动态分辨率：对同一个数据集在不同部位采用不同的分辨率，对地形复杂部位，采用较高分辨率，而在地形相对简单的部位采用较低的分辨率，也可根据离视点的距离，采用不同的分辨率，即离视点近处采用高分辨率，离视点远的部位用较低分辨率，这种思路与人眼观看物体的效果是相同的，但其实现需要特殊的数据结构。

细节层次技术（Levels of Details），根据计算机处理能力，对原始数据进行空间采样，形成不同分辨率的空间数据，并在模型显示过程中根据需要调用相应分辨率的数据。

三维滑坡模型中采用 LOD 方法，根据显示精度和显示速度的具体需要，可采取[1，1/2，1/4，1/8，1/16，1/64，1/128，1/256]八种重采样因子。多分辨率方法是在速度和效果之间进行取舍，空间分辨率越低，模型生成速度越快，但原始信息丢失越多；空间分辨率增加，需要的处理时间越多，但表现的地物信息越丰富。

3.2.7 三维模型实时动态显示

三维模型的动态显示按照技术上从易到难的顺序可分为三个层次（徐青，2000.8）：

（1）逐帧计算、逐帧显示、逐帧记录。逐帧计算图像，再逐帧显示并记录，最后将记录的图像连续播放，这也是一般计算机动画最常使用的方法。

（2）逐帧计算、连续显示、连续记录。逐帧计算图像，结果存入内存，计算结束后连续显示并记录。

（3）实时计算、动态显示、交互控制。根据观察点及观察方向实时计算、实时显示。

逐帧计算的方法生成的图像在显示时的顺序由计算时的顺序来确定，但难以加入控制，观察点、观察方向不能改变。实时计算的方法则根据观察点的位置、方向确定显示的内容，观察点的位置和方向变化可以立即反映到显示的内容中，从而可以实现交互、实时的控制模型显示。

三维滑坡模型采用实时计算的方法完成动态显示，通过鼠标来控制模型的显示。鼠标移动后，当前位置与上一个位置形成一个矢量，利用此矢量的方向、长度计算模型的旋转矩阵，然后将此变换矩阵作用到三维模型上并刷新场景，完成实时显示。

模型飞行的实时显示是利用定时器定时产生的变换命令来实现的，变换参数则根据鼠标的移动来确定，通过移动鼠标控制模型飞行的方向和速度。记录每一个时刻模型的变换矩阵，通过重放来达到飞行模拟效果。

3.3 三维滑坡模型系统实现

3.3.1 三维可视化软件系统

目前常用的三维可视化软件系统如下：

(1) Vis5D（*Visualization of 5-Dimensional Data Sets*）和 *CAVE5D*

Vis5D 是一个交互可视的 5*D* 网格数据软件系统，可以用于数字天气模型的数据显示。可以生成等值面、等值线、颜色条块、体绘制等 3D 网格，然后以实时模式旋转，生成动画图像。还具有风轨迹追踪、文本注释、交互数据分析等功能。*CAVE5D* 是 *Vis5D* 的一个附加软件，是一个虚拟现实软件，可用于虚拟现实建模与显示。

(2) *OpenDX(Open Visualization Data Explorer)*

OpenDX 是一个可视化框架程序，它用数据流驱动客户/服务器执行模式，并提供了一个图形程序编辑器，通过图形程序编辑器来创建可视化图形，还可以使用它的高级可视化和分析技术来分析数据，这些技术可以获得对其数据的新的认识。软件可应用于科学、工程、医学和商业方面。该软件提供了一个完整的工具集，可用于数据操作、变换、处理、渲染和动态显示数据集，并允许基于点、线、面、体、图像或原始数据的组合来进行可视化和分析。

(3) *LYNX*

LYNX 是加拿大 *LYNX* 公司的面向地质三维建模的可视化软件。该软件除了使用了原有的技术包括常规统计分析、三维栅格模型、三维矢量数据建模等以外，还采用了体（*Volume*）建模技术，主要应用于矿山三维地质建模。

(4) *VULCAN*

VULCAN 建模环境包括一个正视模块加上三角化、格网和等值线等工具包。正视模块提供了图形界面在 *3D* 显示环境，可以显示采矿和地质中的块状物体。其数据可以是照片、卫星照片、航片、测量、纹理、地震或其它的 *2D* 或 *3D* 的三角化数据。该软件可以完成任意方向的剖面切取和显示。

(5) *IDL*（*Interactive Data Language*）

IDL 是 *RSI* 公司开发的用于数据计算、分析和可视化的编程语言，是面向数组操作的编程语言，支持多种数据类型，绘图引擎采用 *OpenGL* 技术，具有图形界面设计的可视化开发环境，支持面向对象程序设计，被称为高级编程语言之后的新一代编程语言。已有许多基于 *IDL* 开发的软件如：*NeoSYS*，*RiverTools*、*ImaGIS* 等。

(6) 其它的三维建模型软件

国内外其它的三维建模软件还有：*MicroLynx*、*Voxel Analyst*、 *IRIS Explore*、*DrDTM*、 *12dModel*、*GexExoress*、*Grid3D*、*ViewGIS* 等。

此外，一些大型遥感和 *GIS* 软件也提供了三维可视化建模和显示模块，如 *PCI* 的 *FLY* 三维地形显示和飞行工具、*ERDAS* 的 *VirtualGIS*、*Arc/Info* 的 *Gird*、*ENVI* 的 *3DSurface* 等。

3.3.2 三维滑坡模型的开发平台

三维滑坡模型系统的实现是在 *IDL*(交互数据语言)下实现的，这主要是基于以下原因：

IDL 采用 *OpenGL* 技术，支持 *OpenGL* 软件或硬件加速，可加速交互式的 *2D* 及 *3D* 数据分析、图像处理及可视化，除了保留传统的直接图形法外，*IDL* 采用了面向对象技术，可以实现曲面的旋转和飞行，还用多光源进行阴影或照