

Abstract

People spend significant time in close contact with clothing, which can harbor chemicals, particles, and microbes. During everyday activities such as walking or crawling, some particles can detach from the fabric and become airborne, eventually settling in respiratory tracts. This phenomenon, known as particle resuspension, is a significant source of abiotic and biotic indoor airborne particles. Resuspension from clothing is recognized as a critical pathway for indoor exposure, enhanced by the 'personal cloud effect'—a phenomenon where particle concentrations around an individual are higher than average room levels. Recent studies have also indicated that clothing could play a critical role in the transmission of viruses. For instance, the SARS-CoV-2 virus can remain active on fabrics for hours or even days.

Despite the importance of clothing for inhalation exposures, previous resuspension studies mainly focused on other indoor surfaces, such as flooring. Experimental data on particle deposition onto and resuspension from clothing are still limited, and the influencing factors are unclear. According to the findings of previous research on particle resuspension from flooring, factors affecting particle resuspension associated with clothing from human activities could include intrinsic factors, such as fabric properties; environmental factors, such as relative humidity and air movement; and human factors, such as movement intensity.

This thesis utilized a breathing and moving thermal manikin in controlled environmental chambers to investigate particle resuspension from clothing, with particle sizes ranging from 0.3 μm to 10 μm . It provided experimental data quantifying size-resolved particle deposition and resuspension rates associated with clothing. The research encompasses three objectives: (1) to compare the $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in the breathing zones of the manikin and a human subject during resuspension activities, (2) to investigate particle deposition on the thermal manikin in a sitting posture while wearing different types of clothing materials, and (3) to quantify the resuspension of particles from clothing to various clothing, environmental, and human factors.

The results show that the surface roughness of the manikin employed in this thesis closely approximates that of human skin. This similarity justifies using thermal manikin in simulating the friction between clothing and human skin in resuspension experiments. Additionally, it has been demonstrated that, during identical resuspension activities, the levels of $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} for humans and the breathing thermal manikin wearing the same contaminated clothing were comparable. Particle deposition rates on clothing increased exponentially with particle size and were proportional to indoor air speed. Clothing material strongly influenced particle deposition loss rate coefficients. The highest deposition loss rate coefficients were associated with wool/polyamide, followed by fleece, polyester, and cotton, while bare skin exhibited the lowest deposition rates. Additionally, positive correlations were observed between deposition rates and the surface roughness of the clothing.

In resuspension experiments, the short-term PM_{10} concentration in the breathing zone of the manikin was 1.25 times higher than in the bulk air when the seated manikin performed arm movements at frequencies of 0.25, 0.5 and 0.75 Hz using a consistent test mechanism. The size-dependent resuspension rates varied between 0.01 h^{-1} and 0.06 h^{-1} . Higher resuspension rates were associated with increased movement intensity and dust loading on clothing, while no significant dependence was found on clothing type and relative humidity. The findings in this thesis offer a valuable dataset for enhancing current inhalation exposure models related to indoor aerosols and for developing interventions to reduce exposure to particles associated with clothing.

Keywords

Particulate Matter, Fabric, Inhalation Exposure, Arizona Test Dust, Loading, Relative Humidity, Movement

Résumé

Les gens passent une quantité significative de temps en contact étroit avec les vêtements, qui peuvent abriter des produits chimiques, des particules et des microbes. Lors d'activités quotidiennes telles que la marche ou le rampement, certaines de ces particules peuvent se détacher du tissu et devenir aéroportées, finissant par se déposer dans les voies respiratoires. Ce phénomène, connu sous le nom de resuspension des particules, est une source significative de particules aéroportées intérieures abiotiques et biotiques. La resuspension des particules des vêtements est reconnue comme une voie critique d'exposition intérieure, renforcée par l'effet de nuage personnel - un phénomène où les concentrations de particules autour d'une personne sont plus élevées que les niveaux moyens de la pièce. Des études récentes ont également indiqué que les vêtements pourraient jouer un rôle critique dans la transmission des virus. Par exemple, le virus SARS-CoV-2 peut rester actif sur les tissus pendant des heures voire des jours.

Malgré l'importance des vêtements pour les expositions par inhalation, les études précédentes sur la resuspension se sont principalement concentrées sur d'autres surfaces intérieures, telles que le sol. Les données expérimentales sur la déposition et la resuspension des particules sur les vêtements sont encore limitées, et les facteurs influençant ne sont pas clairement compris. Selon les résultats des recherches précédentes sur la resuspension des particules à partir du sol, les facteurs affectant la resuspension des particules associée aux vêtements à partir des activités humaines pourraient inclure des facteurs intrinsèques, tels que les propriétés des tissus ; des facteurs environnementaux, tels que l'humidité relative et le mouvement de l'air ; et des facteurs humains, tels que l'intensité des mouvements.

Cette thèse a utilisé un mannequin thermique respirant et se déplaçant dans des chambres environnementales contrôlées pour étudier la resuspension des particules à partir des vêtements, avec des tailles de particules allant de 0,3 μm à 10 μm . Elle a fourni des données expérimentales quantifiant les taux de déposition et de resuspension des particules, classés par taille, associés aux vêtements. La recherche couvre trois objectifs : (1) comparer les concentrations de $\text{PM}_{2.5}$ et PM_{10} dans les zones de respiration du mannequin et d'un sujet humain lors d'activités de resuspension, (2) étudier la déposition des particules sur le mannequin thermique en position assise portant différents types de matériaux de vêtements, et (3) quantifier la resuspension des particules des vêtements en relation avec divers facteurs vestimentaires, environnementaux et humains.

Les résultats montrent que la rugosité de surface du mannequin utilisé dans cette thèse se rapproche de celle de la peau humaine. Cette similarité justifie l'utilisation du mannequin thermique pour simuler la friction entre les vêtements et la peau humaine dans les expériences de resuspension. De plus, il a été démontré que, lors d'activités de resuspension identiques, les niveaux de $\text{PM}_{2.5}$ et de PM_{10} pour les humains et le mannequin thermique respirant portant les mêmes vêtements contaminés étaient comparables. Les taux de déposition des particules sur les vêtements ont augmenté exponentiellement avec la taille des particules et étaient proportionnels à la vitesse de l'air intérieur. Le matériau des vêtements influençait fortement les coefficients de taux de perte de déposition. Les coefficients de taux de perte de déposition les plus élevés étaient associés à la laine/polyamide, suivis par la polaire, le polyester et le coton, tandis que la peau nue présentait les taux de déposition les plus bas. De plus, des corrélations positives ont été observées entre les taux de déposition et la rugosité de surface des vêtements.

Dans les expériences de resuspension, la concentration de PM_{10} à court terme dans la zone de respiration du mannequin était 1,25 fois plus élevée que dans l'air ambiant lorsque le mannequin assis effectuait des mouvements de bras à des fréquences de 0,25, 0,5 et 0,75 Hz en utilisant un mécanisme de test constant. Les taux de resuspension dépendants de la taille variaient entre 0,01 h^{-1} et 0,06 h^{-1} . Des taux de resuspension plus élevés étaient associés à une intensité de mouvement accrue et à une charge de poussière sur les vêtements, tandis qu'aucune dépendance significative n'a été trouvée par rapport au type de vêtements et à l'humidité relative. Les résultats de cette thèse offrent un ensemble de données précieux pour améliorer les modèles actuels d'exposition par inhalation liés aux aérosols intérieurs et pour développer des interventions visant à réduire l'exposition aux particules associées aux vêtements.

Mots-clés Particules en suspension, Tissu, Exposition par inhalation, Poussière de test de l'Arizona, Chargement, Humidité relative, Mouvement