

分类号_____

密 级_____

UDC _____

编 号_____

重 庆 大 学

博 士 学 位 论 文

滑坡灾害风险分析系统理论及 在港渝地区应用研究

研 究 生 姓 名 _____ 汪 敏 _____

指导教师姓名 _____ 王 鍾 琦 教 授 _____

副指导教师姓名 _____ 刘 东 燕 教 授 _____

申请学位级别 _____ 博 士 _____ 专 业 名 称 _____ 岩 土 工 程 _____

论文提交日期 _____ 2001.4 _____ 论文答辩日期 _____ 2001.6 _____

学位授予单位和日期 _____ 重庆大学 2001 _____

答辩委员会主席 _____

评 阅 人 _____

二零零一年四月

分类号.....

密 级.....

UDC

编 号.....

重 庆 大 学

博 士 学 位 论 文

滑坡灾害风险分析系统理论及 在港渝地区应用研究

研 究 生 姓 名汪 敏.....

指导教师姓名王 鍾 琦 教 授.....

副指导教师姓名刘 东 燕 教 授.....

申请学位级别博 士..... 专 业 名 称岩 土 工 程.....

论文提交日期2001.4..... 论文答辩日期2001.6.....

学位授予单位和日期重庆大学 2001.....

答辩委员会主席

评 阅 人

二零零一年四月

A Dissertation Submitted to The University of Chongqing for

The Degree of Doctor of Philosophy

Systematic Theory of Landslide Hazard Analysis and
Its Application in Hong Kong and Chongqing

Ph.D. Candidate: Wang Min

Major: Geotechnical Engineering

Supervisor: Professor Wang Zhong Qi

Associate Supervisor: Professor Liu Dong Yan

April 2001

摘 要

滑坡是仅次于地震和洪水的严重地质灾害,滑坡灾害的出现频率较大,且多涉及生命及财产安全,滑坡灾害风险研究目前是国际上灾害研究的前沿和热点。对于如何评价滑坡灾害风险损失,目前还没有系统的理论方法。本论文在全面分析影响滑坡灾害因素的基础上,建立了滑坡灾害风险分析的系统理论方法,并将其应用于香港和重庆地区的滑坡灾害风险分析,文中对以下主要内容进行了研究:

滑坡灾害风险分析既涉及自然科学理论,又涉及社会经济理论,它是跨学科的综合评价,需要将相关理论融合在一起,形成完整的滑坡灾害风险分析理论体系。因此,滑坡灾害风险分析不仅要与滑坡灾害机理研究相结合,更重要的是与灾害破坏的工程及经济分析相结合。文中详细研究了滑坡灾害的危险性评价、社会经济易损性评价、破坏损失评价和风险防治工程评价等内容,把滑坡灾害风险分析过程处理为对灾害的动态评价过程。

文中分析了影响斜坡稳定性的各种因素,包括地形地貌、地质构造、地层岩性、气候水文地质特征及人为活动影响等,并研究了滑坡的形成条件、滑坡范围的确定及滑移距离与滑速的计算。用模糊(Fuzzy)综合评判理论和神经网络法对斜坡稳定性进行了分析,并用 Monte Carlo 法对斜坡破坏概率进行了计算,以确定滑坡灾害的活动程度。文中根据不同范围滑坡灾害评价精度要求,将滑坡灾害危险性指标分为区域评估、面评估和点评估 3 个层次,同时对历史滑坡和潜在滑坡的不同情况分别进行分析。

滑坡灾害风险分析中易损性评价的基本目标是获取各种易损性参数,文中分析了受灾体受滑坡灾害破坏的程度,研究了滑坡灾害的破坏效应、灾害类型划分、受灾体的价值评估、损毁等级以及受灾体价值损失率计算等。根据各种受灾体的价值属性,将滑坡灾害的受灾体划分为人员、有形资产和自然资源 3 大类,分别计算其价值,并将它们的损毁程度划分为 3 个等级,以确定受灾体损毁程度与价值损失率 R_p 的关系。

滑坡灾害的破坏损失评价是在滑坡灾害危险性评价和社会经济易损性评价的基础上进行的。文中在分析滑坡灾害活动概率 P 、破坏危害强度和受灾体损毁程度的基础上,进一步研究了滑坡灾害的损失构成、直接经济损失及间接经济损失评价方法,并就历史滑坡灾害与潜在滑坡灾害的不同情况作了滑坡灾害风险损失的计算分析。滑坡灾害风险减缓防治工程评价是要以最小的风险,取得最大的经济效益及社会效益。文中对滑坡灾害风险防治工程的技术评价与经济评价方法进行了研究,并根据价值工程理论,对灾害防治工程效益作了分析,用投资合理度 D 及损失期望值 $E(L)$ 对防治工程方案进行综合评价。

文中详细研究了香港和重庆两地的滑坡灾害及斜坡的变形破坏特征,用滑坡灾害风险分析理论建立了香港地区的滑坡灾害风险评价系统,并对重庆醴糟坪滑坡群进行了灾害风险评价计算。通过对港渝两地的地形地貌特征、岩土性质、斜坡类型及变形破坏特征的分析研究,发现港渝两地在地形地貌及斜坡类型上有许多相同或相似之处,在岩土性质上各有差异,而在滑坡灾害方面各有特点。港渝两地的雨量充沛,文中研究发现当 24 小时降雨强度小于 100mm 时,发生大量滑坡的概率很低,从 1 小时降雨强度分析,当降雨强度达 70mm/h 时,滑坡的数量及严重性都会增加。港渝两地加强滑坡灾害的风险研究与交流,有

利于港渝两地滑坡灾害风险管理水平的提高。

滑坡灾害可接受风险水平研究是近几年国际上令人关注的新课题，目前还没有建立公认的标准。文中通过对风险水平的研究，给出了滑坡灾害的一般可接受风险水平值，对于无人员及财产损失的天然场地滑坡，其失稳风险概率为 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ 之间，对于会造成较大人员伤亡及财产损失的天然斜坡及人工边坡，其可接受失稳风险概率为 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ 之间。

滑坡灾害风险分析成果具有广泛的应用价值，开展滑坡灾害风险分析研究是滑坡灾害研究今后发展的方向，目前滑坡灾害风险分析理论还不完善，需进一步加强跨学科、跨领域的综合性研究，把滑坡灾害风险分析与减灾规划、防治工程及社会经济紧密结合起来。随着城市对土地的不断需求，今后更多的工程建设将会在各类斜坡上进行，积极开展滑坡灾害风险理论的研究就显行迫切而且具有重要现实意义。

关键词 滑坡；灾害；风险分析；危险性；易损性；损失评价；防治工程；稳定性；破坏效应；受灾体；价值损失率；香港；重庆；风险管理

ABSTRACT

Landslide is one of serious geologic hazard, which is the only minor one to earthquake and flood. Landslide hazard used to occur quite often and caused inconpensable losses of life and property. In recent years, study on the risk of landslide hazard plays an important role in the field of hazard research worldwide. So far there is no the systematic theory for the hazard analysis of landslide. Through the comprehensive studies on the factors influencing landslide hazard, the theoretical system for the risk analysis of landslide hazard has been established in the thesis, and it has been used in the assessment for the landslide hazards in Hong Kong and Chongqing. Researches in the thesis mainly include the following aspects:

Risk analysis of landslide hazard involves not only the theory of natural science but also the theory of social economy, which is the comprehensive assessment among multi-disciplinary branches of learning. Relative theories should be combined together to form an integrated theoretic system for the risk analysis of landslide hazard. In the thesis, hazard assessment of landslide, evaluation of social and economic vulnerabilities, assessments of losses and hazard mitigation of landslide are studied in detail. The process for the hazard analysis of landslide is treated as a dynamic assessment process.

Different kinds of factors influencing the stability of slope are analyzed herein, which include topography, landform, geologic structure, properties of rocks and soils, meteorology, hydrology and influences of human activities, etc. The forming condition of landslide, the determination of landslide range and the calculation of sliding distance and velocity are also studied. The stability of slope is analyzed with the theory of fuzzy comprehensive assessment and the method of artificial neural network, and the failure probability of slope is calculated with Monte Carlo Method to determine the active degree of landslide hazard. According to the assessment accuracy for landslides in different fields, the hazard indices of landslides are divided into three levers (Regional evaluation, Local evaluation and Punctual evaluation). Historic landslide and potential landslide are considered respectively in hazard analysis.

In hazard analysis of landslide, the basic goal for the evaluation of vulnerability is to obtain different vulnerable parameters. Failure level of hazarded body owing to landslide is analyzed, and failure effect of landslide, classification of hazard type, value evaluation of hazarded body, grade of damage and calculation of loss rate for hazarded body are also studied. By means of the value properties of different hazarded bodies, the hazarded bodies caused by landslide are divided into 3 types (Life, Concrete assets and Natural resource), and their value are calculated respectively. Damage level of hazarded body is divided into 3 grades in order to determine the relationship between damage level and loss rate of value (R_p).

Assessments of failure losses caused by landslide are carried out based on the hazard assessment and vulnerable evaluation of landslide. In the thesis, the formation of loss, calculations of direct and indirect losses of landslide are studied after the analysis of probability of slope failure,

intensity of the failure and damage degree of hazarded body, and the risk losses of landslide hazard are calculated respectively according to historic landslide and potential landslide. The assessment of hazard mitigation for landslide means to get maximum economic and social benefits with minimum risk. Technical and economic assessments for hazard mitigation of landslide are studied, and the benefits of protective construction have also been analyzed by the theory of value engineering. The rational degree of investment (D) and expected loss (E_L) are used in the comprehensive assessment for the scheme of protective construction.

In the thesis, landslide hazards and failure features of slopes in Hong Kong and Chongqing have been studied in detail. The system for hazard assessment of Hong Kong landslide is established according to the theory of risk analysis of landslide, and risk assessments of Lao Zao Ping landslides in Chongqing have also been carried out. Through studies on topography, landform, properties of rocks and soils, types and failure features of slopes in Hong Kong and Chongqing, it is found that there are many similar features in topography, landform and types of slopes in the two cities, that there are some differences in the properties of rocks and soils, and that there are their own characteristics in landslide hazards. Rainfall is very rich in the two major cities. From the research it is shown that the probability to occur a large number of landslides is very low when the rolling 24-hour rainfall is less than 100mm, and that the number and severity of landslide will increase when an hourly rainfall reaches 70mm/h. Hong Kong and Chongqing should strengthen the study and exchange in the field of hazard analysis of landslide, which are favorable to the promotion for the level of landslide hazard management in Hong Kong and Chongqing.

Study on accepted risk level of landslide hazard is a new topic in recent years, and the accepted standard has not been set up at present. Through the study on the risk level, the general accepted risk level for landslide hazard is given. The risk probability for the failure of natural slope is about $10^{-3} \sim 10^{-2}$ under the condition of no life and property loss. For the natural slope or man made slope which may cause heavy losses to life and property, the accepted risk probability of slope failure is about $10^{-6} \sim 10^{-5}$.

The achievements in the risk analysis of landslide hazard have widely practical value. It is a goal for the development of landslide study in the future to carry out the study on the risk assessment of landslide hazard. At present, the theory for the hazard analysis of landslide is not perfect, and it is needed to strengthen the comprehensive research cross subjects and fields, so that the risk analysis is combined with the planning of hazard reduction, protective construction and social economy. With the increasing need for land in urban area, more constructions will be set on different kinds of slopes in future. So it is urgent to carry out positively the study on theory for landslide hazard, which has important and realistic significance.

Key Words: landslide (landslip); disaster; hazard (risk) analysis; hazard; vulnerability;

loss evaluation; protective construction; stability; failure effect; hazarded body;

rate of value loss; Hong Kong; Chongqing; hazard (risk) management

目 录

中文摘要

英文摘要

第一章 绪 论 1

1. 1 论文研究目的及意义 1

1. 1. 1 引言 1

1. 1. 2 风险概念 3

1. 1. 3 问题的提出 5

1. 2 国内外研究现状及评述 7

1. 2. 1 国外研究及发展趋势 7

1. 2. 2 中国的研究状况 11

1. 3 论文研究内容及技术路线 13

1. 3. 1 论文主要研究内容 13

1. 3. 2 研究技术路线 14

第二章 港渝地区滑坡灾害及特征 16

2. 1 香港地区的滑坡灾害 16

2. 2 重庆地区的滑坡灾害 18

2. 3 水文及地质条件 19

2. 3. 1 地形地貌特征 19

2. 3. 2 水文气象 22

2. 3. 3 地质条件 23

2. 4 斜坡类型及变形破坏特征 29

2. 4. 1 岩土的物理力学性质 29

2. 4. 2 斜坡类型及分布 32

2. 4. 3 斜坡变形破坏特征 33

2. 4. 4 港渝两地分析对比 38

第三章 滑坡灾害的风险识别及危险性评价 41

3. 1 引言 41

3. 1. 1 滑坡灾害风险分析的主要内容 41

3. 1. 2 风险分析的程序 41

3. 2 风险识别方法 42

3. 2. 1 层次分解方法和风险树分析 42

3. 2. 2 专家调查法 43

3. 2. 3 幕景分析法 44

3. 3 滑坡灾害的影响因素分析 44

3. 3. 1 滑坡形成条件 44

3.3.2 斜坡稳定性影响因素	45
3.4 滑坡灾害风险分析的危险性指标	47
3.4.1 灾害危险性评价内容	47
3.4.2 灾害危险性指标	48
3.4.3 滑坡灾害发生概率分析方法	49
3.5 斜坡稳定性分析方法	50
3.5.1 斜坡破坏概率及蒙特卡洛法	50
3.5.2 稳定性的模糊(Fuzzy)综合评判	63
3.5.3 稳定性评价的神经网络法	74
3.6 滑坡范围的确定	82
3.6.1 滑移距离与滑速	82
3.6.2 滑速计算程序	85
3.7 滑坡灾害可接受风险水平	88
第四章 风险分析的社会经济易损性评价	94
4.1 社会经济易损性构成及评价内容	94
4.1.1 社会经济易损性构成	94
4.1.2 易损性评价的主要内容与方法	94
4.2 滑坡灾害破坏效应及灾害类型划分	95
4.2.1 滑坡灾害破坏效应	95
4.2.2 滑坡灾害受灾体类型划分	95
4.3 滑坡灾害受灾体的价值分析	97
4.3.1 受灾体的价值核算方法	97
4.3.2 受灾体密度与价值分布	100
4.4 受灾体损毁等级划分及价值损失率确定	101
4.4.1 受灾体损毁等级划分	101
4.4.2 受灾体价值损失率	104
第五章 滑坡灾害的破坏损失评价	105
5.1 滑坡灾害破坏损失评价内容	105
5.2 直接经济损失评价方法	106
5.2.1 成本价值及修复成本价值损失核算	106
5.2.2 收益损失核算	107
5.2.3 成本-收益价值损失核算	107
5.3 间接经济损失的评价	107
5.3.1 停减产损失和产业关联损失	107
5.3.2 滑坡灾害中人员死亡的货币损失估算方法	109
5.4 滑坡灾害损失评价	110
5.4.1 滑坡历史灾害的破坏损失评价	110
5.4.2 滑坡灾害预估损失评价	111
第六章 滑坡灾害风险减缓防治工程评价	115

6.1 滑坡灾害风险减缓评价方法	115
6.1.1 防治工程技术评价与经济评价	115
6.1.2 滑坡灾害风险防治工程优化分析	118
6.2 滑坡灾害风险防治措施及风险管理	121
6.2.1 灾害风险防治措施	121
6.2.2 滑坡灾害风险管理	122
第七章 滑坡灾害风险评价应用分析	124
7.1 香港地区滑坡灾害风险评价系统概念设计	124
7.1.1 引言	124
7.1.2 滑坡灾害风险评价系统的基本结构	125
7.1.3 综合评价数据库系统	125
7.1.4 综合评价模型库系统	129
7.2 重庆醴糟坪滑坡灾害风险评价计算	133
7.2.1 滑坡灾害组成	133
7.2.2 滑坡群危险性评价	135
7.2.3 社会经济易损性评价	142
7.2.4 滑坡灾害预估损失计算	142
7.2.5 滑坡群灾害风险评价及分区	145
7.2.6 滑坡风险治理工程减灾效益分析	146
第八章 结论及研究展望	147
8.1 结论	147
8.2 研究展望	149
主要参考文献	150
作者简介	158
致谢	159

CONTENTS

Abstract in Chinese

Abstract in English

Chapter 1	Introduction	1
1.1	Purposes and Significance of the Research on Landslide	1
1.1.1	Forewords	1
1.1.2	Concept of Risk	3
1.1.3	Origin of Problems	5
1.2	Comments on Present Studies at Home and Abroad	7
1.2.1	Studies abroad and Developing Trends	7
1.2.2	Status quo of Studies at Home	11
1.3	Methodology of Landslide Research	13
1.3.1	Main Research Aspects	13
1.3.2	Technical Routes of Research	14
Chapter 2	Landslide Hazards and Features in Hong Kong and Chongqing	16
2.1	Landslide Hazards in Hong Kong	16
2.2	Landslide Hazards in Chongqing	18
2.3	Hydrologic and Geologic Conditions	19
2.3.1	Features of Topography and Landform	19
2.3.2	Hydrology and Meteorology	22
2.3.3	Geologic Conditions	23
2.4	Types and Failure Features of Slopes	29
2.4.1	Physical and Mechanical Properties of Rocks and Soils	29
2.4.2	Types and Distributions of Slopes	32
2.4.3	Features of Deformation and Failure of Slopes	33
2.4.4	Analysis and Comparison of Features Between Hong Kong and Chongqing	38
Chapter 3	Risk Identification and Hazard Assessment of Landslide	41
3.1	Introduction	41
3.1.1	Main Contents of Hazard Analysis of Landslide	41
3.1.2	Procedure for Hazard Analysis	41
3.2	Methods for Risk Identification	42
3.2.1	Method of Level Resolution and Risk Tree	42
3.2.2	Method of Expert Inspection	43
3.2.3	Method of Scenery Analysis	44

3.3	Analysis of Influencing Factors for Landslide Hazards	44
3.3.1	Forming Conditions of Landslide	44
3.3.2	Influencing Factors on Stability of Slope	45
3.4	Risk Indices for hazard Analysis of Landslide	47
3.4.1	Contents for Hazard Assessment of Landslide	47
3.4.2	Hazard Indices of Landslide	48
3.4.3	Calculation for Occurrence Probability of Landslide Hazard	49
3.5	Analysis Methods for Stability of Slope	50
3.5.1	Probability of Slope Failure and Monte Carlo Method	50
3.5.2	Fuzzy Comprehensive Assessment of Slope Stability	63
3.5.3	Method of Artificial Neural Network for Assessment of Slope Stability	74
3.6	Determination of Range of Landslide	82
3.6.1	Distance and Velocity of Landslip Sliding	82
3.6.2	Program for Calculation of Sliding Velocity	85
3.7	Level of Acceptable Risk for Landslide Hazard	88
Chapter 4	Evaluation of Social and Economic Vulnerabilities for Hazard Analysis.....	94
4.1	Composition and Evaluating Contents for Social and Economic Vulnerabilities	94
4.1.1	Composition of Social and Economic Vulnerabilities	94
4.1.2	Main Contents and Methods for Evaluation of Social and Economic Vulnerabilities	94
4.2	Damaging Effects and Types of Landslide Hazards	95
4.2.1	Damaging Effects of Landslide Hazard	95
4.2.2	Types of Hazardous Bodies	95
4.3	Value Analysis of Hazardous Bodies in Landslide	97
4.3.1	Value Accounting Methods for Hazardous Bodies	97
4.3.2	Density and Value Distribution of Hazardous Bodies	100
4.4	Determination of Damage Grade and Value Loss Rate of Hazardous Bodies	101
4.4.1	Damage Grade	101
4.4.2	Value Loss Rate of Hazardous Bodies	104
Chapter 5	Evaluation of Losses in Landslide Hazard	105
5.1	Contents of Losses Evaluation for Landslide Hazard	105
5.2	Evaluation of Direct Economic Losses	106
5.2.1	Accounting Losses of Cost Value and Renovating Cost Value	106
5.2.2	Accounting Profit and Losses	107
5.2.3	Accounting Cost and Profit	107
5.3	Evaluation of Indirect Economic Losses	107
5.3.1	Losses Induced from Reduction of Output and Industrial Connection	107
5.3.2	Method for Evaluation of Currency Losses of Life in Landslide Hazard	109
5.4	Evaluation of Loss for Landslide Hazard	110

5.4.1	Evaluation for Losses of Historical Landslide Hazard	110
5.4.2	Evaluation for Expected Losses of Landslide Hazard	111
Chapter 6	Assessment of Risk Mitigation for Landslide Hazard	115
6.1	Methods of Assessment for Mitigation of Landslide Hazard	115
6.1.1	Technical and Economic Assessments for Slope Remedial Works	115
6.1.2	Optimal Analysis of Landslide Prevention	118
6.2	Measures and Management for Risk Mitigation of Landslide Hazard	121
6.2.1	Measures for Hazard Mitigation	121
6.2.2	Management for Landslide Hazard	122
Chapter 7	Application of Hazard Assessment of Landslide	124
7.1	Conceptual Design of Hazard Assessment System of Landslide in Hong Kong.....	124
7.1.1	Introduction	124
7.1.2	Basic Structure of Hazard Assessment System	125
7.1.3	Database System for Comprehensive Assessment	125
7.1.4	Model System for Comprehensive Assessment	129
7.2	Hazard Assessments of Lao Zao Ping Landslides in Chongqing	133
7.2.1	Composition of the Landslide Hazards	133
7.2.2	Hazard Assessment of the Landslides	135
7.2.3	Evaluation of Vulnerabilities	142
7.2.4	Calculation of Expected Losses	142
7.2.5	Risk Assessment and Zonation of the Landslides	145
7.2.6	Analysis of Hazard Reduction Effect on the Landslide Hazard Control Project...	146
Chapter 8	Conclusions and Research Prospects	147
8.1	Conclusions.....	147
8.2	Research Prospects.....	149
Main References		150
Author's Resume		158
Acknowledgements		159

第一章 绪 论

1. 1 论文研究目的及意义

1. 1. 1 引言

滑坡是仅次于地震和洪水的一种严重的地质灾害,在我国因 70%地域为山区^[1],故滑坡发生密度大,频率高。由于地质结构复杂,地震活动频繁,孕育着产生滑坡灾害的条件,加之暴雨的侵袭,使之我国成为世界上受滑坡危害最严重的国家之一。如四川省仅 1981 年全省因暴雨引发大小崩塌、滑坡达 6 万多处、泥石流 1000 多条,造成 400 多人死亡;加上洪水灾害,共冲毁(坏)房屋 16 万间,冲毁(淤埋)耕地 4800 公顷,直接经济损失 3.5 亿元(谭万沛等, 1994)^[2]。1982 年 7 月 18 日,重庆云阳县城下游长江北岸的鸡扒子滑坡,滑坡体积达 $1916 \times 10^4 \text{ m}^3$,其中 $230 \times 10^4 \text{ m}^3$ 推入长江,河床堆积高 30-40m,长 700m,水面宽度由 120 m 减小到只有 40m^[3]。

自然灾害对人类的威胁已经引起了全世界的极大关注,1987 年联合国通过决议,成立国际减灾十年组织,把二十世纪最后 10 年定为国际减轻自然灾害 10 年(IDNDR),主要研究地震、风暴、海啸、洪水、滑坡、火山爆发、森林火灾等灾害给人类带来的损失及其防治措施,这标志着人类面对自然灾害已经从单一的、局部的认识水平发展到综合的、区域性的高度,使人类对灾害的认识水平提高了。

从地质灾害的角度看,滑坡给人类带来的损失仅次于地震和洪水^{[4][5][6]},但无论是从单个滑坡所造成的危害,还是从区域性的宏观角度看,其灾害性已大得令人震惊。1982 年长江岸边鸡扒子滑坡的整治费用高达 8000 多万元^[1]。1970 年秘鲁 Huascarán 山区因地震而触发的一起山崩,造成 18000 人死亡^[7]。1963 年的意大利 Vajont 水库滑坡致使当时世界上最高的双曲拱坝失效,涌浪夺去了坝下游 2600 多人的生命。这些严重滑坡灾害的原因有自然的,也有人类活动因素造成的。

随着经济的迅速发展,人类必然会更大范围地开发利用地土,由于一些不合理的开发利用方式,而造成危及人类安全的斜坡稳定性问题。迄今我国已有滑坡灾害报导的大中城市包括香港、重庆、兰州、宝鸡、铜川、西安、延安、渡口、宜宾、十堰、南京等,受滑坡灾害困扰的城镇数目将更多,滑坡灾害增多的最主要原因是在缺乏对斜坡稳定性作评价分析的前提下,进行盲目开挖、削坡、填土等工程。渡口市 95%的滑坡与人工开挖有关(Wang, 1987)^[8]。重庆市约 50%以上的滑坡与人工堆土和开挖作用有关(黄家愉, 1987)^[9]。我国西南、西北及东南地区的主要铁道干线一直受到滑坡灾害的威胁,1980 年成昆线铁西车站滑坡,中断行车 40 日。陇海线宝鸡-天水段在建国后的 30 年间,因滑坡中断行车达 195 日,

经济损失 2.49 亿元人民币。宝成铁路在接轨后因滑坡、路基等病害,整治一年后才正式通车(刘光代, 1991) [10]。

滑坡灾害的防治与减缓,是许多国家特别重视的问题,被列为国际减灾十年(IDNDR)活动中主要的自然灾害灾种之一。滑坡是由多种内外因素共同作用下形成的,其中由暴雨作用因素引起的滑坡是世界上分布最广泛、活动最频繁、与人类工程活动最密切的一种灾害类型。

世界上许多国家都不同程度地遭受滑坡灾害的威胁。美国、日本、意大利、韩国、巴西、南美和东南亚地区、新西兰都是遭受滑坡危害比较严重的国家和地区。如 1987 年 12 月 31 日至 1988 年 1 月 1 日,美国夏威夷火奴鲁鲁地区持续性暴雨导致在 40km² 范围内产生滑坡 400 余处,造成了巨大的经济损失;1993 年 11 月 4-5 日,香港西部地区特大局部性暴雨致使在面积约 120km² 的大屿山产生滑坡 800 余处,人工边坡破坏大约 300 处,造成道路阻塞、交通中断(Wong & Ho, 1995) [11]。据统计资料,在香港地区,1972-1992 年期间 7 次主要暴雨触发的滑坡灾害致使 205 人死亡, 174 人伤残,经济损失难以计数(Premchitt, 1994) [12]。

一次滑坡灾害的损失不一定造成强震所造成的损失那样巨大,但滑坡灾害的出现频度和广度又远大于地震事件,而且多涉及生命及财产。如美国在二十世纪 70 年代,滑坡损失达 10 亿美元/年 [13]。进入 80 年代,这种损失增至 15 亿美元/年。日本滑坡灾害的经济损失平均每年也达 15 亿美元。在联合国教科文组织(UNESCO)的调查资料中显示,意大利在二十世纪 70 年代的滑坡损失为每年 11.4 亿美元,印度因交通干线滑坡所造成的滑坡损失达到 10 亿美元/年。我国的评价资料表明,滑坡损失在 30-50 亿人民币/年,相当于建国 40 年来用于基本建设年平均投资的百分之十(郭希哲, 1990; 孙广忠, 1990) [5] [6]。

可以预测,随着世界人口的增加,森林植被覆盖的减少,人类工程活动的加剧,以及全球性气候变化异常,暴雨滑坡灾害问题有可能更加严峻。滑坡灾害的减缓,主要有防治和预测预报两方面,随着人们对滑坡灾害认识的逐渐深化,控制和治理滑坡能力的不断提高,已取得了许多成功的经验。然而滑坡灾害防治的代价是巨大的,如我国四川云阳长江鸡扒子滑坡的治理和航道疏运费高达 8000 多万元;陕西韩城电厂滑坡治理高达 4000 多万元。如何经济有效,最大限度地减少滑坡灾害损失,是目前全世界面临的重要研究课题。

面对严重的滑坡灾害,传统的以单个滑坡机理研究和整治为目的方法和手段在减轻滑坡灾害方面已经显得力不从心。失败的经验总结告诉我们,对待滑坡灾害最行之有效的方法是在土地利用的规划阶段就考虑到滑坡灾害这一问题。世界上大多数国家都经历了山区城市发展过程中的人工堆土、开挖等问题,结果造成了一系列的滑坡灾害,而又不得不再采取必要的防治措施。然而,这种补求性的处理措施面临的问题又是十分的明显。滑坡区的移民工作就是一件十分困难的事情,其原因在于要在本已紧张的土地中重新开辟一片安全地带安置移民是有困难的,再加上人们的生活习惯方式及观念,更使问题复杂化,涉及到技术、经济乃至法律方面的问题。

开展滑坡灾害的风险分析，对局部场地或区域进行滑坡灾害的风险评价，从而对各类斜坡进行有效的风险管理，以减少滑坡灾害造成的生命及财产损失。这是一项极具实现意义的重要研究课题。

1.1.2 风险概念

(1) 风险认识

风险是指在一定条件下和一定时期内可能发生各种结果的变动程度。在涉及风险问题的研究中，风险的定义突出两方面的内容，一是强调风险的不确定性，二是强调风险损失的不确定性^[15]。风险具有客观性，其大小随时间延续而变化，是一定时期内的风险。

风险本身具有不确定性，因为风险虽是客观存在，但由于人们对客观世界的认识受到各种条件的限制，不可能准确预测风险的发生、产生的后果及严重程度。也就是说，风险的存在是客观的、确定的，而风险的发生是不确定性的。

风险发生的不确定性决定了风险所致损失发生的不确定性，风险发生的概率越大，损失出现的概率也越大，反之亦然^[16]。风险通过损失表现出来，其大小可通过所致损失的概率分布特性来描述。

风险概念在英文专业文献中有三个术语，risk、peril 和 hazard，但它们的含义各有不同：

risk 作为风险第一个概念是指事件发生的可能性，或理解为事件发生的不确定性。例如滑坡灾害发生的可能性。

peril 作为风险的第二个概念是指事件的本身。例如：滑坡、地震、洪水等，即意味着已经发生的事件。

hazard 作为风险的第三个概念是指事件发生的条件、原因和环境。例如涉及滑坡灾害事件，是指滑坡产生的原因及环境条件等。

由此可知，风险是一个具有极其深刻而又有广泛意义的概念。图 1-1 表示了风险的产生过程。

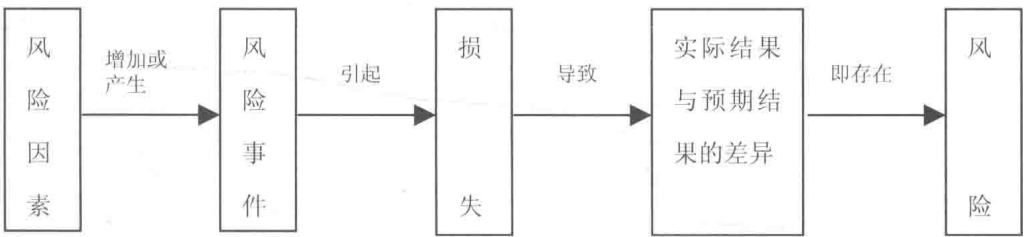


图 1-1 风险的产生过程

Fig.1-1 Process for the Produce of Risk

(2) 滑坡灾害风险

滑坡灾害风险就是斜坡破坏产生不良后果的可能性，即滑坡灾害风险包括斜坡发生破坏的可能性及其所产生的后果（损失）两方面。其风险可表示为：

$$R = f(p, c) \tag{1-1}$$

式中， R — 滑坡灾害风险；

p — 斜坡产生破坏的概率；

c — 滑坡灾害产生的损失。

风险是在一定时空条件下的非期望事件，根据概率论，风险大小取决于所致损失概率分布的期望值和标准差。

滑坡的产生是由不确定性因素决定的，滑坡灾害风险是伴随着人类的工程活动而存在的，滑坡的发生直接危及生命和财产安全，这就构成滑坡灾害风险。滑坡灾害风险分析是对滑坡灾害进行风险识别、风险估计、风险评价，并在此基础上优化组合各种风险管理技术，作出风险决策。对滑坡灾害风险实施有效的控制和处理风险所致损失的后果，期望以最少的成本获得最大的安全保障。能否实现上述目的，不仅取决于风险决策前的滑坡灾害风险识别、评价是否全面正确，而且还取决于选择最佳风险管理技术组合。由于风险具有动态性，对风险的认识水平和风险管理技术处在不断完善的过程中，因此，滑坡灾害风险分析是一个动态过程。

稳定性分析传统的定数方法几乎完全依赖计算的安全系数值，尤其在依据较高安全系数的规范进行设计时，似乎绝对安全是可以达到的。其实不然，安全系数并不能定量地表达风险程度，也不能指明可接受风险水平。不同岩体、且具有不同地下水压条件的两个边坡，有可能求得相同的安全系数，但它们的破坏概率可能有较大差别；反之，如果两个具有相同破坏概率的边坡，它们的安全系数值可能全然不同^[17]。

因此，在斜坡工程设计及滑坡灾害评价领域，风险分析将是今后的发展方向。滑坡灾害风险分析是一项综合性的研究工作，它通过多专业的研究配合，才能形成一个完整的体系，如图 1-2 中所示。

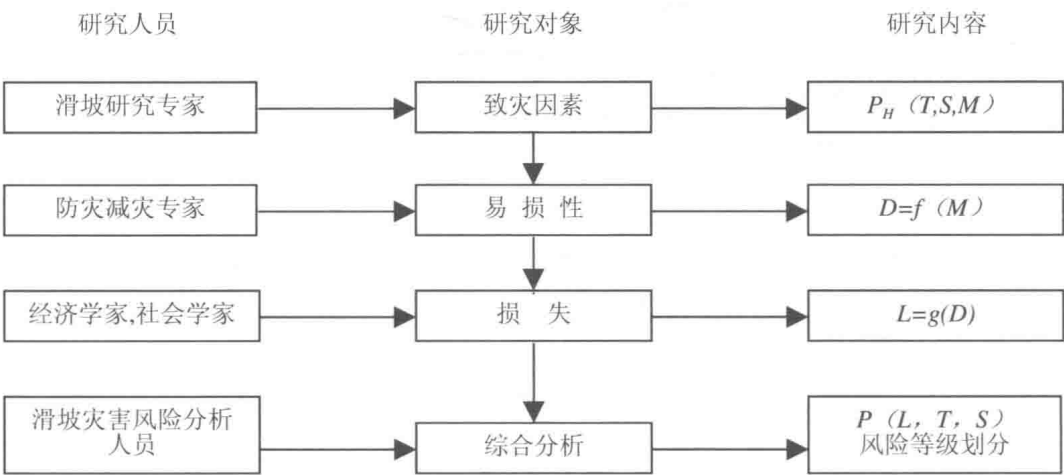


图 1-2 滑坡灾害风险分析组合原理

Fig.1-2 Principles of Composition for Risk Analysis of Landslide