

岷江上游汶川-较场段滑坡稳定性的 神经网络评判及其堵江可能性浅析

蒋良文, 王士天, 刘汉超, 韩坤立
(成都理工学院工程地质研究所, 四川 成都 610059)

摘 要: 在滑坡的变形迹象研究的基础上, 采用 B-P 神经网络模型对岷江上游汶川-较场河段内 28 个典型滑坡的稳定性进行评判, 评判结果表明: 目前岷江上游汶川-较场河段内共有 10 个滑坡处于不稳定状态, 在降雨、地震和人类工程活动等诱发因素作用下容易发生滑坡堵江。

关键词: 岷江上游; 典型滑坡; 稳定性; 神经网络评判; 滑坡堵江

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

目前岷江上游汶川-较场河段内有 78 个崩塌、滑坡, 且多个大型滑坡存在明显的复活变形迹象, 在降雨、地震和人类工程活动的诱发下, 存在堵江的可能性。我们根据变形迹象和造成的灾害程度选取其中 28 个典型滑坡(表 1), 采用 B-P 神经网络模型对其进行稳定性评判, 并讨论滑坡堵江发生的可能性。

1 反向传播神经网络(B-P 网络)

本世纪初由 MC. Culloch 和 Pitts 首次建立了最简单的人工神经元数理模型(N-P 模型), 进入 80 年代中期以来, 人工神经网络理论在世界范围内广泛兴起, 并且开始运用于地质灾害领域, 取得了一些有较高价值的研究成果^[1-2]。人工神经网络是用工程技术手段模拟生物神经网络的结构特征和功能特征的一类人工系统, 是一种自动识别模式, 是目前认识水平上对人类(或动物)神经系统的某种模拟, 网络一般由许多简单计算单元(即神经元)的相互连接构成, 而这些连接的强度(权值)是通过已知样本的学习训练自动调整的。其突出特点是网络无需人们事先给出特征和规律, 通过样本学习, 便可以自己总结规律(这个规律就是输入与输出间复杂的非线性映射关系), 并将学到的规律分布于连接权值中。

当遇到有未知样本输入时, 直接调用网络中已有的规律对其作出预测判断。

本次研究, 选择性能相对稳定的误差反向传播的人工神经网络(B-P 神经网络)。B-P 网络实际上是一个多层感知器的前馈网络, 其数学实质就是利用映射训练样本 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_k, y_k)$, 实现从 n 维欧氏空间的一个子集 A 到 m 维欧氏空间子集 $f(A)$ 的映射, 即 $A \in R^n \rightarrow R^m$ 。其网络结构一般为三层即输入层、中间隐含层和输出层(图 1)^[1]。带有隐含层的三层 B-P 网络的主要特征是隐含层能对输出层反向传过来的误差进行学习, 且能根据 F_c 层内各处理单元的正确输出与实际输出间的误差进行连接权值的调整, 使得输出间的误差最小。

2 神经网络评判

在滑坡变形迹象评判研究的基础上(表 2), 对本区段的 28 个典型滑坡(表 1)进行神经网络评判。

1. 评判因子的确定

收稿日期: 1999-11-30; 改回日期: 2000-03-26。

基金项目: “九五”重点科技攻关项目“中国西南区域应力-形变场特征及区域构造稳定性研究”资助。

作者简介: 蒋良文(1965-), 男(汉族), 四川仁寿人, 博士, 工程师, 1999 年 6 月获成都理工学院地质工程专业博士学位, 主要从事地质灾害、线路工程地质、岩土工程等, 现工作单位: 铁道部第二勘测设计院地路处, 邮编 610031。Tel. (028)3445745, 13709012654。

表1 稳定性评价的典型滑坡的基本特征

Table 1 Basic Characteristic of Typical landslids in the upstream of Minjiang River

编号	名称	岸别	体积(10 ⁴ m ³)	地层代号	主滑方向	前/后缘高程(m/m)
L ₁	青都坡滑坡	左	918	Dy P	6°	1360/1720
L ₃	青都坡上游1 250 m处滑坡	左	35	Dy P	330°	1370/1510
L ₄	扣山滑坡	左	15 000	Dy P	350°	1540/1750
L ₅	青坡滑坡	左	1 518	Dy P	313°	1280/1620
L ₆	文镇古滑坡	左	1 906	Dy P	325°	1400/1700
L ₇	苏村滑坡	左	2 021	Dy P	322°	1440/1700
L ₈	石坪滑坡	左	2 350	Dy II +2	320°	1440/1780
L ₉	凤尾坪滑坡	左	281	Dy I	310°	1340/1680
L ₁₀	向阳坪滑坡	左	7 225	Smx ⁵	350°	1430/1880
L ₁₁	周场坪滑坡	左	1 500	Smx ⁵	310°	1480/1720
L ₁₂	日瓦查滑坡	左	12 480	Smx ⁴	326°	1480/2320
L ₁₃	半坡滑坡	左	3 843	Smx ⁴	325°	1500/1860
L ₁₄	瓦窑坪西南滑坡	右	94	Smx ⁴	130°	1520/1700
L ₁₅	瓦窑坪滑坡	右	11.2	Smx ⁴	45°	1550/1610
L ₁₇	荞面沟滑坡	右	45	Smx ³⁺⁴	175°	1540/1800
L ₁₈	踏水墩西北滑坡	右	6	Smx ³	90°	1600/1760
L ₁₉	燕儿岩滑坡	左	6 421	Smx ³	225°	1660/2205
L ₂₀	燕儿岩对岸滑坡	右	113	Smx ³	75°	1600/2030
L ₂₄	红岩村滑坡	右	3 360	∈	35°	1569/2190
L ₃₀	峨儿寨北侧滑坡	右	375	Smx ¹ , O	330°	1710/1930
L ₃₁	小沙湾对岸滑坡	右	189	Smx ¹⁺²	340°	1650/1990
L ₄₆	花红园滑坡	左	678	Smx ³	245°	1620/2020
L ₄₈	擦耳岩滑坡	左	1 075	Smx ³⁺⁴	205°	1620/1920
L ₅₂	水草坪滑坡	右	8 021	Smx ⁵	50°	1660/2260
L ₅₃	窝窝店滑坡	右	13 875	Dwg ¹		1660/2510
L ₆₃	野鸡坪滑坡	左	22 250	Dwg ¹⁺²	245	1700/2600
L ₆₆	沙坝下游 150 m处滑坡	左	26.5	T ₃ zh		1820/2160
L ₇₂	阳雀寨滑坡	左	204	T ₃ zh		2040/2320

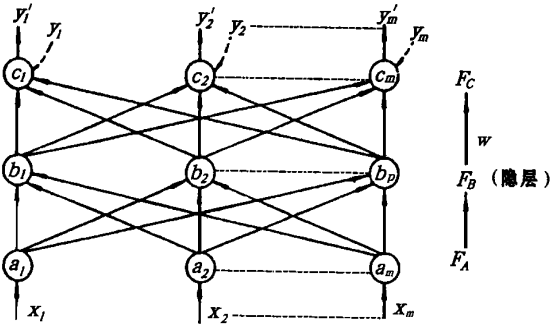


图1 三层 B-P 网络示意图^[1]

Fig 1. The B-P model of Artificial Neural Network

为了便于评判结果与变形迹象评判结果进行对比,我们采用地貌特征、滑坡结构特征、河流作用、降雨程度、人类工程活动强度、地震活动等评价因素作为特征因素。

2 规则样本的形成

利用专家知识、构造如下的输入向量和输出向量:

①输入向量(共有 7 个向量,12 个基本参数):

a) $\{x_1\}$:某滑坡所处环境的地形地貌特征,其构成为 $\{x_1\}=\{x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}\}$ 。它们取值由下列方法获得。

$\{x_{11}\} = \begin{cases} x_{11} \\ 0.5 \end{cases}$: 某滑坡的地形坡度特征; 当地形平均坡度 $(\alpha) > 30^\circ$, $\{x_{12}\}$ 取值为 $\{1\}$; 当 $10^\circ < \alpha \leq 30^\circ$, $\{x_{11}\} = \begin{cases} 0.5 \\ 0 \end{cases}$; 当 $\alpha \leq 10^\circ$, $\{x_{11}\} = \begin{cases} 0 \end{cases}$ 。

$\{x_{12}\}$: 某滑坡周围的沟谷切割状况; 当沟谷切割至滑床时, 取 $\{x_{12}\} = \{1\}$; 沟谷切割接近滑床时, $\{x_{12}\} = \{0.5\}$; 沟谷切割未接近滑床时, $\{x_{12}\} = \{0\}$ 。

$\{x_{13}\}$: 某滑坡体上的洼地封闭状况; 存在洼地封闭时, $\{x_{13}\} = \{1\}$; 洼地半闭时, $\{x_{13}\} = \{0.5\}$; 无洼地, $\{x_{13}\} = \{0\}$ 。

$\{x_{14}\}$: 某滑坡前缘临空状况; 当临空面高度 $(R) > 50\text{ m}$, 临空面坡度 $\beta \geq 30^\circ$, $\{x_{14}\} = \{1\}$; $h = 20\text{ m} \sim 50\text{ m}$, $\beta = 15^\circ \sim 30^\circ$ 时, $\{x_{14}\} = \{0.5\}$; $h < 20\text{ m}$, $\beta < 15^\circ$ 时, $\{x_{14}\} = \{0\}$ 。

b) $\{x_2\}$: 某滑坡滑动面的特征, 其构成为 $\{x_2\} = \{x_{21}, x_{22}, x_{23}\}$, 它们取值由下列方法获得。

$\{x_{21}\}$: 滑动面平均倾角 (θ) ; $\theta > 30^\circ$ 时, $\{x_{21}\} = \{1\}$; $\theta = 10^\circ \sim 30^\circ$ 时 $\{x_{21}\} = \{0.5\}$; 当 $\theta < 10^\circ$ 时, $\{x_{21}\} = \{0\}$ 。

表 2 变形迹象评判^{2~4}

Table 2 Deformation Sign Evaluation on Stability of landslides

编号	名 称	变 形 迹 象	评判结果
L ₁	青都坡滑坡	前缘裂缝发育, 公路面上拱, 边坡护墙、排水沟被错断, 有泉出露; 中部隆起, 发育纵张裂缝; 后缘发育有多条拉裂缝, 宽可达1 m, 深0.8 m, 有下错陡坎; 坡体两侧平行主滑方向的裂缝发育。	不稳定
L ₅	青坡滑坡	前缘公路有次级小滑坡; 右侧有小拉张裂缝。	基本稳定
L ₇	苏村滑坡	前缘公路隆起达25 cm, 侧壁有拉张裂缝宽20 cm~30 cm。	基本稳定
L ₈	石坪滑坡	前缘隆起, 每年达10 cm; 公路路面、护墙、房屋严重开裂, 裂口20 cm, 排水沟多处错断; 中后部发育拉张裂缝; 坡体每年下滑 1 m~2 m。	不稳定
L ₁₀	向阳坪滑坡	前缘旧公路被错断, 错距 3 m~4 m; 中部有多级断壁, 横张裂缝发育; 两侧壁发育长大剪张裂缝, 宽1.5 m; 滑坡已严重解体。	不稳定
L ₁₁	周场坪滑坡	前缘公路隆起30 cm, 拉裂缝发育, 宽0.5 m; 中部发育纵张裂缝平行主滑方向; 坡体侧壁发育大张裂缝, 宽0.8 m; 中前部有次级小滑坡。	不稳定
L ₁₂	日瓦查滑坡	前缘发育多组拉裂缝, 宽20 cm~80 cm; 中部房屋开裂; 侧壁发育大张裂缝, 有次级小滑坡形成。	不稳定
L ₁₃	半坡滑坡	前缘隆起, 多次毁坏公路; 中部有多条细小裂缝, 未贯通, 两侧壁发育拉裂缝, 宽20 cm~30 cm。	基本稳定
L ₁₉	燕儿岩滑坡	前缘有小崩塌, 毁坏老公路; 中部有滑移陡坎, 裂缝发育; 两侧壁有裂缝, 右侧壁有次级牵引小滑坡。	不稳定
L ₂₄	红岩村滑坡	前缘有垮塌; 中部发育有贯通横张拉裂缝和许多小纵张裂缝后缘有深约1 m的贯通横张裂缝; 两侧壁大裂缝发育, 左侧有牵引小滑坡; 坡体上房屋开裂。	不稳定
L ₃₀	峨儿寨 北侧滑坡	前缘轻微隆起; 后缘有拉张裂缝; 边缘有多条小裂缝。	基本稳定
L ₄₆	花红园滑坡	前缘河流冲刷形成 崩滑体, 规模不大; 中部有贯通裂缝, 宽1 m~2 m; 后缘有3~4条横向拉裂缝; 坡体上形成滑移台阶。	不稳定
L ₄₈	擦耳岩滑坡	前缘有次级牵引小滑坡; 后缘发育贯通拉裂缝, 侧壁有多条拉裂缝; 滑体上有因滑移拉裂形成的陡坎。	不稳定
L ₅₂	水草坪滑坡	前缘公路开挖引起两处垮塌; 中前部有泉水出露, 发育滑坡台阶; 滑体右侧壁有牵引崩滑体。	不稳定
L ₅₃	窝窝店滑坡	中前部有拉裂缝, 宽1 m~1.5 m, 侧壁有牵引小崩塌。	基本稳定
L ₆₃	野鸡坪滑坡	前缘中部有次级小滑坡形成; 后缘右侧发育有拉张裂缝; 滑体表面有滑坡台阶。	不稳定

1) 没有变形迹象(目前稳定)的滑坡未列出。

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

- $\{x_{22}\}$: 滑动面形状; 当形状为平面时, $\{x_{22}\} = \{1\}$; 当其为椅状时, $\{x_{22}\} = \{0.5\}$; 当其为起伏不平时, $\{x_{22}\} = \{0\}$ 。
- $\{x_{23}\}$: 滑动面阻抗比(R); 当 $R < 0.3$ 时, $\{x_{23}\} = \{1\}$; $R = 0.3 \sim 0.5$ 时, $\{x_{23}\} = \{0.5\}$, 当 $R > 0.5$ 时, $\{x_{23}\} = \{0\}$ 。
- $c)\{x_3\}$: 滑坡堆积结构特征; 散体结构, $\{x_3\} = \{1\}$; 碎裂结构, $\{x_3\} = \{0.5\}$; 块裂结构, $\{x_3\} = \{0\}$ 。
- $d)\{x_4\}$: 河流流水作用状况; 常年冲刷, $\{x_4\} = \{1\}$; 冲刷堆积交替, $\{x_4\} = \{0.5\}$; 堆积或无流水作用, $\{x_4\} = \{0\}$ 。
- $e)\{x_5\}$: 降雨程度; 位于暴雨中心时, $\{x_5\} = \{1\}$; 接近暴雨中心时, $\{x_5\} = \{0.5\}$, 远离暴雨中心时, $\{x_5\} = \{0\}$ 。
- $f)\{x_6\}$: 人类工程活动强度; 强烈时, $\{x_6\} = \{1\}$; 中等强烈时, $\{x_6\} = \{0.5\}$; 活动较弱时, $\{x_6\} = \{0\}$ 。
- $g)\{x_7\}$: 地震活动情况; 当滑坡地处烈度为Ⅶ度以上地区, $\{x_7\} = \{1\}$; 当烈度为Ⅵ~Ⅶ时, $\{x_7\} = \{0.5\}$; 烈度<Ⅵ时, $\{x_7\} = \{0\}$ 。

② 输出向量(期望值)

输出向量设计为 $\{y_i\}$, 构成为 $\{y_i\} = \{y_1, y_2, y_3\}$ 。根据变形迹象评判结果, 当某滑坡被评判为不稳定时, $\{y_i\} = \{1, 0, 0\}$; 当评判结果为基本稳定时, $\{y_i\} = \{0, 1, 0\}$; 当评判结果为稳定时, $\{y_i\} = \{0, 0, 1\}$ 。

③ 构造样本

依据上述输入、输出向量的构造方法, 由岷江上游汶川—茂县石鼓乡河段内 14 个研究程度比较高的典型滑坡(表 1 中前 14 个滑坡)构造学习训练样本(表 3), 由岷江上游茂县石鼓乡—较场河段内 14 个研究程度较低的滑坡(表 1 中后 14 个)构造预测样本(表 4)。

(3) 神经网络的构造、训练和预测

表 3 学习训练样本
Table 3 Studying examples

编号	滑坡编号及名称	地貌特征(x_1)				滑动面特征(x_2)			堆积 x_3	河流 x_4	降雨 x_5	人动 x_6	地震 x_7	输出期望	
		x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{21}	x_{22}	x_{23}						y_i	
1	L_1 青都坡滑坡	1	0	0	1	1	1	1	0.5	1	0.5	1	1	1 0 0	不稳定
2	L_3 青都坡上游滑坡	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0.5	0	1	0 0 1	稳定
3	L_4 扣山滑坡	0	0	0.5	0.5	0	0	0	1	1	0.5	1	1	0 0 1	稳定
4	L_5 青坡滑坡	0.5	0	0	0	0.5	0	0.5	0.5	0	0.5	1	1	0 1 0	基本稳
5	L_6 文镇古滑坡	0	0	0	0	0	0	0	1	0.5	0.5	0.5	1	0 0 1	稳定
6	L_7 苏村滑坡	0.5	0	0	0	0	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0	1	0 1 0	基本稳
7	L_8 石坪滑坡	0.5	0	0	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1 0 0	不稳定
8	L_9 凤尾坪滑坡	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	1	0 0 1	稳定
9	L_{10} 向阳坪滑坡	0.5	1	0	1	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1 0 0	不稳定
10	L_{11} 周场坪滑坡	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1 0 0	不稳定
11	L_{12} 日瓦查滑坡	0.5	1	0	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1 0 0	不稳定
12	L_{13} 半坡滑坡	0.5	0	0	1	0.5	1	1	0.5	1	0.5	0.5	1	0 1 0	基本稳
13	L_{14} 瓦窑坪西南滑坡	0	0	0	0	0.5	0.5	1	0	1	0.5	1	1	0 0 1	稳定
14	L_{15} 瓦窑坪滑坡	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0.5	1	1	0 0 1	稳定

依据以上输出输入向量的需要, 构造一个三层的 B—P 神经网络, 其中输入节点 12 个, 输出节点为 3 个, 中间层为 9 个点。

用表 3 中样本进行学习训练, 在微机上迭代 10 万次后, 实际输出与期望输出的误差平方和 $d_i^2 < 1 \times 10^{-4}$, 网络训练成功(学习结果见表 5), 从而获得了一个基于专家知识的本区段滑坡稳定性评判的 B—P 神经网络模型。

(4)稳定性评判结果

用以上训练好的 B—P 网络, 对待测样本(表 4)进行判别, 结果见表 6。

综合上述的评判结果, 可知目前岷江上游汶川—较场河段内共有 10 个滑坡(表 5, 6, 7)处于不稳定状态。它们是青都坡、石坪、向阳坪、周场坪、日瓦查、燕儿岩、红岩村、花红园、擦耳岩、野鸡坪滑坡等。

B—P 神经网络对本区段滑坡稳定性的学习训练与预测判别结果(表 5, 6), 与变形判定结果比较吻合, 说明神经网络结果具有可靠的置信度。

表 4 预测样本															
Table 4 predicting amples															
编号	滑坡编号及名称	地貌特征(x_1)				滑动面特征(x_2)			堆积	河流	降雨	人动	地震	输出期望	
		x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	y_i	
1	L ₁₇ 荞面沟滑坡	0.5	0.5	0	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0 1 0	基本稳
2	L ₄₈ 踏水墩西北滑坡	0.5	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0 1 0	基本稳
3	L ₁₉ 燕儿岩滑坡	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1 0 0	不稳定
4	L ₂₀ 燕儿岩对岸滑坡	0.5	0	0	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0	0.5	0.5	1	0 1 0	基本稳
5	L ₂₄ 红岩村滑坡	1	0	0	1	1	1	1	0.5	1	0.5	1	1	1 0 0	不稳定
6	L ₃₀ 峨儿寨北侧滑坡	0.5	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0 1 0	基本稳
7	L ₃₁ 小沙湾对岸滑坡	0.5	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0 1 0	基本稳
8	L ₄₆ 花红园滑坡	1	0	0	0.5	1	1	1	0.5	1	0.5	0	1	1 0 0	不稳定
9	L ₄₈ 擦耳岩滑坡	1	0	0	0.5	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0	1	0 1 0	基本稳
10	L ₅₂ 水草坪滑坡	1	0	0	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5	1	1	1 0 0	不稳定
11	L ₅₃ 窝窝店滑坡	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0 1 0	基本稳
12	L ₆₃ 野鸡坪滑坡	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	0 1 0	基本稳
13	L ₆₆ 沙坝下游处滑坡	0.5	1	0	0.5	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	0 1 0	基本稳
14	L ₇₂ 阳雀寨崩塌	1	1	0	0.5	1	1	1	0	0	0.5	0	1	0 1 0	基本稳

表 5 学习训练结果													
Table 5 Studying results													
编号	滑坡编号及名称		输出期望				学习训练结果				误差		
			y_i				y_i'				∇y_i		
1	L ₁	青都坡滑坡	1	0	0	不稳定	1	0	0	不稳定	0	0	0
2	L ₃	青都坡上游滑坡	0	0	1	稳定	0	0	1	稳定	0	0	0
3	L ₄	扣山滑坡	0	0	1	稳定	0	0	1	稳定	0	0	0
4	L ₅	青坡滑坡	0	1	0	基本稳	0	1	0	基本稳	0	0	0
5	L ₆	文镇古滑坡	0	0	1	稳定	0	0	1	稳定	0	0	0
6	L ₇	苏村滑坡	0	1	0	基本稳	0	1	0	基本稳	0	0	0
7	L ₈	石坪滑坡	1	0	0	不稳定	1	0.01	0	不稳定	0	0.01	0
8	L ₉	凤尾坪滑坡	0	0	1	稳定	0	0	1	稳定	0	0	0
9	L ₄₀	向阳坪滑坡	1	0	0	不稳定	1	0	0	不稳定	0	0	0
10	L ₄₁	周场坪滑坡	1	0	0	不稳定	1	0	0	不稳定	0	0	0
11	L ₄₂	日瓦查滑坡	1	0	0	不稳定	1	0	0	不稳定	0	0	0
12	L ₄₃	半坡滑坡	0	1	0	基本稳	0	0.99	0	基本稳	0	-0.01	0
13	L ₄₄	瓦窑坪西南滑坡	0	0	1	稳定	0	0	1	稳定	0	0	0
14	L ₄₅	瓦窑坪滑坡	0	0	1	稳定	0	0	1	稳定	0	0	0

3 滑坡堵江的可能性浅析

根据现场调查和上述评价结果, 岷江上游汶川—较场河段共有 10 个滑坡(表 5, 6, 7)处于不稳定状态, 特别是青都坡、石坪、向阳坪、周场坪、日瓦查、擦耳岩、野鸡坪滑坡等 7 个滑坡在诱发因素作用下极易发生滑坡堵江, 这主要是因为:

1. 物质条件充分
- 不稳定的滑坡规模庞大, 如野鸡坪滑坡体积高达22 250万 m³。如此大规模的滑坡直接决定入江的体积庞大, 而且岷江河谷狭窄, 平均宽度只有50 m, 岸坡陡峭, 水深浅, 也有利于滑坡堵江的形成。

2 动力条件易满足

不稳定滑坡的前后缘高差大,如野鸡坪滑坡前后缘高差达 900 m,花红园滑面平均坡度 53° ($\arcsin 400/500=53^{\circ}$),使滑坡具有巨大的势能,失稳后形成高速滑坡。同时,不稳定滑坡所处的地层岩性主要是千枚岩夹灰岩、砂岩,形成软弱夹层,从而抗风化能力差,具有很高的亲水性,漏水层软化,降低了抗剪性能,易形成贯通性滑移而导致坡体快速下滑而堵江。

表 6 预测结果
Table 6 Predicting results

编号	滑坡编号及名称	输出期望			学习训练结果			误差		
		y_i			y_i'			∇y_i		
1	L ₁₇ 荞面沟滑坡	0	1	0	基本稳	0.13	0.85	0	基本稳	0.13 -0.15 0
2	L ₁₈ 踏水墩西北滑坡	0	1	0	基本稳	0.02	0.97	0	基本稳	0.02 -0.03 0
3	L ₄₉ 燕儿岩滑坡	1	0	0	不稳定	1	0	0	不稳定	0 0 0
4	L ₂₀ 燕儿岩对岸滑坡	0	1	0	基本稳	0.05	1	0	基本稳	0.05 0 0
5	L ₂₄ 红岩村滑坡	1	0	0	不稳定	1	0	0	不稳定	0 0 0
6	L ₃₀ 峨儿寨北侧滑坡	0	1	0	基本稳	0.02	0.97	0	基本稳	0.02 -0.03 0
7	L ₃₁ 小沙湾对岸滑坡	0	1	0	基本稳	0.02	0.97	0	基本稳	0.02 -0.03 0
8	L ₄₆ 花红园滑坡	1	0	0	不稳定	0.99	0.01	0	不稳定	-0.01 0.01 0
9	L ₄₈ 擦耳岩滑坡	0	1	0	基本稳	0.03	1	0	基本稳	0.03 0 0
10	L ₅₂ 水草坪滑坡	1	0	0	不稳定	0.06	0.94	0	基本稳	-0.94 0.94 0
11	L ₅₃ 窝窝店滑坡	0	1	0	基本稳	0	1	0	基本稳	0 0 0
12	L ₆₃ 野鸡坪滑坡	0	1	0	基本稳	0.99	0.01	0	不稳定	0.99 -0.99 0
13	L ₆₆ 沙坝下游处滑坡	0	1	0	基本稳	0.01	0.99	0	基本稳	0.01 -0.01 0
14	L ₇₂ 阳雀寨崩塌	0	1	0	基本稳	0.09	0.91	0	基本稳	0.09 -0.09 0

3 诱发因素活跃

研究区地震频繁,震级较高,降雨强度大且集中二者是区内滑坡的主要诱发因素且十分活跃,易导致滑坡堵江事件的发生。

表 7 不稳定滑坡的基本特征
Table 7 Basic Characteristic of unstable landslides

编号	滑坡名称	长(m)	宽(m)	体积(10 ⁴ m ³)	滑坡地层代号	前后缘高差(m)
L ₁	青都坡			918	Dyl ²	360
L ₈	石坪	1 100	1 000	2 350	Dy ¹⁺²	340
L ₁₀	向阳坪	1 500	800	7 225	Smx ⁵	450
L ₄₁	周场坪	740	5 000	1 500	Smx ⁵	240
L ₁₂	日瓦查	2 150	300	12 480	Smx ⁴	840
L ₄₉	燕儿岩	1 000	1 000	6 421	Smx ³	545
L ₂₄	红岩村	1 050	600	3 360	∈	630
L ₄₆	花红园	500	500	678	Smx ³	400
L ₄₈	擦耳岩	550	800	1 075	Smx ³⁺⁴	300
L ₆₃	野鸡坪	1 700	2 250	22 250	Dwg ¹⁺²	900

4 历史上的多期多级滑坡堵江事件是有利的佐证。

在研究区内,历史上曾发生花红园、扣山和石门坎等滑坡堵江,其中石门坎曾堵塞岷江上千年之久。近代滑坡堵江事件有周场坪、叠溪地震滑坡堵江群等。

因此,由上述的物质条件、动力条件、诱发因素和历史滑坡堵江事件等各方面的分析可见,研究区内存在再次滑坡堵江的可能性,应进行深入的研究。

4 结 论

1 本文采用 B-P 神经网络模型对岷江上游汶川—较场河段内 28 个典型滑坡的稳定性进行了评

判, 其评判结果与根据滑坡变形迹象的有无和变形程度来进行滑坡的稳定性判定的结果相吻合, 说明神经网络评判结果具有较高的置信度, 神经网络作为一种有效的评价方法, 同其它方法配合使用, 更能客观地认识和评价滑坡的稳定性。

2 根据现场调查和神经网络评判结果, 岷江上游汶川-较场河段共有 10 个滑坡(青都坡、石坪、向阳坪、周场坪、日瓦查、燕儿岩、红岩村、花红园、擦耳岩、野鸡坪滑坡等)处于不稳定状态, 特别是青都坡、石坪、向阳坪、周场坪、日瓦查、擦耳岩、野鸡坪滑坡等 7 个滑坡在地震、暴雨等因素的诱发作用下极易发生滑坡堵江。

参考文献:

- [1] 程湘君, 王春宁, 陈生潭. 神经网络原理及其应用[M], 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [2] 蒋良文. 岷江上游活动断裂及主要地质灾害研究[D], 成都理工学院博士论文, 1999. 6.
- [3] 韩坤立. 岷江上游滑坡堵江危险性评价[D], 成都理工学院硕士论文, 1999. 6.
- [4] 晏鄂川, 刘汉超, 张倬元. 茂汶-汶川段岷江两岸滑坡分布规律[J], 山地研究(现《山地学报》), 1998, 16(2).

EVALUATION AND PRODICTION ON STABILITY OF
LANDSLIDES IN METHOD OF NERVE NETWORK ANALYSIS AND THE
POSSIBILITY OF DAMMING RIVER IN WENCHUAN-JIAOCHANG
SECTION OF UPSTREAM OF MIN RIVER

JIANG Liang-wen, WANG Shi-tian, LIU Han-chao, HAN Kuan-li
(*Institute of Engineering Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*)

Abstract: In this paper, based on investigation and study of the light of deformation sign of land-slides in Wenchuan-Jiaochang section of Upstream of Min River, Evaluation and prediction on stability of 28 famous landslides has been put forward in method of nerve network analysis and the possibility of landslides damming river has also been studied preliminarily.

Key words: upstream of Min River; famous landslides; stability; nerve network analysis; land-slides damming river