

文章编号:0253-9993(2010)01-0061-05

基于 Multi-agent 的煤矿虚拟环境体系建模

蔡林沁,罗志勇,王 颀,王 平

(重庆邮电大学 网络化控制与智能仪器仪表教育部重点实验室,重庆 400065)

摘 要:基于 Multi-agent 技术,研究了煤矿虚拟环境的体系结构建模方法,提出了 Multi-agent 煤矿虚拟环境的层次化体系模型及其形式化描述。该模型由硬件、网络及操作系统层、几何物理层、Multi-agent 层和人机界面层组成。同时,设计了具有感知、运动、行为、认知及内部属性的虚拟矿工 Agent 模型,采用面向对象技术,实现了虚拟矿工 Agent 的开发,构建了用于井下安全检查行为仿真的虚拟环境系统,实现了虚拟环境的交互式控制及井下安全行为仿真。

关键词:Multi-agent;煤矿虚拟环境;虚拟矿工;行为仿真

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**A

Modeling coalmine virtual environment architecture based on Multi-agent

CAI Lin-qin, LUO Zhi-yong, WANG Ting, WANG Ping

(Key Laboratory of Network Control & Intelligent Instrument, Ministry of Education, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Based on Multi-agent technology, the modeling methodology of Coalmine Virtual Environment (CMVE) was investigated and a Multi-agent based hierarchical architecture model was presented. The proposed model for CMVE consists of hardware, network and operating system layer, geometric and physical layer, Multi-agent layer and man-machine interface layer. In addition, a virtual miner agent model with the ability of perception, behavior, cognition and internal attributes was designed and implemented by using object-oriented programming, and a Multi-agent based CMVE system for underground mine safety was also developed, which achieved interactive control of virtual environment and behavioral simulation of mine safety.

Key words: Multi-agent; coalmine virtual environment; virtual miner; behavior simulation

煤炭开采环境是典型的复杂时变系统,加之井下严峻的半封闭式作业空间,致使许多传统技术的应用受到严重制约,甚至无能为力。虚拟环境技术的发展为深入研究煤矿生产复杂系统提供了全新方法^[1]。目前该技术已在矿井虚拟设计^[2]、采矿作业模拟与虚拟安全培训^[3-4]、井下风险评估^[5]、矿井灾害事故模拟^[6]等方面得到具体应用。

目前国内外煤矿虚拟环境技术的研究总体上仍然处于初级阶段,还缺乏系统的建模理论与方法,特别是该技术目前在国内研究更多着重于虚拟环境的几何表达,以创造沉浸感^[7-11]。

本文将基于 Multi-agent 技术,研究煤矿虚拟环境

体系模型的构建方法,建立具有良好智能性、可重构性、可重用性、可扩展性等特点的煤矿虚拟环境体系模型,为系统地研究煤矿虚拟环境提供新思路。

1 基于 Multi-agent 的煤矿虚拟环境体系建模

1.1 煤矿虚拟环境体系结构

基于当前虚拟环境技术在煤矿中的应用现状、虚拟环境中 Multi-agent 技术建模方法相关研究^[12-14],本文提出了基于 Multi-agent 的煤矿虚拟环境 (Coalmine Virtual Environment, CMVE) 体系模型,如图 1 所示。该模型自下而上分别由“硬件、网络及操作系统层”、“几何物理层”、“Multi-agent 层”和“人

机界面层”组成。

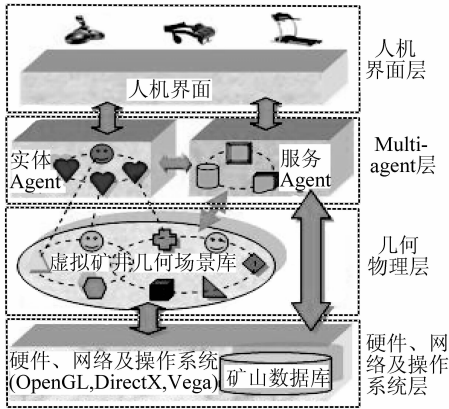


图1 基于 Multi-agent 的井下虚拟环境体系模型

Fig. 1 Multi-agent based architecture model of CMVE

“硬件、网络及操作系统层”包括虚拟矿井几何绘制与渲染的图形子系统(如图形加速卡等硬件, OpenGL、DirectX、Vega 等软件开发库)、分布式网络通信、操作系统及矿山数据库,提供了系统运行的底层支撑。矿山数据库主要存储虚拟环境所需的地质、测量、水文、三量数据等基础数据。“几何物理层”实现虚拟矿井场景数据管理,使得其几何体结构化,同时方便系统实现绘制及渲染时的优化。该层中也包含了碰撞检测等物理属性的计算及基于场景的事件管理。“人机界面层”是用户与虚拟环境的交互接口,用户通过其化身(Avatar)与其他 Agent 进行交互。

“Multi-agent 层”包括实体 Agent 和服务 Agent。实体 Agent 给虚拟环境中具有几何外形的实体赋予了特定的语义和行为规则。每个实体 Agent 与场景中的惟一实体对应,从而具有外形。服务 Agent 没有特定外形,基本功能是提供系统服务,主要分为 3 类:第 1 类是用于封装网络支撑层中的通信服务 Agent,其目的是为了在多 Agent 框架中使用支撑层提供的通信能力,如分布式仿真高级体系结构(HLA)功能;第 2 类服务 Agent 是提供虚拟环境语义相关的信息服务 Agent,主要为虚拟环境中智能行为提供所需的信息与知识;第 3 类服务 Agent 主要提供与具体应用相关的应用服务。服务 Agent 不仅与实体 Agent 交互,而且也与几何物理层作用。其中,信息服务 Agent 负责将实体 Agent 传来的命令翻译成“几何物理层”具体实体的状态变化,同时将“几何物理层”中的状态变化转为有意义的知识表示,传递给实体 Agent 进行决策。该层中各 Agent 都有自己的控制机制、知识库,以及与其他 Agent 间的交互接口。通信协议提供了 Agent 的通信机制,协议中定义了 Agent 间共享信

息的类型及相互作用方法。所有 Agent 通讯协议构成了多 Agent 间的协调机制。

基于 Multi-agent 的分层体系,结构清晰,模块化好,充分体现了虚拟环境的智能性、可重用性、可重构性、可扩展性、互操作性等特点,有利于应用系统的开发、维护与扩展。

1.2 形式化定义

为了更加清晰地表达基于 Multi-agent 的煤矿虚拟环境的体系模型,更准确地描述虚拟环境中 Agent 及其行为,以下进一步定义煤矿虚拟环境及其 Agent 的形式化模型。

定义 1 煤矿虚拟环境。从 Multi-agent 角度,煤矿虚拟环境(CMVE)定义为 1 个三元组: $CMVE ::= \langle CEnvironment, Agents, EAInteractions \rangle$, 其中, CEnvironment 为 Agent 存在、活动和交互的空间,是表征煤矿特性的全局知识,包括井下采掘工作面布置、巷道布局等几何环境知识及通风、瓦斯、地质等自然物理环境知识;Agents 为虚拟环境中所有 Agent 及其通信关系集合;EAInteractions 表现了 Agent 与环境的交互关系。

定义 2 Agents。Agents 是虚拟环境中所有 AGENT 及其通信所构成的多 Agent 系统(MAS),定义为二元组: $Agents ::= \langle AGENT, COMMUNICATIONS \rangle$, 其中, AGENT 为所有 Agent 集合,包括服务 Agent 集合(SeviceAgents)和实体 Agent 集合(EntityAgents);COMMUNICATIONS 为 AGENT 间的通信关系集。

定义 3 AGENT。AGENT 是所有 Agent 集合,定义: $AGENT = \{ Agent_i | i = 1, 2, \dots, n; (Agent_i \in SeviceAgents) \text{ or } (Agent_i \in EntityAgents) \}$, 其中, 服务 Agent 包括通信服务 Agent、语义信息服务 Agent 和应用服务 Agents, 即 $SeviceAgents = \{ CommuServiceAgent \} \cup \{ InfoServiceAgent \} \cup \{ AppServiceAgents \}$ 。

定义 4 通信。通信(COMMUNICATIONS)定义: $COMMUNICATIONS = \{ \langle Sender, Receiver, MsgContent \rangle | (Sender \text{ AGENT}) \text{ and } (Receiver \text{ AGENT}) \text{ and } (MsgContent \in Communication(L)) \}$, 其中, Sender 为消息发送者;Receiver 为消息接收者;MsgContent 为通信内容;Communication(L)为通讯语言,采用目前应用最广泛的知识查询与操作语言(KQML)通信协议。

定义 5 Agent。一个 Agent 定义为三元组: $Agent ::= \langle AgentID, Attribs, BehModel \rangle$, 其中, AgentID 为 Agent 的惟一标志;Attribs 为 Agent 的属性集合;BehModel 为 Agent 的行为模型。

定义 6 属性。属性(Attrib)定义为 1 个四元组: $\text{Attrib} ::= \langle \text{AttribID}, \text{AttribName}, \text{AttribType}, \text{AttribValue} \rangle$, 其中, AttribID 为属性的唯一标志; AttribName 为属性名称; AttribType 为属性类型; AttribValue 为属性值。

定义 7 属性集。属性集(Attribs)定义: $\text{Attribs}(\text{Agent}) = \{ \text{Attrib}_i \mid i = 1, 2, \dots, m \}$, 其中 m 为该 Agent 的属性总数。

定义 8 行为。行为(Behavior)是 Agent 自身内部属性的变化,及其与虚拟环境中其它 Agent 的交互关系,定义为 1 个四元组: $\text{Behavior} ::= \langle \text{BehaviorName}, \text{BehaviorType}, \text{BehaviorBody}, \text{AgentID} \rangle$, 其中, BehaviorName 为行为名称; BehaviorType 为行为类型,一般包括自主行为 SelfBehavior 和交互行为 InteractBehavior , 即 $\text{BehaviorType} \in \{ \text{SelfBehavior}, \text{InteractBehavior} \}$; BehaviorBody 为行为的执行体,具体定义了一个行为的执行细节; AgentID 与定义 5 中一致,是执行行为的 Agent 标志。

定义 9 行为执行体。行为执行体(BehaviorBody)描述一个行为的详细执行条件、触发事件、相关参数等信息,定义为 1 个七元组: $\text{BehaviorBody} ::= \langle \text{PreCondition}, \text{Event}, \text{ProcessBody}, \text{ParameterSet}, \text{AffectAttribs}, \text{Priority}, \text{TimeOut} \rangle$, 其中, PreCondition 为行为执行的前提条件; Event 为行为的触发事件; ProcessBody 为行为处理主体程序; ParameterSet 为处理程序所需要的参数集, $\text{ParameterSet} = \{ \text{Parameter}_i \mid i = 1, 2, \dots, r \}$, 其中 r 为参数总数; AffectAttribs 为该行为所影响的属性集合, 即 $\text{AffectAttribs} = \{ \text{AffectAttrib}_j \mid j = 1, 2, \dots, k \}$, 其中 k 为该行为所影响的属性总数; Priority 为行为的优先级别; TimeOut 为执行行为的时间约束。

定义 10 行为模型。Agent 的行为模型(BehModel)是其所有行为的集合, 即 $\text{BehModel}(\text{Agent}) = \{ \text{Behavior}_i \mid i = 1, 2, \dots, s \}$, 其中 s 为 Agent 拥有的行为总数。

定义 11 事件。一个事件(Event)定义为 1 个七元组: $\text{Event} ::= \langle \text{EventID}, \text{EventSender}, \text{EventReceiver}, \text{EventType}, \text{StartTime}, \text{EndTime}, \text{ParameterSet} \rangle$, 其中, EventID 为事件标志; EventSender 为事件发起者; EventType 为事件类型; EventReceiver 为事件接受者; StartTime 为事件发生时间; EndTime 为事件结束时间; ParameterSet 为事件所需的参数集。

2 Agent 的设计与实现

Multi-agent 煤矿虚拟环境中涉及服务 Agent、实

体 Agent 等不同类型的 Agent 集合, Agent 的设计是系统构建的关键。各类 Agent 除符合上文定义的广义特性外,还具有相应的结构与功能。相对而言,静态实体 Agent 和被动实体 Agent 比较简单,可采用反应式结构,而服务 Agent 及一些有生命的智能 Agent(如虚拟矿工)的构造就比较麻烦。限于篇幅,在此仅介绍虚拟矿工 Agent 的设计与实现方法。

为了逼真表现井下人的行为特征,虚拟矿工 Agent 应具有感知、运动、行为、认知及内部属性等功能^[15],如图 2 所示。

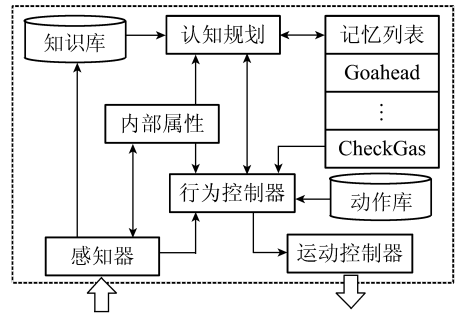


图 2 虚拟矿工 Agent 结构

Fig. 2 Framework of virtual miner Agent

其中,虚拟矿工通过感知器实时获得外部虚拟环境信息;运动控制器用于更新虚拟矿工的姿态和位置,实现虚拟矿工与虚拟环境的交互;行为控制器运用行为控制模型,选择合适的基本行为,实现其复杂行为控制;内部属性中存贮了与虚拟矿工个性特征相关的参数信息,包括生理属性和心理变量,如疲劳、恐惧、疏忽等;认知规划(如任务规划器、路径规划器等)能根据知识库中虚拟环境的静态模型、动态感知信息、领域知识及当前任务,进行规划,通过记忆列表存贮当前目标,并经过行为及运动控制器实现规划结果。

基于面向对象的 Agent 开发方法^[16],图 3 为虚拟矿工 Agent 的统一建模语言 UML 类图,其实现类为 CSensor、CEffector、CBehaControl、CCognition、CInerState 和 IVMinerAgent。

CSensor 类主要通过视线感知检测(Sensor-Check)获取实体对象的几何位置,并可通过感知查询(SensorQuery)获得相应的语义知识。CEffector 类执行 CBehaControl 发布的一系列原子行为,实现虚拟矿工的运动控制(SetActions),以及与环境的交互(SetEffectorData)。CBehaviorLIB 类包括交互行为(CConversationBeh)、内部行为(CInterBeha)和外部行为(CExterBeha)3 个子类。交互行为实现了与其他 Agent 的通信与交互,外部行为通过 CEffector 类实

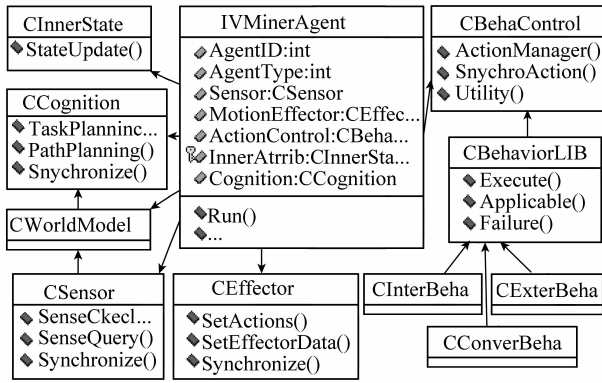


图3 虚拟矿工的UML类关系

Fig. 3 UML class diagram of virtual miner

现与外部环境的交互,内部行为通过状态函数实现Agent内部状态更新。CBehaControl类通过事件(Event)触发机制,从行为库(CBehaviorLIB)中对基本动作进行选择、激活和终止,实现虚拟矿工的控制。CInnerState类用于虚拟矿工内部属性的设置与更新(StateChange)。CCognition类具有路径规划(Path-Planning)、任务规划(TaskPlanning)等方法。CWorldModel是虚拟矿工对外部虚拟环境的内部表达。IVMinerAgent类聚合了CSensor,CEffector,CBehaControl,CCognition,CInnerState等对象,具有更新(Update)、运行(Run)、销毁(Destroy)等方法。

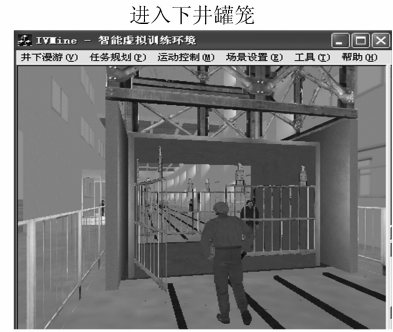
3 应用开发

面向煤矿井下安全工作,本文基于Multi-agent煤矿虚拟环境模型,开发了井下安全检查虚拟环境系统,实现了煤矿虚拟环境的交互式控制及井下安全行为仿真。

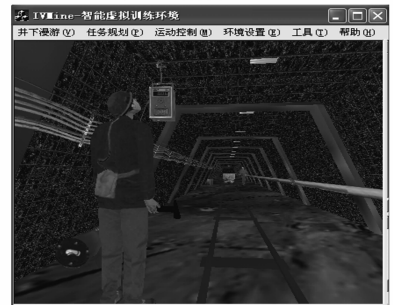
仿真开始时,通过用户界面设置虚拟矿工的属性、仿真目标以及环境模型。虚拟矿工利用环境知识,规划到达目标场所的路径,并沿着规划路径前进。虚拟矿工前进过程中将可能遇到台阶、矿车等障碍物,它将能自主地采取避障行为,并将表现出相应的个性特征,如疲倦、兴奋等。

图4为虚拟矿工进入矿井、检查瓦斯传感器及井下炸药库的部分屏幕截图。其中,虚拟环境中瓦斯传感器Agent通过关联井下环境数据库动态获取传感器读数,显示瓦斯状态。环境数据库中存贮的是大气环境参数。同时,瓦斯传感器Agent的交互属性指定了其查看方向及距离。当虚拟矿工到达指定传感器的交互范围内后,将对传感器进行检查(凝视、观察),查询瓦斯传感器参数及状态,并将结果返回给用户进行决策。系统基于Windows XP、VC++、

OpenGL、Vega和DI-Guy环境进行开发。



检查瓦斯传感器



跨越井下炸药库的台阶

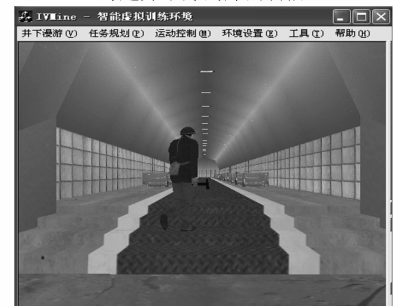


图4 煤矿虚拟环境应用系统运行实例

Fig. 4 Screen snapshot of mine virtual environment system

4 结 论

基于Multi-agent技术,构建了煤矿虚拟环境的层次化体系模型及其形式化定义,实现了虚拟矿工Agent的设计与开发,建立了井下安全仿真虚拟环境系统,实现了煤矿虚拟环境的交互式控制及井下安全行为仿真。

基于Multi-agent的体系模型结构清晰,模块化好,充分体现了虚拟环境的智能性与开放性,具有良好的软件可重用性、可重构性和可扩展性等特点,有利于应用系统的开发、维护与扩展。同时,Multi-agent的体系模型从方法论角度建立了构建煤矿虚拟环境系统的具体方法。在Multi-agent框架下,可以先实现和测试应用的某些子系统,或某子系统的关键功能,而不必局限于一些实现细节,符合要求后,再通过Agent的功能扩展与完善,逐步实现最终目标。

参考文献:

- [1] Mallett L, Unger R. Virtual reality in mine training [J]. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2007, 2: 1-4.
- [2] Kizil M. Virtual reality applications in the Australian minerals industry [A]. Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries [C]. 2003; 569-574.
- [3] Etienne van Wyk, Ruth de Villiers. Virtual reality training applications for the mining industry [A]. Proceedings of the 6th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualization and Interaction in Africa [C]. Pretoria, South Africa, 2009; 53-63.
- [4] Van Wyk E A. Improving mine safety training using interactive simulations [A]. Proceedings of the ED - MEDIA 2006 World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2006 [C]. Orlando, Florida, 2006; 2 454-2 459.
- [5] Dean H Ambrose, John R Bartels. Computer simulations help determine safe vertical boom speeds for roof bolting in underground coal mines [J]. Journal of Safety Research, 2005 (36): 387-397.
- [6] Schofield D, Noon J, Borton A. Reconstructing events: simulating accidents using virtual reality [A]. 30th Applications of Computers and Operations Research in the Mineral Industry [C]. Phoenix, 2002; 25-27.
- [7] Shi Fenghua, Li Xufeng. Visualization modeling of mine roadway based on visual c# [A]. Proceedings of 2008 International Symposium on Information Science and Engineering [C]. Shanghai, 2008; 669-673.
- [8] 李建忠, 陈鸿章. 基于虚拟现实的综采工作面仿真系统研究 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19(18): 4 164-4 167.
Li Jianzhong, Chen Hongzhang. Study on simulation system of fully mechanized mining face based on virtual reality [J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(18): 4 164-4 167.
- [9] 毛善君, 熊伟. 煤矿虚拟环境系统的总体设计及初步实现 [J]. 煤炭学报, 2005, 30 (5): 571-575.
Mao Shanjun, Xiong Wei. Design and primary implementation of coalmine virtual environment system [J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(5): 571-575.
- [10] Wu Lixin, Che Defu. Developments of spatial information-based digital mine in China [J]. Journal of Coal Science & Engineering (China), 2008, 14 (3): 415-419.
- [11] Han Zuozhen, Han Ruidong, Mao Shanjun, et al. Research and application on integration modeling of 3D bodies in coal mine with blended data model based on TIN and ARTP [J]. Journal of Coal Science & Engineering (China), 2007, 13 (3): 276-280.
- [12] Zhang Liang, Lin Qingping. MACVE: a mobile agent based framework for large-scale collaborative virtual environments [J]. Teleoperators & Virtual Environments, 2007, 16(3): 279-292.
- [13] Jean Luc L, Marc C, Sean C. Artificial intelligence mediated interaction in virtual reality art [J]. IEEE Intelligent Systems, 2006, 9: 54-62.
- [14] Barella A, Carrascosa C, Botti V. Agent architectures for intelligent virtual environments [A]. Proceedings of 2007 IEEE /WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology [C]. 2007; 532-535.
- [15] 蔡林沁, 梅涛, 孙怡宁. 用于决策训练的虚拟人行为认知模型研究 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20 (2): 368-424.
Cai Linqin, Mei Tao, Sun Yining. Research on behavior and cognition models of virtual human for decision training [J]. Journal of System Simulation, 2008, 20 (2): 368-424.
- [16] 冯珊, 唐超, 闵君. 创建智能体系统的软件工程方法研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(12): 96-99.
Feng Shan, Tang Chao, Min Jun. A software engineering approach for the construction of an agent-based system [J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 24(12): 96-99.

内蒙古煤田灭火进入倒计时

近日,内蒙古自治区煤炭工业局透露,为保护煤炭资源和生态环境,今后几年内蒙古将加快实施煤矿火区治理工程,力争到 2012 年火区灭火取得成功。这标志着灭火工程正式进入倒计时。

内蒙古的煤炭资源富集且埋藏浅,较容易自燃。近年来,随着煤炭开采规模扩大,内蒙古出现了不少煤田煤矿火区。

据 2009 年上半年对各盟市煤田煤矿火区的调查,内蒙古共查明火区 230 处、火点 647 个,燃烧面积达 6 381.37 万 m²。其中,鄂尔多斯市发现火区 141 处、火点 470 个,火区面积达 4 878.65 万 m²;乌海市发现火区 34 处、火点 46 个,火区面积达 754.46 万 m²;阿拉善盟发现火区 29 处、火点 98 个,火区面积达 358.16 万 m²。呼和浩特市、包头市等 8 个盟市发现火区 26 处、火点 33 个,火区面积达 390.1 万 m²。为此,内蒙古力争到 2010 年底,除鄂尔多斯市、乌海市、阿拉善盟外,其他盟市的煤田煤矿火区必须全部达到控制标准。

除阿拉善盟古拉本煤田、乌海市乌达煤田的火区要按国家要求的时限治理外,内蒙古计划到 2011 年底,其他煤田煤矿的火区治理全部达到熄灭标准,并在 2012 年上半年完成火区治理验收工作。

摘自“中国煤炭报”