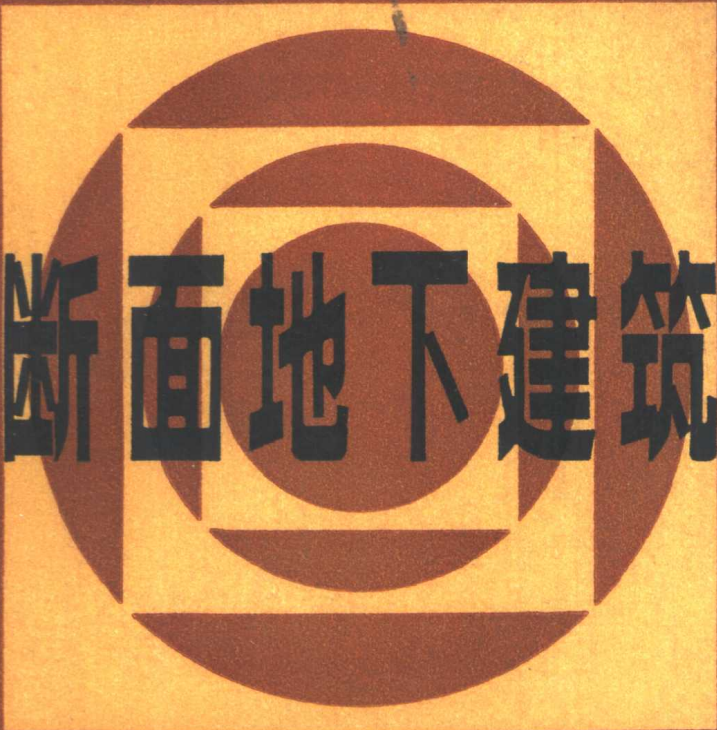


[苏]B.M.莫斯特科夫 著

王德林 卓明葆 译



大断面地下建筑物

中国建筑工业出版社

大断面地下建筑物

(增订版)

[苏] B.M. 莫斯特科夫 著
王德林 卓明葆 译

中国建筑工程出版社

书中对地下建筑的现代水平、大断面(断面大于100米²)地下建筑的结构及其计算、地下结构与围岩的模型试验及现场试验、大型地下峒室的现代化掘进方法、地下作业的参数与工艺、掘进与混凝土作业的综合机械化,以及地下施工组织与管理等作了较全面的论述。可供从事地下工程勘察、设计、施工和科研人员参考,还可供高等院校地下建筑专业师生参考。

В.М. МОСТКОВ
ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ
ВТОРОЕ ИЗДАНИЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА», МОСКВА 1974

* * *
大断面地下建筑物
(增订版)
王德林 卓明葆 译

*
中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*
开本: 850×1168毫米1/32 印张: 10¹/₄ 字数: 276 千字
1980年8月第一版 1980年8月第一次印刷
印数: 1—7,160册 定价: 0.98元
统一书号: 15040·3753

译 者 的 话

随着我国社会主义建设的迅速发展,地下建筑,特别是大断面地下建筑的应用范围越来越广泛。鉴于目前国内关于大断面地下建筑方面的专著还很少,结合工作的需要,翻译了这本苏联1974年出版的《大断面地下建筑物》(增订版)。该书对地下工程的试验、设计、施工等方面作了较全面的论述,尤其对锚杆、喷射混凝土等新型支护形式作了较详细的介绍,反映了苏联地下建筑的水平与经验。同时结合书中介绍的方法还列举了瑞士、美国、法国、日本、西德等国家的地下建筑的实例。对从事地下工程专业有关人员有一定的参考价值。

在翻译过程中,对原书图和文中的一些错误作了改正,需要说明的均以译注叙于文下。为了便于读者参考,我们将苏联建筑法规(СНП IV-50)中的岩石分类表作为附录,列于书末。

本书初译稿曾经李树勋副总工程师审阅,冶金工业部北京矿冶研究院王柯同志对第一章和第二章的一部分作了初校。整个译稿请水利电力部科学技术情报所熊思政(第一、二、三章)、郭宗彦(第四、五章)、伍修焘(第六、七章)三同志作了仔细的校订。在翻译过程中得到了译者所在单位许多同志的大力支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促,译者水平所限,翻译错误、不当之处在所难免,希读者批评指正。

王德林 卓明葆

1979年5月

序 言

近年来,在工业和建设的各个领域内,广泛采用了大断面地下建筑物(横断面大于 100米^2)。

多车道公路隧道、双线铁路隧道、各种城市地下建筑物、水工隧洞、水力发电站与原子能发电站的地下厂房、地下电力综合枢纽、食品仓库、药品仓库和其它商品仓库、各类石油制品和气体贮存库、掩蔽部、地下基地和其他国防设施等等,这些还不是使用大断面地下建筑物的全部设施的清单。

由于地下建设技术的发展,作业方法不断完善,并在降低造价的情况下加快了作业速度,这就使得一些国家的大断面建筑物的数量近年来有了很大的增长。

在过去的十年里,全世界修建大型隧道及洞库1300公里以上,洞挖量达 1.2亿米^3 。在1970~1979年期间,预计将建设大型隧道及洞库3300公里,洞挖量将达到 3.8亿米^3 。

与普通地下隧道相比,大断面地下建筑物的结构和施工工艺具有显著的特点。普通隧道所采用的确定支护荷载的方法、地下结构的计算、施工方法和机械化手段、通风计算以及一些其它方法,都不能直接应用于大断面的地下工程。

本书总结了近年来苏联和其它国家的地下建筑物建设的经验。书中介绍的资料,一般均已在各类工程中应用过。

1963年由国家矿业技术出版社出版的《大断面地下工程建设》一书,由于当时苏联的经验不足,很多内容是根据其它国家的实践而编写的;书中仅提出了一系列问题,但未能在施工的条件下加以研究。

近年来,苏联对大断面地下建筑物的研究、设计与施工,完成了大量的工作。国外在这一领域内也有了许多改进。这包括制

定并采用地下建筑物的新结构及其计算与研究方法，研制高效率的施工机具，研究并推广用于大型隧道和峒库工程的先进施工方法等。

所有这些，使得作者能够根据近十年来积累的新资料，编写这本书。近年来，在作者参与下，全苏动力施工组织设计院隧峒工程处，在苏联和其它国家的不同用途的大断面地下工程中，在地下作业先进工艺的研究、制订和推广方面完成了许多工作。本书也介绍了上述工作1973年以前的成果。

作者对科学技术博士、教授 A·H·科马罗夫斯基将军为原稿付印提出的宝贵意见，深表谢意。

目 录

序言

第一章 地下建筑的当前水平	1
第一节 概况	1
第二节 大断面地下建筑物(应用范围)	7
第二章 大断面坑道的结构	25
第三节 作用于地下结构上的山岩压力	25
第四节 支护形式	43
第五节 预应力锚杆支护的结构	56
第六节 喷锚支护的计算	66
第七节 减轻地下结构的途径	76
第三章 地下结构和围岩受力情况的研究	93
第八节 用光弹性法和模拟材料法进行的模型试验	95
第九节 大型地下峒室稳定性和支护方式的综合模型试验	109
第十节 现场试验	124
第四章 大型地下隧道的掘进方法	144
第十一节 全断面掘进法	145
第十二节 台阶法	159
第十三节 支撑拱法	172
第十四节 支撑核心法	178
第十五节 机械化方法和特殊方法	185
第十六节 掘进方法的选择	197
第五章 地下作业的参数和工艺	202
第十七节 钻孔爆破作业	202
第十八节 装运作业	221
第十九节 掘进作业循环的参数	232
第二十节 混凝土作业的循环参数	244

第六章 地下作业的综合机械化	252
第二十一节 掘进作业的综合机械化方案	252
第二十二节 混凝土作业的综合机械化方案	266
第二十三节 地下作业机械化的改进	272
第七章 地下作业的组织	283
第二十四节 作业面数量的选择	283
第二十五节 地下作业的组织和技术工艺计算实例	291
第二十六节 地下工程施工管理系统	299
第二十七节 地下工程施工和组织的设计自动化系统(基本情况)	304
附录 I 岩石分类表[按苏联建筑法规(СНП IV-50)]	315
参考文献	316

第一章 地下建筑的当前水平

第一节 概 况

过去的十年(1960~1969),是以进一步增加地下建筑物工程,完善结构形式和施工方法,以及扩大大型地下峒室的应用范围为特点。这种大型地下峒室明显地不同于过去广泛采用的断面小于40米²的矿山巷道和隧道。

在过去的时期中,世界范围的典型成就就要算是建设一系列最为复杂的地下电站工程、数公里长的大断面运输隧道和各种用途的大型地下工程。特别应当指出的是以下项目的研制和推广:付出最低的劳动消耗能获得很高工作效率的机械化隧峒掘进机;安装在钻臂和自行装置上,并能在硬岩中获得很高钻进速度的重型凿岩设备;控制爆破包括在各种岩石中的预裂爆破;轻型和经济的锚杆包括预应力锚杆和喷射混凝土支护等。

所取得的成果使地下作业的速度有了提高,降低了造价和减轻了劳动强度。这也导致了地下工程的进一步发展,增长了城市建设、交通、电力、国防以及国民经济各个领域对地下建筑物的需求。地下工程的当前状况可以用工作量和技术经济指标来反映。

一、工作量

十九个国家(澳大利亚、奥地利、英国、比利时、丹麦、爱尔兰、西班牙、意大利、加拿大、荷兰、挪威、葡萄牙、美国、芬兰、法国、西德、瑞士、瑞典、日本)隧峒工程发展的综合数据列于表1~3^[90和其它]。表1为地下建筑物的一般数据,表2为美国和西欧地下建筑物的对比,表3中用横断面面积表示了地下建筑物的发展情况。

从表1中可以看出,与1960~1969年相比,1970~1979年期

表 1

隧 洞	1960~1969年			1970~1979年		
	长 度 (千公里)	开挖方量 (百万米 ³)	造 价 (百万美元)	长 度 (千公里)	开挖方量 (百万米 ³)	造 价 (百万美元)
交通运输	2.3	161.9	5219	5.1	432.4	19068
水 工	3.9	73.0	1650	3.5	68.6	2794
市政建设	7.0	42.5	1372	12.2	147.8	6292
其它地下建筑物	0.1	8.9	170	0.2	26.2	429
总 计	13.3	286.3	8419	21.0	675.0	28583

表 2

国 家	建造年代	指 标	隧 洞				
			交通 运输	水工	市政 建设	其它	共计
美 国	1960~1969	长度(公里)	103	656	2698	12	3469
		平均断面(米 ²)	73.7	18.6	8.1	36.2	12.1
	1970~1979	长度(公里)	477	1020	8724	40	10261
		平均断面(米 ²)	64.0	15.4	14.0	94.4	16.7
		与1960~1969年比较增长(%)	+363	+55	+223	+233	+196
西 欧	1960~1969	长度(公里)	1048	2620	4198	86	7952
		平均断面(米 ²)	65.4	18.5	4.5	68.5	17.8
	1970~1979	长度(公里)	2300	2044	3130	196	7670
		平均断面(米 ²)	65.0	20.9	5.8	102.3	30.7
		与1960~1969年比较增长(%)	+119	-22	-25	+128	-4

间地下建筑工程将有明显的增长，长度将增长60%，开挖方量增长1.4倍，总造价增长2.4倍。

分析一下表2和表3的数据，能够看出大断面地下建筑物的巨大工作量。在1960~1969年期间共兴建了1300公里以上的大型隧道和洞室，其石方量为1.2亿米³，投资约36亿美元。在1970~1979年期间，预计将建设大型隧道和洞室3300公里，开挖方量约为3.8亿米³，投资将接近130亿美元。形成这样快的增长速度，

表 3

断 面 (米 ²)	1960~1969年			1970~1979年			1970~1979年对 1960~1969年的 增长百分比	
	平均 断面 (米 ²)	长 度 (千公里)	开挖方量 (百万米 ³)	平均 断面 (米 ²)	长 度 (千公里)	开挖方量 (百万米 ³)	长 度	开挖方量
<10	5.2	8.5	44.2	5.3	12.0	64.2	141	145
10~30	21.4	2.6	55.6	19.1	3.5	65.8	134	118
30~100	65.0	1.9	123.7	74.5	4.4	327.1	232	264
>100	209.0	0.3	63.8	198.0	1.1	217.9	367	347
共 计	21.5	13.3	286.3	32.2	21.0	675.0	158	236

美国起了主要的作用。在美国平均断面为 64 米²的交通隧道, 1970~1979年期间与1960~1969年相比将增长 3.6 倍多, 平均断面为94米²的其它地下建筑物将增长2.3倍。在西欧, 大断面隧道的长度将增长 1.2 倍。如果把全世界的统计数字都计算在内, 那么上述的增长数字将会更大。

二、技术经济指标

小断面 (10米²) 坑道的掘进在过去的十年间达到了很高的速度, 采用机械化方法掘进为 2 公里/月^①, 钻孔爆破法为1.2公里/月。在大断面 (80~100米²) 隧洞中, 最高的掘进速度达 0.3~0.4公里/月, 机械化方法日进尺为25~30米/日, 钻孔爆破法为15~20米/日。直径为6.3米的隧洞, 用机械化方法掘进的世界纪录为79米/日 (1972年美国的那瓦伊奥隧道)。

图 1 表示了从1850年到1970年国外隧洞掘进速度的增长情况。当前国外先进工程在不支护的情况下, 一个作业面已达到了下列的平均生产率:

隧洞断面(米 ²)	70~150	150~200	200~350
平均掘进生产率(千米 ³ /月)	8	10	16

国外隧洞工程用钻孔爆破法施工的平均速度比纪录指标有明

① 指采用隧洞掘进机施工。——校者注

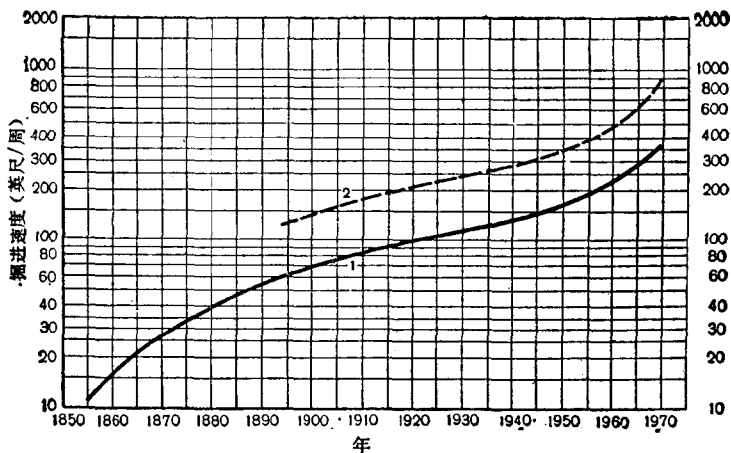


图 1 国外隧峒掘进速度的增长情况

1—平均速度；2—最高速度

显的差别。表 4 中反映了国外一些隧峒工程在施工全过程中掘进和混凝土浇筑的平均速度。图 2 表示了在坚硬岩石中不需支护的隧峒掘进的劳动量消耗水平。

苏联用钻孔爆破法掘进大断面隧峒的平均速度现在仍不高，尽管纪录指标是可观的。表 5 中列举了苏联在最近年代掘进大断面水工隧峒的一些最好纪录。这些指标在一定程度上能够反映苏

表 4

隧 峒 名 称 (国 家)	断 面 (米 ²)	隧 峒 长 度 (米)	施 工 年 代	一个掘进面的月 平均速度(米/月)	
				掘 进	包括衬砌
波尔台吉山(加拿大)	222	760	1962~1963	70	40
买加(加拿大)	183	1930	1965~1966	40	20
赫尔斯峡(美国)	133	525	1965~1966	70	45
斯特拉依特克里克(美国)	130	2485	1968~1971	50	35
蒙布朗(意大利和法国)	80	11600	1959~1962	140	95
弗别尔塔乌爱尔(奥地利)	70	5183	1963~1966	100	60
英弗尔尼洛(墨西哥)	64	686	1959~1960	85	30
克里帕乌(奥地利)	46	4361	1963~1965	95	85

表 5

年 代	水电站名称、隧洞类型 (建设单位)	隧洞平 均断面 (米 ²)	钻 孔 和 装 载 设 备	最高掘 进速度 (米/月)	最 高 生 产 率 (千米 ³ /月)
1966	契尔盖水电站、交通 隧洞 (地铁隧道建设总 局)	50	2台CBY-2M型凿岩机 及ПНБ-3K型装碴机	100	5.0
	乌斯奇—汉泰水电站 施工导流隧洞 (水工专 业工程公司)	80	安装10台ПР-24Л型风 钻的钻架台车和ЭП-1型 挖掘机	72	5.8
	契尔盖水电站, 施工 导流隧洞 (地铁隧道建 设总局)	100	装在拖拉机上的使用 BY-1型凿岩机钻架台车, ЭП-1型挖掘机	58	5.8
1967	努列克水电站, III号 施工导流隧洞 (水工专 业工程公司)	80	CBY-4型钻机, ЭП-1 型挖掘机	72	5.8
	英古里水电站, 引水 隧洞6号工作面 (英古 里水电工程局)	83	2台CBY-2M型钻机, ЭП-1型挖掘机	71	5.9
	英古里水电站, 引水 隧洞, 10号工作面 (英 古里水电工程局)	83	装有7台BY-1型钻机 的钻架台车, 一台CBY-2M 型钻机, 一台KЛ-250型 挖掘机	100	8.3
1968	英古里水电站, 引水 隧洞, 10号工作面 (英 古里水电工程局)	83	装有7台BY-1型钻机 的钻架台车, 一台CBY- 2M型钻机, 一台KЛ-250 型挖掘机	115	9.5
	英古里水电站, 引水 隧洞, 10号工作面 (英 古里水电工程局)	83	同 上	130	10.8
	努列克水电站, IV号 交通运输隧洞 (水工专 业工程公司)	88	两台CBY-4型钻机, 一 台ЭП-1型挖掘机	125	11.0
1969	努列克水电站, 引水 隧洞 (水工专业工程公 司)	54	两台CBY-4型钻机, 两 台ПНБ-3K型装碴机	167	9.0

联各种用途的隧洞工程施工的当前水平。

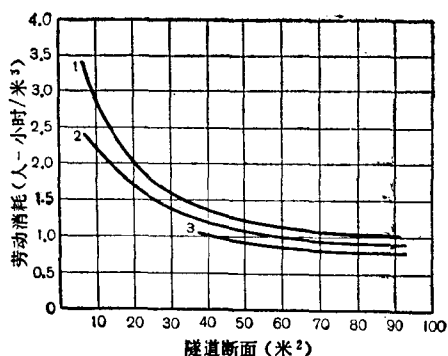


图2 不同凿岩机械化条件下隧洞断面与劳动消耗的关系曲线

1—安装在气动支架和钻架台车上的轻型风钻；2—安装在梯型导向架上和钻架台车上的轻型风钻；3—安装在钻臂和自行装置上的重型风钻

在表5中列举的隧洞掘进劳动最低消耗额（考虑了辅助工作人员）为0.1~0.2工班/米³。在裂隙发育的岩石中和需作支护的情况下，苏联大断面隧洞掘进的平均劳动消耗额为0.4~0.5工班/米³，混凝土衬砌为1~2工班/米³。

从表1中可以看出，在1970~1979年

期间，在19个国家里将要建设9000公里长的水工隧洞和交通运输隧道，总开挖方量为5亿米³。这些工程的费用达220亿美元，即每1米³洞挖工程的平均造价为44美元。这里应当指出的是，国外的许多隧洞工程（斯堪的那维亚半岛、澳大利亚、加拿大等）一般不做永久性支护（衬砌），或只做经济的锚杆和喷射混凝土支护。因此，这些隧洞的造价要比列举的平均数字低得多。苏联大断面隧洞掘进和混凝土工作的造价分析，在一些参考文献中^[30、40、44等]有所反映。

从上述资料可以看出，现代的地下工程已达到了相当高的水平。但是，还有进一步完善的潜力，因为在地下建筑物，特别是大断面地下建筑物的设计和施工实践中，也还有一些问题暂时没有得到解决。高掘进面凿岩钻孔还是繁重的劳动，炮孔装药和爆破后修整毛边工作的机械化程度仍然不高。在地下建筑物的施工过程中，增加工程造价的岩石超挖问题还难以避免。用于坚硬岩石的大直径经济的隧洞掘进机，现在还未能制造完善。在不稳固

岩石中掘进大断面地下工程的新方法推广得还不够。

在当前的十年内,拟议要解决所有这些问题。在施工过程中广泛采用自动化(作业面凿岩钻孔的程序化,装载设备的远距离操纵,支护质量的自动检查等等)建立地下作业的组织与施工的设计自动化系统和建立管理的自动化系统,是地下工程进一步发展的非常有前途的方向。当前这些方面的研究工作已经在进行。可以认为,在不久的将来就可广泛运用这些研究工作的成果。

第二节 大断面地下建筑物(应用范围)

一、交通运输与都市建设

近年来由于交通强度的提高以及运输速度和载重量的增长,大跨度交通运输隧道得到了很大的发展。在表6中列举了1966~1971年间建设的一些外国交通运输隧道。

表 6

隧 道 (用 途)	国 家	长 度 (公里)	宽 (米)	高 (米)
赫林采尔(公路)	西 德	1.0	15.5	12.2
斯特拉依特-克里克(公路)	美 国	2.5	12.5	11.6
蒙布朗(公路)	意大利和法国	11.6	10.5	10.0
美鲁谢义-Ⅱ(公路)	英 国	2.4	10.0	10.0
圣别尔纳金(公路)	瑞 士	6.6	9.8	9.3
坦恩(铁路)	日 本	7.9	9.6	7.8
费里别尔塔乌尔(公路)	奥 地 利	5.2	9.5	8.0
塔乌爱尔(公路)	奥 地 利	6.4	9.5	8.0

苏联在努列克、托克托古尔和契尔克依水电站工程中,建设了总长度约10公里,跨度为10~12米,高为7~8米的公路交通运输隧道。在阿尔美尼亚建成了两条通过山口的公路隧道,全长4.2公里,跨度9米。保加利亚在坚硬岩石中建成了几条断面达到100米²的公路隧道,其跨度为10~11米,个别隧道的跨度达17~18米。

当前正在建设一些规模巨大的交通运输隧道。在瑞士,目前正在掘进穿过阿尔卑斯山的圣哥达公路隧道。此隧道长达16.3公

里，断面为 12×9 米，仅从进出口两个工作面掘进。在距主隧道30米的距离上，另掘进一条事故备用隧道，其断面为 $6\sim 8$ 米²。圣哥达隧道应在1978年投入使用，两个掘进面计划在1975年打通。意大利正在建设格兰——萨索公路隧道。这是两条平行的单向行驶的公路隧道，其长度均为10.5公里，断面为 7×8 米。在日本正在建设一条联接本洲岛和九州岛的铁路隧道，长度为18.6公里，断面为 10×8 米。在南斯拉夫，正在建设一条长度为5公里，断面为 10×7 米的乌奇卡公路隧道。

1972年，在日本本洲和北海道岛之间的津轻海峡海底下，开始了建设世界上最长的青函（青森湾——函馆）铁路隧道。隧道长53.9公里，其中有23.3公里将在海底下100米，海平面下240米的深度通过。开始先打断面为10米²的勘探导洞，以后再扩挖至100米²的设计断面。在距主隧道20米的距离上另开挖一条断面为16米²的辅助隧道。青函隧道预计于1979年完工。全部工程造价约7亿美元。

1975年在拉——曼什海峡底下开始建设全长51.5公里的铁路隧道。此工程是由两条相距30米、直径为7.5米的单向隧道组成，其间有一条直径4.2米的试导隧道。隧道长38公里的洞段将在海峡底下40~80米深度通过。工程造价为80~90亿法郎。工程预计在1980年完成。

现在正在研究开挖一条48公里长穿过直布罗陀海峡的交通隧道（造价约6亿美元）和断面 17×13 米穿过波斯普鲁斯海峡的隧道，以及其它一些相似的复杂工程的可能性。

在一些大城市（巴黎、伦敦、东京等）计划建设联接城市各区的公路隧道。在巴黎预计建设的双层干线隧道的典型断面为圆形或椭圆形（长轴为垂直轴）。这些干线隧道的高度为15米，椭圆断面的宽度为12米。

在伦敦这些隧道的直径将达18米，隧道为双层，每层有2~3股车道。隧道总长将达300公里，深度在地面下30~60米，将在10~15年中建成。公路干线总投资为24亿英镑。

在旧金山进行了这样的设计：距中心70公里的所有郊区将用交通运输隧道和高架桥的系统相连，运输高峰时到市中心仅需40分钟。

在梯比里斯的一个广场下，建设了两条跨度为10米的公路隧道，其总长度将近2公里。

近年来，采用大型峒室的地下城市建设具有特殊的意义。出现了“城市走向地下”的迹象。在1972年拟制了“莫斯科市地下空间的组织和利用方案”，此方案可为城市节省土地7000公顷。在地下布置有很多的仓库、贮藏所、商业中心、展览设施、档案库、自动电话站、汽车库、汽车停放场、技术服务站等。将建设快速的和分支的地下公路干线。

地下都市建设首先在那些居民密度大的城市得到了迅速的发展（巴黎——每平方公里26000人，在个别区达到80000人；东京——每平方公里17000人，等等）。减轻城市由于交通运输和设置很多企业的负担，是现代化城市建设的最重要任务之一。可以预期，在1990~2000年最大城市的地下150米以上的空间，将被充分利用。现在芝加哥市将给水和排水系统都设置在210~240米深的坚硬石灰岩中，这就给布置分支地下管线网创造了有利条件。

在巴黎国防广场正在修建新的商业综合设施，它除有地面的多层建筑外，还有五层地下建筑。在过去的巴黎中心市场下面，正在研究在35米的深度下进行地下建设的设计。图3所示为巴黎地下停车场的标准断面图，这些地下停车场定于近期开工。到1980~1983年，巴黎地下停车场计划将容纳十万辆汽车。瑞士所作的经济计算表明，地下汽车停车场一个车位的平均造价为六千美元，而地面停车场的这一造价要五千至一万美元，取决于建筑物的标准和土地费。

1974年，在连接多条铁路与地铁线路的东京火车站下面，预计建成一座地下五层建筑物，并在其内设置百货公司和饭店。伦敦、罗马、斯德哥尔摩、慕尼黑、蒙特利尔等一些大城市内，已经有了地下广场。