

文章编号:1671-6833(2008)02-0141-04

基于灰熵法的粉煤灰砼耐磨性影响因素分析

张鸣功, 朱洪洲, 徐松, 唐伯明

(重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074)

摘 要: 耐磨性是道路和桥梁混凝土的主要性能之一, 提高混凝土的耐磨性能对保证其耐久性有重要意义。笔者基于灰熵法, 分析了影响粉煤灰砼耐磨性因素的显著性, 分析结果表明用水量及集料影响显著, 水泥用量次之, 粉煤灰掺量影响最小, 可以为有耐磨要求的粉煤灰混凝土设计提供科学依据。灰熵法理论推导较为严密, 计算简便, 灰熵关联度大小不受分辨系数的影响, 能克服一般灰关联方法存在的不足, 在分析各影响因素的显著性时可以取得更为理想的结果。

关键词: 粉煤灰砼; 耐磨性; 灰熵法; 影响因素

中图分类号: U 414

文献标识码: A

0 引言

当今混凝土发展的两个重要方面, 一是发展 HPC(高性能混凝土); 二是使普通混凝土高性能化, 具有高耐久性。耐久性关乎混凝土材料使用寿命及工程投资收益率, 因此, 近年混凝土耐久性问题已经成为国内外土木工程界关注的热点。

混凝土的抗裂和抗冲击性能一般较差, 特别是在界面条件发生变化的部位, 道路砼在使用过程中受到车辆反复荷载的磨蚀作用, 导致混凝土表面出现脱皮、麻面、露骨等严重磨损病害; 大型桥梁的墩台混凝土也需要有抵抗湍流空蚀的能力, 因此耐磨性是道路和桥梁用混凝土的主要性能之一。

我国掺粉煤灰 HPC 技术正在发展之中, 但由于水泥混凝土路面耐磨性不是验收中的硬指标, 与粉煤灰混凝土耐久性有关的研究主要集中在干缩性能、受压徐变、冻融破坏、抗渗性能、酸碱等物理化学侵蚀作用及碳化、碱集料反应等, 粉煤灰砼耐磨性能的研究还比较少^[1-2]。

1 灰熵分析法

灰色理论是我国邓聚龙教授于 1982 年提出的一种新型工程系统理论。这种理论的优点是, 在不完全的信息中, 分析随机因素序列的关联性, 发现影响系统的主要因素和因素间对系统影响的差别, 只需较少的试验量, 具有较高实用价值。但现

有这些灰色关联方法的共同特点是在确定关联度时都采用计算逐点关联测度平均值的办法得到的, 这必然带来以下不足: (1) 局部关联倾向, 即在点关联测度值分布离散情况下由点关联测度值大的点决定总体关联度倾向; (2) 造成信息损失, 平均值淹没了许多点关联测度的个性, 没有充分利用点关联测度提供的丰富信息, 灰熵方法可以克服这些不足, 使分析更加合理准确^[3-5]。

1.1 灰熵分析的基本步骤

首先求出关联系数, 然后进行灰熵关联的密度值计算、灰熵计算, 最后计算出灰熵关联度, 并根据其大小确定主次因素。

1.2 灰系数

X 为灰关联因子集, $x_0 \in x$ 为参考列, $x_i \in x$ ($i = 1, 2, \dots, m$) 为比较列:

$$\begin{cases} x_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)) \\ x_1 = (x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n)) \\ x_2 = (x_2(1), x_2(2), \dots, x_2(n)) \\ \dots \\ x_m = (x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n)) \end{cases}$$

则比较列与参考列间的灰关联系数为

$$\xi_i[x_0(k), x_i(k)] = \frac{\left| \min_{i=1, m} \min_{k=1, n} \Delta_i(k) + \rho \max_{i=1, m} \max_{k=1, n} \Delta_i(k) \right|}{\Delta_i(k) + \rho \max_{i=1, m} \max_{k=1, n} \Delta_i(k)}$$

1.3 灰熵

设内涵数列 $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, $\forall i, x_i \geq 0$,

收稿日期: 2008-03-19; 修订日期: 2008-04-09

基金项目: 交通部西部建设资助项目(200631881431)

作者简介: 张鸣功(1983-), 男, 湖南浏阳人, 重庆交通大学硕士研究生, 主要从事高性能筑路材料的开发与研究。

且 $\sum x_i = 1$, 称函数

$$H_{\odot}(x) \triangleq - \sum x_i \ln x_i$$

为序号 X 的灰熵, x_i 为属性信息.

1.4 灰熵与灰熵关联度

X 为离散数列, $x_0 \in x$ 为参考列, $x_i \in x, i = 1, 2, \dots, m$ 为比较列, $R_i = \{ \xi[x_0(k), x_i(k)] \quad k = 1, 2, \dots, n \}$, 则

$$P_k \triangleq \frac{\xi[x_0(h), x_i(h)]}{\sum_{k=1}^n \xi[x_0(h), x_i(h)]} \quad P_k \in P_i (h = 1,$$

$2, \dots, n)$, 称为分布的密度值.

X_i 的灰熵表示为:

$$H(R_i) \triangleq - \sum_{k=1}^n P_k \ln P_k$$

序列 x_i 的灰熵关联度为: $E(x_i) \triangleq H(R_i)/H_{\max}$, 其中 $H_{\max} = \ln n$, n 代表由 n 个元素构成的差异信息列的最大值.

2 灰熵分析法考察粉煤灰混凝土耐磨性

笔者采用灰熵分析法, 以 28 d 磨蚀深度为评价指标, 对粉煤灰混凝土耐磨性影响因素中的粉煤灰掺量、水泥用量、水、细集料、粗集料 ($< 25 \text{ mm}$) 以及坍落度的显著性进行评价. 试验选取氧化钙含量为 28.6% 的高钙粉煤灰, 试验数据来源于参考文献[6], 结果见表 1:

表 1 粉煤灰混凝土耐磨性
Tab.1 Wearable corrosion of fly-ash concrete

	试验编号						
	1	2	3	4	5	6	7
X_0 磨蚀深度/mm	2.42	1.85	2.06	2.16	2.05	2.56	2.76
X_1 FA 掺量	0	0	0	15	30	40	50
X_2 水泥掺量	398	397	375	328	259	220	174
X_3 水	123	125	135	139	133	150	141
X_4 细集料	715	712	682	695	677	659	624
X_5 粗集料	1 259	1 264	1 182	1 207	1 172	1 153	1 099
X_6 坍落度	25	45	120	65	160	120	55

2.1 均值化处理

将表 1 作为灰熵分析的原始数列, 对其进行均值变换, 其结果如表 2 所示.

2.2 以 28 d 磨蚀深度为参考序列的灰熵关联度计算

(1) 按照 2.1 中公式计算出各影响指标与磨蚀深度的关联系数, 其结果如表 3 所示.

(2) 灰熵关联密度值计算. 根据 2.3 中灰熵关联密度值计算公式, 得灰熵关联密度计算结果如表 4 所示.

表 2 生成数列
Tab.2 Generation series

	试验编号						
	1	2	3	4	5	6	7
Y_0	1.068	0.817	0.909	0.953	0.905	1.130	1.218
Y_1	0.000	0.000	0.000	0.778	1.556	2.074	2.593
Y_2	1.295	1.292	1.220	1.067	0.843	0.716	0.566
Y_3	0.910	0.925	0.999	1.029	0.984	1.110	1.043
Y_4	1.051	1.046	1.002	1.021	0.995	0.968	0.917
Y_5	1.057	1.061	0.993	1.014	0.984	0.968	0.923
Y_6	0.297	0.534	1.424	0.771	1.898	1.424	0.653

表 3 灰熵关联系数
Tab.3 Coefficient of grey relation entropy method

	试验编号						
	1	2	3	4	5	6	7
ξ^{n1}	0.398	0.464	0.437	0.809	0.522	0.428	0.339
ξ^{n2}	0.763	0.600	0.699	0.871	0.932	0.634	0.521
ξ^{n3}	0.826	0.877	0.898	0.916	0.911	0.987	0.810
ξ^{n4}	0.991	0.761	0.895	0.925	0.898	0.822	0.706
ξ^{n5}	1.000	0.749	0.906	0.934	0.911	0.822	0.711
ξ^{n6}	0.479	0.720	0.581	0.803	0.415	0.712	0.557

表 4 灰熵关联密度
Tab.4 Density of grey relation entropy method

	试验编号						
	1	2	3	4	5	6	7
P_{a1}	0.117	0.137	0.129	0.238	0.154	0.126	0.100
P_{a2}	0.152	0.120	0.139	0.173	0.186	0.126	0.104
P_{a3}	0.133	0.141	0.144	0.147	0.146	0.159	0.130
P_{a4}	0.165	0.127	0.149	0.154	0.150	0.137	0.118
P_{a5}	0.166	0.124	0.150	0.155	0.151	0.136	0.118
P_{a6}	0.112	0.169	0.136	0.188	0.097	0.167	0.131

(3) 灰熵及灰熵关联度计算. 根据 2.3 灰熵的计算公式, 得比较列的灰熵 $H(R_i)$ 分别为:

$$\begin{aligned} H(R_{a1}) &= 1.907 4, & H(R_{a2}) &= 1.927 8, \\ H(R_{a3}) &= 1.944 0, & H(R_{a4}) &= 1.940 1, \\ H(R_{a5}) &= 1.939 5, & H(R_{a6}) &= 1.922 8. \end{aligned}$$

最后, 由灰熵计算出灰熵关联度, 不同因素的灰熵关联度如图 1 所示.

3 粉煤灰混凝土耐磨性影响因素分析

根据以上分析可知, 用水量、细集料、粗集料对煤灰混凝土耐磨性影响很显著, 水泥用量次之, 坍落度影响不大, FA 掺量影响最小. 下面分别讨

论各因素如何影响粉煤灰混凝土的耐磨性。

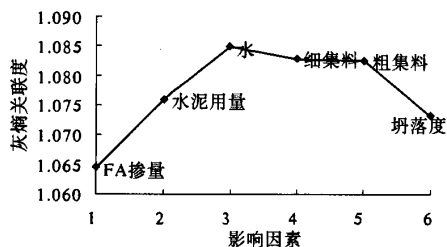


图1 不同因素的灰熵关联度

Fig. 1 The relation degree of grey entropy

3.1 水

一般来说,在混凝土充分密实的情况下,用水量越大,越容易产生泌水和离析,水泥浆和细颗粒浮在表面形成软弱薄层,易产生容易剥落的“粉尘”,这对耐磨性特别不利,为减少浮浆层,在施工时要等到泌水停止后除去浮浆,再抹平收光。拌合物凝结硬化过程中水分蒸发形成的毛细管通道是结构物的缺陷,过多的水在混凝土内部不断地吸附和脱附,水中化学物与水泥及水化物发生反应,盐类在空隙中结晶和溶解,都极大地影响耐磨性^[1]。实践证明,用减低水灰比和真空脱水的施工方法对提高混凝土密实度和耐磨性非常有利。

3.2 细集料

混凝土的抗冲耐磨性与细集料的掺量、成分与颗粒级配密切相关。用质地坚硬,含石英较多,清洁及级配良好的粗、中砂拌制的混凝土抗冲耐磨性能良好,水利水电科学院试验研究试验资料表明^[1]:砂子细度模数从2.31下降到1.26,混凝土抗冲耐磨强度降低2倍。

3.3 粗集料

粗集料在混凝土中占的含量最多,粗集料的岩石品种及力学性能对混凝土抗冲耐磨强度影响很大,在抗压强度基本相同但不同岩石品种和级配作粗集料拌制的混凝土,其抗冲耐磨性有显著差别。粗集料粒径大小对混凝土的抗冲耐磨强度也有明显影响,其他参数一致只有粗集料粒径不同的混凝土,抗冲耐磨性随粒径的增大而增大,这是由于粒径增大,混凝土中抗冲耐磨强度低的水泥石含量减少所致,但粒径过大对混凝土的其他性能有影响,因此粗集料的最大粒径受到限制。

3.4 水泥

一般来说,在磨损作用下,混凝土表面的水泥浆总是先被削去,然后集料中的细小颗粒由于缺少水泥浆的裹覆而剥落,最后露石,由粗集料承担

主要耐磨作用。水泥浆的裹覆能力越强,对耐磨性贡献越大。水泥的抗冲耐磨性能主要取决于水泥矿物成分的耐磨性,在硅酸盐水泥主要矿物成分中, C_3S 抗冲耐磨性最强, C_2S 较差, C_3A 和 C_4AF 的耐磨性很差。人们试图用提高水泥浆体耐磨性的办法提高混凝土的抗冲耐磨性,如用含氧化铁较高的道路水泥,但事实证明这方法效果并不显著^[7]。

3.5 坍落度

坍落度是新拌混凝土工作性的重要指标。随着粉煤灰掺量的增加,拌合物的坍落度也增大。大掺量粉煤灰混凝土的坍落度与需水量有很大关系,一般来说,混凝土中掺加粉煤灰后,如果采用同样用水量,混凝土拌和料的坍落度则明显提高,在实践中可看到掺粉煤灰高性能混凝土的黏聚性、保水性好,无离析泌水现象。

3.6 粉煤灰掺量

美国联邦公路局研究认为,当采用不超过15%掺量的粉煤灰部分取代水泥后,可获得不低于基准混凝土的耐磨性能,并指出粉煤灰混凝土可用于承受磨耗的混凝土路面工程。笔者计算结果显示,不超过50%掺量的粉煤灰对混凝土耐磨性影响不大。但对于大掺量($>50\%$)粉煤灰混凝土其耐磨性方面的试验数据还不充分。A BILODEAU等人研究指出,掺58%的ASTM Class F粉煤灰混凝土的力学性能与抗磨耗性能与同样掺有高强减水剂和气剂的普通混凝土比较,高掺量粉煤灰混凝土的抗磨耗性能降低约30%^[8]。

4 结论

(1)根据以上分析可知,用水量、细集料、粗集料对煤灰混凝土耐磨性影响很显著,水泥用量次之,坍落度影响不大,FA掺量影响最小。通过找出影响粉煤灰混凝土耐磨性影响因素间的主次关系,可以为有耐磨性能要求的粉煤灰混凝土优化设计提供科学依据。

(2)运用灰熵分析方法,不但克服了以往仅用单一指标(如磨耗深度或磨耗质量)进行评价的片面性,还可深入考察混凝土原材料和配合比各因素对混凝土耐磨性能的影响程度,因灰熵关联度大小不受分辨系数的影响,能克服一般灰熵方法存在的不足,在分析系统各影响因素的显著性时运用灰熵法可以取得更为理想的结果,同时该法推导较为严密,计算简便。

(3)分析结果显示,FA 掺量对粉煤灰混凝土的耐磨性影响最小.这点是基于粉煤灰掺量不超过 50% 的混凝土而言,对于 > 50% 掺量的粉煤灰混凝土耐磨性方面的研究还不充分.

参考文献:

- [1] 杨伯科.混凝土实用新技术手册[M].辽宁:吉林科学技术出版社.1998.
- [2] 陈瑜,张起森.掺粉煤灰道路混凝土耐磨性能的模糊综合评估[J].建筑材料学报.2004,(6):178-182.
- [3] 邓聚龙.灰关联熵分析方法[J].系统工程理论与实践.1996,(8):7-11.
- [4] 肖新平.灰技术基础及其应用[M].北京:科学出版社,2005.
- [5] 刘红瑛.影响沥青混凝土水稳定性的灰关联熵分析[J].长安大学学报.2003,23(6):7-10.
- [6] 钱觉时.粉煤灰特性与粉煤灰混凝土[M].北京:科学出版社,2002:199-200.
- [7] 张炳乾.粉煤灰水泥混凝土路面修筑技术研究[D].长安大学.2000:38-39.
- [8] Bilodeau A, Malhotra V M. Concrete incorporating high volumes of ASTM class fly ashes: mechanical properties and resistance to deicing salt scaling and to chloride-ion penetration[J]. ACI Special Publication, Sp132-19, 1992.

Research on the Wear-resistant of Fly-ash Concrete by Grey Correlation Entropy Method

ZHANG Ming-gong, ZHU Hong-zhou, XU Song, TANG Bo-ming

(School of Civil Engineering & Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Wear resistance is one of the main properties of road and bridge concrete. Improving the wear resistance of concrete plays an important part in ensuring its durability. Based on the gray entropy theory, This paper analysed the significance of wearable corrosion of fly-ash concrete. The results showed that water and aggregate play a major role in wearable corrosion, followed by cement consumption, fly ash content has the least impact. The deduction of gray entropy theory is very strict, and the calculation is simple. The grey relation entropy method can overcome the disadvantage of normal grey relation method, and the relation degree of grey entropy were not influenced by discriminant factor. Better results can be achieved for the use of gray entropy theory when analysing of the effects of different factors.

Key words: fly-ash concrete; wearable corrosion; grey correlation entropy method; influencing factor

(上接第 140 页)

Three-dimensional FEM Simulation Analysis for Soft Tunnel during Excavation and Supporting

ZHANG Xun-an, WANG Xian-bin

(School of Mechanics & Civil Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In order to verify the possibility of design and construction scheme of a certain national defense tunnel project based on theory of structure design and guide line of Drucker-Prager for rock, taking into account of its capability bearing the weight of wall rock, the excavation and supporting for the tunnel is simulated with three-dimensional FEM by ANSYS9.0 software. We verify the design parameter, comprehensively analyze transfiguration of wall rock and effect of primeval supporting. The conclusion is that the design scheme is feasible, the primeval supporting can meet a requirement, wall rock can keep steady by itself. The numerical analysis result is consistent with actual measurement outcome. It can offer academic guidance for relevant engineering design and site operation.

Key words: soft tunnel; FEM method; bolting and shotcreting; three-dimensional numerical simulation