

# 大冶铁矿尖林山车间井下通风系统改造

陈国平<sup>1</sup>,阮德超<sup>1</sup>,胡文军<sup>2</sup>,吕 玲<sup>1</sup>,蔡 勇<sup>1</sup>

(1. 武汉工程大学电气信息学院,湖北 武汉 430074;

2. 武汉工程大学环境与城市建设学院,湖北 武汉 430074)

**摘 要:**为了解决大冶铁矿尖林山车间井下通风系统中存在的主扇能力不足、矿井总风量不足、采区通风困难、系统外部漏风等问题,通过现场调研,提出了对通风系统风网结构和主扇设置等进行技术改造的方案.首先采用斯科特·辛斯利(Scott-Hinsley)回路解算方法进行分网分析,开发了矿井通风系统软件(Mvnet Version1.4),并根据井下各中段作业面需风量,应用该软件进行了通风网络解算.然后通过软件解算和风机特性曲线拟合,获得了一组风机效率 75% 以上,满足各中段作业需求的井下通风系统的解算结果,并确定了额定功率、叶片角度、风量和风压等风机运行基本参数.最后根据解算结果,提出对矿井通风系统关键部位采用增阻和辅扇等技术进行风量风压调节,以满足井下各中段作业需风量要求.通过技术改造,提高了矿井安全性,节约了通风费用,产生了较大的经济和社会效益.

**关键词:**通风系统;优化改造;风网解算;风量调节

**中图分类号:**TP028.8

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2013.06.015

## 0 引 言

矿井通风是创造矿井正常生产环境和安全生产条件的基础,也是矿井安全生产的基本保障<sup>[1]</sup>.据相关统计,到 2007 年底,我国有金属非金属地下矿山 11 799 座.其中,已建立机械通风系统的 6 826 座,占地下矿山总数的 57.9%,未建立机械通风系统的 4 973 座,占地下矿山总数的 42.1%<sup>[2]</sup>.然而随着许多矿山生产的发展以及矿井通风系统管理不善,导致出现井下采空区多、漏风大、风流紊乱、串联风多、风量与风质达不到要求等问题,而且由于有效风量率低直接造成较高的通风成本.这是我国目前地下开采矿山普遍存在的问题,不仅是经济上的损失,更关系到井下作业的每一名矿工的生命安全.

对矿井通风系统优化的研究很有必要,国内外许多专家和学者对此进行了广泛深入的研究,并取得了许多成果,如在矿井通风网络解算和通风系统图的建立几个方面都开发出了相应的运用软件.先进的计算机技术为系统优化带来极大方便,上世纪 80 年代初,以加拿大、澳大利亚、美国和英国为代表陆续开发出整套矿井通风管理软件.在国内,由于语言和价格等方面的原因并没有

普及这些软件,自 80 年代末始,经过二十多年的发展,不少软件已开始成功投入使用.中国矿业大学开发的计算机图形系统软件,专门用于矿井通风系统图形管理和事故救灾辅助决策,并很方便地生成矿井通风系统图.贵州工业大学采矿教研室研发的 MVS-MIS 系统,系统使用方便,资源共享性强,安全可靠,加速了矿山信息化管理步伐.但是在实际通风系统优化工作中,由于缺乏专门的优化决策支持软件,工程人员面对大量的数据而无法运用科学的方法进行定量计算.另外,通风系统优化的不同环节中运用不同的软件,不但繁琐而且不利于信息处理和记录,加上受当时计算机编程语言的限制,之前开发的软件在信息输入、软件操作、系统结构等方面都存在着缺陷<sup>[3]</sup>.

通过运用系统论、图论、拓扑学的观点,对大冶铁矿尖林山矿井通风系统进行改造设计,进行风网解算,以求达到技术可行、经济合理的风网风流控制方案,从技术上解决上述存在的问题.

## 1 工程概况

武钢矿业公司大冶铁矿矿区位于湖北省黄石市铁山区,东距黄石市区 25 km,东南距大冶市 15 km.矿区水陆交通十分方便.矿区内气候冬冷

收稿日期:2013-05-02

**作者简介:**陈国平(1958-),男,江苏无锡人,副教授.研究方向:多变量解耦控制技术、优化控制技术、自适应控制技术、软测量与推理控制、系统建模与仿真等.

夏热,四季分明,雨量充沛,为典型的亚热带大陆性气候。开采标高为+276 m至-280 m。开采矿种:铁矿。

矿区共分布有6个主要大矿体,自西向东依次为铁门坎、龙洞、尖林山、象鼻山、狮子山、尖山矿体,除尖林山为隐伏矿体外,其余均露出地表。矿体呈似层状、透镜状,矿体总体走向为北西西,向深部转向南南东倾斜。矿体北部是闪长岩,地势高;南部是大理岩,地势低<sup>[4]</sup>。

## 2 通风系统现状及存在的问题

目前,尖林山车间井下通风系统存在风机机站分布分散、通风网络复杂、风路较长、通风费用高、主扇能力不足、矿井总风量不足、采区通风困难,系统外部漏风等问题<sup>[5]</sup>。具体如下:

(1) 矿山各采区均已转入-110 m以下二期开采,各采区二期开采的回风井与上部一期开采的回风井在-110 m水平错开,并且与-110 m中段运输巷相通,造成大量新鲜风流直接从-110 m中段运输巷流入上部回风井排出而不能进入-110 m以下作业中段。

(2) 由于上述原因,龙洞采区与铁门坎东区-110 m以下作业面风量严重不足,铁门坎东区风流甚至反向西行下到-170 m、-230 m、-270 m水平。

(3) 铁门坎北区-110 m以上一期工程电梯井已破旧不能正常运行,给设于铁门坎北回风斜井口的风机管理带来极大困难。北区-110 m以上各水平漏风严重,造成-110 m以下回风能力过小。

(4) 铁门坎南回风斜井口的风机已拆除,南区的通风系统已瘫痪,-110 m以下作业面的炮烟下行到-170 m中段,影响到运输作业的安全。

(5) 铁门坎西区和东区的需风量主要是来自于铁门坎副井,然而随着深部开采的继续,系统外部漏风增加,进风量已满足不了各采场的需求。

(6) 现有的通风系统,特别是铁门坎西区的通风线路长,通风巷道复杂紊乱,这不仅给通风管理造成不便,而且局部可能存在的污风循环,给井下开采作业造成严重安全隐患。

为了能最大限度地解决这些问题,并节约通风能耗,降低通风费用,提高通风系统管理水平,有必要对系统进行改造设计。

## 3 通风系统改造方案

### 3.1 铁门坎采区

铁门坎采区分铁门坎西区与铁门坎东区两个通风系统。铁门坎西区原北回风斜井改为进风井(拆除北回风斜井下部风机),一部分新鲜风流由北进风斜井(原北回风斜井)分别经过-50 m水平北进风井、北提升井和北回风井至-110 m中段,再经电梯井、斜坡道进入各作业分层;另一部分新鲜风流由铁门坎副井分别进入-110 m、-170 m中段,再从斜坡道、电梯井进入各作业分层,作业排出的污风汇集于矿体北端与西端的回风井上至-110 m水平,再经南回风井和南措井上升至-50 m水平,最后由设在南回风斜井井口的两台并联风机抽出至地表(拆除南回风斜井下部风机)。

铁门坎-45 m水平溜破回风井口设有一台风机,将破碎硐室污风抽出至南回风斜井,最后由南回风井口的两台并联风机抽出至地表。

铁门坎东区新鲜风流从铁门坎副井下至-170 m阶段运输巷,再由-170 m阶段运输巷进入东区人行通风天井上至各作业分层,作业排出的污风汇集于矿体东端的回风井上至-110 m水平,经-110 m阶段原铁门坎东回风井至-50 m水平,再由设于+90 m地表的两台并联风机通过电梯井、铁龙回风斜井抽出排至地表<sup>[6]</sup>。

### 3.2 龙洞采区

龙洞采区新鲜风流从龙洞斜坡道与龙洞主进风井、阶段进风井及原提升井进入-110 m阶段运输巷,再由斜坡道下至-170 m阶段运输巷,并由位于矿体东端、中部的进风井进入各作业分层。作业排出的污风汇集于矿体西端的回风井上至-110 m水平,经龙洞回风井至-50 m水平,再由设于+90 m地表的两台并联风机通过铁龙回风斜井抽出排至地表。

### 3.3 尖林山采区

尖林山采区新鲜风流从石塔沟主井分别进入-110 m、-170 m水平阶段运输巷,再从斜坡道、电梯井进入各作业分层,作业排出的污风汇集于矿体东端的回风井上至-110 m水平,由设于+105 m水平的两台并联风机抽出,通过-50~-110 m阶段回风井、尖林山回风斜井排至地表。

针对通风系统存在的问题,此次改造的目标是研究满足井下尖林山、铁门坎、龙洞三个采区-170 m中段生产比较合理的通风方式,建立一个有效风量率 $\geq 65\%$ ,风机平均效率 $\geq 65\%$ ,满足

—170 m中段作业的高效运行井下通风系统<sup>[7-8]</sup>.

## 4 矿井通风阻力及需风量计算

### 4.1 井下需风量

根据《金属非金属矿山安全规程》对于井下通风安全的规定和各采区生产情况,同时考虑矿井漏风及风量调整不及时的备用风量,取漏风系数 0.40,各采区需风量计算如表 1 所示.

表 1 各采区需风量

Table 1 Required amount of air in each mining area

采区	同时工作面个数	需风量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	备注
铁门坎西区	16	56.8	漏风系数 0.4
铁门坎东区	6	24.5	漏风系数 0.4
龙洞采区	11	41.6	漏风系数 0.4
尖林山采区	11	41.6	漏风系数 0.4
合计	44	164.5	

### 4.2 矿井通风阻力计算

由于矿井巷道极少为圆形,可用当量直径  $d=4S/U$  代入沿程阻力公式得:

$$h_f = \frac{\lambda \cdot \rho}{8} \cdot \frac{LU}{S} v^2 = \frac{\lambda \cdot \rho}{8} \cdot \frac{LU}{S^3} Q^2$$

$$\text{再令: } \alpha = \frac{\lambda \cdot \rho}{8}, R_f = \frac{\alpha LU}{S^3} N \cdot \frac{S^2}{m^2}$$

则井巷摩擦阻力计算公式为

$$H_f = R_f Q^2$$

式中:  $\lambda$  为沿程阻力系数;  $\rho$  为空气密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $S$  为巷道断面面积,  $\text{m}^2$ ;  $U$  为巷道周界,  $\text{m}$ ;  $L$  为巷道长度,  $\text{m}$ .

## 5 通风系统网络解算

风网解算时,考虑到大冶铁矿铁门坎、龙洞和尖林山的通风网路是一个整体,构成一个通风系统,根据系统论的观点,不能将三个工区截然分开.因此,解算时我们将整个通风系统经过拓扑变换,然后代入原始数据进行计算机解算.原始数据包括分支的起始结点号、风阻、需风量、自然风压或恒压源压头等,分支、主扇曲线条数和曲线特征点的风量、风压,以及迭代限与迭代精度<sup>[9]</sup>.

### 5.1 风网分析方法及解算软件

常用的风网解算方法有斯科特·辛斯利 (Scott-Hinsley) 法和牛顿·拉夫逊 (Newton-Raphson) 法.其中 Newton-Raphson 法是一种斜量法,其收敛速度快,但对内存要求量大而每次计算占机时间较长; Scott-Hinsley 法是一种迭代法,虽然其收敛速度受所圈划回路的影响,但其算法简单,内存要求不大,每次迭代运算速度较快,收敛性较好,故本文采用 Scott-Hinsley 法进行风网分析.

在上述方法的基础上开发出新的风网分析软件 Mvnet Version1.4 对大冶尖林山铁矿井下通风系统网络进行解算,该软件的功能结构如图 1 所示.

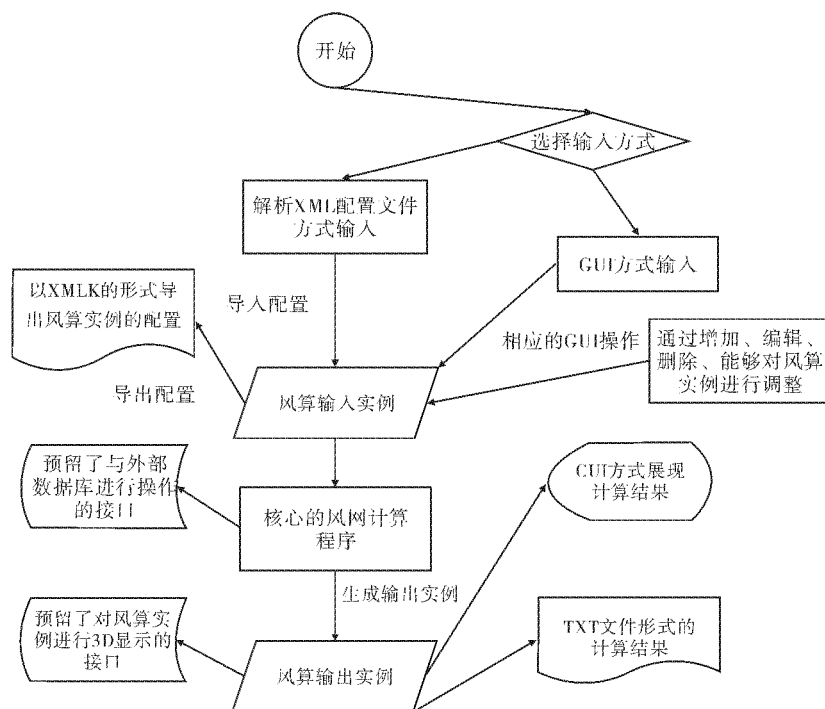


图 1 Mvnet Version1.4 功能结构图

Fig. 1 Function structure diagram of Mvnet Version1.4

## 5.2 风网解算步骤

由主程序输入原始数据进行风阻计算,通风阻力  $R=aPL/S^3$ ,  $a$  为摩阻系数,  $P$  为巷道周长,  $L$  为长度,  $S$  为面积. 再通过最小二乘法进行风机特性曲线拟合. 风网解算程序框图如图 2 所示.

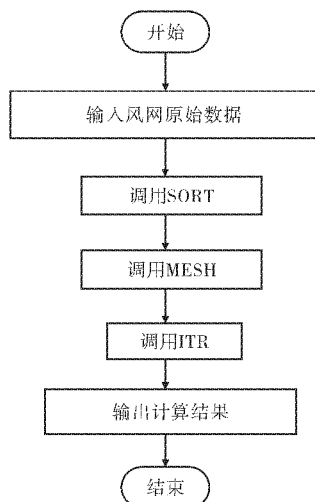


图 2 风网解算程序框图

Fig. 2 Block diagram of ventilation network calculation

## 5.3 主扇性能曲线拟合

风网主扇 K40-6-No16、K40-4-No11 的性能曲线分别如图 3、图 4 所示. 注意并联主扇特性曲线按照“风压相等,风量相加”的原则合成.

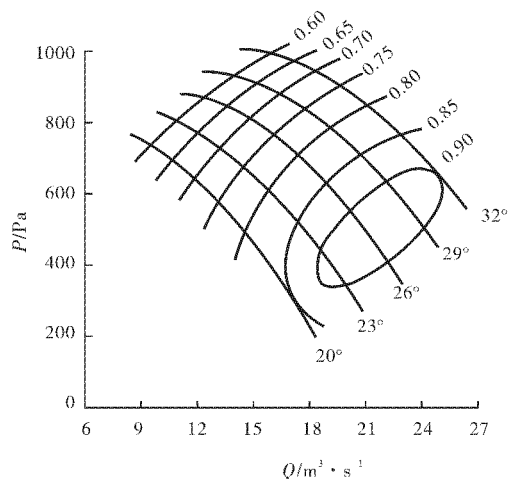


图 3 K40-4-No11 等风机特性曲线图

Fig. 3 Characteristic curve of K40-4-No11

## 5.4 通风网络解算

根据通风方案和通风解算网络图以及相关基础资料,编制巷道风阻、网孔、风机及机站原始参数文件,然后利用矿井通风系统解算软件 Mvnet version1.4 进行网络解算.

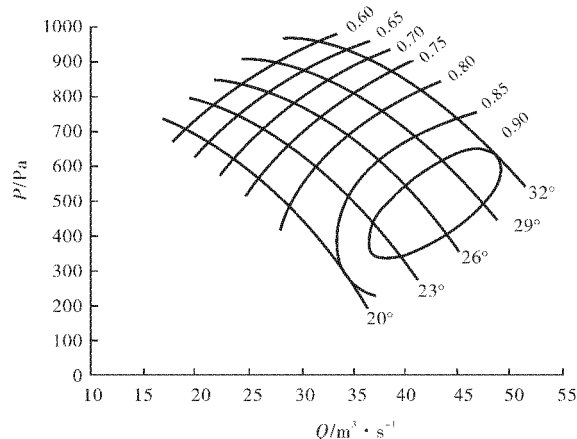


图 4 K40-6-No16 等风机特性曲线图

Fig. 4 Characteristic curve of K40-6-No16

风网分支数  $NB=264$ , 迭代最大次数  $MIT=500$ , 迭代限  $E=0.001$ . 风网主扇数  $NFC=4$ , 根据结算结果对各主扇性能曲线参数进行拟合.

## 6 机站解算结果及鉴定指标

通过计算工作面需风量,巷道通风阻力和风机特性等参数,运用风网分析软件 Mvnet Version1.4 进行风网解算. 风机参数解算结果如表 2 所示. 其中风机实耗功率计算公式为

$$N = \frac{P \times Q \times K}{1000 \times \eta_1 \eta_2}$$

式中:  $N$  为风机所需功率;  $P$  为风机全压, Pa;  $Q$  为风机风量,  $m^3/s$ ;  $K$  为电机容量储备系数;  $\eta_1$  为风机全压效率;  $\eta_2$  为机械效率.

同时,为检验结算结果的正确性,还应根据《冶金矿山矿井通风系统鉴定指标》相关规定,对改造后的尖林山矿区通风系统进行全面的检测,并按照基本指标、综合指标和辅助指标对其进行评价<sup>[9]</sup>,评价指标如表 3 所示.

表 2 机站参数解算结果

Table 2 Calculating results of ventilation station parameters

风机设置地点	风机型号	额定功率/kW	叶片角度/(°)	机站风量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	机站风压/Pa	实耗功率/kW	风机效率/%
+84 m 铁门坎南回风斜井	K40-6-NO16	55×2	26	78.8	723.4	63.6	85
−45 m 铁门坎溜破回风井	K40-4-NO11	30	26	25.3	309.7	14.1	75
+90 m 铁龙回风斜井口	K40-6-NO16	55×2	20	46.6	844.12	48.3	80
+105 m 尖林山回风斜井口	K40-6-NO16	55×2	20	30.5	846.45	43.8	75
主扇总功率						169.8	

表 3 通风系统鉴定指标

Table 3 Evaluation index of ventilation system

指标分类及名称		计算公式	单位
综合指标		$c = \sqrt[5]{u_1 \cdot u_2 \cdot u_3 \cdot u_4 \cdot \beta}$	%
基本指标	风速合格率	$u_1 = \frac{n}{Z} \times 100\%$	%
	风质合格率	$u_2 = \frac{m}{Z} \times 100\%$	%
	有效风量率	$u_3 = \frac{\sum Q_3}{\sum Q} \times 100\%$	%
	主扇装置效率	$u_4 = \frac{H_4 Q_4}{102 \cdot u_5 u_4 \cdot N} \times 100\%$	%
	风量供需比	$\beta = \frac{\sum Q_4}{\sum Q}$	—
辅助指标	万吨矿石生产供风量	$q = \frac{\sum Q_i}{A}$	$\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{万吨}$
	单位矿石量通风电能	$e = \frac{\sum T \cdot S \cdot D \cdot W_4}{\sum 1000 \cdot A}$	$\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$

7 通风系统改造工程

(1)辅扇. 根据解算结果,需要在以下两处安装辅扇进行增压调节:

龙洞−122 m 开采水平安装一台型号为 K40-6-NO13 风机,其功率为 3.6 kW.

龙洞−134 m 开采水平安装一台型号为 K40-6-NO13 风机,其功率为 3.6 kW.

辅扇也可以使用原铁门坎北回风斜井和南回风斜井拆下来的风机.

(2)通风构筑物. 为保证风流按生产需要和已设计的通风路线流动,需建立和设置必要的通风构筑物以实现风量的有效调节和合理分配<sup>[10-12]</sup>.

在铁门坎东区−170 m 至−110 m 北端回风井联巷设置调节风窗进行风量增阻调节.

在龙洞采区−170 m 至−110 m 中部进风井联巷设置调节风窗,进行风量调节.

(3)通风井巷工程. 拆除−50 m 水平北回风

斜井风机,将铁门坎北区北回风斜井改为进风井,−50 m 至−110 m 原北进风井、北提升井、北回风井均改为进风井;拆除南区−50 m 电梯井风机及相关设备,将铁门坎南区南回风井、南措井均作为回风井用<sup>[13]</sup>.

8 结 语

a. 针对大冶铁矿尖林山车间通风系统存在的问题,在调查分析的基础上提出了通风系统改造方案.

b. 采用 Scott-Hinsley 风网解算方法,参与开发了 Mvnet Version1.4 风网分析软件,并用该软件进行了风网解算,获得了使风机效率较高的解算结果,同时提出了采用增阻和辅扇调节方案进行风量调节.

c. 通过对矿井通风系统进行改造,解决了以往通风系统中存在的问题,提高了矿井安全性,并且节约了通风费用,具有较大的经济和社会效益.