

## 摘 要

盾构隧道施工中，对于刚脱离盾尾的管片，经常会出现局部或整体上浮，已经被众多的工程实际所证实。表现为管片错台、裂缝、破损，乃至轴线偏位等现象，尤其是在穿越河底浅覆土时，该问题尤为突出，已经引起了一定关注。本文主要针对施工期盾构隧道存在的上浮问题产生机理及控制计算展开研究：

提出将盾构管片上浮力分为“静态上浮力”和“动态上浮力”。

“静态上浮力”是由泥浆、注浆浆液或者地下水包裹管片，造成局部管片浸泡在液态环境中，从而产生的上浮力；“动态上浮力”是伴随着盾尾管片壁后注浆的施工过程而产生的可能引起管片上浮、局部错台、开裂、压碎或其他破坏形式的力。分析研究了注浆浆液在管片壁后的扩散过程。将管片壁后注浆的扩散过程归纳为充填注浆、渗透注浆、压密注浆及劈裂注浆等 4 个阶段。认为渗透注浆和压密阶段是对管片产生注浆压力，形成动态上浮力的主要阶段。

通过引入等效孔隙率替代土体本身的孔隙率，即将管片脱离盾尾后形成的建筑间隙折算为土体本身的孔隙率，来考虑建筑间隙的影响，分别基于 magg 球面扩散公式和柱面扩散公式，在假定半球面扩散和弧面扩散的前提下，对盾构隧道壁后注浆的渗透范围及因注浆而对管片造成的注浆压力进行了理论推导，得到了考虑建筑间隙影响的浆液扩散半径及对管片产生的压力大小计算式。实例分析表明，盾构隧道壁后注浆浆液的扩散半径及对管片产生的压力与注浆压力、注浆时间、浆液粘度、土体渗透率、建筑间隙厚度、注浆管半径等众多因

素有关。并针对具体工程实际，通过给定部分施工和土性参数，讨论了盾构隧道壁后注浆的扩散半径及对管片产生的压力与各影响因素之间的关系。

提出了“局部抗浮计算模式”——研究一块(数块)或一环(数环)管片在上浮力的作用下，管片、螺栓，乃至上覆土对其上浮的影响。并分别从单一管片抗浮角度和整环(或数环)管片抗浮角度提出了管片局部抗浮计算的计算式。单一管片抗浮计算式是针对上浮力(主要是因注浆产生的动态上浮力)集中于局部管片背部，产生了较大集中力，进而可能造成单块管片出现错台的抗浮验算；整环管片错动分析计算式是将动态上浮力考虑作用于整环管片(主要是刚脱离盾尾的管片)，考虑该环在动态上浮力作用下的受力和与上覆土的作用效应。

提出了“纵向整体抗浮计算模型”——将已拼装成型管片纵向考虑为一整体，将其简化为一纵向长梁，考虑该梁在上浮力的作用下，简化梁与地层总体的受力和变形性能。在纵向总体计算模型中，将横向刚度有效率及横向刚度影响系数引入到纵向等效抗弯刚度的分析计算中，推导了考虑横向刚度有效率的纵向等效抗弯刚度计算式，从而初步将纵向刚度的分析与横向刚度的变化统一起来，进而也说明了盾构隧道纵、横向抗弯刚度的相关性和匹配性。实例分析表明：盾构隧道横向抗弯刚度的大小与纵向等效抗弯刚度关系密切，表现为同方向变化，即纵向抗弯刚度随横向抗弯刚度的增大而增大。并利用三维有限元模型对施工期盾构隧道的上浮特性进行了数值模拟。

最后，对存在问题和进一步研究的方向进行了简要讨论。