

基于 GIS/GPS/GPRS 的露天矿配矿动态管理系统*

井石滚^{1,2} 卢才武¹ 李发本² 顾清华¹

(1. 西安建筑科技大学; 2. 洛阳栾川钼业集团公司)

摘 要 针对露天矿山规划与管理矿石质量的配矿需求,应用先进的地理信息系统(GIS)技术、全球卫星定位(GPS)技术及通用无线分组传输(GPRS)技术设计实现了露天矿山配矿生产动态管理系统。该系统针对多出矿点多卸矿点的情况,建立线性规划模型,不仅能够自动生成班配矿生产计划,而且还能对配矿作业过程实时控制。现场测试表明:该系统性能稳定,能满足矿山生产配矿要求。

关键词 GIS GPS GPRS 线性规划 配矿 露天矿

Dynamic Management System of the Ore Blending in Open-pit Mine Based on GIS/GPS/GPRS

Jing Shigun² Lu Caiwu¹ Li Faben² Gu Qinghua¹

(1. Xi'an University of Architecture and Technology; 2. Luoyang Luanchuan Molybdenum Industry Group Inc.)

Abstract In view of the open-pit mine planning and ore quality management, a dynamic management system of ore blending of open-pit mines was designed and realized by using GIS (Geographic Information System), GPS (Global Positioning System) and GPRS (General Packet Radio Service). A linear programming model was established in the system for multiple draw points and unloading points, enabling not only an automatic generation of shift-ore blending plan but also a real-time control of the ore blending operation. The site testing shows that this system runs stably and can satisfy the ore blending requirement of mine production.

Keywords GIS, GPS, GPRS, Linear programming, Ore blending, Open pit mine

配矿是规划和管理矿石质量的技术方法,旨在提高被开采有用矿物及其加工产品质量的均匀性和稳定性,充分利用矿产资源,降低矿石质量的波动程度,从而提高选矿劳动生产率,提高产品质量、降低生产成本。矿石质量控制包括2个方面内容:一是矿山生产短期作业质量计划,它是根据年度计划及采场条件和作业环境,按月、周或日规划质量方案并组织实施;二是矿山生产过程工序环节作业控制,它是根据资源产出情况及各工序环节作业特点,通过对开采与加工全过程的逐级控制来实现的。因此可以认为,矿石质量控制是配矿计划-配矿作业综合措施的实现过程^[1]。

目前,国外矿业发达国家的生产配矿管理系统已日趋成熟。国外矿山十分重视“因矿制宜”,研究和开发了一些独特的处理手段来控制矿石质量。尤其是将计算机技术用于开采、运输、加工、贮存各生产作业环节的控制与管理。如美国明塔克矿(Minnatoc Mine)就是利用电铲装载-铁路运输车辆顺序卸载来实现矿石质量均衡的。其中该矿的计算机控制汽车-铁路联合运输质量控制系统,可以根据一

定的产量和配矿指标调配汽车和列车,利用遥控装置监控设备运转,使配矿质量和设备运转同时处在最优状态。澳大利亚纽曼山铁矿、帕拉布杜铁矿等的矿石质量控制计算机网络系统应用也尤为突出,将其中心控制与现场作业控制紧密结合在一起,采场严格遵从由质量控制中心发布的矿石质量指令组织生产作业。又如美国希宾铁燧石公司的调度系统,将计算机中心控制与流动调度车计算机控制相结合,通过调度车终端与其它信息源沟通,可依据矿石质量变化信息,灵活地指挥各环节配矿作业^[2]。严格而周密的质量控制体系及科学、先进的配矿手段,是国外配矿管理获得成功的根本原因。

国内大多数矿山在配矿管理方面,一般是利用计算机相关技术来建立配矿模型,如线性规划、0-1整数规划等,实现了矿山生产短期作业质量计划的

* 陕西省教育厅专项基金项目(编号:07JK289)。

井石滚(1967—),男,西安建筑科技大学管理学院,博士研究生;洛阳栾川钼业集团公司矿山公司,经理;710055 陕西省西安市。

编制。如包钢的白云铁矿计算机辅助配矿系统、云浮硫铁矿电脑配矿系统及朱家包包铁矿的计算机配矿模拟软件等。然而,这些配矿系统对整个矿石工序流程却无法实现实时质量控制与管理。而矿石工序流程质量控制是保证矿石稳定性的最重要的环节之一。本文提出利用 GIS/GPS/GPRS 技术,通过线性规划模型,建立集短期配矿计划生成和矿石工序流程质量控制于一体的生产配矿动态管理平台,实现对露天矿的矿石质量实时控制,为露天矿山提供科学、合理的短期配矿计划,并且对采场内配矿作业现场进行动态跟踪、调度、管理。这将对提高我国数字化矿山的矿石质量控制水平具有重要意义。

1 GIS/GPS/GPRS 技术

地理信息系统(GIS)是一种采集、存储、管理、分析、显示与应用地理信息的计算机系统,是分析和处理海量地理数据的通用技术。GIS 技术已被各行各业用于建立各种不同尺度的空间数据库和决策支持系统,向用户提供多种形式的空间查询、空间分析和辅助规划决策的功能。目前 GIS 技术在露天矿应用十分广泛^[3]。露天矿配矿生产动态管理系统对地理空间具有较大的依赖性,要利用 GIS 技术对露天矿山生产作业设备进行跟踪、监控和管理,实现配矿生产动态管理系统的可视化、实时动态管理和辅助决策分析等功能。

全球卫星定位系统(GPS)是美国国防部研究建立的新一代卫星定位系统^[4],主要由 24 颗空间卫星组成的空间星座和地基监控部分组成。在 GPS 系统中,接收到 4 颗或以上卫星的信号就能够准确确定其三维坐标(经度、纬度、高度),并进行跟踪定位。在确定位置以后,GPS 接收机能够得到目标的其它信息,如速度、方向、轨迹等。GPS 系统能够对目标在全球各个角落进行全天候的定位跟踪。目前在我国可以免费使用此系统。露天矿配矿生产动态管理系统主要利用 GPS 定位技术,为电铲提供当前铲装位置的精准坐标、方向、速度和时间等基本信息。另外,利用 GPS 技术对爆堆和炮孔的位置信息进行准确定位,得到爆堆和炮孔品位信息,实现对矿石品位动态监控。

通用分组无线业务(GPRS)是 GSMPhase2 + 规范实现的内容之一,能提供比现有 GSM 网 9.6 kbps 更高的数据率^[5]。GPRS 是一种基于 GSM 系统的无线分组交换技术,具有提供端到端的、广域的无线 IP 连接等特点。在露天矿配矿生产动态管理系统

中,主要利用 GPRS 具有传输速率高、接入时间短、永远在线和按流量计费等优点,能够为车辆 GPS 数据提供实时无线传输,快速建立连接,无建链时延。另外,露天矿车辆定位数据量小且需要频繁进行传输,这一要求正符合 GPRS 特别适用于频繁传送小数据量的特点。

2 生产配矿动态管理系统原理

2.1 配矿生产控制系统

系统由车载移动终端、通信网络和控制中心组成,如图 1 所示。在此系统中,车载移动终端接收 GPS 信号,计算出电铲和矿车所在的经纬度、角度、高度和速度等信息;移动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 网络被发送至控制中心。GPRS 无线移动通信网络作为电铲和矿车携带终端和控制中心的远程通信系统,实现电铲和矿车位置信息、状态信息、报警信息向中心的发送以及中心向电铲和矿车终端调度、控制命令的发送。控制中心内部通过百兆局域网将通信服务器、数据库服务器和调度台互连。控制中心在软件系统的控制下,实时接收处理来自受控电铲的各种信息,在控制中心的 LED 多媒体显示屏及中心监控终端的电子地图上显示电铲位置、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^[7]。

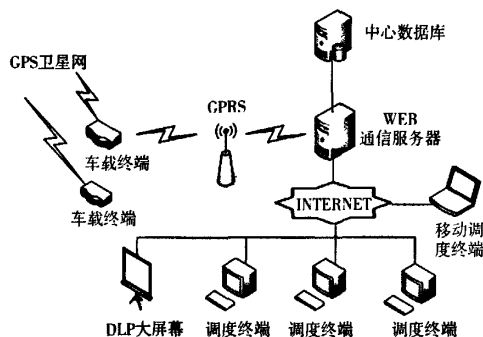


图 1 生产配矿控制系统结构

2.2 线性规划模型

2.2.1 模型建立

针对矿山的实际生产状况,建立多出矿点多受矿点模型,设矿山有 m 个电铲, n 个破碎站,电铲 i 运到破碎站 j 矿石量为 x_{ij} ,电铲 i 的供矿品位为 g_i ,破碎站 j 的要求品位为 g_j 。

约束条件^[6]主要有:

(1) 供矿量和供矿能力。电铲供矿量为供矿能力范围内,并满足矿山生产任务要求。即:

$$Q \leq \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq A_i \quad (i = 1, 2, \dots, m), \quad (1)$$

式中, x_{ij} 为电铲 i 到破碎站 j 供矿量; A_i 为电铲 i 的最大供矿能力; Q_i 为电铲 i 生产任务。

(2) 破碎站最少生产任务。每个破碎站在配矿计划中指定的最少任务量。设第 j 破碎站的破碎矿量最少任务为 Q_j , 即:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \geq Q_j. \quad (2)$$

(3) 非负约束条件。电铲到破碎站供矿量不能为负数, 即:

$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

(4) 目标函数。矿山生产的目标品位为 g , 偏差为 $\pm 5\%$ 。根据矿山生产实际, 建立的目标函数要求每个破碎站所得金属品位与要求的偏差最小, 即:

$$\min s = \sum_{j=1}^n \left| (Q_1 \cdots Q_{j-1} Q_{j+1} \cdots Q_n) \sum_{i=1}^m x_{ij} g_{fi} \right|, \quad (3)$$

其中, g_{fi} 为电铲 i 的供矿品位; Q_j 为第 j 个破碎站的任务量。根据现场实际要求, 在此模型上进行优化, 添加约束条件, 即

$$\left| \sum_{i=1}^m x_{ij} g_{fi} \right| \geq Q_j g_j.$$

2.2.2 模型求解

利用两阶段法来求解。第一阶段, 在问题数学模型中添加若干非负新变量 $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+h}$, 使新构成的初始单纯形表的系数矩阵 A ($A = (b_{ij})_{m \times (n+h)}$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n, n+1, \dots, n+h$)) 中包含一个 m 阶单位子矩阵。

第一阶段中, 以添加所有 h 个人工变量之和取值最小作为它的目标函数, 即:

$$\min Z_1 = \sum_{i=n+1}^{n+h} x_i.$$

若求出 $Z_1 = 0$ 的最优解, 所有 h 个人工变量都是非基变量, 而基变量全由未添加人工变量前的 m 个变量组成, 此时舍去人工变量对应的各列之后所得的系数矩阵就含有一个 m 阶单位矩阵。令其为初始可行基 B_0 , 转入两阶段法第二阶段继续求解; 否则, 判断该线性规划问题无可行解。

3 三道庄露天矿配矿生产动态管理系统

三道庄露天矿隶属于洛钼集团矿山公司, 年产

量 1 000 余万 t, 露采境界长 2 350 m, 宽 1 350 m, 开采标高 1 630.8 ~ 1 114 m, 最大采高 516.8 m, 生产台阶高 12 m, 采用牙轮钻机穿孔—电铲铲装—汽车运输台阶式采剥工艺; 汽车—破碎—溜井—电机车开拓运输系统。三道庄露天矿生产配矿动态管理系统主要由设备终端主机和配矿生产管理软件构成, 其中配矿生产动态管理软件系统由各模块化子系统组成。

3.1 软件系统构成及功能

3.1.1 生产配矿动态管理子系统

此模块主要完成生产调度中心对电铲进行配矿生产管理, 包括配矿计划生成和电铲作业过程动态跟踪控制。主要功能如下:

(1) 地图操作。进行地图放大、缩小、漫游、分层显示, 显示任意点的坐标, 计算任意两点间的距离和任意图形的面积, 查询地理目标等。

(2) 爆堆管理。进行爆堆中炮孔和边界的坐标及炮孔品位等数据的导入, 炮孔和爆堆边界在地图中的展现等; 根据炮孔的品位属性在图上采用圆或多边形来任意圈取某一矿块的平均品位, 并可以计算相应的矿石量。

(3) 绘制等品位线。在现有爆堆的基础上, 任意设置不同的品位值来绘制不同颜色的等品位线, 并可按照品位划分的不同区域求当前品位的矿石量。

(4) 电铲跟踪显示。根据调度人员指令, 以不同方式、不同颜色、不同标识等显示某一电铲当前作业位置和当前铲装位置的矿石品位, 还可以根据需要关闭某一电铲的位置及品位显示。

(5) 历史轨迹回放和历史品位显示。在电子地图上, 回放某电铲在某段时间内的铲装作业轨迹和铲装矿石品位。

(6) 电铲定位查询。查询某电铲的当前位置、作业半径、状态及电铲驾驶员等。

(7) 指令或语音调度。调度中心可根据当前电铲的铲装品位要求, 随时发出调度指令或进行语音呼叫, 动态地调度当前电铲的作业位置, 收到指令后电铲车载终端的红色指示灯和铃声将进行提示并在显示屏上显示调度指令。

(8) 电铲信息反馈。车载终端通过操作界面可以上传预制的固定信息到调度中心, 或直接进行语音通话, 以便调度中心及时进行处理。

(9) 生成配矿计划。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、生产能力,破碎站的碎矿要求、破碎能力、品位要求、矿石密度等参数利用线性规划模型来生成班配矿生产计划。

(10)其它功能。系统预留可扩展接口,可以与 GPS 卡车监控及卡车称重系统相结合,进行破碎站某段时间内矿石的入矿量及品位查询,便于调度人员动态掌握配矿计划完成情况。

3.1.2 数据通信控制服务器

此模块通过 TCP/IP 进行数据的采集、发送,路由转发、协议解析分发,业务处理(包括监控、调度等等),数据接口(包括定位数据、报警数据的入库,作业设备状态的更新等)功能。

3.1.3 设备数据管理系统

此模块主要是利用数据库技术对生产设备进行管理,包括对电铲、矿车等作业设备、司机及操作人员等数据的增加、删除、修改及查询。还有对数据进行定期的备份、删除工作。

3.2 系统应用部署

(1)车载终端安装。车载部分,露天矿前期共在电铲上安装 NovAtel 高精度 GPS 定位终端 20 台。终端的安装主要包括高性能主机、GPS 天线、GPRS 天线、主机显示屏、红色指示灯、以及耳机或免提音箱的安装。在安装完成之后,需要进行调试工作,主要是利用操作手柄来设置主机参数。

(2)软件部署。整个系统的 3 个子系统,数据通信控制服务器安装在集团公司的 WEB 通信服务器上;设备数据管理服务器安装在集团公司数据库服务器上;配矿生产动态管理系统安装在矿山公司监控中心。

(3)电子地图的校准。首先利用露天矿山每月更新的现状图,将 DWG 格式图在 AutoCAD2006 下转换 DXF 格式,然后利用 Mapinfo 8.0 将 DXF 格式现状图进行坐标校准。

3.3 系统应用情况

三道庄露天矿配矿生产动态管理系统自 2008 年 5 月投入试运行以来,通过在现场的不断调试,目前运行状况良好。其中典型的应用主要有:

(1)班配矿计划生成。在配矿计划生成过程中,采取人-机交互的方式,如遇到一些现场特殊情况,调度员可以随时在配矿计划生成过程中进行灵活的调整,这样最大限度保证了班配矿计划的合理性、实用性。根据洛钼集团矿山公司要求,在完成产量的同时必须保证矿石品位质量,要求钼品位不超

过要求品位的 $\pm 5\%$ 的范围。目前露天矿多个台阶同时出矿,各出矿点品位波动较大,每个班(每天 3 班)有 8~10 台电铲进行矿石开采,有 3 个碎矿站进行碎矿。如表 1 为系统中露天矿某日某班次配矿计划相关参数,涉及 10 辆电铲和 3 个碎矿站,配矿要求出矿目标品位为 $(0.12 \pm 0.006)\%$,矿石量在 (1.65 ± 0.0495) 万 t 范围内。表 2 为系统生成的班配矿计划,是根据矿山生产实际在线性规划基础上得到的最优解。

表 1 配矿相关参数

电 铲		破碎站受矿量/t				
名称	供矿品位	最小能力 /t	最大能力 /t	1 [#] (品位 0.12%,受矿任务 = 5 000 t)	2 [#] (品位 0.12%,受矿任务 = 8 000 t)	3 [#] (品位 0.12%,受矿任务 = 3 500 t)
电铲 1	0.115	600	2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000
电铲 2	0.132	600	2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000
电铲 3	0.106	600	2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000
电铲 4	0.09	600	2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000
电铲 5	0.108	600	3 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000
电铲 6	0.186	600	3 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000
电铲 7	0.114	600	3 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000
电铲 8	0.091	600	3 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000
电铲 9	0.125	600	3 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000
电铲 10	0.22	600	3 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000	0 ~ 2 000

表 2 某班配矿计划

供矿对象	供矿车辆/辆				供矿品位 /%	运矿车/t	供矿对象说明
	破碎站 1 [#]	破碎站 2 [#]	破碎站 3 [#]	合 计			
电铲 1	20	40	30	90	0.115	17	1 330 台阶
电铲 2	40	50	0	90	0.132	23	1 306 台阶
电铲 3	40	50	30	120	0.106	19	1 294 台阶
电铲 4	30	50	20	100	0.09	171	438 台阶南部
电铲 5	40	50	20	110	0.108	32	1 318 台阶
电铲 6	0	50	0	50	0.186	19	1 450 台阶
电铲 7	0	20	20	40	0.114	231	438 台阶北部
电铲 8	50	50	0	100	0.091	19	1 454 台阶
电铲 9	0	0	30	30	0.125	23	1 414 台阶
电铲 10	20	20	20	60	0.22	17	1 426 台阶
车数总计	240	380	170	790			
吨数总计	5 100	7 930	3 550	16 580			
品位统计	0.115	0.122	0.121				

(2)配矿生产动态跟踪控制。在配矿生产动态管理界面上系统实时的跟踪当前电铲的铲装位置,动态显示当前电铲工作处的矿石品位,调度人员可以根据当前的品位及时对电铲的铲装位置进行调度。通过矿山公司现有的矿石称重系统和卡车调度系统,调度人员还可以实时掌握当前爆堆的剩余矿量和当前班电铲的实际装矿量,根据班配矿生产计划,对现场电铲和卡车实施动态调整和调度。另外,

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,便于操作人员实时掌握当前铲装的矿石品位和实际工作量。

(3)应用效果。由于采场内空区、采场生产控制不规范、凭经验主观配矿等因素的影响,在一定程度上造成了露天矿矿石的质量波动性较大。在露天矿生产配矿动态管理系统应用后,综合考虑了采场储量、采场爆堆矿石质量分布情况、采场的开采状态、采场的爆破情况、电铲工作状态、企业计划指标及生产计划指标等因素,一方面克服了人工经验配矿的诸多不足,使配矿计划的生成更科学化,另一方面实现了对矿石生产流程的控制,规范了露天矿采场的生产秩序。原矿石品位离目标品位的最大波动幅度由原来的 15.82% 降低到 4.35%,这最大限度的保证了采场矿石质量的稳定性和均匀性,为后续浮选选矿工艺提供了良好的基础。

4 结 论

(1)基于 GIS/GPS/GPRS 技术的露天矿配矿生产动态管理系统利用空间技术、无线定位技术、无线通信技术和计算机技术实现了露天矿矿石质量控制,保证了矿石品位的稳定性,提高了矿山劳动生产能力,大大节约了企业生产成本。

(2)系统利用线性规划模型,改变了矿山依靠

人为经验来制定配矿作业计划的不合理性,减少了人为因素对生产作业过程的影响,为露天矿的配矿提供了科学的依据。

(3)整个系统对实现露天矿山车辆的自动化和信息化具有重要意义,完全可以推广应用到其它露天矿山。

参 考 文 献

- [1] 李发本. 三道庄露天矿配矿管理系统研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2004.
- [2] 舒 航. 国内外配矿研究现状与发展趋向[J]. 冶金矿山设计与建设,1994(3):36-42.
- [3] 刘金平,魏连江,王宏胜. 基于 GIS 的矿产资源规划信息系统[J]. 中国矿业大学学报,2004,33(5):580-591.
- [4] 张志霞,陈永锋,顾清华. 基于 GPS 技术的露天矿生产调度系统研究[J]. 金属矿山,2007(8):58-60.
- [5] 杨国民. 通用无线分组业务(GPRS)综述[J]. 声学及电子工程,2002(2):17-22.
- [6] 侯 煜. 线性划法在露天矿配矿领域的应用[J]. 矿业工程,2006,4(1):22-24.
- [7] GU Qing-hua, LU Cai-wu, LI Fa-ben. Monitoring dispatch information system of trucks and shovels in an open pit based on GIS/GPS/GPRS[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008,18(2):288-292.

(收稿日期 2009-04-02)

(上接第 106 页)

况是相符的。图 5(c)是对原有 DEM 数据进行坡度分析的结果,将图 1(c)所示由开采引起的坡度变化的数据嵌入图 5(c)所示的数据,就得到了图 5(d)所示的开采影响范围内坡度分布情况。曲率、水平移动和水平变形都可以通过上文方法生成类似图 1(c)所示的影响结果数据,然后通过对矿区 DEM 进行平面曲率分析,可以得到类似图 5(c)所示的分析结果,然后分别嵌入就得到相应的嵌入结果。

5 结 语

可持续发展是新世纪矿区生产和管理的主旋律,数字矿山能给管理者提供很多科学、可靠的决策数据,矿区 DEM 是数字矿山的重要数据基础,矿区 DEM 的现实趋势和正确性是保证数字矿山分析、决策的基本条件。本文详细介绍了如何将开采沉陷预计数据嵌入矿区 DEM 的方法,为数字矿山的数据基础的更新和维护开辟了新的途径,并通过实验的方法对该方法进行了验证和应用。实践证明,本方法科学、可靠,为矿区 DEM 的自动更新做出了贡献,本

文研究成果已经在数字矿山数据维护工作中得到了应用,效果良好。

参 考 文 献

- [1] 姜 杰. 影像镶嵌重采样算法的选择[J]. 地理空间信息,2007(4):28-30.
- [2] 韩奎峰,康建荣. 基于 DEM 空间分析的矿区塌陷地动态复垦辅助设计[J]. 金属矿山,2008(9):126-129.
- [3] 吴 侃,韩奎峰. 矿区土地破坏预测[J]. 山东煤炭科技,2006(3):48-49.
- [4] 张 申. 数字矿山及其两大基础平台建设[J]. 煤炭学报,2007(9):998-1001.
- [5] 朱兆军. 基于 GIS 的矿区土地管理应用研究[J]. 采矿技术,2006(9):492-493.
- [6] 陈宝平. 双线性插值算法的一种快速实现方式[J]. 北京电子科技学院学报,2004(7):22-23.
- [7] 陈 良. 快速离散化双线性插值算法[J]. 计算机工程与设计,2007(15):3787-3790.
- [8] 王 建,杜道生. 规则格网 DEM 自动综合方法的评价[J]. 武汉大学学报:科学信息版,2007(12):1111-1114.

(收稿日期 2009-04-04)