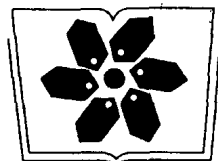


李世輝 等著

隧道支护 设计新论

典型类比分析法应用和理论

科学出版社



中国科学院科学出版基金资助出版

隧道支护设计新论

——典型类比分析法应用和理论

李世辉 等著

科学出版社

1999

A New Concept of Tunnel Support Design
——Application and Theory of
Precedent Type Analysis

Li Shihui et al.

SCIENCE PRESS

1 9 9 9

图书在版编目(CIP)数据

隧道支护设计新论——典型类比分析法应用和理论/李世辉等著.-北京:科学出版社,1999.2

ISBN 7-03-007053-4

I. 隧… II. 李… III. 类比-分析-应用-隧道工程-支撑-设计
IV. U452.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 30300 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1999年2月第 一 版 开本:850×1168 1/32

1999年2月第一次印刷 印张:18 1/4

印数:1—2 000

字数:465 000

定价:46.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

序 一

本书以开放的复杂巨系统理论为指导,结合应用了有关岩石力学、工程地质力学、系统科学和人工智能等多门学科的精华,充分而又详尽地论述了地下工程与隧道围岩稳定快速分析与超前预报智能化系统的理论和方法。书中阐述的典型类比分析法,较之过去一般的工程类比方法,无论在理论内涵或工程实用上,都更具优越性和创新特色,使隧道工程设计从目前的定性水平,提高到理论-经验-信息资料与计算机技术相结合的综合集成定量化水平,这是十分难能可贵的。

本书素材中的一部分引自1994年5月由本人主持鉴定的“坑道工程围岩稳定分析超前预报智能系统研究”,该项成果经评审认定,总体上达到国际先进水平,其中若干方面居于国际领先地位,现已在一些地下工程的设计施工实践中成功采用;另一部分取自即将组织鉴定的另一课题的研究成果,属于上述典型类比分析法在理论与应用方面的进一步发展。

相信本书的早日问世对我国这一子学科领域将有很好的推动促进作用,并将受到广大地下工程界同行们的

欢迎,是一本极有价值的参考用书。

作者李世輝高工与本人在学术上交往多年,他勤奋钻研,工作刻苦踏实,在本书中反映了他新颖的构思与成功的工程实践,这是他与合作者近年来写述的一本学术佳作,实在可喜可贺。为此,我乐于支持并推荐它的出版。是为序。

陈 钧

1997 年仲春

于同济大学

序 二

李世輝先生继 1991 年出版的《隧道围岩稳定系统分析》之后,又将与合作者出版《隧道支护设计新论——典型类比分析法应用和理论》。这是使典型类比分析法的理论更充实,方法更完善,工程应用范围更广泛的一本好书。我,作为岩石力学界的一名老兵,不仅为此书的出版热烈祝贺!同时,对世輝先生的刻苦钻研,锲而不舍,勇于创新的精神表示钦佩!

新奥法传入我国之后,冲破了隧洞支护的传统设计方法,充分发挥了围岩的自承能力,它把现场监测、施工和设计有机地结合了起来;紧接着,位移反分析法又伴随而来。这不仅激起隧道支护设计时代的变化,也有力地促进了岩石力学的发展。然而要严格按照新奥法施工,一般尚难做到;位移反分析计算结果与实际情况相比,往往会有一定的差距。典型类比分析法就是从我国的实际出发,它既吸取了新奥法与反分析法的优点,又重视吸取工程实践的经验,运用多学科的理论和方法,将现场原位测试信息与计算机技术结合在一起。这是一种从定性到定量较为先进的设计方法。1989 年以来,已在国内许多工程推广应用,获得成功,深受广大工程技术人员

的欢迎。

李世輝先生的典型类比分析法，之所以适合国情，收到良好的效果，最根本的原因，就在于它是从工程实践中总结出来的。早年，世輝先生长期参加隧道设计和施工，现场施工的艰辛和设计计算的繁琐，都是他亲身的经历，从实践中他深深地感到隧道支护设计迫切需要变革。所谓实践出真知，这就是他提出典型类比分析法的思想基础，也是他致力刻苦钻研的动力。其次，世輝先生待人诚恳，谦虚好学，对攻克难关又有百折不挠、锲而不舍的精神；当然，更离不开外界对他的支持和帮助。我认为，这正是典型类比分析法之所以能成功的根本条件。

在本书出版前夕，我衷心祝贺世輝先生创立的典型类比分析法将在祖国大地上进一步遍地开花，硕果累累！

周思益

1997年8月28日

前 言

我国能源、交通等重点工程建设的迅速发展,需要隧道支护设计施工的总体技术水平有一个较大的提高,从目前定性的经验类比,尽快提高到理论-经验-量测信息相结合的、应用计算机工具的、从定性到定量的综合集成水平。隧道工程建设的安全和经济,要求实现隧道围岩稳定性快速分析与支护效果超前预报。这种分析预测的精度应该大体符合工程实用要求,效率应较目前的常规方法成数量级提高,并且每个设计人员都易于掌握,才能普遍地、有效地实际应用。什么技术途径能够解决这一系列难题呢?按照传统观念,围岩稳定分析属于岩石力学,经典物理学的还原论方法似乎理应居于主导地位;在以往的“地学与力学结合”中,赋予地学的任务,主要是查明地质条件,为选择力学介质模型提供依据,并且提供合理的计算参数。由于问题涉及的地质环境与施工条件过于复杂,还原论研究方法不仅未能解决上述一系列难题,甚至无力提出这样的综合性的研究课题。1990年以来两次国际联机检索,尚未发现总体上与这一课题相近的文献,与这一点恐不无关系。

能否把复杂的地质条件化繁为简,并加以合理的量化,是实现上述目标的关键。工程地质力学研究理应责无旁贷。但是,怎样才能发挥这种关键作用,20年历史发展已经证明:囿于各学科专业化思维方式的局限,传统的学科间协作和交流等方式作用有限。问题不在于由哪个学科牵头,而在于如果没有系统科学观点和方法的指导与帮助,地学与力学的有机结合是不可能真正实现的。这就是作者在《隧道围岩稳定系统分析》一书表述的思想。现在看来当时的认识还远远不够。隧道围岩稳定快速分析与超前预报的对

象——围岩-支护系统是一个开放的复杂巨系统。有效地开展地质工程研究和实践,实现地学、力学、人工智能和系统科学等多学科理论方法的交叉融合,都有赖于学习领会并以开拓精神运用开放的复杂巨系统方法论——从定性到定量的综合集成法。综合集成法与隧道工程技术研究的具体结合,就是本书阐述的核心——典型类比分析法,也可叫做典型类比分析技术。

本书素材取自总参谋部工程兵第四设计研究院承担,中国科学院工程地质力学开放研究室协作,本书第一作者负责的两个研究课题。一个是“坑道工程围岩稳定分析超前预报智能系统研究”,已于1994年5月通过技术鉴定,1996年3月总参谋部批准授予军队级科技进步一等奖;另一个课题内容是典型类比分析法在理论和应用上的发展,即将组织技术鉴定。

典型类比分析法是一种信息化设计技术,现已用于以“条件复杂、信息匮乏”为特点的、隧道围岩稳定性的快速分析与概略预测。此项研究纵贯三个层次(应用基础理论研究、应用技术研究、技术开发研究),涉及若干学科,工程验证数以百计。目前得以取得一点成果,这是中国改革开放形势下的产物,是与作者所在单位与新老课题组、有关单位、学者、同行的支持帮助分不开的,详见后记。

近二十年来,第一作者及合作者坚持进行此项研究的心愿,就是为中国坑(隧)道支护设计水平的普遍提高创造一点技术条件。

当前,典型类比分析法的应用形式主要是BMP程序系统。它适用于隧道开挖后一个特定时刻(锚喷支护阶段后期),围岩稳定性的分析与支护设计。BMP84A是该系统的第一代程序,第一作者所在单位1989~1990年曾售出软盘60个(执行程序每个300元,使用单位名录见附录三,下同)。为了竭诚逐步实现我们的心愿,当1991年6月《隧道围岩稳定系统分析》得以出版,即已全文刊出BMP84A源程序。凡需要使用或研究此项技术者,均已可自行录入。

此后,以BMP84A程序为基础,有两个发展方向。一个是隧道位移反分析的人工智能化技术,主要成果是BMP90(隧道位移反分析智能化)程序,并扩展为BMP92(隧道位移反分析置信概率

区间估计)程序。配有用户界面的 BMP90 程序,第一作者所在单位 1991 年曾售出软盘 33 套(每套执行程序 400 元)。应当指出:与国外在隧道工程技术的不同方面居于先进水平的软件相比,该单位售出 BMP 程序软盘价是很低的。这样做同样是从有利于在隧道工程中迅速普及出发的。今天本书得以出版,又将全文刊出 BMP90 源程序。

为什么把有实用价值、有市场潜力的软件彻底公开呢?其一,这是本项研究的目的决定的;其二,一项开拓性的实用技术,只有工程应用尽可能地广泛,才能在隧道工程扎根,并可能得到较快的发展。因此,短时间的低价出售软盘,略补研究经费之不足,正是为尽快地公开发表准备条件。这样做同样是从有利于在隧道工程中迅速普及出发的。购置 BMP 程序的单位,在用于地下工程取得社会效益和经济效益的同时,在经济上也为支持本项研究做出了贡献。

BMP 程序系统的另一个发展方向,是从单洞到洞群,即 BMP98(洞群围岩变形与破坏特性概略分析)程序。其阶段性成果是 BMP94 程序。目前正在对二维岩石力学模型试验资料进行计算机仿真研究,并且正在创造条件,争取搞一点大型地下厂房原位测试资料的检验和修正。

典型类比分析法的一个新的应用形式,是围岩变形速率比值判别法。它适用于隧道开挖后支护初期,在围岩稳定性急剧变化(围岩可能趋于稳定,也可能趋于失稳)的情况下,对围岩-支护系统稳定性进行现场即时判别。此法已经经过若干工程实测资料验证。本书经重要增补后予以发表,以便工程应用检验与修正。

本书由李世辉、赵玉绂、徐复安、王冬松、袁志刚、郝卫东合著。分工如下:

李世辉撰写前言,绪论,第一、二、三章,第四章大部,第五章第一节与第三节之五,第六章第一节与第二节之一至三,第七章,第八章第二节,第十、十一章,附录一、二、三与后记;

赵玉绂撰写第九章,并校核全书书稿;

徐复安撰写第八章第一节,并校阅全书书稿;

第五章第二节、第三节之一至四选自王冬松的硕士学位论文(导师张弥、李世辉);

第六章第三节与第二节之四选自袁志刚的博士学位论文(导师钱伟长,副导师李世辉、黄黔),袁志刚还协助李世辉完成第十章第三节之一;

郝卫东协助李世辉完成附录一(BMP90 程序)部分程序编写,并完成第四章第三节之五。

本书由李世辉构思、主编,并负责审稿人阅后全书的修改定稿。为行文方便,本书以下出现的“作者”除注明者以外,均指第一作者,特加说明,以负文责。

孙钧、周思孟先生欣然为本书作序,体现了我国岩石力学与工程研究先驱对典型类比分析法研究的热忱关怀。孙钧先生是同济大学隧道与地下工程专业创建人、地下工程系名誉系主任,中国科学院院士,国际岩石力学与工程学会副主席暨中国国家小组主席,中国岩石力学与工程学会理事长,中国土木工程学会副理事长。周思孟先生曾任中国岩石力学与工程学会副秘书长,受陈宗基先生之命,创办《岩石力学与工程学报》并主持编辑部的工作,1983~1994 年曾连任三届国际岩石力学学会试验方法委员会委员。值此本书即将出版之际,本书第一作者与合作者谨致谢忱,并将他们的勉励与期望作为鞭策。

本书承王思敬、孙钧先生推荐,经评审获得科学出版基金资助;并承总参谋部工程兵第四设计研究院、中国科学院工程地质力学开放研究实验室提供部分出版资助;审稿人张弥、周思孟、王保存先生提出中肯意见,使书稿质量得以提高。对他们的热情支持和帮助谨致谢忱。

本书目录与提要承潘人俊先生英译;书稿前期的抄写,后期的微机录入与反复修改均由李银荣女士完成;资料收集与附图制图由李小梅女士,李励红、吴向阳先生协助完成,描图由胡树娥、刘桂英女士完成。特志于此,谨致谢忱。

作者水平所限,书中不当之处难免,敬请读者不吝赐教。

目 录

序一

序二

前言

绪论 1

一、隧道工程支护设计与信息技术 1

二、中国多数隧道工程适用的信息化设计方法 3

三、本书内容、特点与必要的说明 7

第一章 从总体上认识隧道支护设计技术问题 14

第一节 从隧道信息技术看新奥法 15

一、隧道工程安全与经济的依据——围岩变形量测 17

二、围岩变形量测中信息技术的特点 18

第二节 国内外隧道支护设计技术现状举要 22

第三节 隧道工程的经济技术条件——两个对比表 25

第四节 隧道工程技术的基本特点 29

一、单因素分析 30

二、多因素耦合分析 36

三、岩石地下工程问题 39

第五节 隧道围岩稳定性分析预测的对象——隧道围岩-
支护系统属于开放的复杂巨系统范畴 41

第六节 典型类比分析法研究的立足点——现行设计
方法取长补短初步综合 46

第二章 典型类比分析法——综合集成法的一种初级应用形式
..... 48

第一节 以本质分类及其深化为基础的因果类比 49

一、本质分类及其深化	49
二、因果类比与一个经验性假设	54
第二节 原位测试反馈修正的半经验半理论分析方法 ..	57
一、出路在于对问题整体上的理解	58
二、原位测试资料反馈修正的一种半经验半理论方法	60
第三节 理论、经验、量测结合,定性定量结合的典型方法	62
一、典型方法在现代科学研究中应用实例	62
二、各类围岩典型地质条件的经验性假设	64
三、典型类比分析法中典型方法的特点	68
四、典型方法的重要性与局限性	69
第四节 典型类比分析法的初步综合集成性质	75
一、典型类比分析法概念	75
二、典型类比分析法与综合集成法对比	77
第三章 典型类比分析法应用技术基础	81
第一节 研究缘起与思路方法初步形成	81
一、典型类比分析法研究缘起	81
二、典型类比分析法思路方法的初步形成	86
第二节 BMP84 程序研制	91
一、总体设计	91
二、剪切破坏理论的应用与扩展	93
三、典型工程原位测试资料的反馈和综合性修正	116
四、近似的强度判据与无拉裂极限值	118
五、程序框图	124
第三节 BMP84 程序工程验证	124
一、工程应用验证	126
二、隧道洞周相对位移统计分析	144
第四节 典型类比分析法在隧道工程设计中的地位 and 作用	149
第五节 BMP84 程序使用步骤与技术说明	154

一、技术性能	154
二、使用步骤与要点	155
三、初始地应力侧压系数估计方法	156
四、位移反分析	157
五、局限性	157
第四章 隧道位移反分析人工智能化研究	159
第一节 典型类比分析法隧道位移反分析技术原理	160
一、计算模型——与典型工程围岩“位移等效”的综合弹性 体模型	161
二、可辨识参数——初始地应力侧压系数与等效弹性模量	162
三、优化方法——分组双值反分析及其优化	165
四、时空效应——以现行规范为准, 不反推测前变形值 ..	167
第二节 隧道位移反分析人工智能化研究	169
一、建模方法和知识表达方式	170
二、隧道位移反分析智能化程序建模	173
第三节 BMP90 程序研制主要技术问题	177
一、控制策略问题	177
二、刚体位移修正	178
三、各类围岩综合性修正系数 K_e 的调整	180
四、分析值收敛于实测值的判据和精度	182
五、用户环境的开发	183
第四节 BMP90 程序工程验证	186
一、工程实测资料验证	186
二、工程验证	190
第五节 BMP90 程序应用说明	209
一、BMP90 程序主要技术性能	209
二、三点规律性的认识	209
三、局限性	210
第五章 隧道位移反分析置信概率区间估计	211

第一节 地下工程围岩—支护系统可靠度研究初步探讨	211
一、借鉴地面建筑结构可靠度设计应用经验	212
二、地下工程围岩—支护系统可靠度研究的一些基本特点	213
第二节 位移值时间序列分析推断	216
一、时间序列分析简述	217
二、PTSA 程序的特点和使用说明	221
第三节 隧道位移反分析置信概率区间研究	225
一、误差源简述	225
二、响应面法基本原理	228
三、BMP92 程序的输入和输出	230
四、算例	231
五、工程应用实例	232
第六章 洞群围岩变形特性及破坏形态的概略分析预测	235
第一节 BMP98 程序研制的部分技术问题	236
一、扩充边界单元总数限额	236
二、锚喷支护抗力在洞周边的分配	236
三、围岩内网格划分	237
四、浅埋洞群锚喷支护抗力的微调	238
五、洞群刚体位移修正	239
六、非水平地应力场	241
第二节 模型试验资料验证之一——某水电站地下厂 房模型试验验证	244
一、模型试验资料	244
二、有限元分析资料对比	247
三、BMP98 程序分析结果与验证	248
四、洞群分期开挖模型试验资料验证	253
第三节 模型试验资料验证之二——二滩水电站地下 厂房模型试验验证	257

一、概况	257
二、模型试验与 BMP98 程序分析对比验证	258
第七章 围岩稳定性的变形速率比值判别法	264
第一节 现行围岩稳定性判据与有关问题	265
一、现行围岩稳定性判据举例	265
二、解决问题可供参考的认识	267
第二节 围岩变形速率比值判别法	268
一、研究思路与方法	268
二、已知条件	272
三、围岩稳定性的变形速率比值判别法	272
四、围岩变形速率比值判据与围岩变形加速度关系的数学描述	276
第三节 工程验证	277
一、各级稳定状态的工程实测资料验证	277
二、富尔江引水隧洞监控量测验证	281
三、隧道工程塌方实测资料反证	282
第八章 提供同类围岩典型地质环境的隧道工程资料	287
第一节 新奥法典型隧道工程资料之一——20号工程原位测试资料摘要	287
一、工程地质概况	287
二、粘土岩的岩体力学特性	290
三、代表性量测断面资料	296
四、围岩变形测试资料摘要	298
第二节 新奥法典型隧道工程资料之二	306
一、下坑铁路隧道	306
二、鲁布革水电站原位模型试验洞	311
第九章 国内外主要围岩分类换算原则和方法	312
第一节 围岩分类换算的提出和基础	312
一、分类换算的提出	312
二、分类换算的基础	313