

文章编号:1671-251X(2015)08-0068-04 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.08.017
何廷梅.煤矿避难硐室压风净化试验研究[J].工矿自动化,2015,41(8):68-71.

煤矿避难硐室压风净化试验研究

何廷梅

(中煤科工集团重庆研究院有限公司,重庆 400039)

摘要:给出了避难硐室内有害气体平均浓度与供风量的关系计算式,通过试验分析了50人避灾时不同供风量工况下的避难硐室内 CO_2 浓度分布,以及出风口布局对避难硐室内 CO_2 浓度分布的影响。试验结果表明:人均供风量为84 L/min时,可将避难硐室内 CO_2 体积分数控制在1%以下;避难硐室内仅设置1个出风口时, CO_2 浓度分布极不均匀,避难硐室内出风口应均匀布置在避难硐室长通道两侧,且出风口越多 CO_2 浓度分布越均匀。

关键词:避难硐室;有害气体;压风净化;供风量;出风口布局

中图分类号:TD774 文献标志码:A 网络出版时间:2015-07-31 15:35

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150731.1535.017.html>

Experimental study on purification by pressure ventilation of coal mine refuge chamber

HE Tingmei

(CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400039, China)

Abstract:Relationship formula between average concentration of harmful gas and pressure ventilation supply volume in refuge chamber was given, CO_2 concentration distribution in refuge chamber under conditions of different pressure ventilation supply volume and air outlet layout were analyzed through refuge experiment with 50 people. The experimental results show that when air supply volume per person is 84 L/min, CO_2 volume fraction in refuge chamber could be controlled under 1%; CO_2 concentration distribution is uneven when only one air outlet is set in refuge chamber, air outlets should be evenly arranged in both sides of long passage of refuge chamber, and CO_2 concentration distribution is more even with more air outlets.

Key words: refuge chamber; harmful gas; purification by pressure ventilation; air supply volume; air outlet layout

0 引言

煤矿避难硐室是能在煤矿发生灾害事故时为被困遇险人员提供96 h以上安全生存保障条件的煤矿井下专用巷道硐室^[1]。由于避难硐室具有一定的密闭性,避灾时人员代谢产生的 CO_2 、CO等气体可能引起硐室内空气质量变化,威胁人员安全。因此,需采取措施使各种气体成分维持合理的浓度范围^[2]。《煤矿井下紧急避险系统建设管理暂行规定》

(以下简称《暂行规定》)要求,紧急避险设施内部环境中 CO_2 体积分数不大于1.0%,CO体积分数不大于0.002 4%。

煤矿避难硐室空气净化方式主要有固体吸收净化和压风稀释净化。针对固体吸收净化方式,近年来国内开展了许多研究,研究内容涉及吸收剂类型、吸收剂形状、净化装置结构参数及动力方式、净化装置布局等方面,已研制出以电动、气动、手摇、脚踏等方式为动力,适用于避难硐室的多种类型的空气净

收稿日期:2015-06-09;修回日期:2015-06-25;责任编辑:盛男。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAK04B09)。

作者简介:何廷梅(1964—),女,重庆人,高级工程师,主要从事个体防护装备、矿山应急救援技术方面的研究工作,E-mail:cqmeia@163.com。

化装置,形成了合理的避难硐室空气净化装置布局方式^[3-6]。压风稀释净化利用煤矿井下压风管路或地面钻孔供风管路为避难硐室提供压风,稀释室内有害气体浓度以达到净化目的。《暂行规定》要求,接入煤矿紧急避险设施内的矿井压风管路的压风出口压力在0.1~0.3 MPa之间,供风量不低于0.3 m³/(min·人),连续噪声不大于70 dB。对此规定,业界普遍认为0.3 m³/(min·人)的供风量要求过大,对于人员较多的避难硐室,矿井原有压风供气系统难以实现,且噪声控制困难。文献[7-8]通过理论计算及试验认为人均供风量为100 L/min满足硐室空气净化要求,并通过载人试验确定供风量为250 m³/h可满足容纳100人的避难硐室内空气净化要求,但对出风口的布局缺乏深入研究。本文通过试验研究确定满足避难硐室空气净化要求的最小供风量及出风口的合理布局方式,为《暂行规定》的完善及避难硐室建设标准制定提供参考。

1 理论分析

对于避难硐室生存室内的某类有害气体成分,若无净化措施,则根据物质守恒定律,该气体的浓度 $c(\tau)$ 随避灾时间 τ 的变化表达式为

$$c(\tau) = c_0 + \frac{n v \tau}{10^3 V}$$

(1)

式中: c_0 为有害气体初始浓度; n 为生存室避灾人数; v 为人均有害气体产生速率,L/s; V 为生存室内体积,m³。

若存在净化措施,则根据物质守恒定律,该气体的浓度随时间变化表达式为

$$V[c(\tau + \Delta\tau) - c(\tau)] = n v \Delta\tau - q \Delta\tau [c_p(\tau) - c_s(\tau)]$$

(2)

式中: q 为硐室内净化风量,m³/s; $c_p(\tau)$ 为排风口有害气体浓度; $c_s(\tau)$ 为送风口有害气体浓度。

排风口气流来源于硐室内,因此可近似认为排风口有害气体浓度与硐室生存室内有害气体平均浓度相同,即 $c_p(\tau) = c(\tau)$ 。通过求解微分方程可得

$$c(\tau) = \frac{n v}{q} + c_s(\tau) - \left[\frac{n v}{q} + c_s(\tau) - c_0 \right] \exp\left(-\frac{q}{V} \tau\right)$$

(3)

文献[3]通过分析避灾过程人体代谢产生的有害气体类型及释放速率,计算得出在无净化措施情况下,遇险人员在避难硐室生存室96 h避灾过程中人体代谢产生的CO,NH₃,H₂S,CH₄等有害气体浓度不会超过人体耐受的临界浓度范围,可不必要采

取净化措施,避难硐室生存室内需要净化的人体代谢产生的有害气体成分主要为CO₂。采用管路压风稀释净化避难硐室生存室内的CO₂时,压风中的CO₂浓度与新鲜空气中的CO₂浓度相同,可近似认为压风中CO₂体积分数为0.03%。因此,可将式(3)简化为

$$c(\tau) = \frac{n v}{q} + 0.000\,3 - \left(\frac{n v}{q} + 0.000\,3 - c_0 \right) \times \exp\left(-\frac{q}{V} \tau\right)$$

(4)

2 试验环境及过程

2.1 试验环境

试验在避难硐室生存室进行。生存室尺寸为20 m×4 m×3 m(长×宽×高),生存室长通道两侧各有3个出风口,相邻出风口间距4.8 m,每个出风口前均有阀门控制,由安装在总管路上的阀门、压力表、涡街流量计控制供风量。采用高压CO₂气瓶及分布在两侧的弥散供气管路模拟人体释放CO₂,通过电加热型CO₂减压阀控制流量。

2.2 传感器布置及数据保存

通过7台红外CO₂传感器监测生存室内CO₂浓度,CO₂传感器安装高度见表1。监测数据通过软件平台每隔1 min记录保存1次。传感器及供气管路布局如图1所示,其中①—⑦为1—7号传感器,C1—C6为出风口。

表1 CO₂传感器安装高度 cm

传感器	1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号
高度	86	75	48	62	82	73	64

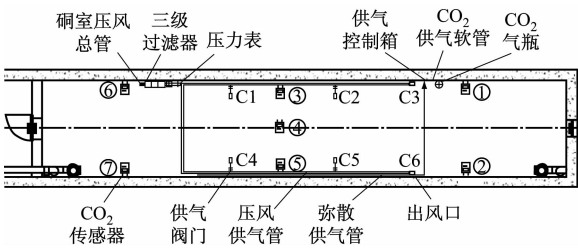


图1 传感器及供气管路布局

2.3 试验工况

《暂行规定》中要求,避险设施内处理CO₂的能力不低于0.5 L/(min·人)。基于硐室生存室尺寸条件,结合7种试验工况(表2),模拟容纳50人的避难硐室内压风净化情况,验证式(4)的适用性,并得出满足避难硐室空气净化的最小供风量及出风口布局方式。

表 2 试验工况及主要参数

工况	供风量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	出风口	风扇
1	450	C1,C3,C4,C6	有
2	300	C1,C3,C4,C6	有
3	300	C1,C2,C3	无
4	250	C2,C5	无
5	230	C1,C2,C3,C4,C5,C6	无
6	200	C2,C5	无
7	200	C2	无

为缩减试验时间,通过弥散供气管路及风扇搅拌将室内 CO_2 体积分数上升到 1% 左右后,开启压风,并将 CO_2 总流量调节为 25 L/min,观察不同工况下室内 CO_2 浓度变化情况。

2.4 试验过程

① 人员进入生存室,关闭硐室密闭门;② 打开传感器电源,确保传感器读数稳定上传至监控系统平台;③ 将加热型 CO_2 减压阀接上电源,打开所有 CO_2 气瓶(与弥散供气管路连接),将流量调到最大,使硐室内 CO_2 浓度升高;④ 打开生存室内两端风扇,搅拌空气;⑤ 生存室内 CO_2 体积分数平均值上升到 1% 后,调节 CO_2 减压阀使两侧的 CO_2 流量分别为 12,13 L/min;⑥ 关闭两端风扇;⑦ 打开压风供气管路上涡街流量计的电源开关,确保数值显示正常;⑧ 外部人员打开空压机,并通知生存室内调试人员;⑨ 关闭出风口控制阀门,开启供气管路上的总阀门,调节调压阀,使供风管内静压值调到 0.3 MPa;⑩ 打开出风口的控制阀门与供气管路上的总阀门,调节总阀门开启位置使供气流量在 200 m^3/h 左右,记录压风净化开始涡街流量计上的流量读数;⑪ 生存室 CO_2 浓度相对稳定后(CO_2 体积分数连续 1 h 在 1% 以上且无下降趋势),结束试验;⑫ 重复以上步骤,进行所有工况的试验。

3 试验数据分析

3.1 理论分析与实际风量净化效果比较

为检验式(4)的适用性,对工况 1—工况 3 下的试验数据进行分析比较,给出工况 1—工况 3 下 CO_2 浓度随时间变化曲线分别如图 2—图 4 所示。

从图 2、图 3 可看出,在风扇搅拌作用下,供风量为 450 m^3/h 时,硐室内 CO_2 体积分数分布在 0.35%~0.40%;供风量为 300 m^3/h 时,硐室内 CO_2 体积分数分布在 0.45%~0.50%。这 2 种工况下,硐室内 CO_2 浓度与式(4)计算结果相符。从图 3、图 4 可看出,在供风量均为 300 m^3/h 情况下,

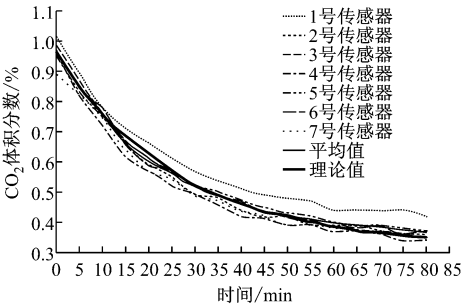


图 2 工况 1 下 CO_2 浓度随时间变化曲线

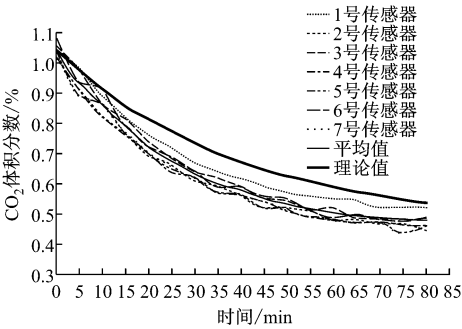


图 3 工况 2 下 CO_2 浓度随时间变化曲线

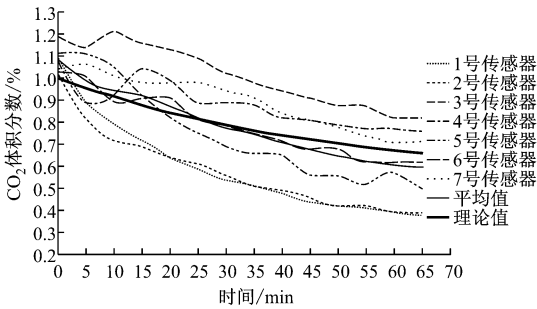


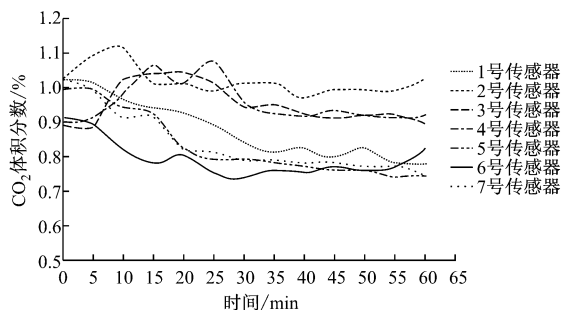
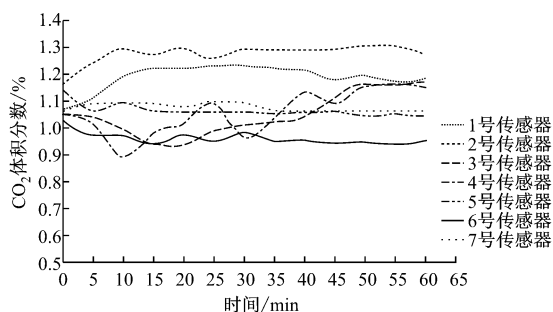
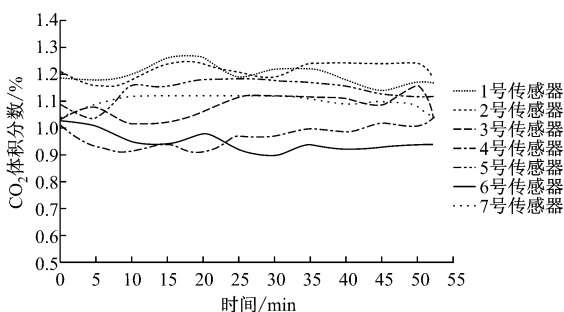
图 4 工况 3 下 CO_2 浓度随时间变化曲线

硐室内有无风扇搅拌作用时的 CO_2 浓度存在较大差异,无风扇搅拌时,硐室内 CO_2 体积分数分布在 0.4%~0.8%,不同监测点 CO_2 浓度分布差异较大。由此可判断,式(4)仅适用于供风量与 CO_2 平均浓度之间的关系计算,而不能完全适用于硐室内无大功率风扇搅拌时的 CO_2 浓度与供风量关系计算。

3.2 硐室内 CO_2 净化需风量分析

为得出满足硐室空气净化要求的人均供风量,对工况 4—工况 6 下的试验数据进行分析比较,3 种工况下 CO_2 浓度随时间变化曲线分别如图 5—图 7 所示。

从图 5 可看出,供风量为 250 m^3/h 时,硐室内各监测点 CO_2 体积分数主要分布在 0.75%~1.00%,可将容纳 50 人的硐室内各监测点的 CO_2 体积分数控制在 1% 以下;从图 6、图 7 可看出,供风量为 200~230 m^3/h 时,硐室内各监测点 CO_2 体积分数主要分布在 0.9%~1.3%;由图 4 可知,供风量为 300 m^3/h 时,硐室内各监测点 CO_2 体积分数

图5 工况4下CO₂浓度随时间变化曲线图6 工况5下CO₂浓度随时间变化曲线图7 工况6下CO₂浓度随时间变化曲线

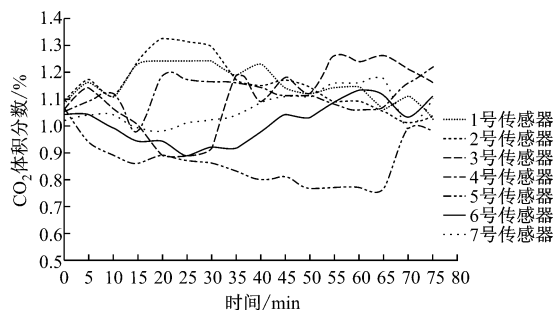
主要分布在0.4%~0.8%。因此,可判断人均供风量为84 L/min时,可满足将硐室内CO₂体积分数控制在1%以下的要求;人均供风量为100 L/min时,可将硐室内CO₂体积分数控制在0.8%以下,达到良好的净化效果。

3.3 出风口布局影响分析

为分析出风口布局对硐室内CO₂净化效果的影响,对供风量均为200 m³/h的工况6、工况7进行比较,其中工况7下CO₂浓度随时间变化曲线如图8所示。

对比图7、图8可看出,仅在硐室一侧布置1个出风口时,硐室内CO₂浓度分布较不均匀,同一测点浓度波动较大,而分别在硐室两侧各布置1个出风口时,测点浓度比较稳定。

另外,对比图4、图6可看出,尽管工况3在供风量为300 m³/h情况下达到的CO₂浓度较工况5在供风量为230 m³/h情况下达到的CO₂浓度低,但工况5中CO₂体积分数最大值与最小值之差小

图8 工况7下CO₂浓度随时间变化曲线

于0.35%,而工况3中CO₂体积分数最大值与最小值之差大于0.45%。

由此可判断出风口均匀分布在硐室两侧比分布在一侧能达到更好的净化效果,且出风口越多,硐室内气体浓度分布越均匀。

4 结论

(1) 推导了避难硐室内有害气体平均浓度随供风量变化的计算公式,并通过试验证明了该公式的适用性。

(2) 通过模拟50人避灾时释放的CO₂量及不同供风量情况下的净化效果,得出:供风量为250 m³/h(即人均供风量为84 L/min)时可将避难硐室内CO₂体积分数控制在1.0%以下;供风量为300 m³/h(即人均供风量为100 L/min)时可将避难硐室内CO₂体积分数控制在0.8%以下。

(3) 避难硐室内仅布置1个出风口时,硐室内CO₂浓度分布极不均匀;出风口均匀布局在硐室两侧且出风口越多,硐室内CO₂浓度分布越均匀。

参考文献:

- [1] 杨大明. 煤矿井下紧急避险系统的建设与发展[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(11): 6-9.
- [2] 孙继平. 煤矿井下紧急避险与应急救援技术[J]. 工矿自动化, 2014, 40(1): 1-4.
- [3] 张祖敬, 王克全. 矿井避难硐室环境有害气体浓度控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(3): 59-63.
- [4] 伯志革. 紧急避险系统气体净化装置的研制及性能分析[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(7): 69-72.
- [5] 何廷梅. 煤矿避难硐室空气净化装置布局研究[J]. 矿业安全与环保, 2014, 41(6): 29-32.
- [6] 陈于金, 许凯. 避难硐室气体净化理论分析与试验研究[J]. 矿业安全与环保, 2014, 41(3): 24-26.
- [7] 李芳玮, 金龙哲, 韩海荣, 等. 矿井避难硐室压风供风量及其载人实验[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2013, 32(1): 55-58.
- [8] 尤飞, 金龙哲, 韩海荣, 等. 避难硐室压风供氧系统压风量研究[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(7): 116-120.