

# 矿井全自动预混料气力输送系统设计与应用

王设计 张现余, 丁从师, 吕磊, 苏正飞  
(国投新集能源股份有限公司 安徽 淮南 232001)

**摘要:** 口孜东矿大断面巷道联合支护新工艺的应用,亟需解决传统矿车运输方式用人多、安全风险大、巷道支护建筑材料质量和数量得不到保证的问题。采用全自动预混料气力输送系统可为掘进工作面及时提供合格的混合物料,该输送系统通过管道、过滤和加压设备,利用气力以全封闭方式输送巷道支护建筑材料预混料。采用PLC和工业电脑相结合的控制系统,结合Atvise全WEB方式SCADA软件的应用,提升了口孜东矿巷道支护材料输送的自动化程度,减少了辅助运输从业人员数量,有效避免窄轨运输的不安全因素,间接改善了口孜东矿的支护工艺,提升了矿井巷道支护质量。

**关键词:** 巷道支护; 全自动气力输送系统; 混凝土浇筑; 矿车运输

中图分类号: TD67 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2014)10-0087-05

## Application and Design of Mine Full Automatic Pre-Mixed Material Pneumatic Transportation System

WANG She-ji ZHANG Xian-yu DING Cong-shi LYU Lei SU Zheng-fei  
(SDIC Xinji Energy Company Limited Huainan 232001 China)

**Abstract:** Due to the application of a new combined support technique in a large cross section roadway of Kouzidong Mine, it was necessary to solve the problems of conventional mine car transportation method with many workers, high safety risk, and the roadway support construction material quality and quantity not guaranteed. The full automatic pre-mixed material pneumatic transportation system could be applied to timely provide qualified mixed material to the roadway heading face. The transportation system could prove the pre-mixed support construction material to the mine roadway with the pipeline, the filtration and pressurized equipment and the pneumatic and full closed method. The PLC and industrial computer combined control system, in combination with the application of the Atvise full WEB mode SCADA software was applied. The automation degree of the support material transportation in Kouzidong Mine was improved. The workers in the mine auxiliary transportation were reduced. The unsafe factor of the narrow gauge transportation was effectively eliminated. The roadway support technique of Kouzidong Mine was indirectly improved, and the quality of the mine roadway support was improved.

**Key words:** mine roadway support; full automatic pneumatic transportation system; concrete casting; mine car transportation

## 0 引言

随着煤矿浅部资源的逐渐减少,煤矿开采深度不断增加,巷道围岩表现出明显的大变形、高应力、长时间持续蠕变的特性,在国内目前现有的支护方式下,巷道变形速度快、复修率高,巷道安全隐患大,长期维护成本高<sup>[1-2]</sup>。淮南新集矿区的新建矿井开采深度都在900 m以上,巷道压力显现周期短,巷道

复修频繁,巷道修护工作人员已占井下工作人员的50%以上,且仍有大量巷道修护工作滞后,并有部分巷道严重失修<sup>[3]</sup>。巷道变形周期快制约了高效率、高安全性新型辅助运输方式在新集矿区的应用,同时因巷道维护滞后给矿井的安全生产带来很大风险。因此改变单一支护方式,采用被动和主动联合支护,提升巷道支护质量,延长巷道维修周期迫在眉睫<sup>[4]</sup>。采用锚杆、锚网、U型棚加U型棚与巷道围

收稿日期: 2014-05-22; 责任编辑: 代艳玲 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2014.10.021

作者简介: 王设计(1964—),男,北京人,高级工程师,现任国投新集能源股份有限公司总经理助理。

引用格式: 王设计,张现余,丁从师,等.矿井全自动预混料气力输送系统设计与应用[J].煤炭科学技术 2014 A2(10):87-91.

WANG She-ji ZHANG Xian-yu DING Cong-shi et al. Application and Design of Mine Full Automatic Pre-Mixed Material Pneumatic Transportation System [J]. Coal Science and Technology 2014 A2(10):87-91.

岩之间混凝土浇筑的联合支护方式,可以有效消除支护体与围岩之间的不耦合现象,限制围岩产生有害的变形损伤,同时最大限度地发挥围岩的自承能力,实现支护一体化、荷载均匀化,达到巷道稳定的目的,可最大限度地减少巷道维修频率,保障矿井生产和提升矿井安全水平<sup>[5-6]</sup>。要使联合支护方式发挥最佳支护效果,必须在短时间内形成有效支撑力,这就需要采用机械化方法在U型棚与巷道围岩之间浇筑混凝土,浇筑材料单位时间内的供应量较大,人工供料难以满足需要。另外传统矿车运输方式下,水泥、沙子等建筑材料在井下需要人工卸载和配料,工人劳动强度大,混合料的配比难以控制,混凝土质量得不到保证。基于此,笔者采用全自动预混料气力输送系统,以期有效解决上述问题。

## 1 全自动预混料气力输送系统构成

1) 系统整体构成。全自动预混料气力输送系统由地面站、井下中转站、井下移动式工作面站、连接管路、线缆以及其他辅件等构成,如图1所示。

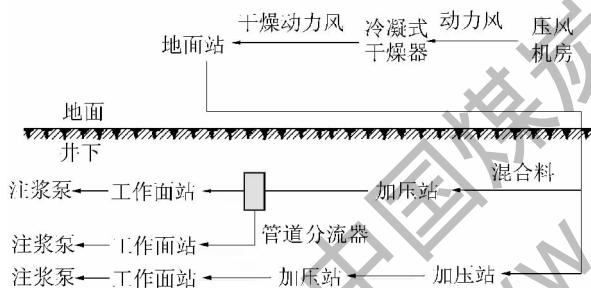


图1 全自动预混料气力输送系统

2) 地面站。地面站包括动力风源、动力风干燥车间、混合料储运装置、地面中心控制站、地面连接管路及线缆等。动力风源由空气压缩机、压风机冷却设备、车间变电所、压缩机自动控制系统及相关管线构成。选用空气压缩机最大输出压力0.8 MPa,可与矿井主要动力风源一起为井下设备及输送系统供风。动力风干燥车间主要设备为空气干燥器,空气干燥器通过降温冷却对空气进行冷却。地面中控站监控系统包含低压配电柜、阀控柜、SCADA系统,包括PLC和PAC控制系统<sup>[7]</sup>及RTU、IPC、可视化组态软件及人机界面、数据通信网络等<sup>[8]</sup>。地面混合料储运装置主要用于从输送空气中分离出干燥混合料的暂时储存,根据混合料输送需要,可以安装多个储料仓,每个储料仓配套的串联输送加压装置可以提供最大10 t/h的输送量。料仓结构如图2所示。

主要组件包括料仓段、卸料锥、通风阀、滤筒式过滤器、梯架装置、回转式起重机、排气和加注管路等。

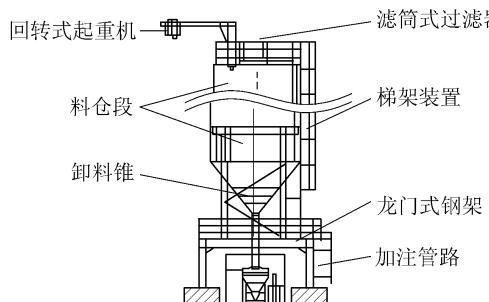


图2 料仓结构

地面混合料储运装置的发料装置采用用于远距离输送干燥建筑材料的串联发料加压装置。串联发料加压装置结构如图3所示,由左右2个压力容器、调节齿轮箱、驱动单元、计量和调节单元及压风分配系统构成,2个压力容器交替进行加注和排空,即当一个压力容器进行发料时,另一个压力容器进行加注,保证材料连续输送。螺杆输料机由变频器控制,按照设定速度将混合料输送到管路中,干燥后的动力风自动配合螺杆输料机的运量调节风流量。

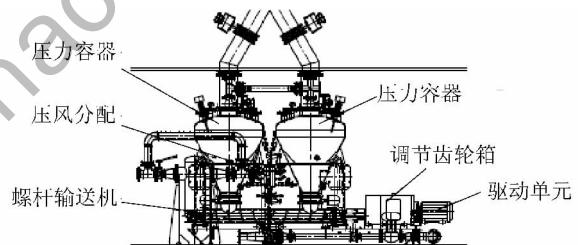


图3 串联发料加压装置

3) 井下中转站。井下中转站由落地式螺旋给料储料仓、串联加压器、汽水分离器以及中转站控制系统构成,具体结构如图4所示。串联加压发料装置与地面站使用的装置除尺寸较大外,其他完全一致;中转站储料仓可从输送空气中分离出干燥的混合料并暂时储存,在需要时将混合料输送到下游的装置中。储料仓采用模块化设计,可以方便地进行容量扩展和改装。储料仓的主要组件包括卧式螺杆输送机、气动输送装置、驱动单元、料仓罩、紧凑型过滤器等。汽水分离器用于分离出压缩空气中存在的水汽,水汽形成的冷凝水通过冷凝排水装置自动流出。汽水分离器还可以对压缩空气进行分配,在出现故障时借助旁通管路可以绕过汽水分离器。汽水分离器主要组件有离心力分离器、旁通管路、逆止阀、自动冷凝排水装置、S型管和立架。中转站电器和控制部分由低压配电柜、阀门控制柜、PLC控制箱

及可视化系统等构成。

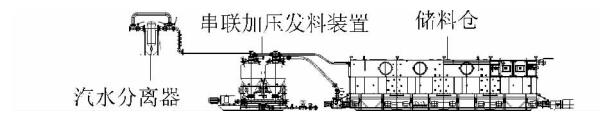


图 4 井下中转站构成

4) 移动式工作面站。移动式工作面站作为预混料气力输送系统的终端设备,采用吊挂式安装方式,吊挂式轨道梁上,能随巷道的推进向前推移。移动式工作面站主要用于将干燥的混合料与水混合,并将混凝土供应给混凝土泵。移动式现场设备主要包括螺旋式料仓、带液压动力总成的混凝土泵、带行走机构和止回装置的重型轨道梁、电气动控制器。

## 2 全自动预混料气力输送系统工作原理

压风机产生  $0.6 \sim 0.8$  MPa 压力的动力风, 经过冷凝式干燥车间的干燥, 符合要求的动力风被交替充入串联加压装置的 2 个加压罐, 在加压罐内与预混料均匀混合形成流态化混合物。流态化混合物经螺杆输送机被输送到管道中, 在动力风的作用下流态化混合物沿管道被输送至井下; 在井下, 沿输送路径每隔 1 000 m 左右设置有一个中转站, 中转站的接收端将空气与混合料分离开来并将混合料储存在缓冲仓中。根据移动式工作面站发出的物料请求信号, 中转站串联加压装置与缓冲仓中的螺杆输料机配合再次通过干燥过的动力风将混合料继续向掘进工作面方向传输。经过若干次接力, 预混料被输送至掘进工作面移动式储料仓, 最终混合料由螺杆输料机输送到搅拌机, 并经混凝土泵实现浇筑。整个物料输送过程由 PLC 和 IPC 自动控制进行, 工作流程如图 5 所示。

动力风生成 → 动力风干燥 → 串联加压 → 中转加压  
混凝土泵 ← 搅拌机 ← 工作面站移动储料仓

图 5 预混料气力输送系统工作流程

## 3 全自动预混料气力输送系统的控制系统

全自动预混料气力输送系统的控制系统主要由压风机控制系统、冷却器控制系统、地面中控站、中转站控制器及工作面站控制器等构成, 各系统之间通过现场总线及工业以太网连接, 利用现场总线协议、实时以太网协议或者 OPC 方式进行信息交互共同构成一个复合自动控制系统<sup>[9-11]</sup>。系统以工作面站物料输送和各站储料仓料位情况为运行判断条

件, 可以实现程序控制和随动控制<sup>[12]</sup>。控制系统构成如图 6 所示。

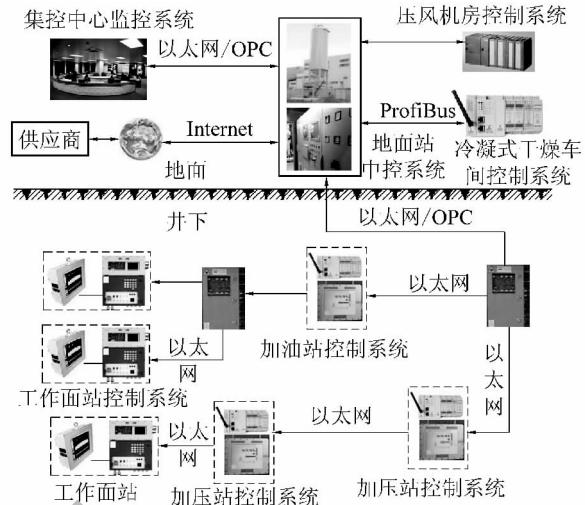


图 6 预混料气力输送系统控制系统结构

在自动方式下, 压风机、干燥车间设备与气力输送系统在闭锁之外相互独立运行, 压风机及制冷车间设备的加卸载及运行停止不需要人为干预。在没有内部故障和外部闭锁的情况下, 各台压风机在自身嵌入式控制系统<sup>[13]</sup>或者 PLC 控制系统的控制下, 根据压风机出口压力自动加卸载, 同时在压风机房集控 PLC 的控制下根据轮值规则停机和启动。远程控制模式下, 压风机由集控中心根据需要对压风机启停、加卸载进行控制和调整。

地面站中控系统集成压风机、制冷车间、地面站、井下中转站和工作面站的监控信息, 通过 Atvise 全 Web 方式组态软件构建人机界面, 对上述设备的测量值、开关状态、故障信息等进行显示和存储, 通过声音和光自动进行报警, 根据需要对设备运行参数进行调整, 对设备的投、切和启、停进行控制, 对设备的运行规则进行修改和调整, 以不同方式为井下分站和管控中心提供数据访问服务<sup>[14]</sup>。井下中转站和移动式工作面站控制系统, 除具备对本站设备的测量值、开关状态、故障信息等进行显示和存储, 通过声音和光进行报警, 根据需要对设备运行参数进行调整, 对设备的投、切和启、停进行控制, 对设备的运行规则进行修改、调整和向上一级设备发送物料请求信号外, 能够通过 Web 方式的人机界面了解其他站点和地面设备运行状况和故障信息。

## 4 不同输送方式成本与效果对比

### 4.1 运输流程对比

传统的矿车运输方式下水泥、沙子等支护材料

的运输涉及超过 10 个环节和 8 个部门,参与人员多,关系复杂,协调难度大。物料领取需要较强的计划性,运送周期长,满足现场需求的实时性差。在申请、装车、卸车、上下提升机、运送、搅拌机加料等各个环节都需要专人操作,需要大量的人员,人力资源成本高<sup>[15]</sup>。采用矿车运输方式运送过程中各个环节都存在一定的人身安全风险,并且在水泥的装卸、拆封以及与黄沙混合等工序上工人劳动强度大,产生较大的粉尘污染,对工人的身体健康有较大威胁。

与传统矿车运输方式相比,全自动预混料气力输送系统不需要提前进行物料申请,不存在需求平衡问题。在地面,预混料通过散装水泥车运至地面储料仓场地后,通过软管直接将货物卸至料仓,经加压自动输送至井下;在井下工作面移动储料仓中预混料的料位低于设定值时,系统即自动向上级缓冲站发出物料申请需求,并自动进行混合料的补充,掘进工作面混合料消耗量由控制系统自动统计。整个运输过程只在地面货物交接验货和物料消耗过程需要人工参与,其他环节无需人工参与,参与的部门和人员数量与传统方式相比明显大幅减少。整个运输及消耗过程全封闭进行,无粉尘污染。

#### 4.2 支护工艺和支护效果对比

传统运输方式支持的锚-网-喷-架联合支护工艺最少包含 6 个关键环节:打锚杆/铺网→粗喷→架棚→背实→喷浆→注浆。

在淮南新集矿区,新建巷道会在第一时间完成锚杆锚网及粗喷支护,粗喷完成后,一般等待 2~3 个月,待巷道围岩出现初次变形,围岩受力建立新的动态平衡后,对巷道进行第 1 次修护,同时增加 U 型棚支护并进行后续工序,此过程一般要持续 1~2 个月。在此工艺方式下,支护系统不能在第一时间形成有效支护,围岩受力平衡破坏严重,U 型棚与围岩之间难以形成紧密接触,U 型棚受力不均,后期的注浆难以在 U 型棚与围岩之间有效充填<sup>[16]</sup>,导致巷道变形周期短,一般每 3 个月左右即要进行一次挖底修护,经过 2~3 次挖底后,由于形变严重,U 型棚即完全失去支护作用,必须重复上述 6 个步骤重新支护。对于较长的巷道,势必造成一支队伍掘进,多支队伍跟随进行巷道修护的现象,这也是新集矿区井下用工数量较大的原因。同时,U 型棚上的浆皮容易脱落伤人,有较大的安全隐患。

全自动预混料气力输送方式支持的锚-网-喷-浇筑联合支护工艺只需要 3 个步骤:打锚杆/铺网

→架棚→浇筑。巷道成型后,即进行锚固工作,在掘进和支护工作不相互影响的情况下第一时间完成架棚和混凝土浇筑工作。架棚和浇筑与巷道成型之间只有 2~3 d 的时间差,围岩原本的受力平衡维持较好,U 型棚与围岩通过混凝土完全融为一体,能够对围岩形成很好的支护,巷道不易变形。淮南矿区某矿自 2013 年下半年开始采用新的联合支护工艺进行支护的近千米巷道,到目前顶部和帮部没有明显的变形,支护效果良好。

#### 4.3 初期投资对比

采用传统的矿车运输方式,单个掘进工作面需要的设备投资在 100 万元以内。当前用于煤矿井下的全自动预混料气力输送系统国产设备尚不能满足现场实际需要,因此该系统的核心设备需要全部进口,在设备上的投资非常大。在全部采用进口设备的情况下,平均单个掘进工作面在设备上的投资为 2 000 万元以上。随着巷道的延伸,设备投资逐步增长,巷道每延长 800~1 000 m 需要增加设备投资 500 万元左右进行中转加压站的建设。随着核心设备的国产化,煤矿井下气力输送系统的设备投资将会大幅下降到不到目前的 50%。从设备投入方面,在矿车运输满足需要的情况下,优先选用矿车运输方式,以节省成本。

#### 4.4 用工数量对比

与传统窄轨矿车运输方式相比,采用全自动预混料气力输送系统可以大量减少辅助运输系统用工数量。以单个掘进工作面每班涉及到的岗位进行举例,若采用窄轨矿车运输方式,则涉及到的地面人员超过 25 个岗位。采用全自动预混料气力输送系统,只涉及到维修班的机工、电工以及矿井接验货人员,井下运输只涉及维修班的机工、电工及巡检工,掘进工作面区队只需要搅拌机及混凝土泵司机等 7 个岗位。由此可见,采用全自动预混料气力输送在运送过程中涉及的人员岗位远比采用矿车运输方式要少很多,前者不足后者的 30%。由于全自动预混料气力输送系统不会完全取代矿车运输,在去除公共服务人员岗位后,采用全自动预混料气力输送系统可比传统矿车运输方式减少 12~14 个岗位。口孜东矿计划在 5 个掘进工作面采用全自动预混料气力输送方式运送混合料,目前已有 2 个建成投用,待全部建成后可减少 60~70 个工作岗位,减少工人 240~280 人,将节约人力资源成本支出 2 400 万~2 800 万元/a。

## 5 结语

全自动预混料气力输送系统在口孜东矿的应用表明,该系统可以根据掘进工作面用料需求连续自动为掘进工作面提供直径不大于4 mm的混合料,在保证混合料质量的基础上满足了巷道支护棚后浇筑混凝土材料用量大的需求。采用气力输送,有效缓解了矿井辅助运输运力紧张问题,全自动化的PLC控制结合完全基于WEB的上位监控和远程诊断支持,保证了系统的全自动运行,大量减少辅助运输及巷道修护从业人员数量。气力输送方式避免了采用矿车运输时的安全风险,从根本上保障人员安全,配合联合支护工艺的变革,大幅改善了矿井的支护效果,该系统在开采深度和产量较大的矿井具有很好的推广应用价值。

### 参考文献:

- [1] 刘佑荣,唐辉明.岩体力学[M].北京:化学工业出版社,2008:194.
- [2] 冯林杨,邢德恩,马洼.深井巷道支护技术应用研究[J].山东煤炭科技,2012(2):119.
- [3] 柏建彪,侯朝炯.深部巷道围岩控制原理及应用研究[J].中国矿业大学学报,2006,35(2):146-147.
- [4] 王成张,农韩昌良等.U型棚锁腿支护与围岩关系数值分析

(上接第86页)

体部分应力水平小于材料许用应力,没有发生塑性变形,说明备用防爆门整体设计合理,安全防护性能可靠。在屯兰矿的梁庄立风井现场安装、调试备用防爆门系统,试验结果表明,防爆门整体结构、快速开启结构、密封结构设计合理,能按规定的时间实现复位;电控系统及执行机构运行可靠。

## 3 结语

备用防爆门复位装置在矿井发生灾变且原有防爆门遭到破坏时能迅速封闭立风井,突破了传统的局限于对现有立风井防爆门进行改进的思维,为确保矿井灾变时期矿井风流的稳定提供了一种全新的理论、技术与装备。同时,在备用防爆门基础上增加对开备用防爆门,当发生2次或多次爆炸时,备用防爆门上的对开备用防爆门能实现自动打开与复位,确保备用防爆门矿井灾变时期矿井的通风安全。

### 参考文献:

- [1] 张宝权.关于煤矿现用防爆门不安全性的探讨[J].煤矿安全,

- 及应用[J].采矿与安全工程学报,2011,28(2):209-213.
  - [5] 陈建本,徐天才,张炜等.深井软岩巷道底鼓机制及控制[J].煤矿安全,2011,43(6):156-159.
  - [6] 孙晓明.煤矿软岩巷道耦合支护理论研究及其设计系统开发[D].北京:中国矿业大学(北京),2001:11-18.
  - [7] 廖常初.S7-300/400 PLC应用技术[M].北京:机械工业出版社,2007:1-9.
  - [8] 王华忠.监控与数据采集(SCADA)系统及其应用[M].北京:电子工业出版社,2010:1-7.
  - [9] 博尔曼.工业以太网的原理与应用[M].北京:国防工业出版社,2011:3-11,121-135.
  - [10] 李正军.现场总线与工业以太网及其应用技术[M].北京:机械工业出版社,2011:361-365.
  - [11] 胡寿松.自动控制原理[M].4版.北京:科学技术出版社,2001:11-12.
  - [12] 高国桑,彭康拥,陈来好等.自动控制原理[M].3版.广州:华南理工大学出版社,2009.
  - [13] 周杰,陈伟海,于守谦.基于ARM的嵌入式系统在机器人控制系统中应用[J].微计算机信息,2007(2):271.
  - [14] 蔡海尼,何盼,文俊浩等.面向服务架构的数据服务在数据访问中的应用[J].重庆大学学报,2009,32(10):1208-1213.
  - [15] 王春梅,周晖.基于人力成本控制的人力资源管理模式构建[J].改革与战略,2011(11):54.
  - [16] 康红普,王金华,林健.煤矿巷道支护技术的研究与应用[J].煤炭学报,2011,36(11):1810-1815.
- 
- 1988,19(5):11-12.
  - [2] 梁炳福,张福珍.改进矿井防爆门结构型式的建议[J].煤炭工程,1988(10):34-35.
  - [3] 杨源林.论矿井防爆门的作用与适用条件[J].煤矿安全,1989,20(7):41-43.
  - [4] 王连成,王宏.设置防爆门的合理参数[J].煤矿安全,1989,20(7):12-14.
  - [5] 周开枫.立风井防爆门结构形式探讨[J].煤炭工程,1986(6):22-24.
  - [6] 范喜生.矿用自动复位式风井防爆门研究[J].煤炭科学技术,2012,40(6):58-61.
  - [7] 董腾,王海桥,张永青等.矿井防爆门、盖自动封堵装置研发[J].中国安全生产科学技术,2012(5):184-187.
  - [8] 陈世建.煤矿风井防爆门改进[J].煤矿机械,2007,28(6):140-141.
  - [9] 杜欣.立风井防爆门快速启闭及锁扣装置在矿井主通风机上的应用和分析[J].科技创业家,2014(8):113.
  - [10] 张永东.煤矿风井防爆门改造[J].价值工程,2010(1):134.
  - [11] 郑旭明,刘爱新.煤矿风井防爆门改造[J].煤矿机械,2009,30(2):164-165.
  - [12] 王海燕,曹涛,周心权等.煤矿瓦斯爆炸冲击波衰减规律研究与应用[J].煤炭学报,2009,34(6):779-783.