

公路桥梁施工中钻孔灌注桩施工技术研究及讨论

文 / 彭惟彪 江西省吉安县综合交通运输事业发展中心

摘要：文章围绕公路桥梁施工中钻孔灌注桩施工技术展开研究。钻孔灌注桩具有低噪环保、稳固根基、操作灵活等特点，其施工前需完成场地勘察与分析、材料与设备检验、测量定位与护筒埋设等筹备工作。施工过程中，泥浆制备与管理、钻孔作业规范操作、清孔工艺、钢筋笼制作与安装、水下混凝土灌注等为关键技术要点，需严格把控各环节参数与质量，以确保成桩质量。钻孔灌注桩施工技术在环保性与工程稳定性方面优势显著，对公路桥梁建设具有重要实践意义。

关键词：钻孔灌注桩；公路桥梁施工；泥浆制备；水下混凝土灌注

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.17.064

引言

在公路桥梁工程建设中，钻孔灌注桩作为重要的基础施工技术，因其适应性强、承载性能稳定等优势被广泛应用。传统打入式成孔工艺存在噪声大、振动剧烈等环境问题，而钻孔灌注桩通过采用旋挖钻机等设备及绿色泥浆循环系统，有效降低了施工对周边环境的影响。本文结合工程实践，系统分析钻孔灌注桩的施工特点，从施工前筹备、关键技术要点等方面探讨其施工技术要点，旨在为提升公路桥梁基础施工质量提供理论与实践参考。

一、钻孔灌注桩施工特点

（一）低噪环保

由于公路桥梁工程施工场地多处于城市或郊区，周围居民区密集且比较敏感，采用传统打入式成孔工艺（包括锤击法、静压法及振动沉管法）施工时会发出巨大的轰鸣声，并伴有剧烈地振动现象产生；而钻孔灌注桩则不同，其主要机械设备有：旋挖钻机、循环钻机等，它们在工作过程中的噪声较小。相比于前者而言，它不会因打桩而产生强烈的噪声和振动影响周围的环境，有利于维持一个较为安静的施工环境^[1]。另外，在泥浆方面，整个施工过程中均按照绿色环保的原则来进行操作，通过设置泥浆沉淀池和循环系统，实现泥浆的重复利用和达标排放。施工产生的废弃泥浆，经过固化处理后，被运往指定的弃渣场进行妥善处置，避免了随意排放对环境造成的污染。

（二）稳固根基

由于采用成孔工艺，可以在地表下一定深度处打入桩体；通过选择合适的地质情况及桥位，桩体可穿过不同类型的土层直到坚硬的地基持力层为止，在软弱地基条件下修建桥梁工程时，桩体可通过打入至坚硬的黏性土、砂砾石等硬土层甚至岩层之中来增加其刚度，提高其对整个结构物的作用效果，并且桩身进入土层后与其周围的土体会产生一种“锚固”效应。同时在桩身浇筑的过程中会有一部分浆渗入土层中的空隙内，这样就使得桩身同土层之间产生了紧密联系而成为一个

整体。因此桩身和土层间产生的摩阻力就可以作为传递给墩台的一部分外加荷载，它约占桩身极限承载力的30%~50%，从而使墩台的整体稳定性得到很大的改善。

二、施工前的筹备

（一）场地勘察与分析

为保证公路桥梁钻孔灌注桩工程能顺利完成，首先应做的就是做好对施工场地全面详细的勘探工作，并且要考虑到整个工程实施所涉及的相关因素及各种细节问题；其次，在此基础上，根据实际情况合理确定并设计出符合本项目的最优施工方案；最后，按照设计方案的要求开展施工活动^[3]。因此，对施工场地内各项内容的详细考察是非常必要的。其中主要包括以下几方面的具体内容：（1）地质勘察：通过对工地现场采用多种方法与手段，例如钻探法、物探法等等，以达到更加深入地认识该地区内的地表以下的地质构造情况及其各部分岩石或土壤的物理力学特性等相关参数指标；（2）水文勘察：主要是针对项目所在区域内地下的水源情况展开调查研究，从而对该地区的地下水位等情况有比较充分的认知。（3）周边环境勘察：主要指的是该项目施工范围附近存在的各类建筑场所或者市政公用设施的具体位置，例如周围是否存在已建好的高层住宅楼或其他公共基础设施建设，或是地下管网中的给水管线、污水管道、煤气管道、热力管路等，如果有的话那么就需要对它们的具体位置情况进行摸底登记，以便于后期施工时可以更好地加以规避。

（二）材料与设备检验

施工材料及设备是影响成桩的重要因素之一，施工之前应对这些材料及设备进行严格检测。（1）施工材料：主要指水泥、钢筋、砂石料、外加剂等。对水泥要进行品种、标号（或强度等级）、安定性、初终凝时间和烧失量等方面的检验；各种不同品种、标号的水泥由于其成分组成的不同而有不同的性质与作用范围，所以在使用前均需经过严格的检验与实验才能投入使用；（2）施工机械：主要是指钻机、泥浆泵、混凝土拌和机、起重运输设备等。在机械设备进入施工现场以前都要进行全面仔细地检查

并做必要的调整,以达到运转正常、工作可靠的目的。对于一些大型施工设备如钻机而言,其钻头转速大小决定了成孔的速度快慢,并且通过主轴倾斜角度可以精确地调节成孔的角度,所以它的钻进能力、垂直度控制精度就显得尤为重要。在设备使用过程中,还应定期进行维护和保养,及时发现和解决设备故障,确保施工的连续性和安全性。

(三) 测量定位与护筒埋设

精确的测控定位于钻孔灌注桩质量起着决定性的关键作用,因此要严格按设计图样及控制点利用全站仪GPS等精密量具进行桩位测量放线,并按照相应的测量标准进行施工作业;否则就会造成不必要的损失。例如:在某高速公路桥涵工程施工过程中因测量员疏忽误把桩号标错而使桩位发生错误,经检查后又进行了补救措施,致使工程延期完工并加大了工程费用开支。由此可见,正确的测控定位对工程质量的重要性。

护筒埋深:粘土地段宜为1~1.5m,砂土地段宜为1.5~2.0m;护筒顶面高程比施工期间最高水位(包括浪高)至少要高出0.8~1.0m以上。并高于附近地面0.6~1.0m。护筒中心与桩位中心的允许误差不大于±5cm。可在测站点上架设全站仪或经纬仪对准护筒圆心,直接量取距离及方位角后计算出其坐标来测定护筒位置是否正确。护筒埋好后四周要用粘土回填密实。若护筒埋设不牢固或位置不准确,可能导致钻孔过程中出现塌孔、偏斜等问题,影响钻孔灌注桩的质量和承载能力。

三、施工过程关键技术要点

(一) 泥浆制备与管理

对于泥浆配合比的设计要结合具体的工程情况(地质条件、施工方法及桩径)来决定,在一般情况下,泥浆主要由膨润土、水、各种添加剂组成。选择哪种类型的膨润土主要是看它的造浆率、粘度、胶体率等等一系列参数;而添加剂则有多种类型:比如碳酸钠(Na_2CO_3),它能提高泥浆pH值,改善泥浆的稳定性和护壁效果;羧甲基纤维素钠(CMC),可用来增加泥浆的黏度以及抑制泥浆流失到地下。在实际的工程施工时,若选用合适规格型号的膨润土和适量的添加剂,则泥浆的质量会得到很大的提高。

在桩基工程施工中,要重视对泥浆的质量监控,在整个施工过程都要进行泥浆各项性能参数(包括:密度、粘度、失水量、胶体率及pH值)测定,并依据其变化情况随时校正泥浆配合比;当遇到不同土质时要及时补充添加材料或者换浆来保证泥浆的使用效果;同时还要注意做好泥浆的回收工作,采用泥浆循环系统以及泥浆净化装置将泥浆重新注入钻机内反复循环使用,避免直接排入河道造成环境污染。

(二) 钻孔作业规范操作

钻孔作业是整个钻孔灌注桩施工的关键工序之一,

操作是否得当直接影响到成孔的质量以及工程的安全性及经济性。因此在钻孔的过程中必须保证钻机放置平稳牢固,不得产生任何倾斜及移动现象;同时要对钻机的位置做严格的检测,并且将钻杆调至竖直方向后方可开钻。若在实际工程施工中因为钻机位置没有放平而导致了钻孔的偏斜,则只能对其进行返回重钻,这将会造成大量的人力、物力和时间上的损失。另外钻孔工艺参数的选择也会极大地影响着钻孔的质量。钻进的速度会受到所处土质的影响而发生变化:通常情况下在较松散的地层里可采用较快的速度进行钻进而在坚硬的地层里应当降低其钻进的速度以防止破坏钻具或者使得钻孔偏离设计轴线。此外钻压的大小同样会对钻进的效果起到重要的作用:过大有可能会使钻头损毁或是造成钻孔偏离预定轨迹;反之又会造成钻进缓慢的现象从而延长工期并增加成本投入。同时,在钻孔施工中也应注意观察孔口和护筒内的水位变化及泥浆液面的变化;注意观察孔壁有无坍塌现象,以及钻杆提升后岩渣溢出土外等情况,并及时做好记录;随时观测并记好孔深、地质情况(包括岩石种类与硬度)、钻头磨损程度、地下水位、涌水量大小及其含砂量多少等有关资料;同时还需密切注视着钻孔工作中的其他异常情况。如发现泥浆返出不畅时,可能是由于泥浆循环系统出现故障或孔内出现堵塞,此时应及时检查泥浆循环系统,清理孔内堵塞物;当发现钻孔偏斜时,应分析偏斜的原因,如钻机垂直度偏差、地层不均匀等,然后采取相应的措施进行纠正,如调整钻机垂直度、回填片石重新钻进等。

(三) 清孔工艺

清孔方法有抽浆法、换浆法、掏渣法及喷射清孔法等,可根据不同钻孔方法、不同的地质条件以及孔内的具体情况选用相应的清孔方法。抽浆法适用于任何一种钻孔方法;采用此法时先用水龙头接上导管向孔内压入清水(或其他液体),当液面达到一定高度以后开始开动水泵,利用提升导管把孔中的泥浆从下往上带出来,并不断补给新泥浆以保持正常施工所需液柱压力,在整个清孔过程中必须始终保持导管处于埋设状态,待孔中泥浆全部置换为干净的新泥浆且各项指标满足设计规范规定之后方可停止抽浆。换浆法是在终孔后用正循环方式,依靠钻杆上的砂石泵排空孔内钻渣与泥浆,再不断地往孔内输入新鲜泥浆,直到孔底并将出浆口附近泥浆的相对密度降至 <1.15 ,含砂量 $\leq 2\%$ 、黏度 $<20\text{s}$ 为止。掏渣法主要用于冲击成孔灌注桩,其原理就是在每次提钻后,利用掏渣筒等工具将孔底残留的钻渣掏出。喷射清孔法用射水或射风等方式将沉积物清除出孔。清孔质量的控制是确保桩基质量的关键,应严格控制清孔后的泥浆指标和孔底沉渣厚度。清孔后的泥浆相对密度应小于1.10,含砂率不得大于2%,黏度不得大于 $20\text{Pa}\cdot\text{s}$;孔底沉渣厚度对于端承型桩不应大于100mm,对于摩擦型桩不

应大于 300mm。在清孔过程中，应使用专业的检测仪器对泥浆指标和孔底沉渣厚度进行检测，确保清孔质量符合要求。清孔完成后，应及时进行混凝土灌注，避免孔内再次沉淀或积水。

（四）钢筋笼制作与安装

在钢筋笼加工的过程中，也需要注意钢筋的焊接质量，其焊接接头要按照有关的标准及规范执行；并且焊接的搭接长度、焊缝宽度以及厚度都要达到相应的规定值；焊接之前还要对钢筋做好除锈和清理工作，并且要严格控制好其焊接的质量。此外，对于钢筋笼的安装也是钻孔灌注桩施工中的一道重要工序，而该项工作的技术关键点直接影响着钢筋笼的最终位置及其垂直程度等。因此在正式进行钢筋笼吊装作业以前，必须对其全面细致地进行一次核查检验，以确保该构件的各项指标均能达标合格。另外，在进行吊装作业的时候，还需要使用专门配套使用的吊具或者起重装置来进行操作，以便于能够有效地实现钢筋笼的平缓吊升以及顺利下降等工作程序。而在整个钢筋笼下落的过程当中，则需要时刻注意观察它的垂直状态是否正常，以防它会因为自身重力的原因而导致接触到了孔壁的情况出现。钢筋笼下放至设计标高后，应及时进行固定，防止钢筋笼在混凝土灌注过程中发生位移（见图 1）。固定方式可采用焊接或绑扎的方式，将钢筋笼与护筒或孔壁固定牢固。在钢筋笼安装过程中，还应注意钢筋笼的保护层厚度，保护层厚度应符合设计要求，可通过设置混凝土垫块或钢筋定位筋等方式来保证保护层厚度。



图 1 钢筋笼安装

（五）水下混凝土灌注

水下混凝土灌注是钻孔灌注桩施工的最后一道工序，也是一道十分重要的工序，它的施工质量直接关系到成桩的质量与性能的好坏。水下混凝土灌注主要由以下几部分组成：导管安装；混凝土拌合物配制及运输；灌注程序（含起吊设备准备）。其中导管安装必须保证其密闭不漏气且竖直无倾斜，在灌注时不会发生漏水情况；导管底部距孔底的距离宜保持一定的数值，通常取值范围在 0.3 ~ 0.5m 范围内比较合适，这样可以方便地使混凝土进入导管内；混凝土拌和物的制作要按照设计提供的配合比来执行操作，而且要尽可能提高混凝土的和易性、流动性以及强度，同时还要注意原材料的质量问题，比如选用优质等级以上的硅酸盐水泥作为原料并采用洁净不含杂质的大颗粒粗细骨料，另外还需要添加高效减水剂，最后要注意的是水灰比不宜过大，一般情况下需要将其控制在合适的范围内，坍落度可控制在 180 ~ 220mm，以保证混凝土在灌注过程中能够顺利流动。在灌注过程中，应确保混凝土的连续灌注，避免出现断桩现象。灌注速度应适中，过快可能导致混凝土离析，过慢则可能导致混凝土初凝，影响桩身质量。应密切关注混凝土的灌注高度和导管的埋深，导管的埋深一般应控制在 2-6 米之间，以保证混凝土能够将导管底部包裹住，防止泥浆混入混凝土中。在灌注过程中，还应及时测量混凝土的顶面高度，以便及时调整导管的埋深和灌注速度。

结语

钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁工程中具有显著的技术优势与环保价值。其通过灵活的成孔工艺、严格的质量控制流程及绿色施工措施，既能满足复杂地质条件下的基础承载需求，又能有效减少施工对环境的干扰。施工过程中，各环节（如泥浆管理、钻孔作业、混凝土灌注等）的精细化操作与质量管控是确保成桩质量的关键。未来，随着技术的不断革新，钻孔灌注桩技术有望在公路桥梁建设中实现更广泛的应用，为提升交通基础设施的安全性与耐久性发挥重要作用。

参考文献

- [1] 向志良. 公路桥梁施工中钻孔灌注桩技术的应用探究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (12): 118-120.
- [2] 王建文, 万鹏. 钻孔灌注桩技术在公路桥梁施工中的应用 [J]. 工程技术研究, 2025, 10(07): 57-59.
- [3] 赵婧翻. 钻孔灌注桩施工技术在桥梁施工中的应用研究 [J]. 散装水泥, 2025, (01): 148-150.