

### (1) 本征参数

本征参数包括材料的密度、泊松比和剪切模量，这类参数是材料自身的特性参数，可以通过查阅相关文献和物性手册等进行获取。

### (2) 基本接触参数

基本接触参数包括颗粒-颗粒（颗粒-几何）碰撞恢复系数、静摩擦系数和滚动摩擦系数。由于材料的质量、形状、湿度等外界条件对这一类参数影响较大，因此无法通过物性手册或数据库供查阅，通常需要采用实验测定或“虚拟实验”标定，基本接触参数待标定变量如图3所示。

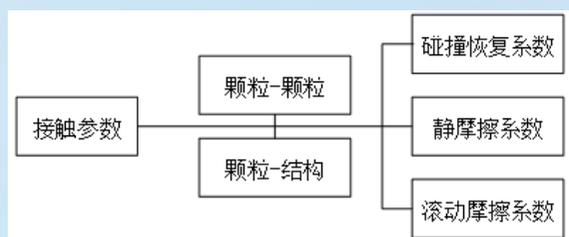


图3 基本接触参数待标定变量

### (3) 接触模型参数

接触模型参数是指所采用的特殊接触模型需要额外的模型参数，如 Hertz-Mindlin with JKR 模型的能量密度参数，Hertz-Mindlin 粘结模型的临界应力参数等。这类参数由于是模型化的，很难与物料实际的特性直接换算，

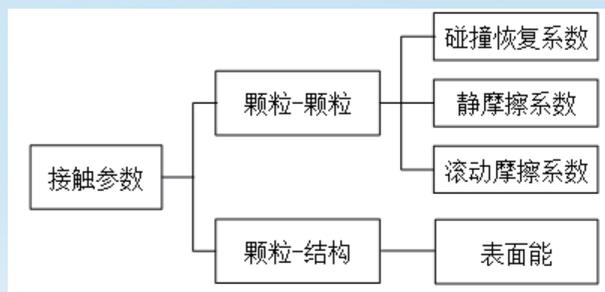


图4 接触模型参数待标定变量

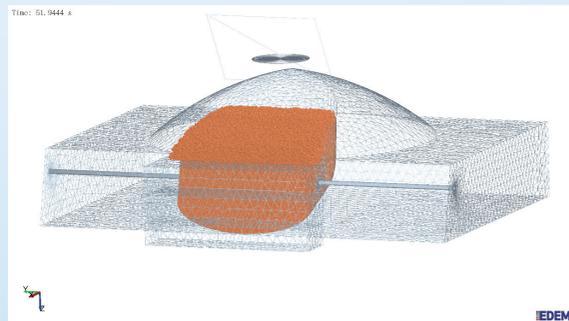


图5 管道-滑坡体模型

通常必须采用“虚拟实验”标定，接触模型参数待标定变量如图4所示。

笔者采用 Hertz-Mindlin 粘结模型和线性粘聚力接触模型模拟颗粒-颗粒接触特性，采用 Hertz-Mindlin with JKR 模型模拟颗粒-管道接触特性。通过标定参数，采用 JKR 接触模型能量密度为 230J/m<sup>3</sup>，颗粒-颗粒静摩擦系数为 0.30，颗粒-颗粒滚动摩擦系数为 0.20，颗粒-几何体静摩擦系数为 0.25，其他滑坡土颗粒模型参数如表4所示。按照接触模型参数建立管道-滑坡体模型，如图5所示。

## 3

### 管道-土体相互作用规律分析

发生滑坡后，管道前方（x轴正方向）失去土体的支撑接触，出现小范围的临空空间，如图6所示，位于管道

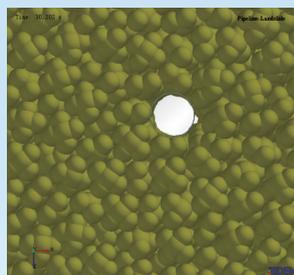


图6 管道x方向临空

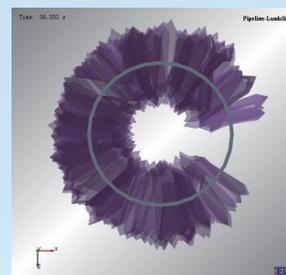


图7 管道与颗粒失去接触

泊松比	密度 kg/m <sup>3</sup>	剪切模量 MPa	能量密度 J/m <sup>3</sup>	颗粒-颗粒静摩擦系数	颗粒-颗粒滚动摩擦系数	颗粒-几何体静摩擦系数
0.30	1950	1.07×10 <sup>7</sup>	230	0.30	0.20	0.25

表4 滑坡土颗粒模型参数