

国际工程科技发展战略高端论坛
International Top-level Forum on Engineering Science
and Technology Development Strategy

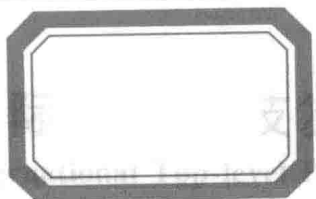
中國工程院
CHINESE ACADEMY OF ENGINEERING

重大地下工程 安全建设与风险管理

SAFE CONSTRUCTION
AND RISK MANAGEMENT
OF MAJOR UNDERGROUND
ENGINEERING

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

国



发展战略高端论坛

International Forum on Engineering Science
and Technology Development Strategy

CHINESE ACADEMY OF ENGINEERING

重大地下工程 安全建设与风险管理

ZHONGDA DIXIA GONGCHENG ANQUAN JIANSHE YU FENGXIAN GUANLI

SAFE CONSTRUCTION
AND RISK MANAGEMENT
OF MAJOR UNDERGROUND
ENGINEERING



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

随着世界经济的持续发展,未来 20 年,地下工程建设与地下空间开发和利用是世界工程建设的重点之一。由中国工程院主办,中国工程院工程管理学部,土木、水利与建筑工程学部,中国岩石力学与工程学会,中国科学院武汉岩土力学研究所/岩土力学与工程国家重点实验室共同承办的“重大地下工程安全建设与风险管理——国际工程科技发展战略高端论坛”于 2012 年 5 月 18 ~ 19 日在武汉举行。论坛设置了大会特邀报告和主题圆桌高端研讨会,广邀国内外岩土工程、铁道、水利工程、防震减灾工程界的知名专家,围绕复杂地质与环境条件下的重大地下工程安全建设与风险管理,开展多方位、多角度的战略性与前瞻性主题研讨,通过多学科交叉与融合探求复杂地质环境下地下工程与地下空间灾害机理研究与预测预警的攻关方略,推动我国乃至世界地下工程灾害(岩爆、大变形、塌方等)预测预报、灾害防治与风险管理的新发展,牵引新理论、新方法、新技术的自主创新与突破。本次高端论坛取得的成果,分析、确定了未来 10 到 20 年地下工程安全建设领域发展的重点方向,凝练了未来一段时间地下工程建设领域需要重点组织研究的若干重大科学技术问题。

本书为中国工程院国际工程科技发展战略高端论坛系列丛书之一,配套的 PPT 文件请在中国工程院网站下载(www.cae.cn)。本书适宜于科研院所从事地下工程风险评估的研究人员、设计和施工单位从事现场风险管理的高级工程师阅读,也可作为研究生开展研究的参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

重大地下工程安全建设与风险管理:汉英对照/中国工程院编著. -- 北京:高等教育出版社,2013.6

(国际工程科技发展战略论坛)

ISBN 978-7-04-037009-6

I. ①重… II. ①中… III. ①地下工程-安全技术-研究-汉、英②地下工程-风险管理-研究-汉、英
IV. ①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 031253 号

总策划 樊代明

策划编辑 王国祥 黄慧靖 责任编辑 朱丽虹

封面设计 顾斌 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印刷 北京汇林印务有限公司
开本 850mm × 1168mm 1/16
印张 20.5
字数 370千字
插页 1
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 2013年6月第1版
印 次 2013年6月第1次印刷
定 价 80.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 37009-00

编辑委员会

主任：钱七虎 John A. Hudson
副主任：孙永福 陆佑楣 葛修润
委员：丁烈云 冯夏庭 何满潮 Kevin Riemer
李术才 罗绍基 马洪琪 Nick Barton
Peter Kaiser 施仲衡 宋振骐 Yossef Hatzor
周丰峻 郑颖人
(按姓氏拼音排序)

国际工程科技发展战略高端论坛——重大地下工程安全建设与风险管理

International Top-level Forum on Engineering Science and Technology Development Strategy--

Safe Construction and Risk Management of Major Underground Engineering

2012.5.18-19, 中国 武汉 18-19 May 2012, Wuhan, China



国际工程科技发展战略高端论坛——重大地下工程安全建设与风险管理参会人员合影 (2012. 5. 18)

目 录

第一部分 综述

| | |
|----------|---|
| 综述 | 3 |
|----------|---|

第二部分 参会人员名单

| | |
|--------------|----|
| 参会人员名单 | 11 |
|--------------|----|

第三部分 特邀报告及报告人简介

| | | |
|---|----------------|-----|
| 地下工程建设安全面临的挑战与对策 | 钱七虎 | 17 |
| 满足地下岩石工程安全的设计方法 | John A. Hudson | 31 |
| 有限元极限分析法在隧道稳定分析和设计中应用 | 郑颖人 | 38 |
| TBM 和钻爆法联合应用的复杂长隧洞风险控制 | Nick Barton | 45 |
| 岩爆条件下的支护设计 | Peter Kaiser | 54 |
| 基于块体 - DDA 数值模拟的浅层硐室破坏风险估计:建议方法和 实例研究 | Yossef Hatzor | 61 |
| 中国水利水电地下工程安全建设技术、国家需求及科技前沿问题 | 马洪琪 | 68 |
| 非耦合装药爆破和岩土动力学 | 周丰峻 | 75 |
| 岩爆孕育演化机制、规律、预测与动态调控 | 冯夏庭 | 80 |
| 长江地铁隧道之间的联络通道的施工监测预警 | 丁烈云 | 87 |
| 南非 Witwatersrand 盆地矿山开采和微震活动的监测、孕灾机制与减灾策略 分析 | Kevin Riemer | 92 |
| 岩爆的机理及其控制 | 何满潮 | 100 |
| 地下工程突涌水灾害源超前预报与治理技术新进展 | 李术才 | 105 |

第四部分 主题圆桌高端研讨

| | | |
|-----------------------------------|--------------|-----|
| 我国煤矿开采技术发展现状及方向 | 宋振骥 | 113 |
| 抽水蓄能电站地下工程地质灾害风险控制 | 罗绍基 | 116 |
| 结合地铁工程建设做好大城市地下空间开发及其工程风险防范 | 施仲衡 | 123 |
| 中国地下核电站工程 | 陆佑楣 | 127 |
| 地下工程的设计和 risk | 郑颖人 | 130 |
| 地下隧道突水、突泥 | 周丰峻 | 132 |
| 煤矿安全管理 | Kevin Riemer | 134 |
| 后记 | | 318 |

CONTENTS

Part I Review

| | |
|--------------|-----|
| Review _____ | 137 |
|--------------|-----|

Part II Keynote Lectures and Speaker Introduction

| | |
|--|-----|
| Challenges Faced by Construction Safety of Underground Engineering and Its Strategies _____ Qihu Qian | 147 |
| Design Methodology for the Safety of Underground Rock Engineering _____ John A. Hudson | 167 |
| Application of FEM Limit Analysis Method in the Stability Analysis and Design of Tunnels _____ Yingren Zheng | 178 |
| Reducing Risk in Tunnelling by Using Hybrid TBM and Drill-and-blast for Long and Difficult Tunnels _____ Nick Barton | 188 |
| Support Design under Rockburst Conditions _____ Peter K. Kaiser | 202 |
| Risk Assessment of Collapse in Shallow Caverns Using Numerical Modeling of Block Interactions with DDA; Suggested Approach and Case Studies _____ Yossef Hatzor | 211 |
| Safety Construction, National Need and Frontier S&T Problems in China's Underground Hydraulic and Hydropower Engineering _____ Hongqi Ma | 220 |
| Uncoupling Blasting and Dynamics for Soils and Rocks _____ Fengjun Zhou | 233 |
| Features, Mechanism, Warning and Dynamic Control of Rock Nucleating Process _____ Xiating Feng | 238 |
| Real-time Sensing and Early Warning for Construction Safety Risk of Crossing Passages in Yangtze Riverbed Metro Tunnel _____ Lieyun Ding | 249 |
| Seismicity and Mining in the Witwatersrand Basin; Monitoring, Mechanisms and Mitigation Strategies in Perspective _____ Keivin Riemer | 256 |
| Mechanism and Control of Rock Burst _____ Manchao He | 269 |
| Technological Developments in the Forecast and Management of Water Inrush of Underground Engineering _____ Shucai Li | 275 |

Part III High-end Roundtable Panel Discussions

| | | |
|---|---------------|-----|
| Current Status and Direction of Coal Mining Technology _____ | Zhenqi Song | 287 |
| Risk Control of Underground Power House Complex in Pumped Storage Power Station Projects _____ | Shaoji Luo | 291 |
| Risk Prevention of Projects Concerning the Development of the Underground Space together with the Construction of the Subway Engineering in Big Cities _____ | Zhongheng Shi | 302 |
| Underground Engineering Projects in Underground Nuclear Power Plants in China _____ | Youmei Lu | 308 |
| Design and Risk of the Current Underground Engineering _____ | Yingren Zheng | 312 |
| Water Burst, Mud Inrush in Underground Project Construction _____ | Fengjun Zhou | 315 |

第一部分

综 述

综 述

一、论坛背景

随着世界经济的持续发展,未来 20 年,地下工程建设与地下空间开发与利用是世界工程建设的重点之一。一系列大型水电地下洞室群和深埋长隧道、大量的跨江越海公(铁)路隧道以及城市地铁将陆续在世界范围兴建。与此同时,为满足经济建设发展对资源的需求,煤矿、金属矿等资源的深部开采已成为世界的发展趋势。在这些地下工程建设中,由于建设规模巨大、地质条件复杂,岩爆、大变形与大面积塌方、突水、地表沉陷等地质与工程灾害事故频发,导致人员伤亡、设备损坏、工期延误和工程失效等重大损失。地下工程灾害孕育演化规律与成灾机理、风险评价与管理、控制理论与技术等已成为地下工程建设面临的具有挑战性的关键科学与技术难题。

论坛广邀国内外岩土工程、铁道、水利工程、防震减灾工程界的知名专家,围绕复杂地质与环境条件下的重大地下工程安全建设与风险管理,开展多方位、多角度的战略性与前瞻性主题研讨,通过多学科的交叉与融合探求复杂地质环境下地下工程与地下空间灾害机理研究与预测预警的攻关方略,推动我国乃至世界地下工程灾害(岩爆、大变形、塌方等)预测预报、灾害防治与风险管理的新发展,牵引新理论、新方法、新技术的自主创新与突破。

二、整体情况

在论坛各方的共同努力下,“重大地下工程安全建设与风险管理——国际工程科技发展战略高端论坛”于 2012 年 5 月 18 日~19 日在武汉洪山宾馆举行。论坛由中国工程院主办,中国工程院工程管理学部、中国工程院土木、水利与建筑工程学部、中国岩石力学与工程学会、中国科学院武汉岩土力学研究所/岩土力学与工程国家重点实验室共同承办,并得到湖北省委、湖北省人民政府、国家自然科学基金委员会、中国科学院武汉分院的大力支持。

会议面向未来 20 年世界重大地下工程安全建设与风险管理方面的重大科技问题开展高端性、宏观性、综合性、战略性研讨,具体围绕三个主题:复杂地质与环境条件下重大地下工程灾变机理与调控机制、设计理论与方法、安全风险评价理

论与管理体系。论坛设置了大会特邀报告和一场主题圆桌高端研讨会。

出席会议、做特邀报告和参加研讨的有 18 位院士：中国工程院院长周济院士、钱七虎院士、陆佑楣院士、孙永福院士、葛修润院士、马洪琪院士、王景全院士、孙伟院士、张祖勋院士、周丰峻院士、郑守仁院士、郑颖人院士、钟登华院士、秦顺全院士、崔俊芝院士、龚晓南院士、李建成院士，中国科学院宋振骥院士，8 位外国著名院士专家：英国皇家工程院院士、国际岩石力学学会前任主席 John A. Hudson 教授，英国皇家工程院院士、澳大利亚技术科学与工程院院士、国际岩石力学学会最高奖（Muller 奖）获得者 E. T. Brown 教授，美国国家工程院院士、瑞典皇家工程科学院院士 Charles Fairhurst 教授，加拿大国家工程院院士、国际岩石力学学会前任副主席 Peter Kaiser 教授，国际岩石力学学会最高荣誉 Muller 奖获得者 Nick Barton 博士，南非矿震专家 Kevin Riemer 博士，以色列岩石力学学会主席 Yossef Hatzor 教授，国际岩石力学学会前任副主席葡萄牙 Luis R. Sousa 教授，以及罗绍基院士代表、施仲衡院士代表、国际岩石力学学会主席冯夏庭研究员，丁烈云教授、唐春安教授、何满潮教授、李术才教授、国家自然科学基金委员会工程与材料科学部水利学科主任李万红教授等。钱七虎院士和 John A. Hudson 院士担任大会主席，孙永福院士、陆佑楣院士和葛修润院士担任大会副主席。

冯夏庭研究员主持了开幕式，中国工程院周济院长致开幕辞，论坛主席钱七虎院士、论坛主席 John Hudson 院士、湖北省副省长郭生练分别代表论坛组委会和有关政府部门致辞表示祝贺。

会议历时两天。5 月 18 日~5 月 19 日上午，与会专家学者围绕地下工程安全建设与风险管理作了精彩的特邀报告。其中，大会主席钱七虎院士作了《地下工程建设安全面临的挑战与对策》的主题报告，分析了我国目前地下工程建设现状以及安全管理面临的挑战与对策，并着重分析了地下工程建设中突水突泥和岩爆两个最主要工程灾害的对策措施。国际岩石力学学会前主席 Ted Brown 对地下工程建设安全管理中的风险评估和风险管理进行了综述，详细阐述了地下工程风险评估和管理的理论、方法和实际工程应用。英国皇家工程院院士 J. A. Hudson 针对岩石力学参数获取和不明地质条件下的工程设计问题进行了详细的阐述。郑颖人院士在报告中介绍了有限元极限分析法在隧道工程设计和稳定性分析中的应用，提出了预知和控制工程安全的先进设计方法。马洪琪院士详细介绍了我国水利水电地下工程安全建设技术、国家需求及科技前沿问题；国际岩石力学学会罗哈奖得主 Nick Barton 介绍了 TBM 和钻爆法的混合解决方案在深埋长大隧道中降低风险中的应用。Yossef H. Hatzor 教授介绍了非连续变形分析（DDA）方法在浅埋隧道坍塌风险评估中的应用情况，详细阐述了该方法在 Ayalon

隧道、Zedekiah 采石场和 Beersheba 地下蓄水系统中的具体应用。中科院武汉岩土所冯夏庭研究员、东北大学丁烈云教授、山东大学李术才教授、大连理工大学唐春安教授、中国矿业大学何满潮教授等也就地下工程建设安全中的突出问题做了精彩的报告。

5月19日下午,论坛主席钱七虎院士和 John Hudson 院士共同主持了重大地下工程安全建设与风险管理主题圆桌高端研讨会。研讨会集中对地下工程安全建设和风险管理未来20年的科技发展战略,从国际视野进行了研讨,探讨未来的研究、合作。与会的中外院士和专家进行了精心准备,积极发言,并达成了一系列共识。周济院长在会上发表总结讲话。

三、会议主要观点和结论

会议经过两天的报告和研讨,形成了如下主要观点和结论:

1. 重大地下工程的安全建设与风险管理是当前国际岩土力学工程界最为关注的前沿问题,也是我国未来需要重点研究的关键问题。目前我国正处于地下工程建设的高潮期,水利水电、交通、城市、矿山、国防等领域正出现越来越多的隧道(洞)、洞室群和地下空间。这些工程的建设规模及其所遇到的复杂地质条件很多都是世界少有的,工程建设过程中岩爆、突泥突水、塌方等地质灾害时有发生。地下工程安全形势虽有所好转,但事故发生率仍居高不下。

2. 在地下工程安全建设与风险管理方面,取得的代表性进展主要有:

1) 有限元极限分析方法技术及其隧道稳定性分析;

2) 光纤光栅传感技术、地下工程施工过程当中安全状态实时感知技术、施工便携式智能预警终端技术,部分技术已经在实际工程中成功运用;

3) 水利水电地下工程建设技术(包括大型地下厂房安全建设技术、复杂地质条件下大断面、长隧洞安全建设技术、无钢衬高压钢混凝土叉桩管设计及施工技术、高压长斜井安全建设技术、地下工程的混凝土模板建设);

4) 岩爆孕育过程的现场和室内试验方法、特征、规律、机制、分析、预警方法、“三步走”和基于微震信息动态演化规律的动态调控方法、控制岩爆的大变形锚杆。该成果在锦屏二级水电站引水隧洞和排水洞群进行了成功实践,表明了岩爆是可以预测的,在高压岩爆洞段,钻爆法比TBM有更好的适应性,TBM与钻爆法联合可降低岩爆风险;

5) 建立了一套集陆地声纳、瞬变电磁和复合式激发激化技术为一体的含水构造超前预报技术体系,研制了动水注浆新材料,形成了集地质预报和科学服务为一体的信息化综合治理的决策系统研究。该技术在沪蓉西、青岛的海底隧道中

得到成功应用；

6) 在地铁建设领域,完善了安全风险管理的法规体系建设和制度建设,对工程建设安全风险管理体系进行了积极探索,主要包括:建立了业主、勘察、监理方、施工方和第三方监测单位的管理职责明确的组织管理体系;建立了涵盖工程建设的全过程,包括勘察阶段、方案设计阶段、初步设计阶段、施工图设计阶段、施工阶段及工后阶段的安全风险技术管理体系;建立和规范了涵盖风险识别、分类、评估和控制的安全风险管理流程体系;建立了包括监控量测与安全巡视的安全风险管理预测预警制度及监控预警模型;建立了针对施工现场活动的安全风险管理指南;建立了安全风险管理的远程监控平台和完善的第三方监控体系,并针对常见施工突发工程及环境风险事件提出了预防及应急措施。

在研究和实践过程中总结出的以上成果应加大力度在地下工程领域进行全面推广。

3. 查明复杂地质环境的风险并进行及时有效防范是地下工程建设面临的巨大挑战和安全建设的关键所在,应加强地下工程全生命周期(也就是地下工程规划、勘察、设计、施工和运行的全过程)工作的协调和统筹,加强地质勘查、地应力测试和岩体的非确定性和非均质性研究,加强与7个关键因素GTHMCBE(即地质、温度、水力、应力、化学、生物和工程因素)相关的重大事故预测预报和防治的基础理论、新技术和新材料的研究,建立基于现代化、信息化技术的地下工程安全管理信息系统,通过国家项目如973项目等的立项攻克相关理论和技术难题,提高地下工程安全建设与风险管理水平。

4. 目前地下工程建设中突出存在管理体制不健全、招标不规范、赶工期、工程造价低造成安全措施投入缺少、用工制度造成人员技术水平低等问题。提高地下工程安全建设与风险管理水平的关键是:加强针对地下工程安全风险管理的法规建设;完善各行业的地下工程勘察、设计与施工技术规范;推广建立地下工程安全风险管理体系和安全监控中心,完善第三方监测监理制度;加强工程安全文化建设,促进树立企业的社会责任理念;建立和推广地下工程安全风险管理指南。

5. 鉴于地下工程在抗震、抗风等方面以及利用水库可以提供大量的冷却水的优势,在水电站地下厂房建设地下核电站是一种可能的选择。

四、论坛意义

本次高端论坛目的明确,针对性强,出席会议的有较多国内外世界顶级专家,具有很强的代表性,研讨问题重点突出。本次高端论坛取得的成果分析、确定了未来10到20年地下工程安全建设领域发展的重点方向以及凝练了未来一段时

间地下工程建设领域需要重点组织研究的若干重大科学技术问题。正如周济院长在总结讲话中指出：“这次会议开得很成功，体现了国际工程科技发展战略高端研讨会的目标和宗旨，参加本次论坛的有中国工程院工程管理学部，土木、水利与建筑工程学部两个学部的院士以及来自世界各地的顶级专家，大家从各个方面以一种开放的心态互相学习，共同研究，强调综合，强调集成，从更高层面上进行了研讨，突出了战略研究的主题，体现了协同创新和国际合作，是一次成功的论坛，为加强中国与世界工程技术的交流，进一步促进我国乃至世界重大地下工程建设和科学管理发挥了积极的作用。”

第二部分

参会人员名单