“露天矿绿色智能开采”科研成果转化

《采矿学 B》教学案例

一、科研项目基本信息介绍

以学生为中心，以项目为载体，根据教学内容和课程进度安排，以学生应用能力和实践能力培养为核心，开发实践式项目教学案例。课程案例来自于申请人科研项目、科研成果以及实际工程问题。涉及的相关项目、成果等信息如下：

（1）国家自然科学基金青年科学基金项目, 52004202, 露天矿高台阶抛掷爆破粉尘精准控制机理研究, 2021/01-2023/12, 24 万元, 已结题, 主持.

（2）陕西省教育厅重点科学研究计划, 18JS067, 高陡边坡预裂爆破减震机理及稳定性影响机制研究, 2018/01-2020/12, 4 万元, 已结题, 主持.

（3）新疆煤炭资源绿色开采教育部重点实验室, 教育部重点实验室开放课题, KLXGY-KB2424, 露天矿高台阶松动爆破粉尘精准控制机理研究, 2024/01-2025/12, 6.0 万元, 在研, 主持.

（4）西安科技大学博士启动金, 2017QDJ008, 抛掷爆破拉斗铲倒堆工艺参数优化方法研究, 2017/04-2019/05, 10 万元, 已结题, 主持.

（5）企业委托项目, 6000230842, 复杂环境下露天矿上山道路爆破动力效应精准控制方法研究, 2023/09-2024/09, 49 万元,在研, 主持.

（6）企业委托项目,6000210787,碾子沟煤矿主斜井及变电所边坡稳定性评价报告, 2021/09-2021/12, 13 万元, 已结题, 主持.

（7）国家自然科学基金青年基金项目, 51604264, 露天矿台阶抛掷爆破效果-多参数响应机理研究, 2017/01-2019/12, 19 万元, 已结题, 参加.

（8）肖双双, 杨晴, 马亚洁, 张永贵, 董国伟, 王红胜. 一种露天煤矿抛掷爆破粉尘浓度计算方法, 2024.04.26, 中国, ZL202210464411.0（授权发明专利）

（9）肖双双, 马力. 一种抛掷爆破智能施工方法, 2018.08.14, 中国, ZL201710456625.2（授权发明专利）

（10）肖双双, 马力. 一种露天矿台阶爆破布孔方法, 2018.07.24, 中国, ZL201710456624.8（授权发明专利）

（11）肖双双, 李克民, 张永贵. 抛掷爆破-拉斗铲倒堆工艺参数优化理论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2023.10.

（12）肖双双, 林士桢, 刘锦, 等. 基于倒数误差法的抛掷爆破振动速度集成预测模型[J/OL].煤炭科学技术, 1-12 [2024-09-04]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2402.td.20240902.1441.012.html.

（13）肖双双,马亚洁,李卫炎, 等. 我国露天矿粉尘防治理论技术近 20 a 研究进展与展望[J]. 金属矿山, 2023, (7):40-56.

二、科研促进教学案例

（一）露天矿智能穿爆案例库

1.案例名称

（1）案例名称

露天矿智能穿爆案例库

（2）案例简介

目前，露天矿智能穿爆的主要流程为：利用爆区测量系统测量爆区的三维模型数据，利用爆破设计系统设计爆破参数。将钻孔信息数据、装药结构数据通过通信网络系统分别发送给智能钻孔系统、智能装药系统，智能钻孔系统根据钻孔信息数据智能钻孔，智能装药系统根据装药结构数据智能装药。最后，连线并准备抛掷爆破。

本案例介绍了目前露天矿智能穿孔、爆破的相关技术现状。

2.案例实际应用效果简介

《采矿学 B》第二章矿岩松碎主要介绍露天矿常用钻孔设备、矿用炸药、爆破器材、爆破方法等内容，露天矿智能穿爆案例库是对相关内容的补充，通过相关案例的学习，让学生对目前露天矿穿爆的前沿技术有更深入的了解。

3.支撑材料

（1）授权发明专利：肖双双，马力．一种抛掷爆破智能施工方法，2018.08.14，中国，ZL201710456625.2

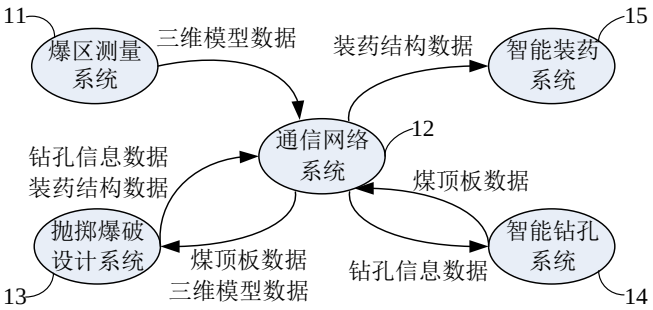


图 1-1 爆破智能施工流程

（2）软件：爆破数字化综合处理系统 KSBP

系统采用面向对象技术、ADO/X 数据访问和控制技术、数据库开发技术、三维显示技术、露天矿山爆破技术，集三维可视化图形平台、地质信息管理系统、爆破器材信息管理、露天矿爆破智能设计、爆破模拟及效果分析于一体的开放性系统。系统在布孔、装药、连线和施工方案输出等方面都实现了智能化，优化爆破设计参数，有效利用爆破能量提高爆破效果，降低矿山剥离成本。



图 1-2 爆破数字化综合处理系统

系统对设计进行分析统计，将统计结果以施工文档和施工图等形式输出，输出文档格式有（doc、xls、txt、jpg 等），输出的主要文件如表 1-1。

表 1-1 系统自动输出图表文档

类型	序号	名称
图	1	连线图
	2	等时线图
	3	连线延时方向图
	4	孔深/孔长/超深/欠深图
	5	单耗图
	6	岩石初始移动方向图
数据表	1	基本信息表
	2	炸药火工品用量表
	3	各排基本信息表
	4	单孔详细信息表
文档	1	基本信息
	2	炸药火工品用量
	3	各排基本信息
	4	单孔详细信息
	5	爆破设计说明书

（二）露天矿爆破振动控制案例库

1.案例名称

（1）案例名称

露天矿爆破振动控制案例库

（2）案例简介

露天煤矿爆破具有一次装药量大、爆破振动效应显著等特点。为降低爆破对未爆岩体的影响，保持高边坡边坡稳定及作业安全，需要研究爆破振动控制技术。通常采用爆破振动记录仪检测地表垂直、径向和横向三向爆破质点振动速度，分析爆破振动衰减规律，得出爆区周围振动场的分布，以便根据国家《爆破安全规程》（GB6722-2014）的爆破振动速度允许值，合理调整装药量、爆破参数、连线方式、延时间隔和爆破规模等。给出降低爆破振动的方案。本案例主要包括了爆破振动监测方案、监测结果分析以及爆破振动控制方法等内容。

2.案例实际应用效果简介

《采矿学 B》第二章矿岩松碎主要介绍露天矿常用钻孔设备、矿用炸药、爆破器材、爆破方法等内容，露天矿爆破振动控制案例库是对相关内容的补充，通过相关案例的学习，让学生对爆破振动监测方案、监测结果分析以及爆破振动控制方法等内容有更深入的了解。

3.支撑材料

（1）爆破振动检测原理

爆破振动波传至拾振器时，使拾振器产生感生电压输出，感生电压信号超过预设的触发电平值时，爆破振动记录仪开始自动地记录传感器输入的振动信号，并将振动波储存在仪器内，关闭电源后也不会丢失。野外检测结束后，通过计算机中专用软件与爆破振动记录仪连接、通讯，可以读取并分析爆破振动波。爆破振动检测仪基本工作原理如图 2-1 所示。

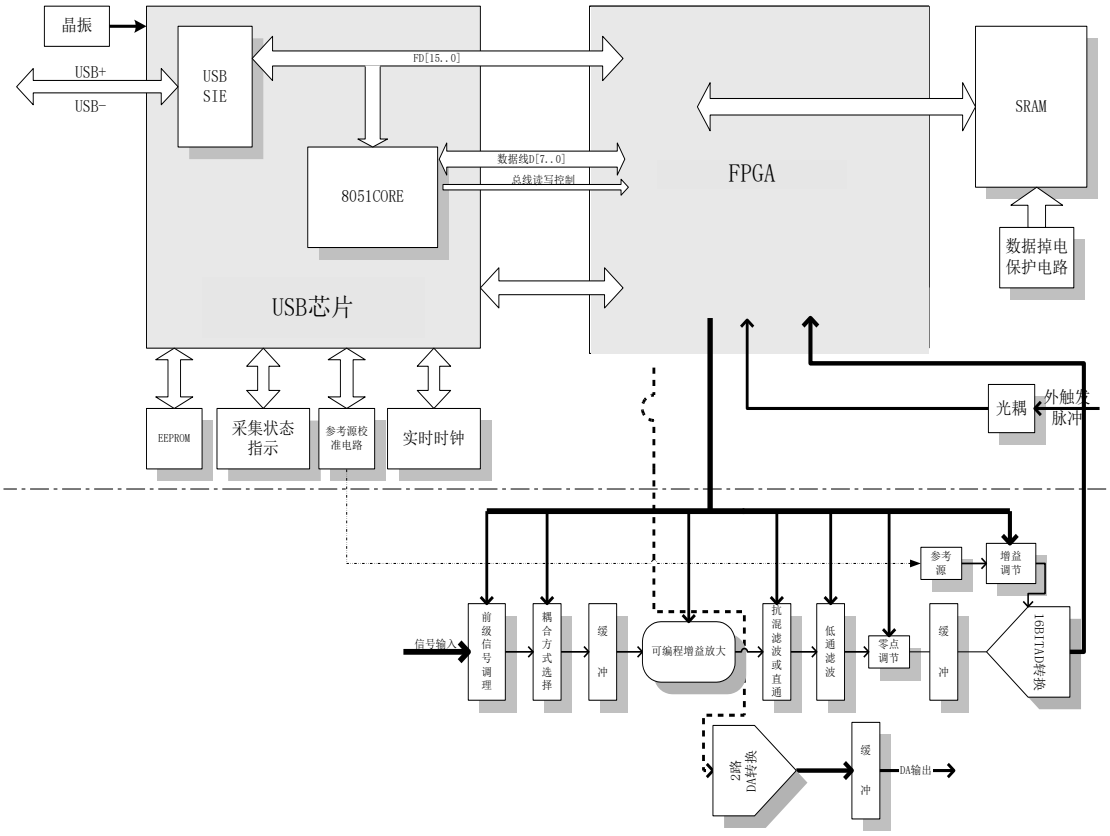


图 2-1　爆破振动检测仪基本工作原理图

（2）测点布置原则

a. 测点布置在距离振源不同距离的房屋周边基岩和基础上，尽量测得在保护房屋附近的爆破振动质点速度；

b. 振源距选煤场和排土场较远时，则将测振点布置在靠近爆破振源一侧的基岩上或坡脚处；

c. 对于已形成的高台阶尽量使测点布置在台阶边缘，并考虑与爆源不在同一高程的多个台阶上，分析地形高差对爆破振动的影响。

对于覆土较厚的区域，爆破振动检测点只能布置在碾压密实的路面上，地表的振动基本能反映地表土层的真实振动情况，故将传感器布置在地表能测出地基土层的爆破振动速度。所有传感器用快干石膏粉牢固粘结在地表。

爆破振动检测系统及爆破振动测点布置分别见图 2-2、图 2-3。

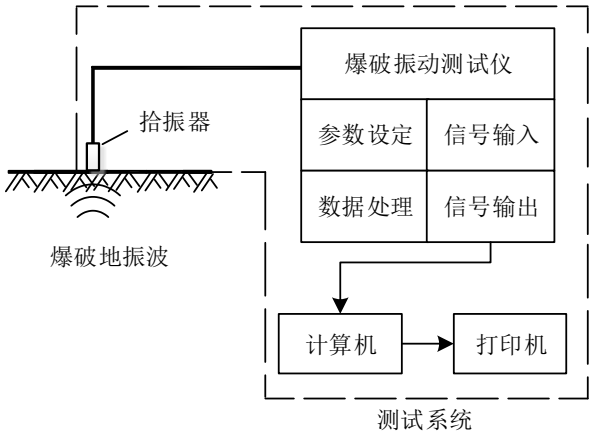


图 2-2　爆破振动检测系统框图

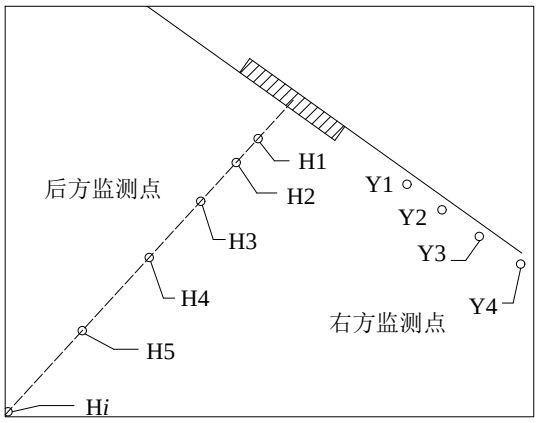


图 2-3　现场爆破振动测点布置示意图

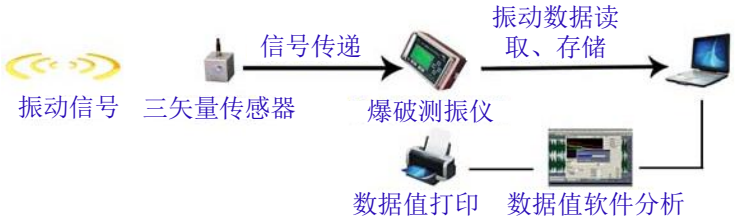


图 2-4　仪器工作示意图

采用爆破振动测试系统对多场爆破进行现场监测，获得不同爆源条件下爆破振动数据，探索地质地形条件、爆源对爆破振动效应的影响。

对比分析相同爆源条件下不同高程、不同传播距离处各测点的爆破振动数据，探索高程、传播距离对爆破振动效应的影响；对比分析不同爆源条件下相同位置测点的爆破振动数据，探索爆源对爆破振动效应的影响。

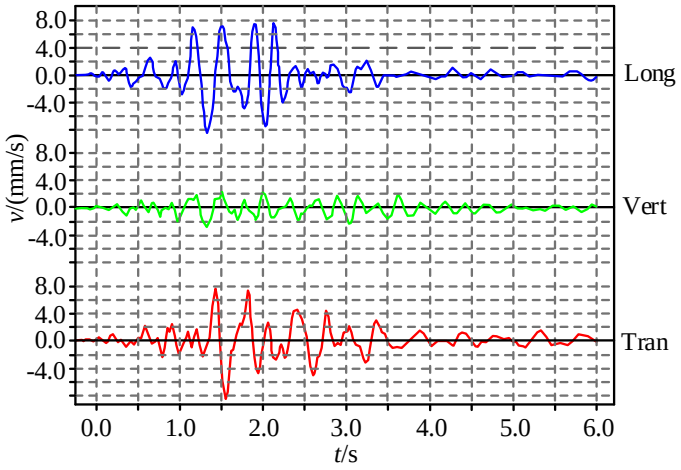


图 2-5 典型爆破震动波形图

（3）爆破振动测试结果

在某露天矿上山道路现场进行了松动爆破振动测试，测试布置了 4 个监测点，分别为 A、B、C、D，均获得了有效数据。松动爆破振动监测测点布置及设备现场安装如图 2-6 所示。



（a）测点布置



（b）传感器固定



（c）测振仪

图 2-6 爆破振动现场监测

（4）爆破地震波分析

测试获得了各测点不同方向的最大振速曲线图以及最大振速、主振频率、持续时间等数据，分别如图 2-7、表 2-1 所示。

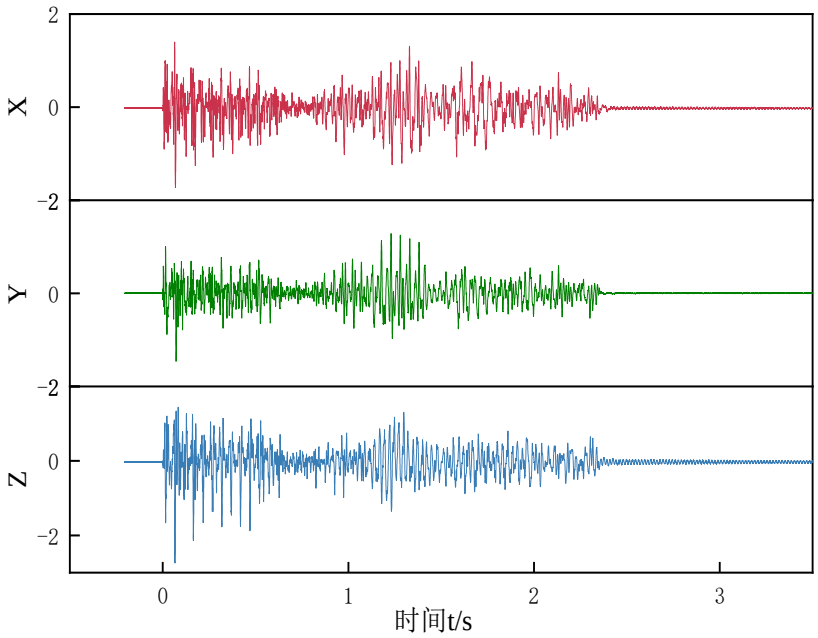


图 2-7　爆破振动测试典型波形图

表 2-1　爆破振动监测数据

测点	方向	最大振速（cm/s）	主振频率（Hz）	振动持续时间（s）
A	X	-1.726	19.836	2.345
	Y	-2.735	39.368	2.904
	Z	-1.462	59.204	2.354
B	X	-1.712	19.836	4.509
	Y	-1.389	61.035	5.739
	Z	-1.383	37.842	2.665
C	X	-0.377	19.836	5.641
	Y	-0.547	19.836	2.483
	Z	-0.513	19.531	2.604
D	X	-0.772	39.368	2.575
	Y	0.509	20.447	2.625
	Z	0.508	59.509	2.562

由表 2-1 可知，各测点因爆心距离等不同，最大振速变化较大，最大振速在 0.377~2.735cm/s 之间，平均为 1.136cm/s，距离爆区越近振动速度越大，振动速度最大值一般出现在 0.1~0.3s 时段内。各监测点 X、Y、Z 三个方向爆破振动主振频率均在 19~62Hz 之间，主要集中在 19~20Hz 之间，振动主频最大值为 61.035Hz，出现在 B 测点 Y 方向。松动爆破振动频率范围较窄，主振频率较低，基本没有高频成分，属于低频振动。根据图 6-8 及表 6-2 可以看出，各监测点振动持续时间在 2~6s 之间。

（5）爆破振动控制方法

为有效控制爆破振动有害效应，应严格控制微差起爆时间，并尽量降低单段起爆药量，同时采取以下技术措施：

① 采用微差爆破技术，通过控制起爆时间，实现逐孔起爆，使爆破地震波及应力波叠加，改善爆破效果的同时控制爆破振动。

② 灵活控制最小抵抗线方向。通常最小抵抗线方向上的爆破振动较小，反向最大，通过调整自由面方向及最小抵抗线方向，使保护构筑物等位于最小抵抗线方向的侧向。

③ 增加装药的分散性和临空面，可减小爆破振动速度公式 1 的 k 与 a 值，进而降低爆破振动速度。

④ 爆破过程中进行爆破振动监测，利用监测数据分析振动强度及其影响因素，指导后续爆破作业。

⑤ 采用不耦合装药，利用炸药与孔壁间的孔隙缓冲爆破能量，以降低爆破振动。

⑥ 必要时采用分段装药，或者分区分段进行爆破作业。

（三）露天矿车辆智能防撞系统案例库

1.案例名称

（1）案例名称

露天矿车辆智能防撞系统案例库

（2）案例简介

露天煤矿生产现场，是一个复杂的作业区域，露天煤矿中采用大型电铲、运输重型卡车、辅助工程机械、轻型车辆等同在一起联合作业，作业现场混乱且复杂。并且由于煤矿地质赋存条件复杂、矿坑狭长、点多面广，有时还有窄狭场地或危急地段作业，再加上夜晚作业等，矿山车辆在起步、转弯、倒车、停车时存在严重的安全隐患，近些年经常发生矿山安全事故，盲区问题给矿场造成了重大的人员伤亡和财产损失。为了避免露天矿车辆碰撞，避免相关事故的发生，露天矿在生产设备上安装智能防撞系统。

本案例重点介绍了露天矿车辆智能防撞系统的基本原理及相关应用。

2.案例实际应用效果简介

《采矿学 B》第四章露天矿运输主要学习露天矿常用的公路汽车运输、铁路机车运输、带式输送机运输、联合运输等运输方式，并了解运输方式选择以及运输安全。通过相关案例的学习，让学生了解先进的露天矿车辆智能防撞系统，认识先进技术对露天矿事故预防的促进作用。对目前露天矿穿爆的前沿技术有更深入的了解。

3.支撑材料

（1）新闻：哈尔乌素露天煤矿卡车防撞系统

矿用卡车交通安全是露天煤矿安全管理的一大难点。矿区路况复杂、卡车司机视野盲区大、车辆存在交叉作业，都是卡车运输的重大安全隐患。为此，研发了卡车“四位一体”安全保障系统。该系统集车载 GPS 防撞预警、车辆超速管理、驾驶员疲劳警示和行为监控、毫米波雷达自动刹车等功能于一体，能够及时预警潜在安全风险，自动采取相应措施。

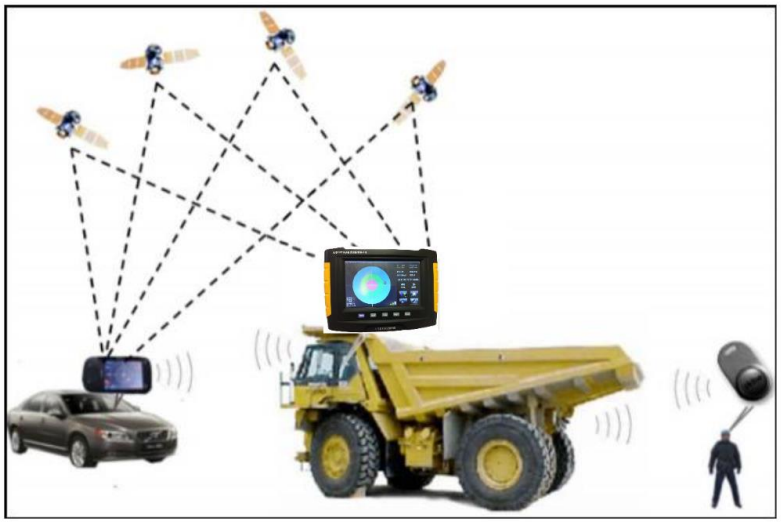


图 3-1　卡车防撞系统

防撞系统利用毫米波雷达探测技术，实时监测两车距离。经过雷达控制器的综合判断算法，当距离小于正常值时，系统会发出安全提醒；当小于安全距离时，系统自动刹车，避免车辆追尾或者碰撞。

① 车辆防撞预警原理

采用高精度 GPS 定位技术给出车辆的精确坐标；采用射频通讯技术，将车辆之间的位置坐标互换，及时将车辆的位置和相对信息通过各自的液晶屏幕显示出来；最后通过语音模块，根据事先规定的报警模式，给出预警信号。

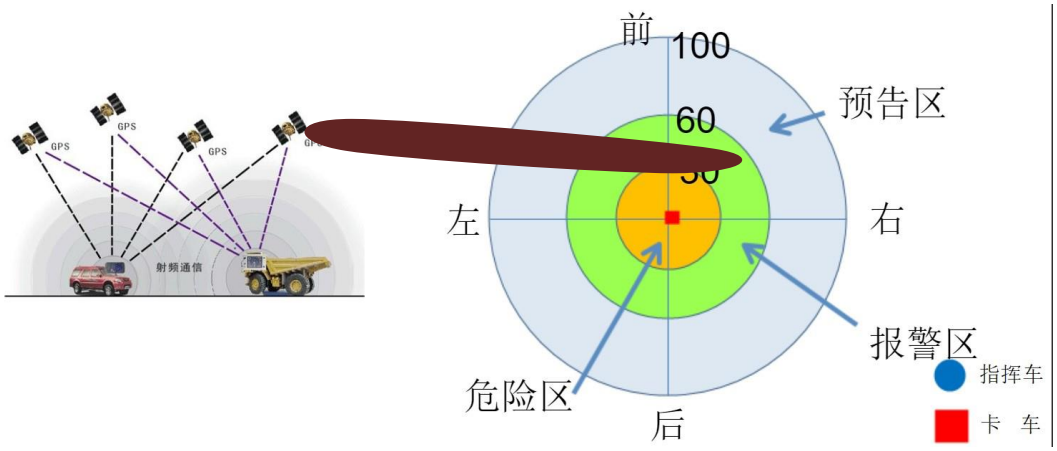


图 3-2　车辆防撞预警原理

② 车辆防撞预警系统功能特点

a. 全天候自动预警:GPS 及射频全天候工作，不受天气影响；

b. 斜坡弯道处处有效:在斜坡道拐弯处，即上下台阶道路的交汇点，本系统能有效给出对方行驶的车辆，达到预警的目的；

c. 可透过视线屏障:在风沙、浓雾和恶劣天气的情况下，无线射频技术能穿透这些视线屏障；

d 夜晚行车监督提醒:在夜晚行车，视线不清的情况下，为司机实时提供周围是否有车辆的存在。夜晚时，周围如果车辆出现，有语音报警；

e. 可设置合理的超前预警:最关键因素是在一定的距离范围内提前预警，让司机知道周

围是否有车辆的存在，及早作好会让的准备。

（四）露天设备无人驾驶案例库

1.案例名称

（1）案例名称

露天设备无人驾驶案例库

（2）案例简介

无人驾驶作为智能矿山的重要子系统之一，是新质生产力集中体现。在实现应用落地，引领劳动者、资料对象实新的变革为传统矿业高质量发展提供新动能优势，为矿山生产全链条数字化提供了执行端的实现工具驱向绿色低碳、科技创新方向转变。本案例介绍了露天矿无人驾驶发展历程、发展现状以及未来发展趋势。

2.案例实际应用效果简介

《采矿学 B》第四章露天矿运输主要学习露天矿常用的公路汽车运输、铁路机车运输、带式输送机运输、联合运输等运输方式，并了解运输方式选择以及运输安全。通过相关案例的学习，让学生了解目前国内露天矿无人驾驶领域的发展及应用现状。

3.支撑材料

（1）新闻：黑岱沟露天煤矿无人驾驶运输

黑岱沟露天煤矿建成了核心网下沉本地的露天煤矿 5G 网络，应用 4D 光场、惯导等感知技术实现了多编组国内运力最大的 300 吨级卡车“装、运、卸”全程无人驾驶运输。

国内首家实现 300 吨级无人驾驶卡车多工作面工业化运行，6 个编组 36 台无人驾驶卡车常态化运行；2 台 35 立方米液压铲和 1 台 250 毫米孔径牙轮钻机实现远程操控作业；边坡安全监测、智能矿山建设成果，视频连线亮相全国“安全生产月”启动仪式。



图 4-1　5G 网络



图 4-2　无人驾驶卡车等待装车



图 4-3　无人驾驶卡车行驶



图 4-4　无人驾驶卡车原理



图 4-4　无人驾驶卡车排土

（2）新闻：国家能源集团其他露天煤矿无人驾驶卡车



图 4-5　国家能源无人驾驶卡车

（3）2024 智能矿山暨无人驾驶行业蓝皮书

① 发展历程

中国矿山无人驾驶已度过萌芽阶段和技术研发、测试运营阶段，经过技术沉淀和标杆案例经验积累，2021 年起，中科慧拓、踏歌智行、易控智驾、希迪智驾等智能矿山无人驾驶解决方案商陆续实现常态化安全员下车，技术的安全性得到验证，矿山无人驾驶车辆逐步实现规模化运行。

预计从 2024 年起，随着技术的大规模应用，矿山无人驾驶的成本效益比将得到显著提升，无人驾驶企业将逐步进入项目运营盈亏平衡的阶段，商业价值逐步显现。展望未来，无人驾驶系统将与智能矿山的其他系统深度融合，通过全链条数字化提升效率和安全性，共同推动矿山整体智能化加速，助力矿山行业实现高端化、智能化、绿色化发展。

表 4-1 中国智能矿山无人驾驶发展历程

萌芽阶段 2014～2016年	**企业注册成立** • 2014年，中科慧拓注册成立 • 2015年，伯镭科技注册成立 • 2016年，踏歌智行注册成立	**初步探索研究** • 2015年，北方股份开始涉足无人驾驶矿用车的研发 • 2016年，中科慧拓与徐工集团合作研发徐工蓝星系列产品，包含110吨无人矿卡、15吨半自主轮式挖机、智能调度集群系统等
技术研发及测试运营阶段 2017～2020年	**多方合作进行技术研发** • 2018年，中科慧拓发布愚公YUGONG平行矿山操作系统1.0版本 • 2020年，北方股份与踏歌智行合作研究无人驾驶线控系统	**特定矿区测试运营** • 2019年，中科慧拓在大唐国际宝利煤矿正式完成国内首个矿区无人运输系统商业化落地运营 • 2019年，北方股份与踏歌智行合作研制的国内首台110吨无人驾驶电动矿用车成功下线并开始试运营 • 2020年，易控智驾在新疆开展测试运营
规模化运营阶段 2021～2023年	**实现常态化安全员下车** • 2021年，中科慧拓在宝日希勒能源项目中实现常态化安全员下车 • 2022年，踏歌智行、易控智驾、希迪智驾已有项目实现常态化安全员下车	**项目落地规模扩大** • 2023年10月，易控智驾在新疆南露天煤矿的无人驾驶车队规模达到203辆，超越FMG Chichester单矿108辆的纪录成为全球第一 • 2023年，华为发布露天矿无人化解决方案，其中的无人驾驶技术已规模商用，效率与人工作业趋近
商业价值实现阶段 2024～2026年	**成本效益比提升** • 无人驾驶在矿山场景的规模化应用将带动车队数量的增加，进而推动成本逐步降低	**商业价值实现** • 技术进步与成本效益的双重提升，将加速整个行业的商业应用转型 • 矿山无人驾驶技术不仅得到广泛应用，且商业模式逐渐成熟，企业开始实现稳定的盈利
全面智能化阶段 2027年~	**无人驾驶与智能矿山深度融合** • 无人驾驶与智能矿山其他智能系统如智能采矿、智能洗选等深度融合，实现高度无人化和智能化，通过全链条数字化产生效率乘数，获得安全溢价 • 在这一阶段，矿山整体智能化加速发展，实现高效、安全、环保的采矿作业	

② 智能矿山无人驾驶产业图谱

中国智能矿山无人驾驶产业的供给侧包括矿山无人驾驶解决方案商、矿用车和矿山机械装备企业、云服务商以及通讯服务商等主体，需求侧则由煤矿、金属矿、砂石矿等各类矿山企业和矿山工程公司构成。供给侧企业通过技术创新和紧密合作，不断满足需求侧矿主和矿山工程公司对智能矿山建设的迫切需求，共同推动着整个产业的发展和进步。



图 4-6　中国智能矿山无人驾驶产业图谱

③ 发展现状

露天矿无人驾驶解决方案已趋于成熟。露天矿无人驾驶运输首先由传感器进行环境监测，通过高精度 GPS 定位和调度系统指定装载和卸料点，并规划最佳行驶路线。车辆接收指令自动导航至挖掘机进行装载，按路线行驶至卸料点，完成精准卸料，实现高效、绿色、安全的矿石运输。

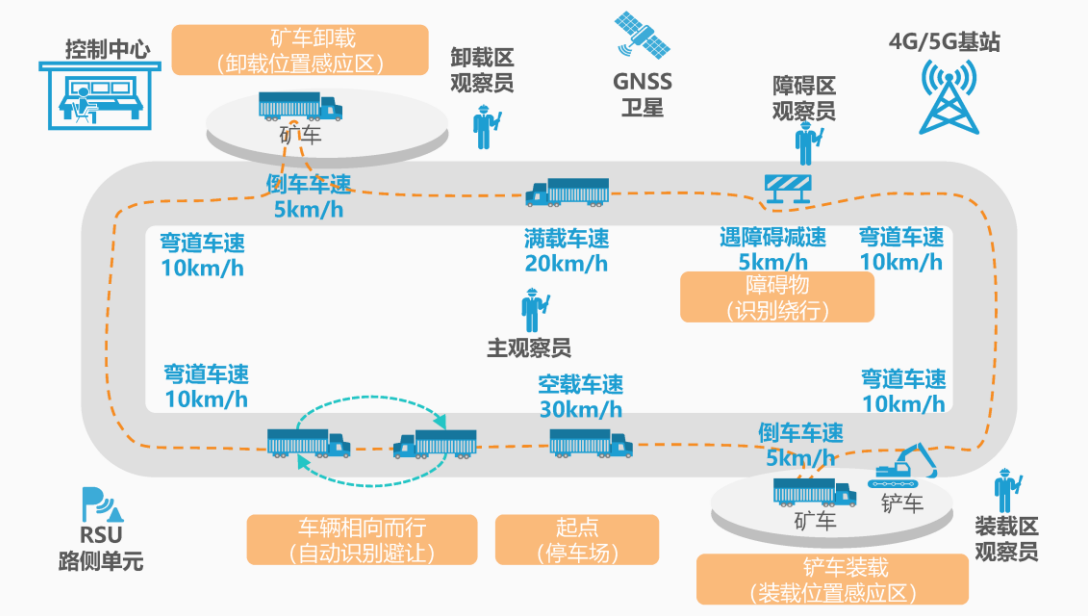


图 4-7　露天矿无人驾驶运输流程

中国智能矿山无人驾驶市场近年来快速发展，多家企业已成功将无人驾驶技术应用于国内各地主要矿山。但目前来看，全国投入使用的无人驾驶矿用车辆约 1500 辆，整体渗透率不到 3%，尚处于较低水平。

预计到 2030 年，中国煤矿、砂石骨料矿、铁矿的年运输规模将分别达到 577.9 亿元、2936.1 亿元和 215.6 亿元，矿山无人驾驶的潜在市场空间为 3729.6 亿元。随着市场接受度增加，矿山无人驾驶渗透率将持续增长，市场规模将达千亿级别，展现出巨大的市场潜力和发展空间。

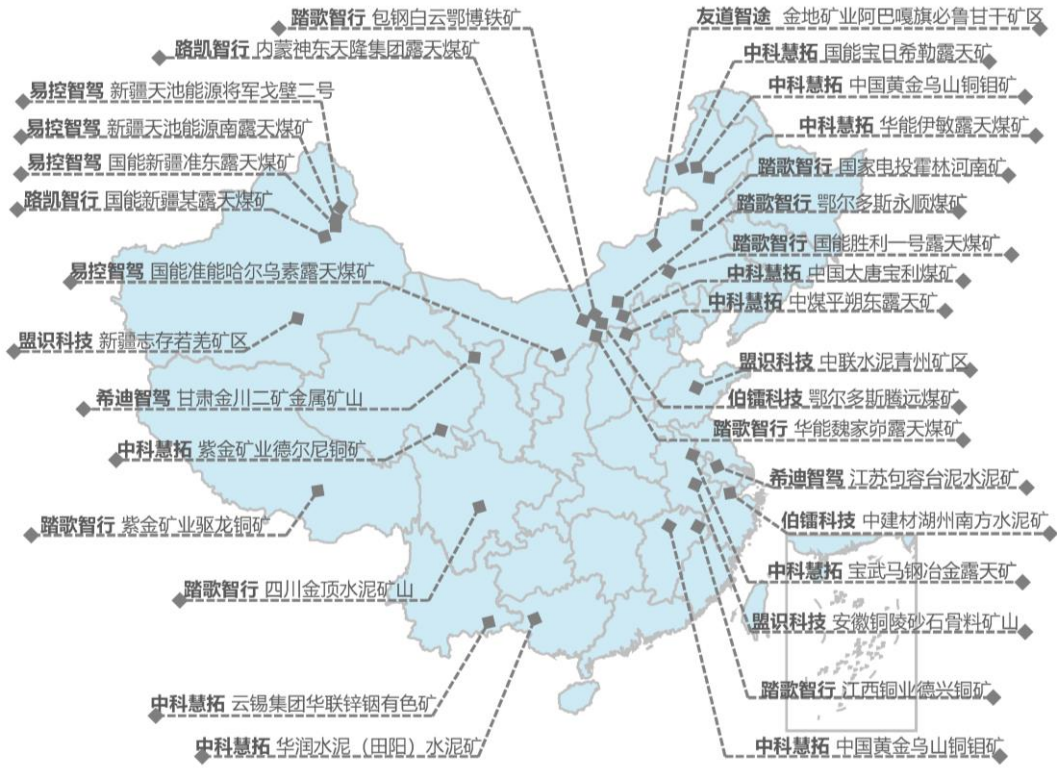


图 4-8　中国智能矿山无人驾驶落地情况(部分)

头部企业已实现单个矿山无人驾驶规模化应用，即将开始大规模复制：

无人驾驶矿用车辆的发展已经从早期的几辆或十几辆的小规模试验阶段，扩展到如今的数十甚至数百辆的大规模运营。目前多家企业已实现无人驾驶技术的规模化应用，单个矿山无人驾驶规模在持续扩大。

随着技术的成熟和市场的认可，相关企业的订单量近期实现了显著增长，市场上出现了多个数百台规模的订单，标志着行业需求的稳步增加和商业化进程的加速。例如，三一智矿与新疆骏瑞众研签署了超 500 台无人驾驶矿车的合作订单，易控智驾与鸣阳矿业计划未来在新疆矿山投放 500 至 1000 台新能源线控矿车，踏歌智行与临工重机今年初达成战略合作，将共同部署千台无人矿车，进一步推动了行业的商业化进程。

规模化应用推动单车成本下降，矿山无人驾驶迎来商业化拐点，获得资本青睐

无人驾驶技术在矿山场景的规模化应用带动车队数量的增加，进而推动成本的逐步降低。随着整个无人驾驶产业链成熟和产量提升，相关智能化硬件成本有望实现显著下降，并最终控制在 10 万元以内。此外，前期研发投入、基础设施建设成本也随着车队规模扩大得以摊薄。同时，随着技术的不断成熟，运营效率的提升也会为毛利率的增长带来广阔空间。

矿山无人驾驶企业自 2020 年以来逐渐获得资本市场青睐，尽管融资热度在 2022 年后有所放缓但到 2023 年下半年至 2024 年初，行业迎来新一轮融资高峰，其中易控智驾在短短半年内成功完成了连续两轮融资，而踏歌智行、伯镭科技、雷科智途等企业也相继在近期获得了过亿资金支持，显示出资本市场对行业的信心。同时，融资轮次的后移表明了矿山无人驾驶企业正逐步从初创阶段向成熟企业过渡。

④ 发展趋势

无人驾驶技术模块化运营趋势

一体化协同管理智慧中台趋势，矿山综合管控平台向协同管理方向发展

绿色化、智能化趋势并行，矿山无人驾驶引领矿业高质量发展新篇章：

在国家“碳达峰碳中和”战略目标的推动下，矿用车辆的绿色化转型已成为行业发展的必然选择。随着电动汽车技术的进步和矿区充换电设施的日益完善，新能源矿用车将充分发挥其环保、高效的优势，逐步取代传统燃油车型，成为矿山运输的主力军。

同时，矿山无人驾驶技术将持续升级，在有人驾驶和无人驾驶混编运营的基础上实现全矿无人驾驶运输目标。未来，矿山无人驾驶将进一步推动配套设备的智能化改造和生产智能调度系统的升级，与智能矿山全链条充分衔接和融合，推动矿山生产全流程的无人化、数字化、智能化。新能源的应用为智能化建设带来便利，而智能化的发展将提升矿山开采效率和资源利用率，两者相辅相成，共同为行业的高质量发展注入强大动力。

海外市场前景广阔，产业链协同将成为中国技术出海的重要策略。

（五）大国重器案例库-露天矿设备国产化

1.案例名称

（1）案例名称

大国重器案例库-露天矿设备国产化

（2）案例简介

大型露天矿成套设备是为大型露天矿（煤矿、铁矿和铜矿等）剥离、采矿和运输提供的

成套设备，包括单斗—汽车间断开采工艺及连续、半连续开采工艺的成套设备。30 年来，通过引进、消化吸收和再创新，我国大型露天矿成套设备完成了包含间断、轮斗连续和半连续三种开采工艺的 1000 万 t/年级和 2000 万 t/年级两个等级的成套设备研制，基本满足了我国大型露天矿的应用需要。《采矿学 B》第二章至第五章主要介绍露天矿穿孔爆破、采装、运输、排土四个主要生产环节常用的生产设备，露天矿设备国产化是对相关内容的补充。

2.案例实际应用效果简介

通过相关案例的学习，让学生对目前国内矿山设备制造商、国产大型设备制造能力有所了解，**对学生进行课程思政教育，提高民族自豪感和荣誉感**，培养学生热爱露天矿山建设和投身露天矿山生产的志向。

3.支撑材料

（1）新闻：大型露天矿成套设备—国家重大技术装备 30 年

进入 21 世纪后，我国在引进技术、消化吸收和自主创新方面持续发展，自行设计、制造及集成了更大规格的单斗—汽车成套设备，品种规格不断被刷新。

2008 年 1 月 26 日，太重研制的我国首台斗容 55m^3 的 WK—55 型矿用挖掘机（见图 5-1)成功下线。



图 5-1 太重研制的 WK—55 型矿用挖掘机在作业现场

2012 年 6 月 5 日，斗容 75m^3，总长 37.5m，宽 17.3m，从履带到顶部高达 23.5m，机重 1630t，月煤炭开采量可达 500 万 t 的世界上首台规格最大、技术性能最先进、生产能力最强的 WK75 型矿用挖掘机（见图 5-2)在太重正式下线，国产化率达到 97%，标志着我国大型矿用挖掘机产品实现了从“跟随”到“引领”的质的飞跃，彻底打破了国外企业长期对国内大型矿用机械产品和技术的垄断。



图 5-2　太重研制的 WK—75 型矿用挖掘机

2008 年 10 月 28 日，湘电研制的 SF33900 型 220t 交流传动电动轮自卸车成功下线，打破了我国 220t 电动轮自卸车完全依赖进口的局面，标志着我国电传动矿用自卸车全面实现国产化。2011 年 5 月 26 日，我国第一台具有自主知识产权的 SF35100 型 300t 交流传动电动轮自卸车（见图 5-3）在湘电研制成功。产品的更新换代和产业发展，彰显出我国装备制造业企业发展的勃勃生机和竞争潜力。2012 年 10 月，湘电生产的四台 230t SF33901 出口型电动轮自卸车在澳大利亚 Pilbara 矿山进入试运行，2012 年 11 月正式编入采矿车队正常运行，2013 年 1 月按合同要求对四台车的运行状况实施考核；截止 2013 年 12 月，该四台电动轮自卸车运行一年时间，全年 KPI 考核平均为 94.35%，超过预期水平。



图 5-3　湘电研制的 SF35100 型 300t 交流传动电动轮自卸车

2011 年 8 月 22 日，中冶京诚（湘潭）重工设备有限公司[以下简称中冶京诚（湘潭）重工研制的我国最大吨级的矿用自卸车—HMTK600B 363t 电动轮矿用自卸车（见图 5-4)，在湖南湘潭九华国家经济开发区工业园内成功下线，并于 2013 年 1 月完成产品鉴定，总体技术性能达到了同类产品国际先进水平。



图 5-3　中冶京诚（湘潭）重工研制的 HMTK600B 363t 电动轮矿用自卸车

由天津工程机械研究所（以下简称天工所)、杭州重型机械厂（以下简称杭重)、沈阳矿山机器厂（以下简称沈矿)和大连重型机器厂（以下简称大重)联合研制的 1500~2000m^{3}A 斗轮连续开采成套设备，主要有斗轮挖掘机、转载机、胶带运输机、排土机，以及电缆车、漏斗车等装备。



图 5-4　天工所研制的云南小龙潭煤矿斗轮挖掘机成套设备中的转载机和电缆车



图 5-5　太重排土机

（六）露天矿边坡智能监测预警案例库

1.案例名称

（1）案例名称

露天矿边坡智能监测预警案例库

（2）案例简介

2023 年 2 月 22 日下午 1 点 11 分左右，内蒙古自治区阿拉善盟阿拉善左旗新井煤业有限公司的露天煤矿发生大规模滑坡，滑坡体的最大厚度为 105 米，滑坡堆积体约为 756 万立方米，破坏范围南北最长 630 米、东西最宽 520 米，面积约 23 万平方米，致 53 人遇难，6 人受伤，直接经济损失 2.04 亿元。为有效防范遏制矿山重特大事故发生，国家矿山安全监察局在 2023 年 8 月发布了《关于开展露天矿山边坡监测系统建设及联网工作的通知》，对矿山边坡监测建设作了“硬性规定”。本案例主要介绍目前露天矿边坡智能监测预警常用的技术手段。

2.案例实际应用效果简介

通过相关案例的学习，让学生对目前露天矿边坡防控有所了解，掌握目前露天矿边坡监测常用的技术手段。

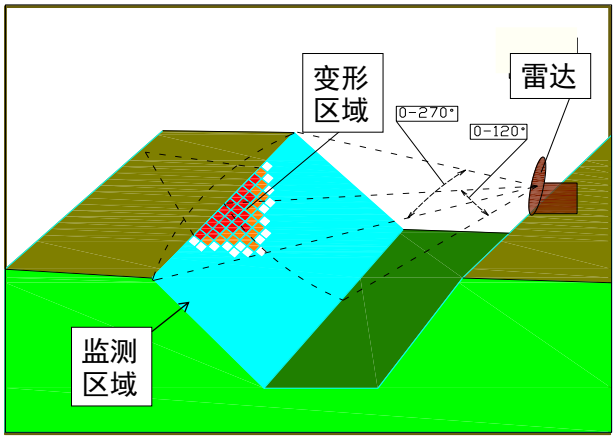
3.支撑材料

黑岱沟露天矿边坡监测预警系统：

准能集团露天煤矿的边坡最高达 75 米。为了消除高台阶片帮、滑坡造成的地质灾害，准能集团在国内首次提出并应用边坡监测雷达，建立实时监控预警系统，部署 5 台雷达、162 套边坡监测系统，实现 24 小时全天候监测预警。

边坡监测雷达能实时获取高台阶边坡变形、沉降数据，迅速识别潜在危险区域，准确预测片帮、滑坡发生时间和范围，提前 2 小时至 48 小时发出预警，有效保证人员和设备第一时间撤离。

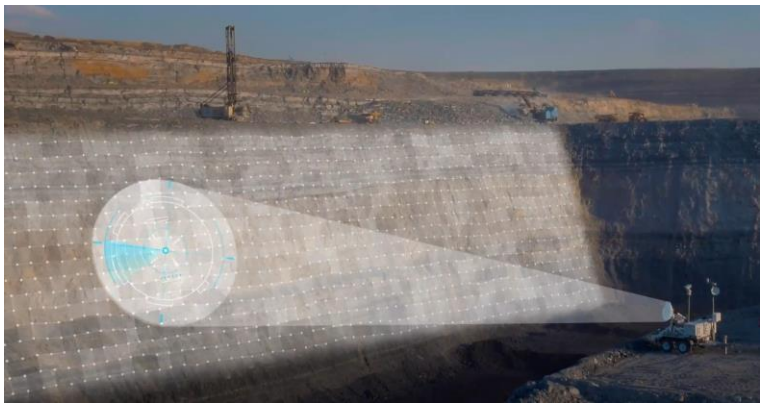
边坡监测雷达在准能集团应用以来，成功预测、预报 280 余次片帮，规模最大的一次片帮面积达 3 万平方米，预警精准率达 100%。



（a）雷达监测示意图



（b）雷达现场布置



（c）雷达监测原理

图 6-1　黑岱沟露天矿高台阶雷达监测

（七）露天矿三维模型案例库

1.案例名称

（1）案例名称

露天矿三维模型案例库

（2）案例简介

《采矿学 B》第三篇 露天矿设计原理部分包括露天开采境界、露天矿生产剥采比及均衡、露天矿生产能力与工程进度计划、露天矿规划与总图设计等内容，该部分内容的设计与计算以露天矿三维地质模型为基础。本案例介绍露天矿三维模型建立的常用方法或软件。

2.案例实际应用效果简介

通过相关案例的学习，让学生了解露天矿三维模型的重要作用，熟悉目前常用的三维模型建立方法或者软件。

3.支撑材料

（1）3DMine 三维矿业软件（来源网络）

3DMine 矿业工程软件，是一款面向工程师的采矿、地质、测量三维设计、建模、计算型专业工具软件。

3DMine 的软件产品服务于矿山地质、测量、采矿、安全生产管控与企业经营管理等矿

山专业方向。软件产品可广泛应用于包括煤炭、金属、建材等固体矿产的地质勘探数据管理、矿床地质模型、构造模型、传统和现代地质储量计算、露天及地下采矿设计、生产进度计划、生产经营、生产过程管控及矿山生态修复等业务范畴。

3DMine 矿业工程软件作为中国首款国际主流水准的、自主知识产权的三维矿业工程专业软件，在经历了十余年的发展历程后，已经成为全球范围内首屈一指的三维专业采矿、地质、测量软件，是矿业行业最优秀的专业软件工具之一。目前已有 1000 余家、10000 余名国内外矿业企业、地勘单位和高校院所正式用户，得到了众多矿业同行和专家的认可与好评，被公认为国内三维矿业软件的领军品牌。 3DMine 矿业工程软件定位于创建世界一流品牌，接轨国际主流矿业软件设计理念和功能体系，与多款国外同类知名软件有良好的数据接口，并中英文双语发布。

（2）MineBase 三维矿业软件（来源网络）

MineBase 矿业工程软件北京矿云基于自主三维引擎（KyEngine）和 CAD 平台开发的新一代矿山设计软件，广泛适用煤炭、有色、露天、地下矿山，打通测量、地质、采矿、安全个专业协同设计，为智能矿山建设提供强有力的基础平台工具。

（3）Dimine 数字矿山软件系统（来源网络）

Dimine 数字矿山软件系统是基于数字化矿山整体解决方案的矿山数字化软件系统。该系统主要适用于矿业企业的地质、测量、采矿专业的技术人员及技术管理人员，全面实现了从矿床三维地质建模、储量计算与动态管理、测量验收及数据的快速成图；地下矿开采系统设计与开采单体设计、回采爆破设计、生产计划编制、矿井通风系统网络解算与优化；露天矿开采境界优化、露天采场设计、采剥顺序优化与计划编制到各种工程图表的快速生成等工作的可视化、数字化与智能化，是各矿业企业进行数字化矿山建设最佳的软件平台。

目前，DIMINE 数字矿山软件系统已成功应用在国内包括有色、黑色、黄金等不同类型的矿山企业、设计院及大专院校，用户包括：江西铜业集团、安徽铜陵矿业集团、云南玉溪矿业公司、中国铝业河南分公司、中核集团、云南金沙矿业公司、五矿集团邯邢冶金矿山管理局、新余钢铁集团、北京矿冶研究总院、兰州设计院、本钢设计院、中南大学、北京科技大学等，为企业带来的经济和社会效益正逐渐显现出来，同时也极大地改善和提高了地质工程师、测量工程师、采矿工程师及企业管理者们在生产管理过程中的技术信息交流水平和工作效率，进而提高了矿山企业的技术及生产管理水平。

（八）露天矿开采境界数字优化设计案例库

1.案例名称

（1）案例名称

露天矿开采境界数字优化设计案例库

（2）案例简介

露天开采是用一定的采掘运输设备在敞露的空间从事矿石开采作业。露天矿最终边坡角、开采境界底部宽度及底部位置、开采境界深度对露天矿的生产安全与经济效果都有很大影响。长期以来，各国矿业领域专家学者对开采境界优化问题做了持续的研究和探索，获得了众多研究成果。然而，由于露采矿山面对的是复杂多变的地质岩体、无序的品位分布以及多变的经济参数等一系列非线性动态问题，最优境界的确定显得尤其困难。本案例对露天开

采境界的原则和方法进行了详细研究论述，分析了影响露天开采境界的几个要素及其确定方法。最后对确定露天开采境界的步骤进行了研究。

2.案例实际应用效果简介

《采矿学 B》第九章露天开采境界主要介绍确定露天开采境界的原则及理论基础、经济合理剥采比、境界剥采比、圈定境界的方法和步骤。本案例是对相关内容的补充，让学生了解露天矿境界数字化设计的方法。

3.支撑材料

（1）露天开采境界设计的原则和方法

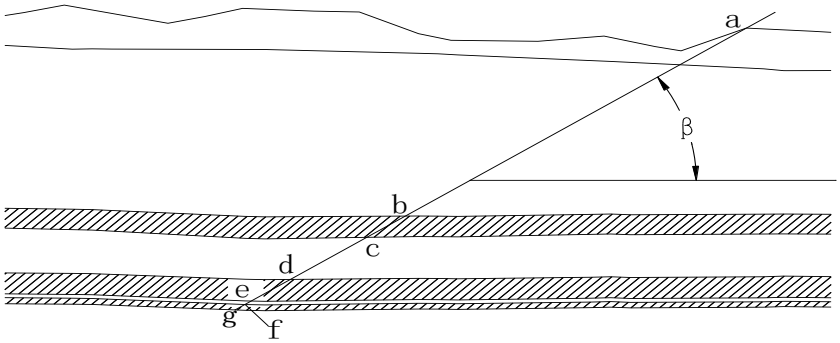
① 露天开采的设计准则

露天开采境界的大小决定了露天矿采矿量和剥离量的多少。随着露天开采境界的延深和扩展，在采矿量增加的同时剥离量也大幅度增加，从而导致剥采比不断增大。因此，露天开采境界的确定，实质上是对剥采比的大小加以控制，使之不超过经济合理剥采比。

由于境界剥采比的设计准则具有使整个矿床开采的总经济效果最优这一背景，加之计算及操作简单易行，目前国内外手工设计普遍运用 ≤ 准则来圈定露天开采境界。虽然国内外手工设计普遍运用 ≤ 准则来圈定露天开采境界，但是对于某些覆盖层较厚或不连续的矿体，这一准则不适用。因此该准则只是最优开采境界的必要条件，而不是充分条件、更不是充分必要条件。

a. 平均剥采比不大于经济合理剥采比的设计准则；

b. 生产剥采比不大于经济合理剥采比的设计准则。



ag—边坡线　　β—边坡角

图 8-1　边帮线段确定境界剥采比

② 露天开采境界的圈定方法

第一步：绘制露天矿底部周界。露天矿底部周界应按开采境界的设计深度确定，具体步骤为：

a. 在各横断面、纵断面、辅助断面图上，按开采境界的设计深度，绘制露天开采境界；

b. 按开采境界的设计深度，即底部标高绘制该水平的地质分层平面图；

c. 将各断面图上的露天矿底部位置(底部两侧的端点即下部境界点)分别投影到分层平面图上，依次连接各点，得出开采境界的理论底部周界(下图中的虚折线)。

d. 用圆滑的曲线拟合理论周界的折线，得到开采境界的设计底部周界。

e. 为了便于采掘运输作业需按下列要求对设计底部周界进行校核：底部长度应符合布

设运输线路的技术标准，底部宽度应保证采掘工作的正常进行；底部周界要尽量平直，弯曲部位的曲率半径要适应运输设备的技术性能。

第二步：绘制露天矿开采境界。将露天矿的设计底部周界绘在地质地形平面图上，按照设定边坡组成要素，从底部周界开始由里向外依次绘出各个台阶的坡底线和坡底线，即平台和坡面。显然，露天矿凹陷部分，即封闭圈以下的各台阶坡底线在平面图上是闭合的；而山坡部分，即封闭圈以上的台阶坡底线不能闭合，其末端应与同标高的地形等高线交接。

第三步：绘制露天矿开采终了平面图。在绘制的露天矿开采境界平面图上布置开拓运输线路，即所谓的定线；在定线的开采境界平面图上绘制开采终了平面图，从底部周界开始，由里向外依次绘出各个台阶的坡面和平台；与此同时，在布置运输干线的边帮上，按照具体的渡线位置，绘出台阶间相互沟通的倾斜运输平台；检查和修正绘制的露天开采境界。由于原定的露天开采境界，特别是布置开拓坑线的边帮，常受开拓运输路线的影响，致使边坡角变缓，剥采量增大。

第四步：绘制露天矿开采境界断面图。根据露天矿采掘终了平面图，按照图中的实际长度，绘制三个剖面的横断面图。在露天矿开采境界平面图中的底宽的重点，连接这两点并延伸，该线即为纵剖面线。然后确定水平底宽，然后根据各台阶的宽度依次往上推，最终完成横断面图。

③ 露天开采境界的确定和优化

a. 确定露天开采深度。向长度大的露天矿，应先在各地质横剖面图上初步确定开采深度，然后再用纵剖面图调整露天矿底部标高。走向很短、深度和宽度相对较大的露天矿，必须考虑端帮扩帮的影响。在剖面图上不能把开采深度直接确定下来，需用平面图法计算出境界剥采比再确定露天开采深度。具体步骤是，把预计几个可能深度的境界剥采比分别算出后，选取境界剥采比等于经济合理剥采比的阶段做为露天采场的底，则其深度即为露天矿开采深度。

b. 确定露天矿底平面周界。露天矿底宽可能大于或小于矿体的水平厚度，但必须满足最小宽度的要求。确定原则是，保证在全部露天开采范围内，矿石的回来率最高，而剥离的岩石量最少。露大矿底平面最小宽度应保证生产安全和采掘运输设备的正常工作。从矿山采剥工程要求来看，它相当于开段沟的掘进宽度，取决于掘进方法及设备类型和规格，按工作安全条件要求，一般不小于 20～30m。

露天矿底平面标高及端部位置确定后，即可绘制出底平面的理论周界，绘制的方法是，以地质纵断面图上已调整的露天矿底部标高为准，在各地质横断面图上绘出露天采场的境界，将各地质横断面图上露天矿底平面的两端边界投影到该标高的分层平面图上，连接各点，即可得出底平面的理论周界。为了便于采掘运输，露天采矿场底平面应尽可能保持平直。因此，对弯曲处应按运输条件的要求进行修正，使之保持一定的曲率半径。

c. 确定边坡结构和边坡角。露天矿场边坡的稳定是保证露天矿生产正常进行的必要条件。边坡稳定性的破坏，必将造成滑坡或岩石塌落严重事故。正确选择露天采场的边坡角，是保证边坡稳定的首要措施。其数值大小对安全生产有着重大意义，而且对露天开采境界也有重大影响，故在技术条件及稳定安全条件允许情况下，应取最大的最终边坡角，其目的是减少剥离工程量。

确定露天矿边坡角时，应全面考虑各种因素对边帮稳定的影响，如岩石物理力学性质、地质构造、水文地质条件、开采技术条件、开采年限及气候条件等。在有条件的地方，可作岩体力学性质研究试验，进行边坡稳定计算。但由于现有计算方法仍不很完善，目前在实践中，大多数仍按类似矿山经验数据选取最终边坡角。

d. 绘制终了平面图。露天矿开采终了平面图，可以按下述方法进行绘制：

将确定的露天矿底部周界绘在透明纸上，并将其覆于地形地质图上，然后按照边坡组成要素，从底部周界内开始依次向外绘出各个台阶的坡底线。

在图上布置开拓运输线路；

对上述初步圈定的露天采场终了平面图进行检查和修改。

根据最终修定的露天采场开采终了平面图，再投影到各横剖面上，使各横剖面上的境界也与平面图上的境界基本一致。边坡角、底部宽度及深度等因素对露天矿山最终境界的影响交大，我们可以建立动态评价的指标体系对露天开采进行建模优化，也可以运用改进的 BP 神经网络算法，构建露天矿山稳定边坡角的预测模型，实现矿山稳定最终边坡角的预测。还可以运用计算机三维仿真模拟技术，实现露天矿山生产进度计划的高效可视化编制。通过计算机仿真方法，我们可以对露天开采的境界进行进一步的优化分析。

（2）露天矿多采区受约束条件下全境界优化

露天矿多采区受约束条件下全境界优化

胥孝川[1]，顾晓薇[1]，王　青[1]，刘剑平[1,2]

（1. 东北大学 资源与土木工程学院，辽宁 沈阳　110819；2. 东煤沈阳基础工程公司，辽宁 沈阳　110016）

摘　　要： 基于浮锥排除法基本原理，使用 Smart Miner 软件对两露天采场进行全境界优化，将两个不同生产条件的采场合为一个矿区. 考虑到不同采区生产技术经济参数不一样，而境界优化结果对这些参数的敏感度较高，所以软件增加了优化中识别开采对象所在分区，按所属分区的技术经济参数进行优化的功能；同时采场开采范围受地表构筑物影响，因此软件新增在任何约束范围进行境界优化功能. 以司家营露天矿区为例分别在有约束和无约束条件下根据分区参数进行优化. 结果表明，地表构筑物对最佳境界的约束“很硬”，由此少采 1 亿 t 矿，且在 －202 m 水平开始形成挂帮矿；如果这 1 亿 t 矿仍然露天开采，那么地表构筑物移除费用必须小于 3.4 亿元.

关　键　词： 境界优化；浮锥法；露天矿；利润值；模型

中图分类号： TD 216　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1005－3026(2016)01－0079－06

图 8-2 相关文献

（3）某露天煤矿开采境界优化

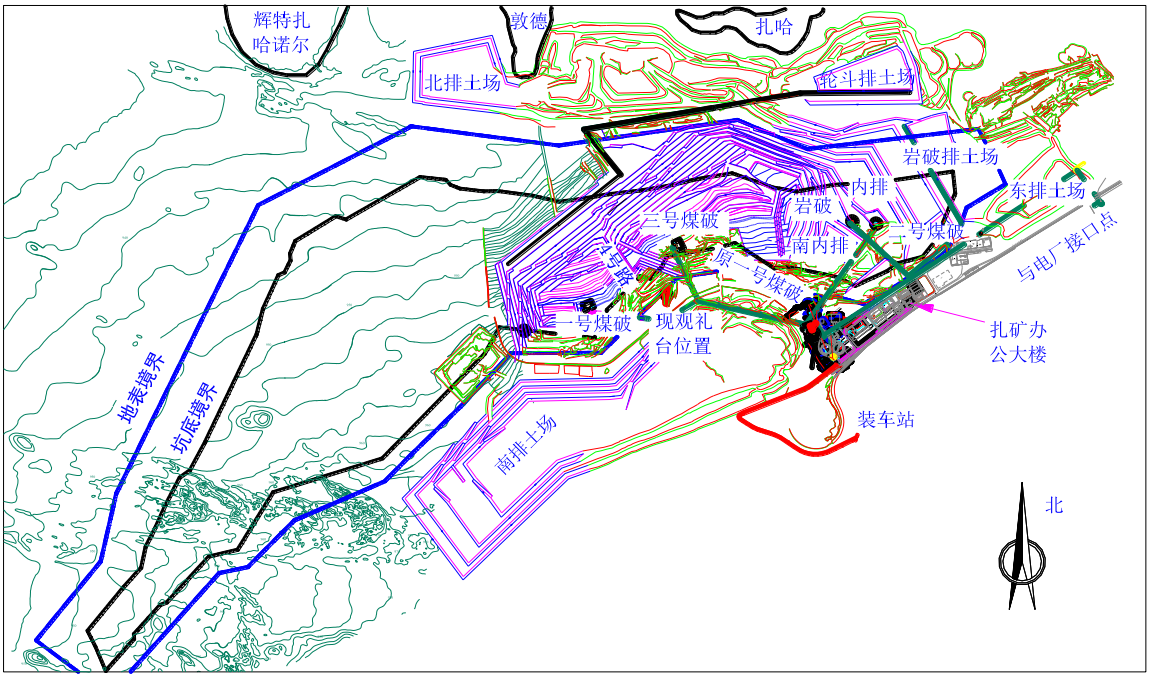


图 8-3　某露天煤矿开采境界

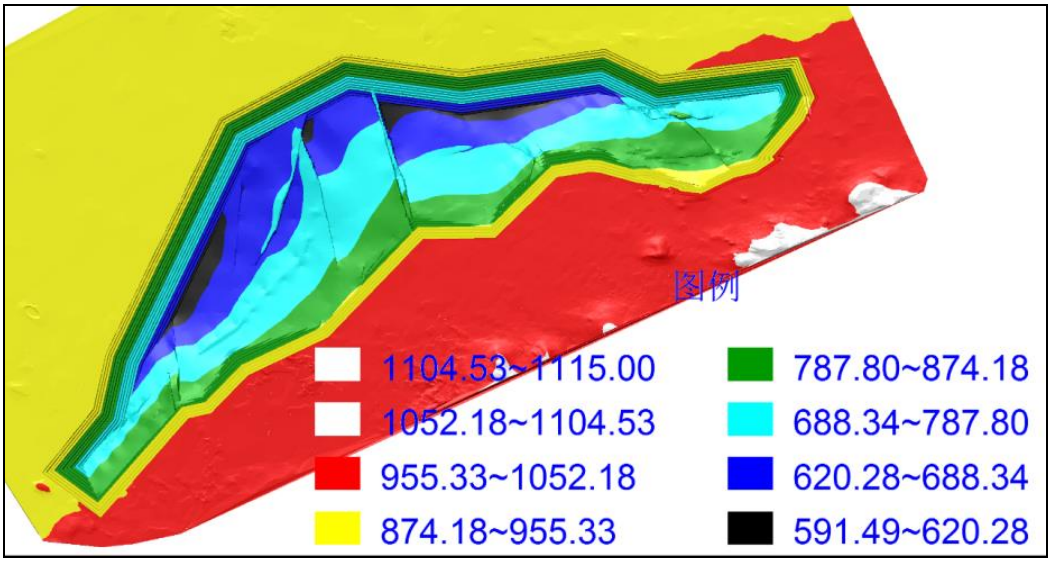


图 8-4　某露天煤矿开采境界三维模型

（九）露天矿开采程序优化设计案例库

1.案例名称

（1）案例名称

露天矿开采程序优化设计案例库

（2）案例简介

我国采用露天开采的大型煤田煤层厚度大、范围广。为了资源的合理分配和高效开采，通常将煤田划分为若干露天矿独立开采，如平朔、准格尔及白音华等煤田。而各露天矿受限于产量规模、设备规格及经济效益等因素，通常会划分为多个采区，采用卡车端帮环线运输、压帮内排的方式进行开采。受地质资源条件复杂多变、露天矿生产规模调整等因素的影响，

设计的采区划分和开采顺序有时需要根据生产实际进行修改和优化，以获得最佳的经济效益。相邻两露天矿间及露天矿相邻采区间存在边帮压煤，面临着采区内排时压帮高度和重复剥离量优化的问题；采区即将结束时面临采区转向及生产接续的问题。此外，露天矿还面临着边帮煤回收、内排空间利用、相邻两矿协调发展等问题。这些问题严重影响露天煤矿的生产稳定，研究并解决这些问题有利于降低露天煤矿的生产成本，提高资源回收率，保证露天煤矿持续稳定的发展。

我国现已开发的几个大型露天矿区如平朔、准格尔等煤田，剥采比较大，覆盖层厚、煤质较差，且多为复杂煤层，如何进一步优化开采程序，降低生产成本，改善煤质以满足市场要求，是关系到露天矿企业生存和发展的关键问题。

本案例介绍了典型露天矿开采程序优化设计案例。

2.案例实际应用效果简介

《采矿学 B》第七章 露天矿开采程序主要讲解台阶划分和台阶的开采顺序、工作帮及其推进、矿山工程延深方向及程序、开采程序优化、采区转向方式等内容，本案例是对相关内容的补充，通过相关案例的学习，让学生对露天矿开采程序优化有更深入的理解，提高学生解决实际问题的能力。

3.支撑材料

（1）《某露天煤矿开采程序的优化研究》项目报告

① 采区工作线长度优化

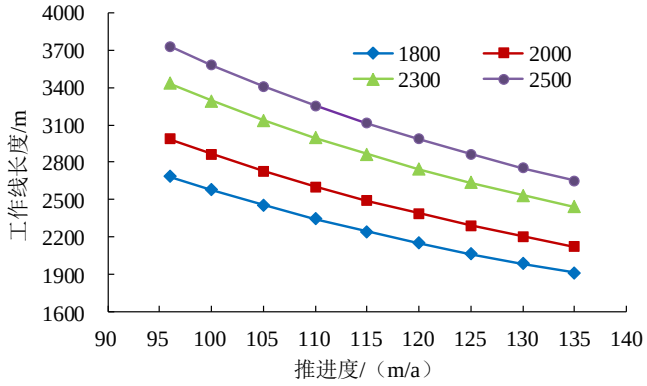


图 9-1 不同生产能力下工作线长度与推进度关系

② 采区划分优选模型

a. Delphi-TOPSIS 法评价模型

b. 采区划分优选指标体系的建立

c. 采用 Delphi 确定优选指标权重

d. 采区划分优选：根据建立的 Delphi-TOPSIS 法采区划分优选模型进行计算分析，得到各采区划分的优选结果。采区划分的理想点贴近度最高的方案即为最优方案。

③ 采区划分方案

根据上述采区划分依据，结合矿田的几何形状、地质条件、开采工艺和开采接续等因素，提出 4 个采区划分方案。利用最新的地质模型和采矿模型（图 9-2）对各采区划分方案进行动态模拟，然后在对相关技术、经济指标进行客观的分析和对比基础上，建立了采区划分优

选模型，优选出了最优方案

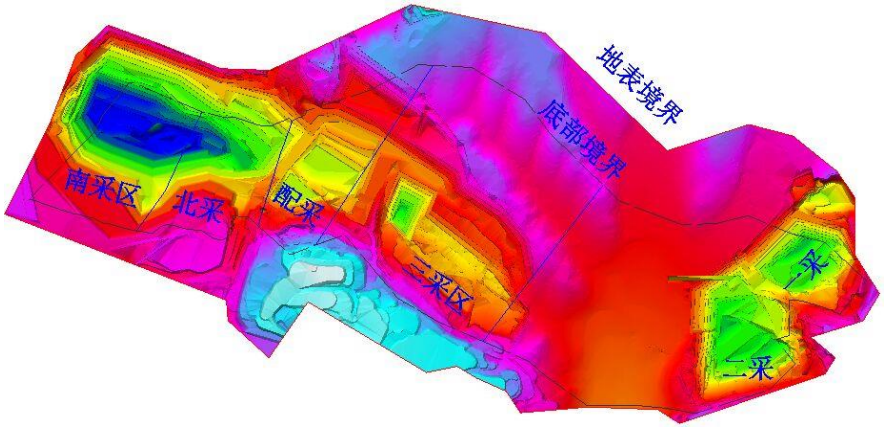
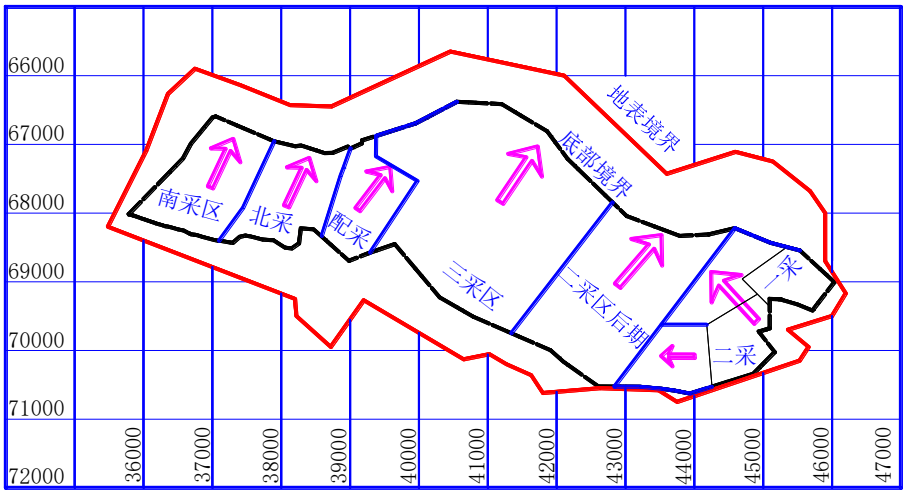
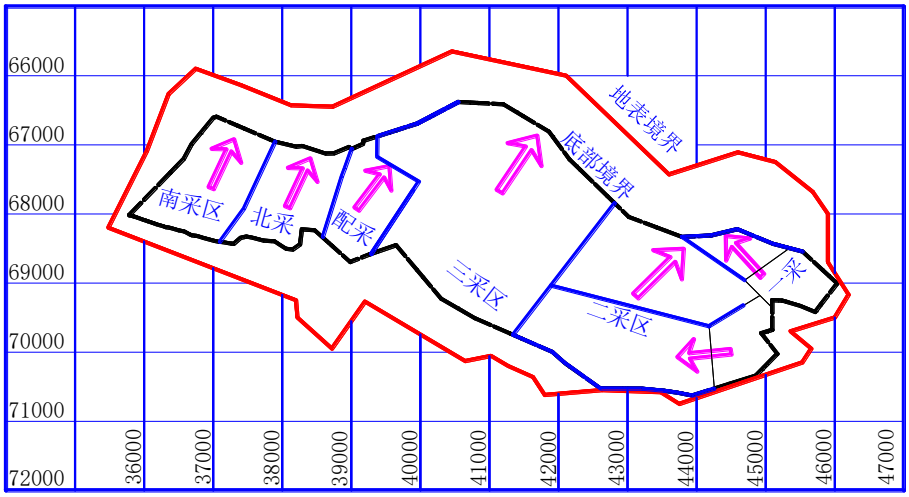


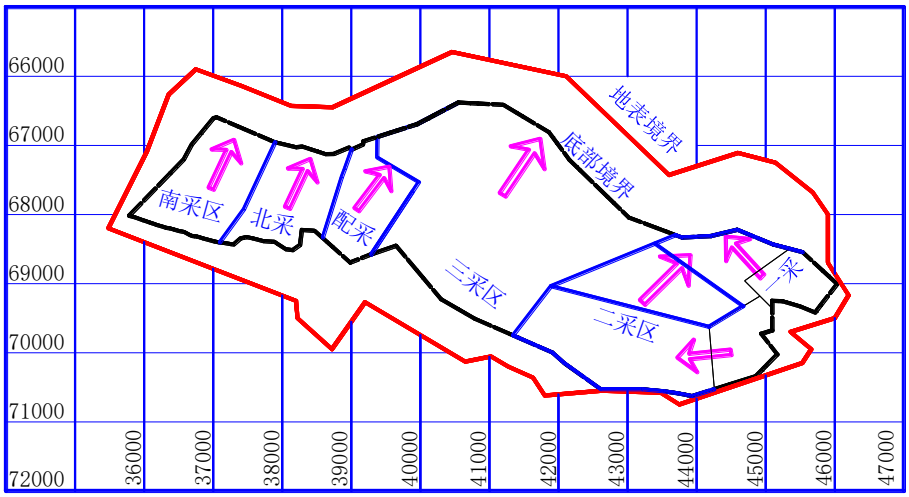
图 9-2　某露天矿三维模型



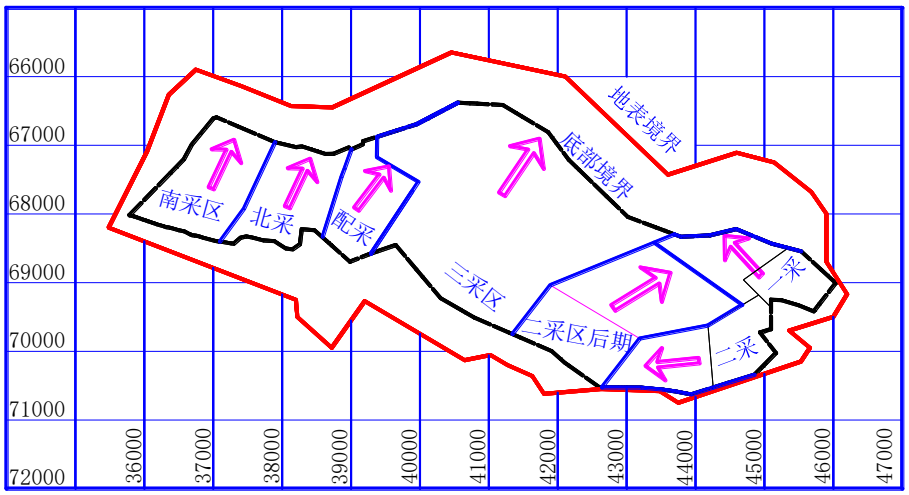
（a）方案一各采区发展方向示意图



（b）方案二各采区发展方向示意图



（c）方案三采区发展方向示意图



（d）方案四采区发展方向示意图

图 9-3 采区发展方向方案示意图

④ 采区划分方案优选

从生产剥采比来说，方案一、二采区后期的在中期将出现一个波峰，虽然其在二采区的生产剥采比较小且平稳，但是二采区后期的波峰仍较难解决。方案二与方案三的生产剥采曲线较好，尤以方案三为最佳。从累计剥采比来说，方案一与方案二的二采区后期剥采比较大，而方案二与方案三的一采区剥采比又相对于方案一来说较大。从半连续工艺适应性与运输功来说，方案一半连续工艺适应性最好，方案三最差；方案二的运输功最小，方案一的运输功最大。从内排空间与协调性来说，方案三的富余内排空间最大，方案一与方案二的二采区后期都出现内排空间不足的情况。方案二采剥工程协调性较好。

通过上述分析与对比，某露天矿采区划分采用方案二为最优。方案二在生产剥采比与累计剥采比上发展较平稳，且各采区的平均剥采比都不大，在合理经济剥采比之内，虽然二采区后期的剥采比较大，但是可通过合理的采区调配对其均衡。方案二具有良好的半连续工艺适应性且其运输功小。且方案二有较为充足的内排富余空间，二采区后期的内排空间不足问题也较容易解决。并且方案二的采剥协调性较好，能够保证露天矿年生产能力为 2800 万 t。利用采区划分优选模型计算的方案二的理想点贴近度最高。因此，确定方案二为最优方案。

（2）《某露天煤矿开采程序的优化研究》项目报告

根据某露天煤矿的生产条件、横采可行性分析结果、采区发展方向优化准则，提出 3 个采区发展方向可行方案，分别为横采内排方案（图 9-4）、斜采内排方案（图 9-5）、分区内排纵采方案（图 9-6）。

（1）横采内排方案

横采内排方案为西坑西帮缓帮变为工作帮，推进方向不变继续向西推进。在向西推进的过程中，工作线长度先增大后减小，当采场底部推进至线段 EF 位置时，开始改变工作线布置方向，由横采转为斜采，直至闭坑，如图 9-4 所示。

为了便于采场转向过渡，该方案的工作线并不是严格沿倾向布置，而是与煤层倾向有一定的夹角。

（2）斜采内排方案

斜采内排方案为西坑西帮缓帮变为工作帮，并加快西帮南侧推进速度，使工作线布置方向旋转一定角度（图 9-5 中线段 AB 与 GH 的夹角），然后保持工作线布置方向不变向西推进。当采场底部推进至线段 LM 位置时，开始逐渐改变工作线布置方向至闭坑，如图 9-5 所示。

（3）分区内排纵采方案

分区内排纵采方案即根据初步设计一、二采区分界线，把西坑西侧沿走向划分两个采坑，每个采坑底部宽度 3km～4km，分坑开采，工作线沿走向布置，沿倾向推进，利用已采坑进行内排。开采每个采坑时，采场中部可设置中间路以缩短运距，保证非工作帮边坡稳定性。前一采坑临近闭坑时，开始向下一采坑过渡，均衡生产剥采比，进行接续开采，如图 9-6 所示。

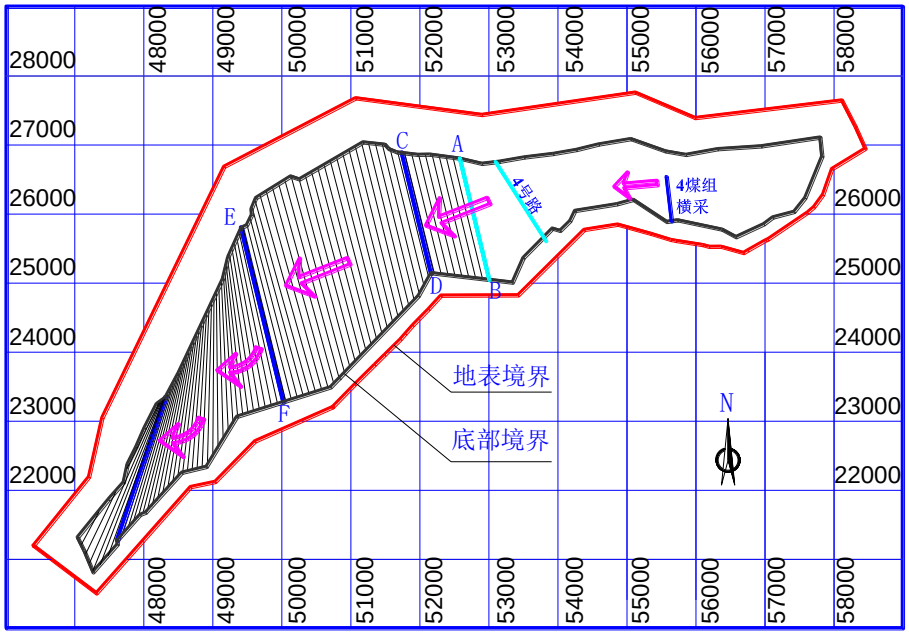


图 9-4　横采内排方案

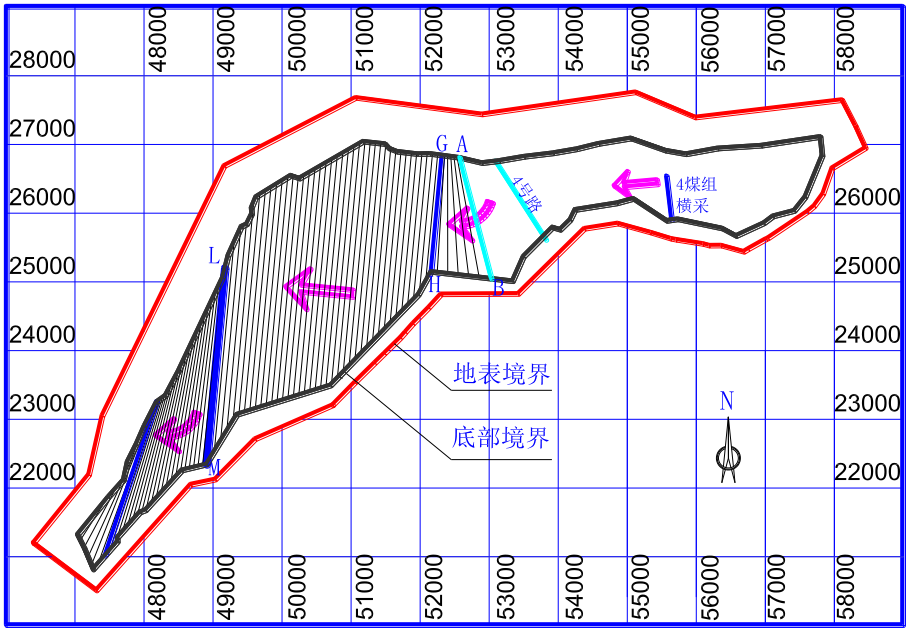


图 9-5　斜采内排方案

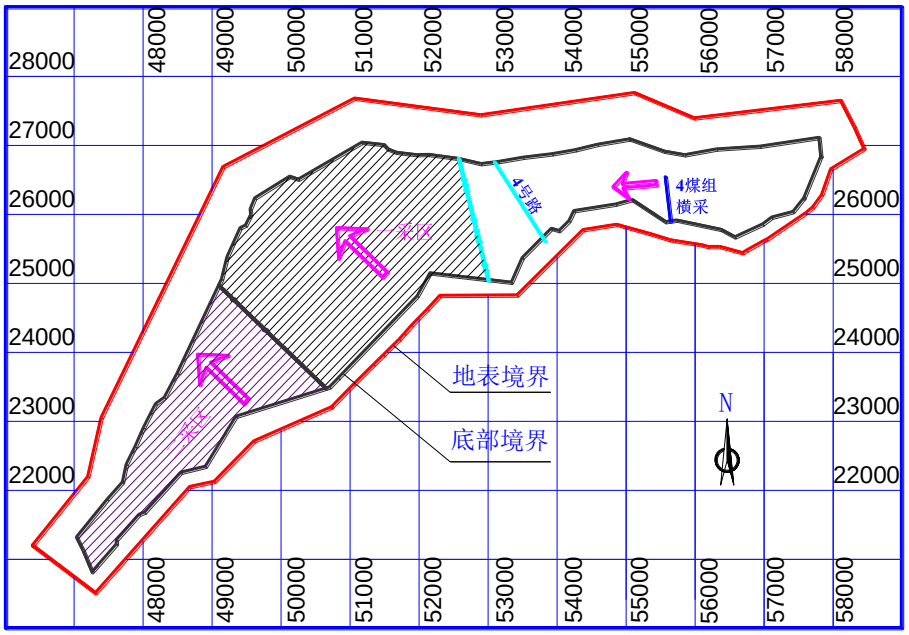


图 9-6　分区内排纵采方案

（十）露天矿生态环境重构案例库

1.案例名称

（1）案例名称

露天矿生态环境重构案例库

（2）案例简介

露天矿生产造成的生态环境破坏数量多、分布广、影响大，主要是采场对生态、自然景观的破坏。露天开采在很大程度上破坏了原来相对稳定的土壤、植被和山坡土体，破坏了矿山地面景观，产生的废石、废渣等松散物质极易促使矿山地区水土流失。露天采场内疏干排水改变了地下水的自然流场及补、径、排条件，打破了地下水原有的自然平衡，破坏了大气

降水、地表水与地下水这一均衡系统的转化关系，常常形成以采区为中心的大面积水位下降漏斗区，造成水质恶化、泉眼干枯、水源枯竭等。露天开采可对采场以外相当远范围内的区域水环境产生影响。露天开采使基岩裸露，易使流入境内的地下水酸化和受到重金属等有害物质的污染。露天矿坑大量排放的酸性废水，对周围受纳水体也会产生一定的污染。

本案例介绍了目前国内露天煤矿生态环境保护方面的工程案例。

2.案例实际应用效果简介

《采矿学 B》第十三章 露天矿防治水介绍露天矿疏干排水、防水等工作，第十六章 露天矿开采安全及生态环境保护讲解露天矿开采安全和露天矿生态环境保护相关内容，本案例是对相关内容的补充。通过案例的学习，让学生对目前国内露天煤矿生态环境保护方面所做的工作有充分的认识，对学生进行生态文明教育，培养学生“绿水青山就是金山银山”的理念，提高学生的绿色发展、环境保护意识及社会责任感。

3.支撑材料

新闻：准能矿山生态旅游区—绿色矿山建设成果

近年来，准能集团坚决贯彻习近平生态文明思想，全面贯彻“绿水青山就是金山银山”理念，大力推进矿山地质环境修复治理和资源高效开发利用，相守青山、与绿共生，勇当“绿水青山就是金山银山”理念的积极传播者和模范践行者。



图 10-1　黑岱沟与哈尔乌素露天煤矿采场

作为集煤炭开采、坑口发电及煤炭循环经济产业为一体的大型综合能源企业，公司以高标准绿色矿山建设推进高碳产业低碳发展，分步实施碳达峰行动。公司探索形成集成水土流失控制技术体系、生态重构技术体系、复垦绿化标准化作业流程三大技术体系，做到了排弃地复垦全覆盖、无死角，实现了“地貌重塑、土壤重构、植被重建、景观重现、生物多样性重组与保护”，成功将昔日沟壑纵横的“鸡爪子”山改造成万亩良田，破解了大型露天煤矿开发与保护协同推进的重大技术难题，为黄河流域生态环境保护和高质量发展提供了低成本、易推广的实用技术。

截至目前，公司复垦绿化总投入 28.81 亿元，完成绿化面积 9.85 万亩，矿区复垦率达到 100%，植被覆盖率由 25%提高至 80%以上，生态系统实现正向演替、良性循环。近五年实施生态治理项目 214 项，矿区生态系统生产总值（GEP）增加 14 亿元，实现了经济发展与生态保护双赢。



图 10-2　复垦区域

准能集团探索出“采矿愚公移山、复垦绿水青山、转型金山银山”的矿山生态建设模式，在曾经生态极度脆弱的“鸡爪子山”上遍插“绿羽”，打造出“煤海塞罕坝”。

一代代准能生态建设参与者将青春与梦想、实干与奉献深深地熔铸进企业发展的血脉，由“黑”到“绿”，由荒野到最美矿山，变幻的是颜色，不变的是准能人从“生态佳”迈向“生态+”的孜孜追求。

一代代准能生态建设参与者将青春与梦想、实干与奉献深深地熔铸进企业发展的血脉，由“黑”到“绿”，由荒野到最美矿山，变幻的是颜色，不变的是准能人从“生态佳”迈向“生态+”的孜孜追求。

要推动绿色发展，必须站在人与自然和谐共生的高度谋划发展。这也是准能集团一贯遵循并深入践行的准则。

四十多年前的矿区，入眼处“十山九秃卷黄沙”，气候干旱、植被稀疏，就是在这样的环境下，准能人以“功成不必在我”的精神境界和“功成必定有我”的历史担当，坚决贯彻“生态环境保护与煤田开发并重”的指导方针，开启了抗旱治沙、生态保护修复之路。准能集团的发展史上，有过亏损的时候，但在生态综合治理方面的投入从未间断过。

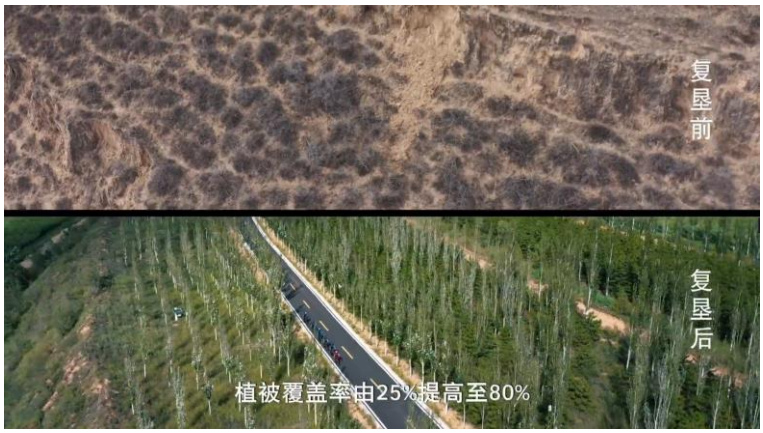


图 10-3　复垦前后对比

如今，准能矿区形成了春赏杏花、夏采蔬果、秋拾彩叶、冬戏冰雪的特色生态产业链，累计复垦土地 9.85 万亩，种植各类乔灌木 7631 万株，地被 3.67 万亩，矿区复垦率达到 100%，气候与生态环境得到极大改善，植被种群由单一趋向多样化发展，吸引了黄羊、猫头鹰、赤

麻鸭、狐狸、猞猁、野兔等数十种野生动物栖息繁衍，矿山迎来沧海桑田的巨变，成为生态多样性保护的样板。

经常往返于矿山和薛家湾城区的人们会发现，矿区的降雨明显多于城区，这是因为准能矿山生态系统实现正向演替、良性循环，形成了特殊“小气候”。



图 10-4　生态环境

“我们对矿山的改变，不仅仅是简单的‘美容’，可以说是‘整容’了。准能集团践行习近平生态文明思想，打造煤海“塞罕坝”，发展工业旅游，让绿水青山变成金山银山，改善生态的同时造福了人类。”高浩瀚感慨道，“前人栽树，后人乘凉。希望我们的后代在良好的生态环境中健康成长，未来也能够将生态建设更好地继续下去。”

自上而下，打造“百年老店”的信念与实践。准能发展蒸蒸日上，但高瞻远瞩的决策层却在思索：煤炭是不可再生的，资源枯竭后，下一步的发展以什么为继？我们的后辈靠什么生存？“百年老店”该如何打造？2021 年，准能集团确立“一个主体、两翼一网、七个准能”发展规划，把绿色生态经济定位为“两翼”之一，即多元化发展的新动能。三年来的实践成果证明，“开发金山银山、再造绿水青山”是我们应对“双碳”挑战、跳出“挖煤—运

煤—卖煤”传统路子、破解“资源陷阱”的有效路径，绿色生态经济的动能优势逐步彰显。

为促进土壤熟化，在回填区种植苜蓿等“先锋牧草”固氮养地，提高土壤产出能力，后续又筛选、引种、驯化地被植物，开展高标准设计，推进实施农牧林果等矿区绿色生态工程和文旅产业。这一系列举措，破解了黄土高原半干旱荒漠地区大型煤炭基地开发与保护协同推进的重大技术难题，以“矿区生态修复案例”入选世界经济论坛报告，成为央企践行习近平生态文明思想的生动写照。

“只有生态环境变好了、土壤里的微生物和菌群含量提高了，才能长出这些东西。”夏季雨后，矿山上的花草树木被冲洗得清新明净，生态环境保护部副主任王瑜从地上捡起一块地皮菜，有感而发，“物种越多，生态越稳定。目前矿山上，植被覆盖率由原先的 25%提高至 80%以上，种类也由十几种发展到 240 多种。在生物多样性公园里，你可以看到各种各样以前没见过的昆虫、小动物，这是我们生态环境改善、生物多样性的具体体现。”



图 10-5　生物多样性

如何优化资源配置、挖掘矿山潜力，把工业旅游做出独特性、差异性、可持续性，吸引来游客，创造出价值，是生态环境保护部一直在推进的事情。“准能集团在工业旅游方面具有先天优势，先进采矿技术和大型采矿设备在其他地方罕见，生态建设成果也有目共睹，我们可以做到工业和生态有效融合、强强联合，做到工业旅游价值最大化，这是其他企业不具备的。

目前，独具准能特色的工业旅游发展格局逐步成熟，已经形成了矿业之旅、红色之旅、绿色之旅、文化之旅、和谐之旅、研学之旅 6 条路线，未来还将建造生态餐厅、儿童乐园、智能温室大棚、万头奶牛示范牧场等。

如今，准能集团大力开发绿色生态经济，构建起集畜牧养殖、林果产业、生态碳汇、红色教育和工业科普为一体的标志性生态品牌工程，先后被授予国家工业旅游示范基地、国家

AAA 级旅游景区、全国生态文明教育实践基地、全国煤炭行业红色教育示范基地和科普教育基地”等称号。

（十一）露天矿粉尘智能防控案例库

1.案例名称

（1）案例名称

露天矿粉尘智能防控案例库

（2）案例简介

露天矿采场暴露在自然环境中、空间大、生产密集、生产强度大，其产尘点多、粉尘产生量大、扩散范围广，不仅严重污染矿区空气，易造成职工尘肺病等职业病，加速设备磨损，降低露天矿采场能见度，恶化工作环境，甚至引起粉尘爆炸，影响露天矿生产效率和生产安全，污染露天矿周边生态环境，影响矿区周边居民生产生活和身体健康。因此，露天矿粉尘防治工作十分重要。国内在露天矿粉尘防治方面进行了大量深入的研究和实践，粉尘防治工作取得了较为显著的成效，但露天矿各生产环节粉尘至今仍难以彻底遏制，粉尘职业危害防控形势依然十分严峻。为了进一步完善露天矿粉尘防控理论并发展新兴技术，提升我国露天矿粉尘防控水平及效果，梳理了矿山粉尘法律法规建设历程，详细阐述了露天矿各环节产尘机理及运移规律，系统总结了露天矿粉尘预测及监测预警技术，重点论述了露天矿粉尘防治技术取得的进展，分析了粉尘危害风险评价研究现状，并提出了未来露天矿粉尘防治发展趋势。

2.案例实际应用效果简介

《采矿学 B》第十六章 露天矿开采安全及生态环境保护讲解露天矿开采安全和露天矿生态环境保护相关内容，本案例是对相关内容的补充。通过案例的学习，让学生对目前国内露天矿粉尘防控的研究进展有深入了解，培养学生环境保护、职业健康的理念。

3.支撑材料

（1）论文：我国露天矿粉尘防控理论技术研究进展与展望

① 露天矿产尘机理及粉尘运移规律研究现状



（a）钻孔-牙轮钻机



（b）钻孔-潜孔钻机



（c）爆破-抛掷爆破



（d）爆破-松动爆破



（e）采装-拉斗铲



（f）采装-单斗挖掘机



（g）运输-卡车



（h）运输-卡车



（i）排卸-卡车



（j）排卸-排土机



（k）破碎站



（l）破碎站

图 11-1　露天矿各生产环节产尘

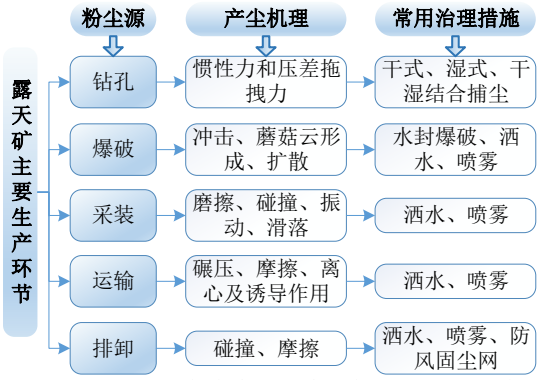


图 11-2　露天矿各生产环节产尘机理及治理措施

② 粉尘浓度预测及监测预警研究现状

表 12-1 粉尘浓度预测方法及其特点

预测方法	提出/应用者	年份	应用领域	主要特点
灰色理论 GM 模型	陈日辉	2000	矿井粉尘浓度预测	加入滑动平均处理原始数据，预测结果相对误差较小
基于人工神经网络的粉尘模拟和预测	李明	2005	粉尘影响因素与尘肺病发病率之间的剂量-反应关系分析	非线性预测方法，有较强的自适应能力，但方法单一，鲁棒性较差
滑动相关、集合回归法组合	毛炜峄	2007	盆地沙尘多发季节沙尘日数预测	改进常规回归分析方法，结合滑动相关以及集合回归方法建立了超级集合模型
统计回归分析法、寿命表法	韩磊	2016	煤工尘肺未来发病情况预测	半定量法预测，预测结果的准确度较低
GM-GRNN 组合模型	王永斌	2016	尘肺病发病人数预测	GM（1，1）-GRNN 组合模型的拟合及预测效果优于 GM（1，1）模型和 BPNN 模型。
贝叶斯决策分析技术	沈阳	2018	高速公路隧道掘进工粉尘累计暴露情况预测	在风险概率的基础上进行的定量评估预测，提高粉尘长期累计暴露评估的客观性
ARIMA-GRNN 组合模型	卞子龙	2019	尘肺病预测	GRNN 广义神经网络回归模型具有很强的非线性映射能力，预测精度高，稳定性较好，适用于非线性和不稳定数据
WAWBO-FGM 组合模型	刘杰	2021	废气中烟（粉）尘排放浓度变化预测	经 WAWBO 算法优化过后的 FGM 模型预测精度更高

预测方法	提出/应用者	年份	应用领域	主要特点
差分自回归移动平均预测	王月红	2021	矿井粉尘浓度预测	适用于非平稳数据的处理
随机森林-马尔科夫模型	王雅宁	2021	露天矿粉尘浓度预测	经马尔科夫修正后预测精度较高，误差较小

③ 露天矿粉尘防治技术研究现状

④ 露天矿粉尘防治发展趋势和研究展望

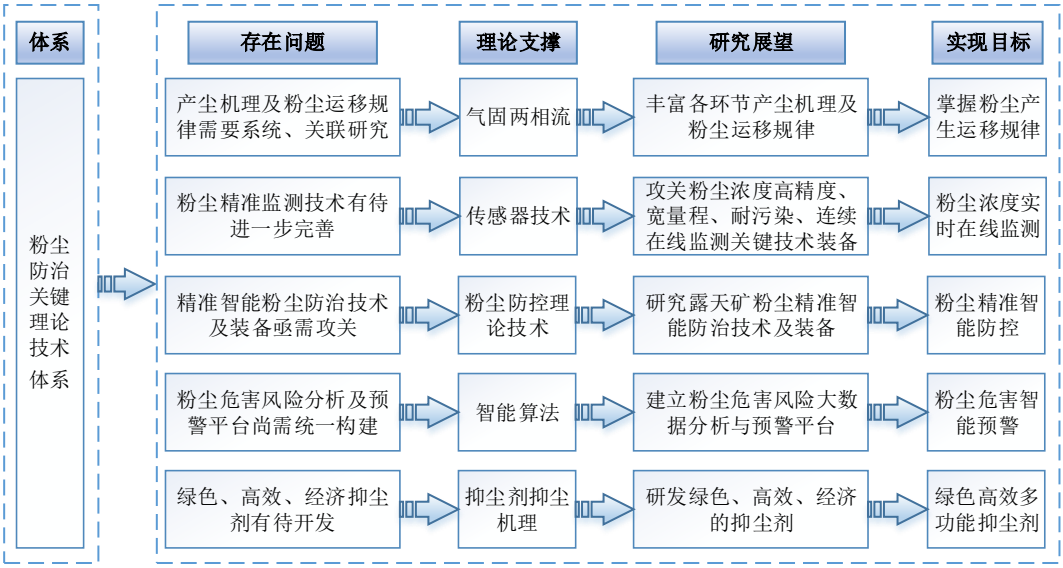


图 11-3　露天矿粉尘防治关键理论技术体系

（2）论文：“双碳”视角下我国露天煤矿的绿色可持续发展