

2021年1月
版次：2.0

當今電梯內的 空氣淨化

電梯車廂空氣淨化策略及其對
乘客健康福祉影響之技術簡報

作者：Stephen R. Nichols與
James T. Auxier博士

OTIS

電梯在推動世界前進 - 並向上發展 - 方面扮演著重要角色，這是不容否認的。有效率、安全且有效的垂直運輸，是人們及商品在任何建築物中順暢流動的關鍵，同時也能提升使用者和訪客的整體經驗。更長遠來看，隨著全球人口增長，電梯能夠讓現代城市繼續往天空發展。

當前世界面臨著一場前所未見的流行病，如何平衡個人與眾人的需求出現了新的挑戰。再者，疾病傳播仍是我們客戶的主要顧慮。

在奧的斯電梯公司，我們創造了電梯產業，時至今日，我們仍是電梯產業的龍頭廠商。持續創新，並為我們的乘客和搭乘大眾提供最佳經驗，一向是我們的最高宗旨。現在，我們迎向目前的挑戰，要運用各種技術和行為建議來創造新的乘載方法。在本簡報中，我們將討論電梯以及目前已知的電梯內空氣淨化方法。空氣淨化是個複雜的主題，也是隨著新冠肺炎（COVID-19）流行病而加速的更廣泛空氣品質及健康建築物話題之一部分。在本簡報中，我們也將討論我們目前的解決方法之一，也就是奧的斯電梯車廂空氣淨化器。

垂直運輸

奧的斯的創辦人在1852年發明了電梯安全煞車，雖然當今使用的系統和技術已進步許多，但創新仍是我們所做每一件事的核心。現代電梯配備了多種充裕且共同作用的安全系統，大部分的乘客通常不會猶豫要不要搭電梯。我們持續戮力將我們所做的事做到最好，並找到新的解決方法來幫助人們在更高、更快速且更聰明的世界中移動。當前大家持續關注著新冠肺炎的擴散，全世界無一能倖免，而我們隨時在因應當今世界的變化，

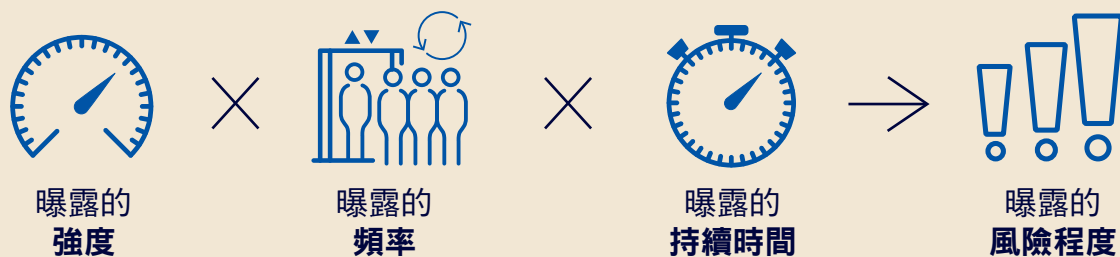
提供各種新的技術來協助降低電梯乘客的疑慮。建築物業主及經營者可以仰賴我們持續創造創新的解決方法。完整的創新取向已深植於奧的斯公司長久以來的經營方向。

**我們致力於提供有科學依據的資訊，
讓您在移動乘載中備感信心。**

風險基礎方法

謹慎的風險基礎方法、嚴格的檢測、高標準的品質以及其他措施，反映了奧的斯對於絕對安全性、商業道德及品質宗旨的承諾。在面臨這場全球大流行病時，這些要求更形重要。當我們面對未來，我們需要有科學資訊作為依據的風險基礎方法來為每一種情況建議合理的控制措施 (Defile, 2020)。

我們體認到，我們所有人可以一起學習。風險程度是以曝露的強度、頻率及持續時間為基礎，我們也需要考量電梯環境的動力學。電梯的垂直移動特性、門的開關以及人進出電梯的移動，都需要有一些額外的考量，因為所有這些都是在相當小的封閉空間中發生。



即使採用風險基礎方法，我們仍必須知道和考量每一棟建築物是有所不同的事實。在考量對當前大流行病的因應之道時，我們需要平衡好幾個因素及情況，才能為我們的客戶和搭乘大眾達到一定範圍的正面結果和解決方法。這些解決方法主要聚焦於四個關鍵領域：

- 人和電梯的移動
- 安全搭乘電梯的指引
- 減緩曝露風險
- 先進技術解決方法

由於地理位置和建築物的面向皆不同，這些焦點領域強調結合技術和行為改變的必要性，並需要找到不斷變化和演進的新規範。

流行病與空氣傳播

為了因應新的挑戰，我們需要對風險本身有更深入地瞭解。2020年7月9日，世界衛生組織（WHO）及其他專家的新聲明指出，造成新冠肺炎的嚴重

急性呼吸道症候群冠狀病毒2型有四種主要傳播途徑：



直接接觸

是指碰觸受感染的人



間接（透過環媒）

是指接觸到受感染者留下病毒的表面之傳播方式，例如受感染者對著桌面或門把手咳嗽或打噴嚏。



大飛沫空氣傳播（靠近或密切接觸）

是指有時肉眼可見的較大飛沫近距離傳播。這是受感染者咳嗽或打噴嚏所產生的飛沫，直接對著附近的人的眼睛、口腔或鼻子之情況。



氣霧的空氣傳播（FAR FIELD）

是指受感染者呼氣、說話、咳嗽、打噴嚏或唱歌時產生的微小、看不見的氣霧中的病毒，被附近其他人吸入的傳播途徑。

新出現的科學證據似乎支持空氣傳播比表面對表面的傳播更為重要（世界衛生組織及Mandavilli, 2020）。隨著人們越來越認為空氣傳播是主要途徑，對於室內空氣品質及氣流的重視持續增長。改善的空氣處理不僅能降低新型冠狀病毒傳播的風險，也有其他附帶的益處。

室內空氣品質改善長期而言與較廣的健康益處及增加的生產力呈現正相關（Allen, 2017及2020）。簡言之，空氣淨化具有關鍵重要性，因為它有潛力在當前的流行病期間以及邁向未來的過程中降低曝露強度。

電梯中的空氣

從因應流行病及其他層面來看，我們已經瞭解到空氣品質很重要，因此檢視電梯的特定空氣條件有其必要性，而且我們應該分享有科學根據的資訊來協助電梯乘客建立信心，且能夠開始再次在室內聚集。儘管人們擔憂電梯是相對侷限的空間，但一般搭乘電梯的時間相當短 - 不到1分鐘，這限制了曝露時間。此外，電梯法規要求要有通風開口。根據設計，電梯有著高度的空氣交換。氣流流動越快，越能將空氣中的微粒驅離電梯，因此減小電梯內空氣微粒的數目。



由於搭乘電梯的時間相當短，曝露時間很短（不到2分鐘）。



根據法規，電梯必須有通風開口。



系統中的系統

在思考搭乘電梯時，我們考量了乘客在電梯車廂中接觸的空氣和空間、電梯在其中升降的電梯井道，以及人們在其中移動的建築物其他部分。根據電梯相關法規，電梯車廂必須提供平台面積的3.5%來做為對流目的用的通風開口（美國機械工程師學會，2019）。風扇的開口以及門周圍的開口可能被納入計算。這些開口提供了被動氣流的入口和出口，而且在有較主動的通風時也能提供助益。視建築物的複雜度而定，我們也需要考量其他因素，包括加壓、消防和更複雜的暖通空調系統。

電梯車廂也有風扇，可將空氣吹進電梯車廂或從電梯車廂吹出。這些風扇有著典型的尺寸，能夠提供每分鐘一次的換氣率。以載重3,500磅的電梯來看（這是北美最常見的電梯車廂尺寸之一），這可能表示風扇有著350 cfm或更高的通風速率。在典型的運作條件下，這提供了高度的空氣交換，甚至可能比建築物其他部分的空氣交換率要高出許多。

雖然以上的知識以及簡易的分析都暗示，在電梯中的曝露風險要比其他許多共用空間來得低許多，但每一次搭乘電梯的情況皆不同，有多個變數都對人、空氣和電梯的移動很重要。

奧的斯近期委託了一項研究，是由普渡大學的陳清焰博士及其研究團隊所主導，他們努力檢視了這些情況的動力學，以便進一步瞭解新冠肺炎在電梯中傳播的相對風險。研究方法使用了最先進的計算流體動力學 (CFD) 模型建立來模擬氣流，並複製微粒擴散狀況，以探究搭乘電梯2分鐘數次的不同配置矩陣、使用型態及運作狀況。

加上我們對電梯設計和運作的所知，研究結果支持了以下結論：搭乘電梯時採用簡單的減緩措施（例如適當使用口罩及空氣淨化），曝露風險是相對較低的。* 電梯中的高度空氣交換降低了風險。電梯的通風速率越高，乘客可能曝露的累積量† 越低，因此曝露於新冠肺炎的風險也越低。研究也指出，從曝露觀點來看，相較於待在辦公室中或公車上，搭乘電梯的時間是短的。

雖然電梯當然不是沒有風險，但這項研究也揭露了行為改變和空氣淨化會產生正面的影響。諸如適當戴口罩等簡單的減緩措施，能將相對曝露風險降低一半。接下來數頁將更詳細討論的空氣淨化技術，已被證明能進一步降低曝露風險。

* 請參照第12頁的更多資訊，以及奧的斯空氣研究白皮書（可在 [otis.com](https://www.otis.com) 網站取得）。

† 累積量是指一個人曝露的病毒量，取決於曝露的強度、頻率及持續時間。

空氣淨化

清淨空氣和改善空氣品質有多種方法。當今有不下數十種不同的技術，類似的技術也有不同的變化版本，這些技術甚至在新冠肺炎流行病爆發之前便已存在。基本上，所有這些技術都需要空氣通過或穿過某種可以處理空氣的元件。美國採暖、製冷與空調工程師學會（ASHRAE）、美國國家航空暨太空總署（NASA）及其他好幾個組織都對如何釐清過濾和空氣清淨裝置和技術有著不同的分類法（ASHRAE, 2015）。以下是當今最常見的技術。

過濾（可能是機械式或電子式的實體移除） - 機械式的過濾器使用了多孔結構，包括纖維或延展薄膜材質，以去除氣流中的微粒。電子式的過濾器包含廣泛的各種電氣相連空氣清淨裝置，是設計來去除氣流中的微粒。

電磁激活 - 在紫外線（UV）、可見的無線電波甚至是微波頻率中由電磁波激活，這種技術也可以用來影響空氣中的微粒。舉例而言，在紫外線殺菌放射法（UVGI），紫外線光譜中的光波長會破壞有機物質，並使得微生物和某些病毒無法活動。

化學及生物製劑 - 化學和生物方法的激活包括吸附型的空氣清潔劑，以及化學或生物試劑可以與污染物反應並去除它的其他空氣清潔劑。具體來說，吸附型的空氣清潔劑包含了物理吸附和化學吸附，可去除氣流中的氣體污染物。

表面技術 - 會直接影響表面的材質、構成份子、組織或元件，也會對表面接觸的空氣造成影響。這包括疏水和光催化的材質、金屬離子遷移、奈米材質，以及嵌入、應用或融入表面組織的其他元素，包括抗微生物肽。光催化氧化技術（PCO及PECO）也屬於此類別，其中的空氣清潔劑在接觸表面時會開始產生化學反應，以去除空氣中的微粒。

其他物理方法 - 包括產生靜電、熱、電漿、超音波及/或離子反應的方法。這個類別也包括會影響濕度和乾燥度的技術。

結合的方法 - 任何類別都可以結合使用來淨化空氣。舉例而言，結合的方法可能包括過濾器、紫外線殺菌放射燈及離子化裝置。

其他考量

雖然改善空氣品質有許多種選擇，但必須考量在用於電梯時，其中某些解決方法在特定情況中的有效性。

過濾

過濾系統已被證明對多種不同的微生物具有一定的功效，但它們經常需要更換濾網、再循環元件或管路。在電梯環境中，過濾器可能需要被安裝在車廂頂部，或另一個小空間中，需要特殊的預防措施，且有著更換或維護的相關問題。此外，在設計電梯車廂的強迫式空氣通風時必須小心，因為過濾的空氣在被引入時可能是乾淨的，但它可能造成電梯車廂周圍的污染物被干擾、散佈和再循環。

與建築物的其他許多空間不同的是，電梯通常沒有再循環空氣，且空氣會流經電梯車廂。如果供應的空氣會流經過濾器，且沒有其他方法可將乾淨的空氣引進電梯車廂，那麼只能使用過濾方法，但使用過濾方法也比未採取任何減緩措施來得好。

紫外線技術

紫外線殺菌放射（UVGI）技術有許多種，其中有些已被證明對消滅病毒有一定的功效。隨著科學家和工程師持續探討能夠遠離人且可安全使用的紫外線方法，在考慮用於電梯或空氣淨化裝置時必須慎重。

紫外線殺菌放射裝置可設置在建築物系統內部，而不接觸人，例子包括使用紫外線殺菌放射裝置來清潔電梯扶手，或將此裝置安裝在大型空氣處理系統的管路中。在某些案例，如果使用的強度及其他參數對於在共用空間中的人曝露是安全的，可使用某些新興的抗病毒/抗微生物紫外線解決方法及其他照射技術。

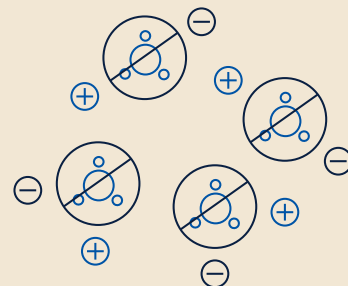
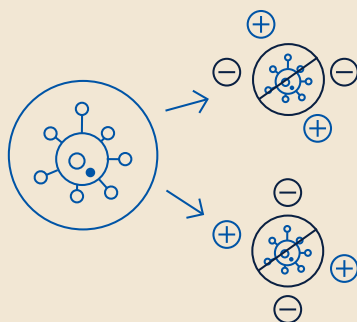
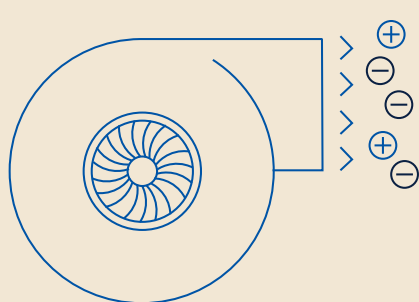
隨著科學家和工程師持續探討能夠遠離人且可安全使用的紫外線方法，在考慮用於電梯或空氣淨化裝置時必須慎重。

雙極淨化

有一種技術被用來改善空氣品質的技術，根據多年的研究，這項技術能降低曝露的強度，且試驗結果也支持了它的安全性和功效，那就是「雙極淨化」。雙極淨化會發射正電荷及負電荷粒子，

這些粒子會附著在有害的物質上，例如細菌、過敏原、黴菌、病毒、揮發性有機化合物（VOC）及其他微粒，並使得這些有害物質無法活動（Essien, 2017以及Hagbom, 2015）。

如何運作



1 電離器會產生並驅散負離子和正離子。

2 隨著細菌、病毒或其他細胞分裂，離子會附著在細胞上，造成化學反應。

3 這些有害的病毒或其他病原體被中和化 - 這降低了空氣中微粒擴散的可能性。

See page 11 for efficacy details regarding SARS-CoV-2

在細菌和病毒的情況，這個化學反應會在有機體內製造氧化壓力，消耗它們作用的能力，並且實際破壞它們的外層，有效地讓它們無法活動。隨

著空氣離子附著在它們身上，粒子物質可被去除，造成它們離子化，並接著吸引其他帶電粒子，經由重量增加沉降速率（Kim, 2017）。

電氣離子化方法

雖然有許多方法可將空氣離子化，但在大部分的商業和住宅環境中，電場方法是最容易使用且最具成本效益的方法。

視設計以及供應到電極的電壓型態而定，電場應用的空氣離子化方法可以產生雙極模式（正電荷與負電荷離子）或單極模式（通常只有負離子）

介電質屏蔽放電雙極離子產生器 - 能維持相當的清靜程度，且可在脈衝雙極或單極模式中運作，但相較於其他電場方法，它們的能源效率低，且可能產生不當副產物。

針點與刷式雙極離子產生器 - 效率相當高，且產生的不當副產物相當低，但可能在穩定狀態的直流操作中累積灰塵。

滑動弧放電 - 有效率地產生臭氧和氧化氮（NO_x），且有著開放、容易短路的電極。

電暈放電離子產生器 - 具有高效率，但容易產生相對大量的臭氧。

靜電集塵器 - 運作原理與電暈放電法類似，但通常不會驅散離子，而是像過濾器一樣，將氣流中的污染物離子化，並在集塵器的下游板上立即收集它們。

的離子。不論在哪一種情況，科學研究已經觀察到正離子或負離子都不會對人體產生有害的影響。負和正的空氣離子都會自然發生。即使同時有正電荷離子存在，負電荷離子在科學上已被證明對人體健康有益，包括可去除病原體及其他微粒（Jiang, 2018以及Terman, 2006）。

針點和刷式雙極離子產生器不是高電壓的離子化方法，當你考量電壓較高（>12.07 eV）的電場方法（最常見的電暈放電及介電質屏蔽放電）會因為周遭水分子在陽極發生電解，或雙原子氧分裂並重新結合而產生臭氧，這就顯得很重要。雖然它是個強大又有用的氧化劑和腐蝕劑，但不論是急性還是慢性曝露，對人體都是有害的。職業安全與衛生管理局（OSHA）已規定，如果是長期曝露，每百萬不得超過0.1個微粒（ppm），如果是短期曝露，則不得超過0.3 ppm。如果產品要以「零臭氧」的特性行銷，保險商實驗室（UL）已制定了新的認證標準（UL 2998），亦即臭氧的產生不得超過0.005 ppm（每十億中5個微粒）。

瞭解雙極淨化做為空氣淨化的優點，以及避免產生臭氧的重要性後，奧的斯公司便開始供應奧的斯電梯車廂空氣淨化器。

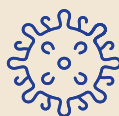
奧的斯電梯車廂空氣淨化器

奧的斯電梯車廂空氣淨化器能夠去除空氣中的雜質和汙染物，或透過針點雙極淨化（NPBI）技術來中和它們。在這個裝置中，電壓會通過在天線形狀中兩個像刷子的條帶上的一連串針。在每個刷子內，各個針之間的電壓差會在周遭空氣中產生正離子和負離子，大部分都是來自於氧氣、氮氣和水蒸氣。通風風扇會將離子移到電梯車廂中，而且它們會透過正常的空氣移動來分佈。

汙染物會產生靜電電荷，且在某些情況會因為與正離子和負離子的相互作用而產生化學變化。對於細菌和真菌等活微生物，曝露於這些離子會誘發氧化壓力，並降低細胞的存活力。對於病毒，曝露於這些離子會破壞它們的外部構成份子，並

有效地讓它們無法活動。不論細菌或病毒是在飛沫中、空氣中或表面上，都會發生這些效應。

奧的斯電梯車廂空氣淨化器的檢測結果指出以下項目有顯著的降低：



細菌、真菌、病毒及其他可能有害的微生物等細菌



各種臭氣



煙霧



灰塵、花粉等過敏原及頭皮屑

**奧的斯電梯車廂空氣淨化器能夠去除空氣中的雜質和汙染物，
或透過針點雙極淨化（NPBI）技術來中和它們。**

對阻止新冠肺炎傳播的有效性

雖然尚未針對造成新冠肺炎的嚴重急性呼吸道症候群冠狀病毒2型（下簡稱「SARS-CoV-2」）進行試驗，但奧的斯電梯車廂空氣淨化器已被證明對類似於新型冠狀病毒的病毒有抑制功效，包括在空氣中以及硬表面上的病毒。此裝置在政府核准的實驗室中能有效消毒MS2嗜菌體（這是環境保護署核准的SARS-CoV-2替代者），在其他獨立的研究中也被證明對A型流感病毒（H1N1）有效。

根據試驗結果，對於MS2嗜菌體病毒，在經過10分鐘後，對空氣中的病毒具有97.5%的功效，而對表面上的病毒則有81%的功效。對於新興的病原體SARS-CoV-2，環境保護署的建議聲明如下：

新冠肺炎是由SARS-CoV-2所造成。奧的斯電梯車廂空氣淨化器已被證明能有效抑制空氣中以及多孔和無孔的硬表面上類似於SARS-CoV-2的病毒，因此，根據對空氣中以及多孔和無孔硬表面上的MS2嗜菌體及A型流感病毒（H1N1）的使用指示來使用時，奧的斯電梯車廂空氣淨化器很可能可以有效抑制SARS-CoV-2。關於其他資訊，請參照美國疾病管制與預防中心以及環境保護署的網站。

空氣淨化技術的功效與空氣中的離子濃度有關。在典型電梯車廂大小的空間中，負空氣離子的目標是超過1000個離子/cc。在雙極離子產生器中，同時會產生負離子和正離子，且都是可測量的，但目標要以最低的負離子濃度作為基礎，而這要依據對各種微生物、揮發性有機化合物及為例物質的功效來確認。對於運作中的電梯車廂所做的實驗顯示，典型的離子濃度是上述目標的至少四倍，如此才能提供充裕的餘裕。隨著門開關，加上溫度、濕度和天候等環境因素，離子濃度會因為電梯流量不同而在瞬間產生差異。持續監視的結果顯示，只要適當安裝和維護，便能維持離子程度。

陳清焰博士研究了許多電梯中空氣淨化技術結合高度的空氣交換和氣流會產生什麼功效。模擬的結果指出，視搭乘時間以及乘客在電梯中的位置而定，使用針點雙極離子化技術能將曝露風險降低20%到30%。再者，使用針點雙極離子化技術加上所有乘客都適當戴上口罩，能將相對風險降低60%到65%。



** 針點雙極離子化（NPBI）與未使用空氣淨化裝置相比較。

† 適當使用口罩與未使用口罩相比較。假設已根據世界衛生組織（WHO）及美國疾病管制與預防中心（CDC）的指導方針適當戴上典型布料或醫療型的口罩。

奧的斯電梯車廂空氣淨化器的優點

當今的市場上已有各種技術，包括離子微粒產生（與奧的斯電梯車廂空氣淨化器類似）、UVC或UVA紫外線殺菌、藍紫（405 nm）可見光照射、空氣過濾及二氧化氯。奧的斯電梯車廂空氣淨化器具有以下優點：

- 可以安裝在電梯車廂外，不會影響外觀或效能。
- 乘客尚未對使用此裝置產生任何顧慮。
- 可連續使用，不需充電或填充，除了一般的電梯維護外，也不需要額外清潔。
- 已被證明能有效抑制病毒、細菌和真菌。
- 在多數的管轄區已通過電氣認證。

特別值得注意的是，奧的斯解決方案使用了針點雙極離子化技術，而非電暈放電離子化技術。較老的電暈放電離子化技術較可能產生臭氧，而較新的針點雙極離子化技術不會產生可察覺的臭氧量（Shahin, 1969; Skalny, 2007 and 2008）。事實上，奧的斯電梯車廂空氣淨化器就是特別設計來減小臭氧濃度，因此它產生的臭氧濃度遠低於職業安全衛生管理局標準中所述的上限。

這項產品經過試驗，結果證明符合UL 2998認證標準的要求，這項認證是與產生臭氧的產品有關的最嚴格認證。

UL 2998對於產生臭氧濃度小於0.005 ppm的產品給予認證。美國食品藥物管理局（FDA）制定的限制為最大0.05 ppm，因此這項產品遠低於美國食品藥物管理局的指導方針限制。它有兩個可產生110伏特直流電的刷子，也有兩個使用110伏特直流電運作的天線，這兩個天線可位在風扇外殼的裡面或外面，但在正常的工作區中，不可曝露於電梯的機械及/或AHJ檢查員。將此裝置安裝在風扇中或風扇附近，接近排氣通風的空氣供應處，便能發揮良好通風的功效，同時增加有效的空氣淨化作用。

部分產品尚未在台販售，視個別地區的供應情況而定

Made to move you™

這個世界每天持續呈現不同的樣貌，而我們一直在共同尋找克服這場全球流行病的最佳方法，並努力提升世界各地人們的生活。電梯車廂內有高度的空氣交換率，且搭乘電梯的曝露時間短，因此搭乘電梯是利大於弊的，再者，研究顯示包括適當戴上口罩及採用空氣清淨技術（例如針點雙及淨化）等措施，都能進一步降低風險。

隨著我們對新冠肺炎越來越瞭解，奧的斯電梯公司也持續提供各種產品組合來協助乘客，並改善空氣品質。

我們持續投資研發，希望改善乘客在電梯內的搭乘體驗和空氣淨化程度。藉由使用風險基礎方法，我們能協助客戶採行新的行為和技術，以解決直接、間接及空氣傳播的曝露風險，並在電梯內創造更安全的空氣。這些解決方法包括我們的奧的斯電梯車廂空氣淨化器，這項產品是專門設計來大幅降低當今電梯中的空氣細菌和病毒。我們非常歡迎您與奧的斯電梯公司的專家聯絡，以便更瞭解奧的斯電梯車廂空氣淨化器，以及在重要時刻協助個人和眾人移動的完整解決方法。

作者簡介

Stephen R. Nichols 是一名系統工程師，對於產品開發、建築、創新及策略有著跨部門的興趣。Nichols 喜歡在複雜的系統中找出簡明，也喜歡探究人類經驗和人本設計與垂直運輸技術、建築物生態及都會環境的交集。他目前服務於奧的斯的工程中心，以及在康乃狄克州法明頓的世界總部。他曾兩度擔任美國國家工程學院工程前線小組的成員，且在2019年獲得 Gilbreth 講師職位。他取得塔夫茨大學及壬色列理工學院（RPI）機械工程學位，以及麻省理工學院的系統工程的專業證書。自2020年3月起，他便一直擔任奧的斯電梯公司跨部門全球工作小組的研發與整合領導者，聚焦於流行病的因應方法。

James T. Auxier 博士是奧的斯電梯公司的全球技術開發領導者，與奧的斯全球工程及其他跨部門團隊合作，專精於新興技術趨勢、商業需求，以及技術開發的策略領域。他是一名活躍的領導者，具有建築物系統、航太及醫療器材產業的經驗，也曾廣泛參與大學的合作與研究，包括曾有十五年時間專研氣動熱技術的發展。他取得耶魯大學的生物醫療工程學位、史丹佛大學的機械工程碩士學位，以及肯塔基大學的生物醫療工程博士學位。自2020年3月起，他便一直擔任奧的斯電梯公司跨部門全球工作小組的科學與技術領導者，聚焦於流行病的因應方法。

參考文獻

Alexander D D, Bailey W H, Perez V, Mitchell M E, Su S. 「空氣離子與呼吸道功能的結果：一項綜合評論」《生物醫學陰性結果期刊》，2013年9月9日，12, 14。參照：<https://doi.org/10.1186/1477-5751-12-14>。

Allen J G, Macomber J D. 「促成辦公大樓『健康』的因素為何」《哈佛商業評論》2020年4月29日。參照：<https://hbr.org/2020/04/what-makes-an-office-building-healthy>。

Allen J G. 「研究：辦公室空氣不流通造成你生產力降低」《哈佛商業評論》2017年3月21日。參照：<https://hbr.org/2017/03/research-stale-office-air-is-making-you-less-productive>。

美國採暖、製冷與空調工程師學會。「過濾與空氣清淨立場文件」，在2015年1月29日初次刊行後，於2018年1月13日由技術委員會重申。參照：<https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/filtration-and-air-cleaning-pd.pdf>。

Bailey W H, Williams A L, Leonhard M J. 「實驗室動物曝露於小空氣離子：生物與行為研究之系統性回顧」《生物醫學工程網站》，2019年6月5日，17, 72。參照：<https://doi.org/10.1186/s12938-018-0499-z>。

美國疾病管制與預防中心。2019年新冠肺炎（COVID-19）常見問答，尤其是「病毒如何散佈？」。參照：<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/faq.html#Spread>。

Charry J M, Kavet R. 1987年「空氣離子：物理與生物面向」。美國佛州博卡拉頓：CRC出版社。

Chen Q, Zhao S L, Liu S. 「評估搭乘電梯時感染新冠肺炎的風險」，奧的斯電梯公司，2020年12月。

Defile N C, Allen J G, Scheepers P, Levy J. 「新冠肺炎大流行：曝露科學簡介」《曝露科學與環境流行病學期刊》，2020年4月29日。參照：<https://www.nature.com/articles/s41370-020-0225-3>。

Derwinski T. 「安全鏈：以2018年芝加哥事件為鑑檢視現代大樓電梯中的安全系統」《電梯世界》，2019年6月。參照：www.elevatorworld.com。

Essien D, Coombs K, Levin D, Zhang Q. 「負空氣離子化去除封閉空間中病毒生物氣霧微粒的有效性」，加拿大生物工程學會2017年8月6日至10日舉行的CSBE/SCGAB 2017年度會議之會議程序。

Hagbom M, Nordgren J, Nybom R, Hedlund K O, Wigzell H, Svensson L. 「離子化空氣會影響流行性感冒病毒的感染力並預防空氣傳播」《科學報告》，2015年6月23日。參照：<https://www.nature.com/articles/srep11431>。

Jiang S Y, Ma A, Ramachandran S. 「負空氣離子及其對人體健康和空氣品質改善的影響」《國際分子科學期刊》2018年9月28日。<https://doi.org/10.3390/ijms19102966>及其中的參考資料。

Kim K-H, Szulejko J E等人「空氣離子化做為控制揮發性有機化合物排放發散的技術」《環境汙染》2017年6月，225, 729-743。2020年8月17日存取。參照：<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.026>。

Lazzerini F T, Orlando M T, De Prá W. 「負空氣離子應用於保健旅遊環境的進展」《Boletín de la Sociedad Española de Hidrología Médica》2018年，33。參照：[http://hidromed.org/hm/images/pdf/BSEHM%202018_33_\(1\)_27-46_Lazzerini-F.pdf](http://hidromed.org/hm/images/pdf/BSEHM%202018_33_(1)_27-46_Lazzerini-F.pdf)。

Lin H F, Lin J M. 「負空氣離子的產生與判定」《分析與訓練期刊》，2017年2月8日，1:6。<https://doi.org/10.1007/s41664-017-0007-7>

參考文獻

Mandavilli A. 「239位專家重大宣言：冠狀病毒可空氣傳播」《紐約時報》2020年7月4日。參照：<https://www.nytimes.com/2020/07/04/health/239-experts-with-one-big-claim-the-coronavirus-is-airborne.html>。

Marr L, Corsi R. 「室內空氣中的嚴重急性呼吸道症候群冠狀病毒2型：原理與各種情況」美國環境保護署於2020年7月16日呈現的室內空氣品質科學與技術網路研討會。參照：<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/indoor-air-quality-science-and-technology>。

美國國家學院「紫外線（UV）是否能殺死冠狀病毒？」《科學根據》2020年4月22日刊行。參照：<https://sites.nationalacademies.org/BasedOnScience/covid-19-does-ultraviolet-light-kill-the-coronavirus/index.htm>。

加拿大公共衛生局。「健康照護環境的預防與控制：加拿大流行性感冒大流行準備：保健部門規劃指南」。參照：<https://www.canada.ca/en/public-health/services/flu-influenza/canadian-流行病-influenza-preparedness-planning-guidance-health-sector/prevention-and-control-of-influenza-during-a-流行病-for-all-healthcare-settings.html>。

Schurk D. 「針點雙極空氣離子化用於揮發性有機化合物矯正的試驗研究結果」，休士頓衛理公會醫院，2014年。

Shahin M M. 「負電量中的電荷載體之本質」《應用光學》1969年，8, 106-110。

Skalny J D, Horvath G, Mason N J. 「臭氧化空氣供應的托里徹脈波負電量放電所產生的小負離子（ $e/m < 100$ ）之質譜分析」《光電子學與先進材料期刊》2007年4月，9, 887-893。

Skalny J D, Orszagh J, Mason N J, Rees J, Aranda-Gonzalvo Y, Whitmore T D. 「在周遭空氣中大氣壓力下從點到面負電量放電擷取的負離子之質譜研究」《國際質譜期刊》2008年4月15日，272, 12-21。參照：<https://doi.org/10.1016/j.ijms.2007.12.012>。

Terman M, Terman J S. 「自然黎明模擬與負空氣離子化用於季節性憂鬱症的控制試驗」《美國精神病學期刊》2006年12月1日，163（12），2126-2133。

美國環境保護署2020年1月29日發表的「冠狀病毒病例促使環境保護署快速反應」。參照：<https://www.epa.gov/pesticides/coronavirus-cases-trigger-epa-rapid-response>。

世界衛生組織。科學簡報：「新型冠狀病毒的傳播：對感染預防措施的涵義」，2020年7月9日。參照：<https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions>。

Wu C C, Lee G W M, Cheng P, Yang S, Yu K P. 「牆面材料在負空氣離子的協助下對微粒沉降的影響」《氣溶膠科學期刊》2006年5月，37, 616-630。<https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2005.05.018>。

Zhou P, Yang Y, Huang G, Lai, A. 「在空氣導管流動中的負離子產生空氣消毒作用的數據與實驗研究」《建築物與環境》2018年1月，127, 204-210。<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.006>。