

基坑支护受限的地下室支护和结构设计研究

刘枫¹ 陈志坚² 喻毅³

1. 湖南湘江新区发展集团有限公司; 2. 梅溪湖投资(长沙)有限公司; 3. 湖南省建筑设计院集团股份有限公司

摘要: 本文以梅溪湖国际新城中轴线东段(梅溪湖路-环湖路)地下空间项目为背景, 参照国内外类似项目成功案例和市政项目成功做法, 对基坑受限房建项目地下室结合基坑支护设计进行整体经济性对比分析, 在大柱网布置下分支护桩和地下连续墙对内支撑基坑不设肥槽、水平支撑与主体结构相结合的方案进行综合分析, 从技术、经济、施工、安全、环保等方面综合考虑, 推荐选用临时排桩支护+留肥槽+内支撑方案, 为以后地下室标准化设计提供参考。

关键词: 肥槽; 基坑支护; 逆作法; 经济性

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.17.090

一、工程概况

梅溪湖国际新城中轴线东段地下空间项目地下室平面尺寸约239.60m×51.50m, 建筑面积24235.10m², 地下二层, 负一层层高3.8m, 负二层层高3.6m, 地下室顶板平均覆土厚度1.5m。其主要功能为车库、设备用房, 负二层为人防地下室。

本项目南侧和北侧为三个在建项目, 其均已完成地下室施工或基坑开挖, 周边道路幅宽最大仅7m。项目东侧为已建成通车的市政道路, 项目红线离市政道路最大距离仅4m, 地下室边线离市政道路最大距离仅17.60m, 因此本项目基坑支护无法采用桩锚形式。

由于场地受限, 施工阶段只有两边有施工道路, 导致本项目的负二层基坑肥槽的土方运输条件受限, 混凝土的支撑梁拆除吊车位置受限。

二、柱网形式和结构布置

(一) 建筑柱网形式

本项目地面建筑仅为人行景观桥、出地面楼电梯间和两个公共卫生间, 地下建筑功能主要为停车场, 整体建筑功能较简单。考虑社会停车场使用的舒适性并兼顾经济性并参考相关研究^[1], 建筑主要柱网尺寸取为8.40x(8.20+7.90)m, 其典型柱网布置图如图2.1, 其停车指标如表2.1。

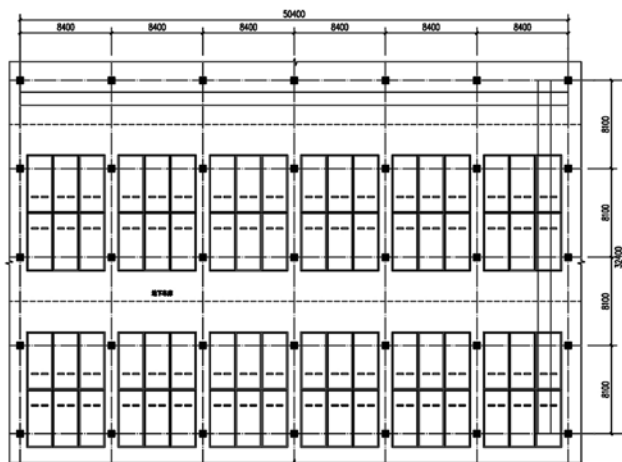


图2.1 8.40x8.10m柱网车位布置图

表2.1 停车效率指标表

柱网尺寸	车辆数	总面积 (m ²)	单车面积 (m ² /位)	柱数量
8.40x8.10	72	1632.96 (1068.48)	22.68	35

注: 括号内为车位所占面积。

(二) 结构设计条件

地下室顶板活荷载取5.0kN/m²(含施工荷载), 顶板覆土厚度考虑1.5m, 覆土容重取18kN/m³, 不考虑消

表2.2 地下室顶板与负一层板在不同结构形式下经济性对比

荷载/使用工况	结构体系	总钢筋用量 (kg/m ²)	总混凝土用量 (m ³ /m ²)	总模板用量 (m ² /m ²)	单方工程造价 (元/m ²)
地下室顶板 普通覆土荷载	单向双次梁	51.79	0.29	1.70	762.63
	十字梁	48.64	0.29	1.66	736.76
	井字梁	46.19	0.31	1.80	747.35
	框梁加腋大板	47.93	0.35	1.27	729.53
负一层板 普通汽车荷载	单向双次梁	17.79	0.17	1.49	406.24
	单向单次梁	19.69	0.17	1.44	416.83
	十字梁	20.45	0.18	1.49	434.36
	框梁大板	25.43	0.23	1.31	486.67
	框梁加腋大板	18.65	0.25	1.20	430.95
	实心无梁楼盖	29.19	0.24	1.14	501.63
空心无梁楼盖	23.45	0.23	1.79	524.6	

注: 1、以上材料单价均为综合单价; 2、上述方案未考虑层高对工程造价的影响

防车和人防荷载。地下室负一层仅考虑停车活荷载取 4.0kN/m^2 ，恒载仅考虑 2.0kN/m^2 装修抹灰荷载。抗震设防烈度6度，结构抗震等级四级。梁板混凝土强度等级C35，混凝土容重 25.0kN/m^3 ，扣除梁板柱重叠部分混凝土重量。梁、柱活荷载按规范要求根据不同结构布置形式进行折减。梁刚度放大系数按《混凝土结构设计规范》5.2.4条取值，计算考虑梁端刚域。

（三）结构布置形式和经济性优选

通过建立 7×7 的标准柱跨，顶板分别按单向双次梁、十字梁、井字梁和框梁加腋板进行布置，而负一层分别按单向单次梁、单向双次梁、十字梁、框架大板、框梁加腋大板和无梁楼盖进行建模计算。通过控制梁板的合理配筋率来优化梁板截面，并对各种结构布置形式下的梁板钢筋、混凝土和模板用量进行统计计算，得到各种结构布置下参考单方工程造价见表2.2。

通过计算对比分析可知：仅考虑覆土和施工荷载，不考虑消防车和人防荷载的情况下，地下室顶板采用框梁加腋大板综合单价最低、最经济，地下室负一层板采用单向双次梁综合单价最低、最经济。

（四）基础方案

各土层设计参数详表2.3。本项目抗浮水头约 7.000m 。根据结构试算和基础方案对比，本项目选用筏板基础，以粉质黏土层作为持力层，筏板板厚 400mm ，柱下局部加厚平面尺寸主要为 $3.40\text{m}\times 3.40\text{m}$ 和 $3.60\text{m}\times 3.60\text{m}$ ，对结构整体抗浮不满足的部分采用抗浮锚杆（锚杆锚固体直径 250mm ，单根锚杆承载力特征值 360kN ）进行整体抗浮。如果地下室采用逆作法或支护桩与工程桩共用时采用旋挖成孔灌注桩（兼做抗浮桩），底板采用防水板（板厚 350mm ），桩基尺寸和承台尺寸详表2.4。

表2.3 各土层设计参数

土层	E_s (MPa)	f_{ak} (kPa)	q_{sik} (kPa)	q_{pk} (kPa)
杂填土	3.0	100	/	/
粉质黏土	7.48	200	55	/
圆砾	8.0	280	140	/
强风化板岩	40.0	350	160	2000
中风化板岩	/	3000	240	10000

注： E_s ：压缩模量， f_{ak} ：天然地基承载力特征值；对于旋挖桩： q_{sik} ：桩极限侧阻力标准值， q_{pk} ：桩极限端阻力标准值。

表2.4 桩基和承台尺寸

桩号	竖向承载力特征值 (kN)	抗拔承载力特征值 (kN)	桩径mm	平均桩长m	入岩深度m	承台尺寸长x宽x高 (mxmxm)
ZHF1	4100	1000	800	13	4.0	3.4x3.4x1.0
ZHF2	5200	1650	900	14	5.0	3.6x3.6x1.0

三、支护方案与经济性分析

（一）基坑支护方案分析

根据建筑设计及现状标高，本项目基坑平均开挖深度约 9.5m 。基坑轮廓呈长方形，东西方向为长边，南北方向为短边。东边及西边地下室轮廓距离市政道路有一定距离，为满足后续出土及施工要求，基坑东侧和西侧均考虑双排桩支护。南北方向因红线外三个地块已建设地下室，且红线外已建地下室距离本项目基坑边线较近，锚索无法施工，故无法采用桩锚方案。因此，在悬臂桩无法控制变形满足规范要求和双排桩又无施工空间的情况下，南北方向的支护型式只能采取内支撑的型式。且场地临河临湖，需设止水帷幕。

经综合考虑和支护试算，如采用排桩+内支撑，桩径选用 1.2m ，桩间距 2.0m ，嵌固长度 6m ，桩间设置三重管高压旋喷桩；如采用地下连续墙，墙厚 600mm ，嵌固长度同排桩。两种方案均在顶部设置冠梁，冠梁位置布置一道混凝土内支撑。

（二）临时支撑+设基坑肥槽

1. 临时排桩支护+内支撑

采用临时排桩支护+设基坑肥槽+内支撑方案，考虑

基坑肥槽内搭设脚手架及外防水施工操作面的因素，基坑肥槽宽度按 1.5m 考虑。因南北跨度约 53m ，为方便基坑土方开挖，拟最大限度减少立柱数量及支撑梁的数量。南北方向的每根支撑梁设4根立柱，支撑梁沿东西方向间距按建筑轴网间距的2倍，以便于立柱避开结构主梁。支撑主梁与冠梁连接处设置八角撑，支撑梁以两根为一组形成桁架支撑。

因场地现状为西高东低，地下室也东西方向存在坡度，为满足地下室顶板施工，内支撑梁底高出地下室顶板 700mm （内支撑梁梁高 800mm ，冠梁未露出现状地面）。因支撑梁与地下室顶板部分冲突，需在负一层楼板位置进行换撑后再拆除内支撑。

2. 地下连续墙支护+内支撑

采用临时地下连续墙支护+设基坑肥槽+内支撑方案，支撑与立柱的布置原则同3.2.1节。因地下连续墙本身具有隔水作用，故采用地下连续墙后不需额外再做止水帷幕。但本场地填土较厚，且为杂填土，地下连续墙施工时需采用防垮孔的施工措施。

（三）临时支撑+不设肥槽

1. 排桩+内支撑

采用临时排桩支护+不设肥槽+内支撑方案，其支撑与立柱的布置原则同3.2.1节。取消肥槽后，地下室外墙紧贴支护桩，故无须考虑换撑及肥槽回填，即地下室负一层楼板施工完后，可直接进行拆撑施工，但需保证排桩的施工质量（垂直度等），且地下室外墙施工前需先对支护桩及桩间土进行挂网喷浆平整处理，且地下室外墙施工时需采取内支模形式。

2. 地下连续墙+内支撑

采用临时地下连续墙支护+不设肥槽+内支撑方案，支撑与立柱的布置原则同3.2.1节。同理，不设肥槽后，地下室外墙紧贴地下连续墙，即地下室负一层楼板施工完后，可直接进行拆撑施工。

（四）支撑与主体结构结合+不设肥槽^[2-3]

1. 排桩

采用排桩支护与主体结构结合+不设肥槽，排桩顶部设置冠梁直接与地下室顶板的梁板相连，利用地下室顶板的梁板作为水平支撑体系。因排桩之间存在桩间土，故地下室外墙施工前需先对支护桩及桩间土进行挂网喷浆平整处理，且贴支护桩还需单独设置地下室外墙。

2. 地下连续墙

采用地下连续墙支护与主体结构结合+不设肥槽，地下连续墙顶部设置冠梁直接与地下室顶板的梁板相连，利用地下室顶板的梁板作为水平支撑体系。地下连续墙本身作为地下室的外墙，但需额外增加相关防水措施，如地下连续墙浇筑时需采取抗渗混凝土并添加防渗剂，地下连续墙内侧增加内防水等。

（五）经济性分析

各支护方案造价计算内容包含主体和支护两部分，计算范围均为一跨，主体面积相同（均约1242.36m²），各种支护形式和施工工艺下的单方综合造价见表3.1。

表3.1 单方综合造价

支护方案	单方造价 (元/m ²)
临时排桩支护+留肥槽+内支撑	4855.01
临时地下连续墙支护+留肥槽+内支撑	5484.12
临时排桩支护+不留肥槽+内支撑	4839.88
临时地下连续墙支护+不留肥槽+内支撑	5469.00
支护桩+不设肥槽+支撑与主体结合（逆作法）	4636.76
地连墙+不设肥槽+支撑与主体结合（逆作法）	5413.65

从上表可知，仅从经济性方面比较，支撑与主体相

结合（逆作法）较同类型临时支护方式经济，支护桩较地下连续墙经济，本项目最优支护方案为支护桩+不设肥槽+支撑与主体结合（逆作法），但其单方造价与临时排桩支护+留肥槽+内支撑仅相差4.7%。

四、结论

从技术角度考虑，排桩、地下连续墙都有成熟的施工技术。针对本项目的特殊性（有一河湖连通道从基坑内穿过，且该管道在改迁管道施工前需保留），本项目支护形式不宜采用地下连续墙。

从施工便利性考虑，因场地周边施工条件限制，特别是南北方向因红线外项目占道施工，无法形成施工环道，且汽车塔吊无处摆放。因此不设基坑肥槽（无须换撑回填基坑肥槽）施工更方便。但如采用支撑与主体结构结合的逆做法时，地下室的柱子均需设置立柱，立柱密度增加，且逆作法的土方出土难度大大增加，施工便利性大大降低。

从安全性考虑，上述支护形式均安全可靠。但不同的支护形式，施工存在不同的施工安全风险。如采用临时支撑+不设肥槽的方案，对支护桩（地下连续墙）的定位及垂直度要求较高，施工偏差容易导致支护结构侵占地下室外墙的空间。如采用支撑与主体结构结合的方案，立柱密度增加，基坑土方开挖施工机械碰撞立柱的风险增加，地下室顶板，地下室外墙的漏水风险增加等。

从环保方面考虑，支撑与主体结构结合的方案不需要拆撑，减少了建筑垃圾的产生，更加环保。

综上所述，从技术、经济、施工、安全、环保等各方面综合考虑本项目建议采用常规的临时排桩支护+留肥槽+内支撑方案。

参考文献

[1]梁欣、樊君健、王胡进. 独立地下车库柱网经济性研究[C]. 大型建筑钢与组合结构国际会议, 2014.
 [2]田卫国, 管聪聪, TIAN, 等. 临时基坑支护系统与永久地下室结构“二合一”施工关键技术[J]. 建筑施工, 2017, 39(11): 4.
 [3]王卫东, 王建华. 深基坑支护结构与主体结构相结合的设计、分析与实例[M]. 中国建筑工业出版社, 2007.

作者简介：刘枫，1973.8.2，男，汉族，湖南湘乡，硕士研究生，现有职称：高级工程师、注册造价工程师，研究方向：房屋建筑工程及市政工程。