



钢管板桩码头中桩锤的选择与应用

曾青松

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 对一种新型的板桩码头结构形式——钢管板桩结构的打桩施工进行了详细的阐述, 通过钢管板桩组合结构在巴基斯坦QICT-2项目中成功应用的实例, 对如何针对钢管板桩组合结构和当地特殊的地质情况选择合适的桩锤进行了分析和实例验证, 为类似项目的实施提供了参考。

关键词: 板桩码头; 钢管板桩组合结构; 打桩; 施工; 桩锤选择

中图分类号: U 656.1⁺12

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)02-0126-04

Selection and application of hammer for steel combi-wall in quay wall

ZENG Qing-song

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: As a new type of sheet pile quay, steel combi-wall was successfully applied in Pakistan QICT-2 project. This paper introduces the piling construction of the steel combi-wall in the aforesaid QICT-2 project, and analyzes how to select a suitable hammer and method in accordance with the actual site ground situation and this steel combi-wall structure. This paper may serve as reference for the projects with similar structures.

Key words: sheet pile quay; steel combi-wall; piling construction; construction; selection of hammer

1 工程概述

卡西姆港国际集装箱码头二期工程位于一期工程下游, 码头岸线总长727 m, 建设规模为2个5万吨级集装箱泊位(结构按靠泊10万吨级集装箱船舶设计)及超过10万m²的集装箱堆场。本项目业主为DP World, 总承包方为中国港湾工程有限责任公司, 勘察设计单位为中交第四航务勘察设计院有限公司, 设计审查、施工监理单位为英国Royal Haskoning (Haskoning UK Ltd)公司及当地Techno-Consult International公司联合体, 主体施工单位为中交第二航务工程局有限公司。

2 码头结构方案

码头前墙结构采用钢管板桩组合结构形式, 是综合钢管桩结构及板桩结构的优势进行设计的一种新型结构形式^[1-2]。

码头面高程为5.20 m, 港池疏浚前高程-12 m, 疏浚后港池设计底高程-16.5 m。该方案胸墙桩基为外直径 ϕ 2 016 mm钢管桩和AZ26形钢板桩的组合桩结构。钢管桩桩顶设计高程为3.1 m, 桩底设计高程为-27.0 m, 长度30.1 m, 全部为直桩。钢板桩通过锁口与钢管桩进行连接, 顶高程与钢管桩一致, 板桩底高程为-18.5 m。工程区域表层为密实的粉质细砂层, 其下主要为标贯击数较大的胶结砾石砂层。码头典型横断面见图1。组合板桩结构见图2。

3 打桩方案及桩锤类型的确定

3.1 打桩区域地质情况

码头基槽开挖到-12.0 m再施打钢管桩, 沉桩范围的主要地质情况如下: 第1层为密实的灰色粉质细砂(海洋沉积), 分布不均匀, 大致分布

收稿日期: 2013-11-12

作者简介: 曾青松(1972—), 男, 高级工程师, 从事水工结构设计及项目管理工作。

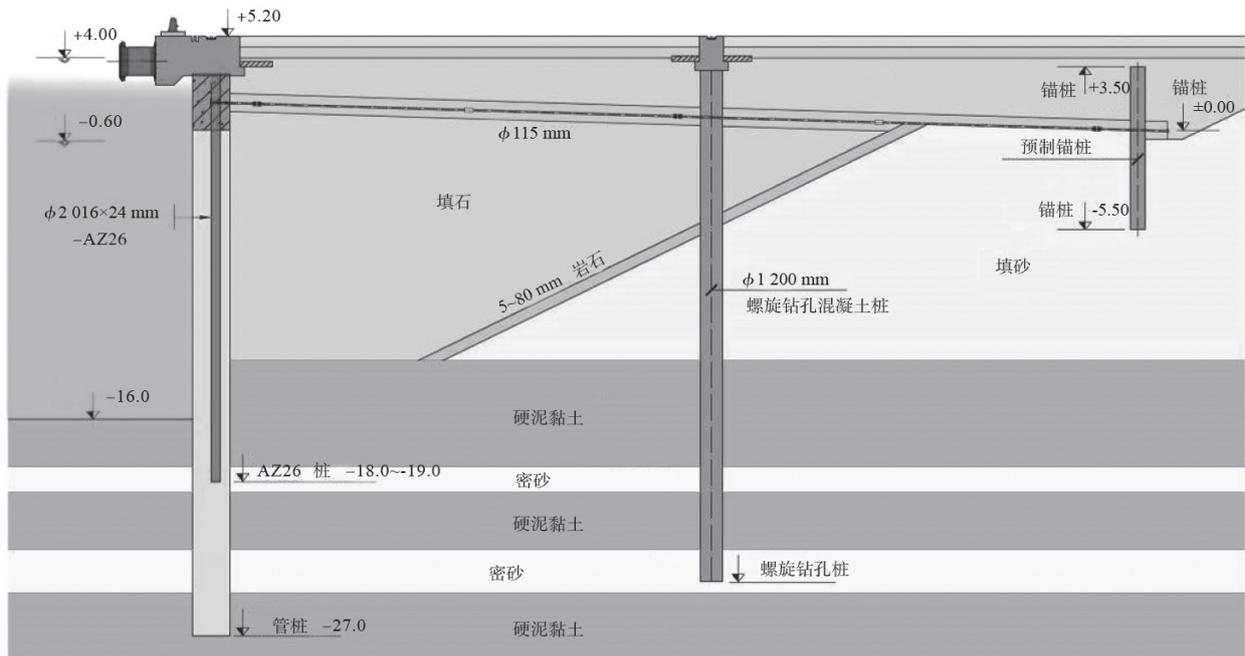


图1 码头典型横断面

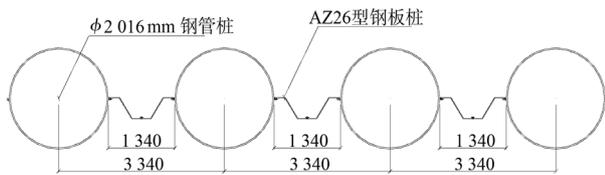


图2 组合板桩结构

在-13.7 m以上区间， $N=32$ ；第2层为极密实的，偶含贝类、粗砾石和稀疏粉质黏土薄层的粉质细砂，分布不均匀，大致分布在-13.7~ -17.8 m， $N=72$ ；第3层为极密实的，浅灰色的，偶含粉质黏土薄层的粉质细砂，分布不均匀，大致分布在-17.8~ -20.7 m， $N=82$ ；第4层为极密实的，浅黄色的，带有细到中等砾石的砂性粉质黏土，分布不均匀，大致分布在-20.7~ -21.9 m，标准贯入器击入土中70 mm 时的锤击数 $N=50$ ；第5层为极密实的，浅黄色和棕黄色的，不规则的中粗砾石和大量砾岩碎片的黏性砾石性粗砂，分布不均匀，大致分布在-21.9~ -26.7 m，标准贯入器击入土中70 mm 时的锤击数 $N=50$ ；第6层为极密实的，带浅黄色斑点的亮灰色的，偶带细砂的粉质黏土，分布不均匀，大致分布在-26.7~ -31.0 m，标准贯入器击入土中110 mm 时的锤击数 $N=50$ 。由以上地质资料可知，在-18 ~ -21 m以下至少要穿透厚度6 m以上平均标准贯入击数大于80~ 120击

的砂砾石胶结土层（局部含块石），施工难度极大。

3.2 钢管桩沉桩方案及桩锤确定

钢管桩采用Q345B钢材，桩外直径为 $\phi 2016 \text{ mm}$ ，壁厚为24 mm。桩数为228根，采用螺旋焊接。为防止打桩对桩顶造成破坏，故在桩顶内侧加焊400 mm长，20 mm厚的钢板进行加强。钢板桩采用AZ26。拟采用的钢管桩沉桩桩锤参数为：上活塞质量12.8 t，每锤打击能量426.5 kN·m，打击速率为36~45次/min，作用于桩上最大爆发力为3 600 kN，适宜打桩规格最大为51 t，起落架导向滑轮钢丝绳直径最大为32 mm，柴油油耗为36.6 L/h。

在现有设备的基础上，以桩锤为切入点形成了两个解决方案：A方案采用足够大的打桩锤，一次沉桩到位；B方案采用现有的D128柴油锤，利用其他辅助措施减少沉桩阻力后进行沉桩施工。

1) 针对A方案，为分析现场地质情况的钢管桩的可打性，委托相关科研部门采用沉桩GRLWEAP程序进行了沉桩分析，对于如此大直径的钢管桩，而且是在复杂地质施工，相关科研部门建议采用V400 A液压锤进行模拟计算。液压锤的参数为质量40 t，最大撞击能量480 kN·m。

根据GRLWEAP程序对沉桩系统进行分析,得出的结论是:采用V400 A的液压锤,壁厚 $\delta=24$ mm的钢管桩大部分区域可满足一次沉桩到位的要求,但是局部地质较硬,大于120击土层较厚时,存在一定的施工风险。沉桩时桩身拉应力不严重,但桩身压应力会超过200 kPa,容易对桩身造成损坏。建议沉桩的同时进行桩的动力测试,以了解沉桩过程中桩身应力和桩阻力,避免桩身损坏。

该方案的优点是桩基能够一次施打到位,减少施工辅助环节,保证施工进度;缺点是大能量锤击下对定位的桩架系统要求高,施工后的桩位偏差、桩头破损将较为严重。

对周边国家市场上40 t的液压锤进行了咨询,仅有一家公司拥有该型号的设备,但其工作任务相对饱满,无法按项目沉桩的施工安排到场。如果新购,从订货到交付,至少需要9个月的时间,不能满足现场施工的需要。在无法找到合适的液压锤时,考虑了等能量替代的D180柴油锤。D180柴油锤主要性能为:质量37.5 t,最大撞击能量590 kN·m。但D180柴油锤在国内的资源也比较有限,由于现有的打桩船的船型相对较旧,如替换成D180的柴油锤,桩架需做较大改动,费时较长,直接影响该船舶的调遣及该工序开工时间。考虑换锤的实际困难和施工风险后,该方案被否决,转而开展较小能量柴油锤进行复杂地层条件大直径钢管桩施工可行性的研究。

2) 针对B方案,分析了打桩过程中桩的受力:钢管桩的桩端阻力和桩侧摩阻力是桩锤需克服的主要外力。

为了保证钢管桩的抗弯性能及钢管桩在沉桩过程中穿透贯入击数大于80击的砂砾石层达到设计高程,钢管桩的壁厚无法改变,故无法减小其桩端阻力。B方案只能从减少桩内侧摩阻力方面考虑,也就是在初步稳桩后,利用旋挖钻机或其他钻孔施工设备,将桩内土体取出,并预成孔至设计高程以上1.0~2.0 m,然后再通过D128柴油锤将钢管桩复沉到设计高程。

3.3 钢板桩沉桩方案及桩锤确定

本项目采用的钢管桩+钢板桩的结构形式,两

根钢管桩之间通过一组钢板桩进行连接。在钢管桩沉桩后,焊接在钢管桩上的拉森型锁口作为刚性结构限制了钢板桩的柔性变形,产生较大的沉桩阻力,将大大增加板桩的施工难度。

根据常用的施工方法有两种施工工艺:1) 振动锤沉桩施工工艺。振动锤沉桩工艺在软弱土质中使用较多,利用振锤的高频振动以高速度振动桩体,将机械产生的垂直振动传给桩体,导致桩体周围土质结构因振动发生变化,强度降低,桩体周围土质液化,从而减少桩体与土地的摩擦阻力,然后靠振动沉桩与桩体自重将其沉入土中。在较硬的土层里,振动沉桩效率将会受到很大的影响。2) 柴油锤沉桩施工工艺。通过柴油锤的方式沉桩,该方法适用于桩长较短的钢板桩。

在钢管桩沉桩完成后,22 m长的钢板桩需直接安插到位,22 m的自由度不适合直接采用打入式的施工工艺。

综上,由于钢板桩受到钢管桩锁口的限制,在钢管桩偏位的情况下锁扣产生较大阻力,振动+自重的下沉力不足以将钢板桩沉放到位,并且部分区域的海床面还存在少量的块石和坚硬的胶结层,振动力无法穿透,故需采用打入式的工艺,通过提高沉桩的能量进行沉桩。充分结合两种板桩施工工艺,制定振动锤初沉,柴油锤复打的施工工艺进行本项目的钢板桩施工。

4 桩基承载力检测

4.1 高应变动测

钢管板桩结构同时为岸桥前轨道梁基础,组合桩基础除具有抗弯能力外还需满足垂直承载力的要求。所以,在施工过程中,确保钢管桩的入土深度的同时,还要保证旋挖钻机掏挖桩内土体后钢管桩承载力满足设计要求。根据设计要求,对4根钢管桩进行了高应变动测的抽检。

根据设计要求的钢管桩承载力为3 272 kN,设计要求安全系数为2.0。由于现场钢管桩没有进行静载试桩,动测检测值需大于2.5倍的设计承载力,即大于8 180 kN。检验结果^[8]显示,桩的承载力安全系数在2.85以上,符合设计要求。同时,

桩身的完整性完好, 满足使用要求。高应变检测数据见表1。

表1 高应变检验数据

桩号	桩端承载力/kN	桩侧摩阻力/kN	总承载力/kN	说明
B175	8 762.8	1 912.3	10 675.1	符合要求
B185	6 085.9	3 254.8	9 340.7	符合要求
B188	6 753.3	3 034.1	9 787.4	符合要求
B209	8 433.4	966.8	9 400.2	符合要求

4.2 桩力验算

应本项目业主审查咨工Halcrow的要求, 对桩极限承载力进行了核算。核算根据《基础工程分析与设计》^[7], 采用了被普遍认可的打桩理论公式Hiley方程。

经计算, 4根经过高应变动测试桩的钢管桩的计算承载力见表2。

表2 高应变动测试桩结果

桩号	终锤贯入度/mm	总承载力/kN	安全系数	说明
B175	4.5	15 841	4.84	符合要求
B185	4.3	15 986	4.89	符合要求
B188	4.5	15 841	4.84	符合要求
B209	2.8	17 131	5.24	符合要求

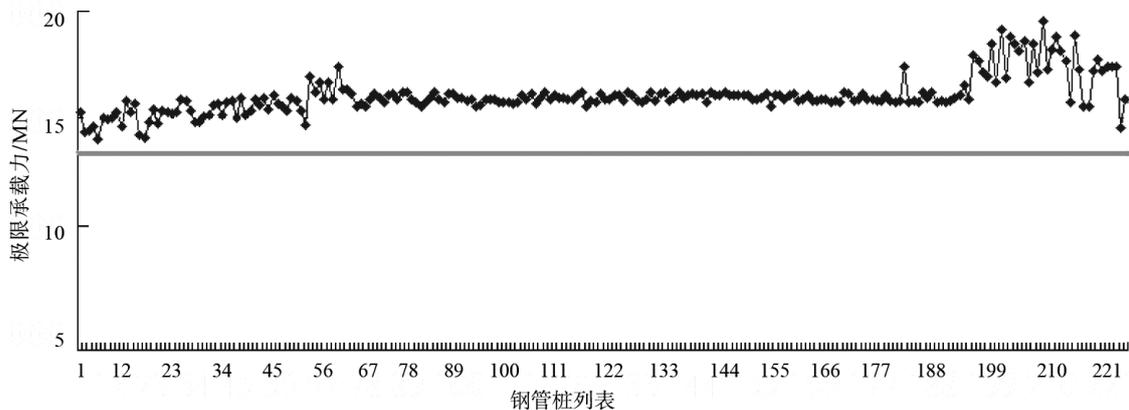


图3 钢管桩极限承载力计算结果

根据Olson和Flaate的统计分析, 得出Hiley方程产生的最小偏差和最大的统计相关性。得出承载力大于400 kN的情况下, 所需要的安全系数下限为4.0。同时, 也对所有前排板桩墙钢管桩^[3-6]都做了计算, 计算结果见图3。

根据Hiley公式计算所得的所有钢管桩的安全系数都大于4, 满足公式的最小安全系数要求。

通过现场实施的高应变试验和动力打桩公式的验算, 证明钢管桩承载力均满足设计使用要求。

5 结语

经过大量细致分析和研究定制的利用较小能量柴油锤辅以桩内旋挖取土的“打挖结合”的大直径钢管桩沉桩施工方案, 可采用常规设备进行施工, 施工方案可靠, 同时也节省了时间和费用; “振打结合”的钢板桩施工方案, 可在充分利用现有施工设备的情况下, 保证沉桩的可靠性; 通过动力打桩公式指导, 利用高应变检测证明了桩基承载力满足设计要求, 理论和实际相结合, 为今后类似项目的沉桩提供了参考。

参考文献:

[1] 朱英, 王福强. 钢管板桩结构有限元计算方法研究[J]. 水运工程, 2011(10): 24-27.
 [2] 王福强, 李庭辉. 钢管板桩结构特点及其在深水码头中的成功实践[J]. 港工技术, 2010(6): 24-27.
 [3] 刘廷忠, 王耀国. 弹性介质中板桩力位移分析的研究[J]. 太原工业大学学报, 1994(3): 81-84.
 [4] 陶桂兰, 王云球, 丁坚. 用荷载函数法计算板桩墙的一种途径[J]. 水运工程, 1998(4): 45-48.

[5] 王浩芬, 罗梅. 确定单锚板桩墙入土深度的概率极限状态设计法[J]. 水运工程, 1999(1): 52-56.
 [6] JTJ 292—1998 板桩码头设计与施工规范[S].
 [7] 约瑟夫·E·波勒斯(美). 基础工程分析与设计[M]. 童小东, 译. 5版. 北京: 中国建筑出版社, 2004.
 [8] 中交第二航务工程局. QICT2钢管桩高应变检测报告[R]. 武汉: 中交第二航务工程局, 2010.