

复杂土层 HZM/AZ 型组合钢板桩施工技术

孙洪春¹, 范御华², 胡雪华², 王 聪²

(1. 中交第三航务工程局有限公司, 上海 200032; 2. 中交三航局第二工程有限公司, 上海 200122)

摘要:新加坡某码头工程地基中含有深厚的极密实回填砂层及极硬粉砂土层, 其大型 HZM/AZ 型组合钢板桩打设是施工的难点。对组合钢板桩施工特性进行研究, 认为降低锁口阻力是 AZ 辅桩打设的关键。制定 HZM 主桩施工精度控制标准, 以及先主桩后辅桩的打桩顺序和对辅桩中间锁口位置松土等施工技术措施, 大型 HZM 桩沉桩采用先振动锤振沉再锤击送桩的工艺, 并对导向架进行优化设计。结果表明, 所有桩顶偏位及高程均满足设计要求, 未发现锁口撕裂或脱开情况。

关键词:组合钢板桩; 振动锤; 冲击锤; 导向架; 松土

中图分类号: U 655.55

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)01-0209-06

Construction technology of HZM/AZ combined steel sheet pile driving in complicated geologic condition

SUN Hong-chun¹, FAN Yu-hua², HU Xue-hua², WANG Cong²

(1.CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2.No.2 Engineering Co., Ltd., of CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Shanghai 200122, China)

Abstract: The foundation contains profound extremely dense backfill sand layer and extremely hard silt soil layer in a port project of Singapore, the large HZM/AZ combined steel sheet pile driving is one of construction difficulties in the project. We study the construction characteristics of the combined steel sheet pile, and find that reducing the interlock friction is the key for AZ auxiliary pile driving. We draw up the HZM pile construction precision control standards, and adopt construction sequence of driving auxiliary pile after main pile and construction measures of soil loosen at the middle interlock position, adopt the technology of installation by vibration hammer first then driving to final level by impact hammer for the large HZM pile driving, and optimize the guide frame design. The results show that the deviation and elevation of all pile tops meet the design requirements, and no tearing or disengagement of interlock is found.

Keywords: combined steel sheet pile; vibration hammer; impact hammer; guide frame; soil loosen

HZM/AZ 型组合钢板桩是安赛乐米塔尔集团 2008 年发布的新产品, 它由 HZM 型桩和一组(两片) AZ 型钢板桩及连接锁口按照一定规律组合而成^[1]。它一般用于挡土结构, HZM 主桩作为承重桩, 承受墙后水、土、地面荷载等引起的水平侧

压力和桩顶竖向荷载, 中间 AZ 钢板桩主要起保证墙体的连续性并兼顾挡土与传递荷载的作用^[2]。HZM/AZ 型组合钢板桩挡土结构因具有强度、刚度高以及经济性优越等特点, 被越来越多地应用于深水码头、护岸以及深基坑工程中。

收稿日期: 2021-02-22

作者简介: 孙洪春(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程施工技术研究与施工管理。

HZM/AZ 型组合钢板打桩是施工的难点，打桩方法不当可能会出现沉桩困难、带桩、倾斜、锁口撕脱等情况，将严重影响工程进度与质量，必须结合工程地质、桩长等因素科学制定施工方案。

1 工程概况

新加坡某船厂码头工程全长 391 m，采用拉锚式板桩结构形式，码头高程 6.5 m，前沿底高程为 -9.0 和 -12.0 m。其中前沿底高程 -9.0 m 的区域长 231 m，前沿板桩墙采用 AZ 型钢板桩；前沿底高程 -12.0 m 的区域长 160 m，前沿板桩墙采用 HZM/AZ 型组合钢板桩。板桩墙上设混凝土胸墙，后设锚锭钢板桩和拉杆，形成锚拉式挡土结构。码头典型剖面见图 1。

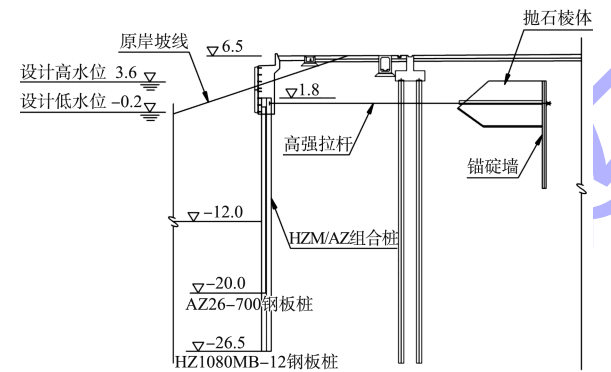


图 1 码头典型剖面 (单位: m)

本工程使用 83 套 HZM/AZ 型组合钢板桩，钢材材质 S430GP，采用单樁 HZM1080MB-12 桩(简称 HZM 桩)作为主桩，两根主桩之间设一组 AZ26-700 钢板桩(简称 AZ 桩)作为辅桩，主桩两侧设 RZD16 和 RZU16 连接锁口，组合钢板桩平面布置见图 2。HZM 桩长 27.8~28.3 m，顶高程 1.8 m、底高程 -26.5~-26.0 m，单根桩最大质量约 9.67 t；AZ 桩由两片 Z 型钢板桩组合而成，长 20.8 m、宽 1.4 m，顶高程 0.8 m、底高程 -20.0 m，质量约 4.28 t。设计要求组合钢板施工平面允许误差±50 mm，高程允许误差±50 mm，垂直度不超过 1/75。

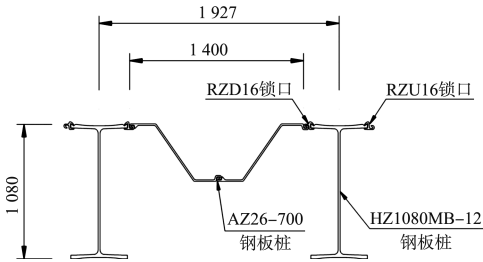


图 2 HZM/AZ 型组合钢板桩平面布置 (单位: mm)

2 地质与水文条件

工程所在区域为填海形成的陆域，场地高程 6.5 m，原海床高程约 -18.5 m，大潮平均高、低水位分别为 3.0 和 0.5 m。土层大致可分为 3 层，上层为经过振冲处理的回填砂，以密实砂和极密砂层为主；中部为原海床淤泥质黏土；下层为稍密(局部松散)砂质粉土、极硬粉砂土层。某一钻孔揭示土层的具体情况见表 1。

表 1 土层情况

土层	高程/m	标贯击数/击
① ₁ 稍密砂	-0.5~6.5	10~11
① ₂ 中密砂	-4.5~-0.5	17
① ₃ 密实砂	-11.5~-4.5	33~34
① ₄ 极密砂	-18.5~-11.5	56~100
② 淤泥质黏土	-20.5~-18.5	5
③ ₁ 中硬黏土混砂	-22.5~-20.5	13
③ ₂ 极硬粉砂	<-22.5	45~100

3 主要施工工艺

3.1 施工流程

本工程 HZM 桩须穿透上部回填极密砂层并进入③₂ 极硬粉砂层 2~5 m，桩底落在标贯击数 100 击的土层；AZ 桩须穿透上部回填极密砂层，进入② 淤泥质黏土层。打桩时土体产生的阻力将非常大，打桩难度很高。

采用先主桩后辅桩的顺序，先打设 HZM 桩至设计高程，然后在两个主桩之间插打 AZ 桩。该打桩顺序与主、辅桩依次沉桩相比主要有以下优点：1) 辅桩深度浅、刚度小，可避免打主桩时带桩或

因主桩一侧有锁口阻力另一侧没有锁口阻力而发生倾斜; 2) 主辅桩打桩设备不同, 可避免吊机频繁

更换打桩设备影响施工工效。本工程组合钢板桩打桩流程见图 3。

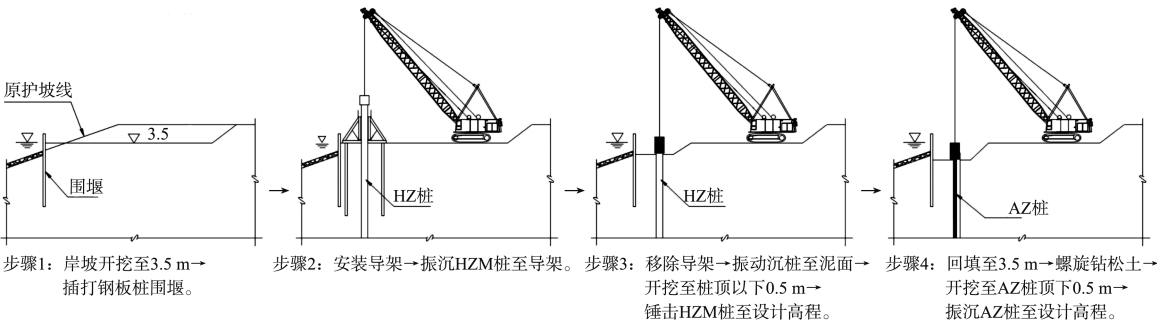


图 3 组合钢板桩打桩流程

3.2 打桩精度

AZ 桩打桩时不仅要克服土层阻力, 还要克服两侧锁口阻力, 锁口阻力过大时, 易出现锁口摩擦热熔、不能贯入、桩头撕裂、锁口撕裂等问题, 因此控制好锁口阻力是 AZ 桩打桩的关键。锁口阻力目前尚无成熟的预测和计算方法, 施工中减少锁口阻力可采取以下措施: 1) 提高 HZM 桩平面位置及垂直度; 2) 对 AZ 桩中间锁口位置松土使两片 Z 型桩能自由转动调整其宽度, 以此适应两侧 HZM 桩的间距, 达到减少锁口阻力的目的。经研究, AZ26-700 钢板桩利用其中间的锁口角度调节, 桩的宽度范围为 1 275~1 497 mm, 如图 4 所示。

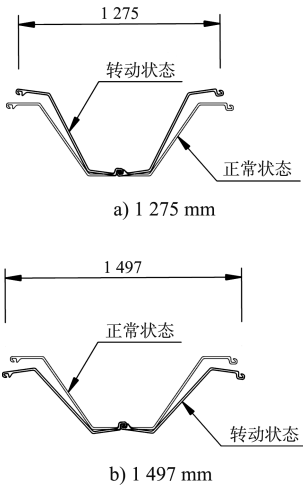


图 4 AZ26-700 桩宽度变化 (单位: mm)

为了保证 AZ 桩能够顺利施打, 规定 HZM 桩

施工平面误差不超过 20 mm, 垂直度不超过 3‰。按该标准计算 HZM 桩间距最大偏差为 ±258 mm, AZ 桩可通过调节锁口角度, 外加少量拉伸或压缩变形即可适应 HZM 桩的锁口间距变化。

3.3 打桩工艺

3.3.1 HZM 桩打桩

HZM 桩打桩一般有振动打桩法、锤击打桩法、静压法、混合打桩法共 4 种^[3]。本工程若采用全程振动打桩法, 考虑到振动锤及起重设备太大, 履带吊对地基承载力要求高、对岸坡稳定影响大以及有振沉不到位的可能, 施工风险高。若采用锤击吊打工艺, 因桩基垂直度要求极高, 对导向架的高度及强度要求也很高, 垂直度难以保证, 且垂直度超限后难以纠偏。综合各打桩方法的优劣性, 本工程采用“导向架限位, 先振沉、再锤击”的打桩工艺。具体为: 先采用液压振动锤在导向架辅助下插打 HZM 桩至导向架顶部高程, 然后移除导向架继续振动沉桩至泥面, 最后开挖至桩顶高程下 500 mm 并锤击送桩至设计高程。

3.3.2 AZ 桩打桩

AZ 钢板桩打桩工艺为: 先使用螺旋钻机松土, 然后由液压振动锤一次性插打 AZ 桩至设计高程。

4 施工方法

4.1 打桩设备选型

根据激振力、振幅和动摩阻力等的计算，HZM 桩选用 ICE 110C 型液压振动锤和 NAC16-M 型液压冲击锤打桩，AZ 桩选用 PVE 82NF 型液压振动锤打桩，技术参数见表 2、3。另外，选用一台 250 t 履带吊配合打桩施工。

表 2 液压振动锤技术参数

锤型	偏心力矩/(N·m)	最高振频/(r·min ⁻¹)	激振力/kN	上拔力/kN	最大振幅/mm	锤质量/t
ICE 110C	1 260	1 600	3 560	1 250	40	8.4
PVE 82NF	810	1 700	2 570	800	30	7.9

表 3 NAC16-M 液压冲击锤技术参数

最大冲击能/kJ	最大冲程/mm	冲击频率/(次·min ⁻¹)	锤芯质量/t
235.4	1 500	34	16

4.2 钢板桩加工

HZM 桩、AZ 桩及连接锁口均采用热轧成型。HZM 桩与两侧锁口采用电焊固定，焊缝长度 100 mm、间距 1.0 m、焊缝高度不小于 6 mm，顶部与底部 500 mm 范围内满焊。为了防止锁口磕碰以及方便后续 AZ 桩打设时套住锁口，RZD 锁口低于桩顶 20 mm，RZU 锁口低于桩顶 70 mm，HZM 桩锁口焊接如图 5 所示。

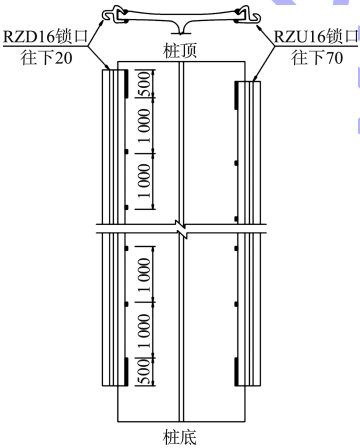


图 5 HZM 桩锁口焊接 (单位: mm)

每组 AZ 桩在中间锁口位置采用压点固定，通过压点固定可以限制两片钢板桩上下错位，但是锁口依然可以转动。压点固定采用 3 个点一组，点间距 100 mm、组间距 1.8 m，桩顶、桩底压点分别位于顶端、底端 500 mm 位置，如图 6 所示。

型液压冲击锤打桩，AZ 桩选用 PVE 82NF 型液压振动锤打桩，技术参数见表 2、3。另外，选用一台 250 t 履带吊配合打桩施工。

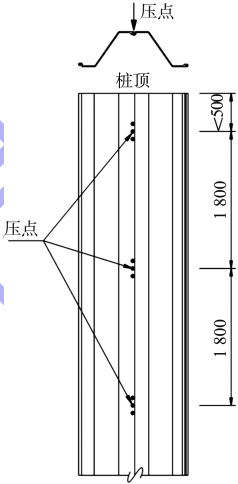


图 6 AZ 桩中间锁口压点 (单位: mm)

4.3 导向架设计与安装

导向架设计须满足稳桩和打桩限位两方面功能要求。稳桩功能要求 HZM 桩插入导架至振动锤夹桩的时间内，导向架能够达到稳住 HZM 桩的目的，导向架受力要考虑 HZM 桩自重入土后偏心荷载以及夹桩时振动锤撞击桩顶产生的冲击力。打桩限位功能要求 HZM 桩在下桩阶段和振沉阶段能够调节桩基的垂直度并且能够约束桩身不发生倾斜。本工程采用双层双向导向架^[4]，长 12 m、高 4.0 m，共设置 6 个导向槽口。导向架上下两层主梁采用 400 mm×200 mm×16 mm×10 mm(高×宽×腹板厚×翼缘板厚)H 型钢，立柱及斜撑采用 340 mm×250 mm×14 mm×9 mm H 型钢，导向架结构形式见图 7。



图 7 导向架

导向槽口分上下两层，通过 4 个限位装置以及钢质限位块约束桩的平面位置以实现导向作用，各限位装置与 HZM 桩的间距为 20 mm，导向槽口如图 8 所示。导向槽口所有限位装置均位于 HZM 桩的内腔，可避免导向架磨损桩正面的防腐层，另外可通过钢质限位块厚度的调整来调节桩的定位精度。

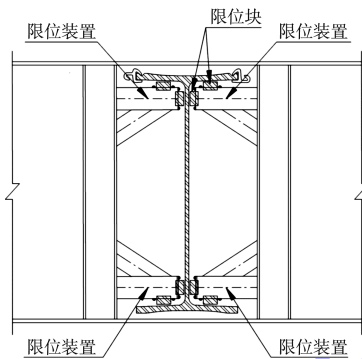


图 8 导向槽口

导向架采用 4 根钢管桩基础，桩长 12 m、直径 800 mm、壁厚 16 mm。钢管桩顶部塞焊 500 mm 长 HZM 桩的桩头以便与 HZM 桩使用同一振动锤插打，不需要另外配备打桩设备。

导向架安装定位时，第一个导向槽口应套在上一组最后一根桩上，形成“套一打五”布局。导向架安装定位要求精确，平面位置误差不超过 20 mm，垂直度不超过 2‰。

4.4 HZM 桩打设

4.4.1 施工方法

由履带吊将 HZM 桩吊起后插入导向架，然后在限位装置与桩的空隙间插入限位块进行锁定。再由履带吊挂振动锤夹紧桩顶后将桩缓缓吊起至

离开地面，调整好垂直度，并在桩身和导向架限位装置之间塞垫限位块，然后按照 6 m 一个振次振动沉桩。每个振次完成后均须停锤复测垂直度，振动打桩期间随时观察限位钢板的状态，防止振脱。

一组 5 根桩全部振沉到导向架顶部高程后移除导向架，继续使用振动锤插打至泥面高程(3.5 m)，然后开挖至设计桩顶高程下 500 mm，改用锤击沉桩方法逐一送桩至设计高程。

4.4.2 控制要点

1) 导向架周转一次可插打 5 根桩，打设顺序依次为逐根向前插打。一次性插桩数量根据当日可振沉数量确定，原则上当日打多少插多少，一般一次性插 2 或 3 根。

2) 振动锤夹桩位置要求准确，桩、锤重心线与起重机钢丝绳保持一致，防止偏心振沉。垂直度采用线锤测量，振动锤打桩过程中垂直度按照 2‰标准控制，桩顶接近导架时按照垂直度不超过 3‰控制，否则拔起重新插打。

3) 振动锤插打时吊机必须负荷振沉，松匀速度与下沉速度相匹配，始终保持钢丝绳处于紧绷状态。导向架移除后，振动锤送桩至泥面阶段，没有导向架约束的情况下仍须严格遵守负荷振沉等要求，防止垂直度超限。

4) 振动沉桩后要求 48 h 内必须锤击沉桩到位，防止土体恢复造成锤击沉桩困难。

5) 实际施工过程中，有少部份桩因回填砂层密实度太高、太厚等原因，振动锤无法插打到导架高程，经垂直度检测合格后先锤击沉桩至导架高程，导架移除后继续锤击沉桩至设计高程。

4.5 AZ 桩打设

4.5.1 施工方法

主桩送桩至设计高程后回填至 3.5 m，然后采用螺旋钻机对 AZ 桩位置进行松土。本工程选用 ABI MOBILRAM-System TM22B 型松土设备，

其钻杆最大扭矩 200 kN·m，最大松土深度 22 m。松土完成后再次开挖至 AZ 桩顶高程以下 500 mm。

AZ 桩打设时，由履带吊挂振动锤夹持 AZ 桩进行插锁口，调整好桩身垂直度，然后启动振动锤缓缓将桩振动下沉至设计高程。

为了避免另设辅助吊机喂桩，本工程使用锚碇钢板桩导向架改装成 1 个喂桩导架，一次性在导架内插入数根 AZ 桩以便打桩时液压锤直接夹取，提高施工工效。

4.5.2 控制要点

1)螺旋钻松土直径 0.6 m，底高程-18.5 m，松土范围覆盖 AZ 桩之间的链接锁口及斜腹板与直腹板的交角(图 9)，施工时注意控制好松土点的平面位置和垂直度。

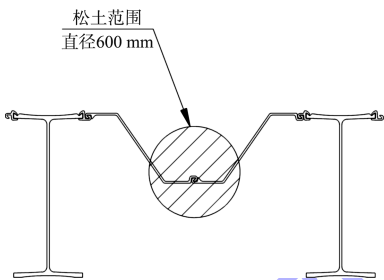


图 9 松土范围

2)松土完成后应及时插打钢板桩，间隔最长不超过 48 h。

3)振动锤夹桩位置要准确，桩、锤重心线与起重机钢丝绳要保持一致，防止偏心振沉。AZ 钢板桩腹板厚度只有 12 mm，振动锤打桩时吊机松勾速度要缓慢、匀速，并采取负荷振沉的措施防止桩顶撕裂。

5 施工效果

本工程 HZM/AZ 型组合钢板桩沉桩历时 49 d，施工时恰逢当地雨季，对施工影响较大，HZM 桩日均打设 2 根，AZ 桩日均打设 5 根。

沉桩完成后，开挖至 0.0 m 高程并进行沉桩

质量检测，所有桩顶偏位及高程均满足设计要求，垂直度均在 3‰之内。码头前沿疏浚完成后安排潜水员对锁口进行逐一探摸与摄像，未发现锁口撕裂或脱开情况。

6 结语

1)对于复杂土层，特别是下卧深厚的硬土层地基，HZM 桩采用“导向架限位，先振沉、再锤击”的组合打桩工艺可满足打桩要求。

2)控制好锁口阻力是 AZ 桩顺利插打的关键。一方面要控制好 HZM 桩打桩精度，另一方面可对 AZ 桩中间锁口位置松土使两片 Z 型桩能自由转动来适应两侧 HZM 桩的间距。

3)本工程 HZM 桩没有采用常规的跳跃式往复打方法，主要考虑导向架强度、刚度较高，打桩精度能够保证，并且依次推进有利于控制相邻两根桩的间距。

4) HZM/AZ 型组合钢板桩施工应强调精细化管理并严格落实相关技术措施。本工程打桩精度、松土范围等落实到位，AZ 桩打桩过程一气呵成，8~10 min 即可振沉至设计高程，未出现沉桩困难、烧锁口、桩头撕裂等情况。

参考文献：

[1] Arcelor Mittal.Steel foundation solutions: Arcelor Mittal sheet piling[R]. Luxembourg: Arcelor Mittal, 2018.

[2] 扶晓林.浅析 HZ1080MB/AZ26-700 组合钢板桩施工技术[J].天津科技, 2016, 43(8): 50-56.

[3] 陆阳,张骥,王黎.液压振动锤与冲击锤组合施工工艺在 AZ 型钢板桩打设中的应用[J].水运工程, 2018(S1): 101-104.

[4] 刘宝河,王文兴,宋俊强,等.曹妃甸煤码头起步工程大型组合钢板桩振动下沉工艺的创新与应用[J].中国港湾建设, 2008(2): 52-56.