

## 区域土壤侵蚀研究分析

周为峰<sup>1,2</sup>, 吴炳方<sup>1</sup>

(1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 对目前区域尺度上土壤侵蚀评价的主要研究内容进行了归纳。以时间为轴, 将区域尺度上的土壤侵蚀评价分为区域土壤侵蚀现状调查与评价、区域土壤侵蚀动态分析和区域土壤侵蚀状况的模拟与预测。其中区域土壤侵蚀现状又被区分为土壤侵蚀风险评价和侵蚀量估算。

**关键词:** 区域; 土壤侵蚀; 分析

**中图分类号:** S157

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2006)01-0265-04

## Analysis of Soil Erosion Research on Regional Scale

ZHOU Wei-feng<sup>1,2</sup>, WU Bing-fang<sup>1</sup>

(1. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** The studies of soil erosion assessment on regional scale is reduced to three categories depending on temporal scales. Those are soil erosion actual status survey and assessment on regional scale, regional dynamic change analysis of soil erosion status, and situation simulation. Soil erosion actual status survey and assessment on regional scale also can be divided into soil erosion risk ranking and soil loss quantitative assessment.

**Key words:** regional scale; soil erosion; analysis

### 1 引言

人们对土壤侵蚀的认识存在非常明显的差异。不同研究者的研究目的、方法有所不同, 研究尺度也存在差异。如土壤物理、土壤肥力等研究者, 主要关心土地农业生产相关问题, 研究尺度较小, 侧重地块、坡面和小流域研究; 环境保护与水源保护研究者以小、中尺度为主; 而流域水文、库坝工程和灾害防治等研究者在多种尺度研究<sup>[1]</sup>。区域尺度上的土壤侵蚀调查是土壤侵蚀监测的重要内容, 在我国又被称为水土保持或水土流失宏观监测<sup>[2]</sup>, 是我国生态环境监测中具有独特内容的、不可替代的重要分支<sup>[3]</sup>。土壤侵蚀本身是区域土地资源利用变化的重要驱动力<sup>[4]</sup>, 与区域土地利用规划和管理密切相关。许多研究者从指标因子的选择和分级标准<sup>[5,6]</sup>、监测体系的建立<sup>[7]</sup>、空间信息技术的应用<sup>[8]</sup>、数据质量保证<sup>[9]</sup>等不同角度, 对区域尺度上的土壤侵蚀评价进行了研究。如果从时间尺度考虑, 以研究关注的当前时段为基点, 以不同研究所涉及的时间范围为依据, 区域尺度上的土壤侵蚀评价可以被区分为: 现在时——区域土壤侵蚀现状调查与评价, 又可分为区域土壤侵蚀风险评价和侵蚀量估算; 过去时——区域土壤侵蚀状况变化的动态分析, 主要涉及区域土壤侵蚀状况的变化检测、驱动力分析与环境影响评价等; 将来时——区域土壤侵蚀状况的模拟与预测, 涉及环境因子改变如全球环境变化背景下的区域土壤侵蚀状况变化模拟和预测。

### 2 区域土壤侵蚀现状调查

区域土壤侵蚀现状调查是指以研究进行的当前时段的土壤侵蚀状况为研究对象, 对区域土壤侵蚀状况进行调查与评价, 了解区域尺度上侵蚀发生的范围与强度。根据研究目的和研究内容, 区域土壤侵蚀的研究又可以分为侵蚀风险评价和侵蚀量估算等两个主要方面。

#### 2.1 区域土壤侵蚀风险评价

区域土壤侵蚀风险(Soil erosion risk)是指区域环境中土壤在遭受侵蚀外营力作用时发生侵蚀的敏感性或易遭受侵蚀的程度, 由区域的自然环境要素综合决定。土壤侵蚀是生态环境恶化的主要原因<sup>[10]</sup>。土壤侵蚀风险是一段时间内区域生态环境质量的指针。区域侵蚀风险调查(监测或评价)是区域生态环境调查与评价的组成部分, 其指标与区域生态环境监测、陆地资源监测的指标存在着重叠。脆弱生态环境的评估就涉及土壤侵蚀以及其它土壤问题和其它环境问题, 其指标<sup>[11]</sup>与土壤侵蚀潜在危险分级评级标准<sup>[12]</sup>类似。区域土壤侵蚀风险调查的重点是确定风险等级和找出不同侵蚀风险下受影响的面积。区域侵蚀风险评价的结果是一系列不同风险等级的等级, 表示区域内空间上某一范围遭受侵蚀的风险程度, 是一种定性评价的结果。其调查的重点是找出不同侵蚀风险下受影响的面积, 绘制侵蚀风险地图, 标识出那些易于土壤退化的区域以帮助环境保护政策的制定。

区域发生侵蚀一方面需要有产生侵蚀的外营力, 主要是

收稿日期: 2005-04-01

基金项目: 官厅密云水库上游水土保持监测系统(HW-STBC2002-01)

作者简介: 周为峰(1978—), 女, 博士生, 主要从事遥感与地理信息系统应用及生态环境监测等领域研究工作。

降雨与风力,另一方面需要侵蚀发生时外营力作用的对象,主要是土壤及其上覆植被。区域尺度上侵蚀外营力的降雨和风力都与大气圈层的运动密不可分,其波动性、随机性与扰动性超过的其他圈层。在没有侵蚀外营力的情况下,区域上实际不会发生侵蚀,只有当侵蚀外营力存在时,才会产生地表表层物质的剥离、迁移和堆积。所以,区域土壤侵蚀风险实际上是由侵蚀发生时外营力作用的对象和其环境的内在性质共同决定的,是区域环境对侵蚀发生的敏感性或易遭受侵蚀的程度。由于侵蚀外营力与其他环境要素之间的作用复杂,已有进行土壤侵蚀风险评价的研究可以分为两种情况:一类是没有考虑侵蚀外营力因素(降雨);另一类降雨的多年平均状况作为环境整体的一部分来考虑。区域侵蚀风险评价的方法主要是基于专家知识的经验的判别,包括目视解译、规则判别、侵蚀综合指数计算等。区域生态环境调查的手段与方法被广泛地运用到区域土壤侵蚀风险的调查与评价中。

全球土壤侵蚀退化调查 GLA SOD 和我国目前广泛采用的土壤侵蚀目视解译调查是基于环境状况由专家给定风险级别来进行土壤侵蚀风险评价的典型应用。由 International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) 发起的 GLA SOD,采用专家判别的方法来进行全球范围的土壤侵蚀调查与评价。在地形基本单元的底图和在国家的层次上,由统一的原则指导,由专家判断每个单元的退化状态,包括类型、范围、程度、速率和原因,并且进行区域修正。其数据分辨率为 10 km。其调查结果由全世界众多土壤科学家共同参与协作完成,整个工作于 1990 年结束,由 ISRIC/Staring Centre 予以公布。尽管项目的研究目标受限和采用了主观的方法,但 GLA SOD 是运用到全球范围尺度的惟一方法。因而 GLA SOD 图和统计结果被许多世界性的研究机构所引用<sup>[13]</sup>。我国自 1985 年以来,采用美国陆地资源卫星 MSS 和 Landsat 影像为主要信息源,制定了水土流失调查规范和分级标准<sup>[12]</sup>,先后开展了三次全国范围内的侵蚀调查<sup>[14]</sup>。印度使用美国陆地资源卫星 MSS 和 TM 以及印度遥感卫星 (IRS-1A) 的 LISS-II 数据进行土壤侵蚀和耕地变化的解译调查<sup>[15]</sup>。我国张增祥、赵晓丽等(1998)在对植被、坡度、坡向、沟谷密度和海拔高程等专题数据进行标准化后,对每一个栅格上的专题属性数据进行加权求和,计算综合侵蚀指数法来代表该空间位置的土壤侵蚀强度状况<sup>[16]</sup>。这些具体的研究中主要考虑了侵蚀发生的自然地理环境因子。

有为数众多的区域侵蚀风险评价方法将降雨侵蚀外营力的多年平均状况为区域环境整体的一部分参与到评价过程中。此类方法,先设定各种环境要素对侵蚀影响的程度等级,通过因子组合,或因子分级赋值计算指数,或通常建立回归模型,来确定侵蚀等级。欧洲的 CORNE 项目中地中海区域土壤侵蚀风险评估<sup>[17]</sup>(CORNE, 1992)就是基于因子打分进行的,分数进行相乘,给出一个组合分数,来代表潜在的侵蚀风险。全球环境综合评估模型(MAGE)中的土地退化模型(LDM)基于 USLE 模型进行了简化,采用降雨侵蚀力指数、地形指数和土地利用类型,定性地对由于水蚀的土壤退化进行了分级描述。Vrieling A, et al (2002)也采用专家打分的方法对哥伦比亚东部平原上侵蚀风险绘图法进行研究,根据地质、土壤、地貌、气候 4 个因子的平均值得出潜在侵蚀风险图,由上面 4 个因子结合管理(包括土地利用及植被因子等)等 5 个因子的平均值为真实风险图<sup>[18]</sup>。石承苍(1995)在各环境因子分级基础上构建评价模型,确定川西南山地土壤侵蚀强度等级,其中设置了 4 个降雨量分区,标以不同的

系数<sup>[19]</sup>。

## 2.2 区域土壤侵蚀量估算

区域土壤侵蚀现状调查的另一类主要内容是侵蚀量估算或侵蚀速率的估计(soil loss, soil erosion rate)。土壤侵蚀过程既包含了多种复杂环境要素的相互作用和反馈,也包含了地表地域单元间物质迁移、传输和相互作用<sup>[20]</sup>。区域尺度上土壤侵蚀是水文过程的一个环节,侵蚀的产生与径流、土壤元素的迁移等水文过程密切联系,侵蚀量的估算或侵蚀速率的估计是水库的入库泥沙量估算的重要依据。区域土壤侵蚀量的估算受到库坝工程、灾害防治、河床与河口演变和非点源污染研究的重视<sup>[21]</sup>。

当侵蚀外营力存在时,在区域环境背景下,土壤遭受侵蚀外营力的影响,产生侵蚀。通常把用于区域土壤侵蚀量估算的模型称作产沙模型,其计算结果是侵蚀量即土壤侵蚀模数。侵蚀模型本身在小尺度研究的非常多,更注意侵蚀机理的研究与应用。目前尚没有建立起成熟和完备的区域尺度上侵蚀模型或产沙模型<sup>[22]</sup>。侵蚀模型的空间尺度与时间尺度都没有得到充分的研究,以通用土壤侵蚀模型 USLE 来说,它是应用最为广泛的土壤侵蚀速率估计模型,它是在田间尺度上研究出来的模型,现在被大量应用到区域尺度上<sup>[23]</sup>。许多学者认为小尺度模型和数据在应用到区域尺度时存在着一定问题,侵蚀量估算的精度难以保证或难以验证<sup>[1, 23]</sup>。

有很多的模型可供选择用来进行土壤侵蚀量估算。侵蚀模型可以通过几种方法进行分类,一种是基于模型所使用的时间尺度进行分类,一些模型被设计用来进行长时间尺度的年土壤流失量,而另一些则是预测单次暴雨流失<sup>[23]</sup>;从模型的构建方式划分,模型可以被区分成集总式模型、预测某一点侵蚀的模型和分布式模型<sup>[24]</sup>;另一种的分类是区分经验性模型和物理性模型<sup>[25]</sup>。某一个特定模型的选择依赖于它的目的,可获取的数据、时间和经费。在过去几年里,人们对发生在陆地表面的土壤流失进行了大量的定量研究,提出了许多侵蚀模型用来评价区域的土壤流失。其中的一些模型,如:WEPP、CREAMS、CEM S、USLE、MUSLE、RUSLE、EROSION 2D/3D、EPIC、SMODERP、LISEM、EUROSEM、SWAT、SWRRB、AGNPS、ANSWER、SSHE/SHESD 等<sup>[26, 27]</sup>。

土壤侵蚀量估算的结果是定量的,以单位时间内单位面积上被侵蚀的物质质量来表示。为了更为直观地表达,定量估算出来的结果往往也会被划分成等级,用分级地图来表示侵蚀速率在空间上的差异。当定量估算结果以分级的形式表示时,与区域土壤侵蚀风险评价结果的表达类似。

## 3 区域侵蚀状况动态变化的分析

实际上区域内自然环境各个要素相互耦合,它们之间的作用机理复杂,构成复杂巨系统。区域土壤侵蚀风险不是一成不变的。植被、土地覆盖在气候和人为的影响下发生变化,尤其是在大范围和长时间的生态修复、水土流失治理情况下,区域土壤侵蚀风险会发生显著变化。对于区域土壤侵蚀风险变化的研究,特别是对侵蚀变化驱动力的研究,是全球或区域环境变化研究的重要组成部分。区域侵蚀状况动态变化研究的主要内容是区域侵蚀风险程度的等级变化以及面积变化,侧重于生态环境变化分析与宏观治理成效的评价,以及区域变化的驱动力因子分析。区域侵蚀状况的动态变化研究主要是在区域不同时期的侵蚀状况评价的基础上采用已有资料的统计对比和变化检测以及混淆矩阵等方法提取

变化信息。遥感信息是进行区域侵蚀状况变化研究的主要数据源, 遥感和 GIS 技术是重要的分析工具。

郭学军等(1994)对应用不同时期的航片分析小流域土壤侵蚀的动态变化进行了研究<sup>[28]</sup>; 钟勋南(2001)以嘉陵江流域重点产沙区为试点, 选择 1992 和 1996 年两个时段, 通过遥感、GIS 以及数学模型相结合的方法分析流域的土壤侵蚀以及流域河流泥沙输移的变化情况<sup>[29]</sup>。杨德生等(2002)对深圳市的水土流失变化情况采用统计对比的方法进行动态分析, 为城市水土流失综合治理和城市环境建设提供依据<sup>[30]</sup>。A lice Servenay, Christian Prat(2003)采用航空影像和 SPO T 卫星数据来确定土壤侵蚀在时间和空间上的强度, 对于航空影像采用结合图形掩膜的分割技术来获取 1975、1995 和 2000 年侵蚀强度与面积; SPO T 数据在各种波段的光谱组合基础上进行了非监督分类, 已有侵蚀区域通过地面控制点进行检查和修改。结果表明, SPO T 影像分类结果可以区分四个不同的侵蚀等级, 结果表明过去 25 年侵蚀面积没有增加, 而侵蚀区域本身发生演变, 或消失或扩大<sup>[31]</sup>。

区域土壤侵蚀状况变化的驱动力也是区域侵蚀状况变化研究的主要内容。马义娟(2004)在统计分析了晋西黄土丘陵沟壑区近 20 年来的变化情况的基础上, 指出坡耕地面积大; 平面垦殖率高; 随意开矿和大规模工程建设和过度放牧是该区域加速、加剧水土流失发生与发展的主要因素<sup>[32]</sup>。土壤侵蚀受到区域土地利用方式的影响, 倪晋仁(2001)基于土地利用结构动态变化研究水土流失的变化趋势, 引入层次分析法确定不同土地利用类型在影响水土流失方面的权重, 并采用相关区域的土地利用结构特征指标定量反映针对区域水土流失的土地利用结构的综合影响<sup>[33]</sup>。反过来, 土壤侵蚀变化也被认为是土地利用调查的驱动力<sup>[4]</sup>。广义地, 地质历史时期的土壤侵蚀研究也可以视作区域土壤侵蚀的动态变化研究。

#### 4 区域土壤侵蚀状况的预测与模拟

为了可持续发展, 保护土地土壤资源以及保持土地生产力, 人们采用了等高耕种、梯田、减少机耕地等保土耕种措施, 减少采伐和放牧对林草地的破坏, 改善区域生态环境, 使得区域土壤侵蚀情况改善; 另一方面区域土壤侵蚀状况受到

气候变化等因子的影响, 不正常的全球环境变化使得降低土壤侵蚀速率的任务变得更为困难<sup>[34]</sup>。

区域土壤侵蚀状况的预测与模拟主要是假定在某一个政策性要素, 或土地利用因子, 或气候变化等背景下, 对区域土壤侵蚀状况进行预测, 并模拟研究区域侵蚀可能发生的变化情况, 分析诸如年均气温增高、年降雨量和雨强增大以及十年后土地利用的变化等问题将对土壤侵蚀产生什么影响。美国农业部科学家 M. A. Nearing 采用两种大气—海洋全球气候模型对气候变化进行模拟, 并对 21 世纪美国降雨侵蚀力的变化趋势进行研究。降雨侵蚀力的变化将会对国家或区域的水土保持政策产生重要的影响。美国 21 世纪降雨侵蚀力平均变化幅度(正值或负值)为 16% ~ 58%。由此表明美国有的地区降雨侵蚀力将增加, 而有的地区降雨侵蚀力将减小<sup>[35]</sup>。

一些研究中使用了元胞自动机或马尔科夫链来进行变化模拟以及环境影响下的变化预测。陈建平(2004)以北京及邻区 1987 年荒漠化实际情况为初始状态, 采用元胞自动机的方法构建模型, 利用已有的 1987、1996、2000 年的荒漠化演化作为参照和检验数据, 进行参数的优选, 在 2000 年荒漠化分布图的基础上, 预测模拟了 2010 年荒漠化的分布状况<sup>[36]</sup>。李德成等(1995)利用三个不同时期的遥感资料, 利用点数转化法定量地分析安徽省岳西县的侵蚀演变和侵蚀类型之间的转化情况并采用马尔科夫过程模拟其动态演变<sup>[37]</sup>。

#### 5 结 语

虽然根据研究所涉及的时间范围可以把区域土壤侵蚀评价区分为现状的调查与评价、动态变化的分析和未来趋势的模拟与预测等三个类别, 但是目前区域土壤侵蚀现状的调查与评价仍然是区域尺度土壤侵蚀研究的最主要内容, 其研究结果和研究方法可以被区域土壤侵蚀状况的动态分析以及预测与模拟所使用。出于研究目的和研究重心的不同, 区域土壤侵蚀现状研究的两个不同侧面——区域侵蚀风险评价和土壤侵蚀量估算, 长久以来一直并行发展。区域管理决策的需要和科学的发展使人们更加关注基于物理过程的区域侵蚀模型研究<sup>[38]</sup>, 以及不同尺度上土壤侵蚀模型和尺度转换的研究<sup>[1, 39]</sup>。

- 参考文献:
- [1] 王飞, 李锐, 杨勤科, 等 水土流失研究中尺度效应及其机理分析[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 167- 180
  - [2] 许峰 宏观水土保持监测研究及其进展[J]. 水土保持通报, 2002, 22(4): 72- 76
  - [3] 许峰, 郭华东, 郭索彦 我国水土保持监测的理论与发展之初步探讨[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 1- 5
  - [4] Martha M Bakkera, Gerard Goversb, Costas Kosmasc, et al Soil erosion as a driver of land-use change[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 105: 467- 481.
  - [5] 袁建平 土壤侵蚀强度分级标准适用性初探[J]. 水土保持通报, 1999, 19(6): 54- 57.
  - [6] 何丙辉 重庆市三峡库区土壤侵蚀分级分类标准的探讨[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 63- 65
  - [7] 郭索彦 开拓创新 积极进取 切实搞好全国水土保持监测网络和信息系统建设[J]. 中国水土保持, 2004, (6): 3- 5
  - [8] 李锐, 杨勤科, 赵永安, 等 现代空间信息技术在中国水土保持中的应用[J]. 水土保持通报, 1998, 18(5): 1- 5
  - [9] 李智广 全国土壤侵蚀遥感调查数据质量保证体系[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 63- 66
  - [10] 史德明 土壤侵蚀与人类生存环境变化[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1995, 1(1): 26- 33
  - [11] 史德明, 梁音 我国脆弱生态环境的评估与保护[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 6- 10
  - [12] 水利部水土保持司 中华人民共和国行业标准 SL 190- 96 土壤侵蚀分类分级标准[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 1- 9
  - [13] Anne Gobin, Mike Kirkby and Gerard Govers PAN - EUROPEAN SOIL EROSION RISK ASSESSMENT [A]. Agricultural Impacts on Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analysis[C]. Proceedings from an OECD Expert Meeting Published by Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante, 2003 311- 324

- [14] 顾耀文, 陈怀录, 徐克斌 数字遥感影像判读法在土壤侵蚀调查中的应用[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2002, 38(2): 157- 162
- [15] R S Dwivedi, T Ravi Sankar, L Venkataratnam, et al The inventory and monitoring of eroded lands using remote sensing data[J] Int J. Remote Sensing, 1997, 18(1): 107- 119
- [16] 张增祥, 赵晓丽, 陈晓峰, 等. 基于遥感和地理信息系统(GIS)的山区土壤侵蚀强度数值分析[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 77- 83
- [17] CORNE Soil Erosion Risk and Important Land Resources in the Southern Regions of the European Community[R]. EUR 13233, Luxembourg, 1992
- [18] 杨晓梅 哥伦比亚东部平原上侵蚀风险绘图法的研究[J]. 水土保持科技情报, 2003, (3): 8- 11.
- [19] 石承苍, 蒋宇, 晏懋昭, 等. 川西南山地区土地资源、土壤侵蚀遥感调查及土壤侵蚀定量评价[J]. 西南农业学报, 1995, 8(4): 53- 59
- [20] 冷疏影, 冯仁国, 李锐, 等. 土壤侵蚀与水土保持科学重点研究领域与问题[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 1- 6
- [21] 刘毅 长江泥沙输移及三峡工程泥沙问题[J]. 中国三峡建设, 1997, (7): 17- 18
- [22] J M van der Knijff, R J A Jones, L Montanarella Soil Erosion Risk Assessment in Europe[R]. Report EUR 19044 EN, European Soil Bureau, European Commission, 2000
- [23] 唐政洪, 蔡强国, 许峰 流域侵蚀产沙的尺度变异规律研究[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(1): 56- 61.
- [24] 王中根, 刘昌明, 吴险峰 基于DEM的分布式水文模型研究综述[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 168- 173
- [25] 张光辉 土壤侵蚀模型研究现状与展望[J]. 水科学进展, 2002, 13(3): 289- 296
- [26] 周正朝, 上官周平, 土壤侵蚀模型研究综述[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(1): 52- 55
- [27] 李光录, 张胜利 土壤侵蚀模型研究现状及回顾[J]. 西北林学院学报, 2000, 15(2): 76- 83
- [28] 郭学军, 郭立民 应用不同时期的航片分析土壤侵蚀量的动态变化[J]. 中国水土保持, 1994, (2): 40- 42
- [29] 钟劲南 长江上游重点水土流失区遥感动态监测及泥沙输移分析[J]. 国土资源遥感, 2001, (1): 1- 8
- [30] 杨德生, 肖卫国, 陈冬奕, 等. 深圳市水土流失动态变化遥感监测分析[J]. 人民珠江, 2002, (6): 55- 57.
- [31] Alice Servenay, Christian Prat, Erosion extension of indurated volcanic soils of Mexico by aerial photographs and remote sensing analysis, Geoderma, 2003, (117): 367- 375
- [32] 马义娟, 苏志珠 晋西沿黄地区水土流失动态变化及成因分析[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(1): 122- 128
- [33] 倪晋仁, 李英奎 基于土地利用结构变化的水土流失动态评估[J]. 地理学报, 2001, 56(5): 611- 621.
- [34] J W Poese, et al 杞杰译 全球环境变化对水力侵蚀的影响[J]. 水土保持科技情报, 1997, (4): 15- 18
- [35] Nearing M A. Potential changes in rainfall erosivity in the U. S with climate change during the 21st century[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, (3): 229- 232
- [36] 陈建平, 丁火平, 王功文, 等. 基于GIS和元胞自动机的荒漠化演化预测模型[J]. 遥感学报, 2004, 8(3): 254- 260
- [37] 李德成, 徐彬彬, 石晓日. 利用马氏过程模拟和预测土壤侵蚀的动态演变[J]. 环境遥感, 1995, 10(2): 89- 96
- [38] Gobin, A, Govers, G PESERA: Pan-European Soil Erosion Assessment[R]. EC Contract No. QL K5- CT- 1999- 01323, First Interim Report, 2001.
- [39] 王飞, 李锐, 杨勤科 土壤侵蚀研究的尺度转换[J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 9- 12

(上接第 244 页)

评估。拟建公路在这两段都要进行削方, 但挖方高度不大, 为 1~ 2m。由于冻土已发生热融滑塌, 根据模型计算其稳定性系数分别为 1.15, 1.20, 属于潜在不稳定冻土, 具有中等危险性。当再次发生冻结和融化情况, 冻土会有可那产生新的变形破坏, 这种热融滑塌是土体的整体移动造成的, 对公路路基的危害较大; 也有可能土体沿融化面瞬间滑动, 而不是蠕滑, 摧毁公路, 那危害性则更大。

#### 4 热融滑塌的防治措施

对于热融滑塌, 由于其变形受冻土的颗粒组成、温度及

水分的极大影响, 尤其冻土是其特殊性产生的根本根源, 因此在治理中的关键考虑因素是对冻土的措施。根据青藏高原多年冻土区的研究和施工经验, 传统土的挡墙、骨架护坡等与冻胀、融沉变形不协调的措施是不适合的, 而应本着保护冻土的原则, 采用主动减少土体吸热、消散土体热能的工程措施, 如草袋堆砌、碎石覆盖、移植草皮护坡, 也可以有选择性的采用绝热材料覆盖, 但各种措施中要尤其注意设置良好的反滤排水措施。在 K177+000~ K177+300, K179+000~ K179+500 段, 采取公路内侧蠕滑段修建挡墙的防护措施, 注意设置良好的反滤排水措施。

#### 参考文献

- [1] 张倬元, 王士天, 王兰生 工程地质分析原理(第二版)[M]. 北京: 地质出版社, 1994
- [2] 吴玮江 季节性冻结滞水促滑效应[J]. 冰川冻土, 1997, 19(4): 359- 364
- [3] 牛富俊, 张鲁新, 俞祁浩, 等. 青藏高原多年冻土区斜坡类型及典型斜坡稳定性研究[J]. 冰川冻土, 2002, 24(5): 608- 613
- [4] 靳德武, 牛富俊, 等. 不同渗流条件下无限斜坡稳定性分析方法探讨[J]. 地质灾害与环境保护, 2003, 14(4): 63- 67.
- [5] 李栋伟, 汪仁和 冻土抗剪强度特性及试验研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2004, 24(增刊): 52- 55
- [6] 牛富俊, 程国栋, 赖远明, 等. 青藏高原多年冻土区热融滑塌型斜坡失稳研究[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(3): 402- 406