

Design and Construction of Tunnels

Analysis of Controlled Deformation
in Rock and Soils (ADECO-RS)

隧道设计与施工 ——岩土控制变形分析法 (ADECO-RS)

Pietro Lunardi
铁道部工程管理中心
中铁西南科学研究院有限公司

著
译

中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

隧道设计与施工 ——岩土控制变形分析法 (ADECO-RS)

Pietro Lunardi

著

铁道部工程管理中心
中铁西南科学研究院有限公司

译

中国铁道出版社

2011年·北京

1145
22

Translation from the English language edition:
Design and Construction of Tunnels, Analysis of Controlled Deformations
in Rock and Soils(ADECO-RS)by Pietro Lunardi

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008

Springer is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

此版本根据英文版本翻译:

隧道设计与施工——岩土控制变形分析法(ADECO-RS)

作者:皮埃特罗·卢纳尔迪

2008 德国柏林 & 海德堡施普林格出版社版权所有,侵权必究。

施普林格出版社是施普林格科技商业出版公司的分社

北京市版权局著作权合同登记号:01-2011-5678

图书在版编目(CIP)数据

隧道设计与施工——岩土控制变形分析法(ADECO-RS)/[意]卢纳尔迪
(Lunardi,P.)著;铁道部工程管理中心,中铁西南科学研究院
有限公司译. —北京:中国铁道出版社,2011.10

书名原文:Design and Construction of Tunnels Analysis of
Controlled Deformations in Rock and Soils ADECO RS

ISBN 978-7-113-13709-0

I. ①隧… II. ①卢… ②铁… ③中… III. ①隧道工程:岩土
工程—研究 IV. ①U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 205252 号

书 名: 隧道设计与施工——岩土控制变形分析法 (ADECO-RS)

作 者: Pietro Lunardi 著

译者: 铁道部工程管理中心 中铁西南科学研究院有限公司 译

责任编辑: 江新锡 曹艳芳 电话: 010-51873017

编辑助理: 江新照 陶赛赛

封面设计: 冯龙彬

责任校对: 张玉华

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(北京市西城区右安门西街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: 2011年10月第1版 2011年10月第1次印刷

开 本: 720 mm×1 000 mm 1/16 印张: 33.5 字数: 663 千

印 数: 1~1 500 册

书 号: ISBN 978-7-113-13709-0

定 价: 180.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

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

作者简介



Pietro Lunardi先生系交通运输领域土木工程师、地下工程设计与施工领域全球知名专家、众多创新方法的发明人。例如：米兰铁路联络线威尼斯车站蜂窝状拱技术——他因此被美国《工程新闻》杂志提名为“建筑业年度风云人物”；旋喷注浆围岩改良加固技术；全断面机械预切槽技术和玻璃纤维结构件加固掌子面技术；在设计、施工方面具有革命性意义的新工法，即岩土控制变形分析法（ADECO-RS）。本书详细介绍了该新工法，它第一次使人们能在极端困难的地质-土工技术条件和应力-应变状态下修建隧道，并能可靠地预测工期和成本。

Pietro Lunardi先生曾是佛罗伦萨大学工程系“岩土改良”专业和帕尔马大学工程系“土壤保护与水土保持”专业讲师。另外还在许多公共机构担任职务，包括在第二届贝卢斯科尼政府中担任基础设施与运输部部长，任期5年（2001年~2006年）。

Pietro Lunardi先生出版著作130多部，主持隧道及岩土工程专业的国内、国际学术会议40多场。

译 序

自1888年修建第一条狮球岭隧道以来,我国隧道及地下工程修建技术经历了人力开挖、小型机械凿岩、大型机械化施工等发展阶段,在勘测设计、施工、科研等方面取得了众多重大成就和创新。特别是改革开放以来,我国隧道修建技术得到了飞速发展,已成为世界上隧道修建数量最多、技术发展最快的国家。在我国隧道工程技术发展过程中,隧道工程技术人员学习、借鉴国外先进技术,引进了新奥法、挪威法、TBM法等,同时针对我国复杂的地质条件创造性地提出了浅埋暗挖法、富水岩溶隧道释能降压法等,促进了世界隧道建设的技术进步。

岩土控制变形分析法,也被称为新意法,是意大利著名学者Pietro Lunardi先生历尽多年的探索与实践并在前人理论上创立的。该工法针对隧道变形反应的真正起因,提出了一整套理论方法和实际工程措施。特别是在软弱破碎地质条件下,通过采取预约束和约束措施加固掌子面-超前核心土和隧道围岩,能够实现全断面掘进施工,具有安全、高效,控制工期和费用的优势。该工法已纳入意大利隧道设计施工规范中并在欧洲众多隧道工程中得到了成功运用。

放眼国际,博采众长,他山之石,可以攻玉。希望本书的翻译出版能起到抛砖引玉的作用,旨在通过引进消化吸收再创新,推动我国隧道及地下工程技术更上一层楼。



2011年10月

译者的话

意大利Pietro Lunardi先生具有丰富的隧道咨询、设计、施工经验，在长达数十年的隧道工程实践中，通过对数百座隧道工程进行理论和试验研究，提出了岩土控制变形分析法（亦称“新意法”）。岩土控制变形分析法的核心是强调隧道掌子面前方超前核心土的加固对于控制围岩变形的作用，通过勘察、分析，预测围岩的应力-应变状态，并依据隧道开挖后围岩稳定、暂时稳定、不稳定将围岩划分为A、B、C三种变形行为类型，在此基础上进行信息化设计和施工，确保隧道安全穿越各种地层(尤其是复杂不良地层)。岩土控制变形分析法，尤其是对复杂多变的不良地层，不仅可以有效控制工程进度、工程质量和施工安全，还可以降低工程造价，具有较大的推广价值。

近年来，岩土控制变形分析法开始引入中国并在武广客运专线浏阳河隧道等工程进行了相关试验。本书的翻译出版对于全面、系统了解岩土控制变形分析法，以及在工程中更好推广应用具有重要参考价值。

本书翻译：王 彬、兰利敏、刘亦严、杨积凯、谢 薏。

审校：肖广智、严金秀。

在使用中如发现错误和不妥之处，敬请读者提出并将意见反馈至铁道部工程管理中心。

铁道部工程管理中心
中铁西南科学研究院有限公司
2011年10月

前 言

由于地质灾害以及缺少相适当的勘察、设计、施工方法来处理这些称之为“困难”的地质问题，使地下工程的设计和施工颇具风险而不像其他土木工程一样颇有把握，而实际上它们本身是具有成功前景的。因此与类似的地面工程相比，地下工程总是处于从属地位。在过去，一般是在地面工程不现实或作用不大时才考虑地下工程。

但是，随着地质勘察领域取得决定性的进展，加之计算机强大的计算能力，特别是适合各种围岩条件的开挖技术的出现，为地下工程技术取得质的飞跃发展创造了条件。地下工程需要克服的一个长久不利因素就是要找到一种先进、通用的有效设计方法。这种设计法能整合和开发各种潜能并在设计和施工阶段对设计人员给予指导，而这恰恰是地面工程所具有的独特优势。实际上直到现在，对于“地下工程的设计与施工包括些什么”这个老生常谈的问题，无论是在设计形式还是设计内容上，许多设计工程师的回答仍各不相同。这也并不奇怪，因为这类问题的提出总是比较模糊。直到前不久，因知识和手段方面的欠缺还不得不在隧道掘进期间临时修改设计。因此这类施工设计仅是对线路几何形状和隧道断面类型进行确认而已，而开挖方法、隧道稳固方法以及采用何种衬砌等问题大多仍需在隧道掘进施工期间确定。

因此“观察”围岩对开挖的反应，以寻求合适的隧道短期和中期稳固对策一直是地下工程的根本所在。上个世纪一些工程师力求围绕“观察”实践寻找到一种设计、施工方法，尽管他们所基于的科学理论是错误的，但在当时是一个伟大的进步。一开始这给他们带来了很大的成功，尽管出现了众多的失败，但这些方法还是得到了推广和应用，这得利于因不可理喻的从众心理而没有可以替代的设计、施工理念。在以新奥法（NATM）为首的这些方法中，不仅发现其在真正困难的土工技术和岩石力学条件下显得有些力不从心，而且显得有些明显过时，因为它们本质上不能针对费用和工期进度方面制定施工计划，而这一切无疑又是现代社会对资源进行透明、节约型管理的首要要求。

大约十多年前，作者提出了岩土控制变形分析法（ADECO-RS），它引起了

人们极大的兴趣，同时也带给人们一定的疑虑。我和我的研究团队抛开传统思想，经过长时间的理论、试验研究，开发出了这样一种方法。它最终认识到了隧道静力和动力三维特性的重要性。如果能采纳这一认识并正确地利用此新技术，就能实现期待已久的质的飞跃！它使地下工程第一次实现了在施工前完成设计工作，并在规划、施工成本和工期计划等方面具有优势。

之后，在300多千米的隧道线上对此方法的有效性进行了试验，其中至少有150多千米地段处于非常困难的应力-应变条件下。对于这些工程问题在众多学术会议和发表的出版物中都进行了全面的讨论，而且毋庸置疑地证明了该方法的正确性。这种分析法能预测地下工程的工期和成本，具有较高的预测准确性（与事先掌握的地质情况成正比），能将意外事件的发生率降至最小程度，并能消除以前在相同围岩和埋深条件下总会遇到的隧道掘进问题。而且这种分析法能估算地下工程的成本-效益比率，在选择设计方案时成本-效益比率是重要的决策参数。

因此我们的研究方向是正确的，但仍需进行大量的调查和研究。本书出版的目的不仅是为了尽可能全面详细介绍此分析法的基本原理，指出应如何遵循这些原则使地下工程的设计与施工获得前所未有的准确性和可靠性；更为重要的是为科学界提供了一本非常有价值的参考书，围绕此书大家可以齐心协力，进一步完善岩土控制变形分析法，甚至超越此方法。

Pietro Lunardi

致读者

在撰写此书时，我想尽量做到通俗易懂而又不乏阅读趣味性，尽管其内容涉及许多技术和专业知识。因此我充分利用过去做大学讲师的经验，力求引起读者进一步探究的好奇心。为此，我有时甚至涉猎那些远离此领域的学科，我感到通过这些能更直接地进行解释说明并能使读者潜心理解非常复杂的原理。

本书贯穿了两部分内容，即奇数页为此书的主题内容，偶数页内容则可独立阅读。通过这种方式，我希望读者能够更好地理解本书内容。

鸣 谢

本书汇集了作者过去40多年来在众多施工现场、大学和其他专业领域所获得的知识和经验。为此我想对那些长久以来给予信任、教育和指导的人士表示衷心感谢！他们是来自Capistrello 的Angelo Palleschi先生，作为隧道工作者，他在长期的隧道现场工作中给予我极大的帮助；Angelo Farsura先生，一名出色的企业家，他让我在20世纪60年代和70年代有幸来到Gran Sasso 隧道现场工作，此隧道是近50年最复杂和引人注目的隧道工程。我想要感谢的人还有很多，这里就不再一一赘述了。

最后，我还要特别感谢与我亲密工作的Renzo Bindi, Giovanna Cassani 和Alessandro Fodaracci先生！正是他们的聪明才智帮助我提出了这一地下工程设计、施工新方法。我希望此方法能指导年轻的工程师研究并完成这些不同于一般土木工程的地下工程，因为地下工程中设计工程师要面对的地质条件、土工技术条件和应力-应变条件非常复杂、多变。

Pietro Lunardi

目 录

第1章 隧道掘进过程的动力学特性

- 1.1 基本概念 3
- 1.2 围岩状况 7
- 1.3 作用情况 7
- 1.4 反作用情况 9

第2章 围岩的变形反应

- 2.1 理论和实验研究 13
- 2.2 超前核心土作为隧道稳定工具 57
- 2.3 超前核心土作为隧道技术标准的参考条件 59

第3章 运用岩土控制变形分析法 (ADECO-RS) 分析围岩变形

- 3.1 理论和实验研究 63
- 3.2 数值分析 75
- 3.3 研究成果 81

第4章 运用岩土控制变形分析法 (ADECO-RS) 控制围岩变形

- 4.1 掌子面前方的控制 87
- 4.2 掌子面后方的控制 87

第5章 岩土控制变形分析法 (ADECO-RS)

- 5.1 新方法的产生 97

第6章 勘察阶段	111
6.1 引言	111
第7章 诊断阶段	139
7.1 背景	139
7.2 诊断阶段的基本概念	139
7.3 确定具有相同应力-应变行为的各区段	141
7.4 预测行为类型的计算方法	143
7.5 评估变形反应的发展情况	149
7.6 洞门	151
7.7 小结	153
第8章 处治阶段	159
8.1 背景	159
8.2 处治阶段的基本概念	161
8.3 开挖系统	165
8.4 机械化或常规开挖方法	169
8.5 提供约束作用的隧道掘进机	173
8.6 常规开挖方法的设计	175
8.7 稳固措施	179
8.8 典型的横纵断面组合效应	187
8.9 施工变更	195
8.10 隧道断面类型的验算	197
8.11 处治阶段的特殊问题	201
8.12 小结	211
第9章 实施阶段	221
9.1 背景	221
9.2 实施阶段的基本概念	221
9.3 开挖	223
9.4 洞室的预约束	227

9.5 洞室约束措施	279
9.6 防 水	293
第10章 监测阶段	297
10.1 背 景	297
10.2 基本概念	299
10.3 量 测 站	299
10.4 施工监测系统的设计	307
10.5 隧道服务期间的监测	311
10.6 量测结果判释	315
10.7 反分析过程	327
附 录 隧道工程实例	351
附录A 罗马-那不勒斯新建高速铁路的设计与施工	355
附录B 博洛尼亚-佛罗伦萨高速/大运量铁路新线隧道设计与施工	379
附录C Tartaguille 隧道	417
附录D 蜂窝状拱施工技术	433
附录E 人工覆盖层 (A. G. O.)	455
附录F 位于困难地层段的隧道洞口施工	471
附录G 在不中断使用前提下对公路、高速公路和铁路隧道进行加宽	501
参考文献	517

从研究到岩土控制变形分析法的提出

隧道施工的难易并不在于埋深或围岩条件，而在于隧道所处地层的应力-应变条件，或者能否控制洞身稳定性，这取决于我们对原有自然平衡的了解程度、采取正确的设计方法及合适的开挖方法和稳固措施。

第1章

隧道掘进过程的动力学特性

1.1 基本概念

地下工程施工是一个特别复杂的土木工程问题，因为预先确定地下工程的设计参数远比地面建筑要困难得多（图1.1）。

地面建筑施工是对一些已知强度和变形特性的材料（钢筋、钢筋混凝土等）进行一步一步的组装，从而建成承载预定载荷的建筑物过程。这些构筑物的受力平衡状态是可以预测的；但是地下工程施工与此不同，它要破坏已有的平衡状态，并且是在大概了解的条件下进行“有计划的扰动”。

地下工程施工中，为设计和结构工程师熟知、但并未引起足够重视的另一个特性是：在大多数情况下，地下建筑物承受最大载荷并不是在施工的最后阶段，尽管隧道完工后承载了预定的外加载荷。最大载荷产生在施工的中间阶段。中间阶段是一个非常脆弱的时期，因为开挖引起的扰动效果还没有完全被衬砌所约束，岩体原位应力由于洞室开挖而产生偏移和传递（成拱效应），致使洞壁周边区域应力增大。

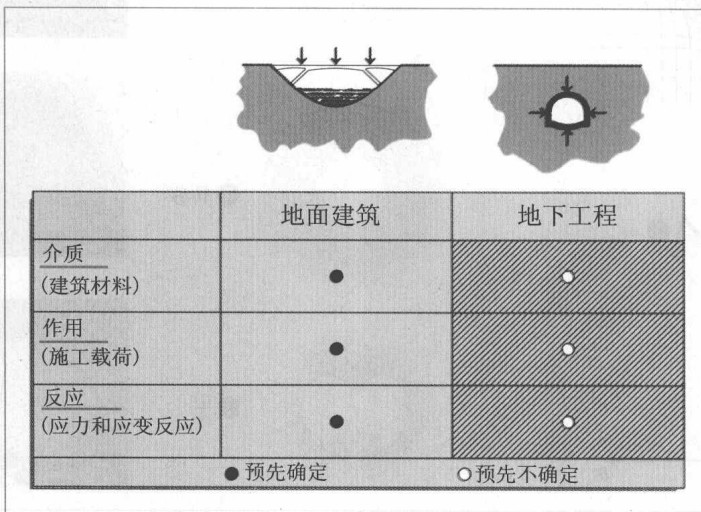


图1.1 地下工程和地面建筑的不同点