

清华大学土木工程系组编

土木工程新技术丛书

主 编 崔京浩

地下工程与 城市防灾

崔京浩 著

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



知识产权出版社
www.cnipr.com



清华大学土木工程系组编

土木工程新技术丛书

主 编 崔京浩

地下工程与 城市防灾

崔京浩 著

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



知识产权出版社
www.cnipr.com



内容提要

本书是由清华大学土木工程系组编的“土木工程新技术丛书”中的一本，全书分为地下工程和城市防灾两篇。

地下工程在房建、交通、储运、国防、人防等领域历来是土木工程的一个重要方面，随着城市化和城市集约度的提高，开发利用地下空间逐渐成为一个城市建设的热点。联合国早就确认，地下空间与海洋、宇宙并列为人类的三大资源。

城市灾害所涉及的范畴很广，目前，有的领域已有相当深入的研究，且不乏专著，如地震灾害。本书只讨论燃气爆炸与火灾，它们是灾频最高，随机性最强与市民生活联系最紧密且具有相互的诱发性和伴生性的两个灾种。随着我国城市燃气的广泛普及，这两种灾害日益成为城市防灾的重点之一。

本书基本上是作者多年科研工作的总结，书末的参考文献均为作者或与别人合作的研究成果，部分引用的其他材料均在引用的当页作了注明。

本书可供高等院校相关专业的师生、设计施工单位的技术人员以及政府部门相关领域的工作人员参考。

选题策划：阳 淼 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip.sina.com; z_baolin@263.net

责任编辑：阳 淼 张宝林

文字编辑：董拯民 兰国钰

图书在版编目 (CIP) 数据

地下工程与城市防灾/崔京浩著. —北京: 中国水利水电出版社, 2007

(土木工程新技术丛书/崔京浩主编)

ISBN 978-7-5084-4723-0

I. 地… II. 崔… III. ①地下工程②城市规划—防灾

IV. TU94 TU984.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 078613 号

土木工程新技术丛书

地下工程与城市防灾

崔京浩 著

中国水利水电出版社 出版发行 (北京市西城区三里河路 6 号; 电话: 010-68331835 68357319)
知识产权出版社 (北京市海淀区马甸南村 1 号; 电话、传真: 010-82000893)

北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

中国水利水电出版社微机排版中心排版

北京市兴怀印刷厂印刷

787mm×1092mm 16 开 21.75 印张 516 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

印数: 0001—4000 册

定价: 40.00 元

ISBN 978-7-5084-4723-0

版权所有 侵权必究

如有印装质量问题, 可寄中国水利水电出版社营销中心调换

(邮政编码 100044, 电子邮件: sales@waterpub.com.cn)

清华大学土木工程系组编

土木工程新技术丛书

编 委 会

名誉主编 龙驭球

主 编 崔京浩

副主编 石永久 宋二祥

编 委 (按姓氏拼音字母排序)

包世华	岑 松	陈志鹏	方东平	龚晓海
李德英	刘洪玉	龙志飞	卢 谦	卢有杰
陆化普	聂建国	佟一哲	王志浩	吴俊奇
辛克贵	杨 静	阳 森	叶列平	叶书明
袁 驹	詹淑慧	张宝林	张铜生	张新天

编 辑 办 公 室

主 任 阳 森

成 员 张宝林 董拯民 彭天赦 莫 莉 张 冰
邹艳芳

总 序

土木工程——一个古老而又年轻的学科。

国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程（Civil Engineering）是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术。”

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的。“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程（Military Engineering）而诞生的，它是指除了服务于战争设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称，后来这个界定就不那么明确了。按照学科划分，防护工程、发射塔架等设施也都属于土木工程的范畴。

相对于机械工程等传统学科而言，土木工程诞生的更早，其发展及演变历史更为古老。同时，它又是一个生命力极强的学科，它强大的生命力源于人类生活乃至生存对它的依赖，甚至可以毫不夸张地说，只要有人类存在，土木工程就有着强大的社会需求和广阔的发展空间。

随着技术的进步和时代的发展，土木工程不断注入新鲜血液，显示出勃勃生机。其中，工程材料的变革和力学理论的发展起着最为重要的推动作用。现代土木工程早已不是传统意义上的砖、瓦、灰、砂、石，而是由新理论、新材料、新技术、新方法武装起来的，为众多领域和行业不可缺少的大型综合性学科，一个古老而又年轻的学科。

《土木工程新技术丛书》由清华大学土木工程系组织编写，成立了编委会，由崔京浩教授任主编，聘请中国工程院院士龙驭球先生为名誉主编。

丛书的组织编写原则遵循一个“新”字。一方面，“新”体现在组织选编的书目上（见封底的书目）：当然首选那些与国家建设息息相关、内容新颖、时代感强的书。改革开放以来，特别是新世纪到来之际，国家建设部门对运行管理、安全保障、质量监控、交通分析等方面的需求日益迫切，在书目选择上我们有意识地侧重了这一方面，力求引进一些国外的理论和实践，为我国建设服务；另一方面，“新”体现在各分册的内容上，即使是一些分册书名比较传统，其内容的编写也都努力反映了新理论、新规范、新技术、新方法，读者可以从各分册内容摘要和章节目录编排上看出这种特色。

这套丛书的读者对象是比较宽泛的，除土木工程技术人员以外，对建设部门管理人员也是一套很有指导意义的参考读物。特别需要指出的是，这套书的作者几乎全是高等学校的教师，职业决定了他们写书在逻辑性、条理性、可读性诸方面有其独特的优势。在组织编写时我们又强调了深入浅出、说理透彻、理论与实际并重的原则，以便大专院校作为教材选用。

崔京浩

目 录

总序

第一篇 地 下 工 程

第一章 开发地下空间是大势所趋	1
第一节 耕地减少和人口增加的矛盾日益尖锐	1
第二节 人类对地球的认识和开发是滞后的	3
第三节 现代战争的特点和人防的需要	6
第四节 地下工程具有较强的抗灾能力	8
第五节 最廉价的建筑节能措施	11
第六节 城市地下工程的用途及近期可供开发的层次	12
第七节 城市化和我国城市地下空间的初步规划	14
第八节 成本与造价问题.....	18
第二章 水封油气库	20
第一节 水封油库	20
第二节 水封气库	23
第三节 工程地质与水文地质条件	26
第四节 渗流量分析	28
第五节 围岩应力分析	40
第六节 结构构造措施	46
第七节 油品储存质量及漏失问题	49
第八节 软土水封油库	56
第三章 地下交通	64
第一节 地下交通概况	64
第二节 施工方法及明挖地铁车站评述	74
第三节 土钉支护	85
第四节 盖挖逆作法及其受力分析	94
第五节 青岛地铁车站三维应力分析	99
第六节 钢筋混凝土抗裂	103
第四章 地下工程几个特殊问题	114
第一节 地下工程设计计算上的特殊性和发展历程	114
第二节 新奥法与光面爆破	119
第三节 地下工程防水	125
第四节 地下结构抗浮	134
第五节 地下结构外水压力	143

第二篇 城市防灾

第五章 燃爆日益成为一个严重的城市灾害	153
第一节 全球灾害的严重性	153
第二节 燃爆——一个不容忽视的城市灾害	163
第三节 燃爆机理及其物理力学特性	172
第四节 燃爆灾害的特点及简单对策	178
第六章 民用建筑防燃爆设计及灾后分析与加固	180
第一节 燃爆对建筑结构的影响	180
第二节 防爆设计与建筑结构构造措施	188
第三节 燃爆灾害后的调查分析与加固	196
第七章 燃爆危险性评价及管网安全性分析	205
第一节 燃爆危险性模糊综合评价	205
第二节 镇江太平圩储配站危险性评价示范	215
第三节 城市燃气管网系统的安全性分析	219
第四节 鞍山市燃气管网安全性示范分析	226
第八章 火灾及其对建筑材料和结构构件的影响	230
第一节 概述	230
第二节 建筑火灾的基本知识	240
第三节 混凝土在高温下的物理力学性能	242
第四节 钢材在高温下的物理力学性能	252
第五节 钢筋混凝土构件在高温下的物理力学性能	256
第九章 火灾事故预防与防火设计	261
第一节 概述	261
第二节 防火分隔与疏散	265
第三节 防雷设计	269
第四节 高层建筑防火与建筑内装修问题	275
第五节 地下建筑防火	281
第六节 钢结构防火	285
第七节 探测与报警	293
第十章 火灾后建筑结构鉴定与加固	298
第一节 鉴定程序与内容	298
第二节 判定火灾温度的物理化学方法	299
第三节 判定火灾温度的计算方法	303
第四节 建筑结构火灾后可靠性评定	309
第五节 加固方法	313
第六节 过火建筑鉴定与加固实例	317
参考文献	328

第一篇 地 下 工 程

早在 1981 年 5 月联合国自然资源委员会就把地下空间确定为与宇宙和海洋并列的“重要的自然资源”。随着城市化的发展、人口的过度膨胀以及耕地越来越少，人类在生存空间的利用上可以采取的有效措施之一就是开发和利用地下空间，作为土木工程的一个重要分支“地下工程”日益成为工程师和科学家关注的热点，有人甚至预言 21 世纪既是航天工程的世纪也是地下工程的世纪，后者所面临的困难丝毫不亚于前者，事实上，人类对地壳的认识远远滞后于对太空的认识。

第一章 开发地下空间是大势所趋^①

第一节 耕地减少和人口增加的矛盾日益尖锐

地球表面的分配大致是海洋占 71%，陆地占 29%。其中陆地大部分是山陵、森林、草原、沙漠等各种不宜耕种的土地，适于耕种的仅占 6.3%，如果算上城市化发展所占的部分，真正用于生产粮食的可耕地恐怕还要小于这个比例。至于中国的情况则更不乐观，表 1-1 给出了主要自然资源人均值中国与世界的对比情况，可以看出无论是耕地、林地、水资源还是能源消耗量，中国的人均值都远小于世界的平均水平。表 1-2 则给出了几个大国的耕地状况，可以看出就是国土面积仅为中国的 1/3 而人口仅次于中国的印度，人均耕地也是我国的 2.5 倍。

表 1-1 自然资源保有量人均值中国与世界的对比

项 目	世界	中国	中国/世界	资料年份
人均耕地面积 (hm ²)	0.33	0.1	1/3.3	1982
人均林地面积 (hm ²)	0.43	0.11	1/4.3	1988
人均水资源保有量 (m ³)	10.5	2.7	1/4	1987
人均能源年消耗量 (吨标准煤)	2.52	0.84	1/3	1988

一方面耕地日益减少，另一方面人口又急剧增加。据统计公元 1 年，即传说中耶稣诞生的那一年，全世界人口不足 1 亿，经过了漫长的 1850 年全世界人口增至 10 亿，从图 1-1 所示的曲线来看这一阶段人口的增长相对是平缓的，自此以后，人口的增长则呈现陡增的趋势。从 10 亿（1850 年）增至 20 亿（1930 年）用了 80 年；从 20 亿增至 30 亿

① 本章内容参见文献 [12, 22, 29, 33, 35, 46, 47, 50, 87, 104, 117, 155]。

表 1-2

世界几个主要国家国土、人口及耕地简况

国 家	国土面积 (万 km ²)	耕地面积 (亿 hm ²)	耕地占国土 (%)	人口 (亿)	人均耕地 (hm ²)	相当于中国的 人均耕地倍数
中国	960	1.0	10	13.0	0.076	1
印度	297.4	1.73	53	8	0.19	2.5
美国	937.2	1.9	20	2.5	0.25	3.2
加拿大	997.6	0.68	6.8	0.26	0.58	7.6

(1960年)用了30年;从30亿增至40亿(1976年)用了16年;从40亿增至50亿(1987年)则只用了11年。1999年10月12日,世界人口达到60亿,这一天被命名为“世界人口60亿日”。有关国际机构认为,由于中国推行计划生育,在1971~1998年的27年内全球少生了3.38亿,使世界人口到达60亿的日期推迟了4年,这不能不说是中国对世界的一大贡献。为此,联合国授予时任我国计生委主任的彭佩云“世界人口奖”。

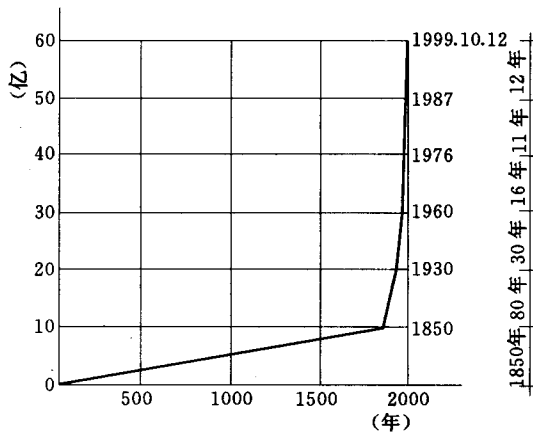


图 1-1 公元 1~2000 年世界人口增长曲线

就在世界人口到达 60 亿的 1999 年 10 月 12 日,联合国发出警告:人口危机对国际社会构成的潜在威胁比金融风暴和军事冲突等其他问题更严重。

有人按 20 世纪的生殖率推算,全世界每分钟要出生 259 人(中国占 38 人),每天出生 37 万(中国占 5 万),每年出生 8296 万(中国占 1184 万)。每年出生的人数相当于英国总人口的 1.5 倍,比第二次世界大战死亡的总人数还要多出 2000 万左右,这是一个多么可怕的数字。

中国是一个人口大国,早在夏、商、禹时代就有 1300 万人之多,1949 年新中国成立时为 5.4 亿人口,至 1995 年 2 月 15 日

中国达到 12 亿人口,这一天被定为“中国 12 亿人口日”,截止到 2002 年底,中国人口已突破 13 亿大关。表 1-3 给出了中国主要历史时代的人口状况表,一个不容忽视的严峻事实为,越是近代人口的基数越大,而年均增加人口也越多。北宋后期到清乾隆初年大约间隔了 500 年,平均每年增加人口 60 万,而解放后 1987~1995 年 8 年之间每年增加 1500 万人。试想如果不开展计划生育,面对中国如此贫乏的资源,这么多人该怎么活下去。有人预测就是坚持目前的计划生育政策大约到 2030 年中国人口将达到峰值 16 亿,而中国只有 1 亿 hm² 的耕地(见表 1-2),按较高水平的产量每公顷每年产粮 1000kg,再按低水平的消耗每人每年消耗 600kg 计算,每公顷要养活 16 个人,已远远超过人口生态学家认为每公顷最多养活 10 个人的极限状态。

表 1-3

中国主要历史时代、人口状况及增长情况表

时 代	人口	间隔年限 (年)	增加人口 (万)	年均增人 (万)
夏禹时代 (公元前 2300 年左右)	1300 万	约 3000	1700	0.56
战国 (公元前 700~前 400 年左右)	3000 万			
汉唐 (公元前 1206~公元 900 年左右)	7000 万	600	4000	6.6
北宋后期 (1200 年左右)	1.0 亿	300	3000	30
清乾隆初 (1736 年)	4.0 亿	500	3000	60
1949 年	5.4 亿	200	14000	70
1987 年	10.8 亿	40	54000	1350
1995 年 2 月 15 日 (中国 12 亿人口日)	12.0 亿	8	12000	1500

耕地越来越少,人口越来越多,除了开展计划生育遏制人口的过分膨胀以外,人类可以采取的有效措施之一就是开发地下空间,特别是近代为了解决城市交通拥挤兴起的地下轨道交通发展尤其迅速。1981年5月,联合国自然资源委员会把地下空间确定为“重要的自然资源”。把地下空间视为与宇宙和海洋并列的人类三大自然资源。许多有识之士在不同的场合指出了开发城市地下空间的重要性,一些发达国家也都率先规划甚至大规模投资兴建地下工程,早在1972年莫斯科城市规划中就规定开发城市地下空间面积7200hm²,占全市总面积的30%;1974~1984年10年间美国用于地下工程的投资为7500亿美元,占基建总投资的30%。

第二节 人类对地球的认识和开发是滞后的

早在300多年以前牛顿根据自己发现的万有引力定律,就预言:当物体运动速度达到7.9km/s就可以环绕地球做匀速圆周运动,称第一宇宙速度;如果达11.2km/s就可以脱离地球飞向太阳系的其他星体,称第二宇宙速度;如果达到16.7km/s就可以摆脱太阳系而飞向银河系广阔的宇宙空间。

1961年4月12日,前苏联的加加林开创了人类首次环绕地球的航天飞行,在2000km的高空环绕地球飞行一周,安全返回。8年以后,1969年7月21日,格林尼治时间2点56分,美国的阿姆斯特朗、奥尔德林、柯林斯三名宇航员驾驶飞船“阿波罗”号登上了月球,把人类的航天事业推进到一个新的高度,即冲破地球的引力圈进入太阳系航行,继而克服月球的引力实现了软着陆。当船长尼尔·阿姆斯特朗由船舱登上月球大陆时,他不无自豪地说:“这是一个人迈出的很小的一步,但却是人类的一个巨大飞跃”。他们在月球上放了一块铜牌,镌刻着“地球上人类首次登上月球,我们是为了全人类和平而来,公元1969年7月。”飞船在月球上共停留了2小时36分。从那以后先后有24人尝试过登月飞行,其中半数登月成功。我国的杨利伟在2003年10月15日乘坐“神舟”五号飞上太空绕地球飞行两天后,于10月17日安全返回。圆了我国人民的航天梦,是我国改革开放以来科技兴国的具体体现,虽然晚了但是成功了,至少证明了别人能做到的我们也可以做到。我国航天部门已在媒体上向全国人民披露,“十一五”期间可望实现载人登月。

自从1969年登月成功开创了人类探测太空和宇宙的新纪元，相继而来的探测活动如下：

- 1970年8月17日，苏联发射“金星”7号，9月15日在金星表面着陆并停留23分钟。
- 1975年8月和9月，美国发射“海盗”1号和“海盗”2号探测车，它们分别于1976年7月和9月在火星（地球飞往火星要269天）上软着陆成功。
- 1977年8月，1979年3月和7月，“旅行者”1号探测木星共带去115张照片，35种自然音响，27首著名乐曲以及美国总统签署的贺电，这些信息录制在30.5cm的铜盘上可保存10亿年，期望得到外星人的反馈。
- 1997年7月4日，美国“火星探路者”号在火星着陆，并向地球发回信号。
- 1998年1月，“月球探测器”号（美）费时19个月绕月球飞行，终于找到了氢原子，发现了藏在陨石坑下，百亿吨乃至上千亿吨的水，为今后人类在月球上短期居住提供了可能性。

• 2003年1月16日，美国“哥伦比亚”号航天飞机在坎那维拉尔峡谷发射基地升空，机上有7名宇航员，其中2名是女性，安排了80多项的实验项目。5天之后的1月21日，航天飞机突然爆炸，7名宇航员殉难。

• 2003年6月7日，美国先后发射了探测火星的“勇气”号和“机遇”号。2004年1月3日，“勇气”号在火星上软着陆，1月24日，“机遇”号也着陆。它们被认为是人类发送到其他星球的大型实验室，已先后发回许多火星上有价值的信息，并钻出了一个直径45.5mm、深2.65mm的圆孔，这是人类第一次在地球以外的星球上实现钻探。

在地表以上开辟人类的生存空间可以追溯到多层特别是高层建筑的兴建，地面上同样一块地皮可以发挥几倍乃至上百倍的作用，可以说每增加一层就等同于在地球表面增加了一块相应的面积，20世纪高层建筑风起云涌，就是这种需求的表现。1973年在美国芝加哥建成高达443m的西尔斯大厦，1996年马来西亚建成高达450m的吉隆坡双塔楼，我国在上海兴建的环球金融中心高460m，建成后将居世界之首。高层建筑的兴建不仅节省了土

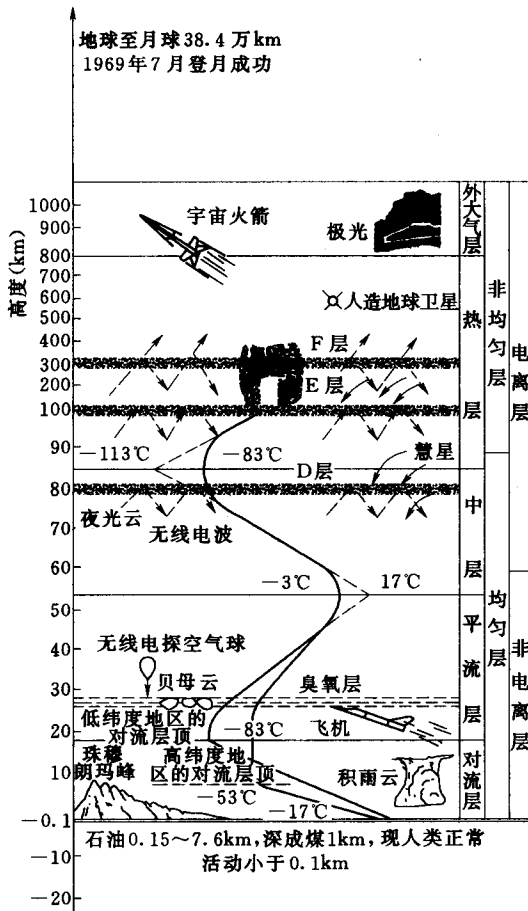


图 1-2 地表上下人类开发水平的差距

地，而且大大提高了城市的集约化程度。

图 1-2 给出了一幅自地表向上和向下的反差极大的图景，往上在 1 万 m 人们可以自由飞翔；再往上有一块极广阔的供通信使用的传播和反射空间，由于它的繁忙，以至于人们不得不做细致的划分并给予统一管理；一直往上就进入太空了，这是一幅多么诱人而又足以令人类自豪的蓝图。可是自地表往下呢？目前在 1000m 以下的矿井采煤已算比较深的，即便不下人的深井采油，目前也达不到 1 万 m，相对于动辄按千米计（到达月球 38 万 km）的太空实践则是小巫见大巫了。

这种认识和开发上的差距对土木工作者无疑是一个激励和促进，向地下进军，开发地下空间是大势所趋，既是人类生存的需要也是科学发展的必然趋势。

毋庸讳言，地表以下的开发有一定的难度。1936~1942 年布伦根据当时求得的地球内部的 α 、 β 数据以及地球的转动惯量值，提出 A 型地球模型（见图 1-3），A 型地球模型分层的编号如下：A 代表地壳，B、C 和 D 代表地幔，E、F 和 G 代表地核；B、C 层延伸至 900km 深度处，它们构成上地幔，D 层是下地幔，E 和 G 层是外地核和内地核，F 层是内地核和外地核之间的过渡层。

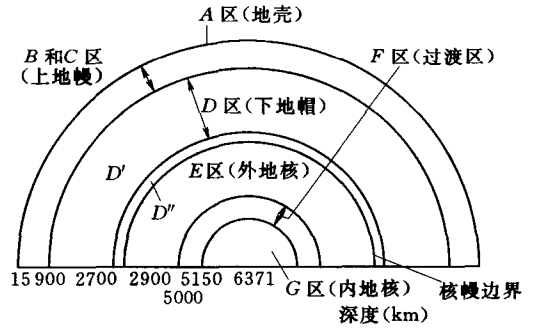


图 1-3 地球剖面 and 内部主要分层

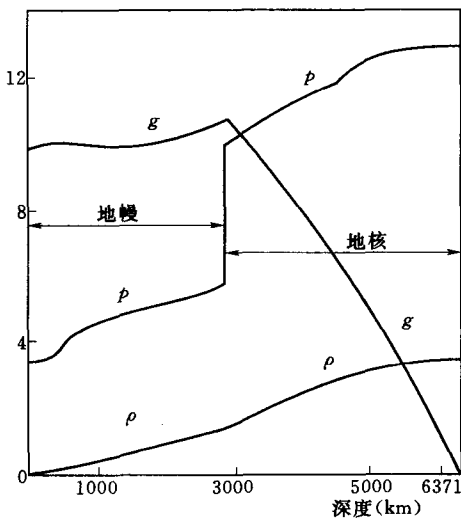


图 1-4 地球内部的密度 ρ (g/cm^3)、重力 g (100cm/s^2) 和压力 p (10^{12}dyn/cm^2) 随着深度变化的曲线，深度接近 3000km， p 有一个竖直上升段，而 g 则陡然拐向下方

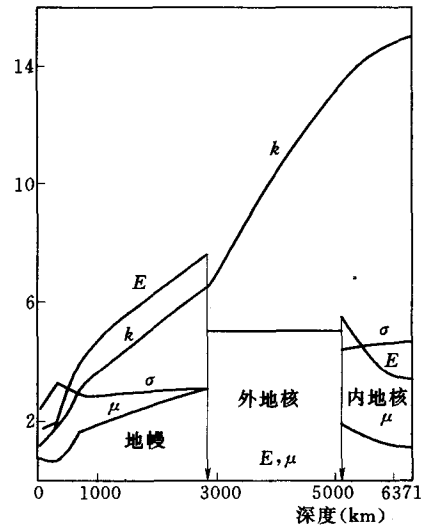


图 1-5 地球内部的主要力学参数随深度的变化：体积压缩模量 k ，刚度 μ ，杨氏模量 E （三者单位均为 10^{12}dyn/cm^2 ），深度接近 3000km 时 E 和 μ 均变为 0 值，超过 5000km， E 、 μ 又开始上升

可供开发的地层，自然是指地壳（A层），它是地球的最外层，其厚度差别很大，海洋特别是海沟处最薄仅为3km左右，块状山链之下可厚达60km，一般平均厚度为15km。如果说在这个层次内在可以预见的未来是人力可及的范围，再往深里去就很困难了。图1-4显示自地表往下越深压力越大，进入地幔以后每增加1km压力增加470个大气压，到达地核界面上（深2900km左右）压力陡增可达137万个大气压，而重力加速度则开始突然下降，人将逐渐处于一种失重的状态。图1-5给出了地球内部随深度变化力学参数的变化。这么严酷的条件显然不适宜于人类活动，但在地壳层即A区内则是大有用武之地的。

第三节 现代战争的特点和人防的需要

随着武器的发展特别是空军和导弹的出现和发展，近代战争中空袭成为了一种不可缺少的力量和手段，大量民用、工业设施被摧毁，平民的伤亡日益严重。

第二次世界大战期间德国飞机和“V2”飞弹的轰炸使英国多数城市被炸，伦敦有一半建筑被摧毁，英国人累计死伤15万。不久德国遭到报复，61个10万人以上城市中20%的住宅被破坏，30万人炸死，78万人受伤，750万人无家可归。在亚洲1944年美国对日本宣战以后，日本被美军轰炸，全国98个大中城市被破坏，其中东京、大阪和横滨等6大工业城市41%的建筑物被毁，总计死亡55万人，500万人无家可归，工矿企业67%被毁。

1991年1月17日，以美国为首的多国部队对伊拉克发动空中打击，持续38天，随后转入地面进攻，直至2月28日伊拉克宣布失败告终。多国部队动用飞机2780架，起飞11.2万架次，投弹20多万t，空袭目标12类：①指挥设施；②发电设施；③电信；④战略防空系统；⑤空军及机场；⑥核生化武器研究所及储库；⑦“飞毛腿”导弹发射架和生产储存地；⑧海军及港口；⑨石油提炼输送设施；⑩铁路桥梁；⑪陆军部队；⑫军用仓库和生产基地。结果大量的地面军事和民用设施被摧毁，而隐藏于地下防护工程中的80%的飞机，70%的坦克以及65%的装甲车都得以保存。令人吃惊的是人员伤亡情况的统计结果，伊军死亡2000人，而一般平民的伤亡高达20万人之多。

空袭和空中打击就算考虑了人道主义因素，它也有很大的随意性，更何况战争的发动者常常把摧毁后勤及民用设施乃至摧毁城市杀伤平民作为战争和政治的筹码。近代战争的一个重要特点就是军民伤亡比例的倒反差，平民的伤亡日益严重。表1-4给出了第一次世界大战以后几次典型战争的军民伤亡比例，可以看出上述1991年1~3月多国部队参与的伊拉克战争，军民伤亡比例竟是1:100，即前线的军士每死亡一个，后方的老百姓要死亡100人。

表 1-4 20 世纪几次主要战争的军民伤亡比例

战军名称	第一次世界大战	第二次世界大战	朝鲜战争	越南战争	伊拉克战争
军民伤亡比例	20 : 1	13 : 12	1 : 5	1 : 20	1 : 100

令人担忧的是前景并不看好，尽管从总体上来看世界范围内尚维持了一个和平的环境，但局部战争一天也没有中断。而且在第二次世界大战以后所形成的冷战局面中（1945~1980年），美苏双方都以大量扩充核武库作为遏制和威胁敌方的资本，其他一些发达国家也不例外，竞相参与这场以发展空中袭击为主要手段的较量。表 1-5 给出了冷战期间美方拥有的核武器的情况，需要说明的是这个并不完备的统计数字已经是经过签署削减核武库条约并做了某些销毁以后敢于公布出来的数字，当年有人估计美苏双方拥有的核弹头当量足以把地球毁灭许多次，这可能有些夸张，但对人们加强防护特别是在城市大量兴建防护工程不失为一种提醒和敦促。20 世纪末前苏联解体，前苏联这个庞大的帝国从地球上消失了，在那片广袤的土地上代之而起的是 15 个各自独立的国家。作为前苏联主体的俄罗斯，从国名到国旗国歌都恢复了原样，整个世界持续多年的以两个超级大国为首的两个阵营的冷战时代结束了，华约解体，北约东扩，俄罗斯面对着一个比原来更为强大的北约军事集团。近年媒体透露（2004 年 4 月）俄罗斯还拥有 2000 枚核弹头，北约则更多，达 3000 枚，这充分说明战争的危险并没有过去。2003 年 3 月 20 日，美英联军出动 23 万大军和上千架战机，对伊拉克发动了先发制人的现代化战争，萨达姆被俘，政权倒台。2004 年 5 月 1 日，布什宣布主要战事结束。一年的战争美方士兵死亡 600 多人，而伊方的死亡至少要 5 倍于此，至于一般平民尚未有明确的报道，恐怕也是一个惊人的数字。总之，对于以空袭和导弹袭击为主要特点的现代战争，人防工程是不能忽视的。

表 1-5 冷战期间（1945 年~20 世纪 70 年代末）美方拥有的核武库

类 别	披露的拥有量	预计 2010 年削减后的拥有量
核弹头	9496 个	3500 个
发射器	1568 件	1047 件
洲际导弹	920 枚（核弹头 2370 个）	500 枚（核弹头 500 个）
潜射弹道导弹	416 枚（核弹头 3216 个）	432 枚（核弹头 1720 个）

就在布什宣布战争结束 8 个月之后，即 2004 年 12 月底，媒体报道美军死亡总数已从原来公布的 600 人上升为 1300 人之多。平均每月新增死亡人数 90 多人，令人惊讶的是这些死亡都是发生在布什宣布战争结束以后。如果 2003 年 3 月 20 日~2004 年 5 月 1 日，一年多的战争阶段美军士兵死亡 600 多人美国人还是可以接受的话，那么战争结束以后短短的 8 个月竟多于一年多的战争阶段死亡人数的总和，这就难以令人接受了。更有甚者，2005 年 10 月媒体又报道美军死亡总数已多达 2000 多人，2007 年 1 月人民日报披露美联社统计驻伊美军的死亡人数已突破 3000 人，超过“9.11”事件的死亡人数。一个重要的原因是伊拉克反侵略势力的恐怖袭击处在暗处，而美国大兵处在明处，大象对付不了老鼠大概就是这个道理。

在核武器和常规武器高度发展的今天，能在摧毁后仍然保持较强的人力资源和反击力

量，主要取决于人防工程的完善程度，这种认识大大提高了人防的战略地位。瑞士作为一个中立国已有 170 多年的历史，但仍然毫不放松自己的人防建设，据资料披露早在 1984 年瑞士已拥有人员掩蔽位置 550 万个，占当时全国人口的 86%，还有各级民防指挥所 1500 个，各类地下医院病床 8 万张。北欧的瑞典在 20 世纪 80 年代末已为全国人口的 70% 提供了掩蔽位置。

我国的人防工程，自 20 世纪 50 年代末~70 年代中期有一个相当大的发展，截至 1999 年全国 197 个（总人口超过 1 亿）人防重点城市共修筑人防工程 3.5 亿 m^2 ，按战时 1/2 人口留城市，每人的防护面积 $1m^2$ 计算，仍缺 3000 万 m^2 以上，更不用说已建的工程大部分不配套，防护效能不高。与发达国家相比我们的人防工程不是多了而是少了，主要原因是我国人口太多，经济落后，人防投资又较高的缘故。

现代高技术战争对地下防护工程提出了更高的要求，主要的特点是“深”。早在 20 世纪 50 年代开始的冷战时期，美国在科罗拉多州斯普林市西南的夏延山构筑了深达 600~700m 的北美防空司令部地下指挥中心，而前苏联则相应地构建了一个庞大而复杂的莫斯科地下指挥中心。90 年代以后随着钻地核武器和精确制导武器的发展，美俄对深地下防护工程的建设提出了更高的要求，筹建防护层厚度达 1000~2000m 的超坚固地下指挥中心，美国已明确准备在马姆山建一个深达 1000~1500m 的地下指挥中心作为夏延山地下指挥中心的备用工程。

第四节 地下工程具有较强的抗灾能力

几乎没有人怀疑地下工程具有很强的抗爆能力，但地下工程对抵抗其他灾害的能力，却容易被人们忽视。

首先地下工程较地上建筑具有较强的抵抗地震的能力，表 1-6 给出了日本阪神地震地上与地下震害的比较，可以看出房屋建筑、交通、市政等地上设施的破坏情况远较地下严重。一个直观的解释是震害是地壳表层运动的结果，地下结构相对于地上结构而言，更容易与地壳同步运动，因而破坏小些，我国唐山地震以及海城地震等也多次发现这一现象。

表 1-6 地下工程具有较强的抗灾能力（日本阪神地震地上与地下震害比较）

地 上		地 下	
地面建筑	住房损坏 191155 栋，其中 严重破坏 89423 栋 中等破坏 68762 栋 轻度破坏 32970 栋 公共建筑损坏 3105 栋 房屋倒塌引起的次生灾害严重，共发生火灾 531 起，仅神户市烧毁建筑面积达 100 万 m^2 ；	地下商业街	地下部分基本完好： 地铁三宫站附近的地下商业街，面积 1900 m^2 ，共分三层，以饮食店、服装店为主。地震后，除部分地面隆起数厘米，酒柜玻璃破碎，部分墙壁瓷板剥离外，其他未见异常；

地 上		地 下	
道 路	道路破坏计 9402 处； 分布在以神户、芦屋、西宫市为中心的广泛区域内，交通中断； 高速公路路面屈曲，高架桥倾倒，铁路高架桥破坏 20 处，路轨扭曲； 车站建筑、铁路通信系统多处遭破坏，停业运行区间长度 181.4km，全部恢复需 3530 亿日元	地 下 铁 道	大阪、神户市的地铁大部分通道基本完好，部分车站遭不同程度破坏； 新长田车站附近通道内出现裂缝； 上泽车站及上泽至新长田间通道里的钢筋混凝土柱有 170 根出现裂缝； 三宫车站地下一层的中央电气室、信号室、通风机械室的 30 根钢筋混凝土柱表层脱落、钢筋外露； 浅埋式的大开挖地铁站，有 30 根钢筋混凝土柱折断，顶板纵向裂缝宽达 150~250mm，造成地面前下沉 2~3m
港 口	岸口普遍移动、下沉，防波堤陷没； 起重塔下部屈服、塔架倾斜； 码头地面开裂，仓库地基液化	隧 道	山区隧道基本完好；山阳新干线的神戸隧道（长 7.97km）和六甲隧道（长 11.25km），混凝土衬砌内壁上有多处出现裂缝；隧道内铁道线路未见异常
市 政 管 线	10 个火力发电厂、48 个变电所、38 条高压线路、446 条配电线路遭不同程度破坏，100 万户停电，损失 2300 亿日元； 供水系统遭破坏，配水管线损坏 5287 处，43.5% 的用户断水； 供气系统遭破坏，63% 的用户停气； 通信系统备用电源线路损坏，局部地区通信中断	附 建 式 地 下 室	大部分地面建筑物附建的地下室都是安全的； 部分地面建筑物的地基持力层为液化土层时，地震后其地下室有裂缝和墙面剥离现象出现，属轻度破坏

我国是个多震的国家，表 1-7 给出了世界历史上 27 次最严重的地震，其中死亡人数最多的前三名（序号为 4、17、24）都在中国，分别为 1556 年的关中大地震死亡 83 万人，1976 年唐山大地震死亡 24.2 万人，1920 年的海原大地震死亡 20 万人。960 万 km² 的国土面积地震烈度在 6 度以上的地区占 79%，我国抗震设防的城市多、比例高、设防等级也高。我国地震还有一个特点就是震源浅、强度大，据统计已发生的地震有 2/3 属 30km 内的浅震源，20 世纪全世界 7 级以上的强震 1/10 发生在中国而释放的能量却占总能量的 3/10。就震害而论，建国以来 7 级以上的强震 10 余次，死 26.2 万人，伤 76.3 万人，致残 20 万人，震塌房屋超过 1 亿 m²。面对这样一个现实，在我国倡导兴建地下工程时还应考虑抗震这个不易被人重视的优越性。

表 1-7

历史上全球 27 次最严重的地震

序号	灾害类型	城市名称	所属国	发生时间	灾变损失
1	地震	罗得	希腊	约前 227 年	城毁，太阳神巨像坍塌
2	地震	阿芙罗狄蒂斯	土耳其	约 4 世纪	爱神之城从此湮没
3	地震	亚历山大	埃及	1375 年	部分地区及小岛沉入海，灯塔消失
4	地震	华县、潼关	中国	1556.1.23	关中大破坏，共死 83 万人