

MECHANIZED TUNNELLING IN URBAN AREAS
design methodology and construction control
1st Edition

城市地区机械化隧道工程 设计方法及施工控制

Vittorio Guglielmetti
Piergiorgio Grasso
Ashraf Mahtab
Shulin Xu

著

中铁西南科学研究院有限公司
中铁十二局集团有限公司

译



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



城市地区机械化隧道工程 设计方法及施工控制

Vittorio Guglielmetti, Piergiorgio Grasso, Ashraf Mahtab & Shulin Xu 著

中铁西南科学研究院有限公司
中铁十二局集团有限公司

译

中国铁道出版社

2009年·北京

MECHANIZED TUNNELLING IN URBAN AREAS design methodology and construction control 1st Edition / by Vittorio Guglielmetti, Piergiorgio Grasso, Ashraf Mahtab & Shulin Xu / ISBN: 978-0-415-42010-5
© 2008 Taylor & Francis Group, London, UK

Authorised translation from the English language edition published by Routledge, a member of the Taylor & Francis Group. All rights reserved. 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, Routledge 出版公司出版, 并经其授权翻译出版, 版权所有, 侵权必究。

China Railway Publishing House is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版授权由中国铁道出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2009-3726

图书在版编目(CIP)数据

城市地区机械化隧道工程设计方法及施工控制/(英)古利耶梅提(Guglielmetti, V.)等;
中铁西南科学研究院有限公司, 中铁十二局集团有限公司译.

—北京: 中国铁道出版社, 2009. 7

ISBN 978-7-113-10198-5

I. 城… II. ①古…②中…③中… III. ①城市—隧道工程—设计②城市—隧道工程—施工管理 IV. U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 121012 号

书 名: 城市地区机械化隧道工程设计方法及施工控制

作 者: Vittorio Guglielmetti, Piergiorgio Grasso, Ashraf Mahtab & Shulin Xu 著
中铁西南科学研究院有限公司, 中铁十二局集团有限公司 译

责任编辑: 江新锡 徐 艳

电话: 010-51873018

电子信箱: jxinxi@sohu.com

编辑助理: 陶赛赛

封面设计: 余佳玲

责任校对: 张玉华

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街 8 号, 100054)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

版 次: 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 30 字数: 611 千

印 数: 1~1 500 册

书 号: ISBN 978-7-113-10198-5/TU·1042

定 价: 150.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电 (010) 51873170 路电 (021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504 路电 (021) 73187

GEODATA——岩土工程咨询公司

www.geodata.it

本书是由编辑人员和GEODATA S.p.A.公司总裁、首席工程师Piergiorgio Grasso先生共同构思，并由以下成员所组成的GEODATA编辑组共同编撰完成。

主要撰稿人

Giuseppe Astore, Giampiero Carrieri, Elena Chiriotti, Piergiorgio Grasso, Vittorio Guglielmetti, Ashraf Mahtab, Moreno Pescara, Giordano Russo, Achille Sorlini, Luca Soldo, Shulin Xu.

撰稿人

Alessandro Corsi, Riccardo Enrione, Simone Eandi, Vincenza Floria, Gianluca Gulino, Daniele Nebbia, Pierluigi Nionelli, Antonio Raschilla, Luca Repetto, Marica Romano, Alberto Tuninetti, Federico Valdemarin.

附 件

“合同与施工”专题报告特邀意大利科摩市ENGLAW/LADINIABAU的工程博士Gianni Alberto Arrigoni 编著。

审稿专家

我们对以下专家所作的努力和提出的宝贵意见致以万分的感谢：

ITA现任主席Harvey Parker博士；

ITA前任主席，意大利都灵理工大学Sebastiano Pelizza教授；

意大利都灵理工大学Daniele Peila教授。

致 谢

编者对Reza Osgoui 先生在文稿校对和参考文献整理中所提供的帮助表示感谢。

原序言一

城市地区隧道概念的新理解

随着深埋长大隧道工程数量的大幅度增加，施工难度越来越大，隧道及地下工程界在采用TBM掘进隧道方面获得了广泛和深层次的经验。

在城市地区，随着生活质量的不断提高，已经越来越意识到需要维持和保护人类环境。因人类存在所带来的种种限制条件无疑会增加施工难度并提出一系列的挑战，因此迫切需要采取科学、睿智的方法面对这些限制条件。

现今，从世界范围内城市隧道掘进中的一系列事故所获得的宝贵经验使我们认识到隧道掘进机并不是一种为了提高掘进速度而将常规掘进方法的多种操作模式结合起来并能克服所有（或者是大部分）已知困难和不确定因素的全自动机械化工具。相反，隧道掘进机和将要挖掘的隧道构成了一种微妙的、敏感的统一体，对此需要采用新的方法进行管理、合理的组织，并通过对隧道、机械以及环境进行统一研究和设计的方式给予技术支撑。

特别值得一提的是，所有已知的与人口稠密城区隧道工程相关的主要风险因素包括：易受风险影响的房地产和服务设施，不良地层条件，地下水的存在及其造成的影响，以及相对于开挖直径较小的埋深。

本书的重点是城市地区的隧道工程问题。作者所进行的分析和提出的建议不仅仅是针对隧道开挖机械，更为重要的是针对掘进机械正确操作、排水、开挖面稳定性和隧道断面成形方面新的特殊技术，以达到沉陷风险最小化的目的。因此，本书所关注的实际问题在于识别、评估以及管理这些风险。

基于此，我认为本书不同于一般性文章的特别之处在于促使相关人员将城市地区隧道机械化施工看作为一个复杂的系统工程，需要实际或假设的确定条件：针对浅埋隧道进行的初步调查必须提供详尽的信息；科学的设计应做到不将问题留到施工过程中去解决；可靠和正确的机械装备能够对付预知的潜在紧急情况；具有资质的监理人员和技术人员按照计划进行施工管理。在这点上，我们尝试委托都灵理工大学举办为期一年的“隧道工程与隧道掘进机”培训班。

总而言之，这本书令人爱不释手的原因有很多，在这里我想强调以下几点：

1. 本书针对城市地区隧道工程概念提出了新的理解, 将风险对策放在了首位, 这样就为那些在城市隧道工程中可能遭受损坏或坍塌事件打击的决策者们提供了一种可靠的方法, 以帮助他们作出合理和明晰的选择。

2. 本书对隧道掘进机的使用者和操作者来说是非常有用的, 因为他们的职责是使掘进机械以最大工作效率运行, 所以他们必须意识到对于随之发生的风险应该进行良好的评估、预测并使风险最小化。本书对那些我们尝试向之灌输“在科学上保持谦虚”观念(自我批评永远是不够的)的学生同样非常有益, 他们必须尽快地从所能获得的经验中吸取教训。

3. 我欣赏这本书的另一个重要原因是, 此书是由经验丰富的技术人员编写的, 他们通过亲身经历的具体工程实例阐述了风险发生的根源, 如何处理和克服这些风险以及如何在未来避免这些风险。

在隧道行业中, 对危险情况的再分析要比从毫无阻碍的工作中获取荣耀更有益!

Sebastiano Pelizza

意大利都灵理工大学隧道工程学教授

国际隧道协会前任主席(1995~1998)

原序言二

风险管理原则的创造性应用

如果没有基础设施建设，城市就不能获得可持续发展。在很多情况下，隧道是众多基础设施中的最佳选择。因此，在困难和拥挤的城市环境中修建隧道的需求在目前以及将来都非常巨大。城市环境下的种种限制条件不但会使隧道建设具有非常高的挑战性，而且还提出了非常苛刻的实施要求以最大程度地降低对公众、公用设施、建筑物以及环境的影响。

幸运的是，作者富有成效地编写了这本书，书中阐述了现今在城市地区设计和修建隧道所需的特殊方法和相关要求。除了一些短小文章以及会议论文外，目前很少有关于这一重要专题的文献资料，而这些短小文章和会议论文的篇幅有限，不足以详细展开阐述。因此本书的广泛性和全面性使得读者能够详尽地分享作者在该领域的丰富经验和创新成果，而这是其他资料不能达到的。

作者所提出的数据和方法涉及指南、实用的经验法则及复杂的计算机分析，并且毫无保留地提供了在设计、分析、施工和管理方面的经验以及对今后发展趋势的看法。因此，本书不仅传授了经验知识，同时也提供了对当前快速发展的技术水平的展望和创新方向。

作者在书中提出的要点是以参考文献和工程案例来加以论证的，给读者提供了一些实用和常识性的实例。

本书的主要议题之一是风险管理原则的创造性应用并使之系统地贯穿于每个项目的规划、设计及施工过程中。作者提出了一种连续的、充分的以及详细的风险评估原则，通过这些原则可以实际而且实用的方式将项目的各个阶段和各种任务互相联系起来。

岩土工程的不确定性、可施工性、管理、健康以及安全问题，再加上风险的规避和残余风险的接受等都是基于常识以实用的方式来介绍的。同时给出了一些实例和指导方针，而不是一些抽象观念。

虽然本书主要是论述大直径隧道有关风险系统管理的原则和方法论，但也可应用于城市环境下其他隧道和地下空间的修建。

再次对作者无私地让大家分享其经验表示感谢。

Harvey W. Parker

Harvey Parker & Associates有限公司总裁

国际隧道协会主席

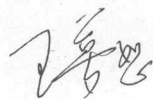
序言一

大量的工程实践表明,因地质和水文地质等条件的复杂性及地质勘察技术、现场条件等的限制,隧道工程,尤其是城市隧道工程存在着众多的不确定性以及较高的风险。

近年来,城市隧道工程大多采用机械化开挖。虽然机械化开挖具有安全、快捷等优点,但工业化的开挖技术并不能完全消除隧道工程潜在的固有风险,因人为因素或非人为因素导致发生的工程事故给国家和人民生命财产造成了巨大的损失。所留下的深刻教训促使隧道科技工作者应深入研究:为什么会发生这些事故?如何预先掌握事故发生的可能性和概率?如何在规划、设计、施工阶段采取措施,减小事故发生的可能性以及事故发生后的损失程度?

隧道及地下工程风险管理研究已引起国际隧道界的高度重视。2003年9月英国隧道协会和英国保险协会组织编写了《隧道工程风险管理联合规则》,2004年国际隧道协会出版了《隧道工程风险管理指南》。我国也于2004年11月成立了中国土木工程学会隧道及地下工程分会风险管理专业委员会,2007年10月出版了《铁路隧道风险评估与管理暂行规定》等。与此同时,一些隧道及地下工程已经开始进行风险研究和风险管理工作。

本书作者积多年城市隧道工程研究、实践经验,提出了贯穿城市隧道工程规划、设计、施工各阶段的风险识别、风险量化、风险减缓的方法和措施,具有很强的实践性和指导性,值得我国隧道技术人员学习和借鉴。他山之石,可以攻玉,希望本书的翻译出版,能够进一步促进我国隧道及地下工程的风险管理研究,进一步提高管理部门、设计部门和施工单位的风险管理意识和水平,确保隧道工程安全建设。



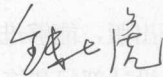
2009年5月

序言二

城市地下空间的开发和应用由来已久。随着人们生活质量的提高和拥挤的城市环境要求,越来越显现其重要性和急迫性。我国改革开放三十年来,城市建设发展突飞猛进,日新月异。地下空间的开发和利用已成为城市开拓空间的首选。

今天,我国隧道及地下工程由传统的矿山法施工转向机械法开挖有了重大突破。由于机械开挖具有安全、可靠、快速的优势,其已成为众多城市隧道及地下工程的首选,特别是在不适宜采用矿山法建造隧道及地下工程的城市环境中。目前某些城市在进行隧道机械化开挖过程中发生了不应发生的事故,给人民的生命财产带来了不应有的损失。究其原因有三:一是对地质、水文地质条件及风险研究认识不够;二是引进技术应用与实际有异;三是业主、设计、施工等各方合作不够紧密。

本书是国际著名隧道工程咨询公司Geodata S.P.A主席迦苏·皮亚佐治奥与二十多位工程师、地质学者,经过二十多年合作研究的成果。作者对城市机械化隧道工程风险识别、风险量化、风险评估、风险防范等作了详尽阐述,特别是针对风险提出了业主、设计、施工等各方的相应责任及应采取的对策措施。本书由中铁西南科学研究院有限公司和中铁十二局集团有限公司组织人员进行翻译、校对和统稿。本书中文版的出版将有助于学习、借鉴国外的先进经验和实用成果,探讨研究适合我国城市机械化隧道工程的设计及施工控制方法,为我国城市地下工程开发利用和发展提供值得借鉴的风险管理原则和方法。



2009年5月

译者的话

随着中国国民经济的健康持续发展,城市化进程的进一步加快,一些特大城市正在规划或修建城市轨道交通工程。据不完全统计,“十一五”期间,全国特大城市的地铁和轻轨通车里程将超过1 500 km,投资总额约6 000亿元。另外有30多个城市正在进行轨道交通的前期工作,总规划里程超过5 000 km,总投资估算超过8 000亿元,北京、上海、广州每年更是以30~50 km的速度来延伸其轨道交通线路的长度,中国城市轨道交通建设无疑进入了高峰期。

在城市地区修建隧道工程,面临诸多限制条件和风险。城市地区高楼林立,人口众多,地质条件复杂,隧道修建将不可避免地影响到社会、经济等各个方面。因此隧道施工安全问题应引起各方高度重视。

本书由意大利资深专家在自身实践基础上总结、提出了一套贯穿工程始终的风险识别、风险降低方法及相应措施。本书内容丰富、资料翔实、图文并茂,在一定程度上展现了国外在隧道工程,特别是城市机械化隧道工程风险防范方面的先进理念和最新科技水平。

本书由中铁西南科学研究院有限公司王彬、兰利敏、王华、洪代玲、谢麓翻译,严金秀研究员审校,中铁十二局集团有限公司王法岭副总工程师、姚永勤副总工程师、邢利军高级工程师统稿。本书翻译过程中,得到了王梦恕院士、钱七虎院士的热情关心和帮助,并为本书撰写了序言。在本书翻译、编辑、出版过程中,中铁十二局集团有限公司给与了大力的支持和帮助,使本书最终得以付梓,在此对上述人员的大力支持和热情帮助表示由衷的感谢!

尽管我们已为全书翻译付出了艰辛的努力,但因文化差异,时间仓促,难免有误,敬请专家和读者批评、指正。

中铁西南科学研究院有限公司

中铁十二局集团有限公司

2009年5月

前言

最近20年，城市对隧道机械化开挖的需求日益增大，尤其是在全球扩张的背景下修建了大量的地下铁路隧道以及城市道路隧道。

与城市地区隧道施工相关的危险包括不良地质、高地下水位、浅埋（通常是接近可行性的极限）以及由隧道开挖引起的地表沉降所造成的对隧道上方既有建筑物和设施的潜在破坏。

为了控制隧道开挖面和隧道拱顶的稳定性以及最大限度地降低地表沉降，已经开发了一些特殊的技术。为了达到预定的目标而对这些技术的应用则要求使用本书所提出的方法，此方法称为PAT（隧道掘进计划），并且是以图1所示的风险管理原理为基础的。

风险管理计划（RMP）是隧道掘进计划（PAT）的重要组成部分，它包括以下几个步骤：

- 风险识别。
- 风险量化。
- 对所识别风险的初步应对（减缓措施，包括选择正确的设计-施工方案）。
- 残余风险评估。
- 残余风险对策的初步确定。

关于机械化隧道工程的问题在很多文章中都进行了阐述，但是很少有专著对此进行探讨，而且，城市地区的机械化隧道掘进还没有得到足够的重视。本书将填补这方面的空白。

按照本书的编排构架，最先涉及的是城市地区隧道施工一般都具有高风险这个事实，这些风险可能对建筑物和/或人类造成潜在的损害。因此，必须对这些风险进行识别、评估和管理。

换句话说，在进行隧道设计和施工之前首先需要识别与开挖过程（地质、设计、施工）相关的所有潜在危险以及评估它们发生的可能性和潜在后果（影响和损害）。第二步则决定是否要对所识别的风险采取缓解措施。如果缓解是必须的，那么最后一步就要制定相应对策，以便能在施工过程中启动这些预案。

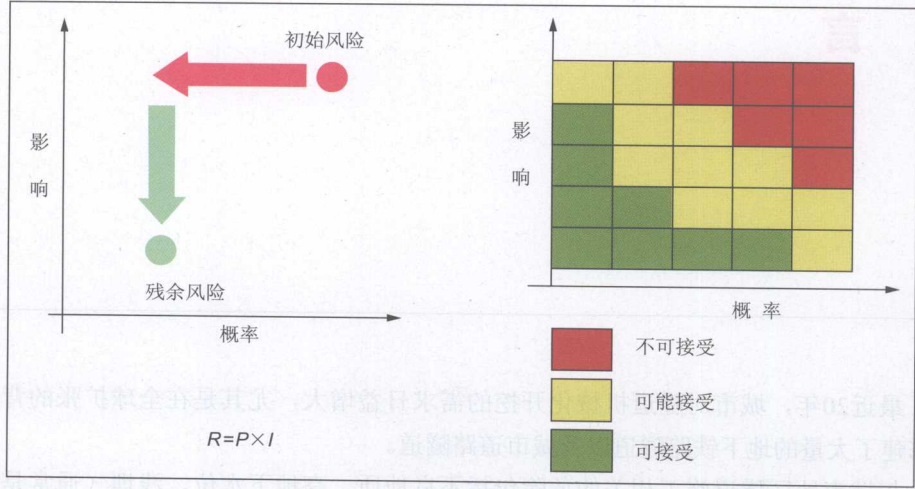


图1 风险管理原理

风险管理计划的应用要求采用概率方法来进行设计，并且应核查最终的设计方案。如果需要的话，还应在实施过程中运用PAT方法对其进行优化（图2）。PAT是一种“动态”方法，允许在已施工段所获结果的基础上对待建隧道段的设计和施工控制参数进行变更。

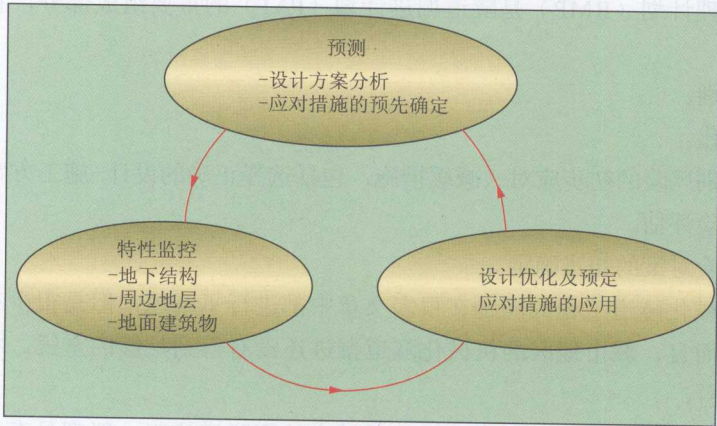


图2 PAT原理

书中还阐述了可以通过实时监控系统、GIS（地理信息系统）平台和互联网来促进PAT的有效应用，以达到合同各方交流信息的目的。所有监控数据，包括来自隧道掘进机可编程序逻辑控制器（PLC）以及安装在结构、地层和建筑物上各种仪器的数据均按照它们发生的位置和时间存储在数据库中。

这个数据库就像“飞行记录器”一样，它不仅有助于在飞机坠毁之后对事故原

因的调查,而且还可以进行主动的和连续的控制和干预以避免飞机坠毁。

本书是GEODATA S.p.A.公司20多位工程师和地质技术人员通力合作的成果,同时也是GEODATA S.p.A.公司在岩土工程学领域重要活动的体现。岩土工程学毫无疑问是一门综合的学科,它需要对不同的技能进行有效的整合才能成功。

在拥挤的城市环境中的地下结构工程必须基于以下假设,那就是其主要的输入参数几乎都是不确定的:地层特性的岩土和地质力学判释,隧道结构和周围环境之间相互影响的评估,施工变量和市场因素,以及所建地下结构最终使用者的意见和反应。

我们认为隧道的“设计”是一个以概率为基础的“反复”行为,必须包括:

(1) 与通过施工逐步揭示的实际情况进行比较。(2) 通过动态和连续的设计过程(实施、监控、检查以及设计优化),按照“不断变化的”实际情况修正初始设计方案以及调整设计图,直到工程完工,此时才应是设计工作结束的时候。

由此得出这样的结论:施工,尤其是施工过程的控制,也应被视为是隧道设计的重要组成部分。

不确定性和风险作为现实问题要求现代人学会去接受它,还要求现代的设计者和承包商在风险的基础上通过对潜在事件以及危险的逻辑分析和管理去不断地面对它。

本书向隧道设计人员提出的建议是:勇敢地面对风险、了解风险、量化风险和降低风险,换句话说,就是通过设计、施工过程中的监控,根据最佳实践经验控制施工作业和修正设计等来管理风险。

本书由8个章节、7个附录以及1个专题报告组成。

第1章指出了城市隧道工程所要面临的挑战,重点说明了与“设计方法”相关的内容,这也是本书的内容范围。

第2章介绍了风险管理理论,认为城市项目必须进行风险管理,并阐述了隧道掘进计划(PAT)。

第3章的重点是工程布局和线路设计,对此要特别考虑环境要求以及隧道沿线既有的种种限制条件,包括隧道掘进机后勤服务方面的特殊问题。

第4章介绍了开挖方法的正确选择,以应对根据风险管理计划(RMP)识别和评估的风险。本章强调指出了在城市环境下作业的机械应是具有多种特性的独特机械,因此可以将其归类为“城市隧道掘进机”,或简称为“城市机械”。机械的正确选型(包括配备恰当的设备)是保证项目成功的重要因素。因此,从风险分析意义上讲,机械的正确选型应该被认为是控制开挖所诱发沉降(或工作面失稳或者坍塌)的初步风险减缓措施之一。

第5章的主题是隧道设计,分为以下4个部分:

- 研究隧道开挖可能对隧道上方和周围建筑物及其他结构所造成的影响后果,确定需要的应对措施,包括地层处理以及既有结构加固;
- 开挖工作面支撑压力的设计,这是确保维持稳定性要求的重要因素(但不是唯一的);

- 永久衬砌的设计, 永久衬砌由预制混凝土管片组成;
- 衬砌外缘面和已开挖隧道断面间盾尾空隙的注浆设计。

第6章主要是开挖控制系统的研究, 为此要采取实际的和恰当的“二级应对措施”以进一步抑制残余风险。本章6.1节介绍的是PAT实施程序。6.2和6.3节分别介绍了泥水盾构和土压平衡盾构使用中的事故预防措施。6.4节介绍了监控系统, 所记录的数据应收集及集成于GIS-WEB平台中, 使得合同参与各方都能够读取所有的信息。

第7章的主题是健康和安全, 这是设计和施工控制行为的重要组成部分, 而且在城市隧道工程中不能忽略, 即使近几年在这方面已经取得了很重要的成就。从阿尔卑斯山大型隧道工程建设开始, 当时统计的伤亡事故发生率是10件/km, 到了20世纪80年代则下降到了1件/km的水平, 而今天减少到了0.1件/km的水平。遗憾的是, 没有关于事故的准确统计数字, 但正如前面说列举的, 其下降趋势是毋庸置疑的。无论如何, 我们都不应该降低警戒标准, 因为现在我们不但可以挽救人们的生命, 防止隧道作业人员受伤, 还可以通过对安全措施的高度重视来提高作业人员的生活质量以及工作环境的质量。

第8章列举了生动的工程案例, 介绍了作者近年在城市机械化隧道工程中所获得的最重要的经验。通过应用和逐步完善现代化技术手段(如PAT, 即施工作业的设计和控制在), 解决了城市环境下隧道掘进和开挖面支撑方面的各种困难。

附录1根据ITA(国际隧道协会)的分类, 对隧道掘进机进行了概述。附录2简要介绍了欧洲、北美以及日本的隧道掘进机制造商的概况。附录3较为详细地介绍了针对地质、水文地质和土工技术参数的现场及实验室测试方法, 这些测试方法将被应用于工程的各个阶段。附录4总结了工作面支撑压力的计算方法, 这在5.2节中进行了论述。附录5给出了风险管理计划的实例, 此实例是以巴黎EOLE工程项目中RER的E线施工和圣彼德堡地铁1号线施工经验为基础。这两个项目都在第8章中进行了总结。附录6描述了使用土压平衡盾构进行隧道掘进的典型程序实例, 该实例是以波尔图、都灵以及博罗尼亚等项目经验为基础的, 在8.6节中也对此进行了讨论。附录7概述了在意大利城市环境中完成的机械化隧道工程案例。

最后, 我们认为将“业主”或“雇主”与“施工方”或“承包商”维系在一起的合同问题应该在城市隧道工程设计—施工—控制的反复互动过程中承担非常重要的角色。但是, 我们没有这方面的知识积累, 因此我们邀请了独立咨询师——Gianni Alberto Arrigoni工程博士为此撰写了“专题报告”。Arrigoni博士作为工程师和合同专家拥有丰富的国际隧道工程管理经验, 他接受了我们的邀请, 撰写了关于城市地区机械化隧道工程“合同与施工”的专题报告。

Piergiorgio Grasso

意大利都灵Geodata S.p.A 公司总裁、首席工程师

目 录

第1章 绪论：城市隧道工程及面临的挑战	1
1.1 机 遇	1
1.2 城市隧道工程所面临的特殊挑战	4
1.3 通向成功的正确方法	5
1.4 机械化隧道工程简史	6
1.5 本书适用范围	12
第2章 初始风险：定义、分析及管理	16
2.1 基本定义	17
2.2 城市机械化隧道工程初始风险源	17
2.3 风险分析与管理：风险管理计划	19
2.4 针对风险情况进行设计	31
2.5 运用隧道决策辅助系统（DAT）在设计阶段对工期延误和成本超支 风险进行量化	37
2.6 实施隧道掘进计划（PAT），控制残余风险	44
第3章 选择低风险的隧道定线	46
3.1 概 述	46
3.2 城市隧道的总体布局	48
3.3 定线的限制条件和具体功能要求	48
3.4 相对于隧道线路的选择，城市环境的限制条件及独特的特征	56
3.5 起点和终点、盾构的始发竖井和接收竖井、后勤作业场地	62
3.6 TBM掘进区间隧道和车站施工之间的关系	63

3.7 小 结	63
第4章 初始风险的初步对策：“城市掘进机”及其基本特征	65
4.1 重大决策的制定原则	65
4.2 通常的解决办法：“城市掘进机”	67
4.3 “城市掘进机”的主要部件	69
4.4 泥水盾构和土压平衡盾构：功能原理及技术现状评述	76
4.5 选择水力盾构和土压平衡盾构所要考虑的一些因素	90
第5章 隧道设计	97
5.1 隧道施工诱发沉降的预测、控制及其影响评估	97
5.2 工作面支撑压力设计	132
5.3 预制混凝土管片衬砌的设计	151
5.4 尾部空隙回填	190
第6章 隧道施工控制	201
6.1 PAT的更新与执行	201
6.2 开挖控制：泥水盾构/水力盾构（SS/HS）	205
6.3 开挖控制：土压平衡盾构（EPBS）	217
6.4 集成的实时监测系统	226
第7章 健康与安全	237
7.1 总的考虑	237
7.2 作业环境	238
7.3 关键工序	240
7.4 其他的关键因素	247
7.5 突发事件	250
第8章 典型工程案例	252
8.1 巴黎EOLE工程	252
8.2 圣彼得堡地铁	259
8.3 波尔图轻轨	265