

# 基于 GIS 的斜坡结构图自动化制图方法研究

李景富 牛瑞卿

(中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院,湖北武汉 430074)

**摘要:**斜坡结构图主要反映斜坡结构类型及其空间展布情况,为地质环境背景因素的研究分析提供重要的参考依据,传统的手工编制方法工作量巨大。以三峡库区为研究区,首先通过地质图反映的点源产状信息,在考虑区域地质构造影响的情况下,经网格插值计算,得到空间连续分布的岩层倾向和倾角值;其次通过数字高程模型,获取坡度和坡向值;最后利用 GIS 的空间建模与分析功能,实现了边坡结构自动化制图,大大提高了制图效率。

**关键词:**地质灾害;地理信息;斜坡结构;三峡库区  
**中图分类号:** X43      **文献标识码:** A

斜坡结构类型综合体现了斜坡坡度、坡向与地层产状的空间状况及组合形式,很大程度上决定了斜坡岩土体变形的方式和强度,对崩塌、滑坡的分布起重要的作用。斜坡结构类型作为地质灾害基础因子之一,在地质灾害空间评价预警中也有着广泛的应用<sup>[1]</sup>。

传统的斜坡结构图由手工在地图上直接勾绘界线。此种方法,对于具体操作者要求有较高的地质专业素养;而基于 GIS 的斜坡结构类型制图能在保持制图质量的基础上,大大提高制图的效率。曾忠平等<sup>[2]</sup>利用 TOBIA 指数在 GIS 支持下实现斜坡类型定量化和制图,然而 TOBIA 指数方法不能明确斜坡结构类型与斜坡坡向、坡度以及岩层倾向、倾角的关系;杨卫中等<sup>[3]</sup>根据岸坡岩土体结构、岩层产状、岸坡坡向、坡度等岸坡属性对岸坡类型划分成 1 456 种,对应图元的岸坡类型通过 GIS 属性连接获取,但其没有考虑到区域地质构造对岩层产状的影响,划分类型也过于繁杂,不适合应用于地质灾害的空间评价预警研究,也不满足当前的斜坡结构图自动化成图的需求。

本文在利用 GIS 编制灾害地质图的过程中,为提高制图的质量和效率,结合地质灾害空间评价因子及其制图需要,在前人研究的基础之上,通过斜坡结构类型的量化划分,在考虑区域地质构造分布对地层产状连续性影响的条件下,进一步结合 GIS 空间处理建模,实现了斜坡结构图的自动化成图。

## 1 斜坡结构类型划分

参考原地质矿产部编写的《长江三峡工程库岸稳定性研究》报告<sup>[4]</sup>、国家“七五”重点科技攻关成果—《长江三峡重大地质与地震问题研究》<sup>[5]</sup>和刘广润、晏鄂川等人<sup>[6]</sup>的研究成果,根

据岸坡坡度、坡向和下伏地层岩层倾向、倾角这四者在空间上的相互组合,斜坡结构类型具体划分为:块状岩体、近水平层状坡、顺向坡(包括顺向飘倾坡、层面坡和伏倾坡)、斜向坡(包括顺斜坡、逆斜坡)、逆向坡、横向坡 9 种类型。其量化划分具体如下。

设  $\theta$  为斜坡坡度; $\sigma$  为斜坡坡向; $\alpha$  为岩层倾向; $\beta$  为岩层倾向, $X = |\sigma - \beta|$ ,  $Y$  为斜坡结构类型,此时有  $\theta, \alpha \in [0^\circ, 90^\circ]$ ,  $\sigma, \beta \in [0^\circ, 360^\circ)$ 。

(1) 当  $\alpha$  和  $\beta$  不存在时,  $Y$  为块状岩体;

(2) 当  $\alpha, \beta$  存在时,有 ① 当  $\alpha \leq 10^\circ$  时,  $Y$  为近水平层状坡;

② 当  $X \in [0^\circ, 30^\circ)$  或  $X \in [330^\circ, 360^\circ)$ ,  $\alpha > 10^\circ$  且  $\theta > \alpha$  时,  $Y$  为顺向飘倾坡;

③ 当  $X \in [0^\circ, 30^\circ)$  或  $X \in [330^\circ, 360^\circ)$ ,  $\alpha > 10^\circ$  且  $\theta = \alpha$  时,  $Y$  为顺向层面坡;

④ 当  $X \in [0^\circ, 30^\circ)$  或  $X \in [330^\circ, 360^\circ)$ ,  $\alpha > 10^\circ$  且  $\theta < \alpha$  时,  $Y$  为顺向伏倾坡;

⑤ 当  $X \in [30^\circ, 60^\circ)$  或  $X \in [300^\circ, 330^\circ)$  时,  $Y$  为顺斜坡;

⑥ 当  $X \in [60^\circ, 120^\circ)$  或  $X \in [240^\circ, 300^\circ)$  时,  $Y$  为横向坡;

⑦ 当  $X \in [120^\circ, 150^\circ)$  或  $X \in [210^\circ, 240^\circ)$  时,  $Y$  为逆斜坡;

⑧ 当  $X \in [150^\circ, 180^\circ)$  或  $X \in [180^\circ, 210^\circ)$  时,  $Y$  为逆向坡。

一般而言,岩质滑坡易发生于顺向坡之中的顺向飘出坡和层面坡,其次是斜向坡;顺向伏倾坡因不具备剪出条件而不利于滑坡的形成;逆向坡比较稳定。

## 2 斜坡结构图自动化制图

### 2.1 关键技术

(1) 评价单元的划分。前人的研究成果中已有多种评价单元,如栅格单元、斜坡单元、流域单元及地形单元等。本文采用

收稿日期: 2009-05-20

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(40672205); 国家自然科学基金项目(40672205); 国土资源部三峡库区三期地质灾害防治重大科学研究项目(SXKY3-2-2)

作者简介: 李景富,男,中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院,研究生。

栅格单元,其优点在于能充分利用计算机对栅格数据的快速运算能力<sup>[7]</sup>;栅格单位划分的大小与评价精度密切相关,栅格单元的划分应当依据工作区域的范围大小和数字化地图的比例尺确定<sup>[8]</sup>。

(2) 插值方法的选取。在数据的内插(外推)技术中必须回答一个关键问题:空间上两点产状的权值与距离的相关性及其大小<sup>[9]</sup>。因此,岩层产状数据网格化方法通常选择克里金插值法和反距离加权法,它们的插值权值由空间距离及相关性决定。

(3) 网格化的分块处理。当作图区域地质构造比较复杂时,就不能简单地进行空间插值,应当对区域进行分区分片处理。因此,作图实际过程中,应当在区域地质背景的认识基础之上,根据地质知识和岩层产状代表的地质意义,从区域角度考虑地质历史时期各种地质活动对岩层产状变化的影响以及区域岩层产状变化规律。从而在岩层产状经常变化的重要部位—如角度不整合面、断层、褶皱等进行岩层产状分块处理。岩层产状分块的线图层将在数据网格化过程中作为阻隔线输入,从而实现对整个作图区域的分区处理。为确保插值结果能够比较准确地反映研究区地质构造变化情况,岩层产状分块需要反复实现,直到岩层产状网格化的结果对实际的拟合程度比较好为止。

(4) GIS 空间处理建模。通过 GIS 空间处理建模能把传统的人工制图转变为人机交互的自动化制图,将大大提高制图的效率。为实现斜坡结构图的空间处理建模,首先需要将复杂的制图任务分解成有序的流程步骤,然后在模型建立过程中将数据集和方法有机地连接。本文的 GIS 空间处理建模在 ArcGIS 的 Geoprocessing 框架下实现。

### 2.2 制图流程

(1) 数据预处理。斜坡结构类型的划分需要斜坡坡度、斜坡坡向、岩层倾向和岩层倾角 4 个参数。斜坡坡度和坡向,可以通过 GIS 的 DEM 技术快速生成;岩层倾角、倾向则可以通过区域地质图或者野外地质调查获取。

(2) 数据网格化。岩层产状数据通常是空间离散数据,需要通过空间数据网格化处理。通过考虑区域地质构造分布对地层产状连续性的影响,在 GIS 的支持下,对点源的岩层产状分块并网格化,得到空间上连续的岩层倾向、倾角数据。岩层产状网格化的栅格单元与坡度、坡向的栅格单元保持一致。

(3) 空间处理模型的运算。斜坡结构图制图的空间处理模型已经包括斜坡结构类型的定量划分和栅格重分类功能,其数据源可归结为栅格的 DEM、矢量的地层产状(点)、岩层产状分块图层(线)以及工区范围(面)这 4 种数据。斜坡结构图的制图模型还可以以地理处理共享的方式,把斜坡结构制图的地质分析交给地质人员,实现不同专业的协调工作。斜坡结构图的制图流程如图 1 所示。

### 3 应用实例

本文以三峡库区秭归县内的郭家坝地区为研究区域。滑坡、崩塌是研究区内的主要地质灾害,滑坡灾害尤为严重。本文的数据源主要有:① 1:5 万湖北省秭归县幅地质图;② 1:1 万郭家坝幅地形图,等高距为 10 m。根据三峡库区的具体特点,斜坡结构类型分区需要划分到三级支流,因此,本文以 10 m × 10 m 的栅格大小,将整个研究区域划分为 30 万个单元格。在如此巨大工作量的情况下,以传统的手工制图显然不可取。

图 2 为郭家坝区域的地形图。区内主要水系为童庄河和龙潭河,河流侵蚀切割强烈,是斜坡地质灾害的多发地段。郭家坝地区位于扬子地台鄂西褶皱带秭归向斜东翼。秭归向斜是区内的主体构造,其长轴伸展方向北北东向,东翼产状向西或北西西,在向斜周缘出现一些小规模的褶皱,有鸭雀包背斜、郭家坝向斜、周坪—白云山背斜等,均是受构造力作用和古地理条件的制约,在秭归向斜内部发生的次一级褶皱<sup>[10]</sup>。郭家坝区域刚好处于鸭雀包背斜、郭家坝向斜的交互区域。区域的岩层产状大致以童庄河为界,童庄河下游总体上受秭归向斜的影响,地层产状空间变化不大,走向以北东向为主;童庄河上游区域的岩层产状受鸭雀包背斜、郭家坝向斜控制,岩层产状复杂。高家坝断裂北北东向发育,断层两侧的岩层产状具有不连续性。

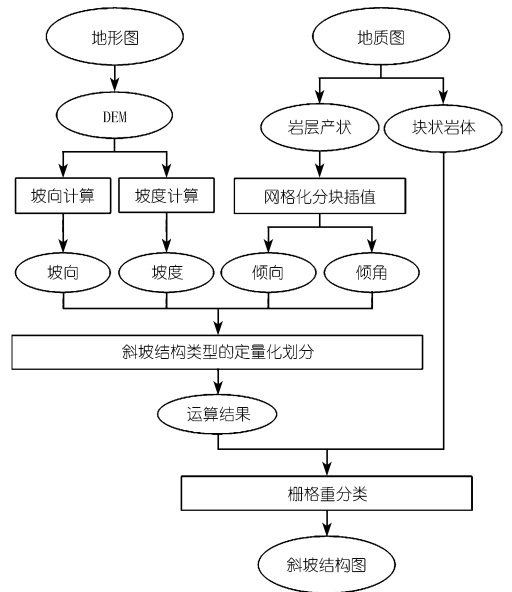


图 1 斜坡结构图制图流程

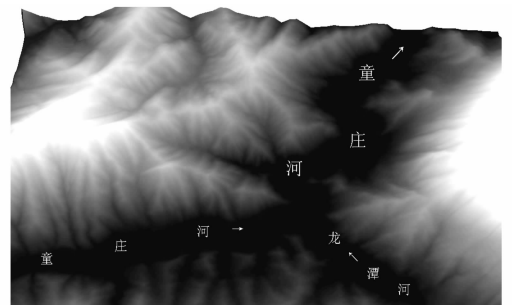


图 2 郭家坝区域的地形图

为实现岩层产状的空间插值,根据本区构造特征和岩层产状变化,将作图区域分为 4 个部分,如图 3 所示。岩层产状的走向在①号区域以北北东向为主,在②号区域以北东东向为主;③号区域以东南为主;④号区域以北北西为主。在①号区域,由于高家坝断裂为平移正断层,因此,标示高家坝断裂的分块界线不需要完全切割整个区域。

根据斜坡结构图的技术要求,本文以反距离权重法对岩层产状进行分块插值,插值后以栅格存储的产状,其分辨率与栅格 DEM 保持一致;然后根据斜坡结构图制图模型的输入要求,将预处理得到的数据分出 4 个相应的图层,输入模型进行运算,最

终运算结果将以斜坡结构图自动输出(如图4)。

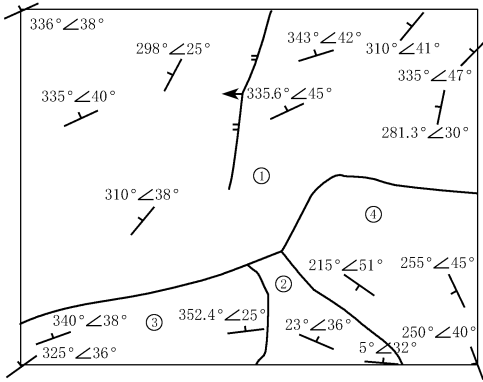
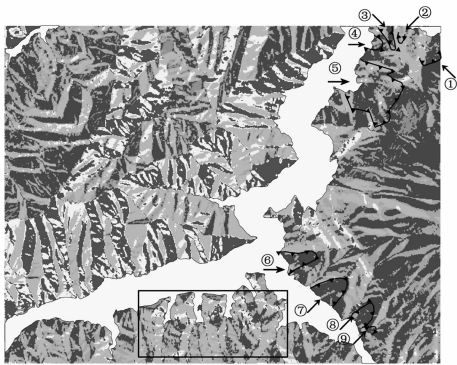
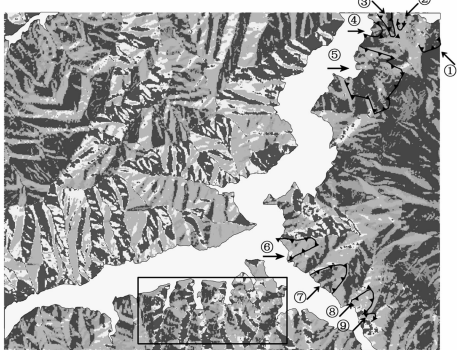


图3 岩层产状的分布及分块处理



(a) 考虑地质构造插值得到的边坡结构



(b) 不考虑地质构造插值得到的边坡结构

— 滑坡    ■ 飘倾    ■ 伏倾    ■ 顺斜    ■ 横向    □ 逆斜    ■ 逆向

图4 斜坡结构示意图

根据该区域崩滑体的野外勘察资料,对斜坡结构图的结果进行可靠性检验。已知下伏地层斜坡结构类型的滑坡体在图4中以数字编号标识,其详细检验数据如表1。

通过表1的对比,可以发现:

(1) 在产状平稳变化区域,如①~⑤号滑坡体所在区域,通过考虑地质构造插值得到的斜坡结构图与野外勘察结果,两者较为一致;并且前者的结果更加细化;

(2) 在产状多变区域,如⑥~⑨号滑坡体所在区域,通过考虑地质构造插值得到的斜坡结构图结果与斜坡的实际勘察结果基本拟合;而简单插值得到的结果则出现很大的误差。

(3) 在已勘察地段之外选取重点对比区域(图中矩形区域)。实际的斜坡结构类型以横向坡为主,在图4(b)却出现大面积的顺向坡和逆向坡;在一些斜坡体上,甚至出现与图4(a)

相反的结果。

表1 已知滑坡下伏地层斜坡结构类型的可靠性检验

序号	滑坡名称	斜坡结构类型		
		勘察结果	图4(a)	图4(b)
①	峡江路、卫生院崩滑体	顺向坡	顺向伏倾坡	顺向伏倾坡
②	崔家湾居民点不稳定斜坡	顺斜坡	顺斜坡	顺斜坡
③	狮子包滑坡	顺向坡	顺向伏倾坡	顺向伏倾坡
④	王家湾滑坡	顺斜坡	顺斜坡	顺斜坡
⑤	张家湾滑坡群	顺向坡	顺向伏倾坡	顺向伏倾坡
⑥	头道河滑坡2号	顺向坡	顺向伏倾坡	横向坡
⑦	观音阁滑坡	顺向坡	顺向伏倾坡	顺斜坡
⑧	紫荆湾滑坡	顺斜坡	顺向伏倾坡	横向坡
⑨	龙潭湾滑坡	顺斜坡	顺向伏倾坡	横向坡

注:此数据由三峡库区地质灾害治理工程设计勘察报告整理汇总。

因此,地质区域构造因素是否考虑对整个斜坡结构图的质量有着非常直接的影响。尤其在复杂地质构造的区域,其结果更加精确。

### 4 结语

基于GIS的斜坡结构图自动化制图方法在《三峡库区地质灾害遥感监测系统—1:1万灾害地质图》项目和《三峡库区水库蓄水后重大新生型滑坡空间预测评价研究》项目的制图中已得到成功的应用,实践证明该方法可操作性强,并能大大提高制图效率;然而,该方法也存在一些不足之处,由于地质构造的复杂性、岩层产状的分布不均等因素的制约,局部地区的结果与实际情况不完全符合,需要在制图过程中进行交互式的手工修改,目前还不能达到完全自动化的斜坡结构图制图。

### 致谢

在此感谢“863”计划、国家自然科学基金委以及国土资源部提供的经费支持;感谢陈丽霞老师、叶润清师兄对本论文给予的指导和帮助!

### 参考文献:

- [1] 刘传正,李铁峰等.三峡库区地质灾害空间评价预警研究.水文地质工程地质,2004,(31):9-19.
- [2] 曾忠平,付小林等.GIS支持下滑坡斜坡类型量化及制图研究.地理与地理信息科学,2006,(22):22-25.
- [3] 杨卫中,陈海洋,石长柏.基于GIS的岸坡类型划分.资源环境与工程,2007,(21):62-64.
- [4] 原地质矿产部编写组.长江三峡工程库岸稳定性研究.北京:地质出版社,1988.
- [5] 岑嘉法,楚占昌,袁登维.长江三峡工程重大地质与地震问题研究.北京:地质出版社,1992.
- [6] 刘广润,晏鄂川.论滑坡分类.工程地质学报,2002,(10):339-342.
- [7] 唐川,朱大奎.基于GIS技术的泥石流风险评价研究.地理科学,2002,(22):300-304.
- [8] 刘传正.区域滑坡泥石流灾害预警理论与方法研究.2004,(31):1-6.
- [9] 王家华,高海余,周叶.克里金地质绘图技术.北京:石油工业出版社,1999
- [10] 湖北省地质矿产局.1:5万秭归县幅(H-49-42-A)地质图说明书.湖北省区域地质矿产调查所.1992.

(编辑:赵凤超)