

1 地下建筑结构设计---绪论



本讲内容

1.1 地下建筑结构的發展现状

A 铁路和公路隧道

B 水电站及航运地下工程

C 城市地下工程（排水排污）

1.2 地下建筑结构的概念、作用和形式

1.3 地下建筑结构设计程序和内容

1.4 本课程包括的内容

1.5 地下建筑结构面临的挑战

1.1 地下建筑结构的发发展现状

A 铁路和公路隧道

解放后：修建的铁路隧道计2500km。其中：大遥山隧道为14.295km (1987)，居世界第十位；秦岭隧道由两座基本平行的单线隧道组成，间距30米，各全长18.46公里，居亚洲第二位，世界第六位。最大埋深1600米，为目前世界之最，1999年贯通。

我国水下隧道：打浦路隧道（第一条，2761m），外环沉管隧道，甬江、珠江江底隧道，港珠澳通道（2018）；未来可能的隧道：琼州海峡隧道、台湾海峡隧道、烟大海峡隧道。

秦岭隧道
实景一



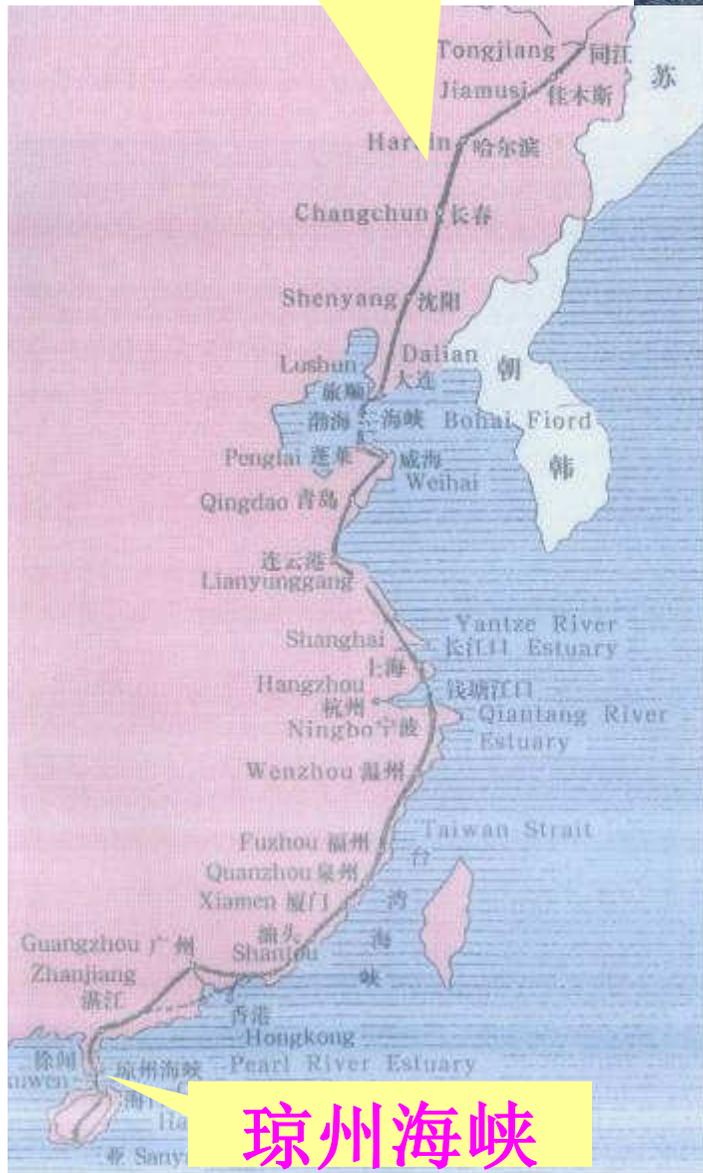
秦岭隧道
实景二



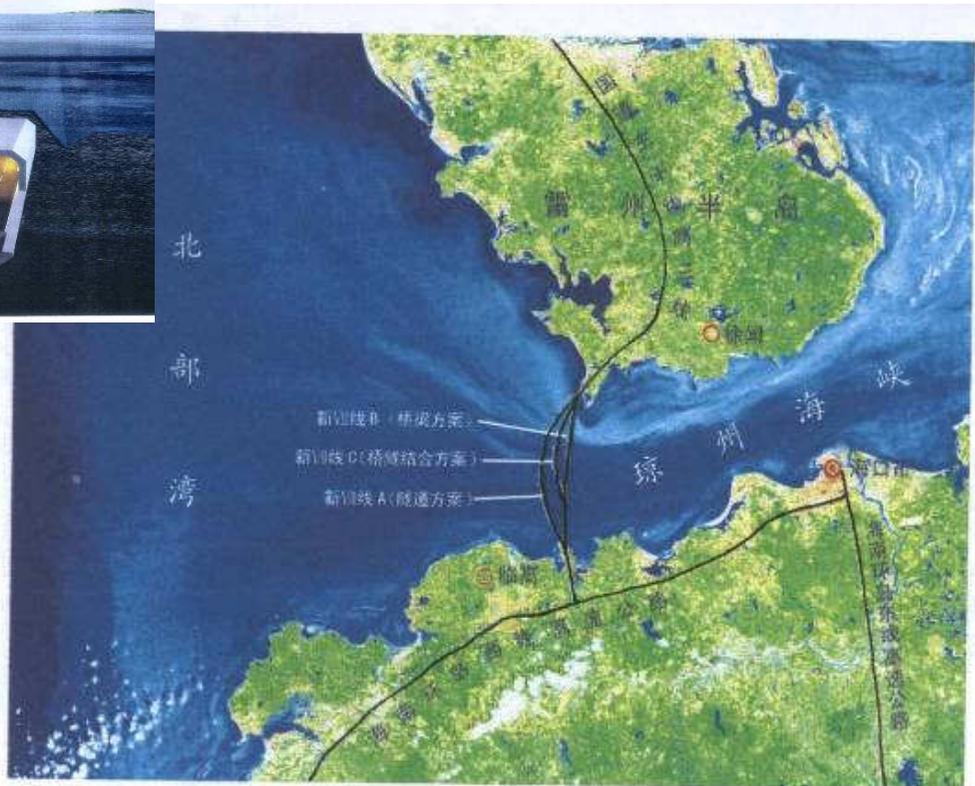
打浦路隧道



同三国道主干线
沈阳至海口国家高速



琼州海峡





青島地鐵8號線平面示意圖



国外：日本发展快，修建达2000km，比如水下青函隧道（53.85km）；此外，瑞士圣哥达隧道16.5km，英法海峡隧道（49.6km），直布罗陀海峡隧道（拟建，连接欧非大陆）；马海峡隧道（拟建，连接日本与韩国，230km）



瑞士圣哥达大隧道全长16.5公里，是穿越海拔2千多米的阿尔卑斯山、连接瑞士南部和意大利北部的的主要公路干道

图片为2001年10月24日因车辆相撞发生大火，死亡14人。

英吉利海峡隧道耗资100亿英镑，接通英国肯特郡的福克斯通和法国的加来，建造工程于1987年12月开始，到1990年12月结束。1994年5月6日由英国女王伊丽莎白二世和法国总统密特朗正式剪彩通车。这条双轨隧道长49.94公里，直径7.6米。在英吉利海峡底开凿隧道的规划是19世纪初拿破仑战争期间首次提出的。

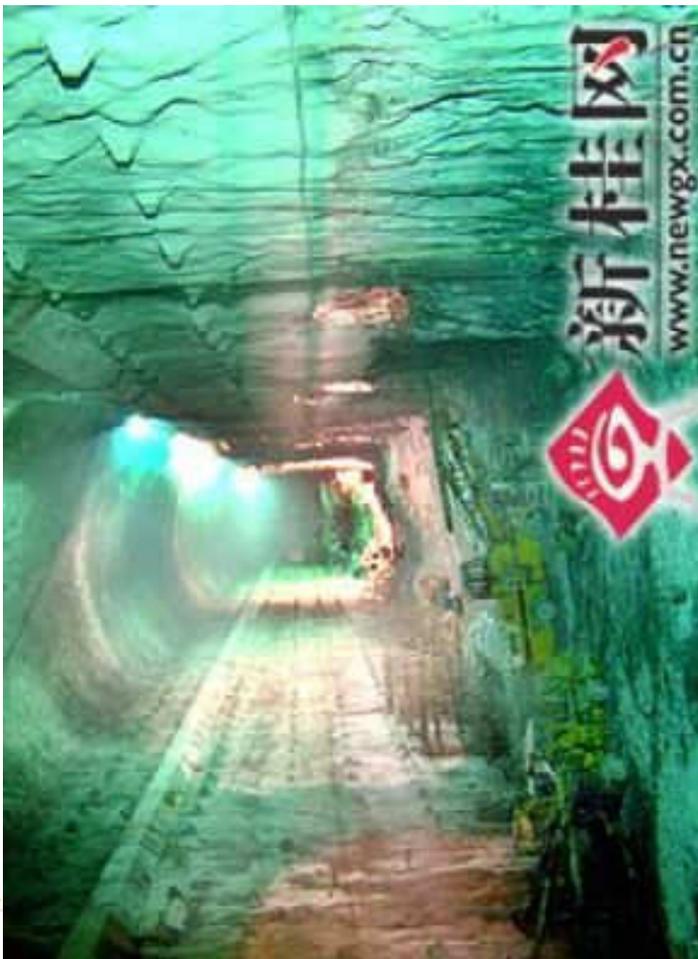
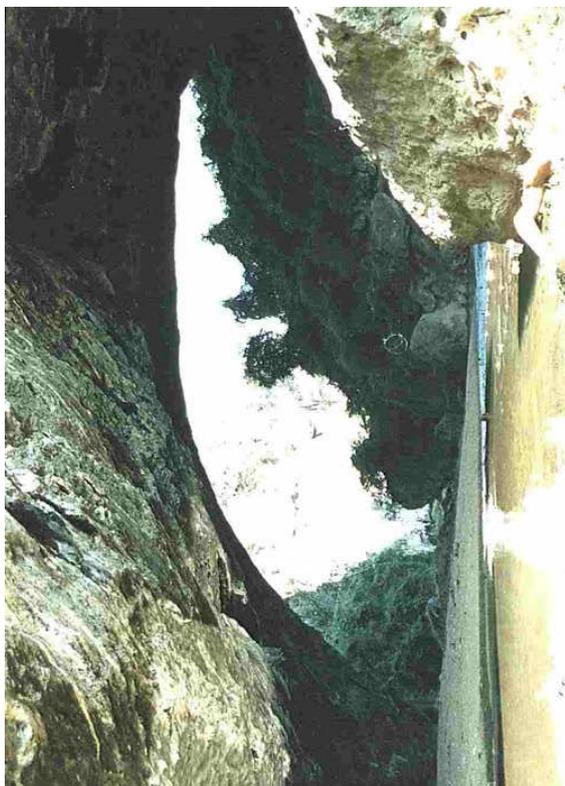


B 水电站及航运地下工程

水电站包括：引水隧道、泄水隧洞及大跨度、高边墙的地下厂房等地下工程。据统计，我国建国后建成的大小中型水电站引、泄水隧洞约140座，全长120km；最长的为四川渔子溪一级电站有压发电隧道，长8429m。天生桥水电站，有压发电隧道三座，内径9.0m，各长11.34km。

航运地下工程：世界最大的航运隧道为法国马赛至罗那航运线上的罗佛隧道，全长7km，断面宽24.5m，高17.5m。

天生桥水电站



龙滩水电站

C 城市地下工程

在地铁方面，法国巴黎高速地铁横贯东西，全长50余km；日本东京地铁更有若干层好几条线；我国的上海、北京、广州、深圳等地铁正如火如荼。河北省有石家庄、唐山、保定（雄安）

多层次综合开发利用地下空间，是城市地下工程建设的一个特点。如日本东京的上层地下工程，便多作为地下街、商场等；瑞典、挪威、美国等更把地下工程用于民用住宅、图书馆等。我国有利用人防工程改造的商场、地下人行街、车库等。

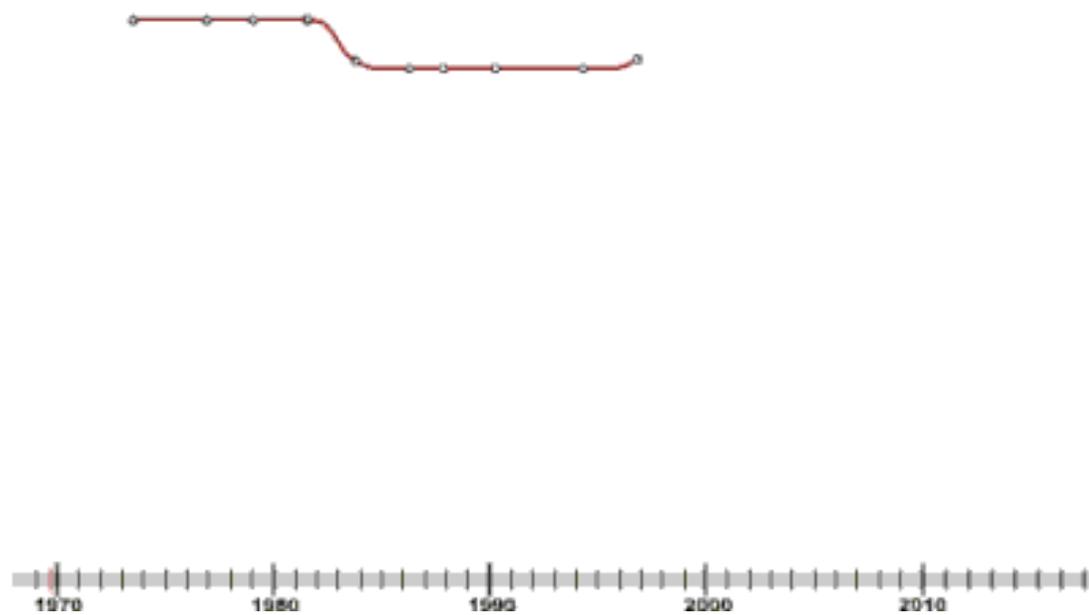


上海徐家汇地铁站



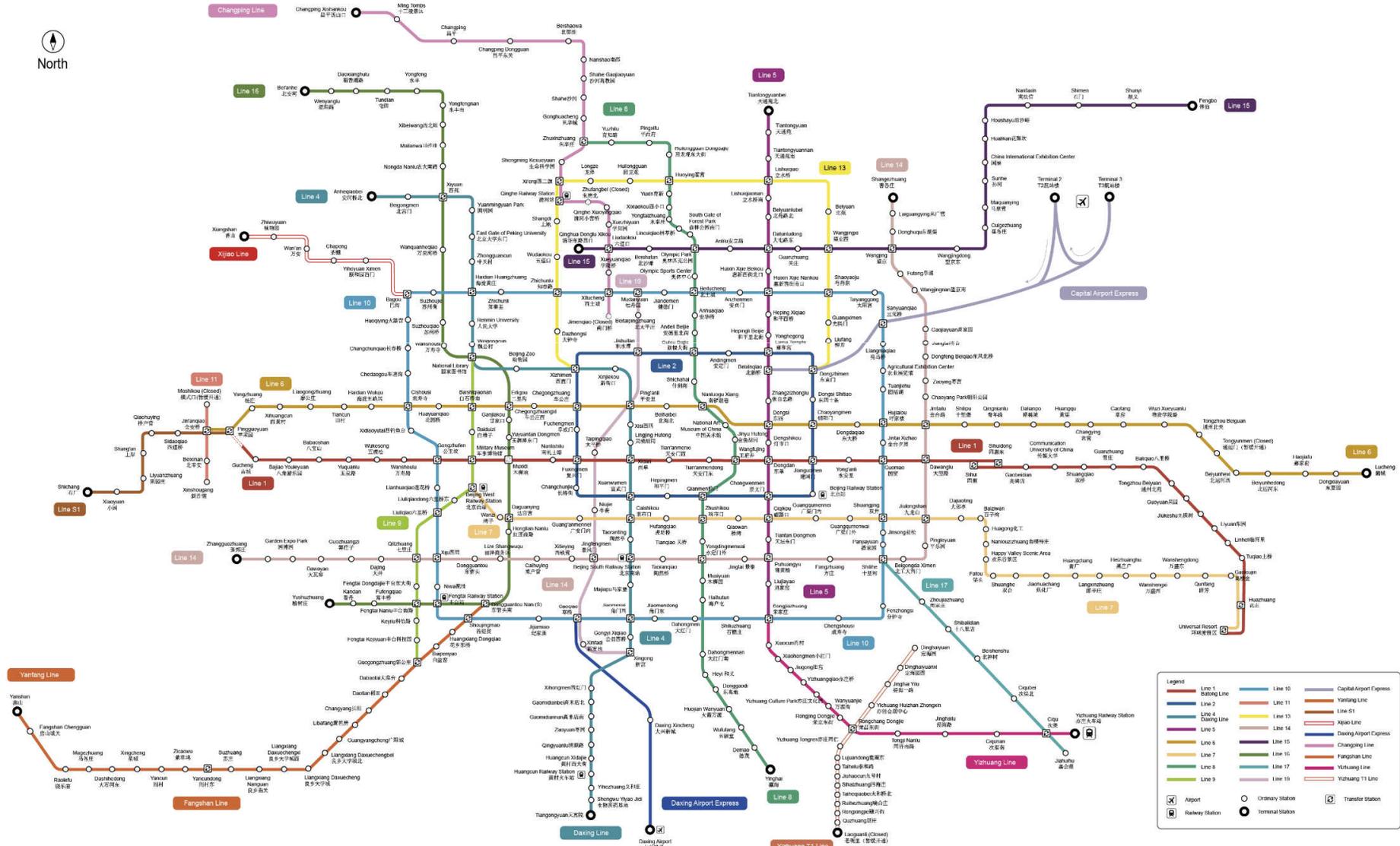
广州越秀公园站

October 1, 1969
Phase 1



In late December 2023, the Beijing Subway will open extensions to Lines 11, 16, and 17, expanding the network from 807 km to **836 km**. Line 11 will extend to Moshikou, Line 16 to Wanping Town, and the new Line 17 from the Workers' Stadium to Future Science City. Dec 27, 2023

Beijing Subway Map

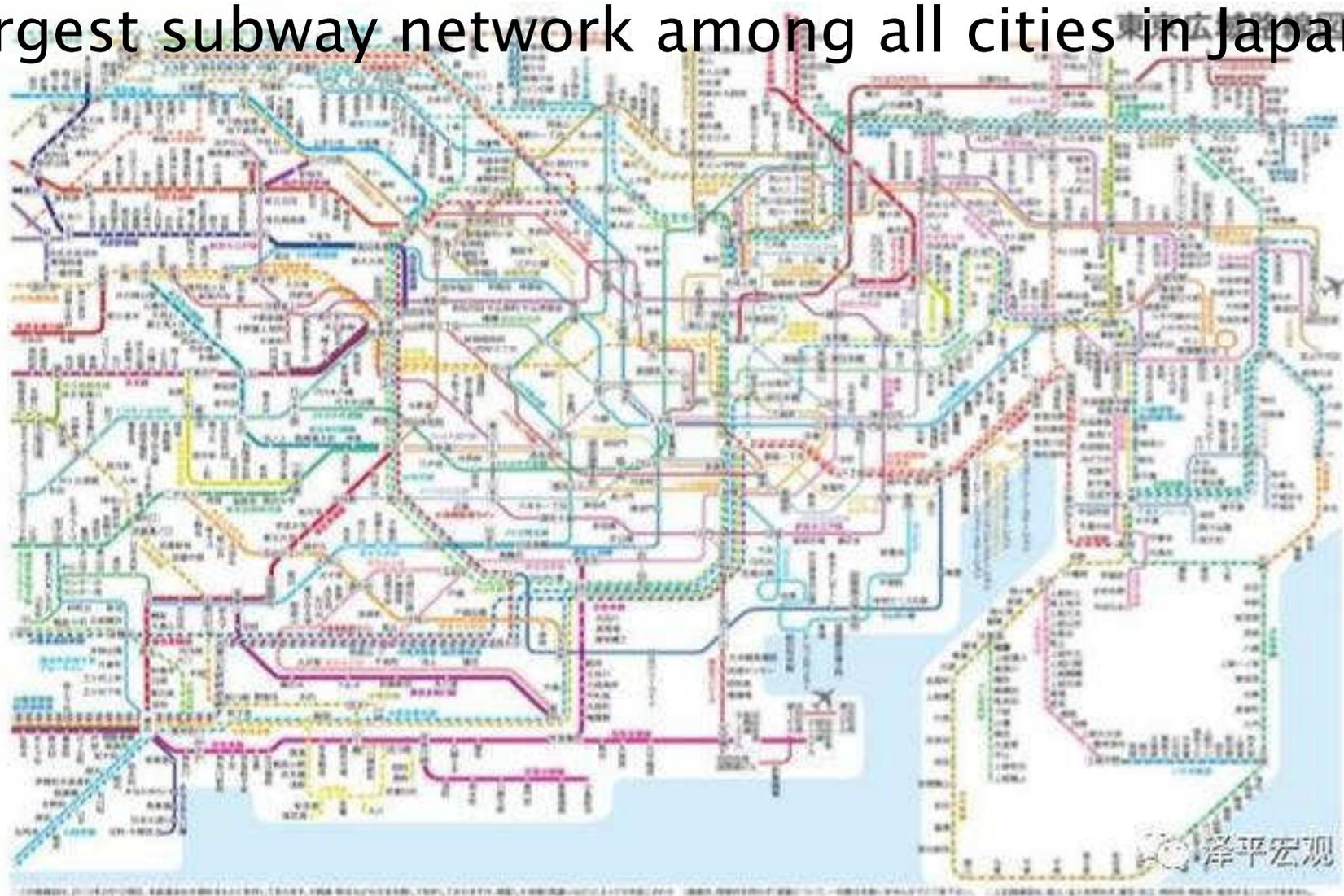


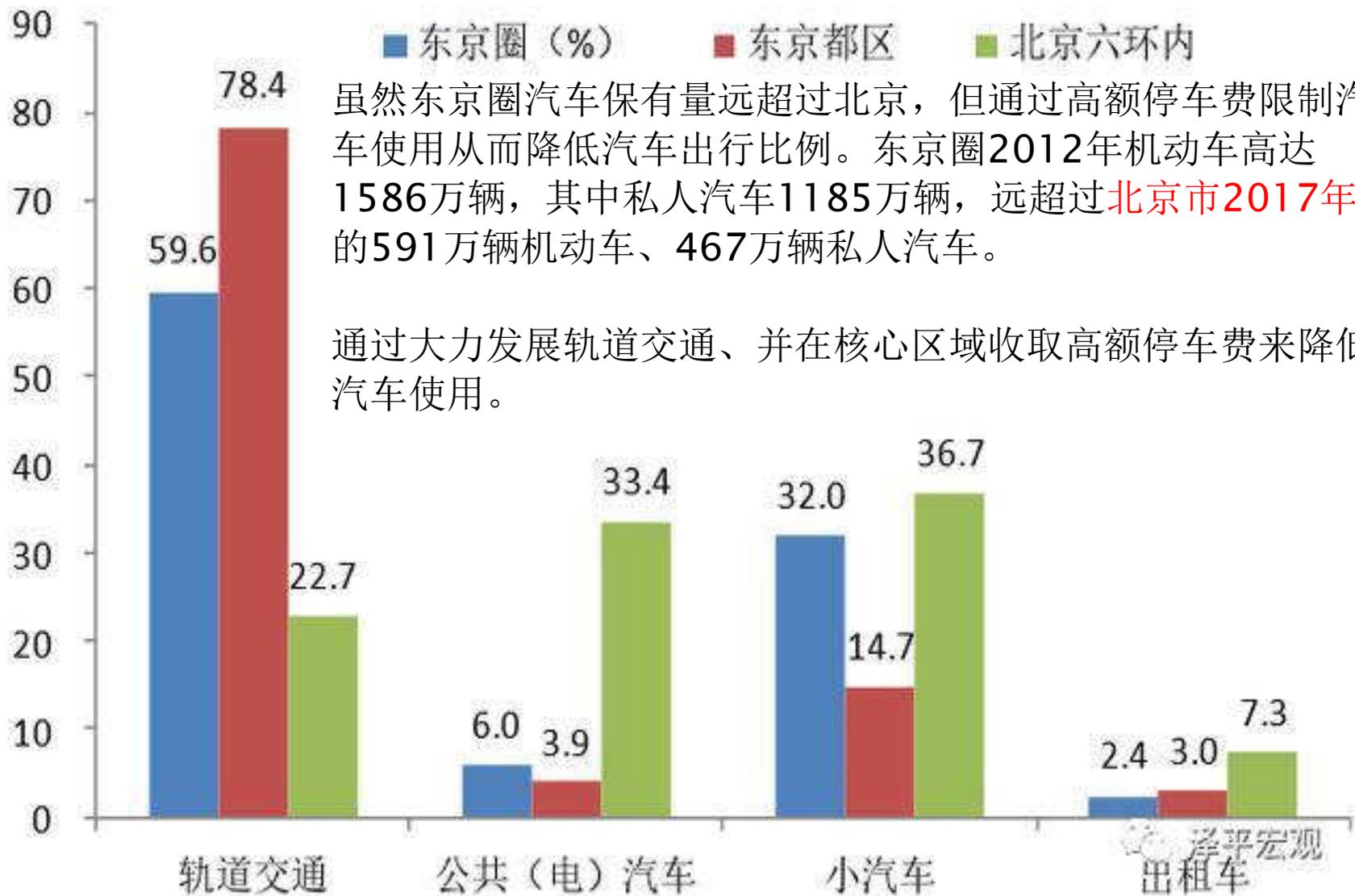
202307



In 2023, the total network reached a length of **405 kilometers**

As of April 1, 2023, the subway network in Tokyo and neighboring cities measured an operating length of around **356.1 kilometers**, making it the largest subway network among all cities in Japan.





虽然东京圈汽车保有量远超过北京，但通过高额停车费限制汽车使用从而降低汽车出行比例。东京圈2012年机动车高达1586万辆，其中私人汽车1185万辆，远超过北京市2017年的591万辆机动车、467万辆私人汽车。

通过大力发展轨道交通、并在核心区域收取高额停车费来降低汽车使用。

邯郸、秦皇岛、唐山、保定、 张家口等市推进城市轨道交 通建设规划编制工作



http://sjz.hebnews.cn/2020-01/08/content_7656936.htm

2020年1月8日石家庄地铁3号线一期工程北段
顺利通过初期运营前安全评估

地下广场（明挖法）

A 铁路和公路隧道

B 水电站及航运地下工程

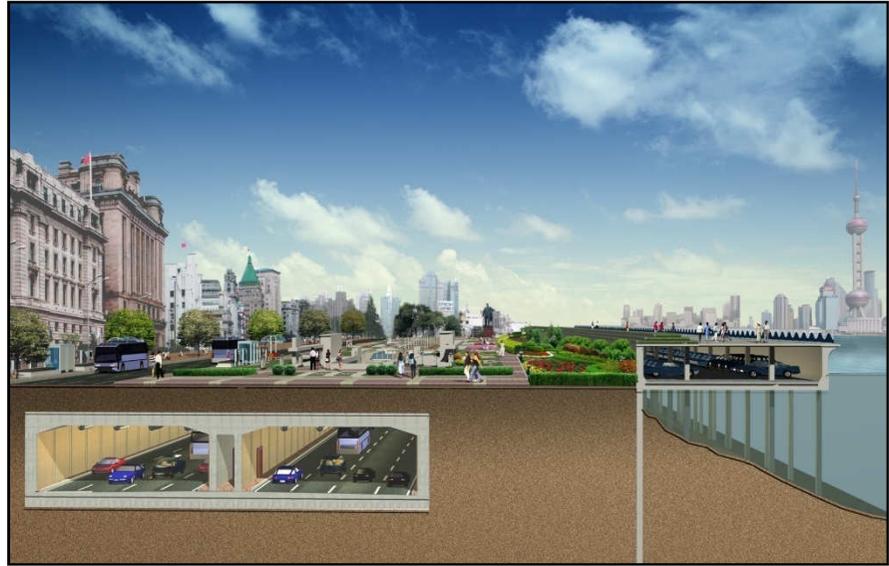
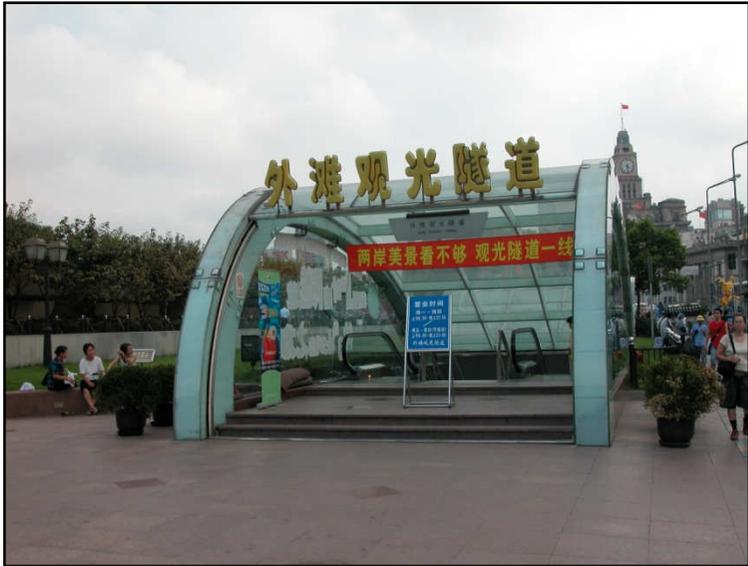
C 城市地下工程

（排水排污）



地下车站（盖挖、逆作法）





C 其它

各类物资的储库，如瑞典佛斯马克海底核废料储库系统；我国柳州大型天然洞室作冷藏库；以及地下油库、大型跨江海桥梁的基础等。



新日本石油公司的海上油库



串木野基地的地下油库

1.2 地下建筑结构的概念、作用和形式

1.2.1 地下建筑结构的概念

地下建筑是修建在地层中的建筑物。它可以分为两大类：一类是修建在土层中的；一类是修建在岩层中的；广义上讲，任何结构物都是修建在相应的介质中的，例如，上部结构是修建在空气介质中，地下建筑结构一般修建在土层中、岩层中或水中。

本学科所要研究的所有问题其实都可以归为“结构与介质的相互作用问题”

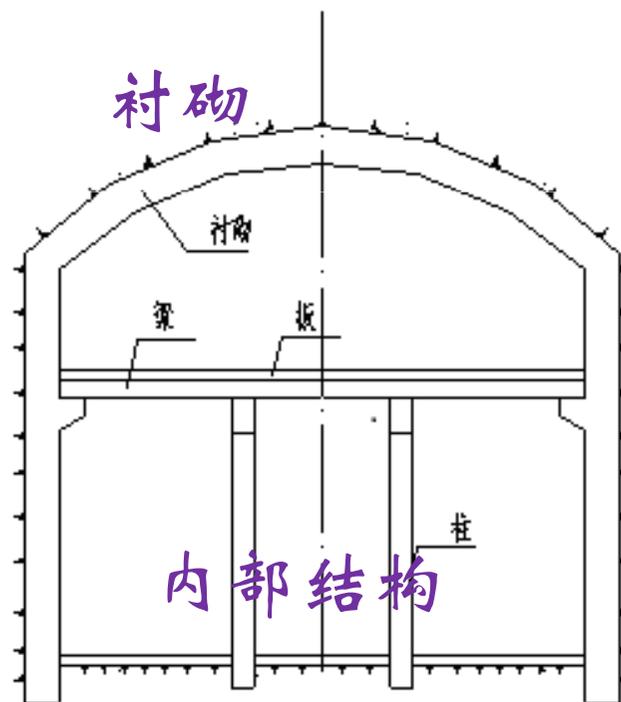


图1.1 地下建筑图结构示意图

地下建筑的优点

有效的土地利用

能源利用的节省和气候的控制

安全（抗震性能优于地上结构物）

噪声和震动的隔离

便于维修管理

地下建筑的缺点

获得眺望和自然采光的机会有限

进入和往来的限制

能源上的限制

1.2.2 地下建筑结构的作用

地下建筑结构，即埋置于地层内部的结构。修建地下建筑物时，首先按照使用要求在地层中挖掘洞室，然后沿洞室周边修建永久性支护结构——即衬砌结构。而内部结构与地面建筑的设计基本相同。

作用：衬砌结构主要是起承重和围护两方面的作用。

承重，即承受岩土体压力、结构自重以及其它荷载的作用；

山西窑洞没有衬砌，具有自承性

围护，即防止岩土体风化、坍塌、防水、防潮等。

地下建筑与地面建筑结构的区别

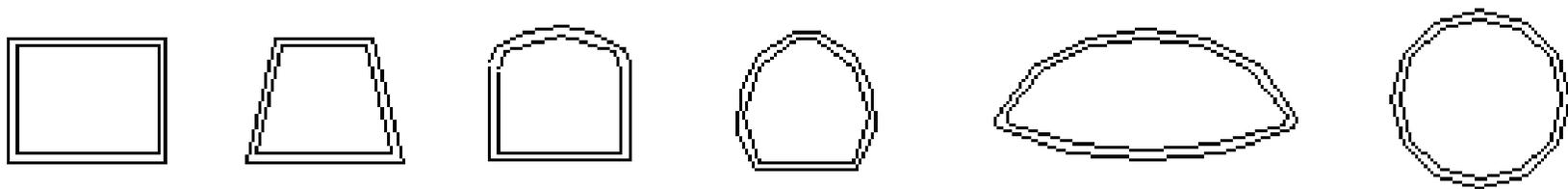
(1) 计算理论、设计和施工方法

(2) 地下建筑结构所承受的荷载比地面结构复杂。

(3) 地下建筑结构埋置于地下，其周围的岩土体不仅作为荷载作用于地下建筑结构上，而且约束着结构的移动和变形。所以，在地下建筑结构设计**中除了**要计算因素多变的岩土体压力之外，**还要**考虑地下结构与周围岩土体的共同作用。这一点乃是地下建筑结构在计算理论上与地面建筑结构最主要的差别。

1.2.3 地下建筑结构的型式

结构型式首先由受力条件来控制，即在一定地质的围岩压力、水土压力和一定的爆炸与地震等动载下求出最合理和经济的结构型式；其次由地下建筑的功能要求和施工技术要求等确定。主要有：



(a) 矩形；(b) 梯形；(c) 直墙拱形；(d) 曲墙拱形；(e) 扁圆形；(f) 圆形

地下建筑结构的几种形式

A 土层地下建筑结构型式

- (一)、浅埋式结构：
- (二)、附建式结构：
- (三)、沉井结构：
- (四)、地下连续墙结构：
- (五)、盾构结构：
- (六)、沉管结构：
- (七)、桥梁基础结构：
- (八)、其它结构：

上海迪士尼专用地铁



浅埋式结构

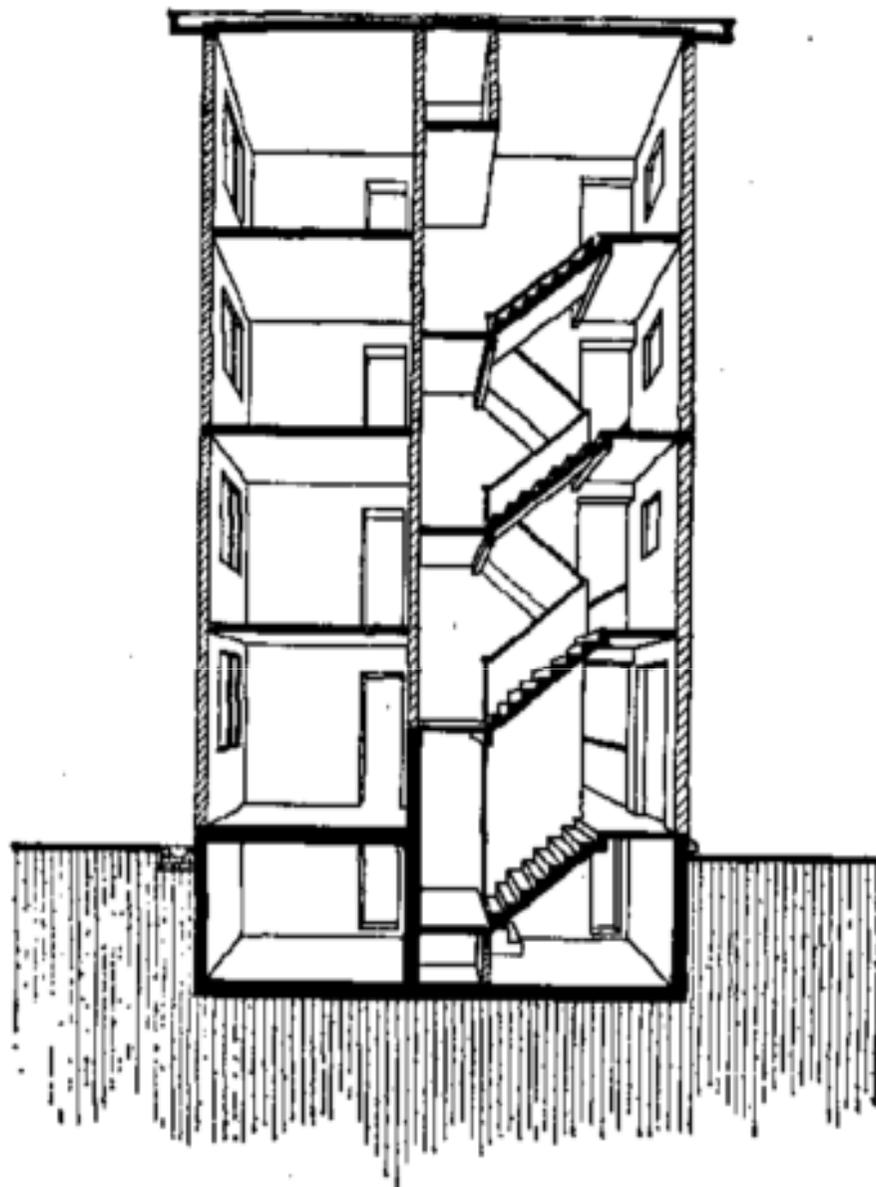
屋顶采用透光充气枕式膜结构，节能又增加了车站的亮度。



为浅埋式地下二层14米宽双岛式站台车站，四面都有出入口更好地应对大客流的疏散。

浅埋式城市下沉车行隧道

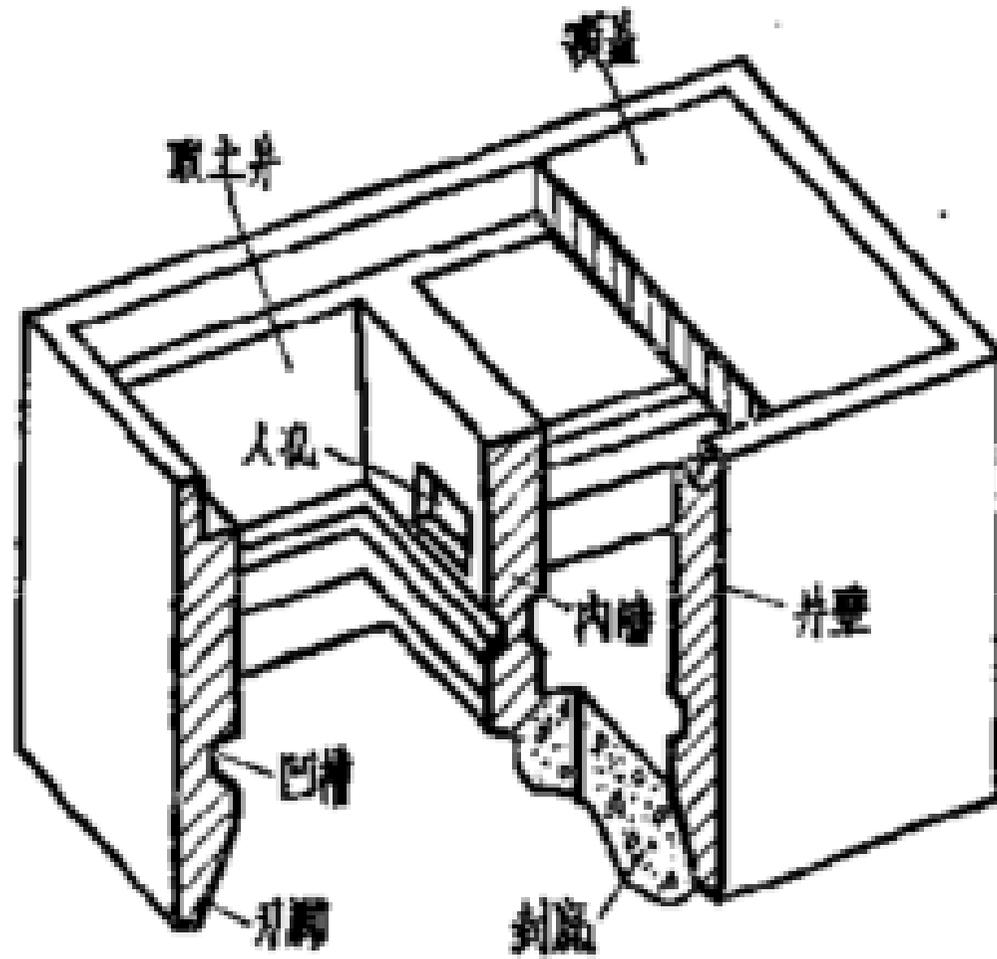




附建式结构---楼梯



附建式结构---水泥厂库房与附属建筑



沉井结构

北起合肥，南至福州

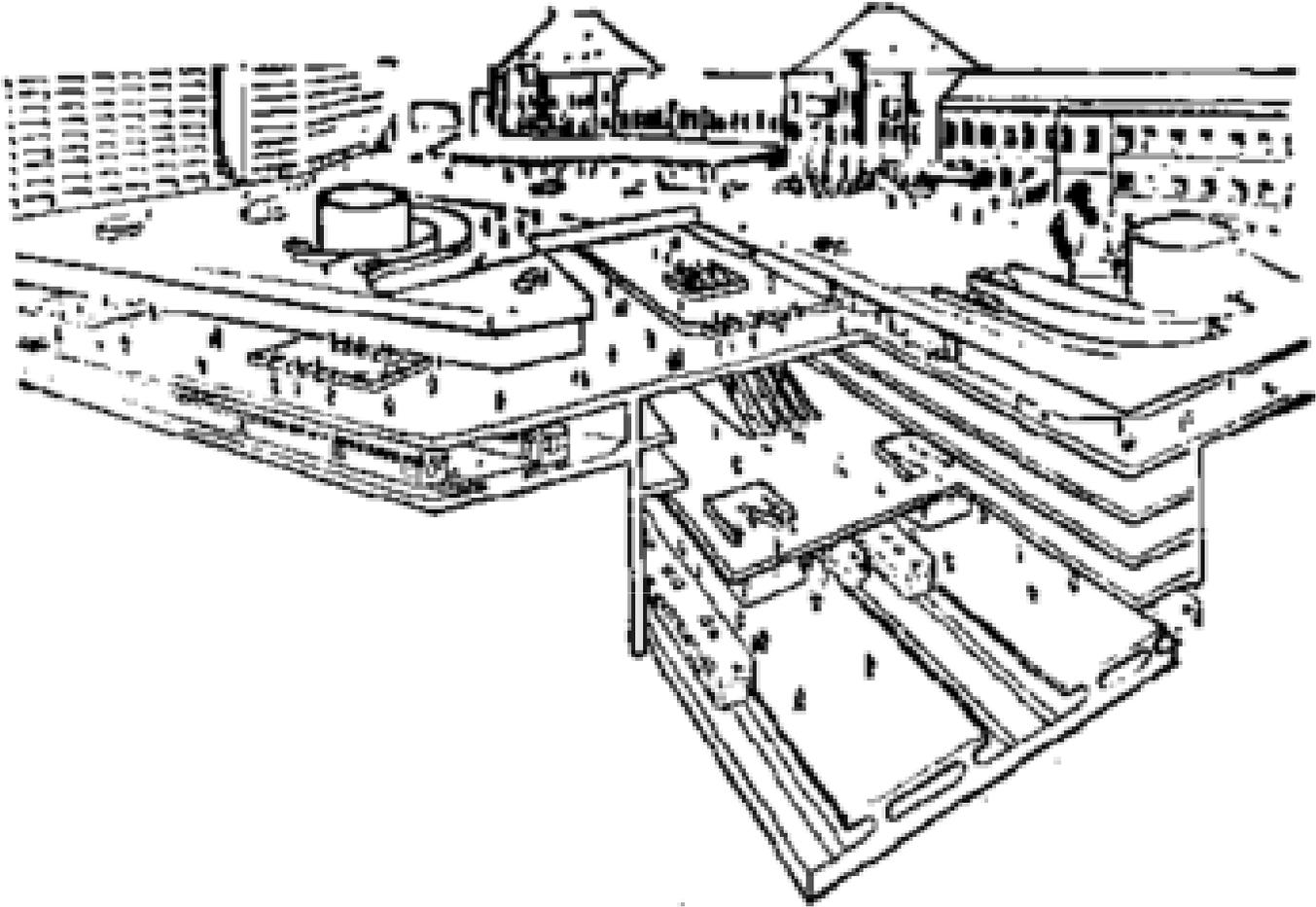


中铁大桥局在合福铁路铜陵长江大桥主塔3号墩沉井
沉井结构主要分为下部的钢沉井及上部的钢筋混凝土
沉井两部分，总高度**68**米，总重达**95464**余吨，总面
积达**2396**平米，相当于七个篮球场大小



20180226合福铁路铜陵公铁两用长江大桥





地下连续墙结构

大型深基坑支护

地下连续墙完后_做一层支撑



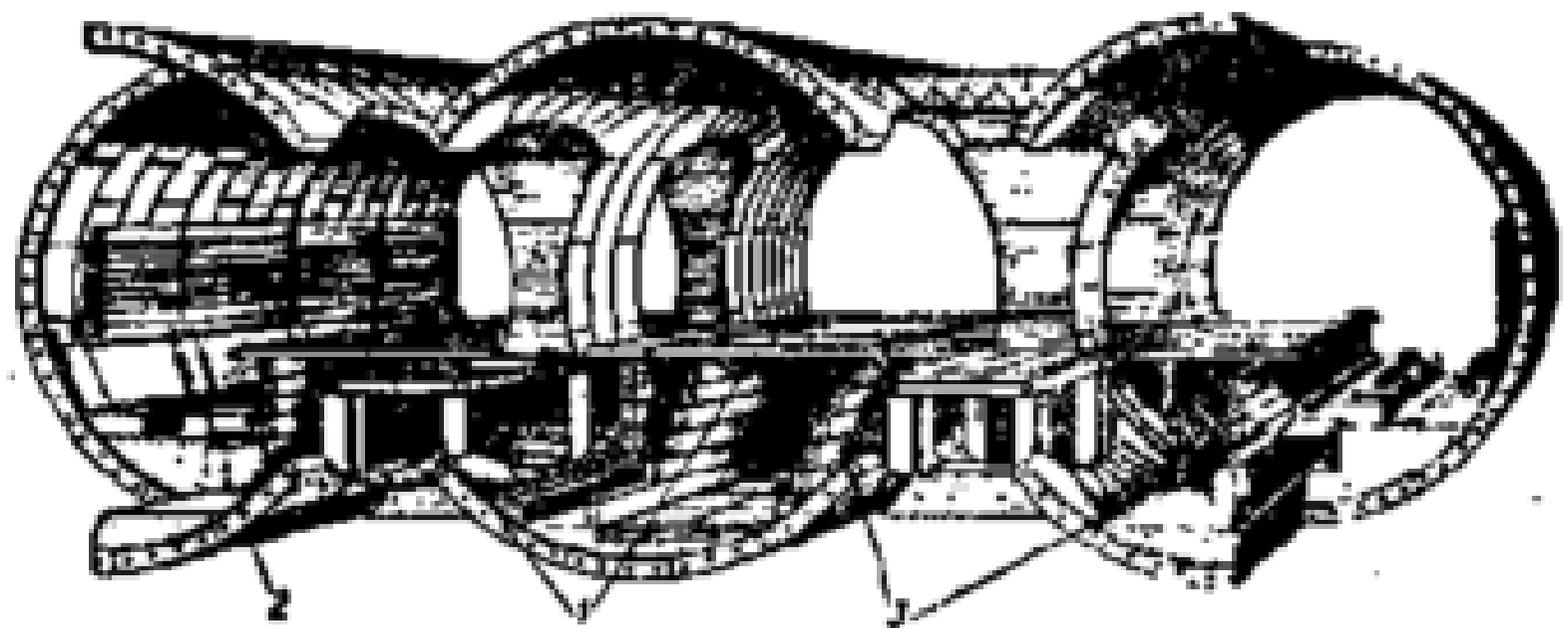
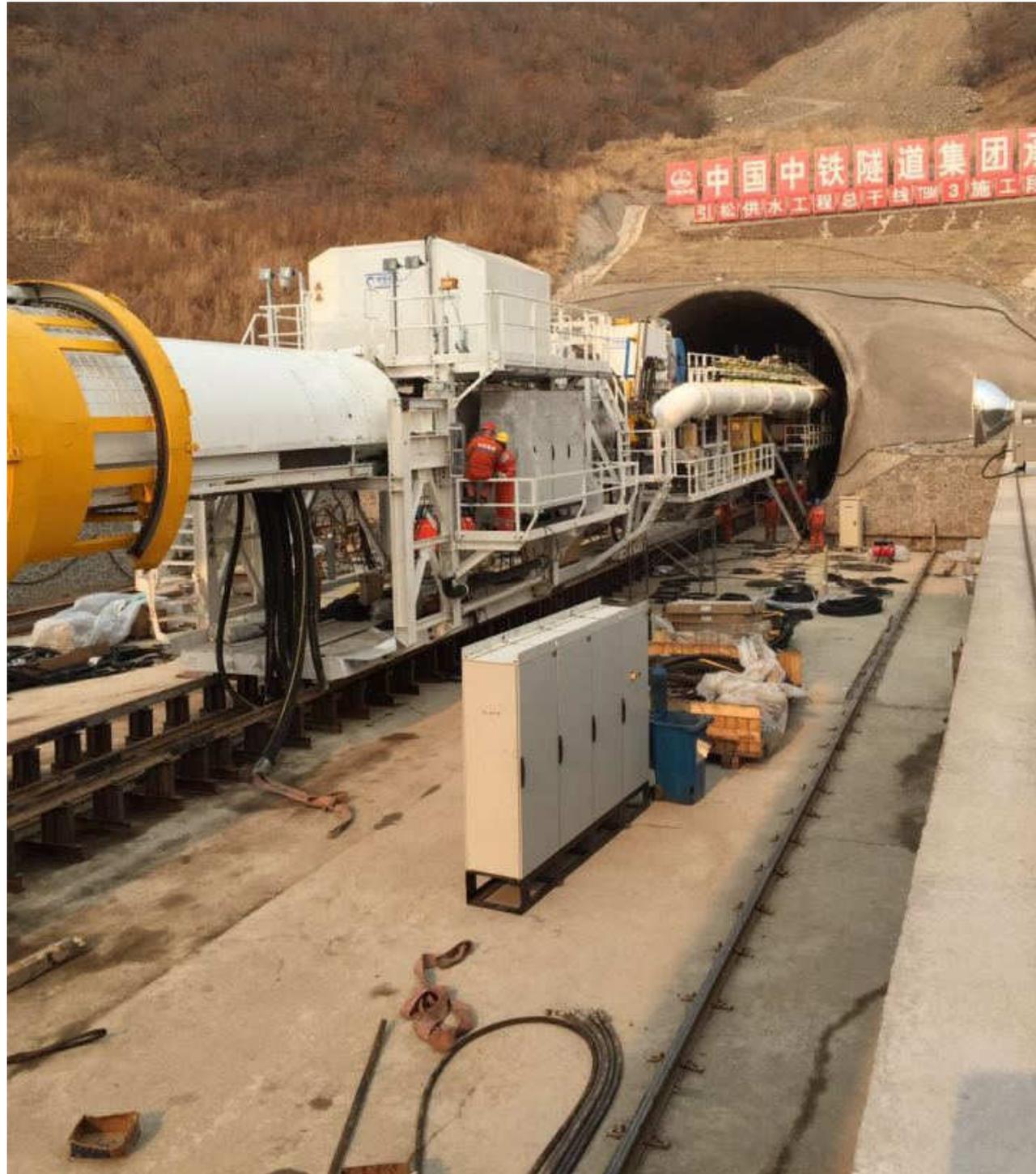


图 1-8

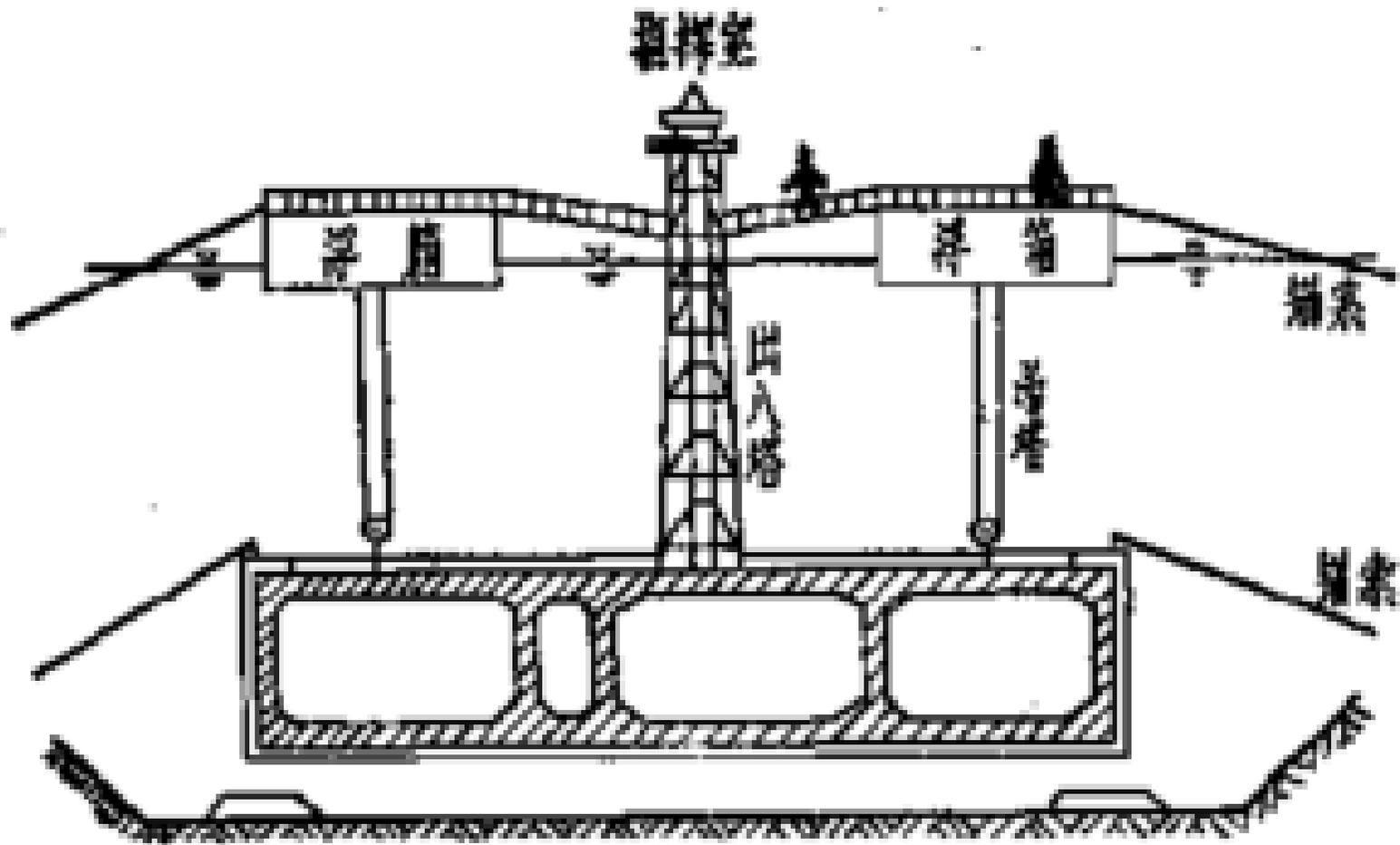
1—站台板，2—墙板，3—隔墙

盾构结构





中国中铁隧道集团
引松供水工程总干线路3施工段



沉管结构

揭秘港珠澳大桥最终接头的防水方案









隧道沉管管節預製

<http://www.hzmb.org/ct/bencandy.asp?id=3274&page=1>



中國交通行業發展的“集大成者”

B 岩石地下建筑结构形式

岩石地下建筑结构型式主要包括直墙拱形、圆形、曲墙拱形等。此外，还有一些其它类型的结构，如喷锚结构、穹顶结构、复合结构等。最常用的是拱形结构，这是因为它具有以下优点：

（一）、地下结构的荷载比地面结构大，且主要承受垂直荷载。因此，拱形结构就受力性能而言比平顶结构好（例如在垂直荷载作用下弯矩小）。

（二）、拱形结构的内轮廓比较平滑，只要适当调整拱曲率，一般都能满足地下建筑的使用要求，并且建筑布置比圆形结构方便，净空浪费也比圆形结构少。

（三）、拱主要是承压结构，因此，适用于采用抗拉性能较差，抗压性能较好的砖、石、混凝土等材料构筑。这些材料造价低，耐久性良好，易维护。

常用的几种拱形结构、喷锚结构以及穹顶结构

(一) 拱形结构

1. 贴壁式拱形结构

(1) 半衬砌结构

(2) 厚拱薄墙衬砌结构

(3) 直墙拱形衬砌

(4) 曲墙拱形衬砌结构

2. 离壁式拱形衬砌结构

(二) 喷锚结构

(三) 穹顶结构

(四) 连拱隧道结构

(五) 复合衬砌结构

1.3 地下建筑结构的设计程序和内容

初步设计的内容：

- (一) 工程等级和要求，以及静、动荷载标准的确定；
- (二) 确定埋置深度与施工方法；
- (三) 初定荷载值；
- (四) 选择建筑材料；
- (五) 选定结构型式和布置；
- (六) 估算结构跨度、高度、顶底板及边墙厚度等主要尺寸；
- (七) 绘制初步设计结构图；
- (八) 估算工程材料数量及财务概算。

技术细节的主要内容:

- (一) 计算荷载: 按地层介质类别、建筑用途、防护等级、地震级别、埋置深度等求出作用在结构上的各种荷载值;
- (二) 计算简图: 根据实际结构和计算工具情况, 拟出恰当的计算图式;
- (三) 内力分析: 选择结构内力计算方法, 得出结构各控制设计截面的内力;
- (四) 内力组合: 在各种荷载内力分别计算的基础上, 对最不利的可能情况进行内力组合, 求出各控制界面的最大设计内力值;
- (五) 配筋设计: 通过截面强度和裂缝计算得出受力钢筋, 并确定必要的分布钢筋与架立钢筋;
- (六) 绘制结构施工详图: 如结构平面图、结构构件配筋图、节点详图, 还有风、水、电和其他内部设备的预埋件图;
- (七) 材料、工程数量和工程财务预算。

1.4 隧道及地下工程面临的挑战

A 城市地下工程面临的挑战

- (1) 理论研究集中在地下结构和地层的相互作用上；集中在地层损失上及其损伤机理上；
- (2) 开发观测方法，报警系统的研究；
- (3) 改良地层的各种类型注浆法、冻结法和地下水位降低法等；
- (4) 开发能够主动控制掌子面功能的隧道掘进机；
- (5) 复杂环境下的设计和施工技术；
- (6) 隧道中障碍物的探测与排除。

B 隧道及其他地下工程面临的问题

- (1) 长大隧道的设计、施工技术；通风技术；
- (2) 非连续岩体的稳定分析和大变形计算；
- (3) 特殊地质地层的设计和施工技术；
- (4) 大型跨江海桥梁基础、其他深水基础设计和施工问题；
- (5) 隧道的超前地质预报问题；
- (6) 固、液、气的耦合问题；
- (7) 真正适合岩体力学的理论和分析方法研究；
- (8) 隧道及地下工程的试验及数值模拟技术研究；
- (9) 网络环境下的隧道及地下工程问题。

C 21世纪地下空间开发遐想

(1) 地下空间将成为城市的第二空间

地下空间资源是城市的总面积乘上开发深度，再乘上40%的可开发系数。空间广阔；

(2) 地下空间造价新说：城市土地昂贵，地下开发造价相对会有所降低；

(3) 把飞机开到地下去：解决城市交通的出路就是高效率的地下交通。可造无两翼的飞机，以超过600km/h的速度飞行，不需要驾驶员，由中心遥控，类似于磁悬浮列车；

(4) 贯通海洋的地下工程如大连隧道、琼州隧道、台海隧道等；

(5) 新型城市公用市政隧道 如建设共同沟。



上天容易入地难，真的吗？



地下建筑结构新看点 New vision

让高铁走隧道 京张高铁清华园隧道贯通 有比4层楼还高的盾构

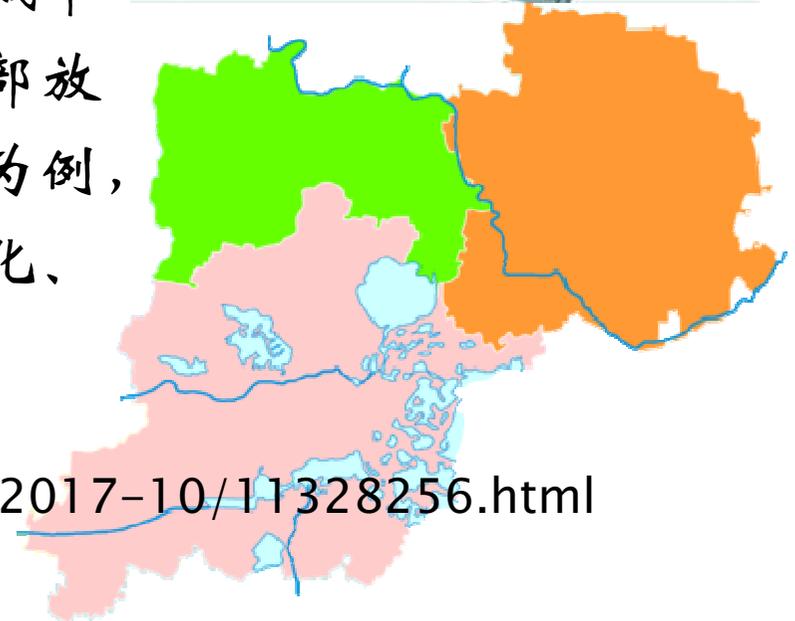
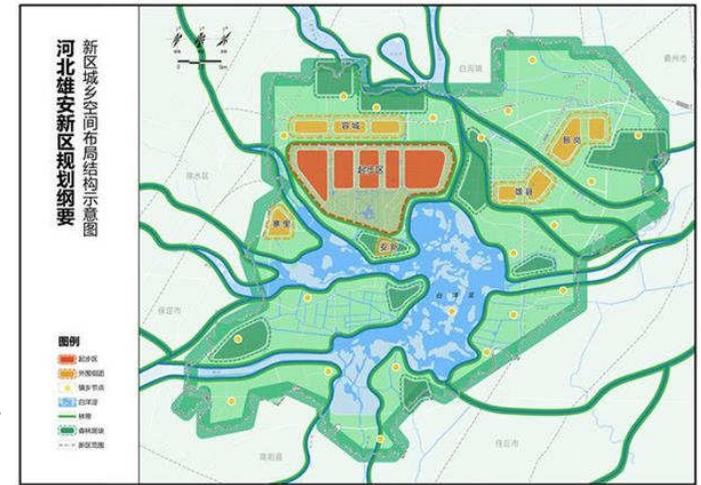


让高铁走隧道 京张高铁清华园隧道贯

D:\XWUBJ\TeachingHBU\UndergroundStructures\HBUWuUndergroundPPTs\Chap10 Refs

地下建筑结构新看点 New vision

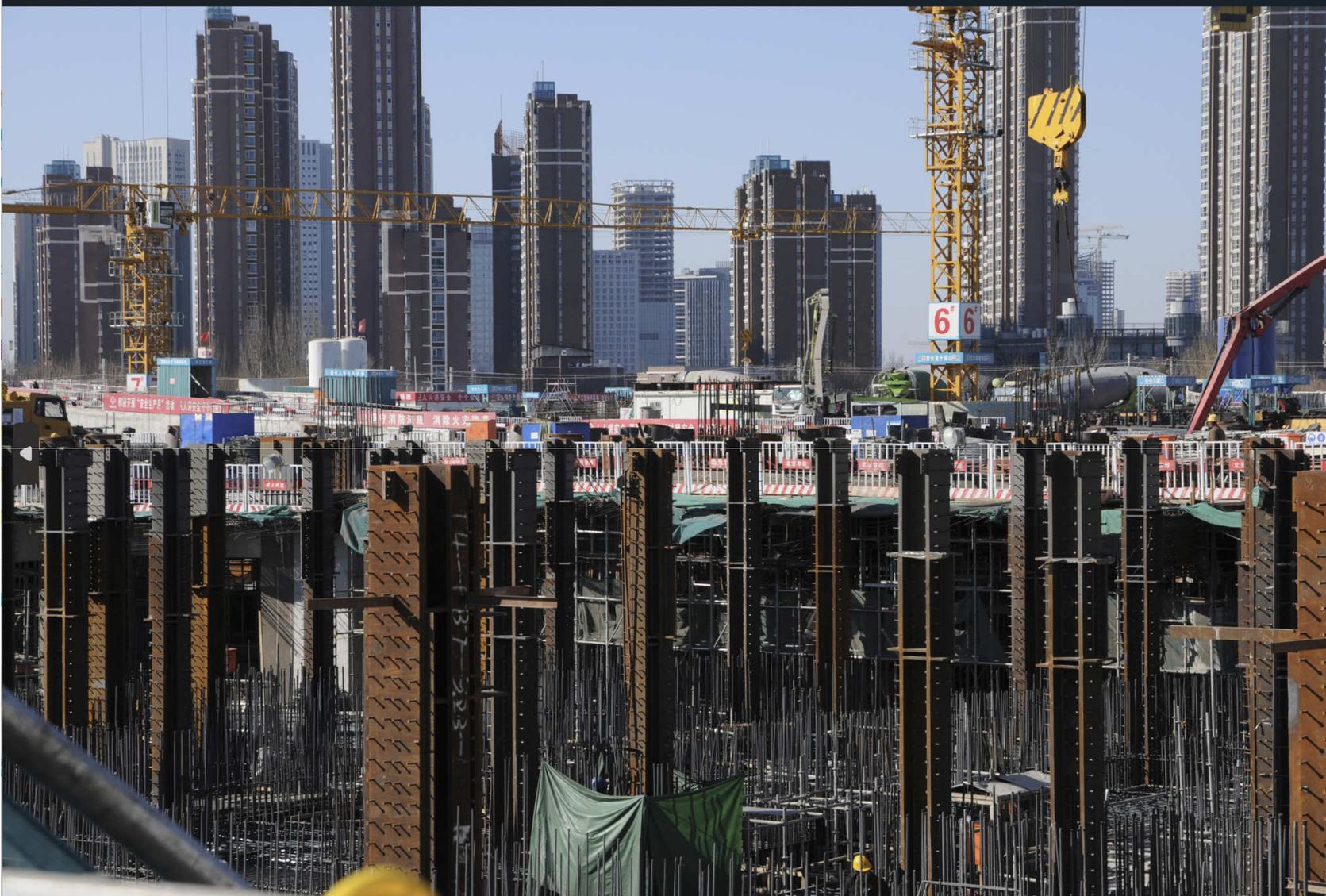
“中国城市百人论坛”2017年会上，京津冀协同发展专家咨询委员会组长徐匡迪透露，雄安新区的规划方案编制中，21世纪的地下管廊式基础设施是新区建设的一大亮点，雄安新区建设将把城市交通、城市水、电、煤气供应、灾害防护系统全部放在地下，以高铁、车站、市内交通等为例，均会置于地下。而地上部分将让给绿化、让给人行道。



<http://china.huanqiu.com/article/2017-10/11328256.html>



DSC_1387.JPG



47%



Th

end

文件名格式：班级 学号 姓名 简略实验名称

邮件标题同文件名

Any questions please 发送至

xingzhengwu@163.com