

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2023.06.016

石灰岩矿物成分对岩石强度影响的灰色关联分析*

刘洪磊, 李凌杰, 杨兴旺, 徐琦

(河南金欧特实业集团股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 基于岩石的矿物成分与饱水抗压强度试验数据, 利用灰色关联分析法分析石灰岩中方解石、石英、白云石和云母的质量分数对岩石饱水抗压强度的影响, 计算各矿物成分与岩石饱水抗压强度的灰色关联度, 研究石灰岩矿物成分对岩石饱水抗压强度的影响。结果表明, 岩石中方解石的质量分数与岩石饱水抗压强度的关联度为 0.947, 岩石中石英的质量分数与集料饱水抗压强度的关联度为 0.832, 影响石灰岩饱水抗压强度的主要矿物成分是方解石和石英; 方解石质量分数减少, 石英质量分数增加时, 石灰岩的饱水抗压强度增大。

关键词: 公路; 石灰岩; 矿物成分; 岩石强度; 灰色关联分析

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)06-0084-03

准确测量岩石的单轴抗压强度和抗拉强度是保证工程岩体安全稳定的前提^[1]。岩石的抗压强度是岩石在压力作用下破坏时的强度值, 在工程岩体稳定性分析及建筑材料选择中都是必不可少的技术指标^[2-4]。相对于玄武岩等火成岩, 石灰岩的抗压强度小, 特别是对于沥青混凝土路面结构, 如果条件允许, 应多采用抗压强度大的玄武岩类硬质岩石。但岩石的抗压强度受多方面因素的影响, 包括岩石矿物组成、含水量及试验条件等, 其中岩石矿物组成是影响其抗压强度的重要因素之一^[5-7], 如岩石中石英、长石和橄榄石等质量分数较高时岩石抗压强度较高, 而岩石中所含云母、黏土矿物等软弱矿物较多时抗压强度较低。本文选取 7 种石灰岩进行抗压强度试验, 利用灰色关联分析理论对各数据序列参数之间的关联度进行量化, 分析岩石矿物成分对石灰岩抗压强度的影响, 确定影响石灰岩强度的主要矿物成分。

1 原材料性能

1.1 岩石饱水抗压强度

选用河南不同地市所使用的 7 种石灰岩, 分别编号为 A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7。7 种石灰岩的饱水抗压强度和粗集料的技术性能指标分别见表 1、表 2。

1.2 岩石矿物成分分析

使用 X-射线衍射仪对 7 种石灰岩进行岩性组

分分析, 结果见表 3。

表 1 石灰岩的饱水抗压强度

石灰岩编号	抗压强度/MPa	石灰岩编号	抗压强度/MPa
A1	91.7	A5	65.9
A2	98.4	A6	58.1
A3	80.7	A7	82.0
A4	65.8		

表 2 粗集料的技术指标

石灰岩编号	石料压碎值/%	洛杉矶磨耗损失/%	表观相对密度	吸水率/%	针片状颗粒含量/%
A1	19.1	20.6	2.474	0.09	11.4
A2	21.5	21.9	2.738	1.03	12.8
A3	24.3	23.1	2.706	0.98	16.1
A4	18.8	20.3	2.725	0.07	5.8
A5	22.6	23.1	2.729	0.12	9.7
A6	14.3	15.9	2.394	0.27	7.1
A7	19.4	21.1	2.738	0.21	7.7

2 灰色关联分析理论

灰色关联分析的基本原理是对有限的资料进行量化处理, 根据量化处理数据大小分析各影响要素曲线序列的相似度, 进而判断其关联程度, 与序

* 基金项目: 许昌市第四批转型升级创新专项(20200113009)

表3 石灰岩的矿物成分

石灰岩 编号	矿物成分的质量分数/%			
	方解石	石英	白云石	云母
A1	98	2	0	0
A2	93	3	4	0
A3	99	1	0	0
A4	99	1	0	0
A5	94	2	4	0
A6	96	4	0	0
A7	82	12	2	4

列曲线的形状越接近,则对应序列之间的关联程度越大,反之越小。关联程度量化数据大小可以直接描述各影响要素间在系统发展过程中的方向、速度和大小相对变化情况,是各影响因素对结果影响的关键度量标准,关联程度量化数据越大,影响程度越大,该影响因素越重要^[8-10]。在信息和数据不足的情况下,灰色理论为系统问题提供了新的解决途径。其主要计算步骤:

(1) 确定参考数列和比较数列。设参考数列为 $X_0(k) (k=1,2,\dots,m)$, 比较数列为 $X_i(k) (k=1,2,\dots,m; i=1,2,\dots,n)$ 。

(2) 无量纲化处理。参考数列和比较数列的数值差异较大,同时采用的量纲不一致,为便于后期进行数据对比,采用均值化的数据处理方法对数列进行无量纲化处理,计算公式如下:

$$Y_0(k) = \frac{X_0(k)}{\sum_{k=1}^m X_0(k)/m} \quad (k=1,2,\dots,m) \quad (1)$$

$$Y_i(k) = \frac{X_i(k)}{\sum_{k=1}^m X_i(k)/m} \quad (k=1,2,\dots,m; i=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

(3) 计算灰色关联系数。设已经过无量纲化处理的参考数列和比较数列分别为 $\{Y_0(t)\}$ 、 $\{Y_i(t)\}$, 则当时刻 $t=k$ 时, $\{Y_0(t)\}$ 与 $\{Y_i(t)\}$ 的关联系数 $\xi_{0i}(k)$ 为:

$$\xi_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta_{\max}} \quad (3)$$

式中: Δ_{\max} 、 Δ_{\min} 分别为各时刻两个数列绝对差的最大值和最小值,按式(4)、式(5)计算; ρ 为分辨系数,主要作用是显著提高各关联系数间的差异性,便于关联程度对比,其值一般取 0.5; $\Delta_{0i}(k)$ 为 k 时刻两

个数列的绝对差,按式(6)计算。

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)| \quad (4)$$

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| \quad (5)$$

$$\Delta_{0i}(k) = |Y_0(k) - Y_i(k)| \quad (6)$$

(4) 按式(7)计算关联度 γ_{0i} 。 γ_{0i} 表示比较数列与参考数列之间关联程度大小,其值越大,两者关系越密切,即比较数列 $X_i(k)$ 对参考数列 $X_0(k)$ 的影响程度越大。

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_{0i}(k) \quad (k=1,2,\dots,m; i=1,2,\dots,n) \quad (7)$$

3 岩石矿物成分对岩石抗压强度的影响分析

将所选石灰岩的饱水抗压强度作为参考数列 X_0 , 以岩石矿物成分作为比较数列 X_1 (方解石, %)、 X_2 (石英, %)、 X_3 (白云石, %)、 X_4 (云母, %), 采用均值化方法对表 1、表 3 中数据进行无量纲化处理, 结果见表 4。

表4 试验结果的无量纲化处理

石灰岩编号	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4
A1	1.180	1.038	0.483	0.000	0.000
A2	1.270	0.985	1.690	2.800	0.000
A3	1.040	1.048	0.241	0.000	0.000
A4	0.850	1.048	0.241	0.000	0.000
A5	0.850	0.995	0.483	2.800	0.000
A6	0.750	1.017	0.966	0.000	0.000
A7	1.060	0.868	2.897	1.400	7.000

分析岩石矿物成分对岩石饱水抗压强度的影响程度,按式(6)计算各矿物成分无量纲化后数列与石灰岩饱水抗压强度无量纲化数列的绝对差值,计算结果见表 5。

表5 各影响因素数列的绝对差值

石灰岩编号	Δ_{01}	Δ_{02}	Δ_{03}	Δ_{04}
A1	0.142	0.697	1.180	1.180
A2	0.285	0.420	1.530	1.270
A3	0.008	0.799	1.040	1.040
A4	0.198	0.609	0.850	0.850
A5	0.145	0.367	1.950	0.850
A6	0.267	0.216	0.750	0.750
A7	0.192	1.837	0.340	5.940

根据表 5,按式(4)、式(5)计算,得:

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_k \Delta_i(k) = 5.940$$

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_k \Delta_i(k) = 0.008$$

取分辨率系数为 0.5,按式(3)计算各影响因素的关联系数,按式(7)计算两数列间的关联度,结果见表 6。

表 6 各影响因素的关联系数和关联度

石灰岩编号	ξ_{01}	ξ_{02}	ξ_{03}	ξ_{04}
A1	0.96	0.81	0.72	0.72
A2	0.91	0.88	0.66	0.70
A3	1.00	0.79	0.74	0.74
A4	0.94	0.83	0.78	0.78
A5	0.96	0.89	0.61	0.78
A6	0.92	0.93	0.80	0.80
A7	0.94	0.62	0.90	0.33
关联度	0.947	0.823	0.744	0.694

从表 6 可以看出:各矿物成分对石灰岩饱水抗压强度的影响程度大小为方解石>石英>白云石>云母,方解石和石英是影响石灰岩饱水抗压强度的主要矿物成分。理论上岩石中所含硬度较小的矿物组分越多,岩石的硬度越低;所含硬度较大的矿物组分越多,岩石的硬度越大。从石灰岩的矿物组成角度分析,石灰岩的造岩矿物绝大部分由方解石和石英组成,石灰岩的物理、化学性质主要由方解石和石英决定。方解石的硬度较小,硬度值仅为 3,方解石质量分数较大的石灰岩的饱水抗压强度一般较小;石英的硬度较大,硬度值为 7,石灰岩的饱水抗压强度随着石英质量分数的增大而增大。

相对于 A3 和 A5 石灰岩,A6 石灰岩中石英的质量分数较大,但从 A6 切割后剖面来看其内部纹理破坏严重,肉眼可见表面有明显裂隙,其饱水抗压强度相对于其他石灰岩偏小,说明岩石内部纹理不规则及存在裂隙时其抗压强度将降低。7 种石灰岩中,A7 石灰岩的石英质量分数最大,达 12%,但其饱水抗压强度并不是最大的,原因是 A7 石灰岩中

含有云母,云母作为岩石内部的弱质矿物,它的存在极大地影响着岩石的强度和其他物理力学性质。

4 结论

(1) 造岩矿物成分对石灰岩饱水抗压强度的影响程度由高到低分别为方解石、石英、白云石、云母。

(2) 方解石和石英是影响石灰岩饱水抗压强度的主要矿物成分,石英的质量分数大、方解石的质量分数小时,石灰岩通常表现出较高的抗压强度。但石灰岩内部纹理不规则及存在裂隙时其抗压强度将降低。

参考文献:

[1] 陈祖军,何明明,周佳佩,等.基于数字钻技术的岩石强度特性预测方法研究[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2023,20(3):91-101.

[2] 徐小华.石灰岩在高速公路沥青路面抗滑表层中的运用研究[D].重庆:重庆交通大学,2010.

[3] 祝明.广西地区石灰岩碎石压碎值特性及对混凝土抗压强度的影响[D].长沙:长沙理工大学,2012.

[4] 丁占锋.石灰岩用于沥青路面上面层混合料耐久性研究[D].长沙:长沙理工大学,2013.

[5] 黄弈茗,邓建辉,朱俊,等.裂隙面摩擦系数变化对大理岩单轴抗压强度的影响[J].公路与汽运,2019(2):73-76.

[6] 艾长发,赵静,阳恩慧,等.石灰岩与玄武岩混合粗集料性能试验研究[J].公路,2014,59(1):182-187.

[7] 王毅,岳光华,李维.石灰岩矿物成分对其集料磨光值的灰色关联分析[J].江苏大学学报(自然科学版),2015,36(3):353-356+372.

[8] 李月光,聂敏.高速公路软土地基沉降影响因素敏感性灰色关联分析[J].系统工程理论与实践,2010,30(5):956-960.

[9] 李艳春,孟岩,周骊巍,等.沥青混合料空隙率影响因素的灰关联分析[J].中国公路学报,2007,20(1):30-34.

[10] 朱洪洲,徐松,唐伯明,等.沥青稳定碎石高温稳定性影响因素的灰熵分析[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2009,32(7):1081-1085.

收稿日期:2022-07-07

(上接第 64 页)

[16] 王航,徐安,骆钊,等.纤维增强乳化沥青碎石封层抗裂性能研究[J].中外公路,2019,39(2):265-268.

[17] 于大海.基于单轴贯入试验的再生沥青混合料平衡设

计方法研究[D].济南:山东建筑大学,2018.

[18] 江振华.沥青路面表面裂纹扩展行为的时间相关研究[D].南京:东南大学,2007.

收稿日期:2022-08-25