

# 防霾口罩呼吸阻力的研究

刘秋新 童亮 陈芬 蔡美元 向金童 吴炯

( 武汉科技大学 武汉 430065)

**摘要** 通过对8种常用类型防霾口罩的实验测试,采用回归曲线分析方法得出了防霾口罩呼吸阻力随使用时间的变化函数形式,同时也通过实验数据统计给出了各种类型口罩的建议使用时长,建议N90和N95无纺布防霾口罩在空气轻度污染下使用时长不超过11~12h,中度污染下不超过8~10h;而棉布为面料的N95口罩在轻度污染下使用时长不超过7h,中度污染下不超过6h。

**关键词** 防霾口罩 呼吸阻力 使用时长 回归分析

## Study on Anti-dusk Masks Respiratory Resistance

LIU Qiuxin TONG Liang CHEN Fen CAI Meiyuan XIANG Jintong WU Jiong

( Wuhan University of Science and Technology Wuhan 430065)

**Abstract** Based on the experimental tests for 8 types of commonly used anti-dusk masks, the anti-dust mask respiratory resistance function form with the change of time is obtained through the regression curve analysis method, and at the same time the experiment data statistics shows the recommended duration of use of the various types of masks. It suggests that non-woven masks N90 and N95 is used not more than 11~12 hours under mild air pollution and 8~10 hours under moderate pollution; respirator use time of cotton fabrics N95 doesn't exceed 7 hours under light pollution and 6 hours under moderate pollution.

**Key Words** anti-dusk masks respiratory resistance duration of use regression analysis

## 0 引言

应对多发的雾霾天气,人们对 $PM_{2.5}$ 的防护越来越看重,防霾口罩的佩戴已然成为习惯。如何提高防霾口罩的佩戴舒适性和延长口罩的使用时长,保证口罩在较长的时间内也不会感到气闷,呼吸轻松,同时也保证对 $PM_{2.5}$ 的过滤效率满足要求,是一项重要的研究内容。一般情况下,口罩的过滤效率不会随使用而降低,相反的随着细颗粒物吸附于面料上,口罩的过滤效率还有可能随着使用时长而增大。所以本文重点研究防霾口罩呼吸阻力随使用时长的变化情况,本研究对8种市场上热卖的 $PM_{2.5}$ 防护口罩做实验研究,基本上涵盖了市面上现有的防霾口罩类型,挑选了24名佩戴人员在静坐的情况下连续使用,每间隔1h测试呼吸阻力的变化值,同时采访记录每位佩戴人员的主观呼吸感受,从测试结果和人员主观感受两个方面综合评价口罩的呼吸阻力随使用时长的变化关系,对今后提高防霾口罩的呼吸舒适感有参考作用。

## 1 实验方法

在空气污染为轻度污染,空气质量指数(AQI)为124和中度污染、AQI指数为163的室外环境条

件下分别测试。试验台搭设严格按照GB 2626—2006《呼吸防护用品—自吸过滤式防颗粒物呼吸器》中呼吸阻力测试标准要求,实验中采用8386多参数通风表检测压力,精确度较高。实验用防霾口罩具体参数见表1。

实验室外测试采用真人呼吸模式,在测试人员自由呼吸1h后测试口罩呼吸阻力值,每种型号的口罩每次测试3个口罩的呼吸阻力值,取3次结果的平均值,连续测试6次。

## 2 外加阻力对人体呼吸舒适感的影响

吸气时面罩内的真空度(峰值负压)及呼气时的余压(峰值正压)称为呼吸防护装备的外加阻力。外加呼吸阻力过大,易引起呼吸疲劳。轻度体力负荷下,呼吸防护装备外加阻力引起的呼吸时口腔压力最大波动幅度不超过 $7.5\text{ cm H}_2\text{O}$ ,或每升通气增加的呼吸功不超过 $0.05(\text{ kg}\cdot\text{ m})/\text{ h}$ ,则90%以上的使用者不会产生呼吸不适感。一般认为外加呼吸阻力不会造成心血管和代谢方面的变化,但供气式面具可由于自重过大,使心率变化快。所以在口罩制作和设计时,一定要考虑口罩的呼吸阻力值,是否会造成人体呼吸不适感,要避免口罩的初阻力过大

或是口罩阻力增长过快,影响口罩的使用。

表1 口罩初始阻力值

口罩编号	口罩型号	等级标准	面料形式	滤料	初始呼吸阻力	
					吸气阻力/Pa	呼气阻力/Pa
1	A90V	N90	无纺布	无纺布纤维+高效静电滤棉	27	15
2	A95	N95	无纺布	无纺布纤维+高效静电滤棉	40	32
3	A95V	N95	无纺布	无纺布纤维+高效静电滤棉	41	21
4	B95V	N95	无纺布	康纶抗菌技术+超细微滤技术	40	29
5	B95	N95	棉布	康纶抗菌技术+超细微滤技术	37	11
6	C95	N95	棉布	表层 17.8% 棉 82.2% 纤维; 第二层过滤棉; 第三层负离子过滤层; 里层 70.7% 棉 29.3% 粘纤	76	45
7	E95V	N95	无纺布	负氧离子层+防潮透气面料+活性炭纤维层+双层静电微滤材料+无胶针刺保温棉+抗菌无纺布	48	32
8	E95	N95	无纺布	负氧离子层+防潮透气面料+双层静电微滤材料+无胶针刺保温棉+抗菌无纺布	41	29

注: V 表示口罩有呼吸阀。

对外加呼吸阻力的影响因素有: ①呼吸阻力的总阻力值越大则呼吸不适感程度越严重。②呼吸阻力的比例关系,在轻度体力负荷下,以吸气阻力成分对呼吸不适感的影响较大;重度体力负荷下,可能呼气阻力的影响大。③体力负荷,既可使外加呼吸阻力影响加重,也可使呼吸不适感觉的阈值提高,重体力负荷和高温环境可使外加阻力的影响加重,他们之间的相互作用是“相加”。④个体差显著,女性的耐受力比男性差。实验室在无体力负荷情况下进行,可忽略以上因素对实验结果的影响。

个体防护用口罩是以人体呼吸力(一般为 30 ~ 50 Pa)为净化动力,净化大气环境以满足人体对洁净空气的需求,相对建筑环境空间中的机械动力具有低阻特性。根据 GB 2626—2006《呼吸防护用品—自吸过滤式防颗粒物呼吸器》标准规定,各类面罩吸气总阻力不应大于 350 Pa,呼气总阻力不应大于 250 Pa。试验中以吸气阻力为 350 Pa,呼气阻力为 250 Pa 为口罩使用寿命的终止时压力值,对 8 种口罩的初始呼吸阻力的测试结果见表 1。

### 3 实验结果及分析

#### 3.1 佩戴人员呼吸感受

实验中的 24 名口罩佩戴人员,其中有 4 名人员先后佩戴无呼吸阀和有呼吸阀的口罩。实验测试 6 h 中,基本上所有测试人员都能适应口罩的呼吸阻力值,测试中没有出现呼吸急促或是头晕等症状,只有 1 名测试人员在测试 1 h 后出现轻微头晕反应而终止测试,而该名测试人员主要因为个人身体差异和佩戴口罩的不习惯性造成。测试人员的普遍反映是口罩透气性差,呼吸不舒适感强,因为当口罩的透气性差时,人呼出的气体不能很好的与外界进行交换,导致口罩内的废气累积,人就会出现呼吸困难,使人感觉不适;当口罩的透气性较好时,人呼出的气体能够很好的与外界交换,人就会感觉呼吸畅通。从采访结果看,同型号口罩头戴式与耳戴式相比,头戴式与人脸贴合性好,呼吸困难感稍强,虽然口罩与人脸贴合性越好,阻挡颗粒物的效果越好,但口罩越密闭,对于人体的呼吸阻力增大得越明显,呼吸越费劲。同型号口罩,带呼吸阀和不带呼吸阀相比,从人员感受方面看,呼吸感并无很大差异。

#### 3.2 测试结果及分析

在轻度污染和中度污染下分别实测佩戴口罩 6 h 的口罩呼吸阻力值结果见表 2 和表 3。

表2 轻度污染下口罩呼吸阻力值

口罩编号	Pa													
	初始呼吸阻力		使用 1 h 呼吸阻力		使用 2 h 呼吸阻力		使用 3 h 呼吸阻力		使用 4 h 呼吸阻力		使用 5 h 呼吸阻力		使用 6 h 呼吸阻力	
	吸气阻力	呼气阻力	吸气阻力	呼气阻力	吸气阻力	呼气阻力	吸气阻力	呼气阻力	吸气阻力	呼气阻力	吸气阻力	呼气阻力	吸气阻力	呼气阻力
1	27	15	39	18	60	33	74	42	85	58	102	76	129	88
2	40	32	74	39	85	50	100	67	124	86	129	99	150	121
3	41	21	75	29	88	35	102	47	123	66	126	88	143	100
4	40	29	66	36	78	50	108	72	118	85	127	98	149	113
5	72	39	96	54	107	69	119	81	134	99	168	118	231	147
6	76	45	101	60	110	78	128	86	136	103	179	121	245	157
7	48	32	56	43	71	57	92	71	100	88	116	101	138	119
8	41	29	75	41	89	55	112	69	117	88	125	101	132	125

表3 中度度污染下口罩呼吸阻力值

Pa

口罩编号	初始呼吸阻力		使用1h呼吸阻力		使用2h呼吸阻力		使用3h呼吸阻力		使用4h呼吸阻力		使用5h呼吸阻力		使用6h呼吸阻力	
	吸气阻力	呼气阻力	吸气阻力	呼气阻力	吸气阻力	呼气阻力	吸气阻力	呼气阻力	吸气阻力	呼气阻力	吸气阻力	呼气阻力	吸气阻力	呼气阻力
1	27	15	42	22	65	41	88	54	103	71	121	94	155	118
2	40	32	74	39	89	50	106	71	121	93	139	117	160	132
3	41	21	73	29	87	35	105	51	121	76	142	104	164	128
4	40	29	66	36	81	53	118	78	129	92	142	111	167	125
5	72	39	98	54	113	73	128	91	147	112	181	139	252	172
6	76	45	104	60	119	78	136	90	157	115	191	136	268	169
7	48	32	59	44	73	59	99	74	110	89	126	101	159	123
8	41	29	55	41	70	55	97	69	110	88	123	101	152	128

3.2.1 口罩使用寿命

根据表2和表3中的数据,对每种型号的口罩的吸气和呼吸阻力分别进行回归分析和数据拟合,取拟合R平方值最大时所计算出的拟合曲线,R平方值计算如下

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (1)$$

式中: $\hat{y}_i$ 是回归曲线函数值  $\bar{y}_i$  平方值。

根据数学回归分析方法可得,所有口罩的曲线回归方程形式,如下所示,

吸气阻力方程:

$$y = a_1 t^3 + b_1 t^2 + c_1 t + d_1 \quad (2)$$

无纺布呼气阻力方程:

$$y = a_2 t^2 + b_2 t + c_2 \quad (3)$$

棉布呼气阻力方程:

$$y = a_3 t^3 + b_3 t^2 + c_3 t + d_3 \quad (4)$$

以上呼吸阻力与时间的关系式是未达到口罩容尘量之前的变化关系式,当口罩吸附的细颗粒物达到了口罩容尘量之后,口罩的呼吸阻力基本上维持不变。

拟合曲线的R平方值(趋势线的拟合程度)最

小的为0.9804,多数情况是 $R^2 > 0.9901$ ,可见拟合程度都很高,趋势线可靠性高,可以用拟合曲线近似的表示口罩呼吸阻力随使用时长的变化规律。从拟合曲线可分析出所测试的口罩中使用时间长,例如如图1是E95V的吸气阻力和呼气拟合曲线,从图中可以看出,13h后口罩吸气阻力达到了350Pa,呼吸阻力12h达到250Pa,则口罩的使用寿命只有12h。

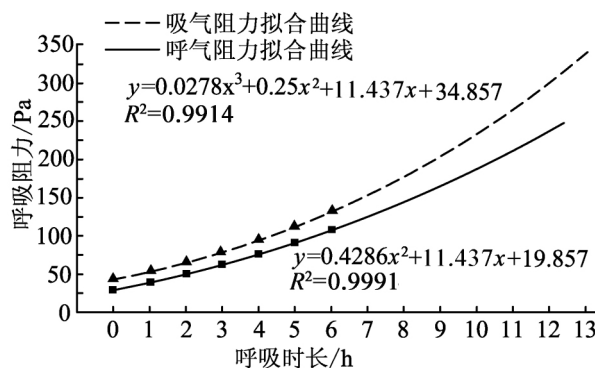


图1 轻度污染下E95V口罩呼吸阻力随呼吸时长变化拟合曲线

用同样的拟合方式,可得出所测试口罩的使用寿命。表4是根据拟合曲线求得的测试口罩的呼吸阻力分别达到口罩规范极限值所用时长,由此可得出口罩使用寿命。

表4 口罩使用寿命

h

口罩编号	轻度污染			中度污染		
	吸气阻力为350Pa时呼吸时长	呼气阻力为250Pa时呼吸时长	使用寿命	吸气阻力为350Pa时呼吸时长	呼气阻力为250Pa时呼吸时长	使用寿命
1	10	12	10	8	10	8
2	11	11	11	8	9	8
3	11	11	11	8	9	8
4	12	13	12	10	11	10
5	7	7	7	6	7	6
6	7	7	7	6	7	6
7	13	12	12	10	12	10
8	14	12	12	10	10	10

从表4中可以得出轻度污染下,市面上N90和

N95防霾口罩使用寿命一般为10~12h,中度污染

下口罩的使用寿命一般为 8~10 h。在中度污染下口罩的使用寿命相比于轻度污染会降低 1~3 h 的使用时长,可见污染程度对口罩的使用时长也有较大影响,雾霾污染程度越大,对口罩使用寿命影响越大,人员佩戴防霾口罩时应根据空气污染程度适当的降低口罩的佩戴时间。

对比 2、3 号和 7、8 号口罩的吸气和呼气使用时长,发现带呼吸阀和不带呼吸阀,对吸气寿命无影响,对呼气寿命有一定的影响,可降低呼气寿命 1~2 h。

### 3.2.2 呼吸阀和过滤效率对呼吸阻力的影响

根据表 2 中的数据画出 A 类口罩呼吸阻力随呼吸时长的变化曲线图,如图 2~图 4 所示。对比 A95 和 A95V 口罩,可以发现呼吸阀可以降低呼气阻力值,而其吸气阻力曲线基本重合,说明呼吸阀对口罩的吸气阻力没有明显影响。可见口罩呼吸阀可以减小呼气阻力,排出湿热空气,有利于提高呼吸舒适性,而对吸气阻力影响不大。

从图中也可以看出,N90 和 N95 口罩对比,过滤效率为 90% 的口罩呼吸阻力明显大于过滤效率为 95% 的口罩,说明过滤效率越高,口罩的呼吸阻力也会相应增大。这是因为一般的防霾口罩,过滤效率越高,口罩过滤材料的纤维密集程度越高,孔径越小,呼吸阻力就越大。

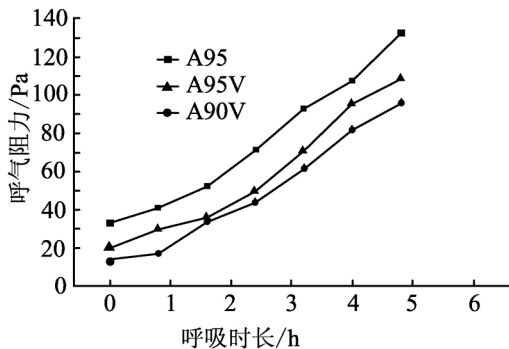


图 2 轻度污染下 A 类口罩呼气阻力随呼吸时长的变化曲线

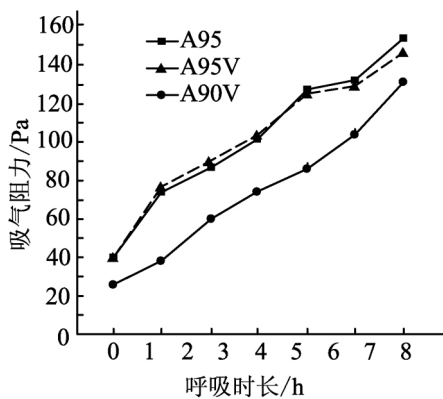


图 3 轻度污染下 A 类口罩吸气阻力随呼吸时长的变化曲线

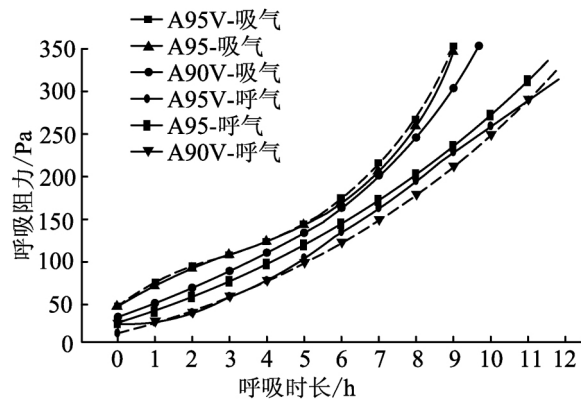


图 4 中度污染下 A 类口罩呼吸阻力随呼吸时长的变化拟合曲线

### 3.2.3 无纺布和棉布面料对呼吸阻力的影响

根据表 2 中的数据,拟合出轻度污染条件下棉布和无纺布为面料的口罩的呼吸阻力随呼吸时长的变化关系图,如图 5 所示。从图中可以很明显的看出棉布类口罩的呼吸阻力明显高于无纺布类的口罩,且其呼吸阻力随时间的增长速度也高于无纺布类。棉布类口罩在测试中两种类型的口罩均在使用 7 h 后就达到了呼吸阻力极限,即其在轻度污染下使用寿命只有 7 h,比无纺布口罩的使用寿命 11~12 h 小很多,这是因为无纺布的透气性要优于棉布的。

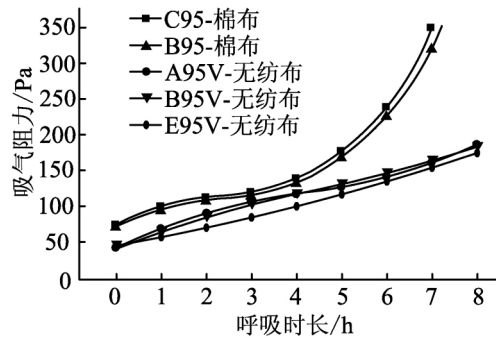


图 5 轻度污染下棉布和无纺布口罩吸气阻力随呼吸时长的变化拟合曲线

## 4 结论

(1) 通过对实验数据的回归分析,得出了口罩呼气阻力随使用时间的变化函数的基本形式。由于实验时间的关系,方程式的系数有待进一步确定。

吸气阻力方程:

$$y = a_1 t^3 + b_1 t^2 + c_1 t + d_1$$

无纺布呼气阻力方程:

$$y = a_2 t^2 + b_2 t + c_2$$

棉布呼气阻力方程:

$$y = a_3 t^3 + b_3 t^2 + c_3 t + d_3$$

(2) 现在市面上常见的 N90 和 N95 无纺布防霾口罩在空气轻度污染下使用时长是 11~13 h,中度污染下使用时长会降低 1~3 h,一般为 8~11 h;

而棉布为面料的 N95 口罩在轻度污染下使用时长一般为 7 h 左右,中度污染下仅为 6 h 左右。建议防霾口罩佩戴时长随空气质量而定,污染较为严重的时候可适当减少口罩的佩戴时长,且棉布类口罩的更换时间要短于无纺布类,佩戴棉布口罩时应勤于更换,以保障身体健康不受雾霾侵害。

(3) 呼吸阀可以降低口罩的呼气阻力,增加呼

气使用时间 1 ~ 2 h,但是整体上对口罩的使用时长没有明显影响,因为呼吸阀主要是减小呼气阻力,促进湿热空气排出,以提高人体呼吸时的舒适感,而对吸气阻力影响不大。建议在重体力劳动下可佩带有呼吸阀的防霾口罩,帮助呼吸更舒畅。

作者简介 刘秋新,男,1956 年生,博士,教授,主要从事工业通风和空气调节方面的研究。

(收稿日期:2016-03-09)

(上接第 34 页)

温度改变同样会影响输电线路的周边磁场强度。温度改变,则输电线的弧垂改变,增高杆塔高度能够减少磁场强度。对同塔多回线路采用逆相序排列或架设屏蔽线也能起到很好的屏蔽磁场的作用。

湿度改变,导线表面及周边水分子数改变,可以通过改变线路上杆塔的架设高度、各导线的相间距离及架设屏蔽线等方式减少工频磁场带来的危害。

### 2.3 无线电干扰强度的减缓措施

导线采取的措施:通过增加输电导线的分裂数、增大导线直径、采用 Z 形或者外层梯形结构的导线等方法减少电晕放电,以减少无线电干扰强度的改变带来的危害。

杆塔采取的措施:通过选择高度较高的杆塔来提升杆塔间输电线路的高度。

附加材料的措施:输电线表面喷涂防电晕涂料,可以有效降低电晕起始电压,降低无线电干扰强度。

## 3 结论与展望

(1) 气象因素对电磁环境的影响。电场强度的影响:温度不变时,湿度增加则电场强度增加;低湿度下,温度上升则电场强度增加,高湿度下,温度上升则电场强度下降;覆冰、风等气象因素的改变同样会影响输变电区域的电场强度。磁场强度的影响:温度上升则磁场强度增加;刮风情况下,若以中相输电线为对称线,在上风向一侧的磁场强度随着风速的增大而降低,下风向则相反。无线电干扰强度的影响:气压下降则无线电干扰强度增强;温度上升会增强无线电干扰强度不过增幅不大;相对湿度和无线电干扰强度的关系与施加给导线的电压值相关,不同电压值下,无线电干扰与相对湿度的关系不同。

(2) 减缓措施。采用调整杆塔设计高度、改变相间距离和增设屏蔽线等方式,应对不同的气象因素下输变电线路下电场强改变情况,尽可能的减少其对人体可能造成的危害。

通过相关研究,了解到温度、湿度等气象因素对电磁场及无线电干扰强度的影响。希望能够建立不同气象因素下输变电线路电磁环境的预测模型,为输变电线路的设计施工及运行期间的环境保护工作提供技术支持。

### 参考文献

- [1]彭继文,周建飞,周年光,等.湿度对 500 kV 超高压交流架空送电线路区域电磁环境的影响研究[J].电网技术,2008,32(S2):236-239.
- [2]俞集辉,郝亚利,徐禄文,等.湿度、温度对工频电场强度的影响[J].重庆大学学报,2009,32(2):137-140.
- [3]肖冬萍,何为,杨帆,等.不同气象条件下特高压输电线路工频电场计算与档距选择[J].高电压技术,2009,35(9):2081-2086.
- [4]兰新生,林巧红,刘虹,等.环境湿度对实验室工频电场强度测量结果的影响研究[J].四川电力技术,2013,36(4):92-94.
- [5]耿庆忠.考虑海拔影响的正极性针环电极模型和交流 750 kV 导线的电晕起始特性研究[D].北京:华北电力大学,2014.
- [6]冯天佑.环境气候条件对多分裂导线交流电晕特性的影响研究[D].武汉:华中科技大学,2011.
- [7]安冰.温度、湿度对电晕笼中导线直流电晕特性的影响[D].北京:华北电力大学,2009.

作者简介 王灵芝,男,硕士,研究方向:电力系统的环境污染控制。

(收稿日期:2015-09-15)