

由于滑坡土体的剪切作用，悬空段管道受到最大剪切应力为 $\sigma_{\text{shear}}(\text{max})=70.82\text{MPa}$ ，如图 17 所示。

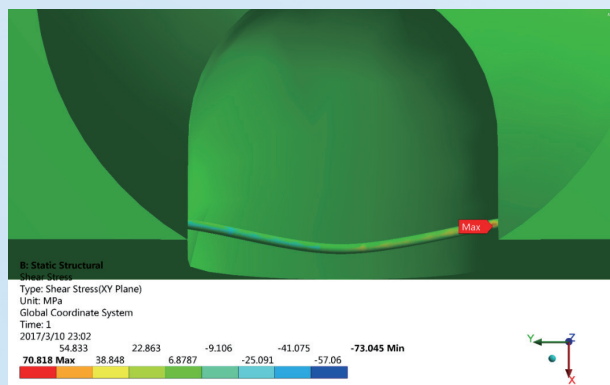


图 17 管道剪切应力云图

如图 18 所示，管道最大位移产生在管道悬空段的中部，埋设于滑床中的管道位移为 0，表明土体对管道实现了自然锚固，而在模型两侧各设置 10m 长的管道埋设于土壤中，可以实现嵌固段管道的作用，因此本文提出的假设“管道模型总长度为 3 倍滑坡体作用长度，近似模拟管道埋设于无限长的地下”是合理的。

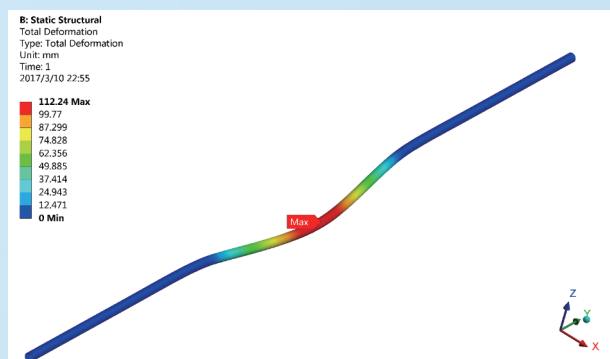


图 18 管道总变形云图

将管道轴向各点位移导出，管道遭受滑坡后的变形形状为单峰性弯曲，管道上的最大位移位于管道中部，为 $\Delta u_{\text{max}}=112\text{mm}$ ，如图 19 所示，管道受滑坡下滑力作用，管道主要的破坏方式为梁式弯曲变形。

根据前面的分析可知，管道在滑坡初期受到管道后部滑坡体 x 正方向的推力，随着滑坡体的继续滑动，管道还受到 z 正方向（重力方向）的作用力，管道 y 方向（管道轴向）由于滑床的嵌固作用位移为 0，因此导出管道沿轴向各点在 x 轴方向上和 z 方向上的位移结果，如图 20 所示，管道沿轴向 x 方向位移和 z 方向位移均满足梁式弯曲规律，

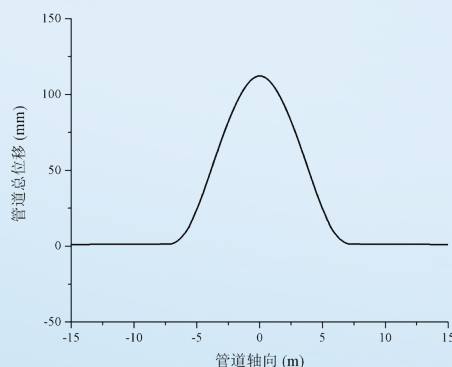


图 19 管道沿轴向位移分布情况

管道沿轴向 x 方向最大位移为 $u_x(\text{max})=100.96\text{mm}$ ，管道沿轴向 z 方向最大位移为 $u_z(\text{max})=44.98\text{mm}$ ， $\arctan()=24^\circ$ ，管道受滑坡作用后的变形形状与水平面的夹角为 24° 。

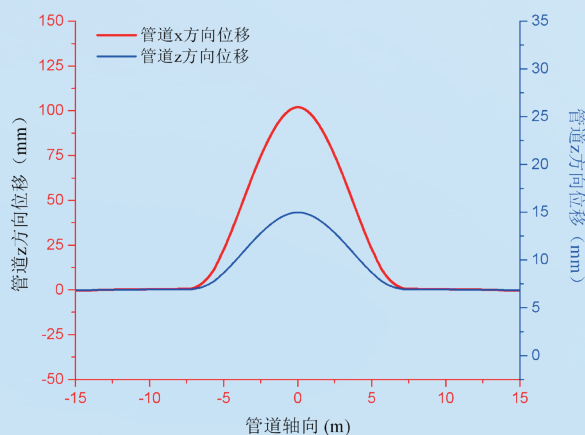


图 20 管道沿轴向 x 方向和 z 方向位移

如图 21 所示，管道前沿等效应力分布情况近似山峰形，等效应力峰值出现在管道中部及管道两侧滑坡边界处；若考虑管道中部受拉为正，管道两侧滑坡边界处受压为负，管道前沿应力分布近似于马鞍形；管道中部最大应力为 $\sigma_{\text{eq}}(\text{max})=237.86\text{MPa}$ ，根据第四强度理论，管材

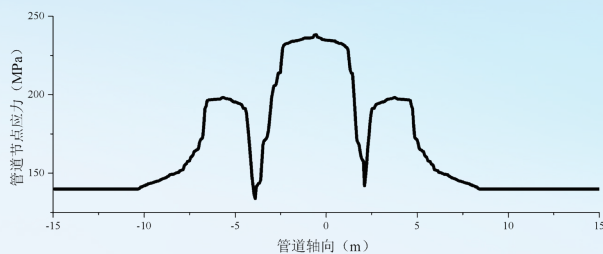


图 21 沿管道轴向节点等效应力分布情况