

# 超深基坑支护悬臂桩围护体系受力分析技术研究

彭亚魁 张方平 熊文韬

中国建筑第五工程局有限公司

**摘要:**在设计超深基坑时,主要使用联合支护体系,其中最广泛使用的是支护悬臂桩围护体系。在回顾了桩锚和支护悬臂桩围护体系的相关理论研究之后,本文以位于赣州市章贡区橙乡大道与油山路交汇处基坑支护工程为背景,并结合实例进行了说明。利用有限元模型分析了锚杆的轴向强度变化和对角约束的内部强度,然后将桩锚联合支护体系的测量数据与数值模拟结果进行了比较。测试模拟过程的数值合理性;最后,研究桩锚的水平距离,桩锚的水平倾斜角度以及桩锚与锚之间的垂直距离对支护悬臂桩围护体系内部锚固强度,支护悬臂桩围护体系的协调变形特性的影响,分析并研究了支护悬臂桩围护体系的变形过程,锚杆和对角支柱的相互作用。

**关键词:**超深基坑;支护悬臂桩;围护体系;受力分析

**【DOI】** 10.12254/j.issn.2096-6539.2020.12.079

## 一、前言

超深基坑支护悬臂桩围护体系方面的作用通常分为两部分:挡土(挡水)和支撑拉结。由于不同的地质条件,对水来说,挡土部分分为渗透水而具有防水性两部分。渗透水的挡土结构需要基坑内外井设立排水井来降低地下水位。防水挡土结构可以防止地下水,例如建造连续的地下墙壁,防水帷幕,在坑内设立集水井。超深基坑支护悬臂桩围护体系,可确保基坑壁的稳定性和施工安全;确保在施工过程中不损坏相邻的建筑物,构筑物 and 管道;确保孔设计的所有5个侧面都在水平面以上。传统上,安全系数通常用作支护结构稳定性的度量。支撑系统通常是施工期间的临时结构,在设计过程中不应盲目增加安全系数,但仍需要足够的安全储备。

## 二、深基坑工程的发展趋势

目前深基坑工程的理论和实践逐渐在完善,发展趋势更为贴近综合性:设计时的变形控制和强度控制相互配合,多样化的支护方式对基坑敏感区域的加固,工程设计和施工以及现场监测密切配合、及时反馈危险情况便于采取补救措施,更加注重工程实践与数值模拟的结合等。具体表现如下:

(1) 支护结构多为联合支护。基坑支护方案的选择要考虑到安全、经济、施工方便、因地制宜等。由于基坑场地地质条件的不确定性,基坑开挖施工的差异性,考虑到工程的安全性及经济性,支护方式多是联合支护体系。

(2) 优化设计参数及合理布置资源。有限元数值模拟的运用,使得支护结构设计参数的优化结果更为合理,充分考虑现场施工条件,合理施工支护构件,减少施工工序,最大化留出施作空间,降低基坑施工期间对周边环境的影响。

(3) 大数据共享平台及信息化施工技术。基坑工程发展多年,已经积累了众多实践经验,这些设计和施工经验不仅可以指导工程实践,还可以发展成理论。大数据共享平台是基坑实践与理论的学习和讨论平台,也是边施工边监测、边监测边施工的信息化施工技术的重要手段。通过信息化施工,将设计、施工及监测形成环环相扣的共享平台,将信息化监测结果及时反馈处理,对下一步施工工序或设计改进做出指导。

## 三、项目背景

赣州招商局中心项目位于赣州市章贡区橙乡大道与油山路交汇处。含一栋集国际品牌酒店、精装修公寓、写字楼于一体的超高层建筑,四栋商业裙楼,总占地面积为19599.69m<sup>2</sup>,总建筑面积约146748.51m<sup>2</sup>,超高层建筑为地上44层,地上结构高度为220.0米,地下结构含一夹层与三层地下室。基础形式为桩基础+承台/抗浮锚杆+承台,塔楼结构形式以核心筒剪力

墙结构,裙楼结构形式以框架结构。本项目基坑工程开挖深度为-15.4m,基坑底标高90.6米,土石方量约31.3万立方,灌注桩425根(19~20m/根),旋喷桩1004根(10~13m/根),锚索1275根,砼腰梁约1800m。本文主要对基坑支护悬臂桩围护体系受力分析技术进行研究。

## 四、形成模型

### (一) 基本假设

(1) 假设计算模型中的土是均质各向同性的弹性体,则土体的应力应变比与Mohr-Coulomb弹性挠性模型,桥台,对角支撑,顶棚大梁和托梁一致是理想的弹性体。忽略锚杆的重量,仅考虑锚杆的静力。

(2) 挖掘前,在支撑桩施工过程中,土体的现场压力不变,但土体的初始压力为土的静压力,仅是考虑土体重力产生的压力。

(3) 坑深小于水位,未考虑地下水渗流对基坑的影响。

(4) 计算模型坑外范围向外延伸三倍开挖深度。由于居住区中的道路靠近坑的边缘,因此坑周围的拥塞被假定为均匀的压缩载荷,载荷值为10kPa(过载值的选择取决于当地条件的经验值)。

### (二) 土体及支护结构参数

该模型土体本构关系选择莫尔-库伦理想弹塑性本构模型。主要的土壤参数为C,  $\phi$ ,  $\gamma$  和土壤弹性模量E。土壤参数主要来自岩土勘测。根据报告或根据当地经验,可以通过改变岩土测量报告中给出的压力参数E<sub>s</sub>和变形系数E<sub>0</sub>来获得弹性模量E。选择土壤设计标准时必须小心。必须使用多个通道来获得它们,然后必须通过综合分析来确定合理的设计参数,因为土壤设计参数不仅会影响分析过程中支撑系统的强度和变形结果,而且还会影响支护结构,对基坑工程设计和施工建设具有间接的作用。在使用有限元方法进行建模的过程中,输入计算的土壤参数后会自动计算土壤特性。

在选择钻孔结构的元件类型时,支柱和弦梁会选择梁元件,因为它们可以弯曲和旋转。锚杆使用植入的梁,其中锚杆仅受轴向力影响。对于对角撑杆,使用分析框架块是因为对角撑杆未埋在地下。确定支撑结构块的类型后,输入特殊支撑结构的参数,并自动生成支撑结构程序的属性。

## 五、桩锚联合支护体系的数值结果分析

在基坑开挖过程中,改变初始压力场会重新分配土壤应力。最初的压力释放破坏了土壤压力内部和孔外部的平衡,最终,不平衡力导致轴支撑系统变形。该3D模型选择基坑平面示意图南侧西半段以进行仿真。在工程实践中使用桩锚支护时,基坑通常会接受专用的盆式开挖预留地面平台,但是地面平台被认为是较宽的,故本模拟将盆式开挖简化成平挖。本章将研究钻孔过程中锚杆和联合支撑系统的桩锚杆的水平位移和内力的变化,锚索的轴向力和卸扣的轴向力。在Y方向模型中,每层有22个支撑杆和21个锚杆(总共三层锚杆)和5个对角线支撑。在分析过程中,确定支撑基板,锚杆和对角撑杆的最大值,并着重讨论不同操作条件下支撑系统的操作应力和最大值应力。

### (一) 锚杆轴向力的计算

如果联合支护体系中有锚索支撑,为确保钻孔的稳定性,必须控制锚杆的轴向力。锚杆设计的合理性直接影响钻孔的安全性。锚索与地面之间的摩擦和附着力限制了土壤变形。如果锚杆的轴向力得到很好的控制,则当锚索端部被夹紧到锚索上时,可以减小支撑结构的变形。它可以将锚索的张力传递到锚

(下转第109页)



图2 沥青路面摊铺现场施工图

检测、控制与记录。原则上，摊铺温度应高于135℃，发现摊铺各指标不合格时应及时调整。对于存在的摊铺空间受限、不适合机械作业的构造物接头加宽段等区域，应开展与摊铺机同步的人工沥青混合料铺筑。

2. 上面层摊铺

沥青混合料铺筑之前应对下面层的铺筑质量、是否按规定喷洒透层、粘层、下封层等情况开展检查工作。沥青混合料摊铺机的选择应综合考虑具有自动找平与调节摊铺厚度的装置、功率足额、受料斗数量足够、具有可加热振动熨平板装置、能够调整摊铺机宽度等因素。宜采用 2 台以上履带式摊铺机组成梯队进行全路段单向一次性同步摊铺作业模式，2台摊铺机之间的间距控制在10~20m。相邻两幅搭接宽度控制在300~600mm，上下层搭接位置至少错开200mm，并尽量避开车道轮迹带。应根据施工时的气温、地表温度与风速以及铺筑层厚度确定铺筑沥青混合料的施工条件。对于高速公路、一级公路，铺筑沥青混合料的气温不得低于 10℃，其他等级公路不得低于 5℃。不同地面温度对应的不同摊铺层厚度的最低摊铺温度如表1 所示。大风降温天气无法保证快速将沥青层压实时，应停止铺筑沥青混合料。沥青混合料摊铺机运行全程应保持缓慢、连续、均匀，任何时刻均不可变换速度或者中途停顿。对于存在的摊铺空间受限、不适合机械作业的构造物接头

加宽段等区域，应开展与摊铺机同步的人工沥青混合料铺筑。雨季应避免在降雨时进行沥青路面铺筑，应铲除因降雨而未压实的沥青层。沥青路面摊铺现场施工图如图2所示。

(四) 沥青路面的碾压技术

沥青混合料的碾压目的是使沥青混合料足够密实与平整。通常的路面施工中，沥青混合料的碾压工作分区段进行，各区段分三个阶段有顺序地展开，区段长度一般为50~100m。沥青混合料初压时的温度最高，具有最大的可塑性及孔隙率，整平最容易，因此应当尽可能碾压沥青混合料至足够平整。复压是为了使沥青混合料尽可能达到设计的密实度，是整个碾压过程的关键。终压是对前2个阶段碾压效果进行检查、整形的过程，是为了消除轮迹等缺陷保证路面具有合格的平整度。试验与实践表明，沥青混合料的碾压质量与其温度成正比。这是因为高温的沥青混合料具有较大的可塑性及孔隙率，碾压作用促使路面逐步平整的效果最好。因此，沥青混合料的各阶段碾压作业温度应按照相关技术规范执行，尤其控制好初压阶段的碾压作业温度，下面层混合料温度不低于130℃，上面层不低于150℃。沥青混合料的碾压应按“紧跟、慢压、高频、低幅”“先边后中、由低向高、先静后振”“摊铺机不停，碾压机械不停”等方式进行，碾压过程应保持驱动轮在匀速前进，在已压部分中后退，禁止在未冷却铺筑层上停止或转向。

总而言之，当前路面施工中，重视沥青路面面层施工技术的应用，做好路面施工中不同路面的材料与质量控制工作。在对原材料进行加工时，需要重视不同材料之间的配比，确保整体材料性能符合预先设计，施工人员加强对设备的管理，提升摊铺工作质量。在沥青路面面层施工的最后，需要施工人员选择合适的碾压技术，降低路面裂隙出现的可能性。

参考文献

[1] 罗光远. 探微沥青路面面层在路桥工程中的施工技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(21):137.  
 [2] 裴静. 谈沥青路面面层在路桥工程中的施工技术[J]. 建材与装饰, 2018(32):285.  
 [3] 霍丽娜. 谈沥青路面面层在路桥工程中的施工技术[J]. 山西建筑, 2018, 44(05):151-152.

(上接第84页)

索上，从而控制桩的受力和变形。

从以上分析可以看出，锚杆的第一层在开挖的自由段1的前端为124.70 kN，在自由段3的前端为107.07 kN，在开挖4时自由段前端的锚杆轴力为93.12kN，在工况5时自由段前端的锚杆轴力为83.78kN。锚杆的轴向力伴随基坑开挖时连续进行。另外，在每种运行状态下，锚杆的轴向力通常沿自由段的前端方向向锚段的端部方向减小，这表明随着钻孔深度的增加，钻杆之间的摩擦力或附着力会增大。土和锚杆增加。力逐渐减弱，这时在沿轴降低第一个锚锁后，对地面的压力增加了。第二层锚杆在开挖3时自由段前端的锚杆轴力为49.47kN，在开挖4时自由段前端的锚杆轴力为31.26kN，在工况5时自由段前端的锚杆轴力为76.82kN。锚杆的轴向力在自由段的前端减小，然后由于不扰动基孔而增大。锚杆的轴向强度的增加与对角支架的移除和悬臂支撑部的中心的变形有关。第三层锚杆在开挖4时自由段前端的锚杆轴力为64.23kN，在工况5时自由段前端的锚杆轴力为127.28kN。

(二) 桩锚的内力分析

在该网段支持系统中使用了国家通用支持链接以确保环境安全。模型中的对角撑杆倾斜角为33°，倾桩锚杆位于稳定杆

的第一层和稳定杆的第二层之间。

在工作状态的三个阶段中，对角撑杆的最大轴向力为10.77 kN，在对角撑杆的施工和安装过程中不施加预应力。当钻孔达到-8.0m时，由于钻孔部分的钻孔，在基坑顶部的变形逐渐增加，对角基台开始工作。在工作状态的第四阶段，对角支撑的轴向力最大值为3.16kN，并在孔的底部设计位置钻出坑。在这一点上，在桩上可见的变形的位在桩的支撑部分中。因此，在中间，在工作状态下，腰梁对角支柱上的对角轴向力的最大值大于工况四的最大值。桩锚轴力的大小与支撑点处支护结构变形密切相关，除此之外，还与桩锚水平倾角、桩锚水平间距、锚杆作用位置，锚杆腰梁及冠梁的协同作用方式有关。

参考文献

[1] 刘合伍, 张丽娟. 悬臂桩在软弱土地区深基坑支护工程中的实践[J]. 广东建材, 2014, 30(06):48-51.  
 [2] 郭卫波, 毛朝亮. 深基坑支护工程中悬臂桩的应用研究[J]. 四川建材, 2014, 40(02):117+120.  
 [3] 胡胜华. 悬臂桩在深基坑支护中的应用[J]. 西部探矿工程, 2010, 22(02):6-8.