

# ZJC3C-S Type of Major Disaster Emergency Mine Rescue Command Decision Support System

Li Wang, Zichun Wang

<sup>1</sup>Shenyang Branch of China Coal Research Institute, Fushun, Liao Ning, China

<sup>2</sup>Chromatography Department of Shanghai Computing Technology Research Institute

Email: 19761808@163.com, wang\_zc@163.com

**Abstract:** This paper introduces the composition and principle of ZJC3C-S-type major disaster emergency mine rescue command decision support system. The system has played a key role in mine rescue, called mine rescue command aircraft carrier, seismic vehicle design, suitable for field rescue. The system combines coal mine beam tube monitoring system (gas data analysis), industrial television monitoring system (video signal), rescue communication system (audio signal) and flameproof and intrinsically safe multi-power system (intrinsically safe power supply) and many other high-tech integrated system, which not only integrate the quadruple networks, but also resolve a series of installation, commissioning and technical problems. System meets the requirements of "Coal Mine Safety Regulations" and "Mine Rescue Procedures", by optimizing the combination, the system reached international advanced level, and fill in the blank in mine rescue applications field.

**Keywords:** disaster; rescue command; decision support; gas chromatography; beam tube monitoring; expert system

## ZJC3C-S 型矿井重大灾害应急救援指挥辅助决策系统

王 理<sup>1</sup>, 王子春<sup>2</sup>

<sup>1</sup>煤炭科学研究总院沈阳研究院救援系统部, 辽宁 抚顺 113122

<sup>2</sup>上海市计算技术研究所色谱仪事业部, 上海, 200040

Email: <sup>1</sup>19761808@163.com, <sup>2</sup>wang\_zc@163.com

**摘要:** 文章介绍了 ZJC3C-S 型矿井重大灾害应急救援指挥辅助决策系统的组成及原理, 系统已被打造成矿山救援指挥装备的航空母舰, 抗震车载设计, 适合救援现场使用。系统是一种集煤矿束管监测系统(气体分析数据)、工业电视监视系统(视频信号)、救灾通信系统(音频信号)及隔爆兼本质安全型多路电源系统(本质安全型供电电源)等多项高新技术于一体的综合集成式系统, 实现了四网合一, 并解决了一系列安装、调试的技术难题。系统符合《煤矿安全规程》及《矿山救护规程》的要求, 通过优化组合, 使系统达到国际先进水平, 填补矿山救援领域中应用的空白。

**关键词:** 重大灾害; 救援指挥; 辅助决策; 束管监测; 专家系统; 气相色谱

### 1 引言

针对我国发生灾害矿井应急救援技术现状及存在的问题, 矿井重大事故指挥决策系统性不强、无法适应灾后应急救援的技术难题, 研制矿井重大瓦斯、火灾等灾害事故快速反应的 ZJC3C-S 型矿井重大灾害应急救援指挥辅助决策系统; 通过系统的综合技术装备及智能化专家软件既矿井可燃混合气体爆炸危险性判别及矿井火灾危险程度判别等, 达到快速分析矿井重大瓦斯、

火灾事故演化特点及趋势变化规律, 并通过有效的井下无线通信和人员定位等手段实现快速指挥救援。因为, 科学的决策对抢险救援工作意义重大, 是事故救援工作成败的关键。井下灾害救援作业的环境复杂, 重大灾害事故发生后, 如何科学决策、安全、迅速、有效地抢救人员、保护设备、控制和缩小事故影响范围及其危害程度, 将事故造成的人员伤亡和财产损失降低到最低限度, 是抢险救援工作的首要任务。系统满足

《煤矿安全规程》及《矿山救护规程》地要求。

## 2 系统构成

根据《煤矿安全规程》及《矿山救护规程》的要求，ZJC3C-S 型矿井重大灾害应急救援指挥辅助决策系统已被打造成矿山救援指挥装备的航空母舰，抗震车载设计，适合救援现场使用。一般将面包车分成前后两个舱室，一个作为监测指挥室，主要完成连续监测、救灾通讯、灾害现场监视等功能，并将灾区有毒、有害气体变化情况 & 爆炸危险性判别等信息及时提供给抢救指挥部；另一个作为会议装备室，主要用作抢救方案制定、应急措施执行、向救援指挥中心汇报工作等，并备有必要的救护装备和器材；系统是一种集煤矿束管监测系统（气体分析数据）、工业电视监视系统（视频信号）、救灾通信系统（音频信号）及隔爆兼本质安全型多路电源系统（本质安全型供电电源）等多项高新技术于一体的综合集成式系统，实现了四网合一，并解决了一系列安装、调试的技术难题。系统集 1.救援现场灾害气体实时监测技术；2.火灾与爆炸危险性专家软件判别技术；3.多功能救灾专用管缆技术；4.多功能救灾专用管缆连接技术；5.灾区图象实时监视技术；6.抢险救灾指挥通讯技术等功于一体的矿山救援指挥系统，既移动式矿山救护基地。系统设计合理、技术先进、自动化程度高、功能齐全。具有“机动灵活、反应迅速”的特点，既能集成使用，又可各单元独立使用，为促进煤矿安全生产、防止灾害发生后灾情的进一步扩大，减少灾害损失，确保救灾人员安全，具有显著的经济效益和社会效益，有广阔的应用前景。ZJC3C-S 型车载矿山应急救援指挥辅助决策系统采用新一代矿井可燃气体爆炸危险性 & 火灾危险程度的智能判别技术、气相色谱仪分析硫化物技术、无线网络等先进技术，将灾区现场的图像、声音、有毒、有害气体变化情况 & 爆炸危险性的智能判别等信息上传给救援指挥中心，可实现电视电话会议功能。

### 2.1 ZS30-S 型煤矿束管监测系统主要技术指标

1. 监测气体组份： $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{SF}_6$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$  等；2. 最小检测浓度：微量分析  $\leq 1 \times 10^{-6}$  (ppm)，常量分析  $\leq 0.01\%$ ；3. 具有对矿井可燃气体爆炸危险性 & 火灾危险程度的智能判别功能；并计算格雷厄姆系数、乙烯/乙烷、乙烷/甲烷；4. 对分析结果进行处理后，能够自动绘出动态爆炸三角形，并显示、打印数据报表；5. 监测点数：0~8 点、12 点、16 点、20 点、24 点、28 点、32 点、36

点、40 点；6. 监测距离： $\leq 15\text{Km}$ ；7. 色谱仪全组份分析时间  $\leq 6$  分钟；8. 开机稳定时间、关机时间  $\leq 40$  分钟；9. 可实现束管监测系统的联网；10. 交流供电电源： $220\text{V AC} \pm 10\%$  3KVA 50Hz；可自带车载发电机发电。

### 2.2 矿井救灾通信系统

主要包括通信主机、通信付机、通信手机等设备。可实现井上指挥部、井下指挥部和灾区救护队员三方相互之间的自由通话，并设有通信导线断线和短路报警功能，是一种理想的矿井救灾通信系统。

### 2.3 低照度矿用工业电视系统

主要包括低照度本安光纤摄像机、光端机、视频服务器、无线网络装置等设备组成。系统可动态监视灾害现场情况，实时显示和保存救灾现场的有关信息；并采用新一代无线网络技术，将灾区现场的图像、声音、气体变化情况 & 爆炸危险性智能判别等信息上传给应急救援指挥中心，可实现电视电话会议功能。

### 2.4 矿井人员定位系统

主要包括主机、数据传输接口、分站、读卡器、人员识别卡及系统监测软件等组成。地面中心站计算机通过数据接口与井下矿用分站连接获取数据。同时，中心站计算机又与地面数据库、各职能部门计算机终端等通过地面以太网连接，构成一套完整的煤矿人员管理系统，完成各种人员数据查询及报警功能。

## 3 分析系统特点

气相色谱分析法是煤矿气体分析的主要方法之一。依据《煤矿安全规程》和《矿山救护规程》的要求，分析的主要气体有  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{SF}_6$  等。但是，现有煤矿用气相色谱仪若要对硫化物进行分析必需采取双气相色谱仪结构，该方法用两台气相色谱仪并联，操作复杂、使用不便；因此研制一种能够同时分析常见灾害气体和硫化物的色谱分析仪是非常重要的，为此设计了一种适合煤矿灾害气体分析的煤矿专用气相色谱仪，可同时分析煤矿各种灾害气体，其配套的 ZS30-S 煤矿束管监测系统软件可根据分析的结果，预测预报煤矿火灾危险程度及爆炸危险性。

### 3.1 气相色谱仪气路流程和分析方法描述

图 1 为气相色谱仪分析系统阀路配置及气路流程图。系统配置 3 个六通阀和一个十通阀，可实现气体切换和常量、微量组份时空分配，使操作按预定程序进行。气体经十通阀（阀 3），由预柱分离，使  $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$  等气体从进样

口进入柱 1，重于  $C_4$  的烃类通过切换阀 3 反吹至出口 1。 $CH_4$  及在柱 1 上分离出的组分  $H_2$ 、 $O_2$ 、 $N_2$ 、 $CO$  进入柱 2 后，当  $CO_2$  等组份尚未进入柱 2 时，切换阀 2 到“ON”位置（图中为“OFF”），使  $H_2$ 、 $O_2$ 、 $N_2$ 、 $CH_4$ 、 $CO$  隔离在柱 2，同时  $CO_2$ 、 $C_2H_4$ 、 $C_2H_6$ 、 $C_2H_2$  在柱 1 上分

离，由 FID 检测；等  $C_2H_2$  出峰后，切换阀 2 到“OFF”，使  $H_2$ 、 $O_2$ 、 $N_2$ 、 $CH_4$ 、 $CO$  在柱 2 上分离， $H_2$ 、 $O_2$ 、 $N_2$  由 TCD 检测， $CH_4$ 、 $CO$  由 FID 检测。在分析常规气体的同时，另一路样品通过阀 4 进样，使硫化物  $H_2S$ 、 $SO_2$ 、 $SF_6$  在柱 3 上分离，经过 FPD 检测，确定其含量。

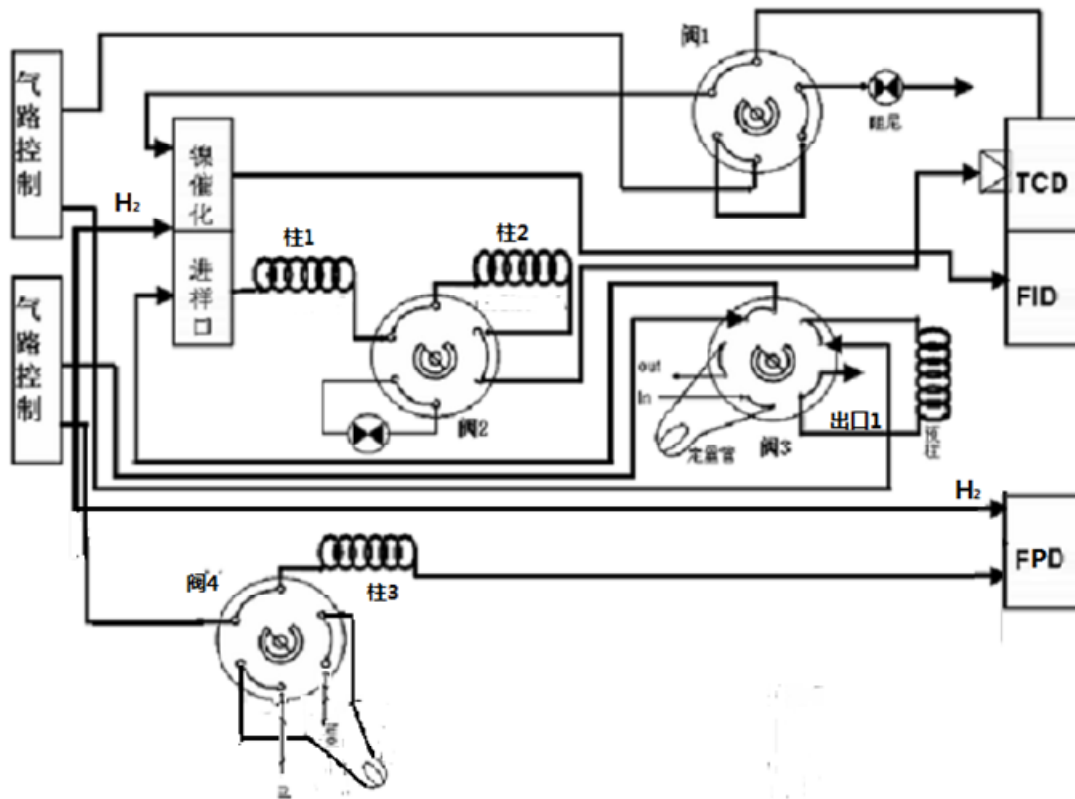


Figure 1. Diagram of Gas Chromatography Analysis System and Gas Flow Chart  
图 1. 气相色谱仪分析系统阀路配置及气路流程图

### 3.2 柱箱的选择

柱箱温度是影响分离的最重要的因素，分离过程受温度的影响将表现为：保留时间不稳定、柱效变化、分离度变化等，最终直接影响分析测试的准确性和重现性。因此对柱箱温度参数的设计必须注意柱箱内温度的变化产生的影响。

气相色谱仪中柱箱分为单柱箱和双柱箱。单柱箱的控温条件要求相比双柱箱要高出很多，但是一旦遇到较为复杂的样品，需要通过温度的调节来分离样品的时候，则显得有些力不从心，并且在分析井下有害气体时是将色谱柱串联在一起，增加了分析的时间。本设计采用双柱箱，将不同类型的色谱柱分别安装在两个柱箱里，对柱箱分别控制温度，使硫化物和碳氢化合物的分析在合适的条件下进行，使得样品能够被

完全快速的分离出来。

### 3.3 色谱柱的选择

色谱柱主要有不锈钢填充柱与毛细管柱两大类，毛细管柱与填充柱相比，具有通用性强，灵敏度高，渗透性大，柱效高，分析速度快，可用长柱等优点，有利于提高色谱分离能力，加快分析速度。

煤矿专用气相色谱仪主要分析的气体是  $H_2$ 、 $O_2$ 、 $N_2$ 、 $CH_4$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ 、 $C_2H_4$ 、 $C_2H_6$ 、 $C_2H_2$ 、 $H_2S$ 、 $SO_2$ 、 $SF_6$  等。采用毛细管柱：5A 分子筛柱用于分离  $H_2$ 、 $O_2$ 、 $N_2$ 、 $CH_4$ 、 $CO$ ，PLOT U 柱可分离  $CO_2$ 、 $C_2H_4$ 、 $C_2H_6$ 、 $C_2H_2$ ，对于硫化物采用 GS-GasPro 色谱柱进行分离  $H_2S$ 、 $SO_2$ 、 $SF_6$ ；对于柱长、内径以及膜厚的选择可根据实际需要选择。

## 4 智能化专家系统软件特点

智能化专家系统软件，能连续监测、直观显示煤矿可燃混合气体爆炸危险性判别及矿井火灾危险程度判别等信息。如图 2 所示，每一次采集、分析完成后，根据各种气体的组成成分的不同，动态绘制爆炸三角形图，爆炸三角形图在每一次采集时都不一样，都是动态绘制完成的。图中红色区域为爆炸危险区，黄色区域为增风危险区，绿色区域为安全区，深绿色区域为减风危险区。可燃混合气体爆炸危险性区域又分为 100% 危险区域、75% 危险区域、50% 危险区域、小于 50% 危险区域，综合使用以上 8 种区或区域及分析数据，通过分析矿井可燃气体的组份构成及比例，可以界定

其爆炸危险性；同时也可以对火灾的发生发展态势或熄灭程度做出初步的预测，火灾危险程度根据煤的敷存条件及种类的不同可划分为 7~9 种状态，其中指标气体 CO、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 及格雷厄姆系数、乙烯/乙烷、乙烷/甲烷等，由于煤的敷存条件及种类等种种原因影响，在 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 与 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 之间存在特定指标气体或参数；对于指导矿井救灾工作及防治火灾而言，特别是对于控制瓦斯爆炸灾害的二次发生及火灾性气体的危险性判别，保障井下作业人员及救护队员的生命安全，具有十分重要的意义。

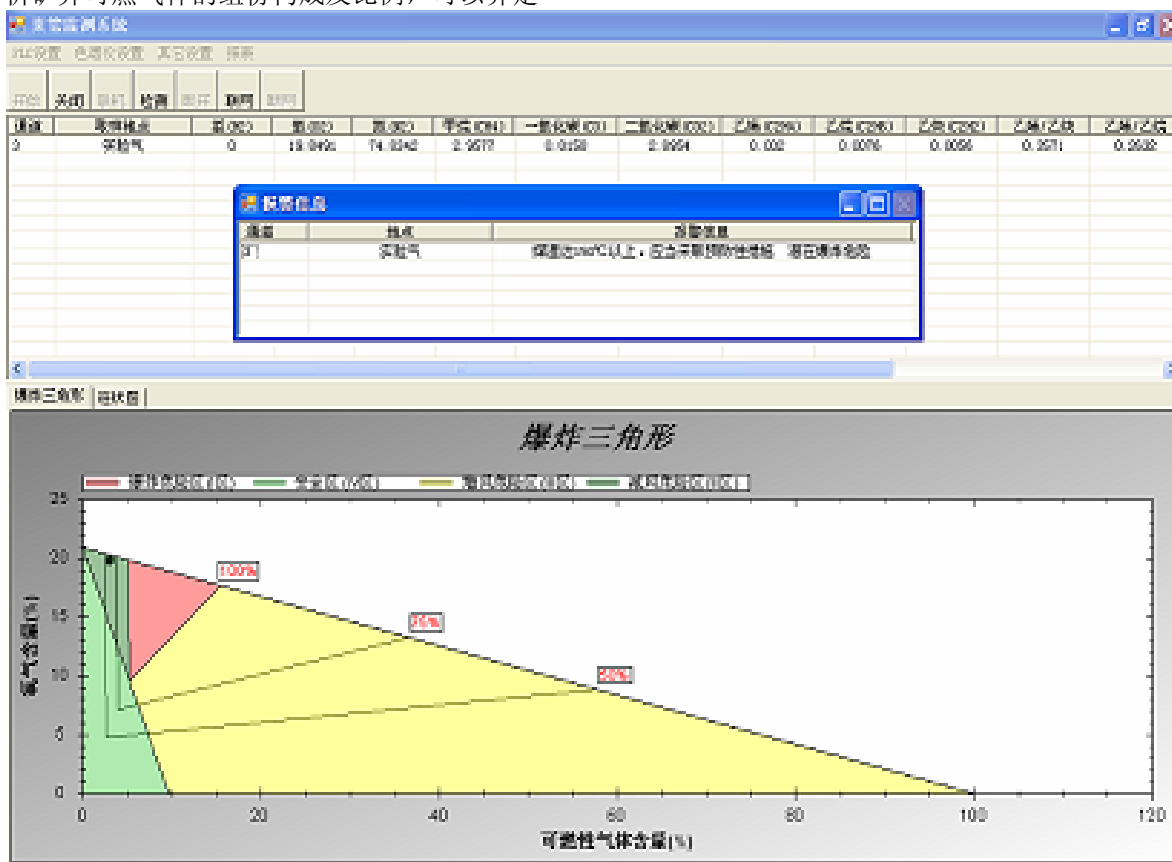


Figure 2. Mine flammable gas mixture explosion risk and fire hazard degree Discrimination (dynamic explosion triangle)  
 图 2. 矿井可燃混合气体爆炸危险性判别及火灾危险程度判别(动态爆炸三角形图)

智能化专家系统软件主要包括矿井可燃混合气体爆炸危险性判别技术及矿井火灾危险程度判别技术，并具有以下特点:1.方便灵活的气样采集控制定义:软件可以方便的定义气体取气路数和延时，可以调整控制电磁阀的启动顺序。2.动态爆炸三角形显示:每一次采集完成，根据各种气体的组成成分,动态绘制爆炸三角形图，爆炸三角形图在每一次采集时都不一样，都是动态绘制完成的。3.采集数据的统计分析报表和采

样气体变化趋势功能:分类显示各种气体在每一次采集的比例值，根据一段时间内的采集值绘制某种气体的变化趋势，并且可以做到多个气体组分的同屏分析。4.系统采用了 MD5 加密算法对重要数据进行了安全处理，利用该特性，系统可以对系统采集的数据的合法性进行签名认证。5.曲线区以曲线的方式直观显示各个监测点的发火危险程度和爆炸危险程度。6.矿井可燃气体的爆炸危险性、火灾危险程度的智能判别。

## 5 结论

1. 系统可广泛应用于煤矿、石油、化工、天然气等有毒、有害及有爆炸危险性场所，在抢险救援中使用。

2. 系统设计合理、技术先进、自动化成度高、运行安全可靠，具有“机动灵活、反应迅速”的特点，既能集成使用，又可各单元独立使用。

3. 系统采用毛细管色谱柱作为分离主体并结合双柱箱的优点，相比目前国内矿用气相色谱仪来说不仅提高了气相色谱仪分析速度以及分析精度，而且比进口气相色谱仪降低了成本，满足《煤矿安全规程》及《矿山救护规程》地要求。

4. 智能化专家系统软件能连续监测、直观显示煤矿可燃混合气体爆炸危险性判别及矿井火灾危险程度判别等信息。

5. 系统利用动态绘制的爆炸三角形，来判定矿井可燃气体的爆炸性；根据矿井煤的贮存条件及种类和采样气体的组份比例来确定火灾的危险程度。

6. 当灾害发生时，系统能迅速赶到灾害现场进行连续监测，并对灾区的有毒、有害气体进行分析及爆炸危险性的智能判别，是一种理想的矿山应急救援指挥装备。

## References (参考文献)

[1] Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Gas Chromatography, Beijing: Science Press, 1972  
中国科学院大连化学物理研究所，气相色谱法，北京：科学出版社，1972

[2] Wu Caiying etc. Modern Technology and Capillary Gas Chromatography, Wuhan: Wuhan University Press, 1990  
吴采樱等，现代毛细管技术与气相色谱法，武汉：武汉大学出版社，1990

[3] Wu Liejun, Gas Chromatography Method, Beijing: Chemical Industry Press, 2005  
吴烈钧，气相色谱检测方法，北京：化学工业出版社，2005

[4] Wang Li, Development of ZJC Series Vehicle-mounted Mine Rescue Command System, China (Huainan) International Conference on Coal Mine Gas Control Technology Proceedings, 2007,9  
王理, ZJC 系列车载矿山救灾指挥系统研制, 中国(淮南)煤矿瓦斯治理技术国际会议论文集, 2007, 9

[5] WANG Li, WANG Zichun, Major Disasters Mine Emergency Rescue Command Decision Support System, China Occupational Safety and Health Association Annual Conference Proceedings, 2009,11  
王理, 王子春, 矿井重大灾害应急救援指挥辅助决策系统, 中国职业安全健康协会学术年会论文集, 2009,11

[6] Wang Li, Vehicle-mounted Mine Emergency Rescue Command Decision Support System Development, Disaster Prevention and Control of Coal Mine Gas International Symposium, 2009,5  
王理, 车载矿山应急救援指挥辅助决策指挥系统研制, 煤矿瓦斯灾害预防与控制国际研讨会论文集, 2009, 5

[7] Wang Li, ZJC-1C-type Vehicle-Mounted Beam Pipe Monitoring System for Mine Rescue in the Baoxing Coal Mine "1·11" gas explosion treatment, prevention and control in coal-gas Labor Association Annual Meeting and Special Committees of Academic Exchange Papers set 2004,10  
王理, ZJC-1C 型车载矿山救灾束管监测系统在宝兴煤矿“1·11”瓦斯爆炸事故处理中的应用, 中煤劳保学会瓦斯防治专委会年会暨学术交流会议论文集, 2004, 10

[8] Yang Hongmin, Luo Haizhu, etc. A New Coal Mine Disasters Gas Analysis Solutions, Safety Coal Mines, 2006,5  
杨宏民, 罗海珠等, 一种全新的煤矿灾害气体分析解决方案, 煤矿安全, 2006, 5

[9] Luo Haizhu, Qian Guoyin, the Coal Spontaneous Combustion Index of Indicator Gas Research, Safety Coal Mines, 2003, z1  
罗海珠, 钱国胤, 各煤种自然发火标志气体指标研究, 煤矿安全, 2003, z1