

# 大直径 PHC 预制管桩引孔沉桩施工工法

中铁上海工程局集团第四工程有限公司

龙 亮 刘道清 胡 鹏 蒋增虎 扈德志

## 1 前言

PHC 预应力预制桩一般适用于土质为黏土和粉土地质条件地区，本工法为首次在华北砂层地质条件下使用大直径 PHC 预制桩作为高速铁路桥梁桩基础。对于大直径 PHC 预制桩来讲，具有强度高、质量可靠、用材节省、绿色环保、承载力高等特点，但是在铁路行业的应用较少，尤其是大直径 PHC 预制桩（直径 1 米）在 350km/h 高速铁路桥梁基础中的应用，在国外及国内更是极其少见。另外，常规钻孔灌注桩施工，工艺要求高，环境污染大，因此，对于深入开展大直径 PHC 预制桩在高速铁路桥梁中的应用技术研究意义尤为重大。

中铁上海工程局集团第四工程有限公司根据京沈铁路客运专线京冀有限公司主持的“京雄城际铁路五标智能京雄关键技术”课题项目研发支持，依托新建京雄城际铁路 5 标工程项目，针对华北地区砂土条件下 350km/h 高速铁路桥梁新型基础大直径 PHC 预制桩沉桩施工技术进行科技攻关，经总结形成工法，同时开发 1 项发明专利和 1 项实用新型专利，并在京雄城际铁路桥梁工程项目中成功推广应用，为我国高铁新技术推广奠定基础。

## 2 工法特点

### 2.1 质量可靠

将传统的钻孔桩工艺改成工厂化预制提高了桩基质量。

### 2.2 新工艺

引孔施工大大提高预制桩成桩率，降低桩头破碎率。

### **2.3 环境影响小**

大直径预制桩沉桩施工减少了钻孔开挖对环境造成的破坏和影响，避免了大量泥浆排放对环境的污染。

### **2.4 施工速度快**

施工进度快，所需工期短，沉桩施工作业连续，吊装、引孔、沉桩等主要工序均为机械化作业，施工测量实现了自动化，施工控制智能化、信息化程度高。

### **2.5 劳动力少、降低劳动强度**

机械化沉桩作业，不仅所需要的劳动力少，而且降低了作业人员的劳动强度。

## **3 适用范围**

适用于直径 1000mm 的非岩性穿越砂层预应力混凝土预制桩沉桩施工。

## **4 工艺原理**

本工法针对大直径预制桩中空特点和现场施工地质条件，结合振动桩锤和钻机施工方法，充分发挥各自优点，既利用钻机在预制桩孔内引孔取土、减小桩端阻力，又利用振动减小桩侧阻力达到沉桩目的。即：利用震动桩锤反复跳动冲击力和桩体的自重，克服桩身的侧壁摩阻力和桩端土层的阻力，将桩体沉到一定标高；当 PHC 预制桩打入到砂层时，贯入度发生明显改变，通过采用长螺杆钻机引孔挤土，减少预应力钢筋混凝土预制桩通过砂层时的桩端阻力，使 PHC 预制桩顺利穿过砂层。

## 5 施工工艺流程及操作要点

### 5.1 施工工艺流程图

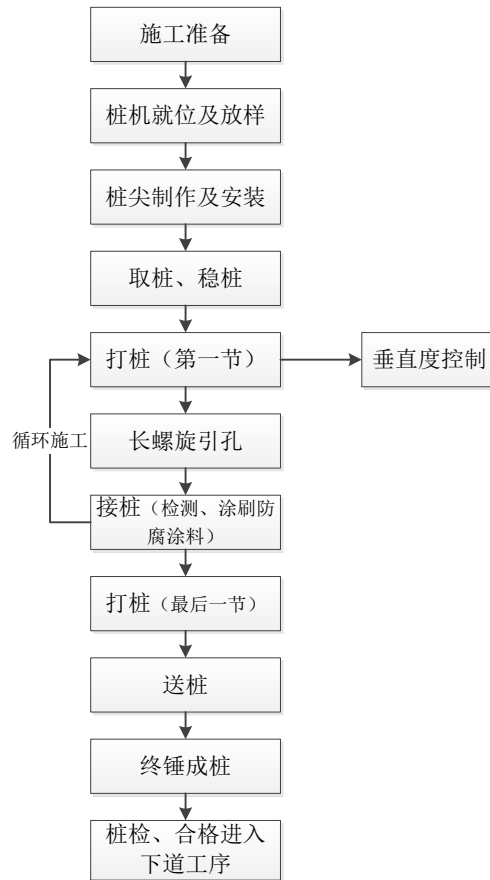


图 5-1 施工工艺流程图

### 5.2 操作要点

#### 5.2.1 施工准备

熟悉施工图纸，根据现场地质条件和施工环境编制施工方案，施工人员经过安全、技术交底，并经培训，熟练掌握各工序和设备操作要领；施工前首先要调查场地内地下、地上管线的影响，并对场地进行平整、桩位放样；对进场预制桩规格、型号、尺寸偏差、外观质量、端头板桩套箍以及桩尖进行检查验收，合格后方可使用；施工所需的机械设备和周转材料提前进行检修、调试和保养，确保状态良好。

#### 5.2.2 桩位放样

打桩前使用全站仪采用逐桩坐标法放样桩位点，放样后四周设护桩并复测，误差控制在 5mm 以内，待监理验收合格后方可进行沉桩施工。

### 5.2.3 桩机就位

在对施工场地内的表层土质试压后，确保承载力满足沉桩机械施工及移动过程中不至于出现沉陷，对局部软土可采用换填或铺垫钢板等处理措施。

桩机安装完成后，检查各部件及仪表是否灵敏有效，确保设备运转安全正常后，按照打桩顺序，移动调整桩机对位、调平、调直。

### 5.2.4 取桩、稳桩

采用打桩机自行取桩。取桩时用铁钩钩住预制桩的后端，并捆绑在预制桩的前端缓缓吊起。桩提升到垂直状态后，送入桩架导杆内，准确地对好桩位，即可除去索具，然后利用全站仪将预制桩垂直度调直到规范要求范围内。

桩底就位后对中和调直工序对成桩质量起关键作用。“调直”是要使桩身垂直，垂直度第一节偏差不大于 0.3%，第二、三节偏差不大于 0.5%，并保证上下节预制桩在同一轴线上。测量预制桩桩身包括打桩架导杆的垂直度，施工时采用两台全站仪成 90° 角方向进行测量，垂直度不满足要求是使用打桩机进行调直，调直完成后使用靠尺进行复核，当桩身打入一定深度后不再进行调直，防止预制桩不均匀受力而破碎。



图 5-2 全站仪进行垂直度控制

#### 5.2.5 打桩（第一节）

施工采用 DD160 柴油导杆锤和 HHP20 液压冲击锤，DD160 柴油导杆锤冲击体质量 16t，最大冲程 3.0m；HHP20 液压冲击锤冲击体质量 20t，最大冲程 1.5m。

打桩前先在桩身使用反光贴标记出每米的刻度，以便在打桩时观测和记录每下沉 1m 需要的锤击数。打桩时用重锤以自由落体进行打桩，锤的落距为 1.5m。打桩过程中随时用全站仪或靠尺检查桩的垂直度。

#### 5.2.6 引孔

引孔施工主要采用长螺杆钻机引孔挤土，以减少预应力钢筋混凝土预制桩通过砂层时的阻力，使其顺利穿过砂层打至设计深度，并确保沉桩施工质量。

预制桩进入砂层后采用长螺旋钻机引孔，引孔直径为 0.5m，引

孔深度根据地质情况确定，引孔深度为穿透砂层但不超过设计孔深，垂直度偏差不大于 0.5%。引孔过程中发生塌孔现象时，立刻停止引孔作业，长螺旋由反钻改正钻，防止塌孔现象严重。

预制桩试桩施工时在每节预制桩打入完成后采用螺旋钻机分别进行引孔施工，引孔次数为 2 次。螺旋钻杆中心对准预制桩孔位中心，施工过程中保持钻孔垂直下沉，钻机塔身的前后、左右的垂直标杆检查塔身导杆，校正位置，使钻杆垂直对准孔位中心，垂直度小于 0.3%。

钻机开始时，应先慢后快，减少钻杆摇摆并及时检查钻孔的偏差。钻孔过程中，如发现钻杆摇摆或难钻时，放慢进尺，及时检查设备情况及垂直度，否则容易导致钻孔偏斜、位移，甚至钻杆、钻具的损坏。当钻至设计深度时，应在钻机塔身作醒目标志，作为控制钻孔深度的依据。

施工过程中人工配合挖掘机清理孔口积土，防止土体回落桩孔内。清理出的积土及时使用自卸车运输至弃渣场处理。

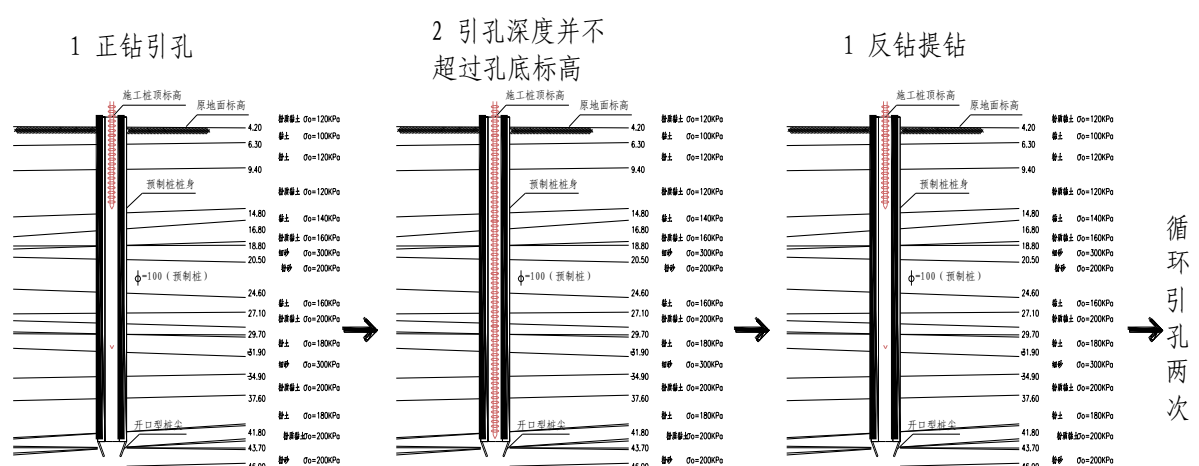


图 5-4 预制桩引孔施工

### 5.2.7 接桩

(1) 预制桩打入土层后留 0.5m 的桩头在地面以上，进行焊接。

(2) 稳桩完成后使用桩机自带拉绳将预制桩固定放置。下节预制桩与上节预制桩桩身顺直，两端面紧密贴合，贴合前将上下端面的泥土等杂物清除干净。不得在接头处出现间隙，管节间错位偏差满足规范要求。

(3) 采用对称焊的方式焊接成型，先对称焊接四个点稳定预制桩，然后将预制桩焊满。焊缝饱满，焊接没有咬边、焊瘤、夹渣、气孔、裂缝、漏焊等外观缺陷。

(4) 焊接采用二氧化碳气体保护焊，在焊接前检查焊接设备参数及保护气体压力，以免造成焊缝不饱满、不平顺；自然冷却时间不小于 8min，冷却后对焊缝及端板进行防腐处理，防腐材料采用环氧树脂涂料，且涂刷不少于 2 遍，不得漏涂。

(5) 焊接时间在 30-45 分钟之间。



图 5-5 预制桩焊接检测

### 5.2.8 送桩

当上节桩沉至离地面 0.5~1.0m 时停锤，注意桩垫的完整性，必要时应换上新的桩垫。套上送桩杆，调节桩架，使送桩杆帽与桩顶接触平实，送桩杆与桩轴线成一条直线后开锤送桩，直至达到桩顶设计标高。

施工前在送桩杆上刻长度标志，便于桩顶标高控制。沉桩及送桩过程中，通过观测桩的入土情况，并记录锤击数，计算贯入度。桩顶标高由水准仪测量控制，保证桩长满足设计要求。

### 5.2.9 终锤成桩

当桩端位于一般土层时，成桩要求为标高为主，贯入度为辅。当桩端达到持力土层时，进入持力层不小于 1.5m，以贯入度控制为主，标高为辅。贯入度达到设计要求而桩端标高未达到设计标高时，应连续锤击 3 阵，并按每阵 10 击的贯入度不大于 50mm 为准。在确认桩端进入设计持力层后，连续三阵均达不到设计指标，应采取送桩、接桩，变更桩长等措施。根据设计文件要求和现场实际，桥梁预制桩采用锤击法施工，最后 1m 锤击数不超过 300 击。

成桩后使用直径为 1m 的钢板将预制桩桩顶覆盖，并将预制桩四周使用防护网进行防护。

## 6 材料与设备

### 6.1 主要施工材料

表 6-1 主要材料数量表（每根桩）

序号	材料名称	规格型号	数量	备注
1	PHC 预制桩	PHC-1.0-130-AB	每根 3 节（每节 12-16m）	
2	桩尖	开口型、长 0.6m	1 个	
3	焊丝	E520		
4	纸垫	φ 1m	100 片	



## 6.2 主要施工设备

表 6-2 主要机械设备配置表（每根桩）

序号	名称	规格型号	单位	数量	备注
1	柴油打桩机	DD160	台	1	
2	液压打桩机	HHP20	台	1	
3	螺旋钻机	/	台	1	
4	挖掘机	220	台	1	
5	电焊机	二氧化碳保护焊	台	2	
6	送桩器	/	台	1	

## 7 质量控制

### 7.1 工程质量控制标准

主要参照标准：《京雄城际铁路桥梁管桩施工质量验收标准》关键项目控制如下表所示：

表 7-1 预制桩的外观质量要求

序号	检查项目	允许偏差	每批检查数量
1	粘皮和麻面	局部粘皮和麻面累计面积不应大于桩身外表总面积的 0.5%，每处粘皮和麻面的深度不得大于 5mm，且应修补。	全检
2	桩身合缝漏浆	漏浆深度不得大于 5mm，每处漏浆长度不得大于 300mm，累计长度不得大于预制桩长度的 10%，或对称漏浆的搭接长度不得大于 100mm，且应修补。	全检
3	混凝土局部磕损	局部磕损深度不得大于 5mm，每处面积不得大于 5000mm <sup>2</sup> ，且应修补。	全检
4	内外表面露筋	不允许	全检
5	表面裂纹	不得出现环向和纵向裂纹，但龟裂、水纹和内 壁浮浆层中的收缩裂纹不在此限	全检
6	桩端面平整度	端面混凝土和预应力钢棒镦头不得高出端板平面	全检
7	断筋、脱头	不允许	全检
8	内表面混凝土塌落	不允许	全检
9	桩套箍凹陷	凹陷深度不得大于 10mm，每处面积不大于 25cm <sup>2</sup> 。	全检

10	桩与板 端面 结合	漏浆	漏浆深度不得大于 5mm，漏浆长度不得大于桩横截面周长的 1/6，每处漏浆长度不得大于 30mm，且应修补	全检
		空洞和 蜂窝	不允许	全检

表 7-2 沉桩桩位的允许偏差和检验方法

序号	项目		允许偏差	检验方法
1	桩位	中间桩	100mm	测量或尺量检查
		外缘桩	100mm	
2	倾斜度	桩身	0.5%	吊线和尺量检查

注：1d为桩径或短边，单位为mm。

检验数量：施工单位全部检查。

## 7.2 质量保证措施

本标段质量管理实行全员质量管理，项目经理作为质量管理的第一责任人，项目总工作为项目质量管理的组织者。质量安全部作为质量管理的主职部门，具体负责日常质量管理。建立健全质量管理体系，具体措施如下：

(1) 加强施工技术管理。施工前熟悉设计图纸及施工规范，理解设计意图，组织各管理层和作业队进行技术交底，并编制详细的技术交底书。

(2) 强化施工的监督检查。现场认真执行三检制，最后经监理工程师验收合格后方可进入下一步工序。

(3) 认真抓好施工过程控制。对所有材料、半成品、成品都必须搞好过程控制，不合格品不得进入下一工序。

(4) 严格制度，狠抓落实。建立施工中的奖罚制度，对施工质量进行定期或不定期检查，发现隐患及时填发整改通知单，限期整改；切实抓好对工程计划工期的控制，确保如期完工。

(5) 取桩时，要保持打桩机的稳定，同时要注意保护下节预制桩露出地面部分的桩头，避免上节预制桩吊起摆直时端头激烈碰撞造成桩身破裂。预制桩吊起后，缓缓地将一端送入桩帽中。

(6) 防裂保障措施：

①预制桩进场前对合格证、桩身外观质量及桩身尺寸等进行验收；

②施工过程中保证落锤高度。

③桩锤与桩帽、桩帽或送桩器与桩顶之间加设厚度不小于 120mm 弹性衬垫。

(7) 预制桩进场验收合格后，堆放高度不可以大于两层，下放方木与地面隔离，并使用篷布将预制桩全部覆盖。

## 8 安全措施

建立健全现场安全生产保障体系，并使之有效运转。实施过程中采取的具体措施。

(1) 加强对安全生产的管理，对职工进行安全生产教育，工地设置专职安全检查员，及时发现、处理安全隐患。

(2) 制定各工种安全生产规章制度，各种预制构件的运输及吊装严格按照操作规程和方案进行，加强对高空作业操作人员的管理，施工机械由专人持证上岗，严禁串岗作业；大型设备必须是有操作证的专人指挥；施工过程中要确保夜间照明充足。

(3) 定期或不定期组织安全大检查，及时发现、整改安全隐患，对违章作业人员进行一定的处罚。

(4) 临时设施及变压器等供电设施，应按《施工现场临时用电安全技术规范》的规定，采取防护措施，并增设屏障、遮栏、围栏、保护网。凡可能漏电伤人或易受雷击的电器设备，均设置接地装置或

避雷装置，并派专业人员检查、维护、管理。值班人员值班时不得离开岗位，确保用电安全。

(5) 严格执行《施工现场安全生产保证体系》、《施工现场临时用电安全技术规程》相关规定。认真执行氧气、乙炔的防爆安全规定，并进行严格管理；随时检查用电线路、工用具是否完好，确保生产安全。

(6) 吊装作业中，严格执行“十不吊”原则，杜绝违章指挥，违章作业。起重用工、索、具严格按相关规范要求取用安全系数，保证其使用安全；定期对工、索、具进行检查；在定位过程中应严格执行安全操作规程，指挥收揽时，信号必须统一，手势明显，哨音清晰；吊物时，吊臂与被起吊物下严禁站人，对违反操作规定和不安全的作业及时加以纠正或制止。

## 9 环保措施

(1) 所有施工、生活废水在排放前必须取得相关部门的批准、同意；由于施工产生的扬尘可能影响周围居民生活和道路交通安全，应设置防护网并洒水降尘，以减少扬尘影响。

(2) 施工期间，严格执行雄安新区和河北省对施工噪声污染控制管理的相关规定。在预制桩机四周开挖缓冲沟，对预制桩施工振动区域进行隔离减弱，减小噪音污染。

(3) 根据施工项目现场环境的实际情况，合理布置机械设备及运输车辆进出口，大型机械等高噪声设备及车辆进出口应安置在离居民区域相对较远的方位。

(4) 合理安排打桩顺序、严格控制打桩速率，从打桩顺序和打桩速率上对周边环境进行保护。

(5) 相对传统的钻孔桩施工工艺，采用长螺旋钻机引孔施工，避免泥浆产生而造成对周边环境的污染。

(6) 根据规范要求确定预制桩施工期间的各项监测数据的报警值，制定应急预案，在打桩的过程中，一旦出现数据报警，立即响应应急预案。

## 10 效益分析

### 10.1 经济效益

砂土条件下高速铁路桥梁基础大直径 PHC 预制桩沉桩施工与传统桥梁桩基础施工方法比较，施工速度快，所需工期短，施工操作简单，机械化作业程度高，人力资源大大减少，节约大量的劳动资源，大直径 PHC 预制桩沉桩施工与传统桥梁桩基础施工相比日进度可提高 2-3 倍，有效缩短施工周期，节约施工成本。

### 10.2 社会效益

施工速度快，缩短了工期，提前完成了京雄铁路总指下达的施工任务；预制桩施工污染小，避免了大量泥浆排放对环境的污染，打桩过程中微扰动施工技术减少了沉桩施工对环境的影响，安全打入砂土层，通过加强现场环保措施，有效保护了雄安新区周边地质环境。

## 11 应用实例

### 11.1 实例一

新建京雄城际铁路站前工程 JXSG-5 标固霸特大桥起讫里程为 DK67+879.65~DK81+561.78(205#墩-621#台)，桥梁长度为 13.65km。共计 414 个桥墩，其中 282#-411#墩、418#-420#墩桥梁基础设计为预制预制桩，型号为 PHC-1.0-130-AB 型预应力混凝土预制桩，桩长 30-39m 不等。

自 2019 年 3 月份开工以来，中铁上海工程局集团有限公司全力配合建设单位推行大直径 PHC 预制桩施工，完成根，预制桩在工厂内生产，运至现场后施工使用，不仅节约现场灌桩的时间，且预制桩不需要使用泥浆，不会对现场造成泥浆污染，环保、高效，文明施工水平得以大幅提升，多次得到了业主、监理单位的好评。该施工工法在京雄城际高铁桥梁方面成功实施，安全质量可控、施工进度快，施工投入少，具有较高的推广应用价值。



图 11-1 京雄城际铁路五标预制桩基础实体工程施工