

一种防止气溶胶环境扩散新型垃圾桶的设计

周莉¹ 曹炜² 野翠杰² 李宏亮²

首都医科大学附属北京天坛医院¹ 中医科,² 重症医学科, 北京 100070

通信作者: 李宏亮, Email: arnold_lhl@126.com

【摘要】 垃圾桶是日常生产、生活过程中,用于投放和储存废弃物的卫生用具。脚踩翻盖式垃圾桶是目前市面上销售的主流产品,但其顶盖开启、闭合的设计方式存在一定的不合理性,会在垃圾桶内外产生气体的压力梯度差,进而引起气溶胶的环境扩散。对于医疗卫生机构内设置的垃圾桶而言,其内部的医疗废弃物往往携带有多种致病微生物,如果在使用过程中生物气溶胶产生并扩散到环境中,会增加就诊患者及医务工作者感染呼吸系统烈性传染病的风险。本团队为此研究并设计了一种能防止气溶胶环境扩散的新型垃圾桶,该装置主要由桶体和多个可折叠的折片构成,后者两端设置在滑槽内,通过滑槽将多个折片的运动轨迹限定为水平运动,避免开启、闭合过程中在桶内外产生气体压力的变化,从而降低包括气溶胶在内的污物环境扩散的风险,并获得了国家实用新型专利(专利号: ZL 2020 2 1271827.3)。

【关键词】 垃圾桶; 气溶胶; 呼吸系统传染病; 新型冠状病毒

基金项目: 国家实用新型专利(专利号: ZL 2020 2 1271827.3); 首都临床诊疗技术研究及转化应用项目(Z201100005520079)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2023.04.021

A new kind of garbage bin for preventing aerosol diffusion in the environment

Zhou Li¹, Cao Wei², Ye Cuijie², Li Hongliang²

¹Department of Traditional Chinese Medicine, ²Department of Critical Care Medicine, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100070, China

Corresponding author: Li Hongliang, Email: arnold_lhl@126.com

【Abstract】 Garbage bin is a sanitary appliance that stores waste in daily production and life. Foot clamshell garbage bins are the mainstream products on the market. However, the design method of opening and closing the top cover is unreasonable, which will produce the pressure gradient difference of gas inside and outside the garbage bin and cause the environmental dissemination of aerosol. For the garbage bins set up in medical and health institutions, the medical waste inside them often carries a variety of pathogenic microorganisms. If bioaerosols are generated during use and spread to the environment, it will increase the risk of respiratory infectious diseases for patients and medical workers. This team researched and designed a new type of garbage bin that can prevent the diffusion of an aerosol environment. The device mainly comprises a bucket body and several folding pieces, and the two ends are arranged in the chute. Through the chute, the movement path of the folding pieces is limited to horizontal movement to avoid the pressure change of gas inside and outside the bucket during opening and closing, thus reducing the risk of environmental diffusion of pollutants, including aerosols, and obtaining the national utility model patent (patent number: ZL 2020 2 1271827.3).

【Key words】 Garbage bin; Aerosol; Respiratory infectious diseases; Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2

Fund program: National Utility Model Patent of China (ZL 2020 2 1271827.3); Capital Clinical Diagnosis and Treatment Technology Research and Transformation Application (Z201100005520079)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2023.04.021

垃圾桶按使用场景不同分为公共式、家庭式和医用式。医用垃圾桶是专门用于存放沾染有患者血液、体液、分泌物及排泄物等医疗废物的容器,密闭式储存对于防止疾病传播,预防院内感染尤为重要。在具体垃圾桶顶盖的开合方式上,脚踩翻盖式最为常用,其操作方便,且可避免因手动触碰顶盖导致污物沾染到手上,但这样的开合方式仍可能带来较为严重的隐患:单纯通过脚踏板进行操作,并不能控制顶盖的开合速度,一方面初次踏下脚踏板时,顶盖在推杆的作用下向上方抬起,脚踏板被踏下的力度越大,顶盖抬起的速度也越快,此时会在垃圾桶内瞬间形成一定程度的负压,导致垃圾桶内的污物被动向上方抽吸,进而扩散到垃圾桶外的环

境中;另一方面,再次踏下脚踏板时,顶盖在重力作用下自然下落,关闭瞬间又对垃圾桶内的空气产生快速压缩的作用,此时在垃圾桶内会形成一定程度的正压,同样也会导致污物在正压驱动下从垃圾桶内溢出并污染周边环境。

在因顶盖开合引起的污物泄漏过程中,飞沫和气溶胶等重量轻、体积小的污染物最容易扩散。以气体为分散剂所形成的气溶胶颗粒可在空气中长时间悬浮(甚至可达数月、数年之久),因此扩散距离非常远^[1-2]。在医疗卫生机构这样的特定场所,气溶胶上往往附着有病毒、细菌、真菌等致病微生物,又称生物气溶胶,由于在空气中悬浮时间较长,一旦被未佩戴 N95 口罩人员吸入,可直接进入下呼吸道

并引起严重的呼吸系统疾病；即使随着时间的延长，气溶胶颗粒最终沉降到周边环境的物品表面，也有可能通过直接接触传播引起皮肤黏膜等软组织以及消化系统的感染^[3-4]。

进入21世纪以来，包括严重急性呼吸综合征(severe acute respiratory syndrome, SARS)、中东呼吸综合征(Middle East respiratory syndrome, MERS)、新型冠状病毒感染(coronavirus disease 2019, COVID-19)等在内的冠状病毒感染性疾病在世界各地相继暴发，传播力强，致死率高，而基于现有研究，气溶胶被认为是这些呼吸系统烈性传染病的重要传播途径^[5]。临床上一些容易产生生物气溶胶的医疗操作(aerosol-generating medical procedure, AGMP)如气管插管或拔管、吸痰、心肺复苏、无创通气、气管镜检查等均已经受到医务工作者的高度重视，并常为此采取多种预防措施，甚至设计了一系列的新型产品^[6-8]。但针对脚踏翻盖式垃圾桶顶盖在开放及闭合过程导致的气溶胶扩散问题，目前尚未引起足够重视^[9]。为了解决这一长期存在但往往被忽略的问题，特设计了一种新型垃圾桶并获得了国家实用新型专利(专利号：ZL 2020 2 1271827.3)。这种垃圾桶在顶盖的开启、闭合过程中不会在桶体内外产生空气压力梯度差，可有效避免桶内污物尤其是气溶胶的溢出，避免周围空间及人员的污染，现将具体设计技术和细节介绍如下。

1 新型垃圾桶的结构及工作原理

本实用新型垃圾桶采用折扇的工作原理，通过水平方向打开、收纳的方式开启垃圾桶(图1)，能有效避免传统翻盖式垃圾桶在开启、闭合过程中在桶体内部形成负压和正压导致污物尤其是气溶胶的空气扩散问题，进而实现保护周边环境，预防感染性疾病传播的作用。

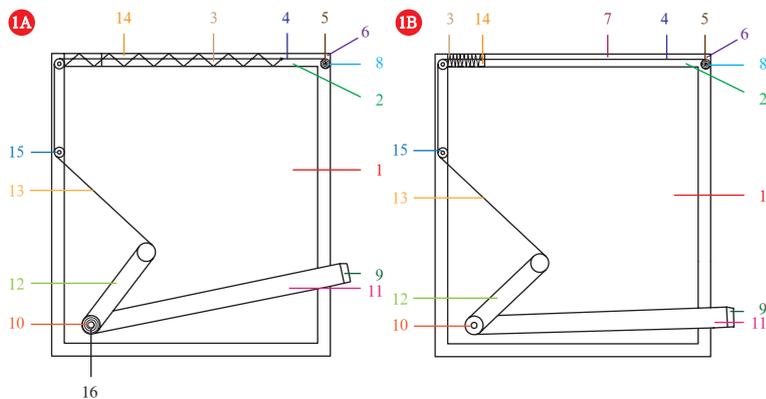
本实用新型垃圾桶的构成包括一个呈长方体结构的桶体(图1-1)，其上方设有用于投放垃圾的开口(图1-2)，以及由多个尺寸完全相同的折片所构成的顶盖(图1-3)，相邻两个折片之间以纤薄但具有一定韧性的弹性材料(如纤维布等)相连接以实现密闭功能，将多个折片连接在一起形成可折叠的折页(图2)。在桶体镜面对称的两个桶壁开口的位置处

置有滑槽(图1-4)，每个折片的端部均位于滑槽内，通过滑槽可以将多个折片的运动轨迹限定为水平运动。

在滑槽的内壁上设置有一根转轴(图1-5)，后者安装有可滚动的滚轮(图1-6)，上面缠绕有拉绳(图1-7)。拉绳的一端贯穿穿孔(图2-1)并与折页相固定(既可仅在其中一个折片上开设通孔以便将拉绳与折页进行固定，也可在多个折片上均开设通孔，拉绳逐一贯穿后与其中一个通孔完成固定，从而实现在打开折页时拉绳更加方便和省力的目的，同时也保证了折页展开后能完全覆盖开口)。使用扭簧(图1-8)将滚轮与转轴相连接。这样的设计，可以实现在顶盖开启的过程中，不断折叠的折页通过拉绳带动滚轮转动，扭簧被逐渐压缩，而在需要关闭顶盖时，扭簧可在自身扭力的作用下带动滚轮卷绕拉绳，进而带动折页重新展开以封闭桶体，从而实现垃圾桶顶盖在水平面上手动开启、自动关闭的目的，减少操作步骤和操作人员与桶内污物的接触时间，提高效率的同时也更加清洁卫生。

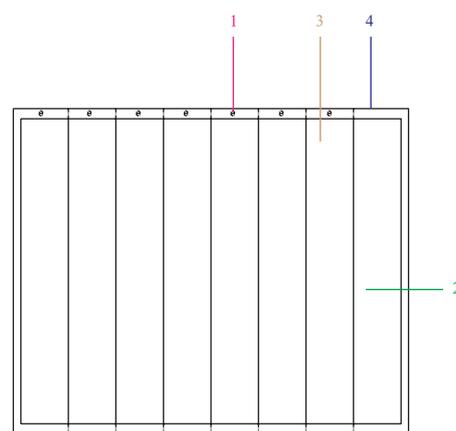
为避免用手接触，顶盖开启方式仍采用脚踏式，原理与传统设计相似，在桶体上设置踏板(图1-9)以及与其相连接的连杆。连杆又包括铰接于铰接轴(图1-10)的第一连杆(图1-11)和第二连杆(图1-12)，前者与踏板相连接，后者与收纳绳(图1-13)相连接。当操作者踩下踏板后，第一连杆通过铰接轴驱动第二连杆转动，在第二连杆转动过程中，收纳绳不断卷绕，可将折页折叠并收纳入容置槽(图1-14)内。

为了减少收纳绳与桶体之间的摩擦以提高使用寿命，同时也为了确保垃圾桶的开闭更加顺畅，可在桶体上设置滑轮(图1-15)，让收纳绳在滑轮上滑动。为了使踏板被踩下时能够自动恢复到原位，可在铰接轴上安装与连杆相连接的弹簧(图1-16)，在踩下踏板的过程中，弹簧将人体的重力势能转化为弹性势能，松开踏板后，弹簧自身的弹力作用可使踏板恢复原来的位置和状态。桶体上设置有容置槽，可以容置折叠后的折页，收纳绳贯穿容置槽后与连杆相连接。顶盖开启的状态下，折页折叠并收纳在容置槽中，这样可以增加垃圾桶上方的开启面积，方便操作投放污物，并相对减少垃圾桶本



注：A 为顶盖关闭状态，B 为顶盖开启状态；1 为桶体，2 为开口，3 为折片，4 为滑槽，5 为转轴，6 为滚轮，7 为拉绳，8 为扭簧，9 为踏板，10 为铰接轴，11 为第一连杆，12 为第二连杆，13 为收纳绳，14 为容置槽，15 为滑轮，16 为弹簧

图1 一种防止气溶胶环境扩散的新型医疗垃圾桶结构剖面示意图



注：1 为通孔，2 为开口，3 为折片，4 为滑槽

图2 一种防止气溶胶环境扩散的新型医疗垃圾桶结构俯视图

身的占地面积。通过踏板及其连接的连杆和收纳绳,可以控制垃圾桶顶盖的折页展开与收纳,避免操作者用手接触而导致手部沾染污染物,尤其适用于医疗卫生机构等对无菌环境具有更高要求的场所。

2 讨论

科学界早已认识到,以飞沫和气溶胶作为载体,许多病原体都可通过空气传播这一途径引起严重的呼吸系统疾病。长期以来,区分飞沫和气溶胶的标尺是颗粒直径是否超过 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ ^[10],但基于空气动力学的研究成果,最新观点更倾向认为 $100 \mu\text{m}$ 以内的颗粒都属于气溶胶,因为这是可以悬浮在静止空气中超过 5 s 的最大粒径(距离地面 1.5 m 的高度),能扩散到距离源头半径 $1 \sim 2 \text{ m}$,并可被人体直接吸入下呼吸道^[11]。现有研究显示,SARS 冠状病毒 2(SARS coronavirus 2, SARS-CoV-2)的接触传播效率非常低^[12-13],飞沫传播只有当人们在相距不足 0.2 m 的距离内交谈,或不足 0.5 m 的距离内咳嗽时才占主导地位^[14],而气溶胶传播才是 SARS-CoV-2 超强传染能力的根源所在^[15]。因此要想阻断其传播途径,务必采取特别的措施以减少气溶胶的产生^[2]。在 COVID-19 患者接受治疗的医院病房内,空气中 SARS-CoV-2 的半数组织培养感染剂量为 $6 \sim 74 \text{ IU}$ ^[16]。生物气溶胶在环境中的暴露范围及致病时效取决于其本身的理化性质(重力、电荷)、产生时的气体流速以及周边环境特性(温度、湿度、紫外线)等因素^[2]。

与飞沫相比,气体流速对气溶胶播散的影响要大得多^[17]。传统脚踏翻盖式垃圾桶,顶盖的打开速度与踏下踏板的力度相关,力度越大,顶盖向上方打开的速度越快,相应产生的桶内瞬间负压也越大,空气会被快速抽吸并向桶外溢出。按照前述理论,污物及气溶胶颗粒会随快速移动的气流向四周扩散,气流速度越快,污染的范围也越广。同理,顶盖在关闭过程中是在自身重力作用下自由落下,桶内空气在快速压缩过程中产生的正压也会形成快速移动的气流。医疗废弃物往往沾染有患者的血液、体液、分泌物和排泄物,如果因为垃圾桶顶盖不合理的开闭方式导致产生携带有各种致病微生物的生物气溶胶并扩散到周边环境中,无论是在相对封闭的室内,还是在开阔的室外,都会对患者及医务人员构成威胁^[18]。

朱湘筠等^[19]曾经设计了一种脚踏踏板驱动装置,可以将受到新型冠状病毒污染的防护服以转动卷入的形式装入垃圾袋中,并通过加热条对垃圾袋进行封口以阻断病毒的扩散和污染,但其设计出发点是减少与受到污染的衣物直接接触,并没有考虑到其他类型医疗废弃物的处置,而且仍采用了传统的脚踏式桶盖开启方式。本团队从适用场景和污染物控制角度出发,针对气溶胶这一隐匿的、高效的但常被忽略的传播方式,设计出一种新型垃圾桶,此垃圾桶将可折叠的折片组合成折页构成顶盖,利用两侧的滑槽将折页的移动方向限制在水平平面上,从而实现顶盖的开启、闭合均不会产生垃圾桶内外的气体压力梯度差,能有效避免传统脚踏翻盖式垃圾桶顶盖在开合过程中气体压力瞬间变化的问题,进

而杜绝了包括气溶胶在内的污染物外溢的可能性。该产品结构简单,生产成本低,能实现良好的周边环境保护及院感防护效果,在日常生产、生活尤其是医疗卫生机构内均有广泛的应用前景。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Tellier R. Aerosol transmission of influenza A virus: a review of new studies [J]. J R Soc Interface, 2009, 6 Suppl 6 (Suppl 6): S783-790. DOI: 10.1098/rsif.2009.0302.focus.
- [2] Wang CC, Prather KA, Sznitman J, et al. Airborne transmission of respiratory viruses [J]. Science, 2021, 373 (6558): eabd9149. DOI: 10.1126/science.abd9149.
- [3] Megna M, Napolitano M, Costa C, et al. Waste exposure and skin diseases [J]. G Ital Dermatol Venereol, 2017, 152 (4): 379-382. DOI: 10.23736/S0392-0488.17.05505-5.
- [4] Marchand G, Duchaine C, Lavoie J, et al. Bacteria emitted in ambient air during bronchoscopy—a risk to health care workers? [J]. Am J Infect Control, 2016, 44 (12): 1634-1638. DOI: 10.1016/j.ajic.2016.04.241.
- [5] U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). How COVID-19 Spreads [EB/OL]. (2022-08-11) [2022-10-22]. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/how-covid-spreads.html>.
- [6] Leal J, Farkas B, Mastikhina L, et al. Risk of transmission of respiratory viruses during aerosol-generating medical procedures (AGMPs) revisited in the COVID-19 pandemic: a systematic review [J]. Antimicrob Resist Infect Control, 2022, 11 (1): 102. DOI: 10.1186/s13756-022-01133-8.
- [7] 赵文文, 邓琳琳, 姜亚威, 等. 一种呼吸管路接头避污及防空气污染装置的设计 [J]. 中华危重病急救医学, 2022, 34 (3): 315-316. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20211013-01481.
- [8] 姜亚威, 王健, 赵文文, 等. 一种呼吸管路延长管的设计与应用 [J]. 中华危重病急救医学, 2022, 34 (8): 873-874. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220402-00336.
- [9] Kohanski MA, Lo LJ, Waring MS. Review of indoor aerosol generation, transport, and control in the context of COVID-19 [J]. Int Forum Allergy Rhinol, 2020, 10 (10): 1173-1179. DOI: 10.1002/alr.22661.
- [10] Tellier R, Li Y, Cowling BJ, et al. Recognition of aerosol transmission of infectious agents: a commentary [J]. BMC Infect Dis, 2019, 19 (1): 101. DOI: 10.1186/s12879-019-3707-y.
- [11] Prather KA, Marr LC, Schooley RT, et al. Airborne transmission of SARS-CoV-2 [J]. Science, 2020, 370 (6514): 303-304. DOI: 10.1126/science.abb0521.
- [12] Mondelli MU, Colaneri M, Seminari EM, et al. Low risk of SARS-CoV-2 transmission by fomites in real-life conditions [J]. Lancet Infect Dis, 2021, 21 (5): e112. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30678-2.
- [13] Goldman E. Exaggerated risk of transmission of COVID-19 by fomites [J]. Lancet Infect Dis, 2020, 20 (8): 892-893. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30561-2.
- [14] Chen W, Qian H, Zhang N, et al. Extended short-range airborne transmission of respiratory infections [J]. J Hazard Mater, 2022, 422: 126837. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126837.
- [15] Lewis D. Superspreading drives the COVID pandemic—and could help to tame it [J]. Nature, 2021, 590 (7847): 544-546. DOI: 10.1038/d41586-021-00460-x.
- [16] Lednicky JA, Lauzard M, Fan ZH, et al. Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients [J]. Int J Infect Dis, 2020, 100: 476-482. DOI: 10.1016/j.ijid.2020.09.025.
- [17] Wei JJ, Li YG. Airborne spread of infectious agents in the indoor environment [J]. Am J Infect Control, 2016, 44 (9 Suppl): S102-108. DOI: 10.1016/j.ajic.2016.06.003.
- [18] Kang M, Wei JJ, Yuan J, et al. Probable evidence of fecal aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a high-rise building [J]. Ann Intern Med, 2020, 173 (12): 974-980. DOI: 10.7326/M20-0928.
- [19] 朱湘筠, 杨冬梅. 新型冠状病毒隔离病房内一种新型医用垃圾桶的设计与应用 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2022, 29 (3): 373-375. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2022.03.027.

(收稿日期: 2023-01-02)

(责任编辑: 邸美仙)