

预应力抗浮锚杆在地下结构抗浮中的应用实践

杨炳阳 卢德军 周吉

中国一冶集团有限公司 湖北鄂州 436000

摘要: 伴随城镇化进程的持续加快, 地下空间开发利用的广度与深度不断拓展, 地下结构的抗浮难题愈发突出。预应力抗浮锚杆作为行之有效的抗浮手段, 凭借其诸多优势, 在实际工程中得到广泛应用。本文深入剖析预应力抗浮锚杆在地下结构抗浮中的应用实践, 系统阐述其工作机理与类型, 详细探讨设计要点, 同时针对应用过程中存在的问题提出相应解决策略, 旨在为相关工程提供参考, 推动预应力抗浮锚杆技术的进一步发展与应用。

关键词: 预应力抗浮锚杆; 地下结构; 抗浮设计; 施工工艺

前言

预应力抗浮锚杆作为一种可靠且经济的抗浮技术, 近年来在各类地下工程中得到广泛应用。它能够有效连接地下结构与地基土体, 借助土体锚固力抵御地下水浮力, 保障地下结构稳定。深入研究预应力抗浮锚杆在地下结构抗浮中的应用实践, 对提升地下工程质量与安全性具有重要现实意义。

一、预应力抗浮锚杆工作原理与类型

(一) 工作原理

预应力抗浮锚杆的工作原理基于其与土体间的相互作用机制。在地下结构底板下方设置预应力抗浮锚杆时, 首先对锚杆杆体施加预应力, 使锚杆产生向土体内部的拉力。此时, 锚杆锚固段与周边土体紧密咬合, 土体对锚杆产生摩阻力, 同时在锚杆张拉端, 锚杆对地下结构底板施加反向压力。当地下结构受到地下水浮力作用时, 浮力通过底板传递至锚杆, 锚杆依靠锚固段与土体间的摩阻力以及自身预应力, 将浮力传递至深部稳定土体, 从而平衡地下水浮力, 限制地下结构上浮位移, 确保地下结构稳定。

(二) 类型

1. 拉力型预应力抗浮锚杆

拉力型预应力抗浮锚杆是较为常见的类型。其结构特点为锚杆杆体一端为自由段, 一端为锚固段。施工时, 先将锚杆置入钻孔, 随后对自由段杆体进行张拉并施加预应力, 最后通过锚具将锚杆固定于地下结构底板。工作状态下, 拉力经杆体传至锚固段, 锚固段与土体间的摩阻力承担主要抗拔力。该类型锚杆构造相对简单, 施工便捷, 适用于多种地层条件。

2. 压力型预应力抗浮锚杆

压力型预应力抗浮锚杆在预应力施加方式和受力机

制上与拉力型存在显著差异。在压力型预应力抗浮锚杆中, 杆体锚固段通过载体与注浆体相连。施加预应力时, 预应力首先作用于载体, 载体将压力传递给注浆体, 进而使注浆体对周边土体产生压力。在抗浮过程中, 尽管地下水浮力使锚杆受到向上拉力, 但由于载体和注浆体的作用, 锚杆杆体主要承受压力, 有效避免了杆体因受拉导致的腐蚀等问题, 提升了锚杆耐久性, 适用于对耐久性要求较高的地下工程。

3. 荷载分散型预应力抗浮锚杆

荷载分散型预应力抗浮锚杆是为适应复杂地层条件、提升锚杆承载能力而发展起来的。它通过在锚杆锚固段设置多个载体, 将锚杆所受拉力分散至不同深度土体。这种设计可避免单一锚固段集中受力, 使锚杆在不同土层中充分发挥土体锚固作用, 提高整体抗拔性能。荷载分散型预应力抗浮锚杆尤其适用于地层条件复杂多变、对锚杆抗拔力要求较高的地下结构抗浮工程。

二、预应力抗浮锚杆设计要点

(一) 锚杆布置

1. 布置原则

预应力抗浮锚杆在地下结构底板下的布置需遵循均匀、对称原则。均匀布置可确保地下结构底板各部位均匀受到锚杆抗浮作用, 避免局部抗浮不足或过度抗浮。对称布置有助于保证结构在浮力作用下各方向受力平衡, 防止结构因受力不均发生倾斜或扭曲。此外, 锚杆布置还需综合考虑地下结构形状、柱网布局以及基础形式等因素。例如, 在柱下基础部位, 因柱传递荷载较大, 可适当增加锚杆布置密度以增强该部位抗浮能力; 在地下室边缘区域, 考虑边界效应影响, 合理调整锚杆间距与数量。

2. 间距与数量确定

锚杆间距的确定需综合考量土体性质、锚杆抗拔力

以及施工工艺等因素。一般而言,锚杆间距不宜过小,过小间距可能导致土体在锚杆间产生应力集中,降低土体整体抗拔性能,同时增加施工难度与成本。依据相关规范及工程经验,锚杆间距通常控制在1.5~3.0m范围内。锚杆数量计算则基于地下结构所受浮力大小及单根锚杆抗拔力。首先,通过分析地下水位、地下结构尺寸与重量等参数,计算地下水浮力对地下结构产生的总浮力。然后,根据锚杆设计抗拔力,用总浮力除以单根锚杆抗拔力得到所需锚杆数量。实际工程中,还需考虑一定安全系数,确保锚杆数量满足工程抗浮要求。

(二) 抗拔力计算

锚杆抗拔力理论计算主要依据土体与锚杆间的摩阻力以及锚杆自身强度。对于拉力型预应力抗浮锚杆,其抗拔力计算公式为: $T = \pi d L q_s + A_s f_y$, 其中 T 表示锚杆抗拔力, d 为锚杆直径, L 为锚固段长度, q_s 为土体与锚杆间摩阻力特征值, A_s 为锚杆杆体截面积, f_y 为锚杆杆体材料屈服强度。压力型预应力抗浮锚杆因受力机制不同,抗拔力计算需考虑承载体与土体间压力传递及注浆体作用,计算公式相对复杂。实际应用中,土体与锚杆间摩阻力特征值 q_s 可通过现场是试验或参考地质勘察报告经验数据确定,同时需考虑不同地层条件对摩阻力的影响,如砂土、黏土等不同土层中, q_s 取值存在差异。

(三) 预应力设计

1. 预应力施加值确定

预应力施加值确定是预应力抗浮锚杆设计的重要环节。预应力施加值过小,无法有效提升锚杆抗裂性能与抗浮能力,难以充分发挥预应力抗浮锚杆优势;预应力施加值过大,则可能导致锚杆杆体断裂或对地下结构底板产生过大压力,影响结构安全。一般来说,预应力施加值需综合考虑地下结构所受浮力大小、锚杆抗拔力以及结构变形要求等因素。实际工程中,通常将预应力施加值控制在锚杆拉力设计值的0.6~0.8倍。例如,对于设计抗拔力为500kN的锚杆,预应力施加值可设为300~400kN。同时,还需考虑施工过程中预应力损失情况,在设计阶段适当增加预应力施加值,确保使用阶段锚杆仍保持足够预应力。

2. 预应力损失分析与补偿措施

在预应力抗浮锚杆使用过程中,预应力损失不可避免。预应力损失主要包括锚具变形和钢筋内缩引起的损失、预应力钢筋与孔道壁间摩擦引起的损失、混凝土加热养护时受张拉钢筋与承受拉力设备间温差引起的损失、钢筋应力松弛引起的损失以及混凝土收缩和徐变引起的损失等。为减小预应力损失,可采取一系列补偿措施。如施工时选用高精度锚具,严格把控锚具安装质量,减

少锚具变形和钢筋内缩引起的损失;张拉过程中采用超张拉工艺,先将预应力钢筋张拉至超过设计张拉控制应力一定值,再放松至设计张拉控制应力,补偿钢筋应力松弛引起的损失;针对混凝土收缩和徐变引起的损失,可通过优化混凝土配合比、加强混凝土养护等措施降低损失。

三、预应力抗浮锚杆施工工艺与流程

(一) 施工准备

1. 材料准备

预应力抗浮锚杆施工所需材料主要包括锚杆杆体、注浆材料及锚具等。锚杆杆体一般采用高强度钢筋或钢绞线,其质量需符合相关国家标准,具备足够强度与耐久性。采购锚杆杆体时,需严格检验材质、规格,确保性能满足设计要求。注浆材料通常选用水泥浆或水泥砂浆,水泥应采用强度等级不低于42.5的普通硅酸盐水泥,砂采用中砂且含泥量不超过3%。配制注浆材料前,需对水泥、砂等原材料进行质量检验,确保符合相关标准。锚具选择应依据锚杆类型和张拉要求确定,锚具质量需可靠,能够承受锚杆施加的预应力。

2. 设备准备

施工设备选择直接关系到施工质量与效率。常用施工设备包括钻机、注浆泵、张拉设备等。钻机类型应根据地层条件和锚杆设计要求选择,如土层中可选用螺旋钻机,岩层中可选用潜孔钻机。钻机功率和钻孔能力需满足锚杆钻孔深度和直径要求。注浆泵应具备足够压力和流量,能将注浆材料均匀注入钻孔。张拉设备包括千斤顶、油泵等,其精度和量程需符合预应力张拉要求。施工前,需对所有设备进行调试和维护,确保设备性能良好、运行正常。

3. 场地准备

施工场地准备工作包括场地平整、测量放线等。首先,对施工现场进行平整,清除场地内杂物、障碍物等,确保施工设备通行和停放顺畅。然后,依据设计图纸进行测量放线,确定锚杆具体位置。测量放线过程中,需使用高精度测量仪器,保证放线准确性。同时,在场地周围设置明显警示标志,防止无关人员进入施工现场。

(二) 钻孔

1. 钻孔方法选择

根据不同地层条件,需选择合适的钻孔方法。在土层中,螺旋钻机是常用钻孔设备。螺旋钻机通过钻杆旋转使钻头切入土体,并将土屑带出孔外,具有施工速度快、对周围土体扰动小的优点。在岩层中,潜孔钻机更为适用。潜孔钻机利用冲击器对钻头进行冲击,破碎岩石形成钻孔。钻孔过程中,需根据地层变化合理调整钻

机钻进参数,如钻进速度、钻压等,确保钻孔质量。

2. 钻孔质量控制

钻孔质量直接影响锚杆抗拔力和施工效果。钻孔过程中,需严格控制钻孔垂直度和孔径。钻孔垂直度偏差不应大于1%,否则会影响锚杆受力性能,可通过在钻机上安装垂直度检测装置实时监测,发现偏差及时调整。孔径需符合设计要求,偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内。孔径过小会影响锚杆安装和注浆效果,孔径过大则会增加注浆材料用量和成本。钻孔完成后,需及时进行清孔,清除孔内土屑、岩粉等杂物,保证孔壁清洁平整。

(三) 锚杆制作与安装

1. 锚杆制作

锚杆制作需严格按照设计要求进行。对于拉力型预应力抗浮锚杆,先将钢筋或钢绞线按设计长度下料,然后在锚固段设置定位支架,定位支架间距一般为1.0~1.5m,确保锚杆在钻孔中处于中心位置,保证锚固段与土体充分接触。对于压力型预应力抗浮锚杆,除设置定位支架外,还需在锚固段安装承载体,承载体材质和尺寸应符合设计要求,且与锚杆杆体连接牢固可靠。制作过程中,需注意保护锚杆杆体,避免损伤。

2. 锚杆安装

锚杆安装时,需将制作好的锚杆缓慢放入钻孔,防止锚杆在放入过程中弯曲或损坏。锚杆放入钻孔后,需检查其是否处于中心位置,如有偏差及时调整。对于需要二次注浆的锚杆,安装锚杆时应同时将注浆管放入钻孔,注浆管下端距离孔底一般为0.2~0.3m,注浆管需固定在锚杆上,防止注浆过程中移位。

(四) 注浆

1. 注浆材料配制

注浆材料配制需严格按照设计配合比进行。以水泥浆为例,一般水泥与水的质量比为0.4~0.5。配制时,先将水加入搅拌机,再缓慢加入水泥,搅拌时间不少于3min,确保水泥浆均匀。对于需添加外加剂的注浆材料,如膨胀剂、减水剂等,需按规定剂量准确添加,外加剂添加可改善注浆材料性能,如提高水泥浆早期强度、减小收缩等。

2. 注浆工艺

注浆工艺分为一次注浆和二次注浆。一次注浆在锚杆安装完成后立即进行,采用低压注浆,注浆压力一般控制在0.3~0.5MPa,从孔底开始注浆,使注浆材料自下而上填充钻孔,孔口溢出浆液时停止注浆,一次注浆目的是使锚杆与孔壁初步形成粘结。二次注浆在一次注浆浆液初凝后进行,一般间隔8~12h,采用高压注浆,注浆压力一般为2.0~3.0MPa,通过高压注浆使浆液进一步

渗透到土体中,扩大锚固段直径,提高锚杆抗拔力。

(五) 预应力张拉与锁定

1. 张拉条件

预应力张拉需在注浆体强度达到设计强度的75%以上时进行。张拉前,需对张拉设备进行校验,确保准确性。同时,检查锚杆安装质量,如锚杆位置、垂直度是否符合要求,锚具是否安装牢固,只有满足上述条件方可进行预应力张拉。

2. 张拉与锁定操作

预应力张拉需按照设计张拉程序进行。一般先进行预张拉,预张拉荷载为设计张拉荷载的10%~20%,预张拉目的是使锚杆各部位接触紧密,消除非弹性变形。然后进行正式张拉,正式张拉需分级加载,每级加载后持荷5~10min,观察锚杆变形情况。张拉荷载达到设计值后,继续持荷10~15min,然后进行锁定。锁定时,使用专用锚具将锚杆固定在地下结构底板上,确保预应力有效施加。

结语

预应力抗浮锚杆作为地下结构抗浮的核心技术,在工程实践中展现出显著的技术优势与经济价值。通过对其设计理论、施工工艺及监测方法的系统研究与工程应用分析可知,该技术能够有效控制地下结构上浮变形,保障结构稳定性,同时相比传统抗浮措施具有节约空间、降低造价等特点。然而,实际应用中仍需关注地质条件复杂性、长期荷载作用下的锚杆耐久性问题,未来需进一步加强多学科交叉研究,完善设计计算模型,优化施工工艺,提高监测技术水平,以推动预应力抗浮锚杆技术在地下工程领域的更广泛、更安全应用,为城市地下空间开发建设提供可靠的技术支撑。

参考文献

- [1] 夏宗军, 陈志飞, 刘春利, 等. 新型全黏结预应力抗浮锚杆施工技术的研究与应用[J]. 工程建设, 2025, 57(03): 50-54.
- [2] 葛凯, 袁天晋, 高鹏, 等. 复杂地质条件下预应力抗浮锚杆施工技术研究与應用[J]. 中国设备工程, 2025, (04): 218-220.
- [3] 吕仁镇, 程振, 姜程阳, 等. 浅谈预应力囊式扩体抗浮锚杆设计与施工[J]. 石材, 2025, (02): 37-39.
- [4] 余勇, 罗俊, 熊森, 等. 杭州电竞中心基础及地下室设计[J]. 建筑结构, 2024, 54(17): 132-137+8.
- [5] 程子忠. 预应力锚杆在龙岩某美食城抗浮设计中的应用研究[J]. 福建建筑, 2024, (08): 33-36.