



Co-construction Countermeasures of

Shanghai Natural History Museum Integrated with Station of
Metro Line 13

上海自然博物馆 与地铁13号线共建工程的 建设对策

徐晓红 李岩松 周顺华 顾建生 编著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

上海自然博物馆与地铁 13 号线 共建工程的建设对策

徐晓红 李岩松 周顺华 顾建生 编著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

上海自然博物馆与地铁 13 号线建设中面临诸多难题。地铁与公共建筑同步施工难度大,不仅要考虑建设技术与减振措施,而且还面临多重组合式基坑群施工的相互影响。本书重点从工程施工风险评估、工程筹划、基坑承压水控制技术、多重组合式基坑群开挖施工的相互影响、生态节能技术的应用、施工安全与减振一体化等方面提出了解决上述难题的方法,降低了基坑施工风险,减小了变形,提高了基坑的稳定性,并且首次提出了合建结构周边地基加固和地铁隧道空腔填筑混凝土的低频减振合理化实施方法。

本书可供从事轨道交通方向的科研人员、施工技术人员学习,也可供同类工程建设参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

上海自然博物馆与地铁 13 号线共建工程的建设对策 /
徐晓红等编著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司,
2014. 11

ISBN 978-7-114-10475-6

I. ①上… II. ①徐… III. ①地下铁道—铁路工程—
工程施工—研究—上海市 IV. ①U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 180413 号

书 名:上海自然博物馆与地铁 13 号线共建工程的建设对策

著 作 者:徐晓红 李岩松 周顺华 顾建生

责任编辑:刘永超 潘艳霞

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010) 59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:720×960 1/16

印 张:16

字 数:284 千

版 次:2014 年 11 月 第 1 版

印 次:2014 年 11 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10475-6

定 价:48.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

在人口密度高、土地资源紧张的大城市，共建工程由于具有节省用地和功能集中的优点，常常受到决策者的青睐，但这种集多功能于一体的建筑物也会遇到一些新的技术问题，所以市民、决策者和技术人员应在“功能”和“技术”上面达成平衡。

新建的上海自然博物馆所处的静安寺，是老上海城的几个中心地块之一，在这样的地方兴建自然博物馆无疑是需要魄力的，因为这不是以经济为驱动的商业设施，而是纯粹的文化和公益设施，正因如此，我们的城市才更有品位。此外，要把自然博物馆的功能发挥到最佳，需要合理解决公共交通问题，轨道交通是当前的必然选择，而且要让轨道交通车站与博物馆的进出口之间的连接尽可能便捷，几方面的需求集中到一起，就形成了新建的自然博物馆与地铁 13 号线的共建工程。

自然博物馆需要一个安静的环境，而地铁线路总是不停地有列车通行，列车通行数量越多，地铁的效益越好；列车通行数量越多，产生的振动频次越多，对环境的影响越大。自然博物馆与地铁之间是一对矛盾。解决这对矛盾引发的第一个技术问题就是如何减振，为此，上海市科委特意组织相关研究者对这一问题开展了专项研究，书中介绍了这方面的成果。其次，自然博物馆北侧是几乎同步开发的静安 60 号地块，该地块的基坑开挖面积达 $12\,000\text{m}^2$ ，开挖深度约 25m，南侧为雕塑公园，东侧为地下变电站，西侧为育才中学和上海的老住宅。这是一个非常复杂的施工环境，有十多个基坑，总面积超过 $36\,500\text{m}^2$ ，开挖深度均为 25m 左右，受承压水、建筑物、管线等影响，上海市科委也组织了专项研究，通过研究解决了相关的技术难题，书中也体现了相关的研究成果。

自然博物馆主基坑的施工期正好遇上在上海举办世博会，施工对环境的影响以及如何通过工程的筹划克服不同工程建设之间的干扰，所有这些都是值得总结的；绿色、生态、节能是当今都市建设的三大主题，

自然博物馆更应该体现这一主题，在本书中对上述问题也做了介绍。

本书的编写除了得到上海市科委、上海申通集团、上海科技馆、同济大学等单位的支持之外，宫全美、肖军华、霍军帅、元翔、陈娟、周萌、陈焘、张茜珍、邹吉聪、李梅芳、李培妍、贾煜、狄宏规、张冰清、余杰等也做了大量的工作，在此表示感谢。

作 者

2014 年 7 月上海

目 录

第一章 工程概况	1
第一节 上海自然博物馆建设概况	2
第二节 自然博物馆多重组合式基坑群工程概述	6
第三节 自然博物馆基坑及共建工程周边环境概况	16
第四节 工程地质及水文情况	20
第二章 上海自然博物馆共建工程的技术问题	25
第一节 公共建筑与轨道交通合建的减振要求	25
第二节 基坑群工程施工筹划	25
第三节 自然博物馆基坑工程的施工安全	26
第四节 市中心建设的周边环境保护	28
第五节 绿色生态建筑与节能	30
第三章 工程施工风险评估	31
第一节 国内基坑施工事故统计及典型案例分	31
第二节 风险分析原理及方法	34
第三节 上海自然博物馆基坑风险调查	37
第四节 基于层次分析法的上海自然博物馆基坑风险分析	44
第四章 受环境制约的工程筹划	69
第一节 施工单元划分	70
第二节 施工衔接组织设计	73
第三节 自然博物馆基坑群的施工方案	78
第四节 施工安全辅助措施	84
第五章 上海自然博物馆基坑承压水控制技术	98
第一节 常规降压及存在的问题	98
第二节 基坑坑底工程桩对抗突涌安全性的影响	103
第三节 围护结构插入含水层不同深度下降压效果研究	110
第四节 坑中坑基坑降压井布置研究	121
第五节 降压与隔断的组合处理法	130

第六章 多重组合式基坑群开挖施工的相互影响	142
第一节 坑中坑基坑开挖的相互影响.....	142
第二节 共墙基坑开挖的相互影响.....	161
第三节 相邻基坑承压水降压影响.....	163
第七章 深大基坑的施工变形控制	166
第一节 基坑变形机理及预测.....	166
第二节 异形基坑支撑内力分析方法.....	170
第三节 自然博物馆支撑轴力预测.....	172
第四节 拆换撑对支撑体系受力的影响分析.....	184
第八章 生态节能技术的应用	191
第一节 上海自然博物馆建设和生态发展需求.....	191
第二节 上海自然博物馆生态节能总体目标和创新点.....	194
第三节 上海自然博物馆建设生态建筑的关键技术.....	194
第四节 地下结构施工与节能设施.....	203
第九章 施工安全与减振一体化方法	206
第一节 钢弹簧浮置板减振技术.....	206
第二节 施工安全辅助措施兼作减振结构的一体化方法.....	213
第十章 工程实施效果	227
第一节 工期与进度.....	227
第二节 施工变形及周边环境控制效果.....	227
第三节 若干建设成果.....	245
参考文献	247

第一章 工程概况

上海自然博物馆老馆地处延安东路 260 号，占地面积约为 3 000m²，建筑面积约为 1.3 万 m²，是我国六大自然博物馆之一，标本收藏量近 27 万件，总量在全国综合性自然博物馆中位居第二。2001 年 11 月，上海自然博物馆建制撤销，并入上海科技馆，2004 年 1 月更名为“上海科技馆自然博物分馆”，是上海科技馆用于展示自然史研究成果，普及自然科学知识，开展科学研究和社会教育的重要场所。由于老馆现有的硬件设施陈旧老化、展厅面积较小、展示理念落后、缺乏必要的公共空间和相应的服务设施（如停车场）等原因，其科普功能未能得到充分有效的发挥，为此，上海市有关部门积极筹建自然博物馆新馆，以期对自然博物馆进行重塑与充实。新馆（图 1-1）位于上海市静安区雕塑公园内，总面积约 4.5 万 m²，地上三层、地下两层。建筑设计灵感来源于鹦鹉螺的壳体形式，充分采用智能、生态技术，以契合博物馆的“自然”主题。同时，建设中的地铁 13 号线从新馆下方穿过，既便于游客直达参观，也有助于缓解自然博物馆新馆周边的交通压力。

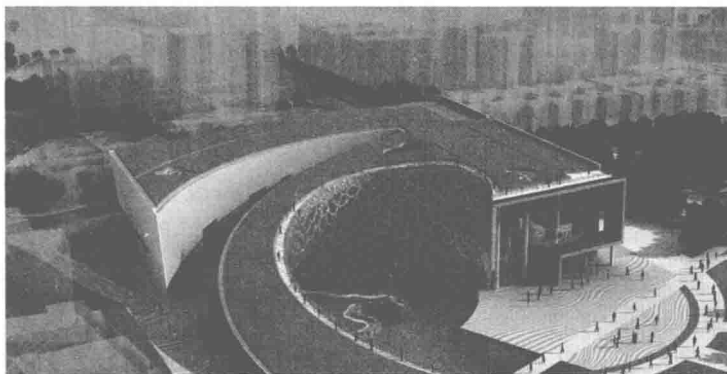


图 1-1 上海自然博物馆建成后的鸟瞰效果图

第一节 上海自然博物馆建设概况

一、建设时机

(1) 原上海自然博物馆迫切需要迁建

位于延安东路 260 号的上海自然博物馆老馆,近年来观众流量下降。其原因主要在于:

①上海自然博物馆的展示内容老套,形式单一,制作工艺也较为粗糙,与大量新建的文化设施相比,缺乏吸引公众的有效手段。

②上海自然博物馆现有建筑的局限性较大,展厅面积较小,发展余地有限,基础设施简陋老化,缺乏必要的公共空间和相应的服务设施,消防隐患严重,无法为游客营造舒适、安全、便利的参观环境与条件。

③上海自然博物馆的正门位于延安路高架的下方,且没有配套的停车场,参观者无法就近泊车,尤其是组织团体观众参观有较大的困难。

值得一提的是,在这样的客观情况下,每年仍有十多万人次的本地和外地参观者。因此,如果上海自然博物馆迁至新的场馆,扩大展厅面积,改善硬件配套设施,结合先进的展示技术与丰富的展示内容,必将成为上海市博物馆行业发展的新标志性项目,大大增强与提高上海自然博物馆寓教于乐的科普教育功能与社会效益。

(2) 自然史内容的展示需求目前无法得到满足

上海科技馆在建设和运营的过程中,始终致力于“自然·人·科技”这一主题的全面展现,尽可能地利用现有的自然史标本资源,充实自然史方面的科普内容,并采取了积极的措施,对上海自然博物馆加以改善和发展。

①对延安东路 260 号老馆进行了部分硬件设备改造(如增设了部分分体空调),并对中小学生团体实行免费开放。但由于条件所限,未能使上海自然博物馆这一珍贵科普资源得到充分的利用,大量标本依然没有条件与观众见面并发挥其教育功能。

②在世纪大道 2000 号设立了藏品区,对如何采用新的展示方法举办各类自然博物类展示进行了探索,并尝试以先进的技术手段展示贝林先生捐赠的世界珍贵野生动物标本,以使上海科技馆的自然史展示、教育功能得到有效的提升。

仅仅依靠延安东路 260 号的老展厅和世纪大道 2000 号的若干主题展区

(如:生物万象、地壳探秘、地球家园)以及不定期推出的临时展览,已不能完全满足自然史展示发展的需求。

二、选址

上海自然博物馆作为上海市文化、历史、艺术等教育活动的重要物质载体,选址时应考虑以下3点要求:首先,必须要符合城市整体规划,有助于推动城市的综合发展;其次,必须处于交通便利的地带,有助于游客参观和客流集散;最后,为了缓解市中心的交通压力,新建大型建筑一般应处于城市的节点位置。

综合以上要求和上海市地铁网络的发展,上海自然博物馆拟建场地位于上海市静安区,西傍慈溪路,东临大田路,南为静安雕塑公园,北为山海关路,地铁13号线从自然博物馆下方穿过,并设有自然博物馆站,如图1-2所示。

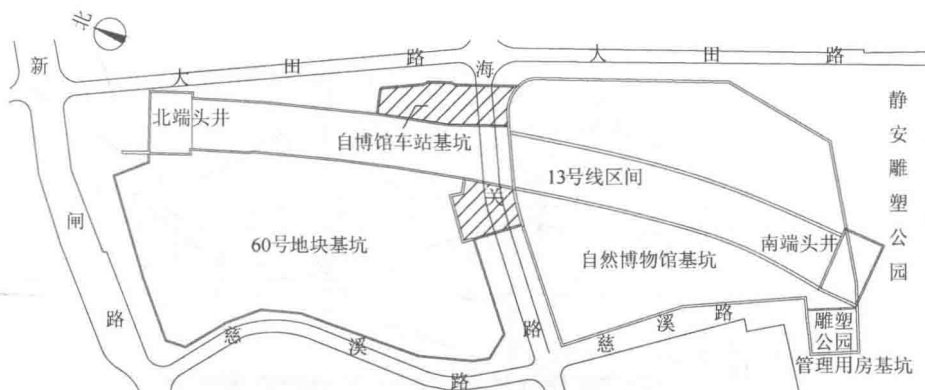


图1-2 自然博物馆地理位置示意图

三、建筑结构形式

上海自然博物馆为地上三层、地下二层建筑,建筑高度约为18m。主体拟采用钢筋混凝土框架结构,部分区域结合建筑平面布置少量剪力墙,局部特殊区域拟采用钢结构或预应力混凝土结构。不同使用功能的建筑平面柱网尺寸相差较大,展厅区域柱网尺寸以12m为主,局部大空间展厅柱网尺寸达18m。库房、设备和办公用房的柱网为8~12m不等。合建结构地下一层平面图及D-D剖面、E-E剖面分别如图1-3~图1-5所示。

新建上海自然博物馆地下室底板结合地铁13号线明挖区间段南北向穿越,如图1-6所示。

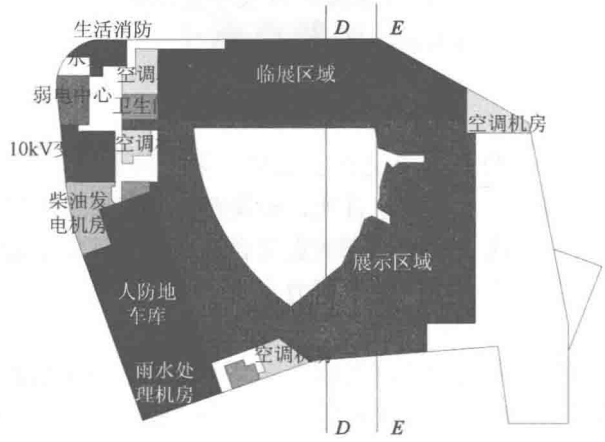


图 1-3 合建结构地下一层平面图

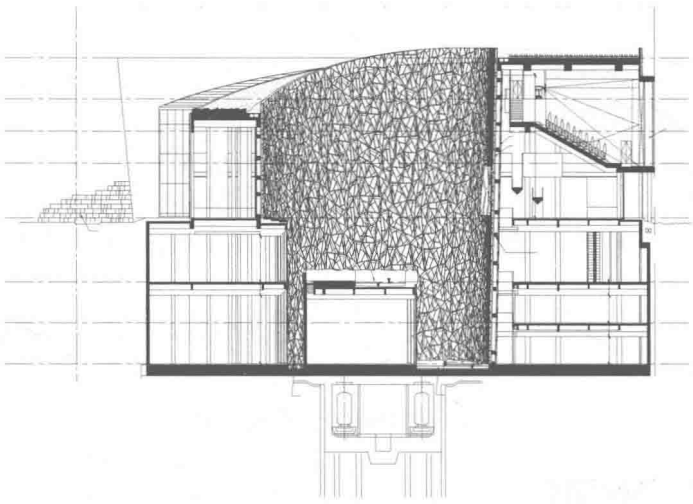


图 1-4 13 号线隧道与博物馆合建结构 D-D 剖面

自然博物馆拟建建筑物性质一览表见表 1-1。

拟建建筑物性质一览表

表 1-1

结构类型	层数及高度	基础形式	跨度 (m)	柱间距 (m)	基础底板埋深	基础底面单位面积荷载	最大单柱轴力 (kN)	是否沉降计算
钢筋混凝土框架	3 层 18m	桩—筏	12	12	地下 2 层埋深 24m	(16 ~ 20kPa) 层	13 000	是

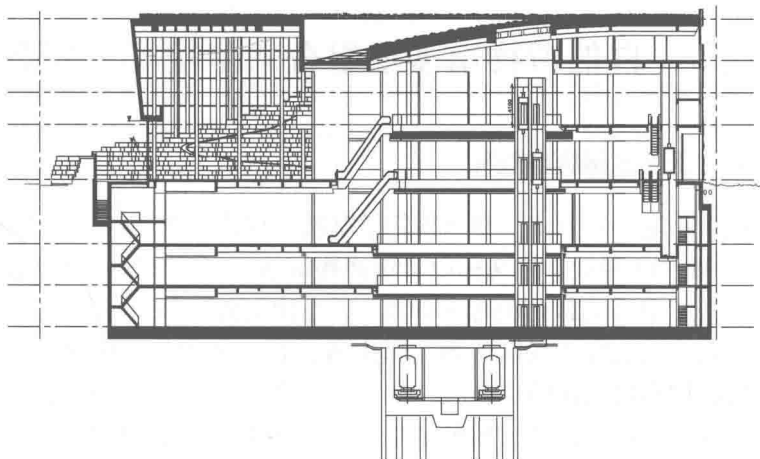


图 1-5 13 号线隧道与博物馆合建结构 E-E 剖面



图 1-6 自然博物馆大基坑与 13 号线地铁基坑剖面位置关系图 (尺寸单位: mm; 高程单位: m)

拟建上海自然博物馆结构形体复杂,跨度大、基坑深,同时由于拟建场地位于市中心城区,周边环境极其复杂。另外,场地中部有拟建地铁 13 号线南北方向穿越(宽度约为 21m),场地北侧即为地铁 13 号线自然博物馆站,因此对沉降控制十分严格。

第二节 自然博物馆多重组合式基坑群工程概述

一、多重组合式基坑群概况

由于城市用地布局紧凑,自然博物馆基坑工程地块内同期施工的有自然博物馆工程、地铁 13 号线 1 期 9 标段自然博物馆站工程、静安 60 号地块工程三个大型工程,三个基坑总面积约 $36\,500\text{m}^2$,总出土方量约 63万 m^3 。地域布局上,自然博物馆基坑位于场区南侧,隔海关路北侧为静安区 60 号地块,13 号线自然博物馆车站及区间由南向北贯穿于地块。从建筑规模和布局上看,是由大型公共展示场馆、轨道交通车站与超高层商务楼宇组成的典型综合性建筑群落;在地下空间的建设上形成了以自然博物馆、静安 60 号地块基坑为主体,叠加轨道交通车站和区间基坑的多重组合式深大异形基坑群工程。场地基坑群概括如图 1-7 所示。

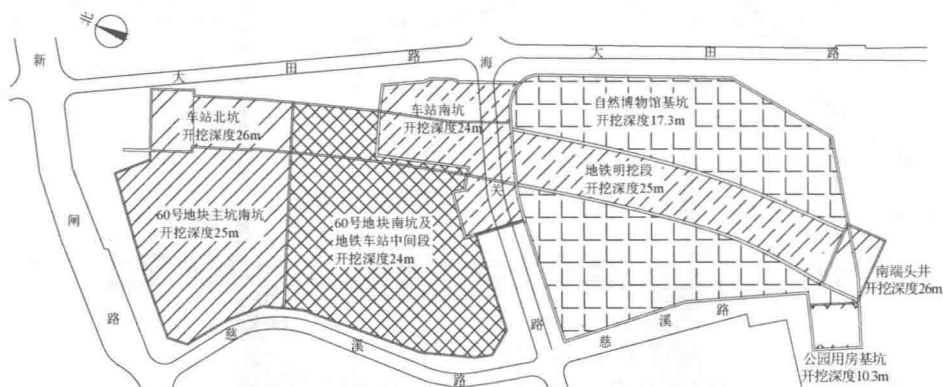


图 1-7 自然博物馆多重组合式基坑群平面位置关系示意图

(1) 自然博物馆基坑

自然博物馆基坑工程位于整个地块场区南侧,开挖面积约 $15\,240\text{m}^2$,最大开挖长度(南北向)为 150m ,最大开挖宽度(东西向)为 100m ,开挖深度为 17.3m 。

自然博物馆大基坑支撑采用竖向四道钢筋混凝土支撑体系,首道支撑与栈桥布置结合,栈桥厚度为 300mm 。各道支撑中心绝对高程为 $+1.3\text{m}$ 、 -3.2m 、 -7.4m 、 -11.2m ,基坑大底板绝对高程为 -14.7m 。自然博物馆基坑剖面图如图 1-8 所示。

(2) 静安 60 号地块工程

静安 60 号地块工程的基坑位于整个场区北侧，工程开挖面积约 $12\,000\text{m}^2$ ，开挖深度 24.9m ，开发部分是一幢高 250m 的超高层塔楼，该建筑地面共 55 层；裙房三层，为商业及酒店附属用房；地下共 4 层，为地下停车库及地下商业。工程总建筑面积 $178\,909\text{m}^2$ 。

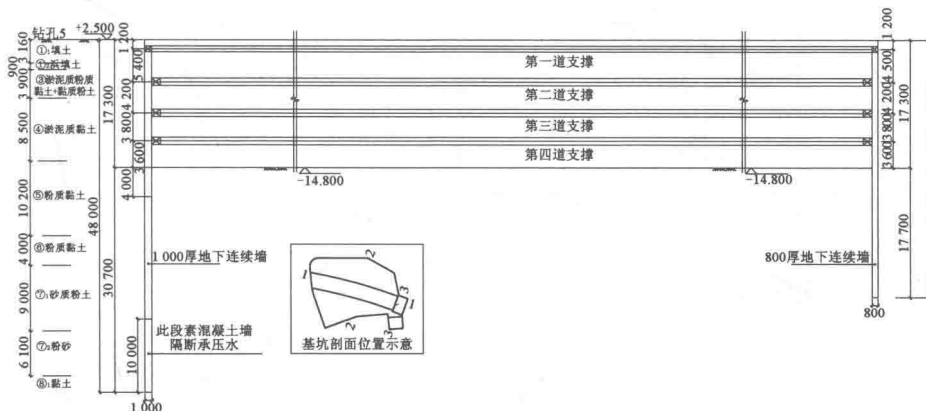


图 1-8 自博物馆基坑支护结构剖面图 (尺寸单位: mm; 高程单位: m)

工程设计围护墙体采用 1m 厚、 48m 深地下连续墙。地墙均穿透⑦层承压水层进入⑧层黏土层。基坑支撑采用竖向 6 道钢筋混凝土支撑体系，首道支撑与栈桥布置结合，栈桥厚度为 300mm 。各道支撑中心高程分别为各道支撑中心高程为 $+2.1\text{m}$ 、 -1.9m 、 -6.4m 、 -10.8m 、 -14.7m 、 -18.6m ，基坑大底板绝对高程为 -22.3m 。局部深坑落底处设一道型钢支撑。60 号地块基坑支护结构剖面图如图 1-9 所示。

(3) 地铁 13 号线工程

地铁 13 号线工程基坑南北向贯穿整个场区，由南向北分为南端头井、区间段和自然博物馆车站主体。

①南端头井：开挖面积 420m^2 ，开挖深度 26.188m ，地下 4 层钢筋混凝土框架结构。围护采用 1m 厚、 48m 深地下连续墙。共采用 6 道支撑，其中，第一、四道为钢筋混凝土支撑，其余均为 $\phi 609$ 钢支撑（第五道为双楸钢支撑）。

②区间段：南北向于自然博物馆底板下穿越，开挖面积 $3\,500\text{m}^2$ ，开挖宽度约为 25m （落深开挖约 7.7m ），采用 0.8m 厚地下连续墙，自然博物馆基坑以下采用两道支撑体系，第一道为钢筋混凝土支撑，第二道为 $\phi 609$ 钢支撑。

③车站主体：开挖面积约 $5\,200\text{m}^2$ ，开挖深度约 25m ，东西两侧外挂出口

区域开挖深度 11m。地下 4 层钢筋混凝土框架结构。围护采用 1m 厚, 48m 深地下连续墙。共采用 6 道支撑, 其中, 第一、四道为钢筋混凝土支撑, 其余均为 $\phi 609$ 钢支撑 (第五道为双榀钢支撑)。

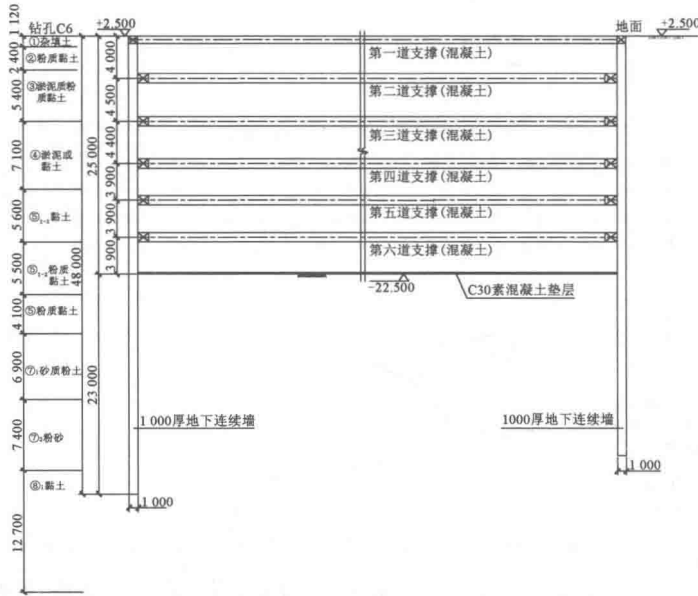


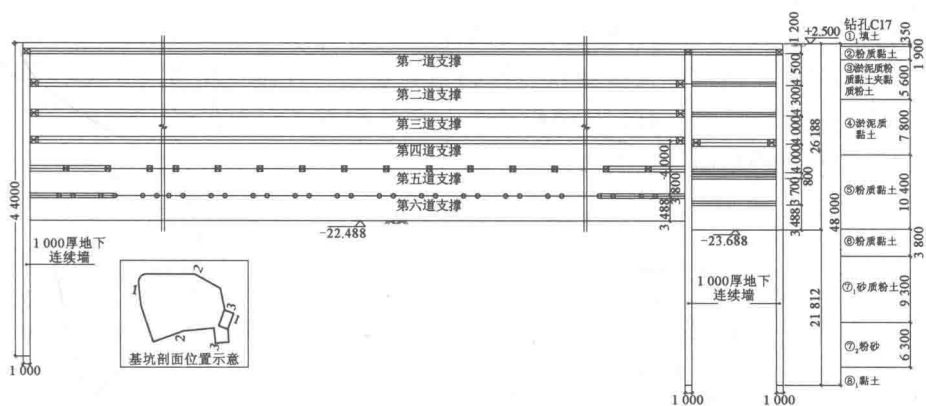
图 1-9 60 号地块基坑支护结构剖面图 (尺寸单位: mm; 高程单位: m)

地铁 13 号线工程各基坑的剖面图如图 1-10 所示。

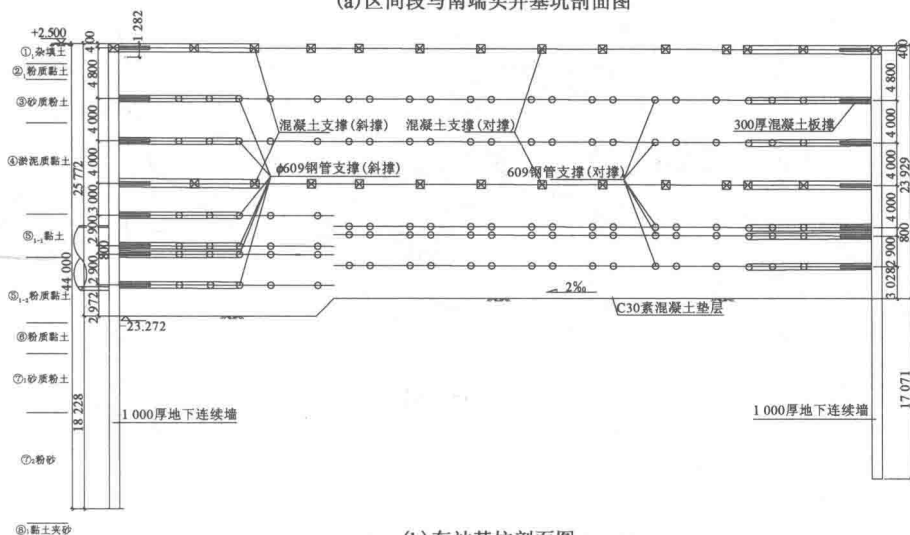
由以上工程概况可见自然博物馆基坑所属地块内 3 个工程, 从地域布局上, 自然博物馆基坑位于场区南侧, 隔山海关路北侧为静安区 60 号地块, 13 号线自然博物馆车站及区间由南向北贯穿于地块。三个基坑总面积约 36 500m², 三个工程工期搭接, 在地域上各工程基坑形成紧邻、嵌套等复杂立体衔接。

地块场区位于市中心, 周边环境较为复杂, 其中: 南侧为已建成部分的静安雕塑公园, 公园南侧为北京西路。东侧, 大田路以东、山海关路以南为已建成的世博 500kV 变电站, 以及在建中的 110kV 变电站, 距自然博物馆基坑最近距离约 20m。大田路以东、山海关路以北、新闸路以南, 主要为培德里街坊与大田路天主教堂, 距地铁车站主体基坑最近距离约 10m。西侧, 慈溪路以西、山海关路以南为育才中学与部分老式民宅, 距自然博物馆基坑最近距离为 10m, 慈溪路以西、山海关路以北、新闸路以南为石门二路街道医院与达安城

高层住宅区，距 60 号地块工程基坑最近距离约 20m。北侧距 60 号地块工程北侧约 10m 为新闸路主干道。



(a) 区间段与南端头井基坑剖面图



(b) 车站基坑剖面图

图 1-10 地铁 13 号线自然博物馆车站基坑剖面图 (尺寸单位: mm; 高程单位: m)

另外,工程所处地区原为旧城区,道路下管线分布复杂,其中部分煤气与下水管道年代较为久远。

本专著以上海自然博物馆基坑及与其共建的地铁 13 号线区间基坑、南端头井基坑工程为主体研究对象, 下面详细介绍该基坑的工程概况。

二、基坑及其共建工程概况

自然博物馆基坑工程平面形状极不规则，开挖总面积约 $14\,400\text{m}^2$ ，基坑外边周长约 532m 。基坑结合地铁 13 号线施工，地铁 13 号线基坑位于自然博物馆大底板以下，地铁段顶板即自然博物馆大底板，在基坑南部有一地铁始发井，需在大基坑开挖之前完成结构施工。

三个基坑的平面位置关系如图 1-11 所示。



图 1-11 三个基坑的平面位置关系

自然博物馆基坑开挖深度约为 17.3m ，公园设备用房处开挖 10.3m ，大基坑底板局部深坑深度为 2.9m ，地铁 13 号线明挖区间标准段开挖深度 24.988m 。地铁 13 号线明挖区间在场地中部从自然博物馆地下室下南北向穿越，在自然博物馆基坑的基础上再落深开挖 7.7m ，开挖宽度达到 25m ，两者共建顺作开挖，自然博物馆基坑的底板与地铁 13 号线基坑的顶板共用，形成独特的“坑中坑”结构形式。南端头井开挖深度 26.19m ，为满足本工程筹划