

智能全站仪打桩定位模型及其实现

姚连璧^{1,2}, 谢义林¹, 季惠丽¹

(1. 同济大学 测量与国土信息工程系, 上海 200092; 2. 现代工程测量国家测绘局重点实验室, 上海 200092)

摘要: 对全站仪在近岸打桩定位中的应用进行了研究, 得到了一种新的实用观测模型, 模型中桩的方位根据船的方位确定, 桩的坡度由船上的设备获得, 通过测量圆桩侧边一个切线方向的水平角和竖直角, 以及桩身上任一点的三维坐标对圆桩桩中心进行定位; 通过测量方桩棱线上任一点的坐标对方桩桩中心进行定位. 根据数学模型, 利用 EVC 在基于 WinCE 的拓普康 (GPT-7502) 智能全站仪上进行了软件实现, 观测结果可以用无线电传输到船上, 船上利用掌上电脑 (PDA) 接收并以图形的方式给出偏差示意, 指导打桩船移动, 通过实际工程的现场测试, 验证了模型和方法的正确性.

关键词: 打桩定位; 智能全站仪; 向量叉乘; Embedded Visual C++

中图分类号: TU 198.2

文献标识码: A

Piling Position Model and Its Implementation Based on Intelligent Total Station

YAO Lianbi^{1,2}, XIE Yilin¹, JI Huili¹

(1. Department of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Advanced Engineering Surveying of State Bureau of Surveying and Mapping, Shanghai 200092, China)

Abstract: A research was made on the application of intelligent total station to piling position of near-shore, and a new practical model for piling position is introduced. Azimuth and tilt of piling can be obtained by an equipment on ship. For circle piling position, the tangential direction of the piling side (including horizontal angle and vertical angle) and the three-dimensional coordinates of one point on piling surface have to be surveyed. For square piling position, only one point on piling edge needs a survey. According to the mathematical model, the software is realized based on the EVC and the WinCE-based Topcon GPT-7502 intelligent total station. Observations can be transmitted to the ship by radio. Personal digital assistant (PDA) at ship receives the data and shows it

by graphic, which can guide the movement of the piling ship. Field test on practical project verifies the correctness of the model and methods.

Key words: piling position; intelligent total station; cross-vector; Embedded Visual C++

目前近岸打桩利用常规测量仪器定位主要采用的是经纬仪方向交会法^[1], 采用方向交会控制桩位具有以下方面的缺陷: (1) 测站点位布设有一定的要求. 由于方向定位的精度与交会角度有关, 因此不同的桩位对控制点的位置有不同的要求, 而实际上由于水上作业, 控制点的布设位置受到很大的限制, 当交会角度过小或过大时, 会减弱桩位定位的精度. (2) 由于在各控制点上只能瞄准事先计算好的固定方向, 对于偏位的大小只能根据目测得出, 给出的偏位大小不准确. (3) 由于受定位位置和角度的限制, 有时很难给出相对岸侧或者江心的准确偏位情况, 给打桩船的指挥与移动带来困难. (4) 对于斜桩定位如果设计高程面的视线被遮挡则需要重新计算其他高程面的定位数据. (5) 为避免两台仪器交会时, 某台仪器计算错误, 需要架设第三台仪器进行检核. 通过上面的分析可以看出采用经纬仪方向交会法进行打桩定位很难满足现代大型工程定位精度高、建设速度快的要求.

目前也有学者考虑全站仪配合掌上电脑 (personal digital assistant, PDA) 进行桩位定位, 也提出了不少方法^[2-4], 其中圆桩定位方法有四方向一点法, 母线切线法等. 已有的研究成果中对桩身定位需要较多的观测量, 如四方向一点法需要观测 4 个方向和 1 个点的三维坐标, 而打桩船在水里难以严格保持长时间的静止不动, 若观测时间过长, 观测就失去了意义. 对于母线切线法由于桩身没有母线刻

收稿日期: 2009-04-20

基金项目: 国家道路交通安全科技行动计划资助项目 (2009BAG13A07)

作者简介: 姚连璧 (1964—), 男, 教授, 工学博士, 博士生导师, 主要研究方向为全球定位系统在道路、桥梁及隧道工程中的应用.

E-mail: lianbi@tongji.edu.cn

画,母线也无法精确确定,给定位带来困难,甚至无法利用此方法定位.对于方桩定位除了传统的方向交会法,还有采用全站仪测定3点进行定位的方法^[5],由于测点多,其定位的速度和精度受到很大的影响.本文考虑利用先通过观测船上两点坐标的方式,控制船的方位,对于圆桩,观测桩身任意一点和桩侧任意一个方向,对于方桩,则观测桩身任意方向任意棱角上一点的坐标.通过模型计算,得到实测设计高程面桩中心坐标和设计高程面坐标桩中心坐标的差值,并将其归化到船的纵向和横向,最后将偏差结果用无线电发送至船上,船上利用PDA接收并以图形的方式显示,以此指挥打桩船的移动.

智能全站仪含有微处理器且具有图形界面的嵌入式操作系统,非常方便用户根据自己的需要,扩展全站仪的功能.本文采用了基于WinCE的拓普(GPT-7502)康智能全站仪,利用EVC(Embedded Visual C++)开发了机载桩位观测系统,利用Visual Studio 2005和(HP iPAQ)PDA实现船上的数据接收以及显示系统.

1 定位模型

目前国内的打桩船多数是固定桩架式,桩在打桩船抱桩器和桩架的固定下,只能向前倾或者后倒,因此船纵轴线的方位角就是桩的方位角.在船的纵轴线方向设置两个醒目标志,在岸侧观测标志的坐标,可以确定桩的方位角,并指导船的旋转.若标志不在船的纵轴线方向上,可事先获取标志的连线与船纵轴线方向的夹角,将标志连线的方位角归化到船纵轴线上,桩的倾角由船桩架的倾斜程度来确定(桩架上有测定倾斜度的度盘,可以根据读数确定桩的坡度).

通常,桩基工程的施工坐标系的原点位于整个施工区域的左上角,且位于江心,并确保X轴均为负值,Y轴均为正值(以避免X和Y值被弄反),打桩船正对着岸侧打桩,桩方位角的定义为从桩顶部指向桩底部的方向线在水平面上的投影与X轴正向的夹角(沿X正轴,顺时针到投影线的角度).

1.1 圆桩定位模型

如图1所示,对于方位和倾斜度已知的桩,在仪器的中心S观测桩身上任一点M的三维坐标(X_M, Y_M, Z_M)以及桩身侧面的一个切线SC的水平角和竖直角(α_{SC}, β_{SC}),需要计算某设计高程面上的坐标.图2为过S点与桩轴线相垂直的截面图(截面称

之为S截面),A为切点,B为M点沿母线的投影.

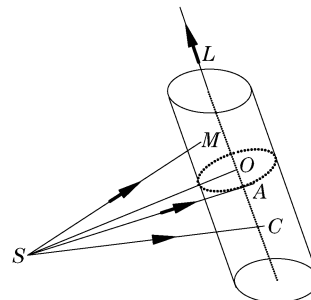


图1 观测示意图

Fig.1 Schematic diagram of observation

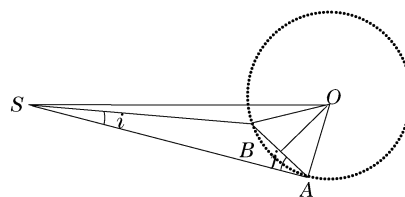


图2 S截面示意图

Fig.2 S cross-section diagram

除观测量外已知的量还有:测站中心点S的平面坐标和高程(X_S, Y_S, Z_S),桩方位角和倾角(α_0, β_0),桩半径r,设计高程面高程 h_0 .

由图2可知,SA向量和桩轴线向量l的外积为AO的方向向量,AO的长度为桩的半径,因此若知道A点坐标,可求得在A点高程面上的桩中心O的坐标,再根据桩的扭角和坡度推算出设计高程面上的坐标.因此解算重点为A点坐标,即求解SA的单位方向向量和SA的长度,即SA的模.

(1) 向量SA方向的获取

向量SA垂直于平面SAC的法向量 n_{SAC} 和桩轴线向量l(图1),因此平面SAC法向量 n_{SAC} 与桩轴线向量l的外积为SA的方向.

$$\mathbf{SA} = \mathbf{n}_{SAC} \times \mathbf{l} = \mathbf{SC} \times \mathbf{l} \times \mathbf{l} \quad (1)$$

其中:

$$\mathbf{SC} = (\cos \beta_{SC} \cos \alpha_{SC}, \cos \beta_{SC} \sin \alpha_{SC}, \sin \beta_{SC})$$

$$\mathbf{l} = (\cos \beta_0 \cos \alpha_0, \cos \beta_0 \sin \alpha_0, \sin \beta_0)$$

(2) 向量SA的模

据图2,B为桩身观测点M沿母线方向在S截面上的投影,角i为平面SAC与平面BSM之间的二面角,角j为AB连线与AS之间的夹角.据图1,向定义角θ为向量SM与轴线向量l之间的夹角,则向量SA模的计算过程如下:

$$|\mathbf{SA}| = |\mathbf{SB}| \sin(\pi - i - j) / \sin j = |\mathbf{SM}| \sin \theta \sin(\pi - i - j) / \sin j \quad (2)$$

又平面 BSM 的法向量 $\mathbf{n}_{BSM} = \mathbf{SM} \times \mathbf{l}$, 且根据 θ 角的定义可得:

$$\cos i = \frac{\mathbf{n}_{SAC} \cdot \mathbf{n}_{BSM}}{|\mathbf{n}_{SAC}| \cdot |\mathbf{n}_{BSM}|} \quad \cos \theta = \frac{\mathbf{SM} \cdot \mathbf{l}}{|\mathbf{SM}| \cdot |\mathbf{l}|} \quad (3)$$

在 $\triangle ASB$ 中, 根据正弦定理得:

$$\frac{|\mathbf{AB}|}{\sin i} = \frac{2r \sin j}{\sin i} = \frac{|\mathbf{SB}|}{\sin j} \quad (4)$$

可求得 $\sin j$ 的值, 将式(3)和式(4)代入式(2)即可求得 \mathbf{SA} 的模.

(3) 设计高程面桩中心点 O' 三维坐标向量:

$$\mathbf{O}' = \mathbf{O} + \mathbf{l}(h - h_o) = \mathbf{S} + \mathbf{SA}_p \cdot |\mathbf{SA}| + \mathbf{AO}_p \cdot r + \mathbf{l}(h - h_o) \quad (5)$$

其中 $\mathbf{SA}_p, \mathbf{AO}_p$ 为 \mathbf{SA}, \mathbf{AO} 向量的单位向量.

1.2 方桩定位模型

图3为方桩定位模型示意图(俯视图), 中间的四边形表示方桩, 左右两侧的圆角四边形表示桩左侧和右侧的打桩船. 方桩四个棱角编号从靠船的一侧开始, 以顺时针方式编号, $1', 2', 3', 4'$ 表示船在左侧时的编号, 另一组表示船在右侧时的编号, 图4为船在不同位置时的桩棱角编号示意图. 下面以船在左侧俯打为例, 说明方桩定位模型.

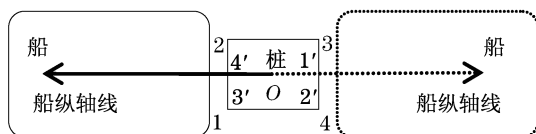


图3 方桩定位模型示意图

Fig.3 Schematic diagram of square piling position

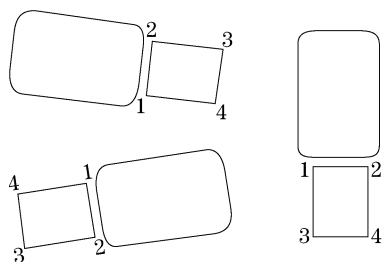


图4 棱角编号示意图

Fig.4 Schematic diagram of edge No.

如图3所示, 当船在右侧时, 假设观测点为 $4'$ 号点, 俯打时, 桩的方位角与船纵轴线方位角相等(由坐标系和打桩船正对岸侧打桩决定), 设桩方位角为 α , 观测点平面坐标为 (X_4, Y_4) , 桩截面的边长为 D , 当桩的坡度为 n 时, 斜桩在水平面上投影四边形边长分别为 $a = D, b = D \sqrt{1 + (1/n)^2}$, 则 4 号点高程面上的桩中心坐标为

$$\begin{cases} X_o = X_4 + \frac{b}{2} \cos \alpha + \frac{a}{2} \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{2} \right) \\ Y_o = Y_4 + \frac{b}{2} \sin \alpha + \frac{a}{2} \sin \left(\alpha + \frac{\pi}{2} \right) \end{cases} \quad (6)$$

设计高程面中心点 O' 桩中心坐标为

$$\begin{cases} X_{o'} = X_o + \cos(\alpha - \pi) \frac{1}{n} (Z_o - Z_{o'}) \\ Y_{o'} = Y_o + \sin(\alpha - \pi) \frac{1}{n} (Z_o - Z_{o'}) \end{cases} \quad (7)$$

式中: $Z_{o'}, Z_o$ 分别为设计高程面高程和棱角测点高程面高程, $m; n$ 为桩的坡度.

当桩不动, 船移至左侧改为仰打时, $4'$ 号点变成了 2 号点, 桩的方位角与船轴线方位角相差 π , 可验证仰打用 2 号点计算公式与俯打 4 号点相同. 同理, 观测其他点也存在类似对应关系, 因此严格按照上述规则给桩棱角编号时, 可先由船纵轴线的方位角以及仰俯打确定桩方位角, 再根据观测棱角的编号, 确定观测高程面的桩中心坐标. 需要注意的是, 当由观测高程面桩中心坐标推算至设计高程面桩中心坐标时, 由于桩方位角方向线的定义是从桩顶部至桩底部的连线方向, 推算时, 需根据高差按相反方向推算.

2 模型实现

采用基于 WinCE 的拓普康 GPT-7502 以及相应的开发包 (SDK for GPT9000A, Embedded Visual C++ 4.0) 完成了岸侧观测计算系统, 利用 Visual studio 2005 和 C# 语言完成了船上的接收显示系统. 其中数据传输采用的是小功率无线电装置, 图5为相关的硬件设备(全站仪, PDA 和无线电).



图5 相关的硬件设备

Fig.5 Related hardware device

2.1 岸侧观测程序

岸侧观测系统的主要功能为桩位文件导入和编辑(见图6), 桩的方位角观测(见图7)以及圆桩(见

图8)和方桩的观测定位及显示模块(见图9)。



图6 桩位文件的导入和编辑

Fig.6 Piling files import and editing

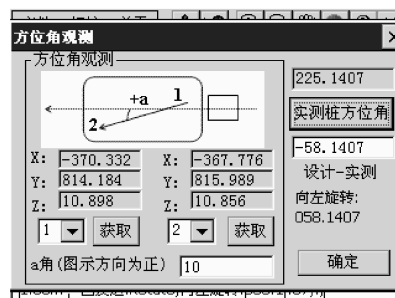


图7 方位角观测界面

Fig.7 Azimuth observation interface



图8 圆桩桩位观测界面

Fig.8 Circle piling observation interface



图9 圆桩观测结果界面

Fig.9 Results of observing circle piling

2.2 船上数据接收程序

船上数据接收程序仅用于接收并显示数据,并提供放大、缩小、平移等常用视图查看功能。图10为数据流动示意图,其中全站仪架设在岸侧,PDA位于船上,数据设计为单向流动,即PDA仅被动接收数据并显示桩的设计以及偏差信息。整个系统分为三个步骤发送和接收数据:①发送和接收准备打桩的桩名称和设计数据;②根据观测结果,发送和接收桩扭角偏差数据,并绘制扭角偏差示意图;③根据观测结果,发送和接收桩位偏差数据,并绘制船移动示意图。



图10 数据流动示意图

Fig.10 Data flow diagram

3 实际工程数据验证

系统在上海芦潮港码头工程和上海外高桥保税

区第六期码头工程进行了测试和验证,共测试了4根圆桩(包括了直打、仰打和俯打全部三种打桩类型),表1为测站数据,表2为桩的设计数据,表3为对应桩的两组观测数据(角度单位为度分秒,坐标数据等单位为m, X_{she} 为设计 X 值, X_{shi} 为实测 X 值, Y_{she} , Y_{shi} 也分别表示设计 Y 值与实测 Y 值)。

表1 测站数据

Tab.1 Survey station data

测站点	测站坐标 X	测站坐标 Y	测站高 H	仪器高
10 #	-1.954	941.678	6.984	1.625
14 #	-370.328	819.152	9.047	1.630

观测的四根桩中,Q-119测站为10#点,为已经打好的桩,其余测站均为14#点,为正在定位过程中的测量,由于船的方位以及扭角可能会与设计值有一个差值,因此,观测桩身坐标时,应尽量瞄准到设计高程面,以减小上述差值的影响。上述的观测与计算结果与船上全球定位系统(GPS)定位结果以及岸边的经纬仪观测结果相吻合,验证了本定位模型的准确性,且定位精度高于已有的经纬仪方向交会定位法,可以满足高精度近岸打桩定位的要求(图11为上海芦潮港码头工程观测现场)。

表 2 桩的设计数据
Tab.2 Piling design data

桩名称	打桩类型	扭角/(°)	坡度	设计标高/m	桩中心 X 坐标/m	桩中心 Y 坐标/m
Q-119	仰打	167	1:6	3.23	- 50.250	788.012
K-81	仰打	205	1:13	2.73	- 33.650	534.512
X13-70	直打	0	0	3.23	- 57.000	542.012
J-78	俯打	13	1:10	2.73	- 32.200	517.012

表 3 桩的观测数据
Tab.3 Piling observational data

桩名称	桩身测点 X/m	桩身测点 Y/m	桩身测点 Z/m	天顶距	水平角	($X_{she} - X_{shi}$)/m	($Y_{she} - Y_{shi}$)/m
Q-119	- 49.998	788.318	2.847	91°59'30"	252°41'41"	- 0.034	- 0.004
Q-119	- 50.116	788.399	3.244	92°01'55"	252°41'12"	- 0.029	- 0.001
K-81	- 33.745	534.900	6.733	90°39'39"	319°45'29"	0.057	- 0.014
K-81	- 33.865	534.820	3.880	90°53'06"	319°51'24"	- 0.032	- 0.040
X13-70	- 57.259	542.333	- 4.998	90°41'15"	318°27'29"	- 0.022	- 0.036
X13-70	- 57.272	542.343	- 5.009	90°41'20"	318°27'29"	- 0.010	- 0.047
J-78	- 32.301	517.393	2.616	90°53'58"	318°09'17"	0.023	0.012
J-78	- 32.709	517.233	6.130	90°39'02"	318°08'45"	- 0.095	- 0.004



图 11 现场测试图
Fig.11 Field testing

4 结论与展望

本文建立了圆桩和方桩的观测定位模型,并在基于 WinCE 的拓普康(GPT-7502)全站仪上开发了相应的软件.利用小功率无线电台实现了定位结果的传送,便于打桩船的指挥和移动,通过实际工程测试,验证了模型的准确性.但由于桩的方位以及倾斜度数据可能会有一定的误差,因此原则上测点位置与设计高程面应该比较接近,这样有利于提高定位精度.与传统的经纬仪定位相比,本文提出的模型与算法有以下几个优点:①对测站点布设没有要求.测站位置可以任意设定,对定位结果精度影响不大;②能够给出偏位的准确数据,便于打桩船移动;③计算模型对桩身上的测点位置没有限制.斜桩定位时如果设计高程面的视线被遮挡,可以测定其他高程面上点的定位数据,并将计算结果推算到设计高程

面上.
随着基于 WinCE 智能全站仪的广泛使用,以及无反射目标测量精度和测程的提高,全站仪在近岸打桩中将会得到更广泛的应用.

参考文献:

[1] 黄金龙.打桩定位测量[M].北京:人民交通出版社,1979.5-6.
HUANG Jinlong. Piling positioning survey [M]. Beijing, China Communications Press,1979.5-6.

[2] 仲树明,姚连璧.无反射棱镜全站仪打桩定位方法与数学模型[J].测绘工程,2008,17(1):24.
ZHONG Shuming, YAO Lianbi. Method and model of pile-positioning with reflectorless reflection total station [J]. Engineer of Surveying and Mapping,2008,17(1):24.

[3] 周小平,姚连璧,袁伟.全站仪圆桩定位的一种算法与系统实现[J].工程勘察,2008(9):62.
ZHOU Xiaoping, YAO Lianbi, YUAN Wei. An algorithm for cylindrical stake positioning utilized by total station and its System realization[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2008(9):62.

[4] 周小平,姚连璧,刘春.打桩定位的理论、方法与实现[M].西安:西安地图出版社,2008.50-60.
ZHOU Xiaoping, YAO Lianbi, LIU Chun. Piling positioning theory, methods and implementation [M]. Xi'an: Xi'an Map Press,2008.50-60.

[5] 章钟伟,张博华,姚连璧.全站仪方桩定位的数学模型[J].科技情报开发与经济,2008,18(2):133.
ZHANG Zhongwei, ZHANG Bohua, YAO Lianbi. The mathematical models of square pile positioning of total station [J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2008, 18 (2):133.