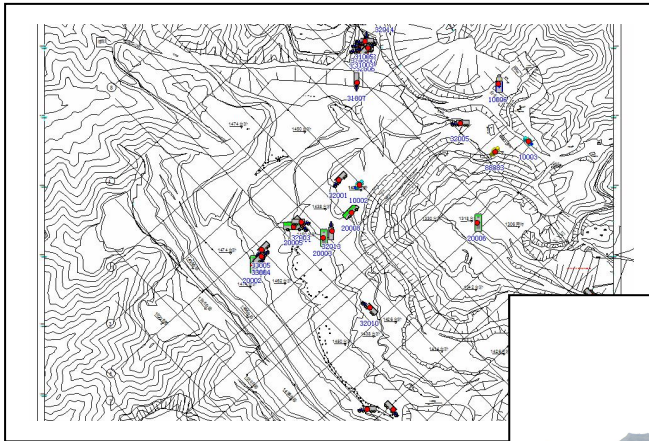


# 露天矿数字化生产管理集成系统

---

---



西安建筑科技大学  
矿山系统工程研究所  
2010. 7. 12

# 1 项目背景

GPS 生产调度系统的建设是露天矿生产管理信息化、数字化的重要组成部分。该系统的建设目标是将采剥生产计划，配矿作业计划，装、运、卸生产调度以及运输量自动计量统计与管理集成为一体，采用一系列高新技术，实现对装、运、卸生产过程的实时数据采集、判断、显示、控制与管理，实时监控和优化调度卡车、电铲等设备的运行，实时对采矿生产的数据进行监测及控制，从而形成一种信息化、智能化、自动化的全方位的新型现代露天矿数字化生产管理决策平台。

该系统利用先进技术来科学有效的进行采矿生产管理，系统建成后，能够促进露天矿采矿生产管理工作更加科学、合理和高效，将具有显著的社会效益和经济效益，主要表现在：

- (1) 科学制定采剥生产计划，保障可持续开采；
- (2) 保障出矿品位均衡，实现和谐生产；
- (3) 提高车铲利用率，降低采矿生产成本；
- (4) 矿岩量自动计量，减少人为干扰；
- (5) 提高生产管理水平，提升企业形象。

# 2 系统概述

露天矿 GPS 生产调度系统是在深入分析国内外露天矿 GPS 生产调度系统使用现状的基础上，依托西安建筑科技大学矿山系统工程研究所的行业优势，利用 GPS 全球卫星定位技术，无线通信技术，GIS 地理信息技术，系统工程理论以及最优化技术等一系列高新技术，自主研发开发的 GPS 采矿生产管理数字化决策平台。

## 2.1 设计原则

整个系统方案的设计贯穿以下原则：

**先进性：**整个系统选型，软硬件设备的配置均符合高新技术潮流，采用全世界最新的 GPS 高精度定位技术、显示技术，利用现有 GPRS 无线传输网络环境，无需购买额外的网络设施，保证设计的产品领先同类产品。

**稳定性：**在露天矿复杂环境中有很多因素都会影响系统的稳定性，如接口设

计、防水、防震、防尘、温度湿度、信号干扰等，系统设计均需考虑此类问题。系统基于大型数据库，具有良好的数据共享，实时故障修复，实时备份等完善的管理体系，可以确保系统提供 7\*24 不间断服务。

**可扩展性：**系统的软件设计采用面向对象和模块化的开发技术，严格履行模块化结构方式，方便系统功能扩充；终端硬件设计采用标准化的接口设计，并提供多种通讯标准协议，具有良好的可扩展性。

**兼容性：**系统整体设计充分考虑在现有网络和差分基站的基础上进行设计，使现有资源充分利用，避免系统建设重复投资，浪费资源。

**性价比最优：**在满足当前矿山生产需求的基础上，充分进行技术和设备选型的技术经济分析，保证系统具有最佳的性价比。

**易操作性：**系统的易操作和易维护是保证生产调度管理人员及作业人员使用好整个系统的条件，方案结合我们采矿生产领域的专业背景，采用可视化的图形界面，利用已有的丰富设计使用经验，保证满足需求的同时，使系统易操作，易维护。

**可管理性：**具有良好的可管理性，系统的整体运行管理不受地域限制，生产调度管理人员可以进行远程管理、远程维护，便于管理人员及时准确的掌握现场生产状况。

## 2.2 基本构成

系统由车载智能终端、通信网络和生产调度中心组成，如图 1 所示。在此系统中，车载智能终端接收 GPS 定位信号，然后通过差分基站进行差分处理，计算出电铲和矿车等作业设备所在的经纬度、角度、高度和速度等信息；智能终端的扩展接口可外接电铲和矿车的各检测控制线路获得其状态信息，各种信息通过 GPRS 无线通信网络及 Internet 网络被发送至生产调度中心。GPRS 无线移动通信网络作为电铲和矿车车载终端和生产调度中心的远程通信系统，实现电铲和矿车位置信息、状态信息等向生产调度中心的实时发送以及生产调度中心向电铲和矿车智能终端调度、控制命令的发送。生产调度中心内部通过局域网将通信服务器、数据库服务器和调度台互连。生产调度中心在软件系统的控制下，实时接收处理来自电铲和卡车等作业设备的各种信息，在生产调度中心的 DLP 多媒体显示屏及终端的电子地图上实时显示作业设备位置、当前品位、工作状态等相关信

息，并对电铲和矿车进行综合控制和调度管理。

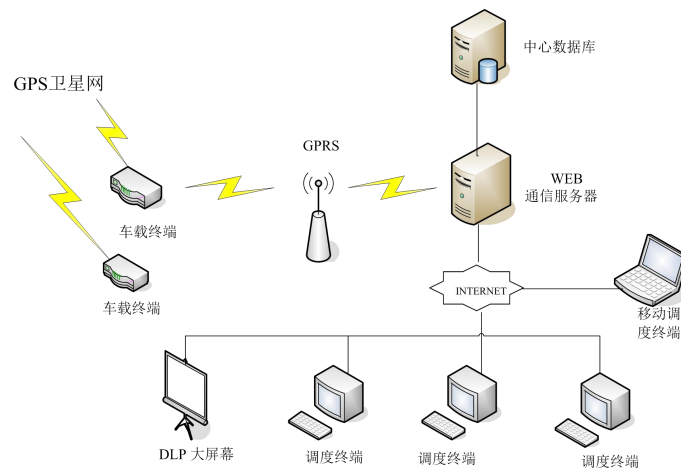


图1 系统构成简图

## 2.3 特色功能

**可视化生产计划编制：**利用图数-综合法，集图形处理与数值计算于一体，充分发挥CAD技术的特点，实现矿区地质数据库、地质管理和生产计划编制的系统化，实现露天矿采矿CAD技术的可视化、集成化和智能化。

**科学合理自动配矿：**采用GPS高精度定位技术与当前采场爆破数据库相结合，自动实时采集当前电铲的出矿品位，利用多目标配矿及动态品位优化控制模型，自动生成配矿生产计划，实现科学合理配矿。

**生产智能调度及监控：**采用GPS全球定位技术，GPRS无线通信技术，GIS地理信息技术和优化技术，通过车铲生产调度优化模型，实现卡车、电铲的车流规划、动态配比、实时语音及指令调度和监控。

**运输量自动计量及统计分析：**利用GPS定位技术、RFID技术，通过自动计量模型，系统对卡车的运矿量、电铲的装矿量进行实时的计量统计分析及报表的自动生成。

**生产计划实时监控：**利用生产数据实时监测与控制技术，对电铲装矿量、卡车运矿量、破碎站入矿量及品位进行实时统计分析监测，动态跟踪生产计划的完成情况，未按计划执行的实时进行报警控制，确保生产计划的顺利进行。

### 3 系统设计方案

#### 3.1 系统组成

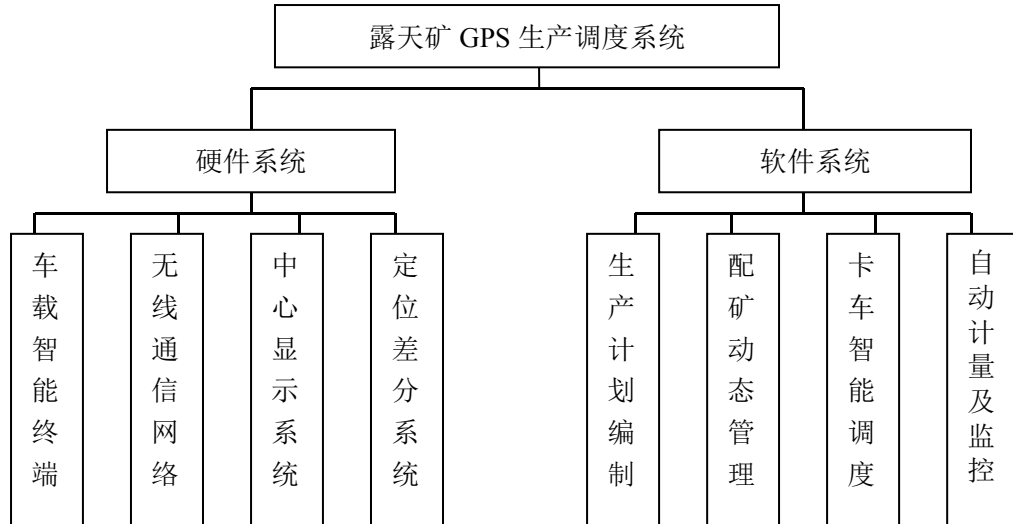


图 2 系统主要组成图

露天矿 GPS 生产调度系统主要由硬件部分和软件部分组成，其中硬件部分主要由作业设备智能终端、无线通信网络、生产调度中心显示系统及 GPS 差分系统组成；软件部分主要由可视化 CAD 生产计划编制系统、露天矿生产配矿动态管理系统、露天矿卡车生产调度监控系统、露天矿矿岩量自动计量及生产数据动态监控系统等组成。

#### 3.2 工作流程

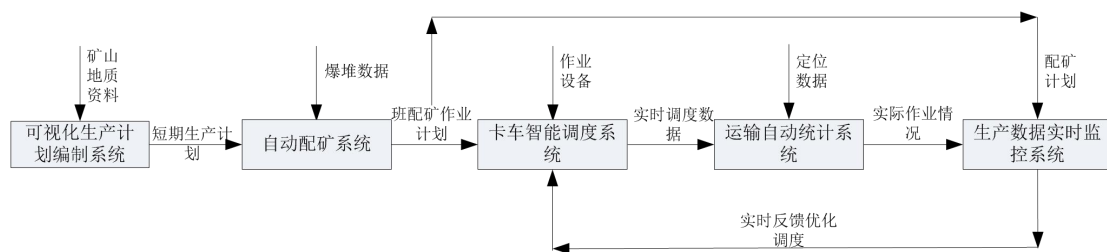


图 3 系统工作流程图

露天矿 GPS 生产调度系统依据露天矿采矿生产工艺流程进行设计，主要涉及计划编制-生产配矿-卡车调度-运输统计-计划监控等生产管理环节。系统首先利用图数-综合法，在现有 CAD 图形和地质资料的基础上，通过 CAD 二次开发，实现矿区地质数据库、地质资料管理和长、中、短期可视化生产计划编制；然后在短期生产计划基础上，采用高精度 GPS 定位技术、GIS 地理信息技术与当前

采场爆破数据库相结合，实时采集当前电铲的出矿品位，利用多目标配矿模型，自动生成班配矿生产计划；其次，配矿计划生成后，利用 GPS 全球定位技术，GPRS 无线通信技术，GIS 地理信息技术，依据配矿计划，通过车铲生产调度优化模型，实现卡车、电铲的车流规划、动态配比、实时语音及指令调度和监控；在生产调度的基础上，利用 GPS 定位技术、通过自动计量模型分析卡车、电铲的空间位置关系，系统对卡车的运矿量、电铲的装矿量进行实时的计量统计分析；最后，在实时统计分析的基础上，利用生产数据实时监测与控制技术，对电铲装矿量、卡车运矿量、溜井入矿量及品位进行实时统计分析监测，动态跟踪生产计划的完成情况，未按计划执行的实时进行报警控制，确保生产计划的顺利进行。

### 3.3 硬件系统设计

露天矿 GPS 生产调度系统硬件部分主要由作业设备智能终端、无线通信网络、生产调度中心显示系统及 GPS 差分系统等组成。

#### 3.3.1 作业设备智能终端



图 4 终端主要设备

其中显示屏大小可以定制，以下为可选显示屏：



作业设备车载智能终端硬件主要由智能车载终端主机、触摸屏、定位天线、通讯天线、语音通话模块组成，其中主机主要由高可靠性的工控主板，集嵌入计算机、高精度 GPS 定位模块、GPRS 通讯模块于一体。该 GPS 车载智能终端采用军工级金属密封壳体制作，达到 IP66 防护等级，核心部件由进口工业级计算机模块、NovAtel 高精度 GPS 定位模块等构成，具有抗震、耐高低温、可靠性高等特点。车载智能终端主要分为高精度定位智能终端和普通车载智能终端，其中

高精度定位智能终端主要安装在电铲和钻机上，用于对作业位置的准确定位，以便进行地质资料和爆堆的数据分析；普通车载智能终端主要用于安装在对定位精度要求不高的卡车、油车等作业设备上，这样可以为企业节约大量成本。

车载智能终端主要功能有：

(1) **定位监控：**对安装车载智能终端的电铲、卡车、加油车、洒水车、推土机、钻机等进行精确定位。

(2) **指令及语音调度：**调度中心可以通过终端进行指令调度及语音调度，车载智能终端能够给出醒目提示（红色指示灯和铃声）并在显示屏上显示调度指令。

(3) **实时显示作业信息：**车载智能终端可以实时显示卡车的运输车数、电铲的装车车数，以及当前作业设备的经纬度坐标、当前位置的品位等信息。

(4) **报警管理：**调度中心可以设置超速报警、越界报警等，如当卡车速度超过所设定的安全速度时，车载终端自动报警提示，并将超速的时间地点等信息自动报告给调度中心，作为考核司机的依据。

(5) **终端状态监测与控制：**调度中心可以检测监控终端当前状态，可下发控制指令，控制终端的工作状态如重新启动等。

(6) **终端信息反馈：**司机通过终端操作界面可以上传预制的固定信息到调度中心，以便调度中心及时掌握采场生产状况并进行及时处理。

(7) **应急呼叫：**司机可以通过终端快捷键紧急呼叫调度中心，及时反应生产中遇见的紧急情况。

根据峨口铁矿和尖山铁矿的现有情况，作业设备智能终端需求如下：

单位：套

终端类型	主要设备	峨口铁矿	尖山铁矿
高精度定位终端	电铲	11	10
	挖机	4	6
	钻机	6	2
	小计	21	18
普通定位终端	卡车	29	利用现有终端
	加油车	2	
	推土机	6	
	压路机	1	
	铲车	2	
	小计	40	

	备用	5	2
	合计	66	20

高精度定位模块主要技术指标：

接收通道配置	14 L1, 14 L2 GPS	
定位精度	L1	1.8m
	L1/L2	1.5m
	DGPS	0.45m
	SBAS	0.6m
	RT-20	0.2m
观测量精度	L1 C/A 码	6cm RMS
	L1 载波相位	0.75mm RMS
数据更新率	原始数据	1Hz
	位置数据	1Hz
首次定位时间	冷启动	50s
	热启动	35s
信号重捕获	L1	0.5s (典型值)
授时精度	20ns RMS	
测速精度	0.03m/s RMS	
动态指标	速度限制	515m/s
	高度限制	不限制
物理尺寸	体积	46×71×13 mm
	重量	21.5g
电源参数	输入电压	+3.3V +5%/-3% VDC
	功耗	1.6 W (典型值)
天线 LNA 馈电输出	输出电压	5V 标称值
	最大电流	100 mA
通讯端口	2 个 LV-TTL 串口, 300 到 921600 bps	
	1 个 LV-TTL 串口, 300 到 230400 bps	
	2 个 CAN BUS 接口, 1M bps	
	1 个 USB 口, 5M bps	
输入 / 输出接口	主接口	20 脚双排插针
	天线输入接口	MMCX 插座
环境适应性指标	操作温度	-40°C -- + 85°C
	存储温度	-45°C -- + 95°C
	湿度	95% 无冷凝
	随机振动	RTCA D0-160D ( 4g )
	跌落 / 冲击	MIL-STD 810F ( 40g )



### 3.3.1 无线通信网络系统

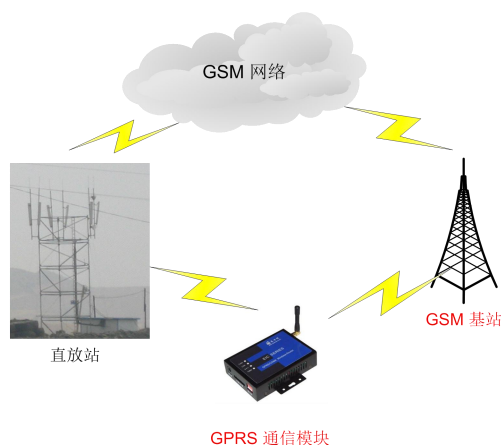


图 5 无线通信网络系统

GPS 生产调度系统中无线通信系统主要采用数传电台、GPRS 或局域网通讯方式，其中数传电台技术经济上具有一定的局限性，需要自己建设基站，并且需要专人进行维护，投资维护成本大。经现场实际考察，根据当前可用技术的经济成本分析，建议系统采用公用 GPRS 传输网络，其主要优势为：

(1) **建设成本低：**整个通讯网络系统建设、维护全部由移动通信运营商承担，不增加企业的任何经济负担，并且设备安装即接通。而采用其它通信方式都需要充分考虑现场环境，须自行配备天线铁架等通讯设备。

(2) **安装调试简单，通信费用低：**利用现有成熟 GSM 网络，系统投入运行时基本不需要调试，安装简捷，而采用其它通信方式时安装调试工作量大，要先进行现场信号测试，天线铁架架设，天线方向角度调试等工作。由于 GPRS 采用包月计费的方式，运营维护成本低。

(3) **覆盖范围广：**构建调度监控系统要求数据通信覆盖范围广，扩容无限制，接入地点无限制，能满足山区、乡镇和跨地区的接入需求。由于监控点数量众多，分布在不同范围内，部分矿区位于偏僻地区，而且地理位置分散。采用超短波通讯方式，覆盖范围只有 30 多公里；而采用 GPRS 方式，理论上在无线 GSM/GPRS 网络的覆盖范围之内，都可以实现调度监控。

(4) **良好的实时响应与处理能力：**由于 GPRS 具有实时在线特性，系统无时延，能够同时实时收取、处理多个/所有监测点的各种数据，无需轮巡就可以同步监测点的时钟，可很好的满足系统对数据采集和传输实时性的要求。

(5) 数据传输速率高：GPRS 网络传送速率理论上可达 171.2kbit/s，实际应用时数据传输速率在 40Kbps 左右，而目前一般的超短波数传电台传送速率多为 2.4kbit/s 或更低。

(6) 系统的传输容量大：生产调度中心要和每一个车载终端实时连接。由于车载终端众多，系统要求能满足突发性数据传输的需要，而 GPRS 技术能很好地满足传输突发性数据的需要。

针对峨口铁矿的四个采场和排土场的分布情况以及信号的强弱情况，建议在现有通信 GSM 通信基站的基础上，选取南北采场中间的山坡架设基站或直放站进行 GPRS 网络的全方位覆盖，如图 6 所示。

尖山铁矿的整个采场内和排土场内的 GPRS 信号能够完全覆盖，建议直接采用现有 GPRS 通信网络进行数据传输。

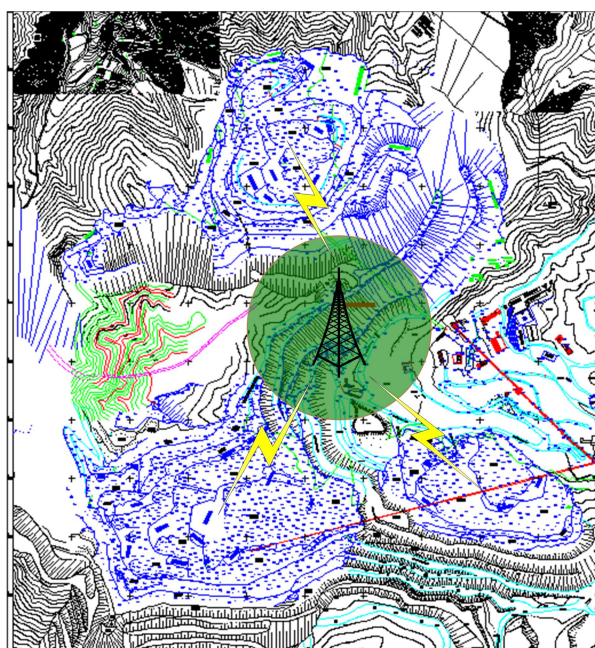


图 6 峨口采场基站布置图

### 3.3.3 调度中心显示系统

调度中心显示系统采用 DLP 大屏幕拼接技术、多屏图像处理技术、多路信号切换技术、网络技术、集中控制技术等进行设计实现，是一套拥有高亮度、高清晰度、高智能化控制、操作方法最先进的大屏幕显示系统。

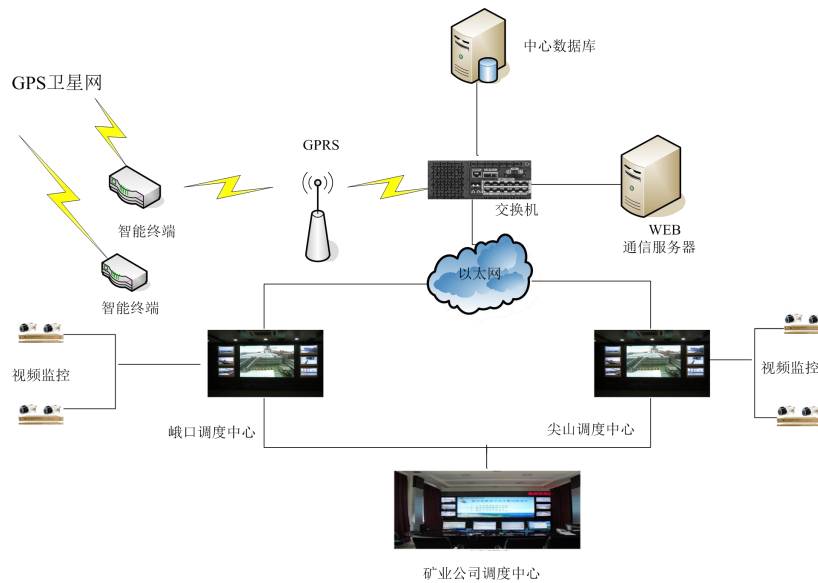


图 7 调度中心显示系统结构图

调度中心显示系统主要分为矿业公司调度中心显示系统，峨口调度中心显示系统、尖山调度中心显示系统三部分。其中峨口、尖山调度中心显示系统主要用于组织各自采场内的生产调度，完成各自独立的生产调度功能；而矿业公司调度中心显示系统可以通过远程集中控制技术，实时监控峨口和尖山采场内的视频信息，也可以通过露天矿 GPS 生产调度系统客户端实时查看两个矿区采场内的生产设备作业情况及生产数据等信息。

### (1) 矿业公司调度中心显示系统



图 8 系统效果图

系统投影拼接墙由 6 套进口 60" DLP 一体化显示单元拼接而成（横向 3 排，纵向 2 列），规格如下：

- 单屏尺寸： 1220mm (宽) × 915mm (高)
- 整屏尺寸： 3660mm (宽) × 1830mm (高)

墙体厚度： 790mm  
单屏分辨率： 1024x768  
全墙分辨率： (1024x3) X (768x2) =3072x1536  
系统效果图：

## (2) 调度中心显示系统



图9 系统效果图

调度中心显示系统可以在现有视频监控系统的基礎上进一步完善，系统投影拼接墙由4套进口60" DLP一体化显示单元拼接而成（横向2排，纵向2列），规格如下：

单屏尺寸： 1220mm (宽) ×915mm (高)  
整屏尺寸： 2440mm (宽) ×1830mm (高)  
墙体厚度： 790mm  
单屏分辨率： 1024x768  
全墙分辨率： (1024x2) X (768x2) =2048x1536

### 上述系统的主要特点：

(1) 整个投影屏具有高分辨率、高亮度、高对比度，色彩还原真实，图像失真小，亮度均匀，显示清晰，单屏图像均匀性好。

(2) 具有显示分辨率叠加功能，可以以超高分辨率全屏显示电子地图、地理信息系统、工业流程图、工业监控信息等。

(3) 支持多屏图像拼接，画面可整屏显示，也可分屏显示，不受物理拼缝的限制，图像任意漫游、移动，图像可任意开窗口、放大、缩小。

(4) 能够将多路输入信号进行重新组合，再现于投影组合屏上，信号源的显示切换过程无停顿、无滞后感、无黑屏现象。

(5) 可同时显示多路视频窗口，每个窗口均能够以实时、真彩的模式显示支持多用户操作资源共享，网络上的每个用户都可对大屏幕进行实时控制操作。

(6) 显示系统的各种功能操作实行全计算机控制，并可通过网络连接进行远程遥控。

(7) 能实现组合屏整体/单屏的对比度、亮度、灰度、色彩、白平衡等参数的统一调节，全中文的操作界面易于掌握，灵活方便。

(8) 大屏幕投影系统能长时间 365 天连续稳定运行，整套系统具有先进性、可靠性和扩充性，操作简单，维护方便，使用寿命长。

(9) 投影系统的投影单元及控制系统均采用模块化、标准化、一体化设计，安装调试简单，易于维护保养。

(10) 大屏幕投影系统可以与现有及将要建设的各种计算机系统联网运行，可接入多种图像信号，支持 4 路视频信号输入、2 路计算机信号输入及网络信号的输入显示（Composite Video, S-Video, PAL, NTSC 等）。

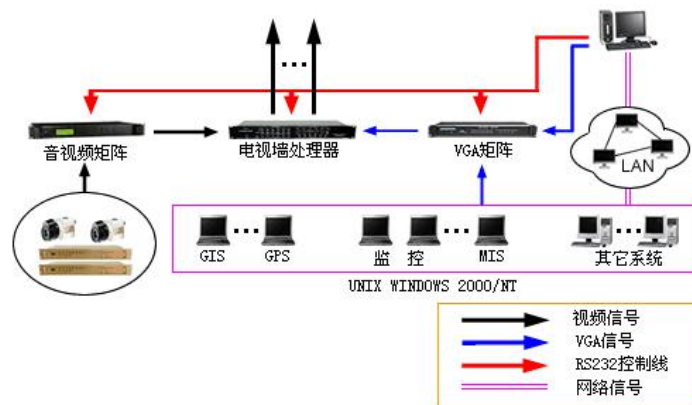


图 11 系统连接图

### 3.3.4 GPS 差分基站系统

GPS 差分基站系统主要考虑利用矿山已有的测量差分基站，但由于各个厂家之间的协议有所差异，建议采用如下设计方案：

采用双基站系统，即安装两套独立的 GPS 差分设备，包括两部接收机、两部接收天线及配套电缆等，互为备份，当其中一套由于故障而无法工作时，另一套还可以继续播发差分改正数。

GPS 基准站系统负责生成并播发 GPS 差分改正数，它的差分服务应保证覆盖采场作业区。由于采用码差分模式，同时兼顾到 GPRS 无线数据带宽，计划每

10 秒播发一次差分改正数，差分改正数采用标准 RTCM 格式。

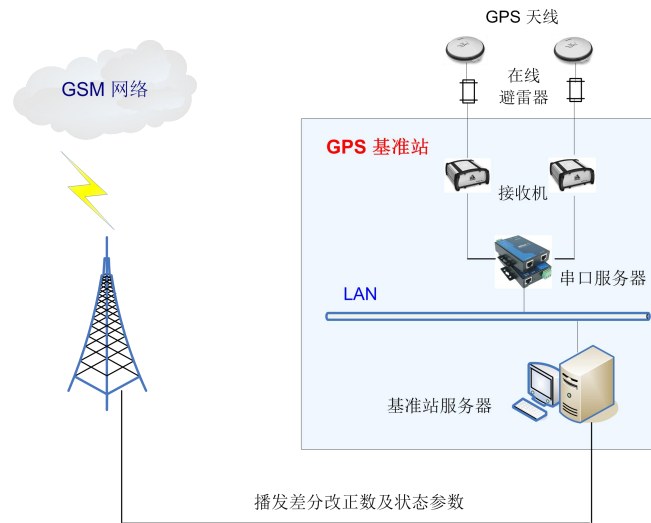


图 12 GPS 差分基站系统

GPS 基准站系统分别采用 NovAtel FlexPak 接收机和 NovAtel GPS701 天线。

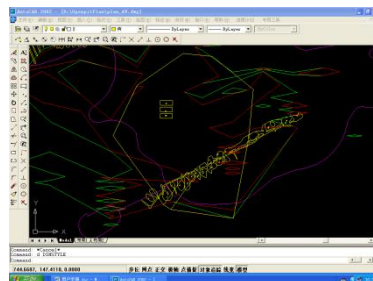
### 3.4 软件系统设计

#### 3.2.1 可视化 CAD 生产计划编制系统

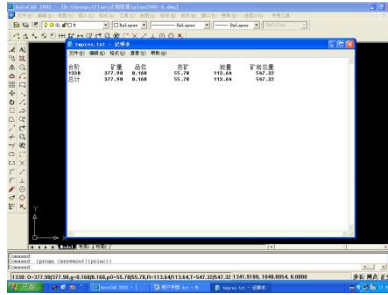
露天矿可视化 CAD 生产计划编制系统是基于 AutoCAD 软件平台，利用图数-综合法，集图形处理与数值计算于一体，实现矿区地质数据库、地质管理和生产计划编排的系统化，实现露天矿采矿 CAD 技术的可视化、集成化和智能化。

系统主要功能有：

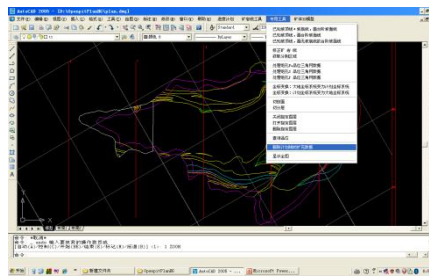
(1) **矿床模型建立：**系统根据露天矿床开采的特点，结合地质资料数据，建立符合矿山生产实际的矿量线框模型、质量描述块状模型和空区模型。利用图数综合法，对模型进行实时更新和图形计算。



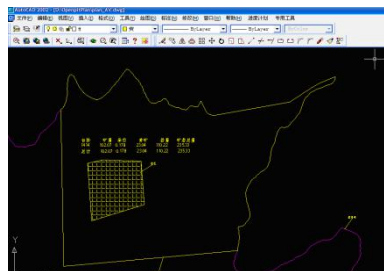
(2) **矿岩量计算与品位动态计算：**根据地质钻孔资料，利用图数融合技术，在布置计划线的同时实时计算可采矿岩量以及矿石质量。



(3) 可视化生产计划编制：在基础数据和计划期、电铲数及生产能力等参数输入后，利用模拟优化法人机交互编制采剥进度计划，并将计划图和计划量输出，可以按比例，按区域在绘图仪或打印机上输出。另外，整个露天矿生产现状和计划表现在一张图纸上，可实时显示采场当前现状，便于动态管理。



(3) 模拟开采：根据生产情况，实时回填已计划区域，可实现模拟开采。



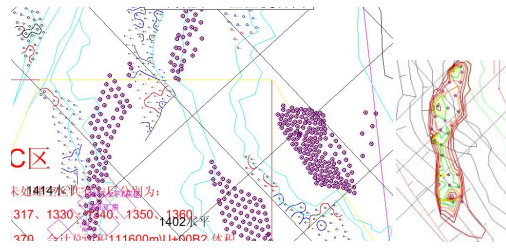
### 3.2.2 露天矿生产配矿动态管理系统

露天矿生产配矿动态管理系统，针对峨口和尖山铁矿的实际情况，为保证入选矿石品位的均衡，本系统采用高精度 GPS 定位技术、GIS 地理信息技术和爆堆数据库管理技术，自动获取作业电铲位置爆堆矿石品位，通过多目标配矿模型和相关配矿参数自动生成班配矿生产计划，供生产调度系统完成配矿作业过程实时控制。

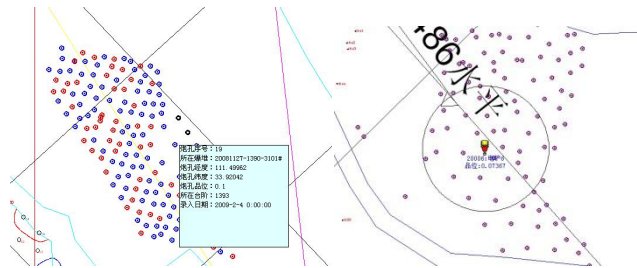
系统主要功能有：

(1) 爆堆矿石量及品位分析：将炮孔坐标及炮孔品位等数据导入爆堆数据库后，在电子地图上可以获取任一爆堆的矿量和品位信息，并可在图中计算任意区域矿块的矿量和平均品位。在爆堆数据的基础上，可任意设置不同的品位值来

绘制等品位线图，并可按照等品位线划分的区域计算某一品位值的矿石量。



(2) 电铲出矿品位自动获取：在电子地图上根据电铲的作业位置，可实时动态获取铲装位置处的矿石品位和爆堆剩余矿量。同时，电铲处的矿石品位信息和当前班电铲的装载矿石量也会实时显示在电铲的终端显示屏上，便于作业人员实时掌握当前铲装的矿石品位和实际工作量。

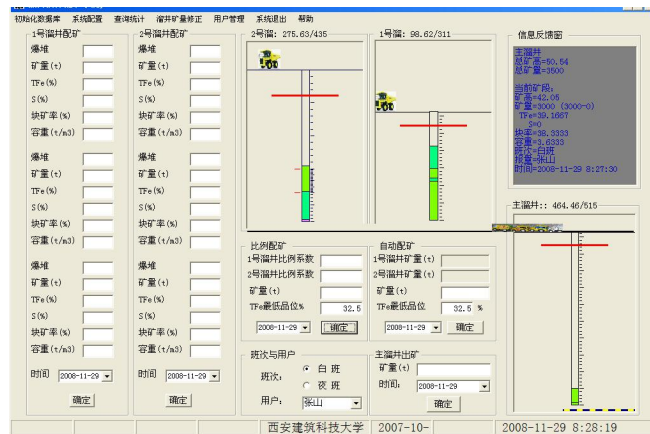


(3) 配矿作业计划自动生成：系统根据可工作电铲的当前作业区矿石品位、矿石岩性、松散系数、矿石比重、生产能力，溜井的入矿量和品位要求等，利用多目标配矿模型来自动生成班配矿生产计划；如遇特殊情况，生产调度人员可以进行调整，尽最大可能保证配矿计划的可行和合理。

班配矿计划与执行控制表										
项目		矿石品位	运输量	1865			246			备注
作业位置	单位	品位	吨/班	计划	实绩	计划	实绩	计划		
1343中南	0.117	134	30						溜井无矿	
0.117	134	41	302	30	1300					
1344中北	0.117	54	50						重点保障溜井	
0.117	54	40	30	304	300	450	300			
1360中北	0.117	62	60						溜井无矿	
0.117	62	40	300	300	300	300	300		重点保障溜井	
1370中北	0.117	104	60						溜井无矿	
0.117	104	43	30	302	300	300	300			
1366中南	0.117	113	42						溜井无矿	
0.117	113	40	30	302	300	300	300			
1370中北	0.117	114	39						重点保障溜井	
0.117	114	39	307	300	300	300	300			
1390中南	0.117	99	39							
0.117	99	39	307	300	300	300	300			
合计	品位	0.117		302	300	300	300			
合计	品位	0.117		0.117	0.117	0.117	0.117			

(4) 溜井实时品位控制：系统根据电铲铲装位置处的品位及运输量可以实时计算溜井内矿石的品位和矿量，当矿石品位不符合出矿要求时，系统会进行智能预警提示，调度人员可以利用品位优化控制模型，对溜井的配矿计划进行实时的调整并加以控制。



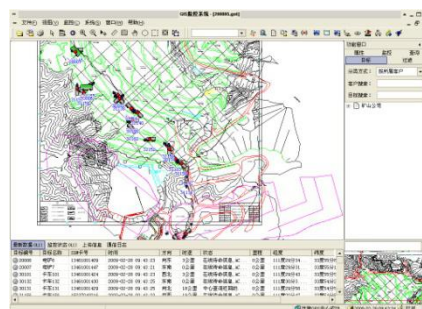


### 3.2.3 露天矿卡车生产智能调度系统

露天矿卡车生产智能调度系统是利用 GPS 全球定位技术, GPRS 无线通信技术, GIS 地理信息技术和最优化技术等高新技术, 通过车铲生产调度优化模型, 建立生产监控、智能调度、生产指挥系统, 实现卡车、电铲的车流规划、动态配比、实时语音及指令调度和监控。该系统应用后, 能够优化卡车运输, 有效提高采装与运输效率, 提高大型设备的利用率, 有效降低总运输功和油耗, 优化采矿生产并进行实时调度监控。

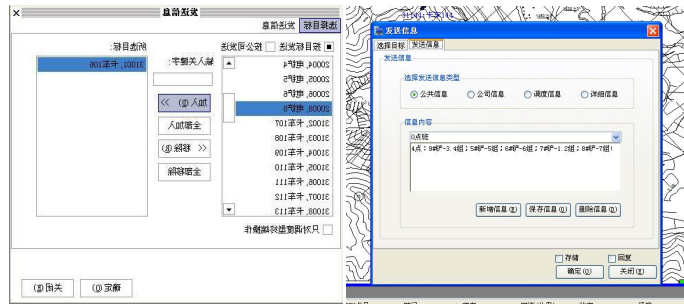
系统主要功能有:

(1) **车铲智能调度:** 系统根据配矿计划的要求以及当前生产中作业电铲、卡车、卸矿点的生产能力等约束条件, 通过卡车生产调度优化模型, 自动进行最优路径选择、全局及局部车流规划和实时调度。

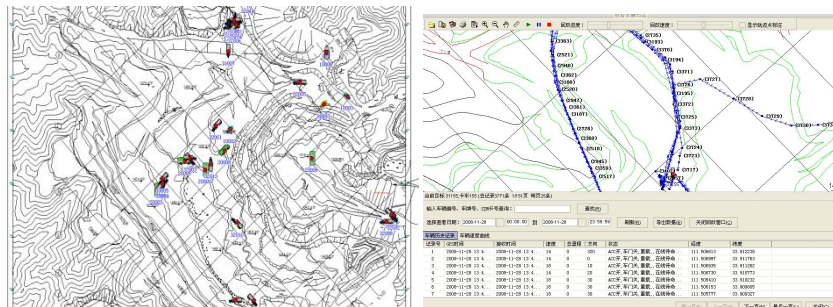


(2) **实时指令及语音调度:** 调度中心可以对卡车及电铲进行分组管理, 并可在任一时刻发送调度指令; 班次中间如遇特殊情况, 可及时进行调度计划修改, 并发送调度指令, 车载智能终端能够给出醒目提示 (红色指示灯和铃声) 并在显

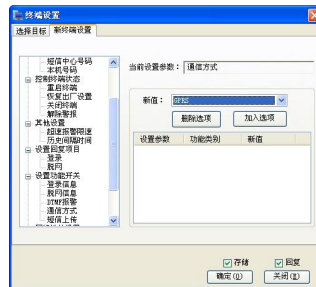
示屏上显示调度指令；调度中心还可呼叫任意一辆安装智能终端的卡车和电铲进行应急语音调度。



(3) 卡铲实时监控与历史轨迹回放：根据调度监控人员指令以不同方式、不同颜色、不同标识等跟踪显示采场内任一卡车或电铲当前位置、车速、状态及行驶轨迹，还可以根据需要关闭某一卡车和电铲的跟踪显示；系统能够对超速卡车进行报警提示，并记录卡车的超速时间、地点及其它状态，并可以按班、日、月生成报表。在 GIS 电子地图上，可以任意回放某辆卡车和电铲在某段时间内的行驶作业轨迹。



(4) 车铲运行状态与区域报警：智能终端可以实时显示当前卡车或电铲的位置，并显示卡车当前的工作量，电铲的装载工作量等信息；调度中心可以通过智能终端对作业设备进行超速、作业区域等报警设置；作业设备如遇紧急情况可以进行紧急报警求助，并可直接通过终端呼叫生产调度中心。



(5) 异常状态人工调度：如遇特殊情况不适合自动调度，可以采用定铲配车方式，由调度人员进行灵活的调度处理，保证系统运行的可靠性和灵活性。

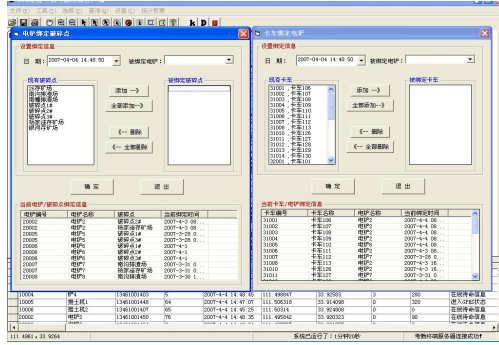


图 6 系统应用界面

### 3.2.4 矿岩量自动计量及生产数据动态监控系统

露天矿矿岩量自动计量及生产数据动态监控系统是在露天矿卡车智能调度系统的基础上利用一种实用的统计算法模型，来自动统计卡车运载车数和电铲装载车数，估算矿石量和品位，并自动生成各种报表。然后利用配矿作业计划和生产实时统计结果对生产计划完成情况进行实时作业监控（包括入矿量监控及品位监控）和报警。

系统主要功能有：

(1) 矿岩运载量自动统计：能够自动统计出每一辆运矿车某一个班次在指定的电铲和溜井之间的运载车数，也可以按照不同的时段进行车数统计，并能够根据统计结果生成班报表、月报表和季报表。



(2) 电铲装载量自动统计：能够自动统计出每一台电铲某一班次的装载车数，也可以按照不同的时段进行车数统计，并能够根据统计结果生成班报表、月报表和季报表。

序号	电铲名称	矿量	品位	备注
1	安泰电铲1#	1	293.58	
2	安泰电铲2#	4	295.85	
3	安泰电铲3#	4	311.10	
4	安泰电铲4#	13	371.84	
5	安泰电铲5#	1	435.0	
6	安泰电铲6#	17	435.84	
7	安泰电铲7#	1	36.5	
8	安泰电铲8#	28	656.6	
9	安泰电铲9#	2	45.26	
10	安泰电铲10#	14	426.6	
11	安泰电铲11#	4	90.12	
12	安泰电铲12#	2	273.42	
13	安泰电铲13#	4	656.1	
14	安泰电铲14#	15	346.02	
15	安泰电铲15#	4	27.04	
16	安泰电铲16#	19	485.12	
17	安泰电铲17#	3	656.06	
18	安泰电铲18#	3	36.96	
19	安泰电铲19#	5	164.22	
20	安泰电铲20#			
21	安泰电铲21#			
22	安泰电铲22#			
23	安泰电铲23#			
24	安泰电铲24#			
25	安泰电铲25#			
26	安泰电铲26#			
27	安泰电铲27#			
28	安泰电铲28#			

(3) **生产作业数据动态监控**: 系统能够实时统计显示当前爆堆的剩余矿量、品位; 实时监控当前班内电铲的实际装车车数和装矿量; 实时监控当前班内各卡车运矿的车数和估算矿量; 实时监控当前溜井的入矿量及品位; 并可以与生产配矿计划做实时对比及时反馈给调度人员当前任务完成情况。系统能够对当班各作业车辆的任务未完成或超额完成等情况进行实时报警提示, 以便调度人员对未按计划作业的车辆进行控制管理。

任务名称	作业地点	矿种名称	已装车数	已装矿量	计划装车数	计划装矿量	任务完成百分比
1	选采溜井上中	选采溜井上中	10	1071.66	10	1070	100%
2	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
3	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
4	选采溜井上中	选采溜井上中	13	1021.14	13	1020	100%
5	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
6	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
7	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
8	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
9	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
10	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
11	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
12	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
13	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
14	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
15	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
16	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
17	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
18	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
19	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
20	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
21	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
22	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
23	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
24	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
25	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
26	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
27	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
28	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
29	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
30	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
31	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
32	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
33	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
34	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
35	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
36	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
37	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
38	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
39	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
40	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
41	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
42	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
43	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
44	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
45	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
46	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
47	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
48	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
49	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%
50	选采溜井上中	选采溜井上中	0	0	0	0	0%

(4) **计量结果短信自动反馈**: 根据需要可以自动将生产数据统计结果以短信方式反馈给生产管理人员以及作业人员。

### 3.5 主要优势

**采矿生产过程管理数字化、系统化**: 系统依据露天矿采矿生产工艺流程进行数字化、系统化设计, 对计划编制-生产配矿-卡车调度-运输统计-计划监控整个生产过程进行全方位管理。

**独特的优化模型集成技术**: 采用具有独特的采剥计划编制技术、多目标配矿及动态品位优化控制模型、车铲生产调度优化模型、生产数据实时监测与控制技术等优化模型集成技术, 来确保生产计划的生成—执行—控制的科学合理性。

**GIS 地理信息技术**: 采用 GIS 地理信息技术, 具有更强的矿区数据分析能力, 可将地质资料及爆堆数据实时进行统计分析及显示, 以及更加美观易用的用户界面, 较传统的卡车生产调度管理界面, 功能更强大, 实用性更强。

**多样化的定位终端**: 采用高精度定位终端与普通定位终端相结合, 使终端的针对性、适应性更强, 同时为企业大大节约了购置成本。

**提供及时的定制服务**: 可根据企业的具体情况, 提供定制功能开发和及时的技术服务。

## 4 系统可靠性保障措施

为了提高整个系统的可靠性,并保证在项目实施过程中不影响现有生产作业管理系统,有必要加强系统的可靠性保障措施。

### 4.1 无线数据压力分析

整个系统的数据流主要分为两部分,一部分是移动终端将其定位数据通过 GPRS 无线网络上传至调度中心,基准站通过 GPRS 无线网络将差分改正数播发至移动终端;另一部分是移动端上传的数据汇总至中心通信网关服务器处,由网关通信服务对其处理,并将结果转发至显示服务模块。即无线数据传输系统数据包括上行移动站身份上报信息、位置数据和下行差分数据和调度信息。具体说明如下表所示:

表 1 无线数据

数据类型	数据说明	数据包大小	发送频率	备注
下行方向 (中心->终端)	差分数据	不大于 300 字节	10 秒	调度信息长度根据实际需求待定
	调度信息	不大于 100 字节	不定	
上行方向 (终端->中心)	身份上报	不大于 20 字节	视实际网络情况而定	若网络状态不好,移动终端会反复发送身份上报信息
	位置数据	不大于 30 字节	10 秒	位置数据发送频率据实际需求可调节

按照 100 个终端,上行与下行数据均按照平均发送频率,1 个月(30 天)24 小时全天运作的方式计算最大网络流量。

1 个终端每月(30 天)总时间为:

$$T = 30\text{天} \times 24\text{小时} \times 60\text{分钟} \times 60\text{秒} = 2592000\text{秒}$$

上行:(gps 为主)

$$T \times 30\text{字节} / 10\text{秒} \approx 7.5\text{兆字节}$$

下行:(差分和调度)

$$T \times 300\text{字节} / 10\text{秒} \approx 78\text{兆字节}$$

$$T \times 100\text{字节} / 600\text{秒} \approx 0.5\text{兆字节}$$

1 个终端每月(30 天)总数据流量为:

$$7.5+0.5+78=86 \text{ 兆字节}$$

注：以上数据均按照数据包的最大值计算；身份上报信息的数据量较小，在网络状态较好时可忽略。

按照 100 个终端，月最大网络数据流量约为 8600 兆。中心网关通信服务通过以太网来处理上传上来的定位数据，以太网的带宽为 100 兆甚至更大，其数据传输能力足可以应付移动端上传来的数据。中心网关通信服务对接收到的数据进行分类、过滤，之后转发给显示调度服务系统。以目前的计算机总线及 CPU 处理速度，是可以满足 800 个车载终端同时上传数据的要求，足以满足采场内生产需要。

## 4.2 防涌浪及防雷措施

由于矿区采场内夏秋季节雷雨天气较多，在移动作业设备和差分基准站上加装防雷措施是非常必要的，雷电防护设备按照如下技术指标进行：

(1) 采场内终端设备加装电力线电涌防护设备，通信线（数据线）电涌防护设备、射频线电涌防护设备；

(2) 电力线电涌防护设备加装于 UPS 前，即电力线通过电涌防护器后进入 UPS 系统；

(3) 所有进入观测室的通信线路在连接到计算机前，加装通信线（数据线）电涌防护设备；

(4) 接收机天线电缆、通讯射频电缆在引入观测室之前，串接在线避雷器，同时加装射频线电涌防护器。射频线防护器符合以下规定：

阻抗：50  $\Omega$

工作频率：2.5 GHz

插入损耗： $\leq 0.1 \text{ dB}$

雷电通流量：50 KA

DIN 7/16：100 KA

残值峰值：7.3 V

驻波系数： $\leq 1.15$

(5) 雷电防护主要指建筑物整体、采场内电子设备的雷电防护，严格执行 GB7450 标准。

### 4.3 可靠性保障措施

通常系统的使用可用度 AS 和 MTBF、MTTR 之间有如下关系：

$$A_s = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR + TMLD)}$$

从系统使用可用度的公式可以看出，系统的可用度指标和 MTBF（平均失效间隔）、MTTR（平均恢复时间）、TMLD（平均后勤延迟时间）有直接的关系。要保证系统的可用度，需加强以下几方面的保障。

#### (1) 选择高可靠的硬件设备

这一点是保证系统中各个硬件设备具有高的 MTBF 值，它是保证整个系统满足可用度指标的前提。我们重点对系统中的 GPS 接收机、数据链、计算机、通信设备、电源系统进行了选择，以确保系统中所涉及各个硬件环节的可靠性指标。

由于作业车上的电源为车载发电机产生，杂波及浪涌较大，车载控制产品内配备稳压电源模块来进行过滤，确保设备不被击坏。此外，GPS 差分基准站负责生成并播发差分改正数，它是整个采场作业设备获得高精度位置的保证，当 GPS 差分基准站由于断电无法工作时，将降低整个堆场内作业设备的定位精度。为此，为 GPS 基准站配备 UPS 电源保护，可保证四小时断电时间内的电源持续供应。

#### (2) 加强系统软件的可靠性设计

系统的可靠运行除了硬件保证之外，软件的可靠性也是非常重要的，因此在系统软件设计时突出系统性要求，严格按照国标有关规定规范化管理，最终提高软件的可靠性。

系统建设中在设备布局、站址选择、施工等方面突出考虑交通、供电等因素，尽可能减少由于系统设计带来的 TMLD 增大。

通过以上的保障手段，可以做到本系统的可靠性满足使用要求。

## 5 主要工作基础

### 5.1 现有工作基础

项目组人员一直致力于计算机在矿业中应用方面的教学和科研工作，具有良好的工作基础，主要表现在：

(1) 长期从事计算机在采矿中的应用研究。1991 年完成国家自然科学基金课题"专家系统在采矿设计中的应用研究", 经专家鉴定认为达到国际先进水平。2001 年完成国家自然科学基金项目"进化算法在采矿工程结构性优化中的应用研究", 已经成功应用于三个矿山中。课题组先后完成与本课题紧密相关的研究课题二十多项, 积累了大量的理论成果、技术资料和矿业软件开发经验。

(2) 具有从事过科技攻关项目的经验, 先后承担国家“七五”、“八五”、“九五”科技攻关项目及省科技攻关等项目 16 项, 多次获得省部级一、二、三等奖, 发表论文在美、英、加拿大、澳大利亚等国际学术刊物上, 在国际相关学术领域享有一定的地位。

(3) 已从事过露天矿采矿设计、配矿管理等方面的研究开发工作, 其中课题组成员完成的金堆城露天矿南大扩开采规划研究, 2006 年获陕西省有色集团公司科技进步二等奖。

(4) 已从事过生产调度系统软件的设计和开发工作。课题组设计和开发的基于 GPS/GPRS/GIS 露天矿生产调度系统, 于 2006 年在洛钼集团矿山公司投入了实施, 应用结果表明, 该系统大大提高了矿山劳动生产能力和生产调度效率, 节省了劳动力成本及运输成本, 为露天矿的配矿计划提供了科学的依据, 取得了很好的经济效益, 获得了行内好评和学术界的关注。

(5) 项目负责单位研究条件。项目负责人所在"矿山系统工程研究所"成立于 1990 年, 是一所集科研、成果转化与人才培养于一体的产、学、研结合的高科技科教实体, 长期从事矿山企业的综合优化技术研究, 特别是计算机技术和运筹学在矿山中的应用研究, 在矿山设计及规划工作的优化、矿山生产及工艺过程的优化以及矿山管理工作的优化等方面成果显著。中国金属学会矿业系统工程专业委员会挂靠在本研究所。

#### 与本项目有关的科研论文成果:

- [1] Monitoring dispatch information system of trucks and shovels in an open pit based on GIS/GPS/GPRS, Journal of China University of Mining and Technology, V18(2), June 2008,p288-292, **EI(光盘版)**
- [2] Dynamic management system of ore blending in an open pit mine based on GIS/GPS/GPRS, Mining Science and Technology, V20(1),Jan 2010, p132-137, **EI(光盘版)**



- [3] Dynamic information management system of mining production in an open pit based on GIS/GPS/GPRS/RFID, International Conference on Management and Service Science, 2009.9, EI(光盘版)
- [4] The Transportation Statistics Information System of Trucks and Shovels in open pit Based on RFID/GPRS, 第三届现代采矿与安全技术国际学术会议论文集, 2008.8, 煤炭工业出版社, p562-566, ISTP
- [5] Mining production information management system in an open pit based on GPS/GIS/GPRS/RFID, 煤炭学报 (英文版) .2010,16(2) ,p176-181
- [6] 露天矿车铲运输监控调度系统的设计与实现, 矿山机械, 2009.19, 40-43
- [7] 基于 GIS/GPS/GPRS 的露天矿配矿动态管理系统, 金属矿山, 2009 年第 6 期
- [8] 基于 GIS 的露天矿配矿管理系统研究, 黄金科学技术, 2009 年第 2 期
- [9] 基于 RFID/GPRS 的露天矿车辆运输计量系统, 金属矿山, 2008 年第 4 期
- [10] 基于 GPRS 的露天矿车载 GPS 数据通讯技术研究, 金属矿山, 2007 年 8 月
- [11] .NET 集成 MapX 开发 GIS 技术的研究与应用, 金属矿山, 2007 年 8 月
- [12] 基于蚁群算法的有时间窗车辆调度问题的研究, 信息技术, 2006 年 05 期
- [13] 基于 Web 数据库的汽车运输生产信息管理系统, 金属矿山, 2006 年 8 月
- [14] GPS 与计算机串口通信技术, 金属矿山, 2006 年 8 月

研究所长期从事采矿理论和计算机应用工作积累, 为本项目研究打下了坚实的基础。

## 5.2 相关科研项目

- (1) GIS/GPS/GPRS 露天矿卡车调度监控系统
- (2) 露天矿生产配矿与采剥计划编制系统
- (3) 酒钢公司黑沟露天矿溜井配矿系统
- (4) 酒钢公司黑沟露天矿采场境界及采剥计划动态优化研究
- (5) 基于 RFID 的三道庄露天矿车辆统计系统
- (6) 河南东沟钼矿采剥计划及测量验收系统研究
- (7) 高精度 GPS 采矿生产数字化系统

- (8) 洛钼集团矿山公司监控调度指挥中心信息系统建设
- (9) 金堆城钼矿南露天开采境界优化设计
- (10) 金堆城露天矿排土场选址优化
- (11) 露天矿台阶爆破数字化设计关键技术及软件开发
- (12) 露天矿台阶爆破数字化设计系统
- (13) 西郝庄铁矿采空区治理
- (14) 金堆城露天矿长远开采规划及防灾应急预案研究
- (15) 北洛河铁矿地质信息管理系统研究
- (16) 西石门铁矿工业电视监控系统研究
- (17) 酒钢西沟矿采场境界完善设计

## 6 附录

### 矿山系统工程研究所简介

西安建筑科技大学矿山系统工程研究所成立于 1990 年，是一所集科研、成果转化与人才培养于一体的产、学、研结合的高科技科教实体。矿山系统工程研究所是中国金属学会矿山系统工程专业委员会、陕西金属学会采选矿专业委员会挂靠单位。

近年来，研究所依托矿业行业背景，积极践行国家信息化战略，实施“互联网+矿业”行动计划，主要从事矿山企业信息化、智能化和综合优化方面的研究，特别是物联网技术和计算机技术在矿山中的应用研究，在矿山设计及规划工作、矿山生产及工艺过程以及矿山管理工作的信息化等方面成果显著，在国内外矿山系统工程和金属矿产资源开发方面具有较强的学科特色。

研究所现有研究人员 16 人，其中博士研究生导师 4 人，硕士研究生导师 11 人，具有博士学位 9 人，职称中具有教授资格 6 人，副教授 6 人，在读研究生近 50 人，是一支结构合理的老中青相结合的学术梯队。研究团队中曾有一人担任陕西省人大副主任、一人担任西安市政协委员和人大代表，一人被评为全国优秀教师、两人被霍英东教育基金会评为优秀青年教师并接受了国家领导人的接见和颁奖，另外，有 7 人担任包括中国金属学会采矿分会常务理事、中国管理科学与

工程学会理事、中国煤炭学会煤矿系统工程专业委员会委员等在内的全国或省级学会理事近 20 个。

自建年以来，研究所先后承担了包括国家自然科学基金资助项目《专家系统在采矿设计中的应用》、《进化算法及其在采矿工程结构优化中的应用研究》、《海量信息动态存储安全机制和快速定位算法的研究》和国家自然科学基金重点项目《金川酒钢冶炼渣综合利用新概念物理化学研究》以及国家“七五”攻关项目《全国磷资源开发规划》、国家“八五”攻关项目《深凹露天矿开采综合技术的研究》和国家“九五”科技攻关项目《合理入选品位综合评价研究》等一系列国家重大科研项目在内的相关理论研究。目前在研的重要项目有：国家自然科学基金项目《面向云存储的虚拟安全隔离机制和隐私保护方法研究》、《陆上油气管线风险评估技术研究》和《物联网环境下地下矿多源异质时空信息 4D 集成表示与建模研究》等。近年来共完成相关领域研究项目 50 余项，获国家及省部级科技进步一等、二等、三等奖 7 次，累计科研经费达 2000 多万元，先后在国内外学术期刊发表高水平学术论文 500 多篇，其中 SCI、EI 等四大检索收录 200 多篇，授权发明专利 5 项，软件著作权 30 余项。