

依山而建高落差 倾斜建筑 关键施工技术

——贵阳花果园办公一号楼(艺术中心)工程



◆ 程 群 何夕平 罗宗礼 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

依山而建高落差倾斜建筑关键施工技术

——贵阳花果园办公一号楼(艺术中心)工程

程 群 何夕平 罗宗礼 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

依山而建高落差倾斜建筑关键施工技术:贵阳花果园办公一号楼(艺术中心)工程/程群,何夕平,罗宗礼著. —武汉:武汉大学出版社,2016. 12
ISBN 978-7-307-18788-7

I. 依… II. ①程… ②何… ③罗… III. 办公建筑—建筑施工
IV. TU243

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 274911 号

责任编辑:郭芳 王小倩 责任校对:周卫思 装帧设计:张希玉

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件: whu_publish@163.com 网址: www.stmpress.cn)

印刷: 湖北画中画印刷有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 17.25 字数: 264 千字

版次: 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-18788-7 定价: 78.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

主要研究人员

(按姓氏笔画排名)

中建四局第六建筑工程有限公司的研究人员：

刘 睿 陈兴涛 罗宗礼 周子璐
董 浩 程 群 管聪聪

安徽建筑大学的研究人员：

刘运林 李 斌 何夕平 张运帅
陈 燕 郑 磊 常东明

前 言

随着我国经济建设飞速发展,基础建设方兴未艾,建筑外型呈现出多样化、异形化趋势。新技术、高科技在建筑行业里的应用与日俱增。新技术、高科技的研究和异形建筑物的信息化施工,对于确保工程质量和安全起到至关重要的作用。

本书依托贵阳花果园办公一号楼(艺术中心)工程,根据该工程施工过程中课题研究及应用情况,梳理、总结了施工一线积累的经验及研究成果,希望能为今后类似工程的建造提供借鉴。

贵阳花果园办公一号楼(艺术中心)为依山高落差倾斜式的多功能建筑,该建筑结构形式多样化,随着建筑物高度及荷载增加,建筑物的重心及受力情况均发生变化,施工难度加大,故需在施工过程中了解结构体系的变形机理。为此,根据本工程依山高落差、高空大跨度悬吊结构、山顶可位移桩、依山倾斜(斜墙斜柱、型钢混凝土)结构等特点,对高落差倾斜建筑施工进行研究,对建筑业的倾斜异形建筑具有一定的指引作用,对高落差建筑的水平位移与沉降研究具有推动、发展、深化作用,希望能为国内建筑业在高落差倾斜建筑的研究及应用方面做出微薄的贡献。

本书写作大纲拟订及全书统稿工作由程群负责,其他主要研究人员均参与了本书的编写工作,各章节的内容如下:第1章主要介绍项目情况,以及依山高落差倾斜建筑施工特点、重难点、研究方法等;第2章主要介绍高落差倾斜建筑山体边坡支护与大直径微变形减震工程桩的关键施工技术;第3章主要介绍高落差倾斜建筑主体结构关键施工技术,尤其是超厚超高大倾角剪力墙及超高大截面型钢混凝土斜柱施工技术具有一定的创新性,解决了实际施工难题;第4章主要介绍高落差倾斜结构施工过程模拟分析,对斜墙、斜柱及大跨度梁采用模拟最不利施工工况进行受力变形分析,并应用分析出的数据成果指导现场安全施工,同时,对相应的关键构件进行现场变形监测,把模拟分析值与现场监测值进行偏差对比,从而进一步验证施工

过程模拟分析方法的科学性与可行性,还介绍 BIM 技术在本工程复杂结构施工与深化设计方面的应用;第 5 章主要介绍本工程中具有特色风格的装饰装修工程及设备安装工程的特点与施工情况。

本书在编写过程中得到了许多人的大力支持和帮助,同时基于书后较多的参考文献,其作者的贡献是显而易见的,在此致以诚挚的谢意。

由于时间仓促,著者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

著 者

2016 年 9 月

目 录

1 项目简介与施工重难点分析	(1)
1.1 项目简介	(1)
1.2 施工重难点分析	(3)
1.2.1 支护与桩基工程关键施工技术	(3)
1.2.2 高落差倾斜建筑主体结构施工技术	(5)
2 高落差倾斜建筑支护与桩基工程关键施工技术	(14)
2.1 陡倾角高大山体边坡支护	(14)
2.1.1 陡倾角高大山体边坡支护设计	(14)
2.1.2 陡倾角高大山体边坡支护施工	(15)
2.1.3 山体边坡支护安全性分析	(23)
2.1.4 实施效果	(28)
2.2 山坡大直径微变形减震工程桩施工	(28)
2.2.1 水磨钻桩施工技术	(28)
2.2.2 微变形减震桩隔离层施工技术	(31)
2.2.3 微变形减震桩施工工艺	(32)
2.2.4 实施效果	(36)
3 高落差倾斜建筑主体结构关键施工技术	(37)
3.1 超厚(1 m)超高(72 m)大倾角(67°)剪力墙施工	(37)
3.1.1 国内外类似工程的比较	(37)
3.1.2 几种施工方案对比分析	(40)
3.1.3 大斜率钢筋定位技术	(41)
3.1.4 斜爬模施工工艺与安全性分析	(42)
3.1.5 钢管反拉加固可调系统	(57)
3.1.6 实施效果	(57)
3.2 依山超薄超高倾斜墙板施工	(59)
3.2.1 倾斜钢筋桁架模板技术	(59)
3.2.2 超薄超高倾斜墙板施工	(63)

3.2.3 实施效果·····	(64)
3.3 超高大截面型钢混凝土斜柱施工·····	(65)
3.3.1 国内外同类工程的比较·····	(65)
3.3.2 大型倾斜型钢定位技术·····	(67)
3.3.3 三面同步爬模技术·····	(70)
3.3.4 型钢混凝土斜柱钢筋施工·····	(72)
3.3.5 斜柱施工工艺·····	(74)
3.3.6 实施效果·····	(78)
3.4 大跨度倾斜结构高空型钢支撑高支撑施工·····	(79)
3.4.1 山体混凝土墙支撑设计与施工·····	(79)
3.4.2 高空型钢支撑设计与施工·····	(81)
3.4.3 高空倾斜结构满堂脚手架设计与施工·····	(81)
3.4.4 倾斜结构拉结支撑架体设计与施工·····	(82)
3.4.5 实施效果·····	(83)
3.5 大跨度、大截面型钢混凝土转换梁施工·····	(84)
3.5.1 高空跨山型钢混凝土梁施工·····	(84)
3.5.2 型钢混凝土梁吊装技术·····	(93)
3.5.3 型钢混凝土梁胎架施工技术·····	(94)
3.5.4 型钢混凝土梁模板安装技术·····	(96)
3.5.5 型钢混凝土梁钢筋施工技术·····	(103)
3.5.6 型钢混凝土转换梁混凝土工程·····	(105)
3.5.7 实施效果·····	(106)
3.6 超高大跨度蜂窝梁与钢筋桁架板组合施工·····	(107)
3.6.1 国内外同类工程的比较·····	(107)
3.6.2 施工工艺流程·····	(107)
3.6.3 胎架设计与施工·····	(108)
3.6.4 蜂窝梁及预埋件施工技术·····	(109)
3.6.5 高空蜂窝梁安装精度控制·····	(111)
3.6.6 高空复杂节点焊接技术·····	(112)
3.6.7 钢筋桁架板施工工艺·····	(112)
3.6.8 蜂窝梁与钢筋桁架板施工安全性分析·····	(119)
3.6.9 实施效果·····	(120)

3.7 山砂自密实高性能混凝土优化与应用技术	(121)
3.7.1 原材料的优选与配合比设计优化	(121)
3.7.2 实施效果	(133)
4 高落差倾斜结构施工过程模拟分析及 BIM 技术应用	(134)
4.1 主体结构施工阶段最不利工况分析	(134)
4.1.1 结构体系简述	(134)
4.1.2 依山高落差倾斜结构施工过程整体模型的建立	(135)
4.1.3 施工阶段不同工况时程模拟分析	(136)
4.2 超厚大倾角剪力墙施工阶段时变边界受力性能分析	(141)
4.2.1 模型参数设置	(141)
4.2.2 边界条件控制与加载求解过程控制	(142)
4.2.3 施工过程不同时变边界条件下的模拟结果分析	(142)
4.3 超厚大截面倾斜型钢混凝土柱施工阶段分析	(145)
4.3.1 倾斜型钢混凝土柱施工阶段数值模拟	(145)
4.3.2 倾斜型钢混凝土柱施工现场实测分析	(160)
4.3.3 施工控制实施	(164)
4.4 山坡大直径微变形减震桩施工阶段分析	(169)
4.5 大跨度大型型钢混凝土转换梁施工阶段分析	(173)
4.5.1 型钢混凝土梁施工阶段整体有限元分析	(173)
4.5.2 型钢混凝土梁有限元分析	(178)
4.5.3 型钢混凝土转换梁施工过程监测情况	(185)
4.5.4 数值模拟与现场实测对比分析	(189)
4.6 大跨度倾斜结构高空型钢支撑施工阶段分析	(190)
4.7 建筑物施工过程变形监测分析	(193)
4.7.1 监测目的和意义	(193)
4.7.2 本工程变形监测的等级确定	(193)
4.7.3 监测内容及流程图	(195)
4.7.4 基点的布设	(196)
4.7.5 沉降监测点的布设	(196)
4.7.6 层水平位移监测布设	(199)
4.7.7 测点保护	(203)
4.7.8 监测的频率	(203)

4.7.9	监测精度	(205)
4.7.10	监测预警值	(205)
4.7.11	监测结果及分析	(207)
4.7.12	监测结果与前期模拟值比较	(223)
4.8	BIM 技术的应用	(226)
5	装饰装修与设备安装工程关键施工技术	(230)
5.1	装饰装修工程施工	(230)
5.1.1	概况及难点	(230)
5.1.2	幕墙施工	(236)
5.1.3	保温施工	(239)
5.1.4	室内装饰施工	(241)
5.1.5	实施效果	(244)
5.2	设备安装工程施工	(245)
5.2.1	机电安装工程施工	(245)
5.2.2	通风系统施工	(247)
5.2.3	智能系统施工	(251)
5.2.4	其他新型系统施工	(256)
5.2.5	实施效果	(259)
6	结语	(261)
6.1	总结	(261)
6.2	展望	(262)
	参考文献	(263)

1 项目简介与施工重难点分析

1.1 项目简介

贵阳市花果园办公一号楼为依山高落差倾斜式的多功能建筑,该建筑结构形式多样,随着建筑物高度及荷载增加,建筑物的重心及受力情况均发生变化,使得施工难度加大,故需在施工过程中了解结构体系的变形机理。为此,根据本工程依山高落差、高空大跨度悬吊结构、山顶可位移桩、依山倾斜(斜墙斜柱、型钢混凝土)结构等特点,对其进行研究,实现仿真分析、施工、监控三位一体的信息化施工技术,将建筑施工管理推向一个新的高度。

贵阳市花果园办公一号楼坐落于花果园区,功能包括艺术、展览、办公、休闲、贵宾住宿等。该工程背面傍山而建,地下1层、地上11层,首层层高15 m,其他层层高6.5~9 m。建筑高度为105~132 m,呈长方形北东—南西向布置,建筑面积约 $1.1 \times 10^5 \text{ m}^2$ 。结构形式为现浇钢筋混凝土框架剪力墙结构,局部为型钢混凝土结构,建成后将成为贵阳市地标性建筑。

因本工程地处贵州省,山砂资源极为丰富,合理地生产山砂和利用山砂配制普通混凝土,可达到“因地制宜,就地取材”的目的,并可起到降低成本、供应充足的作用,以此保证混凝土浇筑的连贯性及浇筑质量。

该工程周边环境复杂,施工区域狭小,建筑物北侧为花果园大街,其为城市主干道,东侧为花果园B南区1[#]~13[#]楼项目施工区域,西侧为花果园D区施工区域,南侧山脚为“城市印象生活小区”。工程主体顺山势而建,根据设计要求,建筑物1~8层与山体不相连,山体距离倾斜钢筋混凝土剪力墙、倾斜型钢混凝土柱仅5~10 m。倾斜钢筋混凝土剪力墙、倾斜型钢混凝土柱依山势而上,于第8层(标高+58.00 m)采用大截面转换钢梁同山顶桩基相连,形成高落差结构,落差达60 m。M轴山顶区域桩基距离山体边坡仅2 m,P~V轴施工区域为山体坡段,坡度较陡,高低落差达30 m。

建筑物效果图如图 1-1 所示,剖面图如图 1-2 所示。

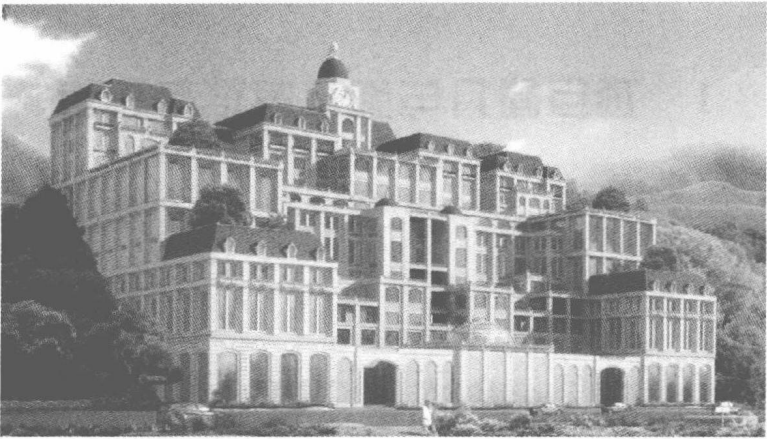


图 1-1 花果园办公一号楼效果图

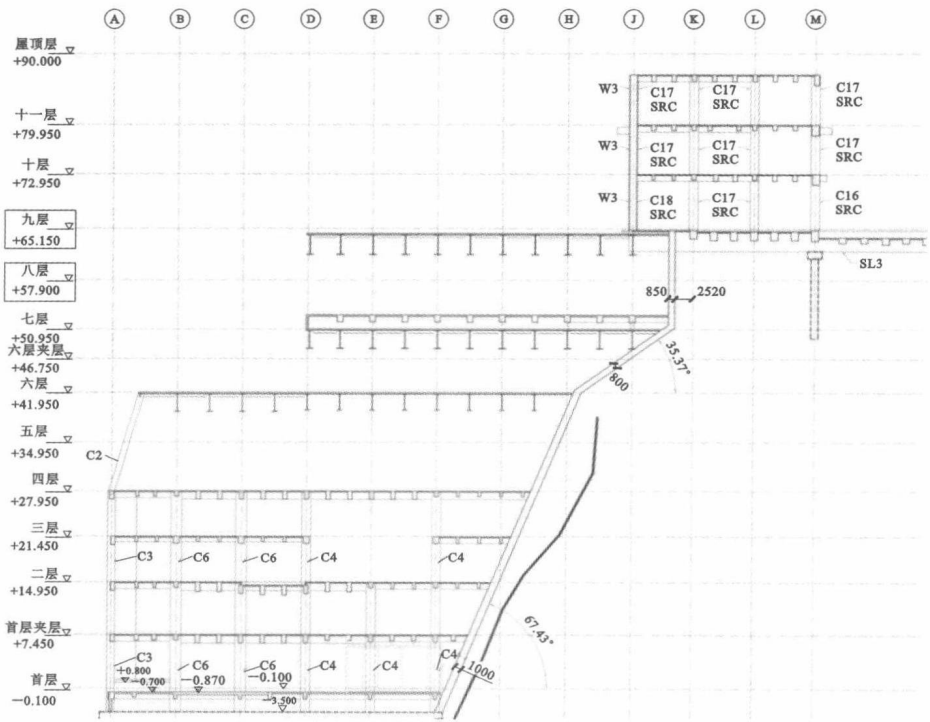


图 1-2 建筑剖面图

1.2 施工重难点分析

1.2.1 支护与桩基工程关键施工技术

1. 陡倾角高大山体边坡支护施工技术

山体支护采用预应力八孔锚索($8\phi 15.2$ 钢绞线, 孔径为 130 mm)进行锚固, 锚索长度为 20.0~25.0 m, 且主体结构穿插钢结构施工, 工序复杂。办公一号楼边坡高达 40 多米, 坡度陡, 岩体易破碎, 安全问题突出。边坡与结构效果图如图 1-3 所示。

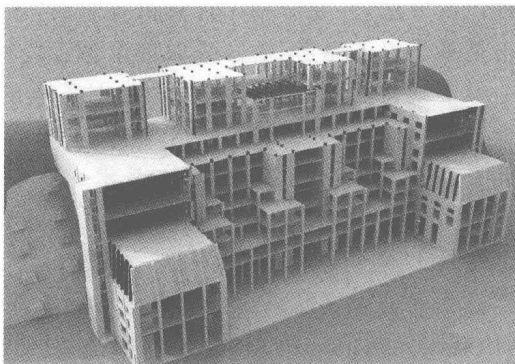


图 1-3 边坡与结构效果图

现实中任何岩体工程施工都将改变岩石的应力状态, 致使地质体的应力场发生变化而重新分布, 并产生应力变化量, 从而使得岩体移动和变形。由于岩体本身具有一定的承载能力, 当岩体变形未达到其允许变形的极限值时, 从强度理论来看山体是稳定的, 也是安全的。但对于在山上进行房屋设施建造来说则未必是安全的。近年来, 依山而建工程的规模及数量都在与日俱增, 边坡问题也日渐突出, 边坡工程越来越受到人们的重视, 因而边坡稳定性的研究也成为边坡工程的热点问题。山体边坡不管是从边坡的岩性、荷载作用下如何解体、边坡失稳成因, 还是从边坡的岩体受力机理及水文地理环境影响等方面进行的研究都是十分复杂的。诱发因素不同, 边坡的破坏机制各异, 而即使诱发因素相同, 不同成因的边坡变形破坏机制也表现不同。边坡变形阶段不同的边坡发育的地质灾害互不相同。由此可知,

边坡稳定性问题的研究十分复杂,并受多种不同因素的共同作用。因此想要对边坡问题进行准确的预测并解决边坡失稳引起的地质问题,弄清边坡的工程地质背景、认清边坡变形破坏机理,正确的分析方法是十分必要的。边坡稳定性有多种评价方法,定量评价和定性评价都有自身的局限性,可能影响到评价结果。定量评价着重于力学模型,在某些方面如边界的确定、参数的选取、单元网格的划分等不能与实际的边坡情况吻合,导致理论计算结果与实际不符。定性评价着重于工程地质条件,它只能类比出边坡大体的稳定情况及可能的发展趋势,缺少了模型及理论计算的支撑,降低了可信度。因此,若将定性方法和定量方法相结合对边坡稳定性问题进行评价分析,则可以防止因为一种方法评价而产生错误的判断。边坡稳定性的评价需要综合运用多种评价方法,并充分利用计算机等工具,才能得出更贴近实际状况的结果。正是基于以上思考,需要采取理论与实践相结合的方法,对贵阳花果园办公一号楼项目的陡倾角高边坡山体对工程的影响进行分析,以期能为工程安全施工提供科学的依据。

2. 山体边坡大直径微变形减震工程桩施工技术

因为本工程山顶基础为人工挖孔灌注桩,部分孔桩距离边坡较近,所以如何保证边坡稳定性是工程一大难点,针对这一难题设计者提出了微变形减震桩的解决措施。为保证微变形减震桩符合设计要求并达到微变形减震的目的,研究中利用有限元数值分析和现场监测共同对微变形减震桩施工过程进行了分析研究。

本工程中的微变形减震桩是竖向受荷的端承桩,其特点是:桩与土不接触,上部荷载直接由桩体传至桩底岩层,保证桩体水平受荷不会对边坡稳定性产生不利影响。微变形减震桩综合应用了水磨钻开孔施工技术、挤塑板减震隔离技术、双层挤塑板散拼技术等,确保了复杂地形情况下大直径微变形减震桩施工过程中的安全、稳定,保证其顺利施工。通过以上新技术的综合应用,在安全、质量、成本、工期等各因素得到保证的前提下,解决山坡大直径微变形减震桩材料选择、减震隔离层安装及加固等问题,达到在地震、台风等情况下,通过 XPS 挤塑板自身的微变形,吸收部分由主体结构传递到靠近边坡部位孔桩的水平荷载,达到山体边坡稳定的目的。因为这种灌注端承桩应用于靠近边坡的建筑物,所以特别适合坐落于山体近边坡位置建筑的端承灌注桩基工程。该工程中的新技术、新工艺、新措施的综合应用在国内工程施工中尚属首次。

1.2.2 高落差倾斜建筑主体结构施工技术

1. 超厚(1 m)超高(72 m)大倾角(67.43°)剪力墙施工技术

本工程钢筋混凝土倾斜剪力墙(以下简称斜墙),厚 1 m,倾斜角度 67.43° ,内配竖向分布钢筋 $\Phi 16@200$,水平分布钢筋 $\Phi 20@100$,拉筋 $\Phi 8@300\times 600$,这在国内堪称首例。建筑斜墙局部剖面如图 1-4 所示。斜墙墙身配筋如图 1-5 所示。

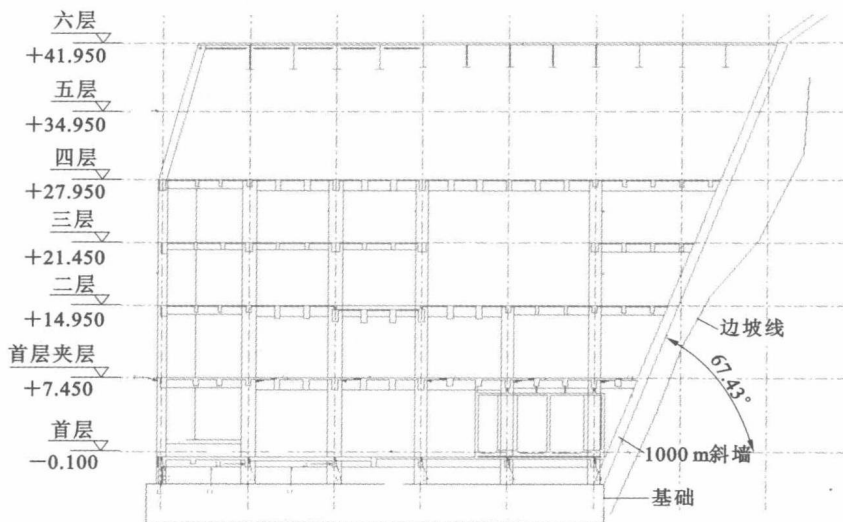


图 1-4 建筑斜墙局部剖面图

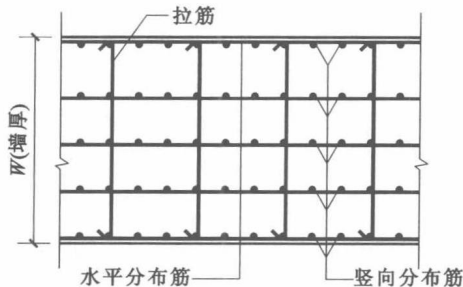


图 1-5 斜墙墙身配筋示意图

鉴于以上设计要求,斜墙的施工将有如下难点:

(1) 根据设计要求,施工过程中山体不得受力,且一般的支撑体系无法

采用,斜墙采用何种支撑体系来解决模板支设是本工程的难点之一。

(2) 由于斜墙倾斜角度大,钢筋在自重作用下,不可避免会产生很大挠度,如何确保钢筋在一条直线上,并确保钢筋的位置和保护层厚度,保证工程质量,这是需要重点考虑的问题。同时,钢筋垂直于斜墙倾斜方向的分力直接作用在模板支撑上,对模板支撑体系的安全是非常大的隐患。斜墙在钢筋施工中的诸多难题是本工程的难点之二。

(3) 斜墙 1~5 轴处跨度 36 m,墙厚 1 m,其 4~6 层层高高达 14 m,如何控制这么大体量的混凝土浇筑以及浇筑过程中爆模、胀模等问题,如何保证混凝土的保护层厚度及混凝土浇筑质量,如何确保斜墙不会因为施工荷载及施工变形导致斜墙倾斜角度发生变化,这是本工程的难点之三。

为解决上述工程中的难点,斜墙采用了斜向爬模技术、钢筋定位技术、反拉加固可调系统等诸多技术与措施,这在实施过程中取得了重大成功。

2. 依山超薄超高倾斜墙板施工技术

本工程 5~19 轴靠山区域为 150 mm 超薄倾斜墙,处于型钢混凝土斜柱中间,因倾斜斜柱模板加固的需要,该部分墙体预留后施工。该处墙体倾斜角度大,结构与山体间杂物较多,搭设模板支撑架体施工困难;墙外靠近山体,架体不得在山体搭设,施工时没有可靠支撑点,钢筋绑扎、模板支设、混凝土浇筑均有很大难度与危险性。经工程技术人员反复研究决定,对该区域的斜墙采用钢筋桁架模板施工。

3. 超高大截面型钢混凝土斜柱施工

贵阳花果园办公一号楼主体顺山势而建,根据设计要求,建筑物 1~8 层与山体不相连,山体距离倾斜钢筋混凝土剪力墙、倾斜型钢混凝土柱仅 5~10 m。倾斜钢筋混凝土剪力墙、倾斜型钢混凝土柱依山势而上,于第 8 层(标高+58.00 m)采用大截面转换钢梁同山顶桩基相连,形成高落差结构,落差达 60 m。M 轴山顶区域桩基距离山体边坡仅 2 m,P~V 轴施工区域为山体坡段,坡度较陡,高低落差达 30 m。剖面图如图 1-6 所示。

由于工程结构向山体方向倾斜(67.43°),架体搭设困难;斜柱超高超长,八层(58 m),柱身截面较大($1.8\text{ m}\times 3.6\text{ m}$),混凝土浇筑荷载大,存在一定危险性;斜柱倾斜角度大,质量控制要求严格。

工程大量分布劲性型钢柱,主要截面形式为 H 型、十字型、组合 H 型和双王型,如图 1-7 和表 1-1 所示。型钢、钢筋、混凝土协同工作分析复杂。

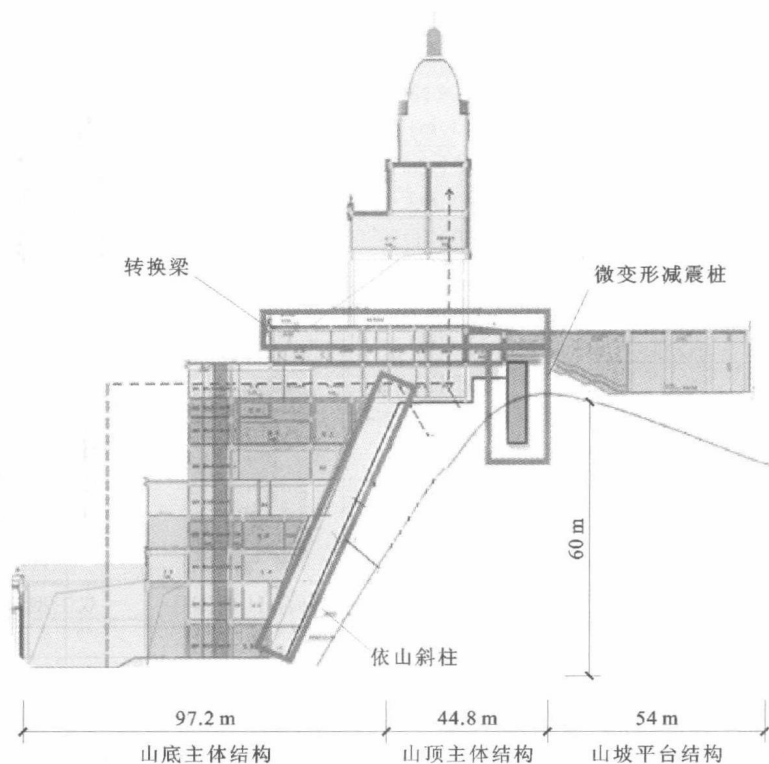


图 1-6 建筑剖面示意图

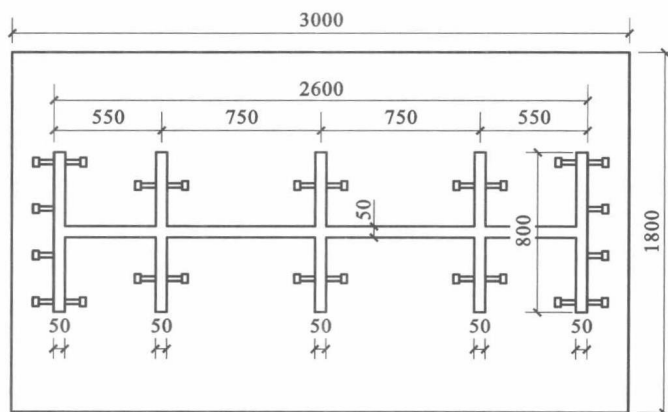


图 1-7 大尺寸型钢柱截面