

Optimization and application of deep foundation pit support adjacent to historic protected buildings

Feifei Fan

Shanghai Construction Engineering Group Co., Ltd., Shanghai, 200441, China

Abstract

Taking the deep foundation pit project beside Dongjiadu Catholic Hall as the background, the support optimization scheme is proposed in the preliminary planning and combined with the structural characteristics. The proposed optimization scheme has not only been recognized by the design institute, but also facilitated the construction, speed up the construction progress and achieved good benefits. More importantly, it can effectively ensure the safety of the historically protected buildings. The practice of this project can provide reference for the reasonable design and construction of similar projects.

Keywords

deep foundation pit; protection of building; support optimization

紧邻历史保护建筑的深基坑支撑优化与应用

范斐斐

上海建工集团股份有限公司, 中国 · 上海 200441

摘 要

以董家渡天主堂旁的深基坑工程为背景, 介绍在前期策划中, 结合结构特点针对性地提出了支撑优化方案。提出的优化方案不仅得到了设计院的认可, 而且方便了施工, 加快了施工进度, 取得了良好的效益, 更为重要的是能有效地确保历史保护建筑物的安全。该工程的实践, 可对类似工程的合理设计和施工提供借鉴。

关键词

深基坑; 保护建筑; 支撑优化

1 引言

历史建筑是人类历史文明不可缺少的重要组成部分, 是以往人类文明物化的成果。保护城市历史建筑, 对继承和发扬优秀文化传统, 对研究国家和民族政治、社会、经济、思想、文化、艺术、工程技术等方面的发展历史, 均有重要意义。而深基坑施工会对施工区域周边的建构物造成较大的沉降及侧向位移, 尤其是邻近的历史保护建筑。因此, 邻近历史保护建筑的基坑是设计与施工重点关注的问题, 其在设计与施工中应有其特殊的应对措施^[1]。同时, 深基坑支护结构的设计及施工方法的选择是深基坑成败最为重要的技术问题, 很多学者结合具体的工程案例, 提出在深基坑工程设计施工过程中的优化措施, 为同类工程设计施工提供了参考^[2-5]。本文结合工程实例, 在前期策划中, 结合结构特点对设计采取的历史保护建筑的特殊应对措施提出了优化, 优化方法可供同类型的工程借鉴。

2 工程背景

董家渡天主堂位于黄浦区董家渡路 185 号, 西邻万裕街, 北临王家码头路。该教堂始建于清道光二十七年 (1847 年), 咸丰三年 (1853 年) 落成, 距今已有近 170 年, 是上海教区第一座天主教教堂, 也曾是江南教区“账房”和修道院所在地, 其规模仅次于徐家汇教堂。教堂采用砖木结构, 外围采用砖墙和墙中砖柱承重, 中间采用砖柱承重。基础类型为砖砌大放脚条形基础、柱下独立基础。由于教堂年代较为久远, 结构已有不同程度的损伤, 整体性也相对较差, 部分位置角点棱线和柱棱线倾斜较大。为保护天主教堂, 减少其周边基坑施工暴露时间, 在其周边单独设置 (A2、F2、G2、J2) 4 个小坑。其中, A2、J2、F2 基坑宽 20m, G2 基坑宽 19m, A2 长 45m、J2 长 54m、F2 长 86m、G2 长 80m。A2 基坑面积 758m², F2 基坑面积 1708m², G2 基坑面积 1170m², J2 基坑面积 985m²。A2、F2、J2 基坑挖深普遍 18.5m, 局部落深坑 1.6m, G2 挖深 14.9m, 其地理位置关系见图 1。4 个小坑的地下连续墙有 3 种形式, 分别为两墙合一 (地下连续墙兼作结构外墙), 使用在基坑外围; 复

【作者简介】范斐斐 (1984-), 女, 中国上海人, 本科, 工程师, 从事建筑施工研究。

合墙（地下连续墙紧贴结构外墙，但并不考虑分担永久使用阶段荷载），使用在与教堂保护建筑周围；以及分隔墙三种形式，使用在坑内分隔。4 个小坑地上为绿化和规划路，地下室共 3 层，地下一层为商业，地下二层为商业、设备

机房，地下三层为机动车停车库。设计相对标高 ±0.000 相当于绝对标高 +4.400m。4 个小坑的结构楼板厚度 120mm—600mm 不等。结构设计概况见表 1，本次提出的优化主要针对 A2、F2、J2 基坑。

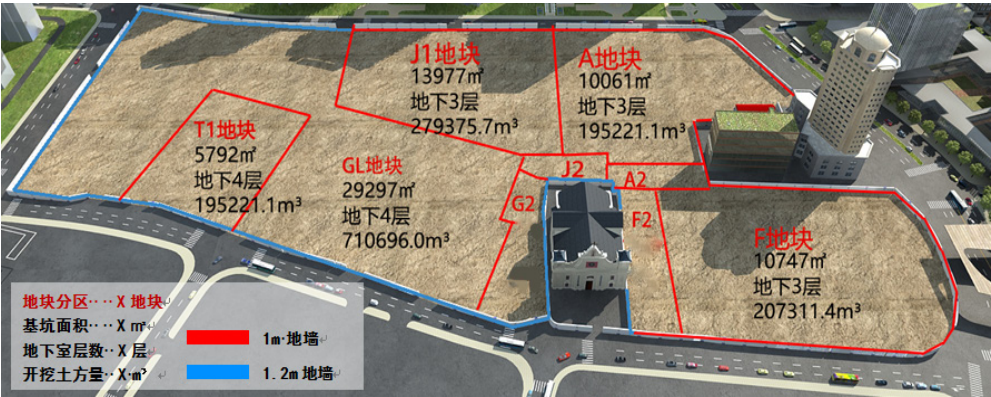


图 1 基坑与天主堂平面示意图

表 1 结构设计概况

项目	标高	板厚	层高
基础面标高	-17.7m	1.0m 厚筏板基础	/
地下二层标高	-13.6m	120/140mm	4.1m
地下一层标高	-8.1m	120/180mm	5.5m
一层标高	-1.5m/-1.8m	200mm/600mm	6.6m/6.3m

3 支撑布置

鉴于董家渡天主堂的特殊保护要求，在其周围对本项目基坑再分割成四个小坑，分别为 G2、A2、F2、J2，除首道支撑为混凝土结构外，其余采用钢支撑，快挖快撑，缩短近教堂区域施工时间，力求减少影响。基坑采用 1.2m/1m 厚地下连续墙作为围护结构，采用五道支撑作为支护体系，G2、F2 小坑已提前施工完毕。A2、J2 第一道为混凝土支撑，截面尺寸 1200×800，二一五道为钢支撑，钢支撑采用 Φ609*16 钢管，第一道混凝土支撑中心标高为 -1.8m，第二道钢支撑中心标高 -6.0m，第三道钢支撑中心标高 -9.3m，第四道钢支撑中心标高 -12.5m，第五道钢支撑中心标高 -15.7m。

4 方案对比

根据设计图纸要求，项目部提前拟定明挖基坑的合理施工流程及施工部署。基坑挖土时同步设置五道支撑，快挖快撑，尽快形成完整围护体系。在底板施工完毕后，拆除第五道支撑施工地下三层结构；拆除第四、三道支撑施工地下二层结构；由于首道支撑标高同顶板标高，施工地下一层结构时，需先拆除首道支撑，同时保留第二道支撑，减少悬臂过长风险，墙板相应留洞，后期补缺。但实际施工中发现存在工序冲突、结构留洞过多等问题。通过现场监测数据分析发现，原方案存在支撑轴力分布不均、结构施工周期延长等

问题，以下是原方案关键点：

①首道支撑与顶板标高重叠导致：

地下一层结构施工前需提前拆除首道支撑，形成 10.8m 悬臂段，根据电脑模拟施工数据分析侧向位移可能达 32mm（超过规范限值 25mm），不利于对董家渡天主堂的保护。

拆除首道支撑，为保证安全，需在相应设置临时脚手架支撑体系，增加材料成本约 15%，同时增加不可控安全风险。

由于需保留第二道支撑，地下室外墙板结构需预留多处支撑孔，待顶板施工完毕后才能拆除再补洞，不仅影响整体防水性能，也使施工进度延长。

②第一、二道支撑拆除顺序倒置引发：

地下一层结构施工时第二道支撑保留造成结构模板支设困难，相应工作量增加。

后期补洞工序增加施工缝处理工作量，延长工期约 25 天，后期有结构板渗漏风险。

支撑轴力转换导致结构应力集中，最大应力达 21.3MPa（设计值 18MPa）。

本文结合工程实例对上原方案进行了部分优化。具体优化内容如下：

①标高调整技术。

首道支撑中心标高由 -1.8m 提升至 -1.0m，支撑结构形式保持混凝土支撑不变。

其余四道支撑保持原标高不变，仍采用 Φ609*16 钢管支撑。

②拆除顺序调整。

由于将首道支撑提升至 -1.0m，合理避开地下室顶板结构标高，不影响其施工作业，顾做保留，最后拆除。

第二道支撑不受悬臂端长度制约，可提前拆除，地下室外墙板无需留洞。

5 施工流程优化措施

对方案进行优化后，对相应施工工序以及工艺进行了部分优化，并作出了相应的调整。

首层土开挖高度减少 800 公分，首道混凝土支撑抽槽开挖，对挖对撑，二层土开挖深度相应增加 800 公分，后续施工工序至地下二层结构施工依照原方案实施。地下一层结构施工前拆除第二道支撑，施工地下一层结构完毕后，再拆除首道撑。可保证地下一层结构一层浇筑完成，有效减少后期渗漏风险，同时节约工期。

6 效果分析

上述的优化，在基坑挖土至施工地下室二层结构时无明显差别，优化效果主要体现在施工地下一层结构阶段期间，经过研究分析主要有施工、进度、经济、外部环境影响四个方面的效果。

在施工及进度方面：①因（A2、J2、F2）3 个小坑地下一层结构顶板（B0 板）局部楼板厚 600mm。需设置间距 500mm 的排架，若施工 B0 板时留设第二道支撑（Φ609*16 钢管），则需在留设的钢支撑两侧进行排架加固，相同劳动力的条件下，排架搭设工期增加 3 天。②由于 3 个小坑的

南侧和西侧是复合墙，若保留第二道钢支撑（Φ609*16 钢管），则需在复合墙上留洞，复合墙上留洞需进行止水及洞口加固处理，这样不仅增加施工难度，同时还延长了施工时间。③施工 B0 板时，若先拆除第一道支撑保留第二道支撑（Φ609*16 钢管），则拆除第一道支撑时需搭设支撑架以确保第一道支撑安全拆除，既增加了施工的时间，又增加了成本。

在经济方面：①因提前拆除第二道支撑（Φ609*16 钢管），则节约了钢支撑租赁费用；②施工地下一层时拆除第二道钢支撑，保留第一道混凝土支撑，待 B0 版浇筑完成满足条件后，拆除混凝土支撑，比施工地下一层时，保留第二道支撑，拆除第一道支撑节约了切割拆除第一道混凝土时的支撑架。③因提前拆除第二道支撑（Φ609*16 钢管），复合墙上不需要留洞，则节约了留洞的加固与防水措施。④局部楼板厚 600mm，施工 B0 板时不留设第二道支撑（Φ609*16 钢管），则钢支撑两侧不需进行排架加固。

结合 BIM 技术以及施工前期按照原方案所收集的部分数据内容，先将优化后的技术指标与监测数据进行对比如表 2 所示：

相应经济效益优化效果如表 3 所示：

表 2

序号	项目	优化前	优化后	优化效果
1	基坑最大侧移	32mm	18mm	侧移减少近 50%
2	轴力不均匀系数	1.8	1.2	降低近 33%
3	结构施工缝数量	/	/	减少近 76%
4	混凝土裂缝发生率	0.3mm/m ²	0.1mm/m ²	降低 0.2mm/m ²
5	地连墙水平位移速率	1.2mm/d	0.6mm/d	减低近 50%
6	支撑轴力波动范围	/	/	± 10% 以内
7	周边建筑物沉降量	/	/	小于 8mm（预警值 15mm）

表 3

序号	项目	优化前	优化后	优化效果
1	排架加固	需加固	不需加固	节约成本 2 万元，缩短工期 4 天
2	钢支撑	租赁时长 4.5 个月	租赁时长 3 个月	节约租赁费 60 万元
3	洞口加固及止水	需加固止水	不需加固止水	节约成本 3 万元 缩短工期 4 天
4	支撑架	需要支撑架	不需要支撑架	节约成本 3 万元 缩短工期 10 天
5	洞口	侧墙洞口渗漏风险高	无侧墙洞口渗漏风险	/
	总计优化效果统计			节约成本 68 万元 缩短工期 18 天

在周围环境影响方面，基坑紧贴历史保护建筑，保护要求高。保留首道支撑能更大程度上减少基坑变形影响，同时工期缩短快速形成结构，降低基坑暴露风险，也能对教堂建筑起到很好的保护作用。施工期间，教堂本身沉降以及土体、桩顶位移等各项监测值皆趋于稳定，未出现突变，对照先拆首道撑后施工地下一层结构的项目，变形有所降低。圆满完成环教堂周围的最后两个小坑施工。

5 结语

本文从实际的工程案例出发，研究历史保护建筑旁的深基坑施工时，结合结构特点对设计采取的围护支撑应对措施提出了优化，并对照以往相似工程经验，比较了优化前后的效果，发现优化后的支撑优势明显，具体如下：

①有利于现场施工，减少脚手架反复搭拆次数，化繁为简，降低安全风险。

②节约工期，减少基坑暴露风险，可供工期紧任务重的同类项目参考。

③优化后的方案，节约了材料、租赁及人工费用，经济效益好。

④优化后结构一次成型，整体质量效果好，避免了不必要的留洞，降低了结构的渗漏风险。

⑤对周围环境影响相应减少，和谐共进。

在大力推进城市更新这个时代大背景下，历史保护建筑周边的施工越来越多，保护要求也提上了新的高度，在各种复杂情况下，不断优化施工方式积累宝贵经验，必然能让怀旧与更新共同存在。

参考文献

- [1] 刘征. 临近历史保护建筑的深基坑设计与施工[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(S2):1653-1659.
- [2] 魏春明. 新伟商务大厦超大深基坑工程优化设计与施工[D]. 同济大学, 2007.
- [3] 司徒翔. 某深基坑工程优化设计与施工方案实例[J]. 建筑工程技术与设计, 2016, 0(011):1182-1183.
- [4] 罗金生, 魏丽敏. 深基坑支护结构设计、施工的方案优化[J]. 建筑结构, 2005: 35 (12) 35-37.
- [5] 何晖, 王建智, 朱有禄. 深基坑工程优化设计技术及其工程应用[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3(8) 1529-1536.