## **顶管施工引起的地面变形分析**

(1)掘进机到达前的地面变形

当掘进机离测点较远时，由于刀盘的切削搅拌、振动，会对土体产生扰动。土体颗粒之间存在孔隙(孔隙中含有水和空气)，在扰动作用下，孔隙中的水和气体被排出，土体颗粒相对移动，土体产生一定的压缩，地面会出现微小的沉降。

(2)掘进机到达时的地面变形

当掘进机距离很近时，位于掘进机正前方的土体，受到千斤顶推力的挤压、刀盘的切削剪切力以及振动荷载的作用，应力状态十分复杂。

(3)掘进机通过时的地面变形

当掘进机通过时，掘进机外壳与土层间会形成剪切滑动面，剪切滑动面附近的土层内产生剪切应力，剪切应力引起地面变形。推进速度越快，剪切应力越大，周围土体位移也越大。

(4)掘进机通过后的地面变形

为减小摩擦阻力，后续管节的直径比掘进机的直径要小2-5cm。所以，当掘进机尾部通过后，管道周围的土体要向管壁移动，以填补后续管节外围的间隙，这样就会引起土体移动。为保持土层稳定及减小摩阻力，施工过程中必须在管节外周注浆，并保持适当的注浆压力。因此，这部分土层位移与间隙的大小、注浆压力、注浆方法等因素有关。

(5)受扰动土体再固结引起的地面变形

顶管管道周围土体受施工扰动后，将形成超静孔隙水压力区。在掘进机离开该区后，超孔隙水压力下降，孔隙水消散，土体发生固结作用，引起地面沉降。这部分为主固结沉降，随后，土体仍会产生蠕变，发生次固结沉降。