

临湖深基坑栈桥体系设计与施工分析

吕远

武汉市市政建设集团有限公司, 湖北 武汉 430000

[摘要]城市临湖基坑多为软弱土层, 地下水丰富, 土方开挖属于危险性较大的分部分项工程, 土方挖运速度直接影响深基坑施工安全和后期主体结构施工进度, 设置合理的栈桥结构, 不仅可减少内支撑数量, 还可显著提高土方开挖与外运施工效率。以武汉市南湖北岸某超大基坑为例, 该基坑采用冠梁支撑梁+格构柱+钢构造体系+加强板+混凝土桥面板组成的十字栈桥体系, 加快了土方挖运速度, 确保了基坑安全, 实施效果良好, 可供后续类似工程借鉴。

[关键词]临湖; 基坑; 土方挖运; 支撑; 栈桥

DOI: 10.33142/ec.v5i1.5225

中图分类号: U448.18

文献标识码: A

Design and Construction Analysis of Trestle System for Deep Foundation Pit Near Lake

LYU Yuan

Wuhan Municipal Construction Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: Most urban lakeside foundation pits are soft soil layers with abundant groundwater. Earth excavation is a dangerous divisional and subdivisional project. The speed of earth excavation and transportation directly affects the construction safety of deep foundation pit and the construction progress of later main structure. Setting a reasonable trestle structure can not only reduce the number of internal supports, but also significantly improve the efficiency of earth excavation and outward transportation. Taking a super large foundation pit on the North Bank of Nanhu in Wuhan as an example, the foundation pit adopts a cross trestle system composed of crown beam support beam + lattice column + steel structure system + reinforcing plate + concrete bridge deck, which speeds up the speed of earthwork excavation and transportation, ensures the safety of the foundation pit, and has a good implementation effect, which can be used as a reference for subsequent similar projects.

Keywords: near the lake; foundation pit; earth excavation and transportation; support; trestle

引言

武汉作为千湖之省, 城市湖泊众多, 近年来随着水治理项目的日渐增多, 临近城市湖泊施工的深基坑工程也逐渐增多。对于开挖深度深、开挖面积大的临湖深基坑, 受地质情况、地下水、施工作业面的影响, 基坑风险较高, 控制和减小基坑变形, 保证基坑施工的安全是重中之重。设置合理的栈桥体系, 不仅可以确保支撑体系的稳定, 还可提高土方开挖效率, 为加快底板封底和后续主体结构施工创造了有利条件, 减少了基坑暴露时间, 确保了基坑施工的安全。武汉某超大临湖基坑工程, 采用了支撑十字栈桥体系, 此种支撑栈桥体系安全可靠, 土方挖运效率提高, 缩短了整体施工周期, 在同类基坑中适用性较好。

1 工程概况

武汉南湖北岸某临湖基坑, 基坑开挖面积约 2 万 m², 南北向长约 200m, 东西向宽约 100m, 基坑紧邻南湖施工, 基坑东南角距离湖最近距离 11m。本工程基坑普挖深度 13.30m~20.10m, 坑基坑场地周边标高按 22m 控制, 基坑开挖土方量约 29 万方。该基坑所在场地属长江冲洪积二级阶地, 剥蚀堆积岗状地貌, 现状地面高程 20.60~30.1m, 二元结构冲洪积地层, 上部以细颗粒黏性土为主, 逐渐向粗颗粒过渡。地层自上而下为填土层, 厚 3~6m, 全新统淤泥层, 厚约 1m, 老黏土 3、4-1 (硬塑状) 层厚度 5~10m, 老黏土具有弱膨胀潜势, 4-2 层粉质黏土夹砂, 厚

度 4~10m, 下伏主要为 (中密-密实状) 含砾细砂及碎石层, 基底位于 4-2 层粉质黏土夹砂及 4-3 层含砾细砂。侧壁主要地层为填土层、老黏土层及 4-2 粉质黏土夹砂层。基坑南侧临湖, 离湖最近距离为 11m。承压水主要赋存于粉质黏土夹砂及砂砾石层中, 勘察期间测得承压水水头标高 18.74~19.50m, 抽水试验表明承压含水层综合渗透系数 1.3m/d, 该含水层与南湖联通性较差, 地下水富水性中等。

基坑整体采用排桩+混凝土支撑方案, 基坑大面积总体采用排桩结合竖向一道内支撑; 局部采用双排桩, 结合竖向两至三道内支撑的支护体系。第一道平面支撑布置, 采用角撑结合对顶撑的支护方案。地表水采用挡水措施, 上层滞水明集明排, 孔隙承压水采用井点降水, 岩溶裂隙水, 鉴于灰岩与基底之间土层较厚, 以不扰动灰岩顶板为原则。采用悬挂式高喷帷幕, 防止坑壁渗漏及流土, 临湖东南侧、坑中坑侧采用 MJS 摆喷止水。

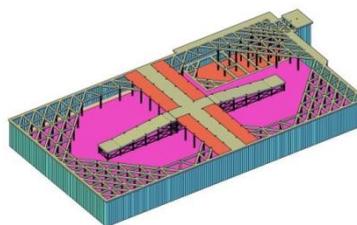


图 1 本临湖深基坑工程示意图

表1 本临湖深基坑工程岩土物理力学参数表

层号	岩土名称	重度 γ (kN/m^3)	抗剪强度(直快) 综合建议值		渗透系数 Kcm/s
			C kPa	Φ °	
①-1	杂填土	*20.0	8	18	* 6.0×10^{-4}
①-2	素填土	*19.0	10	8	* 6.0×10^{-5}
②-1	淤泥	16.2	6	5	* 6.0×10^{-6}
②-2	粉质黏土	19.1	21	10	* 6.0×10^{-6}
③	黏土	19.5	39	15	7.5×10^{-6}
③a	黏土	19.0	30	12	* 6.0×10^{-6}
④-1	粉质黏土	19.6	45	16	6.2×10^{-6}
④-2	粉质黏土夹砂	20.1	30	16	7.0×10^{-5}
④-3	含砾细砂	*20.0	*5	33	2.0×10^{-3}
④-3a	粉质黏土夹砂	20.5	30	16	
④-4	碎石	*21.0	*3	35	
④-4a	粉质黏土	20.7	44	15	

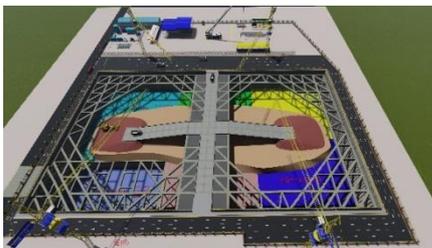
2 方案比选

根据基坑设计模型,结合工程条件及施工需求进行二次深化设计,形成三种比选方案:

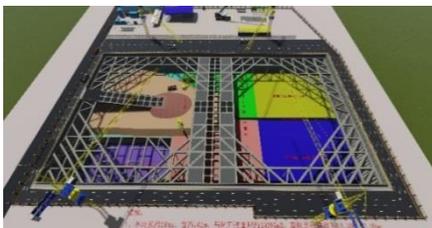
(1) 方案一: 基坑中央设置十字栈桥, 栈桥东西向与第一道混凝土支撑形成整体, 南北向形成下基坑的斜向栈桥, 东西向栈桥宽 9m, 南北栈桥宽 9.5m, 坡比 1: 8。基坑土方南北两侧对称开挖, 通过十字栈桥进行土方运输。

(2) 方案二: 基坑北侧设置单侧混凝土斜坡栈桥, 单侧栈桥宽 9.5m, 坡比 1: 7。基坑土方由南向开挖, 通过单侧栈桥进行土方运输。

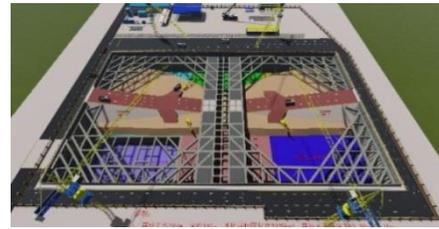
(3) 方案三: 基坑南北两侧砖渣铺路形成斜栈, 南北两侧砖渣便道坡比 1: 6, 两侧 1: 1 混凝土硬化锥坡护坡。



(a) 方案一



(b) 方案二



(c) 方案三

图2 基坑栈桥方案比选

经过技术经济性比选和出土效率比较后,最终确定选择方案一为最佳方案,即采用中央栈桥板、两侧斜坡栈桥及加强板组成的栈桥体系,中央栈桥板及周边的加强板与第一道混凝土支撑形成对顶撑,并在同一平面内,栈桥体系下部采用格构柱加立柱桩加剪刀撑的支撑体系。

3 栈桥设计

3.1 总体设计

本临湖矩形深基坑采用十字栈桥设计方案,中央栈桥+两侧斜坡栈桥板形式。东西方向中央栈桥板采用对顶撑形式,栈桥长 100m,宽 9m,标高 20.1m。中央栈桥两侧设置加强板,单侧加强板宽度与栈桥同宽 9m,长度 100m。南北向单侧斜坡栈桥长 45m,宽 9.5m,斜坡栈桥顶标高 20.1m,栈桥底标高 15.6m,坡比 1: 8,斜坡栈桥底设置 9m 长、9.5 米宽出土平台,平台下方土体开挖采用砖渣堆坡,砖渣坡度 1: 1。

栈桥设计荷载值 25kpa,栈桥梁、板均采用现浇混凝土,强度等级均为 C30。栈桥板及加强板板厚均为 300mm,钢筋保护层 35mm,配筋采用直径 18mm 的 HRB400 级钢筋,双向双层@200mm 布置;栈桥主梁尺寸为 1100*900mm,主筋配筋采用 9 根直径 28mm 的 HRB400 级钢筋,栈桥次梁尺寸 900*700mm,主筋配筋采用 6 根直径 28mm 的 HRB400 级钢筋。

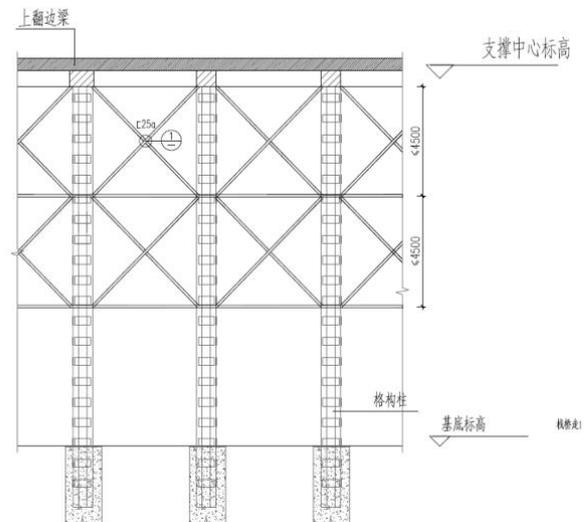


图3 对顶支撑水平栈桥剪刀撑立面示意图

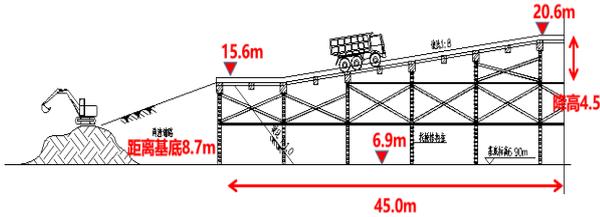


图4 斜坡栈桥剪刀撑立面示意图

3.2 支撑设计

主基坑设置一道混凝土支撑，普开挖深度 13.3m，混凝土支撑尺寸为 ZC1: 1200×1000mm, CC1: 700×1000mm，第一道支撑中心标高为 20.10m，冠梁尺寸 GL1: 1700×1000mm, GL2: 1400×1000mm。坑内采用中深井疏干降水，桩后采用高压旋喷止水帷幕和 MJS 摆喷加固。中央栈桥及加强板与第一道混凝土支撑形成 2 道对顶撑，对顶撑间距为 4.5m，中央对顶撑旁边设置 3 道角撑，角撑间距为 9m，基坑四个角各设置 5 道角撑，角撑间距为 9.15m。主基坑采用强撑方式，13.3m 开挖深度仅设置了一道混凝土支撑，取消了第二道混凝土支撑，便于斜坡栈桥施工及基坑土方开挖施工效率。支撑经内力及位移变形计算，均满足要求。冠梁、钢筋混凝土支撑、钢筋混凝土围檩杆件的混凝土强度为 C30，钢筋采用 HPB300 级钢筋和 HRB400 级钢筋。

3.3 节点设计

栈桥立柱桩格构柱采用 Q345 钢材，尺寸为 500×500mm，选用 4-200×200×200mm、t=14mm 的缀板，格构柱插入立柱桩内深度约 3m。水平栈桥下设置 2 道剪刀撑，斜坡栈桥下设置 1~2 道剪刀撑，剪刀撑竖向布置间距不大于 4.5m。栈桥立柱桩格构柱间的联系钢梁采用 [25a 型钢] 钢材，联系钢梁与钢立柱焊接。栈桥、剪刀撑各个形式的连接节点方式见下图 7。考虑到立柱桩内钢立柱在施工中可能存在偏位、角度偏差，为保证栈桥剪刀撑与联系梁可与钢立柱可靠连接，本工程节点设计中针对后期可能偏位格构柱提出了节点加固做法，加固做法如图 8 所示。

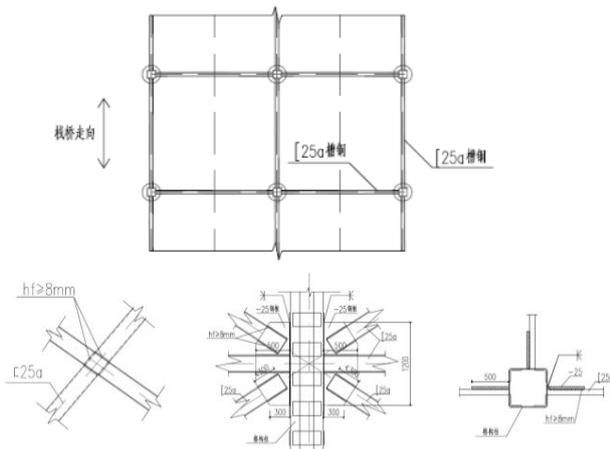


图5 栈桥剪刀撑节点图

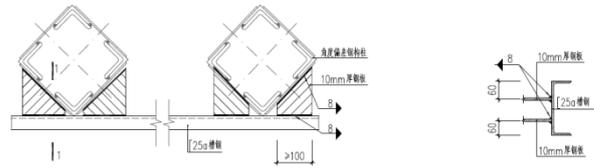


图6 偏位格构柱节点加固做法示意图

4 栈桥及土方开挖施工

本工程基坑栈桥及土方开挖施工采用分为 4 个土方开挖阶段，中间穿插 4 道施工工序，分别是第一阶段开挖至冠梁底，施工第一道混凝土支撑及冠梁、对顶撑中央栈桥板及加强板。第二阶段开挖至栈桥支撑底，施工斜坡栈桥及进水泵房和结合井处第二道围檩及砼支撑施工，三阶段开挖至调蓄池底并施工结合井第三道混凝土支撑、调蓄池地板施工，四阶段开挖至进水泵房底并施工均质池及进水泵房底板。总体可细分为七步，采用了 BIM 技术进行了模拟施工，具体如下：

第一步：第一阶段冠梁上方土方开挖，层厚约 2.4m，开挖深度由自然地坪高度（22m）至冠梁底部（19.6m），土方量约 4.8 万 m³，基坑内部向施工便道退挖。土方开挖完成后，对冠梁及支撑处底部土方压实并浇筑混凝土垫层，进行第一道冠梁及砼支撑施工，同步进行对顶撑第一道混凝土栈桥及加强板施工。考虑后期中央栈桥底的土方开挖，栈桥底模板体系一次性投入。

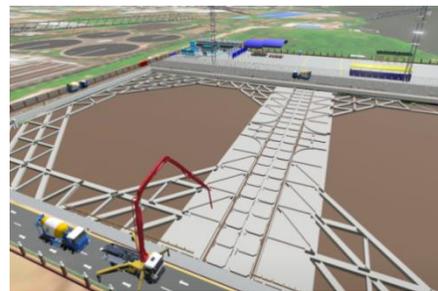


图7 第一阶段土方开挖及中央栈桥施工

第二步：第二阶段冠梁下方 5m 层厚土方开挖，清土至标高 14.5m，土方量约 10 万 m³，基坑周边环形便道进行土方运输，挖机悬臂挖土深度约 5m，基坑内向便道退挖。

第三步：桩间未加固区域采用挂网喷射混凝土，土方

运输钢栈桥桥面系及部分剪刀撑施工, 进水泵房及结合井处第二道围檩及砼支撑施工。

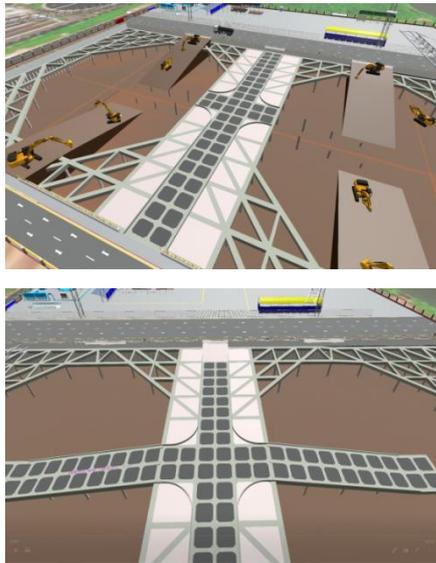


图8 第二阶段土方开挖及斜坡栈桥施工

第四步: 第三阶段深层土方开挖, 层厚约 5.8m, 清土至基底 (8.7m), 其中预留 0.3m-0.5m 人工清底, 土方开挖量约 14 万 m³, 土方分层开挖, 十字钢栈桥进行土方运输, 基底铺设砖渣进行环线运输。

第五步: 桩间未加固区域采用挂网喷射混凝土, 开挖过程底板随挖随做, 根据施工面展开顺序, 及时进行 1#、2#调蓄池共 4 块底板施工, 进水泵房及粗格栅处第二道冠梁及砼支撑浇筑, 结合井处第三道围檩及砼支撑浇筑, 拆除南侧斜坡栈桥, 保留北侧斜坡栈桥, 作为进水泵房土方开挖运输路线。

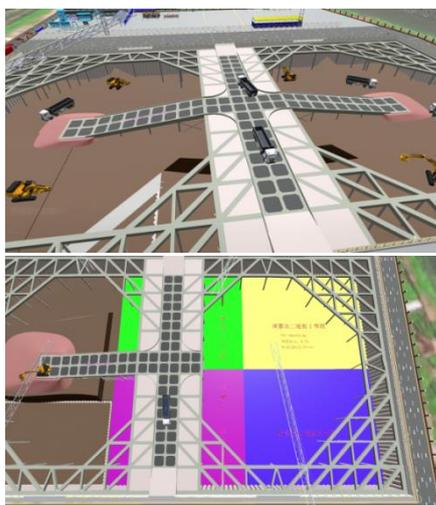


图9 第三阶段土方开挖及调蓄池底板施工

第六步: 第四阶段进水泵房区土方开挖, 层厚约 6.8m, 清土开挖至基底 (标高 1.9m), 土方开挖量约 1.2 万 m³,

大小挖机接力收坡法, 栈桥进行土方运输。

第七步: 桩间未加固区域采用挂网喷射混凝土, 拆除北侧斜坡栈桥, 进行进水泵房及均质池 2 块底板施工。

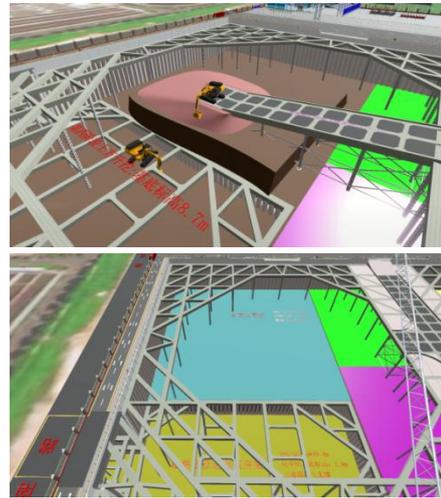


图10 第四阶段土方开挖及均质池、进水泵房底板施工

5 栈桥监测及效果评价

为确保栈桥使用过程中的安全, 本深基坑工程在基坑开挖施工期间, 布设了栈桥轴力监测点共计 12 处 (YL6-YL17), 布设位移监测点共计 13 处 (GL8-GL20), 布设沉降监测点共计 10 处 (LZ7-LZ16)。

轴力计的埋设在基坑冠梁及第一道支撑和栈桥施工的混凝土浇筑开始前安装到位, 监测过程从开始浇筑成型持续到栈桥的拆除完成; 栈桥水平位移监测点和栈桥的沉降监测点在栈桥板浇筑完成后开始布设, 持续监测至栈桥拆除完成。三项监测项目的预警值如表 2 所示。

表2 栈桥监测预警值表

监测项目	测点编号	累计预警值	变化速率
支撑内力	YL7-YL12	5040kN (限值)	/
沉降值	LZ7-LZ12	30mm	连续三天超过 2mm/d
水平位移	GL10-GL13	24mm	连续三天超过 2mm/d

栈桥施工及土方开挖过程中, 通过对栈桥的持续监测, 分析监测数据得到如图 11~13 所示的关于栈桥桥板轴力值、水平位移值和沉降值的监测值变化曲线图。

栈桥板轴力值变化曲线图



图11 栈桥板轴力值变化曲线图

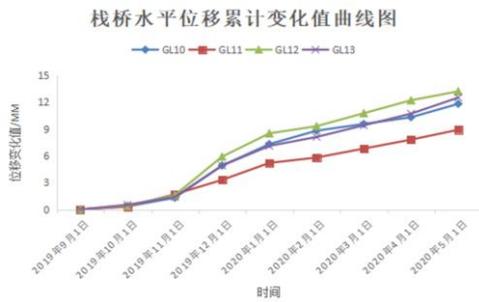


图 12 栈桥水平位移累计变化值曲线图

监测结果显示栈桥在基坑土方开挖过程中,栈桥轴力最大部位为栈桥板西侧的YL8: 3854.6KN,水平位移值最大部位为冠梁西侧的GL12: 13.20mm,沉降值最大部位为栈桥板中央偏西侧的LZ8: 13.84mm,三项监测值数据均在预警值范围之内,结果表明栈桥在整个基坑开挖阶段结构稳定,满足栈桥使用功能。

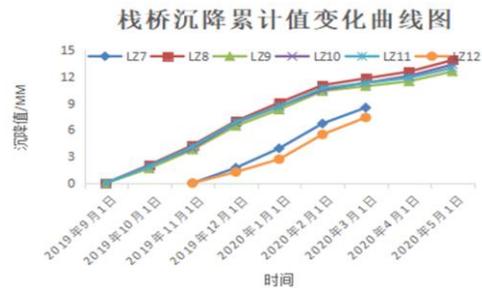


图 13 栈桥沉降累计值变化曲线图

本工程自 2019 年 9 月进行开挖施工,2020 年 5 月完成基坑开挖见底和底板封底施工,中间历经武汉军运会、汛期和新冠疫情影响。历时 7 个月就完成了 29 万方基坑土方的开挖施工,以及 2 万平 m 的底板封底施工。整个施工过程中栈桥提供了有效的土方开挖及外运的运输路径,不仅加快了整体施工工期,也保证了基坑施工安全。



(a) 实施前



(b) 实施后

图 14 基坑栈桥实施前后对比照片

6 结论

本文所述的十字栈桥设计与施工方法,适用于基坑宽度较大的矩形深基坑施工,对于武汉的一般地层具有普遍适用性,可为类似工程提供参考。

采用桩基冠梁+支撑梁+格构柱+钢构造体系+加强板+混凝土桥面板构成的十字栈桥体系,土方车辆经栈桥进入基坑内,实现挖土点直接装土,减少了土方倒运及内装,提高了土方装运效率,缩短了出土工期,实施效果良好,可供后续类似工程借鉴;

强桩+强撑的对顶撑和角撑体系,可减少内支撑的数量,同时加快了土方开挖见底和底板封底进度,减少了基坑暴露时间。

由于对顶撑水平栈桥与冠梁及第一道砼支撑同步施工,后期栈桥下土方开挖过程中无法保证完整地拆除模板支撑体系,因此水平栈桥的模板支撑体系须考虑一次性投入,仅考虑残值。

(4) 中央栈桥须待主体结构施工完成后方可与第一道混凝土支撑一同拆除,在主体结构侧墙及顶板混凝土浇筑过程中,中央栈桥板下的混凝土浇筑施工较为不便,后期设计可考虑在两侧加强板预留孔洞,以方便混凝土天泵

伸入栈桥板下方进行混凝土浇筑施工。

(5) 十字栈桥施工与土方开挖施工交叉进行,在实施过程中,应对栈桥进行全过程监测,重点检查支撑轴力、栈桥沉降及水平位移,应严格按照设计荷载值控制出土车辆通行数量及通行车速,做好栈桥防撞措施,并做好相关警示标示,设专人指挥,确保施工安全。

【参考文献】

- [1]李乐,梁韡,崔爱珍,等.超大超深基坑新型支撑栈桥体系设计与应用[J].施工技术,2015,44(13):5-7.
 - [2]覃敏宁,彭士俊,唐锋,等.深基坑出土螺旋栈桥的设计及施工[J].建筑施工,2020,42(3):326-328.
 - [3]赵升峰,黄广龙,章新,等.深基坑工程中大型混凝土栈桥设计与施工分析[J].施工技术,2016,45(7):24-27.
 - [4]张燕.施工栈桥在深基坑工程中应用技术研究[J].建筑结构,2018,48(1):783-787.
 - [5]金国龙,黄春美,汪贵平,等.苏州中心基坑栈桥设计施工一体化研究[J].施工技术,2016,45(1):143-146.
- 作者简介:吕远(1987.6-)男,武汉大学;建筑经理管理,当前就职单位武汉市政建设集团,职务部门副职,职称级别中级工程师。