

Analysis of Implementation Strategies for Underground Space Development of Historical Buildings in Three sided Enclosed Sites

Ruizhi Zhang

Shanghai Construction Engineering Group Co., Ltd.

Abstract

Taking the renovation and transformation project within the historical and cultural conservation area of the Bund in Shanghai as an example, this paper conducts a comparative analysis of the implementation strategies and specific plans for the development of three-story underground space beneath century-old buildings in a three-sided enclosed site. Two underground space development models, namely in-situ replacement and reciprocating displacement of buildings, are proposed. Combined with the top-down and bottom-up methods of foundation pit construction, four specific implementation plans are classified into two categories. Based on the process sequence of each implementation plan, an analysis is conducted from the perspectives of construction period and cost to select the underground space development plan that is suitable for the specific conditions of this project.

Keywords: *Three-Sided Enclosure; Historical Buildings; Underground Space; Implementation Strategy*

三面围合式场地历史建筑地下空间开发实施策略分析

张睿智

上海建工集团股份有限公司, 上海 251892

摘要: 以上海市外滩历史风貌保护区内的更新改造项目为例, 对三面围合式场地、百年历史建筑下方开发三层地下空间实施策略和具体方案进行对比分析。提出了建筑原位托换和往复移位两类地下空间开发模式, 并结合基坑顺作、逆作分为两类四种具体实施方案。根据每种实施方案的工艺顺序, 从工期、造价两方面分析, 比选出适用于该项目特定条件下的地下空间开发方案。

关键词: 三面围合; 历史建筑; 地下空间; 实施策略

1 引言

在城市更新与土地集约利用背景下, 核心城区历史建筑地下空间的开发需求不断提升。然而, 三面围合式场地由于空间受限、结构敏感性高、周边环境复杂, 地下空间开发面临极大技术挑战。特别是在文物保护和城市功能提升并重的背景下, 传统施工方式往往难以适用。以上海外滩历史风貌保护区内的 160 街坊改造项目为例, 场地内红楼建筑需在原址保护的前提下实施三层地下空间建设。本文基于项目具体条件, 提出原位托换与往复平移两类开发模式, 结合顺作与逆作施工方法, 形成四种实施方案。通过对比分析各方案在施工难度、工期和造价等方面的表现, 为类似受限条件下的历史建筑地下空间开发提供参考依据。

2 工程概况

上海市黄浦区 160 街坊保护性综合改造项目位于外滩历史风貌保护区内, 街坊场地内存在两栋保留建筑

（图 1），其中老工部局大楼是百年历史文物保护建筑，平面呈北、东、南三面围合式；另一栋红楼位于场地中庭，是极具艺术价值的百年历史风貌建筑；场地西侧为市政主干道，道路下存在运营中的地铁 10 号线区间隧道（图 2）。



图 1 场地保留建筑实景图

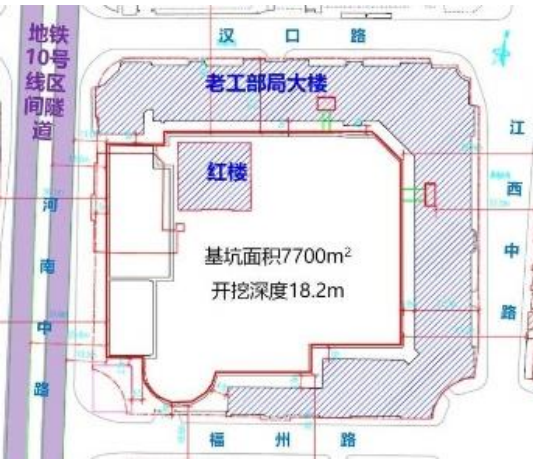


图 2 场地保留建筑平面图

为拓展既有建筑功能，项目在百年历史红楼建筑下方、文保建筑老工部局大楼与地铁隧道合围的中庭区域新建三层地下空间（图 3），并在老工部局楼内部增设局部地下空间，通过地下连通道与中庭区域贯通。

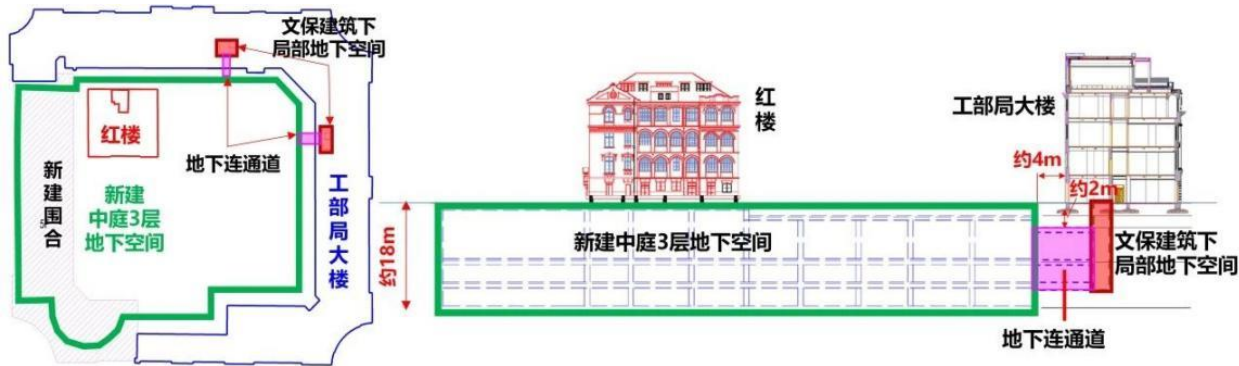


图 3 新增地下空间示意图

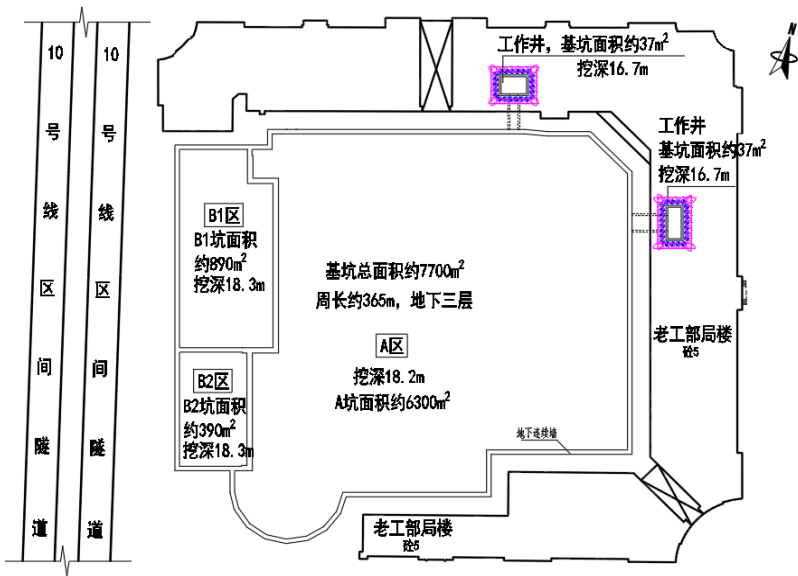


图 4 基坑分区平面图

场地中庭新增基坑总面积约 7700m²，挖深 18.2m，围护采用“两墙合一”的地下连续墙，地下室采用桩筏基础。基坑共分为 A 区、B1 区、B2 区三个分区（图 4），A 坑紧邻老工部局大楼，面积约 6300m²，B1、B2 区位于场地西侧，靠近地铁隧道。基坑各分区之间设置临时地墙隔断，待基坑顶板完成后再拆除。基坑 A 区采用 4 道砼支撑，沿地墙设置裙边加固，B1、B2 区采用 1 道砼支撑+4 道轴力伺服钢支撑，坑内设置满堂加固。基坑安全等级和环境保护等级均为一级。

3 历史建筑地下空间开发策略

根据建设要求，红楼（B 楼）需按原位保护原则进行地下空间开发，即最终完成改造建设后，红楼所在位置与改造前需一致。为实现红楼下方新增埋深 18.2m 的三地下空间开发，对红楼的保护主要有原位托换和往复移位两种模式，结合基坑实施方案可组合形成多种地下空间开发方式^[1]。

目前建筑平移技术本身相对成熟，常规是将既有建筑平移至拟建地下空间以外，或将拟建地下空间分区实施，即将平移与基坑工程独立开。但本工程三侧为文保建筑环抱，一侧为市政主干道，周边无施工场地，不具备红楼外移临时放置的条件；又因地铁保护需要，近地铁侧已划分长条形小基坑，且尺寸不足以停放红楼，建设单位也难以接受进一步分区实施所带来的造价和工期的增加。故需打破常规，寻求技术可行、经济和工期均较优的红楼保护和地下空间开发方案^[2]。

综合项目更新改造需求、红楼结构基础形式和保护要求、软土地层条件、施工作业条件等各方面因素，将红楼原位托换和基坑内往复移位两种技术路线与基坑总体实施方案相组合，可以形成如下四种主要概念方案（图 5）。

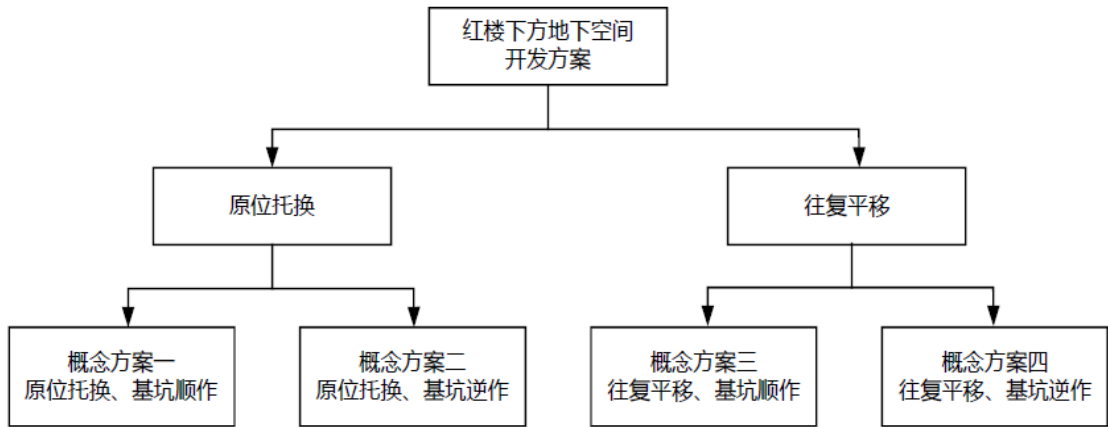


图 5 红楼下方地下空间开发模式示意图

4 原位托换概念方案

托换结构主要由沿建筑墙体两侧布置的夹墙梁、夹墙梁之间间隔设置的抬墙梁和托换桩基组成。该方案需进入红楼内部施工托换桩，净空不足 4m，面临低净空、狭小空间作业难题。根据基础托换后下方基坑开挖方式的不同，又可分为如下两种方案。

（1）概念方案一：原位托换、基坑逆作

基坑逆作实施，结构楼板兼做水平支撑，红楼的基础托换体系和新建地下室首层结构梁板结合，锚杆静压钢管桩即作为基坑开挖期间的临时托换结构，基底以下部分同时作为永久深基础。逆作梁板也起到临时托换构件的侧向约束作用。待地下空间开挖完成后，施工永久结构混凝土柱替代临时托换钢管。该方案剖面示意如图 6（a）所示。

（2）概念方案二：原位托换、基坑顺作

方案二是考虑到施工的便利性、为土方开挖提供更为便利的条件，将托换体系和基坑支护体系脱离，两

者彼此独立，由于支撑体系与主体结构无关，有利于提前开挖。托换体系的布置和方案一相似，先施工红楼托换结构（可以与新增地下空间首层结构楼板相结合或分离），后施工基坑围护结构和内部临时支撑，顺作开挖基坑。方案二剖面示意如图 6（b）所示。

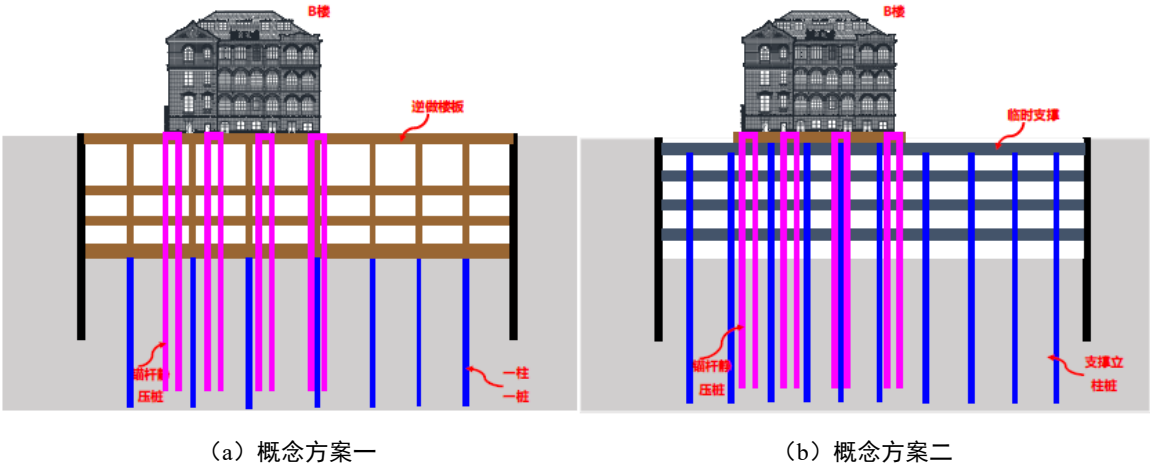


图 6 原位托换方案剖面示意图

5 往复移位概念方案

红楼采用平移方案，同样需进行结构托换，其托换体系由夹墙梁与穿墙抬墙梁组成，相比于原位托换，取消了托换桩，经由固定在夹墙梁下的滑脚传递荷载并实现整体平移。根据平移后基坑开挖方式的不同，也可分为如下两种方案。

（1）概念方案三：往复平移、基坑顺作

该方案将红楼平移至首道支撑上方，将首道支撑的一部分加强后兼作基坑开挖期间临时停放平台。该方案首先进行临时停放平台区域的围护和首道支撑施工，将红楼首次平移至临时平台后进行其余区域围护和支撑施工，随后进行地下开挖，待红楼原址顶板完成后二次平移迁回原址，最后进行临时平台区域顶板补缺^[3]。该方案施工便利，平移不占绝对工期，且有利于尽快开工。该方案关键工况剖面示意如图 7 所示。

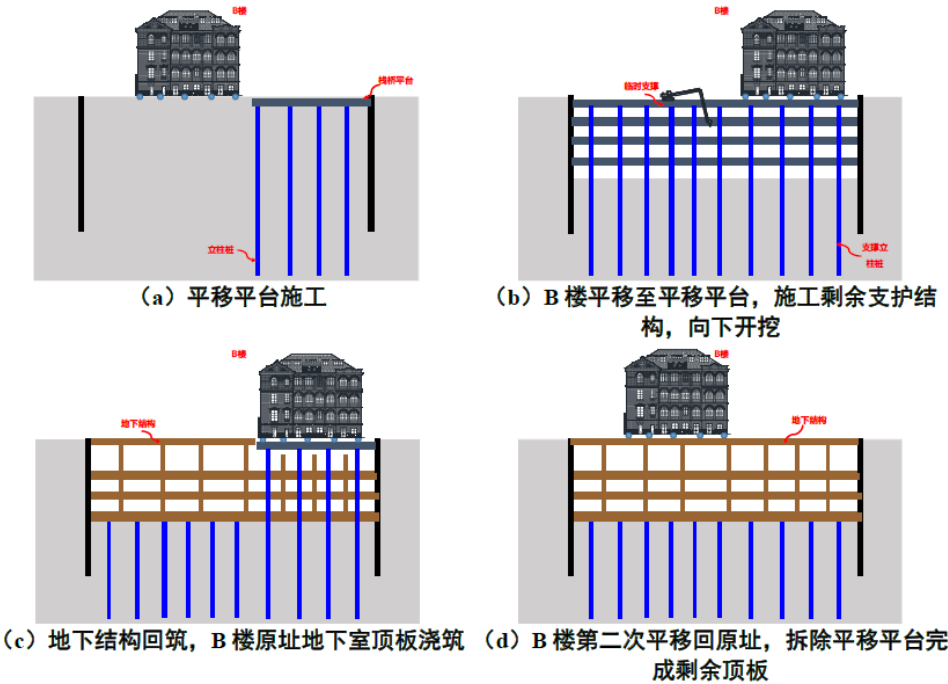


图 7 方案三开发流程示意图

（2）概念方案四：往复平移、基坑逆作

该方案是先将红楼从原址移出，在无遮挡情况下施工红楼原址一柱一桩和首层地下结构梁板，随后二次平移迁回至已施工完成的原址地下结构顶板，之后完成基坑围护和其余区域一柱一桩及首层地下结构梁板，向下逆作施工地下结构。该方案关键工况剖面示意如图 8 所示。

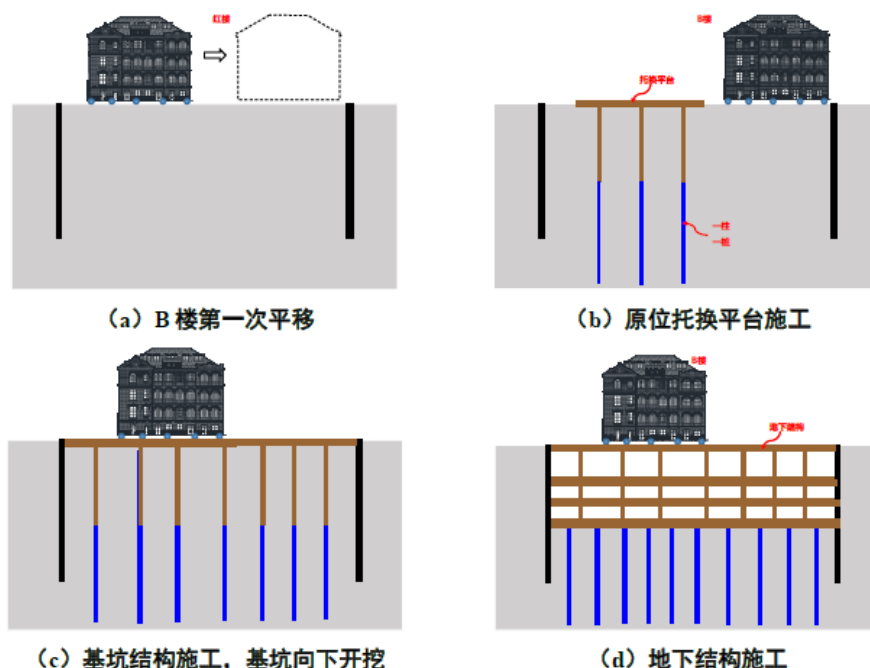


图 8 方案四开发流程示意图

6 方案对比分析

上述两类四种对红楼地下空间的开发方案在技术上均有实施可能，但在投资、工期、施工工艺和便利性上，存在较大差异。

原位托换方案需进入历史建筑内部低净空条件下施工锚杆静压桩，很可能还需施工低净空钻孔灌注桩、一柱一桩等，施工难度大、效率低，同时锚杆静压桩所能达到的压桩深度受红楼自重、施工作业空间和下伏土层影响，且密集布置的托换桩势必会影响挖土效率。由于在施工主要路线上，将造成项目绝对工期的增加。概念方案一为逆作施工，挖土效率会进一步降低。造价方面，主要增加的为托换桩基础的材料和施工费用，概念方案一还会增加逆作法施工通风、照明、土方开挖等措施费用，相比往复平移方案在工期和造价方面均不具备优势^[4]。

红楼下方基坑开挖深度较深，若钢管桩兼做临时托换基础和永久桩基础，在永久阶段需扣除基底以上的桩长，对压桩力要求较高，若受场地或红楼能够提供的反力影响，无法提供足够的压桩力时，需要采用分段托换方案，即同时在既有建筑内部施工锚杆静压钢管桩和低净空灌注桩+钢管柱（或格构柱）组成的竖向支撑体系（可采用一柱一桩），先采用锚杆静压钢管桩作为临时托换基础，向下开挖浇筑结构顶板后，转换至桩柱托换，并割除锚杆桩，故采用托换方案在实际实施过程中可能比上述概念方案更为复杂。

往复平移方案工程桩、立柱桩等施工作业条件相对较好，无需施工托换深基础，大大缩短相应部分的施工工期。其中概念方案三通过合理的施工组织可将平移与其他作业同步进行，占用绝对工期时间少，增加的费用主要为平移平台加强、往复平移相关费用。概念方案四由于往复平移均在基坑开挖前进行，占用了绝对工期，一定程度上延缓了基坑开挖时间，且逆作施工基坑同样存在措施费增加和挖土效率降低的问题，工期和造价相比概念方案三将有所增加。

图 9（a）给出了四种方案从红楼上部结构临时加固开始至地下结构完成的预估绝对工期，由多到少分别

是概念方案一、概念方案二、概念方案四和概念方案三。图 9（b）给出了与同样规模、无建筑保护要求的顺作基坑相比，四种方案产生的额外费用（托换、平移、逆作措施费等）对比，往复平移方案在工期和造价上均优于原位托换方案，概念方案一逆作实施，虽采用结构梁板代替临时支撑，但因基坑面积较小，节省的临时支撑费用小于逆作措施和一柱一桩等增加的费用，造价最高；概念方案三造价最优。

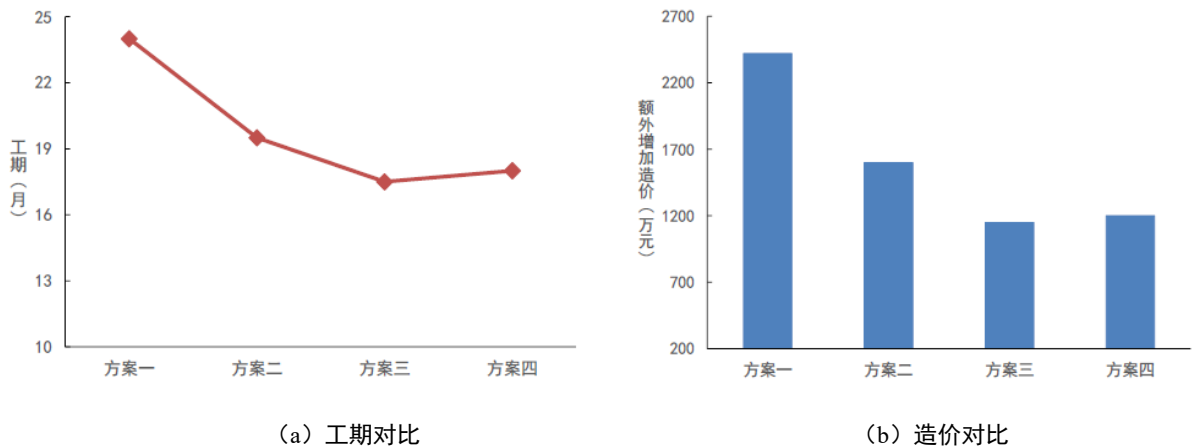


图 9 不同历史建筑地下空间开发策略工期与造价估算

7 结论

综上，在上海市黄浦区 160 街坊保护性综合改造项目这一特定工程条件下，采用概念方案三，即采用基坑顺作、红楼与基坑开挖同步的往复平移方式实现红楼下方及中庭区域地下空间整体开发的方案在工期和总造价两方面有综合优势。需要说明的是，上述比较是基于该项目特定条件，当保护建筑体量、保护要求、地下空间规模、土层条件、周边环境条件和施工作业条件等各因素发生变化时，应结合各因素进行综合比选后确定开发方案，所优先选用的方案可能发生变化。

参考文献

- [1] 徐中华,顾正瑞,王卫东,等.地下空间开发对其三面围合历保建筑影响实测分析[J].土木工程学报,2024,57(06):221-230.
- [2] 于东晖,吕广,曲昱,等.三面围合的人字结构——北京 N 公寓结构设计[J].建筑结构,2024,54(18):13-17+6.
- [3] 彭韬.历史建筑平移与地下室的托载连接板优化方法研究[J].居舍,2024,(30):142-145+165.
- [4] 曾虹程,饶烽瑞.城市核心区历史保护建筑平移结合盖挖逆作保护技术研究[J].建筑施工,2024,46(07):1049-1052.

【作者简介】

张睿智（1989-），男，汉族，籍贯上海市，大学本科，研究方向为建筑工程。