

天津文化中心工程建设 新技术集成与工程示范

本书编委会 编著



中国建筑工业出版社

天津文化中心工程建设新技术 集成与工程示范

本书编委会 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

天津文化中心工程建设新技术集成与工程示范/本书
编委会编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 3
ISBN 978-7-112-16323-6

I. ①天… II. ①本… III. ①文化中心-建筑工程-
工程技术-研究-天津市 IV. ①TU242.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 012952 号

本专著以天津文化中心超大型公共建筑群为工程背景, 该工程的建筑类别多、部分结构超限、施工难度大、复杂地质条件下钢管柱精确定位技术十分关键、多层富水地层中的地连墙质量控制技术难度大。本书总结了该工程采用的先进施工技术和设备运行控制技术, 主要内容包括: 复杂地质条件下钢管柱精确定位技术, 多层富水地层中超深地下连续墙最优施工工序和施工技术研究及应用, 天津图书馆组合钢框架-支撑与复杂空间桁架相融合的结构体系的设计方法研究, 大型特殊结构布置条件下的钢结构工程设计、施工及关键技术研究, 超大规模建筑群可再生能源利用与综合蓄能技术研究, 光伏发电系统的即发即用不储能关键技术与应用研究。

本书可供从事土木工程设计、施工和建设管理的人员参考阅读。

责任编辑: 王 梅 郭 栋 杨 允

责任设计: 张 虹

责任校对: 张 颖 党 蕾

天津文化中心工程建设新技术集成与工程示范

本书编委会 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

环球印刷 (北京) 有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 38 $\frac{3}{4}$ 字数: 942 千字

2014 年 9 月第一版 2014 年 9 月第一次印刷

定价: 92.00 元

ISBN 978-7-112-16323-6

(25030)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会名单

编审委员会主任：窦华港

编审委员会副主任：韩培俊

编审委员会委员（按照姓氏笔画排序）：

王 沛	王东林	王建廷	伍小亭
仲晓梅	刘彦涛	刘祖玲	刘瑞光
孙培勇	李忠献	张淑朝	陈志华
施航华	柴寿喜	郭春梅	韩 宁

主 编：李忠献

副主编：施航华 柴寿喜

统 稿：王 沛 刘彦涛

编写分工说明

本专著第1章第1.1节、1.2节王沛编写，第1.3节、1.4节、1.5节、1.6节仲晓梅编写，第1.7节、1.8节李顺群编写；第2章第2.1节、2.2节、2.3节熊维编写，第2.4节、2.5节杨宝珠编写，第2.6节、2.7节柴寿喜编写，第2.8节、2.9节、2.10节、2.11节、2.12节、2.13节张淑朝编写；第3章第3.1节韩宁编写，第3.2节韩宁、陈志华、藤菲编写，第3.3节陈志华、韩宁、王小盾编写，第3.4节韩宁、陈志华、藤菲编写，第3.5节姜忻良、邓振丹、韩宁、韩阳编写，第3.6节陈志华、韩宁、藤菲编写，第3.7节韩宁、王小盾、藤菲编写，第3.8节陈志华、藤菲、王小盾编写，第3.9节陈志华、孟琳、闫翔宇编写，第3.10节陈志华、白晶晶、闫翔宇编写；第4章第4.1节、4.2节陈志华编写，第4.3节、4.4节孔翠妍、陈志华、刘红波编写，第4.5节牛奔、陈志华、孟琳编写，第4.6节丁阳、柴敬、刘月军编写，第4.7节陈志华、丁阳编写，第4.8节刘中华、陈志华、章立明编写，第4.9节陈志华、闫翔宇、卜宜都编写；第5章第5.1节、5.2节、5.8节伍小亭编写，第5.3节王砚、宋晨、芦岩编写，第5.4节、5.5节由玉文编写，第5.6节刘九龙、卢宝编写，第5.7节郭春梅编写；第6章第6.1节、6.7节、6.9节王东林编写，第6.2节马子瑞编写，第6.3节、6.4节、6.5节、6.6节潘雷编写，第6.8节徐磊编写，第6.11节郭曾良编写。

前 言

天津文化中心工程是天津市委、市政府落实文化发展战略的重大举措，是传承天津历史底蕴，弘扬传统文化，打造现代宜居城市的重大建设工程。天津文化中心位于中心城区的核心区，濒临行政中心、梅江居住区和规划的商业服务业中心，区位优势十分显著，有力促进了天津经济、文化产业发展，被市民称为“天津新的城市客厅”。

天津文化中心总建筑面积 100 万平方米，工程占地面积 90 公顷，其中，地上 53 万平方米，地下 47 万平方米，包括博物馆、美术馆、图书馆、大剧院、阳光乐园、银河购物中心、地下交通枢纽等项目。该建筑群规模较大，功能各异，为达到风格上的统一，从规划、设计、施工到后期管理，文化中心整体做到了精细设计、精心施工、精严管理，努力打造世纪精品。

天津市委、市政府高度重视文化中心工程建设，成立了文化中心工程建设指挥部，由主管副市长为总指挥，市建交委主任为副总指挥。本着“争创国际国内一流、打造世纪精品工程”的目标，高质量高水平完成此项工程建设，文化中心工程在规划设计阶段采用了国际招标的方式，共有来自 12 个国家和 40 余家设计单位参与文化中心的各个阶段的设计方案竞赛，提交了 200 余个方案，最终由中国、德国、日本、美国 12 家国际一流设计单位（德国 GMP 建筑师事务所、日本高松伸建筑设计事务所等）承担单体设计。

该项目的建设，实现了一系列设计上的创新，施工难点的突破，贯穿了科技环保节能的建设和管理理念，共创建了 108 项同类项目的领先指标体系，成为工程建设实施的标准。坚持“以科技创新为先导”，更好地发挥科研工作对提高工程建设质量的促进与示范作用，开展了“天津文化中心工程建设新技术集成与工程示范”项目的科学研究。该项目得到了天津市科委在科研经费、技术方面的大力支持，并被市科委列为科技支撑计划重大项目。课题旨在推广可再生能源综合利用和建筑节能工程示范，解决建设过程中的不规则组合结构体系和地下工程的设计施工技术难题，达到建设优质工程和高科技含量示范工程的目标。经市科委鉴定，研究成果达到国际领先水平，并获得 2013 年天津市科技进步一等奖。

广大工程建设者按照“以科技创新为先导、打造世纪精品工程”的定位目标，将技术研究与科技攻关贯穿工程建设全过程，在创造高质量、高速度建设的同时，取得了一系列的科研成果：

一、采用区域能源系统理念，实现超大规模建筑群可再生能源利用与综合蓄能技术的耦合。

二、针对大型特殊结构布置条件下桁架钢板蒙皮效应的研究，提出了平板与桁架组合钢结构形式及施工关键技术。

三、提出了组合钢框架-支撑与空间桁架相融合的结构体系的设计方法。

四、创新了软土地层中深埋钢管柱的快速精确定位技术。

五、丰富了多层富水地层中超深地连墙的槽壁稳定和接头防渗技术。

六、实现了光伏发电系统专电专用的即发即用控制技术。

本专著由天津市科技支撑计划重大项目——“天津文化中心工程建设新技术集成与工程示范”中的六项研究成果提炼而成，旨在推广和应用工程建设上的新技术与新工法，希望对今后类似工程建设起到借鉴和参考作用。

鉴于编者水平有限，不当之处，敬请批评指正。

2014年6月

目 录

第 1 章 复杂地质条件下钢管柱精确定位技术	1
1.1 概论	1
1.2 施工测量	5
1.3 施工准备	8
1.4 钻孔灌注桩施工	11
1.5 两种常规的钢管柱定位方法	16
1.6 钢管柱螺旋千斤顶两点定位法	21
1.7 钢管混凝土桩-柱初始定位偏差对地下结构的影响	29
1.8 小结	51
参考文献	52
第 2 章 多层富水地层中超深地下连续墙最优施工工序和施工技术研究及应用	53
2.1 绪论	53
2.2 超深地下连续墙设计、施工重难点及对策分析	58
2.3 超深地下连续墙施工前的准备工作	65
2.4 超深地下连续墙的施工工艺过程	73
2.5 超深地下连续墙的导墙	76
2.6 超深地下连续墙的成槽	80
2.7 超深地下连续墙槽孔稳定	91
2.8 超深地下连续墙成槽过程中的泥浆	99
2.9 超深地下连续墙的钢筋笼	110
2.10 超深地下连续墙接头	123
2.11 超深地下连续墙水下混凝土的浇筑	141
2.12 寒冷气候条件下超深地下连续墙施工性能指标的变化和调整	146
2.13 结论与建议	147
参考文献	149
第 3 章 天津图书馆组合钢框架-支撑与复杂空间桁架相融合的结构体系的设计方法研究	150
3.1 图书馆工程概况	150
3.2 图书馆主体结构体系选型分析研究	151
3.3 图书馆主体钢结构静力性能分析研究	155
3.4 图书馆主体钢结构动力特性及抗震性能分析研究	158
3.5 图书馆主体结构振动台试验及有限元模拟	162
3.6 图书馆整体结构及局部悬挑结构稳定性性能分析研究	221
3.7 局部悬挑结构的竖向振动舒适度性能	226

3.8	图书馆典型节点设计及分析研究	233
3.9	铸钢节点静力性能试验有限元分析	250
3.10	方钢管混凝土柱-H型钢梁隔板贯通节点抗震性能研究	258
	参考文献	288
第4章	大型特殊结构布置条件下的钢结构工程设计、施工及关键技术研究	290
4.1	工程概况	290
4.2	项目的技术难点和技术路线	292
4.3	抗扭桁架蒙皮效应的数值模拟分析	294
4.4	蒙皮效应在天津大剧院工程的应用研究	309
4.5	天津大剧院悬挑钢结构变形控制技术	321
4.6	混凝土浇筑顺序研究	340
4.7	钢屋盖与吊挂层钢棒监测	348
4.8	天津大剧院钢屋盖焊接分析	375
4.9	天津大剧院幕墙钢结构选型设计	389
	参考文献	406
第5章	超大规模建筑群可再生能源利用与综合蓄能技术研究	409
5.1	绪论	409
5.2	国内外研究概况	411
5.3	超大规模建筑群三工况地源热泵实施方式研究	426
5.4	超大规模建筑群动态分布式负荷变化规律及负荷预测模型	438
5.5	冰蓄冷空调系统的优化运行控制策略	444
5.6	大规模地下换热器跨季节蓄能与地温场热平衡	467
5.7	区域供热供冷站运行能效理论计算与实际测试分析	479
5.8	结论与展望	505
	参考文献	507
第6章	光伏发电系统的即发即用不储能关键技术及应用研究	511
6.1	绪论	511
6.2	光伏系统国内外概况	514
6.3	光伏组件特性研究	519
6.4	光伏并网系统拓扑结构与控制技术	535
6.5	最大功率点跟踪方法研究	549
6.6	光伏发电系统的能量预测	562
6.7	光伏发电系统防孤岛检测方法	575
6.8	光伏电池板的清洁与维护	584
6.9	即发即用不储能光伏系统的实施技术方法研究	589
6.10	即发即用不储能光伏并网系统示范工程的效益	603
6.11	结论与展望	605
	参考文献	607

第 1 章 复杂地质条件下钢管柱精确定位技术

1.1 概论

随着我国城市化进程的加快,为满足日益增长的市民出行、轨道交通换乘、商业、停车等功能的需要,开发和建设大型地下空间已成为一种必然。一方面地下空间开发规模越来越大,基坑的深度也越来越深^[1];另一方面,这些深大基坑一般都位于密集城市中心,基坑工程周围密布着地下管线、建筑物、交通干道、地铁隧道等地下构筑物,对基坑周边设施环境保护要求高。

逆作法施工一般是先沿建筑物地下室轴线施工地下连续墙,或沿基坑的周围施工其他临时围护墙,同时在建筑物内部的有关位置浇筑或打下中间桩和柱,作为施工期间于底板封底之前承受上部结构自重和施工荷载的支承;然后施工地面一层的梁板结构,作为地下连续墙或其他围护墙的水平支承,随后逐层向下开挖土方和浇筑各层地下结构,直至底板封底;同时,由于地面一层的楼面结构已经完成,为上部结构的施工创造了条件,因此可以同时向上逐层进行地上结构的施工;如此地面上、下同时进行施工,直至工程结束。

采用逆作法施工,由结构梁板作支承,其水平轴向刚度大,挡土安全性高,围护结构和土体的变形小,对周围的环境影响小,因此在很多工程中应用。

1933 年日本首次提出了逆作法的概念,并于 1935 年应用于东京都千代田区第一生命保险相互会社本社大厦的建设;20 世纪 50 年代末意大利米兰地铁施工首次采用逆作法以来,欧洲、美国、日本等许多国家的地铁车站都用该方法建造。在国内,1955 年哈尔滨地下人防工程中首次应用了逆作法的施工工艺;20 世纪 90 年代初上海地铁一号线的常熟路站、陕西南路站和黄陂南路站三个地铁车站成功实践了支护结构与主体结构相结合的方式,进一步推动了其在上海地区更多基坑工程中应用。与此同时,国内其他地区如北京、广州、杭州、天津、深圳等地也均开始应用支护结构与主体结构相结合的方式。21 世纪以来,随着大城市的基坑向“大、深、紧、近”的方向发展和环境保护要求的提高,支护结构与主体结构相结合在国内迅速发展,成为软土地区和环境保护要求严格条件下基坑支护的重要方法。

竖向支承体系设计是逆作法施工的关键环节之一。在地下室逆作施工期间,基础底板、承台及墙、柱等竖向受力构件尚未形成,地下各层和地上计划施工楼层的结构自重及施工荷载均由竖向支承体系承担。有机地结合主体结构柱位置设置的钢立柱和立柱桩,使其能够同时满足基坑逆作实施阶段和永久使用阶段的要求是逆作法施工的关键环节之一。

对于一般承受结构梁板荷载及施工荷载的竖向支承系统,结构水平构件的竖向支承立柱和立柱桩可采用与主体地下结构柱及工程桩相结合的立柱和立柱桩的“一柱一桩”形式。

“一柱一桩”指逆作阶段在每根结构柱位置仅设置一根钢立柱和立柱桩，以承受相应区域的荷载。当采用“一柱一桩”时，钢立柱设置在地下室的结构柱位置，待逆作施工至基底并浇筑基础底板后再逐层在钢立柱的外围浇筑外包混凝土，与钢立柱一起形成永久性的组合柱。一般情况下，若逆作阶段立柱所需承受的荷载不大或者主体结构框架柱下是大直径钻孔灌注桩、钢管桩等具有较高竖向承载能力的工程桩，应优先采用“一柱一桩”。“一柱一桩”的支承柱的定位和垂直度必须严格满足要求。一般规定，立柱中心线和基础中心线允许偏差 $\pm 5\text{mm}$ ，标高控制在 $\pm 10\text{mm}$ 内；垂直度控制在 $1/1000 \sim 1/300$ 以内，而且最大偏差不大于 15mm 。

逆作法施工“一柱一桩”主要关键问题有以下几个方面：①钢管柱定位方法的选择、垂直度调整和精度控制方法；②钻孔桩混凝土浇筑过程中对钢管柱扰动影响及其控制措施；③钢管柱的安装误差对地下结构的影响及其控制措施。

对于软土地区，钢管混凝土柱的安装定位是在地下或水下完成的，其施工难度大、工艺复杂是其他构件无法比拟的。当由于施工不当引起偏心作用时，钢管混凝土柱的承载力将大幅降低。因此，钢管混凝土柱的精确定位安装技术在地下工程特别是富水地区的地下工程中显得非常重要。钢管混凝土柱的定位误差主要来源于制作误差和安装误差两个环节。制作过程是在地面完成的，因此管段的连接误差控制相对简单。而钢管柱的安装属于隐蔽工程，其关键是垂直度控制，主要包括垂直度监测、纠偏与控制系统的建立等三个方面。所以，加强富水软弱地层中钢管混凝土柱的定位研究具有重要的理论意义和工程应用价值。

钢管混凝土灌注桩在工序上是待钻孔后浇筑混凝土桩，浇筑到一定程度后下放钢管，之后继续浇筑剩余部分的桩混凝土和钢管内混凝土，最终形成“一柱一桩”。一般情况下，钢管的定位与垂直度测控只能采用吊线法、经纬仪法等传统方法，其垂直度难以精确控制和调整。在吊装后的桩柱混凝土浇筑过程中，由于对钢管的扰动与冲击，不可避免地会影响和改变钢管的初始垂直度从而产生初始偏心，初始偏心的存在有可能在后续工作中被进一步放大，同时对其他构件的内力和变形产生复杂影响。

目前，钢管柱安装定位方法有多种，常用的定位调垂方法有：①气囊调垂法；②地面校正架法；③钢护筒定位器两点调节法；④HPE 液压垂直插入钢管柱工法；⑤螺旋千斤顶两点定位法等。尽管各种方法采用手段各有不同，但主要核心思想一致，即两点调垂方法。

目前，最常用的钢管柱定位方法是 HPE 液压垂直插入钢管柱工法。在灌注桩混凝土浇筑后且混凝土初凝前，为保证吊装时钢管柱不产生变形、弯曲，通常采用两台吊车抬吊，将钢管垂直缓慢放入液压垂直插入机上，然后液压插入机将钢管抱紧，同时用两台经纬仪和一个垂直传感器复测钢管柱的垂直度，由上下液压垂直插入装置同时驱动，通过其向下的压力将底端封闭的钢管柱插入灌注桩混凝土中。重复以上步骤，直到插入符合设计标高位置^[2]。HPE 插入钢管柱工法垂直度小于 $L/500$ ，其工法避免常规永久性钢管柱安装人工入桩孔内施工作业，降低安全风险。而对于垂直度要求控制在 $L/1000$ 以内时，常采用螺旋千斤顶两点定位法。其施工工艺流程为：施工地表测量放线—钻机成孔—孔内安装钻孔桩钢筋笼—施工地表安装定位平台—吊装钢管柱入钻孔—地表定位平台定位钢管柱顶部—激光水准仪测量钢管柱垂直度—螺旋千斤顶定位钢管柱下部—水下浇筑钻孔桩混凝土至钢管柱

设计埋深—钻孔桩内混凝土达到设计强度的 70%—浇筑钢管柱内混凝土至钢管顶等。

地表定位平台可以对钢管柱顶部进行精确的平面定位^[3-4]。通过全站仪测量出钢管柱的平面位置,当钢管柱吊装入钻孔内后,通过调节定位大板螺旋千斤顶移动定位大板的方法,对钢管柱进行初步定位。然后调节精确定位螺旋千斤顶,以便精确定位钢管柱顶部。通过激光垂准仪可以对钢管柱的垂直度进行测量,以便进一步提高其垂直度。其做法是将激光垂准仪安设在钢管柱顶部,并对准钢管柱中心,通过红色激光将钢管柱中心投影到钢管柱底部平面上^[5-8]。使用螺旋千斤顶可以完成对钢管柱底部的定位,其方法是施工工人通过爬梯下到钢管柱底部,并测量红色激光在钢管柱内的投影点与钢管柱中心是否重合。当两者存在偏差时,手动调节四个螺旋千斤顶中的一个或几个,直到钢管柱中心与激光投影点重合为止。随后,固定螺旋千斤顶从而完成钢管柱底部的定位。由于钢管柱定位要求精度较高,因此一般使用定位精确度较高的地脚螺栓固定。定位法兰在钢管柱加工厂与钢管柱底法兰同厂加工,并使用同一钻孔模具,以保证所有定位法兰的孔眼尺寸与钢管柱底法兰完全吻合。同一位置设置十字交叉凿点(八个点)以确定方向^[9-11]。采用以上方法后,安装偏差就可以控制在规范及设计要求的范围之内。

钢管的垂直度监测主要是通过倾角传感器完成,系统的精度主要由倾角传感器的精度控制。目前,常用于垂直度监测的传感器有应变片式、钢丝振弦式、加速度测斜仪、陀螺水平仪、电感式水平仪、激光测斜仪等。激光垂准仪定位测量钢管垂直度的方法较为常用。首先,将激光垂准仪安设在钢管顶部并对准钢管中心,红色激光将钢管中心投影到钢管内,工人在钢管内测量红色激光在钢管内的投影点,调节螺旋千斤顶以便使投影点与钢管中心重合。当监测系统监测到在混凝土浇筑过程中钢管出现倾斜时,必须立即采取有效措施调直。因此,选择一个能及时推动钢管在水平方向进行小位移调整的外力系统是保证钢管垂直度的重要环节。目前,调整的外力系统主要有伺服液压系统、气压调整式气囊装置以及机械千斤顶等。其中,伺服液压系统控制精度最高,但由于成本高而多限于实验室实验;气压调整式气囊装置一般通过气囊的充气、放气来施加作用力,因此往往存在一定的滞后性,且动力较小难以推动重达十余吨的钢管柱;机械千斤顶一般根据监测数据给钢管加压,具有很大的随意性且控制精度也较低^[12-13]。

钢管柱是用钢板卷制而成的,接缝处一般通过焊接连接。所以,焊缝是地下水可能进入钢管内部的唯一通道,因此高质量的焊接工艺是保证钢管良好密封性能的决定条件。另外,钢管接头的密封也是杜绝地下水进入钢管的重要环节。目前的施工工艺一般均在柱底焊有焊钉,柱钉围焊的焊缝为 6mm,在钢柱底焊有柱底钢圈,焊缝为连续焊 10mm,柱顶往下 100mm 处焊内加强钢圈,焊缝为间隔 200mm,焊长 50mm,焊高 10mm。在内加强钢圈上焊有内衬管,焊缝为间隔 300mm,焊长 30mm,焊高 6mm。承重销与钢管的相交焊缝采用连续焊缝,缝高 10mm。竖向缝间隔一般为 100mm,焊长 30mm,焊缝高度为 6mm。柱内承重销腹板交接处采用连续焊缝 10mm。钢柱的上下都有内衬管和内置加强钢板圈,故在开孔部位,钢柱的补强采用外贴 50×50×8 预制穿孔钢板与钢柱焊接,焊缝形式为连续 6mm 焊缝。主钢柱对接处采用单坡全熔透焊,采用二氧化碳气体保护焊,将上下钢管的截面、内衬管一次焊成,连续焊缝等级要求达到二级,并要求 100% 超声波磁粉探伤检测合格,以确保钢管柱各部位的密封。

以上施工工艺基本能满足水密性要求,但焊接过程复杂,劳动强度大,生产效率低。

且在工程现场实施焊接,质量受工地环境和焊工熟练程度影响,施工质量难以保证。所以,研究更加合理的钢管连接方法和焊接工艺对保证钢管的水密性和确保钢管在施工过程中不产生形变从而完成精确定位是非常重要的。

桩的水下混凝土灌注是成桩的关键环节,但往往由于施工工艺不当,断桩、堵管、夹泥、蜂窝、少灌等质量问题也时有发生。在类似天津这样的地下水丰富地区,一方面钢管吊装后的桩柱混凝土浇筑多为水下浇筑与高抛,水下浇筑的返浆或高抛混凝土的冲击力不可避免地会产生对钢管的水平推力。当钢管的自身重量无法与这些水平推力平衡时,钢管即产生倾斜,并且这种倾斜对未来钢管柱和桩的受力性能和变形影响很大。另一方面,在钻孔桩混凝土浇筑过程中,混凝土会对钢管柱外壁产生向下的摩擦力,如果钢管四周不同方向上的摩擦力大小不同,就会使钢管柱的受力不均匀,从而产生向某一方向的倾斜^[14]。因此,运用科学合理的混凝土灌注工艺以确保工程质量显得极为重要。

从混凝土材料组成看,其粗骨料宜选用卵石,石子含泥量应小于2%,以提高混凝土的流动性,防止堵管^[15-16]。一般混凝土的初凝时间仅3~5小时,只能满足浅孔小桩径灌注要求,而深桩灌注时间为5~7小时,因此应加缓凝剂,使混凝土初凝时间大于8小时。混凝土搅拌方法和搅拌时间的选择应以混凝土具有良好的保水性和流动性为原则^[17]。混凝土分段抛落振捣浇灌的关键是混凝土抛落后不产生离析现象。根据钢管柱的长度,结合操作安全与施工方便等原则配置振捣机械,目前一般选用插入式振捣器。振捣器选择如果不当,则在振捣过程中有可能会捣碰到钢管柱内壁,从而可能使钢管柱的位置和方向发生某种改变。下料漏斗一般采用钢板制作的钢管柱顶漏斗,漏斗上口尺寸与下口尺寸都要量测好,以便混凝土下料时管内空气能顺利排出。

从混凝土灌注操作技术上讲,首批灌注混凝土的灌注量与泥浆至混凝土面的高度、混凝土面至孔底的高度、泥浆的密度、导管内径及桩孔直径等因素有关。孔径越大,首批灌注的混凝土量越多。由于混凝土量大,搅拌时间长,因此可能出现离析现象。首批混凝土在下落过程中,由于孔壁吸水,混凝土的和易性会变差,受到的阻力会变大,常出现导管中堵满混凝土,甚至漏斗内存留部分混凝土的现象。此时应加大设备起重力,以便迅速向漏斗添加混凝土,然后再稍拉导管。若起重能力不足,则用卷扬机拉紧漏斗晃动,以便使混凝土顺利下滑至孔底。下灌后,继续向漏斗加入混凝土,进行后续灌注。后续混凝土灌注过程中,当出现非连续性灌注时,漏斗中的混凝土下落后,应当牵动导管,并观察孔口返浆情况,直至孔口不再返浆,再向漏斗中加入混凝土。

牵动导管主要有以下两方面的作用:

(1) 有利于后续混凝土的顺利下落,如果混凝土在导管中存留时间长,随着流动性的变差,与导管间的摩擦阻力会随之增强,从而造成水泥浆的缓缓流坠而骨料滞留在导管中的现象,最终导致断桩等后果。同时,由于粗骨料间有大量空隙,后续混凝土加入后形成的高压气囊,会挤破管节间的密封胶垫而导致漏水,有时还会形成蜂窝状混凝土,严重影响成桩质量。

(2) 牵动导管可以增强混凝土向周边扩散,从而加强桩身与周边地层的有效结合,以增大桩体摩擦阻力,同时加大混凝土与钢筋笼的结合力,最终达到提高桩基承载力的效果。

钢管柱的理论安装误差来源于与现实存在差异的分析计算。当然钢管柱自身的质量也会导致出现安装误差,而实际安装误差则来源于安装操作的各个环节。

为减小钢管混凝土柱的实际安装误差，一般通过对钢管等原材料进行第三方平行抽检，加强钢管柱在装卸及运输过程中的控制、严格控制底板平整度、严格底部焊接（包括钢管柱与柱脚板的焊接）等措施予以实现^[18-20]。测量监理工程师准确控制液压插入机就位、定位、水平，并严格控制钢管柱的垂直度及插入深度，直至达到设计标高为止。调整柱脚板高程，并严格检查底板的平整度。柱脚板定位后，将底板下锚筋与底纵梁钢筋焊接牢固，浇筑底纵梁混凝土时振捣不能碰到底板及其锚筋、定位杆，以防柱脚底板移位。

1.2 施工测量

在钢管柱安装过程中，主要存在三项误差，即垂直误差、标高误差和轴线偏移，对不同的误差来源采用不同的控制手段。测量是控制误差的第一步，因此做好测量工作具有举足轻重的作用。

1.2.1 控制测量

控制测量包括平面控制测量和高程控制测量两个方面。控制测量是准确定位和正确施工的基础，因此加强控制测量非常重要。

1. 平面控制测量

按照由整体到局部先控制后细部逐级控制的原则进行平面测量。对于钢管桩-柱结构形式来讲，一般设三级控制网，控制网分级如表 1.2.1 所示。

平面测量控制网的分级			表 1.2.1
控制网分级	布网形式	测量等级	主要作用
首级控制网	交会插点	四等	总体定位，布设监测二、三级网
二级控制网	附和导线	精密导线	地面施工放线，布设三级网
三级控制网	方格轴线控制网	一级建筑方格网	施工轴线定位，构件放线

首级控制网是测控网的根本，应设在不受干扰且不影响施工作业的地方。点位设置在距基坑边缘 5~20m 范围内设置围栏，禁止施工机械和物料进入。首级控制网的部分点位也可设在不受影响的周边建筑物楼顶。

首级控制网具有容易扩展、放线精度高、点位稳定、使用方便等特点。首级控制点全部采用强制对中标志，不使用三脚架。利用它进行扩展下级网或放线时，仪器和棱镜强制对中，消除对点误差，观测过程中仪器和目标稳定，不易受风力等环境因素影响。为防止施工现场控制点的变形，点位应远离基坑，并采用承台基础、设立围栏等措施保证点位稳定，以满足施工全过程控制测量的需要。设在周边楼顶的点位，必须远离基坑，以便点位更加稳定可靠。建筑物楼顶的点位应有很好的通视条件，以便实现对现场所有点的监测和困难部位的放线。

二级控制网的作用是作为首级控制网的扩展和补充，以控制所有首级控制网通视盲区；与首级点一起完成围护结构、桩、钢管柱及顶板的施工放线，并为布设三级网点提供基准点。二级控制网是由点位组成的附和导线，一般布置在两个首级控制点中间或缺少首级控制点的区域；和首级控制网合并后，形成对施工区域的均匀控制。二级控制点尽量布设在和建筑物横轴线平行的辅助轴线上，以方便轴线测设和三级控制网的扩展。

施工区域之内的二级控制网应浇筑在不小于 1000mm×1000mm×1000mm 的混凝土墩台上，预埋直径 12mm 以上的钢筋，中间刻划十字线作为标志。施工区之内可用 1.5m 长钢管镶木桩标志。挖土到顶板下皮标高时在点位处立钢管和顶板钢筋焊牢，路面恢复后重新测定点位，并用钢钉十字线作标志。

水平角一般采用Ⅱ级全站仪进行测量。观测时打开全站仪双轴补偿系统，输入即时气象数据。边长的测定一般需要往返各两测回测定，每测回取 5 次测量平均值。单程各测回差小于 3mm，往返测差小于 $2(a+bD)$ mm。平差指标应符合《地下铁道、轻轨交通工程测量规范》3.3.1 条精密导线精度要求。

三级控制网为轴线控制网，直接指导施工且在地面定位，施工过程中需多次布设。因此，要求该网在满足施工精度要求的前提下，做到简单、实用、方便放线。三级网为二级网直线控制下的方格网，由控制点组成闭合环，所有环线都布设在偏离设计轴线的辅助轴线上，并与设计轴线平行或垂直。

2. 高程控制测量

高程控制测量分两级进行，布网形式及功能如表 1.2.2 所示。

高程测量控制网的分级 表 1.2.2

控制网分级	布设形式	测量等级	功 能
首级控制网	附和水准路线	二等	施工及监测
二级控制网	附和水准路线	四等	高程传递

施工现场两个首级平面控制点兼作首级水准点，强制对中螺栓即为点位标志，与已知水准点组成附和水准路线。按《工程测量规范》3.2.1 条、3.2.6 条二等水准测量技术要求施测，闭合差应 $\leq 4\sqrt{L}$ 。

二级水准点平均点距 50m 左右，均匀分布在施工区域之内，与首级水准点组成附和水准路线。二级水准点在开工前进行布设，用于指导地下连续墙、钻孔灌注桩高程施工。用 1.5m 长 $\phi 22$ 以上钢筋打入地基土中作为标志，用水平墨线和油漆进行标识。水准测量技术要求如表 1.2.3 所示。

水准测量技术要求 表 1.2.3

等级	仪 器	观测次数	视线长	前后视较差	前后视累计差	基辅分划读数差	高差较差	闭合差
二等	DS1 钢钢尺	往返各一次	50m	1m	3m	0.5mm	0.7mm	$4\sqrt{L}$
四等	DS1 钢钢尺	往返各一次	75m	5m	10m	3mm	5mm	$20\sqrt{L}$

1.2.2 工程测量施工工艺

控制网建立之后，工程测量施工工艺流程一般为：计算机输出放线数据—验算放线数据—控制点检验—放线—闭合差检验—报验—验线—资料填报—线位交接等。施工放线包括桩位控制、钢管柱定位及垂直度控制等。

以三级控制方格网为准，布设轴线网。纵横轴线挂线后，拉钢尺以确定桩位。开钻前用全站仪极坐标法测出护筒中心位置坐标，当与理论坐标之差在 30mm 之内时可以开钻，否则应重新调整护筒位置。

所有钢管柱所在轴线均建轴线控制桩。打桩后进行控制桩加密，保证控制桩距柱中心

不大于 20m。钢管吊装过程用磁力线坠找垂直，同时两台经纬仪从 90° 交叉方向对吊装进行控制，每下降 3m 进行一次垂直度测量和校正。吊装到设计标高时将钢管中心调整到两台经纬仪视线交点位置，同时再次用全站仪检验其中心位置坐标。当误差在 5mm 之内时，即可进行钢管加固。

地面施工高程测量以二级水准点为基准点，采用常规方法控制标高。导墙模板支设每 10m 控制一点，中间拉线控制。灌注桩每桩测定护筒上口标高，控制孔深和钢筋笼位置。钢管柱吊装钢管上口标高均以二级水准点为依据，用两台水准仪同时测定，测定误差在 5mm 之内取中数作为控制依据。

1.2.3 工程测量数字化和信息化

在传统测量方法中，数据的传输和计算均由测量员手工完成，难免出现一些误差和错误。使用 GPS 接收机、全站仪、数字水准仪进行外业测量，自动采集观测数据，传输给计算机，利用软件进行数据处理，最后输出测量成果。这样能大大提高工作效率，同时减小误差和错误。

一项复杂的工程，参与建设的单位很多，建立局域网实现测量资源共享，确保信息快速有效传递，可以大幅度提高工作效率。利用现代网络和通信手段建立与相关测量单位（测量总控单位、设计单位、相邻标段施工单位、甲方、监理、第三方监测单位等）的有效沟通，可以及时解决与外界相关的工程测量方面问题。

1.2.4 质量保证措施

所有控制点均应有明显标识，防止误用。控制点的保护措施应安全有效。占压、撤销控制点必须经专业测量工程师批准；定期对控制点进行监测；挖槽降水期间增加监测频率；发现控制点位移；水准点沉降，及时对成果数据进行修正。

项目工程部应设专职计量员，按相关要求进行管理，并定期对仪器的不确定度进行评定和报告。工程使用的全部测量仪器，除按要求周期制订检定计划按时送检外，测量人员还应随时检查仪器的技术状态，发现问题及时送检，并对有疑问的点位重新测量。进场后按仪器使用情况确定仪器保管责任人，责任人负责仪器的维护保养。测量仪器应在远离高温、高湿、振动环境下保管。

严格按照以下操作规程进行测量。

(1) 尽量选择在目标成像清晰、大气稳定条件下进行外业测量。雨天、雾天、风力超过五级停止外业作业。

(2) 所有仪器安置在三脚架上 5 分钟之后方准进行观测，以消弱外界环境对仪器的影响。

(3) GPS 点位要远离大功率无线电发射源、高压电线等，以免电磁场对信号的干扰，观测选择气压稳定、低湿度时间段进行。

(4) 全站仪、经纬仪角度测量时，不论何种原因造成气泡偏离一格，本测回成果作废，并调整仪器重测。测设控制网时，一测回之内不准调焦，仪器应设遮阳伞。

(5) 全站仪距离测量均采用精测模式，取 5 次测量平均值。钢尺丈量重要点位时，使用弹簧秤加入标准拉力进行尺长、温度修正。

(6) 仪器对中应作 180° 检验，垂准仪投点应在 0° 、 90° 、 180° 、 270° 四个方向上进行，投线高度大于 2m 时必须从下向上投点。

(7) 所有水准仪每周进行一次*i*角检验,对于*S₃*型,要求 $i \leq 20''$;对于*S₁*型,要求 $i \leq 15''$ 。超差仪器必须校正后方准使用。

(8) 彻底消除建筑施工测量记录不规范的弊端,建立统一的外业观测手簿、放样记录手簿。每次测量、放线数据都应翔实记录,仪器自动采集数据也必须记录备查。观测员读数后,记录员必须复述后记入手簿。记录数据允许划改,不允许涂改。角度秒值、距离毫米值不准更改。所有记录手簿由资料员收集存档。

(9) 测量人员必须确保仪器设备的安全,观测过程观测员不准离开仪器,并随时观察施工现场机械动态,避开或消除安全隐患。如果需要迁移测站,仪器要装箱搬运。

应将所有控制点和放线点在CAD图上进行编号,并将编号及坐标输入全站仪存储,放线前从CAD图上拾取所需数据并输出放线数据表,放线时与全站仪坐标放样程序自动生成的数据进行验核,两者一致方可进行点位放线。否则查出错误原因,重新组织数据。每次放线抽取10%且不少于三个点进行手算验核。

实测过程中,当闭合差超出规范要求时,由测量组长查出超差原因,并写出重测报告,报专业工程师批准后实施重测,同时将超差及重测情况记录存档,严禁随意调整点位处理超差。

所有线位,测量人员必须百分之百自检,自检合格后填写测量放线资料。地面定位线、垫层墨线由项目总工程师签字并组织验线。其余线位由专业测量工程师签字后报建设单位或监理验线。验线合格后,测量组长与主管工长、施工队技术员进行交接,三方签字后存档。严禁不经验线进入下道工序的情况发生。

1.3 施工准备

准备工作应从技术准备、材料准备、钢管柱的外加工、定位平台布置、施工机械配备等多个方面考虑。

1.3.1 技术准备工作

技术准备包括熟悉、审查施工图以及技术交底等过程和环节。熟悉和审查施工图纸及其设计文件,在此基础上做好施工图设计交底。了解和审查图纸要弄清设计意图和设计要求。为便于贯彻实施,审查时还应应对图纸是否存在错误、不明确或疑点进行检查,归纳后通过设计交底会议向设计单位提出,以便达成统一意见。检查技术参数、结构尺寸、标高数据、图面反映是否清晰或有遗漏;图与图之间是否存在矛盾;图纸要求的做法在实际操作中是否可行等。

由工程部长向参与施工及管理的项目管理人员、技术人员和机组班长进行交底。同时,施工员应在施工前按工序和操作要点向各机组成员再进行技术交底。

1.3.2 施工设备、材料准备

根据工程需要,提前做好施工机械设备的计划报批和调拨工作,于开工前五日安排和组织调运进场,并责成专人于规定的开工日前,负责落实好设备的维修保养和安装调试试运转工作。机械设备配置和控制的重点是选型合理、配套完善,机械性能状态经现场试运转验收,证明能满足连续施工的需要。对于实施监视和测量所需的器具(水准仪、经纬仪和50m钢卷尺)的符合性进行开工前的检查验收。测量仪器控制的重点是,自检无明