

前缘的管道-颗粒接触缺失,管道前缘失去支撑,后部土体未能及时填补管道前方的临空,导致管道后部土体在重力作用下滑动并开始推挤管道,图7所示。

随着滑坡土体颗粒的继续滑动,管道x轴正方向上的临空空间逐渐增大,并开始向重力方向(z轴正方向)偏转,导致管道后部滑坡体沿着x-z方向继续推挤管道,如图8和图9所示。

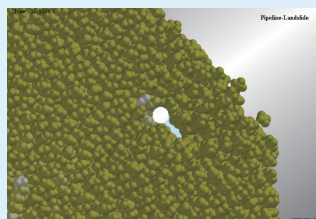


图8 滑坡体推挤管道

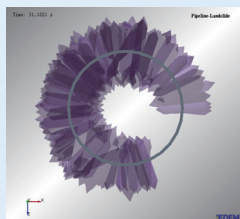


图9 管道在x-z方向上失去接触

对管道附近颗粒运动轨迹进行分析,可以得到管道主要受到后部滑坡土颗粒的推挤力和管道上下两侧土颗粒的剪切力,如图10所示。

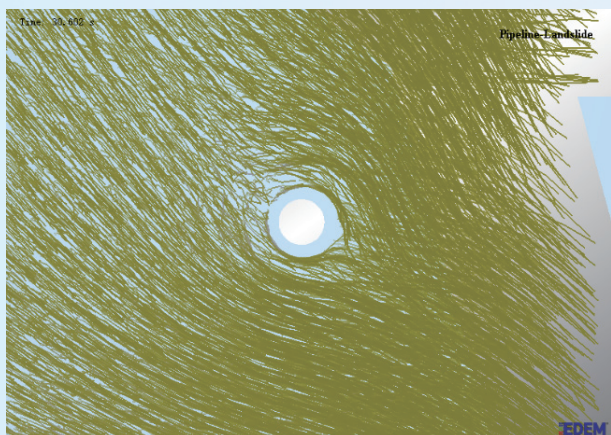


图10 发生滑坡时管道附近土体颗粒运动轨迹

4

滑坡-管道力学分析

4.1 管道力学响应分析

模拟结果表明,发生滑坡后管道受到的合力突然增大然后随时间逐渐减小(图11至图14),管道y方向(管道轴向)受力很小可忽略其影响,管道x方向与z方向力-时间响应曲线图的变化趋势与管道合力-时间响应曲线图变化趋势

一致,最大推力均发生在30.3s时, $F_{\max}=459.3\text{kN}$, $F_x(\max)=426.2\text{kN}$, $F_z(\max)=182.8\text{kN}$ 。

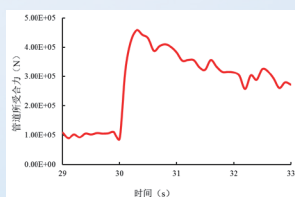


图11 滑坡作用下管道受力响应

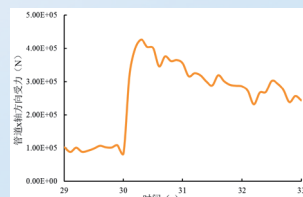


图12 管道x方向受力响应

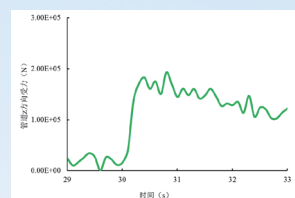


图13 管道z方向受力响应

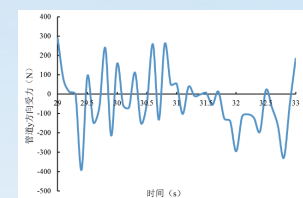


图14 管道y方向(管道轴向)受力响应

4.2 管道有限元分析

由于滑坡土体对管道的推挤作用,管道上的最大等效应力出现在管道中部,为 $\sigma_{eq}(\max)=237.86\text{MPa}$;由于滑坡体与滑床的相对运动对管道产生剪切作用,滑坡体边界处管道也出现了较大应力值,如图15、图16所示。

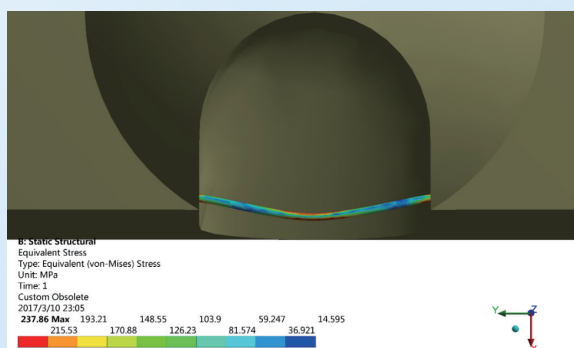


图15 管道变形示意图

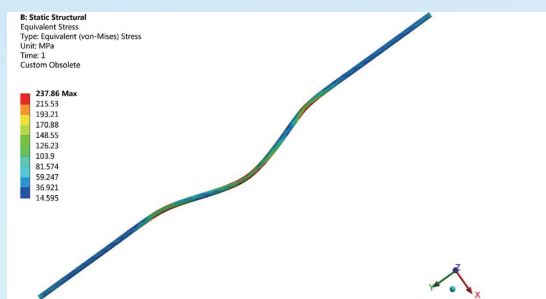


图16 管道等效应力云图