

股票代码:002683



# 高寒高海拔智能爆破关键技术与应用

非煤露天矿山安全智能开采国家矿山安全监察局重点实验室 主任

宏大爆破工程集团有限责任公司 副总经理 总工程师

李萍丰

宏大爆破工程集团有限责任公司  
Hongda Blasting Engineering Group Co., Ltd.

# 汇报提纲

## 01 应用挑战与战略意义

---

## 02 关键技术与装备体系

---

## 03 玉龙铜矿智能爆破建设与运营

---

## 04 未来展望

---

## ■ 爆破是一门伟大的技术

工业炸药之父----诺贝尔，是世界著名的科学家，为了纪念这位伟大的发明家，从1901年开始，每年12月10日颁发诺贝尔奖。截至2025年7月的最新统计，全球获奖者总人数（含个人及组织）约为 1123人。截至2025年7月，国家最高科学技术奖自2000年设立以来共有 37位 获奖者。



工业炸药之父-诺贝尔  
发明“达纳炸药”



郑哲敏 爆炸力学专家  
控制能量（2012年度）



王泽山 火炸药专家  
驾驭能量（2017年度）



钱七虎 工程防护专家  
守护能量（2018年度）

爆破造就了杰出科学家

## ■ 爆破是不能缺少的技术



雅下水电工程  
地下洞室总长度超500km  
岩体爆破约2亿m<sup>3</sup>。



川藏铁路工程  
90%的铁路隧道爆破掘进。



南海岛礁工程



平陆运河工程



资源开采工程（巨龙铜矿）



城市拆除工程

国家战略工程离不开爆破

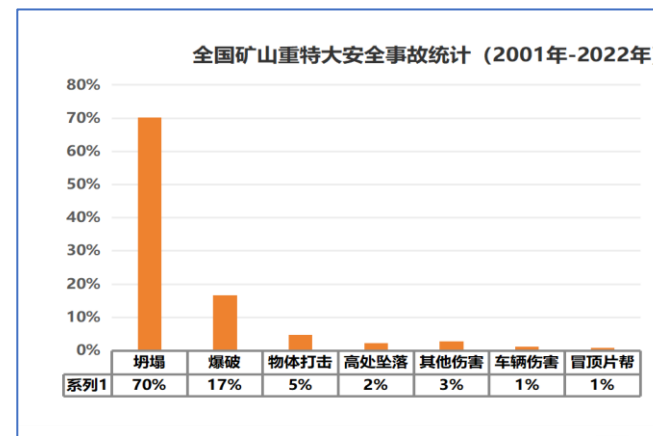
## ■ 爆破是近年来被诟病的技术



介质能量认知模糊化、炸药雷管品种单一化、  
施工过程管控粗放化、爆破效果评价滞后化。

**黑箱爆破--世界级爆破难题**

造成后果



安全隐患突出、环境污染严重



能量利用率低

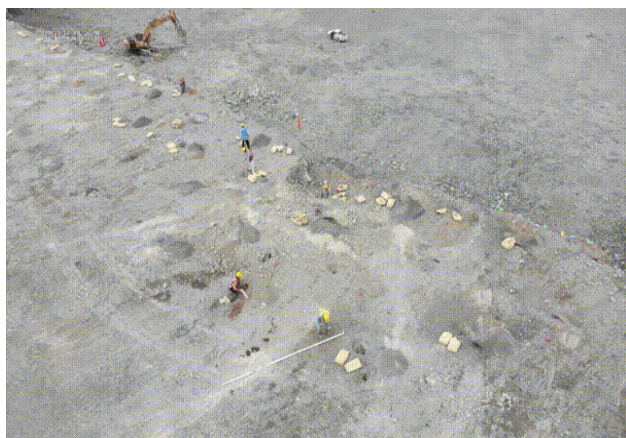


爆破质量波动大

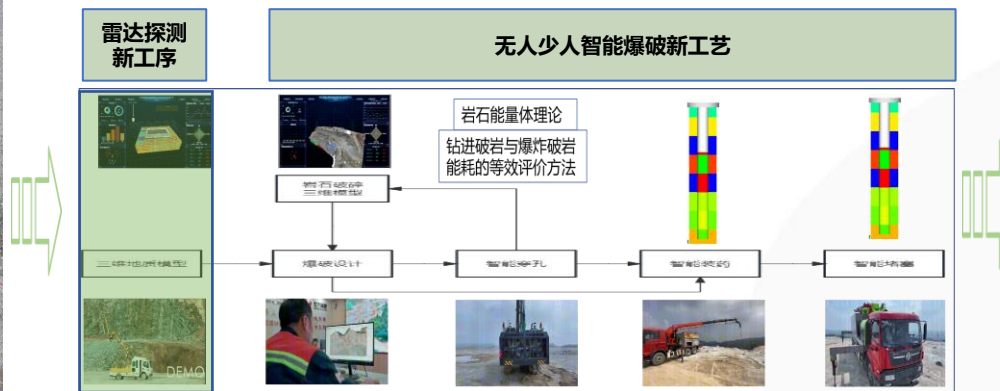
**爆破透明化是解决世界级难题的关键**

## ■ 爆破智能化是实现爆破透明化的关键

肇庆华润大排矿位于广东省肇庆市封开县、以建筑用花岗岩为主年产能3000万吨。借助感知装备采集爆破全工序的精准实时数据；运用超算力、大模型和虚拟现实技术达成自主感知、学习；依据共享爆破原则分析判断、决策与执行。使得爆破作业由经验粗放向智能透明、人海作业向无人少人蜕变，爆破作业人员大幅减少 80%~95%，人均作业效率提升 3~23 倍，单位能量消耗降低 25%~28%，矿山人员伤亡事故率为0。创建了露天矿智能爆破的中国范式。



矿山普通开采的施工场景



露天矿智能爆破工艺流程



露天矿智能爆破场景

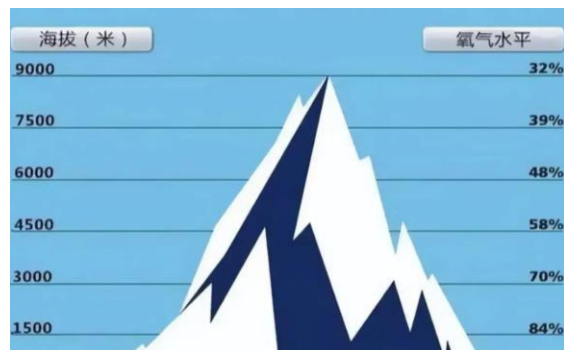
## ■ 高寒高海拔的挑战

我国高寒高海拔（海拔>3000m，年均温<5℃）地区矿产资源储量占全国总储量的35%以上，其中西藏玉龙铜矿、青海锡铁山铅锌矿等大型露天矿是国家战略资源供应的核心基地。但该类区域特殊的自然环境给传统爆破作业带来诸多瓶颈，成为制约矿业高效开发的关键痛点。



### 低温，昼夜温差大

寒冷（年均温<10℃）、昼夜温差大（15-25℃）。海拔每升高1000米，气温约下降6℃（“垂直递减率”）



### 低氧含量

低氧（50%~70%），海拔3000米氧气含量约为平原的70%，海拔5000米降至50%以下。



### 低气压

低气压（50-80kPa）海拔3000米处气压约70kPa，海拔5000米降至54kPa（平原标准大气压101kPa）。



### 天气多变

大风频发（年均3-6m/s）、天气多变。地形开阔、气压梯度大。

## ■ 高寒高海拔爆破面临的挑战

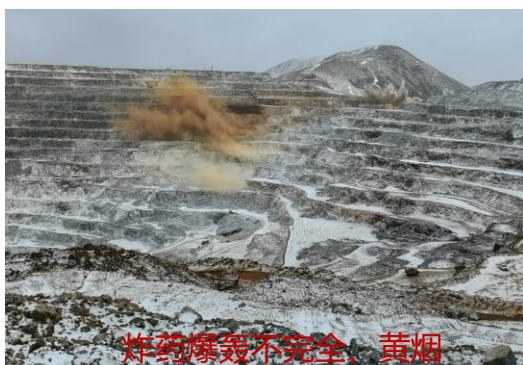
核心影响环节		具体表现
现场混装乳化炸药	对炸药配方与组分的影响	水相组分易结晶均匀性差、油相粘度急剧升高、敏化效果衰减（活性下降）
	对爆轰性能与安全可靠性的影响	爆速、爆力下降（低气压加速爆轰产物膨胀，低温削弱反应活性）、装药密实度不均（传爆中断风险升高、有毒气体排放量增加、残留时间更长）
岩体力学特性	钢板效应/应力波传播	大块率增加、爆破振动影响半径扩大
人员和机械效率	生物代谢缺氧气→能量不足	员工劳动强度增加、钻孔效率降低、空气冲击波影响半径扩大
粉尘污染、通讯	盲区多、卡顿、续航短	粉尘扩散半径、信号不稳定

### 爆破安全风险大



拒爆的炸药

### 环节保护压力大



炸药爆轰不完全、黄烟

### 爆破质量控制难



爆堆块度大小不一

### 爆破施工强度大



爆破作业现场

# 汇报提纲

01 应用挑战与战略意义

---

02 关键技术与装备体系

---

03 玉龙铜矿智能爆破建设与运营

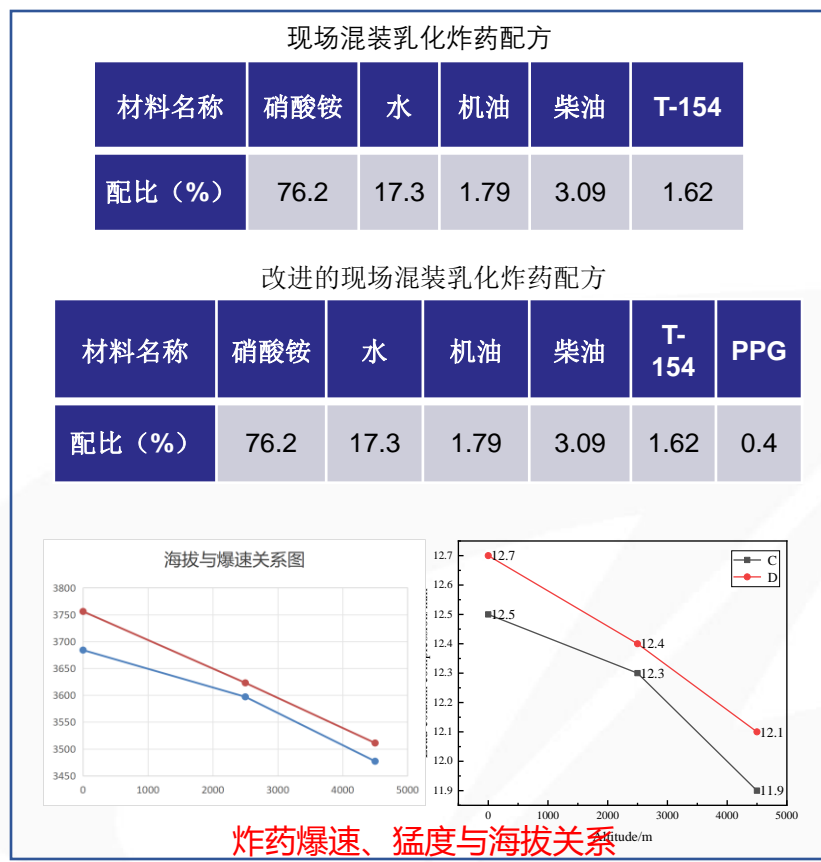
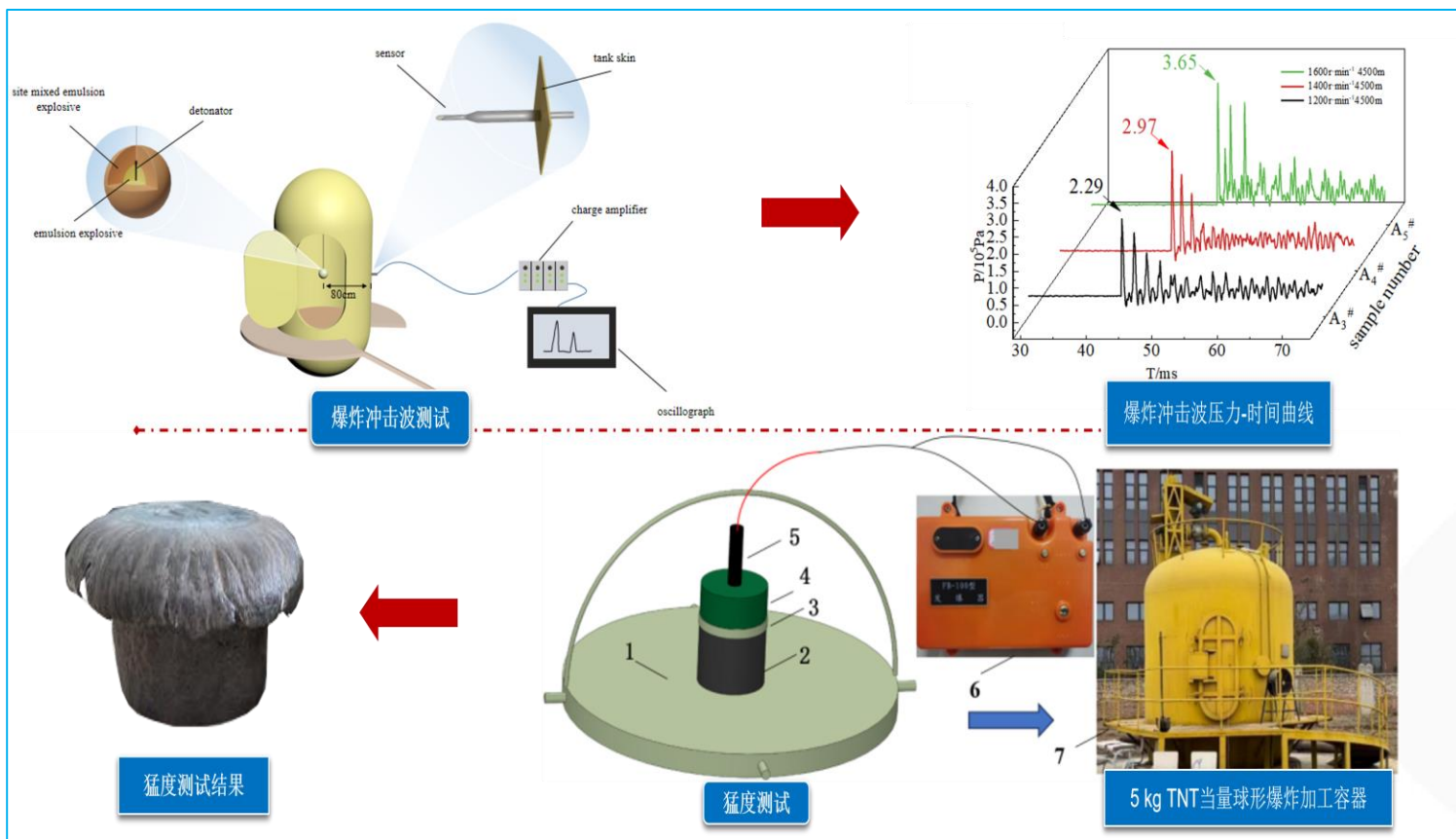
---

04 未来展望

---

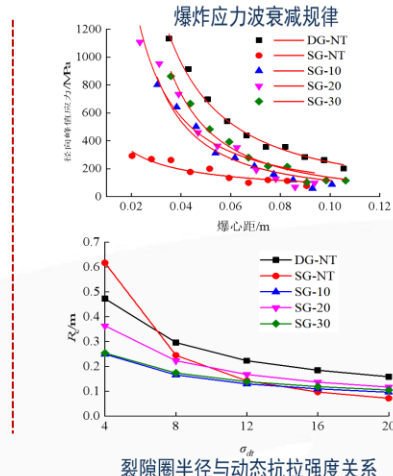
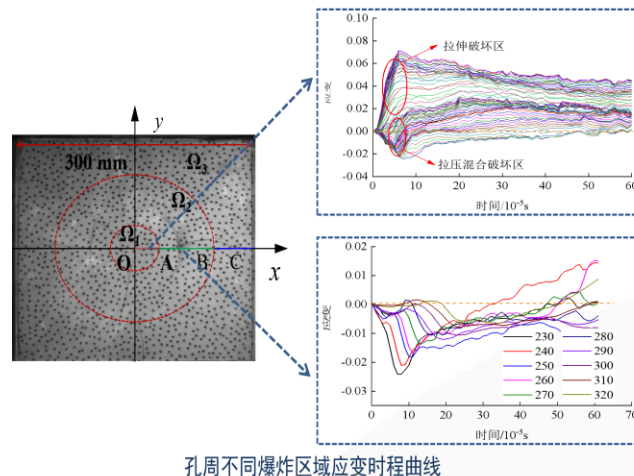
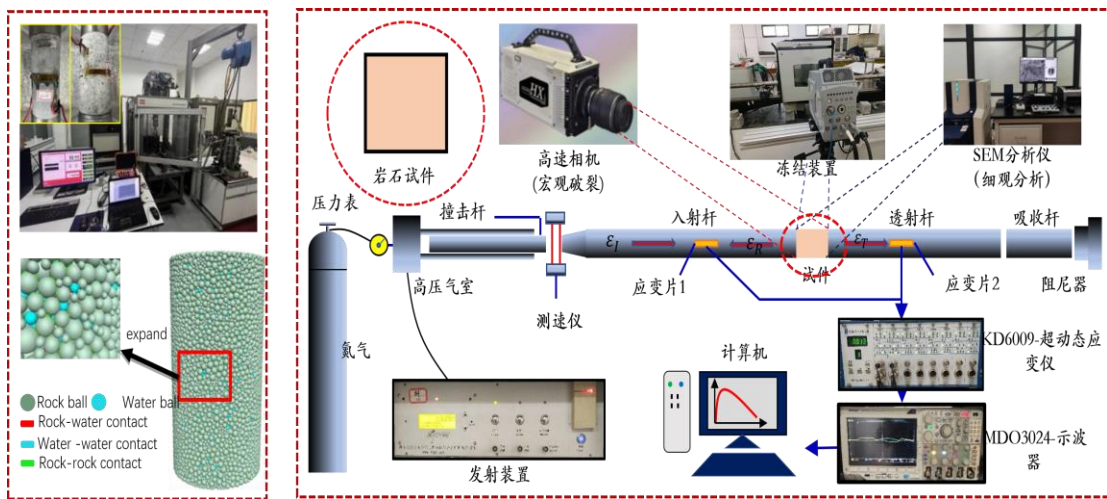
# 高寒高海拔适配乳化炸药配方

研究高寒环境下乳化炸药微观结构及爆炸稳定性能变化规律，改进了现场混装乳化炸药配方，提高了乳化炸药的高海拔环境适应性，并成功应用于西藏玉龙铜矿。



# ■ 高寒高海拔柱状装药破碎岩石机理

结合冻结岩石室内静载试验与PFC3D数值模拟，分析了典型冻结岩石的动态力学响应特性，探明了爆炸应力波衰减规律，建立了冻结岩石柱状装药裂隙圈损伤范围计算方法。



- ❑ 冻结岩石的径向峰值应力要小于相同爆心距下常温干燥岩石，前者衰减指数整体上大于后者。
- ❑ 冻结岩石粉碎圈与裂隙圈半径小于常温干燥岩石。

### 粉碎圈应力计算：

耦合装药时：
$$P = \frac{2\rho_c C_c}{\rho_c C_c + \rho_e D} P_0, \quad P_0 = \frac{1}{1+\gamma} \rho_e D^2$$

径向应力：
$$\sigma_r = \mu_d (\sigma_r + \sigma_\theta) = \mu_d (1-b) \sigma_r$$

应力强度：
$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sigma_r [(1+b)^2 - 2\mu_d (1-b)^2 (1-\mu_d) + (1+b^2)]^{\frac{1}{2}}$$

### 粉碎圈半径确定：

当  $\sigma_i > \sigma_{dc}$  时，岩石被压碎，有：

耦合装药时：
$$R_p = \left( \frac{\rho_e D^2 AB}{4\sqrt{2}\sigma_{dc}} \right)^{\frac{1}{n(n+1)}} r_n$$

### 裂隙圈应力计算：

裂隙圈内径向应力：
$$\sigma_r^c = p_1^c \left( \frac{\rho}{R_p} \right)^{-n(r)}$$

裂隙圈内切向应力：
$$\sigma_\theta^c = -b\sigma_r^c$$

### 裂隙圈半径确定：

令  $\sigma_r^c = \sigma_d$  时，岩石裂纹止裂，有：
$$bp_1^c \left( \frac{R}{R_p} \right)^{-n(r)} - \sigma_d = 0$$

裂隙圈半径为：
$$R_c = \left[ \frac{bp_1^c}{\sigma_d} \right]^{\frac{1}{n(r)}} R_p$$

## ■ 高寒高海拔地面站智能化技术

现场混装乳化炸药地面站正经历从“人工操作”到“智能管控”的革命性转变，通过自动化控制技术、智能感知与视觉技术、智能管控平台等技术实现一键启动、安全高效无人运行。



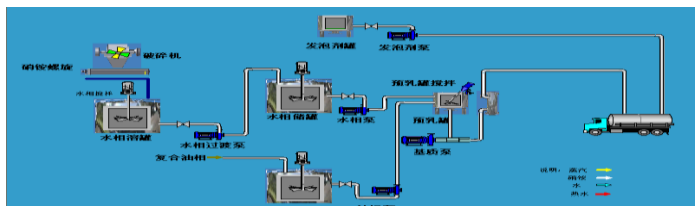
玉龙铜矿地面站全景图



智能机器人投料



智能配料



层级	核心功能	技术特点
感知层	数据采集、状态监测	智能传感器（流量计、温度计、压力表、粘度计）全覆盖，数据采集率 100%
控制层	智能决策、自动控制	PLC + 工业计算机 + 边缘计算，实现一键启动、自动生产
管理层	远程监控、数据分析	工业互联网平台 + 云平台，实现生产全流程可视化

智能地面站系统架构、流程图



在线质量管控



智能安全预警

## ■ 高寒高海拔露天矿山智能钻机



具有人工、远程遥控和无人自主操控三种操作模式；由车身姿态传感系统、360环视影像系统、多路辅助影像系统、人机交互系统、车身雷达防撞系统、云台可调监视系统、GNSS天线、北斗高精度定位系统、5G通讯系统、智能控制系统组成

- 自主行走：通过激光SLAM与导航技术，实现钻机自主巡孔与路径规划，支持复杂地形下的自动行走（速度 $\leq 1.5\text{m/s}$ ）与精准停泊（定位误差 $\pm 5\text{cm}$ ）；
- 自适应钻进：实现穿孔作业过程的位置、角度、深度等参数精确控制，确保钻孔垂直度偏差 $\leq 5\text{mm/延米}$ ，孔径误差 $\leq 1\%$ 。
- 钻孔数据感知：实现钻孔深度、推进压力、回转压力等实时提取回传，通过大模型实时修正岩石能量三维模型。
- 人机安全保障：具备电子围栏、自动避障等功能，搭载 $360^\circ$ 环视摄像头与红外热成像模块，实现钻机作业无死角监控，通过粉尘浓度传感器与气体检测模块，实时监测作业环境，触发自动停机，保障施工安全。

## ■ 高寒高海拔适配智能装药车



人工装药 (效率3kg/min/人)



普通现场混装乳化炸药装药  
(效率10kg/min/人)



第一代智能现场混装乳化炸药装药  
(效率70kg/min/人)



第二代智能现场混装乳化炸药装药  
(效率100kg/min/人)

- 主要由底盘系统、基质料仓系统、泵送系统、控制系统、伸缩臂寻孔系统、象鼻子对孔系统等组成。
- 采用北斗卫星定位系统，具备移车、伸缩臂路径规划，实现自主寻孔、遥控对孔、具备电子围栏功能。
- 车辆长臂旋转遥控装药（伸缩臂长度可达30m，平面270度旋转），解决了普通装药车作业半径小、装药人员多、装药人员强度大的问题（作业半径扩大2倍、人员减少5人、装药效率提高7倍）
- 采用高精度计量和质检仪器，实现炸药精准计量、密度可调、安全预警，计量精度控制在 $\pm 1\%$ 。

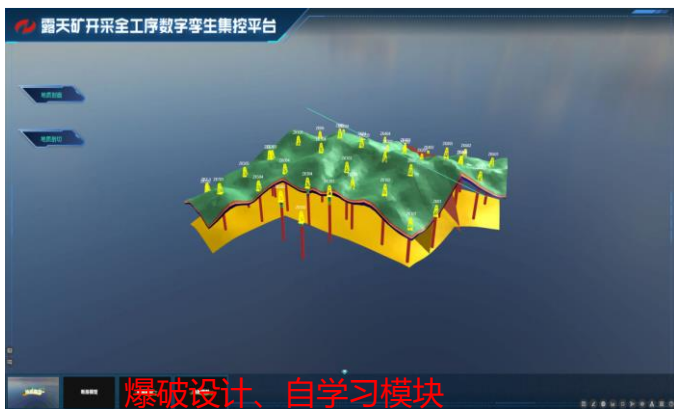
## ■ 高原高海拔适配散体物料堵塞车



- 具备人工和遥控器模式填塞炮孔，一人现场遥控作业，多功能出料方式，北斗卫星定位，炮孔自动搜寻、对准；
- 前部侧向放料：采用可伸缩式输送机，侧面放料距离、速度无极可调；
- 后侧旋转放料：旋转悬架式输送机左、右旋转195°，增加5米填塞半径，输送机自带伸缩功能可实现卸料点小范围调节；
- 车载料仓容积15m<sup>3</sup>，料仓上部设置液压开启90°钢制筛料筛网，过滤大料；料仓侧壁左、右对称设置有2个振动器，确保石料下料干净；
- 配置外部工作摄像头和驾驶室内监控屏，用来监控横置输送机与放料输送机工作状态；
- 出料量1500公斤/分钟，堵塞效率是人工的10倍，是普通机械填塞的3到5倍；
- 缺点：计量不准、堵塞旋转臂太短挪车频繁、阻力不可调；
- 适用矿山：煤矿、北方寒冷天气、爆破规模较大。

## ■ 爆破综合管控平台 (数字孪生平台+业务管理系统)

爆破综合管控平台是核心中枢与“智慧大脑”通过整合爆破全工序、全链条数据，打破“信息孤岛”，实现“数据驱动决策、智能协同运行”的核心载体。

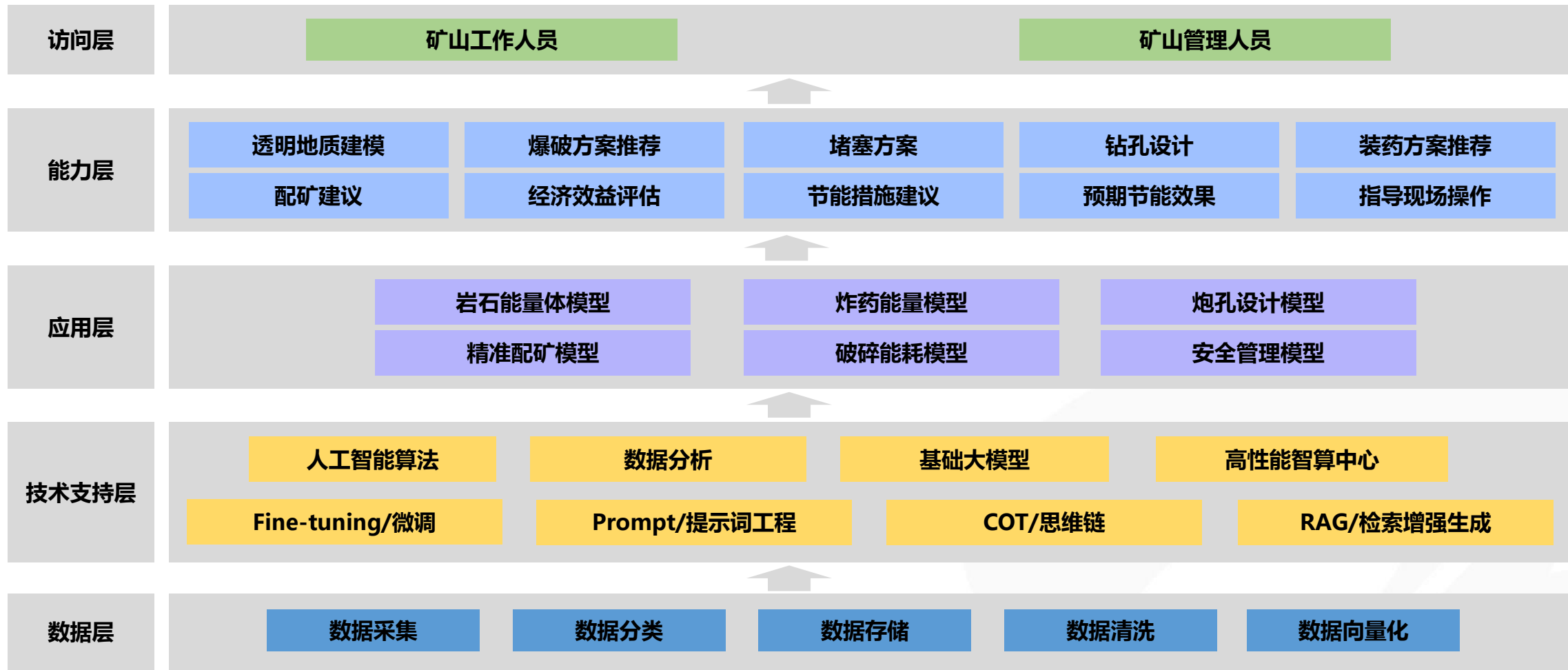


## ■ 悟空爆破大模型简介



- “悟空爆破大模型”是基于通用大模型架构，汇集爆破行业6大类15小类、70年来10种爆破和采矿领域期刊、宏大爆破数万余路视频以及海量专业报告等亿级数据，具备面向爆破行业场景可靠认知能力，提供可信安全的高效认知服务，是民爆产业数字化、智能化、绿色化转型发展的核心产品。
- 经过不断训练和优化而构建出的多模态大模型，涵盖岩石能量体、炸药能量、炮孔设计、精准配矿、破碎能耗、安全管理等子模型。目前研发了“爆破设计”、“边坡裂缝”和“爆破百通”等模块，在专业知识问答、爆破方案自动生成、安全保障、作业智能化推进、资源高效利用等特定领域任务中的卓越处理能力。
- “悟空爆破大模型”通过AI智能化手段提高岩石块度的准确性，降低人为错误发生概率，确保矿山综合效益目标。

## ■ 悟空爆破大模型平台架构



## ■ 大模型构成

模型类型	适用任务	常用算法
岩石能量体模型	计算岩石结构及能量分布，为钻孔提供设计依据	支持向量机 (SVM)、随机森林 (Random Forest)、神经网络 (Neural Network) 等
炸药能量模型	预测炸药能量输出分布	回归模型 (如线性回归、岭回归)、神经网络等
炮孔设计模型	炮孔空间与装药、堵塞设计	分类模型 (如逻辑回归、决策树)、神经网络等。
精准配矿模型	优化矿物分配与运输路径	聚类分析 (如Kmeans)、决策树、神经网络等
破碎能耗模型	预测破碎过程中的能源消耗	回归模型 (如随机森林回归、梯度提升树回归)、神经网络等
安全管理模型	异常检测、安全预警、安全管控	异常检测模型 (如孤立森林、自编码器)、事件预测模型 (如LSTM) 等

# 汇报提纲

01 应用挑战与战略意义

---

02 关键技术与装备体系

---

**03 高寒高海拔智能爆破建设与运营**

---

04 未来展望

---

## ■ 高寒高海拔玉龙铜矿智能爆破场景

- 玉龙铜矿是中国第二大单体铜矿，位于西藏自治区昌都市江达县青泥洞乡，海拔4569-5118米的高原地区，属特大型斑岩和接触交代混合型铜矿床。铜矿石储量8.3亿吨，平均品位0.6%年，采选能力2280万吨/年。



建成“1网络+1平台+1地面站+5应用”智能爆破系统

# ■ 高原智能爆破交流会



## ■ 应用效果方面

01

### 拒爆率显著降低，爆破块度均匀性提升

宏大爆破的高原智能爆破技术应用后，拒爆率显著降低，爆破块度均匀性得到明显提升，这不仅提高了爆破效果，也减少了后续处理工作，有利于提高开采效率和质量。

02

### 减少人工数量30% - 80%，提升作业效率20% - 50%

通过智能爆破研究技术的应用，人工数量减少了30% - 80%，同时作业效率提升了20% - 50%，实现了人力资源的优化配置和作业效率的大幅提升，降低了企业成本。

03

### 节约炸药成本超1900万元/年，经济效益显著

宏大爆破的高原智能爆破技术在应用中节约炸药成本超1900万元/年，为企业带来了显著的经济效益，也体现了该技术在成本控制方面的优势。

# 汇报提纲

01 应用挑战与战略意义

---

02 关键技术与装备体系

---

03 玉龙铜矿智能爆破建设与运营

---

04 未来展望

---

## ■ 未来展望

### 非煤露天矿山安全智能开采 国家矿山安全监察局重点实验室（筹）

Key Laboratory of Safety Intelligent Mining  
in Non-coal Open-pit Mines(Preparatory)

国家矿山安全监察局  
National Mine Safety Administration

### 高原智能爆破研究所

Plateau Intelligent Blasting Research Institute

非煤露天矿山安全智能开采  
国家矿山安全监察局重点实验室  
Key Laboratory of Safety Intelligent Mining  
in Non-coal Open-pit Mines

高寒高海拔露天矿智能爆破将在2025-2030年迎来黄金发展期，实现从“人控”到“数控”再到“智控”的历史性跨越。将依托“非煤露天矿山安全智能开采国家矿山安全监察局重点实验室”联合高校与科研院所开展联合攻关，采用“技术创新 + 模式创新 + 生态创新”三轮驱动，攻克以下“卡脖子”难题：

- 极寒环境适应性：新型材料、智能温控、系统休眠 - 唤醒机制。
- 通信可靠性：5G + 北斗 + Mesh 自组网，基站冗余设计，抗干扰技术。
- 智能系统稳定性：边缘计算 + 云计算协同，本地决策优先，远程监控备份。
- 自主智能决策：基于悟空爆破大模型的智能爆破设计系统，自动生成方案并优化；环境自适应系统，自动识别冻土层、岩性变化，智能调整参数，无需人工干预。

将彻底解决高原矿业“效率低、安全差、环境难”三大难题，为青藏高原等矿产资源开发提供“中国方案”。

**智能爆破：破解高原矿业困境的关键钥匙**

—— 谢谢 ——  
THANKS