



基于钢护筒的植桩平台的特点 及植桩锚固体体系设计

徐雪锋

(中建港务建设有限公司, 上海 200438)

摘要: 采用钢护筒支撑形成的“植桩平台”具有适应复杂的工程地质条件、减少大型船机设备的投入使用、加快施工进度、避免打入钢护筒造成钢护筒受力变形的特点。通过控制翻浆孔口的位置和大小、调节锚固混凝土的和易性可以保证钢护筒具有足够的翻浆高度, 使钢护筒与基岩间形成足够长度的刚性节点, 确保钢护筒在汛期内的单桩稳定性。

关键词: 植桩平台; 翻浆高度; 桩端嵌固; 单桩稳定性

中图分类号: TU 473

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)09-0161-05

Characteristic of pile-drilling platform design based on steel casing and anchoring system design

XU Xue-feng

(China State Construction Harbor Construction Co., Ltd., Shanghai 200438, China)

Abstract: The pile-drilling platform formed with the support of steel casing can adapt to complex engineering geologic conditions, reduce the use of large vessels and machinery, speed up the construction schedule and avoid the deformation of steel casing caused by concrete striking into it. By controlling the position and size of frothing orifice and adjusting the workability of the anchorage concrete, we can ensure that the steel casing get enough frothing height and thus form a rigid node of sufficient length between the steel casing and the bedrock to guarantee the stability of the single pile with steel casing during the flood period.

Keywords: pile-drilling platform; frothing height; pile tip embedding and fastening; stability of single pile

1 工程背景

武汉新港阳逻港区三期工程位于长江中上游, 设计有 4 个集装箱泊位, 码头平面总长 573 m、码头总宽 30 m。码头泊位等级为 5 000 t, 结构形式为高桩梁板结构, 码头桩基设计为端承桩。桩基采用排架间距为 10 m 的 $\phi 1\ 800$ mm 灌注型嵌岩桩 (嵌岩部分 $\phi 1\ 650$ mm), 每榀排架设置 4 根直桩, 57 榀排架合计 228 根桩。因岩面以上覆盖层很薄 (0.3~0.5 m), 设计要求钢护筒嵌入中风化层岩面 2~3 m, 以保证钢护筒在施工期间内的单桩稳定^[1]。

本工程地处长江中、下游的阳逻水道, 水量充沛。长江中下游汛期出现在 5—10 月, 4 月为涨水过程, 11 月为退水期, 12 月和次年 1、2、3 月为枯水期。月平均最高水位发生在 7 月, 本工程桩基施工时段为 5—11 月, 施工高峰期时段正值长江主汛期。码头建设地点位于江水回流区, 河床岩层为泥质砂岩或砂岩, 河床上部为中风化层, 岩石抗压强度达到 30 MPa, 逐渐往下变化为微风化层, 岩石强度达到 50 MPa 左右。松软的覆盖层 (0.3~0.5 m) 和岩石的风化经过流水的冲刷被剥离, 使河床岩层基本处于裸露状态。

收稿日期: 2014-12-17

作者简介: 徐雪锋 (1983—), 男, 工程师, 从事港口项目施工管理。

2 植桩平台方案选择理由

本工程桩基施工开工时间为 5 月中下旬，此时阳逻长江水位已上涨至 20 m 左右，而码头桩顶高程为 23.09 m，平台下的净空高度最多为 3 m，已经不具备搭设辅助钢管桩平台的条件。

根据阳逻二期码头、重庆东港码头、洋山二期码头等施工经验，采用钢护筒作为施工平台支撑体系是可行的。本工程的水上平台直接利用工程钢护筒作为平台的支撑桩基，即先利用船载钻机冲孔、用浮吊将钢护筒吊装入孔，然后在钢护筒内灌注混凝土，混凝土通过钢护筒的翻浆孔口外翻，从而将钢护筒锚固于基岩内^[2]。水上施工平台先在钢护筒上焊接牛腿，再安装排架方向的底层双层工字钢梁，排架之间的孔钢分配梁系与钢护筒之间连成整体，最后满铺格栅木板形成“植桩平台”。

3 植桩平台的特点

3.1 能够适应复杂的工程地质条件

采用钢护筒支撑施工平台工艺首先在桩位处利用船上冲击钻机的低档低冲程进行理坡、平坡施工，冲孔成型后通过泵吸反循环清渣系统将孔底沉渣厚度控制在 5 cm 以内，再将钢护筒吊装入孔。这种工艺能够保证在坡度较大的岩面上下放钢护筒的施工质量，克服了岩面坡度的问题，能

够适应内河大水位差、覆盖层较薄、岩面坡度起伏较大等复杂的工程条件，保证复杂条件下钢护筒的施工质量。

3.2 能够减少施工成本、加快施工进度

钢护筒植桩代替辅助钢管桩做平台搭设的支撑桩，在材料上减少了辅助钢管桩和辅助钢横撑的投入，大大减少了钢材的消耗，在机械投入上以驳船装载钻孔钻机代替了大型水上打桩船机设备，减少了机械台班费用。工程驳船可装载 4 台钻机同时冲孔作业，植桩速度快，植桩完毕后直接在钢护筒上施作平台和后期下横梁的承重体系，既减少了拆除辅助钢管桩和辅助横撑流程，又不影响后续码头钢护筒钢横撑安装、系统平台安装和水下抛石等施工，加快了整体工程的施工进度。

3.3 能够保证平台钢护筒与基岩的锚固质量

通过控制孔内沉渣厚度、混凝土质量、钢护筒与引孔间隙的翻浆效果，有效保证钢护筒植入基岩的锚固质量。

3.4 能够形成简单的结构形式

植桩平台形成了木板格栅→纵向孔钢分配梁系→横向双层工字钢梁→钢牛腿→植桩钢护筒→基岩的传、受力体系，力传递路径清晰（图 1）。植桩平台具有可改造性，能够根据具体的施工荷载要求改造平台牛腿或钢梁结构，满足施工要求。

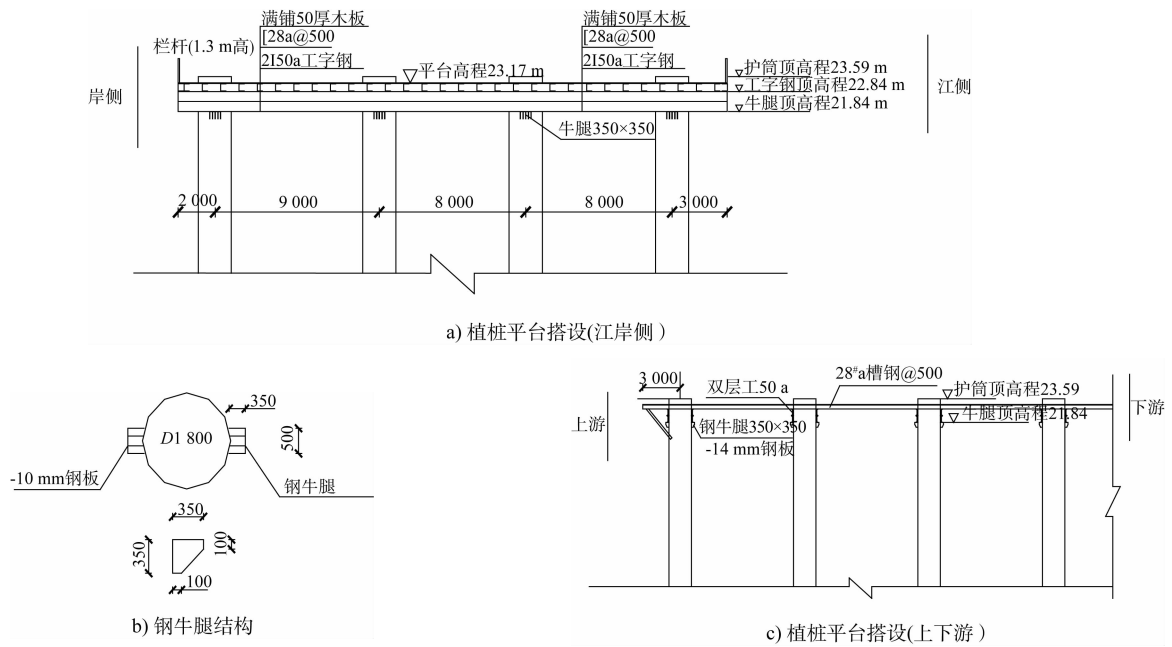


图 1 植桩平台搭设结构（单位：mm）

4 植桩锚固体系的设计及单桩稳定性分析

4.1 植桩锚固体系设计

钢护筒的锚固混凝土采用料斗 + 导管法灌注，锚固混凝土采用收缩补偿混凝土。锚固混凝土在钢护筒内外压力差作用下通过翻浆孔外翻，经过现场实测发现，当外翻混凝土填满引孔时，钢护筒内侧的混凝土面比翻浆面高出约 1 倍钢护筒直径的高度（图 2）。据此，可计算出填满桩孔时的混凝土用量，即最小锚固混凝土方量：

$$V_{\min} = \frac{\pi D^2 H}{4} + \frac{\pi d^2 d}{4} \tag{1}$$

式中：V 为锚固混凝土最少用量；D 为引孔直径；d 为钢护筒直径；H 为引孔深度。计算得最小锚固混凝土方量为 10.9 m³。

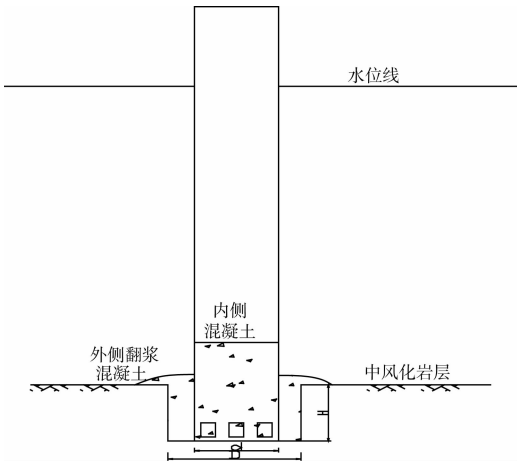


图 2 混凝土翻浆

当混凝土方量达到 $V_{\min}$ 后，如果继续向钢护筒内灌注混凝土，会发现钢护筒外侧翻浆高度不易提高、钢护筒内侧混凝土高度增速明显。钢护筒与基岩的锚固效果好坏取决于钢护筒外侧的翻浆高度。钢护筒外侧翻浆高度越高，钢护筒被“蘑菇状”的混凝土包裹就越密实，钢护筒与基岩刚性连接就越长，锚固质量越好；反之，钢护筒与基岩的锚固质量越差。

为了提高混凝土外翻高度，现场针对一系列因素进行了组合试验，发现以下因素对翻浆高度有不同程度的影响：钢护筒底部开孔高度、钢护筒开孔断面大小、锚固混凝土的配合比。

4.1.1 开孔高度和开孔面积大小的影响

开孔高度为孔口底边到钢护筒底边的距离。开孔面积为数个开设孔口的总面积，施工中孔口高度取 50 cm，通过调整孔口总宽占钢护筒周长的比例来控制开孔面积大小^[3]。

施工中将钢护筒底部孔口按 3 个开孔高度即 5、15、45 cm 分别开孔，相对于各开孔高度将开孔面积分为 3 种：孔口总宽占钢护筒断面周长的 10%、40%、70%。对应以上 9 种情况翻浆高度值见表 1。

表 1 翻浆高度影响因素对比				m
开孔高度/cm	孔口总宽占断面周长/%			
	10	40	70	
5	1.0	2.3	2.5	
15	1.3	3.5	3.6	
45	1.2	2.6	2.7	

由表 1 结果可见：钢护筒开孔高度从 5 cm 增加到 45 cm 时，翻浆高度不受开孔面积影响，都是开孔高度为 15 cm 时最大，说明翻浆高度受孔口位置的影响明显，开孔高度过大容易导致首次灌注锚固混凝土无法溢出翻浆孔或翻浆量少；开孔高度过小，钢护筒沉至桩孔后，护筒外侧的沉渣在压力差作用下会向钢护筒内侧集中，严重时会导致封堵孔口，使得锚固混凝土无法溢出翻浆孔。对泥质砂岩地质为主的开孔高度控制在 15 ~ 20 cm 为最佳。在浅覆盖层或裸岩的地质条件下且清渣彻底时可降低开孔高度至 5 ~ 10 cm，使得锚固混凝土在初凝前能够顺利外翻；覆盖层厚度较大，清渣不能彻底的情况下要提高开孔高度至 20 ~ 25 cm，以减小孔底沉渣的窜流对锚固混凝土外翻造成的阻力。

从表 1 可以看出，开孔面积对翻浆高度也有影响，孔口总宽占断面周长从 10% ~ 40% 时，翻浆高度增长明显，而从 40% 增加至 70% 时，翻浆高度增长有所放缓。但在对孔口总宽占断面周长 70% 的钢护筒开孔、吊装时发现，钢护筒底部刚度下降明显，钢护筒沉入桩孔后在水流作用力下

偏位明显, 因此开孔断面不能超过 70%。

本工程地质区域内最佳的开孔高度和开孔断面方案如下: 开孔高度为 15 cm, 开设 7 个高度 50 cm、宽度 30 cm 的矩形孔, 孔口总长占钢护筒周长的比例为 40%, 见图 3。

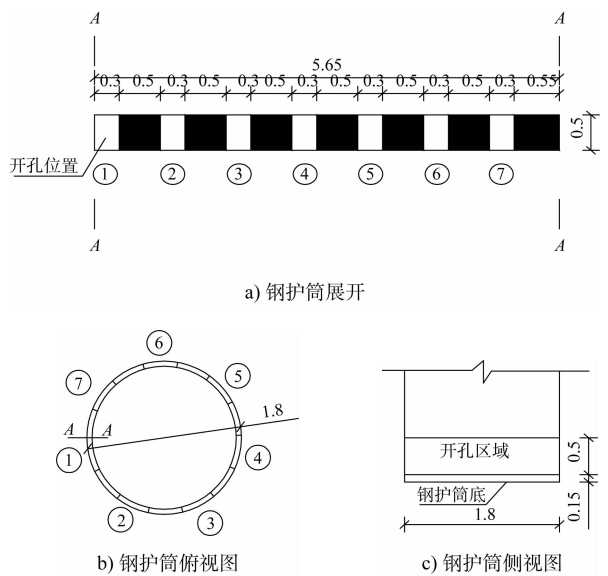


图 3 钢护筒开孔结构 (单位: m)

4.1.2 混凝土配合比对翻浆高度的影响

混凝土配合比对翻浆高度的影响主要体现在混凝土的和易性和初凝时间。混凝土和易性越好, 混凝土翻浆越流畅; 混凝土初凝时间越长, 混凝土不会过早凝结形成强度而影响混凝土的翻浆效果。在开孔高度 15 cm、孔口总宽占断面周长为 40% 的情况下, 对水灰比为 0.35、0.50、0.65 和是否掺外加剂共 9 种不同配合比的锚固混凝土进行试验, 试验数据见表 2。

表 2 翻浆高度影响因素对比				m
缓凝剂	水灰比			
	0.35	0.50	0.65	
不掺缓凝剂	1.2	2.1	2.5	
掺 5% 缓凝剂	1.9	3.6	3.8	
掺 5% 缓凝剂 3% 减水剂	2.2	4.0	4.2	

从表 2 可以看出, 混凝土水灰比调大后, 翻浆高度增长幅度较大, 无论是否掺入外加剂, 水灰比从 0.35 增加到 0.50 时, 翻浆高度平均增加 1.47 m, 水灰比每增加 0.1, 翻浆高度增加 0.97 m。

当水灰比从 0.50 增加到 0.65 时, 翻浆高度增速放缓, 翻浆高度平均增加 0.27 m, 水灰比每增加 0.1, 翻浆高度增加 0.17 m。

掺加外加剂对翻浆高度影响效果明显, 掺 5% 缓凝剂后翻浆高度平均增加 1.17 m, 在 5% 缓凝剂的基础上再掺入 3% 的减水剂翻浆高度平均增加 0.37 m。可见缓凝剂和减水剂可提高锚固混凝土的和易性, 提高混凝土的翻浆效果。这对于水上混凝土不能连续供应的情况, 可取得良好的效果。

在本工程中通过导管 + 漏斗法灌注混凝土, 采用混凝土搅拌船供应混凝土, 并经过一次拔导管的施工, 在水灰比为 0.5 时掺入 5% 的高效缓凝剂和 3% 的减水剂, 使混凝土坍落度控制在 (24 ± 2) cm 时获得了最佳的翻浆效果, 钢护筒外侧翻浆高度达 4 m, 钢护筒内侧混凝土高度为 5 m, 内外混凝土面高度差 1 m, 效果理想。

4.2 汛期钢护筒单桩稳定性分析

为了保证基岩面植入钢护筒的稳定性, 钢护筒先通过工程船上的钢护筒限位装置进行稳桩。待植桩混凝土同条件试块强度达到 10 MPa 以上时, 采用 28# 槽钢在钢护筒桩顶稳桩后, 工程船方可重新移位施工。根据计算结果, 钢护筒在垂线流速 $v = 2.5 \text{ m/s}$ 的水流力作用下钢护筒桩顶位移为 44.9 mm, 满足平台形成过程的稳定性要求。

1) 计算水流作用力。

单桩稳定性验算取码头最外侧的桩基岩面最低、工况最不利进行验算, 水流作用力为:

$$H(F) = Kn_2\rho_w v^2 A/2 \tag{2}$$

式中: K 为水流阻力系数, 按圆形取 $K = 0.73$; n_2 为水深影响系数, 因考虑单桩稳定, 不考虑遮流影响系数, 取 1; ρ_w 为河水密度, 取 $\rho_w = 1 \text{ t/m}^3$; v 为计算流速, 取垂线平均流速 $v = 2.5 \text{ m/s}$, 水位取 20 m (2012-05-19—2012-06-03); A 为阻水面积, 即钢套筒在水中迎水面的垂直投影面积, 亦即水深 (取 25 m) × 桩钢护筒桩径 = 45 m²; g 为重力加速度 (9.8 m/s²)。

外力作用见图 4。计算得到 $H(F) = 102.66 \text{ kN}$ 。

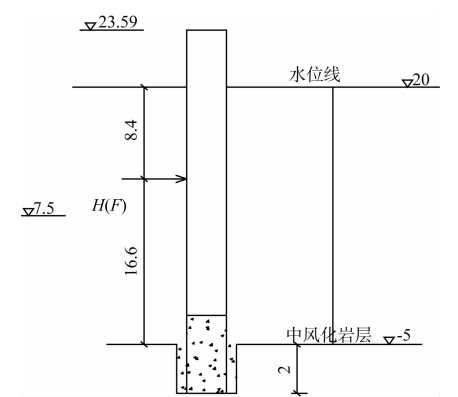


图 4 $H(F)$ 作用水流作用力 (单位: m, 下同)

2) 挠度验算。

平台钢护筒底嵌入中风化岩层约 2 m 深, 而上部受水平水流量 (图 5), 按固结悬臂式计算其挠度:

$$\omega_A = \frac{Fb^2}{6EI}(3l - b) \tag{3}$$

式中: F 为水流量, $F = H(F) = 102.66 \text{ kN}$; b 为水流量作用点到中风化岩层距离, 取设计最长钢护筒, 按最不利验算取 $b = 16.6 \text{ m}$; l 为护筒顶到中风化岩层高度, 取设计最长钢护筒, 按最不利验算取 $l = 28.5 \text{ m}$; EI 为钢护筒抗弯刚度, E 为材料弹性系数, 钢护筒所用材料为 Q235BZ 钢: $E = 2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$, I 为轴惯性矩, 钢护筒 d 为 1 800 mm, 壁厚 $h = 14 \text{ mm}$, 取 $I = 3\,132\,268 \text{ cm}^4$ 。则 $\omega_A = 44.9 \text{ mm}$ 。

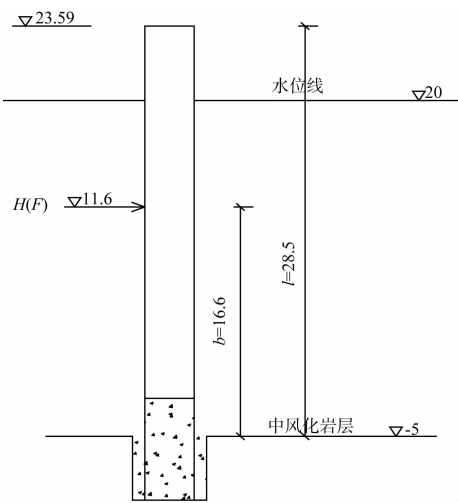


图 5 $H(F)$ 作用挠度验算

3) 强度验算。

钢护筒规格: 外径 d_1 为 1 800 mm, 内径 d_2 为

1 772 mm, 壁厚 $h = 14 \text{ mm}$, 则截面抵抗矩 $W = 34\,785 \text{ cm}^3$, 因此 $\sigma = \frac{M}{W} = 49.0 \text{ MPa} < [\sigma] = 145 \text{ MPa}$, 满足要求, 安全。见图 6。

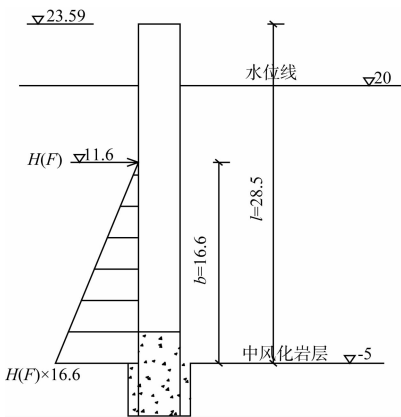


图 6 $H(F)$ 作用强度验算

5 结语

- 1) 在裸露基岩的地质条件下进行钢护筒嵌岩施工, 钢护筒支撑水上施工平台具有节约施工成本、加快施工进度特点。植桩平台较辅助钢管桩平台单位面积上能够节约 1 倍的钢材用量, 并减少大型船机设备的投入。
- 2) 植桩体系中, 可以通过调整单桩翻浆孔口的开孔高度和开孔大小、调节混凝土配合比等技术措施提高钢护筒外侧的翻浆效果, 保证单桩稳定性。在本工程地质条件下开孔高度为 15 cm、孔口总宽为周长的 40%、锚固混凝土配合为 0.5, 并掺入 5% 缓凝剂、3% 减水剂措施下, 钢护筒翻浆效果最好。
- 3) 当翻浆高度达到 2 m 时, 钢护筒便能与基岩形成刚性节点, 保证单根钢护筒在最不利工况下的单桩稳定性, 从而保证植桩平台的稳定性。

参考文献:

[1] 罗文华, 江川. 武汉新港阳逻港区三作业区一期工程起步阶段工程施工图设计[R]. 武汉: 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 2012.

[2] 樊金甲. 深水裸岩条件下大直径嵌岩桩钢护筒埋设施工技术[J]. 浙江建筑, 2010(4): 35-37.

[3] 王骏. 植入法嵌岩钢管桩施工技术[J]. 安徽建筑, 2007(4): 116-119.

(本文编辑 武亚庆)