



软土地基上 紧邻建筑高填土 设计技术研究

李亚明 贾水钟 蔡兹红 李 伟 著

RUANTU DIJI SHANG
JINLIN JIANZHU GAOTIANTU
SHEJI JISHU YANJIU

中国建筑工业出版社

软土地基上紧邻建筑高填土 设计技术研究

李亚明 贾水钟 蔡兹红 李 伟 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

软土地基上紧邻建筑高填土设计技术研究/李亚明等

著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 11

ISBN 978-7-112-15988-8

I. ①软… II. ①李… III. ①软土地基-填土地基-园林
建筑-建筑设计-研究 IV. ①TU986.2②TU471.8③TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 246607 号

随着物质水平的提高与精神文化的要求不断发展, 需要营造地形地貌的特大型生态公建(例如园林、主题乐园)类建筑正向规模化方向发展; 地形中需要的高填方量与高度的增加, 成为对邻近建筑物不利影响考虑的重要因素, 给理论和实践都提出了新的挑战。上海辰山植物园建筑物邻近需要大规模的高填土工程, 这在上海软土地区尚属首次尝试, 没有成熟的经验借鉴。

本书结合辰山植物园高填土设计与施工的实践过程, 针对软土地基上高填土对相邻建筑物的不利影响进行了详细研究; 通过现场原位试验和数值模型试验相结合研究, 系统深入地归纳了高填土对邻近桩基及地基的影响规律, 特别是提出了高填方影响范围; 提出了填土较高、工期较短时类似工程的地基处理方法及工序要求; 重点就相应的有效防治措施进行了深入分析, 与全过程工程监测结论对比及验证; 提出了路堤桩复合地基结合桩基托板加筋复合挡墙技术, 解决了高填土邻近建筑物不均匀沉降问题。

本书可供结构工程专业的研究、设计人员以及大专院校师生参考, 也可对建筑师进行建筑创作提供结构工程师角度的视野。同时对业主、施工、监理、项目管理人员进行风险控制也有良好的借鉴作用。

责任编辑: 滕云飞

责任设计: 张 虹

责任校对: 王雪竹 关 健

软土地基上紧邻建筑高填土设计技术研究

李亚明 贾水钟 蔡兹红 李 伟 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

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13 字数: 323 千字

2014 年 1 月第一版 2014 年 1 月第一次印刷

定价: 53.00 元

ISBN 978-7-112-15988-8

(24788)

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)

目 录

第一章 软土地基上高填土对紧邻建筑物的不利影响研究概述 1

1.1 软土地基及高填方概念 1

1.2 高填方对紧邻建筑物的危害性 2

1.3 高填方对紧邻建筑物的影响及措施研究现状 3

1.4 背景实际工程——上海辰山植物园概况 4

1.4.1 辰山植物园高填土工程介绍 5

1.4.2 辰山植物园工程地质情况介绍 10

第二章 软土地基上高填土对紧邻建筑物的不利影响分析 18

2.1 软土地基上高填方稳定对紧邻建筑物的不利影响分析 18

2.1.1 高填方稳定分析方法 18

2.1.2 分析计算参数 18

2.1.3 一次性堆土整体稳定分析 18

2.1.4 分级堆土整体稳定分析 19

2.1.5 考虑地基处理分级堆土整体稳定分析 19

2.1.6 高填土整体稳定分析小结 21

2.2 高填方对软弱场地地基土固结影响 22

2.2.1 计算原理及参数 22

2.2.2 高填土固结与沉降 23

2.2.3 高填方下地基土的水平位移分析 27

2.3 高填方对紧邻建筑物的上部水平力影响分析 27

2.4 高填方对紧邻建筑物内部桩基负摩擦力分析 27

2.4.1 中性点位置确定 27

2.4.2 单桩负摩擦力计算理论 28

2.4.3 桩基负摩擦力分析 28

2.4.4 桩基负摩擦力分析小结 31

2.5 高填方引起紧邻建筑物内部桩基的剪力及弯矩分析 31

2.5.1 计算模型 31

2.5.2 高填方引起桩基剪力和弯矩分析 31

2.5.3 影响小结 33

第三章 试验段工程研究及高填土对紧邻建筑物影响参数反演分析 35

3.1 试验段测试方案实施研究 35

3.1.1 试验段的研究目的 35

3.1.2 试验段研究项目及内容 35

3.1.3	观测频率及报警值	40
3.1.4	试验段实施中设备保护及过程中措施	40
3.2	高填土对紧邻建筑物影响参数反演分析	41
3.2.1	反演内容及目标	41
3.2.2	试验段监测资料的整理与分析	41
3.2.3	土层参数反演分析原理及方法	53
3.2.4	试验区土层参数的反演分析	55
3.2.5	三维有限元分析模型及参数	60
3.3	高填土施工工序分析及建议	65
3.3.1	计算方法与步骤	65
3.3.2	计算成果及堆土施工工序建议	65
3.3.3	施工工序小结	68
第四章	控制高填土对紧邻建筑物不利影响措施研究	69
4.1	减少高填土不利影响的基本思路	69
4.2	针对性措施方案选择与比较分析	70
4.2.1	初步方案及优化方案的主要内容	70
4.2.2	初步方案及优化方案的对比分析	71
4.2.3	针对性优化方案的实施内容与细节	78
4.3	减沉路堤桩设计研究	79
4.3.1	背景工程减沉路堤桩针对性设计内容	80
4.3.2	减沉路堤桩试验分析研究	88
4.3.3	减沉路堤桩沉降计算分析研究	100
4.4	背景工程科研中心建筑两端高填土不利影响构造设计分析	103
4.5	背景工程主入口综合建筑西侧高填土影响的高桩承台设计分析	107
4.5.1	高填土处理首选方案设计	107
4.5.2	高填土处理最终方案设计	112
4.6	高填土挡墙基础水平力传递设计分析	115
4.6.1	内支撑网计算	118
4.6.2	基础连梁主要结构构件尺寸	119
4.6.3	内力计算结果	119
4.7	背景工程温室建筑群高填土不利影响处理设计分析	122
4.8	高填土对路堤桩的影响分析研究	127
4.8.1	路堤桩计算参数的确定	128
4.8.2	路堤桩的容许水平位移和荷载	132
4.8.3	高填土对路堤桩影响的三维数值分析	134
4.8.4	高填土对路堤桩影响小结	145
4.9	高填土对相邻建筑物桩基的影响分析及施工工序研究	146
4.9.1	高填土对建筑桩基的影响研究	146
4.9.2	高填土对建筑桩基影响的小结	148

第五章 高填土对相邻建筑物不利影响措施的工程实践研究	149
5.1 高填土对背景工程科研中心不利影响措施的工程实践研究	149
5.1.1 科研中心桩基与减沉路堤桩区域桩基同时施工研究（工况 1）	150
5.1.2 绿环高填土完成 15 天后施工科研中心桩基研究（工况 2）	156
5.1.3 绿环高填土完成 30 天后施工科研中心桩基研究（工况 3）	158
5.1.4 绿环高填土完成 60 天后施工科研中心桩基研究（工况 4）	160
5.1.5 科研中心施工工序确定	161
5.1.6 科研中心最终沉降分析	161
5.1.7 科研中心监测结果	162
5.2 高填土对背景工程主入口不利影响措施的工程实践研究	165
5.2.1 高填土对减沉路堤桩的影响研究	165
5.2.2 施工工序对主入口桩基的影响研究	172
5.2.3 主入口最终沉降估算	178
5.2.4 主入口实测结果	179
5.3 高填土对背景工程温室不利影响措施的工程实践研究	181
5.3.1 高填土对温室路堤桩的影响研究	181
5.3.2 施工工序对温室桩基的影响研究	187
5.3.3 温室最终沉降估算	194
5.3.4 温室实测结果	194
第六章 高填土对相邻建筑物的不利影响及措施研究与应用总结	195
6.1 主要完成工作	195
6.2 主要结论	195
6.2.1 绿环稳定性分析	195
6.2.2 高填土对桩基不利影响分析	195
6.2.3 试验区监测数据分析	196
6.2.4 高填土对相邻建筑物影响参数反演分析	196
6.2.5 减少高填土对相邻建筑物不利影响的措施研究	196
6.2.6 高填土对紧邻主体建筑不利影响措施的工程实践研究	197
6.3 展望	198
参考文献	199
后记	202

第一章 软土地基上高填土对紧邻建筑物的
不利影响研究概述

1.1 软土地基及高填方概念

1. 软土地基的概念

- (1) 软弱地基系指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基。——《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011
- (2) 《公路路基设计规范》JTG D30—2004 中软土的鉴别依据见表 1-1。

软土鉴别依据 表 1-1

土 类	天然含水量 (%)		天然孔隙比	直剪内摩擦角 (°)	十字板剪切强度 (kPa)	压缩系数 a _{0.1~0.2} (MPa ⁻¹)
黏质土、有机质	≥35	≥液限	≥1.0	<5	<35	>0.5
粉质土	≥30		≥0.90	<8		>0.3

(3) 天然孔隙比大于或等于 1.0，且天然含水量大于液限的细粒土应判定为软土，包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。——《岩土工程勘察规范》GB 50021—2001 (2009 版)

软土是一种区域性的特殊土，是在一定的地质条件下形成的，具有变形大、承载力低等特点。

上海地区地基土总体而言，松软土层较厚，基岩埋深由西南向东北方向趋深。一般工程场地上部第③₁层灰色淤泥质粉质黏土和第③₂层灰色黏土层的工程性质较差，呈流～软塑状，高压缩性，易发生蠕变，是场地主要软弱层。

2. 高填方的概念

高填方概念多用于公路路基工程之中。

原《公路路基施工技术规范》JTJ 033—95 的定义为：水稻田及常年积水地带，用细粒土填筑的路堤，高度在 6m 以上，其他地带填土或填石路堤高度在 20m 以上，称之为高填方路堤。在新版《公路路基施工技术规范》JTG F10—2006 中有关高填方路基的具体高度已经没有具体说明。

《公路路基设计规范》JTG D30—2004 规定，当边坡高度超过 20m 的路堤为高边坡路堤；另外规定，“高速公路和一级公路通过湿陷性黄土和压缩性较高的黄土地段时，可根据路堤填高、受水湿浸的可能性及湿陷后危害程度和修复的难易程度，按表 7.9.4-2 确定湿陷性黄土处理深度”。在相应的表内规定：>4m 为高路堤，≤4m 为低路堤。

应该说,“高填方”概念中具体的填土高度与工程性质、地质条件、填土性质等很多因素相关。

本书中所指“高填方工程”的特点是填方高度大,未经处理的天然地基承载力难以满足填方自重等荷载;高填方引起的填筑体的自身压缩沉降及地基沉降较大。

1.2 高填方对紧邻建筑物的危害性

一起社会影响面广、后果恶劣的工程事故实例就可见其严重的危害性。2009年6月27日清晨5时30分左右,上海闵行区莲花南路、罗阳路在建的“莲花河畔景苑”商品房小区工地内,发生一幢13层楼房(7号楼)向南整体倾倒事故。这也是迄今为止在上海市发生的最为罕见的质量门事件,属于高填土影响的典型案例,全国网民称其为“楼脆脆”。

由市建设交通委、市安全生产监督管理局领导及事故处理相关专家组事故调查原因如下:紧贴倾倒的7号楼北侧,短期内堆土过高,最高处达10m左右;与此同时,紧邻大楼南侧的地下车库基坑正在开挖,开挖深度为4.6m,大楼两侧的压力差使土体产生水平位移,过大的水平力超过了桩基的抗侧能力,导致房屋倾倒。上海“莲花河畔景苑”在建楼房倒塌事故示意图如图1-1所示。

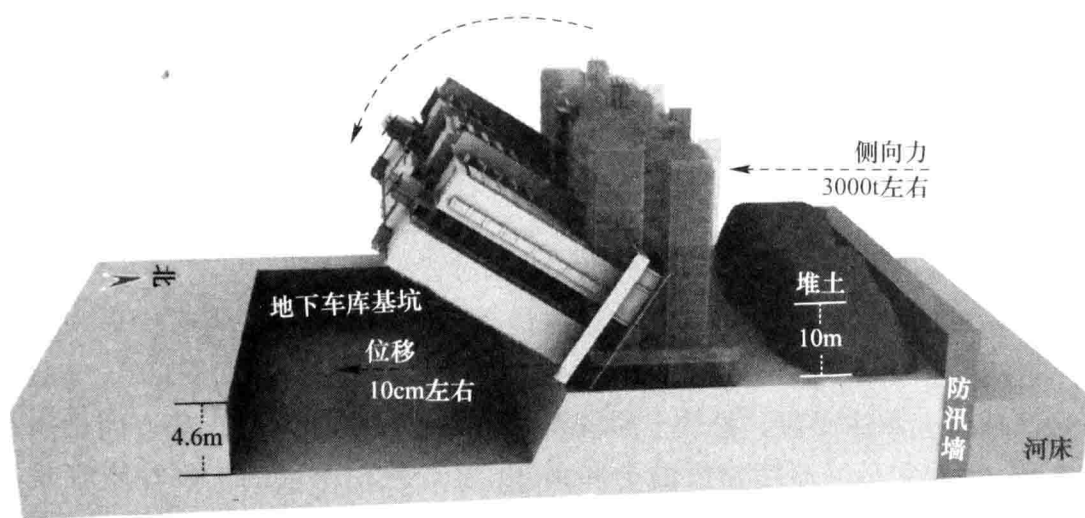


图 1-1 上海“莲花河畔景苑”在建楼房倒塌事故示意图

再者,施工单位违背基本的施工顺序,执行了先浅后深的工序;而北侧高填土则是引起防汛墙破坏、主体结构倒塌的主要原因。

现场堆土情况是第一次堆土高3m至4m,离建筑物20m、防汛墙10m左右。第二次堆土紧贴建筑物周边,堆高10m左右,而且是快速加载。正是这10m多高的堆土荷载较大,引起土体出现变形,对基坑和工程桩,产生一个水平向的位移,从而引发楼房倾倒。

上海“莲花河畔景苑”主体结构桩基破坏情况如图1-2所示,北侧防汛墙位移情况如图1-3所示。可见桩基破坏有明显的剪切变形,也有部分属于弯曲型。



图 1-2 上海“莲花河畔景苑”倒塌楼房桩基破坏情况



图 1-3 上海“莲花河畔景苑”北侧防汛墙位移情况

1.3 高填方对紧邻建筑物的影响及措施研究现状

国内“高填方”的设计研究主要集中在道路路基、桥台等工程之中，特别是机场、工业厂房等单纯的高填方地基处理等有着较多工程经验及成熟的理论。

常规民用建筑中“高填方”工程相对较少，特别是软土地区的永久性“高填方”在民用建筑工程中的实践更少。虽然“高填方”对周边环境的影响有一些概念性成果，但是不够深入、全面，难以直接有效地指导实际工程设计。客观地说，“高填方对相邻建筑物的影响及措施”研究不够，也缺乏相应的设计及施工规范、规程。

以上海市为例，民用高填方工程（以填高超过 4m）主要是一些公园设计中的部分土山，而且“高填方”山头大都位于公园较为空旷的区域，其周边或邻近无大型的民用建筑物。经实际调研，大多堆高达到 8m 以上的山头在施工之中均发生过类似“塌陷”、“部分

土体滑移”等工程情况；部分山头最终未能或不能达到原设计的较高标高。

由于缺乏深入研究，未能明确其严重的危害后果。从一个侧面造成了建设各方认识不够，思想上容易放松。特别是工程中大多还是基坑开挖的土堆高形成的“高填方”，之后是要外运出去的，属于临时性“高填土”。这更容易引起建设与施工方的麻痹大意。

根据之前的“莲花河畔景苑”倒楼事件，可见“高填方对紧邻建筑物的影响及措施”研究的必要性及迫切性。何况在一些实际工程中的高填方是作为构筑物与主体建筑永久地结合在一起，更需要全面透彻地进行技术研究。

软土地基上高填土对紧邻建筑物的不利影响及措施的研究主要内容，是弄清高填方对紧邻主体建筑的不利影响的内容、因素及内在机制，研究并确定可行有效地减少紧邻大面积高填土堆载对主体结构不利影响的相应措施，最终确保主体建筑及高填方工程的安全。

1.4 背景实际工程——上海辰山植物园概况

上海辰山植物园建设目标是一座物种丰富、功能多样、世界领先和国内一流水平的国家植物园，是中国2010年上海世博会让绿色来演绎“城市，让生活更美好”主题的配套工程。该项目位于上海松江区松江新城北侧，佘山西南，规划用地面积约为202hm²。

建设内容包括：地形地貌营造的土方工程、植物引种及种植工程、总体市政配套及安装工程、建筑工程、河道护坡工程以及大量的道、桥、闸、涵工程等。

辰山植物园建筑物由不同区域、多种功能的建筑群体组成，整个植物园配套建筑总建筑面积为62000m²。建筑工程划分为四期实施：一期工程主要包括科研中心建筑、西入口、专家楼（A、B栋）、植物园维护点等建筑单体；二期工程主要包括入口综合建筑、滨湖饭店等建筑单体；三期工程主要包括滨水服务设施、登船码头、植物园维护点、公厕及信息亭等建筑单体；四期工程主要由温室建筑群组成，包括三个展览温室、共享空间、能源中心等建筑单体。

建筑总体中的绿环是辰山植物园设计中的特色之一，它是由堆筑的高填土形成的高低起伏的环状土坡。作为辰山植物园总体布局的骨架结构，主要功能如下：

（1）把被道路、河流分割的地块连成整体。

（2）整条绿环高低起伏，改变现场地势低洼的不利条件，创造丰富多样的植物生境和景观类型。

（3）将入口综合建筑、科研中心建筑和温室建筑群等主体建筑巧妙地镶嵌在绿环上，以最大限度地节约使用土地。

绿环上各段将按照与上海相似的气候和地理环境，分别配植欧洲、美洲及亚洲等不同地理分区具有代表性的植物。

绿环带的直径约为1500m，自身宽度从50m到200m不等，占地面积约40hm²。绿环的平均填土高度达6.000m，局部最高绝对标高达16.500m，以天然地坪标高3.000m为基准，最高覆土达到13.500m以上的高度。辰山植物园三个大型的建筑物包括科研中心建筑、入口综合建筑及温室建筑群均与绿环紧密相连并融为一体，屋面与紧邻绿环面等高度连通，仿佛镶嵌在其中一样。绿环通过视觉导向，将植物园的主要建筑与植物群落、科学内容与艺术外貌柔和在一起，并与主题花园融为一体，从形态上组成了一个大地景观

艺术。

但是,如此高度及大量的填土在属于软土地基的上海地区建筑设计中是不多见的,特别强调的是,背景工程的高填土设计从属于建筑总体的效果,它作为景观上不可或缺的构筑物需要永久的存在,这无论在景观设计上还是在建造技术上都可以说是首次尝试。它也将对场地中的永久性建筑特别是处于绿环带之中的三个重要的主体建筑产生严重的不利影响。上海辰山植物园总体平面示意如图 1-4 所示。

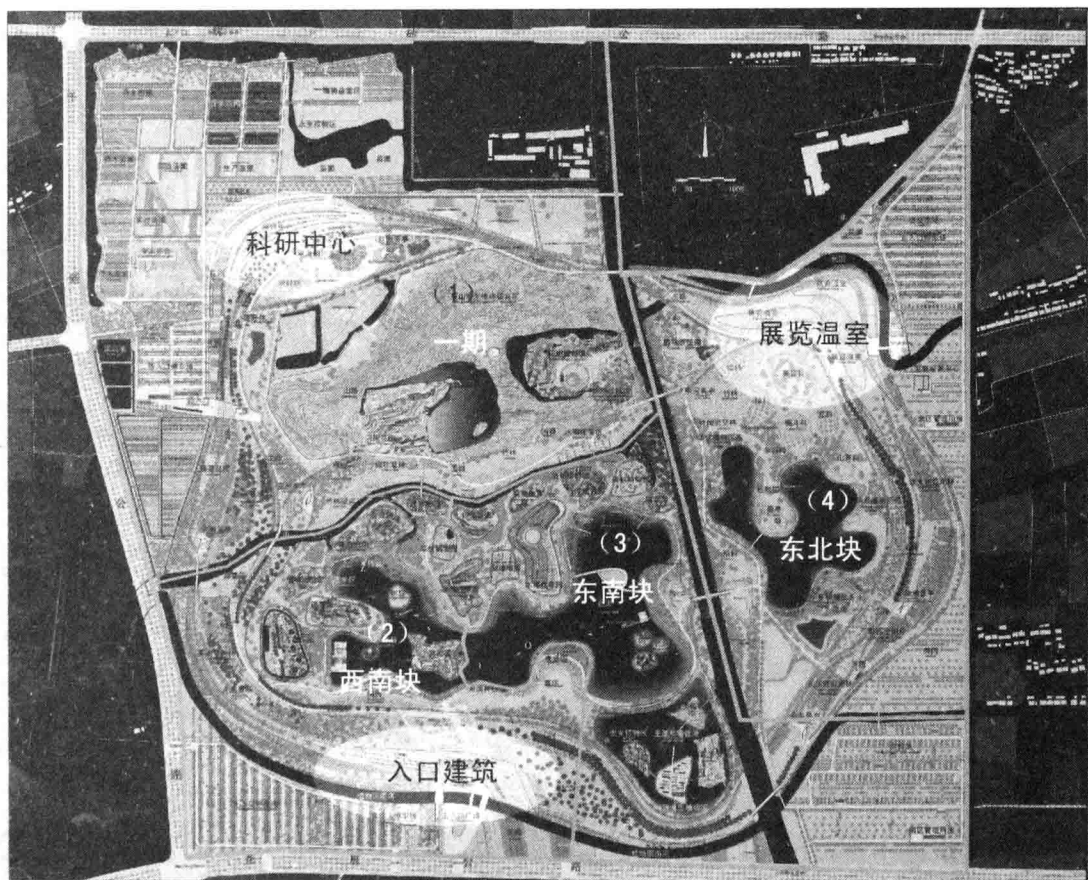


图 1-4 上海辰山植物园总体平面图

设计与施工的时间紧张,从 2007 年 10 月一期施工图出图至 2010 年初要求竣工,这一有限的时间段迫使放弃前期填土并完成固结的传统工序,必须在进度、质量和成本平衡间另辟新路。

1.4.1 辰山植物园高填土工程介绍

背景工程地形地貌营造的土方工程量巨大,结合理水、开挖湖泊、河道整治、绿环及专类园造型整理等,总体土方量约 265 万 m^3 ,其中:挖湖土方量 37.4 万 m^3 ,回填及造型土方量 215.3 万 m^3 ,外进土方量 165.9 万 m^3 ,土壤改良 12 万 m^3 。作为建筑设计特色之一的总体中绿环填土就达到 200 多万 m^3 。它属于高填方形成的构筑物,蜿蜒曲折、高低起伏形成了一个巨大而封闭的环状物,将辰山植物园的精华区域尽收其中,特别是融入了入口综合建筑、科研中心建筑和展览温室建筑群等主体建筑。绿环及场地内高低起伏的高填土使人们在不同的视角观察其中的建筑物的层数、高度均有变化,以达到纷繁变化的建筑效果,留给参观者视觉的高度艺术享受。上海辰山植物园绿环与主体建筑物的总体平面图如图 1-5 所示。

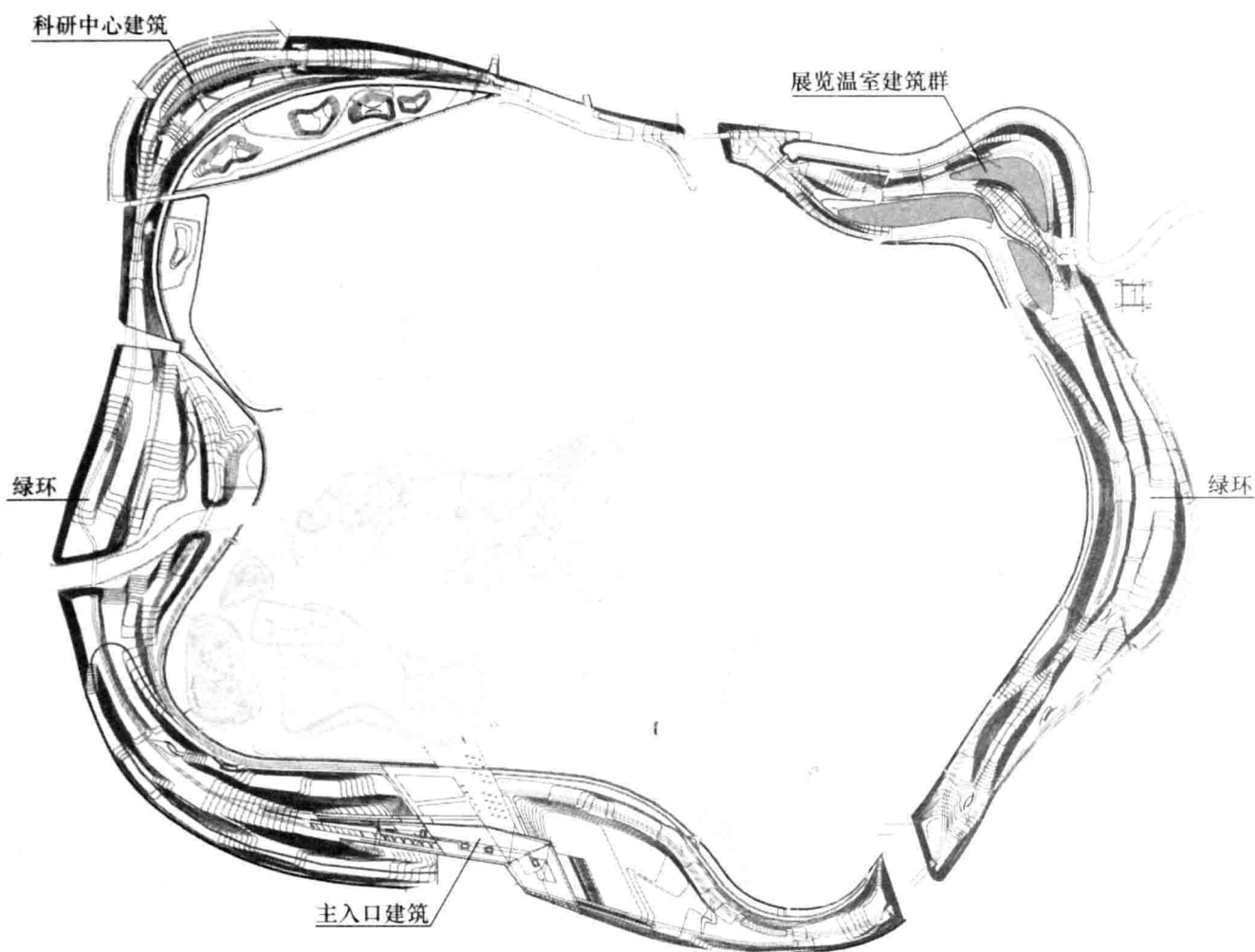


图 1-5 上海辰山植物园绿环与主体建筑物的总体平面图

1. 科研中心建筑物与邻近绿环高填土的关系

科研中心建筑是以植物科技研究为主的多功能建筑，总建筑面积 15783m^2 ，包含实验室、办公区域、图书馆和标本馆四大主要功能。科研中心建筑位于基地的北部，介于试验田和植物园之间，建筑体形依靠绿环地形走势而生。三层高的建筑体量由三组平行带状结构组成，即北带、南带和中间带。一层是以主入口大厅、植物标本馆和图书馆资料室为主要功能。在建筑西面部分的二层和三层设有图书馆以及内部餐厅区域。在建筑东面部分的二层和三层的北面是实验室和学生办公室，南面是首席科学家和研究员的办公室。报告厅、中庭、暗室研究室和讨论课教室等主要辅助功能分别分布于中间区域。科研中心建筑透视图如图 1-6 所示。

建筑物沿着绿环形状走势横向延伸了大约 300m ，建筑最高点达到 18.600m 。东西两面建筑屋面与绿环紧密相连并自然过渡，紧邻西面绿环顶标高达 $13.500\sim 14.000\text{m}$ ，紧邻东面绿环顶标高达 $13.500\sim 14.300\text{m}$ ，紧邻南面绿环顶标高达 9.000m 。科研中心建筑紧邻绿环平面如图 1-7 所示。

2. 入口综合建筑与邻近绿环高填土的关系

入口综合建筑位于基地南边，它具备下列功能：管理、拥有独立入口的贵宾区、门厅、主厅、餐厅，为管理人员和培训及展览人员的休息区、洗手间，拥有俯瞰植物园视野并带展览空间的教学区、讨论区、多功能报告厅，大空间门厅内的零售营业空间，在餐厅

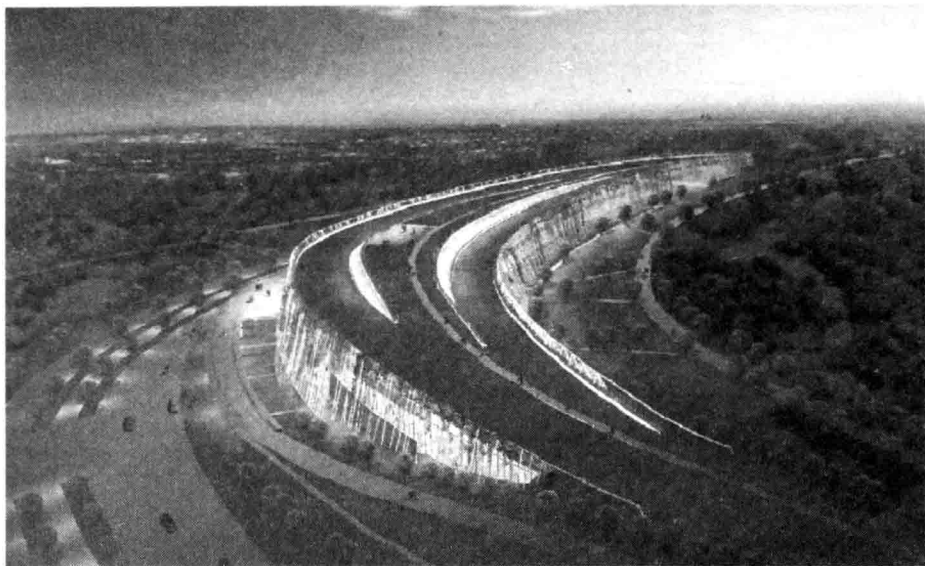


图 1-6 科研中心建筑透视图

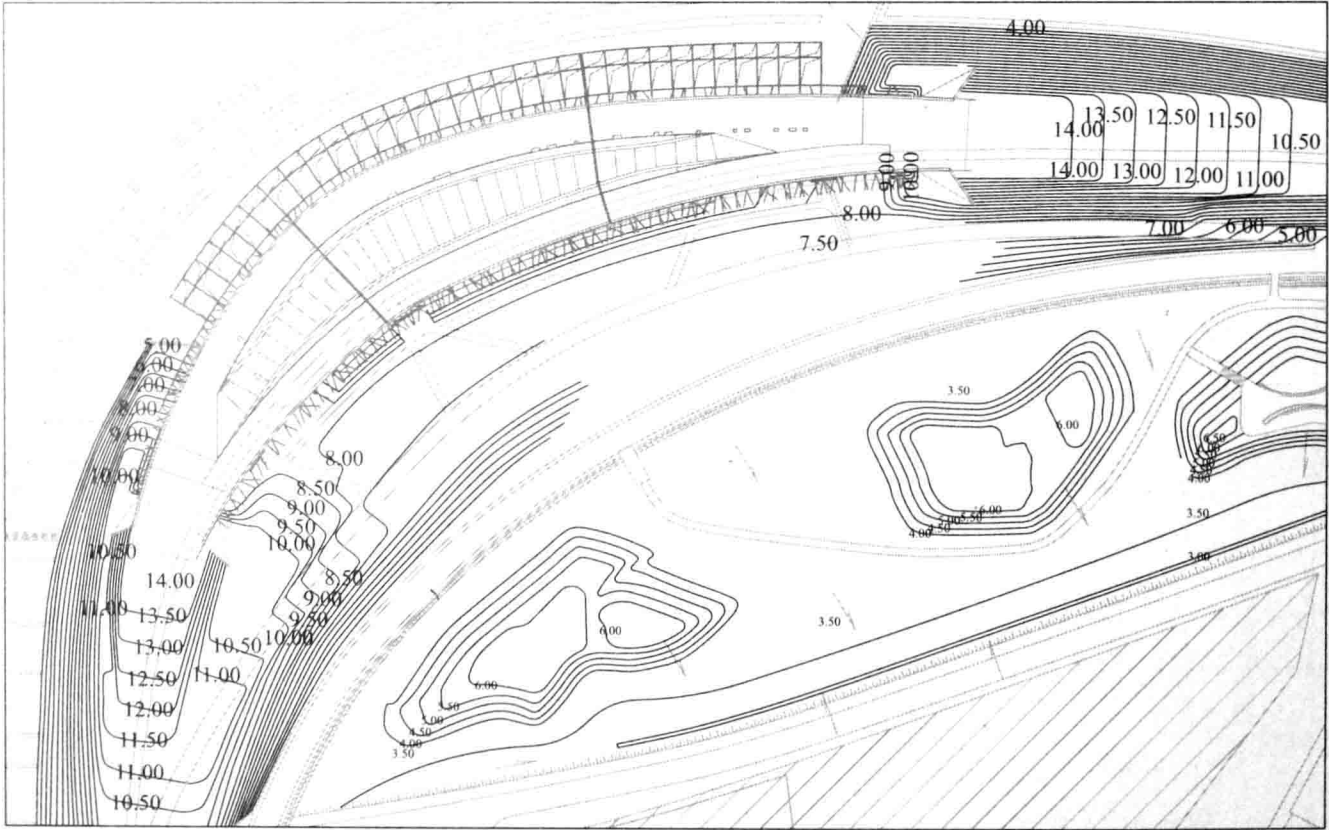


图 1-7 科研中心建筑及邻近绿环等高线平面图

人们也同样可以俯瞰整个园区。在地下一层安排了为餐厅、零售和展览的送货通道。入口建筑总建筑面积为 17000m²。入口综合建筑透视图如图 1-8 所示。

入口综合建筑和绿环的环形墙的南面部分有机地结合在一起。入口的功能是将参观者从停车区引导至植物园内部的专类园区或者到绿环上。参观者可以在一个较高的视点来俯瞰整个植物园并搜寻自己感兴趣的领域。和绿环内所有的建筑一样，入口建筑物也是景观的一部分。在西面的建筑轮廓和景观轮廓互相交织在一起，在这里绿环的表面与建筑的屋

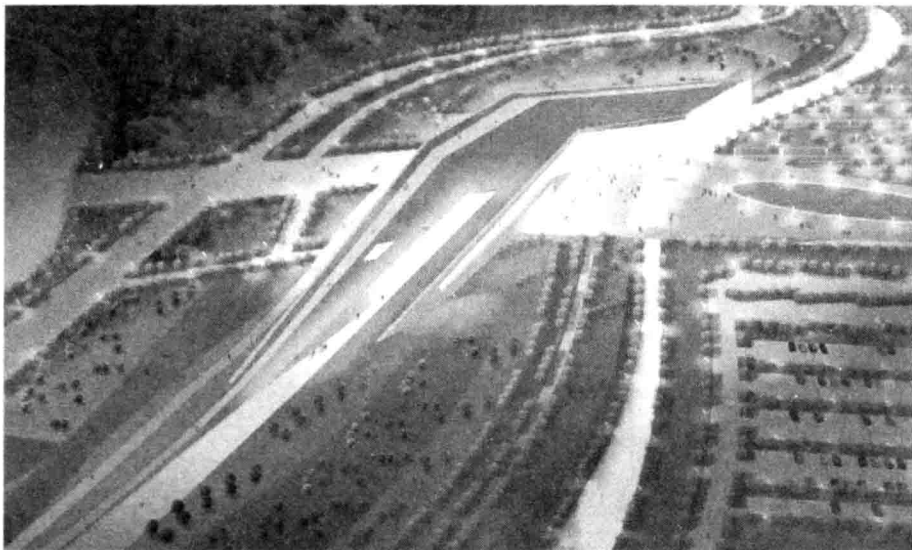


图 1-8 入口综合建筑透视图

面延伸在一起，这里绿环标高达到 16.500m，也是背景工程中高填土的最高标高。绿环的东面相对较低，从而使从展厅和餐厅能够俯瞰整个植物园，紧邻绿环顶标高达到 9.000m。入口综合建筑紧邻绿环平面图如图 1-9 所示。

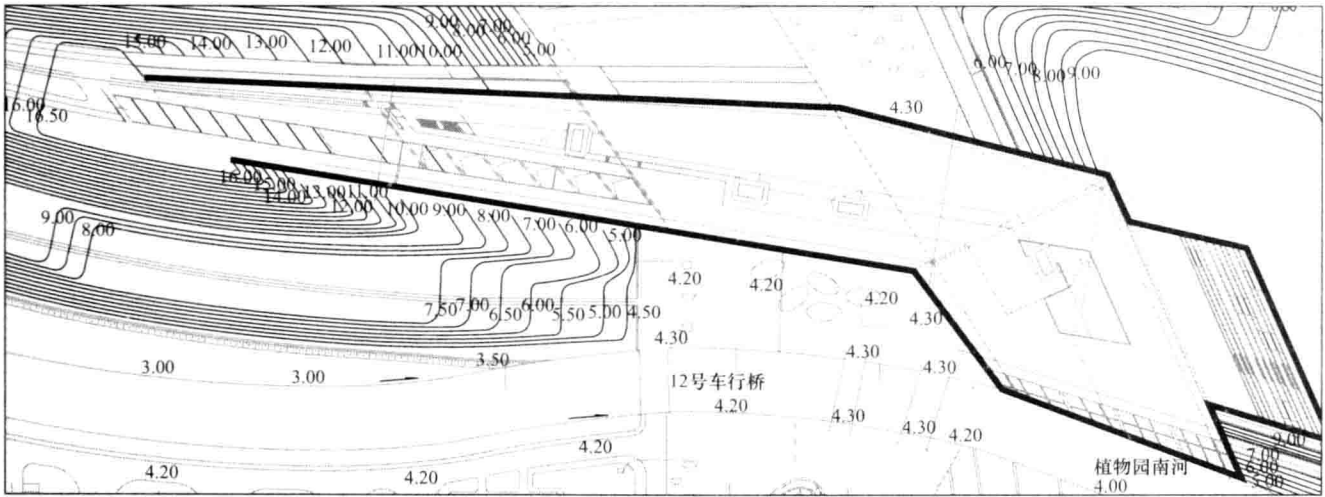


图 1-9 入口综合建筑及邻近绿环等高线平面图

3. 展览温室建筑群与邻近绿环高填土的关系

展览温室建筑群在上海辰山植物园四期工程中，处于基地东北方，沈泾河旁，辰山脚下；位于总体绿环的东北部并直通东部的植物园入口广场。

三个温室单体的建筑形状是受绿环的平面和鸟瞰面的形态影响而产生的，建筑形态自由而流畅。它们围绕着一个位居中央、二层高的共享空间排列着，共享空间从南向西不断延伸构成了整个展览温室建筑群的中心。温室建筑群透视图如图 1-10 所示。

展览温室建筑的形体来源与总体绿环密不可分。无论是平面形状还是空间形态都与绿环的弯曲变化、高低起伏很好地联系在一起。展览温室的东面、西面和北面都和总体绿环的地形完全吻合，它的内部景观和外部景观的高度相当一致。外部紧邻绿环顶标高达



图 1-10 温室建筑群透视图

到 9.000m，内部景观高填土标高分布与外部绿环相关。温室建筑群紧邻绿环平面详见图 1-11，温室建筑群剖面图如图 1-12 所示。

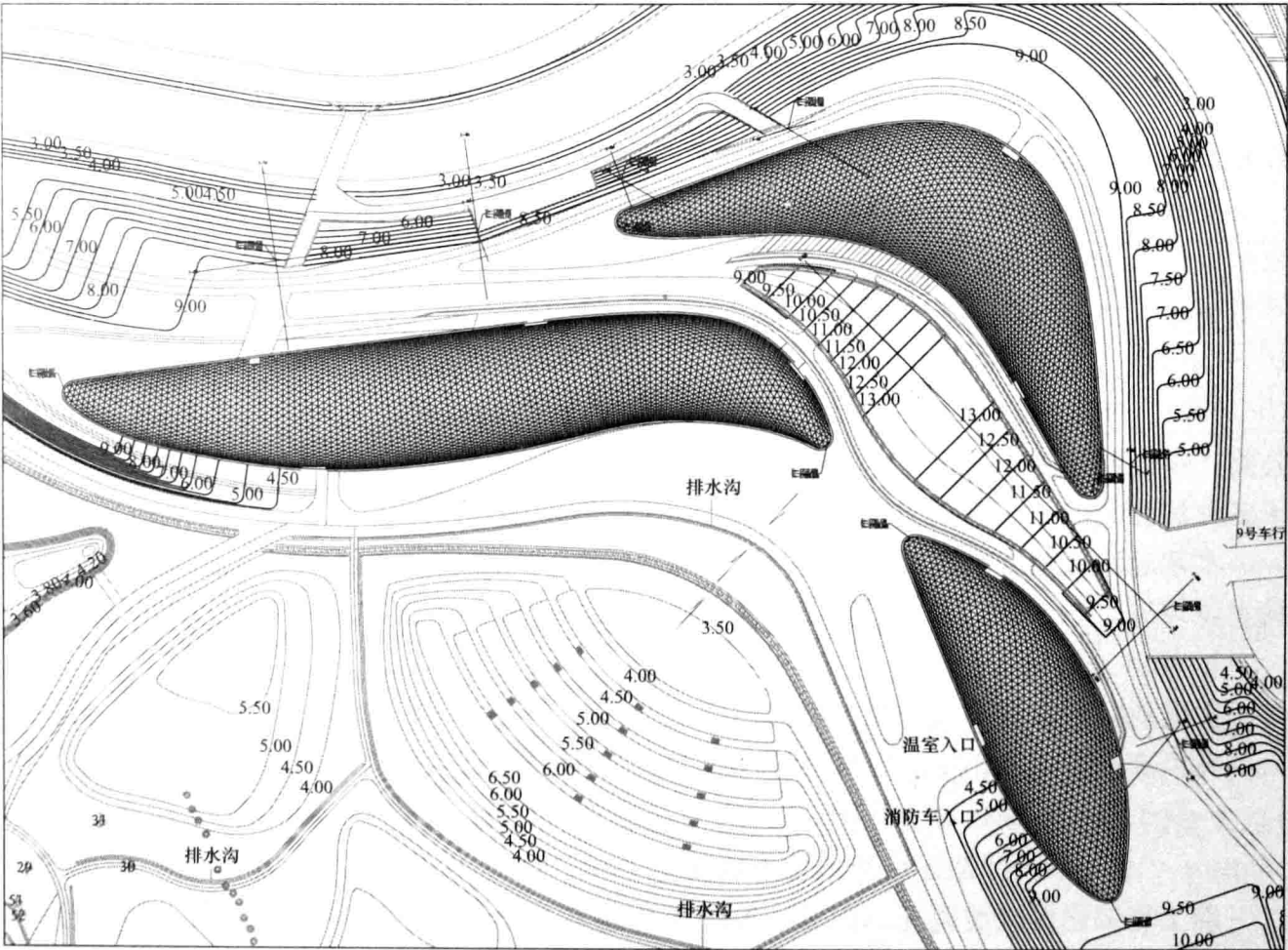


图 1-11 温室建筑群及邻近绿环等高线平面图

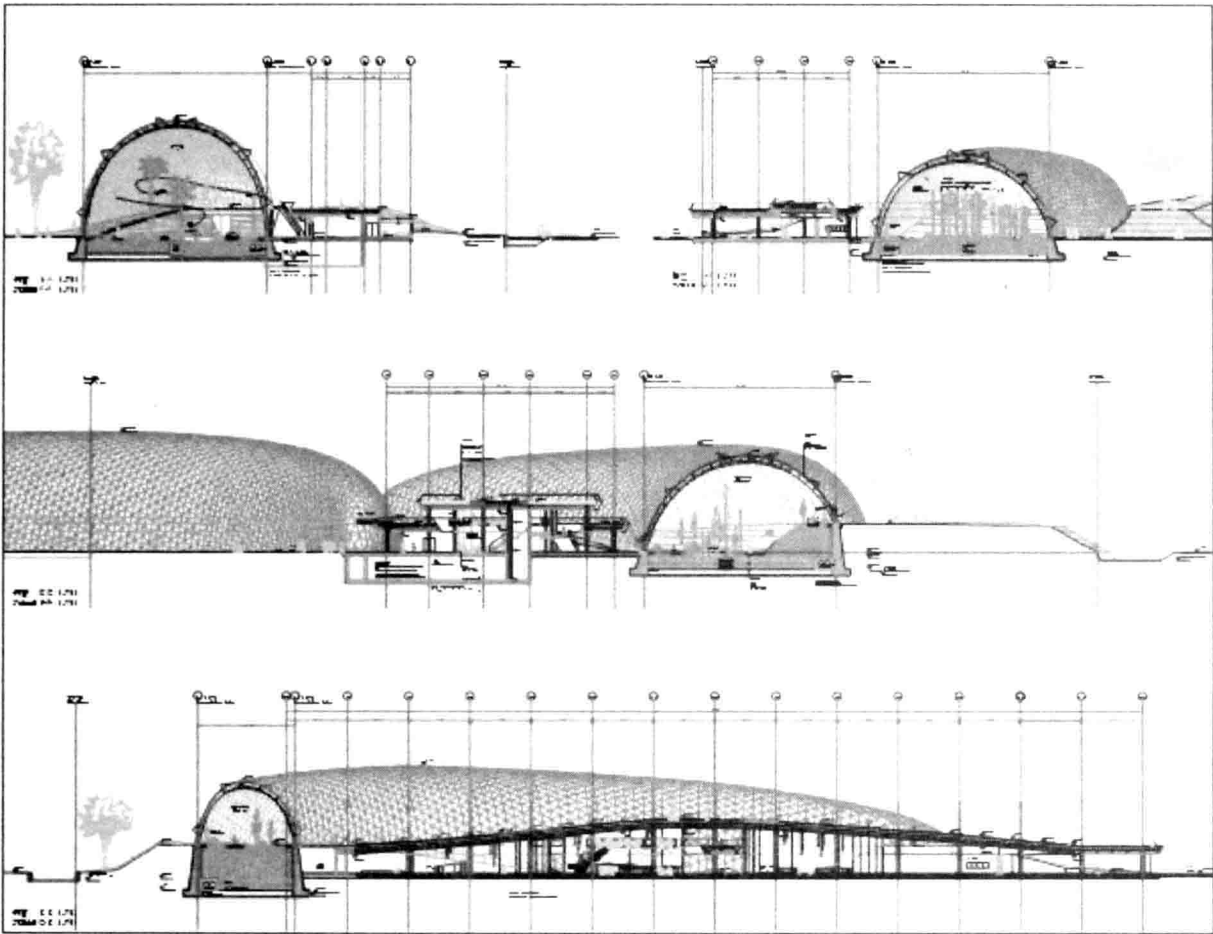


图 1-12 温室建筑群剖面图

1.4.2 辰山植物园工程地质情况介绍

上海辰山植物园依辰山而建，拟建场区成陆较晚，属湖沼平原地貌类型；地形上除了辰山以外，场地地势平整，主要有农田、苗圃、果园、水塘、河流、沟渠等，还有民宅等零星分布，地面标高（吴淞高程）在 2.800~3.400m 之间。辰山山体坡面平缓，坡度在 20°~30°间，辰山最高点海拔为 71.4m。辰山因采石场形成两大空洞和悬崖峭壁，高约 10~60m。西侧空洞底部为一个湖，面积在 8000m² 左右，深约 30m。地块北侧为佘天昆公路，南侧西侧为规划道路，道路标高 3.070~5.890m，地形高低起伏，地貌复杂，适宜于多种植物的生长，有利于对植物实行迁地保护与引种驯化。

本基地浅部地下水属潜水类型，主要补给来源于大气降水，水位随季节而变化，年平均水位埋深为 0.5~0.7m，设计时，高水位埋深按 0.5m，低水位埋深按 1.5m。

1. 场区地震效应分析

根据现行国家标准《中国地震动参数区划图》（GB 18306—2001）规定，拟建场区地震动峰值加速度为 0.10g，抗震设防烈度为 7 度，所属的设计地震分组为第一组。

一期工程拟建场区波速孔 P1#、P2# 孔地表下 20m 内土层等效剪切波速 v_{sc} 分别为 165m/s、160m/s，即拟建场地土层等效波速 $140\text{m/s} < v_{sc} \leq 250\text{m/s}$ ，属中软土（表 1-2）。二三期工程拟建场区波速孔 NP1#、NP2# 孔地表下 20m 内土层等效剪切波速 v_{sc} 分别为 144m/s、145m/s，即拟建场地土层等效波速 $v_{sc} > 140\text{m/s}$ ，属中软场地土（表 1-3）。四期工程拟建场区波速孔 EP1#、EP2# 孔地表下 20m 内土层等效剪切波速 v_{sc} 分别为 133m/s、

131m/s，即拟建场地土层等效波速 $v_{se}<140\text{m/s}$ ，属软弱场地土（表 1-4）。

一期工程地层波速统计表

表 1-2

层 序	土层名称	v_{se} (m/s)		
		P1 #	P2 #	均值
① ₂	素填土	—	91.1	91
②	褐黄~灰黄色粉质黏土	104.7	97.5	101
③ ₁	灰色淤泥质粉质黏土	110.9	110.8	111
③ ₂	灰色黏土	144.5	145.6	145
④ ₁	暗绿~草黄色粉质黏土	370.8	325.8	348
④ ₂	草黄色粉质黏土	411.3	411.5	411

二、三期工程地层波速统计表

表 1-3

层 序	土层名称	v_{se} (m/s)		
		NP1 #	NP2 #	均值
① ₂	素填土	54.0	41.5	48
②	褐黄~灰黄色粉质黏土	72.9	41.5	57
③ ₁	灰色淤泥质粉质黏土	149.2	143.3	146
③ ₂	灰色黏土	175.8	201.1	188
④ ₁	暗绿~草黄色粉质黏土	187.9	183.0	185
④ ₃	草黄~灰色粉质黏土	346.9	362.4	355

四期工程地层波速统计表

表 1-4

层 序	土层名称	v_{se} (m/s)		
		EP1 #	EP2 #	均值
① ₂	素填土	43.4	38.5	41
②	褐黄~灰黄色粉质黏土	52.7	50.2	51
③ ₁	灰色淤泥质粉质黏土	119.7	117.6	119
③ ₂	灰色黏土	182.2	204.5	193
④ ₁	暗绿~草黄色粉质黏土	346.9	315.1	331

根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 第 4.1.6 条判定，拟建场区地基土为中软场地土，场地类别基本为Ⅲ类。

拟建场区埋深 20m 内仅二、三期工程场地内存在饱和成层的第④₃ 层砂质粉土层，但其层面埋深均在 15~20m 间，上覆非液化土层厚度大于 6m，根据上海市地方标准《岩土工程勘察规范》DGJ08-37-2012 第 7.2.2 条判定，本场地基均为不液化地层，因此本场地可以不考虑地基液化问题。

2. 场区工程地质条件

根据“上海辰山植物园岩土工程勘察报告”，拟建场地属稳定场地。勘察深度范围内揭露土层的描述见表 1-5~表 1-7。