

# Research on the Construction Technology of PHC Pipe Pile Sinking in Stone Riprap Embankment Geology

Longzhou Li

Tianjin Port and Navigation Engineering Co., Ltd., Tianjin, 300450, China

## Abstract

The paper explores feasible and efficient drilling construction techniques and quality control measures for pipe pile sinking based on the geological conditions of uneven throwing stone embankment and tidal washing pile holes in the support project of Binzhou Port pipe gallery. During the drilling process, the construction effects of two types of equipment, namely the down hole hammer and the vibrating hammer, are compared to summarize their different characteristics and applicable situations. In response to the occurrence of collapse, hole displacement or inclination, effective technical measures and management methods are used to ensure the quality of drilling. At the same time, during the process of pile sinking, effective analysis is conducted on the problems of collapse holes and deviation of pile top plane position, and targeted measures are taken to solve them, ultimately forming a relatively complete construction process to guide actual construction.

## Keywords

riprap embankment geology; lead hole; pile driving; position deviation of pile top plane; pile foundation engineering

# 抛石堤地质 PHC 管桩沉桩施工工艺研究

李龙舟

天津港航工程有限公司，中国·天津 300450

## 摘要

论文根据滨州港管廊支架工程不均匀抛石堤地质、潮水淘刷桩孔等工况条件，探索适合本工程可行、高效的引孔施工工艺和管桩沉桩质量控制措施。引孔过程中，通过潜孔锤和振动锤两种设备的施工效果对比，总结各自不同特点和适用情况，针对出现塌孔和孔位偏移或倾斜情况，如何通过有效的技术措施和管理方法保证成孔质量；同时在沉桩过程中，针对出现的塌孔和桩顶平面位置偏移问题进行有效分析，并采取有针对性的措施对其进行解决，最终形成比较完整的施工工艺，指导实际施工。

## 关键词

抛石堤地质；引孔；沉桩；桩顶平面位置偏差；桩基工程

## 1 引言

在中国基础设施建设中，传统水上沉桩和陆地沉桩施工已有非常成熟的施工工艺，但都局限在均匀、连续的土层或淤泥层地质中，或夹杂有少量砾石、鹅卵石或建筑垃圾。而在滨州港管廊支架工程桩基施工中，在不均匀抛石堤地质、潮水淘刷桩孔等工况条件下，笔者所在公司首次对在抛石堤地质上沉桩的施工工艺进行探索，论文主要对在抛石堤地质上进行 PHC 管桩沉桩施工工艺作相关介绍和总结。

## 2 工程概况

滨州港海港港区管廊支架（一期）工程位于滨州港港区内疏港路东侧，本工程目的是将液体散货码头和后方临港

工业园区紧密联系起来，使码头发挥更大的作用。一期工程将建设一条 5m 宽的管廊支架及 3.5m 检修通道。

管廊支架地基采用预制管桩桩基，基础为混凝土承台基础，上部结构采用两层梁架式钢结构，一层管架高度约为 1.5m，二层管架高度 4m。（补偿管架为 9m，每 108.5m 标准段一个）管廊总长约为 16.3km，大部分位于已建防波堤上，地下具有较厚的抛石层，根据下部地基特点，共划分 5 段，如图 1 所示。所有段均为桩基础，其中 AB、BC 段抛石层厚度最大，最大抛石层厚度在 16m 左右。CD、DE 段抛石层厚度较小，最大抛石层厚度在 8m 左右。EF 段为淤泥质浅滩，无抛石。

本工程桩基施工特点及难点：

①施工区域为已建防波堤，属于抛石堤地质，沉桩前需引孔，工期紧张；②抛石层较厚且不均匀，局部最大厚度达到 16m，桩基平面位置偏差难以控制，而目前陆地沉桩桩

【作者简介】李龙舟（1992-），男，本科，工程师，从事市政工程建设研究。

机没有平面限位装置；③受潮水淘刷影响，潮差 2.5~3.0m，成型桩孔易发生塌孔，导致沉桩过程中出现管桩打入困难、桩顶平面位置偏差较大甚至桩头破损等现象。

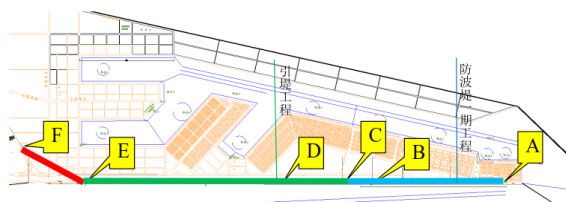


图 1 管廊分段平面位置示意图

本工程地下具有较厚的抛石层，桩无法直接穿透，故沉桩前，需要先进行引孔作业。由于缺少在抛石堤地质上进行引孔、沉桩的施工经验，为保证引孔、沉桩工艺高效可行，该工程正式施工前，需进行试桩施工。

### 3 引孔施工

根据试桩施工结论，现场采用振动锤和潜孔锤两种引孔工艺。一方面能打破试桩施工时小范围施工的局限性，通过大范围引孔作业，能更加明显地凸显两种工艺的优缺点，积累施工经验；另一方面通过大范围施工，及时调整生产，抢占工期，又快又好地指导现场施工。

#### 3.1 振动锤引孔

##### 3.1.1 振动锤引孔原理

振动锤是一种通电后产生强大激振力将物体打入地下的一种设备，是利用共振理论设计的。当冲击管的强迫振动频率与土壤及块石颗粒的振频率一致时，土壤及块石颗粒产生共振，此时足够的振动速度和加速度能迅速破坏冲击管和土壤间的粘合力，使套管与土壤从压紧状态过渡到瞬间分离状态，引孔阻力尤其侧面阻力迅速减小，冲击管在自重作用下下沉，同时对抛石层形成冲击力，将块石破碎并向四周挤出，形成桩孔。

##### 3.1.2 振动锤引孔施工工艺流程

振动锤引孔工艺流程如下：振动锤、冲击管组装—桩位放样—振动锤就位—启动钻孔（引孔记录、全程观测调整冲击管垂直度）—持续钻进—拔管、成孔验收—移动桩架至下一桩位。

##### 3.1.3 振动锤引孔施工操作要点

①冲击管夹紧调整：由于前期振动锤和冲击管连接在地面上进行组装，冲击管轴线与冲击锤夹具很可能轴线不同轴，因此，在第一个孔位引孔时，开启振动锤将冲击管插入土中保持固定后，停止振动锤，松开夹具，调整振动锤位置，保证振动锤轴线和冲击管轴线保持一致。②互成 90° 垂线观测引孔垂直度：引孔过程中，用互成 90° 垂线或经纬仪观测冲击管实时垂直度情况，发现倾斜，及时纠偏，保证两个方向上垂直。垂直度允许偏差控制在 5%以内（引孔垂直度很大程度上决定后续沉桩桩身垂直度，JTS—2008

《水运工程质量检验标准》规定桩身垂直度允许偏差为 1%，故引孔时质量控制严格，对沉桩质量有很大保障）。③勤测量 + 挖掘机辅助控制引孔平面偏差：引孔过程中，用自制定位框和互成 90° 引出控制点掌握冲击管实时平面偏差，发现偏位，及时纠偏，可采用挖掘机辅助纠偏。引孔平面允许偏差控制在 5cm 以内（JTS—2008《水运工程质量检验标准》规定桩顶平面位置允许偏差为 10cm）。④冲击管穿透抛石层后，不要立即拔管，建议继续往下引孔 2m 左右，一方面防止抛石层引透后底下还有石层或硬砂层未发现导致后续沉桩时出现沉桩困难或桩头破损，另一方面有利于桩孔通透，避免部分落石封堵抛石层孔位。⑤引孔完成后需振动拔出冲击管，为减少振动拔管对已成桩孔的影响，可在拔管至抛石层顶部时关闭振动锤动力站，采用静力拔管，可有效防止塌孔。⑥振动锤由于冲击管没有限位措施，平面位置偏差难以控制，故一般成孔后需进行平面偏位验收，并做好引孔记录，对于平面偏差较大且无法纠偏的孔应进行回填重新引孔。

#### 3.2 潜孔锤引孔

##### 3.2.1 潜孔锤引孔原理

潜孔锤也称风动冲击钻，潜孔锤在空气压缩机的作用下，以压缩空气为动力介质驱动其工作。对硬岩进行高频率破碎冲击，在潜孔锤钻进过程中，高压空气驱动冲击器内的活塞做高频往复运动，并将该运动所产生的动能源源不断地传递到钻头上，使钻头获得一定的冲击功。钻头在该冲击功的作用下，形成体积破碎、成孔。

##### 3.2.2 潜孔锤引孔施工工艺流程

潜孔锤引孔工艺流程如下：潜孔锤组装—桩位放样—钻机就位—启动钻孔（引孔记录、全程观测调整冲击管垂直度）—持续钻进—拔钻、成孔验收—移动桩架至下一桩位。

##### 3.2.3 潜孔锤引孔施工操作要点

①潜孔锤由于其成孔原理，引孔后容易发生塌孔，尤其表层土体受压缩空气扰动后，可见以桩孔为中心约 2m 半径范围内地面有明显龟裂和塌陷。故潜孔锤引孔后建议及时回填，沉桩施工前再进行二次放点，利用桩尖破土和桩身自重穿过桩孔土层。②潜孔锤引孔完成后在提钻的过程中，由于石层较厚或有碎石回落等原因钻头容易发生卡钻现象，当发生卡钻时，不可移动潜孔锤，如此容易掰断冲击器与钻杆处焊缝，导致冲击器和钻头掉落桩孔造成桩孔废弃，且经济损失较大。③抛石层较厚，潜孔锤钻头磨损严重，容易导致引孔困难，故施工时为保证连续生产，一般需配备 1~2 个备用钻头，及时更换；若因局部地质不均匀仍出现引孔困难，可以考虑选用功率更大的空压机或两台空压机一起工作，保证引孔顺利；若地下遭遇铁件或不明硬物，应停止引孔。④引孔穿透抛石层后，不要立即提钻，建议继续往下引孔 2m 左右。

#### 3.3 引孔存在的主要问题、原因及措施建议

问题及原因：由于抛石层较厚、不均匀且存在无法有效

破除或挤开的大型石块等原因,尤其存在块石有一部分体积正好处于桩孔位置的情况下,则振动锤和潜孔锤均容易引孔偏位。

措施建议:引孔质量严格把关,引孔过程中勤测量,掌握冲击管(或钻杆)实时平面偏差,发现偏位,及时纠偏。另外,引孔过程中对于埋深较浅的大块石尽量挖除。引孔施工过程中,做好相关记录。

## 4 打桩施工

### 4.1 桩锤选择

根据规范要求和试桩施工情况总结,现场进行PHC800-B130和PHC600-B130管桩沉桩施工用8.3t的柴油锤即可满足要求。在实际施工过程中,尤其在AC段抛石层厚度最厚的区段(局部抛石层达16m),8.3t的桩锤对于PHC800-B130管桩打设比较困难,故现场选择10t或12t的柴油锤(导杆式和筒式均可)。

### 4.2 沉桩施工工艺流程

沉桩施工工艺如下:现场测放桩位桩位复核、机械进场组装—桩机就位—桩机正前方与正侧方架设经纬仪—吊桩、插桩(校正垂直度)—沉桩(校正垂直度)—接桩、冷却、刷防腐沥青漆—继续沉桩—桩平面位移量测—送桩达到设计贯入度要求—拔出送桩器。

### 4.3 沉桩施工操作要点

①桩锤、桩帽、(或有送桩器)桩身保持在同一轴线上。②插桩时,管桩的垂直度和平面位置必须严格控制。垂直度控制方面,可在距离桩机安全距离之外约成90°方向各设置一台经纬仪,测量桩架和桩的垂直度,若桩身发生倾斜,可将管桩拔出重新插桩,不许采用强拨的方法进行快速纠偏,防止将桩身断裂;平面位置控制方面,可根据设计桩位点约90°方向各引出一个控制点,测量控制点到管桩外壁之间的距离,若平面位置偏差超过规范允许偏差,及时采取纠偏措施,不允许采用桩帽强拨或用挖掘机顶推的方式纠偏,避免桩身横向受力导致桩身断裂。③桩尖插入桩位完成自沉和压桩后,先用重锤低击,避免出现桩身突然倾斜或溜桩现象。④接桩均采用钢端板焊接法,焊接采用二氧化碳气体保护焊,焊接接桩前先将上、下桩端板清理干净,拼接处坡口槽应分层对称进行焊接,焊缝应连续饱满,焊接后应清除焊渣,检查焊缝饱满程度。每个接头焊接完,需冷却8min,方可继续沉桩。每个单位工程需按规范要求进行焊缝探伤检测,并做好记录。⑤沉桩过程中严格执行设计停锤标准,桩顶标高和桩身贯入度双控,以标高控制为主,贯入度作校核。⑥进行PHC600-B130管桩沉桩施工时,不允许使用PHC800-B130管桩桩帽,桩帽必须与管桩直径必须匹配,否则桩帽和管桩轴线容易不同轴造成偏击导致出现桩头破损。为避免频繁更换桩帽,可制作一个变径桩帽,如右图,如此可节省更换桩帽时间,提高工效。

### 4.4 打桩存在的主要问题、原因及措施建议

问题及原因:桩位引孔时有较大偏位导致沉桩时桩身

出现较大平面位置偏差,或者,桩位引孔时正位,但由于抛石层较厚且不均匀、潮水涨落、降雨等原因导致塌孔,塌孔后孔身扩大,桩尖约束减少或缺失,沉桩过程中桩尖遇到障碍物容易出现较大偏位。

措施建议:一方面,严格控制引孔质量,保证引孔质量合格;另一方面,控制好引孔和打桩之间的时间间隔。时间间隔越长,塌孔概率越大,塌孔后打桩质量很难控制,当天成孔尽量当天沉桩完毕,最多不超过24h。另外,一般沉桩深度小于4m的情况下,若桩身出现倾斜或平面偏差较大,可用挖掘机开挖配合将管桩拔出重新打设。

## 5 总结

通过施工对比总结:引孔方面,振动锤和潜孔锤单个引孔时间无太大差异,一般20~30min,遭遇局部特殊地质,则需2~3h。但对于石层相对比较均匀、厚度较小的地质来说,潜孔锤的整体工效和施工质量有较为明显的优势,有利于抢占工期;而对于石层不均匀,或石层厚度较厚的地质来说,振动锤的成孔质量有明显优势,施工速度较潜孔锤稍快,且不会有卡钻等风险,不会造成额外损失。沉桩方面,成孔质量很大程度上决定了沉桩质量,所以引孔一定要严格控制其平面位置和垂直度。

施工质量方面,在不均匀抛石堤地质上引孔、沉桩施工,平面偏差是质量控制的重点和难点,目前中国陆地沉桩设备没有成熟的平面限位装置,也没有有效的控制措施,所以这也是在以后的施工中,需要我们去思考和改进的地方。另外,施工过程中,通过施工监测发现在抛石坝体上进行桩基施工对坝体稳定性和堤坝上的其他构筑物也是有一定影响的,所以在施工过程中,对坝体及附近构筑物进行沉降位移监测是很有必要的,而且在条件允许的情况下,可以考虑进行深层土体位移监测,一旦发现异常,需立即停止桩基施工,采取有效措施,避免发生重大安全事故。

## 6 结语

本工程采用振动锤和潜孔锤在不均匀抛石堤上进行引孔后沉桩的施工工艺,在施工过程中,针对影响引孔和沉桩施工质量的主要因素,以控制引孔和沉桩施工质量,提高施工工效为目的,深入分析,不断探索,不断实践,对比不同引孔工艺,采取有效措施,积极改进,从而形成了比较完整的施工工艺,为以后类似工程的施工打下了坚实的基础。

### 参考文献

- [1] 贾振国,胡昌兰.浅谈水利施工中水坝堤防堵口施工技术[J].科技创新与应用,2014(35):1.
- [2] 肖文辉,李敏.PHC管桩桩网结构加固软土路基设计方法探讨[J].四川建材,2020,46(8):2.
- [3] 刘振华,盛健,朱全.复杂地质条件下大直径PHC组合桩施工[J].珠江水运,2020(21):58-59.