

文章编号: 0451-0712(2006)03-0114-06

中图分类号: U445.31

文献标识码: B

大能量柴油打桩锤替打结构的优化与应用

谢汉林¹, 夏润京², 黄增财¹

(1. 路桥华南工程有限公司 中山市 528403; 2. 路桥集团国际建设股份有限公司 北京市 100027)

摘 要: 对柴油打桩锤锤击能量损失的原因和由于替打结构不合理所造成的能量损失进行了分析研究, 根据研究结果对替打结构做了优化设计, 有效地解决了能量损失过大的难题, 提高了替打的耐久性和柴油打桩锤的工作效率。

关键词: 柴油打桩锤; 替打; 能量损失; 结构优化; 应用效果

海上钢管桩采用配备大型柴油锤的打桩船进行锤击沉入, 替打作为锤击沉桩的能量传递设备, 兼有保护桩头的作用, 同时也是锤击沉桩过程中造成能量损失最大的设备之一, 并因其作为抗击打构件而容易损坏。在杭州湾跨海大桥Ⅳ合同钢管桩沉桩过程中经历了打桩替打的优化与应用过程, 优化后的替打与大型柴油打桩锤配合良好, 大大减少了能量的损失, 提高了替打的耐久性, 取得了良好的沉桩效果。

杭州湾跨海大桥的南、北航道桥高墩区引桥基础采用钢管桩结构, 共有 732 根桩, 钢管桩直径为 1.60 m, 桩长 72~85 m, 上部 45 m 壁厚为 2.2 cm, 下部壁厚为 2.0 cm。各桩均为斜桩, 斜率有 6 种: 6:1、7:1、8:1、10:1、15:1 及 20:1。

桥区土层的中下层位主要为砂层和亚粘土层, 砂层厚度最大达 26 m, 土体标贯击数 N 值较大, 其中砂层、砂层与亚粘土互层的标贯击数 N 大于 50。

1 问题提出

2004 年 5 月 24 日, 我公司杭州湾大桥项目使用德国生产的打桩锤配备吊钟式替打开始打入桩作业。

1.1 打桩锤性能

DELMAG D150-42 柴油锤是 2002 年底从德国购置的, 是当时世界上打击能量最大的柴油打桩锤, 该锤主要性能参数为:

上活塞重量 150 kN;
最大冲量 3.4 m;
最大冲击能量 511.5 kN·m;
冲击次数 36~52 次/min;
最大打斜桩的斜度 1:3;
锤体重量 330 kN。

1.2 吊钟式替打

吊钟式替打实物见图 1 所示。

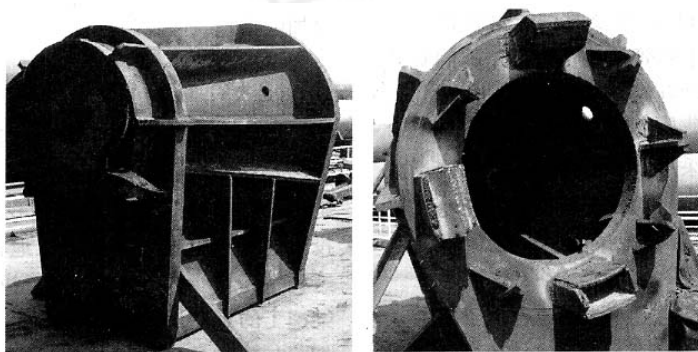


图 1 吊钟式替打

1.2.1 工作原理

此类型替打内部为空心结构,锤击能量通过替打的四周钢结构传递至底部钢板上,再由底部钢板结构传递到钢管桩的顶部,以实现沉桩。

1.2.2 材料

一般选用 Q235 或 45 号锻钢,厚度为 30~50 mm 的厚钢板加工,上部承击钢板(盖板)厚度约为 80~110 mm。

1.2.3 加工方法

此类型替打焊接而成,所用焊条均为结构钢 J506 焊条,所有连续焊接缝厚度均大于 30 mm 以上,即连续堆焊接,以确保焊接部件的强度。焊接完成后,进行整体热处理,以消除焊接过程产生的焊接应力,避免使用过程中因焊缝残余应力而导致结构内力作用,降低发生脆性开裂的出现机率。

1.3 施工效果

最初施工的 4 根打入桩分别高出设计标高 6.1 m、5.6 m、1.3 m、4.3 m,并且锤击次数都远远超出正常值,分别为 8 217 锤、6 020 锤、5 914 锤、4 136 锤,打桩时间分别为 3 h 12 min、2 h 38 min、2 h 33 min 和 1 h 44 min。这样的生产效率根本无法满足工程进度的要求,而且柴油打桩锤超负荷长时间工作,将大大降低设备的使用寿命。针对这种情况,我们对替打进行了改进,将起缓冲作用所垫的钢丝绳,由原来的 3 层改为 1 层,以减少锤击能量的损失,取得了一定的效果。锤击 3 000~4 600 次左右便能沉桩到位,但锤击数仍然偏高,且替打损坏十分严重,经常要对替打进行大规模的焊修,严重影响施工的连续性,生产效率十分低下,项目施工陷入了十分被动的局面。

此后,业主安排其他单位的打桩船在我项目上述施工区域试打 10 根桩。其打桩船安装的是荷兰 IHC 公司生产的 S280 液压打桩锤,最大打击能量 280 kN·m。从打击能量上看小于我公司 D150 柴油打桩锤,但实际沉桩效果远好于 D150 柴油打桩锤的沉桩效果,10 根桩的平均锤击数在 2 200 锤左右。

2 原替打结构分析

针对杭州湾大桥项目出现打桩困难的情况,对 DELMAG D150 柴油打桩锤的能力以及杭州湾打桩工况及过程进行了计算和分析,以寻找打桩能力不足的原因。并对柴油打桩锤和液压打桩锤的工作原理、能量损失等技术问题进行了深入研究。为什么

最大打击能量为 511.5 kN·m 的 D150 柴油打桩锤的工作能力不如最大打击能量为 280 kN·m 液压打桩锤呢?经过研究我们发现,二者的主要差别在于打击过程的能量损失上。据有关资料显示,柴油打桩锤的能量损失一般在 60%~70%,而液压打桩锤的能量损失在 20%~30%之间。如果按此计算,二者作用在桩顶的打击力是相差无几的。由此证明,我们的 D150 柴油打桩锤的能量损失已经超出了 60%~70%的范围。据有关资料还可以知道,柴油打桩锤的能量损失主要来自以下几个方面:

(1)柴油爆炸过程的能量损失约为 30%;

(2)摩擦(撞击、活塞环磨损、劣质柴油)损失约为 10%;

(3)大气污染损失(空气湿度、温度和粉尘的影响)约为 5%~10%;

(4)替打及缓冲垫的损失约为 15%。

前 3 项来自于柴油打桩锤工作原理或环境因素所带来的固有损失,是很难轻易人为改变的。只有最后一项替打及缓冲垫的损失是可以根据替打的结构形式和缓冲垫的材料而变化的。因此我们对如图 2 所示的替打的结构形式进行了认真的分析。从现场反映的情况看,在沉桩施工中经常出现替打开裂,我们认为出现这种情况,可能有两方面的原因:一是替打结构不合理,吸收的能量过多;二是替打材质和加工质量存在缺陷。通过对替打加工过程和材质的分析,我们排除了由此造成的替打损坏的原因。

从图 2 的结构形式分析,我们认为造成能量损失的原因主要有以下几个方面:

(1)替打上下盖板直径不同,中间传递能量的部分为圆锥形,由此产生了一个横向分力,降低了柴油打桩锤的打击能量的传递效率;

(2)替打长度将近 2 m,用钢板焊接而成,替打的刚性差,弹性大,由于材料的弹性变形吸收了大量的能量;

(3)替打上盖板厚度不够,仅为 110 mm,打击时出现弹性变形吸收能量;

(4)替打下端插入钢管桩内的定位部分长度太短,难以保持柴油打桩锤、替打和桩的同心度,容易出现偏打现象,产生横向分力,增加了侧向摩擦阻力,降低了有效的打击动能;

(5)因柴油打桩锤的打击效率与桩重(包括替打重量)成反比,而原替打整体重量过大(约 20 t),增

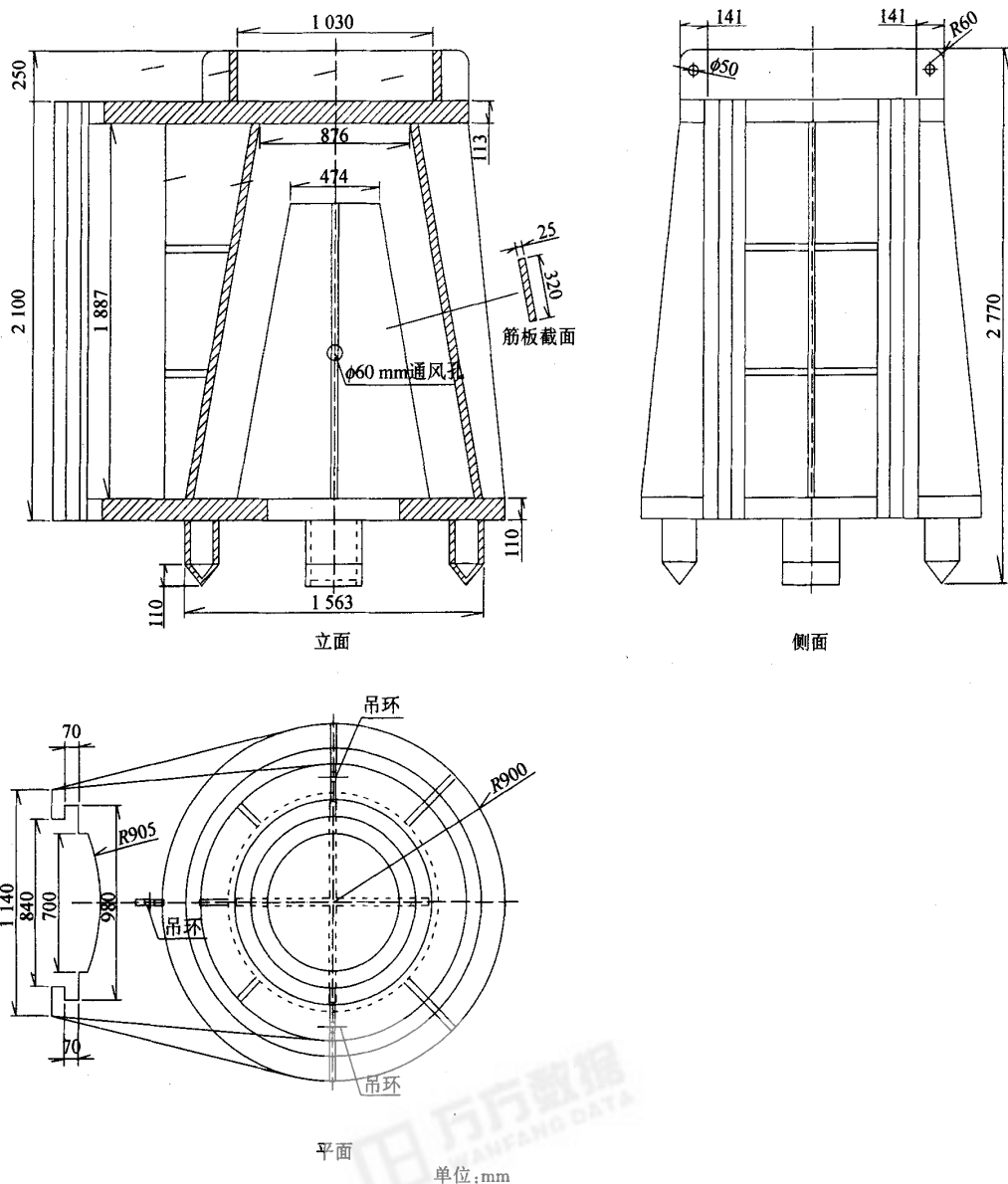


图 2 吊钟式替打结构

加了柴油打桩锤的工作负荷,因此降低了打桩效率;

(6)缓冲垫的材料和厚度不够合理,吸收能量过多,一般打钢管桩多采用铝合金板,钢丝绳缓冲垫多用于混凝土桩。

通过以上分析可以看出,该替打存在较大的结构缺陷,致使柴油打桩锤的打击能量不能有效地传递给钢管桩,造成柴油打桩锤产生的打击能量使用率降低。

3 替打的优化

经过分析可知吊钟式替打结构存在较大的缺

陷,与大型柴油锤的匹配性极差,为此,我们探索研究新替打,以满足海上沉桩的需要。

3.1 提高替打冲击力的理论依据

(1)按能量转换关系有:

$$M \cdot V = F \cdot t$$

式中: F 为作用于替打的冲击力; t 为作用替打的时间。由于动量 $M \cdot V$ 是常量,因此冲量 $F \cdot t$ 也是常量,当 F 的作用时间 t 减小时, F 就增大,从而提高了柴油打桩锤对替打的冲击力。

(2)按在系统物体的碰撞中和牛顿第三定律来研究系统内物体动量有:

$$m_1 v_1 - m_1 v_{10} = \int_0^t (f_{11} + f_{12} + \dots + f_{1n} + F_1) dt$$

$$m_2 v_2 - m_2 v_{20} = \int_0^t (f_{21} + f_{22} + \dots + f_{2n} + F_2) dt$$

.....

$$m_n v_n - m_n v_{n0} = \int_0^t (f_{n1} + f_{n2} + \dots + f_{nn} + F_n) dt$$

但按牛顿第三定律,在任一瞬时,每一内力都满足 $f_{12} + f_{21} = 0, \dots, f_{1n} + f_{n1} = 0, \dots$ 等等关系式。将上面各式相加,得到系统内各物体总动量的增量为:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 + \dots + m_n v_n - m_1 v_{10} - m_2 v_{20} - \dots - m_n v_{n0} = \int_0^t (F_1 + F_2 + \dots + F_n) dt = \int_0^t (\sum F_i) dt$$

根据动量守恒定律可表示为:

在 $\sum F_i = 0$ 条件下,

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 + \dots + m_n v_n = \text{恒量}$$

在 $\sum F_{ix} = 0$ 条件下有: $m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} + \dots + m_n v_{nx} = \text{恒量}$

在 $\sum F_{iy} = 0$ 条件下有: $m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} + \dots + m_n v_{ny} = \text{恒量}$

在 $\sum F_{iz} = 0$ 条件下有: $m_1 v_{1z} + m_2 v_{2z} + \dots + m_n v_{nz} = \text{恒量}$

当在替打重量大大降低的条件下,而式中右边是恒量,则钢管所受的力为最大。

除此以外,我们在焊接过程中,为减少应力采取了以下措施:

①采用合理的焊缝尺寸和形式;

②合理地安排焊缝位置,尽可能对称于截面中性轴,或者使焊缝接近中性轴;

③尽可能减少不必要的焊缝,采用合理的焊接顺序和方向;

④避免焊缝的过分集中和交叉;

⑤避免在母材厚度方向上产生的收缩应力。热处理采用整体回火,控制6 h的保温时间,在100~200℃时再出炉空冷。有效地消除了大锻件的残余应力和焊接过程所产生的应力。

3.2 新式替打的结构

新式替打由原来的圆锥形钢板焊接式改为钢板焊接圆柱加锻件活络式,对替打进行了优化,但由于时间仓促,替打的选材和加工都存在一定的缺陷,造成替打开裂。尽管如此,打桩效率仍然得到了明显提高,在该替打损坏之前的贯入度为1.2 cm,损坏后立即换上原替打,贯入度变为0.6 cm,由此进一步证明,D150柴油打桩锤的打击能量未能充分传递作用

到桩顶,症结就在原替打存在较大的结构缺陷。

此后,我们再次对原替打和改进后的替打缺陷进行了全面的分析,在充分考虑了原有替打存在的消能因素,以及改进替打的材质和加工缺陷,全面优化并确定了新替打的结构形式如图3所示。新替打主要由外定位套、内冲击块、缓冲垫板和打击垫铁四部分组成。替打实物见图4所示。

3.3 替打的材质及加工要点

(1)材料。

套体采用厚锻钢板和Q235A制作,内冲击块、打击垫铁采用20号锻钢,采用缓冲垫板。

(2)加工要点。

外定位套采用焊接加工,与吊钟式替打加工方法一致;内冲击块、打击垫铁采取锻造,并且经过热处理。值得指出的是,该类型替打芯体的表面必须高精度加工,确保表面光洁度和平整度,杜绝凹凸不平或粗糙,否则会因局部点应力过高,而出现裂纹。为缓解不平整造成的影响,充分利用接触面积,减少局部应力,需要在打击垫铁与内冲击块之间加上一块3~5 mm厚度的铝板(即为缓冲垫板),同时铝板也起到缓冲锤的直接冲击震动作用。

3.4 替打的工作原理

新替打采用了厚度较大(32 cm厚)的内冲击块,放置在外定位套内的结构形式,将柴油打桩锤的打击能量通过内冲击块直接传到桩顶,有效地减少了打击能量的损失。内冲击块采用了低碳钢锻件,锻造后再进行热处理,以消除材料锻造产生的内应力。另外内冲击块设计了较长的十字支撑结构的裙部插入钢管桩内,以控制桩与替打的相对位置,保证同心度。外定位套的作用用于控制替打、桩架、柴油打桩锤以及钢管桩的相对位置。内冲击块在外定位套中滑动,柴油打桩锤的打击能量基本不会传给外定位套,避免了替打的损坏。内冲击块上部放置铝合金垫板作为缓冲垫,缓冲垫上放置一块厚度为200 mm的钢板作为打击垫铁。优化后的替打重量大大降低了(约为5 t),减少了柴油打桩锤的工作负荷。

4 过程验证

新替打正式投入使用后,3 d将7根桩沉桩到位,其中有一天每天沉桩3根,7根桩最少的锤击数为2 942次,最多锤击数为4 390次,沉桩有效能量得到明显提高。7根桩的总锤击数超过25 000次,新替打未见变形和损坏,初步证明优化的新替打基本成

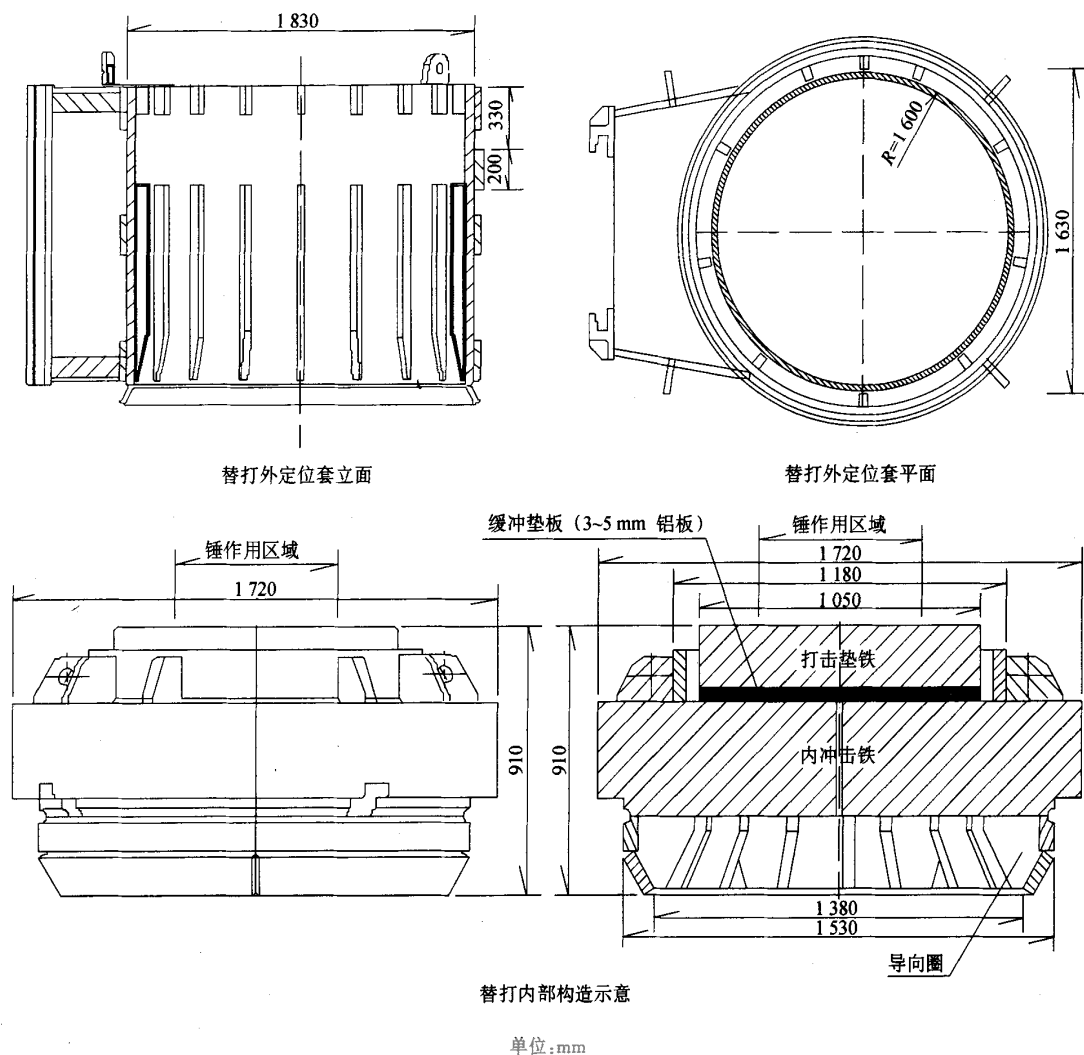


图3 新替打结构形式

功。当时柴油打桩锤的活塞环磨损严重,使打击能量及冲击次数都大打折扣,无法发挥打桩锤的最大打击能量。另外新替打刚刚投入使用,尽管经过热处理,但内部应力仍未能得到充分释放。因此,我们要求不要用最大打击能量打桩。

柴油打桩锤更换新活塞环后再次沉桩,2 d 共沉桩 10 根,最少锤击数为 1 979 次,最多锤击数为 3 765 次,沉桩效率得到进一步提高。10 根桩的平均锤击数为 2 500 次,总锤击数超过 25 000 次,新替打仍然未见变形和损坏。

此后再次沉桩,3 d 共完成 18 根桩的沉桩作业,最少锤击数为 1 473 次,最多锤击数为 2 743 次,沉桩效率再一次得到提高,替打仍然未见变形和损坏。至此新替打已完成 35 根桩的沉桩作业,锤击数接近 10 万次,未见变形和损坏。

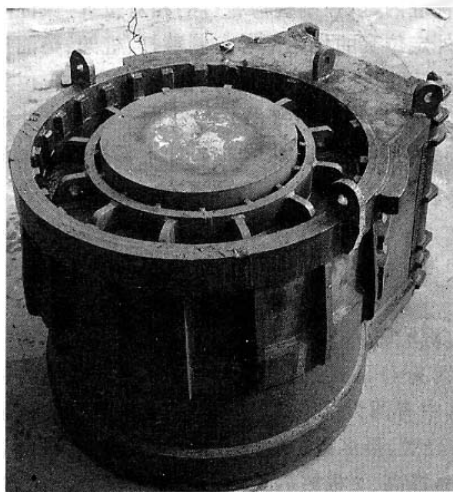


图4 新替打实物

通过施工已经充分证明替打的优化是成功的。

和最终贯入度,以及日沉桩根数及替打使用情况进行比较;锤击数及贯入度比较见表1。

5 应用效果

以B19、B20、B21 三墩73 m 桩长为例,从锤击数

B19 号墩的其中23 根桩使用D150 锤配吊钟式旧替打进行沉桩,净沉桩时间为16 d,平均1.4 根/d,

表1 新、旧替打使用比较

墩号及设备组合	锤击数/击			贯入度/mm			备注
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	
B19 墩 D150 锤配吊钟式旧替打	4 645	2 916	3 701	4.8	0	2.6	出现一根高桩
B20、B21 墩 D150 锤配套筒式新替打	4 390	1 437	2 506	8.8	1.0	4.6	顺利沉到标高

使用4 个替打,全部开裂、报废;而B20、B21 号墩包括B19 号墩的1 根桩,共49 根桩,使用优化后的套筒式替打,净沉桩时间为13 d,平均3.8 根/d,使用1 个替打,替打仍保持良好状态,工效提高了近3 倍。

并且,本工程剩余的桩长为74~85 m 共612 根钢管桩,同时将D150 升级为D180 大能量打桩锤配合套筒式替打施工后,平均每天沉桩7~8 根,日沉桩最高记录达13 根,之后仅增加1 个替打就提前完成了全部沉桩任务,施工过程中套筒式替打仅出现两次局部焊修,现仍保持较好的使用性能,还可继续使用。

2005 年11 月26 日,在北京钓鱼台国宾馆召开中国企业新纪录(第10 批)新闻发布会暨中国企业新纪录10 周年总结表彰大会,我公司共有6 项技术新纪录获表彰,其中两项是优化替打后取得的:

(1)杭州湾跨海大桥项目部的套筒式节能“替打”,创国内大直径、超长桥梁基础钢管桩沉桩“替打”锤击耐久性新记录;

(2)直径为1.6 m 桩长85 m 钢管桩,以1 338 锤沉桩到位,创国内大直径超长钢管桩沉桩锤击数最少记录。

实践证明,替打的优化是非常成功的,不仅有效地降低了替打能量的损失,提高了柴油打桩锤的作业效率,而且替打本身的耐久性也得到大大提高。通过替打的优化研究,有效地提高了沉桩作业效率,扭转了沉桩的被动局面。同时,通过替打优化,减少了替打损坏所带来的维修成本,使我公司用于替打上

的费用仅是传统柴油打桩锤替打费用的1/10。

6 需要进一步探讨的问题

(1)当地层标贯击数 N 远远大于50 时,选择何种打桩锤和替打组合,才能满足沉桩到位的要求;

(2)套筒芯式替打的芯体高度小,偶尔仍会导致损坏其外套筒体,增大高度可缓解此状况,但芯体高度增加也会增加芯体能量的吸收,该矛盾需进一步解决;

(3)探索使用新材料以减少替打的重量,简化加工过程,降低替打成本。

7 结论

随着国内海上桥梁、港口、码头、石油平台的建设发展要求,对打桩的速度、强度要求也越来越高。而新颖的替打是确保这一要求完成的必要条件。它结构合理、强度高、成本适中,其市场前景十分广阔,创造了企业的品牌,为提升企业核心竞争力和综合竞争力奠定了基础。

参考文献:

[1] 广东森岛工程设备有限公司. 国外打桩设备的发展、现状及趋势[Z].
[2] 桥梁施工工程师手册[M]. 北京:人民交通出版社, 1995.
[3] 杭州湾大桥工程指挥部. 杭州湾跨海大桥专用施工技术规范[S]. 2005.