

# Design on Mechatronic System of Merger and Restructuring Coal Mines

Yu Feng<sup>1</sup>, Qinghui Fan<sup>2</sup>, Qili Wang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Tongbao Coal Mine of Shanxi Lanhua Coal Mining Group Co. Ltd., Jincheng

<sup>2</sup>School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou

Email: [standw999@sohu.com](mailto:standw999@sohu.com), [wqlcumt@126.com](mailto:wqlcumt@126.com)

Received: Oct. 10<sup>th</sup>, 2013; revised: Oct. 24<sup>th</sup>, 2013; accepted: Oct. 29<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2014 Yu Feng et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Yu Feng et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

**Abstract:** In order to change the different levels of mechatronic equipments and improve the level of automation for the merger and restructuring coalmines, systematic design of the mechatronic system was developed in this paper. By design on type selection and monitoring system for the main equipments in coal mines, including hoist, fan, air compressor and pump, the centralized monitoring and automatic control for the main equipments were realized by the controlling systems to meet the requirements of the new local coal mines.

**Keywords:** Hoist; Fan; Air Compressor; Pump

## 兼并重组矿井机电系统设计

冯宇<sup>1</sup>, 范庆辉<sup>2</sup>, 王启立<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> 山西兰花同宝煤业有限公司, 晋城

<sup>2</sup> 中国矿业大学化工学院, 徐州

Email: [standw999@sohu.com](mailto:standw999@sohu.com), [wqlcumt@126.com](mailto:wqlcumt@126.com)

收稿日期: 2013年10月10日; 修回日期: 2013年10月24日; 录用日期: 2013年10月29日

**摘要:** 为改善兼并重组煤矿机电设备水平参差不齐的状况, 提高机电设备自动化程度, 需要对整合煤矿的主要机电系统进行系统设计。通过对提升设备、通风设备、压气设备和排水设备选型设计及相应监控系统设计, 实现机电系统集中监测与自动控制, 满足了建设新型地方矿井需要。

**关键词:** 提升机; 通风机; 压缩机; 水泵

### 1. 引言

2009年以来, 山西省针对本省煤炭行业“多、小、散、低”的格局, 开展了大规模的兼并重组整合行动, 整合后的煤矿数量由2600余座减少到1050座, 煤炭企业由2200多家减少到130家<sup>[1]</sup>。以大中型煤炭企业为主体, 全面关闭年产量在30万吨以下小型煤矿,

通过整合建设新型现代化矿井, 提高煤矿产能, 降低生产成本, 提高设备机械化水平和自动化管理水平, 减少安全事故和环境污染。

机电系统是煤矿建设的重要部分, 关系到煤矿能否安全可靠生产。兼并重组后煤矿机电系统分散, 设备水平参差不齐, 大部分设备的承载能力和自动化水平不能满足新型矿井要求, 需要进行重新设计<sup>[2]</sup>。本

\*通讯作者。

文基于山西煤矿重组背景,以山西兰花同宝煤业为例,详细阐述兼并重组煤矿机电系统设计过程,以满足现代煤矿企业发展要求。

## 2. 机电系统设计原则和要求

根据山西省煤矿企业重组整合方案,山西兰花科技创业股份有限公司 2010 年兼并整合了山西省高平市西南方向 7 个小型乡镇及村办煤矿,整合后更名为山西兰花同宝煤业有限公司,整合后开采面积为 9.86 km<sup>2</sup>,生产规模 900 kt/a。矿井扩大生产能力后,需对矿井进行重新布置和规划,提高资源回收率,实现规模化、高效生产。地面机电系统是整合设计的重点,涉及面广,设备多,规划设计应该遵循以下设计原则和要求。

- 1) 设计符合《煤矿安全手册》等相关文件要求,符合山西省政府关于山西兰花同宝煤业兼并重组整合方案的相关文件要求。
- 2) 合理利用现有设备,及时更换陈旧及老化设备,在确保设备安全寿命的前提下节约投资,缩短整合建设周期。
- 3) 设计以人为本,因地制宜,建设自动化程度高,运行可靠,环境友好的机电系统。
- 4) 设备选型设计要跟踪前沿技术和发展趋势,控制手段先进,联网方式可靠,能够连接全矿工业环网,满足数字化矿山建设要求,符合煤矿发展趋势的新型地方矿井。

## 3. 机电系统设计

### 3.1. 提升设备设计

主斜井输送机是矿井正常生产的关键性设备,其输送能力、输送带宽度、输送带速度的选择应结合井下工作面的生产能力、大巷运输条件及设备配套情况确定<sup>[3]</sup>。原古寨煤矿(整合小型矿井之一)的主斜井作为兼并重组整合矿井的主斜井,对其进行刷大、延伸改造,一侧装备带宽 1000 mm 的带式输送机担负矿井原煤提升任务,另侧装备一架空乘人器担负矿井的人员升降任务。由于技术原因和承载能力限制,主斜井提升设备全部重新选型,整合前各矿主提升设备均不再使用。根据现场具体情况,带式输送机设计参数如表 1 所示。

确定输送机的基本参数(带速、带宽、倾角、输送能力)后,需要计算驱动滚筒牵引力,对驱动电机进行选型设计<sup>[4]</sup>。带式输送机滚筒牵引力是所有运行阻力之和,计算公式为:

$$F_U = CF_H + F_{S1} + F_{S2} + F_{Sf} \quad (1)$$

式中  $F_H$  为主要阻力,  $F_{S1}$  为主要特种阻力,  $F_{S2}$  为附加特种阻力,  $F_{Sf}$  为输送机倾斜阻力,计算中,附加阻力系数  $C$  取 1.2。通过计算,选用电机型号为 YB2-400S1-4,功率 220 kW。电机选型完毕后,需要对输送带垂直度进行校核,完成打滑试验,以确保输送带强度符合要求。计算逆止力矩和制动力矩,以确定拉紧装置,计算结果如表 2 所示,根据计算结果,选择 ZYL500J-01-80 型自控液压拉紧装置,满足要求,并具备信号监测、保护与控制功能。

提升设备的监控保护对输送系统的安全运行可靠运行至关重要,主斜井带式输送机均采用 KXT 型 PLC 带式输送机集中控制系统,实现监测、报警显示和数据通讯功能,可对胶带跑偏、速度打滑、急停拉线开关、胶带纵向撕裂、漏斗堆煤及满仓、滚筒温度监、胶带火灾、电机过载,超温等现象进行监测,启动停车预报及警告保护。系统配置 YDT-A 钢丝绳芯输送带无损探伤仪,具有针对各类钢丝绳芯输送带的无损探伤和在线实时监测功能。主斜井带式输送机还设置一套断带捕捉器,型号为 ZDB-400/100。该设备具有断带捕捉功能,防皮带跑偏功能和卡带器功能。当发生断带或逆止失效时,可迅速抓捕断裂胶带或失控后突然下滑的重段胶带,沿线多点布置,解决随机变化,下滑不超过 3000 mm。

### 3.2. 通风设备设计

通风设备承担为井下输送新鲜空气,满足井下人

Table 1. Basis parameters of the design for the belt conveyor  
表1. 带式输送机设计依据

序号	参数	数值	序号	参数	数值
1	不均匀系数	1.15	6	物料散密度	950 kg/m <sup>3</sup>
2	输送量	200 t/h	7	输送距离	467 m
3	带速	2.5 m/s	8	提升高度	189 m
4	带宽	1000 mm	9	输送机倾角	22°
5	最大粒度	300 mm	10	工作制度	330 d/a;16 h/d

**Table 2. Design parameters of belt conveyor**  
**表2. 带式输送机设计参数**

序号	参数	结果	序号	参数	结果
1	主要阻力	13,643 N	9	回程分支最小张力	8158 N
2	主要特种阻力	133.7 N	10	胶带安全系数	8.7
3	附加特种阻力	3315.2 N	11	所需逆止力矩	19,206 N·m
4	输送带倾斜阻力	53,472 N	12	额定逆止力矩	38,412 N·m
5	滚筒牵引力	73,293 N	13	制动力	9567 N
6	滚筒功率	183.2 kW	14	制动力矩	7654 N·m
7	电机功率	222.2 kW	15	输送带拉紧力	32,142 sN
8	承载分支最小张力	6526.8 N	16	拉紧行程	2.67 m

员使用，并走有害气体的重要作用，也称为“矿井肺腑”<sup>[5]</sup>。矿井采用机械抽出式通风方式，由主斜井、副斜井进风，回风立井回风，选择合理的通风设备有助于整个矿井通风系统的安全高效运行。整合后的通风机主要满足 9#煤及 15#煤两个工作面的通风要求，根据《煤矿安全手册》等相关文件的计算方法，得到各工作面的通风参数如表 3 所示，其中，漏风系数取值为 1.05，阻力损失取值 150 Pa。

根据上述数据，选择 FBCDZ-10-No28B 型轴流式通风机 2 台，配有 YBF560S1-10 型电机(功率 2 × 400 kW，电压 10 kV，转数 580 r/min)，该风机的风量范围为 Q = 80~200 m<sup>3</sup>/s，负压范围为 H = 752~2843 Pa，一台工作，一台备用，完全满足设计要求，并采用变频调速装置，在前期运行(只是 15 号煤层通风)时，频率为 40 Hz 即可满足通风要求。

通风机配置 KJZ-3 型通风机性能监控系统，可实现对通风机温度、电量、振动等运行参数和负压、流量、功率、效率等性能参数实现在线实时监测<sup>[6]</sup>。通过 PLC 控制柜实现对电控系统及变频系统的监测和集中控制，实现通风机及电控系统的完全计算机监控管理。

### 3.3. 压缩空气设备设计

压缩机承担为井下用风设备以及应急时提供压缩空气的任务，设计需要根据需求压缩空气量选择合适压缩机及台套数，并敷设管路至井下用风地点，用以满足用风设备需求，并为应急救援提供必要的空气量<sup>[7]</sup>。井下风动工具配置如表 4 所示。

**Table 3. Parameters of ventilation system**  
**表3. 通风系统设计参数**

参数	9#	15#
理论所需风量	117 m <sup>3</sup> /s	84 m <sup>3</sup> /s
理论所需最小负压	1083 Pa	727 Pa
理论所需最大负压	1552 Pa	1880 Pa
前期通风所需负压	1233 Pa	877 Pa
后期通风所需负压	1702 Pa	2030 Pa
前期管网阻力系数	0.08	0.11
后期管网阻力系数	0.12	0.25
前期最大功率	288 kW	357 kW
后期最大功率	173 kW	317 kW

**Table 4. Flow demand of underground workplace**  
**表4. 井下风需求量**

名称	数量	压力MPa	风量m <sup>3</sup> /min
锚杆打眼安装机	4	0.5	3
混凝土喷射机	2	0.5	5
帮锚杆打眼安装机	4	0.5	3
风煤钻	10	0.5	1.8

压缩机供气量计算过程中，取漏气系数 1.2，耗气量系数 1.15，同型号风动工具同时使用的系数 0.85，其他参数参见表 4，得到最大日常用耗气量为 Q<sub>1</sub> 为 59.34 m<sup>3</sup>/min。再考虑紧急救援情况下供风量参数，鉴于紧急情况下矿井理应停止生产，大部分人员可能已经离开工作区域转移到避难硐室或进入逃生通道。因此，参照井下避难硐室的用风量作为计算依据，即

每人供风量不少于 0.3 m<sup>3</sup>/min，假设最大班下井人数为 98 人，则计算得到应急供风量 Q<sub>2</sub> 为 40.6 m<sup>3</sup>/min。假设压缩机的压力损失为 0.03 MPa/kM，最远输送距离为 8 kM，则压缩机出口压力：

$$p = p_p + \sum \Delta p_i + 0.1 = 0.84 \text{ MPa} \quad (2)$$

根据上述要求，选择 SA200A 型螺杆空气压缩机 3 台，2 台工作 1 台备用，配用 3 台风包，每台容积为 3 m<sup>3</sup>，风包上装有压力表及安全阀，在风包排风管路上装释压阀。主要技术参数为：排气量 30.2 m<sup>3</sup>/min，排气压力 1.0 MPa；驱动电机为三相交流异步电机，10 kV，200 kW，转速 2980 rpm；冷却方式为风冷。

选型确定后，需要对压缩机进行压力损失核算。其中，主管道压力损失为：

$$\Delta p_i = 10^{-12} (l'/d^5) Q 1.85 = 0.14 \text{ MPa} \quad (3)$$

最远支管道压力损失为：

$$\Delta p_i = 10^{-12} (l'/d^5) Q 1.85 = 0.002 \text{ MPa} \quad (4)$$

则排气到最远支管道处压力为：

$$1.0 - 0.14 - 0.002 = 0.858 \text{ MPa} > 0.84 \text{ MPa}$$

压力完全满足要求。

为确保压气系统安全可靠运行，需要设计监测参数全面、自动化程度高、数据采集可靠地压缩机在线监控系统<sup>[8]</sup>。监控系统基于西门子 S7-300 系列 PLC 和 WinCC 组态软件，利用 Modbus 协议直接与压缩机自带的控制器进行通讯，采集压缩机运行参数，并实现对压缩机的远程控制。配置以太网通讯模块，通过 OPC 协议实现压缩机监控数据的远程传输与数据共享，实现与工业环网系统无缝连接，实现了压风系统的网络化监控。

### 3.4. 排水设备设计

副斜井井底设主排水泵房，矿井涌水经敷设于副斜井井筒中的排水管路排至地面工业场地的井下水处理站水池。根据测量，矿井涌水量设计数据如下：正常涌水量为 100 m<sup>3</sup>/h；最大涌水量为 140 m<sup>3</sup>/h；排水高度为 182.7 m；排水管长为 800 m；水泵房底板标高为+740.5 m，井口标高为+901.883 m，水处理站标高为+923.24 m。

根据设计条件，由公式

$$Q = 1.2Q_r \quad (5)$$

确定水泵房在正常情况和最大涌水量情况下所需的最小排水能力分别为 120 m<sup>3</sup>/h 和 168 m<sup>3</sup>/h。由公式 HB = K(H<sub>p</sub> + H)可计算出水泵的扬程 HB 为 234.6 米(扬程损失系数 K 取值 1.2, 泵吸水高度 H 取值 5.5 m)，根据上述进行水泵选型，初选 MD155-30(SL)型多级离心水泵，额定流量为 155 m<sup>3</sup>/h，单级额定扬程为 30 m，数量为 3 台，正常涌水时所需水泵的工作 1 台，备用水泵 1 台，检修 1 台；最大涌水时所需水泵的工作 2 台，备用水泵 1 台。

水泵初选后，需要进行管道相关计算，以确定水泵所需总扬程和水泵级数。副斜井井筒敷设 2 趟排水管路，正常涌水时为 1 趟工作，1 趟备用；最大涌水时 2 趟同时工作。按照上述条件，通过管网阻力计算，结论为：3 台 MD155-30 × 9 型多级离心水泵，额定扬程为 270 m，配套电机选用 YB2-315L2-4 型防爆电机，电压 10 kV，功率 200 kW，转速 1480 r/min。计算结果汇总如表 5 所示。

排水系统需要实现自动控制，以确保井下排水系

Table 5. Parameters of the pump  
表5. 水泵设计参数

序号	变量	结果	序号	名称	参数
1	排水管所需直径	165 mm	8	排水管阻力损失	25.43 m
2	排水管实际直径	194 mm	9	初期水泵流动总损失	26.22 m
3	排水管所需厚度	3.26 mm	10	后期水泵流动总损失	44.58 m
4	排水管实际厚度	6 mm	11	初期水泵级数	7.4(取8)
5	吸水管所需直径	190 mm	12	后期水泵级数	8.1(取9)
6	吸水管实际直径	219 mm	13	初期所需功率	172.4 kW
7	吸水管阻力损失	0.63 m	14	后期所需功率	181.1 kW

统安全运行, 并提高设备效率, 降低大功率设备能耗<sup>[9]</sup>。系统配套 KXJ 型矿井水泵自动控制系统, 可实现如下功能: 1) 既可实现单台水泵控制, 又可实现多台水泵智能优化控制; 2) 可监测水仓水位、流量、电压、电流、压力、真空度、温度、闸阀开度等一系列参数; 3) 具有过热过载等各种保护功能; 4) 可手动、自动启动或停止水泵的运行, 开、关闸阀以及控制闸阀的开度进行流量控制; 5) 可与矿井监控系统联网, 可实现井下排水泵房自动化管理要求。

### 3.5. 机电系统远程监控整合设计

近年来工业监控技术发展迅速, 对煤矿综合自动化系统提出了新的更高的要求。建设数字化矿山对提高煤矿安全监控水平, 确保煤矿安全高效生产有重要作用, 也是新形势下我国煤矿发展的必然要求<sup>[10]</sup>。数字化矿山建设要求煤矿机电系统实现各生产部门生产过程监控的信息化、数字化与网络化, 以减少安全事故, 提升生产系统的自动化水平, 提高大型机电设备运行效率, 降低生产成本, 促进煤矿可持续生产。

机电系统的远程监控基于工业以太环网, 利用西门子 WinCC 组态软件作为组态软件, 通过数据交换技术实现机电调度中心服务器与四大子系统计算机数据共享。首先建设机电调度中心与各子系统之间的工业以太网络系统。然后对调度中心监控软件进行组态, 通过 OPC 数据交换协议, 有效连接调度中心电脑与各子系统电脑。最后, 通过 OPC 协议的读/写功能, 建立远程数据采集和控制系统, 将各子系统信息集成到机电调度中心服务器, 实现远程监测与控制。

## 4. 结论

大型矿井对中小型矿井进行兼并重组整合已经

在国内多数煤炭大省广泛展开, 整合后的矿井设计需要考虑诸多方面的复杂因素。本文以山西兰花同宝煤业公司的兼并重组后的机电系统设计为例, 对矿井提升系统、通风机系统、压缩机系统及排水系统进行整合设计, 提出了机电系统的综合数字化监控方案。在因地制宜的条件下, 考虑到投入成本和自动化水平, 设计了符合煤矿发展趋势的新型地方煤矿机电系统, 为煤矿发展奠定了良好基础。

## 基金项目

徐州工程学院, 江苏省大型工程装备检测与控制重点建设实验室开放基金(JSKLEDC201220)。

## 参考文献 (References)

- [1] 徐新法 (2011) 煤炭资源兼并重组后整合矿井机电管理现状分析. *水力采煤与管道运输*, **2**, 90-93.
- [2] 牛国亮 (2011) 地方煤矿安全管理现状与对策. *煤矿安全运*, **4**, 190-193.
- [3] 田文杰, 王应洲, 李晓光 (2011) 屯留煤矿主提升系统的优化改造. *煤矿机电*, **3**, 74-76.
- [4] 李宗德 (2011) 牛彩凤矿井提升运输系统技术改造. *矿山机械*, **6**, 133-134.
- [5] 巨广刚 (2011) 我国煤矿在用主要通风机系统运行现状及对策. *煤矿安全*, **2**, 127-129.
- [6] 王启立, 胡亚非, 熊建军 (2007) 基于可编程控制器的煤矿主通风机计算机监控管理系统. *煤炭工程*, **7**, 94-96.
- [7] 卢鉴章 (2010) 煤矿井下压风自救系统. *煤矿机电*, **12**, 4-7.
- [8] 郭庆凯, 彭担任 (2011) 矿井空气压缩机监控技术的研究. *矿山机械*, **1**, 108-111.
- [9] 李亚哲 (2011) 煤矿井下主排水系统工艺流程及其自动控制系统设计. *工矿自动化*, **5**, 15-18.
- [10] 张建平, 柴洪静 (2011) 数字化矿山综合调度指挥平台研究. *中国煤炭*, **10**, 63-66.