

基于神经网络和突变理论的边坡稳定性评价

吴文慧

(山西省交通科学研究院, 山西 太原 030006)

摘要: 施工过程中边坡的稳定性受到多种因素的影响, 变形破坏机理复杂多变, 且存在诸多不确定性, 亟需建立一个全面系统的边坡稳定性评价方法。文中基于分叉和突变理论, 利用突变级数反映边坡的稳定状态不利组合关系, 将边坡稳定性状态参数输入复合神经网络模型, 通过神经网络学习得到边坡稳定性评价结果, 并将该方法运用于实际工程中验证其合理性。

关键词: 公路; 边坡; 稳定性评价; 神经网络; 突变理论

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)03-0087-04

边坡的安全状态受许多因素的影响, 机理复杂多变, 且边坡稳定性变化过程具有非线性特征。非线性理论中的突变理论能很好地处理光滑系统在连续变化过程中产生的突变现象, 能适应边坡稳定性非线性变化过程研究。但非线性处理是一个复杂的过程, 相关研究表明神经网络在处理动态非线性问题上具有明显优势, 能在不知道数据分布特征及变量之间具体关系的情况下实现数据之间的非线性映射关系。为建立可靠的边坡稳定性非线性分析模型, 该文以突变理论为基础, 依据突变级数判定边坡的稳定性状态, 并结合神经网络学习判断边坡的稳定性评价结果。

1 突变理论及神经网络

在突变理论中, 突变是指在整个系统的演变过程中因某些特定变量的连续性量变最终导致系统发生质变, 在边坡工程中表现为由稳定状态突然转变成另一种稳定状态。作为一种典型的非线性理论, 突变理论在不同研究领域有着广泛应用。利用该理论建立数学模型, 可分析动力学系统发生跃迁性变化的规律, 并以此认识和预测复杂的系统行为。

假定系统受到 m 个控制变量 (u_1, u_2, \dots, u_m) 的控制, 系统状态由 n 个有限状态变量 (y_1, y_2, \dots, y_n) 的值确定, 可通过建立相关尖点突变模型描述该系统的非线性突变。通过下式对系统状态进行描述:

$$V(y) = y^4 + uy^2 + vy \quad (1)$$

式中: u 和 v 为控制变量, 系统为三维空间状态。

平衡曲面 M 为:

$$\frac{dV}{dy} = 4y^3 + 2uy + v = 0 \quad (2)$$

奇点集 S 满足如下方程, 同时也满足式(2):

$$\frac{d^2V}{dy^2} = 12y^2 + 2u = 0 \quad (3)$$

依据式(2)、式(3), 可得分叉集 B 方程:

$$8u^3 + 27v^2 = 0 \quad (4)$$

如图 1 所示, 平衡曲面 M 中的每个点都是系统在 y, u, v 作用下的不同状态。随着控制变量的变化, 系统状态一般会出现渐变和突变两种变化。 $u < 0$ 时, x 线性变化, 但系统发生非连续性变化, 实现突变; $u > 0$ 时, 系统呈现出稳定的连续性变化, 最终导致系统产生质变。在系统快速发展时, 一般会出现突变; 当系统缓慢发展时, 呈现渐变的状态。

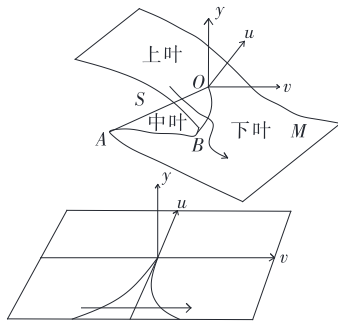


图 1 平衡曲面 M 和分叉集 B 示意图

影响边坡稳定状态的控制变量主要有岩土体强度性质、边坡几何形态特征及荷载作用。其中岩土体强度性质主要指粘聚力和内摩擦角, 边坡几何形态特征主要指边坡角度和高度, 荷载作用主要包括岩土体自重、土体孔隙水压力及外部环境荷载。由于各突变状态变量、控制变量的量纲不统一, 需采用归一化方法进行处理, 使其值处于 $[0, 1]$ 范围内, 得到突变级数。即把评价模型分解为多个指标, 由低

层指标向高层指标向上综合,把各层的控制变量代入相应突变模型中进行归一化运算,对同一评价对象依据最大原则处理,得到各层次的突变级数。

在实际工程施工中,边坡状态受多种不确定性因素的影响,这些因素与边坡状态并非简单的线性关系。因此,可结合突变模型,采用神经网络评价方法,建立由自组织特征映射神经网络和前馈神经网络相结合的复合神经网络。该复合网络集成了映射神经网络中的抗噪能力和前馈神经网络中的非线性映射关系的优点,具有较强的计算功能和计算效率。通常神经网络结构由输入层、竞争层、隐含层和输出层构成,数据通过输入层传递给竞争层,通过相似性准则进行竞争构建结构的简单映射关系,进一步将结构传递给隐含层,在自监督形式下进行循环训练,实现非线性映射关系。

2 算法流程

通过分叉和突变理论评价各因素对边坡稳定性的影响程度,计算突变级数,对其稳定状态进行描述,并将相关数据输入神经网络,通过神经网络模型学习获取评价边坡稳定性的知识并输出相关评价信息(见图2)。

3 案例分析

共收集国内不同地区公路、建筑、水利工程中的25个边坡的容重、粘聚力、摩擦角、坡角、坡高及实际稳定状态等数据,不考虑空隙水压力等的影响,通过数值分析计算安全系数,结果见表1。将容重、内聚力、摩擦角、坡角、坡高作为模型的输入层数据,选

取竞争层为 12×12 的二维神经元列阵,隐含层神经元6个,根据图2计算边坡突变级数及稳定状态,结果见表2。依据表2对突变理论在边坡稳定性分析中的适应性进行分析,分别绘制边坡影响因素的突变级数和边坡突变级数与稳定性安全系数的关系图(见图3、图4)。

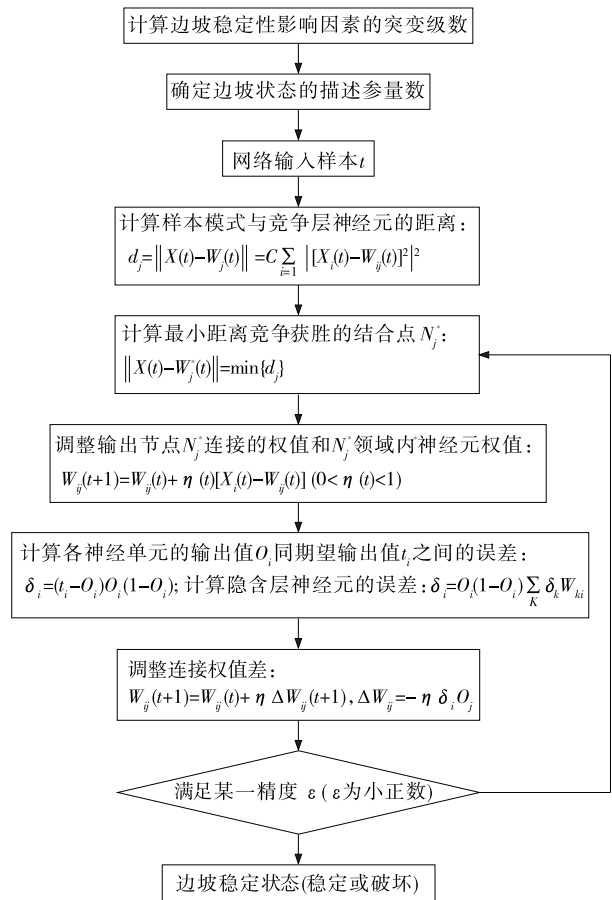


图2 边坡稳定状态计算流程

表1 25个边坡的相关指标

边坡编号	容重/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力/ kPa	内摩擦角/($^\circ$)	坡角/($^\circ$)	坡高/ m	稳定性安全系数	边坡状态
1	17.98	15.03	10.0	24.0	9.80	1.61	稳定
2	19.58	10.89	14.0	23.0	12.20	1.32	破坏
3	24.97	149.00	44.0	48.0	165.00	1.20	稳定
4	18.68	26.34	15.0	35.0	8.23	1.10	破坏
5	20.30	32.40	31.0	17.0	42.00	1.25	破坏
6	14.80	0.00	17.0	20.0	50.00	1.12	破坏
7	18.84	14.36	25.0	20.0	30.50	1.88	稳定
8	20.40	0.00	21.0	19.0	55.00	1.08	破坏
9	16.37	12.10	0.0	28.0	4.10	1.07	破坏
10	20.40	15.80	25.8	29.0	38.00	1.22	破坏

续表 1

边坡编号	容重/(kN·m ⁻³)	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	坡角/(°)	坡高/m	稳定性安全系数	边坡状态
11	20.27	24.80	19.0	21.0	9.80	1.45	稳定
12	28.36	28.94	34.0	34.0	94.00	1.76	稳定
13	18.45	0.00	28.0	21.0	7.45	1.03	破坏
14	28.44	39.23	38.0	35.0	100.00	1.99	稳定
15	13.45	11.48	25.0	31.0	87.00	1.12	破坏
16	24.32	119.00	43.6	52.0	117.00	1.38	稳定
17	15.30	68.00	44.0	39.0	113.00	1.07	破坏
18	18.18	57.23	21.0	22.0	30.50	2.08	稳定
19	21.10	8.50	19.0	26.8	12.40	1.09	破坏
20	19.10	11.80	19.1	36.0	22.00	1.06	破坏
21	18.23	23.10	16.8	42.0	13.20	1.32	稳定
22	17.45	15.40	9.0	35.0	8.90	1.02	破坏
23	22.34	34.50	24.8	38.0	14.20	1.45	稳定
24	20.40	22.90	19.8	33.0	16.80	1.13	破坏
25	26.27	45.20	30.9	40.0	18.30	1.38	稳定

表 2 边坡实际状态与计算结果对比

边坡 编号	边坡实际状态		模型输出结果		边坡 编号	边坡实际状态		模型输出结果	
	稳定性安 全系数	边坡状态	稳定性突 变级数	边坡状态		稳定性安 全系数	边坡状态	稳定性突 变级数	边坡状态
1	1.10	破坏	0.285 4	破坏	14	1.32	破坏	0.298 6	破坏
2	1.07	破坏	0.113 9	破坏	15	1.09	破坏	0.327 6	破坏
3	1.88	稳定	0.393 2	稳定	16	1.25	破坏	0.427 9	破坏
4	2.08	稳定	0.425 7	稳定	17	1.61	稳定	0.311 7	稳定
5	1.76	稳定	0.476 2	稳定	18	1.03	破坏	0.101 2	破坏
6	1.99	稳定	0.497 7	稳定	19	1.08	破坏	0.118 7	破坏
7	1.22	破坏	0.375 5	破坏	20	1.06	破坏	0.331 7	破坏
8	1. 12	破坏	0.104 2	破坏	21	1.32	稳定	0.563 2	稳定
9	1.12	破坏	0.341 5	破坏	22	1.02	破坏	0.143 1	破坏
10	1.38	稳定	0.583 6	稳定	23	1.45	稳定	0.412 2	稳定
11	1.20	稳定	0.662 1	稳定	24	1.13	破坏	0.301 9	破坏
12	1.07	破坏	0.479 2	破坏	25	1.38	稳定	0.487 9	稳定
13	1.45	稳定	0.325 7	稳定					

由表 1、表 2 可知:基于非线性理论的突变模型的计算结果与实际情况高度一致,计算结果能作为评价边坡稳定性的重要依据,该模型能较准确地判断边坡的稳定状态。

由图 3、图 4 可知:各因素对边坡稳定性的影响程度不同,影响最大的是岩土体强度参数,其次是边坡几何特性。突变级数与边坡稳定性安全系数的变化趋势一致,而突变级数能较好地反映边坡稳定性

影响因素之间的组合效应,从而进一步表征边坡稳定性的不利组合状态,实现边坡稳定性的精确评价。

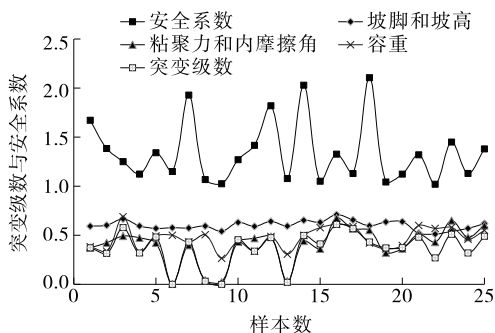


图3 边坡影响因素的突变级数与稳定性安全系数的关系

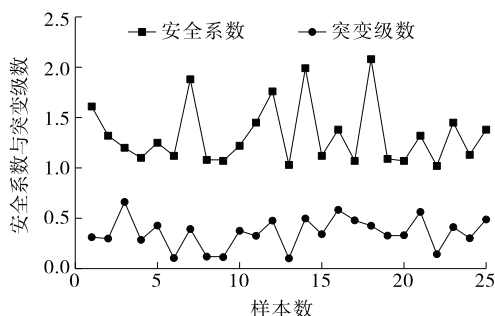


图4 边坡突变级数和稳定性安全系数的对应关系

4 结语

该文依据分叉和突变理论,提出采用突变级数表征边坡的稳定状态,并基于神经网络分析法,利用25个边坡样本的稳定性指标数据计算得到边坡稳定性评价结果。该方法综合考虑了对边坡稳定性产生影响的各个因素,能较真实地描绘不同因素对其

稳定性的影响程度。实例计算表明,以突变理论为基础,通过神经网络的非线性动态处理获取边坡稳定性状态的评价方法具有较好的适用性。

参考文献:

- [1] 夏元友,李梅.边坡稳定性评价方法研究及发展趋势[J].岩石力学与工程学报,2002,21(7).
- [2] 张家忠.非线性动力系统的运动稳定性、分岔理论及其应用[M].成都:西安交通大学出版社,2010.
- [3] 肖桃李,李新平,米健.土质边坡稳定性影响因素的研究[J].地质灾害与环境保护,2007,18(2).
- [4] 刘秉正,彭建华.非线性动力学[M].北京:高等教育出版社,2004.
- [5] 黄润秋,许强.非线性理论在工程地质中的应用[J].中国科学基金,1996(2).
- [6] 高科,李夕兵,官凤强.基于突变级数法的边坡地震稳定性综合评价[J].地下空间与工程学报,2009,5(2).
- [7] 丁庆华.突变理论及其应用[J].黑龙江科技信息,2008(35).
- [8] 张立明.人工神经网络的模型及其应用[M].上海:复旦大学出版社,1993.
- [9] H L van der Maas, P C Molenaar. Stages of cognitive development: an application of catastrophe theory[J]. Psychological Review, 1992, 99(3).
- [10] Martin Anthony, Peter L Bartlett. Neural network learning: theoretical foundations[M]. Cambridge University Press, 1999.

收稿日期:2017-12-07

(上接第86页)

标均符合规范及设计要求。其中,油石比4.7%的现场空隙率为4.4%,比4.8%油石比的现场空隙率4.2%略大。

广东省整体上属于亚热带季风气候,高温天气持续时间长,而且该高速公路为广东主要出省通道,重车、超重车交通量相当大,根据规范要求,对于炎热地区公路、高速公路和一级公路的重载交通路段、山区公路的长大坡度路段,预计有可能产生较大车辙时,宜在空隙率符合要求的范围内将计算最佳沥青用量减小0.1%作为设计沥青用量,同时考虑到沥青路面耐久性等因素,4.7%的油石比更符合广东省气候要求,该项目宜采用4.7%油石比进行GAC-16C沥青混合料生产配合比设计。

参考文献:

- [1] 何昌轩.基于集料组成和几何形态分析的沥青混合料性能试验研究[D].成都:西南交通大学,2007.
- [2] 冯永平.湿热地区AC-13型沥青混合料抗车辙性能试验研究[J].湖南交通科技,2016,42(4).
- [3] 冉旭波.高等级公路沥青路面车辙病害成因和防治措施[J].科技信息,2011(20).
- [4] 邓陈富.GAC-16C型沥青砼路面上面层质量控制探讨[J].建设科技,2017(10).
- [5] 程英伟,何晓鸣,张伟.AC-16型沥青混合料工程设计级配范围研究[J].武汉工业学院学报,2006,25(1).
- [6] JTG E20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

收稿日期:2017-12-02