

# 矿用超高水充填材料制浆系统研究与应用

贾凯军<sup>1</sup>,冯光明<sup>1</sup>,李凤凯<sup>1,2</sup>

(1. 中国矿业大学 矿业工程学院,江苏 徐州 221116;2. 邯郸矿业集团 陶一煤矿,河北 邯郸 056105)

**摘要:**制浆系统是整个充填系统的核心。为使超高水材料充填开采技术适应于工业化应用,以陶一矿超高水材料充填开采试验为背景,结合该材料特性,对制浆系统进行了较为深入的研究。确定了制浆系统的形式和生产能力;对半连续制浆系统各组成部分进行了详细设计,并评价了其应用效果。研究表明:超高水材料浆液制备宜选用半连续制浆系统,该系统运行稳定可靠、制浆能力大、浆液配比准确、操作简便(完全由PLC自动控制),能够满足超高水材料充填开采的制浆要求;该系统占用体积较大,运行环节较多,布置在井下时硐室通风条件较差,生产时易产生较大粉尘和噪声,应进行进一步改进;系统更适宜布置在地面上,若布置在井下,应加强硐室的通风管理。

**关键词:**超高水材料;充填工艺系统;浆体制备;半连续

中图分类号:TD402

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2011)06-0008-07

## Research on Slurrying System of Mine Ultrahigh-water Packing Materials and Its Application

JIA Kaijun<sup>1</sup>, FENG Guangming<sup>1</sup>, LI Fengkai<sup>1,2</sup>

(1. College of Mining Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;

2. Tao-one Coalmine, Handan Mining Group, Handan, Hebei 056105, China)

**Abstract:** Slurrying system is the core of the whole filling system. In order to let the ultrahigh-water material backfill mining technology adapt to industrialized application, the slurrying system was studied in-depth with the background of the technical test in Tao-one Coalmine. The form of slurrying system and the production capacity were determined. Each part of the semi-continuous slurrying system was designed in detail and its application effect was evaluated. The results show that the semi-continuous slurrying system is the better choice for the preparation of ultrahigh-water material grout and the system not only runs stable and reliable and makes accuracy ratio of slurry, but also it is of great slurrying ability and simple operation (all operations are controlled by PLC), satisfying the needs of slurry preparation. However, it has a larger volume and more operation links and underground chambers have poor ventilation. Besides, dust and noise are bigger in the production process. Therefore, further improvement should be done in the future. In general, this system should be placed on the ground, if not, the chamber ventilation management would be strengthened.

**Key words:** ultrahigh-water material; system of filling technology; preparation of slurry; semi-continuous

近年来,随着国家对环境保护要求的日益提高,基于煤矿企业可持续发展<sup>[1]</sup>的迫切需要,钱鸣高院士等<sup>[2]</sup>提出了煤炭资源的绿色开采技术理念,而充填开采是其重中之重。由于超高水充填材料<sup>[3]</sup>的发明,超高水材料矿山充填开采技术近两三年内开始在煤矿采空区生产中迅速推广开来。根据该材料使用特点,井下

收稿日期:2011-09-05

基金项目:国家自然科学基金项目(50774077)。

作者简介:贾凯军(1987—),男,山西大同人,博士研究生,主要从事充填开采及沿空留巷技术方面的研究。

E-mail: jkj11111@163.com.

冯光明(1963—),男,山西垣曲人,教授,博士,主要从事采矿新技术、新材料方面的研究。

E-mail: fgm20004@163.com.

充填系统应包括材料储运、浆体制备、浆体输送以及浆体混合等。其中,浆体制备系统相对复杂,是充填系统的核心。超高水材料矿山充填开采技术采用新材料和新工艺,要让其适应于工业化应用,必须对制浆系统的各个环节进行精心研究和设计。

邯鄲矿业集团陶一煤矿是超高水材料充填开采工业化试验的第一个矿井。以该矿超高水材料充填开采试验为背景,对超高水材料制浆系统进行研究。

## 1 超高水充填材料简介

超高水充填材料主要由 A、B 两种物料组成。A 料主要以铝土矿、石膏等独立炼制并复合超缓凝分散剂构成,B 料由石膏、石灰及复合速凝剂构成,二者以 1:1 比例配合使用。该材料水灰比可达到 11:1,浆体流动性极好,输送距离不受限制,能轻易进入采空区顶底板裂隙,两种浆体混合后能在 20~90 min 内初凝,固结水体积可达 95%~97%,不可压缩,最终强度可达 0.66~1.5 MPa,可根据工程需要对材料强度和凝结时间进行实时调控。因此,超高水材料是一种较为理想的采空区充填材料。文献[3]—文献[5]对该材料做了详细说明。

## 2 充填工艺系统组成及特点

超高水充填材料的使用特点决定了浆体制备系统是整个充填系统的核心。采空区是随工作面开采而不断变化的动态空间,其形态特点与工作面回采过程密切相关。在对采空区进行充填时,需要较多的充填物料,且要在额定时间内完成充填。根据上述要求,采空区充填工艺系统应具备以下特征:①充填能力大;②不影响工作面开采;③工艺系统简单,自动化程度高;④初期投入低。

充填工艺系统设计的出发点主要包括两个方面:①所设计的工艺系统要充分考虑超高水材料本身的特性,更要高效、简便,易于操作;②要与所服务工作面的生产能力相匹配。

## 3 浆体制备系统

浆体制备系统(简称制浆系统)的作用是将固体粉料制成液态,便于管道长距离输送。该系统是充填系统的最重要环节,应具备性能稳定、制浆配比准确且易于调节、操作简便等特点。制浆系统由 A 料与 B 料两个制浆子系统构成,由于超高水材料两种物料以 1:1 比例配合使用,且两种物料对制浆设备的要求基本相同,故两个子系统的工艺和设备完全相同,均由粉料仓、粉料配料装置、水称量装置、搅拌机、卸料装置、添加剂配料装置、储浆池等组成。因此,这里只针对子系统进行研究。

### 3.1 制浆系统形式及生产能力的确定

#### 3.1.1 制浆系统的形式

根据浆体制备方式不同,料浆制备系统有连续与半连续两种形式。

##### 1) 连续制浆系统

连续制浆是指制浆系统可不断地制备出浆体,过程连续不断<sup>[6]</sup>。系统占用空间小,流程简单,但制浆配比不易调节,系统对设备可靠性要求高。对照前述超高水材料浆体制备系统的要求可知,这种制浆系统不具备性能稳定及制浆配比易于调节(在实际应用中,在项目开始阶段需经常对超高水材料浆液配比进行调节)的特点,因此不能用来作为超高水材料浆液制备系统。

##### 2) 半连续制浆系统

半连续制浆是指制浆过程是不连续的,但多个搅拌器交替工作,使料浆供给呈连续状态,始终保证有足量浆体供充填泵使用,满足料浆输送要求。该制浆系统浆体配比易于控制,准确性高,能够满足超高水材料浆液制备要求,但占用的空间相对较大。半连续制浆系统工艺流程如图 1 所示。

#### 3.1.2 制浆系统生产能力的确定

制浆系统的生产能力必须满足充填开采要求。一般情况下,工作面每天采出空间少则几百方,多则几千方。充填开采时,这些空间要及时填充起来,因此充填系统的能力需根据矿井的生产能力来确定。陶一矿的

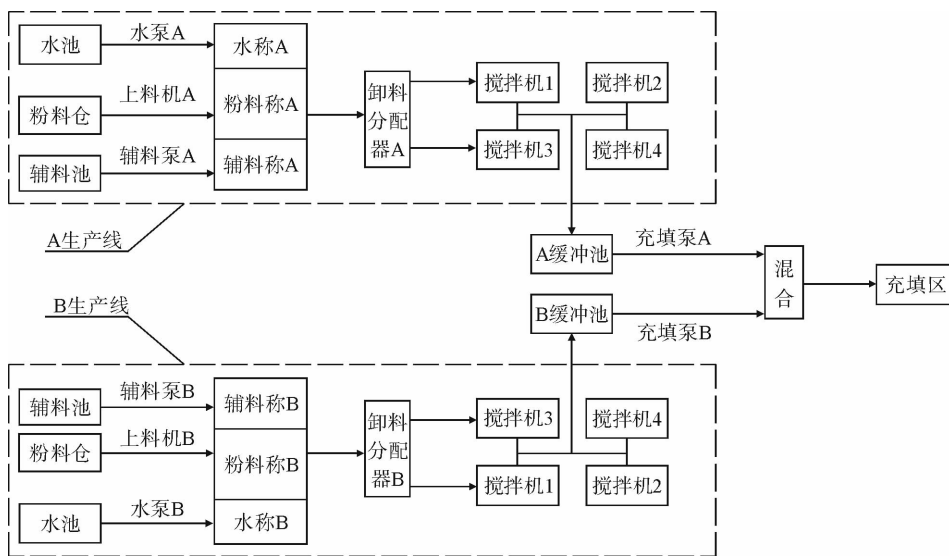


图1 半连续制浆系统工艺流程图

Fig. 1 The technological process sheet of semi-continuous slurring system

设计生产能力为 65 万 t, 今后将主要靠充填开采来完成产量。工作面年工作日按 330 d 计, 每天应采煤量约 1 969.7 t, 取煤的容重为 17 kN/m<sup>3</sup>, 则每天采出空间约 1 158.6 m<sup>3</sup>。假设充填率为 90%, 则需要充填的空间为 1 042.8 m<sup>3</sup>。若按照“三八”工作制, 每天两个充填班, 则每个充填班至少需制备 521.4 m<sup>3</sup> 的充填浆体, 每班纯充填时间按 5.5 h 考虑, 则充填系统产浆能力应不低于 94.8 m<sup>3</sup>/h。取充填系统的产浆效率为 80%, 则制浆系统的制浆能力应不低于 118.5 m<sup>3</sup>/h。

综上所述, 确定陶一矿采空区充填浆体制备系统以半连续制浆系统为宜。制浆系统的总制浆能力确定为 120 m<sup>3</sup>/h, 每个子系统的制浆能力为 60 m<sup>3</sup>/h。

### 3.2 半连续制浆系统设计

#### 3.2.1 制浆系统设计思想

根据半连续制浆系统特点以及充填工艺流程要求, 制浆系统采用“混凝土搅拌站”运行模式较为合理<sup>[7]</sup>。为此, 在满足超高水充填材料浆体制备要求的前提下, 科学借鉴“混凝土搅拌站”运行模式中相关成熟技术, 并根据井下工况特点进行创新, 使设计出的半连续料浆制备系统布局合理(采用模块化设计思想<sup>[8]</sup>, 结构紧凑, 便于井下运输)、运行稳定可靠且经济高效(具有较高的安全性, 设备生产能力最大化, 设备占用空间小)。图 2 为所设计出的制浆子系统设备的平、立面布置图。

#### 3.2.2 制浆系统组成及设备选型

每套子系统均由 4 套搅拌主机、2 套配料装置、2 套卸料装置、添加剂配制装置、储浆池、电器控制系统等组成, 系统完全由 PLC(programmable logic controller) 自动控制<sup>[9-10]</sup>。

##### 1) 粉料仓

每条生产线设有两个粉料仓, 用于储存超高水充填材料的粉料, 每个料仓的有效容积为 2.5 m<sup>3</sup>, 结构如图 3 所示。粉料仓设计成上圆下锥结构, 此结构不易形成死角, 利于物料通畅下降, 防止物料残存; 料仓锥体下部设有高压破拱装置<sup>[11]</sup>, 能克服因环境潮湿形成的物料结拱问题; 料仓出口处设有检修用手动蝶阀, 当螺旋输送机需要检修时, 若料仓内仍存有物料, 可先将手动蝶阀关闭后再实施检修, 避免物料浪费。在满仓情况下, 该粉料仓可供连续生产 45 min。

##### 2) 配料、称量系统

###### ① 粉料配料装置

粉料配料装置由粉秤、螺旋给料机以及气动蝶阀等组成, 如图 4 所示。其中秤斗上部设计成圆柱形, 由秤

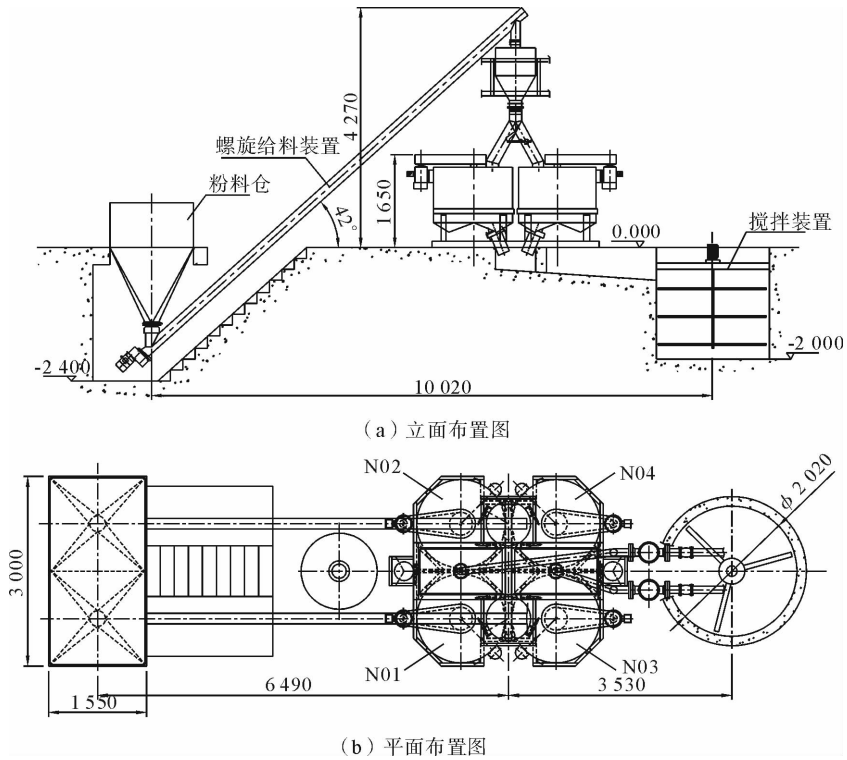


图 2 半连续制浆子系统井下布置图

Fig. 2 Layout diagram of underground semi-continuous slurring subsystem

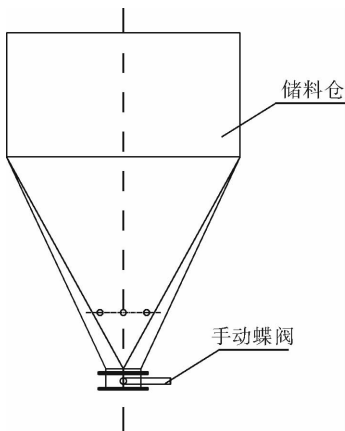


图 3 粉料仓示意图

Fig. 3 Sketch of powder silo

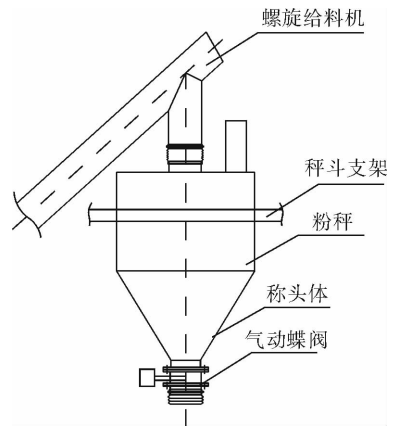


图 4 粉料配料装置示意图

Fig. 4 Sketch of powder ingredients device

斗支架支撑,下部为锥形,锥角为  $60^\circ$ ,防止物料积存。秤斗最大可称量 300 kg 粉料。秤斗给料由高速、大倾角螺旋输送机完成。每次称量临近结束时以点动方式给料<sup>[12]</sup>,保证配料精确可靠,称量误差控制在  $\pm 1\%$ 。秤的计量方式为电子传感重量式计量<sup>[13]</sup>,该方式具有精度高、工作可靠及维护方便等特点。配料计量由 PLC 控制,保证秤的动态配料精度。

粉料的配料与卸料过程完全封闭,无粉尘。称量后的粉料通过开启称斗下部气动蝶阀卸至搅拌机中。

#### ②水称量装置(水称)

水称由水泵、缓冲水包、称斗体、蝶阀等部件组成,如图 5 所示。水称给水由水泵完成。每条生产线各有 2 套水称,称斗最大可称量 1 400 kg 的水。此外,还有 2 套类似外加剂水称,外加剂水称的称斗最大可称量 500 kg 的水。

每台秤的计量方式均为电子传感重量式计量。每台秤可单独配料,称量后的水通过开启秤斗下部的气动蝶阀卸至搅拌主机中。

动态配料计量误差为 $\pm 2\%$ ,采用 PLC 控制技术实现。

### 3) 搅拌系统

搅拌系统由四台搅拌主机组成,搅拌主机由桶体、传动装置、驱动电机、出料蝶阀、主轴及叶轮等组成<sup>[14]</sup>,如图 6 所示。叶轮采用标准流线型设计,设计转速为 320 r/min。工作时,电机通过传动装置驱动主轴及叶轮,使桶内物料形成两个上下翻腾的漩涡,保证物料混合均匀。搅拌机是密闭的,顶部设有检修孔盖。搅拌机传动结构简单、故障点少、维护方便,适于井下作业。连续生产时,各搅拌机按照生产周期表依次顺序生产,通过调节搅拌主机的搅拌时间(3 min 以上)使制浆系统与浆体输送量相匹配。搅拌桶容量为  $1.2 \text{ m}^3$ 。

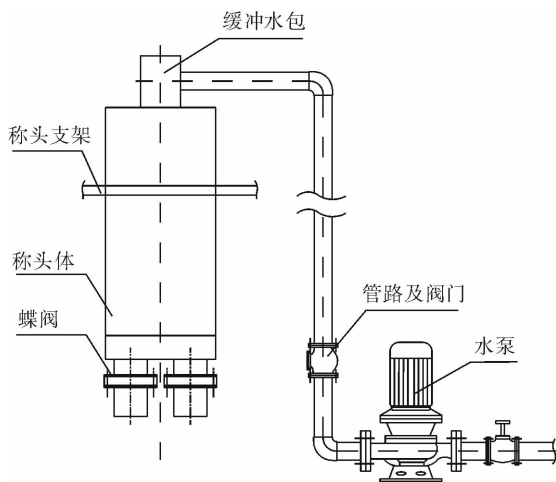
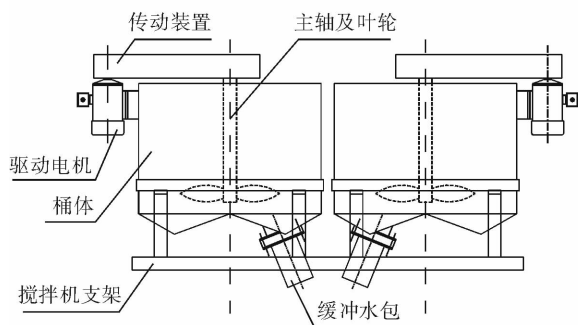
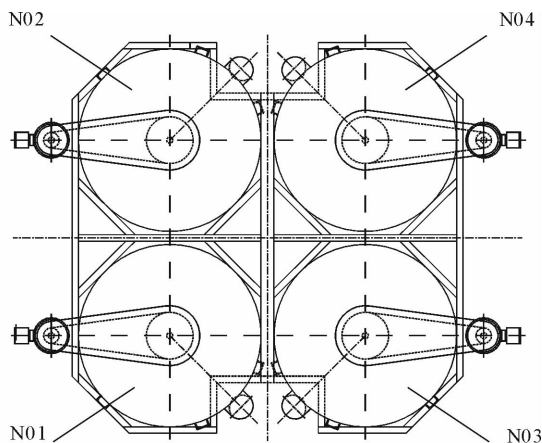


图 5 水称量装置示意图

Fig. 5 Sketch of water weighing device



(a) 主视图



(b) 俯视图

图 6 搅拌系统装置示意图

Fig. 6 Sketch of mixing system device

### 4) 卸料系统

图 7 为粉料卸料装置示意图。该装置由粉料溜管、驱动气缸以及翻板机构等组成。通过控制气缸伸缩带动翻板转动,使粉料称斗形成两个通道,分别与两台搅拌主机相通。根据程序控制,驱动气缸在使其中一条通道打开的同时,另一条通道随之关闭,实现一套粉料秤向两台搅拌主机供料的功能。

水及添加剂卸料也是通过控制秤斗下方的气动蝶阀及其相应管路而向不同搅拌机供料的。

### 5) 储浆系统

图 8 为储浆系统示意图。储浆池也称缓存池,其中设有搅拌装置,以防成品浆沉淀。该池容量为  $5 \text{ m}^3$ ,可储存 4 台搅拌器所生产的成品浆量。储浆池上部设有液面反馈装置,在特殊条件下,起到信息反馈,使搅拌器延迟放料的功能。

### 6) 外加剂预配料系统

为保证外加剂配比准确,每条生产线设有粉状外加剂预配料装置 1 套。该装置包含 1 台搅拌罐、1 台暂存罐与 1 台 500 kg 的水秤(水称量值可调)。

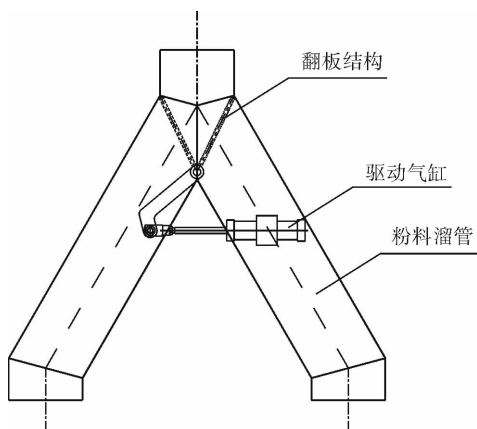


图 7 卸料装置示意图

Fig. 7 Sketch of unloading device

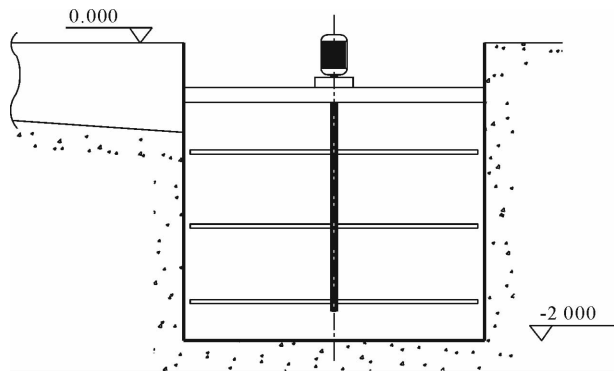


图 8 储浆系统示意图

Fig. 8 Sketch of slurry storage system

该系统基本作业内容是:水通过泵配送至水秤中,再通过下部蝶阀泄入搅拌罐中;工人按 500 kg 水量投入外加剂至搅拌罐中搅拌;搅拌好的外加剂通过阀门送至暂存罐中;暂存罐下部设有气吹装置,防止外加剂沉淀,以随时准备向两台外加剂秤配料;称量完毕的外加剂通过蝶阀分别向搅拌器侧外加剂秤送料。

#### 7) 动力供应系统

动力供应系统:电路电压等级为 AC660 V;控制电路电压等级为 AC127 V;空气压力为 0.6~0.7 MPa。

### 3.2.3 制浆系统生产循环作业方式

合理安排制浆系统各设备的工作能力和工作时间,可确保 4 个搅拌桶顺序放浆并循环生产<sup>[15]</sup>,保证浆液连续不断地进入充填管路。根据陶一矿充填试验面生产能力及采空区充填作业要求,制浆系统中称量、搅拌及放料的相互配合方式参见文献<sup>[15]</sup>,制浆系统中各环节相互衔接的流程关系见制浆系统生产工艺流程图(图 1)。

## 4 应用效果

陶一矿井下超高水材料充填开采制浆系统自 2008 年 9 月设计并安装运行至今已接近 4 年,系统运行稳定可靠、制浆能力大、浆液配比准确、操作简便(完全由 PLC 自动化控制),能保证浆液连续不断地进入充填管路,可满足该矿充填开采的制浆要求,取得了良好的技术和经济效果。图 9 为制浆子系统的井下实照。

与此同时,该系统在使用中也暴露出一些缺陷和不足,主要有以下几点:

1) 系统占用体积较大,布置在井下时需要掘进两个规格至少为长×宽×高=15 m×6 m×7 m 的硐室,对于围岩条件不理想的矿井来说掘进和维护较困难;

2) 系统布置在井下时,由于硐室断面变化大且设备较多,通风条件不理想,生产时产生的粉尘不易及时排出硐室,工人工作环境较差;

3) 系统运行环节较多,管理较复杂,在使用初期易出问题,工人熟悉设备及其检修方法需要的时间较长;

4) 系统设备运转时产生的噪声较大。

实践表明,该系统更适宜布置在地面上,若



图 9 制浆子系统井下实照

Fig. 9 The real photo of underground slurring subsystem

地面条件不允许而必须布置在井下时,要加强硐室的通风管理。同时,应继续对该系统设计进行改进,以减少系统运行环节,使其结构更加紧凑,占用空间更小,并在防尘和降噪方面进一步改善。

## 5 结论

通过对半连续制浆系统的研究并对其在陶一矿的应用效果进行分析,可得出如下主要结论:

- 1) 半连续制浆系统运行稳定可靠,制浆能力强,浆液配比准确,操作简便(完全由 PLC 自动化控制),能满足超高水材料充填开采对浆液制备的要求;
- 2) 该系统占用体积较大,运行环节较多,生产时易产生较大粉尘和噪声,应进一步改进;
- 3) 系统更适宜布置在地面上,若布置在井下,应加强硐室的通风管理。

### 参考文献:

- [1]董跃文,何琪,李宁. 煤矿企业可持续发展的探讨[J]. 矿山机械,2010,38(16):19-21.  
DONG Yuewen, HE Qi, LI Ning. Discussion on sustainable development of colliery enterprises[J]. Mining & Processing Equipment, 2010, 38(16): 19-21.
- [2]钱鸣高,许家林,缪协兴. 煤矿绿色开采技术[J]. 中国矿业大学学报,2003,32(4):343-347.  
QIAN Minggao, XU Jialin, MIAO Xiexing. Green technique in coal mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(4): 343-347.
- [3]冯光明. 超高水充填材料及其充填开采技术研究与应用[D]. 徐州:中国矿业大学,2009.
- [4]冯光明,丁玉,朱红菊,等. 矿用超高水充填材料及其结构的实验研究[J]. 中国矿业大学学报,2010,39(6):813-819.  
FENG Guangming, DIND Yu, ZHU Hongju, et al. Experimental research on a superhigh-water packing material for mining and its micromorphology[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2010, 39(6): 813-819.
- [5]王成真. 超高水材料开放式充填理论分析与应用研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2011.
- [6]黄焕文. 东沟坝金矿干式充填系统设计与实践[J]. 金属矿山,1999(4):16-18.  
HUANG Huanwen. The design and practice of the dry filling system in Donggouba gold mine[J]. Metal Mine, 1999(4): 16-18.
- [7]张侦雄. 浅谈混凝土搅拌站的设计与选型[J]. 人民长江,2009,40(6):81-82.
- [8]冯和平,刘文. 铜绿山矿立式砂仓充填系统的自动控制设计[J]. 采矿技术,2009,9(6):70-72.
- [9]冯光明,孙春东,王成真,等. 超高水材料采空区充填方法研究[J]. 煤炭学报,2010,35(12):1963-1968.  
FENG Guangming, SUN Chundong, WANG Chengzhen, et al. Research on goaf filling methods with super high-water[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(12): 1963-1968.
- [10]冯光明,王成真,李凤凯,等. 超高水材料开放式充填开采研究[J]. 采矿与安全工程学报,2010,27(4):453-457.  
FENG Guangming, WANG Chengzhen, LI Fengkai, et al. Research on open back-filling with highly-water-absorbing material[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2010, 27(4): 453-457.
- [11]朱冬梅,张保东. 气路控制系统在混凝土搅拌站上的应用[J]. 水利电力机械,2005,27(5):52-54.  
ZHU Dongmei, ZHANG Baodong. Application of the pneumatic control system in the concrete mixing station[J]. Water Conservancy & Electric Power Machinery, 2005, 27(5): 52-54.
- [12]刘雍. LK 在混凝土搅拌站控制系统中的应用[J]. 国内外机电一体化技术,2011(2):23-25.
- [13]安世奇. 面粉自动称量控制[J]. 控制工程,2007,14(4):350-352.  
AN Shiqi. Automatic weighting control for flour[J]. Control Engineering of China, 2007, 14(4): 350-352.
- [14]张安康,张国良,冯俊刚,等. 金城金矿东季矿充填系统改造[J]. 有色金属,2004,56(2):90-92.  
ZHANG Ankang, ZHANG Guoliang, FENG Jungang, et al. Filling system improvement in Dongji deposit of Jincheng gold mine[J]. Nonferrous Metals, 2004, 56(2): 90-92.
- [15]冯光明,王成真. 超高水材料采空区充填工艺系统与应用研究[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2011,30(2):1-8.  
FENG Guangming, WANG Chengzhen. Process system of goaf filling with superhigh-water material and application[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2011, 30(2): 1-8.