

灰色系统理论在混凝土侵彻深度计算中的应用

刘艳^{1,2}, 许金余^{1,2}

(1. 西北工业大学, 陕西 西安 710072; 2. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:根据灰色关联分析原理,将影响侵彻深度的众多因素组成比较数列,将实际参数组成参考数列,由灰色优化理论得出选择侵彻深度计算公式的一般方法。经算例验证,这种方法的决策结果与实验结果相一致,侵彻深度计算误差小于5%,在工程中是可行的。

关键词:混凝土;侵彻深度;灰色关联分析;优化理论

中图分类号: TJ01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)04-0092-03

对于弹丸侵彻混凝土的过程,由于对其受力机理认识不足,加之混凝土高应变率的复杂性,其解析解和数值计算方法还达不到实用阶段。通过试验资料处理得到的经验公式简洁实用,在一定范围内准确性较高,因此就成为世界各国设计手册中预估射弹侵彻混凝土深度时的首选。目前已公布的预估弹丸侵彻混凝土深度的经验公式已不下20多种^[1-2]。如1910年的修正Petry公式,美国陆军工程兵1946年提出的ACE公式,1946年美国国防研究委员会提出的NDRC公式,1982年Halder和Miller对NDRC修正后的Halder-Miller公式,1993年M. J. Forrestal等根据空腔膨胀理论建立的Forrestal公式,1997年发布了最新版的Young公式等。每个经验公式都是以大量的试验数据为基础建立起来的,必然也具有一定的经验性和应用范围。

具体的工程设计,选择不同的经验公式,得到的侵彻深度也不同。对于这类问题的求解,必须正确地综合考虑与侵彻深度相关因素的影响,采用合理的评判方法,从而选择出可靠精确的设计公式。本文基于这一考虑,构造出影响弹丸侵彻混凝土的指标体系,把它作为一种灰色系统,应用灰色关联分析来决策某一具体工程所应采用的最优经验公式。

1 模型建立

灰色系统理论是研究信息不完全系统的方法。灰色关联分析是灰色系统中提出的一种系统有效的分析方法。它可在不完全的信息中,对所分析研究的各因素,通过一定的数据处理,在随机的因素序列间,找出各因素间的主要关系和影响目标值的重要因素,掌握事物的主要特征,从而做出决策。因此,特别适用于弹丸侵彻混凝土这种复杂、影响因素较多,而且具有不确定性问题的分析和评价。

1.1 关联系数计算

设系统有 m 项影响侵彻深度计算公式的实际指标值组成比较数列 X_j , m 项影响侵彻深度的理想解作为参考数列 X_0 ,考虑可行的侵彻深度计算公式为 n ,则有

$$\begin{cases} X_j = \{X_j(i)\} & (i=1,2,\dots,m; \quad j=1,2,\dots,n) \\ X_0 = \{X_0(i)\} & (i=1,2,\dots,m) \end{cases} \quad (1)$$

X_j 与 X_0 的第 i 个分类指标的近似程度用关联系数表示为^[3]

$$\zeta(X_0, x_j) = \frac{\min_j \min_i |X_0(i) - X_j(i)| + \rho \max_j \max_i |X_0(i) - X_j(i)|}{|X_0(i) - X_j(i)| + \rho \max_j \max_i |X_0(i) - X_j(i)|} \quad (2)$$

收稿日期:2005-11-25

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:刘艳(1980-),女,江苏淮安人,博士生,主要从事防护工程、总体力学研究;

许金余(1963-),男,吉林靖宇人,教授,博士生导师,主要从事防护工程、结构工程及岩土工程等研究。

式中: $\min_j \min_i |X_0(i) - X_j(i)|$ 为两级最小差; $|X_0(i) - X_j(i)|$ 表示对应同一 i 值的参考数列与第 j 个比较数列的元素之差的绝对值; $\max_j \max_i |X_0(i) - X_j(i)|$ 为两级最大值; ρ 为分辨系数, 取值范围为 $0 < \rho < 1$, 一般取 $\rho = 0.5$ 时, 具有较高的分辨率。

1.2 优势因素分析

因为关联系数是由数列给出, 数据很多, 信息过于分散, 不便于比较, 因此, 可以利用参考数列 X_j 和比较数列 X_0 的关联度解决, 关联度定义为

$$R_j = (\sum_{i=1}^m \zeta(X_0, X_j)) / m \quad (i=1, 2, \dots, m; \quad j=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中: R_j 称为 X_j 与 X_0 的关联度。 R_j 值越大, 则 X_j 与 X_0 的关系越密切, 从而实现综合决策, 选出最佳方案。

2 实例应用

2.1 弹丸侵彻混凝土深度计算公式的指标体系

对于圆柱形弹丸侵彻混凝土靶板的过程, 进行分析、归纳, 根据相对独立性、完全性的原则, 建立弹丸侵彻效果的指标体系, 见图 1。这些指标包括弹丸直径 D 、弹丸长度 L 、弹头长度 L_N 、弹丸质量 M 、弹丸初速度 V 、靶板密度 ρ 和靶板材料强度 f_c 等。

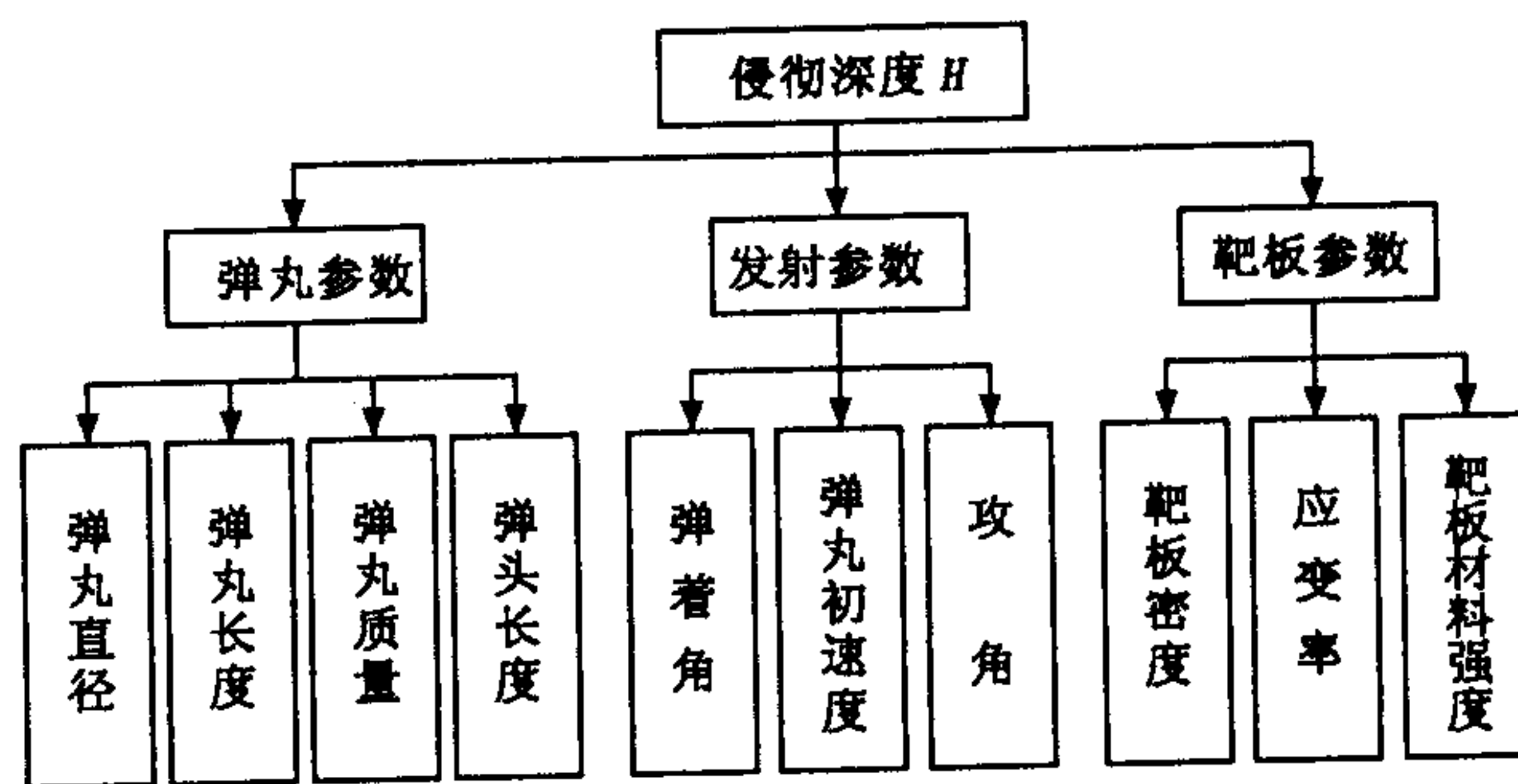


图 1 弹丸对混凝土侵彻深度的指标体系多层递阶结构图

表 1 灰色关联分析的多目标决策的基本指标初值化数列

分系统指标	序号	指标初值				理想解初值 X_0
		X_1	X_2	X_3	X_4	
弹丸初速度	2	0.95	0.9	0.95	0.9	1
弹丸直径	3	0.75	0.9	0.95	0.7	1
弹丸长度	4	0.95	0.9	0.95	0.9	1
弹头长度	5	0.95	0.9	0.9	0.9	1
弹丸质量	6	0.7	0.75	0.95	0.7	1
靶板密度	7	0.9	0.9	0.9	0.9	1
靶板材料强度	8	0.95	0.7	0.9	0.9	1

2.2 实例分析

用 $L_N = 0.07$ m, $L = 0.15$ m, $M = 0.411$ kg, $D = 0.03$ m 的弹丸侵彻强度 $f_c = 22.3$ MPa 的混凝土靶板, 弹丸发射速度为 $v = 430.0$ m/s^[5]。采用 Young、ACE、Forrestal、NDRC 文献评估侵彻深度。表 1 给出各指标体系的实际数列的初值化数列。

2.3 关联系数及关联度的计算

根据表 1, 把有关数据代入式(2), 可得到以下关联系数数列:

$$\zeta(X_0, X_1) = (1, 0.5, 1, 1, 0.44, 0.81); \quad \zeta(X_0, X_2) = (0.8, 0.8, 0.8, 0.8, 0.5, 0.8, 0.44);$$

$$\zeta(X_0, X_3) = (1, 1, 1, 0.8, 1, 0.8, 0.8); \quad \zeta(X_0, X_4) = (0.8, 0.44, 0.8, 0.8, 0.44, 0.8, 0.8)$$

把上面有关数据代入式(3), 式中 $m = 7$, 这样可以得到 $n = 4$ 个比较数列 X_j 与参考数列 X_0 之间的关联度: $R_1 = 0.8714$; $R_2 = 0.7057$; $R_3 = 0.9143$; $R_4 = 0.6971$ 。由理论分析可以看出, 每个因素的关联度越大, 表明这个因素的影响越大, 它就是系统的优势因素。结果表明采用 Forrestal 公式计算的侵彻深度为最佳公式, 其次是 Young 公式。

2.4 试验验证

把实例的数据代入式(1)~式(4), 分别按 Young 公式、ACE 公式、Forrestal 公式、NDRC 公式计算侵彻深度, 结果为 0.225 m、0.157 m、0.235 m、0.129 m。由文献[5], 试验实测结果 0.240 m。通过比较, 发现用

Forrestal 公式计算的结果最为接近,误差为 3.75%,Yong 公式次之,这与用灰色决策理论得出的结果相一致。

3 结论

由于现在对弹体在侵彻过程中的受力机制认识不足,而且混凝土高应变率本构关系的复杂性,目前还无法得到侵彻深度的解析解。本文采用系统工程理论,提出侵彻深度众多影响因素的分层递阶结构图,利用灰色关联分析,根据各经验公式中各参数的适用范围建立了初值化比较数列,将实际参数组成参考数列,形成多目标的决策方法。通过实例表明,该计算方法简单、实用,将此模型用于工程实际中是切实可行的。

参考文献:

- [1] Heuze F E. An Overview of Projectile to Geological Materials with Emphasis on Rock[J]. Int J Rock Meck Min Sci & Geomech,1990,27(2):1-14.
- [2] 任辉启,何翔,刘瑞朝,等. 弹丸侵彻混凝土过载特性研究[J]. 土木工程学报,2005,38(1):110-116.
- [3] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1988.
- [4] Forrestal M J, Frew D J, Hanchak S J, et al. Penetration of Grout and Concrete Targets with Ogive-nose Steel Projectiles[J]. International Journal of Impact Engineering,1996,18(5):465-476.
- [5] 董军,邓国强,杨科之,等. 弹丸对混凝土薄板的冲击破坏效应[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(4):713-720.

(编辑:姚树峰)

Application of Gray System Theory to Determination of Depth Calculation of Projectiles Penetration into Concrete

LIU Yan^{1,2}, XU Jin-yu^{1,2}

(1. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: Based on a great deal of test data, all empirical formulas for projectiles penetration into concrete have a limited domain in engineering. According to the principle of gray correlation analysis, a comparison data sequences are composed of multiply factors that influence the penetration depth. Meanwhile, the reference data sequences are also organized by the actual parameters. A common method for choosing the empirical formula of penetration depth is presented based on the model of gray optimal theory. The results of example show that the result of the gray correlation analysis is consistent with the experiment result, and the error of penetration depth is less than 5%.

Key words: concrete; penetration depth; gray correlation analysis; optimal theory