中国灾害防御协会团体标准

《地震滑坡概率危险性评估技术规范》

编制说明

**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）**

**二〇二四年一月**

**目 录**

[一、工作简况 1](#_Toc156216223)

[（一）编制目的和意义 1](#_Toc156216224)

[（二）标准起草单位和主要起草人 1](#_Toc156216225)

[（三）主要工作过程 2](#_Toc156216226)

[（四）标准主要起草人所做工作 2](#_Toc156216227)

[二、现状分析 3](#_Toc156216228)

[三、标准编制依据和主要内容的确定 5](#_Toc156216229)

[（一）编制依据 5](#_Toc156216230)

[（二）主要内容确定 5](#_Toc156216231)

[四、主要技术内容 6](#_Toc156216232)

[（一）地震情景确定 6](#_Toc156216233)

[（二）工作程序 6](#_Toc156216234)

[（三）研究区域的选择与界定 6](#_Toc156216235)

[（四）地震滑坡数据处理 6](#_Toc156216236)

[（五）地震滑坡影响因子选择 6](#_Toc156216237)

[（六）地震滑坡概率危险性评估训练样本的选择 6](#_Toc156216238)

[（七）地震滑坡概率危险性评估方法选择 7](#_Toc156216239)

[（八）模型参数设置 7](#_Toc156216240)

[（九）概率危险性结果综合分析 7](#_Toc156216241)

[五、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系 8](#_Toc156216242)

[六、重大分歧意见的处理经过和依据 8](#_Toc156216243)

[七、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议 8](#_Toc156216244)

[八、贯彻标准的要求和措施建议 9](#_Toc156216245)

[九、废止现行有关标准的建议 9](#_Toc156216246)

[十、其他应予说明的事项 9](#_Toc156216247)

# 一、工作简况

## （一）编制目的和意义

大地震往往触发大量的同震滑坡，而这些同震滑坡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。

目的：开展滑坡绝对概率评估技术规范研究，基于真实滑坡数据开展绝对滑坡概率预测模型研究，提升地震滑坡概率危险性评估的水平，更好的服务于地震滑坡防灾减灾救灾工作。

意义：通过预测滑坡空间概率的分布，可以得到区域内地震滑坡发生概率分布图，从而可以有效的开展受灾区域的地震滑坡防灾减灾工作。目前国内还没有类似标准的实施，本次团体标准的实施将填补这一空白，为以后编制更高一级的标准（如地方标准、行业标准等）做铺垫。

## （二）标准起草单位和主要起草人

起草单位：应急管理部国家自然灾害防治研究院、中国地质科学院地质力学研究所、中 国地质大学（北京）、中国地震局地质研究所、四川省地震局、河北省地震局、云南省地震局、青海省地震局、宁夏地震局、新疆地震局、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、中国长江三峡集团有限公司、中国地震局地球物理研究所、中国地震局地震预测所、中国地质科学院地质力学研究所、成都理工大学、同济大学、西安交通大学、西北大学、西安科技大学、中国电力科学研究院有限公司

主要起草人：许冲、邵霄怡、程佳、齐文文、何祥丽、高会然、肖子亢、王巍、黄帅、田颖颖、马思远、徐锡伟、王世元、张合、吕国军、卢永坤、姚生海、杜鹏、李帅、王兰民、疏鹏、刘军、李陈侠、曾金艳、张建龙、欧阳金惠、姚翔龙、邵博、李宗超、王晓青、姚琪、郭长宝、孙萍、顾畛逵、王涛、王运生、汪发武、黄雨、张茂省、王家鼎、赵洲、刘畅

## （三）主要工作过程

**1、前期准备**

中国灾害防御协会于2021年2月通过了团体标准提案，团体标准《地震滑坡概率危险性评估技术规范》进入立项申请阶段

**2、立项讨论会**

中国灾害防御协会于2022年4月14日在北京召开了《地震同震滑坡分布专题图技术规范》、《地震滑坡概率危险性评估技术规范》、《地震滑坡概率危险性评估专题图制图技术规范》团体标准立项论证会。专家组由中国地震应急搜救中心、中国地震局地质研究所、中国地质科学院地质力学研究所、中国自然资源航空物探遥感中心、中国地质大学（北京）教授、中国灾害防御协会研究员的专家组成。专家组全体成员一致同意该标准通过立项论证，要求项目组根据论证会提出的意见和建议，进一步做好标准的编制工作

**3、立项和启动**

应急管理部国家自然灾害防治研究院于2023年5月15日在北京主持召开了中国灾害防御协会团体标准《地震滑坡概率危险性评估技术规范》《地震滑坡概率危险性评估专题图制图技术规范》《地震同震滑坡分布专题图制图技术规范》项目启动会，中国灾害防御协会副秘书长张成，应急管理部国家自然灾害防治研究院研究员许冲，以及牵头单位、各参编单位代表共40余人以线上形式出席了会议。

会上成立了团体标准编制组，确定了参与团体标准编写的成员。编制组分别对团体标准的编制工作大纲进行了讨论，讨论内容主要包括团体标准编制工作的章节结构、任务分工、进度安排等事项。最后，编制组对团体标准编制工作大纲达成了共识，并就下一步工作的开展和推进做出了具体安排，为团体标准编制工作的顺利进行奠定了基础。

## （四）标准主要起草人所做工作

课题负责人许冲，负责组织、主持项目研究、调研及研讨；课题副负责人许冲，负责标准的起草和修改工作，参与调研及研讨，对标准进行了系统校核；主要研究人员；邵霄怡、程佳、齐文文、何祥丽、高会然、肖子亢、王巍、黄帅、田颖颖、马思远、徐锡伟、王世元、张合、吕国军、卢永坤、姚生海、杜鹏、李帅、王兰民、疏鹏、刘军、李陈侠、曾金艳、张建龙、欧阳金惠、姚翔龙、邵博、李宗超、王晓青、姚琪、郭长宝、孙萍、顾畛逵、王涛、王运生、汪发武、黄雨、张茂省、王家鼎、赵洲、刘畅参与调研及研讨。

# 二、现状分析

对于滑坡灾害危险性评价的研究，最核心的理论基础就是工程地质类比法，也即通过学习已发生的或当前的斜坡失稳机制来辅助决策未来滑坡灾害的防治 (Carrara et al. 1995; Carrara et al. 1999; Guzzetti et al. 1999; Varnes 1984)。最早相关研究可以追溯到20世纪70年代，Neuland (1976) 尝试利用统计方法结合稳定与不稳定斜坡的地质环境特征构建一个滑坡预测模型，这也就是我们通常所说的滑坡敏感性/易发性分析。一般来讲，滑坡的易发性分析就是根据局部地形和环境条件分析一个区域内滑坡发生的可能性 (Brabb 1985)，也即估计滑坡可能发生的地方。用数学语言来表达的话，就是指一定地质条件下斜坡失稳发生的空间概率 (Guzzetti 2006; Reichenbach et al. 2018)，这就是我们计算和制作滑坡易发性图的原理。用于开展滑坡易发性分析的方法可以分为5大类：地貌分析、滑坡编目分析、启发式或指数分析方法、统计分析方法和物理原理分析方法 (Guzzetti 2006; Reichenbach et al. 2018)。基于统计和物理原理的分析方法是比较常用的地震滑坡易发性评价方法。其中，统计方法是通过拟合过去和/或现在滑坡和可能的控制因素之间的关系来分析未来滑坡的发生概率的 (Carrara 1983; Guzzetti 2006)。最常见的统计方法有逻辑回归方法、信息量方法、证据权方法和新兴的机器学习方法 (Dai and Lee 2002; Reichenbach et al. 2018; van Westen et al. 2003)。基于这些方法开展的研究也有很多 (Jibson 1993; Kamp et al. 2009; Lee and Evangelista 2006; Ma and Xu 2018; Tian et al. 2019; Xu et al. 2012a; Xu et al. 2016; Xu et al. 2012b; 戴岚欣 et al. 2017; 刘甲美 et al. 2017; 刘丽娜 et al. 2014; 马思远 et al. 2019; 王涛 et al. 2013, 2015; 许冲 et al. 2013a; 许冲 et al. 2013b)。易发性分析的方法有很多种，且各具特色，其中逻辑回归方法被认为是操作相对简单、适用于大区域且精度相对较高的方法之一 (Brenning 2005; Nowicki Jessee et al. 2018)。

尽管地震滑坡危险性评价的结果已有成果很多，但从小区域到全球尺度，几乎都没有概率思想为指导，只考虑了滑坡发生的相对危险性，没有将危险性与实际滑坡联系起来，从而导致受地域限制或者有分歧的分级标准。也就是说，不同地区的高滑坡危险性可能实际上滑坡危险性差别非常大。因此，亟需基于真实滑坡数据构建绝对滑坡概率预测模型对开展地震滑坡概率危险性评估。

参考文献：

Brabb EE, 1985. Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping, International Landslide Symposium Proceedings, Toronto, Canada, pp. 17-22.

Brenning A (2005) Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. 5:853-863.

Carrara A (1983) Multivariate models for landslide hazard evaluation. Journal of the International Association for Mathematical Geology 15(3):403-426.

Carrara A, Cardinali M, Guzzetti F, Reichenbach P (1995) GIS technology in mapping landslide hazard. Springer, 135-175.

Carrara A, Guzzetti F, Cardinali M, Reichenbach P (1999) Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard. Natural Hazards 20(2/3):117-135.

Dai FC, Lee CF (2002) Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology 42:213–228.

Guzzetti F (2006) Landslide hazard and risk assessment Ph.D. Thesis Bonn, Germany

Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M, Reichenbach P (1999) Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. Geomorphology 31(1):181-216.

Jibson RW (1993) Predicting earthquake-induced landslide displacements using Newmark's sliding block analysis. Transportation Research Record 1411:9-17.

Kamp U, Owen LA, Growley BJ, Khattak GA (2009) Back analysis of landslide susceptibility zonation mapping for the 2005 Kashmir earthquake: an assessment of the reliability of susceptibility zoning maps. Natural Hazards 54(1):1-25.

Lee S, Evangelista DG (2006) Earthquake-induced landslide-susceptibility mapping using an artificial neural network. Natural Hazards & Earth System Sciences 6(5):687-695.

Ma S, Xu C (2018) Assessment of co-seismic landslide hazard using the Newmark model and statistical analyses: a case study of the 2013 Lushan, China, Mw6.6 earthquake. Natural Hazards 96(1):389-412.

Neuland H (1976) A prediction model of landslips. CATENA 3(2):215-230.

Nowicki Jessee MA, Hamburger MW, Allstadt K, Wald DJ, Robeson SM, Tanyas H, Hearne M, Thompson EM (2018) A Global Empirical Model for Near‐Real‐Time Assessment of Seismically Induced Landslides. Journal of Geophysical Research: Earth Surface 123(8):1835-1859.

Reichenbach P, Rossi M, Malamud BD, Mihir M, Guzzetti F (2018) A review of statistically-based landslide susceptibility models. Earth-Science Reviews 180:60-91.

Tian Y, Xu C, Hong H, Zhou Q, Wang D (2019) Mapping earthquake-triggered landslide susceptibility by use of artificial neural network (ANN) models: an example of the 2013 Minxian (China) Mw 5.9 event. Geomatics, Natural Hazards and Risk 10(1):1-25.

van Westen CJ, Rengers N, Soeters R (2003) Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment. Natural Hazards 30(3):399-419.

Varnes DJ (1984) Landslide hazard zonation: a review of principles and practice.

Xu C, Dai F, Xu X, Lee YH (2012a) GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China. Geomorphology 145:70-80.

Xu C, Shen L, Wang G (2016) Soft computing in assessment of earthquake-triggered landslide susceptibility. Environmental Earth Sciences 75(9):1-17.

Xu C, Xu X, Dai F, Saraf AK (2012b) Comparison of different models for susceptibility mapping of earthquake triggered landslides related with the 2008 Wenchuan earthquake in China. Computers & Geosciences 46:317-329.

戴岚欣, 许强, 范宣梅, 常鸣, 杨琴, 杨帆, 任敬, 2017. 2017年8月8日四川九寨沟地震诱发地质灾害空间分布规律及易发性评价初步研究, in: 戴岚欣, 许强, 范宣梅, 常鸣, 杨琴, 杨帆, 任敬 (Eds.), 工程地质学报, pp. 1151-1164.

刘甲美, 王涛, 石菊松, 栗泽桐, 2017. 四川九寨沟Ms7.0级地震滑坡应急快速评估, in: 刘甲美, 王涛, 石菊松, 栗泽桐 (Eds.), 地质力学学报, pp. 639-645.

刘丽娜, 许冲, 徐锡伟, 陈剑, 2014. GIS支持下基于AHP方法的2013年芦山地震区滑坡危险性评价, in: 刘丽娜, 许冲, 徐锡伟, 陈剑 (Eds.), 灾害学, pp. 183-191.

马思远, 许冲, 王涛, 刘甲美, 2019. 应用2类Newmark简易模型进行2008年汶川地震滑坡评估, in: 马思远, 许冲, 王涛, 刘甲美 (Eds.), 地震地质, pp. 774-788.

王涛, 吴树仁, 石菊松, 辛鹏, 2013. 基于简化Newmark位移模型的区域地震滑坡危险性快速评估——以汶JiIMs8.0级地震为例, in: 王涛, 吴树仁, 石菊松, 辛鹏 (Eds.), 工程地质学报, pp. 16-24.

王涛, 吴树仁, 石菊松, 辛鹏, 2015. 地震滑坡危险性概念和基于力学模型的评估方法探讨, in: 王涛, 吴树仁, 石菊松, 辛鹏 (Eds.), 工程地质学报, pp. 93-104.

许冲, 戴福初, 徐素宁, 徐锡伟, 何宏林, 吴熙彦, 石峰, 2013a. 基于逻辑回归模型的汶川地震滑坡危险性评价与检验, in: 许冲, 戴福初, 徐素宁, 徐锡伟, 何宏林, 吴熙彦, 石峰 (Eds.), 水文地质工程地质, pp. 98-104.

许冲, 徐锡伟, 于贵华, 2013b. 基于证据权方法的玉树地震滑坡危险性评价, in: 许冲, 徐锡伟, 于贵华 (Eds.), 地震地质, pp. 151-164.

# 三、标准编制依据和主要内容的确定

## （一）编制依据

本次团体标准编制的主要依据是：主要参考国内现有标准，包括DZ/T0286-2015 地质灾害危险性评估规范、DB11/T893-2012地质灾害危险性评估技术规范、DB50/139-2003地质灾害危险性评估规范、DGJ08-2007-2006建设项目地质灾害危险性评估技术规程、DB33/T881-2012地质灾害危险性评估规范、GB/T 30352-2013 地震灾情应急评估。

## （二）主要内容确定

标准的主要内容包括8项：①前言：介绍本标准归口单位，起草单位，主要起草人等；②引言：叙述本标准的编制依据及编制目的；③范围：约定本标准的适用范围；④规范性引用文件：标明本标准引用的规范文件；⑤术语和定义：对地震地质灾害、崩塌灾害、地震滑坡危险性评估、地震滑坡发生概率、贝叶斯概率思想范围进行定义；⑥技术要求：出于对地震震后滑坡概率危险性评估技术需求，对地震概率危险性评估规范了8项技术要求-地震情景确定、工作程序、研究区域的选择与界定、地震滑坡数据处理、地震滑坡影响因子选择、地震滑坡概率危险性评估训练样本的选择、地震滑坡概率危险性评估方法选择、模型参数设置、概率危险性结果综合分析、地震滑坡易发性模型检验及其他要求的规定。

# 四、主要技术内容

## （一）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。

## （二）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。

## （三）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。

## （四）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。

## （五）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。

## （六）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。

## （七）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，得到本标准中的式（1）和式（2）。

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。

## （八）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。

## （九）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。

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。

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

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。

地震滑坡易发性模型检验: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。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。

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。

# 五、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系

本标准与现行国家相关法律、法规和强制性标准保持一致性，确保本标准颁布实施后，具备可操作性。目前国内外对于地震滑坡概率危险性评估技术，还没有颁布过相应的技术标准；本标准是在执行现行法律、法规的基础上制定的，与现有标准不会有矛盾或重复现象。

# 六、重大分歧意见的处理经过和依据

无

# 七、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

本标准旨在规范震后滑坡概率危险性评估的技术指导，因此， 建议作为团体标准发布实施。

# 八、贯彻标准的要求和措施建议

为贯彻标准，建议标准发布后，由中国灾害防御协会适时发布贯标的通知， 切实推动这项团体标准的贯彻实施。

# 九、废止现行有关标准的建议

无。

# 十、其他应予说明的事项

无。