

# 深基坑栈桥支撑结构设计与实践

赵升峰 李书波 马世强

(江苏今迈工程勘察有限公司,江苏南京 210005)

**【摘要】** 工程中由于基坑面积大、深度深,且形成内支撑形式的支护体系,致使基坑土方开挖难度特别大,因此,首道支撑体系结合栈桥的结构设计与应用势必成为一种支护结构形式。通过总结栈桥结构设计的常见形式,根据建筑结构设计原理,对作为内支撑栈桥结构构件的整体受力情况进行分析,并结合工程实例介绍了深基坑栈桥支撑结构的设计方法,为栈桥支撑结构设计提供一些参考。

**【关键词】** 深基坑;栈桥支撑;结构设计

**【中图分类号】** TV 551.4;TU 942

**【文献标识码】** B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.03.005

## Design and Practice of Trestle Bridge Bracing Construction in Deep Foundation pit

Zhao Shengfeng Li Shubo Ma Shiqiang

(Jiangsu Jinmai Engineering Investigation Co., Ltd, Nanjing 210005, Jiangsu, China)

**【Abstract】** Because the deep-foundation-pit and the depth in the project, and it forms the supporting system of internal bracing. It makes the earthwork excavation to be specially extremely difficult. Therefore, the first supporting system will combine structural designs and application of the trestle bridges. It will become the structural styles inevitably. The article based on the building structural design principles, carried on the analysis of the overall stress situation of the supporting system of internal bracing through summarizing the common form of trestle bridge structure. Combined with the project example, the design methods of supporting system of trestle bridge bracing construction in deep-foundation-pit is introduced, It provided some references for the structural designs of trestle bridge bracing.

**【Key words】** deep-foundation pit; trestle bridge bracing construction; construction design

### 0 引言

随着建筑物高度的增加,基础埋深逐渐增大,基坑深度越来越深。往往深基坑工程周边环境复杂、施工场地狭小以及土地使用范围受到限制,深基坑支护常采用板式支护体系结合内支撑的支护形式。目前国内内支撑系统主要采用钢筋混凝土支撑体系和钢支撑体系<sup>[1]</sup>两种形式,但不论何种内支撑形式,必然增大基坑土方开挖的难度,降低土方施工的效率,延长工程工期。因此,首道支撑体系结合栈桥的结构设计与应用,势必成为一种必需的支护结构形式。

栈桥支撑在大型基坑中的应用比较广泛<sup>[2]</sup>,但相关规范对栈桥的设计与计算方法、荷载取值等涉及的太少。本文通过总结栈桥结构设计的常见形式,分析了作为内支撑栈桥结构构件的内力与

计算方法,并结合工程实例介绍了深基坑栈桥支撑结构的设计方法与要点,为栈桥支撑结构设计提供一些参考。

### 1 工程实例

某工程基坑面积约为 17 000 m<sup>2</sup>,基坑总延长米约为 520 m,开挖深度 14.60~15.10 m,基坑南北向边长约 145.0 m,东西向边长约 120.0 m,呈不规则长方形。基坑位于闹事中心,两侧为市政道路,一侧为已建建筑物,西侧紧邻轨道交通一号线。基坑周边与用地红线不足 3.50 m,施工场地相当苛刻,且周边环境保护要求极高。

场地地貌单元属长江三角洲太湖流域冲湖积平原,基坑开挖段主要为粉土、粉质粘土及粉质粘土夹粉土,地下水分为潜水和微承压水。潜水主要赋存于上部填土层中,微承压水主要赋存于地面以下埋深

6.5 m 处的③粉土层中,该土层厚 3.5~5.0 m。

繁华地段的地标建筑物,主楼的商业价值巨大,其竣工期愈早,社会经济效益就愈显著,不同的支护形式对工期要求不尽相同,如何在满足业主预期目标的前期下,科学、合理安排总体施工流程是本基坑工程设计重点也是难点之一。

在安全可靠的前提下,如何加快工程施工进度,缩短施工工期,实现经济效益的同时展示良好的工程形象是支护设计重点考虑的问题。根据本工程基坑规模、土方量、施工周期的要求,结合本工程地质、水文地质及周边环境情况,综合分析选择钻孔灌注桩结合三道混凝土内支撑的支护形式,首道混凝土支撑结合栈桥设计,形成土方开挖时的行车道及后期地下结构施工期间的泵车行车道以及堆放材料的临时场所。

根据支撑平面布置形式,十字形对撑及部分边桁架设置为施工栈桥,其南北方向长约 145.0 m,宽 18.0 m,东西方向长约 80.0 m。十字对撑设计成框架结构,其中单跨最长 9.0 m,其宽度 4.6 m。角撑区域设计成三角形盖板结构,边梁最长 9.2 m。栈桥布置形式(阴影区域为栈桥区域)见图 1,栈桥结构设计参数详见表 1。

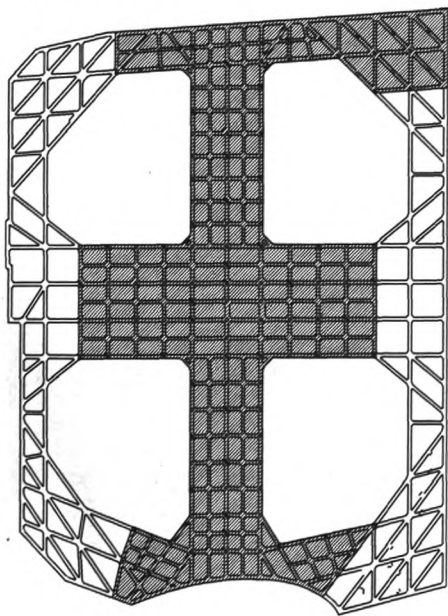


图 1 栈桥支撑体系平面设计图

本工程基坑开挖及地下结构实施阶段大量施工机械完成土方和施工材料的垂直、水平运输均通过施工栈桥进行,见图 2、图 3。

表 1 栈桥支撑截面尺寸

名称	主梁 1	主梁 2	次梁
宽度/mm	900	800	700
高度/mm	850	850	850
纵筋/根	10	12	7
腰筋/根	4	4	4
钢筋等级	HRB335	HRB335	HRB335
钢筋直径/mm	28	28	28

注明:栈桥支撑梁上下、左右均对称配筋

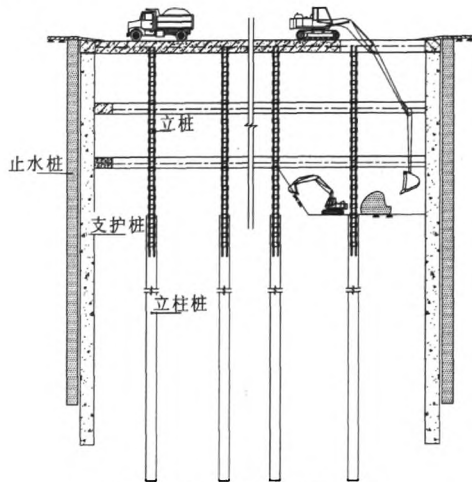


图 2 基坑挖土工况剖面示意图



图 3 栈桥支撑体系现场照片

## 2 栈桥结构设计与分析

### 2.1 栈桥支撑选型分析

实际工程中钢筋混凝土支撑因其具有刚度大、整体性好的特点,且可采取灵活的平面布置形式适应与各类基坑工程,同时其施工工艺亦很成熟<sup>[3]</sup>。形成桁架式的钢筋混凝土支撑能加强整个平面结构体系的整体刚度及稳定性,能有效地减少围护体顶部位移,有利于对周边环境的保护。钢筋混凝土支撑能够预留较大的出土空间,方便土方的开挖,减少地下结构的施工工期。钢筋混凝土支撑与施工栈桥相结合,可加快土方开挖速度,方便施工。

钢支撑体系虽施工方便,安装和拆卸的速度快,可以回收利用,在一定程度上可以节省工程造价,但

钢支撑体系相比混凝土支撑体系刚度小,对施工质量的要求较高,需要保证支撑体系各个节点焊缝质量和拼装质量,且钢支撑自身的刚度较低,均为拼装构件决定了钢支撑的跨度不能太大,限制了基坑开挖的出土空间。若钢支撑作为对撑,其受力线路明确,但作为角撑等斜向受力构件,效果不好。钢支撑一般适用于形状较规则、宽度较小的基坑工程。

基于以上分析可知,在工程实践中混凝土支撑结合栈桥体系使用的最为多见,因此以下仅对混凝土栈桥支撑进行设计分析。

## 2.2 混凝土栈桥布置形式

水平支撑是平衡围护墙外侧水平作用力的主要构件,要求传力直接、平面刚度好而且分布均匀。因此栈桥支撑结构布置因结合水平支撑的要求进行,常见的形式见图4—图6。

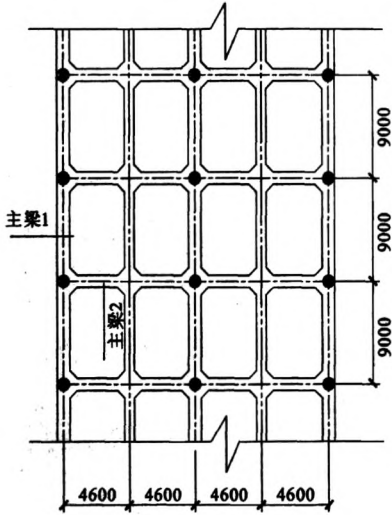


图4 栈桥结构形式(一)

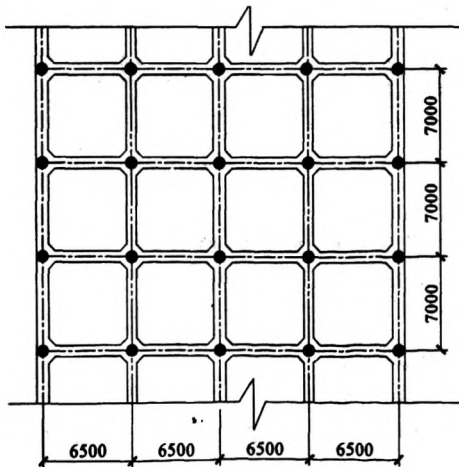


图5 栈桥结构形式(二)

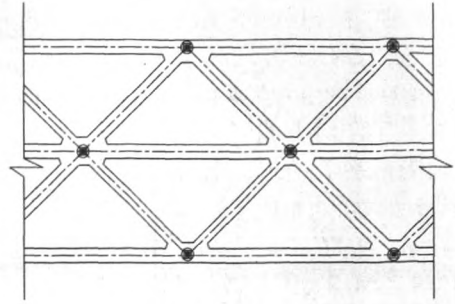


图6 栈桥结构形式(三)

栈桥结构形式一,这种布置形式根据结构设计理论属于双向板框架结构。根据经验,栈桥梁板的造价有限,主要经费在钢立柱及立柱桩上。因此,这种形式可以节省立柱及立柱桩,减少工程支护造价。

栈桥结构形式二,这种形式造价较高,一般情况下使用的较少,但对于周边环境要求特高,支撑体系采用完整的井字对撑框架结构时,可采用该方法。

栈桥结构形式三,该形式主要在角撑区域需设置栈桥时采用,该形式对于渣土车行走较为不利,但可作为钢筋等材料堆场使用。

## 2.3 栈桥竖向承重体系

内支撑竖向支承系统立柱一般采用角钢格构式钢柱、H型钢柱或钢管柱以及预制桩等,立柱桩常采用灌注桩,也可采用钢管桩以及预制桩。

但作为栈桥支撑竖向承重构件,要求立柱及立柱桩的作用是保证水平支撑的纵向稳定,加强支撑体系的空间刚度和承受水平支撑传来的竖向荷载,要求具有较好自身刚度和较小垂直位移。因此,绝大部分基坑工程中,栈桥支撑立柱都采用角钢格构柱(见图7),立柱桩采用钻孔灌注桩。

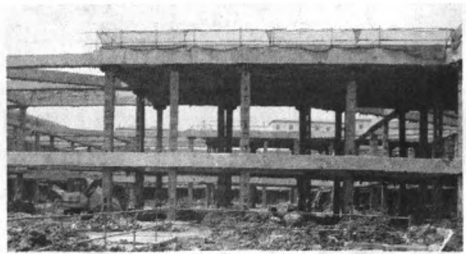


图7 承重角钢格构柱

采用角钢格构柱做立柱,其特点是承载能力强、稳定性好,基础底板、各层楼板的钢筋易插穿格构柱,对主体结构施工影响小,适用范围广。第一道支撑设置栈桥时,格构柱截面可以随着施工荷载的大小调整截面,方便施工。且便于与各道支撑连接。在立柱穿越底板处,可直接加焊止水钢片,止水效果可靠。缺点是,自重较大不易安装,现场焊接时间长。

## 2.4 计算荷载取值

栈桥结构设计关键在于设计荷载形式的确定及取值的大小。渣土车和泵车轮压以其荷载数值大、作用位置不确定及一般作用时间较短。实际工程中,荷载情况千变万化,要完全真实地计算每个荷载的效应较为困难,而且从工程的角度讲也没有必要。因此,建议设计采用等效荷载进行计算。

采用等效均布荷载的目的在于将复杂的荷载作用情况予以简化,在保证荷载效应总值不变得情况下,用等效均布荷载来代替实际的复杂荷载,以解决结构设计中的复杂计算问题,简化设计<sup>[4]</sup>。

栈桥结构设计的关键在于汽车轮压等效均布荷载数值的确定。轮压作用位置的不确定性,给等效均布荷载的确定带来相当的困难,且等效均布荷载与构件的跨度有关,因此,在相同的等级的汽车轮压作用下,板的跨度越小,则等效荷载越大,而板的跨度越大,则等效荷载越小。

工程中,因渣土车超载现象相当严重,因而建议基坑工程土方开挖中所使用的渣土车活荷载取 35 kPa(标准值)。栈桥支撑板面一般不会覆土,汽车荷载动力系数建议采用 1.40。

现场整浇的栈桥支撑体系,汽车轮压荷载在结构板、梁同时分布和传递,结构设计时可将轮压荷载按:栈桥板一次梁—主梁的路径传递,以简化设计过程。

一般栈桥板体系的布置形式分为:双向板、三角形板,但作为逆作法施工的结构楼板常常并不规则,一般情况通过手工计算较为复杂,这类板的计算不宜按照常规的板跨来确定其等效荷载的数值,宜优先考虑采用 ANSYS、SATWE 等有限元分析程序进行复杂板计算。

## 2.5 栈桥结构构件要求

桁架结构梁的高度按 1/6~1/10 跨度确定,双向板框架结构栈桥主梁跨度不宜大于 9.5 m,三角形结构梁宽度不宜大于 11.0 m。考虑到实际工程土方开挖的方便性和基坑的稳定性,栈桥板厚不宜小于 250 mm,栈桥支撑构件混凝土等级不应低于 C30,栈桥板钢筋直径不宜小于 16 mm,且不宜大于 20 mm,栈桥梁纵筋直径不宜小于 25 mm,且不宜大于 32 mm。

## 2.6 栈桥梁板结构设计分析

栈桥板的设计可根据布置形式,参照建筑结构楼板的设计进行计算。

大部分作为栈桥的结构梁,同时也是基坑内支撑梁,即“一梁两用”,因此,在计算这部分梁时,考虑梁受板的荷载,同时应考虑梁受到支撑冠梁传递的土压力。

支撑杆件应按照偏心构件计算。截面的偏心弯矩除竖向荷载产生的弯矩外,尚应考虑轴向力对构件初始偏心的附加弯矩,尚应考虑轴向力对构件初始偏心距的附加弯矩<sup>[5-6]</sup>。构件截面的初始偏心距可取支撑长度的 2/1000~3/1000。

支撑杆件应按压(拉)弯杆件进行设计。支撑的平面内外弯矩标准值均可取安装偏心距  $e=l_0/1000$  产生的弯矩和自重及其它竖向荷载产生的弯矩标准值之和<sup>[7-8]</sup>。

支撑构件的受压计算<sup>[9]</sup>,北京基坑规范对内支撑结构构件计算方式涉及很少,且不具体<sup>[10]</sup>。

作为水平支撑杆件的栈桥梁同时承担基坑外侧的超载、水土压力等侧向水平力以及上部栈桥板作用的荷载,梁的受力是比较复杂,宜采用有限元方法计算得到各支撑杆件的内力和变形。但是在实际规程设计中,因有限元计算软件建模复杂,操作困难程度较大,致使设计周期及难度增大,不太实际。

根据以上对国内相关技术规范、规程的总结,建议采用平面计算模型进行分析栈桥支撑梁,分别对水平栈桥支撑梁进行水平力作用和竖向力作用下的计算或者按照“双偏心”压弯构件进行计算。

## 2.7 栈桥竖向结构设计分析

角钢立柱一般按轴心受压柱验算,如基坑开挖过程中立柱还承受侧向荷载,则应按照偏心受力构件计算。钢立柱尚应考虑附加弯矩的作用,其设计值为按立柱所承受的轴向力设计值的 1/50 作为横向力所产生的弯矩。

受基坑的形状、尺寸、工程桩等因素的影响,支撑杆件的布置间距并不一定相同,因此,计算板重(梁的从属面积)应按照梁两侧各 1/2 梁间距范围内的实际面积确定;而竖向荷载分配模式是根据栈桥板传递竖向荷载的方式确定的。

立柱桩的功能与一般的工程桩不相同,它先于工程桩在基坑开挖时就承受荷载,开挖结束后部分立柱桩亦可转为工程桩再承受上部结构荷载。立柱桩的桩径一般比工程桩大、桩长更长,且桩顶承受的荷载较大。在围护工程造价组成中,立柱所占的经济比例较大的,尤其在深、大基坑中。主要原因是对于软土地区深基坑工程,立柱桩在基坑开挖面以下的埋深要满足支撑结构对其承载力及变形的要求,并大于基坑开挖深度的 2.0 倍,且一般都要穿过淤泥质土层,位于力学性质较好的土层内。立柱的间距根据支撑构件的稳性和竖向荷载的大小进行确定。

(下转第 144 页)

土层较高,但由于吹填过程水动力具有分选作用,沉积物有从吹填口至排水口由粗变细的规律,影响了真空固结处理效果,并直接影响了本层的分布范围,导致排水口部位局部缺失。

2)软弱粘性土层,锥尖贯入阻力 $q_c$ 小,多在2.5~7.5(100 kPa)范围之内,具有强度低、压缩性大的软土工程特性。

3)底部砂性土层主要是液态泥浆中的粗颗粒成分在重力作用下分选形成。由于颗粒相对粗大,渗透性好,经真空固结处理后,强度高,但层厚变化大0.3~1.2 m。

#### 参 考 文 献

- [1] 刘寒鹏,孙 锐,等.膜上覆水真空预压技术在软土地基处理中的应用[J].地质与勘探,2008,44(3):87-90.
- [2] 沈珠江.原状取土还是原位测试—土质参数测试技术刍议[J].岩土工程学报,1996(9),90-91.
- [3] 王钟琦.静力触探技术的实质及其应用现状与前景[J].工程勘察,2008(10):1-3.
- [4] 简文彬,吴振祥,等.闽东南沿海地区软土静力触探参数相关分析[J].岩土力学,2005,26(5):732-738.
- [5] 顾宝和.《岩土工程勘察规范》中的静力触探问题[J].工程勘察,2008(10):4-10.
- [6] 曹圣华,朱正坤,等.静力触探在江太高速公路工程地质勘察中的应用[J].江苏交通工程,2002(1):48-52.
- [7] DB 29-20-2000 岩土工程技术规范[B][S].天津市工程建设标准.北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [8] 高颂东.静力触探技术在天津软土地区的应用研究[D].天津:天津大学研究生院,2006.
- [9] 陈 环,严 驰,等.真空预压加固软基效果分析[J].天津大学学报,1991(增刊):63-67.
- [10] 姜 炎.真空排水预压法加固软土技术[M].北京:人民交通出版社,2002.

收稿日期:2012-03-12

(上接第131页)

### 3 结 论

基坑规模越来越大,并且越来越多的基坑支护采用内支撑的方式,同时受工期、场地限制等因素影响,大跨度混凝土栈桥将被广泛采用。如何确保结构的安全,又节约造价,是结构设计中需要经常考虑的问题。

本工程栈桥结构于2010年8月浇注完成,建立起基坑内部的平面交通体系,大大便于基坑开挖、出土及施工机械行驶,提高了施工效率,也增加了现场施工场地面积,对施工材料的加工和堆放创造了良好条件。经使用检验,结构满足基坑安全稳定的要求,栈桥结构达到了安全、合理、经济的效果。本次栈桥支撑结构体系的设计,可为今后的栈桥支撑设计提供参考。

#### 参 考 文 献

- [1] 苏 斌,林雪梅,晏 音.恒力金融中心基坑车行栈桥设计与施工[J].福建建筑,2011(6):61-63.
- [2] 王建平,王 青,张建平,等.叠合法浇注在苏州中心基坑栈桥支撑施工中的应用[J].建筑施工,2010,32(11):1977-1980.
- [3] 刘国斌,王卫东.基坑工程手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2009:95-96.
- [4] 朱炳寅.建筑结构设计问答及分析[M].北京:中国建筑工业出版社,2009:1-6.
- [5] DG/TJ08-61-2010 基坑工程技术规范[S].上海.
- [6] DB29-202-2010 建筑基坑工程技术规程[S].天津.
- [7] SJG05-2011 深圳市基坑支护技术规范[S].深圳.
- [8] DB42/159-2004 基坑工程技术规程[S].湖北.
- [9] JGJ 120-99 建筑基坑支护技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [10] DB11//489-2007 建筑基坑支护技术规程[S].

收稿日期:2012-03-09