

建筑现代化小丛书

864
XSS

278737

中国建筑学会科学普及委员会主编



徐思淑

现代地下建筑

中国建筑工业出版社

中国建筑学会科学普及委员会主编

建筑现代化小丛书

现代地下建筑

徐思淑

·限国内发行·

中国建筑工业出版社

编 者 的 话

提高整个中华民族的科学文化水平是我国实现社会主义现代化的可靠保证。向广大干部、工人、农民、科技人员和青少年普及科学技术知识是学会工作的一个不可忽视的重要方面。

建筑业各级党政干部迫切希望学习了解有关建筑业现代化的科学技术知识。为了满足他们这种学习业务知识的渴望，我们组织中国建筑学会的有关专业委员会和一些地方的建筑学会编写这一套《建筑现代化小丛书》，按专题分册陆续出版。

尽管这些专题小册子在付印之前，经过一定范围的试讲，反复修改、补充，在内容上仍不免有疏漏，甚至错误之处。希望读者发现有什么问题，或者有什么建议，能够告诉我们，以便改进和提高我们的工作。

这里，还需要说明，我们这一套小丛书强调除了介绍该方面的基本知识和发展水平之外，还请作者尽可能地结合我国的实际，提出一些见解或建议。既然是作者个人的见解或建议，大家的看法就可能不一致。如果我们编印的这些册子，能够引起大家讨论涉及到建筑现代化的一些问题，提出积极的建议，供有关部门参考，也就起到了抛砖引玉的作用。

中国建筑学会科学普及委员会

1979年9月

现代地下建筑

现代地下建筑，从广义上讲，可以包括全部地下工程。但一般所说的现代地下建筑，是指近百年来用于军事、工业或民用等方面的地下建筑物。一百多年来发展的历史证明（一般现代地下建筑是按1863年在英国伦敦建造的第一条地下铁道算起），地下建筑是防备敌人突然袭击，特别是核袭击，有效地保存战争潜力，坚持人民战争，坚守城镇的重要工程保障。同时，它能够满足某些高、精产品生产和物资贮存等对于特殊环境的需要，也是解决城市用地紧张和实现城市现代化中必不可少的一种建筑途径。为此，世界各国对地下建筑的修建极为重视，建筑技术水平不断提高，其类型和数量也日益增加，发展比较迅速。为便于读者对地下建筑有个基本的了解，现对其类型与特点，适用范围与发展趋势，以及新技术的应用等方面作如下介绍。

一、类型与特点

地下建筑按使用要求分类，有供军事使用的各种地下指挥所、通信枢纽、人员掩蔽部、战斗工事以及各种地下军需、军械、弹药仓库等地下军事建筑；供生产使用的地下工厂、车间、电站等地下生产性建筑；供交通运输使用的各种地下通道、车库、车站等地下运输建筑；供贮备使用的各种地下油库、气库、热库、冷库、粮库、档案资料库以及其它

物资贮备库等地下仓库建筑；供公共和服务性使用的地下影剧院、展览馆、学校、商店、体育馆、游泳池、射击场、电话交换台、广播电台、电视台、殡葬设施以及地下自来水厂、污水处理厂、煤气发生站、热力供应站等地下公共建筑和公用服务性建筑等等。但这些地下建筑按其所处的地点和地质条件不同，区别很大，我们应首先分清它是在岩石中构筑还是在土中构筑；是在平地构筑还是在山地、坡地或水底构筑；其埋置的深度如何？防护要求如何？由于客观条件和防护能力的差异，就产生了不同的构筑方法，它不论在规划、设计或施工方法上都有很大区别，所以一般习惯上又按其构筑方法将各种地下建筑分为坑道式、地道式、单建式和附建式等四种类型，见图1~5。

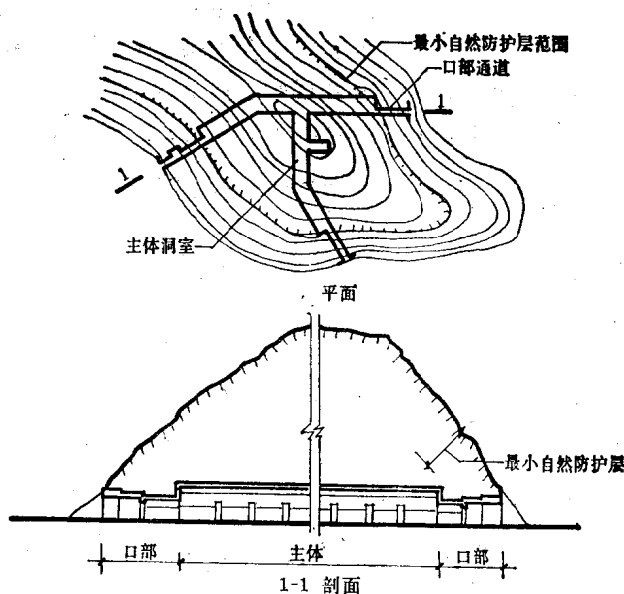
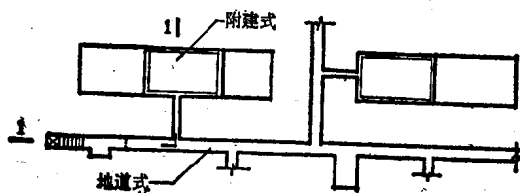
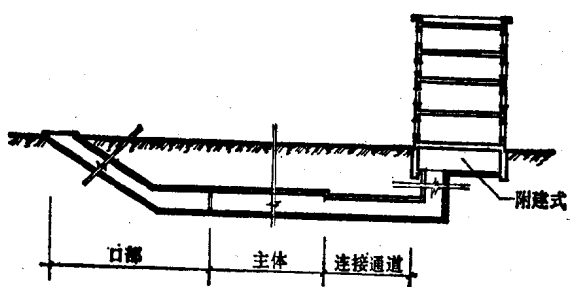


图 1 坑道式地下建筑



平面



1-1剖面

图 2 地道式地下建筑

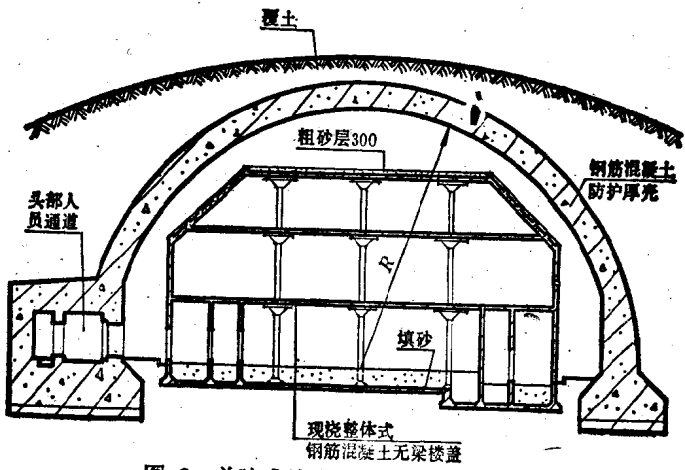


图 3 单建式地下建筑（明挖回填）

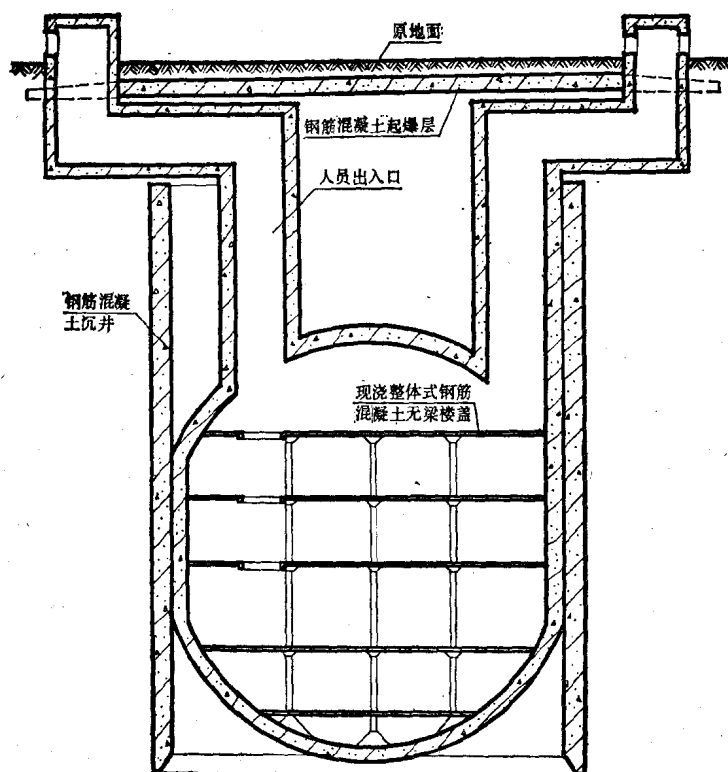


图 4 单建式地下建筑（沉井）

坑道式或地道式地下建筑 即采用暗挖的方法形成的地下空间，在建筑的上方有较厚的自然岩土覆盖。所不同的是坑道式地下建筑多在山地或坡地的岩石中修建，其出入口一般都坡向洞外，易于向外自流排水。而地道式地下建筑则多在平地或小起伏地的土中修建，其出入口多坡向洞体内部或采用竖井与地面联系，建筑内部的水，多采用机械抽排。

单建式和附建式地下建筑 即采用明挖或沉埋等方法形

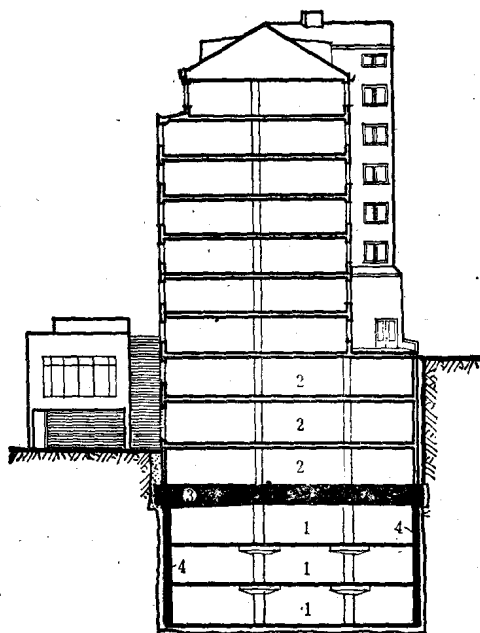


图 5 附建式地下建筑

1—防空地下室；2——般地下室；3—防护顶板；4—混凝土加固层

成的地下空间，因而建筑上方的覆土一般较薄，多适宜于在土中修建。单建式与附建式的主要区别是：当地下建筑上部无较坚固的房屋时，称为单建式（或掘开式）地下建筑；其上部有较坚固的房屋，且可以抵抗一定的冲击波压力时，则称为附建式地下建筑，也就是防空地下室。附建式地下建筑特别适用于城市内建筑物密集，地基软弱或低洼地带，或在高层建筑下需作深基础的情况下构筑这样的地下室非常有利。

此外，尚可利用天然溶洞或废旧矿井经过加固改造成所需要的坑道式、地道式地下建筑；也可以结合城市建设，利用天然沟谷、洼地以及护城河等，经改造成为单建式或附建式地下建筑等等。

由上可知，地下建筑与地面建筑相比，虽具有建筑的共性，但由于地下建筑是处在岩土之中，自然条件的差异，造成了许多独特的性质：

首先，表现在具有良好的防护能力。地下建筑四周的自然岩土，对于防止和削弱空袭所造成的冲击波、毒气、放射性沾染以及火灾和爆炸的破坏极为有利。如以抗力为例，试验证明：地下建筑具有很高的抗力，3米跨的毛洞，10米厚的防护层，就能承受56公斤/平方厘米的地面超压作用；3~6米跨的洞室，有10米左右厚度的防护层，采用喷射混凝土锚杆衬砌或钢筋混凝土衬砌●，就能够保证50公斤/平方厘米的地面空气冲击波作用下安全可靠。而地面建筑则由于大面积的暴露，即使花费极高的代价也是不易做到的，一般地面建筑只要0.18~0.5公斤/平方厘米的超压，即遭受到中等或严重破坏而不能使用。同样，天然岩土的防护还能对某些危险性物质，如弹药、油料、火器、原子能等生产和贮存起一定的隔离和限制作用，在地下建筑中生产和贮存这些东西要比地面安全得多，卫生和防护距离也可以缩短。

① 与地面建筑不同，地下空间通常是按照使用要求在地层内挖掘洞室而成。由于自然形成的地层是处于初始应力平衡状态，挖掘了洞室以后就破坏了原有地层的应力平衡，加之地下水的作用，因此需要根据洞室周围岩土在挖掘后所处的稳定状态和地下水渗漏等情况，结合使用要求作必要的支护，以保证洞室周围岩土的稳定和使用中防水、防潮等的要求。这种支护结构通常叫做衬砌，也有称作为被覆，它可以由混凝土、钢筋混凝土、锚杆喷射混凝土、料石、砖以及各种其它砌块等构筑。

其次，特别是深埋的坑道式或地道式地下建筑，受自然的或人为的外界条件影响较小。根据对地壳温度的观察，太阳辐射热一般只对地下10~20米有影响（与纬度和地理条件有关），日变化的作用深度仅0.5米左右，因而处于岩土中的地下建筑的周围，有一个比较稳定的温度场，这对于要求在低温或高温状态下贮存物资，或要求在恒温状态下生产的工艺来说可以提供经济而适宜的环境。岩土围护作用，还使地下建筑具有良好的防震（振）和密闭性能，除特大地震外，它有利于抗震、排除地面尘土和电磁波等的干扰，适宜于超净化、防微振等高精度生产的要求。利用地下建筑的密闭性储油，还可以减少油量挥发，储粮等可以减少虫害。但在另一方面，也由于地下建筑的密闭，没有开敞的窗户，不能象地面建筑那样可利用门窗进行自然的采光和通风，致使地下建筑内生产、生活所产生的余热、余湿和污浊空气难于自然散发；加之周围受地下水、地表水、空气凝结水的影响，内部易于潮湿，因之，地下建筑的通风、防水排水、防潮去湿、防噪或照明等问题都比地面建筑突出，这就在一定程度上限制了地下建筑的使用范围，确定了它应有的建筑标准。

第三，由于地下建筑主要是采用“挖”的办法取得地下使用空间，这较地面建筑是在极大空间中采取“围”的办法取得使用空间的方法截然不同，因之地质条件对于地下建筑的空间大小、结构形式、施工方法、施工进度、工程造价等影响很大，常常成为地下建筑选址、设计和施工的先决条件。由于地下建筑挖方工作量大，建设周期较长，结构和施工等费用随着岩土质量的好坏而急剧地增减（如按照斯坎脱纳维亚国家的经验，在软土中明挖后覆盖的隧道要比硬岩中

隧道贵3~4倍，用盾构法构筑的隧道或用沉埋法构筑的隧道要比硬岩隧道贵10~15倍），加上通风、防水、防潮、防噪音等的各种处理，综合起来，地下建筑的造价一般要比同类型地面建筑要高一些，这就要求各工程在满足使用的要求下更充分利用每一立方米的有限空间，选择有利的地质和地形条件，采用新技术与新工艺，提高机械化水平，以降低工程造价。

二、适用范围与发展趋势

地下建筑的上述特性，在一定程度上决定了地下建筑的适用范围，究竟那些建筑适宜于建在地下？它的发展趋势怎样呢？根据国内外的经验是，应从战备和使用的需要、经济和技术合理与可能，结合当地的具体条件进行多因素的综合比较后作出决定。总的说来，可以归纳为以下几方面：

1. 满足战时防护需要，避免空袭破坏

根据第二次世界大战的教训，并考虑到导弹核武器的发展情况，战争的突然性和破坏力空前增大，为了防御敌人的突然袭击，确保国家安全，除有强大的军队外，还必须有坚固的工程设施。只有认真搞好地下建筑的建设，才能在战争一旦爆发后保存力量，减少损失，避免混乱，使全国顺利地由平时转入战时体制。

当前，世界上许多国家都在进行这类防护性的地下工程建设。各国的做法是从经济、实效和长远发展着眼。除军事工程外，主要是广泛地构筑防空掩蔽部、建立现代化的警报系统和构筑能贮存大量物资器材的地下仓库等，以便有效地应付可能的核袭击。为避免过重的财政负担，则应区别轻

重缓急，按照长期的规划有步骤地进行，应采取平战结合以节省人力物力。例如日本在大中城市中兴建的地下街、地下铁道，平时有利于解决交通问题，战时即能用做防空掩蔽部（见图6），并正以地下铁道为干线，逐步地把地下街、地下车库等连接起来，构成一个地下机动体系。目前，日本已在二十六座城市构筑这样的地下街、地下商店和地下停车场等，总面积达二百四十万平方米；又如苏联，莫斯科地下铁道，采用平战结合，深入地下约37米，全长140公里，有大小车站86个，车站和区间隧道估计可容纳350余万人，战时可为全市一半居民提供保护；瑞典、瑞士等国，主要是利用房屋的地下室建造小型的个体掩蔽部（个体掩蔽部的最大容纳人数为200人，一个防护室最高容纳50人）。对于大型的公共掩蔽部，则是构筑成大型的停车场、地下剧院、地下仓

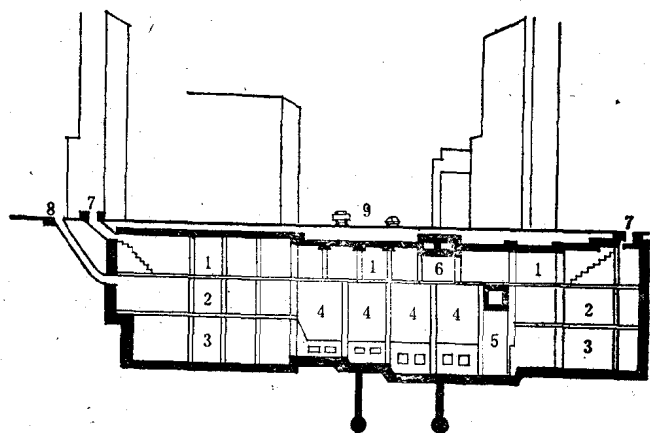


图6 日本东京八重洲地下街示意

- 1—商店；2—车库；3—机房；4—地铁；5—污水管道；6—电缆道；
7—出入口；8—汽车出入口；9—地面街道

库等，如瑞典斯德哥尔摩的力德利那防空掩蔽部，深入地下25米，内分上、中、下三层，平时用作停车场，可停汽车600辆，战时可容纳两万人；美国，除采用上述措施外，尽量利用现成建筑物、地下管道、矿井坑道等加以改造、整形加固以用作掩蔽部。据美国国防部估计，仅利用改造的废矿井就可为五千万人提供有效的核保护，与此同时，美国还计划在一些大城市建造以地下管道网为主体的防空体系，将地下管道改建成防原子掩蔽部和疏散干线，使整个城市的掩蔽部连成一个整体，见图7。

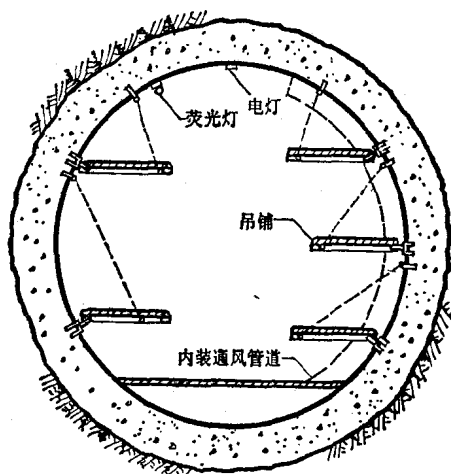


图7 地下管道改建成防原子掩蔽部示例
(内径2.4~3.0米)

我国，已经修建了大量防护性的地下建筑，取得了巨大成绩。在总结经验的基础上，党中央提出了“全面规划、突出重点、平战结合、质量第一”的建设方针。这类防护性地下建筑的总要求是：既防核武器、化学武器、细菌武器，又

要防常规武器，还要防火、防灌水。要求在进行全面规划中正确处理人防建设和国民经济建设的关系等。应根据各城市、各工程的战略地位确定其能防、能打、能机动、能生活、能生产的等级程度。要求做好城市总体规划，在规划设计中正确处理单体与总体、地面与地下、平时与战时、现在与将来的关系，并注意配套成龙，合理地解决防护、交通、机动、通风、排水、防潮、供应与指挥、管理等技术问题，务使地下建筑在平时或战时确保使用与安全。

目前，各地区在贯彻平战结合的地下建筑建设中，已取得了不少成功的经验。除一般的粮食、油料等各种地下物资储备库、地下医院、地下电站、地下车间、地下商场、地下会议室、地下电影院、地下通道、地下仓库、地下铁道等外，有的地方还利用地下水为生产、生活服务；利用地下冷空气进行地面建筑等的降温；利用地下建筑的挖土弃碴，改造城市不可用地、美化城市面貌以及用做建筑材料等都取得了显著成果。

对于工业建筑，国内外一般认为：若将整个工业设施转入地下是非常困难的，特别是炼铁、炼油、炼铝等工厂更难办到。地下环境适宜于一般冷加工车间，而不太适宜于热加工车间，如果把热加工车间和产生大量有害气体的车间设于地下，这对于地下厂房的排气、防毒等卫生、技术处理带来很大困难；另一方面，地下厂房适宜于中小型厂房的生产，而不太适宜于大型或重工业厂房的生产，其主要原因是大型和重工业厂房生产要求的面积大、空间大、出入口通道多、水、电耗量大、排放热量和烟气多，因而工程复杂，建设时间长，并且还要敷设铁路等解决原料和产品的运输。因此，从满足战时需要出发，除对于重要军事工厂、重要关键性生

产车间必需进入地下外，对于一般性工厂，为保持在战时的生命力，可以采取分散部署、限制规模、建立双套或多套设备生产，以及采取其它防护措施加以解决，一般不转入地下。

2. 利用地下建筑的热稳定性和密闭性，为某些产品的生产和物资的贮存提供适宜的环境

地下建筑对于很多物资的贮存极为有利。在世界范围内各种贮库的建造，在新建地下工程的总量中占有很大比重，其中最多的是地下油库、冷藏库和粮库。同时新的地下贮库类型，如各种气库、蓄热库等不断出现。

在地下建筑冷藏库，可以不用隔热材料，温度调节系统也比地面冷库简单，经常操作维修费用较低。如挪威的一座建在花岗片麻岩中的冷库（覆盖层厚47米），当降温使用三个月后测定，库温稳定在 $-22\sim-23^{\circ}\text{C}$ ，距库5米的围岩处为 -7°C ，10米处为 -1.2°C ，15米处为 2.0°C ，20米处为 5°C ，冷库周围低温区的存在，就使得为了维持库内低温所需要的制冷量有所减少，且为间歇运行创造了条件，因此冷库的运行费用就比地面冷库大为降低，可节省25~50%。我国西南地区的山洞冷库也有同样类似的经验，目前正在迅速推广。

同样，利用岩石的热稳定性建造地下蓄热库，可使热能损失减到最小，如瑞典在210米深的地下岩石中建造了一座储蓄热水的贮库，把热电站生产的热水贮存在容积为20万立方米的洞库中，可供首都一个大居住区使用热水，水的送出温度为 90°C ，回水为 65°C ，具有一定的经济效益，见图8。

在地下建立太阳能或风能的蓄能库已为期不远，这种能长期蓄能的系统方案，1977年在华盛顿召开的有关国际会议中已作了专题讨论，其中一个方案是将开挖好的地下洞室重

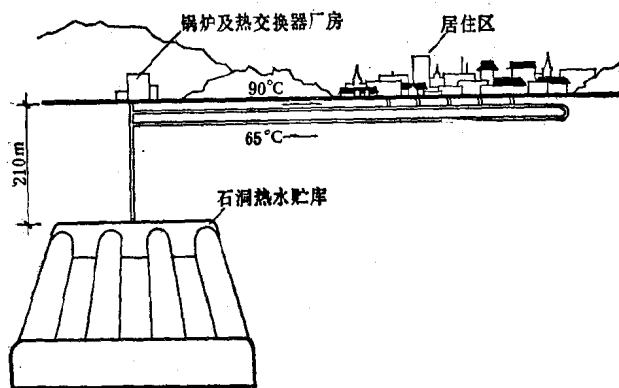


图 8 地下石洞热水贮库

新填满碎石，中间有热空气在管中流动，见图 9，从太阳能电站加热的热空气将洞内碎石加热，可热到 500°C ，利用岩石的蓄热性能，此温度可保持 4~6 个月。

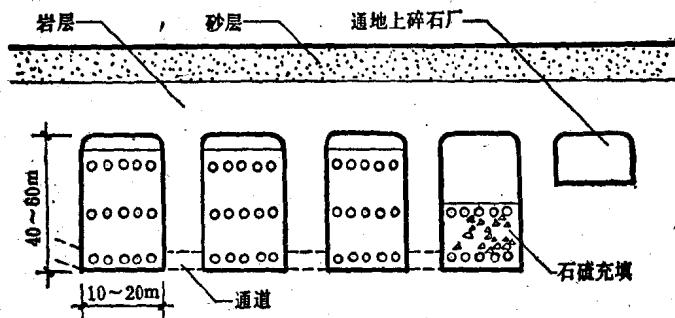


图 9 地下太阳能蓄热库

此外，由于世界能源危机等原因，为充分利用地下的热稳定性而建造各种形式的半地下建筑（即由土掩蔽的窑洞式的建筑），目前已日益增加，见图10。这种半地下建筑最突

出的优点是可以冬暖夏凉，从而大量地节约能源，且通风、采光等问题易于解决，不占用地面绿化等场地。它可供一般商店、停车场等使用，还可以供居住使用。

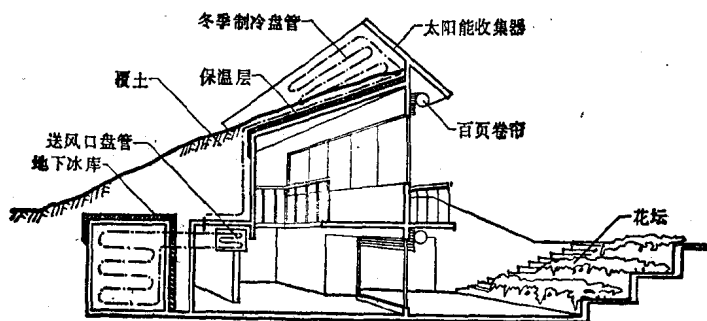


图 10 半地下建筑（土掩蔽建筑）

在地下修建油库，不仅适应战备的需要，有利于减少火灾和爆炸危险，而且还由于地下温度稳定，受大气影响较小，使油料不易挥发和变质，可较地面油库节省管理费20~30%。特别是近几年来，各种地下非金属油罐、油池、地下水封石洞油库和盐岩洞库的修建成功，从而大量节省了钢材，为石油大规模的地下贮存开辟了广阔的道路。目前地下水封石洞油库（见图11）单库容量已达10~20万立方米，洞室的跨度一般为20米，高30米，长200~300米不等，有的已达400米。岩盐油库则更大，单罐容积有几万立方米至几十万立方米，最大的达100~200万立方米。此外，已有利用核爆炸来建造地下油库，则其容量之大，更具有经济和战备意义。

在地下修建粮库，除能保证战时安全供应，做到平战结合外，由于它具有比地面粮库贮粮多、质量好、且易于管理等特点，经济意义也非常大。实践证明：地面粮库受气候影