

# 地下建筑设计

[美] 约翰·卡尔莫迪

雷蒙德·斯特林 著

于润涛 皮声援 编译

童林旭 审校

地震出版社



# 地下建筑设计

[美] 约翰·卡尔莫迪 著  
雷蒙德·斯特林

于润涛 皮声援 编译  
童林旭 审校

地震出版社

# 目 录

## 前言

### 第 1 章 地下空间的特点

- 引言····· ( 2 )
- 地下空间的类型····· ( 2 )
- 地下空间的优点····· ( 4 )
- 地下空间的缺点····· ( 13 )
- 地下空间的合理利用····· ( 20 )

### 第 2 章 地下建筑设计中应注意的问题

- 引言····· ( 24 )
- 外形和特征····· ( 24 )
- 心理和生理方面的问题····· ( 28 )

### 第 3 章 图书馆

- 内森·马歇·普塞图书馆····· ( 40 )
- 法律图书馆分馆····· ( 48 )
- 瓦尔克尔社区图书馆····· ( 54 )

### 第 4 章 教育设施

- 土木及矿物工程系馆····· ( 60 )
- 维尔德伍德学校····· ( 69 )
- 布鲁里奇小学校····· ( 74 )

### 第 5 章 办公和商业建筑

- 特拉塞特和特拉中心小学校····· ( 80 )
- 威廉森大厅····· ( 88 )
- 加利福尼亚州政府办公楼····· ( 95 )
- 国立艺术教育协会总部····· ( 102 )
- 奥马赫共济会总部扩建工程····· ( 108 )
- 特拉塔克中心····· ( 114 )

### 第 6 章 生产与贮存设施

- 大中西部地下空间····· ( 126 )
- 霍拉第电路板公司····· ( 132 )

### 第 7 章 旅游设施

- 高速公路休息站····· ( 138 )
- 凯利导游中心····· ( 149 )

### 第 8 章 特殊设施

- 贝尼迪克廷教会修道院····· ( 154 )
- 耶茨运动场····· ( 159 )
- 摩斯科恩会议中心····· ( 166 )
- 明尼苏达改造所····· ( 173 )

## 前 言

在远古时期,人类曾经居住在天然洞穴中,这些洞穴是在岩石和土中开挖出来的,用土做为建筑材料。产生这种为了躲避风雨的居住方式的背景是缺乏其他的建筑材料和建筑技术。然而用这种方法建造的庇护所,在防卸敌人袭击和躲避严寒酷暑及自然灾害等方面具有许多优点。

当今,在建筑方面有了巨大的发展,但同时也存在着很多问题。城市中心地区过于拥挤,常常不能提供良好的环境;另外,建筑物的节能问题在未来将越来越重要。地下建筑物在某种程度上具备解决这些问题的可能性,而地上建筑物却很难做到。在七十年代以前,很多规划师和建筑师认为地下建筑物只适合于某些特殊的领域,然而实际上地下建筑物已经具有广泛的用途,尽管处于地下受到一些限制,但地下建筑物已经展示了能够实现各种各样的设计意图和要求。

现在人们对利用地下空间的兴趣越来越增强了,而且已经建造了很多地下公共建筑,因此,对地下建筑物的一些特殊设计问题和技术问题,有了更进一步的认识。

本书的主要目的是搜集关于地下建筑物设计和施工方面的最新资料并加以汇编。希望规划师、建筑师、政策制订人、开

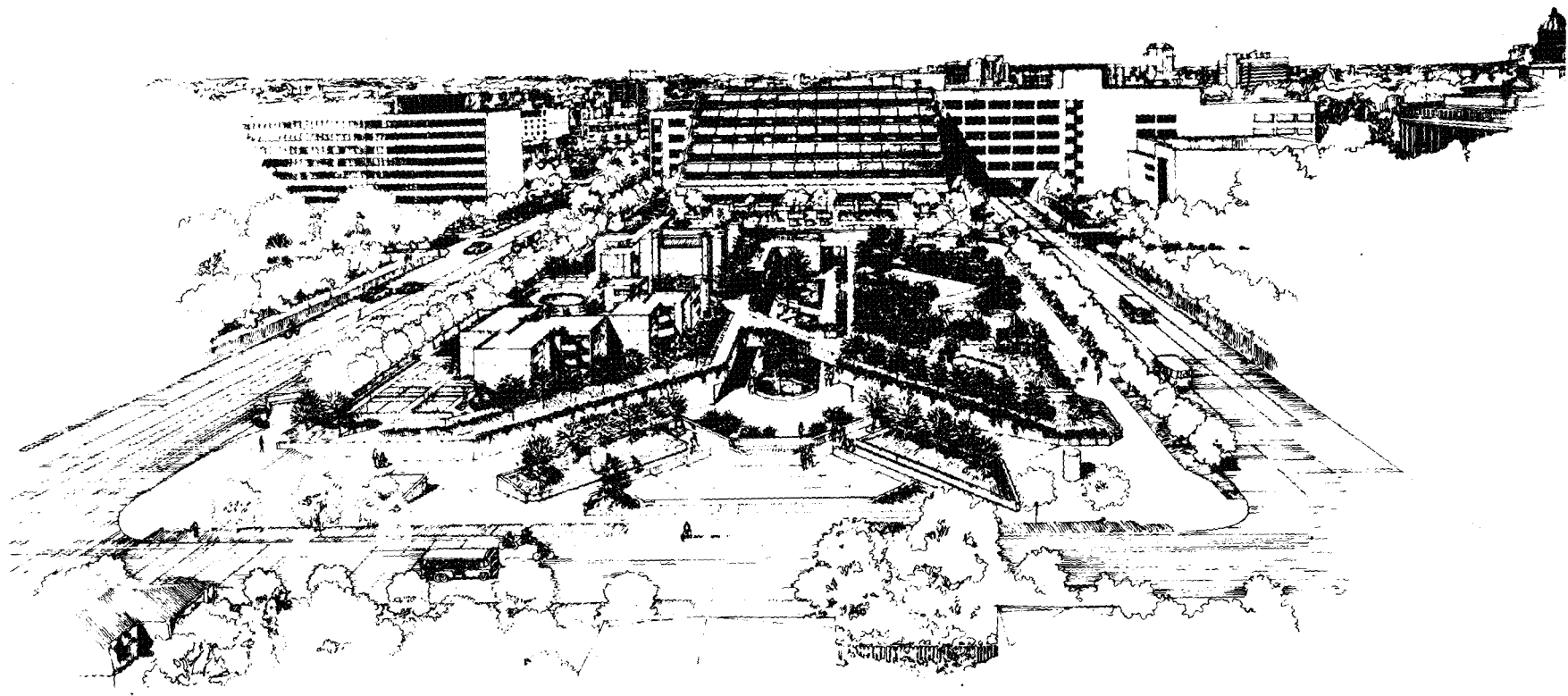
发者和房产主,都能根据这些资料对各种不同类型地下建筑物所表现出的地下空间的优点和缺点有更好的理解。书中提供许多实例分析和技术资料,以便更清楚地阐明一些关键性的设计问题。

作者并不认为地下建筑物在任何情况下都能提供最好的解决办法。地下建筑物对不少场地、功能和用途并不一定是合适的。但是,在具备适合修建地下建筑物的条件时,选用地下方案是很值得考虑的。本书就是为设计和对方案进行评价服务的。

全书共八章。通过一般情况介绍、工程实例分析和技术资料三方面的内容来阐述有关地下建筑物设计方面的问题。第1、2章概述了地下建筑物的基本特点和在设计上应该考虑的问题。第3章到第8章分别对23项地下建筑物实例进行分析介绍,按照建筑类型提供一般的设计资料和技术数据。

为了反映现实中地下建筑物的多样性,实例中包括了图书馆、学校、办公室、商务建筑、工厂、仓库、导游中心以及特殊设施等。在最后一章中汇集了一些特殊类型的地下建筑物,如修道院、大学体育场、会议中心、监狱等。

# 第1章 地下空间的特点



# 引言

本章分四节介绍地下空间的类型、优点和缺点,以及地下空间的适宜用途,以阐明地下空间的基本特点。在第一节中为各种类型地下空间下了定义,并论述了与各种类型地下建筑相应的地下空间的各种特点。

在本章的第二节中介绍了地下空间与普通的地面建筑相比所具有的的优点。这些优点成为把建筑物部分或全部设置在地下室的合理依据。在某种情况下,一块特殊的场地或地下空间的某一个特点可能成为导致采用地下方案的决定因素,但多数情况下都由于利用了地下空间的许多优点而使建在地下室的理由更加充分。

第三节讨论了与地面建筑相比地下室的一些明显缺点。为的是要

对地下建筑物有较为客观的认识并指出地下室建筑设计中应该特别注意的问题。

地下室建筑物的大多数优点和缺点是和建筑物的功能有着密切的关系。像天然光线和观景受到限制这样的缺点,对于用做办公的地下室建筑来说可能是个严重问题,但对于礼堂来说则并不重要。因此,在本章的最后一节中对地下空间的适宜用途做了分析。

## 地下空间的类型

### 矿山式地下空间

尽管对地下室建筑物的一般性优缺点经常有所议论,但地下室的各种类型仍各有许多特点。例如矿山式空间与覆土式(挖盖式)地下室就有明显的区别。矿山式地下室只能从地面上的几个点经过竖井和水平通道向内挖掘。矿山式地下室一般是靠岩石和土形成结构,因此常受地



图 1.1 与挖盖式地下室连接起来的矿山式地下室

明尼苏达大学内地下室开发的构想图

质条件的限制,与覆土式地下空间不同之处是埋深较大,与地面完全隔绝。

过去,各种各样的庇护场所是为了防风雨和进行自我防卫,在岩石和自承重的土中开挖出来的。凡有人居住的大陆,在那些气候严酷又没有其他建筑材料的地区都可以发现这种地下建筑。在中国北部某些地区,有的整个村镇都建在地下。人们将自承重的黄土挖出,距地表面较近的空间用于居住,贮存和其他用途的空间则要更深一些。和历史上的开发形成对照的是美国现代的矿山式地下空间,主要用于电气、煤气、水管等公共设施和防空、地下铁道。但是有两个明显的例外,即在密苏里州堪萨斯城近郊利用开采石灰岩形成的地下空间建造大形地下工厂和仓库,以及在明尼阿波利斯的明尼苏达大学的地下软质砂岩层中开发的用做研究所和办公室的深层矿山式地下空间。这两项工程的详细情况将在第4章和第6章中介绍。

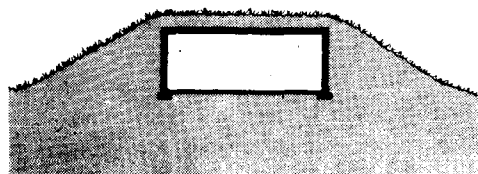
### 挖盖式地下空间和覆土式地下空间

浅埋和覆土的地下建筑物要承受土的荷载,是地下空间的另一类型。地下空间中大多数属于这一类型,包括从小型住宅到大规模多用途的商业、交通及工业建筑综合体等。浅埋地下建筑物的建筑方法与地面上的建筑物基本上相同。建筑物周围的土与矿山式地下空间不同,不做为建筑结构的一部分。这种距地表面很近的开发方式,从其施工过程来看可叫做挖盖式地下空间,也称为覆土式地下空间。用挖出来的土覆盖建筑物与全部埋在地面以下的建筑物是两种不同的地下建筑物,挖盖式或覆土式地下空间并不局限于完全与地面隔绝的全地下建筑物。图1.1所示是明尼苏达大学内开发的不同类型地下空间的设想。由于其特殊的地质条件,能够将较深的矿山式地下空间与较浅的挖盖式地下空间结合在一起。通常浅埋地下空间是与地面建筑相结合的。

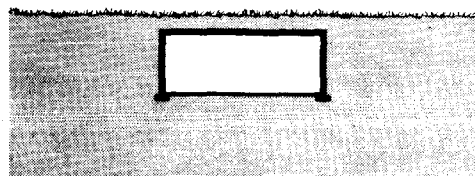
### 与地面的关系

按照深埋和浅埋的一般分类方法,地下空间还可划分成更多的种类。一般认为,最能反映地下建筑物特征的因素是与地面的关系。根据克恩

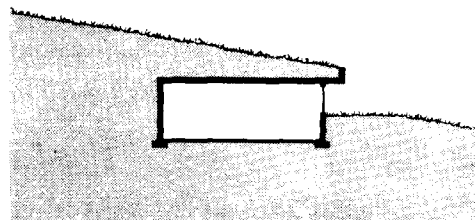
(Ken)研究所的分类方法,在平坦地上修建的地下建筑物分为堆土和全埋在地下的两类。堆土建筑物的底板与地面持平或者稍低于地面,在建筑物的周围堆土(图1.2)。这种建筑物是可见的,因为土堆的形象表明此处有地下空间。堆土建筑物的优点是可以由地面上进入和保持挖土量与填土量的平衡。全埋在地下的建筑物完全处于地面之下,连续的地面使这样的地下建筑不容易看出来。在斜坡地上,这两种建筑物的差异就不明显了。建筑物位于山坡上,其一侧埋在土中,另一侧露在外面。利用斜坡特别适合于覆土建筑并有许多优点,将在本章后面介绍。



(a) 在平坦地上堆土的建筑物



(b) 在平坦地埋在地下的建筑物



(c) 在斜坡地埋入的建筑物

图1.2 地面与建筑的关系

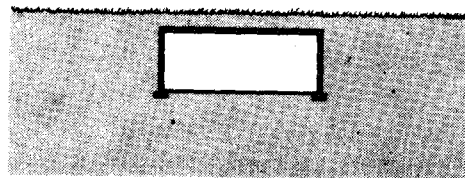
除了堆土和全埋地下空间外,还可以分为屋顶和墙壁都覆土及只是墙壁部分覆土屋顶不覆土的两类。当覆土厚度不超过 0.6m 时,由于在任何意义上都不影响建筑物的形态,可以认为两者的区别很小。但是屋顶上覆土与不覆土,在结构、能源消耗和美观方面都会有显著的不同。因此这样的区分是很重要的。从设计上看,都是地下的或是覆土的,而建筑物的顶部是否覆土,只不过是一种详细的分类。

### 开口部分与地表面的关系

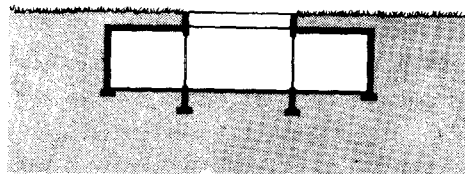
地下建筑物根据其通向地面的开口部分的形式,还可以做更详细的分类。克恩研究所将开口部分的形式分为全封闭式、天井式、一侧开口和多面开口四种类型。这几种不同类型,可导致建筑物的外形和封闭感方面的明显区别。全封闭式没有窗户(图 1.3),多数矿山式地下建筑物都属于这一类型。天井式也可称为中庭式,给人以开放感,而且能够天然采光,但是只能看到中庭内的景观。一侧开口式在室内只能向一个方向观景,而多面开口式在几个方向都是敞开的,都可以观景。一侧开口式,最适合于倾斜地,其余形式适合于平坦地。实际上,多数建筑物不一定单纯按照上面四种形式中的一种修建,而可能是由二、三种形式组成。尤其是多用途的大型建筑物,既有较深的全封闭空间,又有在接近地面的中庭周围形成的其他空间,在斜坡上的部分,也可布置一侧开口式。

## 地下空间的优点

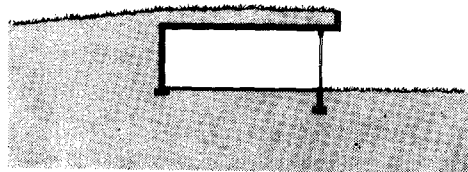
在本节中所列举的地下建筑物的优点是多种多样的,但都与这样一个事实直接或间接有关,即地下建筑物都是在某种程度上与地面隔绝,这种隔绝对于地下的一些活动和地面的环境来说都有许多好处。如前所述,地下建筑有各种各样的特点,埋入土中的程度、结构形式、使用的材料、与外界的联系、建设费用、能源的消耗量等都会有一定程度的不同,从而划分出许多类型。因此,在列举地下建筑物的优点时,应当基于地下建筑物的主要特点。还应指出,这些优点在某种特殊情况下并不一定具备。



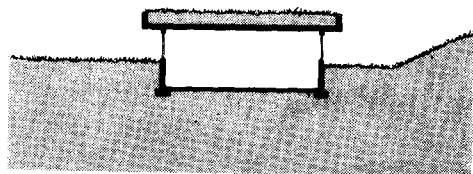
(a) 封闭式



(b) 中庭式



(c) 侧面敞开式



(d) 贯通式(半地下)

图 1.3 按照向地面敞开方式分类的建筑物

## 视觉不受影响

部分或全埋的地下建筑物,与普通的地上建筑物相比不易引人注目,这一点在很多情况下正是地下建筑物的一个优点。例如,地下建筑物在自然界很美的敏感地段可以保存原有的特色,在那里,人工的建筑形式可能是不合适的。因此,很多公园建筑和野生动物研究机构都建在地下。同样,如果在地面上修建现代建筑物有损于应该保存的有历史价值的环境,那么修建地下建筑是很适宜的解决办法。这就是很多大学中的新建筑物都建在地下的原因之一。如康奈尔大学、耶鲁大学、哈佛大学、密歇根大学、明尼苏达大学等许多大学的图书馆、学生自治会、书店等都建在地下。图 1.4 中表示的是最近康奈尔大学图书馆在地下扩建的实例。可视性减少的优点并不限于在特殊的地段上,在某些情况下,一个建筑物可能选择建在地下的方案,为的是与环境协调和节省自然资源,但是更重要的是因为建在地上并不合适。如果某些功能在地面上看不到,对整体环境可能是有利的。工业和仓库建筑物、公用设施、交通设施和停车场等外形很大,在外观上都不具有魅力,因此往往建在地下。浅埋的挖盖式地下空间的可见程度不同,取决于出入口的露出程度、采光和观景的中庭以及地面上的一些其他因素。另外,矿山式地下空间,除了少量通道口外,在地面上几乎是看不到的。

## 保留地面上的开敞空间

保留地面上的开敞空间与地下建筑物的低可视性是紧密联系的。把建筑物修建在地下,屋顶上留做公园或广场,能够不减少地面上的开敞空间。这个优点,对于希望尽量多地保留残存的地上开敞空间的城市商业中心及大学等高密度地区是非常重要的。开敞空间不仅是为了用来娱乐消遣,而且可以减轻人们的密集感,在改善原有地面建筑物的日照和观景方面也有很大的好处。哈佛大学的普塞(Pusey)图书馆(见第 3 章)建在地下,周围全是原有建筑物,是保留地面开敞空间的最常见的例子。

除了这些特殊情况以外,开发利用地下空间还能在很多方面、利用很多方法,起到保留地面上的开敞空间的作用。例如,矿山式地下空间对地表

面不会造成任何障碍,然而在地下可以开发出很大的面积。在密苏里州堪萨斯城,地下布置了大量工厂和仓库,而地面上的大片土地则可以安排其他用途。这对于保留农业用地或游览用地也有一定的意义。

## 有效的土地利用

利用地下空间,在有效利用土地方面有重要的作用。如果将建筑物的大部或全部功能放在地下,则地面可做其他用途。这将避免由于过分密集的环境所产生的消极影响,从而提供了进行高密度开发的可能性。如上所述,开发利用地下空间可以在地面上已经过密,不可能增加地面建筑物的地区,扩大建筑物的空间容量,而且地下建筑物的顶部以上能够用做开敞空间。除保留开敞空间外,在地面上还可以布置一些占地少的项目。例如,明尼阿波利斯的瓦尔克尔社区图书馆建在地下,屋顶的一部分用作停车场,因而比一般建筑物所占用的土地要少。另外,有些地下学校的屋顶上面用做运动场,可以节省土地费用,同时可使那些不够建造地面建筑的比较小的场地得到利用。

地下空间的另一个优点是可以超出地面上的红线范围而不受限制。一般地说,建筑物的地下部分如果超过这个范围,与在地面上限制密度和在建筑之间要留出开敞空间或缓冲空间的规定是不矛盾的。即使不出现超过用地区划的情况,一个完全的或部分的地下建筑物,比起建在地面上的建筑物,占用的土地也是较少的。这方面的典型例子是明尼苏达州明尼通卡市的霍拉达电路板制造公司的建筑物,其地下部分就超过了地面红线(见第 6 章)。

在地下空间的优点中,还包括隔绝地面噪声和可视性低的优点。由于与地面隔绝,地下建筑物可以布置得非常密,而在地面上是不能允许的。要求安静的和产生噪声的工程项目都可以建在地下。例如,学校、图书馆、住宅等要求安静的地下建筑物,可以设置在距离产生噪声的高速公路、机场、工厂等很近的地方。在地面上,住宅与工厂、仓库之间须考虑设置缓冲地带,要占用相当多的土地(图 1.5)。若将工厂设置在地下,则不需要缓冲地带,而且工厂屋顶上的地面还可做为住宅区的开敞空间。把功能上相互矛盾的建筑物靠近布置以节约用地,不仅减少了这些建筑物的缓冲间

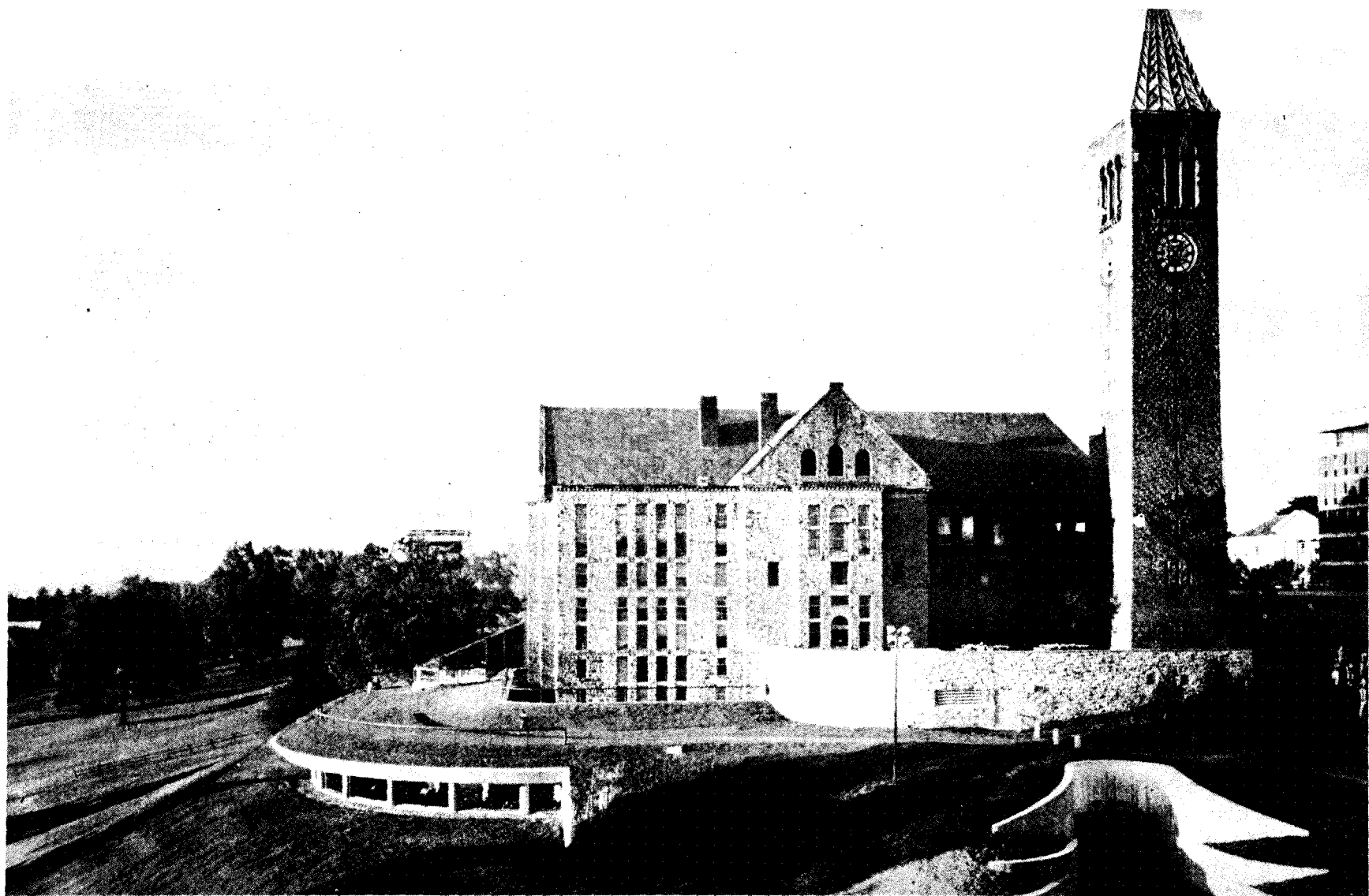


图 1.4 康奈尔大学的尤利斯(Uris)地下图书馆

距,还可以使城市中那些过去因有噪声或其他不利影响而认为不宜建房的地段得以利用。在城市中心地区,由于利用了过去不宜利用的土地,建设的密度可以较高,公用设施和道路系统的布置也比较紧凑。地下建筑物的另一个重要特点是能够修建在陡峭的倾斜地上。覆土建筑物,如果选址合适并有适当的地质条件,可以设计在超过 50%(27 度)的斜坡上。这样的建筑物最适合作办公和居住用,可以得到较充足的光线和向外观景,像在气候多变地区的住宅那样,在朝南的坡地上,建筑密度可比在平地要高得多。由于普通建筑物不能建在坡度超过 20%的倾斜地上,而地下建筑物则可以,因此能使土地得到全面的有效利用,即使是过去认为不好利用的城市高密度地区的倾斜地,也能够进行充分的开发。

以上论述的关于有效利用土地的观点和事例,都是指近地面的地下建筑物而言的。矿山式地下空间除了出入口要占用一点土地以外,不需占用更多的土地。矿山式地下空间(如图 1.6 所示),对地面上已开发的高密度地区的影响很小。不需要很多土地即可获得大量的空间,还可把一些不同的建筑功能综合起来,例如在矿山式地下空间的地表面可以修建住宅,在地下工厂、仓库、服务设施的地表面建筑商店等。很明显,在城区,这样紧凑的高效率的开发方式,可以保留农业和文化活动的用地,防止城市的盲目发展。

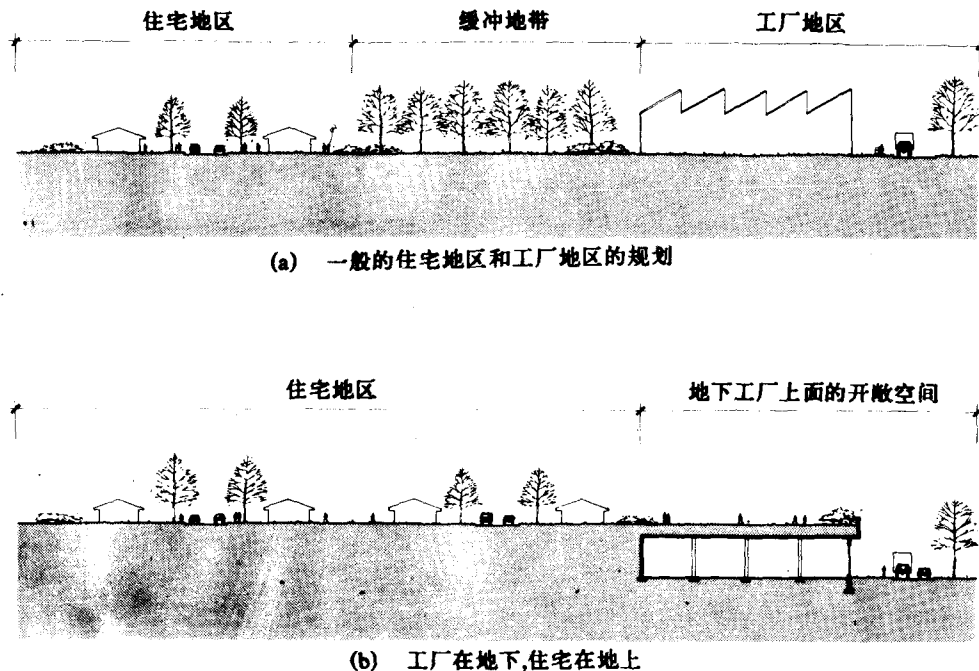
### 提高交通的通行效率

在前节中叙述了地下空间在提高土地利用效率方面所具有的优点。与此密切相关的另一个优点是提高通行和交通的效率。对于密度越来越大的较紧凑的开发区,应当有一个高效率的大运量交通系统。在矿山式地下空间中的大运量运输系统的优点是可以为高密度地区服务而不对地面造

成干扰。

开发利用地下空间,可以在同一地点布置住宅和工作场所,因此能够缩短人们上班路程,减少在路上所需要的时间并且降低能源的消耗量。另外在地下,商业、工厂和仓库等设施能比较靠近布置,因而可降低材料和商品的运输成本和能源消耗。

除了交通运输上的高效率外,建筑物之间的行人往来和活动也更加方便和有效。在密集的地方修建地下建筑物不仅能够有效地利用土地,保留出一定的开敞空间,而且能提供连接周围建筑物的室内步行通道,使地面上的行人和车辆不互相混杂干扰。



(a) 一般的住宅地区和工厂地区的规划

(b) 工厂在地下,住宅在地上

图 1.5 住宅区与工厂区的土地利用方式

## 环境效益

地下建筑物有益于创造优美的环境,这对于许多建筑师和规划师具有很大的魅力。地下建筑的设计如果成功,能够与周围的地面很好地融合在一起,构成自然景观的一部分。地下建筑物除了美化环境方面产生良好的效果,特别是在城市中,还是改善和提高自然环境的一种途径。

建筑师马尔科姆·威尔斯(Malcolm Wells)是地下建筑物的倡导者,同时也是许多地下建筑物的设计者,他论述了用土和植物覆盖的建筑物在生态学方面的作用。在高密度的开发地区,大面积硬地面和屋顶使地表迳流不畅,结果使大量雨水流入到排水系统中。覆土的屋顶,由于具有保水功能,可以把更多的水保留在原地,而且能够保持现有的地下水位,因而可以减少建筑物密集地区的雨水排水量。另一方面,由于地面上有了植物和动物而使自然景观得以恢复生机,水和空气的质量得到改善和提高。在城市建设区,由于有了自然的生态过程而使土地变得更加肥沃。为了达到这个目的,威尔斯在他自己设计的地下建筑物的覆土屋顶上面用了腐植土,使野生的动物和植物能够繁衍生息。采用这样的方法,使建筑物与大自然非常协调,使这里的居民在心理上非常安宁,因而十分有益。

修建地下建筑物能使那些不适于建造的土地得到利用,并使环境在总体上有所改善。这方面的杰出实例是建在靠近高速公路的荒地下的马尔科姆·威尔斯的事务所。这是个非常安静、秘密性很好的工作环境,屋顶上面的天然植物生长得非常茂盛。

一般来说,地下建筑物具有普通建筑物所不可能具备的改善环境的潜力。每一个地下建筑物都能保留原有的自然景观,因而能够在解决正在威胁人类的生态破坏所造成的各种问题方面起到积极的作用。这里所提到的地下建筑物在改善环境方面的潜力,对于那些覆土屋顶经过很好美化的工程都是具备的。只是墙壁覆土而屋顶不覆土的建筑物可能满足在美观上的要求,但不能像整

体覆土的建筑物那样完全融于自然景观之中,并保留原有的景观。关于美化环境的作用,在大规模地下开发的情况下尤其重要,因为可以对整个社区的环境产生影响。

## 节约能源及控制气候

地下建筑物的一个突出特点就是具有一定的节约能源的潜力。关于“潜力”二字应强调以下两点,首先,这一效益还很难量化;其次,地下建筑物节能的程度取决于设计水平和气候条件。下面所列举的一些效益是针对结构完全与土接触的情况而言的。一般情况下,与土接触的部分与地表面积的比例越大,或者建筑物在土中埋得越深,则节能效果越好。但是,由于各种心理学和生理学的理由,以及建筑法规中规定的安全方面的理由,许多地下建筑物要求直接通向地面并且要能开窗户。所以,地下建筑物的节能效益因需要开口而有所降低;同时由于埋深大,承受较大土荷载而使建筑物造价增加。距地表面很近的建筑物,由于只是部分与土接触,反而能够发挥出更多效益。矿山式地下空间埋深较大,在地面上的开口较少,故与室外气候几乎可以完全隔绝。

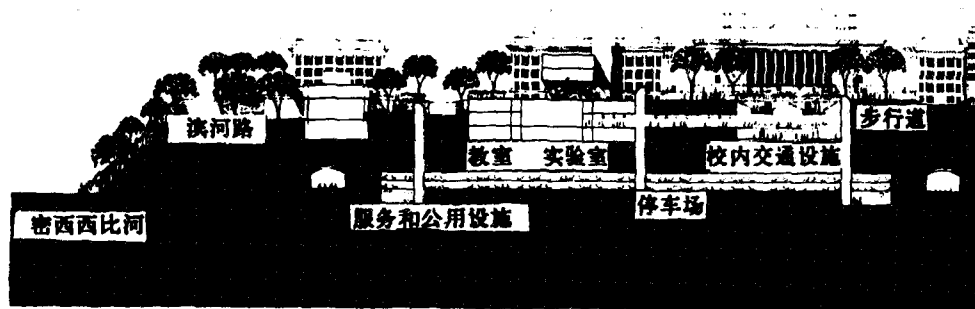


图 1.6 在原有建筑物下的矿山式地下空间

## 渗透性低

由于地下建筑物的各表面都与土接触,渗透现象完全消除,从而降低了供热和制冷的负荷。如果地下建筑物外露部分背向冬季主导风向,则土堆可以使寒风转向绕过建筑物,从而减少了向建筑物内的渗透。大部分非居住用的建筑物要用机械通风系统,在地下不存在渗透问题,因此通风容易控制,需要从室外进气时,还可提高热交换装置的效率。

## 冬季围护结构失热少

当地下建筑物与距地表较深的土接触时,由热传导造成的失热能够减少到最低限度。地表面下的地温比地面上的大气温度要稳定得多,因此,在大部分地区在深度大于 10 英尺(3.48m)时,地温处于非常稳定的状态(图 1.7 为明尼阿波利斯—圣保罗地区的温度变化曲线)。大地的温度通常近似于温带的年平均气温,比冬季积雪地区的年平均温度还要高几度。城市中的地温比所在地区的地温还要稍高一些。

土壤的热阻比典型的绝热材料的热阻并不大,但是大体积的土壤可以使与地表面的热交换显著减少和迟滞,因此,在最寒冷时期的效益就更高。应当指出的是,对于多数地区,这种稳定的温度效应在深度大于 4~6 英尺(1.2~1.8m)时,才更为明显。因此对于覆土少的结构部分,为了改善建筑物的绝热性能,减小外界气候的影响,应该加设隔热材料。

另外,在地表以下 100 英尺(30.48m)的矿山式地下空间(如堪萨斯城及明尼阿皮利斯的实例),温度和湿度处于非常稳定的状态。这种情况对于需要严格控制气候的实验室、计算机房、文件库、冷库等是非常有利的。

## 夏季降温能力增强

在美国大部分地区,深度超过 2 英尺(约 0.7m)处的地温都低于夏天感到舒适的温度,所以当建筑物内的空气温度超过地温时,热量就要传到地下空间周围的大地中去。这种现象是由通过围护结构的热传导和由建筑物内的发热物体向比它温度低的墙壁和地面的热辐射所引起的。把室

内空间与土壤隔离开的热隔绝层可以减少这种传热。大地对地下建筑物的冷却效果取决于气候、地表面的情况、土的含水量以及邻近建筑物的影响等。

## 进热减少

覆土的屋顶和堆土的墙壁,减少了进入地下建筑物的太阳热辐射。辐射热到达地下建筑物的围护结构之前就已被土体吸收。在夏季夜间温度低的地区,土体通过传导向冷空气中释放热量,并通过辐射向夜空释放。为了减少辐射热的进入,使用植物是非常有效的。在蒸发过程中植物可以消耗全部或者大部分的太阳辐射热。在这个过程中,为了使植物生长,土中需要保持足够的湿度。总之,多数地下建筑物的窗面积都设计得尽量小,而窗对地面建筑物来说是主要的进热渠道,故地下建筑物的进热要少得多。

## 日温度波动减弱

地下建筑物周围的大量土体,滞后并抑制了温度急剧变化和昼夜温差的影响。因为许多地下建筑的结构主要是用混凝土建造的,外部还有隔绝层,故使得围护结构以内的大空间的温度波动相当稳定。这种现象的明显结果是高峰热负荷减小,供热和制冷设备的需要量减小。建筑物的总能耗,不论实际的气候情况如何和建筑物处在供热还是供冷的季节中,都要相应地减少。

温度波动小的另一个效果是,即使不供热,在相当长的时间里,建筑物内也能够维持相对稳定的温度。这对于突然断电,特别是对那些处于边远地区的建筑物会有很大的好处。例如,单独修建的经常无人的高速公路休息站,管道常易冻坏,在明尼苏达州将这种建筑物建在地下,由于被土覆盖,温度比较稳定,管道不易被冻坏(见第七章)。由于对能源供给发生变化的反应比较慢,可以从公用设施公司用低价得到在空调低峰负荷时的能源供应。另外,像被动太阳能供热系统和夜间靠通风降温,都是间歇性能源,与普通建筑物相比,不需要很多贮库。

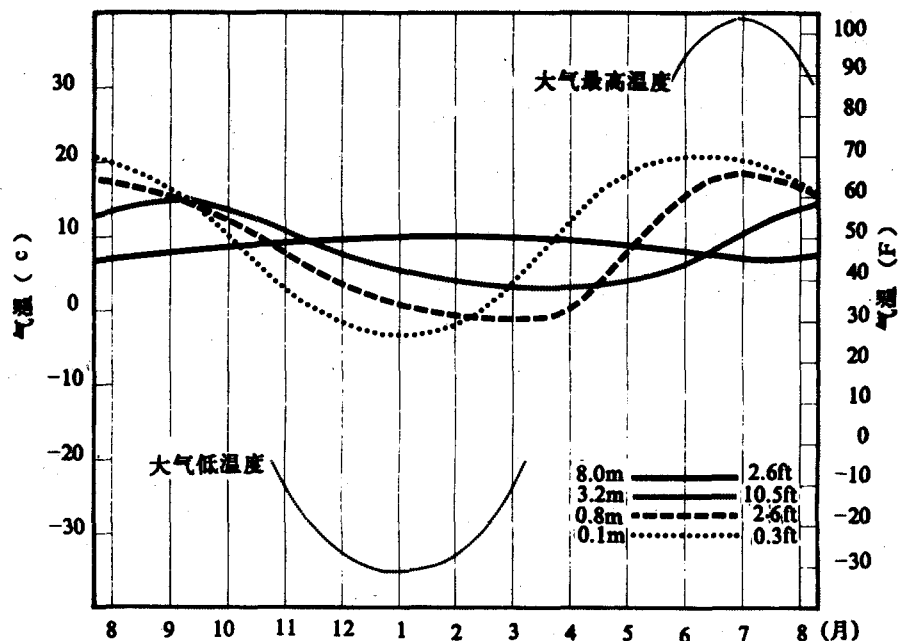


图 1.7 明尼苏达州明尼阿波利斯地区一年中的温度波动情况

### 地下季节温度滞后

从地温变化图(图 1.7)中可以看出,在很深的地下,温度的季节性变

化不仅受到遏制,而且产生滞后现象。这种情况说明,夏季较高的地温可一直延续到秋天和冬天,从而可以减少供热季节前期的供热负荷,能够节约一部分供热能源。另一方面,冬季较低的地温则可延续到春天和夏天,可以减少制冷负荷。当然,矿山式地下空间位于地下很深的地下,那里温度没有季节性波动,温度与年平均温度几乎相同,基本上保持恒定。

### 使用情况对节能效益的影响

以上讨论的许多与节约能源有关的效益,都与通过建筑物外表面的传热有关。就空调负荷而言,建筑物外围护结构的传热相对影响较小,而与建筑物的使用方式有密切的关系。使用人员较多的地下建筑物,通风换气的需要量就大,由照明、人体和机器设备产生的热量使内部的热量增多。一些使用人员较少的建筑物应最大限度地放到地下去,包括仓库、冷冻冷藏库、档案库、实验室、文化娱乐设施、停车场、某些事务所和图书馆等。但是,即使建筑物的外围护结构传热比通风和从内部得到的热量相对要小,其热量仍然相当大,这一点很重要。再有,通风和照明的能耗越来越低,因此建筑物外围护结构的传热就相对更为重要了。

不仅是建筑物中的人数,使用方式和时间也对能源消耗量有一定的影响。有的建筑物,在一整天中百分之百地使用,有的建筑物则可能是断断续续地使用。大多非居住建筑,一般在一天中使用率为 30%到 50%(每天按 8 小时到 12 小时计)。建筑物只是在人们使用时才需要用空调,以使房间内的人感到舒适。通风也同样如此。对于地面建筑物来说,如果只在有人时才启动空调系统,往往是不行的,除非允许

温度可多少超出舒适的范围。假如希望建筑物在不使用时把能源消耗降到最少,那么地下建筑物在这方面具有较大的潜力。正如前面所指出的,地下建筑物对温度变化的反应是很缓慢的。由于建筑物内和土中积蓄的热量所造成的反应缓慢,可以使建筑物在无人使用的晚上或周末减少能源的消耗。例如在冬天,机械系统在夜间就可以关闭,到早晨开始供热前温度下降是很缓慢的。周末时,可以采用同样的方式,只要在人们重新开始使用之前几小时启动机械系统即可。

## 对自然灾害的防护

完全被土包围或覆盖的建筑物,与普通建筑物相比,对各种自然灾害可起到更好的防护作用。在美国的一些地区,有时要遭到强风、暴风雨、龙卷风的袭击。地下建筑物因防护性能好,因而在那些地区相当普及。在发生地震时,地下建筑物也是很安全的,只要不是位于地质上有缺陷的地方,如果设计合理,地下建筑物在地震中受到的损坏要比地面建筑物轻。一般情况下,地震波的振幅随着与震源的距离和在地中的深度而减小。地震时,地上建筑物因只有基础在地下而受到很大的剪力,地下建筑物则不然。但是,地下建筑物仍然需要进行认真的加固。尤其是对很重的覆土屋顶与其他部分相连接的部位要特别注意。

## 防 火

大多数地下建筑物都是用混凝土建造在土中或岩石中的。结构材料具有防火性能,能够防止火灾向其他建筑物蔓延,也可防止外部火灾的波及。因此,地下建筑物不容易受到火灾的危害。火灾保险费低于一般建筑物。所以,地下建筑物适合于保存有价值的、珍贵的物品和记录资料等。由于地下建筑物与地表隔离,还适于保存强挥发性的物品、燃料和其他液体。

## 民 防

地下建筑物在发生自然灾害时的防护作用是很重要的特点。如果设计得当,在受到人为破坏,遭到攻击和发生核微粒沉降时,可以对使用者

起到保护使用。能够保护的程度取决于出入口的数量和大小、覆土厚度和地下结构强度。矿山式地下空间,由于位于地下较深的地方,与地面相通部分较少,因此在防护方面比挖盖式地下建筑物更为有利。当然,为了最大限度的起到防护作用,要特别做好出入口和通风系统的设计。不论历史上,还是现在,民防都是开发地下空间的主要原因之一。但是,防护并不是地下建筑物经常起的作用,从经济效益看,平时应做其他用途,民防则是第二位的。因为开发地下空间是以平时使用用途做为主要目的,投资效率就成为很重要的问题。这样,建筑物在平时得到很好的维护管理,一旦需要做民防用时就可以有效地发挥作用。欧洲的地下铁道系统是在第二次世界大战中起到双重作用的突出事例。

## 安 全

地下建筑物与地表面隔离,结构有良好的防火性能,出入口少,因此比地面建筑物更为安全。在地下修建学校有一定的好处,因为大部分不露出地面,可以避免学校设施受到破坏和在建筑物上胡乱涂写。由于出入口有限,很容易进行监视和检查,可以减少对学校的非法闯入。尤其是保存重要的记录、资料、文件和储备紧急用的食品、燃料,是很安全可靠值得提倡的。在堪萨斯城开发的大规模地下空间中,贮存重要档案就是其重要用途之一。地下建筑物周围的土和本身厚重的混凝土结构,可以防止无关的人从外部闯入。同样,地下建筑物还能起到把人留在内部进行看管的作用。明尼苏达改造所是最近的一个实例(图 1.10)。

## 隔声与隔振

多数地下建筑物,除了少量露出地面的部分,都被巨大的土体包围,因此能够降低或完全消除噪声和振动。这具有两个方面的好处。第一,地下建筑物可以用于要求安静和与周围环境隔离的用途,例如一些特殊的实验室以及只允许有轻微振动的生产车间等。密苏里州堪萨斯城的布鲁森仪器公司(Brunson Instumen Company)是生产精密装置的工厂,生产上要求隔绝地面上的振动,建在矿山式地下空间中效果很好。第二,当地下建筑物内部产生噪声时,可以起到降低对外部环境的干扰的作用。一些

地下制造厂和交通设施就属于这种情况。某些特殊建筑物是否有必要进行隔离,是由其周围情况所决定的。采用物理的隔绝方法,也许可以不必要求图书馆非要设在安静的地方,工厂也可以靠近高速公路。如前所述,利用地下建筑物,可以把在功能上互相有矛盾的建筑物靠近设置,把不能用或已经利用的土地再充分利用起来,促进土地的有效利用。地下建筑物越深,开口越少,隔绝噪声和振动的效果就越好。

### 维护管理简单

地下建筑物顶部和墙壁都覆盖土,使维护管理简化,这是另一个优点,其简化的程度取决于覆土建筑的类型和性质。地下建筑物的结构主要是采用了混凝土等经久耐用的材料。此外,在地下建筑物中使用的是不需要更换和维护的高质量防水和隔热材料及制品。地下建筑物结构长久耐用的原因是所使用的各种材料可避免因暴露在大气中遭受温度变化和冻溶交替造成的损害。覆土使建筑材料免受紫外线的照射,也是建筑材料经久耐用的重要原因。

但是,全面降低维护管理费用,受到建筑设计中的一些处理和细节的影响。例如,选错防水材料,采用不合理的排水方法等,尽管能节省一些维护管理费用,但造成严重的漏水问题所需的费用会更大。另外,地下建筑物覆土的顶盖和周围的堆土上均可栽种植物,是不需要维护管理的,但是要花费较多的经费用于浇水、修整草坪和花园。

### 挖盖式地下空间的投资效益

地下建筑物的一次投资与地面上的建筑物很难进行比较。与地面建筑物造价相比,地下建筑物的造价相对较高,变化幅度也较大。其原因是所比较的建筑物的类型和质量不同。在总费用中与土接触的外墙的费用所占的比例,由于特殊的情况和场地条件的不同,在决定费用方面起着重要的作用。但是,在技术、材料、施工方法等方面,挖盖式地下建筑物与地面建筑物基本上是相同的。

建设的费用尽管受到各种制约,根据所需要的费用的不同,还是可以决定地下建筑物是否优越。大规模的商业建筑物和公共建筑物,在外装修

方面(砖、金属、玻璃)的费用,地下建筑物比地面建筑物要少。在大学内修建的高质量建筑物,外装修费可能节省较多,但对于低造价的仓库,就省不了许多。其他能够节约费用的因素是减小空调设备的尺寸。一次投资较高是地下建筑物的一个缺点,这个问题将在下节中讨论。

### 矿山式地下空间的投资效益

矿山式地下建筑物采用的施工方法与一般的地下和地面建筑物都有很大不同。岩石的掘进费用决定于岩石的种类、顶部的岩层质量以及通向地下空间的方式(水平通道或竖井)等。如果挖出的岩石可以出售,则应该在掘进费用中扣除这一部分。例如在堪萨斯城,地下挖出的石灰石全部出售,因而降低了开发地下空间的造价。明尼阿波利斯—圣保罗市的地下是砂岩,尽管没有经济效益,但这种较软的岩石容易挖掘,因此开发地下空间的费用相对也较低。在明尼阿波利斯—圣保罗地区,通过竖井进入砂岩层要穿过较硬的石灰岩层,这部分费用在总造价中占较大的比例,如果能从陡峭的崖壁上修建水平通道,则能够降低费用。

除了这些因素能影响矿山式地下空间的造价外,施工方法也有很大关系。由于岩石本身能够自我支承,不需另做结构,所以主要的费用是用于形成空间。在这种情况下,除了出入口部分以外,建筑物完全不需要外装修费用。矿山式地下建筑物的投资效益还表现在施工期间受到地面的干扰很小。

最后,地下空间的高度和跨度都对工程的费用有一定的影响。地下空间的安全高度和跨度决定于地质情况,有时决定于地下水位的深度。在明尼阿波利斯—圣保罗地区,如果条件好,在砂岩层中开挖 60 英尺(18.3m)的跨度,25 英尺(7.6m)的高度,是较为安全的。这意味着,大跨度(18.3m)和大高度(7.6m)的地下空间与规模比较小的地下空间相比,造价并不增加。事实上,在大的空间内施工作业容易一些,故造价也较低。这种规模的跨度和高度,适用于多数类型的建筑物,如实验室、娱乐室、仓库、生产车间等。同时,这样的规模也非常适用于铁路、大运量交通设施、停车场和车行隧道。存在的问题是在结构设计上如不做重大的改变,无论什么情况下都不能超过这个条件。

## 使用期内费用较低

评价建筑物的使用期费用的意义在于确定在建筑物的经济寿命持续期间建筑物的所有者负担的总费用。在一次投资和利息之外,使用期费用包括建筑物的能源消耗,维护管理和保险费等。很多情况下,地下建筑物即使修建时的造价高一些,但是与地面建筑物相比,使用期费用是较低的。这是因为地下建筑物的能源费和维护管理费较低和保险费较少。而且,有时地下建筑物与某些地面建筑物相比,具有较长的使用寿命。

对于使用期费用的分析表明,地下建筑物具有明显的优越性,但是对于一些很特殊的情况,应该予以充分注意。例如,使用期费用是根据一些互相关联的数据计算的,其中一些数据,如未来的能源价格,是很难准确估计的。和地面建筑物一样,地下建筑物在能源和维护管理方面的费用变化幅度也是很大的。尽管有这些局限性,地下建筑物在使用期费用上还是有一定的优势。何况地下空间还有许多社会和环境效益都没有计入使用期费用之内,例如保留地面开敞空间、有效利用土地、解决交通问题、美化环境及降低能源消耗等。

## 地下空间的缺点

地下建筑物完全在地表面以下,自然会给设计上带来许多难题。为解决地下建筑物的困难问题和其他一些技术问题所增加的费用可能成为地下建筑物的缺点。然而,这些缺点并不构成绝对的障碍。如果着眼于地下建筑物的好处而考虑采用地下方案,那么,通过精心设计和革新,可以克服这些困难。这将在下面几章中通过大量实例进行分析介绍。

在地下空间利用方面,主要的障碍并不是生理或技术方面的问题,实际上主要是心理方面的问题。如果想把某种公共活动放到地下,尽管类似的功能在无窗建筑或地下室中早已习以为常,还是会遇到一定的阻力。这种心理上形成的倾向往往成为修建社会上很需要的工程的障碍。然而,否定修建地下建筑物的必要性的观点,将随着精心设计的地下建筑物的建成和有效的利用而逐渐减少或消失。各种地下建筑物的使用情况和性质

有着很大的不同,因此在本节中所谈到的地下建筑物的缺点是针对某种特定情况而言,而并不属于所有地下建筑物。

## 观景和天然光线受到限制

由于建筑物的一部分或全部在地下,外墙表面的大部分都被土覆盖,天然采光和向室外观景问题使设计上受到限制。对于浅埋地下建筑,这个限制可以利用中庭和天窗以及靠近地表面的其他开口部,得到一定程度的克服,但是地下建筑物在平面布置上的变化,与地面建筑物相比,其可能性要少一些。利用透镜从地面把天然光引到地下建筑物内和向外观景,这种太阳光学方面的新技术虽有很大的潜力,但对于矿山式地下空间来说,解决这个问题是相当困难的。

引入天然光线和向室外观景,虽然在心理上和生理上都是有益的,但也不是所有的场合和活动都要求有天然光和向室外观景。只有很少的建筑物要求在所有的房间都要有窗。私人办公室和医院的病房,由于是长时间使用的小房间,必须要有窗。对于进行无方向性活动的大空间以及人们停留时间较短的商店和图书馆等,一般不一定非要有窗。而剧场和几乎无人的仓库,则完全不需要开窗。

## 出人和通行受限制

大部分行人和车辆的往来都是在地面上进行,所以人和车辆进出地下建筑物给设计造成一定的困难。交通是否方便,取决于地下建筑物接近地面的程度、场地的条件及与建筑物功能有关的进出要求。当然,修建埋深很浅、仅在地下有一到二层或者在地面上堆土的地下建筑物,进入地下的方法就较容易解决。例如用坡道、楼梯和中庭的方法做为行人用的进出路,与一般建筑物没有多大区别。布置在斜坡地的地下建筑物,有利于人和车辆水平直接进入。地下深层的矿山式地下空间的进出,如果只能通过很长的竖井就很困难,而且投资也较大。如果在深部空间的外侧有陡崖,能修建水平通道作为进出路,则是最好的方法。图 1.8 和图 1.9 表示了进出地下空间的几种方式。