

负压救护车排风净化单元的研制与应用

摘要：目的

研制一种负压救护车排风净化单元，使安装该装置的普通救护车通过电路连接、车厢加强密封等简单改造后，快速升级为具备负压隔离功能的负压救护车。方法采用单元设计，与救护车工作台组成一体，安装简单，不占用狭窄空间，集成动力排风、空气高效过滤，报警功能、紫外线杀菌、负压监测与报警等功能于一体。分别使用物理气溶胶和病毒气溶胶检测该装置的过滤效率；装置正常运行后，通过微压差传感器测量救护车病员室的负压值；通过测量装置的排风量计算救护车病员室的换气次数。

结果：该装置的过滤效率、救护车病员室的负压值、换气次数均达到国家卫生行业标准要求。

结论：该装置过滤效率高，体积小，功能集成化，安装方便，在全国范围内为呼吸道传染病疫情的防控提供了装备支撑，取得了显著的社会效益。

关键词：排风净化；负压救护车；病毒气溶胶

1. 1 结构设计：考虑到救护车病员室内需要集成必要的救护设备，内部可供安装其他设备的空间十分有限，因此要求所设计的负压排风净化装置不仅满足负压隔离的要求，而且尽可能体积小、功能集成。本文研发的负压救护车排风净化装置采用一体化设计，在较小的体积内集成了动力排风、空气高效过滤、紫外线杀菌、负压监测与报警等功能。

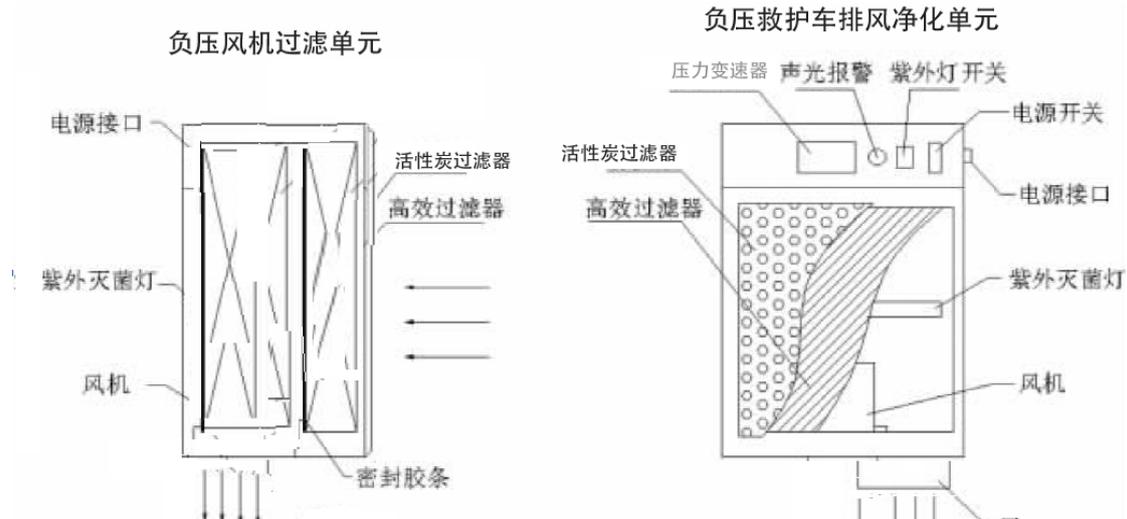


图 1 负压救护车排风净化单元结构示意图

1.2 排风量及过滤效率：国家卫生行业标准 WS /T 292 — 2008《救护车》要求“C 型车的负压系统”每小时换气次数最少 25 次，负压值在 $-30 \sim 60$ Pa 之间，过滤效率应大于 99.7%〔4〕。其中，对于所设计的负压装置要求最主要的即过滤效率及换气次数两个指标，换气次数达到要求了，在对病员室进行一定的密封处理后，即可达到要求的负压值范围。

1.3 本设计通过控制装置箱体的密封工艺及过滤器选型保证过滤效率。箱体采用全钣金结构，内腔负压室采用全密封设计，风机及过滤器与静压箱的安装采用胶条压紧密封。特殊设计了 H13 等级的无隔板高效空气过滤器，过滤效率为 $99.99\% @ 0.3 \mu\text{m}$ ，额定风量为 $450 \text{ m}^3/\text{h}$ ，初阻力为 230 Pa ，尺寸为 $500 \text{ mm} \times 350 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ ，较小的过滤器厚度有效地减小了装置整机的厚度。按照病员室负压 -30 Pa 、过滤器终阻力 400 Pa 、机外余压 30 Pa 计算，风机全压应达到 500 Pa 左右；以某依维柯救护车为例，病员室尺寸为 $2680 \text{ mm} \times 1890 \text{ mm} \times 1650 \text{ mm}$ ，容积为 8.36 m^3 。如果需要满足 25 次换气次数，则排风机的风量至少为 $167.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 。本设计选用德国

ebmpapst 依必安派特的高性能离心风机，在 500 Pa 静压下风量仍可达 450 m³ /h，满足换气次数的设计要求。且该风机还具有噪音低、结构紧凑、重量轻等特点。

1. 4 电气控制与负压监测报警：负压救护车排风净化装置整机由车载蓄电池经过正弦波逆变器进行供电，紫外灭菌灯、报警灯、数字仪表及时间继电器等为 AC220V 供电，由车载逆变器的输出供电；差压传感器为二线制电流信号，电源直流 24V 由专用开关电源 AC220 转 24V 对差压传感器供电。电气原理如图 2 所示。此种供电方案中，功耗最大的是风机，功率在 150W 左右，可避免选用大功率的逆变器而占用空间。建议逆变器功率应在 1000W-1500W 之间，从而有效地减小了电气控制夹层的尺寸。

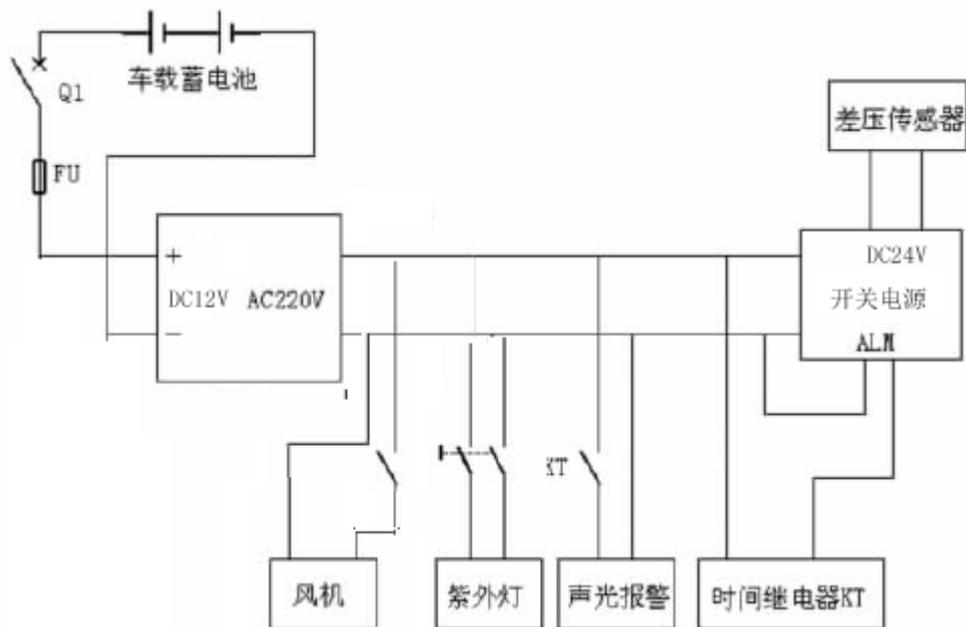


图 2 负压救护车排风净化装置电气原理图

1. 4 负压救护车排风净化单元

救护车用负压净化装置是救护车专用净化设备，安装有此负压净化装置的救护

车，能使救护车在救治和转运传染病等特殊疾病时可以最大限度地减少医务人员与病人间交叉感染的机率，而且负压还能将车内的空气进行无害化处理后排出，有效避免更多的人感染，对传染病源起到良好的控制作用。

原理：

通过使救护车内气压相对于车外大气压保持在 $-30\sim-100\text{Pa}$ 范围内，引导气流向远离医务人员的地方流动，经过紫外线臭氧消毒灯对吸附在中效活性炭过滤器表面的病菌进行消毒，再经过过滤效率为 99.999% 的高效过滤器过滤后排出车外，以达到避免二次污染的效果。

负压风机特点：

负压风机净化单元：负压箱采取钣金结构，可以快速安装成型，箱体的密封是非常重要的，在风机进风腔体中采用紧固密封设计，以保证 99.999 的过滤效果，负压风机净化风机来自德国依必安派特的新型离心风机，由于安装尺寸相同，更换设备异常简单，. 混合式结构。“RadiCal”系列（超凡曲线离心风机）的叶片设计在空气动力学方面进一步优化，使得风机运行时声噪得以降低 50%。这一系列的产品减小了电机尺寸，比起原型号更加紧凑。新型号和原有产品的尺寸相同，方便使用者在对现有交流离心风机进行替换时无障碍切换。该系列产品在电机散热系统的设计上也进一步优化，电机定子包裹在高性能塑料材料的外壳中，转子处的进气口确保电机运行时更好地散热，从而使得电机运行更有效率。此外，该系列风机的防护等级很高，适合在各类要求严格的工作环境中运行。在效率方面，“RadiCal”系列（超凡曲线离心风机）早就远远超过了欧盟新制定的电动风机能效标准，欧盟的这一标准即将成为风机的法定标准，而依必安派特已经早于条例正式颁布前达到并超过了该指标。同传统交流风机相比，新系列节能可高达 50%，声

噪竟然减低了一半。新型“RadiCal”系列（超凡曲线离心风机）塑料材料良好的防潮性能也是帮助减低噪音的因素之一。即便是没有进行表面特殊涂层的处理，新型材料的叶片即便是暴露在盐水或盐雾中也能够高度防腐。同时，该材料具有紫外线防护功能，毫不惧怕日光辐射产生的影响。

1.6 车内外压差监测报警功能：通过进口压差传感器及压差开关，实时监控车内外压差一旦监测压差超过 $-30\sim-10\text{Pa}$ ，中央电脑芯片就会控制报警器报警，并通过显示屏幕提示医务人员压差过高或过低（报警功能可以选配）。

1.7 高效过滤器前后压差监测报警功能：通过进口压差传感器及压差开关，实时监控高效过滤器前后压差，一旦监测压差超过所设定值，中央电脑芯片就会控制报警器报警，并通过显示屏幕提示医务人员高效过滤器堵塞，请更换高效过滤器（报警功能可以选配）。

1.8 自动调节风机功能：一旦中央电脑芯片接收到车内外压差超过 $-30\sim-10\text{Pa}$ 信号时，就会自动控制风机调节风速，使得车内外压差回到 $-30\sim-10\text{Pa}$ ，由此来保证车内外压差保持在 $-30\sim-100\text{Pa}$ ，从而更加有效保护医务人员的安全（手动调节及自动调节可选配）。

1.9 紫外线加臭氧消毒灯消毒功能：紫外线与臭氧消毒均对供应室无菌区有明显消毒作用，数据又显示臭氧消毒前后的菌落减少数明显高于紫外线，即臭氧对细菌的杀灭率更高，此点提示在临床工作的无菌区，要想达到更好的消毒效果，臭氧+紫外消毒灯可作为消毒设备为首选。在临床中又发现紫外线对人体有损害，可使局部皮肤产生红斑，眼睛长时间直视可引起紫外线眼炎，长期接触紫外线还可引起白细胞下降等相关疾病。而臭氧消毒器是运用放电法，以空气为原料，运用先进的控制系统制备一定量的臭氧，在相对密封的环境下，呈现弥漫性循环气体，且扩散均匀，通透性好，克服了紫外线消毒留有

死角的问题，能达到全方位、快速、高效的杀菌目的，同时臭氧的杀菌谱广，既可以杀灭细菌繁殖体、病毒、芽孢、真菌和原虫孢体等多种微生物，同时又具有较强的除霉、除臭的功能（紫外灯及臭氧灯加紫外灯可选配）。

1.10 负压排风净化装置设有差压传感器，用于测量病员室内与外界大气的相对差压，由数字仪表实时显示，当差压值低于设定的报警值时，报警输出接通时间继电器。如在指定延时时间内，差压值持续低于设定值，则时间继电器输出接通声光报警回路，从而触发负压值不正常的声光报警。时间继电器的延迟时间应保证足以供人员进、出病房室而不会激活声、光报警信号，一般情况下，此延迟时间为 30 s〔5〕。如果在延时时间内，差压值恢复到正常范围内，则时间继电器失电，从而避免小的扰动或正常开关车门引起报警。

1.11 负压救护车排风净化单元性能参数

负压风机净化单元型号：MK22500E-23L-A21

外壳尺寸：505x385x230mm

高效过滤器尺寸：500x350x56mm

高效过滤器型号：H13

过滤器效率：99.999

中效过滤器尺寸：500x350x10mm

输入电压：AC220C

输入功率：155W

输入电流：0.68A

压差变送器显示范围-100~+100 Pa

压差变送器输入电压：DC24V

紫外灯长度：460mm

2 综合性能检测

2.1 物理气溶胶过滤效率检测 委托中国计量检测科学研究院对负压救护车排风净化单元的物理气溶胶过滤效率进行了检测，其检测结果如下。

1	风量范围		(280~790)m ³ /h
2	过滤效率	风量：300m ³ /h	气溶胶最大漏过率 0.0008%
		风量：400m ³ /h	气溶胶最大漏过率 0.0009%
		风量：600m ³ /h	气溶胶最大漏过率 0.0008%
3	噪声	风量：300m ³ /h	58.1dB
		风量：400m ³ /h	61.0dB
4	输入电功率	风量：300m ³ /h	130W
		风量：780m ³ /h	155W

注：风量均为20℃，101.3kPa状态下的流量

由以上结果可见，安装本负压排风净化装置依维柯救护车的负压值和换气次数均优于国家卫生行业标准 WS/T 292 — 2008《救护车》规定的指标。

3 应用及推广

本文设计的负压救护车排风净化装置采用模块化设计，集成度高，排风量大，过滤效率高，可以在普通救护车的基础上进行小量改动即可实现负压救护车功能，达到传染病人转运过程中病员室负压隔离、通风换气、不污染周围环境的目标。自 2009 年甲型 H1N1 流感疫情爆发以来，已为北京北铃专用汽车有限公司、唐山亚特专用汽车有限公司、河南宇通专用汽车有限公司等医用车辆改装单位提供负压救护车排风净化装置 200 余台，改装成的负压救护车在全国范围内为呼吸道传染病疫情的防控提供了装备支撑，取得了显著的社会效益。

三河市科丰电气有限公司

编写人：叶国洲

2020 年 2 月 6 日