

# 杭州火车西站枢纽核心区基坑群 设计施工基本原则分析

郦仲华<sup>1</sup>, 袁静<sup>2</sup>, 童星<sup>2\*</sup>, 张金红<sup>2</sup>, 李瑛<sup>2</sup>, 刘兴旺<sup>2</sup>

(1. 杭州市交通投资集团有限公司, 浙江 杭州 310051; 2. 浙江省建筑设计研究院, 浙江 杭州 310006)

**摘要:** 杭州火车西站枢纽是集多种交通形式于一体的大型综合交通枢纽, 同时也是以公共交通导向(TOD)模式开发的代表性案例。其核心区地下空间格局十分复杂, 基坑具有平面尺寸大、开挖深度深、包含子项多、地质条件复杂、工期紧张等特点, 采用传统基坑支护理念设计施工无法满足工期要求, 同时造价较高。为此, 本文通过对平面分区、围护结构与止水帷幕布置形式以及相关冗余措施等方面的分析, 提出通过合理分区明确各部分施工界面和施工顺序, 围护结构与止水帷幕尽量采取整体设计, 并充分利用地下空间自身高差特点优化设计参数, 以及通过增设冗余措施增加施工自由度等设计施工的基本原则, 从而为本项目实施提供指导性意见, 并为今后类似工程提供借鉴。

**关键词:** 杭州火车西站枢纽; 公共交通导向(TOD); 基坑支护; 整体设计; 冗余措施

中图分类号: TU470

文献标志码: A

文章编号: 2096-7195(2021)02-0137-06

## Analysis on the basic principles of design and construction of foundation pit group in the core area of Hangzhou west railway station hub

LI Zhong-hua<sup>1</sup>, YUAN Jing<sup>2</sup>, TONG Xing<sup>2\*</sup>, ZHANG Jin-hong<sup>2</sup>, LI Ying<sup>2</sup>, LIU Xing-wang<sup>2</sup>

(1. Hangzhou Communications Investment Group Co., Ltd., Hangzhou 310051, China;

2. Zhejiang Prov. Institute of Architectural Design and Research, Hangzhou 310006, China)

**Abstract:** Hangzhou west railway station hub is a large-scale comprehensive transportation hub with a variety of transportation forms. It is also a representative case developed in TOD mode, and the underground space pattern of its core area is very complex. The foundation pit has the characteristics of large plane size, deep excavation depth, many sub items, complex geological conditions and tight schedule period. The traditional design and construction concept of foundation pit support cannot meet the requirements of construction period, and the cost is high. Therefore, through the analysis of plane zoning, layout form of enclosure structure and waterproof curtain and relevant redundancy measures, some basic principles of design and construction are presented such as the construction interface and sequence of each part should be clarified through reasonable zoning, and the overall design of enclosure structure and waterproof curtain should be adopted as far as possible. Meanwhile, the design parameters should be optimized by making full use of the height difference characteristics of underground space, and the redundancy measures could be added to increase the efficiency. These principles can provide guidance for implementation of this project and reference for similar projects in the future.

**Key words:** Hangzhou west railway station hub; transit-oriented development (TOD); foundation pit support; overall design; redundancy measure

收稿日期: 2021-03-07

基金项目: 浙江省建设科研项目(2020K110)。

作者简介: 郦仲华(1967—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事工程管理。E-mail: zjhzhonghua@sohu.com。

\*通讯作者: 童星(1989—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事基坑工程方面的设计和研究。E-mail: tongxing8998@yeah.net。

## 0 前言

随着我国城市化进程加速,市区蔓延、土地匮乏、交通拥堵、环境恶化等问题日益凸显,对城市的可持续发展带来了严峻挑战。为解决这些问题,近年来以公共交通为导向的 TOD (Transit-Oriented Development) 模式正得到越来越多的尝试。有别于传统城市发展模式, TOD 强调对土地的集约利用,通过规划紧凑型社区,发挥基础设施效力,提供多样化交通和住房来控制城市的蔓延<sup>[1]</sup>。

杭州火车西站枢纽(以下简称西站枢纽)是 TOD 模式下土地开发的代表性案例。相较于传统地块式地下空间,西站枢纽地下空间格局更为复杂。不同功能的紧密联系以及共享空间的特点,对项目整体的建设时序、基坑支护设计方案、施工组织等均提出了较高要求,若仍按照传统方式进行设计、施工,则相应的造价和工期将变得十分高昂和漫长。为此,有必要针对西站枢纽地下空间的特点,提出相应的基坑支护设计理念和技术措施,从而提高效率,降低成本。

国内学者在大型交通枢纽建设技术方面已取得一些研究成果,对超深、超大、体形复杂的基坑支护设计思路和计算方法进行了改进,并在工程实践中获得了较好的应用<sup>[2-6]</sup>。本文对杭州火车西站枢纽核心区基坑支护设计施工的若干基本原则进行了探讨,旨在为本项目实施提供指导性意见,并为今后类似大型 TOD 地下空间基坑工程提供借鉴。

## 1 杭州西站工程概况

杭州火车西站枢纽位于杭州市余杭区,未来科技城核心片区北侧(见图1)。总用地面积约 30 万 m<sup>2</sup>,整体开发量地上约 170 万 m<sup>2</sup>,地下约 45 万 m<sup>2</sup>,其中站房总量约 10 万 m<sup>2</sup>,配套工程约 40 万 m<sup>2</sup>,综合开发约 120 万 m<sup>2</sup>,建成后将成为长三角一体化的重要联系纽带<sup>[7]</sup>。

西站枢纽整体设计以打造“站城一体”,城市未来生活的典范区为目标。结合整体“云之城”的理念,将站房综合体设计融入整体环境考虑,站房与城市综合体多层次、多维度地建立联系,打造站城高度融合的超级 TOD。

### 1.1 核心区地下空间组成

西站枢纽核心区的地下空间主要包含:国铁站房(主体站房、侧式站房)与云门地下室、4 条地

铁线(机场快线、3 号线、K2、K3 线)、南北综合开发体地下室以及地下市政环路等部分。如图 2 所示,各部分在平面上紧密相邻,空间上穿插交叠、互联互通。地下空间基坑总体呈矩形,面积约 660 m×460 m,平面面积大;开挖深度约 10~28 m,各部分开挖深度如表 1 所示。

### 1.2 工程地质条件

拟建场地地貌类型属于滨海平原区-湖沼积平原亚区,地势开阔较平坦,覆盖层厚度相对较大,上部主要为冲湖积粉土、黏性土层,海积的淤泥质土、黏性土层,中下部为洪冲积、坡洪积的粉质黏土、粉砂、中砂及圆砾,下伏基岩为下白垩统朝川组泥质粉砂岩、砂砾岩。基坑施工影响范围内的土层有:①<sub>1</sub>杂填土,①<sub>2</sub>素填土,①<sub>3</sub>淤泥质填土,②<sub>2</sub>粉质黏土,③<sub>2</sub>砂质粉土,④<sub>1</sub>淤泥质粉质黏土,⑤<sub>1</sub>粉质黏土,⑤<sub>2</sub>粉质黏土夹粉土,⑥<sub>2</sub>粉质黏土,⑦<sub>1</sub>粉质黏土,⑦<sub>2</sub>粉质黏土,⑦<sub>夹</sub>粉砂夹粉质黏土,⑧<sub>2</sub>粉质黏土,⑧<sub>3</sub>粉砂夹粉质黏土,⑨<sub>2</sub>含砂粉质黏土,⑩<sub>夹</sub>粉质黏土,⑩<sub>2</sub>中砂,⑩<sub>4</sub>圆砾,⑩<sub>a-1</sub>全风化泥质粉砂岩,⑩<sub>a-2</sub>强风化泥质粉砂岩,⑩<sub>a-3</sub>中风化泥质粉砂岩。

其中,浅层④<sub>1</sub>淤泥质粉质黏土层厚度不均,层顶埋深 0.2~5.5 m,厚度 0.6~4.3 m,呈流塑状;其下约 20~30 m 范围内为黏性土,渗透系数小,土质较好;深坑坑底接近承压含水层顶,土体渗透系数大,承压水头埋深约为 2.45 m。

### 1.3 周边环境

西站枢纽核心区场地北侧、东侧为河道,西侧为良上线,南侧为宣杭铁路及八达物流库房。东南角有两层浅基础砖混结构,东北角河道北侧有一村落。综合开发体施工前南侧宣杭铁路将停运,北侧河道需迁改。



图 1 杭州火车西站枢纽效果图

Fig. 1 Design sketch of Hangzhou west railway station hub

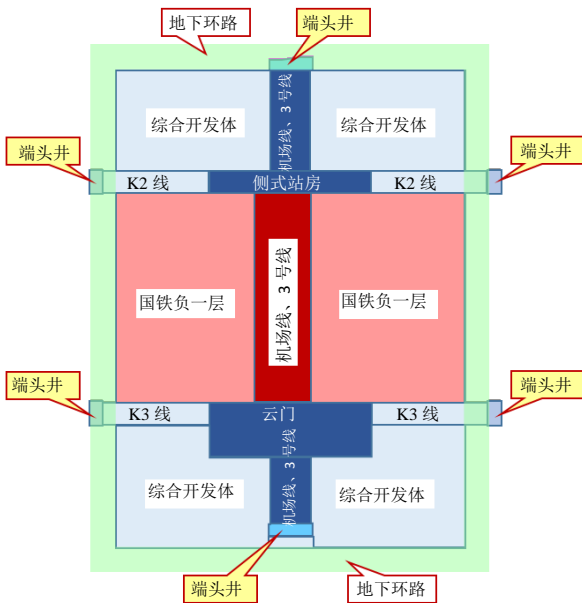


图2 杭州火车西站枢纽核心区地下空间平面布局  
Fig. 2 Layout of underground space of Hangzhou west railway station hub core area

表1 基坑开挖深度汇总表

Table 1 Summary of foundation pit excavation depths

范围	地下室层数	开挖深度/m
机场线、3号线 地下结构标准段	两层	17
机场线、3号线 地下结构南北段	两层（不包括夹层）	17~24
国铁负一层 （西侧及东侧）	一层（不包括夹层）	10
K2线、K3线标准段	三层（不包括夹层）	28
侧式站房、云门	三层（不包括夹层）	28
综合开发体	暂定四层	24
地下环路	—	6.5

### 1.4 工期目标

本项目总体工期目标：机场快线、3号线和站房、站场在2022年亚运会前建成运营，总工期仅约3.5年。此外，综合开发体（南、北）目标完成至地面层，云门结构及外立面完成。工期压力大，对设计、施工要求高。

## 2 基坑支护设计思路分析

由于开发项目数量众多、体量庞大、深浅不一、平面距离相近、施工工期交叠，不可避免存在相邻基坑先后施工、交叉流水作业的工况，因此在前期筹划过程中，相关设计咨询单位针对西站枢纽地下

空间的上述特点，就以下几个方面对核心区基坑支护方案的设计思路和关键技术进行了比较分析。

### 2.1 考虑开挖深度与建设工期的平面区块划分

西站枢纽核心区地下空间平面总体可分为3大区块：A区，挖深10~17m；B区，挖深>20m；C区，挖深>20m。在此基础上，考虑到整体基坑由多个不同功能、不同挖深、不同开工时间、不同工期要求的子项组成，又将其进一步细分为9个区块，如图3所示。其中：

(1) A-1区为计划运营地铁（3号线与机场快线）与国铁站房交叠区域，是影响总体工期的关键部位，需最先进行土方开挖作业。

(2) A-1区、B-1区及C-1区为3号线与机场快线地铁车站范围，需尽快完成施工并投入运营。

(3) A-1区、A-2区为国铁站房范围，可在A-1区施工至-10m标高时同步进行施工，有利于整体施工部署以及材料设备的全场周转。

(4) B-2区、B-3区、C-2区、C-3区为综合开发体地下空间以及远期K2线、K3线标准段。其中综合开发体目标要求为完成至地面层，而K2线、K3线则仅需完成土建部分。

(5) 为避免影响地下环路和地面道路施工进度，端头井可与邻近基坑整体合并同步施工或先期施工。

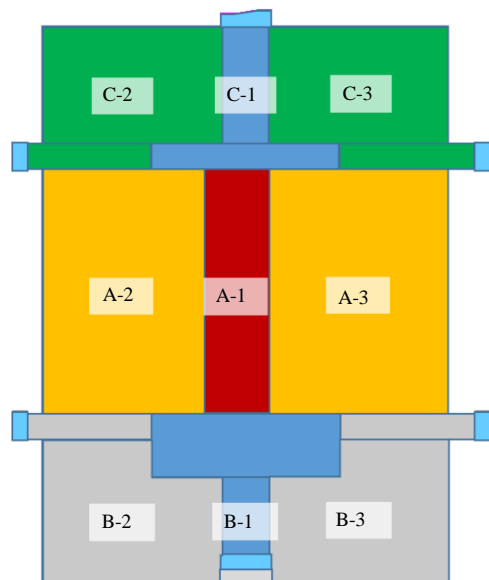


图3 基坑细化分区示意图

Fig. 3 Detailed zoning of foundation pit

### 2.2 考虑整体设计的围护结构形式

西站枢纽核心区地下空间由多个子项组成，同时按照工期要求完成施工。若按照传统设计思路对

地铁、国铁、综合开发体、地下环路等分别进行单独设计、各自施工，则会带来围护桩基工程量大、工期长、相邻基坑相互影响、场地周转困难等诸多问题，尤其是工期不满足目标要求。为缩短工期、节约工程造价、适应复杂土质条件和周边环境的目标，可将西站枢纽核心区地下空间作为整体进行设计。

按照基坑开挖深度不同，可分为浅基坑（挖深10 m范围）和深基坑（挖深 $\geq 17$  m范围），同时考虑到浅基坑位于深基坑两侧的有利条件，可将浅基坑和深基坑坑边整体卸土10 m，剩余工字型深基坑范围进行整体设计，如图4所示。在满足周边环境要求的前提下，在“工字型”深基坑（挖深 $\geq 17$  m）范围内进行基坑整体设计，选择合理围护措施，加快施工进度，达到预定目标。

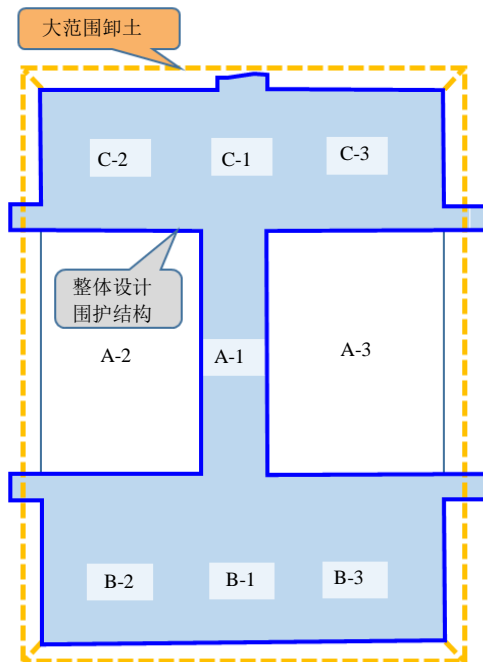


图4 整体设计围护结构平面示意图

Fig. 4 Schematic plan of overall designed enclosure structure

整体卸土10 m的优势在于：（1）可结合场地平整工作，在图纸尚不完备的条件下先放坡开挖，后施工桩基，有利于加快工期进度；（2）整体卸土后深基坑的开挖深度减小，围护结构参数及支撑道数也能进一步优化，由此可大大降低围护工程造价，同时加快施工速度，减少深基坑开挖的施工时间；（3）可以协调A区和B区因开工时间不同带来围护结构侧边土压力不平衡、不协调的问题。

此外，卸土的同时还可结合地下环路及管廊等建设，如图5所示。一方面，可将放坡平台扩大，

有利于增强基坑稳定性；另一方面，可简化环路或管廊的围护形式，降低围护造价和土方回填成本，符合节能环保的理念。

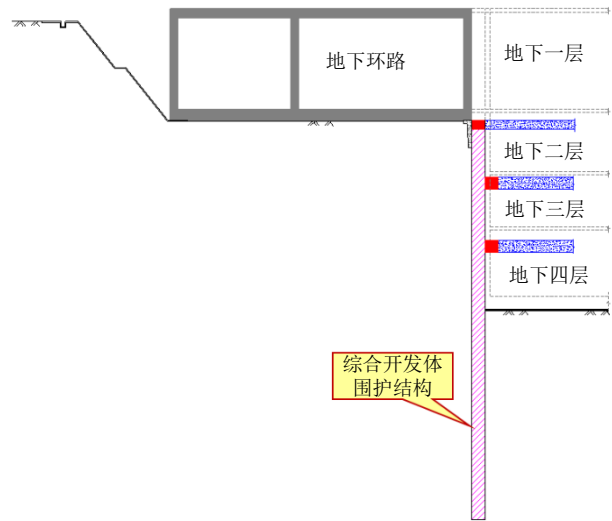


图5 围护结构顶部放坡开挖结合地下环路设置

Fig. 5 Step-slope excavation above the top of envelope structure combined with the underground ring road installation

根据现场条件和周边环境，采用整体卸土10 m方案时，仍存在一些限制条件，但均可通过技术措施予以解决，例如：

（1）周边场地遇条件限制（如宣杭铁路废除晚、较近民居拆迁困难等）时，该处可考虑采用悬臂式排桩、土钉墙或复合土钉墙等围护方案。

（2）大放坡范围浅层存在④<sub>1</sub>淤泥质粉质黏土层（北侧该层较薄或几乎没有，南侧约2~3 m厚，埋深约1~2 m），根据淤泥质粉质黏土层分布，浅层放坡剖面可考虑放缓坡、土钉墙或复合土钉墙，水泥搅拌桩加固等围护方案。

### 2.3 考虑施工自由度的冗余措施

由于西站枢纽核心区地下空间各子项的挖深不同、开工日期不同、建设主体不同，工程存在诸多天然界面，因此在整体设计的前提下，必须兼顾不同子项的围护界面，采取围护结构冗余技术措施（如图6所示）。具体包括以下几方面：

（1）A-1区与B-1区、C-1区界面：在先行实施区工期紧张的前提下，通过A-1区与B-1区、C-1区间设置冗余措施，从而达到A-1区先行实施的条件，可满足A-1区基坑及主体结构优先完成的目标。

（2）B-1区与B-2区、B-3区间（C-1区与C-2区、C-3区间）界面：机场线、3号线工期要求较综合开发体、K2线、K3线更为紧张，为优先满足



B-1 区 (C-1 区) 基坑和主体结构施工, 可根据需要在此界面设置一定的冗余措施。

(3) B-1 区 (C-1 区) 内部界面: 由于站房部分结构柱落在侧式站房及云门基坑范围内, 其施工进度直接影响站房工期。因此可在机场线、3 号线南北段与侧式站房 (或云门) 间设置冗余措施以满足整体工期安排。

(4) 端头井与邻近工程界面: 端头井可根据需要先于邻近工程实施 (设置冗余措施), 从而达到接收条件。

冗余措施的设置可实现分区设计、施工, 减小施工交叉和施工干扰的目标。在整体设计的基础上, 在基坑内部界面适当设置冗余措施 (包括冗余围护墙和冗余支撑体系), 有利于标段划分和施工流水作业, 可确保关键工程的关键时点满足要求, 从而增加施工自由度。

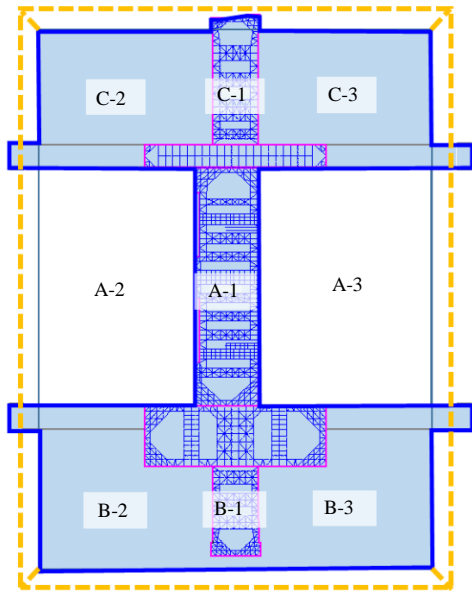


图 6 内部界面设置冗余措施  
Fig. 6 Redundancy measures for internal interface

### 2.4 考虑整体性与经济性的止水帷幕设置

根据地勘资料, 本项目承压含水层顶板埋深约 30 m, 承压水头埋深约 2.45 m, 试算可得承压水头平衡临界深度约 13.6 m, 而“工字型”范围基坑开挖深度  $\geq 17$  m, 因此存在承压水突涌风险, 需考虑设置止水帷幕并结合降水措施。

在整体设计思路下, 止水帷幕可结合“工字型”围护结构进行设置, 同步实施 (见图 7a), 但“工字形”止水帷幕形状不规则、施工工期较长、造价较高。若采用“矩形”止水帷幕, 则平面规整、止水效果好、施工方便, 其中 A 区东西侧无受力要求,

可仅设置单一止水帷幕, 从而大大减小止水帷幕的工程量、缩短工期、降低工程造价 (见图 7b)。

采用整体止水帷幕前提, 要求在 A-1 区及其他先行施工区域开挖至临界深度 13.6 m 前能够实现平面上止水帷幕封闭。鉴于本项目工期紧张, 在“矩形”止水帷幕封闭存在不确定性的情况下, 也可考虑在先行实施区增加冗余止水帷幕, 确保工期满足要求。

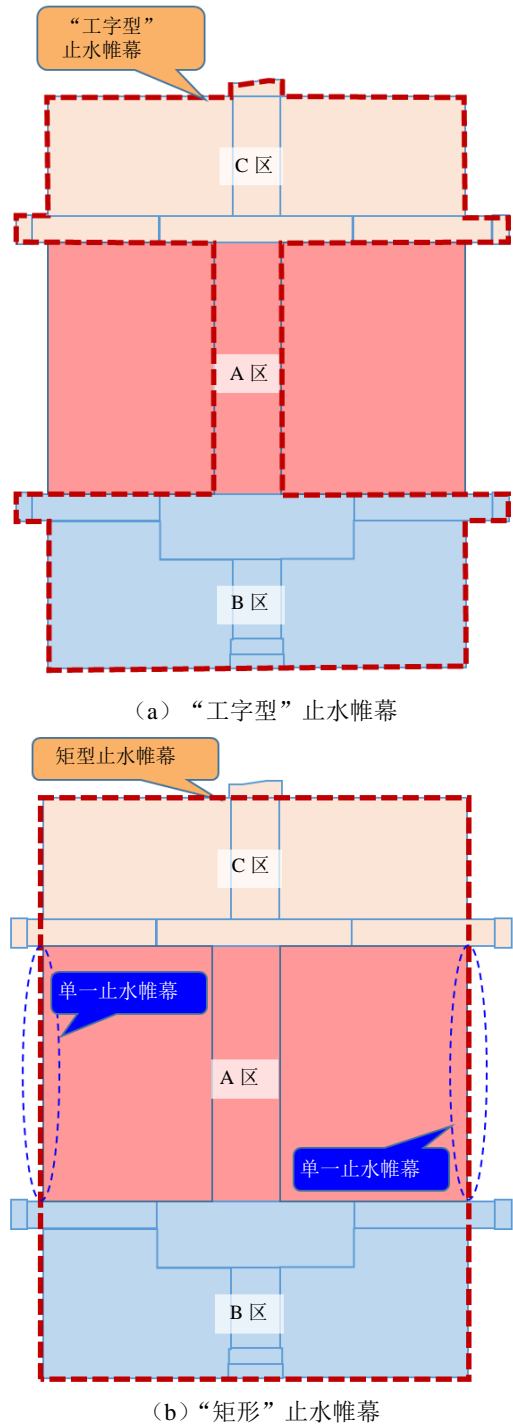


图 7 不同形式止水帷幕平面布置比较  
Fig. 7 Comparison of layout of different types of waterproof curtain

### 3 结 论

杭州火车西站枢纽核心区基坑具有平面尺寸大、开挖深度深、包含子项多、地质条件复杂、工期紧等特点。基于上述特点,本文就基坑围护平面分区、围护结构与止水帷幕布置形式以及相关冗余措施等方面进行了探讨,得出大型 TOD 地下空间基坑支护设计施工中可遵循的一些基本原则:

(1) 合理分区,找出影响总体工期的关键部分先行实施,并根据功能要求、开挖深度、工期要求等规划先后分区施工。

(2) 尽量采取整体设计,将外部界面转化为内部界面,将多个独立基坑转化为一个或几个包含局部深坑的大基坑。

(3) 充分利用地下空间自身的高差特点,减少深基坑开挖深度,简化、优化支护形式,从而降低围护造价,缩短工期。

(4) 条件充分时,止水帷幕可沿基坑群外轮廓线布置,并且尽量截弯取直。

(5) 当相邻子项或相关工序难以衔接时,可适当增设冗余措施(围护、支撑、止水帷幕等),增加施工自由度和灵活性,确保关键工程的工期目标能够顺利完成。

#### 参考文献

[1] 冯小杰,何晖. “TOD”理论与城市地下空间利用[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3(6): 1000-1004.  
FENG Xiao-jie, HE Hui. Transit-oriented development theory and utilization of urban underground space[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2007, 3(6): 1000-1004.

[2] 徐向辉. 虹桥综合交通枢纽深大基坑关键技术研究[J]. 铁道工程学报, 2009(6): 44-49.  
XU Xiang-hui. Research on the key technology for big and deep foundation pit for Shanghai Hongqiao integrated transport hub[J]. Journal of Railway

Engineering Society, 2009(6): 44-49.

[3] 贾坚, 谢小林, 张羽, 等. 城市综合交通枢纽地下空间一体化建设技术[J]. 上海交通大学学报, 2012, 46(1): 7-12.  
JIA Jian, XIE Xiao-lin, ZHANG Yu, et al. Techniques of the integration construction of underground space in comprehensive urban transportation hub[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2012, 46(1): 7-12.

[4] 翁其平, 王卫东. 多级梯次联合支护体系在上海虹桥综合交通枢纽基坑工程中的设计与实践[J]. 建筑结构, 2012, 42(5): 172-176.  
WENG Qi-ping, WANG Wei-dong. Design and construction of multi-level supporting system for deep foundation pits excavation of Shanghai Hongqiao integrated transport hub[J]. Building Structure, 2012, 42(5): 172-176.

[5] 翁其平. 无锡火车站综合交通枢纽超大面积基坑工程设计与实践[J]. 土木工程学报, 2015, 48(S2): 103-107.  
WENG Qi-ping. Design and practice of the super-large deep excavation of the Wuxi railway station traffic hub[J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(S2): 103-107.

[6] 刘德欣, 刘志贺, 过锦, 等. 复杂环境条件下软土地基地铁车站基坑变形特性与控制[J]. 地基处理, 2020, 2(6): 509-515.  
LIU De-xin, LIU Zhi-he, GUO Jin, et al. Deformation characteristics and control of subway station foundation pit in soft soil base under complex environment[J]. Journal of Ground Improvement, 2020, 2(6): 509-515.

[7] 于晨, 殷建栋, 郭磊, 等. “站城融合”策略在高铁站房设计中的应用与研究——以杭州西站方案设计的技术要点分析为例[J]. 建筑技艺, 2019(7): 45-51.  
YU Chen, YIN Jian-dong, GUO Lei, et al. Application and research of “station-city integration” strategy in the design of high-speed railway station: Taking Hangzhou west railway station as an example[J]. Architecture Technique, 2019(7): 45-51.