

中国工程科技论坛

岩爆、突水突泥灾害 预测预报预警与防治 控制技术

● 中国工程院



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

中国工程科技论坛

岩爆、突水突泥灾害预测预报 预警与防治控制技术

Yanbao Tushui Tuni Zaihai Yuce Yubao Yujing
Yu Fangzhi Kongzhi Jishu



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

内容简介

本书系中国工程院中国工程科技论坛“岩爆、突水突泥灾害预测预报预警与防治控制技术”论文基础上汇编而成。本次论坛主要围绕岩爆、突水突泥灾害预测预报预警与防治控制技术进行深入研讨,剖析了铁路公路、水利水电和矿山等各领域的岩爆、突水突泥防灾减灾的理论技术与成功经验,争取在岩爆与突水灾害机理认识上有新突破,在研究方法上有新思路、力争把各领域研究新成果综合起来,探索出一条发生机理、预测、预报预警和防治为一体的岩爆及突水突泥灾害控制新途径,为我国地下工程防灾减灾提供科学决策依据和关键技术支持。本书为中国工程院“中国工程科技论坛”系列丛书之一,适合相关领域的研究者、技术人员、学生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

岩爆、突水突泥灾害预测预报预警与防治控制技术
中国工程院编著. -- 北京:高等教育出版社,2013.8
(工程科技论坛)
ISBN 978-7-04-037912-9

I. ①岩… II. ①中… III. ①地质-自然灾害-预报
②地质-自然灾害-灾害防治 IV. ①P694

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 157231 号

总 策 划 樊代明

策划编辑 王国祥 黄慧靖 责任编辑 朱丽虹 张 冉
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 787mm × 1092mm
印 张 8.75
字 数 160千字
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 8 月第 1 版
印 次 2013 年 8 月第 1 次印刷
定 价 60.00 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 37912-00

编辑委员会

主 任：钱七虎

委 员：白玉良 王元晶 翟鲁宁 徐显明
 姜红祥 井海明 赵 显 卜昌森
 翟明华 卢耀如 陆佑楣 郑颖人
 周丰峻 宋振骐 顾金才 张勇传
 梁文灏 冯夏庭 赵 勇 李术才
 武 强 杜彦良 蒋树屏 姜耀东
 姜福兴 单治钢 张继奎 仇文革
 唐春安 钟世航 缪协兴 林 君
 王复明 张庆松

目 录

第一部分 综述

综述	3
----------	---

第二部分 特邀报告及报告人简介

岩爆孕育过程的实时监测、预警与动态调控设计指南及其应用 ... 冯夏庭	13
铁路隧道突水涌泥灾害预防和整治技术	赵 勇 19
突水突泥灾害机理与超前预报定量识别技术的现状及发展趋势	李术才 25
煤矿水害防治技术现状与展望	卜昌森 34
TBM 施工穿越岩爆与突水突泥等复杂地质条件的关键技术及挑战	杜彦良 43
复杂条件下公路隧道突水突泥灾害防控关键技术	蒋树屏 54
关于煤矿冲击地压机理与防治研究的进展	姜耀东 66
矿山动力灾害机理与微震监测技术	姜福兴 75
深埋水工隧洞岩爆、高压涌水防治及对策	单治钢 80
铁路隧道施工中突水突泥灾害的治理技术	张继奎 88
前车覆,后车诫——渝怀铁路圆梁山隧道突泥启示录	仇文革 110
隧道及地下工程涌水治理理论与关键技术	张庆松 118
附录 参会人员名单	125
后记	131

第一部分

综 述

综 述

一、论坛背景

我国地下工程与地下空间建设蓬勃发展,上万公里的交通隧道工程和几十个世界级的大型水利水电工程正在或即将投入建设,矿井开采深度已超过千米,呈现出“大埋深、高应力、强岩溶、高水压、地质复杂、灾害频发”等显著特点,岩爆和突水突泥重大灾害往往造成设备损坏、工期延误和重大的人员伤亡及经济损失,已成为地下工程和岩石力学领域的世界级难题。中国科协 2011 年已组织过学术沙龙“岩爆机理探索”,中国岩石力学与工程学会也组织过“岩爆监测预报与控制学术研讨”,但岩爆机理的研究仍停留在定性解释阶段,岩爆的预测预警与控制尚未上升到系统的理论与技术层面。而关于突水突泥灾害的相关学术研讨组织较少,相关灾变机理及预报、预测预警、防治方法亟待突破。目前,岩爆、突水突泥的灾害演化与致灾机理、预测预报预警与防控的理论和技术等已经成为极具挑战性的关键科学与技术难题。

本次论坛主要围绕岩爆、突水突泥灾害预测预报预警与防治控制技术进行深入研讨,剖析铁路公路、水利水电和矿山等各领域的岩爆、突水突泥防灾减灾的理论技术与成功经验,争取在岩爆与突水灾害机理认识上有新突破,在研究方法上有新思路,力争把各领域研究新成果综合起来,探索出一条发生机理、预测、预报预警和防治为一体的岩爆及突水突泥灾害控制新途径,为我国地下工程防灾减灾提供科学决策依据和关键技术支撑。

二、整体情况

在论坛各方的共同努力下,第 152 场中国工程科技论坛“岩爆、突水突泥灾害预测预报预警与防治控制技术”于 2012 年 11 月 24 日—25 日在济南喜来登酒店举行。论坛由中国工程院主办,由中国工程院工程管理学部、山东大学、山东能源集团有限公司和中国岩石力学与工程学会共同承办,并得到了深部岩土力学与地下工程国家重点实验室的大力支持。

(一) 论坛主题与主要内容

本次工程科技论坛面向我国铁路公路交通、水利水电、矿山等领域的地下工

程岩爆与突水突泥灾害的预测预报预警与防治技术展开了高端性、宏观性、综合性、战略性研讨,主题是岩爆与突水突泥灾害的发生机理、定性定量预测预警方法、灾害防治与控制技术。具体围绕四个主要内容:(1)岩爆与突水突泥灾害的孕育条件与发生机理;(2)岩爆与突水突泥灾害源的定量化预测与预报理论;(3)岩爆与突水突泥灾害的监测、感知与预测方法;(4)岩爆与突水灾害的防治与控制技术。

论坛由中国岩石力学与工程学会理事长、中国工程院院士钱七虎担任大会主席,由中国工程院院士陆佑楣,中国科学院院士宋振骐,山东能源集团有限公司董事长卜昌森研究员担任大会副主席。

(二) 贵宾会见与开幕式情况

论坛开幕式之前,山东省政协副主席王乃静,山东大学校长徐显明,山东省科技厅厅长翟鲁宁,山东能源集团董事长卜昌森,山东大学副校长娄红祥等与中国工程院秘书长白玉良,论坛主席、中国岩石力学与工程学会理事长钱七虎院士,特邀嘉宾中国三峡集团公司原总经理陆佑楣院士,山东科技大学宋振骐院士,总参工程兵科研三所顾金才院士,解放军后勤工程学院郑颖人院士,国家自然科学基金委工程与材料科学部常务副主任黎明,国际岩石力学学会主席冯夏庭教授、中国工程院学术与出版委员会办公室处长王元晶等进行了会谈。宾主双方回顾了山东省与中国工程院、国家自然科学基金委的长期合作历程,高度评价了密切的合作关系。宾主双方均表示,将以此次论坛为契机,加强双方的科技研发与科技服务合作,提升山东省的科技水平,为山东培养和造就更多高层次人才。

论坛开幕式由山东大学土建与水利学院院长李术才教授主持。在开幕式上,白玉良、王乃静、钱七虎、徐显明和卜昌森分别致辞。白玉良首先感谢山东省、山东大学和山东能源集团对此次论坛的大力支持,并介绍了中国工程科技论坛的总体情况,指出此次论坛的举办对我国地下工程建设灾害防控具有重要意义,并预祝论坛圆满成功。王乃静感谢中国工程院将此次论坛选择在山东举办,并介绍了山东省的总体情况,指出山东省是经济大省,尤其在交通、矿山、石油、能源储备等方面具有很广阔的发展空间,此次论坛的召开必将为山东省相关领域的科技进步提供强有力的理论和技术支持。钱七虎院士从地下工程专业角度指出了此次论坛对于岩爆、突水突泥灾害防控的重要性,并提到了山东大学岩土工程团队在地下工程水害预报与控制方面所取得的突出成果,指出这是此次论坛选择在山东举办的原因之一。卜昌森介绍了山东能源集团的总体情况,并指出在煤炭生产中遇到的突水灾害是制约安全生产的重要因素,论坛的召开将为

山东省乃至全国的煤炭资源安全高效开采提供重要支撑。山东大学徐显明校长在致辞中回顾了山东大学与中国工程院的深厚渊源和良好合作,介绍了山东大学的主要成就和学术业绩,并指出本场论坛着眼于国计民生热点问题,密切结合国家地下工程安全建设的需求,交流近年来的理论与技术进展,展望该领域的发展趋势,意义十分重大。

(三) 大会特邀报告与研讨情况

出席会议、做特邀报告和参加研讨的有:中国工程院秘书长白玉良、钱七虎院士、陆佑楣院士、郑颖人院士、顾金才院士、张勇传院士、宋振骐院士,以及卢耀如院士代表、国际岩石力学学会主席冯夏庭研究员、大连理工大学唐春安教授、山东大学李术才教授、国家自然科学基金委员会工程与材料科学部常务副主任黎明、山东能源集团有限公司董事长卜昌森研究员、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、中国科学院武汉岩土力学研究所所长李海波研究员等。

会议历时一天半。11月24日,与会专家学者围绕岩爆、突水突泥的预测预报预警与防治技术作了精彩的特邀报告。其中,中科院武汉岩土所冯夏庭研究员做了《岩爆孕育过程的实时监测、预警与动态调控设计指南及其应用》的特邀报告,结合锦屏二级水电站岩爆监测的工程实践,阐述了岩爆孕育过程的实时监测、动态预警与调控的理论、方法和技术,着重介绍了相关设计指南及工程应用情况。

铁道部工程设计鉴定中心赵勇教授级高工做了《铁路隧道突水突泥地质灾害预防和整治技术》的特邀报告,分析总结了我国铁路隧道建设中的突水突泥灾害案例及其成因与特点,重点阐述了突水突泥灾害预防与整治的工程技术与实践经验。

山东大学李术才教授做了《突水突泥灾害机理与超前预报定量识别技术的现状及发展趋势》的特邀报告,分析总结了隧道突水突泥灾害的典型类型和致灾机理,着重介绍了隧道施工期突水突泥灾害源超前预报定量识别的激发极化、全空间瞬变电磁等技术与装备,重点阐述了隧道超前地质预报技术的发展趋势与科研重点。

山东能源集团有限公司卜昌森研究员做了《煤矿水害防治技术现状与展望》的特邀报告,总结分析了典型的煤矿水害案例及其发生条件和特点,着重总结了煤矿水害的主要防治技术与对策。

中国矿业大学(北京)武强教授做了《矿井突水灾害预测预报与三维可视化地质平台》的特邀报告,阐述了顶板突水、底板突水等典型煤矿突水的预报和预

报技术与方法,重点介绍了突水灾害防治的三维可视化分析平台和虚拟现实技术。

石家庄铁道大学杜彦良教授做了《TBM 施工穿越岩爆与突水突泥等复杂地质条件的关键技术及挑战》的特邀报告,结合云南那邦隧道、秦岭隧道等工程实践,介绍了 TBM 施工穿越岩爆与突水突泥地层、软岩地层和断层破碎带等复杂地质条件的预报与施工的关键技术,着重阐述了 TBM 施工条件下岩爆与突水突泥灾害的防治对策与措施。

招商局重庆交通科研院蒋树屏教授做了《复杂条件下公路隧道岩爆与突水突泥灾害防控关键技术》的特邀报告,结合我国二郎山隧道、终南山隧道等公路隧道工程,着重介绍了岩爆与突水突泥灾害的防治技术与穿越灾害段的施工技术,并介绍了坍塌等灾害的典型案例分析与防治技术。

中国矿业大学(北京)姜耀东教授做了《关于煤矿冲击地压机理与防治研究的进展》的特邀报告,介绍了我国煤矿冲击地压的灾害现状及其防治的关键科学问题,重点阐述了冲击地压的防治与支护技术与经验。

北京科技大学姜福兴教授做了《矿山动力灾害机理与微震监测技术》的特邀报告,重点介绍了矿山动力灾害的微震监测技术与自主研发的微震实时监测与预警系统。

中国水电顾问集团华东勘测设计研究院单治钢教授级高工做了《深埋水工隧洞岩爆、高压涌水防治及对策》的特邀报告,重点总结阐述了锦屏二级水电站引水隧洞的岩爆和高压涌水灾害类型、防治对策及其施工关键技术。

中铁隧道集团的张继奎教授级高工做了《铁路隧道施工中突水突泥灾害的治理技术》的主题报告,从岩溶的成因、预测预报技术、治理技术等方面阐述了铁路隧道突水突泥灾害的防治技术与工程实践经验。

西南交通大学仇文革教授做了《前车覆,后车诫——渝怀铁路圆梁山隧道突泥启示录》的特邀报告,分析了圆梁山隧道突水突泥灾害的成因、演化过程及防治对策。

山东大学张庆松教授做了《隧道及地下工程涌水治理理论与关键技术》的特邀报告,重点介绍了涌水防治的基础理论、新型材料和关键工艺。

11月25日上午,论坛主席钱七虎院士和陆佑楣院士共同主持了“岩爆与突水突泥灾害防控的核心技术与发展战略”研讨会,钱七虎院士、顾金才院士、卢耀如院士、钟世航教授、林君教授、王复明教授进行了精心准备,做了精彩的主题报告,与会代表陆佑楣院士、郑健龙教授、井兰如教授、杜立杰教授、洪开荣教授级高工、郑宏教授、仇文革教授、刘树才教授、刘泉声教授、王华牢教授、李海波研究员、李术才教授、刘斌博士等积极发言,讨论气氛热烈,并达成了一系列共识。

三、会议主要观点和结论

会议形成了如下主要观点和结论。

1. 岩爆、突水突泥灾害预测预报预警与防治控制技术是当前国内外隧道与地下工程界最为关注的前沿问题和热点问题之一,是我国铁路公路、水利水电、矿山能源、市政、国防等领域重大工程安全建设与防灾减灾的关键问题。在今后相当长的时期内,我国都将处于地下工程与岩石工程建设的高潮期,对于研究和突破岩爆、突水突泥灾害预测预报预警与防治控制技术是重要的机遇期。当前,我国地下工程建设中岩爆、突水突泥灾害频发,安全形势严峻,急需研发“先进、创新、实用、有效”的预测预警与防控技术,为地下工程灾害防治提供关键技术支撑。

2. 在岩爆、突水突泥灾害预测预报预警与防治控制技术方面,取得的代表性进展和主要结论有:

(1) 研究岩体的非协调变形是探索岩体破裂与岩爆机理及其预测技术的可行途径,我国关于岩体非协调变形的研究尚处于初步阶段,需要引起足够重视。

(2) 提出了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;建立了基于微震监测的岩爆灾害实时监测、风险动态评估、预警以及动态调控方法,并初步给出了设计指南;结合锦屏二级水电站引水隧洞和排水洞群的岩爆预测与防治实践,总结分析了岩爆灾害的主要类型和成因,形成了控制岩爆的大变形锚杆、应力解除等岩爆治理技术,提出了“利用超前预报技术(陆地声纳)识别定位岩爆目标靶区,基于实时微震技术监测预测岩爆孕育过程”的岩爆预测预警新途径。综合中国水电顾问集团华东勘测设计研究院、中国科学院武汉岩土力学研究所、大连理工大学以及钟世航教授等在锦屏二级水电站的研究与实践工作,表明了岩爆是可以预测和防治的,在高压岩爆洞段,钻爆法比TBM施工法有更好的适应性和抵抗岩爆风险的能力。

(3) 在煤矿冲击地压等动力灾害预测预报与防治方面,总结分析了典型的煤矿冲击地压灾害案例及类型,提出了煤矿冲击地压的定义、发生机理与赋存环境,建立了微震监测系统和应力监测系统一体化的监测系统与实时预警系统,开发了远程联网微震监测室,提出了煤矿冲击地压防治的关键技术(应力三向化防冲技术、打卸压孔、装卸压槽、强支护、恒阻大变形锚杆),并在数十个煤矿中得到了推广应用。

(4) 在地下工程突水突泥灾害源预报预警技术方面,梳理总结了典型的铁路公路隧道、水利水电隧洞及煤矿突水突泥与高压涌水案例(如圆梁山隧道突水突泥、宜万铁路野三关隧道与马鹿箐隧道突水突泥、锦屏二级水电站隧洞高压涌

水等),归纳划分了典型的突水突泥类型及其孕育地质条件及环境。我国在不良地质体超前地质预报的科学研究与工程实践方面取得了重要进展,山东大学李术才课题组研发了全空间瞬变电磁、复合式激发极化、极小偏移距地震等隧道施工超前地质预报创新技术及装备,建立了综合超前地质预报集成技术与一体化决策系统,在不良地质体三维定位和水量定量预报方面取得了重要突破和进展,建立了基于动态风险评价的第三方施工许可机制和施工安全保障机制,并将该技术成功应用于湖北沪蓉西高速公路岩溶隧道群、青岛胶州湾海底隧道、四川江边水电站等国家重大重点工程中。吉林大学林君课题组在核磁共振定量探水方面也开展了有益探索,山东能源集团在矿井探水方面积累了丰富的丰富经验。未来该方向的研究重点是定量化探水技术、精细化成像技术和 TBM 搭载的专用预报技术装备。

(5) 在地下工程突水突泥灾害源治理技术方面,以隧道施工和煤矿采掘两大地下工程背景为基础,揭示了动水注浆条件下的浆液运移扩散规律及封堵机制,研发了高压动水注浆封堵新型材料和孔隙微裂隙注浆加固新型材料,提出了突水突泥灾害防治的关键技术与工艺(高压动水注浆、释能降压、信息化超前注浆、超前旋喷注浆、岩溶突水综合处置、深部截源引流加浅部注浆加固等)。在救灾抢修和运营期病害修复方面,研发了一种高聚物注浆新材料及其配套工艺设备。在煤矿防治水方面,提出了煤矿突水的主控因素体系,研发了煤矿三维水文地质可视化平台,提出了“预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采”的 16 字方针和相应的综合处置技术,形成了一些实用有效的防治水的关键技术(储量改造、帷幕截流、留隔水煤柱等)。在今后,考虑“环境保护和可持续发展”的绿色协同防治水技术是重要发展方向。

(6) 在 TBM 施工隧道灾害防治方面,在 TBM 机械穿越岩爆、突水突泥等复杂地质条件的选型设计、风险评估和施工技术等方面开展了有益探索,积累了宝贵的实践经验。目前,TBM 机械搭载的超前地质预报装备研发是一个难点和重点问题,在今后有可能在 TBM 专用地震法预报技术、电法预报技术和随钻综合地球物理精细探测技术等方面取得突破,是一个有前景的发展方向。

(7) 鉴于地下工程在抗震、抗辐射等方面的突出优势,建设地下核电站是一种有前景的选择,但需要我国的地下工程专家与核电专家联合起来,进一步论证在灾变条件下核素迁移的风险,并大力研究相应的关键技术。

3. 我国在岩爆、突水突泥灾害预测预报预警与防治控制技术的科学研究和工程实践方面取得了重要的进展和成绩。一方面需要充分肯定已有成绩,提高完全攻克难题的信心;另一方面,要面向未来,增加责任感和使命感,以中国工程科技论坛为平台和桥梁,广泛建立“官—产—学—研—用”联合攻关平台和协同

创新机制,实施双边联合、多边联合,开展多学科交叉研究,探索和凝练发展方向,集中我国优势力量,早日在岩爆和突水突泥灾害预测预报与防治方面取得新成就,引领国际上在该领域的发展和跨越。

四、论坛意义

本次中国工程科技论坛目的明确,针对性强,出席会议的有较多本行业知名院士和专家,来自铁路、公路、煤矿、能源、市政、国防等多个领域,具有很强的代表性,研讨问题重点突出。本次工程科技论坛梳理总结了我国在岩爆和突水突泥预测预警与防治方面取得了进展和成就,有利于已有关键技术与实践经验的推广和发展。本次论坛规划和指明了未来 10 ~ 20 年岩爆与突水突泥预测预警与防治的重点发展方向和若干重大科学技术问题,强调建立“官—产—学—研—用”联合攻关平台和协同创新机制,集中我国优势研究力量和主要设计与施工单位,集中攻关和突破一批关键技术难题。本次论坛中,与会专家们讨论活跃,发言积极,思想争鸣,开放融合,体现了工程科技论坛的主旨和主题,是一次成功的工程科技论坛,显著加强了我国地下工程领域的技术交流、对于促进我国重大工程安全建设与防灾减灾技术的发展跨越有重要的引领作用。

第二部分

特邀报告及报告人简介

