

文章编号: 1674—8247(2021)01—0084—04  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.01.018

## 昆明枢纽扩能改造下穿通道基坑支护工程设计研究

譙春丽

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**昆明枢纽沿线软土发育范围广、深度大、成分复杂,工程地质条件、水文地质条件极为复杂。枢纽扩能改造工程下穿通道基坑多毗邻既有铁路、军事管制区、市政道路及高层建筑物等,变形控制要求高、难度大。复杂敏感环境下软土深基坑的支护设计及变形控制成为扩能改造工程的设计难点。本文在搜集、分析昆明地区既有基坑工程案例经验教训的基础上,归纳总结了影响昆明枢纽基坑工程安全的关键性因素,研究了软土基坑中围护结构、内支撑的受力变形特征,揭示了基坑施工对临近设施影响的作用机理,提出了“防渗水、保安全、控变形、重监测”的基坑设计原则,形成了复杂敏感环境下软土基坑加固及变形控制成套技术,可为未来昆明地区基坑工程的安全设计提供理论支撑。

**关键词:**昆明枢纽;扩能改造;基坑支护;变异性控制;监测;软土

**中图分类号:**TU473

**文献标志码:**A

84

## Design Study on Foundation Pit Support Engineering of the Underpass for the Kunming Hub Capacity Expansion and Reconstruction Project

QIAO Chunli

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Soft soil is extensively developed along the Kunming Hub featuring deep depth, complicated composition, and extremely complex engineering-geological conditions and hydro-geological conditions. Most foundation pits of the underpass for the Kunming Hub capacity expansion and reconstruction project approach existing railways, military control zones, municipal roads, and high-rise buildings, with high requirements and construction difficulties on deformation control. In the complex and sensitive environment, the support design and deformation control for deep foundation pits in soft soil has brought great difficulties for the design of the capacity expansion and reconstruction project. This document collects and analyzes the cases and experience of existing foundation pit projects in Kunming, summarizes the key factors affecting the safety of foundation pit engineering of Kunming Hub, studies the stress and deformation features of the enclosure and inner support for foundation pits in soft soil, reveals the mechanism how foundation pit construction affects adjacent facilities, presents the design principles of "seepage prevention, safety protection, deformation control, and monitoring highlight" for foundation pits, and forms packaged technologies for reinforcement and deformation control of soft-soil foundation pits in the complex and sensitive environment. It provides theoretical support for the safety design of foundation pit engineering in Kunming in the future.

收稿日期:2020-11-25

作者简介:譙春丽(1976-),高级工程师。

引文格式:譙春丽.昆明枢纽扩能改造下穿通道基坑支护工程设计研究[J].高速铁路技术,2021,12(1):84-87.

QIAO Chunli. Design Study on Foundation Pit Support Engineering of the Underpass for the Kunming Hub Capacity Expansion and Reconstruction Project[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(1):84-87.

**Key words:** Kunming Hub; capacity expansion and reconstruction; foundation pit support; deformation control; monitoring; soft soil

## 1 工程概况

昆明铁路枢纽是承接成昆、南昆、沪昆、昆河、南昆、渝昆及长昆7条入滇铁路干线的重要枢纽。枢纽改造工程正线长89.98 km,涉及昆明市主城区,对地方土地和城区有明显的分割作用。因此,在铁路扩建实施的同时,宜充分考虑与铁路交叉的城市通道,预留相应的通道,以保证城市的完整性和统一性。沿线采用“上跨”或“下穿”的方式与周边既有铁路、市政道路衔接,形成立体交通疏解。

昆明枢纽沿线软土发育范围广、深度大、成分复杂,尤其淤泥质土和泥炭质土含水率高(300%左右)、孔隙比大(2~3左右)、腐殖质含量高(最高达90%)。地下水位通常位于地表以下1~2 m,工程地质条件、水文地质条件极为复杂。昆明枢纽框架桥基坑工程共计24处,平均深度10 m、最大深度15 m,基坑工程毗邻既有铁路、军事管制区、市政道路及高层建筑物等,周边环境敏感,变形控制要求高、难度大。

## 2 工程难点

### (1) 工程地质条件、水文地质条件极为复杂

滇池盆地内广泛分布冲洪积或河湖交互相沉积软土及松软土,软土主要为软塑~流塑状的淤泥质土、淤泥、泥炭质土等,松软土主要为软塑状黏性土和部分饱和状粉土。昆明铁路枢纽位于滇池附近,沿线淤泥、淤泥质土、泥炭质土、松软土、砂土、黏性土在空间展布上交互沉积,土层性质纵横分布变化较大,软土、松软土向滇池方向逐渐增厚。线路附近软土及松软土厚度一般在2~20 m之间,部分地段大于20 m,局部地段深度40 m以下仍有软土分布。昆明地区软土具有压缩性高、孔隙比大(一般在2~3左右)、含水率高(一般在300(左右)及腐殖质含量高(最高达90%)等特点。

软土基坑的受力变形特性具有显著的区域性,以往关于软土基坑的研究多集中在沿海地区,滨海地区软土多为海陆交互相,有别于昆明地区软土,其相关研究成果是否适用于昆明地区的软土基坑,尚有待进一步研究。同时,昆明地区地下水位通常位于地表以下1~2 m。当基坑开挖超过地下水位后,基坑内外水头差逐渐增大,由地下水渗流引发的基坑稳定性降低问题无法回避,可靠的隔水措施设计成为保障软土基坑

支护结构安全的关键一环。

### (2) 沿线环境敏感,变形要求高

近年来,随着我国各地高层建筑的不断兴建、管线入地工程的不断推进,基坑周围的环境越来越复杂。基坑开挖过程中,土体应力释放,进而引起周围土体的变形,最终对临近建筑、城市干道、管线等造成影响。昆明枢纽基坑工程周边环境极为复杂,毗邻既有铁路、军事管制区、市政道路及高层建筑物等,变形控制要求高,基坑工程受到环境制约更加凸显。深入研究基坑施工对临近设施影响的作用机理,建立简单有效的变形预测方法,为临近设施变形的控制措施提供理论支撑是工程的一大难题。

### (3) 基坑工程规模大,临时围护结构的优化设计迫切

处于敏感环境条件下的深基坑工程,在保证基坑围护结构局部和整体安全性的同时,还需确保临近设施不受功能性损害。我国深基坑工程一般采用临时支护方式,工程结束后,临时支护将被拆除或废弃。昆明枢纽框架桥基坑工程共计24处,作为临时支护的钻孔灌注桩数超过4 500根,框架桥施工完成后,临时支护桩将全部被废弃在地下,造成巨大工程浪费。合理优化基坑围护结构,使临时围护体系安全、高效、经济成为工程亟需解决的另一大难题。

## 3 研究思路

本文首先在搜集、分析昆明地区既有基坑工程案例经验教训的基础上,归纳了影响昆明枢纽基坑工程安全的关键性因素;然后结合昆明枢纽下穿工程基坑围护结构的设计检算资料,总结了地质条件、基坑开挖尺寸、围护结构刚度以及内支撑刚度等对围护结构的受力变形特征和内支撑轴力的影响;再展开软土基坑工程施工过程研究,系统地分析了施工过程中基坑和周围土体的变形特征、围护结构各构件对基坑变形控制的贡献程度;最后,从基坑和周围土体的变形特征入手,找到围护结构优化的切入点,为处于敏感环境条件下深基坑工程围护结构优化设计提供分析思路。

(1) 基坑周围土体变形的三维效应显著,基坑不同位置处的侧向位移有所不同<sup>[1]</sup>。受围护结构和内支撑的限制作用,基坑角点附近的地表沉降会相应减小,造成基坑周围土体的差异沉降。在控制基坑周围

土体绝对沉降的同时,需考虑局部差异沉降可能对临近设施造成的损害。

(2)基坑开挖完成后,周围土体的蠕变变形会继续缓慢发展,且占总变形量的比例超过30%,基坑周围土体变形具有明显的“时空效应”。合理筹划安排开挖作业面,在确保施工安全的前提下加快施工进度,缩短施工工期,充分利用土体变形的“时空效应”有效减小基坑及临近设施的变形。

(3)引入冗余度设计理论<sup>[2]</sup>来量化评价基坑围护体系局部和整体的安全性,通过对围护结构各个构件的冗余度分析,明确对结构冗余度影响程度较高的重要构件,用于指导基坑围护结构的优化设计。

(4)对基坑周围环境简单分区,分析临近设施承受变形的能力,筛选出典型的变形控制点。以各控制点变形容许值、围护结构各构件预期安全度为控制条件,建立软土基坑围护结构的多目标优化数学模型<sup>[3]</sup>。提出满足基坑局部、整体安全性及临近设施变形要求的基坑围护结构优化设计方法,得出基坑围护设计的流程如图1所示。

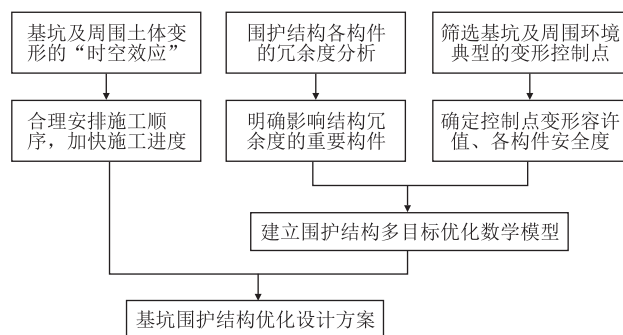


图1 基坑围护设计的流程图

## 4 设计方案

针对昆明枢纽基坑场地工程地质、水文地质条件及所处的环境条件<sup>[4]</sup>,以“防渗水、保安全、控变形、重监测”为设计原则,通过对多种支护结构的分析、对比,最终采取昆明枢纽扩能改造下穿通道基坑支护设计方案。

### (1) 防渗水

考虑周边环境以及泥炭质土弱透水性特点<sup>[5-7]</sup>,基坑采用桩径0.5 m的旋喷桩作为止水帷幕。

### (2) 保安全

基坑开挖边坡均采用喷锚网防护,开挖边坡坡率均为1:1.5,锚杆采用Φ18HRB400钢筋制作而成,长2 m,间距2 m。针对基坑周围变形敏感设施,采用不

少于3套无线远程监测系统监测其位移变化发展情况。

### (3) 控变形

采用综合措施减小基坑工程对周围环境的影响,采用钻孔灌注桩+冠梁+腰梁+支撑立柱(格构柱)+横撑、斜撑的联合围护体系。

钻孔桩承担主要开挖土压力,但因开挖悬臂段较大,土质较软,桩身受力及变形均较大,因此在钻孔灌注桩顶设冠梁连接,并在基坑中部变形较大部位设腰梁,加强钻孔桩的整体性,有效减少桩顶位移计变形。昆明枢纽扩能改造下穿通道大部分基坑都紧邻既有铁路,需同时下穿多条铁路线,开挖面较宽,若仅靠“钻孔灌注桩+冠梁+腰梁”的作用支撑基坑施工安全,所需设置钻孔灌注桩的数量大,但基坑围护为临时设施,如此设计将造成极大的工程浪费。因此,设计考虑在中间加设支撑立柱(格构柱),将横撑和斜撑(横撑和斜撑可根据悬臂端长度和受力检算情况设置多道)连接起来,形成一个整体的受力体系,平面布置如图2所示。

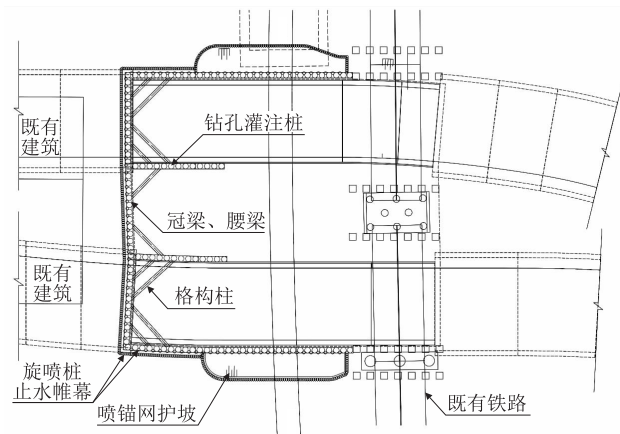


图2 基坑联合围护体系平面布置图

加设支撑立柱(格构柱)能较好地改善钻孔灌注桩的受力条件,节省钻孔灌注桩的工程用量,且横撑、斜撑等构件拆除后可重复利用,在格构柱与桥梁桩基础重叠处,还可利用桥梁桩基础作为支撑立柱,极大地节省了投资。

### (4) 优化施工顺序

昆枢扩能改造工程基坑大部分下穿多条运营铁路线,施工过程中,运营铁路线不能全部停运,需通过过渡保持部分线路的正常运营,因此设计对基坑施工进行了严格分区,并对施工顺序进行了详细的要求和规划,其施工流程如下:

根据地形施工截排水工程→开挖土体至冠梁顶面

位置→施工钻孔灌注桩、止水帷幕旋喷桩→施工冠梁及第一道支撑、系杆→待旋喷桩施工完毕且桩身强度达到28 d后,分段、分层开挖土体至第二道支撑位置,施作第二道支撑、腰梁和系杆→待梁身强度达到要求后,继续分层开挖土体至基底,施作框架桥底板及部分边墙→待底板及边墙混凝土达到设计强度后,拆除第二道支撑,施工框架桥边墙及顶板→待边墙及顶板混凝土达到设计强度后,拆除第一道支撑。

#### (5) 重监测

目前,针对昆明地区软土深基坑的研究成果较少,通过对现场监测数据进行分析,有利于掌握该地区基坑围护体系的受力变形特性、基坑周围土体的变形分布特征以及基坑对临近设施的作用机理。同时,科学合理的监测设计方案对掌握施工过程中各构件的安全性、预测基坑及周围土体的变形发展情况至关重要。因此,本文结合昆明地区软土基坑的周围环境特点,开展了监测专题研究。

针对昆明铁路枢纽软土基坑地质条件复杂、周围环境敏感等特点,采用了人工监测联合自动化监测的方法,对基坑围护体系及周围环境进行综合评价。对自动化监测及预警技术在基坑中的应用进行初步探索,明确了自动化监测的监测范围和各阶段的监测重点。

## 5 结束语

本文以昆明铁路枢纽改造工程为依托,开展了软土基坑工程施工过程的研究,分析施工过程中基坑和周围土体变形的“时空效应”,明确了基坑围护结构的关键构件,在确保基坑局部和整体安全性的前提下,考虑临近设施承受变形的差异性,提出了基坑围护结构优化设计方法,确保软土基坑临时围护体系更安全、高效、经济。并通过搜集、分析、归纳、总结昆明枢纽扩能改造工程中部分已完成工程的经验教训,提出了“防渗水、保安全、控变形、重监测”的基坑设计原则和方案,形成了复杂敏感环境下软土基坑加固及变形控制成套技术,可为后续该地区的基坑支护工程的设计施

工以及基坑的施工动态监测和周围敏感设施监测提供有益借鉴。

## 参考文献:

- [1] 刘念武, 龚晓南, 楼春晖. 软土地基中地下连续墙用作基坑围护的变形特性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(S1): 2707-2712.  
LIU Nianwu, GONG Xiaonan, LOU Chunhui. Deformation Characteristics Analysis of Diaphragm Wall for Foundation Pit Support in Soft Soil[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(S1): 2707-2712.
- [2] 王海旭. 深基坑支护体系的冗余度设计理论[D]. 天津: 天津大学, 2012.  
WANG Haixu. Design Theory of Redundancy in Retaining System of Deep Excavation[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012.
- [3] 李长江, 黄耀先. 深基坑支护方案现状研究[J]. 建筑技术开发, 2011, 38(4): 76-79.  
LI Changjiang, HUANG Yaolian. Studies on Present Status of Retaining Structures for deep-Foundation Pit[J]. Building Technique Development, 2011, 38(4): 76-79.
- [4] 王晓曙, 杨世相, 郑云刚, 等. 滨湖地带基坑支护技术研究与应用[J]. 施工技术, 2014, 43(1): 57-59.  
WANG Xiaoshu, YANG Shixiang, ZHENG Yungang, et al. The Research and Application of the Foundation Excavation Supporting Technology in Lakeside Area[J]. Construction Technology, 2014, 43(1): 57-59.
- [5] 薛元, 崔维秀, 封志军, 等. 滇池地区铁路软土地基加固处理技术[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(8): 35-40.  
XUE Yuan, CUI Weixiu, FENG Zhijun, et al. The Reinforcement Technology of Railway's Soft Soil Foundation in Dian Lake Area[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(8): 35-40.
- [6] 崔维秀, 薛元, 谯春丽. 昆明枢纽泥炭土及泥炭质土地基处理[J]. 高速铁路技术, 2013, 4(2): 5-8.  
CUI Weixiu, XUE Yuan, QIAO Chunli. Foundation Treatment on Peaty Soil and Peat Soil in the Area of Kunming Railway Hub[J]. High Speed Railway Technology, 2013, 4(2): 5-8.
- [7] 李斌, 向才斌. 水泥砂浆桩复合地基在昆明枢纽泥炭质土中的试验研究与应用[J]. 铁道建筑技术, 2011(9): 118-119.  
LI Bin, XIANG Caibin. Experimental Study and Application of Composite Foundation with Cement Mortar Piles in Peat Soil of Kunming Hub[J]. Railway Construction Technology, 2011(9): 118-119.