doi:10. 3969/j. issn. 1671-4172. 2022. 05. 012

两翼对角式通风系统回风特性与优化

彭　云[1,2],李开文[1]

(1. 紫金矿业集团股份有限公司,福建 上杭 364200;
2. 昆明理工大学,昆明 650093)

摘　要:为探究矿井中两翼对角式通风系统的回风特性,建立了通风网络模型,结合系统回风段角联分支风流方向判别公式及风量调节公式进行分析。结果表明:调节回风段角联分支风向和风量可以改变两翼回风井风量,使两翼回风井共同承担矿井总风量;通过回风段角联分支调节两翼回风井风量,合理分配回风井风量可降低通风系统能耗。

关键词:矿井通风;两翼对角式;角联分支;回风特性;风量调节;能耗

中图分类号:TD72　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1671-4172(2022)05-0074-05

Return air characteristics and optimization of two-wing diagonal ventilation system

PENG Yun[1,2],LI Kaiwen[1]

(1. Zijin Mining Group Co. ,Ltd. ,Shanghang Fujian 364200,China;
2. Kunming University of Science and Technology,Kunming 650093,China)

Abstract: To explore the return air characteristics of the two-wing diagonal ventilation system in mine ventilation,a ventilation network model was established,and the airflow direction discrimination formula and the air volume adjustment formula of the return air section of the two-wing diagonal ventilation system were analyzed. The results show that adjusting the wind direction and air volume of the angular joint branch in the return air section can change the air volume of the two-wing return air wells so that the two-wing return air wells share the total air volume of the mine;adjust the air volume of the two-wing return air wells through the angular joint branch of the return air section,and reasonably distribute the two-foil pairs. The air volume of the return air shaft in the angle ventilation system can reduce the energy consumption of the ventilation system.

Key words: mine ventilation; two-wing diagonal type; corner branch; return air characteristics; air volume adjustment;energy consumption

矿业为我国的经济发展提供了不可替代的作用,矿业的健康发展关系着我国的能源与资源安全,其中矿井通风的合理设置与优化,保障了生产过程中的高效与安全。

针对走向长、面积大、产量高的矿井,通常采用两翼对角式通风。两翼对角式通风系统一般在矿体走向中央设置进风井,在两翼边界各设置一条回风井,主要通风路线为新鲜风流经进风井进入矿井,经中段平巷进入采掘工作面,污风经中段回风平巷流向两翼回风井,最终经两翼回风井排出地表[1]。相关学者对两翼通风系统进行了深入研究,盛建红等分析了区域+两翼对角混合式通风系统,得出具有有效风量率高、分风可控及风量调节灵活等优点[2];何廷山分析了两翼对角式主要通风机联合运转的解析调节,推导了相关公式[3];陈晓光采用两翼对角通风系统通风系统改造优化,取得了良好效果[4];彭云利用两翼对角式通风系统中主要角联分支进行降阻研究[5]。

按常规分析方法将通风系统划分为进风段、用风段和回风段,其中回风段主要为回风井,回风段风量较为集中,回风段阻力占通风总阻力的 40%左右,进行回风井优化分析,降低回风段阻力对降低通

收稿日期:2022-04-13
基金项目:国家自然科学基金资助项目(50974046)
作者简介:彭　云(1987—),男,博士,高级工程师,主要研究方向为矿井通风与环保。

风系统能耗和运营成本具有重要意义[6-10]。本文旨在介绍两翼对角式通风系统的回风特性,并对该通风方法提出优化设计,保证矿井通风稳定运行,提高矿井通风的效率。

1　两翼对角通风系统回风段风流特性

两翼对角式通风系统网络图如图 1(a)所示,图中分支 1、2 分别为两翼用风段(巷道),分支 3、4 分别为两翼回风井,H_1、H_2分别为两翼通风机风压,分支 5 为连接两翼回风井的中段回风平巷(角联分支)。

图 1(a)中两翼回风井通风机将风流排入大气内,根据矿山规模,两翼回风井距离一般较近,两回风井处地表大气压差异较小,两回风井间形成虚拟的通风线路,忽略两回风井处大气压差异,为分析方便将两回风井间虚拟线路连通并形成虚拟的节点 4,形成如图 1(b)所示等效网络图。

图 1(a)中两翼回风井通风机将风流排入大气内,根据矿山规模,两翼回风井距离一般较近,两回风井处地表大气压差异较小,两回风井间形成虚拟的通风线路,忽略两回风井处大气压差异,为分析方便将两回风井间虚拟线路连通并形成虚拟的节点 4,形成如图 1(b)所示等效网络图。

图 1(b)中,分支 5 为两翼通风线路中的角联分支,角联分支 5 中风流存在三种状态:风流停滞(无风流)、风流由节点 2 流向节点 3 和风流由节点 3 流向节点 2。

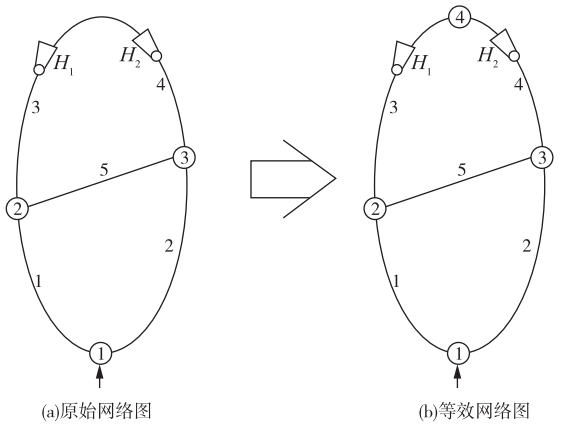

图 1　两翼对角式通风系统网络图

Fig. 1　Network diagram of diagonal ventilation system

1)角联分支 5 中风流停滞(风量为 0),即 $Q_1=Q_3$,$Q_2=Q_4$,节点 2 处风压等于节点 3 处风压,以节点 4 为基准点有:

$$H_1-R_3Q_3^2=H_2-R_4Q_4^2 \tag{1}$$

2)风流由节点 2 流向节点 3,即 $Q_1>Q_3$,$Q_2<Q_4$,此时节点 2 处风压大于节点 3 处风压,同理以节点 4 为基准点有:

$$H_1-R_3Q_3^2>H_2-R_4Q_4^2 \tag{2}$$

3)风流由节点 3 流向节点 2,即 $Q_1<Q_3$,$Q_2>Q_4$,此时节点 2 处风压小于节点 3 处风压,同理以节点 4 为基准点有:

$$H_1-R_3Q_3^2<H_2-R_4Q_4^2 \tag{3}$$

联合公式(1)、(2)、(3)得出两翼对角式通风系统角联分支风流判别公式:

$$k=\begin{cases}\dfrac{H_1-R_3Q_3^2}{H_2-R_4Q_4^2}>1 & \text{风流由节点 2 流向 3}\\ \dfrac{H_1-R_3Q_3^2}{H_2-R_4Q_4^2}=1 & \text{风流停滞}\\ \dfrac{H_1-R_3Q_3^2}{H_2-R_4Q_4^2}<1 & \text{风流由节点 3 流向 2}\end{cases} \tag{4}$$

图 1(b)中当 $k=1$ 时,两翼对角式通风系统中,交联分支风流停滞,每翼回风井单独承担各自一翼用风段回风;当 $k>1$ 时,角联分支风流由节点 2 流向 3,回风井分支 4 除了承担本翼回风外还承担了另一翼部分风量,回风井分支 3 承担了本翼部分风量;当 $k<1$ 时,角联分支风流由节点 3 流向 2,回风井分支 4 承担了本翼部分风量,回风井分支 3 除了承担本翼回风外还承担了另一翼部分风量。可知,通过调节角联分支内风流方向和风量,可调节两翼回风井间风量,使两翼回风井共同承担矿井总风量,角联分支内不同的风流方向和风量对应的两翼回风井风量分配方案不同,角联分支 5 风压大小为节点 2 与节点 3 间风压差,即:

$$H_5=H_2-H_3=(H_1-R_3Q_3^2)-(H_2-R_4Q_4^2)=R_5Q_5^2 \tag{5}$$

可知,角联分支风压与风量的平方成正比,因巷道建成后 R_5为一定值,因此通过调节节点 2 与节点 3 间风压差可调节风量,公式(5)为角联分支风量调节公式。

根据公式(4)和(5),得出:决定角联分支风流方向和风量大小的主要参数为两翼回风井风机风压 H_1、H_2、风量 Q_3、Q_4和风阻 R_3、R_4。两翼对角式通风系统中因回风段角联分支风量和风向均可改变,通过调节角联分支内风量及风向可调节两翼回风井风量,两翼回风井有不同的风量分配方案,两翼回风井共同承担矿井总风量,通过调节回风井风机参数和风井风阻参数调节两翼对角式通风系统中角联分支风量及风向,并调节回风井风量。

2 两翼对角通风系统回风段降阻优化

某矿地表被高山覆盖,井筒坑口选址受到很大限制,其开拓系统简图如图 2 所示。采用主斜井+副斜坡道开拓,在矿体走向两翼分别开掘西回风竖井、东回风斜井,形成中央进风两翼回风通风网络结构。

根据矿山建设及地质勘探需要,矿区采用主斜井、副斜坡道和东回风斜井进行坑探,目前以上三条井筒均已施工完毕,其中主斜井断面 14.2 m^2、长1 400 m,副斜坡道和脉内斜坡道断面 14.2 m^2、总长 1 800 m,东回风斜井断面14.2 m^2、长 1 800 m。西回风竖井设计断面 19.6 m^2、长 250 m。

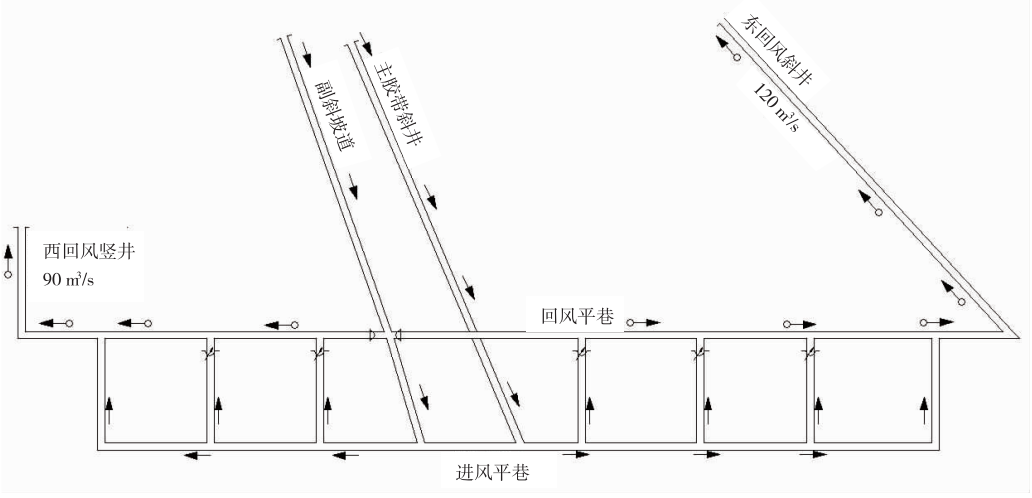

图 2 原通风系统网络图(两翼单独回风)

Fig. 2 Network diagram of the original ventilation system(separate return air for two wings)

2.1 原通风方案-两翼分区通风(两翼单独回风)

根据开拓系统布局,以脉内斜坡道为界,矿区在走向上划分为东、西两翼,其中西翼走向长度约为 1 200 m、东翼 1 600 m,根据矿体赋存及走向长度确定了东西两翼产能和需风量,其中西翼需风 90 m^3/s、东翼 120 m^3/s,如图 2 所示在斜坡道与回风平巷两侧构建风门,进行东西两翼分区通风系统-两翼回风井单独承担本翼回风。

采用 Ventsim Visual 通风软件建立三维仿真模型并计算,得出两翼回风井主要通风参数如表 1 所示。

表 1 两翼分区通风系统通风参数

Table 1 Ventilation parameters of the partitioned ventilation system of the two wings

项目名称	风量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	风压/Pa	理论功耗/kW
西回风竖井	90	1 950	175.5
东回风斜井	120	4 200	504.0
小计	210		679.5

根据表 1 结果可知东、西两翼回风井通风系统阻力值差异较大,西回风竖井系统阻力较低 1 950 Pa,东回风斜井通风系统阻力高达 4 200 Pa,其中东回风斜井井筒段阻力达 1 700 Pa,占东回风斜井系统阻力的 40%,东回风斜井筒段风速 8.45 m/s,其风速并不高(专用回风井最高风速为 15 m/s),主要原因为其长度过长。

2.2 优化方案——两翼对角式通风(两翼共同承担总风量)

分析可知西回风竖井断面大、长度短,且西翼需风小;东翼回风斜井断面小、长度长,且东翼需风量大。西回风竖井承担西翼回风外还留有较大余地,因此可开掘一条联络绕道(角联分支)跨过斜坡道连接东西两翼回风平巷,构成两翼对角式通风系统-两翼回风井共同承担矿井总风量,利用西回风竖井承担部分东翼部分回风,绕道断面与回风平巷断面一致 14.2 m^2,通风系统简图如图 3 所示。

采用 Ventsim Visual 通风软件建立三维仿真模型并计算,得出主要通风参数如表 2 所示。

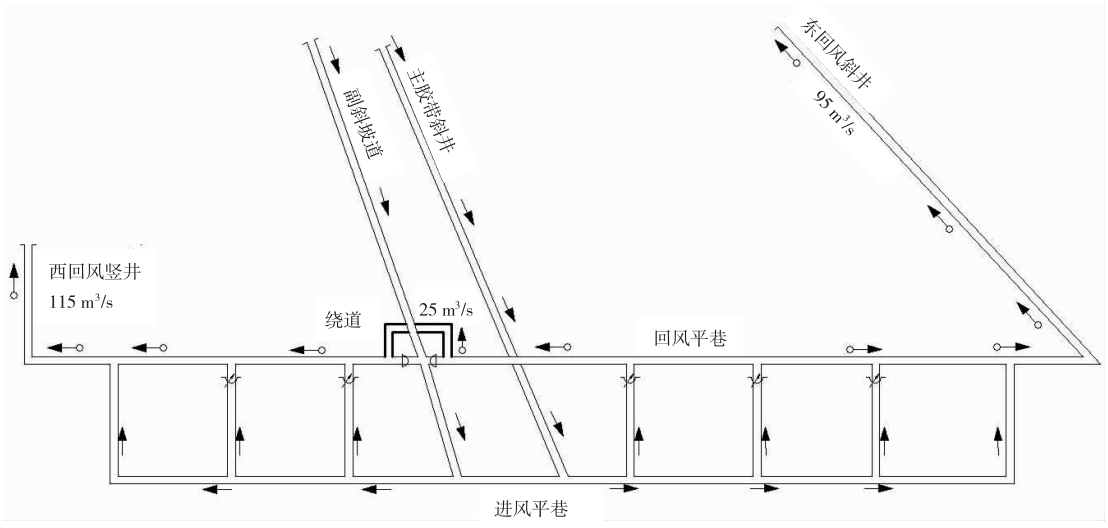

图 3　优化后系统(两翼共同承担总风量)

Fig. 3　Optimized system(Two wings share the total air volume)

表 2　优化系统通风参数

Table 2　Optimization of system ventilation parameters

项目名称	风量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	风压/Pa	理论功耗/kW
西回风竖井	115	2 780	319.7
东回风斜井	95	2 560	243.2
小计	210		562.9

根据三维仿真模型结果及表 2 结果可知绕道(角联分支)内风量为 25 m^3/s、风流方向为从东向西,西回风竖井承担了东翼部分回风,东、西两翼回风井通风系统阻力值较为接近,西回风竖井系统阻力 2 780 Pa,东回风斜井通风系统阻力 2 560 Pa,通风系统理论功耗为 562.9 kW。

2.3　方案对比分析

原通风方案—两翼分区通风(两翼回风井单独承担本翼回风)与优化方案—两翼对角通风(两翼回风井共同承担总风量)主要通风参数对比如表 3 所示。

表 3　方案主要通风参数对比

Table 3　Comparison of main ventilation parameters of the scheme

项目名称	风量/($m^3 \cdot s^{-1}$)		风压/Pa		理论功耗/kW	
	原方案	优化后	原方案	优化后	原方案	优化后
西回风竖井	90	115	1 950	2 780	175.5	319.7
东回风斜井	120	95	4 200	2 560	504	243.2
小计	210	210			679.5	562.9

结合表 3 及分析可知,在原通风系统基础上新建绕道(角联分支),将东西两翼回风段连接,通过角联分支(绕道)可调节两翼回风井风量,使东西两翼回风井共同承担矿井总风量。原方案与优化后方案矿井总风量不变,东西两翼回风井所承担风量进行调整后,矿井通风系统理论功耗由 679.5 kW 下降至 562.9 kW,功耗降低 116.6 kW、降幅 17.16%,本矿山中 50 m 绕道投资约为 25 万元,电费 1 元每度,年生产天数按 300 d 计,通过优化后每年降低电费约为 84 万元,具有显著的技术经济效果,可见通过两翼对角式通风系统中回风段角联分支调节两翼回风井风量,实现合理分配两翼对角式通风系统中回风井风量可降低通风系统能耗。

3　结论

论文在分析两翼对角式通风系统网络回风段风流特性的基础上,推导了角联分支风流方向判别公式及风量调节公式,并以具体工程进行了两翼回风井单独回风与两翼回风井共同承担矿井总风量两种系统的通风效应,得出如下主要结论:

1)两翼对角式通风系统中回风段角联分支风量和风向均可改变,通过调节回风井风机参数和风井

风阻参数可改变角联分支风量及风向。

2)两翼对角式通风系统中通过回风段角联分支实现两翼回风井风量调节,可使两翼回风井共同承担矿井总风量。

3)两翼回风井有多种风量分配方案,通过回风段角联分支调节两翼回风井风量,合理分配两翼对角式通风系统中回风井风量可降低通风系统能耗。

参 考 文 献

[1] 李新东,托普斯 E.矿井风流稳定性的初步研究[J].西安矿业学院学报,1987(2):16-27.
LI Xindong, TOPUZ E. A stability research of air flows in mines[J]. Journal of Xi'an Mining Institute,1987(2):16-27.

[2] 司俊鸿,陈开岩.基于无向图的角联独立不相交通路法[J].煤炭学报,2010,35(3):429-433.
SI Junhong, CHEN Kaiyan. Based on the angle associated undirected graph disjoint independent path method[J]. Journal of China Coal Society,2010,35(3):429-433.

[3] 刘兴杜.矿井复杂通风网络的三角形与星形变换解法[J].北京工业职业技术学院学报,2004,3(4):45-52.
LIU Xingdu. lta-Star replacement solution to mine complicated ventilation network [J]. Journal of Beijing Vocational & Technical Institute of Industry,2004,3(4):45-52.

[4] 厍向阳,常新坦.基于遗传算法的一体化通风网络优化算法[J].中南大学学报(自然科学版),2011,42(6):1676-1684.
SHE Xiangyang, CHANG Xintan. Integrative optimization algorithm of min ventilation networks based on genetic algorithm[J]. Journal of Central South University(Science and Technology),2011,42(6):1676-1684.

[5] 吴慧,蔡嗣经.基于 Fluent 软件的角联通风网络数值模拟[J].中国安全生产科学技术,2012,8(1):22-26.
WU Hui, CAI Sijing. Numerical simulation on diagonal ventilation net with Fluent[J]. Journal of Safety Science and Technology,2012,8(1):22-26.

[6] 王树刚,刘宝勇,刘淑娟.矿内空气非定常流动数值模拟分析[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2000,19(5):449-453.
WANG Shugang, LIU Baoyong, LIU Shujuan. Computer simulation of unsteady airflow processes in mine ventilation networks [J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science),2000,19(5):449-453.

[7] 侯志鹰,纪洪广,翁旭泽.塔山矿综放工作面瓦斯综合治理技术及应用[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2010,29(3):361-364.
HOU Zhiying, JI Hongguang, WENG Xuze. Application of synthetic gas control methods in fully mechanized face of mine tashan[J]. Journal of Liaoning Technical University(Natural Science),2010,29(3):361-364.

[8] 谭允祯.矿井通风系统优化[M].北京:煤炭工业出版社,1992.
TAN Yunzhen. Mine ventilation system optimization [M]. Beijing:China Coal Industry Publishing House,1992.

[9] 陈开岩.矿井通风系统优化理论及应用[M].徐州:中国矿业大学出版社,2003.
CHEN Kaiyan. Mine ventilation system optimization theory and applications[M]. Xuzhou:China University of Mining and Technology Press,2003.

[10] 蔡峰,刘泽功.复杂矿井通风系统角联风路自动识别方法的研究[J].中国安全科学学报,2005,15(7):3-6.
CAI Feng, LIU Zegong. Study on method for automatic identification of diagonal branches of complicated ventilation network in mine [J]. China Safety Science Journal, 2005, 15(7):3-6.

(编辑:周叶)