

地铁隧道施工邻近地下管线沉降分析

杜 赟 方月明 任宏伟

浙江省建投交通基础建设集团有限公司 浙江 杭州 310000

【摘要】：由于地铁工程需要通过大量的地下管道，造成周围土层的变形，从而造成管道的附加应力和变形，从而影响到地铁的正常运行。目前，模型试验是研究盾构法对相邻管道的影响的一种主要手段。结合管隧位置、管道材料、埋深等因素，总结了盾构法对相邻管线的影响，并对其产生大弯矩、沉降等不利影响的原因进行了总结。对目前的研究中存在的问题进行了全面的分析，并对今后的研究工作进行了展望。

【关键词】：地铁隧道；地下管线；沉降影响

Analysis of Underground Pipeline Settlement Near Metro Tunnel Construction

Yun Du, Yueming Fang, Hongwei Ren

Zhejiang Infrastructure Construction Group Co., Ltd. Zhejiang Hangzhou 310000

Abstract: Because the subway project needs to pass through a large number of underground pipelines, the deformation of the surrounding soil layer will cause additional stress and deformation of the pipeline, thus affecting the normal operation of the subway. At present, model test is a main method to study the influence of shield tunneling method on adjacent pipelines. Combined with factors such as pipe tunnel location, pipe material, and buried depth, the influence of shield tunneling method on adjacent pipelines is summarized, and the reasons for its adverse effects such as large bending moment and settlement are summarized. The problems existing in the current research are analyzed comprehensively, and the future research work is prospected.

Keywords: Subway tunnel; Underground pipeline; Settlement impact

引言

隧道是一种与地表建筑物不同的地下工程，其特点是在其勘探、设计、施工和运营整个生命周期内都处在地质应力场中。在施工过程中，由于隧道中长期经受固结应力的岩土被挖出，岩土受到开挖的影响，产生了应力重新分配，因此，岩土的流变作用使岩石的变形和压力都会随时间而改变。在不受限制的情况下，被干扰的岩土将继续发生位移，直至破坏在洞顶上发生“塌落拱”。近年来，随着隧道施工中大量的地下结构在土层中施工，土洞开挖的围岩稳定性问题日益引起人们的重视。本文结合已有的模型实验资料，从室内缩径模型实验和离心模型实验两个方面，对影响管道沉降和受力的因素进行了分析，并指出了目前的模型实验存在的问题，并对未来的发展趋势进行了展望。

1 当前的研究状况

目前的模型实验主要有：室内模型实验和离心模型实验两种。室内缩径模型实验费用高，但是实验操作简便，能够模拟现场的实际情况，并综合考虑了各种因素；通过离心模型实验，既能直观地反映出物体的变形破坏机理，又能为理论和数值计算提供可靠的资料。不过因为条件的限制，需要特殊的装备。本文对我国的模型实验进行了归纳和总结，在表格1中给出了模型试验的参数。

表1 模型试验参数

试验类型	试验工况	试验研究背景	模型箱尺寸	管线类型	隧道断面类型
室内缩径模型试验	隧道管线垂直	天津地铁6号线	3×1.6×1.7	PVC/钢	单圆
		上海地铁11号线	1.5×1.2×1.3	PVC/PPR	单圆
		基于高斯原理	2×2×1.5	高密度聚乙烯	单圆
	隧道管线平行	天津地铁6号线	3×1.6×1.7	PVC/钢	单圆
		北京某地铁	3×1×2	加筋石膏管	单圆
	隧道管线相交	大连地铁2号线	1.5×1.5×1.2	PVC-U	单圆
	合肥地铁3号线	2.5×0.6×1.5	PVC	双线	
离心模型试验	隧道管线垂直	深圳地铁大剧院站至科学馆站	0.8×0.6×0.6	紫铜	双线
		基于双隧道不同开挖顺序及不同埋深	1.25×1.25×0.8	6016型铝	双线
		北京地铁6号线	1.3×0.6×0.8	铝合金	单圆

1.1 管道隧道在不同位置条件下的缩径模型实验

1.1.1 隧道管线垂直

马程昊^[1]等以天津6号线一段工程为例,进行了模型实验,其几何相似率为1:10。试验方法是在隧道模型的外壁上包一圈圆形液囊,并根据液囊中的液体流量,模拟不同的土体流失情况,以探讨盾构法对管道的作用。试验结果显示,管道弯矩分布基本为“W”型,且随着盾构的持续进行,其土体损耗逐渐增大,其弯矩反应也随之增大。然而,利用液囊溢流法来模拟盾构工程中的土体损耗,由于流体的刚性较低,在土压力的作用下,会发生土体变形,从而使土体流失模式偏离(两圈相切),而其他三个液囊在排水后的形态也会发生变化。王正兴^[2]等根据高斯法,从管径、埋深、刚性等方面分析了砂质地层隧道施工对管道的影响。通过改变地基沉降方式,模拟了隧道施工过程中不同的土体流失情况,并对管道的沉降规律进行了分析。实验结果显示,当管道材料和埋深相同时,管道的变形随管道直径的增大而减小;在管道管径、材质、壁厚度等方面,管道的沉降量并不一定大于浅层管道,这是由于相邻的地基沉降槽宽系数的作用。因此,在对盾构施工过程中,管道受力的影响,不仅要考虑管道的埋深和隧道间距,还应将其综合考虑。此外,管隧竖直时,管道的沉降分布曲线与隧道轴线成“V”字形,最大的影响在管道的轴线之上,在管道的两端逐渐减小;管道弯矩的变化呈“W”型,由中间向下、向两边向上,当土壤损耗增大时,管道的弯矩反应更为明显。

1.1.2 隧道管线平行

魏超等^[3]在天津6#线的一段施工中,采用了与文献^[1]相同的试验条件,并对其进行了仿真。实验结果显示,目前盾构施工的开挖面为地下管线的最大劣势。在没有考虑到时间影响的情况下,在各液囊排出液体后,沿通道方向的土壤流失不均匀,在最长的区域,其沉降最大。胡愈等^[4]以北京地铁盾构隧道穿越大口径污水管道为研究对象,采用了1:15的模型实验。在实验中,隧道模型使用了不锈钢材料,并采用手工推动的方法,并通过旋转叶片来模拟盾构刀盘切割土壤,逐步进行施工。研究发现,在盾构施工中,垂直位移随盾构施工深度的增大而增大,最后达到20mm。总体来说,管道与隧道的平行状态对管道的影响最小,其沉降曲线趋于平缓,隧道两侧管道的沉降比隧道上方的沉降要小得多;在开挖面附近,管道的弯矩变化最大,处于最不利的位置。

1.1.3 隧道管线相交

王海涛^[5]等的实验模型以大连2#线一段为例,在沙土地层中,考虑了隧道在不同角度的交角情况下,对管线的变形特征进行了分析。模型实验采用1:32的几何相似率。实验采用了30°、45°和60°的斜交角。采用将盾构模型的外罩和外罩的空隙作为地基的损失进行了模拟,并研究了管道的沉降变形规

律。研究发现,管线的垂直位移沿隧道轴线的左右方向呈现出正常的趋势;在60~90度的管隧交角下,管道的变形最大,对管道的损伤也最大。黄晓康^[6]等以合肥3#线一施工区段为研究对象,进行了几何相似率1:50的模拟实验。通过对管隧在平行、垂直、斜交三种情况下的影响,重点分析了管线与隧道轴线的倾角为20°的情况下,在盾构施工过程中管线的沉降和弯矩变化规律进行了分析。试验采用自行设计的旋转式叶片进行了隧道开挖模拟,并由管片依次进行。实验结果显示,当管道发生沉降时,刚性连续的管道下沉曲线呈现出高斯分布规律的双峰型;在管道应力方面,仍表现为双峰型,且在左、右两条施工线上都有明显的拉应力峰值。由于模型实验所用的材料参数与基于相似原理计算的资料不能很好地吻合,因此只能对模型实验进行一次简单的处理,因此计算出了一些错误。整体上,管道和隧道在竖向斜交的情况下,管道的受力水平在竖向和平行的范围内,其沉降率与管隧的竖向情况相似;当管道应力发生变化时,隧道内出现了两次拉应力高峰。

1.2 离心模型测试

邵羽^[7]利用土工离心模型实验,对两线隧道施工对现有管道的影响进行了研究。模型实验的几何相似率为1:60,离心加速度为60g。采用管道内壁渗流的重液法模拟了隧洞开挖过程中的自重损失,采用外模释放重液体模拟土体流失的模拟计算。研究结果显示,不同深度的隧道对管道和地面的沉降量有很大的影响。但是,在实验中没有发现有无连续管道。张伦政^[8]以北京轨道交通6#线“运河明珠”项目为研究对象,进行了离心模型实验研究。从工地取土,进行了模型实验,其几何相似率为1:50。试验中,将水袋置于隧道模型周围,通过水袋释放水,模拟了隧道开挖过程中的土体流失,并对管线的沉降和受力规律进行了研究。研究发现,随着管道的靠近中心位置,管道的沉降量增大,并且从管道的末端开始逐渐减小;当管道弯矩发生改变时,从中间向末端,弯矩从正向向负向,呈现出由弯曲到拉伸再弯曲的全过程。但当离心泵两次加速达到设计工况时,并不能反映出盾构隧道在实际施工中的开挖情况,并且在管道下面会发生二次固结,增加沉降。结果显示:离心模型实验中,随着离心加速度的增加,各个点的沉降差别显著,从中心到两侧均有减小的趋势;管道的应力也会有改变,管道顶部的应力降低,底部的应力增加,造成管道的底部受拉和顶部的压力。

2 不足和建议

通过对实验室尺度模型实验和离心模型实验的总结,指出了存在的问题,并对其进行了改进。

(1)在实际施工中,管线多位于公路之下,路面受车辆荷载作用,对地基产生垂直向下的压力,在开挖过程中会对地面和管线产生一定的影响。目前,我国在进行的室内缩径模型

实验中，没有将地面上的压力分布及路面的硬壳层计算在内。为了解决这个问题，提出了在地面上放置铁板、砝码等重物，以确保地面受力，从而使管线的沉降、受力和地面沉降更为合理。

(2) 充填于模具盒内的土壤与模具盒之间存在着相互的作用力，使其难以符合实际的边界条件。此外，在室内尺度模型实验中，几何相似率很重要，过低不能保证实验结果的科学性和可靠性。提出了增大模型箱体尺寸、减少界面影响的措施；同时，为了减少摩擦力，在模箱的内壁上涂上油脂等物质，使实验结果更加接近实际的数据。目前的实验中，最大的几何相似比是 1:10，而模型箱体的大小也相对较大。由于离心机的体积有限，在进行离心模型实验时，必须对模型的尺寸进行优化，使其形状尽量符合原型。

(3) 在管道设计方面存在的主要缺陷：①目前在模型试验中所采用的管道大都为空气管道，在实际开挖前，许多管道都存在着初始应力，如管道内压力，如管道、天然气管道等。提出在实际情况下，应尽可能地对其进行仿真。比如，考虑到管道内的温度，可以将一定功率的灯泡串联在管道中，以达到管道内的温度压力，管道两端必须关闭，只留一条电线，以避免土壤侵入管道，从而损坏灯泡。②本实验所使用的管道均未损坏，但在实际应用中，管道会出现断裂现象。在此基础上，

提出了在试掘过程中，对管道有损伤的情况进行研究，并对其与常规管道的差异进行了分析。③目前所研究的管道多为连续管道，对于不连续管道（有连接）的研究很少，且仿真难度较大，因此，今后要进一步开展这方面的工作。

(4) 许多模型实验都是在简单的基础上进行，没有考虑到地下水的影响。但在实际的隧洞施工中，由于不同的土壤成分存在着不同的混合。提出了在工程设计中应充分考虑各种地基在长期共同作用下的蠕变作用和地下水位变化对管线的影响。

(5) 目前已有很多方法来模拟盾构隧道的施工，但一些方法（例如液囊释放液）与实际的盾构法相比存在很大差异。同时，盾构工程的三维动力学仿真也是一个难点。此外，对于双圆盾构、类矩形盾构、矩形盾构、马蹄形盾构等盾构进行了仿真研究。

3 结语

临近管道开挖是盾构工程中最普遍、最危险的工作状态，也是工程模拟试验中的一个重要课题。与其他的研究方法相比，采用模型实验法是一种更好、更可靠的方法。通过对某一具体工程进行的模型实验，总结出了该隧道施工中管道的沉降与受力规律，并提出了目前该领域的一些问题，为以后的研究工作提供借鉴。

参考文献：

- [1] 马程昊,徐鹏举,魏超.盾构隧道施工对近接管线影响模型试验研究[J].山西建筑,2016,42(1):169-171.
- [2] 王正兴,缪林昌,王冉冉,等.砂土中隧道施工对相邻垂直连续管线位移影响的模型试验研究[J].岩土力学,2013,34(S2):143-149.
- [3] 魏超,徐鹏举,马程昊.管隧平行下盾构隧道与管线的模型试验研究[J].山西建筑,2016,42(2):160-162.
- [4] 胡愈,姚爱军,张剑涛,等.地铁施工对上覆平行雨污管影响的试验研究与数值分析[J].隧道建设,2018,38(5):797-804.
- [5] 王海涛,金慧,袁大军.砂土地层隧道施工对埋地管道影响的模型试验研究[J].土木工程学报,2017,50(S2):118-126.
- [6] 黄晓康,卢坤林,朱大勇.盾构施工对不同位置地下管线变形的影响模拟试验研究[J].岩土力学,2017,38(S1):123-130.
- [7] 邵羽.盾构双隧道施工对临近埋管的影响研究[D].南宁:广西大学,2017,3(1):13-16.
- [8] 张伦政.地下管线与土层相互作用数值模拟与离心模型试验研究[D].北京:北京交通大学,2014,9(1):11-13.