



中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

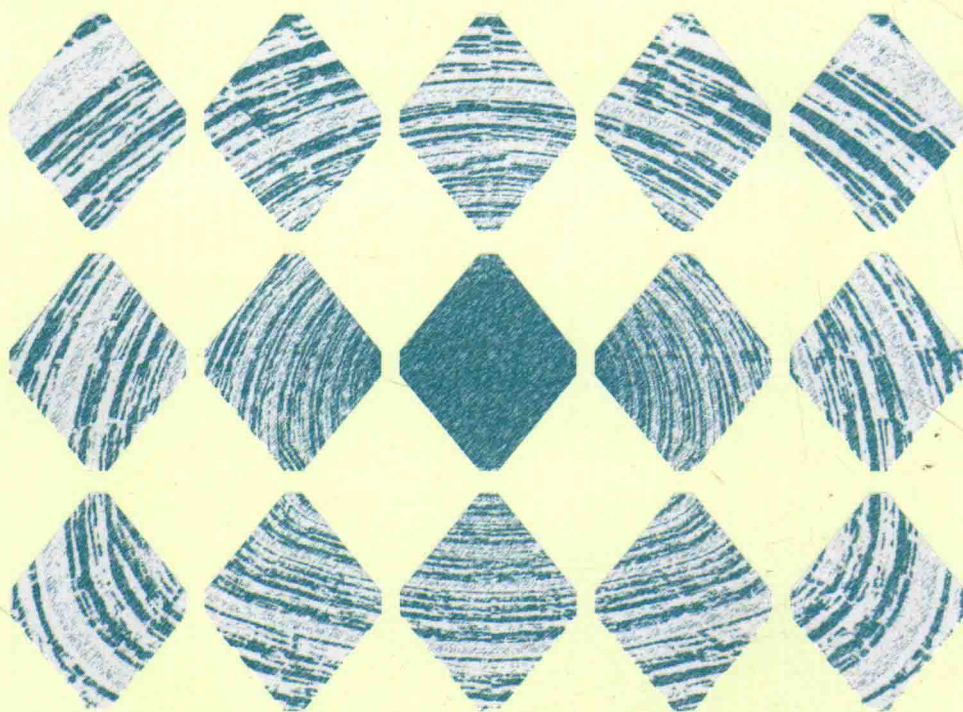
地下工程建设预报预警北京市重点实验室

交通运输部联合攻关项目、西部项目、北京市重大科技项目、国家“863”科技计划资助

隧道施工信息化预警

Tunnel Construction
Information Precaution and Guarantee

叶 英 ◎ 编著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.



中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

地下工程建设预报预警北京市重点实验室

交通运输部联合攻关项目、西部项目、北京市重大科技项目、国家“863”科技计划资助

隧道施工信息化预警

Tunnel Construction
Information Precaution and Guarantee

叶 英 ◎ 编著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

图书在版编目(CIP)数据

隧道施工信息化预警 / 叶英编著. — 北京 : 人民交通出版社股份有限公司, 2015. 1

ISBN 978-7-114-11979-8

I. ①隧… II. ①叶… III. ①隧道施工—信息化
IV. ①U455-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 007904 号

书 名: 隧道施工信息化预警

著 作 者: 叶 英

责任编辑: 王 霞

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 30.75

字 数: 729 千

版 次: 2015 年 1 月 第 1 版

印 次: 2015 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11979-8

定 价: 85.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

作者介绍



叶英,博士,教授级高工,北京市市政工程研究院硕士生导师,山东大学、中南大学兼职博士生导师,北京市市政工程研究院副院长兼地下工程建设预报预警北京市重点实验室主任,北京市级命名的职工创新工作室负责人。

负责的省重点工程建设项目获国家鲁班奖1项;负责的科研项目获省部级科技进步一等奖2项,二等奖2项,三等奖4项。拥有专利23项,国家级工法1项;著作有《隧道施工超前地质预报》、《隧道施工信息化预警》、《运营隧道管养指南》、《粉细砂地层浅埋暗挖法注浆加固技术指南》;以第一作者发表主要论文50余篇。

主要从事隧道施工检测、监测、超前地质预报、信息化施工与安全保障方面的研究工作;在隧道超前地质预报方面提出“角度偏移、综合参数”预报理论,负责研制的USEP21型地下工程施工综合参数与空间超前地质预报系统具有国际领先水平。在隧道施工信息化预警平台研究方面,提出了隧道施工信息化的广义概念,研制的TMIGS隧道施工信息化预警平台总体达到国际先进水平,其中三维动态数据监测系统达到国际领先水平。在运营隧道管养方面,提出了“移动隧道医院”的理念,研制了TMH隧道健康诊断、评价及快速修复一体化平台达到国际先进水平。

2008年被评为北京市政路桥建设控股集团有限公司优秀共产党员、“十大标兵”、北京市交通委奥运保障先进个人、北京市国资委优秀共产党员,2010年被评为北京市劳模,2011年度北京市总工会授予市级“叶英创新工作室”,2011年度科学中国人(2011)年度人物,2012年北京市十一次党代会代表。

前言

我国早在 20 世纪 70 年代,就开始在隧道工程中应用信息化设计技术,国内多所院校及科研单位在这方面开展了许多研究和探索,虽然取得了一定的成绩,但总体上,我国的动态设计依然处于起步阶段,其理论方法和实用技术的研究发展仍不理想。

随着信息化技术的发展,以数字化为核心的信息系统对土木工程领域原有的设计模式、检测和监测技术产生了深远的影响。信息系统的自动化、网络化以及分布式数据库技术为解决现存隧道监测工作的不足提供了重要的途径。多种信息源的采集、传输、发布、共享等技术的发展和新技术的引入,将大大提升隧道施工的安全、维持支护结构与围岩的和谐与长期稳定。

隧道施工信息化就是集工程当前所有已知信息,收集、传输、分类、归纳进入互联网平台,供隧道工程建设、设计、监理、施工、监督等各方资源共享以及进一步分析、利用、决策的隧道工程信息共同体。从技术角度上讲,就是收集施工过程所有信息,利用信息化高速公路快速上网,便于建设各方相互沟通、指导和管理施工。

通常,地面工程采用较为单纯的“调查—设计—施工”流程来表达,这是由于地面工程结构的环境是空气,空气是透明的、相对均质的、可视和易掌控的。因此,需要的环境信息也就相对较少。而隧道工程采用的“调查—设计—施工—反馈”贯穿于整个施工过程。反馈是在施工环节中信息的进一步需求,由于隧道工程处于地下岩土介质中,环境复杂、各向异性、易变、难于控制、对结构物有影响,因此,隧道施工依赖于信息化反馈。

隧道施工的过程就是开挖、构筑人工构造物,使其适应隧道周围岩土环境的寻优过程,最优是难以达到的。当然即使是当前的最优,也很难满足其中相当长一段时间内的最优化。由于地球旋转造成构造运动,进而形成一系列岩土水文地质活动,这就需要把“静动效应”应用到隧道工程信息化中,这其实就是在地下工程设计中充分考虑到动态变化,建立一个相对“动态”的隧道工程,使其能够适应一定的变化,包括瞬间变化和永久变化。这一点是理想状态,目前还很难做到。隧道工程目前仍然是经验类比方法的产物,经验类比法有一定的盲目性和局限性,这就需要更多的信息支持。

由于技术手段和经费所限,隧道及地下工程的监控量测仍采用特征点法,由于固定的特征点会随着岩土环境的改变而变化,因此特征点法在地下工程结构测量过程中很难准确掌握。特征点法通常是在已知所监测结构变化规律的情况下使用,利用最少点来表示结构变化规律的方法。而隧道施工过程中通常的变化规律是未知的,目前所采用的三点法、五点法等监控量测虽然适合大多数情况,但难免有许多的漏洞,施工过程很多的重要变化是监测不出来的。因为不同的围岩、不同的开挖方法受“尺寸效应”的影响,致使许多的监测并不合理,也无法监



目 录

绪论	1
0.1 研究现状	2
0.1.1 隧道施工人员安全管理信息化	2
0.1.2 隧道施工信息化方法	3
0.1.3 隧道施工风险管理	4
0.1.4 传感器网络等信息化技术	5
0.2 存在问题	7
0.3 发展趋势	8
参考文献	9
第1章 信息化技术	10
1.1 信息化技术概述	10
1.1.1 基本概念	10
1.1.2 现代信息技术的技术特征	12
1.1.3 信息化概念的技术内涵	13
1.1.4 隧道施工信息化	13
1.2 网络化技术	13
1.2.1 Web 技术	13
1.2.2 C/S 体系结构	16
1.2.3 B/S 体系结构	18
1.2.4 B/S 和 C/S 的混合结构	18
1.2.5 JSP 技术	19
1.2.6 GIS 技术	20
1.3 无线传输技术	21
1.3.1 BlueTooth(蓝牙)技术	21
1.3.2 IrDA(红外)技术	21
1.3.3 Wi-Fi(无线高保真)技术	22
1.3.4 UWB(超宽带)技术	22

1.3.5	ZigBee 技术	22
1.3.6	几种无线技术性能比较	25
1.4	数字化技术	26
1.4.1	数字化施工体系	26
1.4.2	数字化隧道工程	29
1.4.3	三维激光扫描技术	30
1.4.4	GPS 技术	36
1.5	虚拟与仿真技术	38
1.5.1	建模技术	40
1.5.2	仿真技术	41
1.5.3	优化技术	42
1.5.4	虚拟现实技术	42
1.5.5	虚拟仿真施工技术	42
1.5.6	绿色施工	44
1.5.7	生态技术	44
1.6	智能化技术	44
1.6.1	智能化是信息科学技术的发展方向	45
1.6.2	传感器网络	46
1.6.3	无线传感器网络	46
1.7	隧道施工信息化技术	47
	参考文献	48
第 2 章	隧道施工信息化系统与装备	49
2.1	隧道工程信息化高速通道建设	49
2.1.1	现有的通信机制	49
2.1.2	无线网络结构	53
2.1.3	基于 ZigBee 的无线网络	54
2.1.4	三网融合	55
2.2	监控测点数字化	55
2.2.1	测点概述	55
2.2.2	常用传感器	57
2.3	语音图像无线监控	81
2.3.1	ZigBee 技术实现语音无线传输	82
2.3.2	ZigBee 技术实现图像无线传输	84
2.3.3	无线视频监控系统发展趋势及其相关技术	85
2.4	信息化系统应用	89
2.4.1	路面管理系统	89
2.4.2	桥梁健康监测数据采集系统	89
2.4.3	隧道健康管理系统	90

2.4.4 滑坡体监测..... 91

参考文献 91

第3章 施工人员信息化 92

3.1 人员位置与考勤管理..... 92

3.1.1 基于RFID洞内管理系统..... 92

3.1.2 基于ZigBee洞内定位技术 93

3.1.3 基于通信系统..... 98

3.1.4 人员考勤管理..... 98

3.2 人员生命特征..... 99

3.3 施工环境指标 100

3.3.1 隧道施工环境有害因素 101

3.3.2 作业环境的测定 105

3.3.3 有害气体的测定 109

3.4 报警系统 112

3.4.1 系统构成及工作原理 113

3.4.2 系统特点 114

3.4.3 应用前景 114

参考文献..... 114

第4章 围岩与支护结构信息化..... 115

4.1 围岩地质信息化 116

4.1.1 勘察设计资料信息 116

4.1.2 隧道施工超前地质预报信息 117

4.1.3 围岩动态分类方法 118

4.1.4 不同隧道断面的荷载计算 119

4.1.5 围岩变形特性 123

4.1.6 不同围岩级别隧道施工方法 125

4.1.7 各级围岩物理力学参数 127

4.2 隧道施工监控量测 128

4.2.1 监测工作综述 129

4.2.2 必测项目 130

4.2.3 选测项目 155

4.3 信息化动态施工理论与方法 177

4.3.1 动态设计的发展 178

4.3.2 动态设计的基本原理 179

4.3.3 动态设计的主要方法 180

参考文献..... 190

第5章 施工质量、进度和投资管理信息化 192

5.1 施工质量信息化 194

5.1.1	开挖质量检测	195
5.1.2	初期支护质量检测	196
5.1.3	二次衬砌质量检测	203
5.2	施工进度管理信息化	209
5.2.1	隧道施工进度动态仿真	210
5.2.2	基于可视化仿真的工程进度分析与优化	211
5.3	施工投资管理信息化	215
5.4	各方参与的网络化质量控制平台	218
	参考文献	222
第6章	风险管理	223
6.1	风险的概述	224
6.1.1	风险的基本理论	224
6.1.2	风险管理的概念	228
6.2	风险的识别	231
6.2.1	风险识别的含义	231
6.2.2	风险识别的目的和意义	232
6.2.3	风险识别的方法	232
6.3	风险的评估	235
6.3.1	风险的估计	235
6.3.2	风险的评价	238
6.3.3	风险评估方法的比较	242
6.4	工程项目风险的动态分析法	243
6.4.1	隧道施工动态风险分析的基本流程	247
6.4.2	隧道施工动态风险分析的基本体系	250
6.5	隧道施工安全风险分析	253
6.5.1	地层变形的原因分析	255
6.5.2	地层变形的主要风险因素分析	255
6.5.3	隧道穿越既有地铁工程施工风险分析	261
6.6	既有地铁结构安全风险预测方法	262
6.6.1	既有结构的破坏模式与评估方法	263
6.6.2	既有结构的评价方法	266
6.6.3	既有地铁现状评估	266
6.6.4	既有地铁承载能力及变形能力的评估	270
6.6.5	既有地铁风险等级划分	270
6.6.6	评估报告	273
6.7	隧道施工风险评价指标及控制	273
6.7.1	风险指标的概念	273
6.7.2	风险评价的 ALARP 原则	273

6.7.3 风险评价标准	274
6.7.4 地铁隧道工程施工控制标准	274
6.8 宜万铁路风险管理案例	285
6.8.1 风险管理方法	286
6.8.2 风险管理体系	288
6.8.3 决策管理体系	290
6.8.4 技术应对体系	292
6.8.5 安全措施体系	292
参考文献	294
第7章 灾后应急响应与救援	295
7.1 公共安全应急救援体系介绍	295
7.1.1 应急救援体系概述	295
7.1.2 防灾应急救援预案编制	301
7.1.3 安全培训与应急演练	314
7.2 隧道防灾应急预案编制	320
7.2.1 隧道应急救援预案体系	320
7.2.2 隧道塌方应急预案	323
7.2.3 隧道突水突泥应急预案	324
7.2.4 隧道施工瓦斯爆炸应急预案	325
7.2.5 隧道施工发生岩爆应急预案	329
7.2.6 其他预案	330
7.3 隧道施工救援设施配置	332
7.3.1 运营隧道的设施配置	332
7.3.2 施工隧道不同阶段的设施配置	332
7.4 隧道施工综合应急演练案例	336
7.4.1 青岛海底隧道项目进行施工事故综合应急演练	337
7.4.2 北京地铁大兴线应急演练	338
参考文献	338
第8章 隧道施工信息可视化	339
8.1 隧道线形计算	340
8.2 三维地质模型	343
8.2.1 三维地层三棱柱建模	343
8.2.2 三维地质模型表示	345
8.2.3 三维地质建模方法	346
8.3 隧道三维建模	350
8.3.1 三维数据模型	350
8.3.2 三维实体的建模	353
8.4 隧道三维可视化	361

8.5 隧道施工虚拟现实	364
8.5.1 三维地质模型虚拟	365
8.5.2 剖切路径的定义与实现	367
8.5.3 基坑开挖虚拟	368
8.5.4 虚拟钻探	368
8.5.5 隧道生成与虚拟漫游	368
参考文献	368
第9章 感觉感知与思考	369
9.1 感觉	369
9.1.1 视觉的变化	371
9.1.2 听觉的变化	372
9.1.3 其他感知觉的变化	374
9.2 知觉	374
9.3 错觉	378
9.4 感知觉—感知	379
9.5 条件反射	380
9.5.1 反射的分类	380
9.5.2 条件反射的建立	380
9.5.3 条件反射的生物学意义	381
9.5.4 非条件反射与条件反射的区别	381
9.5.5 对条件反射的模拟	382
9.5.6 建立反射的条件	384
9.5.7 先天性反射(非条件反射)的模拟	384
9.5.8 条件反射的模拟	385
9.5.9 各种类型的反射	385
9.6 思考应对	386
参考文献	388
第10章 隧道施工信息化预警平台	389
10.1 TMIGS系统概述	391
10.1.1 系统总体设计	391
10.1.2 数据库设计	401
10.1.3 系统功能总体设计	406
10.2 用户管理	409
10.2.1 用户管理	409
10.2.2 权限管理	410
10.3 系统设置	411
10.3.1 分布式无线网络控制	411
10.3.2 硬件平台	415

10.3.3 无线传输物理终端节点..... 421

10.4 系统操控..... 426

10.4.1 监控量测..... 426

10.4.2 断面扫描..... 437

10.4.3 测量放点..... 439

10.4.4 人机设置..... 439

10.4.5 声像管理..... 441

10.5 工程管理..... 442

10.5.1 隧道概况..... 443

10.5.2 监控查询..... 450

10.5.3 人员设备管理..... 455

10.5.4 生成报告..... 459

10.6 安全保障..... 460

10.6.1 施工预案..... 460

10.6.2 专家决策..... 461

10.6.3 应急响应..... 462

10.6.4 群测群防..... 462

10.7 系统应用..... 464

10.7.1 南村隧道信息化施工..... 464

10.7.2 陕西省包家山隧道信息化施工..... 466

10.7.3 北京大兴线地铁隧道信息化施工..... 467

参考文献..... 470

绪 论

随着我国铁路、公路和水利水电项目建设的蓬勃发展,隧道的修建也会越来越多。隧道工程所直接面对的周围环境系统是一个内部信息部分已知、部分未知的灰色系统,它在建设过程中不可预见的因素较多,是一极其复杂的系统工程。时至今日,传统的隧道设计方法仍然过多地沿袭了地面结构设计理念。地面工程结构设计,一般即在给定荷载作用下,结构物的强度、刚度和稳定性的验算、调查、设计、施工之间的关系采用较为单纯的“调查—设计—施工”流程来表达。隧道及地下工程修建技术的实践证明,由于隧道及地下工程支护系统工作环境的复杂多变和设计理论上的不完善,目前还很难找到一种设计模型,能够全面、合理地表达各种情况下支护系统和围岩之间的相互关系及其工作条件。一方面,合理的力学模型不易选定;另一方面,围岩力学参数不易测准。同时,在设计中还要考虑施工方法、开挖和支护时机等诸多因素的影响。所以,目前的理论计算和数值分析法一般只能作为设计参考,隧道工程仍然是经验类比方法的产物。另外,仅仅依据经验类比方法在施工前期设计隧道支护系统往往带有一定的盲目性,不一定能适应复杂工程地质条件,这就使得原设计与实际情况不符。这样的后果是,要么出现工程质量问题或工程事故,要么不经济,使得经验类比方法具有很大的局限性。

对于隧道工程应该寻找与其工程特点相适应的一套设计方法,即调查、设计、施工、反馈等各个环节贯穿整个工程始终,即设计—施工两条线平行。隧道工程的实践证明,单独孤立的力学方法或经验方法都不能取得理想的效果。因此必须选择一条隧道工程设计的正确途径,一方面使经验方法科学化,另一方面使设计中的力学计算具有实际背景。监控量测是以现场监测为手段,以量测信息为设计依据,来确定支护参数、支护时机和施工方法。在施工过程中加强调查和监测,通过对大量实测数据进行计算分析来评价隧道稳定性,据此完善设计和调整施工参数。这样使得设计和施工更符合或接近工程实际,也能够适应复杂多变的地质条件和各种不同的施工条件。信息化设计成为联系理论和经验方法的桥梁,成为目前隧道设计理论发展的重要方向。

我国早在 20 世纪 70 年代,就开始在隧道工程中应用信息化设计的技术,国内各高等院校及科研单位也在这方面做过很多研究和探索;近年来,铁路主管部门提出了隧道工程进行“动态设计”的要求,并组织重大课题进行“新建铁路隧道动态设计方法的研究”,同时在一些重大隧道工程项目中开始实施现场动态设计方法,并取得了一定的成绩。从总体上来说,动态设计

依然处于起步阶段,其理论方法和实用技术研究总体发展仍不理想。

随着地下施工安全要求的不断提高和信息化技术的发展,一方面人是隧道施工的主体,另一方面施工设备也是施工不可分割的部分,使得隧道施工信息化技术的概念拓展。随着网络化技术的发展,由于隧道施工未知、未定因素较多,风险管理、施工质量管理、进度管理、投资管理、人员管理、安全生产、施工组织、灾害预案、应急救援等都相应纳入施工信息化的范畴,隧道施工信息化涵盖了施工的各个方面,也有了更为广泛的含义。

隧道工程项目具有一次性投资大、工期较长、牵涉面广、存在的潜在安全隐患多等特点,因此必须对施工区域及周围环境综合监测,根据前阶段施工监测到的各种数据,预测下阶段施工过程中可能出现的新动态,对后期施工方案提出建议,对施工过程中出的险情及时预报。此项工作的好坏是一个施工项目成败的关键,一直以来是建设者、安监部门、施工、设计、监理等各单位的管理重点。

随着信息化技术的发展,以数字化信息为核心的信息系统对土木工程领域原有的设计模式、检测和监测技术产生了深远的影响。信息系统的自动化、网络化以及分布式数据库技术为解决现存隧道监测工作的不足提供了重要途径。随着多种信息源的采集、传输、发布、共享等技术的发展和新技术的引入,将大大增加隧道施工的安全和支护结构与围岩的和谐与长期稳定。

0.1 研究现状

现代的信息技术基本上表现为用电的手段。19世纪中期,人类发明了电报,这是比较早期的现代信息手段;19世纪下半期发明的电话,主要用于传输声音;早期的电话、电报都是有线的,到19世纪末、20世纪初期,人类发明了无线电;20世纪前期,人类发明了电视,后来彩色电视开始出现;到20世纪中期的时候,人类发明了电子计算机;20世纪末期,出现了两个非常重要的手段,一个是因特网,另一个是移动电话。由此可知,信息化技术对人类的进步具有重大的作用,从最早语言的产生到文字、造纸术和印刷术的发明和应用,到电报、电话、电视及其他通信技术的发明和应用,信息传递手段发生了历史性的改变。而电子计算机、现代通信、网络技术的应用使得信息化技术与人为伴,已经深刻地影响人的方方面面。现今信息化技术正沿着多元化、网络化、多媒体化、智能化、虚拟化的发展趋势继续前行。

隧道工程的基本特点在于地质环境复杂,取得准确的数据极其困难。而且,隧道工程的设计必须综合考虑大量的、关系错综复杂的、无法精确定量的地质因素、工程因素、施工因素以及使用要求、经费、技术条件、时间等多种因素,并从中找出最可靠、经济的解决方案。而人及设备处于复杂地质环境中,不确定的未知因素太多,这将直接影响现场施工人员的安全,而隧道工程信息化技术仍处在信息化技术发展的早期(姑且称为烽火台时期),这给隧道施工及人员安全带来诸多不便。

下面从隧道施工人员安全管理、隧道施工监控量测、动态设计、风险管理、传感器网络等方面介绍总体现状。

0.1.1 隧道施工人员安全管理信息化

施工人员信息化经过了从早期的施工人员进洞记录到洞口挂摘牌指示。随着近几年无线

技术的发展,人们开始进一步利用洞口刷卡考勤、考核施工人员与安全管理,并通过在隧道内安装基站进行进洞人员带卡通信的实时定位与安全管理。这大大地方便了隧道施工现场的人员管理。国内外的发展情况类似,由于施工特点不同,国外应用地更早些,国内的起步较晚,但发展较快。

0.1.2 隧道施工信息化方法

隧道施工信息化,从狭义上讲,即在施工中布置监控测试系统,从现场围岩的开挖及支护过程中获得围岩稳定性及支护设施的工作状态信息,通过分析研究这些信息,间接地描述围岩的稳定性和支护的作用,并反馈于施工决策和支持系统,修正和确定新开挖方案的支护参数,其实质是通过施工前和施工过程中的大量信息来指导施工,以期获得最优地下结构物的一种方法,人类对这方面的研究较多。

“信息化方法”起源于20世纪40年代晚期,随着当时“现代土力学”理论的进展,发展了一种集预测、监控、评价和修正为一体的设计方法。

自20世纪60年代起,以尽可能不要恶化围岩中的应力分布为前提,在施工过程中密切监测围岩变形和应力等,通过调整支护措施来控制变形,以最大限度地发挥围岩本身自承能力的新奥法隧道施工技术(NATM, New Austrian Tunneling Method)得以发展。新奥法是奥地利拉布西维兹(L. V. Rabcewicz)教授等在长期从事隧道施工实践中,从岩石力学的观点出发而提出的一种合理的施工方法,是采用喷锚技术、施工测试等方法,并结合岩石力学理论而形成的一种新的工程施工方法。

而且,从20世纪70年代起,随着计算机技术的大力发展,涌现了很多学者对岩土计算理论尤其是岩土工程反演理论的研究,并取得了较多成果。

近年来,由于量测技术、计算机技术的发展和渗透,地下工程结构体系的信息设计和施工方法有了很大的发展。20世纪90年代,“信息化方法”获得了广泛的应用,其原理也被扩展。“信息化方法”作为一种设计、施工方法,已经被许多规范认同,诸多学者也更加重视甚至大力倡导信息化方法。1999年Ralph Peck博士和Alan Powderham博士在《施工反思》(Rethinking Construction)书中写到:“信息化方法具有天生的解决复杂问题的能力,虽然事实上已经取得了很多成功的范例,但人们在项目开始时仍极少考虑信息化途径。”他们呼吁将信息化方法提到项目各方(业主、承包人及咨询工程师)的议事日程表。国际土力学与岩土工程学会(ISSMGE, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering)副主席Brandi博士也大力倡导信息化方法,称其为“解决目前理论与实际日益脱节”的有效办法。国际隧道协会1992年~1995年执行主席Eisenstein教授在《城市隧道的挑战与进展》书中认为,信息化方法特别适于隧道工程。

过去我们在隧道施工中,基本上也是按照“信息化设计施工”的思想进行设计和施工的。但因获取信息手段发展的迟缓、信息传输系统的不完善以及隧道施工环境和管理体制的限制等原因并未实现真正意义上的“信息化”。但最近一段时间,由于信息技术、通信技术以及各种获取信息手段和方法的迅速发展,特别是设计施工体制的改革以及适应未来“设计施工总承包(Design Build Contract)”体制的实施要求,给真正实现隧道工程“信息化设计施工”创造了良好的条件和基础。

国内学者也曾结合工程实例尝试对“信息化设计施工”进行相应的研究。20世纪80年代在中国坑道工程中产生的典型类比分析法(Precedence Type Analysis)及配套的BMP系列软件,从中国隧道工程设计与施工的实际需要与现实条件出发,发展了信息化设计施工方法。李世烽先生主持完成的课题“坑道工程围岩稳定分析超前预报智能系统研究”在理论和应用上的发展均取得了极具价值的成果。西南交通大学结合南昆铁路与铁二院研制的“隧道工程计算机信息化设计、施工管理系统”(1990年)就是一个范例,该系统是以施工中的量测位移为依据而建立的。在此基础上,系统开发方与华东水利水电勘测设计院合作,结合锦屏水电工程长5km的探洞研制了“水工隧道信息化设计施工系统”(1995年),并在探洞工程中予以应用,效果良好。这个系统是以地质素材判释和量测位移为主体的。

以319国道铁山坪公路隧道为依托的项目“高等级公路大断面低扁平率长隧道修建新技术研究”,再次应用了“隧道工程计算机信息化设计、施工管理系统”,并对其做了相应的扩充和完善。铁道部科学研究院西南研究分院(现中铁西南研究院)也进行过隧道施工管理系统方面的研究,对建立隧道施工管理系统是有参考价值的。但当时受技术条件的限制,这些系统研制都有一定的局限性和片面性。西南交通大学于2002年以深圳地铁为背景进行的项目“深圳地铁重叠隧道信息化施工技术研究”,使地下工程信息化施工技术成功地应用于地铁的重叠隧道中。

在日本,一些会社大力开发“信息化设计施工”的应用系统。例如佐藤工业(株)开发的“SIT系统”,通过把洞内的量测数据、测量数据、机械和运输车辆的运行数据、通信数据等情报信号,用单一的通信线路进行传输,实现洞内施工的一体化管理。而西松建设(株)也开发了“隧道综合管理系统”,该系统是由信息化施工、设计支援和质量管理、隧道形状管理四个子系统构成的。其中信息化系统是由TSP(Tunnel Seismic Prediction,地震波探查)、DRISS(Drilling Survey System,钻孔探查)、TDEM(Time Domain Electromagnetic Method,电磁波探查)三个掌子面地质超前预报技术组合而成。设计支援系统则由过去的施工实绩、支护模式和辅助工法等构成。TBM的掘进管理中也开发了类似的系统。

在欧洲,意大利在修建长Vaglia隧道中,采用了ADECO-RS(Analysis of Controlled Deformation in Rock Soils)系统进行隧道设计和施工。该系统是一个控制岩土变形的系统,对该隧道的围岩,根据调查阶段的地质调查信息,来正确地掌握地质条件的变化,在设计阶段则根据地质条件的工程划分类别,给出基准。最后根据开挖时发生的应力、应变的特性给出适合地质条件的施工方法和支护结构。

在南美,哥伦比亚修建高速公路Buenavista隧道时,成功利用信息化施工技术顺利通过断层带及高地应力、高渗水伴砾石、泥砂这样的困难地质地段。

在印度,Maneri Bhali隧道I、II、Salal隧道、Giri隧道都根据樱井春辅提出的围岩极限张应变值的原理和方法,即由危险警戒标准(Hazard Warning Level)评估隧道开挖过程中的围岩和结构稳定性,实现了信息化施工。此外,信息化方法在明挖隧道施工、基坑施工及岩土工程的成功例子不胜枚举。

0.1.3 隧道施工风险管理

在国外,地下结构工程的风险分析是从20世纪50年代末开始的。早期主要集中在对岩土参数的研究。美国的Einstein, H. H.(1974, 1994, 1996, 1998)曾撰写多篇有价值的论文,指

出了隧道工程风险分析的特点和应遵循的理念。1992年,美国宾夕法尼亚大学 Bieniawski 教授就岩土工程设计参数具有很大不确定性的特点提出了《岩土工程系统设计方法》(SDM),按照10个设计阶段、6个法则优化设计,并提出两个相互关联的设计原则:风险性最低原则和费用最低原则。把岩土特征参数的不确定性引入了地下结构工程设计中,形成了完整的设计风险系统,系统地确定了设计风险分析的理念和原则。

2000年,Reilly. J. J 提出:“隧道工程的建设过程就是全面的风险管理和风险分担的过程。”他将地下结构工程中的主要风险分为4类:造成人员伤亡、财产和经济损失的风险,造成项目造价增加的风险,造成工期延误的风险以及造成不能满足设计、使用要求的风险。

除此之外,R. Stuzk 等将风险分析技术应用于 Stockholm 环形公路隧道,得到了一些规律性的结论;B. Nilsen 等的论文对复杂地层条件地区的海底隧道的风险进行了相对深入的研究;国际隧道协会委员 Heinz. D 在其论文中对穿越海峡的隧道如何进行风险评估进行了探讨。另外,日本在隧道工程的安全事故统计方面做了大量细致的工作。国际隧道协会在2002年10月为隧道工程(以岩石隧道为主)的风险管理提供了一整套参照标准和方法。2004年国际隧道协会年会专门设置了安全、费用与风险的专题,J. Reilly 和 J. Brown 提交了题为《Management and control of cost and risk for tunneling and infrastructure projects》的重要论文。因此,地下结构工程的风险研究在欧洲已相当普遍,并已经成为地下结构工程领域必须实施的一项重要内容。

在国内,由于我国工程的研究和实践时间相对较短,对隧道及地下工程风险管理的应用研究还比较少,仅从工程管理角度对其进行了初步研究。20世纪80年代,我国才开始从美国等西方国家引入风险理论,形式主要是以翻译国外文献为主。随后清华大学的郭仲伟教授于1987年撰写了《风险分析与决策》;天津大学于九如教授结合三峡工程风险分析成果,撰写了《投资项目风险分析》。

近几年来,随着我国城市轨道交通建设的快速发展,地下结构工程风险分析应用领域得到前所未有的关注,各高校、科研机构及建设部门相继开展了应用研究,取得了一定的成果。同济大学丁士昭教授、上海隧道设计研究院范益群博士(2000)、香港 L. McFeat-Smith(2000)、台湾的游步上和沈劲利、中港国际工程咨询有限公司毛儒教授、同济大学黄宏伟教授、陈龙博士、北京交通大学姚宣德博士、天津大学宫志群、西南交通大学王云、重庆大学贾剑青等众多学者从不同角度(如工程特点),对地下工程结构系统风险展开了详细研究,取得了诸多研究成果。但总体上来讲,目前,我国对于地下工程结构系统风险研究还处于起步阶段。因为地下结构工程处于灰色系统中,作为一个与环境密切相关的复杂系统,在其规划、设计、施工、运营过程中,都存在着各种随机因素影响下产生的各种风险,需要多角度、分层次地研究。

0.1.4 传感器网络等信息化技术

传感器网络的研究起步于20世纪90年代末期。国际上,1999年和2003年著名的美国商业周刊和 MIT 技术评论(Technology Review)在预测未来技术发展的报告中,分别将其列为21世纪最具影响的21项技术和改变世界的10大新技术之一。国际上许多著名的大学和公司纷纷从不同的层次、不同的角度对传感器网络进行了研究和开发。1995年美国提出了“国家智能交通系统项目规划”;2002年美国英特尔公司发布“基于微型传感器网络的新型计