

Underground Building Structure Design Optimization and Case Analysis

# 地下建筑 结构设计优化及案例分析

李文平 编著

中国建筑工业出版社

# 地下建筑结构设计优化及案例分析

李文平 编著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

地下建筑结构设计优化及案例分析/李文平编著. —

北京: 中国建筑工业出版社, 2019. 4

ISBN 978-7-112-23142-3

I. ①地… II. ①李… III. ①地下工程-结构设计

IV. ①TU9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 297966 号

本书从宇观、宏观、微观三个层次系统阐述了地下建筑结构的优化方法: 宇观层次即地下空间综合利用方面的设计优化, 主要是对地下空间的布局与范围的优化、根据岩土地质与水文地质情况调整竖向设计的优化及地下车库柱网的设计优化; 宏观层次的优化主要体现在岩土与地基基础方案的优化及地下主体结构的设计优化, 其中地基基础方案的比选与优化、桩基方案的比选与优化、基础底板结构选型与优化、结构抗浮设计优化、抗拔桩与抗拔锚杆的比选与优化、地下车库楼屋盖优化及无梁楼盖优化设计专篇都是堪称干货的内容; 微观层次则提出了很多构件设计、软件操作等方面的精细化措施; 三个层面大多提供了相应的数据对比或案例分析。

本书的主要受众群体为岩土与建筑结构设计单位、房地产开发企业的设计管理部门技术人员, 也可供工程、成本、项目管理、投资决策人员参考, 还可作为建筑结构设计优化的培训教材以及高等学校相关专业师生的辅助教材使用。

责任编辑: 武晓涛

责任校对: 姜小莲

## 地下建筑结构设计优化及案例分析

李文平 编著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

天津安泰印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 29 $\frac{3}{4}$  字数: 721 千字

2019 年 4 月第一版 2019 年 4 月第一次印刷

定价: 88.00 元

ISBN 978-7-112-23142-3

(33228)

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)

# 前言

设计优化有三个层次，其一是建筑结构总体方案的优化，可称之为宇观层次的设计优化，有关总平面与竖向设计优化，地下空间布局与范围的设计优化，建筑物总高、埋深与层高的设计优化，平面体型立面规则性的设计优化，竖向结构构件类型与布置方式的优化大都属于这一层次；其二是岩土及结构设计方案的优化，可称之为宏观层次的优化，有关地基处理方案的优选、地基基础方案的优选、桩基方案的优选、抗浮设计方案的优选、结构体系与结构布置方案的优选大都属于这一宏观层次；其三是构件层次的优化，可称之为微观层次的优化，是单纯从一个个结构构件下手而进行的优化，所谓的精细化设计也主要是从结构构件入手。

宇观层次的优化可以称之为全过程、全专业的设计优化，是咨询优化公司在地产公司获取土地之后就需参与的设计优化；宏观层次的优化是岩土与结构两个专业（也可称为大结构专业）参与的半过程设计优化，是咨询优化公司在方案设计后期、初步设计前期就需参与的设计优化；微观层次的结构优化则是典型的单专业结果优化，结构优化公司基本不参与建筑结构与岩土工程设计的过程。

就优化所产生的价值而言，是依宇观-宏观-微观的顺序递减的，而且递减的程度往往是数量级的递减。根据我们针对数十个咨询优化项目的实践经验，宇观层次的优化价值大都在千万元级，宏观层次的优化可达百万元级，而微观层次的优化基本就是在十万元级。

就优化的阻力与代价而言，则是依微观-宏观-宇观的顺序而递减的，即咨询优化工作越是前置，则优化的阻力越小、代价越低。

目前设计优化市场上基于施工图设计成果的结构优化，基本不具备宇观层次优化的可能，而宏观层次的优化对结构设计的修改也基本上是颠覆性的，故优化的可能性也仅存在理论层面，因此基于施工图设计成果的结构优化基本局限于微观层面，也即对结构构件的优化。

设计院同行对结构优化的抵触或抗性，除自身主观认知因素外，也和结构优化代价相对较大而价值相对较低有关。

因此我们积极倡导全过程、全专业的设计优化（我们更喜欢用设计咨询一词），可收到一本万利、事半功倍的效果。

目前中国铁建地产集团已经将全过程全专业的设计咨询作为房地产开发项目的标准流程，在数十个房地产开发项目中，累计为集团在降本与增效两个方面创造了近 10 亿元的账面价值。

无论哪个层次的设计优化，地下部分相较于地上部分而言都具有更大的优化空间，也往往具有更大的优化价值。而且由于地下部分的设计受到场地条件、岩土地质、水文地质及相邻建筑物等诸多因素的影响与制约，且这些因素又千变万化难以事先全面掌握，是最具个性化、最难标准化的设计。因此，相较于地上部分而言，地下部分的设计本身就富于变

化,也就给优化设计提供了更多的可能性和优化空间。地下部分的优化是设计优化的重头戏,是甲方、设计单位及咨询公司都应该重点关注的地方。

本书宇观层次的优化主要体现在三个方面,即地下空间综合利用方面的设计优化,主要是对地下空间的布局与范围的优化;根据岩土地质与水文地质情况调整竖向设计的优化,主要体现在减小地下结构层高与埋深方面,特殊情况下也有增加埋深的优化;地下车库柱网的设计优化。

在地下空间综合利用方面的设计优化,主要是根据岩土地质、水文地质及相邻地下建筑物在水平与竖向的关系而对建筑方案进行修改的优化,涉及地下空间的轮廓范围、地下空间各部分的层数埋深等。这是涉及多专业的综合性设计优化。在决策层面,本书建议一定要遵循具体情况具体分析,避免经验主义错误的主导原则。在执行层面,本书则建议进行全面客观的多方案技术经济比较,避免丢项漏项所导致的比选结论偏差。

有关经验主义错误的生动案例可参见微信公众号“铁建地产营造社”发布的“《三体》的启示——经验主义之伤”一文。该文章出自本人之手,欢迎读者造访并批评指正。

在降低地下室层高与埋深的措施方面,本书除系统介绍了降低结构梁高及设备管线高度等常用手段外,还系统介绍了减小车库顶板覆土厚度、优化并减小车库楼地面面层做法与厚度以及优化或取消车库顶板找坡与蓄水(排水)层等非常规措施的可行性与经济意义;在减小车库底板面层厚度方面,又系统分析了覆土垫层、滤水层、地面找坡及排水沟的必要性及利弊,并给出车库面层做法的建议优化方法。

在地下车库柱网优化方面,本书从建筑专业角度对地下车库的三种柱网形式进行了系统的介绍,并根据小型车的国标车位尺寸针对三种柱网形式给出极限状态下的最经济柱网尺寸,同时给出各种柱网形式的基本单元模块及具体工程实例,并结合建筑功能、车位效率、品质观感及材料用量等给出综合建议。

本书宏观层次的优化主要体现在岩土与地基基础方案的优化及地下主体结构的设计优化。前者又分为地基基础方案优化、地基处理方案优化、桩基方案优化、基础底板结构选型优化及结构抗浮设计优化等内容。后者则主要是地下结构几大组成部分的设计优化,包括基础底板、地下车库楼屋盖及地下结构外墙等,但基本聚焦在荷载取值与分布、地基承载力的深宽修整、结构体系与布置、结构计算模型的合理化与精细化等宏观方面,个别构件如地下室外墙等也深入到配筋方式方面。

本书在岩土与地基基础选型以及桩基方案选型方面给出更多实际工程案例,涉及岩层埋深较浅的土层、深厚细颗粒土层(淤泥或淤泥质土)、具有一定厚度的卵石层、湿陷性黄土地层、桩端可入岩的地层等几种有代表性的岩土与工程地质情况,以图文并茂的方式提供了岩土地质与桩基设计信息,可供读者在相似地质情况下进行地基基础选型与桩基方案选型时参考。

基础底板结构选型章节主要介绍了基础底板结构选型原则、常用的基础底板形式以及常用主体结构形式所适用的基础底板形式,以及构成基础底板的各组成部分在竖向的位置关系(底平、顶平或上下凸出等)。

结构抗浮设计优化章节对建筑物整体或局部抗漂浮稳定与基础底板抗浮结构计算这两类抗浮问题重新进行了梳理和阐释,体现了更好的系统性与逻辑性,强调了主裙楼连体结构在水浮力工况下的变形协调问题,系统详细地介绍了抗漂浮稳定的技术措施,重点介绍

了抗拔桩与抗拔锚杆的设计优化，并提供二者横向比较与选择的具体原则和方法。

地下主体结构设计优化，主要聚焦在地下结构层高、荷载、基础底板、楼屋盖与地下结构外墙等方面。

对于覆土较厚、活荷载较大的地下车库顶板，给出了荷载取值、活荷载折减、消防车荷载布置及与荷载相关的优化控制原则；对于基础底板的设计优化，重点介绍了分离式浅基础（柱下独基、墙下条基）几何尺寸的优化及与之相关的地基承载力深宽修正问题，系统介绍了各种可能情况下的深度修正原则，尤其是对于主裙楼连体建筑物，对主裙楼各自的地基承载力深度修正问题给出了全新的理解、阐释及解决方案。

对独立基础加防水板体系中的防水板设计，本书按有无水浮力两种不同受力模式分别进行了系统地阐述，其中有水浮力模式又分为向上（水浮力控制的工况）及向下（恒活荷载控制的工况）两种不同的工况，并对两种工况的荷载、几何模型与边界条件给出具体的优化建议；而针对无水浮力的受力模式，则分为“零内力状态”、“相对于基础向下挠曲的受力状态”以及“相对于基础向上挠曲的受力状态”分别给出具体的优化设计建议，具有较强的系统性及一定程度的独创性。

筏形基础优化章节的亮点在于以图文并茂的方式阐明了基床反力系数的物理意义及实际作用，可对饱受该系数困扰的岩土与结构工程师起到立竿见影的解惑作用。

本书最大的亮点与成就在于地下车库大中小三种柱网形式在不同荷载条件下（有覆土的车库顶板、非人防车库顶板及人防车库顶板）各种常见楼屋盖结构形式的材料用量统计，以及大柱网车库顶板在不同覆土厚度下各种常见楼屋盖结构形式的材料用量统计，最大限度地方便所有专业与非专业人士参阅。此外，本书也介绍了大跨度钢筋混凝土楼屋盖的几种结构布置形式，并给出了几种结构布置方式下的材料用量对比。

本书也针对当前处于风口浪尖的无梁楼盖给出了优化设计专篇，给出了全面而系统的结构设计保证措施，并结合美国混凝土结构规范（ACI318-14）给出托板最小尺寸与结构整体性钢筋的配置建议。同时对设计管理、施工管理及物业管理等方面给出科学合理且切实可行的技术与安全措施。

不可否认的是，本书与《建筑结构优化设计方法及案例分析》一书有部分内容重叠之处，但既然是姊妹篇，为了保证每本书各自的系统性与完整性，想来想去也只好如此，希望读者能理解。且本书在内容重叠之处，已对有关内容进行重新编排与优化重组，使其系统性、逻辑性更强。

本书在写作及整理过程中，得到了有关领导、同事、合作伙伴及家人的大力支持，在此一并致谢。

由于作者理论水平与实践经验有限，书中难免有不当之处，恳请读者批评指正。作者邮箱：1244935042@qq.com，276256527@qq.com。

# 目录

<b>第一章 建筑结构整体方案的设计优化</b> .....	1
第一节 地下空间综合利用与设计优化.....	1
第二节 减小层高与埋深的竖向设计优化 .....	22
第三节 地下车库柱网的设计优化 .....	56
<b>第二章 岩土与地基基础方案的选择与设计优化</b> .....	65
第一节 地基基础选型与设计优化 .....	65
第二节 地基处理方案的选择与设计优化 .....	80
第三节 桩基方案的选择与设计优化.....	100
第四节 基础底板结构选型设计优化.....	131
第五节 结构抗浮方案选择与设计优化.....	141
第六节 载荷试验的优化策略.....	159
<b>第三章 地下主体结构的设计优化</b> .....	167
第一节 与降低层高有关的设计优化.....	167
第二节 与荷载相关的设计优化.....	168
第三节 基础底板设计优化.....	173
第四节 地下车库楼屋盖结构的设计优化.....	207
第五节 地下结构外墙的设计优化.....	251
<b>第四章 结构精细化设计</b> .....	278
第一节 基础类构件相关的精细化设计.....	278
第二节 地下结构墙体的精细化设计.....	344
第三节 柱的精细化设计.....	355
第四节 梁的精细化设计.....	364
第五节 板的精细化设计.....	369
第六节 节点连接构造的优化设计.....	373
第七节 材料选用的精细化设计.....	377
第八节 设计结果归并的合理化与精细化.....	382
<b>第五章 模拟、分析及设计方法的合理性与设计优化</b> .....	385
第一节 荷载取值与倒算的控制与优化.....	386
第二节 几何模型与边界条件的确定与优化.....	399
第三节 分析与设计参数的取值与优化.....	405
第四节 分析、设计方法及工具的选择与优化.....	422
第五节 设计目标的合理设定与优化.....	438
第六节 计算结果异常的甄别与优化.....	446

第六章 外部设计条件对岩土结构成本的影响及优化策略.....	448
第一节 对勘察报告中岩土设计参数的评价与优化.....	448
第二节 对勘察报告中抗浮设计水位的评价与优化策略.....	459
第三节 对“地震安全性评价”结果的评价与应对策略.....	461
第四节 对“人防设计要点”中人防配建指标与抗力级别的评价及应对策略.....	463
参考文献.....	465



# 第一章 建筑结构整体方案的设计优化

## 第一节 地下空间综合利用与设计优化

### 一、地下空间利用的时点分析

#### 1. 项目开发决策阶段的地下空间利用问题

地下空间的开发成本高、收益低、资金占用较多且资金回收周期长，故对于地下空间的开发利用问题，在项目开发决策阶段就应该予以考虑。

对于土地价格相对便宜的三四线城市，地下空间的利用价值不高，除了满足必要的人防配建要求与地下车位的配比要求之外，不建议人为加大地下空间的开发规模，基本上是以不做或少做为宜。

但对于土地资源稀缺、土地价格极高的一线城市，地下空间的开发利用就是一个值得深入研究的课题，开发利用得当，也可以获得丰厚的回报。尤其是热点城市的土地市场在限房价、竞地价的游戏规则下，房价在竞拍土地时就已经限死，楼面地价无限接近政府对商品房的限价，利润空间被压缩得比三四线城市还窄，靠增加赠送、提高品质等增加产品溢价的传统玩法已经全部失灵，投入越多可能亏损越大，但投入过少则必然导致品质降低，客户流失。在这种特殊的房地产时代背景下，开发不占用容积率的地下空间，就成为开发商在夹缝中生存继而获利的唯一途径。于是买廉价楼房搭售高价车位或高价仓储，就成为众多已经上套开发商的开发与销售策略。

因此在项目开发决策阶段主要是确定地下空间开发的规模或者强度，也即对是否利用地下空间及地下空间体量进行决策。

#### 2. 总平面与竖向设计阶段的地下空间利用问题

地下空间的开发规模或强度一经确定，地下空间利用问题就转移到技术层面。在总平面与竖向设计阶段，地下空间利用的问题主要是确定地下空间的形态，也即地下空间在平面上的轮廓、面积和在竖向的层数、层高与埋深等，以及在既定配置量的前提下，如何尽可能充分利用岩土结构原因而必然存在的地下空间、人防建设所要求的地下空间，并处理好其与主体建筑、景观、道路、管线等错综复杂的关系，从而采取综合经济效益最好的地下空间形式。

地下空间综合利用既是总平竖向设计阶段需要考虑的问题，也可能是进入技术设计阶段后需要进一步进行技术经济比较从而进行决策的问题。但即便是技术设计阶段才能决策的问题，在总图设计阶段，提前对各种可能的情况进行预估和预判，同时做好一定的预留和预设条件，也可为技术设计阶段突然出现或面对的情况有所准备，从而从容应对，不致

慌乱，以便更快更好地做出技术经济分析，从而更迅速更准确地做出决策。

地下空间在平面方向的尺度与在竖向的层数往往是对立统一、此消彼长的关系，这也是经常困扰设计师的一个问题。具体来说，就是在地下室面积一定的情况下有关地下室层数的讨论，笔者由此想到了某结构论坛上网友发布的一个求助帖子，求助内容如下：

“一万方的地下室，上面有两栋 33 层的住宅楼和两栋 19 层的商务楼，目前处在方案阶段，一种方案为一层地下室，一种方案为两层地下室，请教各位专家能不能帮我分析一下哪一种造价高呢？（包括基坑支护费用）”

有不少专业人士跟帖回复，大多数回复不能说错，但多不够全面和严谨。

其实，这个求助帖子所提的问题本身就不够严谨，没有说明岩土地质情况及地下水的情况，也没能明确主楼地下与地下车库是否相连，因此算是提出了一个很泛泛的问题。很泛泛的问题往往答案也是泛泛的。因为这个问题的本身就是一个多元复合函数，其解受多个变量的影响，而且变量之间可能还互相影响，因此在诸多变量不能确定的情况下，该函数是没有定解的。

即便是知名的品牌开发商，对这个问题的结论也不尽相同。某以成本控制见长的开发商认为做两层普通地下室的单方造价低于一层普通地下室，而另一以设计研发见长的开发商则认为两层普通地下室的单方造价要高出一层普通地下室大约 400~600 元/m<sup>2</sup>。

不同的结论是因为不同变量的限定，换句话说是在不同限定条件下的结论。千万不要迷信任何权威人士或权威机构的任何固定的或终极的结论，一定要分析该结论所依据的限定条件。在这些问题上一定是法无定法，一定要具体情况具体分析，否则就犯了教条主义与经验主义错误。

影响前述对比结论的变量或影响因素主要有地形地貌、岩土地质、水文地质、场地限制条件、人防配建指标、车位配比指标、车库与主楼在水平与竖向的关系以及项目所在地的一些特殊规定等。以上因素既是竖向设计需要考虑的内容，同时竖向设计的结果又会进一步影响地下空间利用的经济性。具体到地下空间的形态，也即地下空间向水平方向扩展还是向深度方向扩展的问题，需考虑以下因素：

1) 一层变到两层是否会引起地基基础形式的改变。如果一层地下室的地基持力层较差需要进行地基处理或者采用桩基，而二层地下室的支持力层较好能满足天然地基要求时，做二层地下室会降低单方造价；或者一层地下室天然地基方案难以满足地基承载力或沉降控制要求，通过加大埋深就可解决承载力与变形要求的情况（增加一层地下室可通过更多的承载力深度修正，提高承载力设计值，同时增加一层地下室可有效降低基底附加压力，减小地基变形）；

2) 一层变到两层是否影响土方开挖与支护方式的改变。受土质情况影响，当从地下一层变到地下二层需要改变土方开挖及支护方式时，如从放坡开挖到土钉墙支护，或从土钉墙支护到护坡桩支护，都会导致单方造价大幅增加；

3) 在天津、上海等以淤泥质土为主的地区，即便土层沿竖向比较均匀，两层地下室的支护造价也会较一层地下室大大提高；

4) 在山地丘陵等岩层较浅地区，如果建二层地下室的开挖难度较大，就不要轻易采用二层地下室；

5) 一般来说，在平原腹地既不近山也不临海的地区，地层比较均匀稳定，无论沿水

平方向还是竖直方向，地质情况都没有太大的变化，且土质情况不是很好、也不是很差。有放坡开挖条件时可以放坡开挖，放坡开挖条件稍差时，可以做简单的土钉墙支护，在不受地下水影响的情况下，两层地下室的单方造价会比一层地下室稍低一些；

6) 当主楼与地下车库连体时，一般单层地下车库的基础埋深与主楼下双层地下室的基础埋深大致相当，这种基础底平的设计还是比较经济的，但若再增加一层地下车库，就可能造成车库基础深于主楼基础，不但对主楼结构的安全不利，而且变埋深处在施工期间的临时措施以及结构永久构造措施均会增加额外的造价，因此在这种情况下不宜增加地下车库层数；

7) 当项目有较高比例的实土绿化要求时，比如北京要求实土绿化的比例不低于项目总体绿化率的50%，则类似其他地区在整个场地满铺地下车库的做法就行不通，在当前车位配比要求下，单层地下车库基本无法满足要求，因此需要比较的就不是单层地下车库与双层地下车库的问题，而是双层地下车库与三层地下车库的问题。

综上所述，对于房地产开发项目必不可少的地下车库，当增加一层地下室可能会使开挖难度大大增加，或基坑支护的造价大大增加，或导致车库基础深于主楼基础时，尽量采用在平面上展开而在竖向压缩的地下空间形态。比如一层地下车库能解决的就不要采用两层地下车库，两层地下车库能解决的就不要采用三层地下车库，依此类推。

当增加一层地下室会使基础落在更好的持力层上从而可采用更为经济的地基基础形式时，或者地下车库加层后仍然可以采用自然放坡或土钉墙等简单支护结构的工程，采用向深度扩展的加层方案会更加经济。

前述的分析比较结论是在地下车库总量不变前提下的比较，但在某些情况下，即便采用双层地下车库后导致地下车库的总面积有所增加，但所增加的造价也能在其他方面找补回来，虽不能降本，但能显著增效，也能获得不错的综合经济效益。

比如场地低洼，需要较高填方的场地，虽然增加一层地下车库会使工程造价有较大幅度的增加，但增加地下车库层数不但可以大幅减少填方数量，还可以降低在填土地基上建造的难度及对填土地基的处理费用，因此可使增加地下室的增量成本大大降低。

再比如表层土质情况很差，但增加一层地下车库后的地基持力层却非常好的场地地质情况，虽然增加一层地下车库会使工程造价有较大幅度的增加，但可以省去可观的地基处理或桩基的费用，同样可使增加地下室的增量成本降低，利弊得失权衡之下，增加一层地下车库有可能会是一种不错的选择。

地下空间利用不仅仅是总图设计必须要考虑的问题，而且是总平面与竖向设计中一个非常关键的影响因素。这种影响有技术层面的，也有经济层面的。从技术层面，地下空间利用不仅仅是规划、总图和建筑专业需要重点考虑的问题，还会牵涉岩土结构、小区道路、综合管网及环境景观等多方面因素，是牵一发而动全身的影响因素，因此必须在总图设计阶段就进行谋划。在经济层面，地下空间利用与否、利用的好与坏，对成本造价的影响往往数以千万计。大量地下空间的存在也会对工程施工产生制约，如果项目分期或施工顺序安排不当，可能对项目工期及交房带来拖累。

### 3. 设计实施阶段的地下空间利用问题

在地下空间的开发规模与空间形态基本确定之后，在接下来的技术设计阶段（方案设计到施工图设计）主要是围绕地下空间的利用效率来进行，具体体现在以下四个方面：

1) 在满足使用功能的前提下尽量实现地下空间的紧凑布局,使各功能区在满足必要功能前提下的空间占用最小化。

比如影响地下停车库的单车位建筑面积指标的主要因素中,单车位平面尺寸以及地下车库的柱网尺寸,均可在满足规范要求的前提下通过压缩平面尺寸及进行紧凑布局来降低车均面积。

2) 根据不同功能区的价值高低进行空间布局的优化调整,使同等规模地下空间的价值最大化。

比如占据车道两侧黄金位置的设备用房,就可以置换到主楼下从而让出相应的位置用于布置车位;而车库地面与室外地面等高的一侧可以将车位划分给商铺等。总之,在条件具备时,尽量向价值高的一侧倾斜。

3) 剔除不必要的冗余空间,在满足必要功能的前提下缩减建设规模。

比如地下车库边角处没有任何功能的面积,完全可以将车库轮廓内收从而将这些无效面积剔除出去。

4) 最大限度地挖掘那些可以利用的空间,追求成本效益的最大化。

比如局部层高较高或覆土较厚的部分可以做夹层等。

## 二、地下空间利用的利弊分析

地下建筑相比地上建筑而言,因在建造环节多出土方开挖、边坡支护、基坑降水、地下室防水及肥槽回填等,故建造地下空间的成本要大大高于地上空间。

以地下车库为例,普通地下一层地下车库建安成本约 1600 元/m<sup>2</sup>,人防地下室约 2300 元/m<sup>2</sup>,地下一层加地下二层普通地下车库建安成本约 2000~2200 元/m<sup>2</sup>,地下一层普通地下车库、地下二层人防地下室的建安成本约 2000~2500 元/m<sup>2</sup>。与地上建筑 900~1000 元/m<sup>2</sup>建安成本相比还是很高的。

地下空间又存在阴暗潮湿、采光通风不好、环境友好性差等先天不足,而且存在漏水灌雨等隐患,对消防的要求较高等,故利用地下空间的综合效益大多不佳,尤其是三四线城市的地下车库大多滞销且赔钱,严重影响资金周转与项目利润,因此原则上以少建为宜、不建最好。

但很多事是不以人的主观意志为转移的,不是开发商想不建就不建的,比如配建的人防工程,必须是全埋地下室;高层建筑为保证结构嵌固深度(桩基为结构高度的 1/18,其他地基基础形式为结构高度的 1/15),也必须有足够的基础埋深,不利用的代价可能比加以利用的代价更高;还有中高密度住宅以及商业办公项目的车位配比,光靠地面停车是无法满足车位配比要求的,有的地区甚至不承认地面停车位,因此地下车库的建造也不可避免。

在有些情况下,建造地下空间也能获得较好的效益,如住宅首层的下跃以及大地下车库内的私属封闭车库(带储藏空间),都能获得较好的回报。而且地下空间大多不计入容积率,因此对于没有地下建筑面积限制及总建筑面积限制的项目,即可利用地下空间建造增值功能区并将其建造成本转移到产品溢价上去,不但客户与开发商双双得利,政府也没有什么损失,皆大欢喜。至于一线城市核心区的地下空间,更是寸土寸金,无论是什么功能定位,都能获得高于建造成本的回报。对于时下热点城市的“限房价、竞地价”项目,

开发商也是采用廉价商品房搭售高价地下储藏室与高价地下停车位的盈利模式。

### 三、地下空间利用的客观要求

客观要求是一种被动的选择，是不以开发商的意志为转移的，开发商可以决定该部分地下空间的形态，但不可以不做。

被动选择是出于无奈，比如建筑物嵌固深度的要求，必须保证基础有一定的埋置深度；比如人防工程的要求，也必须建全埋的地下室；比如车位配比要求，当地上停车无法满足要求，或者当地对地上车位的占比有限制性规定时，必须建地下停车库；还有在特定地质条件下，不建地下室可能需要更多的地基处理费用等情况。如在地势低洼地区、河湖防洪堤岸附近地区、厚填土地区、浅层土质很差不适宜做地基持力层的地区及某些特殊情况下利用地下空间更有效益的时候，都可以利用地下空间以减少土方回填及地基处理费用。当天然地基承载力不满足要求时，应考虑增加基础埋深与地下空间应用的综合经济效益。如果地下空间有开发利用价值，且增加基础埋深或设地下室后能避免地基处理或桩基，不妨采取增设地下室或增加地下室层数的方案。

### 四、地下空间利用的主观需求

主动选择是出于效益或减损的目的，比如一二线城市中心区域，尤其是地铁上盖物业，无论建地下商业还是地下停车场，都能获得较好的收益；尤其是城市地下铁道的建造给城市中心区域及沿线站点的房产带来了增值，因此综合性写字楼的开发商都希望建造地下室并将地下室的地下商场与地铁车站连通，通过便捷的流通来增加商业机会以及加速房产的升值和销售。

再比如低密度的住宅产品，可以利用不计建筑面积的半地下室来打造一个下跃式的空间赠送给首层客户，这样的半地下室与全埋地下室相比，既可大幅降低建造成本，又能实现自然通风与采光，同时可以给客户带来实惠及不同的居住体验，也能获得丰厚的市场回报；在高品质的小区，将小区停车及车流全部引入地下，可实现人车分流，甚至从地下车库直接入户，可有效提高小区品质，促进产品溢价。

在城市土地资源日益稀缺，大城市土地市场竞争日益白热化以及地方调控政策日趋收紧的大背景下，货值来源及利润贡献也逐渐向地下空间倾斜。比如北京土地市场近期施行的竞地价、限房价的招拍挂政策，楼面地价已经飙升至接近楼面限价的程度，可售物业的利润微薄甚至可能亏损，成就了一批“无私奉献”的开发商，逼迫开发商不得不去开发不占容积率的地下空间，以寻求新的利润来源来弥补亏空。再比如北京土地市场上的限地价、竞自持比例项目，也成就了一批商品房住宅 100% 自持的开发商，仅配套商业及产权车位可售。但配套商业受千人指标的限制而不能随意增加配比，因此销售回款的目标也自然落到地下空间（含地下车位）的开发利用方面。

因此对于这类奇葩项目，地下空间开发利用问题就不仅仅是前述的技术与经济层面的问题，而是关乎企业生存的开发决策问题，需要前置到可研与策划阶段。图 1-1-1 即为北京门头沟某住宅利用坡地深度挖掘地下空间加以利用的典型示例，图中地下一层至地下四层均可实现单侧采光，也可通过另一侧的通风井实现双侧通风，卖相还是相当不错的。当然这个方案最终未能获得有关政府部门的通过，认为仓储面积过多，这也是采取地下空间



积极开发策略项目的政策风险所在。

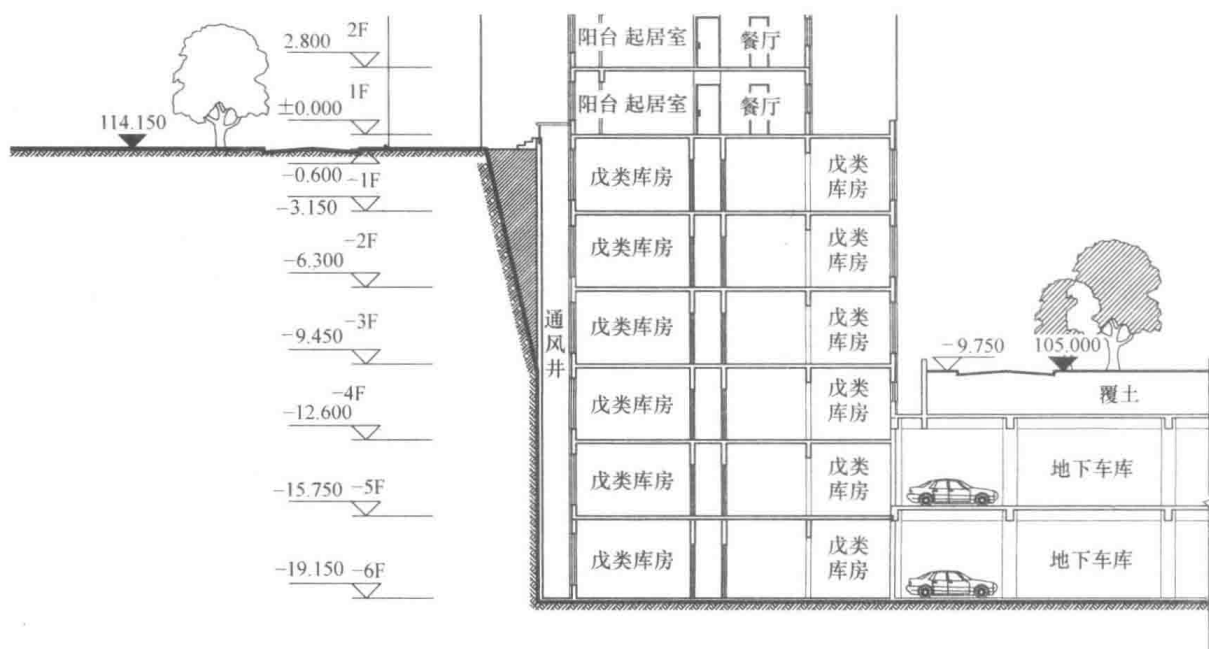


图 1-1-1 北京门头沟某项目地下空间利用

## 五、地下空间利用问题的主要考虑因素

在决定地下空间的开发规模以及空间形态时，主要的影响因素或者是需考虑的因素归纳如下：

### 1. 项目本身对地下空间的需求情况，也即必要性

比如停车位无法满足指标要求而必须建地下二层停车库的情况；比如基础嵌固深度的要求，如 33 层高的住宅楼，其嵌固深度就需要 5.5~6.6m，再考虑室内外高差，已足够建两层地下室的高度，不做两层地下室难道要建一层 5m 多高的地下室？不过还真有主楼地下 5.6m 层高单层地下室的案例，有关方面的说辞是：“5.6m 层高是为了主楼基础与车库基础取齐，不通过加板改两层地下室是为了降低造价，且增加一层的地下空间也不易售出”。但经过相对精确的造价对比分析，在主楼埋深不变的前提下，加层与不加层的综合造价基本持平，但加层后却可以白白获得一层面积。此外，项目所需配建的人防工程，也需要全埋的人防地下室。

### 2. 开发地下空间的综合效益

在寸土寸金的城市核心区，尤其是一二线城市的中心城区，建造成本相比土地成本及所带来的效益微不足道，即便建地下二层停车库都赚钱，也就不会计较地下一层与地下二层的问题。但同样不能教条，超过一定深度后可能会产生抗浮问题及施工降水费用，基坑支护也可能由量变发展到质变，从而改变基坑支护结构形式，由此基坑支护费用可能会有较大幅度的增加。

也有一些地下空间，不加以利用就浪费了，而且实施成本也很高，但若加以利用，增加不多的成本就可以实施，属于那种性价比很高、不用白不用的地下空间。也即对有利用价值的空间进行挖掘，以实现成本效益的最大化。

比如客观条件造成局部覆土厚度过厚的情况，可以考虑在覆土深度内增设一夹层并将覆土厚度减薄，如下文邢台某项目的案例；或者局部层高较高时，也可以通过局部加厚增加一部分面积，无论是售、是租抑或赠送都会产生效益。

### 3. 地形地貌情况

场地低洼，或者根本就是坑沟，正负零及室外地坪相比自然地面需要大幅抬高，假设回填深度刚好是两层地下室的深度，则做两层地下室反倒可以节省土方回填及地基处理的费用。

高碑店香邑溪墅玫瑰园项目，场地内有深达 17m 多的大坑且大坑平面很不规则，有经验的甲方及设计单位在规划及建筑方案阶段就应充分考虑场地地形地貌的特殊性、差异性。遗憾的是，虽然甲方结构工程师及工程管理人员多次呼吁，但规划与方案设计仍然没有考虑大坑的影响，仍然假定这是一块平地去做规划设计，尤其场地西侧的大坑距场地边界及边界外的现存建筑物非常近，给地基处理带来较大难度。

### 4. 岩土地质情况

前文针对场地及其周边的地形地貌，得出了正负零及室外地坪需抬高从而利用地下空间具有合理性的结论。这是地面以上能够看得到的现状对项目决策的影响，地面以下看不到的部分，对项目决策的影响也不容忽视。因此在决定地下空间的开发规模以及空间形态时，必须考虑岩土地质情况的影响。但目前的房地产开发流程中，总平面与竖向设计的方案大多在概念方案阶段由方案设计单位来完成，基本不具备结合岩土地质情况进行综合考虑的条件。其一是因为在概念方案设计阶段还没有地质勘察资料可供参考；其二，绝大多数方案设计单位的结构设计能力偏弱，岩土工程的设计能力更弱，甲方的设计管理部门一般也不具备结合岩土地质情况对地下空间利用问题进行思考与评价的能力。

在目前建筑行业的运行规则下，结合岩土工程进行规划设计是地下空间开发利用问题的短板，且在相当长的时间内无法解决。如果 EPC 总承包模式结合全过程工程咨询能够推广开来，在具备策划、规划、建筑、结构、岩土、施工、造价、营销等综合咨询能力的咨询公司的主导下，这一短板才有可能补齐。

### 5. 各单体建筑地下部分的关系

如果各单体建筑的地下部分彼此独立，如主楼与车库脱开的情况。当双层地下室与单层地下室的基础持力层仍为同一土层时，因双层地下室较单层地下室的埋深大，故深度修正用基础埋深也较大，修正后的地基承载力也较高，基础平面尺寸与配筋均可降低；当双层地下室的基础持力层比单层地下室基础持力层更好时，则双层地下室的经济性效果更佳。

如果各单体建筑的地下部分无法脱开，如主楼与地下车库直接相连的情况。如果主楼与车库的层数及层高均根据实际需要确定（即不刻意增加层数或层高），则主楼与车库的基础埋深一般很难统一在一个标高，大多数情况是车库的埋深大于主楼的埋深。尤其对于 18 层以下的住宅，按最小嵌固深度只需设一层地下室，基础埋深采用 3600mm 即可满足嵌固深度的要求，最大不超过 4000mm。但车库即便采用无梁楼盖时的最小层高也要 3300mm，而车库顶板一般均有覆土绿化及敷设市政管线的要求，现在的设计院，尤其是北方的设计院，随意加大覆土厚度，仅仅为覆土内综合布线的方便，动辄就要求 1500~2000mm 厚的覆土（某些城市的绿地率计算对覆土厚度有特殊要求的除外），假设覆土厚

度以 1500mm 计算, 再加上基础自身的高度, 一层普通地下车库的埋深一般要在 5500mm 以上, 也就是说与具有单层地下室的主楼相比至少有 1500mm 的高差。而当车库顶板采用梁板式结构时, 普通地下车库的埋深一般在 6000mm 左右, 与主楼的高差一般在 2000mm 左右。当为小高层或多层洋房时, 主楼的理论基础埋深与车库埋深相比相差更多。

针对主楼与车库实际需要的埋深可能不同的情况, 概括起来, 有如下三种解决方案:

方案一: 主楼与车库脱开的方案。如廊坊香邑廊桥项目及保定紫郡项目均采用此种方案, 因主楼与车库脱开一定距离, 无论施工阶段的放坡开挖还是使用阶段的工作状态, 主楼与车库都是彼此独立的结构单元, 互不影响, 既可以同期施工, 也可以分期施工。但该方案仅适合于车位配比要求不高的项目, 且总平面布局为围合式的建筑群落。由于主楼与车库脱开的方案的脱开距离需满足一定的要求(视土质情况及埋深差异大小而定, 土质情况好、埋深差异小, 则二者脱开的距离也小, 反之则脱开距离大), 当车位配比要求较高时, 受地下车库与主楼脱开部分占地的影响, 可用于建造地下车库的土地面积有限, 非常有可能出现单层地下车库无法满足车位配比要求的情况。如果被迫采用双层地下车库方案, 导致主楼与车库埋深差异进一步增大, 则脱开距离需要进一步增大, 可用于建造车库的土地面积又会进一步被压缩。当总平面的建筑群落未采用围合式布局时, 则意味着必有住宅主楼处于地下车库的中间, 对于这些处于地下车库中间的主楼, 也很难实现与地下车库脱开的设计。该方案也比较难于实现停车入户要求。如果一定要实现停车入户的要求, 则需要在主楼与车库间增设人行通道, 但因通道连接的主楼与车库的标高不同, 还需要设坡道或台阶(楼梯), 或者将主楼的楼电梯间局部下沉到车库标高处, 由此增加的造价也相当可观。

方案二: 主楼与车库基础做平的方案, 即主楼与车库的埋深大致在同一高度, 一般是将室内地面取平。这种方案又分三种情况:

方案二 A: 主楼地下室层高加大的方案, 如图 1-1-2 所示。

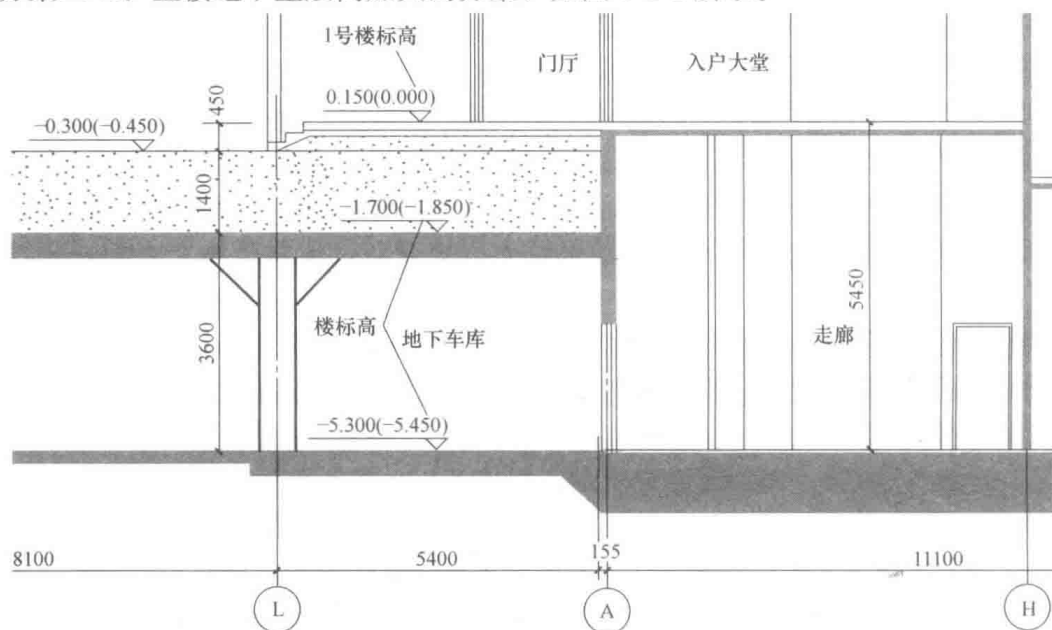


图 1-1-2 河北高碑店某项目



该方案主楼地下室层高较高，除了设地下大堂的大堂区域，大部分功能区域的层高均超出所需较多，本质上属于功能过剩。在结构方面，虽然可使基础埋深大致相当，省去了变埋深设计的构造措施费用，但层高加大也带来两方面不利影响：其一是地下室挡土外墙和人防墙的计算高度加大，从而这些墙体的内力加大，进而导致墙厚与配筋的加大；其二是层高加大导致楼层侧向刚度的降低，最直接的结果是结构嵌固端的下移，从而导致底部加强部位（底部加强部位宜延伸到计算嵌固端）及约束边缘构件（底部加强部位及相邻的上一层）设置范围的加大，对于多层地下室的情况，嵌固端的下移还会影响到地下二层及以下抗震等级的逐层降低（当地下室顶层作为上部结构的嵌固端时，地下一层相关范围的抗震等级应按上部结构采用，地下一层以下抗震构造措施的抗震等级可逐层降低一级，但不应低于四级）。

方案二 B：主楼地下室回填至所需层高的方案，如图 1-1-3 所示。

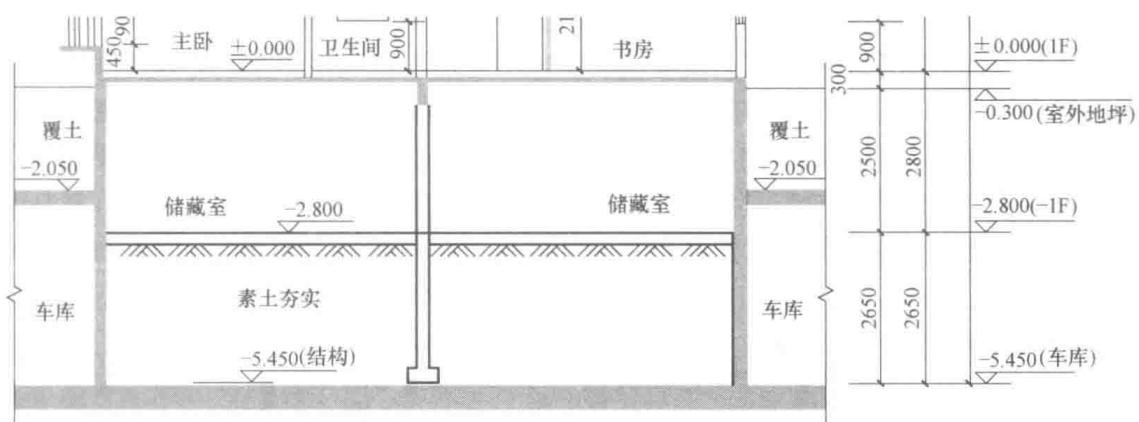


图 1-1-3 河北高碑店某项目

该方案本质上与主楼地下室层高加大的方案二 A 并无二致，唯一区别就是通过主楼室内回填的方式将建筑层高降低到一个比较合适的高度，但结构层高没有变化，上述方案二 A 的缺点均存在，而且徒增室内回填土的费用。又由于较厚回填土的存在，为防止建筑地面沉降开裂，可能还需要配筋混凝土面层，又是一笔额外的费用。该处理方案可能是所有解决方案中最费力不讨好的方案。

方案二 C：主楼地下室做成两层的方案，如图 1-1-4 所示。

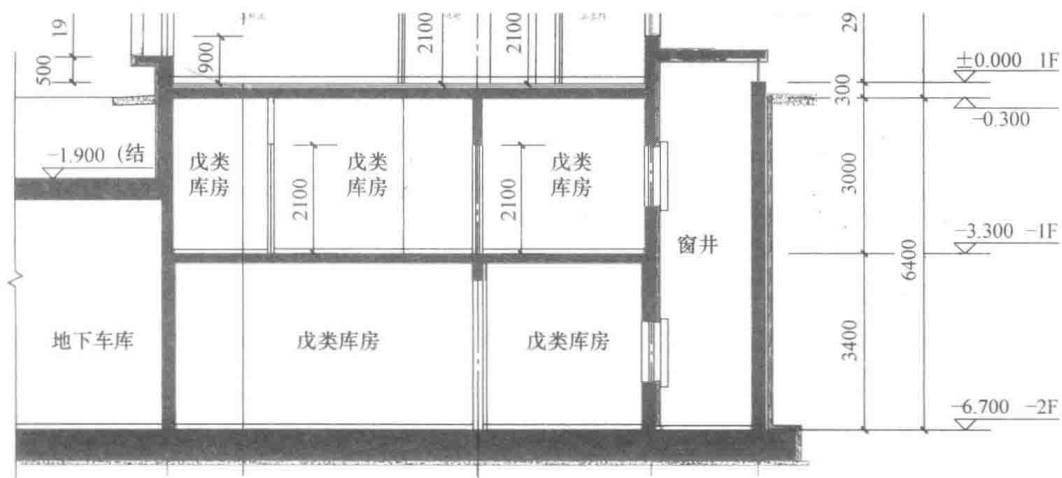


图 1-1-4 河北保定某项目