

基于未确知测度理论的矿井人体热舒适性评价

李夕兵,王希然,董陇军,孙飞飞

中南大学资源与安全工程学院,长沙 410083

摘要 基于未确知测度理论,建立了矿井人体热舒适性等级评价模型。从矿井热环境和人体自身因素出发,考虑了影响人体热舒适性的 10 项因素,根据实测数据和调查结果建立各影响因素的未确知测度函数。该模型针对矿井人体热舒适评价中的诸多不确定性影响因素,根据实际情况,分别对其进行定性、定量分析,并利用熵权理论计算各影响因素的指标权重,依照置信度识别准则进行等级判定,最后得出人体矿井热舒适性的评价结果。将该方法用于某高温铜矿 6 个不同中段的热舒适性评价,并与实际调查结果进行对比。结果表明,计算结果与实际情况吻合较好,可见该方法科学合理,可以在实际工程中推广应用。不同深度的矿井热舒适性不同,应采取不同的降温标准。

关键词 矿井;热环境;人体热舒适;未确知测度;置信度识别准则

中图分类号 X961

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.11.005

Thermal Comfort Evaluation for Human Body in Mines Based on Uncertainty Measurement Theory

LI Xibing, WANG Xiran, DONG Longjun, SUN Feifei

School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract Based on the uncertainty measurement theory, a thermal comfort level evaluation model for human body in mines is established. With the thermal environment of mines and the special features of human body in mind, ten factors that would influence the thermal comfort of human body are identified, and the uncertainty measurement function is formulated based on the in-situ data and investigation results. The uncertainty influencing factors in the thermal comfort evaluation are determined by qualitative and quantitative analyses, respectively. The entropy weight theory is used to calculate the index weight of these factors and the credibility degree recognition criteria are established to determine the levels. The thermal comfort evaluation is made. This model is used to evaluate the six different stages of a certain copper mine. The results show that the calculation results are consistent with the empirical values of investigations, therefore, the uncertainty measurement method is reasonable and can be applied to the practical engineering. In different depths of mines, different cooling standards should be established for the thermal comfort.

Keywords mine; thermal environment; thermal comfort of human body; uncertainty measurement; credible degree recognition criterion

0 引言

美国采暖、制冷与空调工程师学会(ASHRAE)标准中,人体热舒适定义为人对热环境表示满意的意识状态。热舒适是人对热环境满意程度的主观评价^[1]。矿井人体热舒适是指矿井工人在井下工作时对地下开采矿山井下的热微气候以及外在条件的舒适感觉性。矿井工人每天约有 8h 在井下作业,

矿工的健康、工作效率及生产安全在很大程度上取决于所处热微气候的舒适状况^[2]。

人体热舒适研究最早源于建筑领域。而针对矿井热舒适研究,国内外很多学者也做出了许多相关调查和研究。南非,波兰等国从 20 世纪 60 年代开始就对国内煤矿深井地温场及井下微气候进行大量实测与研究,为改善井下通风系统及预

收稿日期:2012-12-12;修回日期:2013-01-08

基金项目:国家自然科学基金项目(50934006);国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2010CB732004)

作者简介:李夕兵,教授,研究方向为岩石破裂与岩石动力学,电子信箱:xbli@mail.csu.edu.cn

防深井热害提供了大量资料^[3]。南非煤矿安全监理及卫生部门也于 20 世纪 70 年代对国内 8 个开采深度超过 600m 矿井内从事不同工种矿工的人体生理指标做了广泛调研,包括矿工的体表温度、舌部温度,心率、出汗量及热反应等级等,并据此进行了相应安全防护设备、工作时间的改进与调整^[4]。国内也有很多学者对井下采煤工作面的环境参数及在工作面进行作业的矿工热舒适性参数进行实测,并采取调查问卷等方式对矿工的热舒适水平进行判断。于永中、姚安子等^[5]曾选择生产工艺大致相同而作业环境条件不同的 6 个煤矿为研究地点,以井下 2500 名采掘作业人员为研究对象,对研究地点气象条件进行测定,并对研究对象进行健康检查和伤病缺勤率统计分析,同时探讨了研究地点气象条件与研究对象伤病缺勤率的关系。刘卫东等^[6]选择高温和非高温矿井为研究对象,测试井下环境各指标,并使用标准的疲劳主观反应问询表、烦恼问询表和主观劳动负荷指数调查问卷,调查工人的主观反应及其对所处工作环境各因素的烦恼程度。崔文广等^[7]对高温深井的温度、湿度等气象学资料和作业工人劳动强度、热致疾病发生情况进行调查,并对作业工人的生化指标在工作前后的变化进行分析,进一步探讨了深井热害的性质以及热害对矿井工人身心健康的危害,为改善工人作业环境和劳动条件,保护广大矿工的身体健提供了科学依据。

在矿井安全生产中,人是最主要的因素之一,矿工在矿井开采系统中处于核心地位,发挥主导作用。因此,探究矿井热环境参数及矿工自身心理、生理调节对矿工热舒适的影响,构建热舒适评价指标体系进行矿工人体热舒适评价,减少矿井热环境对人体的危害,更科学合理地安排作业时间,保证矿工的职业安全是当前急需解决的问题。然而,热舒适性的评价难点在于评价指标体系中许多因素的不确定性和隐蔽性,如何将这些不确定的信息考虑在内并进行分析,是值得研究的一个重要问题,在这方面,未确知测度理论提供了一个很好的途径,该理论已在社会科学和自然科学中得到较好的应用^[8-12]。本文借鉴未确知测度评价模型的理论 and 思想,将未确知数学理论运用到矿井人体热舒适评价研究中,可以解决热舒适评价系统中诸多因素不确定性问题,还能对各评价因素进行定量和定性分析。本文针对某高温铜矿的实际情况,首先基于未确知测度理论构造了未确知测度模型,计算了各评价指标的未确知测度值;然后采用熵权理论确定了热舒适影响因素的权重,最后用置信度准则进行评判。利用该模型对某铜矿 6 个不同中段进行热舒适评价,并与实际调查计算的结果做出比较。

1 未确知测度计算理论

设 R_1, R_2, \dots, R_n 是 n 个评价对象,以 R 表示评价对象空间,则: $R=(R_1, R_2, \dots, R_n)$, 对于每个要评价的对象 $R_i(i=1, 2, \dots, n)$, 需要测量 m 个指标, X_1, X_2, \dots, X_m 指标空间记作 X , 则 $X=(X_1, X_2, \dots, X_m)$ 。则 R_i 可表示为 m 维向量 $R_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots,$

$x_{im})$, 其中, x_{ij} 表示研究对象 R_i 关于评价指标 X_j 的测量值。对每个子项 $x_{ij}(i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$, 假设有 p 个评价等级 (C_1, C_2, \dots, C_p) , 评价等级空间记作 U , 则 $U=(C_1, C_2, \dots, C_p)$ 。且

$C_i \cap C_j = \phi (i \neq j; i, j=1, 2, \dots, p)$, ϕ 表示空集。设 C_k 表示第 k 个评价等级, 若 C_k 比 C_{k+1} 高, 记为 $C_k > C_{k+1} (k=1, 2, \dots, p-1)$, 若 $C_1 < C_2 < \dots < C_p$ 或 $C_1 > C_2 > \dots > C_p$, 则称 (C_1, C_2, \dots, C_p) 为评价空间 U 上的一个有序分割类^[9,10]。

1.1 单指标未确知测度

设 $\mu_{ijk} = \mu(x_{ij} \in C_k)$ 表示测量值 x_{ij} 属于第 k 个评价等级 C_k 的程度, 要求 μ 满足

$$0 \leq \mu(x_{ij} \in C_k) \leq 1 \quad (1)$$

$$\mu(x_{ij} \in U) = 1 \quad (2)$$

$$\mu\left(x_{ij} \in \bigcup_{l=1}^k C_l\right) = \sum_{l=1}^k \mu(x_{ij} \in C_l) \quad (3)$$

$$\mu\left(\lambda x_{ij} \in \bigcup_{l=1}^k C_l\right) = \lambda \sum_{l=1}^k \mu(x_{ij} \in C_l) \quad (4)$$

其中, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, p$ 。式(2)称为 μ 对评价空间 U 满足“归一性”, 式(3)称为 μ 对评价空间 U 满足“可加性”, 称满足(1)、(2)、(3)、(4)的 μ 为未确知测度, 简称测度。称矩阵

$$[\mu_{ijk}]_{m \times p} = \begin{bmatrix} \mu_{i11} & \mu_{i12} & \dots & \mu_{i1p} \\ \mu_{i21} & \mu_{i22} & \dots & \mu_{i2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{im1} & \mu_{im2} & \dots & \mu_{imp} \end{bmatrix} \quad (5)$$

为单指标评价矩阵^[9,10]。

1.2 指标权重的确定

用 w_j 表示测量指标 X_j 与其他指标相比具有的相对重要程度, 要求 w_j 满足: $0 \leq w_j \leq 1$, 且 $\sum_{j=1}^m w_j = 1$, 称 w_j 为 X_j 的权重, $w=(w_1, w_2, \dots, w_m)$ 称为指标权重向量。可采用熵值法确定权重, 即

$$v_j = 1 + \frac{1}{\lg p} \sum_{i=1}^m \mu_{ij} \lg \mu_{ij} \quad (6)$$

$$w_j = v_j / \sum_{i=1}^m v_i \quad (7)$$

则 w_j 体现 X_j 的重要程度, 故 w_j 可作为 X_j 的权重^[12]。

1.3 多指标综合测度评价向量

令 $\mu_{ik} = \mu(R_i \in C_k)$ 为评价样本 R_i 属于第 k 个评价类 C_k 的程度, 则有

$$\mu_{ik} = \sum_{j=1}^m w_j \mu_{ijk} \quad i=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, p \quad (8)$$

由于 $0 \leq \mu_{ik} \leq 1$, 并且 $\sum_{k=1}^p \mu_{ik} = 1$, 所以式(8)是未确知测度, 故称 $(\mu_{i1}, \mu_{i2}, \dots, \mu_{ip})$ 为 R_i 的多指标综合测度评价向量^[9,10]。

1.4 置信度识别准则

为了对评价对象作出最后的评价结果,引入置信度识别准则:设 λ 为置信度 ($\lambda \geq 0.5$),若 $C_1 > C_2 > \dots > C_p$,且令

$$k_0 = \min \left\{ k : \sum_{i=1}^k \mu_i \geq \lambda, (k=1, 2, \dots, p) \right\} \quad (9)$$

则认为评价样本 R_i 属于第 k_0 个评价类 $C_{k_0}^{[10]}$ 。

2 矿井热环境人体热舒适评价指标体系

在建筑学领域,人体的热舒适性主要与 4 个环境因素和两个人因素有关,分别是环境温度、相对湿度、空气流速、平均辐射温度、人员衣着程度及人员的活动量^[13]。

然而对于矿井开采,由于矿井环境的特殊性质,影响热舒适的因素比较复杂,环境气象条件,着装感受的舒适性,人的生理疲劳,心理调节等外在、内在因素都会影响人体的热感觉。尤其是井下作业环境非常恶劣,在井下有限的空间内,要进行凿岩、爆破、装载、运输等工作,设备来往频繁,管线设置多。矿工劳动时间比较长,24h 循环作业,必然使一部分人员不能按正常的作息活动时间进行活动,导致矿工身心疲劳过度,体力不支,感官不灵,反应迟钝,舒适性极差。据有关资料分析,一昼夜内,有两个事故高峰时间段,即 03:00—06:00 之间和 22:00—24:00 之间^[14]。这与人体昼夜变化规律完全符合。矿工长期处于这种高工作要求、低工作资源、低社会支持的情境中,工作资源与工作要求难以匹配,个体工作心态若不能及时调整,会严重影响作业人员的舒适性进而导致事故的发生。因而,在环境因素方面,选用矿井温度 (X_1),相对湿度 (X_2),空气流速 (X_3),矿井照明 (X_4),振动 (X_5),粉尘 (X_6),噪声 (X_7) 为评价指标,在人体自身因素方面选用着装感受 (X_8),主观生理疲劳指数 (X_9)、心理感受 (X_{10}) 为评价指标。根据相关

统计资料可知,在矿井下作业,适宜的温度在 10℃~25℃,气温超过 25℃,就会直接影响人的体温,当温度大于 30℃时,井下环境已经相当闷热,在此作业环境下工作人体表现为很不舒适。而在井下,最适宜的相对湿度为 50%~60%^[15]。而矿井下空气的相对湿度大多在 80%以上,湿度越高,越影响人体散热,进而影响人体的热舒适度。对于空气流速,根据安徽铜陵冬瓜山矿已有资料可知,在所调查的采场附近,空气流速在 3m/s 便可满足风量需求。且研究表明,在空气温度低于人体温度时,风速越大越能带走人体热量。参考国家标准^[16,17]及其他相关参考文献^[18-20],结合深井高温实际情况,其中对矿井温度,相对湿度,空气流速用实际测量值进行评价,其分级标准见表 1。对于矿井照明、振动、粉尘、噪声、着装感受、主观生理疲劳指数、心理感受用调查问卷的方法进行取值,其分级标准及赋值情况见表 2。对各评价指标进行分级和取值,评判集为 $\{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$,即 I,II,III,IV,V 级,分别表示很舒服,较舒适,舒适,较不舒适,很不舒适,见表 1。

表 1 矿井人体热舒适性评价的定量指标分级标准
Table 1 Classification criterion of quantitative indexes of thermal comfort evaluation for human body in mines

热舒适影响程度等级	$X_1/^\circ\text{C}$	$X_2/\%$	$X_3/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
I 级	10~15	50~60	>5.0
II 级	15~20	60~70	4.0~5.0
III 级	20~25	70~80	3.0~4.0
IV 级	25~30	80~90	2.0~3.0
V 级	>30	90~100	<2.0

表 2 矿井人体热舒适性评价的定性指标分级标准与赋值

Table 2 Classification criterion of qualitative indexes of thermal comfort evaluation for human body in mines

热舒适影响程度等级	赋值	影响因素							
		X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	
I 级	≤ 0	明亮	无感觉	浓度很小	无感觉	很舒服	不疲劳	正常	
II 级	1	稍亮	轻微	浓度较小	轻微	较舒适	很轻	很轻	
III 级	2	正好	中度	中等	中度	舒适	中度	中度	
IV 级	3	稍暗	偏重	浓度较大	较大	较热	偏重	偏重	
V 级	4	很暗	严重	浓度很大	很大	很热	严重	严重	

表 3 矿井人体热舒适评价指标值统计表

Table 3 Statistical table of thermal comfort evaluation indexes

矿井中段/m	$X_1/^\circ\text{C}$	$X_2/\%$	$X_3/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
440(R_{01})	29.0	75	3.4	2.00	1.56	2.25	2.10	2.0	1.55	2.0
670(R_{02})	30.0	79	3.6	1.80	2.00	2.40	1.80	2.0	1.60	2.0
730(R_{03})	30.2	81	3.5	2.00	2.20	2.40	2.20	3.0	1.81	2.0
760(R_{04})	30.5	90	3.6	2.10	2.80	2.00	1.80	3.0	2.01	3.0
790(R_{05})	31.0	92	3.7	2.40	2.40	2.20	2.40	4.0	2.34	3.0
825(R_{06})	32.5	98	4.4	2.00	2.40	1.80	2.20	4.0	2.87	4.0

3 工程实例应用

测得某高温铜矿不同中段的热舒适影响因素参数值见表3,其中矿井温度(X_1)、相对湿度(X_2)、空气流速(X_3)是通过现场实测获得;矿井照明(X_4)、振动(X_5)、粉尘(X_6)、噪声(X_7)、着装感受(X_8)、主观生理疲劳指数(X_9)、心理感受(X_{10})通过烦恼询问表^[21]、主观疲劳指数标准化问卷^[18]和不安全心理自测表获得。

3.1 构建单指标测度函数

根据单指标测度函数的定义和表1、表2构建单指标测度函数,以求得各评价指标的测度值。其中矿井温度、相对湿度、空气流速的单指标测度函数见图1~图3。矿井照明、振动、粉尘、噪声、着装感受、主观疲劳指数、心理感受的单指标测度函数见图4。由表3中各因素的取值,根据以上单指标测度函数,可以求得6个矿井中段的单指标测度评价矩阵。

以 $R_{01} \sim R_{06}$ 代表某铜矿的6个不同中段,以440m(R_{01})矿井中段为例,根据表3中10个影响因素的取值,分别代入图1~图4的单指标测度函数中,计算可知 R_{01} 的单指标评价矩阵为

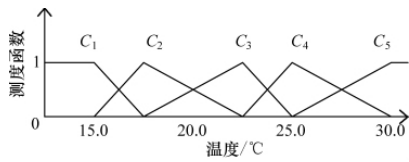


图1 矿井温度单指标测度函数

Fig. 1 Uncertainty measurement function of mine temperature

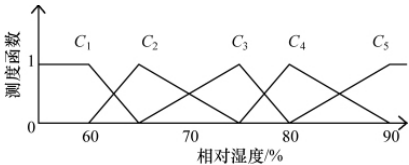


图2 矿井相对湿度单指标测度函数

Fig. 2 Uncertainty measurement function of mine relative humidity

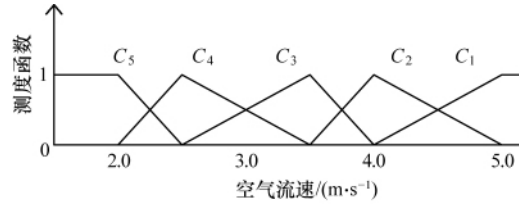


图3 矿井空气流速单指标测度函数

Fig. 3 Uncertainty measurement function of mine air velocity

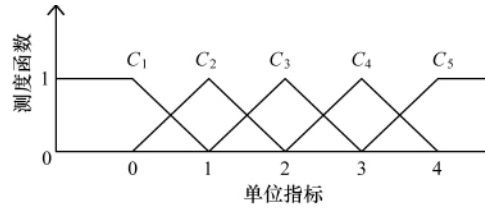


图4 矿井照明、振动、粉尘、噪声、着装感受、主观疲劳指数和心理感受的单指标测度函数

Fig. 4 Uncertainty measurement function of mine lighting, vibration, dust, noise, dress feeling, subjective fatigue index and psychological feeling

$$[\mu_{ijk}]_{10 \times 5} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.8 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.44 & 0.56 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.75 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.45 & 0.55 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.2 计算多指标测度评价矩阵

由式(5)~式(7)确定各评价指标权重, $R_{01} \sim R_{06}$ 的评价指标权重如表4,并计算权重的平均值进行比较。根据式(8)得出多指标综合测度评价向量如表5所示。

表4 矿井不同中段的评价指标权重及均值

Table 4 Evaluation criterion weight and mean value in different stages

编号	权重									
	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}
R_{01}	0.0853	0.1237	0.0987	0.1237	0.0710	0.0805	0.0987	0.1237	0.0708	0.1237
R_{02}	0.1263	0.0870	0.0870	0.0870	0.1263	0.0735	0.0870	0.1263	0.0735	0.1263
R_{03}	0.1183	0.0944	0.1183	0.1183	0.0815	0.0688	0.0815	0.1183	0.0825	0.1183
R_{04}	0.1132	0.1132	0.0780	0.0904	0.0780	0.1132	0.0780	0.1132	0.1093	0.1132
R_{05}	0.1313	0.1313	0.0764	0.0764	0.0764	0.0905	0.0764	0.1313	0.0790	0.1313
R_{06}	0.1205	0.1205	0.0701	0.1205	0.0701	0.0830	0.0830	0.1205	0.0915	0.1205
均值	0.1158	0.1117	0.0881	0.1027	0.0839	0.0849	0.0841	0.1222	0.0844	0.1222

表 5 未确知测度模型评价结果

Table 5 The results of uncertainty measurement model evaluation

矿井中段编号	综合未确知测度					置信度识别结果
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	
R_{01}	0.0000	0.0631	0.8118	0.0569	0.0682	III级
R_{02}	0.0000	0.0816	0.6932	0.0990	0.1263	III级
R_{03}	0.0000	0.0157	0.5933	0.2633	0.1277	III级
R_{04}	0.0000	0.0312	0.4433	0.2990	0.2265	IV级
R_{05}	0.0000	0.0306	0.3078	0.2679	0.3939	IV级
R_{06}	0.0280	0.0587	0.3072	0.1243	0.4818	IV级

由各权重均值比较可知, $w_8=w_{10}>w_1>w_2>w_4>w_3>w_6>w_9>w_7>w_5$, 即着装感受和心理感受同等重要, 之后依次是温度、湿度、照明、风速、粉尘、主观疲劳指数、噪声、振动因素。

3.3 置信度准则识别结果

取置信度 $\lambda=0.5$, 由多指标综合测度评价向量式(8)和置信度评价准则式(9), 从左到右, 且 $k_0=0.8746>0.5$, 即 R_{01} 的热舒适性等级为 III 级, 从右到左, $k_0=0.9366>0.5$, R_{01} 的热舒适性等级也为 III 级。两次判别的结果一致, 可以判定 R_{01} 中段的热舒适性等级为 III 级, 即舒适程度为: 舒适。同理, 对 $R_{02}\sim R_{06}$ 进行评价, 得出评价结果列入表 5。

3.4 评价结果分析

首先, 由表 3 可知, 人体自身因素评价指标 (X_8, X_9, X_{10}) 与环境因素 (X_1, X_2) 变化趋势有一定的一致性, 说明环境因素 (X_1, X_2) 不仅是影响人体舒适性的重要因素, 也是影响人体自身因素 (X_8, X_9, X_{10}) 的重要指标, 即高温高湿环境对人的着装感受, 生理疲劳以及心理感受有一定程度的影响。由表 4 可得出各影响因素权重大小顺序, 由权重对比可知, 在矿工工作中, 应特别注重矿工的着装和心理感受。着装方面, 可以为矿工订制矿井特殊热环境下的冷却服, 避免人身受高温气候的伤害; 心理感受方面, 可以为矿工提供定期的心理培训, 及时对个别矿工进行心理疏导。另外, 温度和湿度也应该是矿井环境改善的重点。

其次, 王希然等^[20]根据调查结果计算所得矿井平均临界深度为 745m, 若小于这个临界值, 烦恼、疲劳程度较低, 热舒适性较好。超过矿井平均临界深度后, 高温高湿环境使矿工的烦恼、疲劳程度急剧增加, 热舒适性降低。而由表 5 可得出置信度识别结果: R_{01}, R_{02}, R_{03} 矿井中段为舒适, R_{04}, R_{05}, R_{06} 中段为较不舒适。中段 R_{05} 为 730m, 中段 R_{04} 为 760m, 745m 介于二值之间。显然, 未确知测度模型评价结果与实际调查计算所得的结果具有很好的一致性。说明 R_{04}, R_{05}, R_{06} 中段应采取相应的降温措施和个体保护, 调整矿工的工作时间或给予高温保障待遇来提高其热舒适性。研究结果表明, 不同中段的矿井, 由于外在环境条件和内在自身条件不同, 矿工的热舒适性也不同, 应采取不同程度的降温措施和保障待遇。

4 结论

通过对未确知测度理论和矿井人体热舒适评价指标体系的研究和工程实例应用, 得出以下结论:

(1) 矿井人体热舒适受多种因素的影响。针对矿井人体热舒适评价中诸多因素的不确定性和隐蔽性, 综合考虑矿井环境参数和人体自身因素, 引入未确知测度理论, 建立了矿井人体热舒适评价模型。

(2) 该模型选取矿井温度、相对湿度、空气流速、矿井照明、振动、粉尘、噪声、着装感受、主观疲劳指数、心理感受 10 项指标作为未确知测度模型的指标, 根据实测数据和调查问卷建立各影响因素的未确知测度函数。在评价过程中, 利用熵计算各影响因素的指标权重, 减少主观因素的影响。最后依照置信度识别准则进行等级判定, 得出矿井热舒适的评价结果。

(3) 由各权重均值比较可知, 着装感受和心理感受同等重要, 为主要因素。依次是温度、湿度、照明、风速、粉尘、主观疲劳指数、噪声、振动因素。

(4) 未确知测度理论计算方法简单, 能满足工程应用的要求。对该矿井实施降温措施, 改善工人作业环境, 保障矿工的职业安全提供了重要依据。为治理高温矿井引发的热不舒适性提供了一条新思路, 具有重要的理论和现实意义。

需要指出的是, 未确知测度理论在矿井热舒适中的研究还只是初步尝试, 今后, 如何选取评价指标以及指标权重的确定方法尚需进一步研究, 以增强该方法的普遍适用性。

参考文献 (References)

- [1] 杨仁忠, 耿世彬, 张华. 室内空气环境的舒适与健康[J]. 制冷空调与电力机械, 2002(1): 14-17.
Yang Renzhong, Geng Shibin, Zhang Hua. Refrigeration Air Conditioning & Electric Power Machinery, 2002, (1): 14-17.
- [2] 岑衍强, 侯祺棕. 矿内热环境工程 [M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1989: 1-24.
Cen Yanqiang, Hou Qizong. The hot environment engineering in mines [M]. Wuhan: Wuhan Industrial University Press, 1989: 1-24.
- [3] Hemp R. Air temperature increases in airways [J] The Mine Ventilation Society of South Africa, 1985, 43(12): 1-20.
- [4] Dicing D H. Ultra-deep level mining-future requirements[J]. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 1997, 97 (6): 249-255.
- [5] 于永中, 姚安子. 煤矿井下采掘作业环境气象条件卫生标准的调查研究[J]. 卫生研究, 1981(4): 121-129.
Yu Yongzhong, Yao Anzi. Health Research, 1981(4): 121-129.
- [6] 刘卫东. 高温环境对煤矿井下作业人员影响的调查研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2007, 3(3): 43-45.
Liu Weidong. Journal of Safety Science and Technology, 2007, 3(3): 43-45.
- [7] 崔文广. 深井热害对矿工生理和生化指标的影响[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
Cui Wenguang. Effect of heat stress in deep mine on physiological and

- biochemical indexes of miners[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2008.
- [8] 刘开第, 庞彦军, 孙光勇, 等. 城市环境质量的未确知测度评价 [J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(12): 52-58.
Liu Kaidi, Pang Yanjun, Sun Guangyong, et al. Systems Engineering Theory and Practice, 1999, 19(12): 52-58.
- [9] 董陇军, 赵国彦. 未确知均值分级方法及在回采巷道围岩分类中的应用[J]. 解放军理工大学学报, 2009, 10(6): 575-579.
Dong Longjun, Zhao Guoyan. Journal of PLA University of Science and Technology, 2009, 10(6): 575-579.
- [10] 董陇军, 李夕兵, 宫凤强. 膨胀土胀缩等级分类中的未确知均值聚类模型及应用[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2008, 39(5): 1075-1080.
Dong Longjun, Li Xibing, Gong Fengqiang. Journal of Central South University: Science and Technology Edition, 2008, 39(5): 1075-1080.
- [11] 李树刚, 马超, 王国旗. 基于未确知测度理论的矿井通风安全评价[J]. 北京科技大学学报, 2006, 28(2): 101-103.
Li Shugang, Ma Chao, Wang Guoqi. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2006, 28(2): 101-103.
- [12] 曹庆奎, 刘开展, 张博文. 用熵计算客观型指标权重的方法 [J]. 河北建筑科技学院学报, 2000, 17(3): 40-42.
Cao Qingkui, Liu Kaizhan, Zhang Bowen. Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology, 2000, 17(3): 40-42.
- [13] Fanger P O. Thermal comfort[M]. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.
- [14] 马亚静. 矿工安全生产的心理因素分析[J]. 陕西煤炭, 200(2): 47-49.
Ma Yajing. Shaanxi Coal, 2007(2): 47-49.
- [15] 赵以蕙. 矿井通风与空气调节[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1990.
- Zhao Yihui. Mine ventilation and air conditioning[M]. Xuzhou: China Mining University Press, 1990.
- [16] 中华人民共和国卫生部. GBZ 2.2-2007 工作场所所有害因素职业接触限值[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
Ministry of Health of the People's Republic of China. GBZ 2.2-2007 The workplace harmful factors of occupational exposure limit [S]. Beijing: Standard Press of China, 2007.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 4200-2008 高温作业分级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
The State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. GB/T 4200-2008 Hot work classification[S]. Beijing: Standard Press of China, 2009.
- [18] Fanger P O. Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering[M]. Florida: Krieger Publishing Company, 1982.
- [19] Nevins R G, Rohles F H, Springer W, et al. A temperature-humidity chart for thermal comfort of seated persons [J]. ASHRAE Transactions, 1966, 72(1): 283-295.
- [20] Siegel S, Castellan N J. Nonparametric statistics for the behavioural sciences[M]. New York: McGraw-Hill, 1988.
- [21] 王希然, 李夕兵, 董陇军. 矿井高温高湿职业危害及其临界预防点确定[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(2): 157-163.
Wang Xiran, Li Xibing, Dong Longjun. China Safety Science Journal, 2012, 22(2): 157-163.

(责任编辑 刘志远)

· 学术动态 ·



中国科协 8 项评比表彰项目

根据全国清理规范评比达标表彰工作联席会议办公室公布的《关于评比达标表彰保留项目的通知》，中国科协保留 8 个奖项：

- 1) 中国青年科技奖(周期为 2 年)
- 2) “讲理想、比贡献”活动先进集体、科技标兵、优秀组织者(周期为 2 年)
- 3) 全国科普示范县(市、区)、全国科普教育基地创建活动(周期为 2 年)
- 4) 中国青年女科学家奖(周期为 1 年)
- 5) 全国科协系统先进集体、先进工作者(周期为 5 年)
- 6) 全国优秀科技工作者(周期为 2 年)
- 7) 王大珩光学奖(周期为 2 年)
- 8) 中国科普作家协会优秀科普作品奖(周期为 2 年)

详情见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35668/n35713/n35953/n11135355/12023273.html>