

《学科十年发展规划》

总目标：

实现爆破及相关学科专业技术达到国际先进、力争国际领先水平。

总任务：

立足煤炭产业的高质量发展，开展爆破及相关学科技术基础研究和工程技术创新；开展国内外的学术交流活动；注重培养青年人才成长，造就本学科高端科技人才；为煤炭的安全、高效、绿色开发和清洁高效利用提供技术支撑。

一、所属学科及内涵

中国煤炭学会爆破专业委员会所属煤矿及矿山爆破学科，是研究矿山建设、煤炭开采等过程中爆破理论与技术应用、爆破灾害预测控制和爆破器材开发与安全等活动的学科。

二、目标与任务

煤炭作为我国的主要能源，煤炭工业作为我国的主要基础产业，煤炭的稳定供应、煤矿安全生产和煤炭工业的健康稳定发展，对中国社会经济的发展将起决定性作用。本学科的目标和任务在于不断创新发展爆破理论与技术，确保安全、高效开发利用煤炭资源，预防和控制爆破及次生灾害的发生，扎实推动煤炭安全绿色智能化生产，促进碳达峰碳中和战略与煤炭行业转型升级发展有机融合，真正走上可持续发展的道路，实现经济与环保双赢。

三、学科专业技术国内外发展现状综述

1 煤矿及矿山爆破国内外发展现状

1.1 煤矿井下爆破技术

（1）巷道爆破掘进

岩巷在爆破掘进时，常采用毫秒微差爆破技术，将炮眼分组并按毫秒级的时间间隔顺序起爆，可实现全断面一次起爆。使用毫秒延期雷管，以毫秒级时间间隔顺序起爆相邻药包，各药包的爆炸能量相互影响，爆破效果叠加，效果较好，

同时可降低爆破振动。

我国岩巷爆破技术经历了全断面一次爆破、毫秒爆破、光面爆破 3 个重要阶段。中深孔爆破技术主要是指炮眼深度 1.8 m 以上的爆破技术，由浅孔爆破发展而来，其具有单循环进尺高，节省辅助时间和生产成本的优点，因此，在我国岩巷掘进中得到广泛应用。现阶段，炮眼深度 1.8~2.0 m 的爆破技术成为主流。炮眼深度 2.2~2.5 m 及以上的爆破技术推广进展缓慢。

中深孔爆破技术离不开掏槽技术，掏槽效果的好坏由掏槽技术决定。我国岩石平巷掘进掏槽形式主要有直眼掏槽和斜眼掏槽 2 种主要形式，其优缺点如下：

①斜眼掏槽。典型代表为楔形掏槽、锥形掏槽、楔直复合掏槽等。掏槽效率较高，掏槽面积大，所用炮眼少，但受断面尺寸限制大，角度较难控制。

②直眼掏槽。典型代表为菱形掏槽、三角柱掏槽、四角柱掏槽、螺旋掏槽等，适用于任何断面，操作简单，易于掌握，但全断面炮眼数较斜眼掏槽数目多，抛掷强，另外，也有准直眼、分段直眼掏槽、直眼迈步式掏槽，其断面适应性强，掏槽效率高，但普及性不足。

1) 硬岩巷道爆破掘进

硬岩巷道的岩石硬度系数 $f \geq 12$ ，岩石过硬。掘进爆破时只能使用爆炸威力相对较小的煤矿许用安全炸药，同时雷管的总延迟时间 ≤ 130 ms。掏槽是巷道爆破掘进技术的难点，主要采用楔形掏槽。楔形掏槽的形式包括单楔形、双楔形和三楔形；还可以采用中心孔加强往外抛矸的形式以便于槽顶部岩石掏出。

2) 中硬岩巷道爆破掘进

中硬岩巷道的岩石硬度系数 $f = 8 \sim 12$ 。巷道爆破掘进采用以中深孔爆破和直眼掏槽爆破为主的控制爆破方法，单循环掘进深度可达 1.8~2.0 m。控制超挖是巷道爆破掘进技术的难点，常采用光面爆破和预裂爆破技术控制超挖。

① 光面爆破技术。

将光面爆破与锚喷支护技术相结合，应用于中硬岩巷道掘进。通过交错形式布置 2 圈周边眼，用内圈周边眼代替辅助眼；自下而上的顺序起爆炮眼，交替连接内外圈周边眼，并装设不同段数的雷管，使之交替起爆；采用反向起爆方式。光面爆破具有的爆震裂隙少、保护围岩的完整性、提高围岩自稳和承载能力、减少超欠挖、节省成本、提高进度和质量，为巷道安全高效快速施工创造了条件，

特别是使之与锚喷技术结合，大幅提高了锚喷支护效果。

② 预裂爆破技术。

周边眼先起爆，预先提供沿断面轮廓的贯通破裂面，形成预裂面。预裂爆破技术能保证围岩的稳定，不会受周边炸药爆炸的影响，以及其他炮眼的应力作用，预裂爆破参数类似于普通光面爆破的参数。

3) 软岩巷道爆破掘进

软岩巷道的岩石硬度系数 $f \leq 8$ ，爆破掘进技术和中硬岩巷道爆破掘进条件下的技术类似，主要采用中深孔光面爆破技术。需采用低密度、低爆速、高效能炸药并严格控制炸药的装药量，选择合理的光面爆破参数和光面爆破装药结构。

4) 聚能爆破掘进

仅靠改善光面爆破技术，不能精确控制周边质量，在光面爆破基础上发展了切槽孔爆破、切缝药包爆破和异型药包爆破，成为控制爆破的高级形式。随着试验手段的进步，模型试验、数值模拟、动焦散和数码技术的应用使得切缝药包的研究更充分。

普通爆破的爆轰产物会向炮孔的四周无规则飞散，产生的裂纹也随之无规则扩展。而聚能爆破利用空穴效应，通过改变药卷结构，使得爆轰产物向特定方向积聚，可加大在特定方向上的破坏作用。在药卷的两侧对称位置设置聚能空穴，爆破产生的爆轰产物将沿此空穴的轴线方向积聚，形成一股高密度、高速度、高压力的气流，称为聚能射流。如果在空穴上安装紫铜材料制作的金属罩，借助其密度大、可压缩性小的特点，爆破后能将爆炸能量转化为动能形成金属聚能射流。聚能射流在爆破孔边缘切割出初始的导向切缝，为后续的爆炸应力波以及爆生气体进一步扩展裂隙起到定向的作用。

聚能爆破技术可以使裂纹演化的能力在聚能方向上被提高，而非聚能方向上被有效降低，减小了支护围岩被损伤破坏的程度；爆破效率、炮孔利用率皆被提高，爆破后形成的围岩轮廓断面较平整，超欠挖率有效降低。在地质构造带内掘进巷道时，可有效抑制巷道围岩失稳或动力灾害的发生。

(2) 岩石松动爆破

松动爆破技术是利用爆炸能量破坏岩体内部并发育大量裂隙使得岩体变得松动，但并不会发生碎石抛掷现象。爆破后会以药包为中心形成粉碎区、裂隙区、

弹性振动区 3 个不同距离的破坏区域。对断层岩体进行预先松动爆破，能够确保煤层顶、底板结构的稳定，实现综采机顺利、快速、安全高效地通过断层，工作面的回采效率和煤炭资源采出率均会提高]。对落差不太大的断层，一般采用松动爆破技术辅助综采机强行推过断层的方法，可选用煤矿许用水胶炸药，1~5 段煤矿许用毫秒延期电雷管。

（3）煤层泄压爆破

通过钻机将相变致裂装置送至钻孔中预先设定的位置，并将内置导线与钻孔外的起爆线相连。通过起爆器的起爆头爆破，使得发热管产生热量，并使储液管内的液态二氧化碳能在 20 ms 内由液态转化为气态，体积瞬间膨胀为原来的 600 余倍，气体压力急剧升高，最高可达 270 MPa。气态二氧化碳的压力上升并达到泄能片的额定工作压力时，泄能片在瞬间被冲破，气态二氧化碳通过释放筒上的定向孔高速向外释放，对作用范围内的煤体施加巨大的冲击力，使煤层中原有的裂隙进一步被扩大、贯通，有效改善了煤层的透气性。煤层的透气性增大使得大量的瓦斯由吸附态解吸为游离态，可以提高瓦斯抽采效率，煤层中的瓦斯大量被抽排可以实现煤层快速卸压的目的。

（4）顶板爆破

1) 液态二氧化碳相变致裂顶板

煤层中的坚硬顶板极难垮落，可能造成工作面临空侧超前支护段巷道的严重变形，可通过液态二氧化碳致裂技术爆破致裂坚硬顶板。利用液态二氧化碳致裂坚硬顶板，其最大的优点是不会产生炸药爆炸时产生的有毒有害气体，不会产生构造性破坏。

2) 切顶爆破

受煤层采动以及采场上覆岩层活动的影响，特别是侧向顶板岩层的破断影响，回采巷道或护巷煤柱会发生较大变形。通过布置合理的钻孔，爆破应力波和爆生气体将钻孔周围岩体破碎，因产生大量贯通的裂隙则爆破区域顶板被局部弱化。工作面回采后，顶板会沿爆破线断裂，实现顶板安全管理。

1.2 常规露天煤矿爆破

（1）常规露天煤矿爆破技术

露天煤矿爆破时炸药的波阻抗应与所爆破岩石的波阻抗相匹配。通过微差挤

压爆破，利用岩体间的挤压作用提高爆破质量。微差挤压爆破具有爆破量大、破碎块度均匀、大块率低的特点，可提高电铲采装效率；爆堆集中，无须清理出台阶即可实现穿孔作业。

（2）非构造裂隙岩体条件下的露天煤矿爆破技术

根据爆破作用线核心理论，主要爆破作用区域内的爆破岩体受节理、裂隙影响，区域内炮孔连线为爆破作用线，该线上的炮孔都会受到多个邻近炮孔先期爆炸形成的破裂面的影响，破裂面成为岩体内的侧向自由面。爆破作用线上的炮孔产生的气体在侧向自由面产生的反射拉伸波将径向拉应力施加于后爆岩体，使其再次产生环向裂缝，可增强爆破效果，也可增强非构造裂隙岩体的破碎作用。

2 存在的主要问题

钻爆法在我国岩巷掘进施工巷道中占95%以上，整体掘进水平呈现“东强西弱、个强整弱”的局面。随着煤炭开采技术的发展，我国岩巷掘进的总进尺呈现连年递增的趋势；随着岩巷的埋深不断增大，整体呈现“埋深大、断面大，循环低，进尺低”的特点。

随着千米深井的不断建设，深部岩巷掘进所面临的“三高一扰动”问题给岩巷工作者提出了新的挑战。深部高应力岩巷掘进爆破时，爆破裂纹的扩展带有明显的方向性，掏槽爆破难度加大，应增加掏槽爆破装药量。随着高地应力不断增大，岩石呈现流变大变形特性，传统利用气腿凿岩机的钻爆法已不能满足深部岩巷掘进技术要求，液压钻车、侧卸式装岩机的机械化作业线来解决大断面中深孔爆破和深部全断面岩巷的一次掘进技术问题，掘进速度能提高30%以上。

中深孔爆破技术和锚喷支护技术普遍采用，多种装备并存，并没有带来掘进速度的快速发展，主要原因还是“重技轻管”的传统使然，首先考虑的是“爆得出、支得住”的问题，而对于能不能“运得去”及“支得完”，最后能否形成正规循环则没有过多的考虑。所以，我国岩巷掘进技术的进步，通常只表现在单进水平上的提高，而月进尺通常提高不大，因为其他的配套设施及管理没有跟上，制约了整个掘进水平的提高。

我国岩巷掘进尤其是对于硬岩巷道来讲，普遍存在钻眼数与进尺的矛盾，“少打眼，多装药”导致“进尺低，成型差”的问题突出。所以，目前来讲，我国岩巷掘进的钻眼装备落后，钻眼速度慢，技术水平低，爆破效果差依然是主要的问

题。排矸装备及工艺落后，导致后路出渣滞后，掘进工作面积矸严重，制约后续工作开展，是目前我国岩巷掘进速度提高的另一主要制约因素。组织管理水平落后，缺乏激励机制是又一个主要问题。

四、学科专业技术中长期发展规划

1 五到十年学科总体发展规划

（1）拓宽专委会委员的组成范围，推动专委会的可持续性发展。

在原有由高等院校、科研院所和煤炭企业组成委员会的基础上，吸纳炸药生产企业、营业性爆破作业单位及冶金企业的爆破专家进入专委会，进一步推进委员的专家化、年轻化和多样化，提高专委会的朝气活力和学术气氛；进一步加强专委会与地方和其他行业爆破协（学）会的交流，促进专委会的可持续性发展。

（2）开展煤矿巷道快速掘进综合智能系统的技术研发。

现有的爆破掘进技术已完全可以使每循环掘进进尺达到 2.5m 以上，但后续装运、支护等工序影响了正规循环的完成，尤其是扒装运输效率和凿岩设备性能的影响。结果爆破效果很好，后续装运、支护效率低下无法使正规循环得以实现，使工人工作无法与效益挂钩，对中深孔快速掘进技术产生抵触。在煤矿推广液压凿岩台车和高效率的扒装运输设备以及开展巷道掘进各工序的智能综合系统研发迫在眉睫。

（3）加强新技术的推广和培训工作。以专委会为平台、众多专家、教授委员为优势，积极开展爆破新工艺、新技术和新产品在煤炭企业的推广应用，加大对煤矿掘进工人的爆破技术培训，提高掘进效率。

2 三到五年的重点项目计划

（1）钻爆法方面

1) 基于新型液压钻车的深部大断面巷道深孔爆破配套技术及装备研究。

深部大断面岩巷的快掘，深孔爆破时必然趋势，深孔掏槽技术和破岩机理的研究是关键，尤其是炮孔深度超过 2.5 m 情况下，气腿式凿岩机已不适应安全高效掘进，全液压钻车将是钻爆法掘进的主要设备，尤其是研究钻支一体的新型液压钻车，以及基于新型液压钻车的深孔爆破技术和与之配套的排矸运输设备是钻爆法发展方向之一。

2) 大断面巷道精细爆破及周边定向断裂控制爆破机理研究。

随着碳达峰和碳中和目标的确立，“节能减排”观念的深入人心，掘进断面和爆破药量不断加大，为减少围岩损伤，达到安全高效的目的，控制炸药能量释放的精细爆破及“绿色”爆破必将更大的发展。如果周边控制爆破专用药卷能够得到推广，岩巷钻爆法的安全高效快速掘进将变得更容易。

3) 基于深孔预裂松动爆破的全岩掘进机掘进工艺研究。

由于全岩掘进机的破岩机理与钻爆法相比具有先天的优势，更有利于实现岩巷的安全高效快速掘进。随着全岩掘进装备的不断发展，我国的大断面岩巷掘进在不远的将来会出现综掘占主导的局面。现阶段在硬岩巷道施工中配合采用(超)深孔预裂松动爆破有利于实现大断面硬岩巷道的综合机械化掘进，将为破解现阶段硬岩中岩巷综掘机低效率难题另辟蹊径。

4) 开展坚硬岩石（坚固性系数在 12 以上）的小断面巷道掘进爆破技术及凿岩设备的研究。

随着煤矿开拓范围的扩大，在现有的凿岩设备条件下，对坚硬岩石的小断面爆破掘进受到岩石夹制力大、凿岩机性能低下、炸药威力较低等因素的影响，如何提高煤矿巷道掘进速度和效率成为研究的课题。

(2) 开展适合煤矿安全生产的高威力炸药研制工作。

由于煤矿井下的特定条件（瓦斯、煤尘和水等）以及爆破的特殊要求，采用的炸药多为煤矿许用炸药，其威力较低、抗水性能较差，研制具有较高威力和良好抗水性的煤矿许用炸药对降低煤矿爆破成本、提高爆破效率具有重要的现实意义。

五、学科发展展望

在认真贯彻国家方针政策的前提下，积极落实中国煤炭学会的各项工作任务，在新一届专委会领导的带领下，扎实推进专业委员会的改革工作，积极承接政府转移职能，继续开展好科技服务咨询、爆破技术培训工作，继续为中青年爆破技术人才的培养和提高创造条件、搭设平台，进一步贯彻新一届专委会提出的将爆破专业委员会办成“学习研究型、创新发展型、品牌爆破型、强大实力型、充满活力型和足够魅力型”的六型专业委员会，打造爆破专业委员会的品牌工程。

煤炭依然是我国工业发展的主要动力来源，“十四五”时期煤炭行业面临新的形势和发展挑战，碳达峰和碳中和目标的确立、高质量发展战略的实施、能源结构调整和煤炭供给侧改革进一步推进等，将对煤炭行业发展产生深远的影响。基于煤炭行业“十三五”煤炭开采与资源综合利用发展现状，针对煤炭开采过程中存在的问题，结合行业发展面临的形势，提出“十四五”期间煤炭行业可以继续推动煤炭资源绿色开发、加强爆破及煤矿动力灾害防治、因地制宜推进新型爆破破碎技术、加大政策扶持力度等方面采取措施，全面推进“十四五”期间煤炭行业绿色高质量发展。