



国家出版基金项目  
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

国家“十二五”重点图书出版规划项目

城市地下空间出版工程·规划与设计系列

总主编 钱七虎 副总主编 朱合华 黄宏伟

# 地下仓储物流设施规划与设计

钱七虎 郭东军 编著



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目

NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

国家“十二五”重点图书出版规划项目

城市地下空间出版工程·规划与设计系列

# 地下仓储物流设施规划与设计

钱七虎 郭东军 编著



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

## 图书在版编目(CIP)数据

地下仓储物流设施规划与设计/钱七虎,郭东军编著. —上海:同济大学出版社,2015.12

(城市地下空间出版工程/钱七虎主编,规划与设计系列)

ISBN 978-7-5608-6164-7

I. ①地… II. ①钱…②郭… III. ①城市空间—地下仓库—物流—设备管理—研究 IV. ①F252

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 318875 号

城市地下空间出版工程·规划与设计系列

## 地下仓储物流设施规划与设计

钱七虎 郭东军 编著

出品人: 支文军

策划: 杨宁霞 季慧 胡毅

责任编辑: 胡毅

责任校对: 徐春莲

封面设计: 陈益平

出版发行 同济大学出版社 [www.tongjipress.com.cn](http://www.tongjipress.com.cn)  
(上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店、建筑书店、网络书店

排版制作 南京新翰博图文制作有限公司

印 刷 上海中华商务联合印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 11.5

字 数 287 000

版 次 2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6164-7

定 价 108.00 元

版权所有 侵权必究 印装问题 负责调换

## 内 容 提 要

---

本书为国家“十二五”重点图书出版规划项目、国家出版基金资助项目。

从世界范围来看,面对城市化进程的压力,空间需求迅速增加,空间资源短缺已成为制约城市发展的主要“瓶颈”之一。解决建设用地不足的有效途径是实现土地的多重开发,向地下要空间成为为数不多的现实选择之一。

地下空间具有天然隔绝层、受外界干扰较少、自然恒温恒湿,它与仓储和自动化运输技术存在天然兼容性。因此,利用地下空间进行仓储和货物运输成为缓解城市空间紧张的不二选择,并兼具经济、环保等特点。本书内容包括:解析地下仓储物流相关概念,地下仓储物流可持续发展优势,地下食品与水储库,地下能源储库与核废物处置库,城市地下物流系统基础技术,地下集装箱运输系统应用研究以及典型地下仓储物流案例等。

本书可供从事城市地下空间的科研工作者、城市规划设计机构从业人员、高等院校相关专业师生参考阅读。

---

## 《城市地下空间出版工程·规划与设计系列》编委会

### 学术顾问

叶可明 中国工程院院士  
孙 钧 中国科学院院士  
郑颖人 中国工程院院士  
顾金才 中国工程院院士  
蔡美峰 中国工程院院士

### 主 任

钱七虎

### 副主任

朱合华 黄宏伟

### 编 委(以姓氏笔画为序)

王 剑 王 曦 王恒栋 卢济威 庄 宇 苏 辉  
杨石飞 杨彩霞 束 昱 张 竹 张安峰 陈 易  
范益群 胡 昊 俞明健 贾 坚 顾国荣 郭东军  
葛春辉 路 姗

## 作者简介

---

钱七虎 中国工程院院士,中国著名的防护工程专家、军事工程专家和教育家,技术一级,文职特级,总参科技委常委,总装科技顾问,国务院学位委员会学科评议组成员。国际岩石力学学会原副主席,国际城市地下空间联合研究中心亚洲区主任,中国岩石力学与工程学会理事长,中国土木工程学会常务理事、防护工程分会理事长。主持了“21世纪中国城市地下空间发展战略及对策”国家咨询课题研究。著有《民防学》等多本专著。

---

郭东军 中国人民解放军理工大学人防工程教研中心副主任、副教授,中国岩石力学与工程学会地下空间分会常务理事、秘书长,第十四届国际地下空间联合研究中心年会(ACUUS2014)学术委员会委员。主要在地下空间(人防工程)规划与设计、关键基础设施防护(防灾减灾)等领域开展研究工作。作为项目负责人,承担并完成国家自然科学基金青年基金、中国博士后基金(一等)、国家人防办等10余项课题,发表学术论文40多篇,主编与参编著作3部,获省部级(军队)科技进步一等奖1项、二等奖2项、三等奖多项。

# ■ 总 序 ■

## PRELACE

国际隧道与地下空间协会指出,21世纪是人类走向地下空间的世纪。科学技术的飞速发展,城市居住人口迅猛增长,随之而来的城市中心可利用土地资源有限、能源紧缺、环境污染、交通拥堵等诸多影响城市可持续发展的问题,都使我国城市未来的发展趋向于对城市地下空间的开发利用。地下空间的开发利用是城市发展到一定阶段的产物,国外开发地下空间起步较早,自1863年伦敦地铁开通到现在已有150年。中国的城市地下空间开发利用源于20世纪50年代的人防工程,目前已步入快速发展阶段。当前,我国正处在城市化发展时期,城市的加速发展迫使人们对城市地下空间的开发利用步伐加快。无疑21世纪将是我国城市向纵深方向发展的时代,今后20年乃至更长的时间,将是中国城市地下空间开发建设和利用的高峰期。

地下空间是城市十分巨大而丰富的空间资源。它包含土地多重化利用的城市各种地下商业、停车库、地下仓储物流及人防工程,包含能大力缓解城市交通拥挤和减少环境污染的城市地下轨道交通和城市地下快速路隧道,包含作为城市生命线的各类管线和市政隧道,如城市防洪的地下水道、供水及电缆隧道等地下建筑空间。可以看到,城市地下空间的开发利用对城市紧缺土地的多重利用、有效改善地面交通、节约能源及改善环境污染起着重要作用。通过对地下空间的开发利用,人类能够享受到更多的蓝天白云、清新的空气和明媚的阳光,逐渐达到人与自然的和谐。

尽管地下空间具有恒温性、恒湿性、隐蔽性、隔热性等特点,但相对于地上空间,地下空间的开发和利用一般周期比较长、建设成本比较高、建成后其改造或改建的可能性比较小,因此对地下空间的开发利用在多方论证、谨慎决策的同时,必须要有完整的技术理论体系给予支持。同时,由于地下空间是修建在土体或岩石中的地下构筑物,具有隐蔽性特点,与地面联络通道有限,且其周围临近很多具有敏感性的各类建(构)筑物(如地铁、房屋、道路、管线等)。这些特点使得地下空间在开发和利用中,在缺乏充分的地质勘察、不当的设计和施工条件下,所引起的重大灾害事故时有发生。近年来,国内外在地下空间建设中的灾害事故(2004年新加坡地铁施工事故、2009年德国科隆地铁塌方、2003年上海地铁4号线事故、2008年杭州地铁建设事故等),以及运营中的火灾(2003年韩国大邱地铁火灾、2006年美国芝加哥地铁事故等)、断电(2011年上海地铁10号线追尾事故等)等造成的影响至今仍给社会带来极大的负面

效应。因此,在开发利用地下空间的过程中需要有深入的专业理论和技术方法来指导。在我国城市地下空间开发建设步入“快车道”的背景下,目前市场上的书籍还远远不能满足现阶段这方面的迫切需要,系统的、具有引领性的技术类丛书更感匮乏。

目前,城市地下空间开发亟待建立科学的风险控制体系和有针对性的监管办法,《城市地下空间出版工程》这套丛书着眼于国家未来的发展方向,按照城市地下空间资源安全开发利用与维护管理的全过程进行规划,借鉴国际、国内城市地下空间开发的研究成果并结合实际案例,以城市地下交通、地下市政公用、地下公共服务、地下防空防灾、地下仓储物流、地下工业生产、地下能源环保、地下文物保护等设施为对象,分别从地下空间开发利用的管理法规与投融资、资源评估与开发利用规划、城市地下空间设计、城市地下空间施工和城市地下空间的安全防灾与运营管理等多个方面进行组织策划,这些内容分而有深度、合而成系统,涵盖了目前地下空间开发利用的全套知识体系,其中不乏反映发达国家在这一领域的科研及工程应用成果,涉及国家相关法律法规的解读,设计施工理论和方法,灾害风险评估与预警以及智能化、综合信息等,以期成为对我国未来开发利用地下空间较为完整的理论指导体系。综上所述,丛书具有学术上、技术上的前瞻性和重大的工程实践意义。

本套丛书被列为“十二五”时期国家重点图书出版规划项目。丛书的理论研究成果来自国家重点基础研究发展计划(973计划)、国家高技术研究发展计划(863计划)、“十一五”国家科技支撑计划、“十二五”国家科技支撑计划、国家自然科学基金项目、上海市科委科技攻关项目、上海市科委科技创新行动计划等科研项目。同时,丛书的出版得到了国家出版基金的支持。

由于地下空间开发利用在我国的许多城市已经开始,而开发建设中的新情况、新问题也在不断出现,本丛书难以在有限时间内涵盖所有新情况与新问题,书中疏漏、不当之处难免,恳请广大读者不吝指正。



2014年6月



# ■ 前 言 ■

FOREWORD

我国第三产业在国民经济中的比重明显提升,促进了现代服务业的快速发展,也使仓储物流产业成为支撑中国现代服务业发展的重要基础,传统的地面仓储物流模式已经远远不能满足社会发展的需求。在上述背景下,地下仓储物流设计得到了迅速而广泛的发展,不仅包括地下能源储库、地下食品储库、地下储水库等传统类型的地下储库,很多国家和城市近年来还建设了大型的地下废物库、地下雨水调节水库等。

除了如快速城市化、环境污染、城市空间约束等一些社会与经济因素刺激作用外,地下环境比较容易满足储存物品所需的各种特殊条件是一个重要原因,如恒温、恒湿、耐高温、耐高压、防火、防爆、防泄漏等。与在地面上建造同类仓储工程相比,地下仓储工程往往表现出更好的防护性、经济性、环保性、密闭性和热稳定性等综合效益。而地下货运系统作为一种新兴的具有革新意义的物流模式,不仅具有快速、准时等优势,而且是减少环境污染、提高城市货物运输的通达性和质量的有效途径,能够满足循环经济的发展模式,符合资源节约型社会的发展要求,是我国城市可持续发展的必要选择。

自2002年起,作者开始关注地下仓储物流的研究进展,完成了《城市地下物流系统导论》一书,并于2007年出版。其后在这一领域研究工作,得到了国家自然科学基金、中国博士后基金的资助,也得到了国内外许多部门和专家的合作与支持。2014年,同济大学出版社向我们约稿,我们也感到有必要将最新一些思考与研究成果进行总结,便欣然接受了这一任务。

书中着重介绍了地下仓储物流相关概念、地下仓储物流可持续发展优势、地下食品与水储库、地下能源储库与核废物处置库、城市地下物流系统基础技术、地下集装箱运输系统以及一些典型地下仓储物流的案例等。该书的出版将有助于人们加深对地下仓储物流的认识,推动相关研究的继续进行和深入,为城市规划提供参考的同时,也有助于地下仓储物流工程新理念、新技术和新方法的应用与推广。

在本书的编写过程中,感谢国际地下物流学会(ISUFT)主席 Johan Visser 先生提供了自动运输技术最新进展的资料,与 Johan Visser 先生的交流使我们对地下物流有了更深入的理解与认识;感谢核工业北京地质研究院王驹副院长提供了宝贵的核废物处置库第一手资料;解放军理工大学陈志龙教授对本书写作给予了有力支持;教员吴艳华、朱星平、解东升、李二兵和研究生陈家运、李微、刘冰平等进行了大量案例资料收集与图文整理工作,限于篇幅,不一一列

出,在此谨表谢意。同时,感谢同济大学出版社对本书出版发行的大力支持以及所作的辛勤工作。最后,感谢每一位翻开本书的读者。

由于成稿仓促,疏漏难免,书中不足之处,恳请读者批评指正。

作 者

2015年5月

# 目 录

## CONTENTS

总序  
前言

<b>1</b>	<b>绪论</b> .....	1
1.1	地下仓储物流的概念 .....	2
1.1.1	地下仓储设施 .....	2
1.1.2	地下物流系统 .....	3
1.1.3	概念界定 .....	4
1.2	地下仓储物流的发展概况 .....	5
1.2.1	地下仓储的发展 .....	5
1.2.2	地下物流系统研究新进展 .....	6
<b>2</b>	<b>地下仓储物流可持续发展优势</b> .....	11
2.1	相关背景 .....	12
2.1.1	土地资源紧缺的约束 .....	12
2.1.2	能源约束 .....	16
2.1.3	面临的环境问题 .....	19
2.2	地下仓储物流的可持续发展特性 .....	23
2.2.1	节地 .....	23
2.2.2	节能 .....	24
2.2.3	环境及防灾效益 .....	25
<b>3</b>	<b>地下仓储物流的主要类型</b> .....	27
3.1	地下水库 .....	28

3.1.1	地下储水库	28
3.1.2	城市地下调节水库	32
3.2	地下食品储库	34
3.2.1	地下冷库	34
3.2.2	地下粮库	34
3.3	地下综合物资储库	35
3.3.1	地下商业综合物资储库	35
3.3.2	地下军事物资综合储库	35
3.3.3	地下应急物资储库	35
3.3.4	典型案例:堪萨斯城地下储存设施	35
3.3.5	典型案例:新加坡地下军火库	38
3.4	地下能源储库	39
3.4.1	地下化学能储库	39
3.4.2	地下机械能储库	41
3.4.3	地下热能储库	41
3.5	地下废物库	43
3.5.1	城市地下废物库	43
3.5.2	地下核废物处置库	43
3.6	地下物流系统	46
3.6.1	气(水)力地下物流系统	46
3.6.2	轮轨地下物流系统	48
3.6.3	应用领域	49

#### **4 地下食品储库和地下水库规划设计** ..... 51

4.1	地下食品储库规划与设计	52
4.1.1	选址	52
4.1.2	地下粮库规划设计要素	53
4.1.3	地下冷库	55
4.1.4	规划与设计要点	57
4.1.5	典型案例:挪威地下国际种子库	59
4.2	地下储水库规划与设计	62
4.2.1	建库条件	62
4.2.2	容量计算	63
4.2.3	规划与设计要点	63
4.2.4	典型案例:日本冲绳地下储水库	64

4.3	城市地下调节水库典型案例 .....	66
4.3.1	案例一:东京外敦放水路 .....	67
4.3.2	案例二:吉隆坡城市泄洪与公路两用隧道 .....	69
<b>5</b>	<b>地下能源储库和地下废物库 .....</b>	<b>73</b>
5.1	地下能源储库 .....	74
5.1.1	地下储油库 .....	74
5.1.2	地下储气库 .....	79
5.1.3	典型案例:新加坡裕廊岛地下储油库 .....	86
5.2	地下废物库 .....	88
5.2.1	高放射性废物地质处置库 .....	88
5.2.2	典型案例:新加坡地下废物库 .....	108
<b>6</b>	<b>城市地下物流系统基础技术 .....</b>	<b>113</b>
6.1	隧道建造技术进展 .....	114
6.1.1	TBM法 .....	114
6.1.2	钻爆法 .....	115
6.1.3	顶管法 .....	118
6.1.4	优缺点及面临的挑战 .....	123
6.2	自动运输技术 .....	126
6.2.1	传输带 .....	126
6.2.2	自动卡车和多挂车系统 .....	127
6.2.3	自动机车 .....	130
6.2.4	管道/舱体技术 .....	130
6.2.5	悬挂与磁浮运输技术 .....	131
6.2.6	各类自动技术小结 .....	131
<b>7</b>	<b>地下集装箱运输系统研究 .....</b>	<b>133</b>
7.1	地下集装箱运输系统的提出 .....	134
7.2	国外研究案例 .....	136
7.2.1	德国 .....	136
7.2.2	比利时 .....	138
7.2.3	美国 .....	140
7.2.4	日本 .....	143

7.3 国内研究案例:上海地下集装箱运输系统基础研究 .....	145
7.3.1 研究背景 .....	145
7.3.2 上海目前集装箱集疏运系统分析 .....	147
7.3.3 上海地下集装箱运输系统的可能线路 .....	152
7.3.4 典型线路可行性分析:洋山港与芦潮港物流园区之间 .....	155
参考文献 .....	166
索引 .....	169



# 1 绪 论

人类自古就有利用地下空间储存物资的传统,例如我国古代的地下储粮,欧洲的地下储酒等。但地下储库在 20 世纪才有了大规模的广泛发展,20 世纪 80 年代联合国经济及社会理事会(ECOSOC)通过的决议中指出:“经社理事会认识到,地下空间,特别是在储存水、燃料、食物和其他商品,以及在供水、污水处理和节能方面的潜力。”而地下货物运输至少有 200 年以上的历史。在最初,地下客运和货运同时被提出来,目前,地下客运在世界上绝大部分特大城市通过地下铁路已经实现;地下货运主要是利用地下管道运输气体和液体。20 世纪 90 年代以来,利用地下运输固体货物的现代城市地下物流系统的研究受到了西方发达国家的高度重视。

## 1.1 地下仓储物流的概念

### 1.1.1 地下仓储设施

地下仓储设施即修建在地下的仓储建筑物。随着科学技术的进步,其使用范围逐步扩大,涉及人类生产和生活的许多重要方面。到目前为止,根据储存品的不同,地下储库可大体概括为五大类型,即地下水库、地下食品库、地下综合物资库、地下能源库和地下废物库等。如图 1-1 所示。

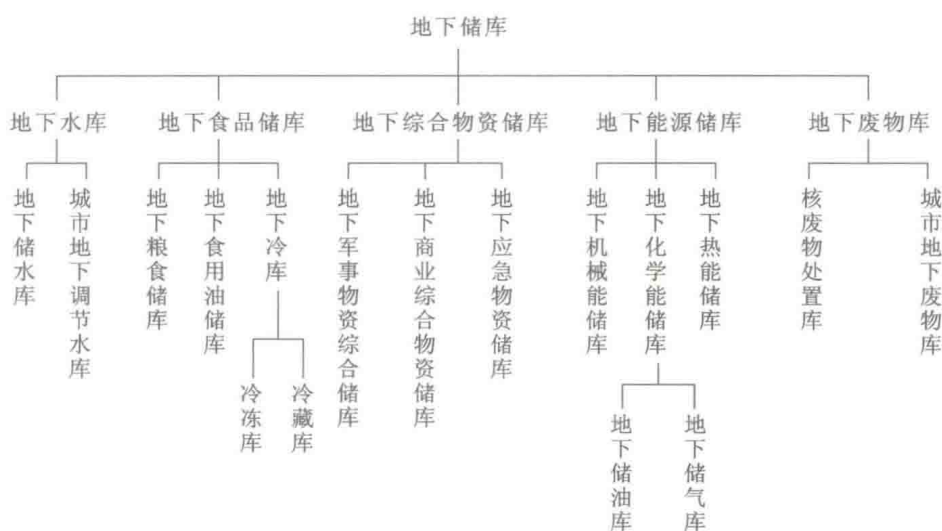


图 1-1 地下储库的类型

图 1-1 中的一部分类型,如水库、食品库、石油库、物资库等,按照传统的方法,都可以建在地面上,但如果有条件建在地下,则能表现出多方面的优越性,因而受到广泛的重视,有的甚至已基本取代了地面库。另一部分类型,由于使用功能的特殊要求,建在地面上有很大困难,甚至根本无法实现,如热能、电能、核废物、危险化学品等,在地下建造成为唯一可行的途径,这些类型地下储库具有更大的发展潜力。此外,有一些地下储库的新类型,已经突破了传统的储存和周转功能,像工业余热的回收、太阳能的夜间和冬季的储存、城市污水循环利用等,地下储库



都是不可缺少的组成部分。

### 1.1.2 地下物流系统

20世纪80年代物流概念传入我国后,首先在企业物流领域产生了巨大的作用,物流成本得到了广泛关注。特别是20世纪90年代以来,以信息技术为支撑,以供应链管理技术为核心的大量新技术在物流领域的应用极大地提高了物流效率,降低了物流成本,从而使物流所蕴涵着的巨大的经济价值得以显现,引起了社会的普遍关注。

中国的物流概念与日本的物流概念出现相距约20年,与西方的物流概念出现相距七八十年。表1-1总结了我国和日本、美国物流概念的不同。

表 1-1 我国和日本、美国物流概念的不同

国 别	中 国	日 本	美 国	
物流概念	物流(material flow)	物的流通(physical distribution)	商品实体配送(physical distribution)	军事物资、人员和装备调动(logistics)
最早出现时间	1985年	1965年	1915年	1905年
概念最早属性	属于自然现象、社会现象和经济现象	属于经济现象	属于经济现象	属于军事现象
概念具体内涵	宏观物品流动和微观物质流动的总称	物质资料从供给者向需要者的物理性移动	商品实体配送	军事物资、人员和装备的调动
概念行为性质	包括管理行为在内的所有有目的和无目的的行为	有目的的经济行为	有目的的经济管理行为	早先是有目的的军事后勤管理行为,现在是整个供应链管理行为的一部分
概念使用领域	经济界、社会界、自然界各个领域	流通领域	流通领域	军事领域和整个供应链

广义上的物流泛指物质实体在时间和空间上的流动,包括经济界、社会界和自然界的所有物质实体的运动。

物流系统是指按照计划为达成物流目的而设计的相互作用的要素的统一体。其目的与作用是将物品按照规定的时间、规定的数量,以最合适的费用,准确无误地送达目的地,完成物品使用价值的物理性转移,最终实现物品的社会价值。

不同学者对物流系统的概念有不同的描述,但以下两个观点是共同的:物流系统是社会经济大系统的一个子系统或组成部分;物流系统的直接目的是实现物资的空间效益和时间效益的最大化,在保障社会再生产顺利进行的前提下,实现物流活动中各环节的合理衔接,并取得最佳的经济效益。

随着社会经济与城市化的快速发展,世界范围内的大城市都遇到了交通拥堵现象。货运交通作为城市交通中的重要组成部分,其与城市交通、城市社会、空间资源和环境之间的矛盾显得尤为突出。在这样一个背景下,目前国际学者正在积极研究城市货运交通的未来发展趋