

钻孔灌注桩孔壁稳定性分析

李欢 任军

北京路桥瑞通养护中心有限公司, 北京 102400

[摘要]旋挖钻孔壁的稳定性直接影响到钻孔灌注桩的质量,尤其是在松散地层中,这是施工中难以控制的一个环节。通过对案例工程的调查,发现孔壁的破坏特征主要是由孔口围岩的破坏和沉降引起的,桩壁的稳定不同。主要原因是:充填层力学性能差、套管深度短、泥浆浓度低、注水不足、重型汽车动载荷的影响、施工过程中钻头进尺大、举升速度快造成的负压。为了解决这一问题,提出了以下控制措施:夯实填土层、增加套管长度、及时注水、全过程加入泥粉、缩短孔与罐体混凝土的间隔时间,实践证明,这些控制措施保证了桩孔的质量。针对钻孔灌注桩孔壁的稳定性,利用钻孔壁土的应力数学模型分析钻孔壁土的应力状态,研究土的物理性质、钻孔桩泥浆、地下水埋深等因素对钻孔壁稳定性的影响,用最小孔径和最大泥浆埋深的概念判断钻孔壁的稳定。在弹性理论的基础上,采用摩尔-库仑屈服准则,建立了孔壁稳定条件的计算公式。由于成孔后的卸荷作用,孔壁在侧向力和有效竖向应力作用下产生的塑性区会导致桩孔收缩或孔壁塌陷,砂土地区孔壁的稳定主要表现为孔壁塌陷。商品混凝土厂商提供的混凝土必须符合《公路桥涵施工技术规范的有关规定 2011 版》的规定,其中包括最小水泥用量 275 公斤、碱含量 1.8 公斤以下,氯离子含量小于规定值,并且搅拌机后台水泥存储罐内的水泥必须保证温度降低至 60 度以下才可使用。一旦开始灌注混凝土必须保证混凝土连续进行,为此提醒厂家作好相应的准备工作,如运输时间较长时必须采取技术措施保证到场混凝土符合灌注要求,施工现场不得采用直接加水办法加大坍落度,避免造成混凝土不足问题。桩基施工开始前必须对施工人员进行技术交底和安全交底工作,并且参与施工的人员具备相关资质的要求,未经培训的工人不得进入现场施工,所有进入现场的人员必须佩戴安全帽,冬季施工容易出现结冰问题,井口必须做好防滑处理。钢筋笼的加工在钢筋加工场进行,并在钻孔完成前通过运输车辆运到桩基位置处,主要各个钢筋笼须事先验收通过并做好标记,防止用错。

[关键词]钻孔灌注桩;孔壁稳定性;研究分析

DOI: 10.33142/ec.v6i6.8514

中图分类号: TU473.1

文献标识码: A

Stability Analysis of Bored Pile Wall

LI Huan, REN Jun

Beijing Luqiao Ruitong Maintenance Center Co., Ltd., Beijing, 102400, China

Abstract: The stability of the rotary drilling hole wall directly affects the quality of the bored pile, especially in loose formations, which is a difficult link to control during construction. Through investigation of case engineering, it was found that the failure characteristics of the hole wall are mainly caused by the failure and settlement of the surrounding rock at the hole mouth, and the strength of the pile wall is different. The main reasons are: poor mechanical properties of the filling layer, short casing depth, low mud concentration, insufficient water injection, and heavy truck movement. The negative pressure caused by the influence of load, large drill bit footage during construction, and fast lifting speed. In order to solve this problem, the following control measures have been proposed: tamping the filling layer, increasing the length of the casing, timely water injection, adding mud powder throughout the process, shortening the interval between the hole and the tank concrete. Practice has proven that these control measures ensure the quality of the pile hole. Regarding the stability of the drilled hole wall of the bored pile, a stress mathematical model of the drilled hole wall soil is used to analyze the stress state of the drilled hole wall soil. The influence of factors such as the physical properties of the soil, the mud of the drilled hole pile, and the depth of groundwater on the stability of the drilled hole wall is studied, and the stability of the drilled hole wall is judged using the concepts of minimum hole diameter and maximum mud depth. On the basis of elastic theory, a calculation formula for the stability condition of the pore wall was established using the Mohr Coulomb yield criterion. Due to the unloading effect after drilling, the plastic zone generated by the hole wall under lateral force and effective vertical stress can lead to pile hole shrinkage or hole wall collapse. The stability of the hole wall in sandy soil areas is mainly manifested as hole wall collapse. The concrete provided by commercial concrete manufacturers must comply with the relevant provisions of the "2011 Edition of the Technical Specifications for Highway Bridge and Culvert Construction", including a minimum cement dosage of 275 kilograms, an alkali content of less than 1.8 kilograms, a chloride ion content less than the specified value, and the cement in the cement storage tank at the back of the mixer must ensure that the temperature drops below 60 degrees before use. Once the pouring of concrete begins, it is necessary to ensure that the concrete is continuously poured. Therefore, the manufacturer is reminded to make corresponding

preparations. If the transportation time is long, technical measures must be taken to ensure that the concrete on site meets the pouring requirements. The construction site cannot use direct water addition to increase the slump, to avoid the problem of insufficient concrete. Before the start of pile foundation construction, technical and safety briefings must be conducted for the construction personnel, and the personnel participating in the construction must meet the relevant qualifications. Untrained workers are not allowed to enter the site for construction. All personnel entering the site must wear safety helmets, and winter construction is prone to icing problems. The wellhead must be well protected from slipping. The processing of steel reinforcement cages is carried out in the steel reinforcement processing plant and transported to the pile foundation location by transportation vehicles before drilling is completed. The main requirements are that each steel reinforcement cage must be inspected and marked in advance to prevent misuse.

Keywords: bored cast-in-place piles; hole wall stability; research analysis

引言

钻孔灌注桩以其承载力大、稳定性高、不均匀沉降协调性好等优点,在建筑工程、铁路公路、市政桥梁、港口码头及大型结构中得到了广泛的应用。在钻孔灌注桩施工过程中,由于砂性土的黏结力低,不恰当的施工工艺或措施,容易引起孔壁收缩和塌孔等质量问题,从而改变了土体的初始平衡应力状态。砂土地区钻孔灌注桩孔壁稳定性受地质条件、护壁泥浆、地下水、施工工艺等因素的综合影响,通过有限元数值模拟分析,对砂土地区钻孔灌注桩孔壁稳定性的影响因素和机理进行了分析,建立了砂土地区钻孔灌注桩孔壁稳定性评价模型和方法,可为砂土地区钻孔灌注桩的施工提供一定的参考。

1 概述

钻孔灌注桩施工中常遇到塌孔、缩孔等问题。为了避免这些问题,采用干挖技术推导了钻孔灌注桩的极限成孔深度。针对水力开挖技术,采用有限元数值模拟和有限元强度折减相结合的方法,利用 ADINA 和 ANSYS 软件对钻孔灌注桩成孔过程进行了数值模拟,分析了成孔半径、成孔深度、旋挖钻机功率和螺旋钻具压力对成孔孔壁稳定性的影响。分析表明,我国北部季节性冻土地区钻孔灌注桩孔壁稳定性的主要问题是承载力问题。钻孔越深、越大或螺旋钻具的压力越大,钻孔缩孔现象越严重。在其他相同条件下,要使螺旋钻具的压力降低到 35KPa 以下,可以有效地降低缩孔率。孔壁稳定问题是钻孔灌注桩施工的主要难题,一旦疏忽,极易发生缩孔、塌孔等质量事故。施工经验和研究成果均表明,地层性质、泥浆密度、孔径、孔深、钻机等对钻孔灌注桩孔壁稳定性有影响。

2 工程概况分析

本工程的施工地点位于泄洪区上方,高速铁路下部桥梁布置为 5×20m (装配式预应力混凝土组合小箱梁)+(42+70+42)m 钢箱梁+25×20m (装配式预应力混凝土组合小箱梁),然后与预应力混凝土组合小箱梁连接,1~5 和 9~33 跨简支,桥面连续,6~8 跨连续,半跨宽度为 11.75m,下部结构为双柱墩,基础为钻孔灌注桩基础。

3 工程稳定性建设现场施工准备工作

首先,根据土地征用拆除方案,清除影响桥梁建设的

所有树木、农田和障碍物,然后根据占地情况,设置红线设施进行护栏施工,围挡的施工方法应满足文明施工的要求,直至桥梁拆除。其次,根据业主和测量单位提供的导线点,利用全站仪进行导线点的闭合测量,在导线点达到精度要求后,根据设计图测量桩的位置。再次,按照原计划,将在 3-4 轴、13-14 轴和 26-27 轴之间分别建造 3 个泥浆池。这些泥浆池将建有 24 砖墙,宽 5m,长 18m,深 2m,体积 180m³。在每个泥浆池的中部设置隔墙,隔离泥浆和钻渣。定期清理钻渣,并通过管道将泥浆送回施工现场。最后,管材为 φ300mm 钢管,每根管长 3m,上端与漏斗、阀门连接,并设置两根 1M 短管调节高度。严格保证管接头,水压不小于孔内水深的 1.3 倍,不小于最大混凝土压力的 1.3 倍。注意压力试验一定要用加水压力,绝对不要抽水试验,避免人身伤害事故。使用前测试并装配导管,装配后按压测试,确保在使用前没有漏水。

4 钻孔灌注桩的施工过程及注意事项

根据设计提供的工程地质勘察资料,桩基土为黏土、砂土,含有小直径砂砾土。另外,从箱梁桥的角度考虑了对京广高速铁路的影响。泥浆的生产和使用必须严格按照技术操作要求进行,在不同施工阶段的适当时间和地点进行取样试验,并根据试验结果判断新泥浆的适用性、再生和调整配合比等措施,确保施工安全。在清洗过程中需要不断更换泥浆。从混凝土中取出的泥浆经过清洗和调整,使之符合规格要求,并与新鲜泥浆一起回收。不能清洗的泥浆含有砾石,暂时存放在泥浆池附近,使用自卸车后须进行干燥,以消除钠场处理。

旋挖钻机钻孔就位定位误差小于 20mm,桩身垂直度偏差小于 1%,钻孔时钻进速度缓慢而稳定,钻头根据地质条件进入土层后才能采用钻进速度。保证钻进作业的连续性,并认真记录,定期检查并密切注意钻进情况,及时检查泥浆密度、黏度,保持水头,作好记录,保持连续钻进。在钻进过程中,密切注意地层变化,保存渣样进行检查,并与地质资料核对。在钻进作业过程中,如果因任何原因停钻,必须将钻头提出桩孔外,保持井内水位,泥浆必须保持相对密度和黏度,以确保钻孔安全。在钻进过程中,实时测量孔的深度、直径和垂直度,孔的深度和直径

不小于设计值。

交付现场的钢筋必须有厂家证书和合格的测试报告。钢种、钢号、钢径均符合设计文件要求,经检验合格后方可使用,并按类别分别堆放在货架上。钢筋笼根据桩的长度分为两段或三段。在制作钢筋时,首先根据设计尺寸制作加劲环(箍筋),并在主筋上标明加劲环的位置。在加劲环上标明加劲环中间加劲环的位置,将加劲环固定在主筋上,使加劲环垂直于主筋,然后在主筋上标明所有加劲环。钢筋骨架下端的主钢筋端部焊接有钢筋箍,防止骨架进入孔内时下端钢筋插入孔壁或在管道吊起时悬挂孔壁。

在钻孔灌注桩的设计和施工中,桩身水下混凝土采用经过合格的商品混凝土搅拌站配制的 C30 商品混凝土灌注。混凝土原材料的选择要求粗集料应选用级配良好的碎石,粒径不应大于管道内径的 $1/8$ 和钢筋最小间距的 $1/4$,最大粒径不应大于 $35\text{mm}\sim 40\text{mm}$ 。细集料为级配良好的中砂,泥质含量不大于 2.5% ,泥块含量不大于 0.5% 。水下充填混凝土必须具有良好的工作性能。混凝土坍落度为 $180\text{mm}\sim 220\text{mm}$,砂率为 $40\%\sim 50\%$,水灰比为 $0.5\sim 0.6$ 。水下混凝土的水泥用量不小于 $275\text{kg}/\text{m}^3$,通过试验确定了粉煤灰的用量,碱含量不大于 $1.8\text{kg}/\text{m}^3$,氯盐不能掺入混凝土。在浇筑第一批混凝土之前,先将水塞挂在管道上。水塞由橡胶球制成,悬挂位置靠近水面。根据计算,第一批混凝土储备储存在料斗中,通过开启阀门释放,下端埋深不少于 1m 。导管下端埋入混凝土中,此时测量混凝土表面高度,计算并记录混凝土中埋入管子下端的深度。每次拆除管道前,管道下端埋深不少于 $2\sim 6\text{m}$,同时在浇筑过程中随时检测孔内混凝土表面高度,计算管道深度,正确指挥管道的提升和拆除。提起导管时,保持导管轴线垂直中间位置,平稳提起。最后一批混凝土应浇筑在 0.5m 的高度上,以确定混凝土硬化后的强度,同时考虑到需要凿去桩顶的浮动灌浆层,设计标高以上的部分应用风镐凿去。

5 稳定性影响因素的分析模型建立和求解

为了研究孔壁稳定性的影响因素,在 ANSYS 中建立了四分之一维有限元模型,在 ADINA 中建立了轴对称有限元模型。孔附近区域呈细网状分布。ADINA 的二维轴对称模型采用 Mohr-Coulomb 模型,而 ANSYS 的三维四分之一模型采用 Drucker-Prager 模型。在本工程中钻孔灌注桩成孔深度为 35m ,孔径在 $0.4\text{m}\sim 1.2\text{m}$ 之间,假设开挖深度为 0.5 ,忽略钻具的旋转载荷,选择干法开挖的二维轴对称模型进行模拟,每个开挖步骤对应一个时间步长,分为 10 个子步长模拟结果表明,在一定范围内,孔径在 $0.4\text{m}\sim 0.8\text{m}$ 之间变化,孔径越大,开挖深度越小,超过此范围,开挖深度不随孔径变化。对于 0.4m 的开挖深度,采用数值

方法计算的开挖深度仅为 3.9m 。水力开挖方案比干挖方案复杂得多,泥浆的水压抗土压力,泥浆的糊化形成泥浆表面的孔壁,堵塞泥浆的水渗入孔周土壤,增强了土压力的抗力。泥浆性能对孔壁稳定性至关重要,而泥浆密度是影响孔壁稳定性的关键有限元分析。本文提出了泥浆的最佳密度参数,重点讨论了孔径、孔深、旋挖钻机功率、螺旋钻具压力和一次开挖深度。

选择上述分析模型,半径 0.75m ,孔深分别为 10.4 、 18.4 和 24 。开挖后,孔壁沿深度的收缩情况结果表明,螺旋钻具的最大缩孔位置是钻具离孔底高度的 2 倍左右。孔越深,孔收缩现象越严重。旋挖钻机动力性的影响。旋挖钻机的功率决定了作用在采掘面上的扭矩大小,其对井壁稳定性的影响目前尚不清楚。选用上述分析模型半径 0.75m ,孔深 35m ,旋挖钻机功率 $180\text{kW}\sim 420\text{kW}$ 。分析结果表明,当功率小于 370kW 时,功率对孔壁最大收缩量影响不大,但当功率大于 370kW 时,最大收缩量急剧增加。响应曲线,墙体的最大收缩量随旋挖钻机功率的变化而变化。旋挖钻机在钻进过程中,除了螺旋钻具的自重和在螺旋钻具内加载的切削土的重量外,还需要为螺旋钻具的液压系统提供足够的切削力。施工经验表明,在粉土地层中,压力对孔壁收缩有明显的影响,目前对此问题的研究还不多见。选择上述分析模型,半径 0.75m ,孔深 35m ,功率 220kW ,螺旋钻具压力在 $10\text{kPa}\sim 100\text{kPa}$ 之间。螺旋钻具的压力对孔壁最大收缩量的影响为:对于淤泥层,压力越大,最大收缩量越大,如果螺旋钻具压力超过 60kPa ,孔壁最大收缩量大于 67.55mm ,施工时不允许。对于淤泥地层的开挖,螺旋钻具的钻压最好小于 35kPa 。

6 稳定性控制措施研究

通过对孔壁变形破坏机理的研究,认为孔壁保护措施和钻进方法不能控制孔壁的稳定性,不适合实际地质情况。因此,在原有施工方案的基础上,提出了以下控制措施。夯实填料。在施工前,以桩心为中心,对回填土层进行 $5\sim 10$ 倍孔径的压实,压实度在 250kPa 以上,提高了回填土层的完整性和稳定性。增加护筒的长度。为了使填土层和卵石层处于控制范围内,在一定范围的强风化岩层中,在桩孔的下端埋设了一个 $6\text{m}\sim 8\text{m}$ 长的保护筒。在整个钻进过程中,及时注水,加入泥浆粉末,保证泥浆浓度和一定的水压孔壁保护。

7 结论

综上所述,在钻孔灌注桩建设和稳定性优化的过程中,内摩擦角越大,抗剪强度越高,孔壁越稳定。当内摩擦角达到 35° 时,内摩擦角的进一步增大有限,可以提高土体的稳定性。砂土中钻孔灌注桩桩壁稳定性随泥浆密度的增加而增加,但增加的幅度有限。在保证钻孔壁稳定的前

提下,应尽量减小泥浆效应对基桩承载力的影响。建议砂土地区钻孔灌注桩泥浆相对密度应为 1.15~1.20。对于易发生塌陷的区域,采用钢套管支护措施可以直接解决塌陷事故。钻孔壁的最大侧向位移是摩擦角和钻孔直径的指数函数,钻孔壁的侧向位移是钻孔深度的线性函数,并随钻孔深度的增加而增加。考虑各因素组合对权重的影响,建立了砂土地区钻孔灌注桩桩壁稳定性的灰色变权综合评价模型和方法,以满足工程实际需要。

[参考文献]

- [1]陈维超,杨伟军.砂土地区钻孔桩孔壁稳定性与评价方法研究[J].中外公路,2020,40(4):1-6.
- [2]程习刚.泥浆护壁钻孔灌注桩施工质量控制及通病防治[J].建筑技术,2020,51(7):881-883.
- [3]曾帅.岩溶地区桩基施工及泥浆护壁机理研究[D].安徽:安徽理工大学,2018.
- [4]欧秀英,陆建军.桥梁灌注桩工程质量控制探讨[J].西部交通科技,2018(5):129-131.
- [5]来永辉,徐友樟,高向龙.灌注桩钻孔稳定性分析及控制措施[J].中国水运(下半月),2018,18(1):245-246.

作者简介:李欢(1993.1-),男,北京交通大学,高等级公路维护与管理,施工员,初级;任军(1984.5-),男,大连理工大学,土木工程(道桥方向),助理工程师。