80年代，三维建模技术开始推广使用，并出现了以地质目标为目的计算机辅助设计；科学计算可视化这一概念被重新定义，并由此推动了三维数据结构和可视技术的发展（李德仁，2000，龚健雅，1999，李青元，2000）；近些年来，国内和国外关于地质信息三维建模和可视化的信息系统发展较快，已经有许多可供使用的商业化的三维建模和分析软件。如 *DGI* 公司的可视模型系统*(Earth Vision Modeling System)*能够生成三维空间立体图像，反映地层与地质结构的空间分布特征的相互交切关系；*Reservior Characterization Research and Consulting* 的三维地球模型软件（*3D Earth Modeling*），用于一维、二维、三维地质统计和结构面三维显示和分析；*Gemcom Software Inc.* 推出 *Gemcom* 地质模型三维建模工具，以地质钻探信息为数据源，利用体数据结构建立地质结构的三维模型。一些以地学空间数据为研究对象的GIS软件，也都提供了三维建模和可视化功能或模块，如 *ARC/INFO*、*ERDAS*、*ENVI*、*PCI*。国内大量的软件也提供了三维建模和可视化功能，如 *GEOSTAR*、*GEOTIN/GEOGRID*，*MAPGIS*，*T3D* 等。

但是目前的滑坡研究还是以二维为主，缺乏专门的三维滑坡建模系统。随着地理信息系统技术的发展及其在地质领域的广泛应用，三维研究逐渐被重视，并将成为今后滑坡研究的主要技术。

现有的三维地学研究多是针对区域性地质条件进行的，滑坡研究与这种区域性的地质工程相比（*Mecour*，1998，*Dubrule*，1998），有其自身的特点，主要表现在：

1) 范围较小，一般滑坡范围限于数平立公尺～数平方公里之内，而区域地质研究范围一般在数十平方公里或者更大。
2) 勘探深度小，滑坡滑动面的深度一般在数米至数十米之间，而包括石油勘探等的地质工程勘探深度可达数千米。
3) 勘探精度高，滑坡勘查的工程性要求其勘探精度很高。
4) 资料来源，滑坡地质信息主要依靠高分辨率遥感、地面测绘、钻探、物探。而区域性地质研究主要使用遥感资料、地震等资料获得地表特征和地质信息。
5) 地质结构复杂，由于滑动面的存在和滑坡运动，使滑坡组成结构复杂，而且影响滑坡稳定的因素众多，要正确建立三维滑坡模型需要更细致的工作。

滑坡的这些特征决定了在三维滑坡研究中，即要应用地质工程三维研究的思路和方法，又要考虑滑坡研究高分辨率的特点，建立适用于滑坡表达的三维模型。“数字滑坡”技术就是考虑滑坡特点，并有效利用遥感、全球定位系统、地理信息系统等方法与技术的全数字化的滑坡表达方式。

0.3“数字滑坡”和三维滑坡模型

“数字滑坡”的概念是王治华研究员在总结多年滑坡 *RS*、*GIS* 研究的基础上，于1999年初提出的（*Wang ZH*, 1999），并将其定义为：数字滑坡技术就是以遥感（*RS*）和全球定位系统（*GPS*）方法为主获取滑坡基本信息，将该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”技术的基础是遥感、全球定位系统数据和地理、地质资料，模型建立过程中要进行图像处理、数据存贮、三维可视化等工作，需要综合遥感、全球定位系统、数字摄影测量、三维 GIS、计算机图形学等学科的技术和方法。数字滑坡技术的发展将使现有的获取、处理、存贮和显示滑坡信息的方式发生根本性变化，开创一种新的实验条件，使能更准确的定性、定量地认识滑坡，方便、快捷地传输及交流滑坡信息，从而改善滑坡理论研究及灾害防治、灾情预测工作。

“数字滑坡”技术需要基于地学原理的三维滑坡表达，因此，三维滑坡模型研究是“数字滑坡”技术研究的一项重要内容。

“数字滑坡”技术中三维滑坡研究，就是在遥感、全球定位系统、地质调查等研究的基础上，形成表达滑坡地表特征和内部结构的数字化的可视化三维表达的过程。三维滑坡模型是对滑坡体的地形、地质结构、滑动面、滑坡要素等特征进行模拟、分析、解释、综合的可视化三维地质模型。根据模型的数据源、数据表达方式和空间位置等内容，三维滑坡模型可分为三维地形模型和三维地质模型两部分，前者表达滑坡地表的空间特征，以及与滑坡稳定有关的其它环境因素，后者表达滑坡体的内部结构和物质组成。

“数字滑坡”技术已在“数字二滩电站库区”、“西藏易贡滑坡卫星遥感监测”等项目中得到了应用（王治华，2002），这一方法在灾害表达及环境监测、定量计算等方面表现出比传统滑坡调查方法更少的工作量、更准确的结果和更高的效率。

0.4 滑坡灾害遥感研究进展简述

遥感技术的应用起始于上世纪 60 年代，经过多年的发展，目前遥感技术在遥感平台、传感器、遥感技术理论和应用等方面都已进入了一个新的时代。遥感技术可以提供广域的、连续的、周期性的和具有不同的光谱和空间分辨率的遥感数据，可以反映地面自然条件、生态环境的变化以及地质灾害的形成和发展过程，在地质灾害的预测、灾情监测、灾害治理等各项研究中，均发挥了重要作用，如 1987 年大兴安岭火灾监测、1998 年长江流域特大洪水的灾情监测和灾后重建、2000 年易贡滑坡监测、三峡库区滑坡地质灾害调查等重大项目中。

遥感技术在地质灾害研究的应用可以概括为以下几个方面(朱亮璞，1994，陈正宜，1996)：

地貌解译：滑坡作为一种自然灾害或地质现象，有其特定的发育、发展、发生过程，并表现出特殊的地貌特征，如特殊的圈椅状形状、滑坡前缘的舌状突起等。

构造解译：在遥感图像上识别各种构造信息，包括地质构造的存在标志、形态特征、分布规律、各种构造之间的交切关系等。

地层岩性识别：根据不同矿物具有不同的光谱特征，利用遥感资料可识别地面岩体的岩性特征。