

用于泥石流三维动态显示的内插方法

韩文泉

(河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 介绍用于实时显示的泥石流三维模型动态内插方法,它是根据水力学、计算数学与泥石流运动学原理,运用计算机动画中移动点约束条件插补算法,结合泥石流本身独有的特点,对泥石流两次摄影构成像对之间按时序内插,以获取用于三维动态显示的数据的方法.在本方法中,加入了影响泥石流流态的四种因素,解决了泥石流流体在计算机三维动态显示数据来源问题,数字模型恢复摄影两次曝光之间未捕捉到的运动信息使泥石流动态显示成为可能,从而为泥石流动态模型进一步量化研究打下良好的基础.

关键词 动态内插;泥石流;三维动态显示;插补算法

中图分类号 P642.23

文献标识码 A

文章编号 1000-1980(2000)04-0050-04

泥石流,指的是固体物质含量高、泥位剧增的间歇性小流域山区洪流,对山区经济建设与资源开发影响很大,对其进行有效的研究和控制,在防灾减灾、除害兴利方面将有深远的意义.

就泥石流流体结构类型而言,泥石流可分为粘性泥石流和稀性泥石流.按流动特性又可分为连续性和阵发性两类.不同的泥石流表现出的各种性质亦不相同,但实时过程式观测极少报道,其可视化显示也只是在探索之中.国内外对泥石流观测研究做了不少工作,我国云南蒋家沟泥石流以类型齐全而著称,有开展泥石流观测实验研究得天独厚的条件.从 1961 年开始,尤其是 1980 年以来,中国科学院等单位积累了大量的数据和资料,在泥石流的理论研究、应用实践和研究方法等方面取得了一些进展,为泥石流学科的发展和泥石流防治创造了条件.

把航空摄影与近景摄影应用到泥石流观测研究中,到目前为止我国仅在 80 年代中期应用近景摄影测量的方法对蒋家沟泥石流进行了观测,取得了一些成果,但还没有充分发挥出摄影测量的特长,未能使泥石流真正地‘活’起来.

本文阐述的内插方法,在对运动中的泥石流动态立体摄影的基础上,解决了泥石流流体在计算机三维动态显示数据来源的问题.用摄影测量观测方法,有效地捕捉泥石流瞬间运动信息.使用本文阐述的内插方法,数字模型恢复摄影两次曝光之间未捕捉到的运动信息,使信息更加丰富,使泥石流动态显示成为可能,也为泥石流图像解析打下了基础.

1 动态内插思想

动态内插方法,是根据计算机动画中移动点约束条件插补算法,用泥石流沟槽左右两岸随时间和空间变化的曲线与泥石流外部形体上的特征点相联系,控制三维显示关键帧上点的轨迹及运动特征.根据上下两次摄影捕捉到的影像信息,以横截面为内插单元,加入泥石流运动过程中的影响因素,可以内插出特定时间点上的泥石流外部形态.

对于以阵性沟槽流为主的泥石流,内插示意如图 1.图中 A 为连续摄影第一次曝光测得横截面, C 为连续摄影第二次曝光测得横截面, B 为特定时间点上内插横截面之一;“ $\triangle$ ”为被内插点;“ $\bigcirc$ ”为内插点.

在以横截面积为基础的内插过程中,需要已知两个相邻曝光时间点上的两个 DTM(数字地面模型),此外,还应事先测得河床的 DTM.这样,根据两个 DTM,加上影响因素,按选得的核函数,很容易得出内插泥位处的泥石流模型数据.

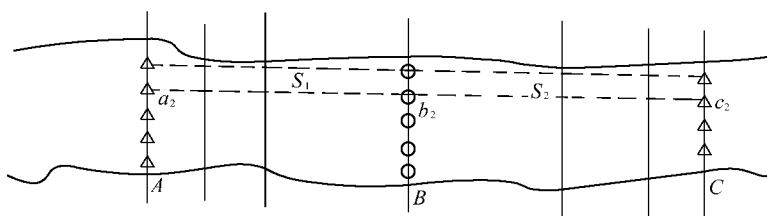


图 1 内插示意图

Fig.1 Sketch of interpolation

2 内插方法

2.1 几种影响因素

基于横截面积的内插,要考虑许多外界条件影响.由于立体连续摄影时间间隔很短,可以在误差范围内忽略影响小的因素,只考虑泥石流流速、铺床影响、河床宽窄与深浅、距离因素.

2.1.1 速度公式

泥石流的运动极其复杂,随着约束条件的变化,其运动形态也不断地变化.研究表明,流速与泥深一般成正比关系,而阵性泥石流中,龙头与龙尾、龙身,以及龙头各部分之间的泥深存在着显著差异,所以各地方的速度亦不相同.给研究泥石流实时的运动速度带来非常复杂的困难.中国科学院东川泥石流观测研究站根据多年的观测资料认为把蒋家沟泥石流近似地概化为稳定均匀流,并按惯性对待,采用谢才-曼宁公式来表示,是可行的.

a. 对蒋家沟 1976 年的第一种经验公式

$$V_{cp} = \frac{1}{n_c} h^{2/3} I^{1/2} \tag{1}$$

式中： n_c ——泥石流粗糙率系数； h ——泥石流平均泥深； I ——泥石流沟床纵比降.

b. 对蒋家沟 1976 年的第二种经验公式

$$V_{cp} = \frac{m_c}{a} h^{2/3} I^{1/2} \quad a = \sqrt{\gamma_s \left(\frac{\gamma_c - 1}{\gamma_s - \gamma_c} \right) + 1} \quad m_c = 75 h^{-0.425} \tag{2}$$

式中： m_c ——泥石流外阻力系数； a ——泥石流内阻力系数； γ_c ——泥石流容重； γ_s ——沙石容重.

2.1.2 泥石流的铺床过程

阵性泥石流开始,由于阻力的作用,流一段距离就停了,同时对沟床淤积,下一阵更强大的泥石流会流得更远一些,这样一阵阵直到泥石流稳定下来,这个过程称为铺床过程.铺床过程主要以淤积为主,如图 2 虚线所示.

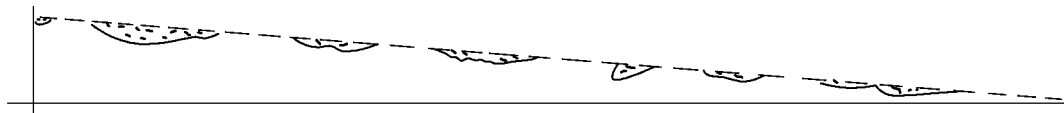


图 2 泥石流铺床淤积

Fig.2 Debris flow deposit on the bed

由于铺床过程的淤积影响,使原来的沟槽变得更加平顺.在内插过程中应把沟槽的淤积量减掉.

2.1.3 河床宽窄、深浅影响

泥石流在沟槽中运动,河床宽窄对其运动影响十分明显.有时由于沟槽突然变窄,使泥浆飞溅,泥体外部形态发生巨大变化.泥深同流速成正比,流速越大能量越大,对沟槽的冲击力就越大.一般沟槽最深处在沟槽中间,但有时也会在边缘.因此,考虑沟槽宽窄与深浅的影响对内插的正确性也是非常重要的.

在内插过程中,设一个沟槽宽度标准值,当超过这一标准值时,内插结果附加一个改正.对泥深是采用权重的办法,即对泥深的深浅设一个权,深者权大,浅者权小,这样有效地加入泥深因素的影响.

2.1.4 用距离确定权重

在解决工程中的水力学问题时,常用到水头损失公式:

$$h_f = \lambda \frac{L}{4R} \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

式中 L 为流段长度. L 与能量的损失成正比关系,泥石流是特殊的洪流,根据水力学原理可以得出距离对内插的影响.如图 1 中, S_1, S_2 分别是 a_2b_2, b_2c_2 之间的距离,进一步推导出

$$P_1 = S_1 / (S_1 + S_2) \quad (4)$$

$$P_2 = S_2 / (S_1 + S_2) \quad (5)$$

式中: P_1, P_2 —— a_1 点、 a_2 点的权.

综上所述,推出内插计算泥深的公式:

$$h_{bi} = P_{ai}h_{ai} + P_{ci}h_{ci} + P_{\Delta} + \delta \quad (6)$$

式中: h_{bi}, h_{ai}, h_{ci} —— B, A, C 截面上的第 i 点的泥深; P_{ai}, P_{ci} —— A, C 截面上第 i 点的泥深权值; P_{Δ} —— B 截面上第 i 点泥深权值乘以截面变化量; δ —— 特殊宽窄沟槽的改正值.

2.2 获得特定时间点上泥石流外部形态

在对泥石流摄影过程中,电脑自动记录曝光时刻.这样,根据连续两次曝光时刻与泥石流的平均流速,可以确定中间泥石流的位移.把以上提到的几种因素考虑进去,根据岸边控制点平面坐标,就能得出内插泥石流龙头的特征点三维坐标.

由离散的特征点内插出规则的 DTM 格网点,有许多种方法,如移动曲面拟合法、多面函数法、最小二乘法、有限单元法.它们各有各的适用环境.泥石流的表面形态非常复杂,不能用一个数学函数简单模拟.按照傅立叶级数的思想方法,考虑用多个简单函数(如正弦函数)叠加来表示复杂曲面.多面函数内插法恰是应用这一原理,通过选取不同的核函数,满足不同曲面的要求.此外,通过对不同核函数的比较,可以明显地看出哪些函数适合泥石流表面形态,这对泥石流流态数学模型的建立起很大作用.本文选用了美国 Hardy 教授于 1977 年提出的圆锥面核函数(见公式(7)),因为它是多面函数内插法中最为典型的核函数.

$$q(X, Y, X_j, Y_j) = [(X - X_j)^2 + (Y - Y_j)^2]^{1/2} \quad (7)$$

另外也采用了其它两个核函数:

$$q(d_j) = e^{-kd_j^2} \quad d_j^2 = (X - X_j)^2 + (Y - Y_j)^2 \quad (8)$$

值得说明的是:由离散的特征点内插出规则的 DTM 格网点,许多方法已经比较成熟.在此,笔者采用多面函数内插法,是认为它比较适合泥石流.可能还有更合适的方法,对此笔者没有详细研究.

3 内插结果

笔者把上述的内插方法应用在‘泥石流图像解析系统’中,成功的显示了泥石流龙头在沟槽中整体推进的过程,其中泥石流表面的变化也有比较好的表现.

4 几点讨论

a. 本内插方法是根据水力学、计算数学与泥石流运动学原理,并考虑外界影响泥石流流态的因素.研究表明:按时序内插方法得到的数据用于三维动态显示,方法合理,措施可行,可以比较真实地显示出泥石流运动过程中的变化.

b. 在对泥石流的研究过程中,以往往往是通过数字、图表来描述泥石流的各项特征.按时序内插方法使应用多媒体计算机技术成为可能,而且还能与数据库连接,为建立泥石流图像系统铺平道路;

c. 对本内插方法的深化思考如下:(a)本内插方法只是依据沟槽泥石流的运动情况设计的,不同地域、不同泥石流形态应有不同的内插方法;(b)内插时对外界影响因素的考虑可能不够全面,对流速计算采用经验公式(没有应用理论公式);(c)本内插只考虑了泥石流的表面形态,按当前泥石流研究状况,无法在动态内插时考虑泥石流内部质点的运动.

参考文献：

- [1] 吴积善,康志成,田连权,等. 云南蒋家沟泥石流观测研究[M]. 北京 科学出版社,1990.4~6.
- [2] 杜榕桓. 泥石流观测与研究[M]. 北京 科学出版社,1996.7~9.
- [3] 孙恩智,张松林,胡兵. 动态摄影测量及其在泥石流观测中的应用[A]. 见 唐邦兴主编. 第二届全国泥石流学术会议论文集[C]. 北京 科学出版社,1991.109~113.
- [4] 张祖勋,张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉 武汉测绘科技大学出版社,1996.44~45.
- [5] 王柏,陆艺南. WINDOWS 环境下系统开发技术[M]. 西安 西安交通大学出版社,1995.70~73.

Interpolation Method Applied to Dynamic Display of Debris Flow

HAN Wen-quan

(College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract :This paper introduces a dynamic interpolation method for the three-dimensional model of debris flow used in real-time display, which is based on the principle of hydraulics, computational mathematics and kinematics of debris flow. The computer interpolation arithmetic is used to control the condition for moving points with the intrinsic characteristics of debris flow taken into account. Finally, the pair of images formed by two photogrammetries is inserted in the order of time so as to obtain the data for displaying the three-dimensional animation. Four factors that influence the state of the flow are taken into account, and the problem of data sources when the body of debris flow is displayed on the computer has been solved. The digital model can restore the movement information of debris flow between two exposures of the photogrammetry and that makes dynamic display possible.

Key words :dynamic interpolation ; debris flow ; three-dimensional display ; interpolation arithmetic

《水利水电科技进展》征订启事

《水利水电科技进展》(双月刊,国内统一刊号 CN32-1439/TV,国际标准刊号 ISSN1006-7647). 主要刊登与水利、水电、水运、海洋、土木、环境等学科有关的文章,为水利水电工程建设及运行管理提供有借鉴意义的新颖实用技术和科技信息. 主要栏目有方针与政策、专题综述、研究与开发、规划与勘测、设计与施工、工程管理、经济交流、国外动态等,适合广大工程技术人员、科学研究人员、科技管理人员以及大专院校师生阅读.

本刊由河海大学主办,全国各地邮局均可订阅,邮发代号 28-244,1999 年全年订价 30.00 元,也可直接汇款至编辑部订阅(另加包装邮寄费 6.00 元). 编辑部地址:南京市西康路 1 号河海大学《水利水电科技进展》编辑部,邮政编码 210098. 汇款时务请注明“订水利水电科技进展”. 联系电话:(025)3713777 转 50335.