

## 文保建筑平移施工工艺——以上海张园为例

张弛 施陈 章谊

上海建工二建集团有限公司, 上海 200080

**[摘要]**文中介绍了如何根据工程要求和三种平移方式的特点做出比选,并确定平移路线。随后,研究了平移对既有文保建筑的影响。重点研究了传统砖木和砖混石库门建筑平移的整体工序。在整个施工过程中,又详细研究了九种专项工艺,主要包括:托盘梁、顶升反力基础、整体顶升、平移筏板,以及步履平移等。随后,总结了上海现有主要平移成功工程案例。最后结合张园项目,研究了平移后场地内,地下空间逆作施工的重点内容。

**[关键词]**文保建筑群; 平移; 托盘梁; 顶升反力基础

DOI: 10.33142/ec.v6i10.9665

中图分类号: TU746.4

文献标识码: A

### Translation Construction Technology of Cultural Preservation Buildings —— Taking Shanghai Zhangyuan as an Example

ZHANG Chi, SHI Chen, ZHANG Yi

Shanghai Construction No. 2 Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200080, China

**Abstract:** The article introduces how to make a comparison and selection based on engineering requirements and the characteristics of the three translation methods, and determine the translation route. Then, the impact of translation on existing cultural heritage buildings was studied. The focus was on the overall process of translating traditional brick wood and brick concrete warehouse doors. In the entire construction process, nine special techniques were studied in detail, mainly including: tray beam, jacking reaction foundation, overall jacking, translation raft, and walking translation. Subsequently, the main successful translation engineering cases in Shanghai were summarized. Finally, combined with the Zhangyuan project, the key content of reverse construction of underground space in the site after translation was studied.

**Keywords:** cultural preservation building complex; translation; tray beam; jacking reaction foundation

#### 引言

在城市更新项目中,对文保建筑常采用平移和托换的办法实现地下空间的逆向开发<sup>[1]</sup>。目前,建筑平移技术有PLC同步液压控制系统下的平推<sup>[2]</sup>、安装步履器的行走,和拖车三种方式。目前,政府主管部门对建筑平移技术仍持谨慎的态度,尤其是涉及文保和优秀历史建筑的平移。工程界对平移前的预加固方法争论较多;缺乏建筑物平移中的受力和性能分析<sup>[3]</sup>;缺乏不同结构形式建筑的动态响应和加速度时程的有限元模型对比<sup>[4-5]</sup>;对是否由平移产生的墙体裂缝和屋面剥落等损伤,也需要更详细的评判标准和更有效的修补方法<sup>[6-7]</sup>。不同年代的文保和优秀历史建筑,通常以砖、木为主要建材,结构形式多为砖木或砖混。此类建筑的平移面临历史资料不全、病害程度不轻、材料性能差异大等难题。目前,对该类建筑的成熟的平移技术是在墙的两侧制作托换梁。通过摩擦梁、抬墙梁等,对在建基础切割并加固,形成托换技术中的托盘结构和平移技术中的上滑托盘结构。可采用电阻应变测试的方法来测量托换梁中的不同点的剪力,通过剪力差来确定托换梁的实际承载力<sup>[8]</sup>。

#### 1 工程概况

张园,位于上海南京西路风貌保护区的核心区域。该

园为晚清的第一公共空间,被誉为“海上第一名园”。1919年起土地逐块划分,分别建造里弄住宅及花园住宅,历经沧桑变迁,形成质量较高的石库门里弄住宅建筑集群。

张园市优秀历史建筑13处,总建筑面积约1.8万m<sup>2</sup>。规划保留建筑5处,总建筑面积约4千m<sup>2</sup>。区文保点24处,总建筑面积约2.3万m<sup>2</sup>。张园更新项目地上建筑面积6.25万m<sup>2</sup>,地下空间总建筑面积8.34万m<sup>2</sup>。地面新建建筑面积为1.26万m<sup>2</sup>。

#### 2 平移路线与方案比选

##### 2.1 路线安排

张园项目分为东、南、西、北、中五块场地(图1.a所示)。张园中区的建筑群,根据建筑类型与文保等级划分为8个组团。上部围墙内有三栋房屋的为北区,左侧为西区,右侧为东区,下部蓝色区域为南区。其中①、③、④组团平移至南区5000m<sup>2</sup>场地临时搁置(蓝色区块)。平移出的①、③、④组团空地在完成顶板施工后,可临时放置斜向移动来的②组团。待②组团所在场地浇筑完底板后,再平移回原东南角位置上。放在南区上的三个组团从左至右依次为③、④、①。放置在南区的①、③、④组团也接着移回原场地。

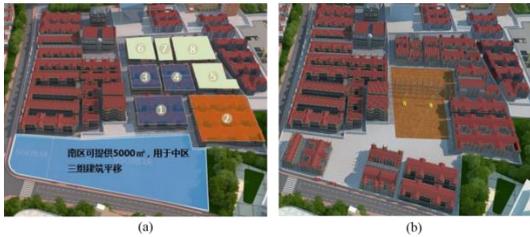


图1 张园平面示意图

(a) 中区 8 组团与南区场地 (蓝色); (b) 中区①、③、④组团按顺序移至南区场地后。

### 2.2 方案比选

目前,市场上有三种平移方式:拖车式平移、顶推式平移,和步履式平移。拖车式平移多适用于远距离和场地充裕条件下的平移任务。对建筑顶升降落和对平移轨道地基承载力要求高,受力均匀性较差;顶推式平移多适用于相对比较简单的直线轨道的平移,可以横、竖向设置平移滑道。滑道不宜复杂,否则增加滑道施工难度与整体施工成本与时间。旋转过程中易出现扭转偏位,平移路线不易控制。步履式平移需要根据上部荷载重量安装合适的步履行走器,能准确控制平移路径,调整旋转方便灵活,无需建筑顶升降落,但电子机电控制大量步履行走器同时工作,操控难度大。

表1 步履平移数据

序号	建筑面积 (m <sup>2</sup> )	层高	第一次平移距离	第二次平移距离	步履器数量
组团 1	2421	1.1m	45m+旋转 24° (14.881m)	旋转 24° (14.881m)+45m	226
组团 2	4030	1.1m	100m	100m	394
组团 3	1917	1.1m	57m+旋转 45° (18.263m)+44m+旋转 49° (25.161m)+40m	40m+旋转 49° (25.161m)+44m+旋转 45° (18.263m)+57m	182
组团 4	1827	1.1m	25m+57m+旋转 45° (21.580m)+45m+旋转 50° (26.870m)	旋转 50° (26.870m)+45m+旋转 45° (21.580m)+57m+25m	182

由于张园中区平移路线复杂,场地狭小,且需要二次回移至地下室顶板,选择步履平移方式。

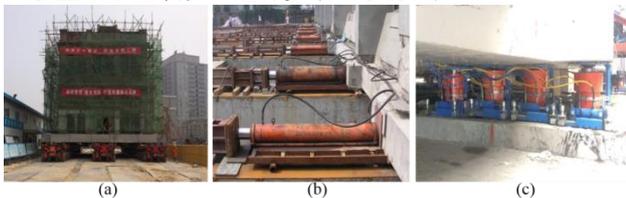


图2 平移方式:(a)拖车;(b)顶推;(c)步履

### 3 对既有文保建筑的影响

平移对既有建筑影响的主要部分:建筑基础全部有损;首层地坪部分有损;局部可切割保存地面以上约 0.5~0.8m 墙体表面需凿毛处理。

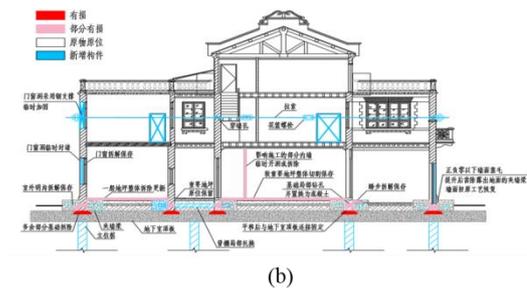
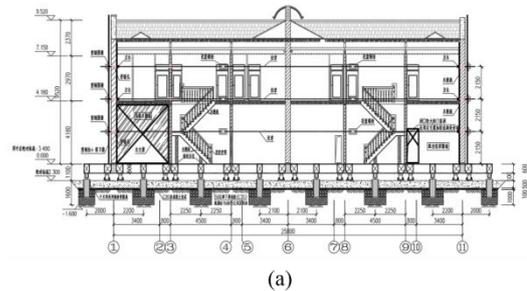


图3 (a) 组团顶升后平移前剖面图;(b) 组团顶升后平移前剖面图

## 4 整体工序与重点技术

### 4.1 整体工序

平移的整体施工工序包括:施工准备、临时加固、顶升反力梁施工、顶升施工、平移筏板施工,以及步履平移和二次回移。

表3 组团顶升后平移前相关数据

顶升前托盘梁顶绝对标高	顶升后托盘梁顶绝对标高	顶升高度	夹墙梁截面	反力基础截面
2.300	3.400	1.100	500×600	1600×500

施工准备包括检查复核、预保护、保护性拆除;上托盘施工包括人工开挖和托盘梁浇筑;临时加固包括钢结构支撑、木支撑、拉索对拉,和门口封堵;顶升反力梁施工包括导洞开挖和反力梁浇筑;顶升施工包括设备安装调试和整体顶升 1.1m;平移筏板施工包括回填压实和筏板浇筑;步履平移包括步履器安装、平移旋转,和临时托换。二次平移包括平移旋转和就位对中、整体降落。

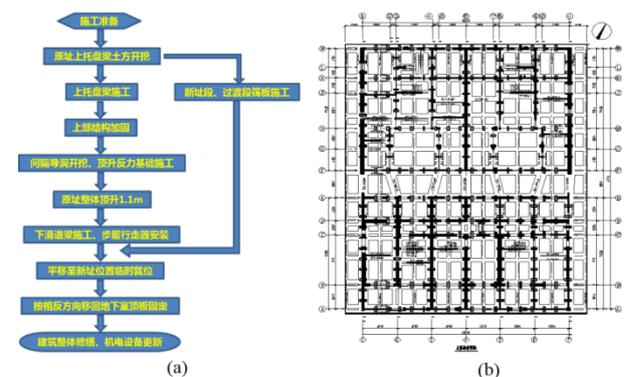


图4 (a) 平移整体工艺流程图;(b) 平移前夹墙梁、抬梁,与穿墙梁

表 2 平移对既有建筑的影响

部位		影响程度	施工措施/要求	保护修缮措施	B 级保护要求	是否满足	C 级保护要求	是否满足		
结构构件	外承重墙 (四面外墙)	原物保留	整体移位、临时支护、加固	适当修缮	原物原址保留	满足	原物原址保留	满足		
	内承重墙 (含单元间山墙、南天井建筑外墙)	原物保留	整体移位、临时支护、加固	适当修缮	结构按原结构体系置换	满足	结构按新结构体系替换	满足		
	各层楼板结构	原物保留	整体移位、临时支护、加固	适当修缮		满足		满足		
	屋架结构 (屋顶和烟囱)	原物保留	整体移位、临时支护、加固	适当修缮		满足		满足		
	基础	截除	基础断开、与地下室顶板固定或设置隔震支座	夹梁托换、隔震技术		部分满足		满足		
建筑、装饰	与历史空间布局有关的隔墙	原物保留	整体移位、适当保护	适当修缮	允许原址, 原工艺置换	满足	允许原址置换	满足		
	其他隔墙	部分有损	影响施工的部分临时开洞或拆除	功能性复原	无保护要求	满足	无保护要求	满足		
	底层重要地面铺装 (如部分拼花地砖)	部分有损	整体切割、移除保存	原物原位恢复	允许原址, 原工艺置换	满足	允许原址, 原工艺置换	满足		
	底层较重要地面铺装 (如部分马赛克地坪)	部分有损	整体切割、移除保存	原物原位恢复		满足		满足		
	底层一般地面铺装	有损	整体拆除	按原工艺恢复或更新		满足		满足		
	2 层以上楼面铺装	原物保留	整体移位、适当保护	适当修缮		满足		满足		
	屋面面层 (屋顶和烟囱)	原物保留	整体移位、适当保护	适当修缮		满足		满足		
	门窗	原物异地保存	部分拆解、保存	原物原位恢复		满足		满足		
	壁炉、挂落、灯盘线脚、木踢脚线等	原物保留	整体移位、适当保护	适当修缮		满足		满足		
	不可移动室内装饰物 (石膏线条等)	原物保留	整体移位、适当保护	适当修缮		以保留的样板新建恢复		满足	已保留的样板局部新建恢复	满足
	楼梯	原物保留	整体移位、适当保护	适当修缮		允许原工艺置换		满足	允许置换	满足

#### 4.2 重点技术

**结构托换:**沿房屋原基础或墙体布置纵横向梁体形成托盘梁,将上部结构荷载从原基础通过上托盘梁转换至步履行走器和轨道上(图 5.a)。平移轨道形成:原址选用条形下滑道梁设计,过渡段及临时址设计成筏板形式(图 5.b)。平移前上部结构加固:采用外部整体钢架+内部预应力拉索+木结构支撑进行上部结构加固,加强建筑整体刚度,确保平移过程安全(图 5.c)。结构切割分离:采用无震动锯绳切割技术,消除对房屋结构的扰动(图 5.d)。

**同步移动控制:**交替式步履行走器平移系统同步可控、精确平移、方向可调;AB 组千斤交替支撑受力作为平移滑脚,降低对滑道平整度的要求(图 5.e)。实时监测:采用全自动实时监测系统,对平移关键技术指标进行监控反馈(图 5.f)。基础连接:连接需确保临时停放、后期使用的结构安全性。

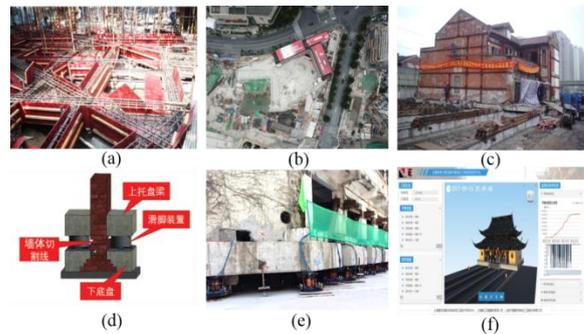


图 5 平移整体工艺中的重点技术

(a) 结构托换; (b) 平移轨道形成; (c) 平移前上部结构加固; (d) 结构切割分离; (e) 同步移动控制; (f) 实时监测。

#### 5 平移专项工艺

在整个文保建筑和优秀历史建筑的平移过程中又有

9项主要的专项工艺如下：建筑物检查及复核；重点部位保护措施；室内人工土方开挖；托盘梁施工；上部结构临时加固；提升反力基础；建筑物检查及复核；平移筏板施工；步履平移施工（见图6）。



图6 平移专项工艺

(a) 建筑物检查及复核；(b) 重点部位保护措施；(c) 室内人工土方开挖；(d) 托盘梁施工；(e) 上部结构临时加固；(f) 顶升反力基础；(g) 建筑物检查及复核；(h) 平移筏板施工；(i) 步履平移施工。

### 5.1 建筑物检查及复核

施工前要进行必要的测量，包括基础埋深、形式、墙体厚度、总体尺寸、角度等、标高、坐标等数据（图6.a）。

### 5.2 重点部位保护措施

#### 5.2.1 基础预加固

对原有砖混或砖木结构的房屋挖土，挖出地下基础。根据平移确定的标高拆除和修整地基基础。

#### 5.2.2 墙体预加固

对墙体进行稳固性加固，一层窗洞采用砌块临时封堵、门洞采用木支撑或钢支撑加固，加固使用的钢结构需要做防锈处理，墙体打洞避开重点保护部位。

#### 5.2.3 构件预加固

对木屋顶木结构构件及屋面瓦片进行逐个检查，着重检查木屋面及墙体交接部位的安全稳定性，对松动的部分进行重点加固，避免有瓦片掉落等情况发生，对连廊，烟囱、阳台等突出主体建筑的构件利用软性材料包裹采用钢柱进行预加固。

#### 5.2.4 整体性加固

对采用外部钢框架+内部木支撑+对拉螺栓加固以增强结构整体性。临时加固按照“内撑外拉”的原则，并确

保重点保护部位及内容与加固措施的软性相接，保证木质保护构件不遭受到磨损、硬性挤压等破坏（图6.b）。

#### 5.2.5 构件预加固

对木屋顶木结构构件及屋面瓦片进行逐个检查，着重检查木屋面及墙体交接部位的安全稳定性，对松动的部分进行重点加固，避免有瓦片掉落等情况发生，对连廊，烟囱、阳台等突出主体建筑的构件利用软性材料包裹采用钢柱进行预加固。

木楼梯、木门窗框、木柱、墙裙、勒脚、壁炉等原址保护，施工前设置必要的防护措施，要求柔性接触，防火布+木模板+方木（钢管）。所有保护性拆解构件均进行详细测绘，对所有预拆卸构件进行编号，妥善保存。

进行原位保护：重要墙体、室内构件，部分地坪；保护性拆除保存：部分地坪、门窗、部分室外裙墙。对于施工过程中可能受到影响的木门窗扇、花砖地坪、历史台阶，进行预拆除保护，施工完成后重新修缮安装。

使用具备钻进力自平衡功能的钻头钢管一体化成桩设备。该设备钻至设计孔深后，可将钻头从钢管中回收，之后再灌注桩身混凝土，形成钢管混凝土桩。横向排桩形成管幕，实现整体地坪在房屋平移过程中的保护。

### 5.3 室内人工土方开挖

基础形式：放大脚条形基础，基底-1.0m，主要承重墙下条形基础宽度约900mm。施工要点：继续探查基础形势，是否与检测报告一致；人工土方开挖，减小对文物损伤风险；控制开挖深度（700mm），减小开挖对原基础的扰动。加强开挖过程中的监测，根据监测数据调整开挖顺序（图6.c）。

### 5.4 托盘梁施工

托盘梁截面：500mm×600mm。托盘梁总体施工流程：测量放线→托盘梁墙洞开设→洞口加固→墙体凿毛→绑扎钢筋→模板支设→浇筑砼→养护拆模。托盘梁施工原则：由两侧向中间分区施工，施工中注意对原建筑的本体保护，严禁施工过程中碰坏及污染原建筑需要保护的部位，宁可增加防护措施，也不冒险施工。

#### 5.4.1 托盘梁墙洞施工

采用无振动的水钻开洞，洞口采用水钻开设上下两个交叉洞口，形成“8”字型，在洞内放入型钢并用模板封堵，然后用微膨胀灌浆料进行浇筑。墙洞开设由东西两侧开始向中间间隔开设，砖柱中间的洞先施工，然后再施工两侧的，相邻托盘梁位置应间隔施工。

#### 5.4.2 墙体凿毛

对原基础墙面进行凿毛，露出新鲜的面层，露出新鲜面积不低于75%，清除表面的松散层，凹凸面深度达到6mm，清除凿毛面的杂物，用水清洗干净，充分湿润，不得有积水。

为了增加接触面的整体性，可采取构造植筋，植筋不能破坏原有钢筋，植筋深度不够时贯穿墙体，锚入夹墙梁

内不小于 300mm (图 6. d)。

#### 5.4.3 托盘梁模板支设

主要材料为采用 18mm 厚的胶合木模板、40mm×80mm×3000mm 枋木、48×3mm 钢管,和可回收 M12 对拉螺栓作为拉杆。

采用木方水平布置作为内楞间距 300mm,竖向布置两根钢管作为外楞间距 600mm,采用 2 根间距 500mm 可回收的 M12 普通穿墙螺栓加固水平间距 600mm,梁侧模与墙面间加钢筋作为内撑,内撑间距同外楞间距。

#### 5.5 上部结构临时加固

加固依循一定的顺序。首层门窗封堵,二、三层钢框支撑;对拉螺栓和钢管立柱进行竖向加固;采用通长的型钢内外拉接进行墙体横向加固;室内横向用通常拉杆拉接。临时加固施工时需注意采用直臂吊机和垂直升降车;所有型钢与墙体之间采用模板及方木作为垫板,保护墙体(图 6. e)。

局部墙体破损、开裂及松动处,清理后压力灌浆修补裂缝,用 C20 细石砼修补墙体破损部位。内墙门洞采用钢支撑临时加固,钢支撑竖向及横向型钢为 20a 槽钢,斜向为 L100\*6 角钢。钢支撑与墙体之间空隙,采用木楔顶紧,所有型钢与墙体接触面做乳胶水泥。每层沿外墙内外一圈设置两道钢系梁,竖向接近三等分布置,外墙角部设置钢柱,外墙门窗洞处设置对拉螺栓拉结,X 向对应钢系梁标高设置四组拉索,Y 向对应钢系梁标高设置六组拉索。

加固注意事项:加固施工时,材料的垂直运输及水平运输注意对建筑的保护与防护,接触面严格按设计要求加垫保护材料。

#### 5.6 顶力反升基础

下滑道梁施工要点:开挖导洞尺寸:1.8m\*1.1m;导洞开挖原则:开挖后立即施工下滑道梁及安装移位设备,达到 50%强度后充压支撑;开挖注意事项:间隔开挖,及时排水,加强监测(图 6. f)。

#### 5.7 整体顶升

顶升同步精度控制及水平精度控制。采用位移加压力组合的交替顶升工艺。顶升高度:1.1m。采用安全阀加机械螺旋来应对意外失压及断电;采用限位措施控制水平偏差;采用实时监测来采集及分析数据,并在互联网监控平台上及时了解安全状态(图 6. g)。

#### 5.8 平移筏板施工

旋转筏板面积:15000m<sup>2</sup>;厚度:0.5m;绝对标高:2.5m。移出筏板顶绝对标高 2.300m。移回筏板顶绝对标高 2.300 (1.750)。临时筏板面积 15380m<sup>2</sup>。顶升千斤顶数量 960 台。步履器数量 984 台(图 6. h)。

#### 5.9 步履平移施工

步履行走器分为 A、B 两个组团,通过交替液压顶升、前后移动,和回落来实现托住建筑整体平移。目前技术,

还无法通过电脑来统一实现旋转,需要人工不断调整旋转角度;同时,也无法电脑自动识别实际行进路线和校对与设计路线上的差别。同时,布置步履行走器的位置也需要根据托盘结构的形式灵活布置,值得更多地研究与探索(图 6. i)。

### 6 平移后施工安排

移出后的空场地正常打桩;正常围护结构;普通钻孔灌注桩;逆作法顶板完成前设置钢管立柱;钢管桩垂直度 1/500;临时格构柱 1/300。

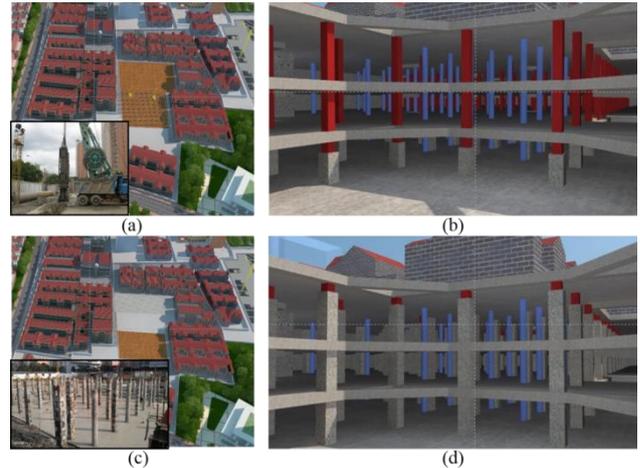


图 7 平移后空场地内的施工

(a) 围护;(b) 格构钢柱;(c) 格构柱与钢管桩施工;(d) 格构柱与钢管桩施工。

在平移和托换区围护体与顶板连接完成后,整体进行逆作法地下室开挖。在平移出的空场地使用常规设备进行土方翻运,以及在原位托换区域利用挖运一体机进行土方翻运来实现逆作土方开挖。取土口宜在软土底层的逆作法施工中取土口间的水平净距不宜超过 30m 处,并与地下各层楼板与顶板洞口位置宜上下相对应。取土口的位置宜设置在各挖土分区的中部位置,且不宜紧贴基坑的围护结构。

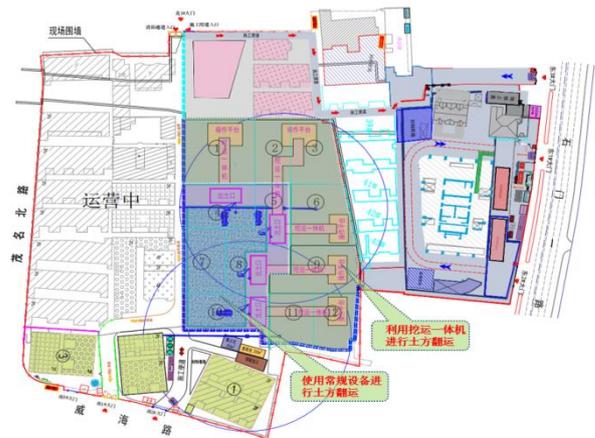


图 8 平移后逆作法去土口的设置与土方翻运

## 7 结论

对于需要通过平移专项技术来实现文博建筑群下方的地下空间的开发项目,宜依次重点解决平移前的预加固、平移时的路线和方式的确定、平移全过程中的施工流程、具体专项工艺,以及平移后的地下空间施工等的难题。也需要为此研发相应的新型设备,制定一系列行业规范与标准。房屋平移前,原有建筑基础的置换技术和新托盘结构设计与研究越发成熟。适合室内施工的小型化设备的研发也正方兴未艾。

### [参考文献]

- [1]刘志峰,宋永生,陶文成,狄志强.建筑平移和地下室逆作法在历史建筑地下空间开发的应用研究[J].施工技术,2018,10(47):141-145.
- [2]杨风庆.复杂工况下的保留建筑平移、旋转与顶升施工技术[J].施工技术,2018(9):1576-1584.
- [3]商冬凡,王铁成,崔少华.古建筑平移中移动系统的受力性能试验研究[J].建筑结构,2013,43(10):41-44.
- [4]张亮,陈庆伟.古建筑平移及动力分析[J].低温建筑技术,2013(3):43-44.
- [5]任文.古建筑平移托换结构安全储备分析[J].低温建筑技术,2015(3):38-39.
- [6]赵莹莹.钢筋混凝土壳体结构弹性理论分析[J].价值工程,2019(48):80-84.
- [7]刘涛,张鑫,夏风敏.历史建筑平移保护与加固改造的研究[J].工程抗震与加固改造,2009,31(6):84-87.
- [8]赵海龙,王铁成,任文,等.古建筑平移托换结构受力性能分析[J].建筑结构,2015,45(16):107-111.

作者简介:张弛(1985.6—),毕业院校:加拿大拉瓦尔大学博士,清华大学助理研究员,博士后,所学专业:土木工程,就任单位:上海建工二建集团,职务:技术主管,职称:高级工程师。