

doi:10.3799/dqkx.2014.012

基于 DEM 的水位变幅带内稳定坡角的自动提取

王小东^{1,2}, 戴福初^{1,2}

1. 华北水利水电大学资源与环境学院, 河南郑州 450011

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

摘要:天然河道的平均枯水位、水位变幅带和平均洪水位,分别与水库运行期低水位、调节水位(即水位变动带)、最高设计洪水位存在可类比性.因此,通过获取现今天然河道的平均枯水位以下、水位变幅带以及平均洪水位以上 3 带内不同岩土体的稳定坡角,这对水库蓄水后回水区内塌岸预测具有重要意义.基于高分辨率航空影像数据,目视解译得到天然河道的水位变幅带范围,采用 GIS 组件开发模式,应用高分辨率 DEM(digital elevation model)作为高程源数据,实现了水位变幅带内稳定坡角的提取,该方法具有自动化程度高、获取速度快和范围广的特点.同时,可通过折算的方法获得水下稳定坡角度,水上稳定坡角的获取则可按类似的方法实现,与传统的测量或统计方法相比,大大减少了野外工作量,即使人类无法涉足的区域,也能获取详细的信息,并能一次性获得足够多的样本数据,便于不同岩土体稳定坡角的对比与统计分析,可为水库回水区塌岸预测提供更可靠的数据参考.

关键词:水位;变幅带;数字高程模型(DEM);高分辨率影像;稳定坡角;工程地质.

中图分类号: P642

文章编号: 1000-2383(2014)01-0115-08

收稿日期: 2013-06-14

Automatic Extration Method of Stable Slope Angles of Water Level Change Region Based on DEM

Wang Xiaodong^{1,2}, Dai Fuchu^{1,2}

1. School of Resources and Environment, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

Abstract: The average low water level, water level change region, average flood level of natural river respectively exist many similar characteristics with the low water level, regulating water level (i.e. water level fluctuation band), the highest design flood level of reservoir operation period. Stable slope angles under low water level, in water level change region and above flood level in different rock-soil bodies have great significance to the prediction of bank collapse in reservoir operation period. Based on high-resolution aerial images in dry seasons and DEM (digital elevation model), using GIS component development technology, the paper developes a method to get stable slope angles of water level change region, which has some advantages such as high degree of automation and fast speed in achieving data in a large scale, therefore, underwater stable slope angles can be computed by discount, and the stable slope angles above water can be achieved through the similar method. Compared with the traditional method such as survey or statistical method, it greatly reduces the fieldwork, and according to the regions which human beings cannot reach in current conditions, it also can get detailed data, and it can get enough sample data for comparison and statistical analysis in different rock or soil bodies, so it can provide more dependable data for prediction of bank collapse of reservoir back zones.

Key words: water levels; change region; digital elevation model; high-resolution images; stable slope angle; engineering geology.

水库蓄水及运行期间,库岸所处的地质环境将发生显著的改变,自然平衡条件遭到破坏,引起岸坡

冲刷、剥蚀、坍塌,库岸逐渐后退延伸,并伴随塌岸地质灾害现象的形成,直到库岸达到新的平衡状态之

基金项目:华北水利水电大学高层次人才科研启动项目(No.201201);金沙江溪洛渡水电站库岸稳定性综合研究.

作者简介:王小东(1980-),男,博士生,主要从事 GIS、滑坡、水库塌岸等方面的研究. E-mail: wxdyaner@foxmail.com

后,塌岸才停止,这就是所谓的库岸再造过程(何良德和朱筱嘉,2007)。目前,塌岸预测的传统方法有:计算法、图解法、工程地质类比法、模拟试验法和水动力预测法等,实际工作中以图解法和计算法应用最为广泛。国内外学者针对塌岸研究主要体现在以下两个方面:(1)塌岸范围预测研究。以前苏联学者为代表,其预测方法可以分为两派,一派是以卓洛塔廖夫为代表的条件比拟法;一派则为康德拉捷夫为代表的数学分析法。采用较多的是卡丘金的计算公式(最终预测)和卓洛塔廖夫的图解法(10年和最终预测)(张倬元等,1994;阙金声,2007),在此基础上,国内学者将卡丘金图解法进行拓展,产生了岸坡结构法、两段法、三段法等塌岸预测方法(王跃敏等,2000;许强等,2007;汤明高,2007);(2)塌岸机理研究。以美国学者 Simons 为代表的西方学者着重从塌岸机理方面进行研究(Langendoen *et al.*, 1999; Langendoen, 2000; Wood *et al.*, 2001; Pollen and Simon, 2005; Simon and Collison, 2005; Pollen *et al.*, 2007; Parker *et al.*, 2008),通过对影响河岸侵蚀的多种因素的分析,进行岸坡稳定性计算,多适用于均质粘性土岸坡。在这些方法的应用中,特别是图解法求解过程中,水下稳定坡角、水位变幅带稳定坡角和水上稳定坡角的获取是十分关键的因素,因为现阶段天然河道的平均枯水位、水位涨幅带、平均洪水位分别与水库运行期低水位、调节水位(即水位变动带)、最高设计洪水位存在可类比性,因此,可以通过地质调查,并统计现今天然河道的平均枯水位以下、水位变幅带以及平均洪水位以上 3 带内不同岩土体的稳态坡角(汤明高,2007;许强等,2009),以便进行预测水库蓄水状态下的稳态坡角。国内一些学者推荐采用工程地质类比法和岩土体粒度分析的方法获取稳态坡角(唐朝晖等,1999;马淑芝等,2002;刘娟等,2010)。水下稳定坡角由于处于水下,难以准确获得;水位变幅带内坡角需要获取常年枯水位和洪水位后,才能通过测量获得;针对单个岸坡而言,水上稳定坡角相对易于获取,但对于大面积水库回水区内的坡角的获取而言,不但工作量巨大,而且水库回水区多处于山区峡谷地带,野外实测方法可能无法顺利进行。

本文提出一种基于高分辨率影像和 DEM(Digital Elevation Model)自动提取水位变幅带稳定坡角的方法,以弥补上述不足,即获取河流枯水期航空影像数据,通过影像解译的方式得到枯水位线、洪水位线以及由枯水位线和洪水位线构成的水位变幅带

范围,结合高分辨率 DEM 数据,采用地理信息系统组件开发方式编制程序,实现了大范围内水位变幅带稳定坡角的自动提取,水下稳定坡角则可按水位变幅带稳定坡角折减的方式获得(许强等,2009),同时,该方法可作进一步的拓展,即将洪水位线以上部分作为处理对象,进行水上稳定坡角的批量自动化获取。

1 研究区概况

本文研究区位于金沙江下游河段,上至四川省攀枝花市,下至四川省宜宾市,全长 782 km,水位落差达 729 m,水资源丰富,水能蕴藏量大。该河段内拟建 4 座巨型水电站,沿金沙江下游呈梯级分布,依次为乌东德水电站、白鹤滩水电站、溪洛渡水电站和向家坝水电站。其中已经在建的溪洛渡水电站蓄水后静止水面将达到 600 m 高程,由于水位的上升,将会在其回水区引发大量塌岸地质现象的发生。本研究获取的该区域高分辨率 DEM 数据和枯水期高分辨率航空影像数据为本文提出的自动提取方法实现提供了良好的数据支持。图 1a 为高分辨率 DEM 数据覆盖该区域的范围,图 1b 为高分辨率航空影像在本区域的覆盖范围,因此,采用了溪洛渡坝址区上游河段的影像覆盖区域作为本文的研究区域。

2 基于 DEM 的稳定坡角自动提取原理

针对单一岸坡而言,传统获取水位变幅带内稳定坡角方法是:通过对一岸坡的实际野外测量,根据多组实测数据,进行统计分析得到稳定坡角,测量的对象是枯水期枯水位线与洪水位线所围成的河漫滩区域边坡的坡角,同时记录该区域内的岩土体类别,但针对一个较小的区域而言,岩土体类型一般较单一,记录的目的是为了更方便大区域内或不同区域内的工程地质类比。基于高分辨率影像和 DEM 自动提取水位变幅带内稳定坡角的方法,可一次性批量获得大区域内多个剖面的坡角值,为统计分析提供了足够多的样本数据。本论文方法的实现需满足 2 个前提条件:①河流枯水期影像的分辨率足够高,可准确解译得到河漫滩多边形的边界;②DEM 数据的分辨率足够高,能精确反映地形在小尺度范围内的微弱变化。其实现原理主要包含以下 3 个方面:

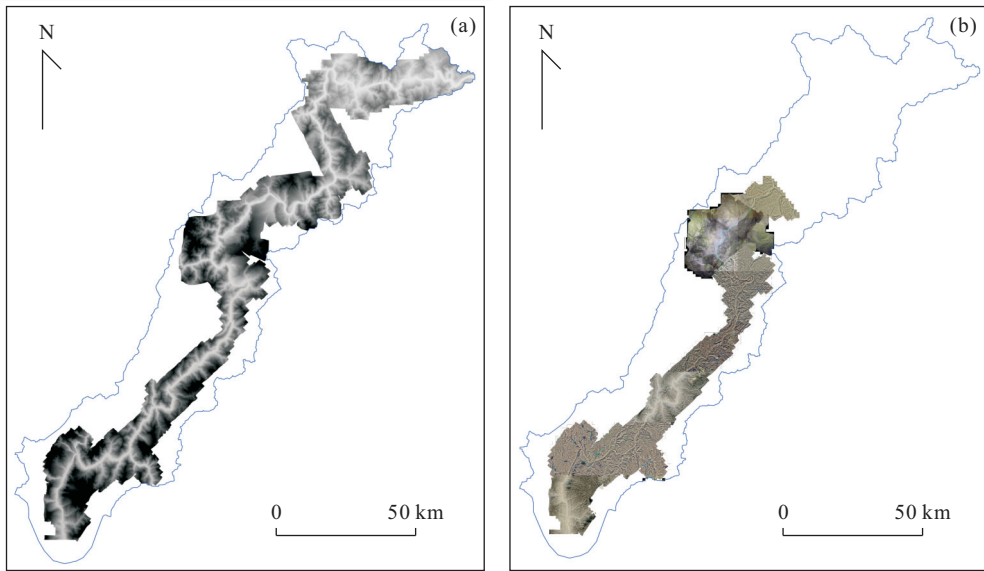


图 1 研究区高分辨率 DEM 覆盖范围(a)和航空影像覆盖范围(b)

Fig.1 The high-resolution DEM (a) and aerial image of the study zone (b)

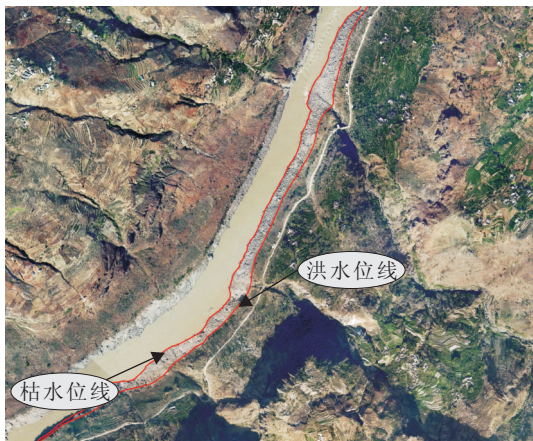


图 2 河漫滩部分的影像以及由此解译出的洪水水位线与枯水位线

Fig.2 The image of wash land and flood level line and low level line interpreted from the image

(1) 基于高分辨率航空影像解译出河漫滩多边形以及组成河漫滩多边形的洪水水位线与枯水位线。河漫滩是指位于河流主槽旁侧在洪水期被淹没而在枯水期露出的滩地,在几何意义上,河漫滩是由洪水水位线和枯水位线所围成的多边形。因此,洪水水位线与枯水位线构成了河漫滩多边形的边界。

(2) 基于洪水水位线与枯水位线,绘制参考线,即夹在枯水位线和洪水水位线中间依照洪水水位线与枯水位线趋势而绘制的一条中心线,该参考线在自动提取程序中作为运算的参考,故称之为参考线。当然,该参考线不可能完全位于两者的中心,因为洪水位

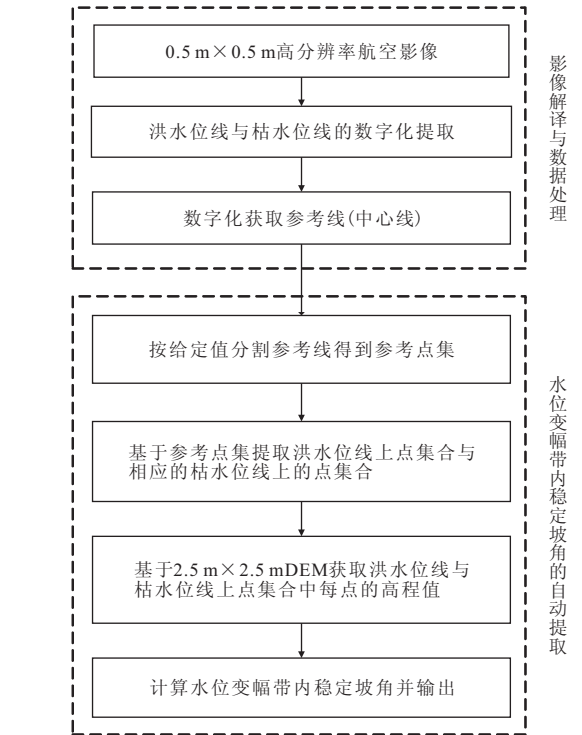


图 3 数据处理与自动提取程序流程

Fig.3 The process of data manipulating and automated extracting program

线与枯水位线不是两条完全平行的曲线(图 2)。

(3) 按 30 m 的间距在参考线上采集点数据,得到参考线上的参考点集合,由该点集合中每一个点作垂直于参考线的直线,分别与枯水位线和洪水水位线相交得到 2 个交点,再基于高精度 DEM 获得这 2

个交点处的高程,通过 2 点间高差与水平距离的比值,最终通过反正切函数得到一个稳定坡角值.依此类推,在整个河漫滩多边形区域,每间隔 30 m 便可得到一个稳定坡角值.图 3 展示了数据处理与稳定坡角自动提取程序的整个流程.

在步骤(1)和(2)中,河漫滩多边形、洪水位线和枯水位线获取主要通过目视解译的方法实现.就遥感解译理论而言,通过监督分类的方法,基于 ER-DAS Image、ENVI 等遥感处理软件,可以自动获取河漫滩多边形等信息,但由于影像噪声较大,同时解译的结果以栅格的形式展现,最终由栅格转化为矢量的结果不甚理想.因此基于 2.5 m×2.5 m 的高分辨率航空影像,采用目视解译的方法,获得了较好的矢量线和矢量面.

3 基于 GIS 组件开发模式的方法实现

3.1 GIS 组件开发与应用模式

近年来,随着 GIS 技术的飞速发展,使运用该技术于塌岸研究领域成为可能. Schilling and Wolter(2000)通过 GIS 提供的岸坡稳定性的空间与时间上的图像信息,成功地进行了塌岸预测的尝试;许冲等(2011)等在 GIS 平台中,引入证据权方法,选取地震裂度、断层、坡度、坡向等 8 个影响因素,以空间分析方式实现了对汶川地震滑坡的易发性评价;何政伟等(2004)以 ArcGIS 为平台,建立一套集库区塌岸预测与防治有关的系统,为库区塌岸防治工程的宏观决策提供支撑.由于本论文的研究区包含了水库回水区的广大地区,所以基于高分辨率影像和 DEM,采用 GIS 组件开发获取水位变幅带内稳定坡角的模式,使得大区域内的数据的批量获取变得简单快捷,大大减少了野外工作量,且现今条件下人类无法到达的区域,也可获取详细的信息.目前,GIS 组件开发包括 2 种模式.

(1)独立组件开发模式.采用独立 GIS 组件,结合可视化开发平台,完成独立应用程序的开发,实现专业化应用,最终形成一个完整的 GIS 应用系统,不受基础 GIS 软件平台的限制,便于移植和扩展.

(2)内嵌组件开发模式.基于基础 GIS 软件平台的开发,使用 GIS 软件内嵌的开发语言,完成基础平台功能之外的客户化应用,优点是可利用现有 GIS 平台的所有功能,缺点是功能有限,移植性差,

不能脱离基础 GIS 软件平台.

本文采用独立组件开发模式,以 Visual Studio 2005 为可视化开发平台,采用 C# 编程语言,结合 ArcGIS Engine(简称 AE)地理信息系统二次开发组件,充分考虑了代码的灵活性与可移植性,采用面向对象的设计思想,实现了水位变幅带内稳定坡角的自动提取(http://help.arcgis.com/en/sdk/10.0/arcobjects_net/conceptualhelp/index.html #//0001000002zs000000;兰小机等,2011).

3.2 稳态坡角批量提取与应用

基于 GIS 组件开发模式进行水位变幅带内稳定坡角的自动提取,需要对河漫滩多边形进行分割,分割后的“小多边形”代表了某一较小区域的水位变幅带内的岸坡,该岸坡的坡角值即所谓的稳定坡角值,在进行河漫滩多边形分割时,本文采取一种近似的方法.即采用基于参考线的剖面线分割策略,将构成某段水位变幅带内岸坡多边形的位于上游的剖面线段所处的坡度值作为该小段库岸的稳定坡角值,因此,通过这样的处理,就可以将整个河流岸坡段按某一给定距离进行划分,并得到多个分割后的库岸段,每个库岸段对应一个剖面线,计算该剖面线位置处的坡度即可得到沿河流方向一系列的稳定坡角值.为实现水位变幅带内稳定坡角的自动获取,程序实现过程可分为 3 个步骤.

(1)基于参考线按指定间隔提取参考点集合.在参考线上等间隔取点的目的有 2 个:一是为河漫滩剖面线的绘制做准备工作;二是为了将河漫滩多边形分割为更小单元的岸坡多边形做准备工作.当然,这 2 个目的是相互关联的,采用沿参考线一定间隔作河漫滩多边形的剖面线,相当于基于剖面线对河漫滩多边形进行一次扫描,这些剖面线与洪水位线和枯水位线相互切割围成一系列小多边形,最终也得到分割后的多个“小多边形”的结果.

在参考线上等间隔取点时,间隔距离的确定是一个关键的问题,距离取得太大,用一个稳定坡角值取代该岸坡多边形的坡角值会产生较大的误差;距离太小,会造成程序计算量的急剧增大以及异常数据的产生.本文采用 30 m 的距离间隔在参考线上取点,最终得到包含 5 601 个点的参考点集合.图 4a 展示了在参考线上等间隔取点的示意图.

(2)由参考点集获取相应的洪水位线与枯水位线上的点集合.洪水位线上点集合与相应的枯水位线上点集合是进行稳定坡角计算的关键.因此,其获取需要满足以下原则:首先,洪水位线上的点与枯水

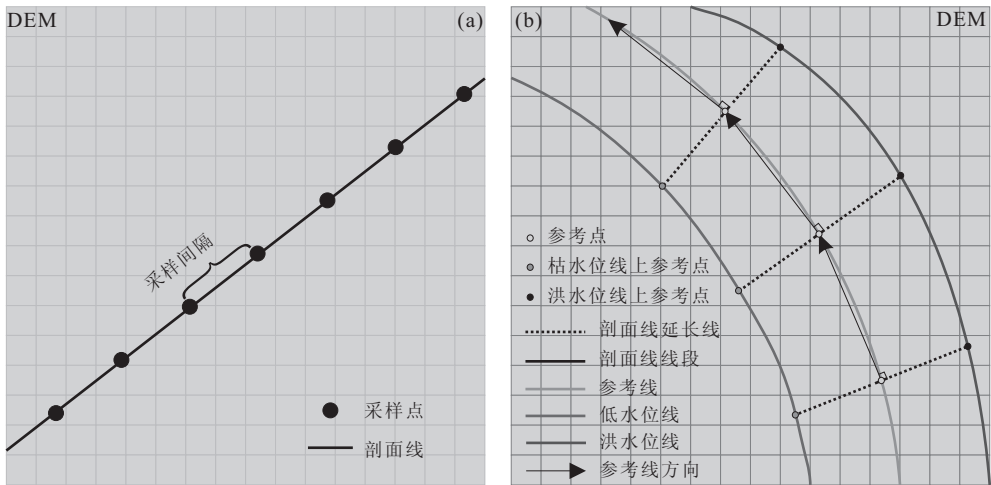


图 4 参考线上等间隔取点示意图(a)和获取洪水位线与枯水位线上点集合示意图(b)

Fig.4 Picking points from reference line at an equal distance (a) and obtaining point collections from flood level line and low level line (b)

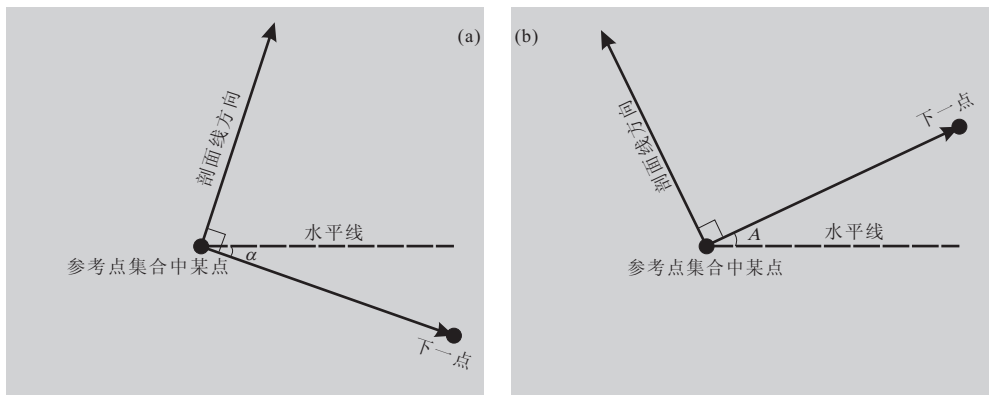


图 5 剖面线方向的确定

Fig.5 Confirming the direction of the profile line

位线上的点是一一对应的,其次,对应的 2 点之间的连线通过参考线上的参考点,且方向与其所在岸坡的坡向基本一致,也就是说,该方向与该处河流走向的方向大致正交.只有符合这 2 个原则,洪水位线上的点与其对应的枯水位线上点连线所在岸坡的稳定坡角才能通过这 2 个点被正确计算.为达到以上目的,在进行程序设计时采用了构造剖面线的策略,即以参考点集中每一个点为出发点,从河流上游至下游,每相邻 2 个点之间构成一条线段,由于 30 m 的距离相对于整个河段而言足够小,因此,将该线段的方向定义为河流在本段内的流向,如图 4b 所示,黑色箭头代表了相邻 2 点组成的线段的方向,以垂直该线段的方向作为剖面线的方向,图 4b 中虚线为剖面线,从黑色箭头所示线段起始端点出发分别向洪水位线与枯水位线构造线,与洪水位线和枯水位线

相交,得到的 2 个交点分别成为洪水位线上点和枯水位线上点.

采用 C# 语言和 AE 组件进行编码实现过程中,需要将以上问题抽象为代码语言,最重要的 2 个问题是:确定剖面线线段的方向和长度.方向的确定采用角度的方式,首先计算出参考点集中相邻 2 点所构成的线段的方向,记做 α ,然后通过将 α 增加或减少 90° 的方法分别得到向洪水位线和枯水位线延伸的 2 个方向值(图 5)(AE 组件中规定 α 位于水平线之上为正,之下为负).待剖面线绘制的方向确定之后,需要进一步确定线段的长度,以向洪水位线延伸为例,从参考线上的某参考点出发,以确定的方向为线段绘制方向,首先绘制一个“尽可能短”的线段,然后作该线段的延长线,并将延长线的延长目标设为洪水位线,即延长至洪水位线与洪水位线相交



图 6 滑坡堆积体相关的水位变幅带内岸坡多边形及其稳定坡角属性

Fig.6 Slope polygons and its stable slope angles of water level change region related to landslide accumulation mass

时停止延伸,记下交点并保存至洪水位线上的点集中(4b).同理可得到枯水位线上的点集合。

(3)计算并输出沿参考线走向分布的稳定坡角。洪水位线上点集以及与之对应的枯水位线上点集获取之后,基于高分辨率 DEM 获取点集合中每个坐标点的高程值,然后通过计算洪水位线上点和其对应的枯水位线上之间的高差和水平距离的值,再由反正切函数运算得到沿参考线走向分布的一系列稳定坡角值。如图 6 所示,通过自动提取方法获得了河流右岸水位变幅带多边形及其对应的稳定坡角,并将与河流右岸某滑坡堆积体相关的水位变幅带库岸多边形高亮显示,从上游至下游共 42 个“小多边形”,通过“小多边形”的坡角属性值即可进行该库岸段水位变幅带内平均稳定坡角的计算,以及水下稳定坡角的折算。

4 结论

在图解法进行水库塌岸预测中,水下稳定坡角、水位变幅带内稳定坡角和水上稳定坡角是最基本的预测参数。本文提出的自动提取方法,以研究区枯水期 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 高分辨率航空影像为基础,获取河流多年涨落而形成的水位变幅带的矢量多边形,并

以此为基础对多边形进行合理分割,最终得到分割后的一系列“小多边形”,再通过 $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 高精度 DEM 计算出每个岸坡多边形的所在区域的稳定坡角值。该方法使得大范围内水位变幅带内稳定坡角的获取变得方便快捷,大大减少了野外工作量,同时获取了足够多的样本数据,统计结果更为可靠,水上稳定坡角的获取可参照该方法进行,所获得的稳定坡角可用于岸坡结构法、两段法或三段法等图解法中。

在大范围内水库塌岸预测评价中,该方法具有传统方法无法比拟的优势,但同样存在一定的局限性:首先,对原始数据质量的要求较高,即必须以枯水期高分辨率影像和 DEM 数据为基础,但随着遥感与航空摄影测量技术的发展,高分辨率数据的获取变得越来越容易,因此,这个局限也越来越小;其次,采用剖面线策略对河漫滩多边形进行分割时,当参考线上某处曲率较大且分割距离较小时,可能会出现剖面线方向和河流走向不满足大致正交的条件,因此,需要对个别异常数据进行剔除或作适当的处理。

References

He, L. D., Zhu, X. J., 2007. Retrospection and Evaluation of Prediction Method for Reservoir Bank Ruin. *Journal of*

- North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 28(2): 69—72 (in Chinese with English abstract).
- He, Z. W., Huang, R. Q., Xu, Q., et al., 2004. Design of the Information Management and Prevention about Bank Collapse in the Reservoir Region. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 26(4): 341—345 (in Chinese with English abstract).
- Langendoen, E. J., 2000. Concepts-Conservational Channel Evolution and Pollutant Transport System; Stream Corridor Version 1.0 (Research Report). USDA-ARS National Sedimentation Laboratory, Mississippi.
- Langendoen, E. J., Simon, A., Curini, A., et al., 1999. Field Validation of an Improved Process-Based Model for Streambank Stability Analysis. Proceedings of the 1999 International Water Resources Engineering Conference, Reston, Virginia.
- Lan, X. J., Liu, D. E., Wei, R. J., 2011. GIS Application Development Based on Arc Objects and C#.NET. Metallurgical Industry Press, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Liu, J., Hu, X. W., Wang, J. Q., et al., 2010. Relationship between Underwater Stable Slope Angle and Granularity Composition of Loose Deposit. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 30(4): 71—75 (in Chinese with English abstract).
- Ma, S. Z., Jia, H. B., Tang, H. M., 2002. Analogy Method with Stable Side Shape to Predict Reservoir Side Rebuilding of Rock Shore. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(2): 231—234 (in Chinese with English abstract).
- Parker, C., Simon, A., Thorne, C. R., 2008. The Effects of Variability in Bank Material Properties on River Bank Stability: Goodwin Creek, Mississippi. *Geomorphology*, 101(4): 533—543. doi: 10.1016/j.geomorph.2008.02.007
- Pollen, N., Simon, A., 2005. Estimating the Mechanical Effects of Riparian Vegetation on Stream Bank Stability Using a Fiber Bundle Model. *Water Resources Research*, 41(7): 1—13. doi: 10.1029/2004WR003801
- Pollen, N., Simon, A., Langendoen, E., 2007. Enhancements of a Bank-Stability and Toe-Erosion Model and the Addition of Improved Mechanical Root-Reinforcement Algorithms. World Environmental and Water Resources Congress 2007: Restoring Our Natural Habitat, Tampa, Florida, 1—11. doi: 10.1061/40927(243)348
- Que, J. S., 2007. Study on Nonlinear Prediction for Reservoir Bank Collapse in Fuling Area of the Three Gorges Project (Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Schilling, K. E., Wolter, C. F., 2000. Application of GPS and GIS to Map Channel Features in Walnut Creek, Iowa. *Journal of the American Water Resources Association*, 36(6): 1423—1434. doi: 10.1111/j.1752-1688.2000.tb05737.x
- Simon, A., Collison, A. J. C., 2002. Quantifying the Mechanical and Hydrologic Effects of Riparian Vegetation on Streambank Stability. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(5): 527—546. doi: 10.1002/esp.325
- Tang, M. G., 2007. Research of Forecast Evaluation and Protective Measures of Bank Failure in Mountain Reservoir (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese with English Abstract).
- Tang, Z. H., Zhou, A. G., Cai, H. S., 1999. Prediction of the Riverside Rebuilding in the New Site of Wushan Downtown, Three Gorges Reservoir Area. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 37(5): 37—39 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. M., Tang, J. H., Ling, J. M., 2000. Study on Prediction Method for Reservoir Bank Caving. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 22(5): 569—571 (in Chinese with English abstract).
- Wood, A. L., Simon, A., Downs, P. W., et al., 2001. Bank-Toe Processes in Incised Channels: The Role of Apparent Cohesion in the Entrainment of Failed Bank Materials. *Hydrological Processes*, 15(1): 39—61. doi: 10.1002/hyp.151
- Xu, C., Dai, F. C., Xu, X. W., 2011. Earthquake Triggered Landslide Susceptibility Evaluation Based on GIS Platform and Weight-of-Evidence Modeling. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 36(6): 1155—1164 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Q., Huang, R. Q., Tang, M. G., 2009. Research of Bank Failure in Mountain Reservoir. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Xu, Q., Liu, T. X., Tang, M. G., et al., 2007. A New Method of Reservoir Bank Collapse Prediction in the Three Gorges Reservoir—River Bank Structure Method. *Hydrogeology & Engineering Geology*, (3): 110—115 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. Y., Wang, S. T., Wang, L. S., et al., 1994. Engineering Geology Analysis Principle. Geology Press, Beijing (in Chinese).

附中文参考文献

何良德, 朱筱嘉, 2007. 水库塌岸预测方法述评. 华北水利水电

学院学报,28(2):69-72.

何政伟,黄润秋,许强,等,2004.库区塌岸空间信息管理系统构建.物探化探计算技术,26(4):341-345.

兰小机,刘德儿,魏瑞娟,2011.基于 ArcObjects 与 C#.NET 的 GIS 应用开发.北京:冶金工业出版社.

刘娟,胡卸文,王军桥,等,2010.松散堆积体水下稳定坡角与粒度成分的关系.水利水电科技进展,30(4):71-75.

马淑芝,贾洪彪,唐辉明,2002.利用稳态地形类比法预测基岩岸坡的库岸再造.地球科学——中国地质大学学报,27(2):231-234.

阙金声,2007.三峡工程涪陵区水库塌岸非线性预测研究(博士学位论文).长春:吉林大学.

汤明高,2007.山区河道型水库塌岸预测评价方法及防治技术研究(博士学位论文).成都:成都理工大学.

唐朝晖,周爱国,蔡鹤生,1999.三峡库区巫山县城新址库岸再造预测.水文地质工程地质,37(5):37-39.

王跃敏,唐敬华,凌建明,2000.水库塌岸预测方法研究.岩土工程学报,22(5):569-571.

许冲,戴福初,徐锡伟,2011.基于 GIS 平台与证据权的地震滑坡易发性评价.地球科学——中国地质大学学报,36(6):1155-1164.

许强,黄润秋,汤明高,2009.山区河道型水库塌岸研究.北京:科学出版社.

许强,刘天翔,汤明高,等,2007.三峡库区塌岸预测新方法——岸坡结构法.水文地质工程地质,(3):110-115.

张倬元,王士天,王兰生,等,1994.工程地质分析原理.北京:地质出版社.

2014 年期刊论文作者姓名汉语拼音字母拼写规则

正式的汉语人名由姓和名两个部分组成.姓和名分写,姓在前,名在后,姓和名之间用空格分开.姓有 3 种:①单姓.汉语中只有一个字的姓,如张、王、刘、李;②复姓.汉语中不止一个字(一般由 2 个字构成)的姓,如欧阳、司马;③双姓.汉语中由两个姓(单姓或复姓)并列而成的姓氏组合,如郑李、欧阳陈、周东方等.根据 GB/T 28039-2011《中国人名汉语拼音字母拼写规则》,以下分别举例介绍这 3 种情形的姓名对应的汉语拼音字母拼写规则:

(1)单姓姓名:姓和名的开头字母大写,中间以空格分开.

Wang Fang 王 芳 Yang Weimin 杨为民
Lu Lue 吕 略 Zhao Ping'an 赵平安

(2)复姓姓名:姓连写,姓和名的开头字母大写,中间以空格分开.

Sima Xiangnan 司马相南 Ouyang Wen 欧阳文

(3)双姓姓名:双姓(并列姓氏)中间加连接号,每个姓氏开头字母大写,名的开头字母大写,姓和名之间以空格分开.

Liu-Yang fan 刘杨帆 Zheng-Li Shufang 郑李淑芳
Dongfang-Yuefeng 东方岳峰 Xiang-Situ Wenliang 项司徒文良

从 2014 年起,我刊的文章作者姓名汉语拼音字母拼写采用以上规则拼写.