总结与展望

（1）总结

数字滑坡技术是以遥感（*RS*）和全球定位系统（*GPS*）方法为主获取滑坡基本信息，并将这些基本信息或原始数据（滑坡各要素，地形、光谱、土地覆盖、形变、地质构成、物理力学特征…）经数字处理转换成与地理坐标配准的，基于滑坡地学原理的三维、多元滑坡专题数字信息模型及管理、应用这些信息与模型的 *GIS* 技术。数字滑坡技术将使目前滑坡研究中数据的获取、处理、存贮和显示方式发生根本性变化，从而能够更准确的定性、定量地认识滑坡，方便、快捷地传输及交流滑坡信息，改善滑坡理论研究及灾害防治、灾情预测工作。

目前滑坡研究还是以二维分析为主，用地形图等平面图形表达滑坡空间分布特征，用剖面图描述滑坡地质结构。平面图形式的滑坡表达，在使用时不直观，不具备空间分析能力。剖面表达更注重剖面方向上地质体的分布特征，地质体在剖面垂直方向上的分布只能做有限延伸，难以将剖面结果推广到三维空间。尽管滑坡二维研究已经发展了极为成熟的方法和技术，但由于其在滑坡表达、滑坡计算等方面的局限性，滑坡三维滑坡研究将是滑坡研究和滑坡防灾减灾的迫切需要。

现代遥感技术的发展，使遥感数据在光谱分辨率、空间分辨率、时间分辨率等方面不断提高，为滑坡三维研究提供了可靠的数据源，遥感数据的周期性特征对滑坡研究尤其是滑坡动态分析具有重要意义。摄影测量技术，尤其是全数字摄影测量技术的发展，使遥感数据从定性分析进入到定量测定的新阶段。

三维滑坡研究关键技术可分为三个部分，一是三维模型的数据结构，二是三维模型的可视化，三是三维模型的空间分析。

与二维分析相比，三维滑坡模型的数据量是一种几何级数增长，因此必须设计三维滑坡模型的数据结构。根据数据的几何特征，三维数据结构分为基于面的表示和基于体的表示两大类。具体的数据描述方法可分为：栅格结构、矢量结构、矢量/栅格混合结构三种。矢量数据结构有更高的数据表达效率和较高的数据表达精度，但对物体内部特性的描述比较弱；栅格数据结构能够表达对象的内部结构，表示出物体内部的不均匀性，几何计算方便，但数据压缩率比较低，数量很大，表达精度也较低。矢/栅混合数据结构，采用了矢量和栅格数据结构的优点，同时考虑了对对象的表面和内部结构的描述，而在数据量和表达精度上都可满足要求，容易形成对各类地质体的准确描述。

三维滑坡模型中，遥感数据多采用栅格形式表达，而地形数据、地质结构可采用栅格/矢量混合形式表达，主要取决于数据的来源和生成方式。三维地形模型根据生成方式可采用不规则三角形网或栅格方式表达。三维地质体可以采用体数据表达，也可采用三维栅格或其它栅格形式。

目前实现的三维滑坡模型是基于面对象的，采用栅格/矢量混合的数据结构；以面为基本对象表示，优点是可以清楚表示滑坡体内部结构特征和滑坡体

内部各种不连续界面之间的相互关系，对滑坡表达有利；缺点是不能表达不连续面之间的地质特征，对物质的非均匀性表达较弱，几何计算相对困难。

与地表可直接量测的对象相比，滑坡内部结构数据的获取更加困难，限于经费，工程勘探工作量的布置是有限的，获得的地质数据经常是不完整、不确定的，三维地质模型的建立就是从这些有限的数据中，合理解译、推断出滑坡内部真实的空间分布特征，因而需要使用模型内插技术，三维滑坡模型中根据地质结构面的具体特点，使用了整体内插、多项式内插、单点移面内插、*Delaunay*内插等方法。

三维滑坡模型的可视化是三维滑坡模型的表达和工程应用的基础。本文详细讨论了三维滑坡模型可视化过程所涉及的方法技术：坐标变换、颜色模型选择、光源设置和光照模型、图形消隐、纹理贴图、多分辨率显示等。

三维滑坡模型是一个全数字化的三维模型，在工程应用中可以提高工作效率、提高精度，节省人力、物力。可用于立体演示、地形分析、剖面切取、距离、面积、体积（方量）计算和其它的数值计算中。

在三维滑坡模型理论分析基础上，建立了两个工程的三维滑坡模型。(1)易贡滑坡三维模型，易贡滑坡是近年来发生的大型滑坡之一，利用卫星遥感影像，结合现场调查和其它资料，建立了滑坡发生前、滑坡发生-滑坡坝溃决之前、滑坡坝溃之后的数字高程模型，据此建立了三维滑坡模型，并利用三维滑坡模型计算滑坡堆积体体积、滑坡堰塞湖水量、溃坝洪水水力学参数等。(2)二滩库区金龙山滑坡三维模型。利用航空立体像对获取了滑坡的数字高程模型，并用该模型对航空照片进行了正射纠正；利用地质勘探资料，建立了基于面对象的表达地质结构特征的三维地质模型。最终形成了完成的金龙山滑坡三维模型，并进行了相关计算。

综上，论文通过对遥感数据和地质数据的综合使用，探讨了三维滑坡模型建立中的数据结构、可视化技术和三维滑坡模型的工程应用等问题，通过两个实际的滑坡三维模型的建立，具体介绍了使用航天、航空数据结合现场调查和地质勘探数据形成三维滑坡模型的方法，并对三维滑坡模型的工程应用进行了分析。

（2）下一步工作展望

目前的三维滑坡模型还有诸多不足，进一步的改进工作主要集中在以下方面：

三维滑坡模型还是基于面对象建立的，滑坡体内部的物质组成的表达和有关的计算功能还较还弱；体数据表达的三维滑坡模型能够弥补上述不足，但在表示滑坡体内部空间结构特征方面，不直观，可视化困难，因此最终的三维滑坡模型应是一个包含面表示、体表示的双重模型，并使两者之间的相互补充、互相完善。

现代遥感技术能够提供多时相的遥感数据，如何利用这些数据来推断三维滑坡的演化趋势、模拟滑坡的运动过程，对于预防滑坡灾害、减轻滑坡灾害带来的损失具有重要的意义。目前的三维滑坡模型基本上还是一个静态模型或准动态模型，如何利用海量的遥感数据来形成动态的三维模型是下一步研究的一

个方向。

真三维 GIS 技术是目前研究的难点，也是今后研究的重点，数字滑坡技术最终要基于三维 GIS 技术建立，因此三维 GIS 研究也将是以后研究的主要内容之一。