

# 金属露天矿山汽车自动调度系统及其应用<sup>\*</sup>

李军才 蔡美峰

(北京科技大学土木与环境工程学院·北京 100083)

**摘要** 介绍露天矿山汽车自动调度系统在国内外的发展，并分别以美国模块采矿（MMS）公司和加拿大文科（Wenco）国际采矿公司的 Dispatch 系统为例，介绍了系统的构成、原理、功能等。根据首钢水厂铁矿的矿山实际，确定了基于全球定位系统（GPS）汽车自动调度系统的硬件组成、软件功能等，并对在我国的应用前景进行了展望。

**关键词** 露天矿 汽车 自动调度

中图分类号 TD57 文献标识码 B 文章编号 1004-4051 (2003) 01-0035-04

## DEVELOPMENT AND APPLICATION OF TRUCK AUTOMATIC DISPATCHING SYSTEM IN OPEN PIT MINE

Li Juncai Cai Meifeng

(University of Science & Technology·Beijing 100083)

**Abstract:** Taking the dispatching system of Modular and Wenco Mining Companies as example, the paper introduces the development of automatic dispatching system in open pit mine home and abroad, including the composition, principle and function of the system. With an eye to the actual conditions in Shuichang Iron Ore Mine, hardware structure and software function of automatic truck dispatching system based on GPS is determined and the application prospects in China is explored.

**Keywords:** Open pit mine, Truck, Automatic dispatching

### 1 引言

国内外露天矿山生产实践表明：采用汽车运输露天矿的运输费用占整个矿山生产费用的 50% 以上。随着开采标高逐年降低，运输费用也在不断增加。在这种情况下，许多露天矿山的生产经营者、研究院所和高等院校的学者们深入矿山实际，研究其原因并寻求解决对策。结果表明，运输台班生产作业时间只占 70%，非生产时间占 30%。

露天矿山汽车自动调度系统用于汽车运输的露天矿山，该系统对汽车、电铲设备等进行实时动态优化。其主要功能是通过对露天矿采运设备即汽车、电铲的位置、状态、物料等信息进行采集，实现对汽车、电铲运行的实时跟踪与显示，优化汽车调度运行，及时准确查询统计当前的生产数据，以此达到提高矿山产量，节省费用，取得较好经济效益的目的。

目前，全球主要应用美国模块（Modular）采矿系统公司和加拿大 Wenco 公司研制的 Dispatch 系统。这两个系统前期均采用信标定位方式，进入 90 年代末期均采用全球定位系统进行定位。1997 年 2 月，我国江西德兴铜矿从模块采矿公司全套引进 Dispatch 调度系统，1998 年安装完毕，运行正常。

汽车自动调度技术研究在我国起步较晚。80 年代中期，一些学者在车流优化、实时调度准则及系统模拟方面做了大量研究工作，为国内露天矿建立计算机调度系统奠定了基础。1997 年，煤炭科学研究院抚顺分院、中国运载火箭研究院北京卫星技术导航有限公司联合为伊敏煤电公司露天煤矿开发的卫星定位计算机调度系统投入运行，目前，

\* 国家“十五”科技攻关项目

运转情况良好。

国家“十五”重点科技攻关项目设立有关大型露天矿汽车自动调度的研究课题，由北京科技大学负责，清华大学等高等院校共同承担，以首钢水厂铁矿作为依托，该课题正处于研制之中，估计2003年年底将投入运行。

## 2 露天矿山汽车调度系统的特点和实例

### 2.1 用于江西德兴铜矿的美国模块采矿公司的 Dispatch 系统

#### 2.1.1 矿山概况

1997年，德兴铜矿已达到每天7万t的采选生产能力，很快将形成每天9万t的采选规模。1998年矿山采剥总量达6600万t，铜产量也将从8万t增加到10万t。采场南北各有1排土场，2个矿石破碎站分布在采场境界外的东西两侧。随着德兴铜矿采矿规模的扩大，设备数量也随着增加，规格也随之大型化。目前采用的斗容为13m<sup>3</sup>的电铲5台、16.8m<sup>3</sup>的电铲4台（还将增加1台）、10m<sup>3</sup>电铲1台，载重量为154t的电动轮自卸汽车49台（还将增加7~8台），孔径为250mm牙轮钻机13台（还将增加2台）。

在此情况下，1998年第1季度，首次购买了一套模块采矿系统公司的 Dispatch 矿山管理系统。该套装置包括对60辆汽车、11台电铲、4台钻机、2台破碎机进行调度和4套用于边坡监测的计算机系统，采用微波网把实时的 Dispatch 生产信息传递到矿山管理大楼和生产办公室。这套系统给管理者提供有关设备性能、状态和生产的实时信息。

该系统将所有现场设备与模块公司的现场实际图形控制站结合起来，以中文界面提供给操作者。这些包括精确跟踪设备的全球定位系统（GPS），例如动态汽车路线和工作的电铲挖掘位置等。所有计算机的屏幕显示也是中文的。

#### 2.1.2 Dispatch 系统配置

（1）中央计算机系统。负责接发、储存、处理各种数据。考虑到系统的安全性和可靠性，采用双机互为备份工作方式。

（2）山顶调度控制塔位于采场露天矿现场的170工业场地，供采场现场调度人员通过 Dispatch 系统发布调度指令、监控设备作业。

（3）无线数据网络系统包括中继站设备、发射/接收天线、车载接收装置等。其中主天线位于西源岭最高点，使其能有效地覆盖整个露天矿的范

围。在东西2个破碎站均安装该系统，用于对进出卡车及破碎站作业的监控、调度。

（4）边坡监测系统。仅在南北山已形成的最终边坡的关键部位各设一处监测点，在获得边坡监测的经验后，再考虑对其他位置进行监测。

（5）位于露天坑及排土场外的 GPS 基准站，作为钻机、电铲、卡车等移动动态 GPS 接收器的参考点。

（6）车载计算机安装在电铲、卡车、钻机等设备上，它是 Dispatch 系统的重要组成部分。另外，钻机采用高精度的 GPS 的定位系统。

#### 2.1.3 系统组成

（1）采矿生产管理控制的实时分布式中央计算机系统，采用 SUN 公司的 UNIX 多任务分布式操作系统。UNIX 系统中的各处理程序可共享系统中信息，可使多个操作员同时对复杂的计算机系统进行访问。

（2）移动式车载计算机系统，用于实时、多任务、分布式计算，采集生产设备运行情况及监控信息，实时地将信息传递给中央计算机和设备司机。该公司生产的车载计算机系统主要有两个部件：图像显示/触摸屏输入控制盘和移动式计算机，均有32位微处理器组成。系统有无线调制解调器、数字和模拟输入/输出口、扩展环型局部口等。

（3）无线数据网络通讯系统，它在中央计算机及车载计算机之间提供可靠的无线数据通讯。

（4）GPS 定位系统，跟踪卡车、钻机、电铲及辅助设备的位置。通过无线数据网络通讯系统送至中央计算机。

（5）软件系统，采用自顶向下的设计原则，系统可添加相应的软硬件来集成，以适应采矿业的各种需要。

#### 2.1.4 主要原理

GPS 系统实时地跟踪设备的运行位置，车载计算机实时收集相关信息，通过无线数据传输到中央计算机，计算机经过监测、优化程序处理，及时动态地向有关设备人员发送信息和各种调度指令。

#### 2.1.5 优化算法

（1）最佳路径：根据矿山地形，计算出矿山道路网中的任意一对位置之间的最短路径，并为线性规划提供如下信息：①各条运输路线的总距离；②每条运输线路上的估算时间；③卡车应通过的时间位置和调度点。

(2) 线性规划：利用最短路径中运行时间和优化路径与目前作业配置相关信息，建立约束条件，然后计算出优化的道路运输流量，从而对给定的作业任务达到最小的运输时间。

(3) 动态规划：根据请求从卸载点到电铲的任务分派的卡车及其目前的运行时间和距离，生成一个优化的卡车任务分派表。其目标就是把需要的道路运输流量与要求分派任务的卡车最佳地匹配起来。

#### 2.1.6 数据库

Dispatch 数据库根据采集到的数据，能够生成面向对象的各种数据库，存储系统收集的信息，并根据实际需要随时访问。这些数据库分三类：作业点数据库、班组数据库和汇总数据库。另外该系统中的界面软件还可生成一种属于自己的常规数据库。

#### 2.1.7 网络

(1) 中央计算机系统网络。SUN 工作站有集成的工作标准以大网，采用 Internet 协议。Dispatch 在传输层使用远程过程调用 RPC，使不同网络的集成变得更加容易。只要工作站连接于中央计算机网络，在远程的车载计算机上运行的程序可以调用任一工作站中的函数。

(2) 车载计算机网环。为处理与近距离安装的不同处理器的局域通讯，车载计算机有同步数据链路网环，这个环可扩展到 254 个智能装置，使得每个装置的信息能传送到中央计算机。

#### 2.1.8 Dispatch 的主要子系统

(1) 卡车调度系统，是 Dispatch 中的主系统，也是最基本的系统。

(2) 钻机穿孔管理系统，包括车载计算机系统、传感器、操作接口面板等。系统自动连续地采集各钻机的有关数据。钻机系统采集的数据不仅对钻孔作业至关重要，而且对爆破作业、电铲装载及破碎都有影响。对钻机钻进速度进行监控可提高生产率，减少钻孔作业时间。钻机的高精度 GPS 系统可以用于计算机辅助钻孔的定位。

(3) GPS 系统定位，Dispatch 系统利用全球卫星定位系统进行定位。GPS 提供时间和空间的信息，目前其精度可达 1m~5m 以内，还有精确到厘米级的高精度系统。普通精度系统可满足卡车、辅助设备定位及跟踪定位。

(4) 边坡监测系统，这是一套基于无线数据通

金属露天矿山汽车自动调度系统及其应用

讯的系统。它能连续地采集边坡位移数据，并传输至远在采场办公室内的计算机显示存储和运算处理。根据数据可得各处的边坡稳定情况，并能及时所警。

(5) 配矿系统，该系统不仅能提高采矿生产过程中的设备效率，而且能满足配矿要求，做到按要求的给矿量、配矿的控制量和品位的上、下限等，实现选厂稳定生产。

(6) 生产、设备管理系统，该系统能记录每一台设备作业的运行时间，记录全部作业情况。

(7) 设备故障监控报警。现有大型设备制造厂家，对设备重要部位的重要参数都有监控、报警功能。该系统可通过无线通讯与中央计算机联起来，对设备实时监控并及时通知有关人员进行维修处理。

(8) 模拟系统，该系统可让矿山管理人员在作业前先进行模拟测试，它是非常有用的工具，该系统将向虚拟采矿技术方向发展。

露天矿汽车调度可分为几个阶段，从最低级的班前安排固定配车到目前的基于全球定位系统全面优化的计算机自动调度系统。该系统将调度方法分为 4 级，最低等级是固定配车法，次一级的是人工调度，第三级具有实时报表的 PMCS 1000 系统，采用该系统时，可通过监控用的计算机键盘或无线电话进行重新调配汽车，用数据无线电系统提供电铲/汽车状态和矿山的生产指标。所用的软件模块为 Monitor (监控) 和 Mis (管理信息系统)，第四级为 PMCS 2000 和 3000 自动调度系统，PMCS 2000 采集的信息和 PMCS 1000 相同，但它还能自动计算最佳调度方案，获得汽车/电铲的最大生产能力，以及显示破碎前的矿石品位或配矿数据，以便班长通过监控计算机人工加以调整。PMCS 2000 的软件除了 Monitor 和 Mis 模块外，还有 Dispatch (调度) 2000 模块。PMCS 3000 和 PMCS 2000 一样，也以最大生产能力为目标进行调度，但它还能自动对破碎前矿石的品位进行控制，除了以上三个模块外，该系统还有一个 Planing/Simulation (计划/模拟) 模块，矿山管理人员可以按照一系列的生产约束模拟生产计划。

该系统主要包括①车载数据终端 (MDT)，它是安装在汽车或电铲上面，用来采集位置、装卸量及作业数据，并向司机显示调度指令和其它信息。②完善的无线电数据通讯链路，包括基地通讯控制

器、中继站和与 MDT 配合用的数据无线电台。<sup>③</sup> 早期的位置信标，安装在运输系统中关键部位，如装、卸点与道路的交叉点。由微处理器及低功率超高频信号发射机组成，经防震、密封处理后安装在无缝钢管中，配有电源（交流或太阳能）与发射天线。每个位置编码调制在超高频信号向外发射。调整发射功率，可使信号覆盖范围在 50~100m。现在采用 GPS，跟踪汽车在矿山范围内运行。<sup>④</sup> PMCS 调度系统的硬件和软件系统，用来处理、显示和存储数据、生成报表和自动生成最优调度指令，并完成生产计划和模拟作业。PMCS 系统一般是无人操作的，班长或其它管理人员可随时进行查询。如果采用该公司的另一项发明——汽车调度终端，PMCS 2000 和 3000 系统在某些场合也可不用专职调度员。

该系统的数据库是很重要的软件模块之一，它的最新版本具有全面开放的结构，支持 Oracle 和微软的 SQL 数据库系统，不需要特定的格式编程，用户可使用如 Crystal 报表或 Access 数据库生成任意报表，该系统可与所有的卡特彼勒车辆上的 Vims（车辆信息管理系统）系统集成。

如该系统用于吉尔吉斯斯坦卡梅科（cameco）公司的 Kumtor 矿。该矿主要设备：24 台 Cat 777B 型汽车，4 台 O&K RH 120C 电铲和 4 台 992C 装载机。该矿自 1997 年运行该系统后，生产能力提高 15%。

### 3 水厂铁矿研制基于 GPS 的汽车自动调度系统的 基本框架

#### 3.1 概 况

水厂铁矿目前有南北两个采场，年产矿石 1100 万 t，采剥总量为 4800 万 t。到 2002 年年底，将建成 3 套间断连续运输系统。现有主要设备如下：牙轮钻机 45R 5 台，YZ55 9 台；电铲 10m<sup>3</sup> 10 台；汽车 548A 42t 5 台，3311E 85t 5 台，325M 77t 40 台；60 “×89” 固定破碎机 1 台。还将新增 3314B 118t 汽车 15 台，60 “×89”、54 “×74” 可移式破碎机各 1 台。

#### 3.2 系统硬件构成

（1）车载智能终端，由通讯天线、GPS 天线、电台、主机等组成，安装在汽车或电铲上。主要功能为采集车铲的位置、状态等信息并发送到调度中心，还能接收调度中心传过来的指令信息并提示司机。采用触摸键盘和显示屏显示方式，将其密

封，严格加工以满足露天矿抗震、防尘的需要。每台车载智能终端大约 3000 元。

（2）通讯和差分系统，由通讯天线、GPS 天线、电台、差分基站、主机等部分组成。安装在调度中心及相应的通讯塔上，实现调度中心与车载智能终端的信息收发、差分数据的解答、坐标变换等处理。

（3）调度中心，由微机组成的局域网，实时采集信息处理、车铲状态识别，优化调度指令的产生和发送、查询统计、报表输出等。

（4）电子地图，显示露天矿采场、各采掘工作面及运输道路系统、地面生产系统的图形、采运设备作业状态以及位置、有关参数及指标等信息，实现系统对采运设备的实时跟踪、监测。

#### 3.3 系统软件构成

（1）智能终端处理软件，安装在智能终端上，实现现场数据采集、输入、显示、数据分析、通讯等功能。

（2）通讯和差分软件，安装在通讯和差分系统主机上，实现信息收发、差分处理、坐标变换等。

（3）数据采集及指令发送软件，对车、铲等设备信息采集和调度指令信息发送。

（4）优化调度软件，根据车、铲当前位置、状态及矿山当前的实际情况，采用实时优化调度准则，产生优化调度指令，指挥车队优化运行。

（5）电子地图显示软件。

#### 4 经济效益和在我国的应用前景

国外露天矿和我国德兴铜矿实践充分证明：该系统是提高矿山生产能力、节省投资和运输成本、强化生产管理的一种非常成功的先进技术，一般来讲，生产能力可提高 7%~13%。随着计算机、通讯、GPS 等技术的飞速发展及硬件产品价格的大幅度下降，将有越来越多的大型露天矿将研制适合于我国的汽车自动调度系统，在我国矿山具有广阔的应用前景。

（收稿日期：2002 年 10 月 23 日）

〔作者简介〕 李军才 高级工程师 北京科技大学博士研究生 主要从事于矿业系统工程 岩土工程 采矿工程的技术研究工作

蔡美峰 北京科技大学土木与环境工程学院院长 教授 博士生导师