

国家“十三五”重点图书出版规划项目



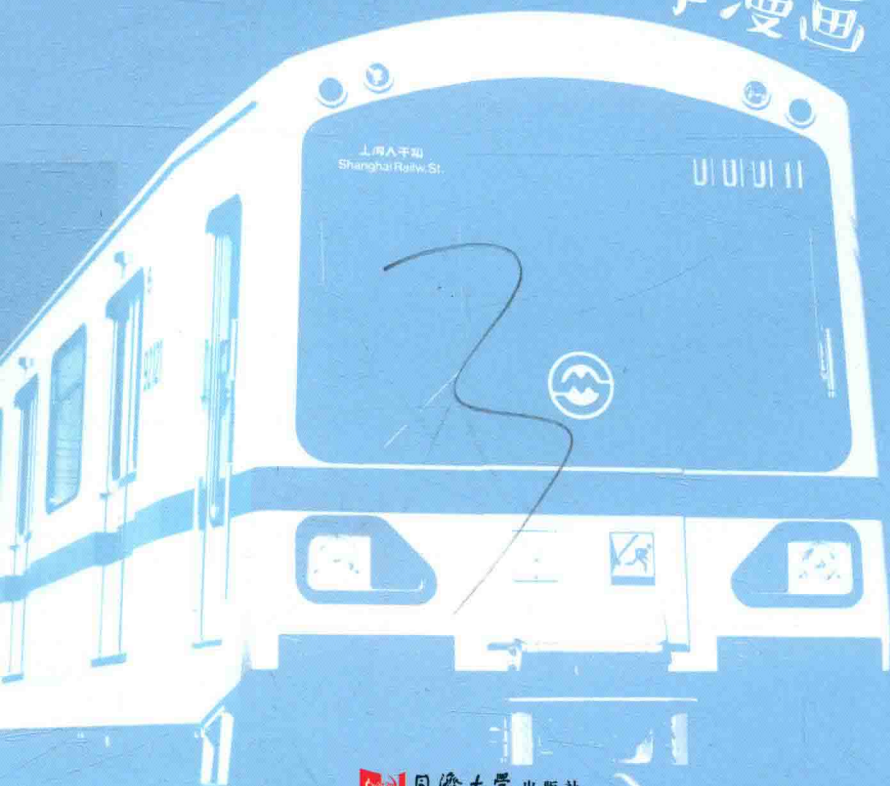
国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

城市地下空间出版工程·运营与维护管理系列

地铁结构演化与感控

之科学漫画

朱合华 等著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

目 录

1 地铁，让城市更美好	012
2 地铁隧道是什么样子的	018
3 地铁隧道也会生病	024
4 地铁隧道的数字化信息档案	038

5 给地铁隧道听诊	062
6 给地铁隧道会诊	084
7 给地铁隧道治疗	094
8 地铁，陪伴着我们的城市健康成长	116

国家“十三五”重点图书出版规划项目

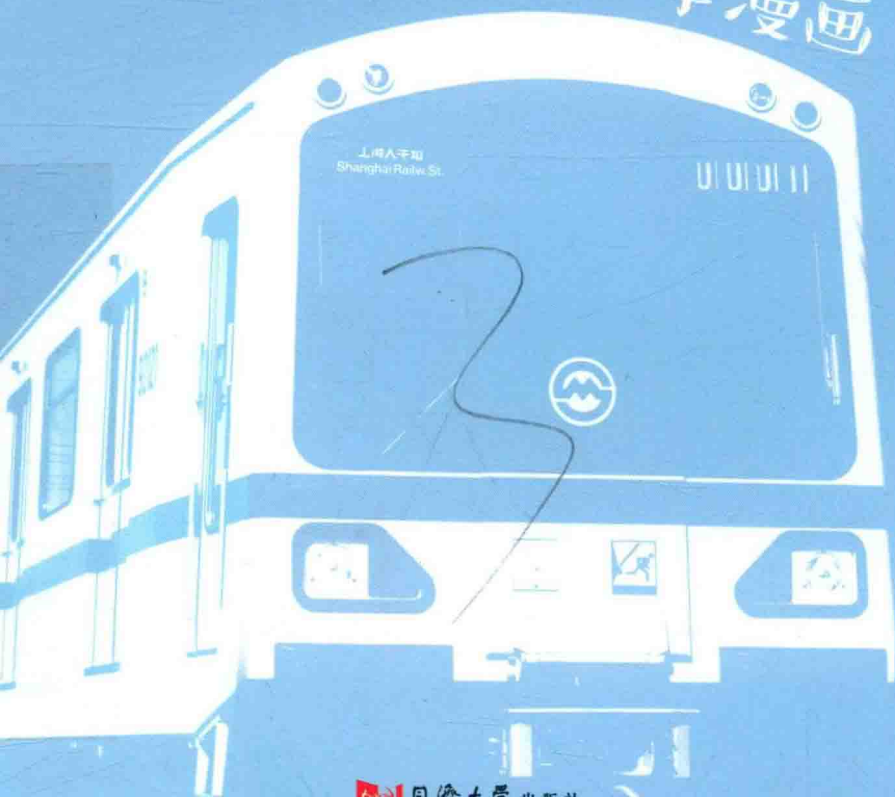


国家出版基金项目
NATIONAL PUBLISHING FUND PROJECT

城市地下空间出版工程·运营与维护管理系列

地铁结构演化与感控 之科学漫画

朱合华 等著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

作者简介

朱合华

同济大学特聘教授、国家注册土木(岩土)工程师,现任土木信息技术教育部工程研究中心主任,为教育部长江学者特聘教授和创新团队计划带头人、国家973项目首席科学家。他先后于1983、1986年获重庆大学采矿工程专业学士和硕士学位,1989年获同济大学结构工程专业博士学位。1993—1995年先后在日本大阪土质试验所和京都大学进行博士后研究,2011—2012年在美国弗吉尼亚理工大学作访问教授。

现被聘为英国剑桥大学智慧基础设施中心和日本大阪地域地层环境研究所顾问,兼任中国岩石力学与工程学会副理事长、中国土木工程学会隧道及地下工程分会副理事长、国际岩土工程联盟数据标准化委员会成员等,创办了国际学术期刊 *Underground Space*, 并兼任多个国内外学术期刊的副主编、执行主编和编委等职务。

他长期从事隧道与地下空间领域的教学和科研工作,研究方向为隧道及地下工程全寿命设计理论、地下空间火灾安全、智慧地下基础设施建设和岩体破坏力学与模拟。发表SCI/EI学术论文250余篇(含ESI论文3篇),出版专著8部,授权中国发明专利40项,是同济曙光软件(GeoFBA)的创始人和开发者;获国家科技进步二等奖2项和省部级一等奖7项,以及科技部“十一五”国家科技计划执行突出贡献奖和中国科协“全国优秀科技工作者”称号,并获THHPIAN(卞学鑽)国际学术贡献奖和德国洪堡基金会颁发的表彰各研究领域国际科学家学术成就的“洪堡研究奖”等。



城市轨道交通出版社

城市地下空间出版社

城市轨道交通出版社

城市轨道交通出版社

地铁结构演化与感控

之科学漫画

朱台华 等著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

地铁结构演化与感控之科学漫画 / 朱合华等著. — 上海: 同济大学出版社, 2017.5

ISBN 978-7-5608-6552-2

I. ①城… II. ①朱… III. ①地下铁道-铁路工程-图解 IV. ①U231.2-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 233064 号

城市地下空间出版工程·运营与维护管理系列

地铁结构演化与感控之科学漫画

朱合华 等著

出品人: 华春荣

策划: 杨宁霞

责任编辑: 胡毅

责任校对: 徐春莲

封面设计: 完颖

绘图: 曹力楠

出版发行: 同济大学出版社 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

印刷: 常熟市大宏印刷有限公司

开本: 890mm × 1240 mm 1/32

印张: 3.75

字数: 101 000

版次: 2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978-7-5608-6552-2

定价: 28.00 元

版权所有 侵权必究 印装问题 负责调换

《城市地下空间出版工程·运营与维护管理系列》

编委会

总主编

钱七虎

副总主编

朱合华 黄宏伟

编委

(以姓氏笔画为序)

丁春林 王平让 王继飞 史慧飞 许玉德 李海锋

李新国 杨新文 杨新安 束昱 豆海涛 张旭

周宇 倪丽萍 徐琳 郭亨波 彭俊杰 蒋欣

谢雄耀 魏永起

总序

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筑(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，目前市场上的相关著作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是匮乏。

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”、“十三五”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。

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。



2016 年 6 月

前言

城市轨道交通具有运行速度快、运输能力大、安全舒适便捷等特点，已成为城市公共客运交通网络的骨干。城市轨道交通网的地下部分，又称为地下铁道，简称地铁。据统计，到目前为止，仅以上海地铁为例，工作日客流超过 1000 万人次，客流量占全市公交出行总量的 49%。然而，当您乘坐地铁每天穿行于地面以下深达数十米的城市空间时，您的脑海中闪过“安全”二字吗？您对如此平常而又异常重要的城市交通工具，究竟又了解多少呢？承载地铁运行的隧道是什么样子？它像人一样在老化吗？怎么知道它的健康状况？如何应对隧道出现的病害？科学地回答这些问题，对每一位城市居民来说都显得十分重要。

自 2011 年 11 月至 2016 年 8 月间，由同济大学、华中科技大学、中南大学、华南理工大学、南京工业大学和上海申通地铁集团组成的国家级科研团队，开展了国家重点基础研究发展计划（973）“城市轨道交通地下结构性能演化与感控基础理论”的项目研究，期待在某种程度上回答上述问题。项目主要围绕上海城市轨道交通（地铁）地下结构的特点，开展了以下六个方面的研究：① 动态服役环境中的地下结构材料全寿命期性能演化机理；② 地下结构性能与环境耦合作用机制；③ 超长线状地下结构状态的智慧感知理论与方法；④ 动态时空环境效应下的地下结构健康诊断与服役性能预知理论；⑤ 地下水环境下的结构自修复与加固理论；⑥ 地下结构健康服役的数字化保障与控制体系。面对诸多挑战，项目科研团队齐心协力，历经近五年的攻坚克难，取得了丰硕成果，从厚厚的结题报告中可以找出上述问题的答案。在此基础上，我们通过构思、策划、组织绘画，并经多次讨论修改才绘制出本科学漫画，其主要宗旨是力图将深奥的 973 项目研究成果直观、形象地展现出来，让社会大众尽快地了解地铁安全与健康问题。

整个科学漫画涵盖从地铁的诞生（总体介绍）、生病（结构现状及病害）、病历单记录（数字化信息档案），到专家把脉听诊（结构感知）、会诊（结构健康状态评估预知）和治疗（结构修复加固控制）的全过程，具体内容由七部分组成：第一部分的

主题是“地铁，让城市更美好”，描述地铁交通对现代城市的重要性；第二和第三部分围绕“地铁隧道是什么样子的”和“隧道结构也会生病”展开，主要反映项目研究内容①和②的研究成果；第四部分对应项目研究内容⑥的进展，形象地介绍“地铁隧道的数字化信息档案”；漫画的第五、第六和第七部分分别介绍“给地铁隧道把脉听诊、会诊和治疗过程”，是对项目研究内容③、④和⑤的浓缩精炼；漫画最后展现给我们的是，通过广大地铁工作者的不懈努力和辛勤守护，地铁将实现百年健康服役，陪伴我们一直到老。

本书在创作过程得到整个项目科研团队的全力支持，在此特别感谢刘伟庆、彭立敏、黄宏伟、朱宏平、吴波和白廷辉等课题负责人的组织工作，也衷心感谢各个课题组的骨干和参与人员，尤其是李晓军、蔡永昌、王曙光、施成华、罗辉、陈庆、左育龙、韩建德、翁顺、雷明锋、王飞、叶艺超、林越翔、聂欣尧、翟五洲、张硕、罗跃春、臧建波、陈雪琴、林晓东、陈楠、章连洋、庄晓莹等人付出了辛勤的劳动。本漫画的内容是973项目成果的表现形式，在完成973项目过程中参考了国内外已有的技术资料、文献，在此向相关作者和研究机构表示感谢；在出版过程中得到同济大学出版社杨宁霞、胡毅等同仁的鼎力相助，在此一并表示感谢！

我们第一次尝试将973项目研究成果通过漫画形式呈现给读者，尚无先例可依，加之时间仓促，漫画中难免存在不当之处，还望广大读者不吝赐教、指正。

973项目首席科学家 朱合华

2016年6月

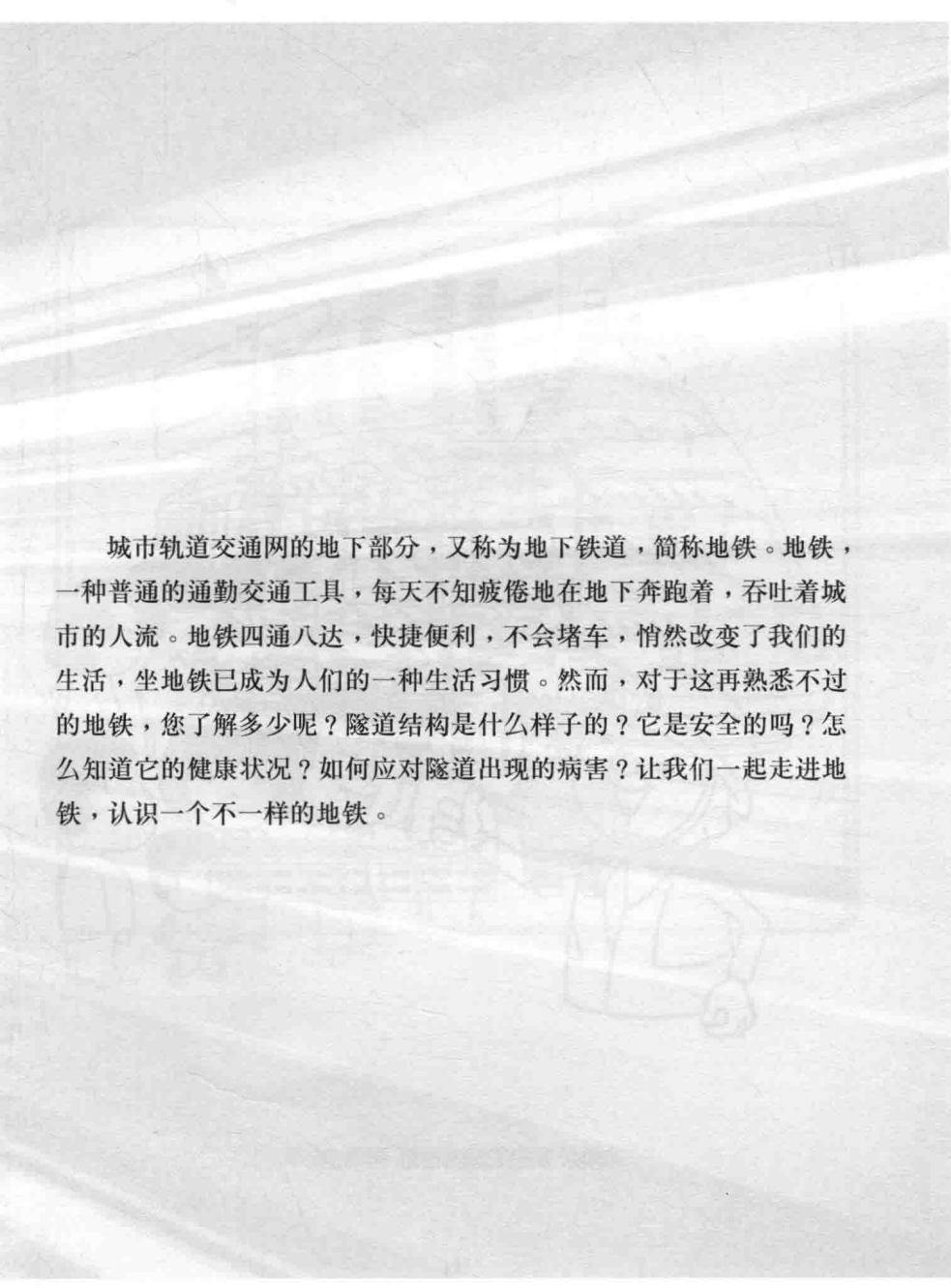
目 录

1 地铁，让城市更美好	012
2 地铁隧道是什么样子的	018
3 地铁隧道也会生病	024
4 地铁隧道的数字化信息档案	038

5 给地铁隧道听诊	062
6 给地铁隧道会诊	084
7 给地铁隧道治疗	094
8 地铁，陪伴着我们的城市健康成长	116

A black and white photograph of a high-speed train in motion at a station platform. The train is blurred horizontally, conveying a sense of speed. The platform has a tiled floor with a dashed safety line and a curved glass and metal barrier. A bright light fixture is visible on the ceiling of the platform.

1 地铁，让城市更美好



城市轨道交通网的地下部分，又称为地下铁道，简称地铁。地铁，一种普通的通勤交通工具，每天不知疲倦地在地下奔跑着，吞吐着城市的人流。地铁四通八达，快捷便利，不会堵车，悄然改变了我们的生活，坐地铁已成为人们的一种生活习惯。然而，对于这再熟悉不过的地铁，您了解多少呢？隧道结构是什么样子的？它是安全的吗？怎么知道它的健康状况？如何应对隧道出现的病害？让我们一起走进地铁，认识一个不一样的地铁。



地铁，沟通起城市的每一个角落。