

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610116618. X

[51] Int. Cl.

E21D 9/00 (2006.01)

E21D 9/093 (2006.01)

E21D 11/00 (2006.01)

[43] 公开日 2007年3月21日

[11] 公开号 CN 1932244A

[22] 申请日 2006.9.28

[21] 申请号 200610116618. X

[71] 申请人 上海隧道工程股份有限公司

地址 200082 上海市大连路118号

[72] 发明人 周文波 顾春华 吴惠明 吴列成

张曙 郭士峰 潘浩

[74] 专利代理机构 上海交达专利事务所

代理人 王锡麟 王桂忠

权利要求书4页 说明书12页

[54] 发明名称

双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物的施工方法

[57] 摘要

一种双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物的施工方法，属于建筑工程领域。本发明包括：一、穿越建筑物或构筑物的前期准备；二、对建筑物或构筑物预先采取保护措施，包括变形缝即薄弱区域加固、隔离桩隔离施工；三、施工监测，包括建筑物或构筑物沉降监测、地表沉降监测、深层监测；四、双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物过程，包括土压力设定、浆液选取、推进速度、刀盘转速、正面土体改良、盾构背部注浆、同步注浆、拼装过程；五、双圆盾构穿越后的二次注浆技术措施，包括：利用盾构同步注浆系统进行二次注浆；利用海纳泵进行壁后二次注浆。本发明不仅实现了双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物施工，也完好保存了建筑物或构筑物。

1、一种双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物的施工方法，其特征在于，包括如下步骤：

第一、穿越建筑物或构筑物的前期准备，包括：（1）资料收集，（2）试验分析，（3）三维数值仿真模拟，找到建筑物或构筑物薄弱区域，（4）建立中央控制室，24小时监控，（5）技术交底，让施工人员清楚施工方案；

第二、对建筑物或构筑物预先采取保护措施：对建筑物或构筑物薄弱区域进行加固或保护；

第三、施工监测，包括：（1）建筑物或构筑物沉降监测，（2）地表沉降监测，（3）深层土土体孔隙水压力和土压力的监测；

第四、双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物过程

（1）土压力设定：穿越施工前，对建筑物或构筑物自重进行估算，然后再根据计算结果得到土压力；

（2）浆液选取：该区间同步注浆和二次注浆选用同一种双液浆，每 1 m^3 浆液中含有：水泥 275~375kg、水 750~785 升、陶土粉 55~80kg、含有丙稀磺酸叔基盐的水溶性高分子材料的双液浆稳定剂 3.6L/水玻璃 77L，初凝在 6~9 秒范围内；

（3）推进速度：施工过程中尽量保持低速、稳定推进，按照每环的注浆量总量、上下 7：3 的分配比例，并结合设备最低流量得到最低推进速度；

（4）刀盘转速：在穿越建筑物或构筑物施工过程中，刀盘转速控制在 0.4 rpm；

（5）正面土体改良：在施工过程中，通过在刀盘上部的注浆孔压注水或膨润土来改良刀盘前方土体；

（6）、天端土压力：在推进过程中尽可能缩小天端土压力的波动范围，当天端土压力超过 200kpa 时应停止推进，等天端应力释放后再恢复推进；

（7）盾构背部注浆：在盾构穿越建筑物或构筑物过程中，利用盾构机背部的注浆孔压注膨润土，每环膨润土压注量为 $0.3\sim 0.5\text{ m}^3$ ，分多次压注，确保天端土压力稳定，防止出现背土现象；

(8) 同步注浆：盾沟切口到达建筑物或构筑物区域无需大幅度调整同步注浆量，只需要调整土压力来控制切口处的建筑物沉降；盾构盾尾到达建筑物或构筑物区域根据自动水准管监测数据以 0.2 m^3 /次为单位进行调节注浆量；

(9) 拼装过程：拼装过程中发现前方土压力下降，采用螺旋机反转的方法，即将螺旋机机内的土体反填到盾构机前方，维持土压力；

第五、双圆盾构穿越后的二次注浆技术措施

(1) 利用盾构同步注浆系统进行二次注浆：在拼装过程，建筑物或构筑物所在盾尾区域沉降超过 1mm ，每环管片拼装工序到拼装立柱时利用盾构注浆设备对上部进行二次注浆，注浆量为 $0.5\sim 1.0 \text{ m}^3$ ；拼装时间较长或出现设备故障时，对盾尾区域压注 0.5 m^3 ；

(2) 利用海纳泵进行壁后二次注浆：①每环推进结束后半小时，对该施工环后的第 3 环进行二次注浆：采用左、右隧道砌衬顶部注浆孔，每环左、右各压注 1 m^3 双液浆，注浆压力为 0.2Mpa ，当二次注浆效果没有达到设定目标时增加 0.5m^3 压浆量，或者更改注浆孔进行二次注浆，单次注浆 $0.5 \sim 1.0\text{m}^3$ ；②局部利用二次注浆施工抬升建筑物或构筑物，以 0.5 m^3 /次 $\sim 0.8 \text{ m}^3$ /次为单位进行施工；③当盾构穿越建筑物或构筑物后、在其底部少量压注一次单液浆，使单液浆均匀分布于其底部，缩小建筑物或构筑物底部平面的各区域的差异沉降。

2、根据权利要求 1 所述的双圆盾构近距离穿建筑物或构筑物的施工方法，其特征是，双圆盾构近距离穿越过程中，所述同步注浆，具体如下：

①盾构推进前先压注 $0.2\sim 0.4 \text{ m}^3$ 浆；

②当盾构停止推进前盾尾测点普遍抬升量大，则停止注浆系统推进 $1\sim 2\text{mm}$ ；

③、当盾构停止推进前盾尾测点普遍上抬量下，则按正常顺序停止推进；

④、当盾构停止推进前盾尾测点普遍下沉，则最后停止注浆系统或延长注浆系统工作，增加 $0.2 \text{ m}^3\sim 0.4 \text{ m}^3$ 同步注浆量。

3、根据权利要求 1 所述的双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物的施工方法，其特征是，穿越的前期准备中，所述资料收集，具体包括：

①、收集有关构造物的图纸资料，并进行现场核实建筑物或构筑物的结构形式；

②、分析建筑物或构筑物或其基础的埋深、所处土层的地质条件；

③、确定建筑物或构筑物与隧道砌衬的相对位置，确定不同区域的施工技术措施；

④、确定建筑物或构筑物是否有维护桩，以不影响盾构推进、不影响结构安全采取技术措施。

4、根据权利要求 1 所述的双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物的施工方法，其特征是，穿越的前期准备中，所述试验分析，包括：

①在穿越建筑物或构筑物前进行同步注浆试验段，调整同步注浆孔位，分孔编组并结合 200%、250%、300%的注浆量，分析土体脱出盾尾阶段和后期沉降阶段的沉降变化量，分析该区间浆液与土体的综合性能，通过对该区域的数据分析了解试验前地表沉降变化情况和规律，确定穿越阶段同步注浆量的范围；

②在穿越建筑物或构筑物前进行二次注浆试验段，采用壁后注浆形式，利用双圆隧道左右两侧上部标准块管片处的两个注浆孔，及大海鸥处注浆孔进行壁后补压浆作业，摸索不同浆液类型、注浆点和注入量对土体沉降的影响规律，以便于增强对地表及建筑物或构筑物的后期沉降控制能力。

5、根据权利要求 1 所述的双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物的施工方法，其特征是，施工监测中，所述的建筑物或构筑物沉降监，是指：采用静力水准沉降自动监测系统对房体沉降进行监测，其 n 分钟收集一次监测数值，并立即反馈到中央控制室，测点布置在牢靠的非变形区并形成沉降监测控制网；

所述的地表沉降监测，是指：在建筑物或构筑物的周围或地表沿盾构轴线进行横、纵向测点布设，监测隧道推进区域内的地表沉降；

所述的深层土土体孔隙水压力和土压力的监测，是指：在双圆盾构穿越建筑物或构筑物前或过程中，进行深层土土体孔隙水压力和土压力的监测，参照双圆盾构施工引起的应力场分析建筑物或构筑物的沉降趋势，并采取相应技术措施。

6、根据权利要求 1 所述的双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物的施工方法，其特征是，所述的对建筑物或构筑物预先采取保护措施，具体为：

(1) 现场测量放样，确定穿越区域，进行现场勘察核实建筑物或构筑物在穿越区域是否存在变形缝，并利用构建物的型钢制作反梁，保护或加固构建物的整体性，以避免穿越中及后期的差异沉降量；

(2) 部分构建筑物或构筑物在盾构侧向影响范围内，在构建筑物或构筑物与隧道轴线之间制作直径 300mm、桩心间距 450mm、深 h 米的隔离桩，隔离桩用于减少盾构掘进的时对周围土体的挠动。

7、根据权利要求 1 所述的双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物的施工方法，其特征是，所述的土压力设定，具体为：

穿越施工前，按钢筋混凝土的重度及该建筑的结构尺寸对建筑物或构筑物自重 P_0 进行估算，然后统计穿越区域各层覆土重度 γ_i 及各层覆土平均厚度 h_i ，根据土体静压力公式 $P=K_0 \times (P_0 + \gamma_i \times h_i)$ ，来计算此区域内的设定土压力 P ，侧向压力系数 K_0 取 0.7~0.9；然后依据此计算值并结合深层监测数据确定盾构切口刚进入建筑物或构筑物区域时的土压力设定值。

双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物的施工方法

技术领域

本发明涉及的是一种隧道工程技术领域的施工方法，特别是一种双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物的施工方法。

背景技术

盾构法隧道施工技术已经在能源、交通等领域的隧道建设中得到广泛应用，已成为地下空间开发的核心技术。双圆盾构能节约地下空间资源、提高地铁线路在狭窄道路的穿行能力、有效减少隧道掘削断面面积与工作井宽度或深度和降低工程造价，将在今后的隧道建设中得到广泛应用。随着城市密集度不断提高，高层建筑物的不断增加，而地下又布满了众多管线，双圆盾构施工难免近距离穿越各类建筑物或构筑物。一般情况下，在双圆盾构将近距离穿越建筑物或构筑物时，会采取拆迁建筑物或构筑物的方法以降低风险，然而拆迁必然增加了工程投资，也有可能延长工期。为了加快工程建设的进度，减少城市动迁量和工程投资，可采用双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物施工技术。

经过对现有技术的文献检索发现，张正、马华明等在《建筑施工》（第28卷第2期）上发表《双圆盾构推进中对地下大口径原水管涵保护的施工技术》一文，该文介绍了双圆盾构推进中对地下大口径原水管涵保护的施工流程：前期准备；对管涵预先采取保护措施；双圆盾构穿越管涵阶段的措施：包括双圆盾构正面土压力的控制、推进速度控制、地面注浆、信息化施工等；双圆盾构穿越管涵后的技术措施；施工监测。其较全面地描述了双圆盾构正常推进施工各参数的设定原则和控制范围，针对原水箱涵的保护和施工监测也有详细描述，对双圆盾构正常施工有全面的指导作用，对穿越与原水箱涵类似建筑物或构筑物也有一定指导作用。但其对双圆盾构穿越原水箱涵施工过程中的各参数如何变化无详细描述。如何控制后期沉降无详细描述。

发明内容

本发明的目的在于克服现有技术中的不足，提供一种双圆盾构近距离穿越

建筑物或构筑物的施工方法。使其针对双圆盾构穿越埋于地下的原水箱涵、共同沟、建于地表的多层民房等建筑物或构筑物沉降控制较难的特点，在充分的前期准备、科研研究、规范施工、后期精准沉降控制的情况下，双圆盾构可以成功近距离穿越建筑物或构筑物，不仅避免了不必要的动迁、加快工程进度，同时也减少了工程投资。

本发明是通过以下技术方案实现的，本发明包括如下步骤：

第一、穿越建筑物或构筑物的前期准备

(1)、资料收集：

- ①、收集有关建筑物或构筑物的图纸资料，并进行现场核实其结构类型。
- ②、分析建筑物或构筑物或其基础的埋深、所处土层的地质条件。
- ③、确定建筑物或构筑物与隧道砌衬的相对位置，确定不同区域的施工技术措施。
- ④、确定建筑物或构筑物是否有围护桩，以不影响盾构推进、不影响结构安全的情况下采取技术措施。

结合穿越前的现状分析制定施工方案，方案中针对不同的工况施工体现出详细的技术措施及控制目标。

(2)、试验分析：

①、在穿越建筑物或构筑物前进行同步注浆试验段，调整同步注浆孔位，分孔编组并结合 200%、250%、300%的注浆量，分析土体脱出盾尾阶段和后期沉降阶段的沉降变化量，分析该区间浆液与土体的综合性能，通过对该区域的数据分析可以简单地了解试验前地表沉降变化情况和规律，确定穿越阶段同步注浆量的范围。

②、在穿越建筑物或构筑物前进行二次注浆试验段，采用壁后注浆形式，利用双圆隧道左右两侧上部标准块管片处的两个注浆孔，及大海鸥处注浆孔进行壁后二次注浆作业，摸索不同浆液类型、注浆点和注入量对土体沉降的影响规律，以便于增强对地表及建筑物或构筑物的后期沉降控制能力。

(3)、采用三维非线性有限元模拟分析双圆盾构穿越建筑物工况条件的地面变形，同时考察了通过考查土压力、土体模量、同步注浆量及二次注浆量等单因素对建筑物变形的影响规律，从而找出双圆盾构推进过程中各主要施工参

数对建筑物变形影响程度。找出底板最大沉降点。预计出穿越过程中建筑物各点的沉降范围、整体的倾斜趋势。

(4)、建立中央控制室：建立中央控制室并安排技术人员 24 小时轮换值班，监视盾构施工参数和监测数据的变化，对数据进行综合分析及时将结论传达给盾构工作面。

(5)、技术交底：在穿越建筑物或构筑物前，对所有施工人员讲解施工方案，使每个参与施工的工作人员清楚了解穿越过程的技术措施，清楚各环节的控制原则。

第二、对建筑物或构筑物预先采取保护措施

(1)、现场测量放样，确定穿越区域，进行现场勘察核实建筑物或构筑物在穿越区域是否存在变形缝，确定变形缝重要性，并采取保护或是加固的相应技术措施，可利用型钢制作反梁以增加建筑物或构筑物的整体性、减少穿越中及后期的差异沉降量。

(2)、部分建筑物或构筑物在盾构侧向 x 米内（双圆盾构侧向影响范围内），条件允许的情况可制作直径 300mm、轴心间距 450mm、深 h 米的隔离桩，其隔离桩主要用于减小建筑物基础和土体受盾构推进影响，有效控制盾构施工对邻近建筑物的影响。另外在局部无法施工树根桩的区域，采用分层注浆进行补充加固。

第三、施工监测

(1)、建筑物或构筑物沉降监测：采用静力水准沉降自动监测系统对房体沉降进行监测，测点布置在牢靠的非变形区并形成沉降监测控制网。监测系统 n 分钟收集一次监测数值，并立即反馈到中央控制室。便于施工技术人员及时了解施工现状和相应区域变形情况以及及时调整施工参数

(2)、地表沉降监测：对盾构影响范围内的建筑物或构筑物周围地表进行人工监测，安排专人 24 小时观察地面变形情况，每天监测三次。出现异常情况及时报告。动态信息传递及反馈。每一次地面监测结果都及时汇总给施工技术部门，以便于施工技术人员结合静力水准管监测数据判断施工状况。在穿越建筑物之后，测量继续监测，至到建筑物稳定后可适当的减小监测的密度。

(3) 在双圆盾构穿越建筑物或构筑物前或过程中进行深层土土体孔隙水压力、土压力、地层变形的监测，参照双圆盾构施工引起的应力场分析建筑物或

构筑物的沉降趋势，指导盾构切口土压力设定。并对双圆盾构穿越建筑物或构筑物过程中的重要环节进行相关理论分析，得出双圆盾构在施工土层中施工引起得土体变形规律和土体应力分布规律，预计土层分层沉降以及水平位移在盾构穿越过程中的变化情况。

第四、双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物过程

(1)、土压力设定

穿越施工前，按钢筋混凝土的重度及该建筑的结构尺寸对建筑物或构筑物自重 P_0 进行估算，然后统计穿越区域各层覆土重度 γ_i 及各层覆土平均厚度 h_i ，根据土体静压力公式 $P=K_0 \times (P_0 + \gamma_i \times h_i)$ ，来计算此区域内的设定土压力 P ，侧向压力系数 K_0 取经验值（一般取 0.7~0.9）。

然后依据此计算值并结合深层监测数据确定盾构切口刚进入建筑物或构筑物区域时的土压力设定值。在实际施工过程中，根据建筑物或构筑物及地面监测情况，再对此设定值进行适当调整。

(2)、浆液选取

浆液质量直接影响建筑物或构筑物或土体脱出盾尾沉降量、后期沉降量，同步注浆和二次注浆选用同一种双液浆，每 1m^3 浆液中含有：水泥 275~375kg、水 750~785 升、陶土粉 55~80kg、含有丙稀磺酸叔基盐的水溶性高分子材料的双液浆稳定剂（公开销售的 GD66 型稳定剂）3.6L、水玻璃 77L，初凝在 6~9 秒范围内；浆液与土体结合的性能直接影响到后期沉降的周期和沉降量。

(3)、推进速度

施工过程中尽量保持低速、稳定推进，确保盾构均衡、匀速地穿越建筑物或构筑物，减少盾构推进对周边土体的扰动，以免对房体产生不利影响。

双圆盾构机受同步注浆设备的流量限制，过低的推进速度则无法实现注浆的同步性，按照每环 $V\text{m}^3$ 的注浆量总量、上、下为 3:7 的比例，并结合设备最低流量来推算最低推进速度。

(4)、刀盘转速

在穿越建筑物或构筑物施工过程中，需充分发挥刀盘的性能，减少刀盘旋转对土体的扰动，注意观察刀盘扭矩和左右刀盘偏差角变化情况，确保刀盘稳定旋转。

(5)、正面土体改良

在施工过程中，在刀盘上部的注浆孔压注水或膨润土，通过土体与水或膨润土的混合来改良刀盘前方土体的和易性，减少刀盘扭矩和降低刀盘驱动螺旋机油压；增加其流动性，确保出土流畅，防止土体在土仓内堆积。

(6)、天端土压力

由于覆土浅，天端土压力的变化可较反映地表沉降变化情况，因此在推进过程中将天端土压力作为一重点控制对象，尽可能缩小天端土压力的波动范围。当天端土压力超过 200kpa 时应停止推进，等天端应力释放后再恢复推进。

(7)、盾构背部注浆

为减少因盾构背土带来的不利影响，在盾构穿越建筑物或构筑物过程中，视实际情况利用盾构机背部的注浆孔压注膨润土，降低背部土体与盾构机之间粘着力，减少背土现象产生。

每环膨润土压注量为 $0.3\sim 0.5\text{m}^3$ ，分多次压注，要求根据推进速度以及天端土压力的变化情况压注浆液。

(8)、同步注浆

盾构切口到达 5 层民房区域无需大幅度调整同步注浆量，只需要调整土压力来控制切口处的建筑物沉降。

本发明使用双圆盾构，盾构机体长 7.14m，同步注浆孔位于盾尾末端距位于盾构前端刀盘相距 7.14 米，同步注浆是填充盾尾管片外表面与土体之间产生的建筑空隙。因此盾构切口到达 5 层民房区域无需大幅度调整同步注浆量，只需要调整土压力来控制切口处的建筑物沉降。

盾构推进时，盾尾内暗藏的管片逐渐脱出盾尾，管片外弧与土体之间便产生了厚 110mm 的环形建筑空隙，同步注浆的目的就是用浆液快速填充此建筑空隙，防止土体塌落引起地表沉降。双圆盾构构造的特点决定了测点脱出盾尾后沉降变化较为明显。当盾尾到达建筑物区域不能大幅度调整同步注浆量，注浆量少则引起土体与管片间的建筑空隙将迅速被周围土体所淹埋，注浆量大易产生浆液前窜，引起盾构背部背土。当盾构盾尾到达建筑物或构筑物区域根据自动水准测点反馈数据以 0.2 m^3 /次（环）为单位进行增、减调节同步注浆量。

①、盾构推进前应先压注 $0.2\sim 0.4\text{ m}^3$ 浆，防止开始推进时引起盾尾区域土体沉降。

②、盾构停止推进前当盾尾测点普遍抬升量较大时，则停止注浆系统推进1~2mm。

③、盾构停止推进前当盾尾测点普遍上抬量不大时，则按正常顺序停止推进。

④、盾构停止推进前当盾尾测点普遍下沉时，则最后停止注浆系统或适当延长注浆系统工作，增加 $0.2\text{ m}^3\sim 0.4\text{ m}^3$ 同步注浆量。

(9)、拼装过程

在盾构进行拼装的状态下，由于千斤顶的收缩，必然会引起盾构机的后退，因此在盾构推进结束之后拼装过程中，回缩的千斤顶应尽可能的少，以满足管片拼装即可。拼装过程中发现前方土压力下降，可以采用螺旋机反转的方法，即将螺旋机机内的土体反填到盾构机前方，因为盾构前方土仓的空间几乎不变，将土体反填倒土仓内，等于在体积不变的空间内增加介质，必然增加压力，从而起到维持土压力的作用。拼装结束之后，应当尽可能快地恢复推进，减少土体沉降。

第五、双圆盾构穿越后的二次注浆技术措施

(1)、利用盾构同步注浆系统进行二次注浆

在拼装过程，建筑物或构筑物所在盾尾区域沉降超过1mm，每环管片拼装工序到拼装立柱时利用盾构注浆设备对上部进行二次注浆，注浆量为 $0.5\sim 1.0\text{ m}^3$ 。

拼装时间较长或出现设备故障时，对盾尾区域压注 0.5 m^3 双液浆。

(2)、利用海纳泵进行壁后二次注浆

土体后期沉降占整个由盾构推进施工引起的土体沉降的很大部分，通过脱出盾尾的隧道管片进行补充压注浆液，来起到填充建筑空隙，阻止土体后期沉降的作用，从而维持建筑物的稳定（二次注浆采用与同步注浆相同配比的双液浆）。

①、每环推进结束后半小时，对该施工环后的第3环进行二次注浆：采用左、右隧道砌衬顶部注浆孔，每环左、右各压注 1.0 m^3 双液浆，注浆压力为 0.2Mpa ，当二次注浆效果没有达到设定目标时增加 0.5 m^3 压浆量，或者更改注浆孔进行二次注浆，单次注浆 $0.5\sim 1.0\text{ m}^3$ ，单次、单孔最大压入量不应超过

2m³。如上部中心管片为大海鸥，可改为利用大海鸥块注浆孔进行单次压注 1.0 m³~1.5m³浆液。

②、局部利用二次注浆施工抬升建筑物或构筑物，应参考试验段结论，以 0.5 m³ /次~0.8 m³/次为单位进行施工，单次注浆过大虽然抬升建筑物或构筑物效果明显，但影响范围大，尤其建筑物或构筑物荷载不均匀分布。

③、当盾构穿越建筑物或构筑物后、可在建筑物或构筑物底部少量压注一次单液浆，使单液浆均匀分布于建筑物或构筑物底部，可缩小建筑物或构筑物的各区域的差异沉降。

本发明通过三维非线性有限元模拟沉降趋势；监测深层土体孔隙水压力和土压力的监测得到了双圆盾构在粘性土中施工的应力场，结合调整双圆盾构施工技术，改变同步注浆工艺，解决了在盾构背部、脱出盾尾沉降量大的难题；通过调整二次注浆工艺，解决了建筑物或构筑物后期沉降大的难题第一次实现了双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物的难题，使双圆盾构施工技术迈上了一个新的台阶。

具体实施方式

结合本发明的内容提供以下实施例：

以某轨道交通双圆盾构区间段近距离穿越多层建筑物为例：该工程采用 $\phi 6.52\text{m} \times W11.12\text{m}$ 的加泥式土压平衡双圆盾构进行施工，盾构机壳体长度为 7.145m，隧道的尺寸为 $\phi 6.3\text{m} \times W10.9\text{m}$ 。

该工程分为 A、B 两个区间段，在 A 区间段双圆盾构机已成功近距离穿越原水箱涵，双圆盾构穿越原水箱涵时最小净距仅有 1.547m，隧道中心线标高约为 -7.895m，为坡度 2‰ 的上坡段，平面为直线段。

在 B 区间段砌衬 409 环~447 环双圆盾构双圆盾构机穿越张杨路南侧共同沟及其围护结构，盾构机顶部与共同沟之间最小净距约为 0.84m，且穿越段有两条施工缝。

在 B 区间段砌衬 449 环~482 环双圆盾构成功近距离“L”穿越 5 层民房。此建筑物平面为“L”形，一侧为 5 层结构；一侧为 2 层结构；转角处为走廊。该建筑物始建于 1987 年，其下部为一框架结并且存在两条变形缝。盾构机与地下室间的净距为 2.22m~1.02m 左右。且三个区域交界处存在两条变形缝。该区段隧道轴线平面为 R420m 的小半径左曲曲线；隧道纵剖面为 13.786‰~27‰的

上坡段。

从盾构切口进入建筑物到盾尾完全脱离建筑物，共用了 15 天时间。

下面以双圆盾构近距离穿越 5 层建筑为例，具体实施如下

第一、穿越建筑物的前期准备

(1)、资料收集：

①、建筑物为“L”并存在地下室，其按穿越顺序分为三个区域：一侧为 5 层建筑；拐角处只有地下通道无地表建筑；一侧为 2 层建筑。三个区域以变形缝分隔。基础为板式基础。

②、建筑物基础位于淤泥质粉质粘土和粘质粉土两层土中，盾构推进主要位于淤泥质粉质粘土和淤泥质粘土两层土中。

③、建筑物与隧道砌衬的相对位置：五层建筑位于砌衬 447 环~455 环的左上部；地下通道、二层建筑物位于砌衬 456~482 环的上部。

(2)、试验分析：

①、在 63~116 环调整同步注浆孔位结合 200%、250%、300%的注浆量，分为 5 种工况进行同步注浆试验，穿越前同步注浆量设定在理论建筑空隙的 300%左右。

②、在 391 环~402 环进行二次注浆试验，决定二次注浆采用双液浆。确定了利用不同注浆孔位进行单次注浆 0.5 m³、1.0 m³的有效影响范围为 3.0m。

(3)、建立三维非线性有限元数值仿真模拟双圆隧道施工对周边建筑物的影响，模拟了双圆盾构近距离穿越过程中建筑物的沉降曲线、及建筑物的变形趋势。根据有限元计算结果预计盾构切口最先切入点沉降量将会最大，其他各点随着盾构的推进，基础底板的沉降和差异沉降先是随之增大，至切口开始脱离民房，差异沉降减小，最大沉降也开始稳定。

(4)、建立中央控制室：建立中央控制室并安排技术人员 24h 值班，监视盾构施工参数和监测数据的变化，对数据进行综合分析及时将结论传达给盾构工作面。配备三台电脑，一台用于监视盾构施工参数，一台用于收集监测数据，一台用于数据处理。

(5)、技术交底：在穿越建筑物前，对所有施工人员讲解施工方案及控制原则。

第二、对建筑物预先采取保护措施

(1)、更换建筑物变形缝的连接、防水材料，提高其强度和防水等级，避免进距离穿越过程中变形缝漏水、漏浆。

(2)、2幢6层居民楼与隧道的最小水平净距仅为3.5m左右，为减小盾构施工对居民楼的影响，在居民楼和隧道之间用隔离桩进行隔离。隔离桩直径为300mm，桩心距为450mm左右，桩长为13m，位于盾构机底部下方1m，对隔离桩无法施工的地方进行分层注浆，补充加固，分层注浆共施工15孔。

第三、施工监测

(1)、建筑物沉降监测：采用基康GK-4680静力水准沉降自动监测系统对房体沉降进行实时监测，在地下室底板布置了18个静力水准管，测点布置在牢固的非变形区并形成沉降监测控制网。该监测系统五分钟收集一次监测数值，并立即反馈到中央控制室。

(2)、地表沉降监测：在被穿越的建筑物的四周和地表沿盾构轴线进行横、纵向测点布设，每日测量三次，监测建筑物的倾斜率和隧道推进区域内的地表沉降。

(3)在双圆盾构穿越建筑物前，进行深层土土体孔隙水压力和土压力的监测，参照双圆盾构施工引起的应力场制定了建筑物的沉降控制措施。

第四、双圆盾构近距离穿越建筑物过程

(1)、土压力设定

切口到达5层民房区域土压力设定在148kpa左右，盾构切口到达穿越2层民房区域以2kpa/次下调到136kpa。

(2)、浆液选取

该区间同步注浆和二次注浆选用同一种双液浆，其每1m³浆液中含有：水泥275~375(kg)、水750~785(升)、陶土粉55~80(kg)、GD66型稳定剂3.6L/水玻璃77(L)，初凝在6~9秒范围内。

双液浆GD66型稳定剂是一种水溶性高分子材料，含有丙稀磺酸叔基盐、激发剂等，其主要功能为调整水泥浆液的水化速度，控制水泥浆凝结时间，提高浆液和易性、减少浆液的输送阻力的作用，并有助于提高浆液抗压强度等。

主要性能指标：

外观：棕色透明液体；比重(20°C)：1.13±0.01；

固体含量(%)：25±1.0；PH值(20°C)8.5±0.02

生产厂家：上海隧龙科技发展有限公司

(3)、推进速度

按照每环 12m^3 的注浆量、上下 7:3 的分配比例，并结合设备最低流量来推算最低推进速度，整个穿越过程推进速度控制在 $12\text{mm}/\text{分钟}$ 左右。

(4)、刀盘转速

在穿越建筑物施工过程中，刀盘采用 0.8rpm 转速，充分发挥刀盘的性能，减少刀盘旋转对土体的扰动。

(5)、正面土体改良

在施工过程中，通过在刀盘上部的注浆孔压注水或膨润土来改良刀盘前方土体，增加土体的和易性，减少刀盘扭矩和降低螺旋机油压。

(6)、天端土压力：在推进过程中尽可能缩小天端土压力的波动范围，当天端土压力超过 200kpa 时应停止推进，等天端应力释放后再恢复推进；

(7)、盾构背部注浆

在盾构穿越建筑物过程中，利用盾构机背部的注浆孔压注膨润土，每环膨润土压注量为 $0.3\sim 0.5\text{m}^3$ ，分多次压注，确保天端土压力稳定，降低背部土体与盾构机之间粘着力。

(8)、同步注浆

依据试验结果和正常推进过程同步量来确定穿越过程的同步注浆量，穿越前同步注浆量为 12m^3 ，因此盾沟切口到达 5 层民房区域没有大幅度调整同步注浆量，盾构盾尾到达建筑物区域可根据测点反馈数据以 0.2m^3 为单位进行调节注浆量，盾构距离穿越 5 层民房过程同步注浆量设定在 $12.0\text{m}^3\sim 13.4\text{m}^3$ （为理论建筑空隙的 $300\%\sim 335\%$ ）。

①、盾构推进前先压注 $0.2\sim 0.4\text{m}^3$ 浆。

②、盾构停止推进前盾尾测点普遍抬升量较大，则停止注浆系统推进 $1\sim 2\text{mm}$ 。

③、盾构停止推进前盾尾测点普遍上抬量不大，则按正常顺序停止推进。

④、盾构停止推进前盾尾测点普遍下沉，则最后停止注浆系统或适当延长注浆系统工作时间，增加 $0.2\text{m}^3\sim 0.4\text{m}^3$ 同步注浆量。

(9)、拼装过程

在盾构推进结束之后拼装过程中，按照拼装的需要少量回收千斤顶可。拼装过程中发现前方土压力下降，采用螺旋机反转的手段，即将螺旋机机内的土体反填到盾构机前方，维持土压力。拼装结束之后，尽快地恢复推进，减少土体沉降。

第五、双圆盾构穿越后的二次注浆技术措施

(1)、利用盾构同步注浆系统进行二次注浆

每环管片拼装工序到拼装立柱时利用盾构注浆设备对上部进行二次注浆，单次注浆量为 $0.5\sim 1.0\text{ m}^3$ 。

拼装时间较长或出现设备故障应对盾尾区域单次、单孔压注 0.5 m^3 。

正常推进，每天三次人工监测，报表时间延后，一般超过 -10mm 就要考虑二次注浆进行沉降控制。（正常推进情况下地表沉降控制范围为 $+10\text{mm}\sim -30\text{mm}$ ）

穿越民房，控制目标是 $+5\text{mm}\sim -5\text{mm}$ ，自动水准监测 5 分钟反馈一次监测数据，数据反应及时，一般两次数据发生明显沉降或已产生沉降趋势，单次沉降 0.5mm 以上、多次数据累计沉降超过 1mm 必须采取措施。

(2)、利用海纳泵进行壁后二次注浆

①、每环推进结束后半小时，对该施工环后的第 3 环进行二次注浆：采用左、右隧道砌衬顶部注浆孔进行二次注浆，每环左、右各压注 1 m^3 双液浆，注浆压力为 0.2Mpa ，当压浆效果不明显时每个注浆孔增加 0.5m^3 浆量；或改用大海鸥块注浆孔进行单次压注 $1.0\text{ m}^3\sim 1.5\text{m}^3$ 浆液。。

②、局部利用二次注浆施工抬升建筑物，参考试验段结论，以 $0.5\text{ m}^3 / \text{次}\sim 0.8\text{ m}^3 / \text{次}$ 为单位进行施工。

③、当盾构穿越建筑物后、在 466 环右顶压注 1.5 m^3 单液浆，使单液浆均匀分布于建筑物底部，有效缩小了建筑物的各区域的差异沉降。

该工程采用本发明工艺后取得了如下效果：

1、隧道平面左曲半径为 $R420\text{m}$ ；隧道处于 $24\%\sim 27\%$ 上坡的变坡段；盾构与民房底板底部净距为 $2.0\text{m}\sim 1.02\text{m}$ 的情况下穿越成功，实现了双圆盾构近距离穿越建筑物或构筑物的工程实例。

2、该工程克服了建筑物或构筑物在脱出双圆盾构盾尾沉降量大的技术难点，并有效控制了建筑物或构筑物的后期沉降。通过后期监测该多层建筑五

层、二层最终沉降在+1mm~-5mm 范围内，地下通道最终沉降在+5mm~0mm 范围内。该多层建筑通过专业部门鉴定已恢复正常使用。