

水利工程建筑深基坑钢管桩支护施工技术

檀 迪

中国中铁工程装备集团隧道设备制造有限公司 河南新乡 453000

【摘要】本文围绕某大型水利枢纽工程船闸深基坑，详细阐述钢管桩支护施工技术。介绍其地质复杂、水位高、周边设施密集的施工难点，解析基于桩土共同作用原理构建支护体系，涵盖施工准备、钢管桩与连接系施工、基坑开挖、排水系统设置流程，点明桩位、入土深度、焊接、基坑变形监测要点，给出原材料、施工过程、验收质量控制措施，经实践，该技术确保基坑稳定，降低对周边环境的影响，提升施工进度、节约成本、保障质量，成效显著。

【关键词】水利工程；深基坑；钢管桩支护；施工技术；基坑稳定性

一、引言

在当今水利工程蓬勃发展的大背景下，深基坑施工作为其中关键环节，面临着诸多棘手难题。尤其是地质条件的复杂多变以及周边环境的严苛限制，使得基坑支护的重要性愈发凸显。钢管桩支护施工技术应运而生，凭借自身独特优势，逐渐在水利工程建筑中崭露头角，成为保障深基坑安全稳定施工的有力手段。深入研究该技术，对于推动水利工程高质量建设意义非凡。

二、工程概况

以某大型水利枢纽工程船闸深基坑为实例展开探讨，该基坑平面尺寸达长120m×宽80m，开挖深度深至18m。场地地质条件呈现复杂性，自上而下依次分布着粉质黏土、粉砂、细砂夹砾石层，地下水水位偏高，稳定水位处于地表下3-5m区间。并且，基坑周边50m范围内存在已建成的堤防工程以及交通道路，这对基坑开挖变形控制提出极高要求，任何微小变形都可能对既有建筑设施造成破坏。

三、钢管桩支护施工技术原理

钢管桩支护核心基于桩土共同作用机理。在深基坑启动开挖工序前，依循设计要求将特定规格的钢管桩沿着基坑周边精准打入地下。钢管桩入土深度并非随意而定，需依据详细的地质勘察资料以及基坑设计深度，借助专业计算软件精确核算，其目的是穿透软弱土层，稳固扎根于稳定持力层。桩身通过焊接横向连接系，巧妙构建成一个整体性强的支护结构体系。当基坑进行开挖作业时，钢管桩肩负起土体侧向压力、地下水压力以及施工过程中产生的附加荷载，凭借自身高强度结构将这些荷载层层传递至深层土体。借助土体天然具备的抗力，一方面维持基坑处于稳定状态，另一方面严格约束边坡土体的位移趋势，从根本上杜绝坍塌事故发生，为基坑施工筑牢安全防线。

四、钢管桩支护施工工艺流程

（一）施工准备

场地平整：全面清除基坑周边地表的障碍物与各类杂物，运用机械设备精细平整场地，同时修筑临时施工道路，保障桩机、运输车辆等设备能够顺利进场作业，为后续施工创造良好开端。

测量放线：严格依据设计施工图纸，运用高精度测量仪器精确测放出基坑边线以及每一根钢管桩的桩位，将桩位偏差严格控制在±50mm以内，并设置醒目、持久的标识，为后续沉桩作业提供精准定位。

材料准备：审慎选用符合设计标准的Q235或Q345热轧无缝钢管，管径常规取值范围为400-800mm，壁厚控制在8-16mm，依据桩长需求定制。与此同时，足量准备焊接材料、连接系角钢等辅助材料，所有材料进场时必须附带质量合格证明文件，并按规定抽样检验，确保投入使用的材料质量万无一失。

（二）钢管桩施工

桩机就位：依据现场地质条件与施工要求，灵活选用振动沉桩机或静压桩机，将桩机精准移至桩位处，细致调整桩机垂直度，使其垂直度偏差控制在不超过0.5%的高精度范围内，保证钢管桩垂直入土，避免因倾斜引发一系列施工问题。

钢管桩沉设：利用吊车稳稳吊起钢管桩，精确调整使其底部对准桩位中心，开启桩机下沉钢管桩。若采用振动沉桩方式，需精准控制振动频率与振幅，谨防桩只倾斜或受损；若选用静压沉桩，则严格按照设计压力数值缓慢、平稳施压。在沉桩全程，实时监测桩身垂直度，一旦察觉偏差，即刻停机纠正，直至钢管桩精准达到设计入土深度。在本工程实践中，钢管桩入土深度平均达到22m。

（三）连接系施工

待钢管桩沉设完成一定数量（通常间隔3-5根桩）后，迅速组织连接系施工。采用焊接工艺将横向角钢与钢管桩牢固连接，匠心打造稳定的格构式支护体系。角钢规格

依据严谨的设计计算精准选取，常见规格为 $\angle 75 \times 75 \times 8$ - $\angle 125 \times 125 \times 10$ ，连接焊缝高度、长度务必满足规范严苛要求，确保连接节点坚如磐石，能够高效传递荷载，协同发挥支护效能。

（四）基坑开挖

始终遵循分层分段开挖基本原则，将每层开挖深度科学控制在2-3m，每段开挖长度限定不超过20m，开挖作业完成后及时对坑壁进行支护加固。在开挖进程中，运用专业监测设备密切关注基坑变形、地下水位波动等关键指标变化，一旦变形速率逾越预警值（本工程设定为3mm/d），立即果断停止开挖，迅速采取诸如增加临时支撑等针对性加固举措，确保基坑施工安全可控。

（五）排水系统设置

鉴于地下水位较高这一不利条件，在基坑内、外精心构建完善的排水系统。在基坑周边合理设置截水沟，高效拦截地表水流入基坑；在基坑内沿坑底四周巧妙挖设排水沟，每隔20-30m合理布局集水井，采用性能可靠的潜水泵将积水及时排出坑外，全力保障基坑内作业环境干燥，杜绝积水浸泡坑壁土体致使其强度衰减、稳定性恶化的隐患。

五、钢管桩支护施工技术要点

（一）桩位精度控制

精准无误的桩位是支护结构整体均匀受力、切实发挥效能的根基所在。在测量放线关键阶段，优先选用高精度全站仪实施坐标定位，通过多测回测量并取平均值的科学方法大幅减小误差。并且在沉桩作业过程中，充分利用桩机自身配备的垂直度监测装置，结合传统铅垂线复核桩身垂直度，一旦监测到偏差，及时灵活调整桩机位置与沉桩参数，确保每根桩位精准无误。

不仅如此，在复杂地质条件下，如存在地下溶洞或土质松软不均区域，还需提前进行地质补勘，根据补勘结果微调桩位布局，避开潜在风险点，进一步优化桩位精度保障措施。

（二）入土深度控制

钢管桩入土深度与承载能力、基坑稳定性紧密关联、休戚与共。依据地质勘察报告详实提供的各土层力学参数，借助理正深基坑软件等专业工具进行支护结构深度计算分析，敲定合理的入土深度数值，并在施工全程通过桩身入土深度标记与沉桩阻力监测双重保障手段严格把控，像本工程就在桩身每2m标注刻度，同时结合桩机压力仪表实时读数精准判断入土情况，保证每根钢管桩深度达标。

若遇到特殊土质，如淤泥质黏土或砂质粉土，其承载特性与常规土质差异较大，需根据现场试桩情况，对入土深度计算模型进行修正，确保入土深度满足基坑稳定需求，同时避免过度沉桩造成资源浪费。

（三）焊接质量控制

连接系与钢管桩之间的焊接质量直接决定支护体系的整体性与稳固性。选派经验丰富、持证上岗的专业焊工负责操作，焊接前一丝不苟地对焊件表面进行除锈、除油污等精细清理，严格依照焊接工艺评定报告精准确定的参数施焊，涵盖焊接电流、电压、焊接速度等关键要素。焊后进行全方位外观检查，焊缝务必饱满、光滑，杜绝气孔、裂纹等瑕疵，按规范标准抽样开展超声波探伤检测，确保焊接质量合格率稳定达到95%以上，为支护体系筑牢质量根基。

为进一步提升焊接可靠性，在重要节点或高应力区域，可采用多层多道焊工艺，增加焊缝厚度与强度，同时对焊接完成的部位进行保温缓冷处理，减少焊接残余应力，防止焊缝在后续使用中开裂。

（四）基坑变形监测

精心搭建严密的基坑变形监测体系，在基坑周边、坑壁、支撑结构等关键要害部位合理布置监测点，运用全站仪、水准仪、测斜仪等先进仪器全面监测水平位移、竖向沉降、深层土体位移等核心指标。监测频率依据施工进度动态调整，开挖初期设定为1次/天，开挖稳定期适时优化为1次/3天，数据实时采集并深度分析，绘制直观的变形曲线，依据变形趋势提前科学预判基坑安全态势，为施工决策提供精准依据，确保施工全程安全无忧。

除常规监测外，在暴雨、地震等极端天气或地质灾害预警期间，需加密监测频率至每3小时一次，实时掌握基坑动态，一旦发现异常，立即启动应急预案，如紧急回填、增设支撑等，保障基坑及周边环境安全。

六、施工质量控制措施

（一）原材料质量把控

严格审查钢管桩及配套材料供应商资质，确保其具备生产符合水利工程质量标准材料的能力，要求提供齐全的质量认证文件。

对进场的每批次热轧无缝钢管，按照国家标准进行抽检，重点检测管径、壁厚、材质强度等关键指标，确保与设计要求相符。例如，随机抽取一定数量的钢管，使用卡尺测量管径，千分尺测量壁厚，拉伸试验机检测材质强度，一旦发现不合格产品，立即清退出场。

焊接材料同样需严格检验，检查焊条、焊丝的化学成分、熔敷金属力学性能等，保证其能满足焊接工艺要求，保障连接系与钢管桩焊接的可靠性。

（二）施工过程质量监控

桩位复核：在桩机就位后、钢管桩沉设前，再次利用全站仪对桩位进行复核，防止因场地变动或桩机移动导致桩位偏差，若发现偏差超出允许范围，及时调整桩机位置重新定位。当施工场地周边存在大型机械设备作业或交通繁忙路段时，需设置隔离防护设施，减少外界因素对桩位的干扰，同时增加桩位复核次数，确保桩位万无一失。

沉桩质量监控：除实时监测垂直度外，还需记录沉桩过程中的各项参数，如振动沉桩的频率、振幅，静压沉桩的压力值等，分析这些参数的变化趋势，判断桩身入土情况是否正常。若出现异常，如沉桩阻力突然增大或减小，应暂停施工，组织专业技术人员排查原因，可能是遇到地下障碍物或土质突变，需依据具体情况采取相应措施，如清除障碍物、调整沉桩工艺等，处理妥当后再继续施工。

连接系施工质量检查：对焊接完成的连接系，除进行外观检查和超声波探伤检测外，还需进行承载能力抽检试验。在局部区域施加模拟荷载，观察连接系是否出现变形、焊缝开裂等情况，以确保其在实际受力状态下能有效传递荷载。对于连接系中关键受力部位，如转角处或跨中部位，可适当增加角钢规格或加密焊缝布置，提高其承载能力，同时在连接系施工完成后，对其进行防腐处理，延长使用寿命。

基坑开挖与支护协同管理：建立严格的开挖与支护工序交接制度，每完成一层一段开挖后，必须经质量管理人员检查坑壁土体稳定性、支护及时性等情况，合格后方可进行下一工序。同时，在开挖过程中，若发现坑壁有渗水、掉土等异常现象，应立即停止开挖，采取封堵、加固等措施，防止问题恶化。

（三）质量验收环节把控

分项工程验收：在钢管桩施工、连接系施工、基坑开挖与支护等各分项工程完成后，依据相关规范和设计要求，组织专业人员进行验收。验收内容包括工程实体质量，如桩身垂直度、入土深度、连接系焊接质量、基坑变形控制情况等，以及施工资料完整性，如施工记录、检测报告、材料质保书等，只有当实体质量和资料均符合要求时，方可通过验收进入下一工序。

隐蔽工程验收：对于钢管桩入土深度、连接系焊接等隐蔽工程，在施工完成后、覆盖前，务必进行专项验收。采用无损检测技术，如低应变法检测桩身完整性，确保钢管桩质量；对焊接部位进行X光探伤或更高级别的检测手段，全面排查焊缝内部缺陷，保证隐蔽工程质量万无一失。同时，在隐蔽工程验收合格后，及时整理归档相关验收资料，包括检测报告、影像资料等，为后续工程维护、检修提供详实依据。

七、实际应用效果分析

（一）基坑稳定性

通过对基坑周边土体深层位移持续监测所获取的数据清晰表明，在整个基坑开挖及后续长达约6个月的施工周期内，最大深层土体位移量仅为25mm，且该峰值出现在基坑中部靠近坑底位置，后续位移发展趋势逐步趋于平缓，远未超过设计允许的最大位移警戒值30mm。这充分有力地证明钢管桩支护结构高效地限制了土体侧向位移，为基坑整体稳定性

提供坚实保障，让基坑施工在安全区间稳步推进。

（二）周边环境影响

针对基坑周边50m范围内的堤防工程与交通道路精心开展沉降观测，结果令人欣慰：堤防最大沉降量定格在12mm，道路最大沉降量仅为8mm，二者均稳稳处于允许沉降范围之内，施工现场未出现因基坑开挖诱发的裂缝、塌陷等任何破坏现象。这直观彰显出钢管桩支护施工技术卓越的控沉能力，对周边既有建筑物与设施起到周全保护。同时，由于施工便捷高效，产生的噪音、扬尘等污染相对较少，避免了施工对周边环境造成不良影响。

（三）施工进度与成本

相较于传统灌注桩支护技术，钢管桩支护施工工艺展现出简洁高效的优势，摒弃泥浆护壁等繁琐复杂工序，单根钢管桩施工时间平均大幅缩短1-2天。本工程基坑支护施工凭借此项技术优势，工期较原计划提前15天圆满完成，大幅节省大量人工、设备租赁费用。同时，钢管桩材料具备可回收重复利用特性，回收率高达80%以上，综合成本相较灌注桩支护显著降低约15%，经济效益十分显著，为工程建设降本增效开辟新路径。

（四）施工质量可靠性

从材料选用到施工各环节，质量把控贯穿始终。在材料进场时，严格的抽检确保了钢管桩及焊接材料等符合高标准。施工过程中，桩位精度控制精准，多手段保障入土深度达标，焊接质量经严格检测合格率稳定在95%以上。

实际建成的钢管桩支护结构在后续的基坑施工及监测期内，未出现任何因质量问题导致的结构变形、连接松动等现象，有力证明了该技术施工质量的高度可靠性，为水利工程长期稳定运行筑牢根基。

八、结论

综上所述，水利工程建筑深基坑钢管桩支护施工技术在面对复杂地质条件、高水位以及严苛周边环境要求时表现卓越。通过严谨把控施工流程、技术要点与质量控制环节，切实保障基坑稳定性，将对周边环境的影响降至最低限度，同时显著提升施工进度、降低成本、确保施工质量，具有极高的推广应用价值，可为类似水利工程深基坑施工提供坚实可靠的技术支撑。在科技进步的推动下，结合新型材料、创新工艺的不断涌现，钢管桩支护施工技术必将持续优化升级，为水利工程深基坑施工注入源源不断的强大技术动力，助力水利工程建设迈向更高质量发展阶段。

参考文献：

- [1] 王成铖. 高层建筑深基坑锚索一双排桩支护施工技术[J]. 设备管理与维修, 2023, (22): 159-160.
- [2] 董玉祥. 建筑工程施工中深基坑支护技术研究[J]. 中国厨卫, 2023, 22(12): 149-151.