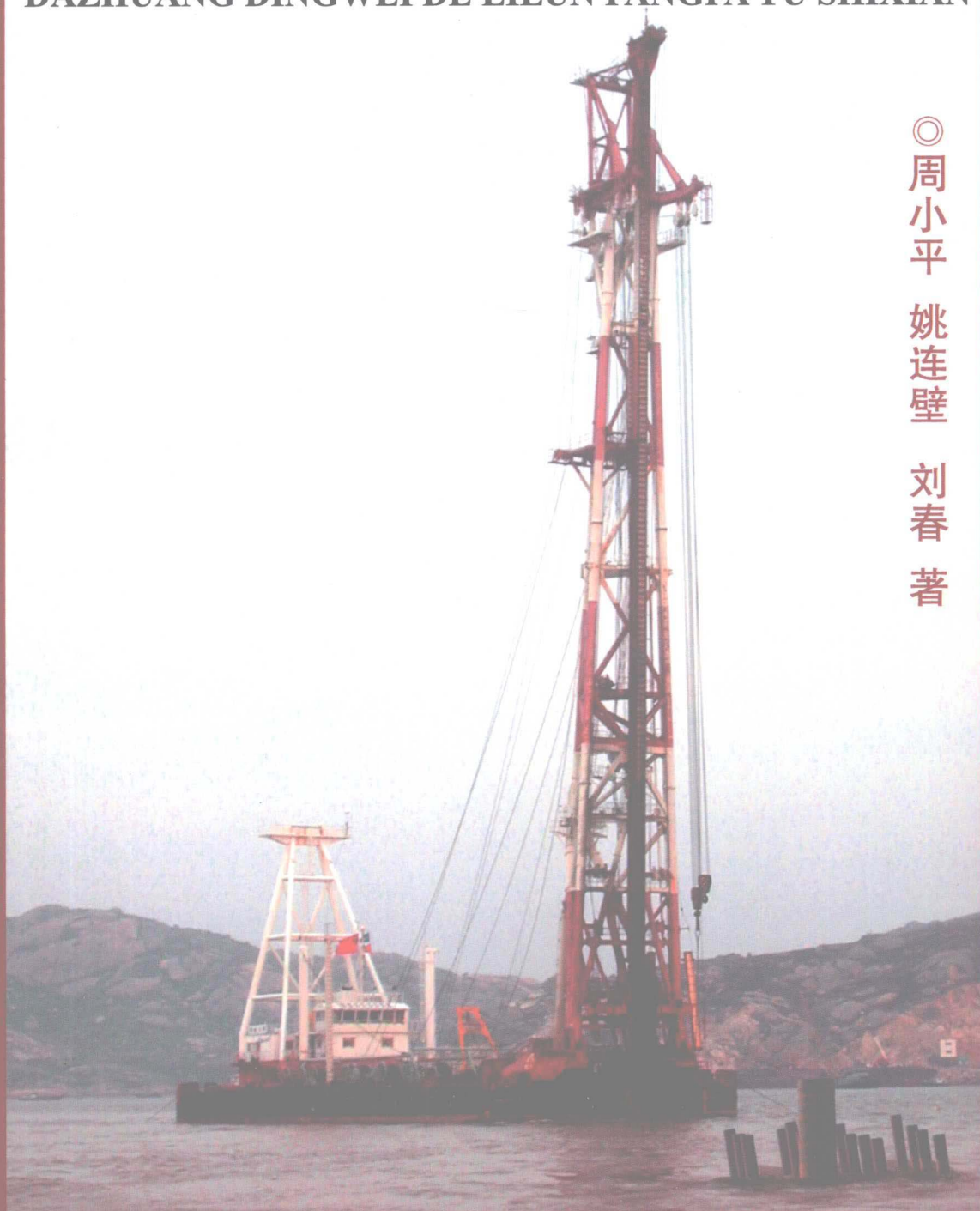


打桩定位的理论、方法与实现

DAZHUANG DINGWEI DE LILUN FANGFA YU SHIXIAN

◎周小平 姚连壁 刘春 著



西安地图出版社

打桩定位的理论、方法与实现

周小平 姚连璧 刘春 著

西安地图出版社

图书在版续目 (CIP) 数据

打桩定位的理论、方法与实现/周小平, 姚连璧, 刘春著. —西安: 西安地图出版社, 2008.3

ISBN 978-7-80748-245-1

I. 打… II. ①周…②姚…③刘… III. 打桩工程—定位法 IV. TU753.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 038847 号

打桩定位的理论、方法与实现

周小平 姚连璧 刘春 著

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮政编码: 710054)

新华书店经销 西安市雁塔区东方印刷厂印刷

787 毫米×1092 毫米 1/16 开本 12.5 印张 310 千字

2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

印数: 0001~1000

ISBN 978-7-80748-245-1

定价: 28.50 元

前言

随着经济建设的发展需要修建大量的港口与码头,在工程建设过程中涉及到大量的打桩工作,而杭州湾大桥、东海大桥、渤海湾大桥、青岛海湾大桥及舟山联岛工程等跨海大桥的建设以及像苏通大桥、沪崇启通道等一系列跨江大桥的兴建,使得打桩工程已经不仅仅局限于离岸边一、二千米的范围之内了,对打桩定位也提出了更高的要求。目前可以查阅到的书籍以及文献资料非常有限,不能满足实际工程的需要,本书为作者结合工程实践的研究成果,给出了利用各种传感器进行打桩定位的数学模型及其误差分析,研制了相应的软件系统并在工程中得到了应用,具体内容如下:

第一章绪论。

第二章(打桩定位的基本概念)介绍桩及其空间的表达、打桩船,以及打桩定位的技术方案等。

第三章(坐标系统及相互转换)介绍坐标系统、坐标系统间的相互转换、适用于小角度旋转的坐标转换参数求解与精度分析、适用于大角度旋转的坐标转换与精度分析、基于多参数正则化的空间坐标转换与精度分析,以及坐标转换系统与实例说明等。

第四章(全站仪打桩定位理论、方法与软件)介绍传统打桩定位方法介绍、全站仪四点法打桩定位、全站仪四方向一点法打桩定位、全站仪母线切线法打桩定位、全站仪三点定位圆桩全站仪三点定位方桩、PDA 全站仪打桩定位的软件实现,以及 Matlab 全站仪打桩定位的软件实现等。

第五章(全球定位系统及 RTK 技术、VRS 技术)介绍全球定位系统的发展与现状、全球定位系统 GPS 的组成与特点、RTK 技术、虚拟参考站技术、RTCM 差分数据及其 Internet 传输、VRS 系统的建立、Trimble VRS™ 技术等。

第六章(RTK 技术用于海上打桩定位计算的数学模型)介绍船固坐标系的建立与坐标转换、设计高程面桩中心三维船固坐标及桩顶高程的计算、二维坐标转换与精度分析、顾及纵横倾斜条件的大旋转角空间坐标转换模型的精度分析等。

第七章(系统设计框架与软件介绍)介绍系统需求与配置、系统主要功能、程序流程图、界面介绍、数据库结构等。

第八章(近景摄影测量与 GPS 结合用于打桩)介绍像平面坐标系与船固坐标系的转换、桩边缘的提取、数学模型与精度分析、实验验证等。

第九章(海桩 8 号打桩船实例应用)介绍海桩 8 号打桩船的设备安装与设备船固坐标的测定、打桩前的准备工作、应用情况汇总,以及应用与误差分析等。

在本书的撰写过程中,得到了仲树明、吴杭彬、陈正宇、解涛、史峰、许正文、郭永峰、孙良育、张博华等同学的大力协助和支持,在此表示由衷的感谢。

由于作者水平有限,再加之时间仓促,错误和不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作者

2007 年. 11

内容简介

随着经济建设的快速发展, 码头、港口以及大型跨江、跨海桥梁工程的建设越来越多, 在建设过程中打桩定位是必不可少的一个重要环节, 本书系统地介绍了利用现代化的仪器设备进行打桩定位的理论与方法, 包括利用 GPS-RTK 仪器、全站仪、CCD 相机、测距仪、倾斜仪等多种传感器联合进行定位计算。介绍了研制的基于 GPS-RTK 的海上打桩定位系统、PDA 与全站仪结合的打桩定位系统以及利用 Matlab 语言编写的便携计算机与全站仪结合的打桩系统, 研制的软件在实际工程中获得了应用, 取得了较好的效果。同时介绍了与打桩定位相关的一些基础知识, 如坐标系统及其相互间的转换、全球定位系统、实时载波相位测量、虚拟参考站系统等。书中的内容是作者在结合工程实践的基础上获得的研究成果, 对于理论研究和实际工程应用都具有较好的参考价值, 适合于测绘、土木、港口等专业本科生、研究生的教学需要, 也可供生产或科研单位有关专业人员参考。

第 1 章 绪论.....	1
第 2 章 打桩定位的基本概念	4
2.1 桩及其空间的表达	4
2.2 打桩船	7
2.3 打桩定位的技术方案	8
第 3 章 坐标系统及相互转换	10
3.1 坐标系统	10
3.1.1 参心坐标系	10
3.1.2 地心坐标系	11
3.1.3 高斯投影坐标系	11
3.2 坐标系统间的相互转换	12
3.2.1 同一坐标系统下不同坐标形式之间的转换.....	12
3.2.2 不同坐标系间的转换	14
3.3 适用于小角度旋转的坐标转换参数求解与精度分析.....	17
3.3.1 简化的 Bursa 模型 7 参数的计算方法.....	17
3.3.2 转换参数求取时应注意的问题	18
3.4 适用于大角度旋转的坐标转换与精度分析.....	19
3.4.1 数学模型	20
3.5 基于多参数正则化的空间坐标转换与精度分析.....	24
3.5.1 数学模型	24
3.5.2 正则化参数的确定	26
3.5.3 正则化参数个数的选择	27
3.5.4 模拟算例与精度分析	27
3.6 坐标转换系统与实例说明	29
3.6.1 系统功能介绍	29
3.6.2 实例说明	31
第 4 章 全站仪打桩定位理论、方法与软件	44
4.1 传统打桩定位方法介绍	44
4.1.1 直方桩定位测量的传统方法	44
4.1.2 斜方桩定位测量的传统方法	45
4.1.3 圆桩定位测量的传统方法	47
4.2 全站仪四点法打桩定位	50
4.2.1 四点法计算的数学模型	50
4.2.2 四点法计算流程图	56

4.2.3 四点法试验数据计算	57
4.3 全站仪四方向法打桩定位	57
4.3.1 四方向法计算的数学模型	57
4.3.2 四方向法试验数据计算	60
4.3.3 四方向法计算流程图	61
4.4 全站仪四方向一点法打桩定位	62
4.4.1 四方向一点法计算的数学模型	62
4.4.2 四方向一点法试验数据计算	63
4.4.3 四方向一点法计算流程	64
4.5 全站仪母线切线法打桩定位	65
4.5.1 母线切线法计算的数学模型	65
4.5.2 母线切线法计算流程图	68
4.5.3 母线切线法试验数据计算	69
4.6 全站仪三点定位圆桩	69
4.6.1 三点定位圆桩的数学模型	70
4.7 全站仪三点定位方桩	73
4.7.1 数学模型	74
4.7.2 计算步骤	76
4.8 PDA 全站仪打桩定位的软件实现	77
4.8.1 NET Compact Framework 2.0 简介	77
4.8.2 Visual Studio 2005 介绍	78
4.8.3 .NET Compact Framework 2.0 串口开发技术介绍	78
4.8.4 SOKKIA SET530R 全站仪双向数据通讯	79
4.8.5 程序框架	81
4.8.6 程序实现	82
4.8.7 算例	82
4.9 Matlab 全站仪打桩定位的软件实现	83
4.9.1 Matlab6.5 软件介绍	83
4.9.2 软件使用介绍	84
4.9.3 Matlab 打桩定位软件框架图	87
4.10 误差分析	87
4.10.1 向量的方向观测值与单位化向量三维分量之间的误差传递	87
4.10.2 误差分析	89
第5章 全球定位系统及 RTK 技术、VRS 技术	91
5.1 全球定位系统的发展与现状	91
5.1.1 美国 GPS 系统自身的更新	91
5.1.2 欧洲伽利略计划	91

5.1.3 卫星基站增强系统 (SBAS)	91
5.1.4 我国“北斗一号”导航定位系统.....	92
5.2 全球定位系统 GPS 的组成与特点	92
5.2.1 GPS 的组成	92
5.2.2 GPS 的特点	93
5.3 RTK 技术	94
5.3.1 RTK 测量系统的组成	94
5.3.2 RTK 测量的实施	95
5.3.3 RTK 测量的误差	96
5.3.4 RTK 测量的数据处理	96
5.4 虚拟参考站技术	97
5.4.1 虚拟参考站技术概述	97
5.4.2 虚拟参考站技术基本原理	99
5.4.3 VRS 参考站技术的优点	104
5.4.4 国内 VRS 网应用现状	104
5.5 RTCM 差分数据及其 Internet 传输	105
5.5.1 GPS 差分数据概述	105
5.5.2 RTCM 差分数据的格式及其解码	106
5.5.3 RTCM 差分数据在 Internet 中的传输协议——NTRIP 协议.....	113
5.6 VRS 系统的建立	117
5.6.1 基站建设	117
5.6.2 硬件设备组成与安装	118
5.6.3 软件组成与安装	119
5.7 Trimble VRS TM 技术	120
5.7.1 Trimble VRS TM 介绍	120
5.7.2 GPSNet 软件参数设置	122
第 6 章 RTK 技术用于海上打桩定位计算的数学模型	127
6.1 船固坐标系的建立与坐标转换	127
6.1.1 系统地建立船固三维坐标	127
6.1.2 坐标系统及其相互转换	129
6.2 设计高程面桩中心三维船固坐标及桩顶高程的计算	131
6.2.1 粗略定位模式下桩中心船固坐标的计算	131
6.2.2 精密定位模式下桩中心船固坐标及桩顶高程的计算	132
6.2.3 纵轴线方位角的计算	137
6.2.4 桩架倾斜度的控制	137
6.3 二维坐标转换与精度分析	137
6.3.1 二维坐标转换及其误差	137

6.3.2 平面转换参数的计算	138
6.3.3 待转换点的精度评定	138
6.3.4 各种 GPS 接收机组合方案对精度的影响	138
6.3.5 打桩中心的位置对精度的影响	139
6.4 顾及纵横倾斜条件的大旋转角空间坐标转换模型的精度分析	140
第 7 章 系统设计框架与软件介绍	143
7.1 系统需求与配置	143
7.1.1 系统需求	143
7.1.2 系统设备配置	144
7.2 系统主要功能	145
7.3 程序流程图	145
7.3.1 主流程图	146
7.3.2 定位流程图	147
7.3.3 系统的核心计算模块	147
7.4 界面介绍	148
7.4.1 系统新建工程	148
7.4.2 主菜单功能界面	152
7.4.3 视图界面	154
7.5 数据库结构	158
第 8 章 近景摄影测量与 GPS 结合用于打桩	164
8.1 像平面坐标系与船固坐标系的转换	164
8.1.1 基本概念	164
8.1.2 传统的外方位元素解法介绍	165
8.1.3 适合于大角度旋转的算法	165
8.2 桩边缘的提取	167
8.2.1 划定范围	167
8.2.2 灰度化、黑白化和边缘化	167
8.2.3 获取精确直线边缘	169
8.3 数学模型与精度分析	171
8.3.1 适用算法	171
8.3.2 精度评定	171
8.4 实例验证	176
8.4.1 数据采集	176
8.4.2 过程数据	177
8.4.3 结果	178

第 9 章 海桩 8 号打桩船实例应用	179
9.1 海桩 8 号打桩船的设备安装与设备船固坐标的测定.....	179
9.2 打桩前的准备工作	182
9.2.1 坐标转换参数的计算	182
9.2.2 接收机配置文件的修改	184
9.2.3 配置文件的传输	186
9.2.4 参考站的架设和已知控制点的检核.....	188
9.2.5 GPGGA 标准数据格式的系统设置.....	188
9.3 应用情况汇总	189
9.4 应用与误差分析	190
参考文献.....	191

第1章 绪论

在码头、港口以及大型跨江、跨海桥梁工程的建设过程中打桩定位是必不可少的一个重要环节,传统的打桩定位主要是使用经纬仪交会等方法来确定桩的方位和坐标,文献^[1]阐述了利用经纬仪进行直桩和斜桩定位的理论与方法。由于采用的是交会的方法,需要两台或者多台仪器的协调,计算复杂且对仪器设站的位置也有很高的要求,而在水中打桩船会有一定的波动,因此传统上的打桩定位工作的效率和定位的精度都不理想,而对于离岸较远的打桩定位测量,经纬仪交会的角度和仪器安置的位置选择都受到了限制,没有办法达到很好的精度。在桥梁工程中对于离岸较远的定位测量可使用一种叫做“跳墩”的方法,就是先从离岸近的桥墩开始定位打桩,等这个桥墩造好之后,再在这个桥墩上设站定位其他相邻的桩位,或者建造工作平台,为此需要花费大量的人力和物力。这种方法虽然解决了距离远的问题,但还是存在因为定位与计算速度慢产生的时间差所导致的定位定向误差,况且这样也会影响施工的工期和打桩船的工作效率。

杭州湾大桥、东海大桥、渤海湾大桥、青岛海湾大桥及舟山联岛工程等跨海大桥的建设以及像苏通大桥、沪崇启通道等一系列跨江大桥的兴建,使得打桩工程已经不仅仅局限于离岸边一二千米的范围之内了。杭州湾跨海大桥全长 36km,其中桥长 35.7km,有 7900 多根桩,700 个墩身,水上高度达 20m,桥面宽 33m,双向六车道高速公路,设计时速 100km。总投资约 107 亿元,设计使用寿命 100 年以上。大桥设北、南两个通航孔。北通航孔桥为主跨 448m 的双塔双索面钢箱梁斜拉桥,通航标准 35000t;南通航孔桥为单塔单索面钢箱梁斜拉桥,通航标准 3000t。由陆上段、浅滩段、跨海段和连岛段组成的东海大桥全长 31.5km,其中跨海段长约 22.5km。绵延 31.5km 的东海大桥,全部采用钢桩基,陆上沉桩 2800 多根,加上海上 6000 根沉桩,总桩基量在 9000 多根。最长的钢桩达到 60~70m,等于一根桩打到地下 70m 处,远远超过了海水形成的深度。使用传统的由岸上架设经纬仪或者全站仪进行定位控制的作业方法具有明显的缺陷:其一,测量人员与打桩船上的操纵人员相距太远,不方便实时沟通;其二,传统的经纬仪、全站仪定位,需要测量人员根据测量数据进行一系列的计算,才能给定当前的桩位,其移船定位的速度慢且测量人员的工作强度大,打桩效率低,当打桩的区域离岸边有十几甚至几十千米距离的时候,传统的方法已不能适用。

随着 GPS 定位技术的发展,实时载波差分定位技术不断成熟,为打桩定位提供了新的研究手段。因此近年来基于 GPS-RTK 技术和基于网络 RTK 技术的打桩定位系统得到了发展和应用。传统采用的打桩定位,都是利用经纬仪或者全站仪直接对桩身定位。而利用 GPS (RTK)进行打桩定位时,GPS 天线不能直接安装在桩体上,只能安装在打桩船合适的位置。通过三台 GPS 接收机,测定船上三点的位置,这样就可以控制船位和船的姿态了。为测定桩相对于船体的相对移动目前主要是通过船上的两台免棱镜激光测距仪对桩身进行测定,从而确定桩相对于打桩船的位置。对桩顶标高的测定,通常是利用摄像机观测测距仪打在桩身上的激光红点以及桩身刻画,由测距仪处的高程推算得到桩顶标高。通过记录一定锤击数内桩身读数的变化,从而计算出打桩的贯入度。

定位的算法主要是采用多台 GPS 接收机同时得到各点 WGS-84 系下的点位坐标；先将各 GPS 点的 WGS-84 坐标转换到工程坐标系，通过各 GPS 点的工程坐标和船固坐标计算两个坐标系间的转换关系，从而将桩在船固坐标系下的定位结果转换到工程坐标下，通过与设计数据的比较，指挥打桩船的移动，从而就能达到打桩定位的目的了。这种方法可以充分体现 GPS 定位系统的快速、便捷、稳定、准确的特点，解决了远离岸边打桩定位的问题，同时由于 RTK 技术自动化观测消除了时间差的影响，所以定位精度和工作效率也大大提高了。

2004 年同济大学在理论研究的基础上编制了相应的海上打桩 GPS-RTK 测量定位软件系统并应用于实际工程中，该软件系统具有使用方便、运行稳定、定位结果可靠等特点，实现了如下的功能：

- 1. 在 GPS-RTK 有效作用距离范围内，能实现远离岸边施工船的定位；
- 2. 实现了定位过程中数据的自动化采集与处理；
- 3. 以图像和数字的形式反映施工打桩的当前和设计位置，便于操作人员调整船位进行施工打桩；
- 4. 能自动生成打桩报表和进行打桩数据的自动回放。

该软件系统已应用于路桥建设集团“海桩 8 号”打桩船以及上海基础工程公司水工分公司“建基 1501 号”打桩船的实际打桩工程中，通过在东海大桥以及苏通大桥 500 多根桩的应用以及与常规方法的检测比较说明，开发的基于 GPS-RTK 技术的海上打桩定位软件系统能够满足《港口工程桩基规范》中关于海上离岸无掩护水域的打桩定位的精度要求（见表 1-1）。

表 1-1 港口工程打桩允许偏位表

桩 型 沉桩区域	混凝土方桩		预应力混凝土大直径管桩		钢管桩	
	直桩	斜桩	直桩	斜桩	直桩	斜桩
离岸无掩护水域	200	250	250	300	250	300

注：① 表中数字单位为 mm； ② 离岸指距离岸大于 500m

从“海桩 8 号”打桩船几千根桩的实际偏差的统计结果来看多数偏位在 20cm 以内，这里面包含了定位误差和施工误差，有少数桩的偏位在 20~30cm 之间，这对于一些近岸的港口和码头工程其定位的精度往往还不能满足需要。因此还是需要利用常规仪器进行定位，而由于经纬仪交会法的效率以及精度等方面的限制不能满足要求，需要有必要研究使用全站仪作为测量工具，利用它快捷、方便且可以直接测定坐标的特点，同时利用目前许多全站仪的无棱镜反射定位功能，测定桩体上数个点的坐标或者某些需要的方向，然后通过这些点的几何关系，确定桩体的轴向、设计高程面坐标以及桩顶最低点高程，从而达到对桩体定位定向的目的。这同时对检测基于 GPS-RTK 的打桩系统的准确性具有重要意义，因为一个自动化系统涉及到很多安装和设置的参数，任何设置上的错误均会导致定位结果的偏差，因此每开始一个新的工程的打桩定位均需要对基于 GPS-RTK 的打桩系统的是否正

确进行验证,本书在原有的基于 GPS-RTK 的打桩系统的理论和应用研究的基础上,对 GPS-RTK 观测数据与倾斜仪数据联合计算处理进行了进一步的研究,同时将近景摄影测量与 GPS 相结合用于打桩定位,给出相应的数学模型,能更好地适用于各种打桩船打桩定位。在利用全站仪打桩定位方面给出了定位计算的各种方案与数学模型,编制了基于 PDA 的全站仪打桩定位软件以及利用便携计算机基于 Matlab 的全站仪打桩定位软件,同时进行了相应的误差分析,介绍了实际应用的案例。

本书给出了有关打桩定位测量的理论、方法,其中包含了作者最新的研究成果,当然尚有许多需要进一步研究和探讨的课题,比如如何进一步提高桩顶高程测量的精度,如何提高图像自动识别能力以提高自动化的程度,如何实现桩顶高程的自动提取等,这些工作还有待于在今后的工作中进一步研究。由于作者研究水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请广大作者批评指正。

第2章 打桩定位的基本概念

在介绍具体的打桩定位方法前，先介绍桩基定位中涉及的基本概念。

2.1 桩及其空间的表达

在修建码头、桥梁等建筑物时，一般需要利用桩基来支撑上部结构物（如图2-1-1），使上部荷载通过桩传递到密实的土壤中，或者利用桩与土壤之间的摩擦力，将建筑物的荷载传递到桩周围的土壤中，通过这种方法来改善地基的承载能力，并消除过大的沉陷量。

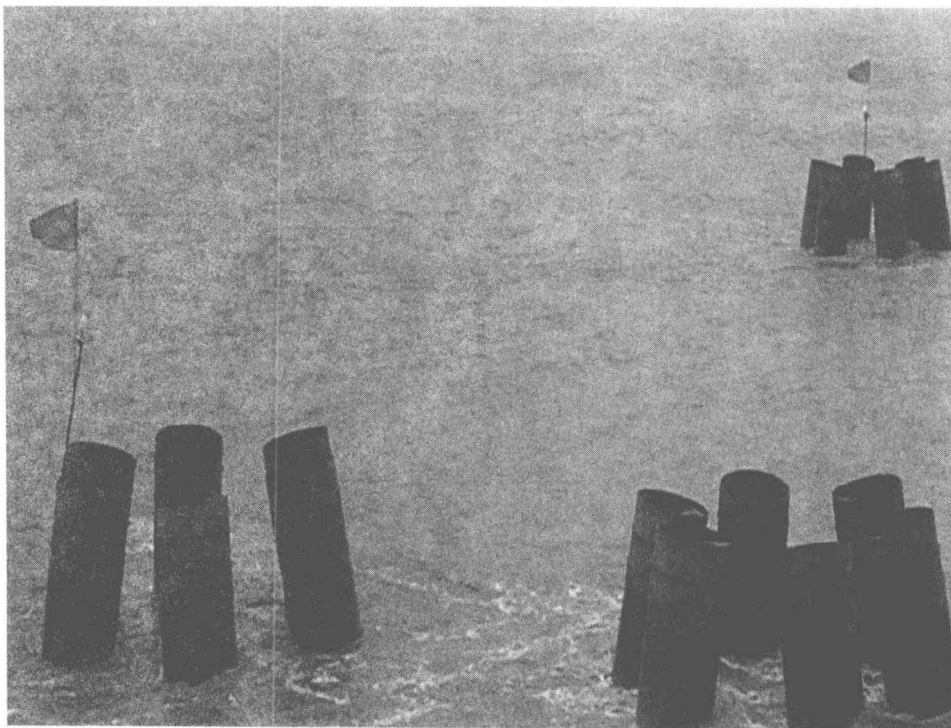


图 2-1-1 海上桩基实图

桩除了可以用来作人工基础外，还可以用做防渗、挡土、缓冲和系船等。日前，码头等港口水工建筑物用的最广泛的桩就是钢筋混凝土桩及钢桩。按照形状有圆桩和方桩之分，目前水上打桩多数采用的是圆桩。

海中平台一层平台桩基平面布置图

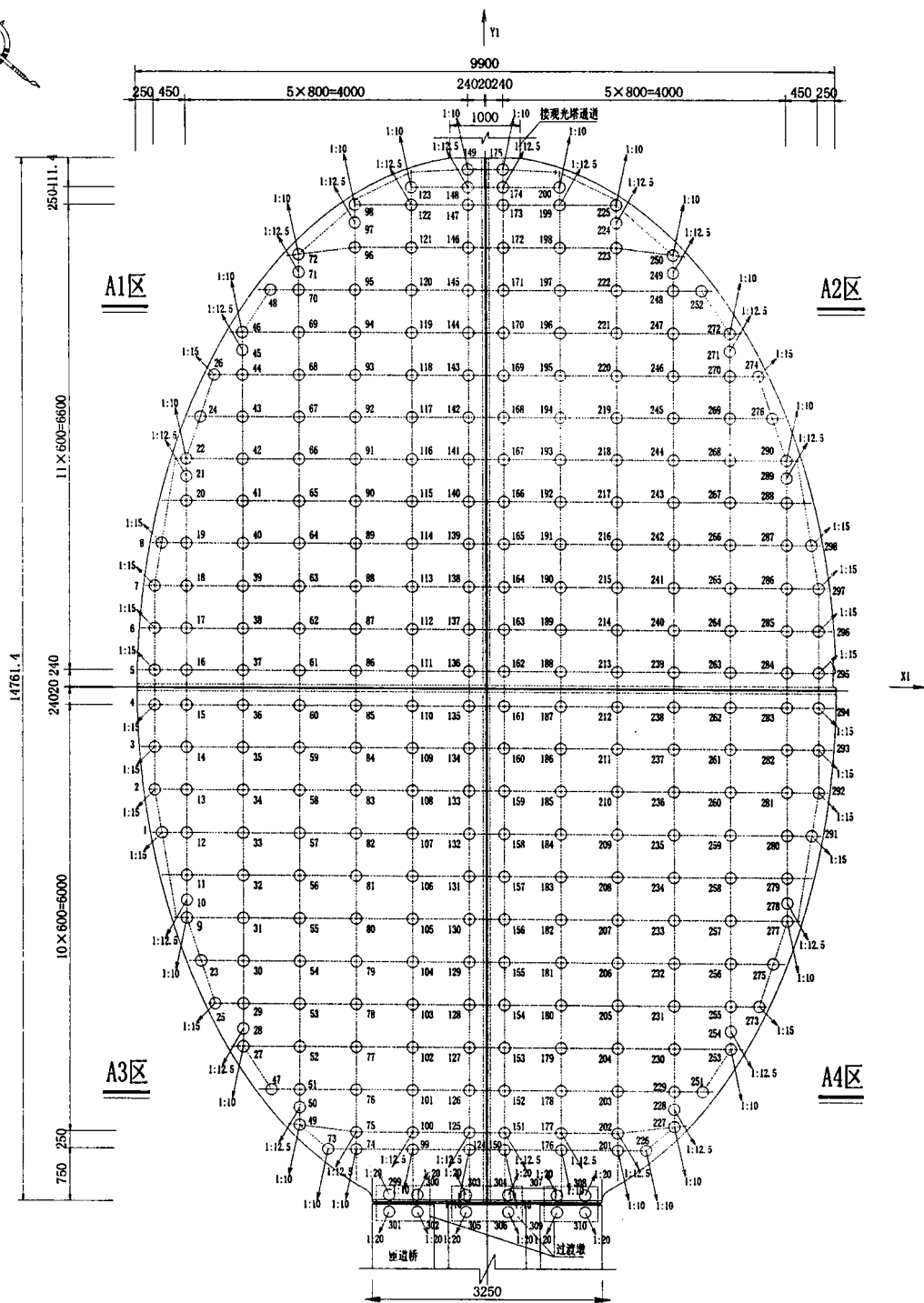


图 2-1-2 桩群示意图

设计人员会根据建筑物的不同用途以及承受载荷的情况,设计出桩位布置图,一定数量的桩形成**桩群**,用于承载一定的构筑物,例如图 2-1-1 中下面的 2 个桩群承载桥的 1 个横梁,图 2-1-2 是杭州湾大桥海中平台的桩群布置图,在桩位布置图中,除标有桩的规格(桩的断面方向及长度)和各桩之间的相对位置外,还标明了斜桩在垂直方向和水平方向的角度。在打桩作业前需要根据桩群的具体情况安排打桩的顺序,在打桩时,需要实时计算桩的有关参数,以便和设计数据相比较,准确调整桩位。

圆柱形构件可以由以下几个参数表示其在空间的位置和姿态。

1. 倾角:圆柱形构件的倾斜程度可用倾斜角度或倾斜坡度两种方法表示。倾斜角度是指在同一竖直面内轴线方向与垂直方向之间的夹角,用 β 表示。而倾斜坡度通常用 $n:1$ 的形式表示,即轴线在垂直方向上的投影与水平方向线上的投影的比值。

倾斜角与倾斜坡度有如下关系:

$$\tan \beta = \frac{1}{n} \quad (2-1-1)$$

2. 平面扭角:定义为圆柱形构件由上到下的轴线向量的方位角,即在 XOY 平面内以 X 轴正向顺时针旋转到轴线向量的角度。

3. 设计高程面桩中心坐标:设计高程面桩中心坐标用来控制平面位置。需要指定某设计高程面,在该高程面上桩中心点的坐标应该与设计给定的值相符,通过计算这一点的 X 、 Y 坐标的实际值与设计值进行比对,引导作业者调整桩的平面位置。

在打桩定位测量中,对每一根桩进行准确定位包含如下内容:一是桩在设计高程面上的平面位置要与设计的位置一致;二是桩的倾斜度和方位角与设计的参数一致;另外对桩顶的标高(高程)和贯入度也有一定的要求。由于测量和施工均不可避免含有误差,因此在实际打桩定位过程中,操作人员并不可能把桩位调整到与设计值误差为零的位置,但是要把桩位实际坐标与设计坐标的差值控制在小于规范要求的范围。在施工过程中,桩移到设计位置,下桩的过程中也会有有一定的偏移,这往往与当时的水流速度、方向有关,因此操作人员也可能根据自己的经验,在下桩之前预留有一定的偏差,下桩之后由于桩的偏移,反而使偏位差变小。

桩顶标高:是打桩定位控制的一个重要内容,通过对桩顶标高的实时测定,可以知道桩在施打过程中的实时桩顶标高,同时也为打桩贯入度的计算提供了一个必要参数。需要注意的是桩顶标高是指在桩顶横截面上处于最低位置处的标高。一般情况下,桩顶标高并非在桩横截面的中心。直桩情况桩顶标高与横截面中心位置的高程相同,对于斜桩,桩顶标高应指桩顶部分最低处的标高。

贯入度:在打桩过程中,贯入度的计算是以阵为单位的,即计算每一阵的平均贯入度。根据《港口工程桩基规范》的规定,一阵一般设定为 10 锤。这样,若已知该阵每一阵前后的桩顶标高分别为 H_1 和 H_2 ,则该阵的平均贯入度 G 可按下式计算:

$$G = \frac{H_1 - H_2}{10} \quad (2-1-1)$$

2.2 打桩船

目前用于港口打桩的主要设备是打桩船，一般的打桩船本身是没有动力驱动的，主要是靠拖船进行大范围移动，在施工区域内的小范围内的移动可以根据锚、缆绳和导缆器的调节来实现，一般打桩船配有平衡水箱用以调节船的姿态，从目前来看，多数打桩船采用的是固定桩架的结构，如图2-2-1所示，打桩架在船的纵向上可以倾斜，倾斜的角度可以用相应的仪表测量出来。

图2-2-1是固定桩架式打桩船的构造和打桩作业的示意图。打桩船的构造比较复杂,这里仅给出与打桩定位测量有关的几个组成部分以及打桩船的主体结构。

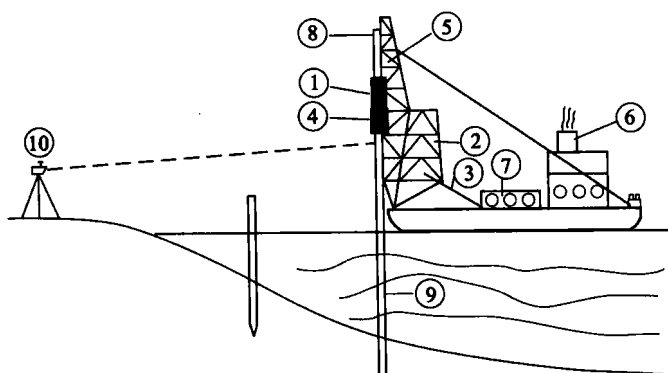


图 2-2-1 固定桩架式打桩船的构造

图中各数字的意义如下：①打桩锤；②打桩架；③倾斜螺杆；④替打；⑤龙口；⑥锅炉；⑦绞车；⑧滑车；⑨桩；⑩经纬仪。

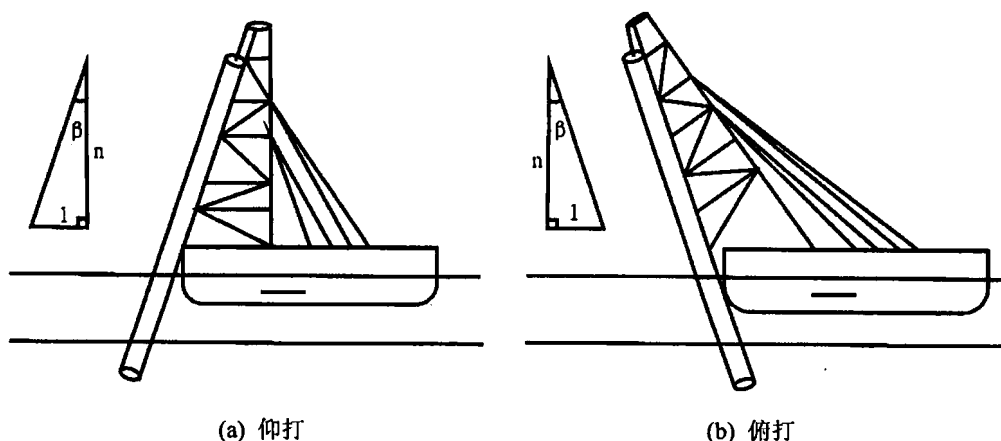


图 2-2-2 仰打、俯打示意图

打桩时, 打桩架后仰, 如图2-2-2(a)称为仰打, 桩的倾斜角度称为仰角; 当打桩架前