

中国核科学技术进展报告

(第二卷)

——中国核学会2011年学术年会论文集

第2册

▲ 铀矿冶分卷

▲ 核能动力分卷(上)

中国原子能出版社

中国核科学技术进展报告

(第二卷)

——中国核学会 2011 年学术年会论文集

第 2 册

铀矿冶分卷

核能动力分卷(上)

中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国核科学技术进展报告. 第2卷: 中国核学会2011年学术年会论文集. 第2分册, 铀矿冶分卷、核能动力(上)分卷 / 中国核学会主编.
—北京: 中国原子能出版社, 2012.10
ISBN 978-7-5022-5604-3

I. ①中… II. ①中… III. ①核技术—技术发展—研究报告—中国 IV. ①TL-12

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第151032号

内 容 简 介

自首届全国学术年会以来,我国核科学技术取得长足发展。从基础核科学到核技术应用,从核电技术到核电配套产业集群,均呈现蓬勃发展态势。在这种时代背景下,中国核学会第二届全国学术年会于2011年10月11日至14日在贵阳召开。大会以“蓬勃发展中的核科学技术”为主题,吸引了来自政府部门、企业界、科研机构、高等院校及学术团体的知名院士、专家、教授及青年核科技工作者,共计1200余人(其中院士31人)与会。年会共征集论文1192篇,内容涵盖基础核科学、核电及其关联产业、核技术应用、核技术经济及核科技信息等学科。会后,经过各个二级学科专家组的评审,近800篇论文通过了学术(技术)审查,结集为《中国核科学技术进展报告(第二卷)》,全卷分为10册,并按21个二级学科设立分卷。

各册包含的分卷如下:第1册为“铀矿地质”分卷;第2册含“铀矿冶”分卷和“核能动力”分卷(上)两部分;第3册为“核能动力”分卷(下);第4册收录了“核材料”、“同位素分离”和“核化学与放射化学”3个分卷;第5册内容为“辐射防护”和“核化工”两个分卷;第6册共收录了“核物理”、“计算物理”和“粒子加速器”3个分卷;第7册则为“核电子学与核探测技术”、“脉冲功率技术及其应用”和“核聚变与等离子体物理”3个分卷;第8册包含有“辐射研究与应用”、“同位素”和“核农学”3个分卷;第9册收录有“核医学”和“核技术工业应用”两个分卷;第10册内容为“核情报(含计算机技术)”分卷和“核技术经济与管理现代化”分卷。

作为公共信息,文集还列出了中国核学会2011年学术年会的组织机构,《中国核科学技术进展报告(第二卷)》的总编委会和21个(二级学科)分卷编委会的名单。

中国核科学技术进展报告(第二卷)

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路43号 100048)
责任编辑 付 真
技术编辑 丁怀兰
责任印制 潘玉玲
印 刷 保定市中华美凯印刷有限公司
经 销 全国新华书店
开 本 890 mm×1240 mm 1/16
印 张 39 字 数 1154千字
版 次 2012年10月第1版 2012年10月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-5604-3 定 价 120.00元

网址: <http://www.aep.com.cn> E-mail: atomep123@126.com
发行电话: 010-68452845

中国核学会 2011 年 学术年会大会组织机构

大会主席 翟彦
执行主席 李冠兴
副主席 (按姓氏笔画排序)
丁中智 孙汉虹 邱爱慈 贺禹 康克军
彭先觉 雷增光 穆占英

顾问委员会

主任 王乃彦
委员 (按姓氏笔画排序)
王大中 毛用泽 方守贤 吕敏 朱永贍
阮可强 李德平 杨福家 吴德昌 陈能宽
胡思得 钱绍钧

组委会

主任 雷增光
副主任 潘传红(常务) 刘长欣 王德林
委员 (按姓氏笔画排序)
王敏 王国保 石金水 冉木子 朱升云
刘毅 苏艳如 李思凡 吴春喜 何作祥
辛锋 张闯 张一心 张生栋 杨华庭
罗志福 金蓓 哈益明 赵京伟 顾军
徐燕生 崔建春 康力新 程建平 简晓飞
蔚喜军
秘书 秦昭曼 张宝珠 耿庆云 王义伟 马正锋
李钢 伍险峰 张小庆 王宇 黄伟
苏萍

学术委员会

主 任 李冠兴

副 主 任 彭先觉 邱爱慈

委 员 (按姓氏笔画排序)

王志东	王贻芳	邓建军	刘国治	李金英
李德连	沈文庆	吴中俭	吴国忠	何多慧
张飞凤	张焕乔	张锦荣	陈念念	陈盛祖
畅 欣	周永茂	赵志祥	赵宪庚	侯惠群
柴之芳	崔建春	樊明武	潘传红	潘自强

主办单位 中国核学会

承办单位 贵阳市人民政府

协办单位	中国核工业集团公司	中国核工业建设集团公司
	中国电力投资集团公司	国家核电技术有限公司
	中国广东核电集团有限公司	中国工程物理研究院
	清华大学	贵州大学

技术支持单位

铀矿地质分会、铀矿冶分会、核能动力分会、核材料分会、同位素分离分会、核化学与放射化学分会、核化工分会、辐射防护分会、核农学分会、计算物理分会、核物理分会、粒子加速器分会、核电子学与核探测技术分会、脉冲功率技术及其应用分会、核聚变与等离子体物理分会、同位素分会、核医学分会、辐射研究与应用分会、核技术工业应用分会、核情报分会、核技术经济与管理现代化分会

北京市核学会、湖南省核学会、江西省核学会、广东省核学会、四川省核学会、浙江省核学会、湖北省核学会、福建省核学会、陕西省核学会、辽宁省核学会、甘肃省核学会、山西省核学会、吉林省核学会、新疆自治区核学会、安徽省核学会、河南省核学会、江苏省核学会、上海市核学会、天津市核学会、贵州省核学会、黑龙江省核学会

中国核科学技术进展报告

(第二卷)

总编委会

主任 李冠兴

副主任 彭先觉 邱爱慈

委员 (按姓氏笔画排序)

王志东	王贻芳	邓建军	刘国治	李金英
李德连	沈文庆	吴中俭	吴国忠	何多慧
张飞凤	张焕乔	张锦荣	陈念念	陈盛祖
畅欣	周永茂	赵志祥	赵宪庚	侯惠群
柴之芳	崔建春	樊明武	潘传红	潘自强

编委会办公室(中国原子能出版社)

主任 侯惠群

副主任 杨树录

成员 (按姓氏笔画排序)

丁怀兰	卫广刚	王丹	付真	任重远
刘朔	孙凤春	张关铭	赵志军	侯茸方
谭俊				

铀矿冶分卷

编委会

主任 张飞凤

委员 (按姓氏笔画排序)
刘超 李伟才 张德存 苏艳茹 曾毅君

核能动力分卷(上)

编委会

主任 叶奇蓁 周永茂

副主任 田佳树 邢继 张海波 南滨 严嘉鹏
隋永斌 张一心 王侃 张志俭

委员 (按姓氏笔画排序)
于风云 毛亚蔚 王晓江 叶树荣 江小川
孙荣锦 辛锋 阮桂兴 李善昌 邱小红
陈学营 季松涛 杨晓卿 柯国土 胡明刚
洪景丰 阎昌琪 张宗耀 程和平 彭经文
韩晓峰

前 言

“创新是一个民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力”(江泽民《在全国科学技术大会上的讲话》),我国核科技事业的发展史实际上就是一部蓬勃发展的科技创新史。从基础核科学领域的原始创新,到核技术广泛应用于工业、农业、医学等各个领域,从成功研制核武器,到核电技术快速发展,核科学技术的每一项技术进步都闪耀着核科技工作者的创新精神。以“蓬勃发展中的核科学技术”为主题,中国核学会两年一度的全国学术年会于2011年于10月11日至14日在贵阳市隆重举行。本届学术年会由贵阳市人民政府承办。年会共征集论文1192篇,内容涵盖基础核科学、核电及其关联产业、核技术应用、核技术经济及核科技信息等学科。会议期间,来自政府部门、企业界、科研机构、高等院校及学术团体的知名院士、专家、教授及青年核科技工作者,共计1200余人(其中院士31人)参加会议。共同围绕我国核工业发展、核电及其相关产业技术进步、核技术应用研究、基础核科学创新和发展、以及核科技人才培养等问题,交流观点,畅谈体会,切磋学术,探讨对策,以期促进中国核科技事业健康发展。

本届学术年会会期三天,第一天为主会场邀请报告。13名相关领域的专家学者,分别介绍了近年来我国在核安全监管、核电及其关联产业技术进步、以及基础核科学、核技术应用、核武器等相关领域取得的进展、未来的发展趋势与展望。第二天和第三天为“分会场口头报告”和“张贴报告”时段,两天时间里,计有486名科技工作者分别在10个分会场进行“口头报告”交流,有600多篇报告在张贴报告区进行书面交流。大会全景式展示了我国核科技界近两年来最新研究成果,包括AP1000的工程建设实践、AP1400科研进展、CPR1000自主化实践、我国铀矿冶新技术、高放废物深地质处置技术、同步辐射光源进展与展望、中微子实验、同位素及辐照加工技术进步、核技术在医学领域的应用等。此外,核物理、核化学、粒子与加速器物理、核聚变与等离子体物理等基础学科领域的进展,以及核医学、核农学、同位素与辐照加工技术、核技术工业应用等应用学科领域的技术进步,也引起人们的极大兴趣。

由于日本福岛核事故的影响,与核电有关的议题成为本届学术年会关注的焦点,会议回顾和总结了福岛核事故的经验教训及其对世界核能发展的影响,提出了大力发展最先进的核电技术,加强核安全法规(制度)体系及核安全文化建设,加强铀资源保障工作和核燃料后端产业发展、实现核燃料闭式循环,大力推进核电及其关联产业全面协调可持续发展等项对策和建议。使参会代表不仅近距离了解我国核基础科学技术的最近研究成就,还感受到我国“发展核电的决心不能动摇”(张德江副总理语)和核电关联产业蓬

勃发展的态势。

本届学术年会期间,在各个二级学科推荐基础上,通过学术委员会严格评审,共有66篇论文分别获得“优秀学术论文”一、二、三等奖和“青年优秀科技论文奖”。会后,经过各个二级学科专家组的评审,近800篇论文通过了学术(技术)审查,结集为《中国核科学技术进展报告(第二卷)》。和上届学术年会的论文集一样,《中国核科学技术进展报告(第二卷)》分为10册,并按21个二级学科设立分卷。

中国核学会作为全国性学术团体,自创立以来,努力贯彻执行党的方针政策,紧密团结广大核科技工作者,搭建高水平学术交流平台,推动各学科间的交流与融合,提升我国核科技创新能力,为经济社会发展服务、为提高全民科学素质服务、为科学技术工作者服务。通过广大核科技工作者的共同努力,经过两次成功办会所积累的经验,中国核学会的全国学术年会已经初步显示出旺盛的生命力,成为我国核科技界规模最大、最具影响力的学术交流平台。《中国核科学技术进展报告(第二卷)》如期结集出版,便是这场盛会之具体成果,可喜可贺!我们期待着中国核学会全国学术年会这朵奇葩,在广大核科技工作者的精心呵护和关怀下,绽放更绚丽的光彩,结出更丰硕的成果!

中国核学会第二届全国学术年会的顺利召开,离不开贵阳市人民政府的大力支持,离不开全国大核科技工作者的理解与支持,离不开中国核学会全体分支机构和21个省级(地方)核学会的密切配合,因此,要首先感谢那些为学术年会顺利召开做出贡献的单位和个人;其次,在论文学术(技术)评审和论文集出版发行过程中,学科评审专家组、分卷编委会及总编委会的全体同仁,付出了辛勤的劳动,在此对他们严谨学风和治学态度表达崇高敬意;此外,中国核学会秘书处和出版社的工作人员,在文字的编辑和校核过程中,也做出了具体贡献。在此一并致谢。

《中国核科学技术进展报告(第二卷)》编委会
2012年5月24日

目 录

铀矿井下深孔爆破落矿工艺及起爆网路优化..... 李 秦,秦德恩,杨立志(1)

有机改性蛭石对含铀废水的处理研究 刘文娟,曾艳红(7)

黑曲霉代谢产物浸铀研究 王永东,李广悦,丁德馨,等(15)

培养基的种类对黑曲霉代谢产物浸铀的影响 李广悦,丁德馨,王永东,等(22)

Two stage column leaching of uranium from uraninite ore
..... D. X. Ding, Y. L. Liu, G. Y. Li,等(30)

五种水生植物对水中铀的去除作用..... 胡 南,丁德馨,李广悦,等(40)

PRB 技术在铀矿探采工程坑道涌水治理中的应用研究 李娜娜,朱育成(50)

Cu^{2+} 对硫酸盐还原菌去除 U(VI) 的影响与机理探讨 谢水波,刘岳林,凌 辉(56)

采冶技术在赣州铀矿的现状及应用前景分析 刘继忠(64)

打造铀矿冶绿色矿山的思考 施祖远(69)

某砂岩铀矿石室内地浸试验研究..... 史文革,蔡萍莉(73)

铀尾矿氡析出率的空间分布的分形分析 谢焱石,谭凯旋,陈 亮(79)

某多金属矿中铀的浸出工艺研究 胡鄂明,王清良,叶善东,等(83)

扫描电镜在铀矿石酸化前后面体特征分析..... 许 影,姜 岩,宋振江,等(89)

低渗透砂岩铀矿床矿层保护技术研究..... 廖文胜,王立民,江国平,等(93)

某低渗透砂岩型铀矿层与溶浸剂配伍性研究..... 江国平,廖文胜,姜 岩(101)

压入式通风独头巷道内氡及氡子体的浓度分布特征 ... 叶勇军,丁德馨,周星火,等(106)

铀矿山地下留矿法采场内氡运移的数值模拟 叶勇军,丁德馨,周星火,等(111)

自动化控制在铀水冶工艺的作用 周 武,涂亮文(116)

铀矿山井下采掘安全管理若干问题的探讨 刘继忠,胡光华(121)

草桃背铀矿井通风系统专项整治方案及实施效果 吴建明,杜玉海,李先杰,等(126)

通地表天井在风化岩层及表土层中的贯通施工方法 ... 吴建明,杜玉海,刘立标,等(130)

铀矿山设计预测涌水量修正方法研究..... 雷明信(133)

铀矿湿法冶金主要设备的应用和发展趋势 邱晓光,陈 泽,王向荣,等(140)

污染农田剂量预测模型的比较..... 冀 东,连国玺,曹凤波(148)

铀矿山避灾硐室环境控制技术探讨..... 曹永凯(155)

新疆 511 矿床弱承压及无承压区域水文试验..... 李 德,肖作学,肖碧泉(161)

管道加酸装置研制..... 姚光怀(165)

植物胶钻井液在大深度地浸钻孔施工中的应用研究..... 张 勇,张青林,费子琼(170)

松散漂卵石地层钻进支护技术研究 王旨儒,王春利,王喜成,等(176)

铀矿井下深孔爆破落矿工艺及起爆网路优化

李秦¹, 秦德恩², 杨立志¹,

薛永社², 宋丽霞¹, 王之鹏²

(1. 核工业北京化工冶金研究院, 北京 101149; 2. 西安中核蓝天铀业有限公司, 陕西 西安 710500)

摘要:针对铀矿采场深孔爆破落矿大块产出率高的难题,指出在采取综合技术管理措施的同时,关键在于优化凿岩爆破参数和确保安全起爆。采用“小抵抗线”爆破技术,更新采场落矿工艺,实行孔底反向起爆落矿新工艺;优化起爆网路,选用安全可靠、经济合理的非电复式起爆网路。经实践证明,在严格的施工质量保证下,应用优化后的深孔爆破落矿技术,提高了安全起爆的可靠性,较好地解决了大块产出率高的难题。

关键词:铀矿井采场;深孔落矿工艺;反向起爆;起爆网路;优化

金属矿山在采矿工艺上通常采用深孔凿岩爆破落矿,国内把炮孔直径为 50~70mm、孔深为 5~15m 的接杆凿岩机钻凿的炮孔称为中深孔;而炮孔直径大于 70mm、孔深为 15m 以上的潜孔式或牙轮式(地下矿山很少用)钻机钻凿的炮孔称为深孔。实际上,随着凿岩设备和凿岩工具的改进,二者之间的界限不明显,现已统一为炮孔直径大于 50mm 或孔深 5m 以上的采场崩矿爆破为深孔爆破。深孔爆破崩矿工艺的特点是:效率高、速度快、作业安全,可使矿床开采强度和落矿劳动生产率大为提高,因而获得广泛的应用。我国已探明提交的铀矿床主要有 4 种类型:花岗岩型、火山岩型、碳硅泥岩型、砂岩型,所生产的天然铀主要来源于硬岩铀矿,其中的 3 种硬岩类型铀矿床占总量的绝大部分。但从其应用现状来看,由于凿岩爆破参数、起爆方法工艺和起爆网路的选择、设计跟不上矿体形态变化和技术的要求,生产中大块产出率居高不下。据统计大块率一般达 20%~25%,最高竟达 35%以上,个别大块尺寸在 2m 左右,致使采场二次爆破频繁,采用裸露药包爆破材料消耗十分惊人,并导致出矿巷道稳固性降低,堵塞出矿溜井,导致人员伤亡事故,严重威胁安全生产。针对上述问题,我们通过深入调查、仔细研究并结合矿山具体特点,主要从采矿技术方面对现行深孔凿岩爆破落矿工艺及结构参数进行了更新改进。

1 影响深孔落矿效果主要技术问题分析

1.1 凿岩爆破参数的影响

现行深孔凿岩爆破参数是在采切结构参数既定的条件下,大多采用垂直扇形布孔,普通凿岩爆破参数,即选择最小抵抗线与最优崩矿步距相配合,排间距 a (等于同排孔孔底距) 等于最小抵抗线 w ,使炮孔密集系数 $m = a/w = 0.8 \sim 1.2$ 。如此布孔,同排炮孔越到孔口越密集,在孔口最小抵抗线一般可达孔口距的 6~8 倍。由爆破机理分析:这样的爆破已类同于预裂切割爆破,必然会产生预裂切割爆破效应,即其爆轰波首先击穿同排各炮孔,使被破碎矿岩整齐地切割下来,并向临空面平移,甚至形成爆破立槽。经生产采场爆破生产现场观察,未破碎矿岩的临空面很平整且留有明显的半壁残眼,爆破落矿效果较差,产生大量的大块,且时有悬顶现象发生。

1.2 落矿工艺的影响

在深孔凿岩爆破参数既定的条件下,回采中深孔每孔装入单发非电毫秒导爆管起爆药包在孔口部位,孔内用导爆索串联各炸药卷,构成普通孔口起爆系统。根据爆轰波作用原理和矿岩破碎机理:

作者简介:李秦(1968—),男,湖南益阳市人,硕士,研究员级高级工程师,从事采矿工程、安全工程与评价研究

孔口起爆,爆破高应力指向孔底,反射到自由面的拉伸应力较弱,爆轰气体的静态作用强度小且时间短,不利于矿岩的充分破碎;孔口起爆孔内炸药的爆炸顺序是从孔口依次向孔底进行,这样从孔口过早过快地使爆破能量向外逸散而损失为爆破空气冲击波^[1]。

正向起爆装药先将被动药包装入炮眼内,然后装入起爆药,最后用炮泥填满剩余炮孔,所有药包和雷管的聚能穴一致朝向炮眼底。起爆时起爆药包的爆轰波传播方向由外向里,这样的起爆往往因为连续柱状药包起爆造成爆轰波衰减,出现残孔和残留炸药现象;爆轰气体一开始就处在一个敞开的介质空间,膨胀立即向外逸散,致使爆破能量大量释放于空气中,形成强大的爆破空气冲击波,这样爆轰气体对介质的作用强度小且时间短。反向起爆装药先将起爆药包装入炮眼底,然后再依次装入被动药包,最后用炮泥填满剩余炮孔,所有药包和雷管的聚能穴一致朝向炮眼,起爆时起爆药包的爆轰波传播方向由外向里。爆轰气体能较长时间地处于封闭的介质空间膨胀,有较多的能量向孔壁冲击,向介质做功。这样孔底起爆较孔口起爆爆轰气体作用的强度大且时间长。

由于孔口布药密集,加之在强大爆破空气冲击波的长时间作用下,眉线破坏比较严重,而作用于介质的爆破能量利用率显著降低。由于孔底距较大,爆轰波作用时间短且强度小,因而容易产生悬顶,并产生大量不合格大块,大块率通常高达 30%^[2]。

1.3 起爆网路的影响

目前大多数铀矿山已采用非电毫秒微差起爆系统替代了电力起爆系统,克服了电力起爆安全性差,工序复杂繁琐,施工费工费时等缺点。但存在对爆破元器件和网路无法进行仪表检测,易操作失误等缺点。若设计每孔装入单发导爆管来起爆孔内炸药和导爆索,并利用孔口导爆索三角联来实现同排孔之间的互爆,以弥补导爆管因产品质量或操作失误产生拒爆的不足,但实践中证明,孔口三角联却实际上根本不能发挥其作用,同排孔之间的互爆根本不可能发生,从而导致拒爆事故,造成不合格大块大量产生,严重时发生采场悬顶事故。

在落矿过程中不合格大块的大量存在直接影响着工人的身体健康和安全,并影响采矿生产的正常进行。它不仅降低了崩落矿岩的流动性,使矿石回收技术经济指标恶化;而且二次爆破工作量较大,增加了人力、物力、财力的投入,降低了采矿劳动生产率,并使采矿成本居高难降,造成了出矿安全隐患。大块率高已成为采矿生产出矿过程中的最大难题。

2 深孔凿爆参数及落矿工艺优化

2.1 凿岩爆破参数的优化

为克服普通爆破参数对落矿效果的影响,通过多次参数优化试验,采用了“小抵抗线”爆破技术。“小抵抗线”爆破的实质是在保持爆破孔网面积 $S = a \times w$ 和单位炸药消耗量基本不变的情况下,减小最小抵抗线为普通爆破最小抵抗线的三分之二左右,同时同排炮孔孔间距增大到普通爆破孔间距的 1.5 倍左右,使炮孔密集系数 $m = 3 \sim 5$ 。根据爆破矿岩破碎机理:如此布孔可克服普通爆破扇形布孔炸药分布不匀产生类似预裂爆破的效应。“小抵抗线”爆破增强了自由面矿岩的反射波能,使矿岩受到较大的拉伸应力而增强了自由面矿岩的片裂作用;由于孔间距的加大,避免了爆破能量从排面间爆破缝中过早大量的损失,加强了径向裂隙的延伸,不仅降低了大块产出率,而且为后排炮孔的爆破创造了良好的破碎条件。经生产实践与现场取样证明,“小抵抗线”爆破,使大块产出率降低 30% 左右;出矿效率提高了 1 倍以上;二次爆破材料消耗降低 40% 左右;采矿综合成本每吨采出矿石降低 7 元左右。可见,“小抵抗线”爆破参数显著优于普通爆破参数。

2.2 落矿工艺的更新改进

针对孔口起爆落矿大块产出率高,炸药单耗偏高,眉线破坏严重和采场悬顶时有发生等问题。在回采大爆破凿岩参数既定的条件下,改进孔内装药起爆工艺,应用孔底反向起爆落矿新工艺,即将起爆药包由孔口移到孔底,并采用孔底安全起爆装置实行反向起爆。该装置外壳是高压聚乙烯塑料,壁

厚 2.5 mm;筒身内充填岩石炸药;非电毫秒雷管通过固定环上的雷管孔插入筒身炸药中,固定环用以保证雷管与炸药紧密接触,导爆管沿筒身外侧的凹槽引出,最后将端盖盖好,并用黑胶布缠绕以确保端盖与筒身接合牢固;定位翼可保证到位的药包不致从炮孔中掉落。如图 1 所示。孔底起爆装药结构如图 2 所示。

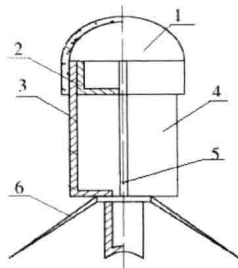


图 1 孔底起爆装置图

1—端盖;2—固定环;3—筒壁;4—筒体;
5—筒体外凹槽;6—定位翼

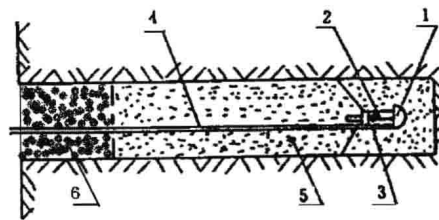


图 2 孔底起爆装药结构图

1—孔底安全起爆装置;2—雷管;3—起爆装置内
岩石炸药;4—导爆管;5—炮孔炸药;6—炮泥堵塞

孔底起爆高应力指向最易受拉伸应力破坏的矿岩自由面,较强的爆破冲击波使自由面反射入介质的拉伸波强度增大,有利于整个介质的充分破坏。又由于孔底起爆起始冲击波较强,达到上部自由面时间较短,向介质反射回较强的拉伸波,并与后续的冲击波不断叠加,挤压、拉伸应力波连续交错作用,使上部介质得以很好地破碎,防止了悬顶事故的发生。虽然孔底起爆高应力指向孔口,但作用于孔口部位的应力波时间较短,空气冲击波很弱,孔口部位不会像孔口起爆那样过分破碎,眉线被破坏的现象很少发生。实践证明:孔底反向起爆落矿比孔口起爆落矿具有显著的优点:孔底反向起爆可使大块产出降低 30% 左右,爆破空气冲击波明显减弱,眉线破坏减少,不产生悬顶,落矿出矿效率显著提高。大块率低,不仅可以减少后续的二次破碎工作量,而大块率每降低 1%,装运效率可提高 2% 以上,可以加快装运速度^[3]。

3 起爆网路优化及可靠性计算

3.1 起爆网路安全分析

1) 爆炸空气冲击波波阵面的超压值

在采矿场回采大爆破中,深孔落矿一般首段炮孔总装药量为 500 kg 左右,折合 TNT 炸药大约 460 kg,爆炸后将产生十分猛烈的爆炸空气冲击波。

第二响炮孔孔口起爆网路一般仅距首响炮孔爆炸中心 5 m 左右。

首响炮孔爆炸后,在 $R_{\text{距}}=4\text{m}$ 远处,其爆炸空气冲击波波阵面的超压值为:

$$\Delta p = \left[1.1 \left(\frac{\sqrt[3]{\eta Q}}{R_{\text{距}}} \right) + 4.3 \left(\frac{\sqrt[3]{\eta Q}}{R_{\text{距}}} \right)^2 + 14 \left(\frac{\sqrt[3]{\eta Q}}{R_{\text{距}}} \right)^3 \right] \times 9.8 \quad (1)$$

式中: Δp ——空气冲击波超压值,MPa;

Q ——一次爆破的炸药量,秒延时爆破取最大分段药量计算,毫秒延时爆破按一次爆破的总药量计算,kg;

η ——转换系数,深孔爆破 η 取 0.1;

$R_{\text{距}}$ ——药包至被危害对象的距离,m。

计算得: $\Delta p=79.82\text{MPa}$

爆炸空气冲击波对周围物体的安全判据,取决于其超压值的大小,由资料^[4]查得:当 $\Delta p > 0.76\text{MPa}$ 时,裸露在爆区的导爆索—导爆管起爆网路将被彻底摧毁,因此需用技术手段进行优化,使网路在被摧毁前传爆已传至炮孔内起爆元件,因此需确定首段雷管延时和微差时间间隔。

2)首段雷管延时

首段雷管延时 t 可按公式(2)计算:

$$t \geq k(\frac{L_1}{v_1} + \frac{L_2}{v_2}) \tag{2}$$

式中: t ——首段雷管延时, s;

L_1 ——孔内导爆管长度, m;

L_2 ——首、末连接点间的主导爆索长度, m;

v_1 ——导爆管传爆速度, m/s;

v_2 ——导爆索传爆速度, m/s;

k ——安全系数, $k \geq 2$ 。

取 $L_1=7.0\text{m}$, $L_2=100\text{m}$; $v_1=1600\text{m/s}$, $v_2=6500\text{m/s}$, $k=3$; 计算得 $t=90\text{ms}$, 取 $t=110\text{ms}$ (第五段雷管)。

3)微差时间间隔

微差时间间隔 Δt 可按公式(3)计算:

$$\Delta t = K_j \times w(24 - f_j) \tag{3}$$

式中: Δt ——微差间隔, ms;

K_j ——岩石裂隙系数; 裂隙不发育, $K_j=0.50$;

w ——最小抵抗线, m;

f_j ——岩石坚固性系数。

取 $K_j=0.90$, $w=1.15$, $f_j=7$, 计算得 $\Delta t=17.6\text{ms}$, 取 $\Delta t=25\text{ms}$ 。

3. 2 起爆网路可靠性计算

为了获得采场大爆破全部炮孔的可靠准爆, 达到预期的落矿效果, 并取得更合理的技术经济指标, 对现行起爆网路进行优化是十分必要的。2010 年 10 月, 对当前铀矿普遍采用的非电起爆网路开展研究, 建立典型铀矿起爆网路逻辑图, 在陕西某铀矿井进行了现场试验, 试验了多组网路, 共使用导爆管雷管 500 发(含检验 40 发), 导爆索 200m, 三通 200 个、四通 200 个, 取消导爆索孔口三角联。试验结果是: 采用导爆管反射四通多闭合复式起爆网路可靠性超过 95%, 其联接和可靠性逻辑图见图 3、图 4 所示。

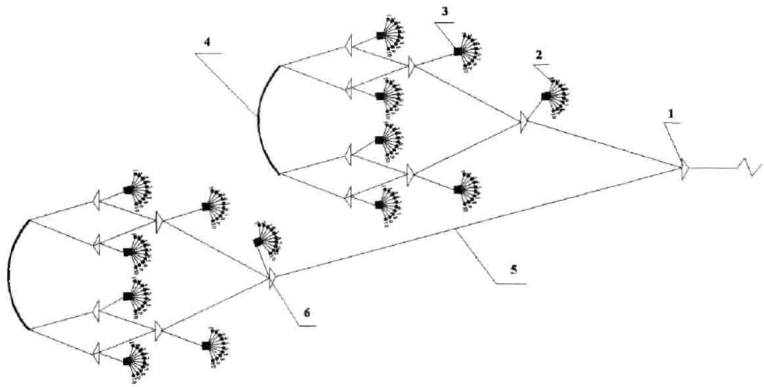


图 3 导爆管雷管反射四通多闭合复式起爆网路联接图

1—三通联接块; 2—孔内雷管; 3—孔外雷管; 4—导爆索; 5—分支导爆管; 6—反射四通

非电起爆网路系统可靠性计算选用的非电起爆元件与传爆元件的可靠度如表 1 所示^[5-6]。

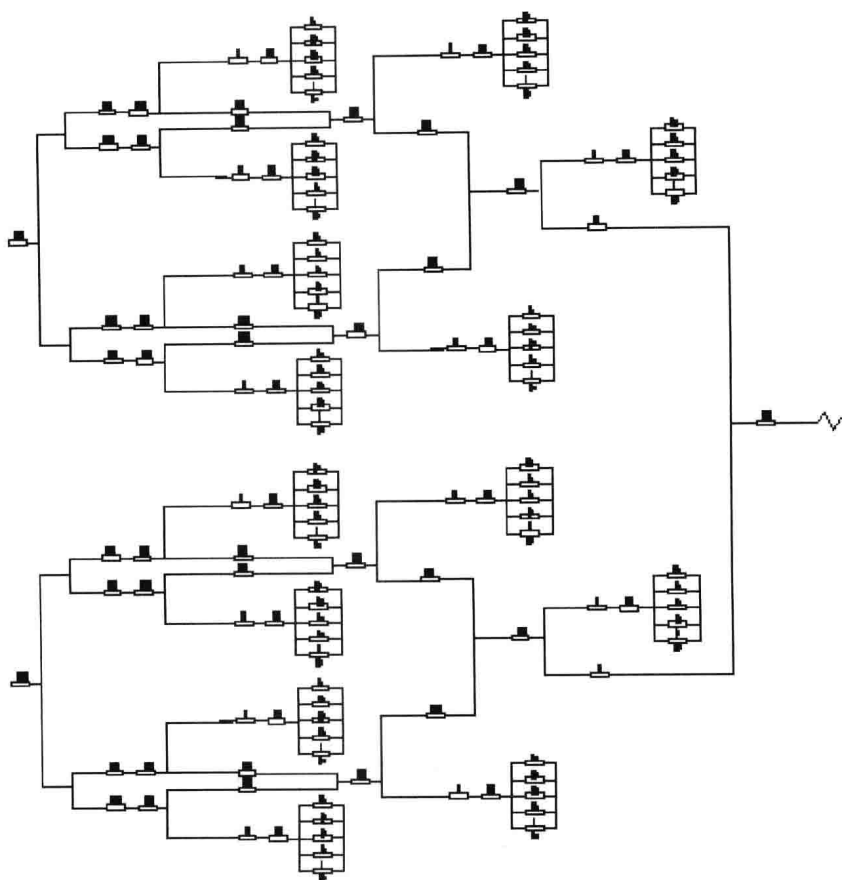


图 4 导爆管雷管反射四通多闭合复式起爆网路可靠性逻辑图

表 1 非电起爆元件以及传爆元件的可靠度

元件(结点)名称	可靠度(R)	备注
导爆管雷管	0.9612	南芬铁矿测定资料
导爆管	0.9683	南芬铁矿测定资料
导爆索	0.999	《兵工学报》1982,1
传爆雷管—导爆管	0.9943	抚顺煤矿院起爆器材检测中心
反射四通接头	0.999	爆破器材

为计算方便,根据表 1 设:

导爆管雷管 $r=0.9612$;传爆节点 $R=0.9943$;导爆管 $R_1=0.9683$;反射四通接头 $R_2=0.999$;导爆索 $R_3=0.999$; R' 、 R'' 为分支网路可靠度; $R_{\text{总}}$ 为整体网路可靠度。

根据网路逻辑框图 4 计算得可靠性数学模型如下:

$$R' = R_3 \times [1 - (1 - R_1^2 \times R_2)^2] \times R_1 \times R_2 \tag{4}$$

$$R'' = [1 - (1 - R')^2] \times R_1 \times R' \times r \times R_2 \tag{5}$$

$$R_{\text{总}} = [1 - (1 - R'')^2] \times R_2 \times R_1 \tag{6}$$

计算得:

$$R' = R_3 \times [1 - (1 - R_1^2 \times R_2)^2] \times R_2 \times R_1 = 0.9625$$

$$R'' = [1 - (1 - 0.9625)^2] \times R_1 \times r \times R \times R_2 = 0.9232$$

$$R_{\text{总}} = [1 - (1 - 0.9232)^2] \times R_2 \times R_1 = 0.9616$$

导爆管反射四通多闭合复式起爆网路的可靠度为 0.9616,通过现场试验证明:复式起爆网路可靠性高,现场无拒爆现象,平均每孔可节省导爆索 0.8~1.0 m,每次大爆破可节省 15%~20%导爆索

用量,并大大简化了操作工艺,减轻了劳动强度,每次大爆破可缩短施工时间 3~4 h,还可节省其他辅助爆破用材料。

4 结论

- (1)采用“小抵抗线”爆破技术可有效降低大块产出率,提高出矿效率,减少二次爆破材料消耗;
- (2)实行孔底反向起爆落矿新工艺,爆破空气冲击波明显减弱,眉线破坏减少,不产生悬顶,较好地解决了大块产出率高的难题,提高了落矿出矿效益;
- (3)优化起爆网路,选用可靠性高的非电复式起爆网路,通过选择合理的首段雷管延时时间、微差间隔时间和取消孔口三角联等不但未影响起爆效果,还能杜绝拒爆现象,获得预期的爆破落矿效果。

参考文献:

[1] 惠鸿斌.孔底起爆落矿工艺及爆破孔网参数优化试验研究[J].爆破器材,1994(12):28—32.
[2] 刘敏生.中深孔凿岩爆破落矿工艺及结构参数优化[J].金属矿山,2008(4):31—33.
[3] 秦绍兵.模型试验在井下中深孔爆破参数优化研究中的应用[J].金属矿山,2001(3):15—18.
[4] 汪旭光.爆破手册[M].冶金工业出版社,2010.10:959—960.
[5] 张敢生,钮强.常见几种非电起爆元件及传爆结点可靠度的确定[J].爆破器材,1991,9(3):5—7.
[6] 李秦.铀矿井下非电起爆网路可靠性影响因素及拒爆预防[J].铀矿冶,2010(3):119—123.

Optimization long hole blast fragmentation technics and detonating circuit underground uranium mine stope

LI Qin¹, QIN De-en², YANG Li-zhi¹, XUE Yong-she²,
SONG Li-xia¹, WANG Zhi-peng²

(1. Beijing Research Institute of Chemical Engineering and Metallurgy, CNNC, Beijing 100037, China;
2. Lantian Uranium Corporation, Ltd, CNNC, Xi'an of Shanxi Prov. 710500, China)

Abstract: Aim at high rate of large blast fragmentation, a big difficulty in long hole drilling and blasting underground uranium mine stope, it is pointed out at the same time of taking integrated technical management measures, the key is to optimize the drilling and blasting parameters and insure safety the act of one that primes, adopt “minimum burden” blasting technique, renew the stope fragmentation process, and use new process of hole bottom indirect initiation fragmentation; optimize the detonating circuit and use safe, reliable and economically rational duplex non-electric detonating circuit. The production practice shows that under the guarantee of strictly controlled construction quality, the application of optimized blast fragmentation technique has enhanced the reliability of safety detonation and preferably solved the problem of high rate of large blast fragments.

Key words: underground uranium mine stope; long hole blast fragmentation technics; indirect initiation; detonating circuit; optimization