系统中各因素的物理意义不同,分析时可能会由于数量级相差大导致难以得到正确结果。为方便分析,保证各因素具有等效性和同序性,对原始数据进行无量纲化处理:

$$x_i(j) = y_i(j) / y_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

原始数据经无量纲化处理后,在 j 时刻(空间和指标), x_0 与 $x_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 的关联系数为:

$$\xi_i(j) = \frac{\min_i \min_j |x_0(j) - x_i(j)| + \rho \max_i \max_j |x_0(j) - x_i(j)|}{|x_0(j) - x_i(j)| + \rho \max_i \max_j |x_0(j) - x_i(j)|}$$

式中: x 为灰色关联因子集; $|x_0(j) - x_i(j)|$ 为两数列的绝对差; $\min_i \min_j |x_0(j) - x_i(j)|$ 为两极最小差; ρ 为分辨系数,一般取为 0.5; $\max_i \max_j |x_0(j) - x_i(j)|$ 为两极最大差。

关联度的表达式为:

$$r_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \xi_i(j)$$

2.2 锰渣微粉掺量与沥青性能的灰色关联度分析

以锰渣微粉掺量为参考数列,10、15、20、25 及 30 ℃下针入度、软化点及 5 ℃延度等为改性沥青性能的比较数列 K ,不同掺量锰渣微粉沥青的性能指标数列见表 3,无量纲化处理后的关联度见表 4。

由表 4 可知:锰渣微粉掺量与沥青性能存在关联性,对沥青软化点的影响最显著,其次分别为 10 ℃针

表 3 不同掺量锰渣微粉改性沥青的性能指标数列

项目	数列 K	1	2	3	4	5	6	7
掺量/%	x_0	3	6	9	12	15	18	21
针入度/(0.1 mm)	10 ℃	x_1	11.8	11.5	11.6	11.4	11.3	11.4
	15 ℃	x_2	21.0	19.8	18.8	19.7	19.7	18.7
	20 ℃	x_3	32.5	32.2	31.3	29.9	30.6	31.9
	25 ℃	x_4	61.0	57.8	52.8	53.7	53.7	53.6
	30 ℃	x_5	101.0	98.8	92.3	91.6	90.2	90.2
软化点/℃	x_6	52.3	56.2	57.0	57.9	54.5	52.3	50.1
5 ℃延度/mm	x_7	98	97	90	86	84	74	59

表 4 无量纲化处理后的关联度

项目	关联度 r_i
针入度	10 ℃ $r_1 = 0.570\ 9$
	15 ℃ $r_2 = 0.566\ 9$
	20 ℃ $r_3 = 0.570\ 6$
	25 ℃ $r_4 = 0.569\ 0$
	30 ℃ $r_5 = 0.569\ 4$
软化点	$r_6 = 0.573\ 8$
5 ℃延度	$r_7 = 0.570\ 2$
因素排序	$r_6 > r_1 > r_3 > r_7 > r_5 > r_4 > r_2$

入度、20 ℃针入度、5 ℃延度、30 ℃针入度、25 ℃针入度、15 ℃针入度。

3 结论

(1) 锰渣微粉掺入基质沥青对沥青低温抗针入度无明显促进作用,但能提升高温抗针入度能力;沥青延度下降,软化点最高值比基质沥青提升 8.7 ℃;沥青最佳针入度指数为 $-0.77 \sim -0.74$;当量软化点总体上提升 1.5~2.0 ℃;当量脆点无明显变化。锰渣微粉沥青的高温性能有所提升,但低温抗裂性能无明显变化。9%粉油比为综合性能最佳掺量。

(2) 锰渣微粉掺量与沥青性能存在关联性,对沥青软化点的影响最显著,其次分别为 10 ℃针入度、
(下转第 125 页)

后,由道路修建引起的墩顶最大水平位移左、右侧桥墩分别为 2.6、4.5 mm,最大竖向位移均小于 1 mm,采取保护措施后墩顶位移较小,对桥梁的正常使用影响小。2) 新建道路路基填筑一定程度上增大了桩基基底应力,但仍小于岩石抗压强度允许值5MPa,

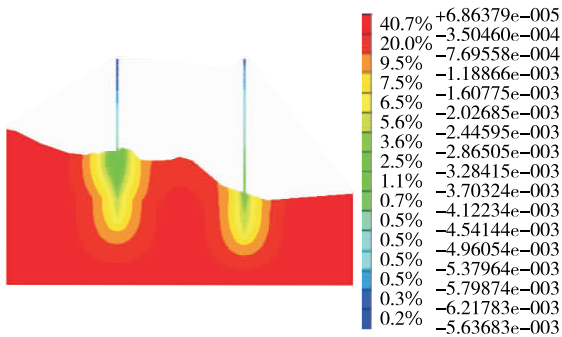


图 7 新建道路建设前竖直方向变形云图(单位:m)

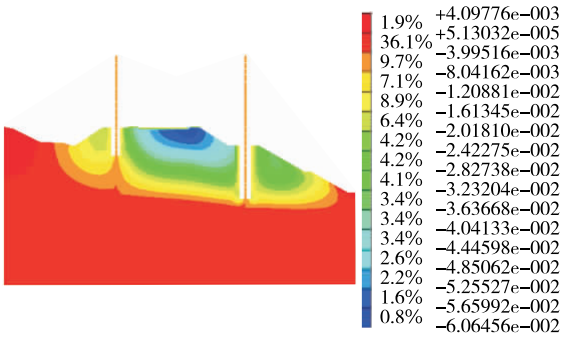


图 8 新建道路建设后竖直方向变形云图(单位:m)

表 1 新建道路建设后上跨桥桥墩变形 mm				
工况	墩顶最大位移增量			
	水平方向		竖直方向	
	左侧	右侧	左侧	右侧
未采取保护措施	-29.0	74.0	-1.34	-2.05
采取保护措施	2.6	4.5	0.12	0.06

表 2 新建道路建设前后上跨桥桩基基底应力 MPa		
工况	地基最大应力	
	左侧桩基	右侧桩基
新建道路修建前	1.3	1.2
新建道路修建后	1.6	1.4

基底岩石稳定。钢筋砼护筒减小了新建路基对上跨桥桥墩的影响,为道路与桥梁的安全运营提供了有力保障。

4 结论

(1) 采取钢筋砼护筒保护措施条件下,新建道路路基填筑对上跨桥桥墩结构安全的影响可忽略。钢筋砼护筒的作用是隔断后期回填土对墩柱产生的侧压力,施工设计中应保证护筒的刚度及抗滑移能力,并对围护筒采取防排水措施,防止水积聚。

(2) 新建道路路基施工前应在桥墩上设置观测点,监测对比施工前后一段时间内桥墩的位移情况,并做好墩柱保护措施。路基施工中尽量减小动力荷载对桥墩的影响,确保墩柱不受机械撞击等安全威胁,并加强桥墩周围防排水,杜绝桥墩周围聚集雨水。路基回填应在桥墩两侧对称进行,避免桥墩单侧堆积土体和单侧聚集临时施工荷载。

参考文献:

[1] 刘自明.桥梁结构模型试验研究[J].长沙交通学院学报,2000,16(3).
[2] JTG D63—2004,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[3] JTG D63—2007,公路桥涵地基与基础设计规范[S].

收稿日期:2018—01—06

(上接第 53 页)

20℃针入度、5℃延度、30℃针入度、25℃针入度、15℃针入度。

参考文献:

[1] 刘陟娜,许虹,王秋舒,等.中国锰矿供需现状及可持续发展建议[J].资源与产业,2015,17(6).
[2] 覃峰.锰渣矿粉沥青混合料抗腐性能研究[J].新型建筑材料,2012(3).
[3] 樊向阳.锰渣矿粉沥青混合料抗老化性能研究[J].山西

建筑,2013,39(35).
[4] 樊向阳,黄琼念,覃峰,等.锰渣矿粉沥青混合料物理力学性能的试验研究[J].广西科技大学学报,2014,25(1).
[5] Deng Julong.The control problems of grey systems[J].Systems & Control Letters,1982,1(5).
[6] 安海超,杨人凤,刘顺林.基于灰色关联方法的橡胶沥青性能影响因素分析[J].公路交通科技:应用技术版,2016(1).

收稿日期:2018—01—03