

鄂黄长江公路大桥基础施工技术

陈 华

(中铁十三局集团第三工程有限公司, 盘锦 124000)

摘 要 鄂黄大桥跨越长江, 深水基础多, 水文地质情况复杂, 在一个枯水期内水中五个深水墩和引桥基础同时施工, 施工难度较大。本文介绍了主 6[#] 墩一个枯水期内深水基础渡汛、连续施工的技术措施及钻孔桩溶洞处理技术, 以供同类基础施工的借鉴和参考。

关键词 桥墩 钻孔平台 钻孔灌注桩 吊箱 承台 溶洞处理

1 概况

鄂黄大桥是 106 国道跨越长江的一座特大型桥梁, 全长 3253m, 其中主桥长 990m, 为 55m + 200m + 480m + 200m + 55m 五跨一联双塔双索面 PC 斜拉桥。主 6 号索塔位于长江深泓区, 基础为 $\phi 3000\text{mm}$ 的钻孔灌注桩高桩承台结构, 索塔为“瓶颈”型, 设三道横梁, 高 172.30m。主梁为边主肋型式, 桥面宽 24.50m (不含斜索布索区), 设双向四车道, 居同类结构桥型世界第三、亚洲第二。

鄂黄大桥共有各类桥墩 45 个, 钻孔灌注桩 99 根。深水基础较多, 其中以 6[#] 墩基础最深, 地质情况最复杂。

1.1 6[#] 主墩地质情况

6[#] 主墩常年平均水深近 30m。水文地质情况复杂。不仅水深, 且基础施工期水流流速达 1.8 ~ 2.5m/s, 水流流态紊乱; 河床覆盖层薄, 仅 8 ~ 12m; 岩面高差达 4.9m。基岩存在溶洞、裂隙、断层等不良地质构造。6[#] 墩桩基础为 19 根桩长 44m, 桩径 3m 的大直径嵌岩桩, 采用的是 C30 混凝土, 5930m³, 承台为直径 30m, 高 6m 的圆型结构。

1.2 工期目标特殊

主 6[#] 墩从开工到次年 6 月底洪水来临之前 8 个月左右时间内完成桩基、承台, 并将塔施工到黄海高程 + 25m 以上标高, 实现主墩连续、渡汛施工的节点目标。主 6[#] 墩仅混凝土需浇注近 2 万 m³ (包括

封底、塔座、塔肢)。

2 主 6[#] 墩深水基础施工

由于主 6[#] 墩水文地质条件特殊、工期紧, 因此施工时综合采用了多项施工技术措施, 钻孔桩采用高桩平台, 钢护壁嵌岩施工, 二次复打, 清水钻进成孔。

2.1 钻孔灌注桩施工

2.1.1 钻孔平台

原设计推荐方案为先下沉双壁钢围堰, 封底后, 依托围堰壁搭设万能杆件钻孔平台。经专家会议研究, 采用了在主河道中搭设钢管桩高桩平台即进行钻孔桩施工方案。这两方案各有优缺点, 见表 1。

选择高桩平台方案后, 由于对打桩过程的单桩稳定性和河床局部冲刷后平台的整体稳定性、紊流的影响估计不足, 加之施工时又遇秋汛, 水位高, 流速加大, 施工中遇到很大困难, 一是桩船走锚, 钢管桩不能定位; 二是钢管桩入水超过 10m 时剧烈振动而撞击桩架, 无法继续下桩; 三是更换打桩船拉墩第一根直桩施打完毕, 脱离桩架龙口后, 在水流和船行波等影响, 南北方向剧烈晃动, 幅度超过 2m。最终采用“三向定位船临时稳桩”施工工艺完成了平台施工; 还采取调整平台设计, 减少桩自由悬臂高度及根据河工物模试验分批抛砂袋护床等技术措施, 保证了钻孔桩施工期平台的稳定。

表 1 双壁围堰平台与高桩优缺点比较

	双壁围堰平台	高桩平台
技术可行性比较	1. 锚碇系统复杂, 对通航影响甚大, 与北岸主 5 [#] 墩施工相互干扰。 2. 在围堰 33m 直径范围内岩面高差近 5.0m, 围堰着床定位难度大。 3. 施工技术成熟、技术风险性小。	1. 平台形成后, 只需简单拉锚, 锚碇系统简单, 对通航无影响, 不影响 5 [#] 墩施工。 2. 避免了岩面高差大的影响。 3. 在深水、浅覆盖层, 大流速主河道中搭设钻孔平台, 技术难度大, 未知因素多, 施工技术风险性大。
工期比较	钢围堰加工、拼装、接高、定位着床, 吸泥封底、搭设钻孔平台、钻孔、清淤凿桩头、施工承台等主要工序均为流水作业, 开钻时间晚, 实现一个枯水期渡汛非常困难。	搭设平台、施打护筒后即可开始钻孔, 开钻时间可提前 2 个月; 钻孔同时可以拼装、下沉双壁吊箱 (围堰), 主要工序可以组织平行作业, 可以实现业主提出的节点目标。

双壁围堰平台

高桩平台

经济性比较 高桩平台方案本身投入比双壁围堰大,但由于一个枯水期渡汛施工可缩短8个月左右建设期,项目总体投资效益明显。

三向定位船稳桩工艺:

(1)加大打桩船2个前锚,加长锚缆。20t混凝土锚后串联5t海军锚,再抛500m锚缆,使锚绳长达700m。

(2)在钢管桩底口上10m处设2根八字型下拉缆,压锤后解除。

(3)设置三向定位船:在拉墩上游设置大型定位船,并通过两侧的2台卷扬机调节下拉缆。在平台

两侧设稳桩驳,甲板上设置2榀万能杆件桁架,其上用钢管将两驳连接,沉桩到位后及时与该钢管临时固定,一排桩沉完后,桩间及时用 $\phi 600$, $\delta=8$ 钢管连接,完成后,下移稳桩驳至下一排桩位。如此循环,逐步施沉平台24根直桩和4根斜桩,形成钻孔平台,最后将上游锚缆转换于拉墩之上,以稳定平台。三向定位船布置如图1。

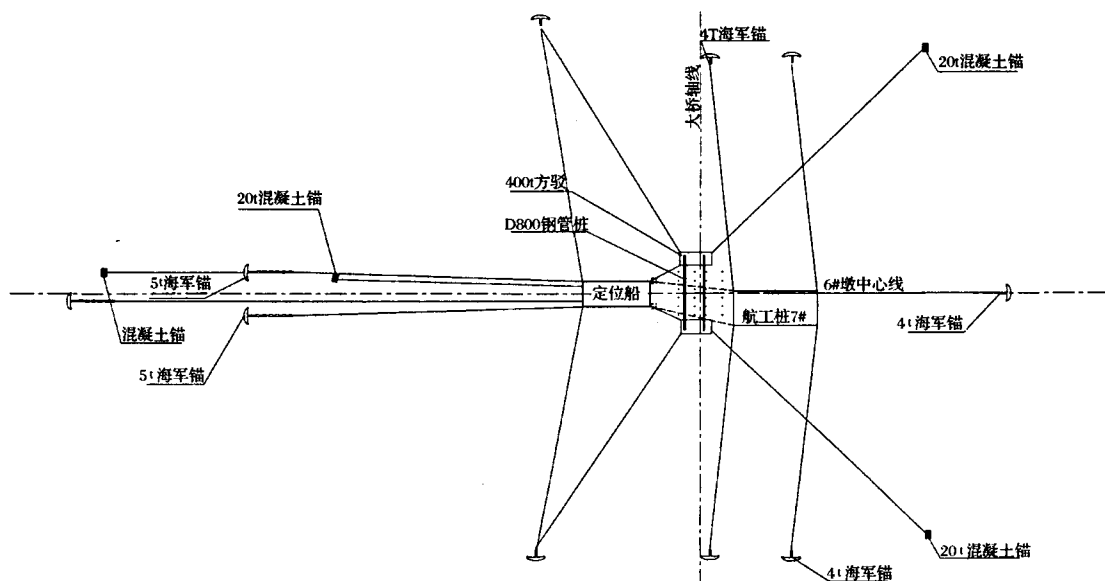


图1 三向定位船抛锚图

2.1.2 钢护筒施工

钢护筒只需穿越10m左右砂层,采用14mm, $\phi 3.3$ m全护筒跟进到岩面。护筒采用工厂加工成型、现场分3~5节接高下沉。

(1) 施沉程序

为减少河床冲刷,保证平台整体稳定性,根据河工物模试验结果护筒分两批施工。即:第一次施打南北两岸14根护筒后即开始钻孔桩施工,待平台四角钻孔桩施工完成,并与平台可靠联结后,再施打第二批护筒(见图2)。

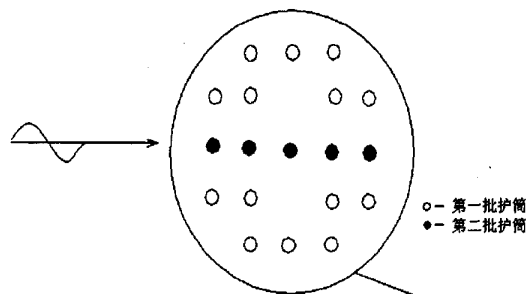


图2 护筒施打顺序标示示意图

(2) 施工工艺

采用中—250型250t激振锤。全液压夹具夹

持,振动下沉。施工主要技术问题是:在水深、大流速、流态紊乱的情况下,每根护筒着床前所承受的最大水流力约10t,护筒平面偏位和倾斜率的控制问题。另一问题是:抛砂护床的砂袋最厚有4m,能否顺利穿过;采取的主要技术措施是:

a. 设置刚度较大的双层定位导向架。由于受起吊高度影响,平台以上导向架高4m,在平台第一层水平联系上临时增加了定位型钢,整个导向架长度不小于8m,导向架净空余量考虑护筒直径加工误差后按小于5%控制,强制导向并约束护筒平面偏位。

b. 着床前设置双向下拉缆,限制护筒在水流作用下的晃动,着床定位后再解除下拉缆。

(3) 成孔工艺

地质详勘资料显示,主6号墩覆盖层薄,基岩面高差大, $\phi 3360$ mm护筒范围内岩面高差2.0m以上,钻孔灌注桩持力层落在灰岩上,基岩裂隙发育,且部分桩位有溶洞。护筒如不全断面入岩,钻孔遇溶洞或裂隙漏水,护筒内液面陡降,刃脚易发生反穿孔漏砂,不仅破坏覆盖结构危及护筒安全,而且还会发生管涌埋钻,使钻孔无法进行。

通过对地质资料分析研究,决定采用护筒二次复打,全断面入岩,清水钻进成孔方法处理倾斜岩面、裂隙和溶洞,其工艺为:

a. 护筒采用内径 $\phi 3332\text{mm}$,下口加桩靴,采用 $\phi 3.0$ 刮刀钻头破碎上部护床砂袋,钻至护筒刃脚前 1.0m 处停钻,换 $\phi 3.25\text{m}$ 滚刀钻头,优质泥浆护孔钻进至完整岩面;移钻机,接长护筒,护筒内用 $\phi 3250\text{mm}$ 钻头,泥浆钻孔至全断面入岩不小于 2.0m ,护筒跟进过程中要严格控制护筒贯入度不小于 $5\sim 8\text{cm/min}$,防止刃脚卷口变形。

b. 气举反循环清孔后,潜水员下入护筒内检查护筒下口与基岩贴合面达到要求后,在江面以下 3.0m 割一 $\phi 500\text{mm}$ 的洞与江水连通。

c. 用 2950mm 滚刀钻头清水钻进至终孔。

d. 采用的钻机类型:扫孔钻机选择扭矩大于 $8\text{t}\cdot\text{m}$ 的 BRM-4 型和 GF-3000 型钻机;成孔钻机主要由 KPG-3000 型(大桥局);ZSD3000/210 型(南京中升),KP-3500 型(河南郑州)三种钻机承担,扭矩均在 $20\text{t}\cdot\text{m}$ 左右。KPG-3000 型钻机钻具设计较强大,配重加钻头达 50t 以上,成孔速度很

快,一般 $7\sim 9$ 天即完成一个钻孔。

主 6 号索塔 19 根 $\phi 3000\text{mm}$ 平均入岩 30m 的桩基,采用护筒二次复打工艺,钻孔施工中有 4 根桩穿过裂隙和溶洞发育地层,未发生坍孔和埋钻事故,说明该工艺处理桩基施工中的岩面倾斜和裂隙、溶洞是成功的。

2.2 深水承台施工技术

主 6 号索塔承台位于最低通航水位以下 7.5m ,直径 30.20m 。承台施工关键技术问题是:作为挡水结构和承台施工外模板的围堰型式选择和施工工艺;承台大体积混凝土温度控制;一次 4000m^3 以上混凝土封底、承台的浇注工艺。

2.2.1 双壁围堰方案

双壁围堰考虑无底围堰和有底吊箱两种施工方案,施工工艺有与钻孔桩施工流水作业和平行作业两种选择。常规的流水作业工艺比平行作业工艺使关键线路的工期延长 20d 左右,经反复比选,采用了“有底双壁钢吊箱分块现场拼装和钻孔灌注桩平行施工”工艺。优缺点比较见表 2。

表 2 有底双壁吊箱和无底围堰施工方案比较

有底双壁钢吊箱	无底双壁围堰
<p>优点:吊箱拼装,下沉定位后,封底混凝土可靠性高;封底时吊箱与混凝土重量及抽水后的浮力靠拉压杆承受,受力明确,方案可靠性高,技术风险性小。</p> <p>缺点:1. 底板设计难度大。底板开孔要避开 19 根护筒和 16 根支承销管桩,以保证底板从 $+12.5\text{m}$ 标高的拼装位置下沉 22m 后顺利定位在 -9.75m 标高。</p> <p>2. 底板分块拼装时的安全防护、焊接质量保证难度大。</p> <p>3. 底板加吊杆耗材比无底围堰多 120t 左右。</p> <p>4. 受施工水位影响大。底板拼装平台太高会导致拼装困难,且首节吊箱入工下沉难度加大;设在 $+12.5\text{m}$ 位置受施工水位影响大,若不在一个月左右完成首节吊箱拼装下沉,水位上涨后拼装平台无法撤除,该方案就有失败的危险。</p>	<p>优点:避免了有底吊箱所有缺点;材料耗用少。</p> <p>缺点:1. 围堰着床标高不易确定。太高了受河床冲刷影响大,不确定因素多;太低吸泥量增大,钢材耗用增多且吸泥下沉工作量增加。</p> <p>2. 由于护床砂袋有 $4\sim 6\text{m}$,围堰吸泥下沉困难,工期不确定因素增多。</p> <p>3. 封底混凝土质量不如吊箱有保障。</p> <p>4. 方案可靠性低,技术风险性大。</p>

a. 设计要点:

钢吊箱按最大抽水水头 20m 设计,外径 33.2m ,夹壁 1.5m 。

准确测定钢管桩和护筒的偏位、斜率,对吊箱底板作专门设计。

由于下塔肢为“Y”型,在标高 $+16.0\text{m}$ 左右围堰内壁即会影响塔肢施工,因而顶节围堰设计成倒圆台型,其坡度与塔肢的斜率保持一致。

b. 施工要点:

在钻孔平台下第一层水平联系位置设置防护网,并覆盖防水雨布,保证操作工人安全和焊接质量。

对底板分块编号,并在工厂以 $1:1$ 放大样加工,水上运至拼装现场。

首节吊箱壁体加底板,拉压杆总重达 290t ,经

吊点设计后采用 28 个 20t 手拉葫芦人工下沉,每个手拉葫芦受力控制在 $10\sim 15\text{t}$ 之间。为保证葫芦受力均匀,下沉同步,采用了应力监控措施。

2.2.2 承台大体积混凝土温控措施

a. 采用自行研制开发的《大体积混凝土施工温度场及仿真应力场分析程序包》进行温控设计。根据温控设计,承台共埋设 4 层冷却水管,并在施工中对通水流量、流速、进出口温度进行适时监控。

b. 采用混凝土双掺技术优化混凝土配合比,减少水泥用量,降低水化热;控制混凝土入模温度。

c. 完成承台混凝土浇注后进行蓄水养护。

2.2.3 封底混凝土和承台混凝土施工

封底混凝土约 4000m^3 ,采用“中心集料斗”浇注工艺。4 台共 $200\text{m}^3/\text{h}$ 水上搅拌站集中供料,约 30h 左右时间完成了混凝土浇注。

“中心集料斗”浇注工艺要点是:在钻孔平台中心搭设近 40m^3 的中心集料斗,用分料溜槽供应到19根封底导管。该工艺优点是:将搅拌站泵送和现场下料平行进行,充分发挥搅拌系统的生产能力;当个别搅拌站或混凝土输送泵发生机械故障时,不影响现场补料,大大减少了混凝土导管堵塞的可能性;由于可以灵活、方便地向任何导管“分配式”供料,基本上可达到30m浇筑范围内混凝土面同步、均匀上升,因而封底质量和可靠性大大提高。

除了混凝土浇注强度、浇注工艺外,混凝土配合比是封底成功另一重要因素。采用了混凝土双掺技术增加混凝土和易性,封底混凝土主要指标为:初始塌落度:20~22cm;初凝时间 40h;10h 动态塌落度损失不大于5cm。

2.2.4 桩头凿除

承台施工前 $\phi 3.0\text{m}$ 大直径钻孔桩桩头凿除至设计标高是一耗时的工序。19根桩按平均每根超高1.5m左右计,一般需凿除混凝土 250m^3 以上,所以这一工序一般需要10~15d时间。为尽量减少这一工序时间,采取的措施是:

a. 控制混凝土浇注标高。按规范规定在桩顶标高超高0.8m位置,潜水员对称开两孔,让多余混凝土流出护筒。若采用规范规定的高压水冲洗等方法,对大直径桩不易控制,受桩机移位等干扰因素大,可操作性差。

b. 优化凿除工艺。采用公路混凝土路面破除机凿除桩头工艺,抽水后仅用两天时间就完成了这一工序。

3 桩基溶洞处理技术

地质资料表明,主6#墩有两处溶洞,溶洞处理主要措施是:

a. 地质先导孔探明溶洞。按每桩一孔的原则布设地质先导孔,地质孔终孔标高在设计终孔标高3倍桩径位置,以探明持力层情况。护筒施工完成后进行地质先导孔施工。

施工中应避免地质钻杆掉在孔内,否则将给钻孔造成极大困难。

b. 成孔工艺。为避免通过溶洞时突然失去水头而发生护筒挤压变形或钻头掉入孔内无法打捞等钻孔事故,成孔工艺采用无水头清水钻进。

回转钻机成孔时应坚持“重锤导向减压钻进”的原则。主6#墩钻机配重不少于40t,减压系数0.7,以保证通过溶洞时孔的垂度。

c. 混凝土浇注。由于溶洞直径较小,混凝土浇注时采用了直接浇注、填充溶洞的办法。

4 结束语

在综合采用了多项技术措施和新工艺后,主6#墩用近8个月时间达到黄海高程+25.0m以上,实现了业主提出的节点工期目标;完成的根桩一次检测合格,实现了根根成孔,根根成桩的质量目标。

Technique of Foundation Construction of E - Huang Changjiang River Highway Bridge

Abstract E - Huang Highway bridge spans Changjiang River, has more deep water foundation and complicated hydrological geologies. Within a dry season, five foundations of deep water piers and approach bridges in water are constructed at the same time. The construction was more difficult. Within a dry season, the technique measures for 6th main pier deep water foundation continuous construction in flood and the techniques of bored pile lava pits treatment are introduced in the paper, which may be used for reference in the similar foundation construction.

Key words Pier bored platform Cast - in - place pile Suspension box High - rise pile cap Lava pit treatment