

# 高层建筑基坑开挖中软土地基支护施工要点

曾红波

(广东盛安建设工程有限公司, 广东 梅州 514521)

**摘要** 软土地基开挖过程采取有效的支护技术以及桩基施工技术, 可提升地基的稳定性。本文分析了高层建筑基坑开挖期间软基支护施工难点, 从技术层面出发, 详细阐述了高层建筑基坑开挖中软土地基支护施工要点, 包括地下连续墙、土钉支护、可回收浆囊式锚杆、劲性水泥土桩嵌合钻孔桩联合支护几个环节, 旨在为现场施工作业提供指导, 形成一套健全的软土基坑支护施工体系。

**关键词** 高层建筑; 基坑开挖; 软土地基; 支护施工

**中图分类号**: TU974

**文献标志码**: A

**文章编号**: 2097-3365(2024)10-0049-03

近些年, 我国建筑行业得到迅速发展, 高层建筑逐渐成为城市建筑的主流型式, 有助于缓解城市用地矛盾与创造更多经济效益。同时, 高层建筑规模大、上部荷载大, 基坑开挖深度加大, 常遭遇软土地基状况, 在深基坑开挖的过程中, 支护结构受到的压力加大, 将出现支护沉降位移情况, 常规的基坑支护技术无法保证基坑稳定性与现场作业安全。为提升软土地基的处理效果, 保障建筑的质量, 应重视软土地基支护施工, 根据项目要求选择合理的支护技术, 在确保建筑结构安全的同时优化土地的利用, 满足高层建筑施工需求。

## 1 软土地基支护施工难点

### 1.1 周边环境复杂

建筑基坑施工活动会对周围建筑物、构筑物造成一定程度的影响, 打破原本的稳定状态, 引发基础沉降、周围地层变形等问题, 严重时还会造成上部结构变形开裂。在城市化发展进程不断加快的时代背景下, 新建高层建筑周边密集分布各类建筑物, 为保障临近建筑物使用安全, 需要控制地基作业空间, 如何在有限空间内搭设支护结构, 长期维持基坑稳定状态, 是软土地基支护施工期间面临的一项重要难题。

### 1.2 基坑失稳

基坑失稳是软土地基施工期间最常见的问题, 根据失稳范围主要分为局部失稳、整体失稳两种情况, 出现上述任意情况, 都会破坏基坑结构稳定状态, 有可能出现基坑坍塌等安全事故。基坑失稳原因包括岩土勘察报告所提供的土层物理力学参数有误、支护结构强度或是刚度不足、缺少抗倾覆抗隆起措施、基坑开挖速度过快与单次开挖深度超标、外界环境变化。

基坑失稳期间, 也会对支护结构工作状态造成一定程度的冲击, 引发支护破坏问题连锁出现, 以挡土墙支护体系为例, 常见破坏形式包括滑动破坏、浅层剪切破坏、下沉前倾/后倾破坏与深层剪切破坏<sup>[1]</sup>。

### 1.3 支护结构变形

基坑开挖期间, 随着坑内土体不断被挖出, 支护结构受力状况发生改变, 内部土压力不断减少, 持续承受外部土体挤压作用力, 支护结构内外两侧土体压力没有保持平衡状态, 形成较大压力差, 致使支护结构出现一定程度的形变、位移现象, 还会导致周围地表出现沉降问题。相比普通多层建筑, 高层建筑的基坑开挖深度较大, 基坑开挖深度与支护结构变形程度成正比, 过度变形情况下, 有一定可能会导致支护结构彻底失效, 基坑处于无防护状态。

## 2 高层建筑基坑开挖期间的软土地基支护施工要点

### 2.1 地下连续墙施工

地下连续墙是在基坑边缘开挖狭长深槽, 槽内分段浇筑混凝土槽段, 再把全部槽段连接成整体结构, 共同承受水土压力的一项支护技术, 多用于基坑开挖深度超过 10 m, 基坑变形与防水要求严格的高层建筑工程。地下连续墙施工期间, 施工人员应重视导墙施工、槽段开挖、钢筋笼制作安装、混凝土灌注等环节具体操作要点。

第一, 导墙施工。按照施工图纸在现场标记导墙中心轴线与边线, 对地表进行平整硬化处理, 向下开挖土层, 土层整平后浇筑混凝土垫层, 按顺序依次安装侧墙内模、侧墙外模, 绑扎侧墙钢筋。然后核对检查模板拼装精度与钢筋安装位置是否正确。在模板内

部浇筑混凝土,墙背部分分层、对称回填黏性土,继续绑扎顶面钢筋与灌注顶板混凝土,养护一段时间,直至导墙结构成型,拆模与设置对口支撑。通常情况下,导墙厚度控制在20 cm左右,导墙净距必须超过墙体宽度,检测导墙施工精度是否合格,要求内墙面和纵轴线平行度误差不超过 $\pm 10$  mm,内墙面垂直度误差不超过0.3%,内墙面平整度误差不超过3 mm,顶面平整度误差不超过5 mm<sup>[2]</sup>。

第二,槽段开挖。可以采取三序成槽方法,以槽段两侧为起始点,对称开挖土体,后续开挖中部土体,改善成槽抓斗受力状态,挖槽期间必须上下往复运动抓斗,单次进尺控制为0.3 m,同步注入泥浆,用于维持槽壁结构完好状态。槽段开挖结束后,逐一检测槽宽、垂直度与槽深度是否达标,槽宽误差不得超过50 mm,垂直度误差控制在0.3%以内,实际槽深略大于设计深度,通过置换泥浆来清除槽内沉渣,直至槽底沉渣层厚度小于100 mm。

第三,钢筋笼制作安装。整体制作钢筋笼,按照从下到上顺序逐层焊接钢筋,采取4榀桁架形式,桁架间距控制在1.5 m以内,并对底部进行收口处理,收口位置控制在厚度方向0.5 m以内,额外设置定位垫块。检测钢筋笼尺寸误差是否超标,宽度与分布筋间距误差不超过 $\pm 20$  mm,预埋件位置误差不超过 $\pm 10$  mm,长度与宽度误差分别不超过 $\pm 50$  mm和10 mm,主筋间距误差不超过 $\pm 10$  mm。随后,钢筋笼起吊悬停在槽段中心部位上方,首次调整钢筋笼位置与垂直度,平稳下放至槽底,第二次调整位置,下放期间必须和两侧槽壁保持安全间距。中途遇到障碍物,致使钢筋笼难以下放时,不得强制下放,重新起吊钢筋笼,问题解决后方可再次下放。

第四,混凝土灌注。钢筋笼放入4 h内开展灌注作业,核对确认成槽深度与混凝土材料状态,槽内部署2套漏斗导管,导管放入槽内,末端导管和槽底距离控制在0.3~0.5 m,对称浇筑混凝土<sup>[3]</sup>。

第五,施工问题处理。常见问题包括墙体渗漏、露筋、槽壁坍方,提前采取防治处理措施。以墙体渗漏问题为例,彻底清理地下连续墙接头部位,不得存在夹泥问题,钢制刷头反复刷洗接头部位,刷动次数不少于10次,成槽完毕后清理底部沉渣,确定渗漏问题发生后,对渗透部位进行压浆封堵处理。

## 2.2 土钉支护施工

土钉支护属于原位土体加筋技术,直接在基坑边

坡部位逐排打入土钉,土钉上挂靠钢筋网与喷射混凝土面层,加筋杆件与基坑形成复合结构,共同受力,起到提高土体整体刚度与结构强度的作用。土钉支护期间,重点掌握混凝土初喷、打入土钉、挂靠钢筋网、混凝土终喷四道步骤的施工要点。

第一,混凝土初喷。分层开展土方开挖、打入土钉与混凝土封层作业,沿基坑内测5 m区域内分层开挖土方,开挖顺序保持为从上到下。土方开挖结束后,首次喷射混凝土面层,混凝土强度等级不得低于C20,水灰比控制在0.46左右,喷射压力控制为0.3~0.4 MPa,完全封闭暴露在外的土体,直至混凝土面层强度超过70%设计值后,方可开挖下层土方。

第二,打入土钉。推荐采取抗拔力相对更高的打入注浆型土钉,提前把钢管制作加工为钢花管,尾部钻注浆孔,使用机械设备把钢花管强制打入土层当中,通过预留灌浆孔向管内压力灌注水泥浆,泥浆完全充满管内,少量浆液溢出钢花管,填充周边土层空隙,直至浆液固结后,即可完成土钉打入作业,重复上述操作过程,打入剩余全部土钉。正常情况下,把注浆压力保持在0.6~0.8 MPa区间,实际注浆量不少于2倍管内体积,如果软基支护要求严格,额外在水泥浆内掺入早强剂、减水剂、膨胀剂等外加剂。

第三,挂靠钢筋网。提前使用6 mm以上直径钢筋制作加工钢筋网,钢筋网规格控制在200×200 mm,通过弯钩连接层间竖筋。土钉打入完毕后,土钉露出部位上挂设钢筋网,向面层挤压钢筋网,保持钢筋网、面层紧贴状态,焊接连接钢筋网与土钉接触部位,要求搭接绑扎长度超过200 mm,搭接焊接长度超过10倍钢筋直径。

第四,混凝土终喷。钢筋网挂设就位后,彻底清理作业面上的浮浆与松散碎屑,使用清水反复冲洗至洁净状态,利用喷头在作业面上按照从下到上顺序喷射混凝土面层,喷头与作业面距离控制在0.6~0.8 m,保持一定夹角<sup>[4]</sup>。喷射期间遇到钢筋部位时,按顺序先后喷射钢筋背面与前方,避免面层结构存在空隙。喷射完毕后,测量面层厚度与均匀程度,对面层进行抹压处理,后续做好洒水养护作业。

## 2.3 可回收浆囊式锚杆施工

可回收浆囊式锚杆起源于常规锚杆技术,成孔后额外设置浆囊袋,搭配采取扩孔注浆方式,形成直径250~300 mm的大直径土层锚杆,通过控制浆液扩散范围、扩散方向,形成预定形状的全长圆柱状注浆体,

在满足软土地基支护需求的前提下,有利于降低锚杆密度与节省造价成本,施工质量控制力度得到大幅增强。可回收浆囊式锚杆施工期间,重点掌握锚杆制作、造孔、注浆、张拉锁定、锚杆回收等步骤的施工要点。

第一,锚杆制作。每隔 2~3 m 设置一处对中支架,主筋对准钻孔中心,双面焊接主筋,搭接长度保持在 5 倍直径以上,后续把锚杆主筋顺直摆放地面,沿锚杆全长部署 3 根注浆管,紧密绑扎形成整体结构,具体分为浆囊袋内注浆管、袋外注浆管和二次注浆管。其中,袋内注浆管长度和主筋保持一致,下部端口控制在袋底 0.5 m 位置,袋外露出部分绑扎在主筋上。袋外注浆管长度保持为 1/3 主筋长度,注浆步骤将其插入孔内。二次注浆管在注浆步骤置入袋内,管体长度、主筋长度保持一致,布设若干出浆口,提前使用塑料胶布封闭出浆口<sup>[5]</sup>。

第二,造孔。选用地质钻机或是液压造孔机作为钻孔设备,按照重压慢转方式匀速钻进成孔,考虑到地层较为软弱,要求钻进角度略小于设计角度,避免出现钻头下垂问题,钻孔后使用清水或泥浆进行循环冲洗,彻底排净孔内残土。随后,在孔内平稳置入锚杆,一同放入注浆管和锚杆,沿着钻孔缓慢下放到孔底,重点保护出浆口与浆囊带。

第三,注浆。分三次开展注浆作业,根据施工进度分批次制备浆液,以水泥浆或是水泥砂浆作为注浆材料,存放时间不得超过 0.5 h。首次开展袋内注浆作业,按照浆囊带大小长度计算注浆量,实际注浆量超过设计值后,停止注浆。首次注浆 12 h 后,开展二次注浆作业,无需调整浆液配比,通过二次注浆管进行注浆,以孔口溢出浆液、注浆压力超过 1.5 MPa 作为结束注浆标准。最后一次注浆被称为袋外注浆,通过外部注浆管持续注浆,确定孔口溢出浆液后,即可拔出注浆管。

第四,张拉锁定。分 3 级开展张拉作业,张拉荷载分别达到 20%、50% 与 100% 设计荷载值,到达每级张拉力后稳定 5 min,完全到达设计张拉力后持荷观察 15 min,确定千斤顶油压稳定、锚头无位移情况后,即可进行锁定。

第五,锚杆回收。建筑基础施工完毕后,土方回填值锚头下部 0.3~0.5 m 位置,着手回收锚杆主筋,旋转钢绞线来分离承载头,缓慢抽出钢绞线。

#### 2.4 劲性水泥土桩嵌合钻孔桩联合支护施工

面对软土地基复杂施工环境,单一的支护技术应

用效果不理想,面临多种多样的施工问题。为营造安全稳定的施工环境,可以尝试采取组合支护形式,采取多项支护技术,互补技术优势。例如,采取劲性水泥土桩嵌合钻孔桩联合支护技术,提前预留钻孔桩位置,施作水泥搅拌桩,水泥浆初凝前插入型钢,搅拌桩到达 14 d 龄期后,预留位置施加钻孔桩,并把桩头钢筋插入水泥搅拌桩型钢顶部,两类桩基保持相互咬合状态,共同组成间隔分布的整体支护结构,充分适应基坑内部无法提供内支撑的环境条件。软土地基联合支护施工期间,全面掌握水泥搅拌桩、插工字钢与钻孔桩的施工要求。水泥搅拌桩施工步骤,要求桩身直径不小于 600 mm,相互咬合范围控制在 100 mm 左右,淤泥质土地基与黏土地基中水泥搅拌桩 28 d 龄期时的无侧限抗压强度分别不低于 0.8 MPa 和 1.4 MPa,推荐采取四搅二喷工艺做法,喷浆压力与提升速度分别控制在 0.6 MPa 和 0.5 m/min。插工字钢步骤,靠近基坑前 2 排水泥搅拌桩上,必须在中心部位插入单根工字钢,桩身初凝前必须把工字钢插入预定位置,选用热轧普通工字钢,固定型钢位置。钻孔桩施工步骤,使用 C20 混凝土浇筑桩身,争取一次性完成单桩浇筑作业,桩身入土深度略大于实际开挖深度,桩内配置主筋与箍筋。

#### 3 结束语

面对软土地基复杂施工条件,优化改进基坑支护施工技术,是切实满足高层建筑地基施工需求与保障现场作业安全的重要前提。通过对深基坑支护施工技术的深入研究,不仅可以更好地了解地下工程的复杂性,还可以为高层建筑的安全和可持续发展提供关键支持。为此,建筑企业与从业人员应加快基坑支护施工体系发展,熟练掌握地下连续墙、土钉支护、可回收浆囊式锚杆等多项支护工艺,并推行联合支护技术,维持基坑结构处于长期的稳定状态,充分践行安全生产理念。

#### 参考文献:

- [1] 张逸.软土地基深基坑支护中土钉支护技术应用要点[J].石材,2023(08):134-136.
- [2] 孟娟萍.高层建筑工程中基坑开挖与支护施工技术的运用[J].科学技术创新,2024(11):181-184.
- [3] 仇安兵.有限空间新建设施基坑开挖沉降特征及小变形控制[J].工程科学学报,2024,46(04):735-743.
- [4] 李瑞康.富水砂层地下连续墙施工技术研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2020.
- [5] 冯浩然.基坑开挖中软土地基的支护与桩基施工研究[J].住宅与房地产,2019(27):181.