|  |  |
| --- | --- |
| ICS  | 点击此处添加ICS号 |
| CCS  |

|  |
| --- |
| D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png       |

点击此处添加CCS号 |

     团体标准

T/XXX XXXX—XXXX

地震滑坡概率危险性评估技术规范

Technical Specification for Probability Seismic Landslide Hazard Assessment

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国灾害防御协会       发布

目次

[前言 II](#_Toc156205859)

[引言 III](#_Toc156205860)

[1 范围 1](#_Toc156205861)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc156205862)

[3 术语和定义 1](#_Toc156205863)

[4 技术要求 1](#_Toc156205864)

[参考文献 4](#_Toc156205865)

1. 前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国灾害防御协会提出。

本文件由中国灾害防御协会归口。

本文件主要起草单位：应急管理部国家自然灾害防治研究院、中国地震局地质研究所、中国地质大学（北京）。

本文件参与起草单位：四川省地震局、河北省地震局、云南省地震局、青海省地震局、宁夏回族自治区地震局、新疆维吾尔自治区地震局、甘肃省地震局、安徽省地震局、贵州省地震局、陕西省地震局、山西省地震局、西藏自治区地震局、中国电力科学研究院有限公司、中国长江三峡集团有限公司、中国地震局地震预测研究所、中国地震局地球物理研究所、中国地质科学院地质力学研究所、同济大学、西安科技大学、成都理工大学、西安交通大学、西北大学。

本文件主要起草人：。

本文件由中国灾害防御协会负责解释。

1. 引言

大地震往往触发大量的同震滑坡，而这些同震往往是造成重大的人员伤亡与财产损失的重要原因。开展滑坡预测概率分布的研究是指在地震影响下，研究区内在当地地形地质等条件下发生滑坡的可能性大小，通过预测滑坡空间概率的分布，可以对滑坡高易发区域进行预测和预防，可以有效的开展受灾区域的防灾减灾工作。机器学习模型作为目前国际上较为流行的一种预测滑坡概率的评估方法，被广泛应用到多个区域地震滑坡评估工作中。区域地震滑坡评价是减轻灾害的一种重要方式，通过制定《地震滑坡概率危险性评估技术规范》（以下简称“本标准”），可以提供区域背景下地震滑坡的发生可能性大小，为减轻灾害提供支撑。

地震滑坡概率危险性评估技术规范

* 1. 范围

本部分规定了针对单次地震事件的滑坡概率危险性评估的技术流程、效果评价等方面的要求。

本部分适用于在获取地震灾区全面详细的同震滑坡数据情况下，基于机器学习模型与概率方法得到地震滑坡概率危险性评估结果。

* 1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 地震地质灾害 earthquake-induced geological disaster

在地震作用下，地质体变形和破坏所引起的灾害。[GB17741-2005，定义3.23]

3.2崩塌灾害 avalanche disaster

指陡峻斜坡上的岩土体在地震作用下突然脱离母体，迅速崩落滚动，而后堆积在坡脚或沟谷，危害人类生命财产安全的灾害。[DZ 0238-2004,定义3.6]

3.3 地震滑坡危险性评估 probabilistic seismic landslide hazard assessment

地震滑坡危险性评估是指在地震影响下，研究区内在当地地形地质等条件下发生滑坡的可能性大小，通过预测滑坡空间概率的分布，有效开展地震滑坡防灾减灾救灾工作。

3.4 地震滑坡发生概率the occurrence probability of coseismic landslides

地震事件所触发的所有的滑坡总面积与滑坡分布面积的比值。得到的地震滑坡发生概率，是表达预测滑坡的区域范围的大小。换句话说，滑坡发生概率与空间范围相关。

3.5机器学习 machine learning

机器学习是一门人工智能的科学，该领域的主要研究对象是人工智能，特别是如何在经验学习中改善具体算法的性能。

3.6 贝叶斯概率思想 Bayesian probability

通过经验、客观数据甚至是主观数值来设定“先验概率”，观察到某种“行为”，并且根据这种行为对先验概率造成的影响来设定“条件概率”，根据观察到的行为，排除先验概率中的某些可能性最后将先验概率更新为“后验概率”。

3.7 地震滑坡易发性分级Earthquake-induced landslide susceptibility classification

以等级的方式划分地震造成的地质灾害活动程度基本规定。

* 1. 技术要求

4.1 地震情景确定

收集地震信息，应包含烈度分布数据、震中位置、震级大小、发震断层等信息。

4.2 工作程序

地震概率危险性评估工作程序如下：

——地震滑坡数据的筛选和处理；

——地震滑坡因子选择与处理；

——基于机器学习模型的地震滑坡概率危险性分析；

——模型精度检验。

4.3研究区域的选择与界定

根据烈度分布数据确定评估区域的范围。所有数据统一坐标。

明确研究区域的地理范围，确保包含了可能受到地震滑坡影响的所有地区。

考虑地质、地形、降雨等因素，以确定评估的空间范围。

4.3.1 地震滑坡数据处理

收集高分辨率的地形数据、地质地图、地震活动数据等。

对数据进行质量控制，处理噪声、缺失值和不一致性。确保数据的时效性和完整性。

同震滑坡分布数据为面要素标识的数据，不区分地震滑坡的源区、运动区与堆积区，地震滑坡数据不应当存在地震滑坡调查空区，应当真实、客观、全面的反映地震滑坡的情况。

将滑坡区域赋值为1，将非滑坡区域赋值为0。

4.3.2 地震滑坡影响因子选择

地震滑坡影响因子选择对概率危险性评估结果十分重要，应综合考虑地形、地质、地震、构造、地貌、水文等多个影响因素。对于岩性等数据，可处理为分类变量数据

4.4 地震滑坡概率危险性评估训练样本的选择

模型的训练样本选择需要保证滑坡样本与不滑样本的比例与实际区域中滑坡面积与未发生滑坡面积的比例相一致，这样得到的概率才是地震滑坡的绝对概率。

采用在整个研究区内随机选点的方式，样本点落在滑坡面要素内的即为滑坡样本点，落在滑坡面之外的样本点为非滑坡样本点。训练样本的密度应保证每平方公里大于10个样本，这样能够保证概率危险性评估计算结果的稳定性。

4.5 地震滑坡概率危险性评估方法选择

选择适当的地震滑坡概率模型，考虑模型的适用性和可靠性。

在模型选择时，考虑地质条件、地形特征、历史地震事件等因素

常用机器学习模型都可作为地震滑坡概率危险性评估的模型选择，这里以常用的逻辑回归方法为代表介绍。

地震滑坡概率危险性评估方法应考虑滑坡与其环境影响因子的关系，结合GIS空间分析功能，采用机器学习模型建立二者之间的关系，开展定量化分析研究，得到定量关系式，进而推广到整个研究区得到概率危险性分析结果。

以逻辑回归模型为例，该模型考虑一个二分类名义变量，例如将滑坡的触发和未触发，可以用1和0代表两种不同的状态。滑坡发生的概率函数$f(z)$的数值介于0~1之间，将其视为因变量（滑坡影响因子）的条件概率分布，得到式（1）和式（2）

$Z=a+\sum\_{j}^{}b\_{j}x\_{j}$ $j=1,2,…m$ （1）

$f\left(z\right)=\frac{1}{1+e^{−(z)}} $ （2）

其中，$f\left(z\right)$代表滑坡发生的概率，$x\_{j}$代表各个影响因子，$b\_{j}$是逻辑回归系数, Z代表变量叠加后的线性权重值。

得到各个滑坡影响因子的权重系数，基于模型的公式，得到地震滑坡概率危险性评估结果。

4.6 模型参数设置

设置地震滑坡概率模型的输入参数，包括地质属性、地形因子、降雨条件等。

根据研究区域的特点，调整和优化模型参数

4.7概率危险性结果综合分析

根据朴素贝叶斯概率思想，对于一次地震事件来说，其滑坡发生概率可以被定义为：该次地震事件所触发的所有的滑坡总面积与滑坡分布面积的比值。该比值可类似于同震滑坡发生的先验概率，也可被成为滑坡面积百分比。那么某一区域内同震滑坡的发生概率可以定义为该区域内同震滑坡总面积除以该区域总面积。应用上述方法得到的地震滑坡发生概率，是表达预测滑坡的区域范围的大小。滑坡发生概率与空间范围相关。

4.7.1 地震滑坡发生概率解读

使用训练样本和机器学习模型，计算得到滑坡危险性指数图。其值越接近0表示发生滑坡灾害的可能性越小，越接近1表示该发生滑坡灾害的可能性越大。

4.7.2 地震滑坡概率危险性分区

按照地震滑坡概率值，将概率值＜0.01%的区域定义为地震滑坡极低危险区，将0.01%≤概率值＜0.1%的区域定义为低危险区，将0.1%≤概率值＜1%的区域定义为中危险区，将1%≤概率值＜10%的区域定义为高危险区，将概率值≥10%的区域定义为极高危险区

4.7.3 地震滑坡概率危险性分区面积统计

分析各个地震滑坡概率危险性分区的分布面积、滑坡发生概率。分区内滑坡发生总概率计算方式为分区内所有栅格的滑坡概率的平均值。

4.8 地震滑坡易发性模型检验

4.8.1不确定性分析

进行地震滑坡概率模型的不确定性分析，评估模型输出的可靠性。

考虑参数不确定性、模型结构不确定性等因素，提供不确定性的范围和概率。

4.8.1评估结果精度分析

ROC（Receiver Operating Characteristic）曲线的曲线下面积（Area Under Curve，AUC）作为评价模型好坏的指标，AUC值范围为0-1，AUC值越大，表明模型性能越好，也即模型表达滑坡分布的效果越好；AUC值在0.5左右时，表示模型的预测性能完全属于随机的。采用ROC曲线判断预测模型的好坏，其评判标准为：当AUC为0.5-0.6时，模型预测结果准确度极低；AUC为0.6-0.7时，模型预测结果准确度低；AUC为0.7-0.8时，模型预测结果准确度中等；AUC为0.8-0.9时，模型预测结果准确度高；AUC大于0.9时，模型预测结果准确度极高。需要指出的是，结果AUC受研究区、训练样本、滑坡影响因素、模型等多个因素的确定，AUC值的高低也不能直接和评估工作质量对等起来。

参考文献

1. 许冲, 徐锡伟, 周本刚, 沈玲玲 (2019) 同震滑坡发生概率研究——新一代地震滑坡危险性模型. 工程地质学报, 27(5): 1121-1129.
2. Shao X, Ma S, Xu C, Zhou Q (2020) Effects of sampling intensity and non-slide/slide sample ratio on the occurrence probability of coseismic landslides. Geomorphology, 363(107222): 12 pages.
3. 许冲 (2012) 汶川地震滑坡详细编录及其与全球其他地震滑坡事件对比. 科技导报, 30(25): 18-26.
4. 许冲, 徐锡伟 (2014) 21世纪初几次大地震事件触发滑坡基础数据建设. 地震地质, 36(1): 90-104.
5. Xu C, Xu X, Yao X, Dai F (2014) Three (nearly) complete inventories of landslides triggered by the May 12, 2008 Wenchuan Mw 7.9 earthquake of China and their spatial distribution statistical analysis. Landslides, 11(3): 441-461.
6. 许冲 (2018) 环境地球科学之滑坡地震地质学. 工程地质学报, 26(1): 207-222.