

醫用和 N95 口罩的性能淺談及其可能減 COVID-19 後重複使用的方法簡介

Peter Tsai 蔡秉燚 2020 年 4 月 20 日

根據 2020 年 1 月我發表的文獻繼續實驗及和名家交流所提供的訊息加以整理

醫用和 N95 口罩

1. 醫用口罩 (Medical Face Masks) 和 N95 口罩 (N95 respirator) 是一個標準，不是一項發明。

如下表 1. 是醫用口罩美規根據 ASTM F2100 的標準，分為三個級別，細菌濾效是根據 ASTM F2101 測試，用的顆粒是金黃色葡萄球菌，顆粒大小約 3 微米，測試流量是 28.3 lpm (1 ft³/min)。次微塵濾效是根據 ASTM F2299 測試，用的是乳膠顆粒，大小是 0.1 微米，測試流速是 10 cm/s，抗血透是根據 ASTM F1862 測試。ASTM 的 F 測試類別是有生命威脅的測試標準。

表 1. 醫用口罩級別

性能	級別 1	級別 2	級別 3
細菌濾效(%)	≥95	≥98	≥98
阻抗(mmH ₂ O)	≤5.0	≤6.0	≤6.0
次微米(0.1 微米)顆粒濾效	≥95	≥98	≥98
抗血噴透(mmHg)	≥80	>120	≥160
阻燃性 16 CFR Part 1610	第 1 類	第 1 類	第 1 類

2. N95 口罩 稱為 N95 Respirator，不稱為 N95 Mask，因為它是經過 NIOSH 認證，簡稱 N95。N95 是美規標準 42 CFR Part 84 自吸式 (Non-powered) 微塵過濾口罩的一種，N 是 Not resistant to oil，95 是過濾微塵濾效達 95% 以上，測試的顆粒是 NaCl，數量平均粒徑是 0.075 微米，測試流量是 85 lpm，此外還有更高檔的 N99 和 N100，另外還有抗油性顆粒的口罩 R95、R99 和 R100，及 P95、P99 和 P100，是 1995 年訂定。歐規的標準有 FFP1、FFP2 和 FFP3，濾效分別是 80%、94%和 99%，2001 年訂定，後來世界各國陸續訂定類似標準，頒發實施。

N95 微塵過濾口罩本是工業上工人用來防護微塵的，約在 1996 年前後，CDC 要求醫護人員照顧經由空氣傳播的肺結核病人配戴 N95 口罩，後來 SARS、MERS、Bird Flu、Swine Flu 等等，WHO 要求醫護人員配戴 N95 口罩。

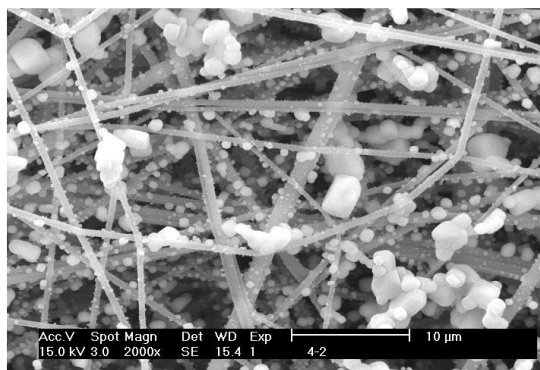
上述兩種口罩最大的區別是前者通常是 3 褶，除了微塵濾效比較低外，邊邊沒有防漏要求，戴起來比較舒暢，有 40%-60%的空氣量是從邊邊吸入體內的，此款口罩有大顆粒飛沫阻擋的功能，另一大功能是阻擋感染者把帶有病毒的飛沫散播出去感染別人。N95 除了微塵過濾效果比醫用口罩高以外，另一個特點是它是根據人體臉型輪廓設計，邊邊的密合性很好，正確穿戴時，邊邊洩露的空氣微乎其微。

醫用口罩用到醫療用途時，FDA 稱為 **Surgical Masks** (Face Masks)，N95 稱為 **Surgical N95s Respirators** (N95s)，兩者除了符合上述各規格以外，FDA 還要按 21 CFR 878.4040 法規管理醫療口罩，口罩要達到生物相容性 (Biocompatibility) 的標準。

微塵過濾的機理，加靜電技術和電力吸附機理

我的研發領域是熔噴製程和加靜電技術，熔噴是一種製造超細纖維（約 2 微米）的不織布製程，同等重量的布，纖維表面積和纖維細度成反比，纖維細表面積就大，表面積大空氣的過濾效果就高。空氣過濾的機理（和液體過濾機理不同），是利用纖維的表面吸附了微塵，而不是靠孔洞比微塵還小，把微塵堵下來，如下圖一放大兩千倍掃描電子顯微鏡影像所示。用作口罩的熔噴濾材，孔徑（纖維與纖維間的距離）的大小在 20 微米之間（均流孔徑），微塵一般是次微米大。

圖一． 放大兩千倍掃描電子顯微鏡影像顯示微塵被吸附在纖維的表面上



上面各款口罩的中間過濾層幾乎百分之百都是用熔噴加靜電布。電暈加電後，過濾效果可以提高 10 個檔次，意思是加靜電後，布一層的過濾效果相當於沒有加靜電布 10 層的濾效。加靜電的方法有很多種，醫用口罩和 N95 口罩目前的加靜電方法是電暈加電（Corona Charging），加電後成為永久的帶電體，英文是 **Electret**，是磁鐵 **Magnet** 的相對詞，後者是鐵質材料帶有永久的磁場，前者是介質材料帶有永久的電場。電暈加電的同時藉著電暈放電高強的電場將電暈電荷擠入纖維一邊的深層內部，纖維的另一邊藉電誘導滲入相反的電荷，在同一根纖維形成偶極體。

如此，纖維內的正電可吸附負電的微塵，負電吸附正電的微塵，這種力叫庫倫力。中性的微塵會被兩根纖維間的偶極電場極化，微塵變一邊偏正電，另外一邊偏負電，偏正電的一邊被負電吸附，偏負電的一邊被正電吸附，這種正電或負電吸附中性顆粒的電力叫想像力，英文叫 **Image Force**。所以 **Electret** 對細菌和病毒及微塵如霧霾等都具有強大的吸附能力，導致很高的過濾效果。

另一種加電方法是水力摩擦加電，原理是自然界的閃電，高空純淨的水氣和空氣劇烈摩擦而形成，雷雨交加時在高空中必然狂風劇作，這種加電方法比電暈加電的檔次要高。

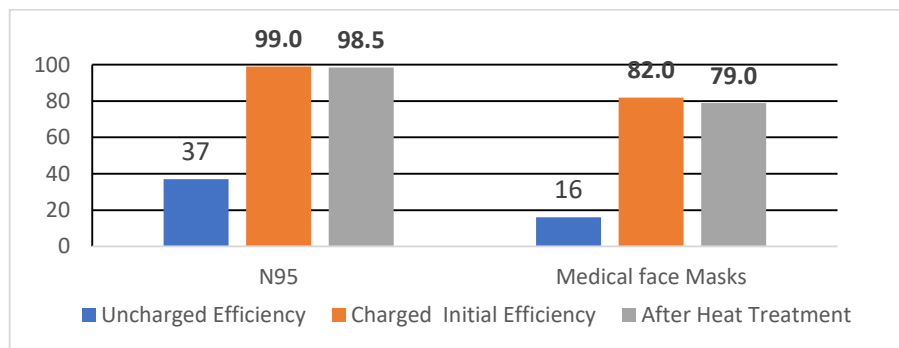
因為電荷是深藏在纖維裡面，如果不是受到強烈的激動，電荷不會在潮濕的空中消失，也不會碰到水或金屬物質而消失，口罩碰到水電荷不會消失，比如下雨濺到水，電荷不會消失，這和水洗意思有別，水洗依不同的方式，口罩可能會受到機械力而影響材質，也會影響電荷，光是純水水洗也洗不掉病毒，CDC 說明洗手要用肥皂徹底洗 20 秒才有效。口罩用肥皂水洗，下文中第 3.項有說明會洗掉電荷。口罩在室溫環境下，電荷衰退得很慢，如下第 1.項 70°C，24 小時是模擬室溫五年的做法，在這個溫控條件下，電荷衰退很少，所以口罩在室溫下的保質期是 5-10 年，廠家自訂。

可能滅 COVID-19 的方法及其對電荷的影響

1. 提高溫度處理後的濾效

歐規（EN143，EN149）的口罩認證，測試前要先 70°C 溫控 24 小時預處理，用此種條件處理後，N95 口罩加靜電布的材質基本上電荷沒有衰退，如下圖二。

圖二. 濾材未加靜電，加靜電後，和熱處理後濾效



我根據上述加熱電荷不衰退的結果，及文獻上溫度 56°C，30 分鐘到 75°C，5 分鐘可以滅 SARS 的訊息，提供 70°C、30 分鐘，電荷不會衰退，不會破壞 N95 口罩材質的理念，作為可能用來滅 N95 COVID-19 的一種方法。

文章一鋪網，我的郵件爆滿，問我上之說法有沒有根據，VICE 媒體來電話緊迫著問我，我說我們田大健康中心正在用 COVID-19 做實驗，一兩天就會有結果，該記者每天來問，加上美國前五名頂尖大學醫學院的同仁每天飛來無數詢問的郵件，我幾乎瘋狂，瀕臨崩潰。

全世界上在等溫度滅 COVID-19 的資料，一個禮拜後，一個做烘箱設備的業者打電話給我，提供香港大學 70°C，30 分鐘滅 COVID-19 的初步資料，如下網頁。

5. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.15.20036673v1.full.pdf>

該單位接受美國 NIH 的部分資助，資料比較可靠，但斯坦福大學學者有意見。後來美國 NIH 證實 70°C，60 分鐘乾熱可滅 COVID-19 的研究，如下網頁。

<https://www.nih.gov/news-events/news-releases/nih-study-validates-decontamination-methods-re-use-n95-respirators>

兩三個禮拜前有跟我交流的幾家做烘箱設備的公司，將設備加以修改可以設定溫度在 65°C - 75°C 之間，送到 FDA 申請核准滅 COVID-19，NASA 也送了他們修改的熱風風機到 FDA 申請核准。

2. 高溫乾熱，濕熱滅菌法

早期我們用高溫蒸汽法，即 Autoclave，溫度 121°C 蒸汽，時間 3 分鐘，發現加靜電布電荷幾乎沒有衰退，所以在有滅菌要求的加靜電布，新的口罩已經從大氣中附著了一些病菌，就用這個方法來消毒新的醫用口罩。新冠病毒爆發後，口罩一時間短缺，希望用傳統的高溫法來滅 COVID-19，口罩得以重複使用，提高溫度可以滅 COVID-19，如上 NIH 所述，唯再提高溫度，及採用不同的濕度，多久的時間可以滅 COVID-19，變數太多，還沒有明確的資料做定論。我們做了高溫乾、濕情況下對電荷和對材質的影響（表 2.）。

表 2. 常壓蒸汽處理（部分業界提供）

蒸汽處理	實驗值	理論值
醫用口罩初始值	93.2%	
處理 5 分鐘	91.7%	
處理 30 分鐘	85.2%	
N95 初始值		99%
處理 5 分鐘		98.5%
處理 30 分鐘		97.5%

繼香港大學提供的實驗資料以後不久，哈佛大學學者傳給我法國的團隊實驗資料的手稿如下網頁，顯示 56°C 30 分鐘乾熱，可部分但無法完全滅 COVID-19，60°C 60 分鐘乾熱可以完全滅 COVID-19，但在有 BSA 的情況下，上述兩種條件無法滅 COVID-19，需 92°C 15 分鐘才可以完全滅 COVID-19。

<https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.04.11.036855v2>

口罩，尤其是 N95 口罩，是由很多種不同材質的材料所組成，用以保持 N95 使用時的口罩形狀，溫度太高，因為各材質的熱收縮性不同，造成口罩變形，如下圖經水煮和蒸汽處理 3 分鐘後的 N95 形狀的改變，失去了密合性，就失去了 N95 的意義。

圖三. 經水煮或常壓蒸汽處理 3 分鐘後，有些醫用口罩（左）材質破壞，或 N95 口罩（右兩個）形狀的改變。



有些 N95 表裡層是用低熔點型（約 105°C）的 PET 雙主份材料經熱風黏結而成，這個材料在約 100°C 時形狀就改變。故 N95 經熱處理滅菌後，要先看形狀的改變有沒有影響密合度，才能再度使用。

醫用口罩是平面的結構，沒有密合度的要求，熱處理後稍稍變形，問題不大。一般醫用口罩，外層是疏水性的紡粘 PP，用於擋大顆粒的液體如飛沫，內層是吸水性類似棉質的黏膠

纖維或其混合物經水刺而成，但也有用木漿經濕法成型如同紙類，遇水就會散開，失去了強度，所以不適合用沸水或蒸汽處理。電鍋不加水是屬乾熱高溫法，但電鍋有大有小，造成的空氣溫度可能不一樣，我們的資料顯示在 120℃ 下 30 分鐘，N95 的濾效從 99% 降到 97.5% 可接受的範圍，PP 的結晶點是 137℃，熔點是 160℃，擺放口罩時要放在條子型架子上面（最好不是金屬材料），不能直接放到金屬鍋上，道理不是金屬會導掉靜電荷，而是金屬的溫度比空氣的溫度高很多，如果口罩糊了就是溫度超過了 PP 的結晶點，或是熔了就是溫度到了 PP 的熔點，操作不得不注意。

有人在問用煮飯的電鍋來滅口罩的病毒，衛生不衛生？衛生不衛生不是我專長，要問世界衛生組織。

3. 酒精、肥皂和漂白水處理後的濾效

美規（ASHRA52.2）和歐規（EN776 和 ISO16890）空氣濾網的標準近兩年來紛紛採用異丙醇消除濾網加靜電的電荷再做濾效測試，業界普遍知道酒精會消除靜電，我們對醫用口罩用酒精處理，有洗掉電荷的現象（表 3）。

表 3. 醫用口罩酒精和肥皂水處理

酒精和肥皂水處理	濾效 (5%)
醫用口罩初始值	93.2%
醫用酒精浸泡	67.0%
酒精薰蒸（按 ISO）	47.4%
肥皂水手洗兩分鐘	54.0%

NIH 證實 70%乙醇可滅 COVID-9 的研究結果如下網頁。

<https://www.nih.gov/news-events/news-releases/nih-study-validates-decontamination-methods-re-use-n95-respirators>

根據我們提供酒精和肥皂水水洗會消除靜電的訊息，美國 N95DECON 團隊也說明不能用酒精和肥皂水水洗消毒 N95 口罩，如下網頁，文章也說明不能用含有漂白劑的液體浸泡消毒 N95 口罩，電荷也會衰退。

<https://www.n95decon.org/>

4. 雙氧水處理後的濾效

美國 FDA 兩三個禮拜前核准了第一家設備 Battelle 用氣化的 H₂O₂ 處理兩個小時消毒 N95 口罩 COVID-19，後來又核准了四家設備廠。核准第一家時，CNN 採訪我，要我發表評論，我說 FDA 已經核准的，我就不必發表評論（其實，田大要我不要置評）。之後，我們試了用 2.5%-3.5% 的雙氧水浸泡 N95，發現電荷沒有衰退的現象（表 4。）。

表 4. N95 口罩雙氧水處理後的濾效（業界提供）

N95 Respirators	Before H ₂ O ₂ treatment		After H ₂ O ₂ treatment and dry	
	FE (%)	R (mmH ₂ O)	FE (%)	R (mmH ₂ O)
1	99.629	8	99.562	7.7
2	99.648	8.1	99.579	7.9
3	99.674	7.9	99.583	7.7
4	99.67	8.2	99.582	8

Before H₂O₂ immersion treatment - New N95

After 2.5% - 3.5% H₂O₂ immersion treatment for five minutes. The respirator wetted out.

Dripping dry for 24 hours, not quite dry, then heat treated at 70 °C for 30'

Tested using TSI 8130 according to CFR 42 Part 84 at 85 lpm to test N95

N95DECON 說明氣態的 H₂O₂ 凝結在 N95 的表面殺死 COVID-19，沒說明是 H₂O₂ 氣體有穿透 N95，或許只要滅菌表面就行，因為在過濾層被纖維吸附的病毒縱然沒死，也仍然被纖維吸附著，不會感染。N95DECON 不建議使用市面的雙氧水滅菌，因為市面上的雙氧水，一. 成分不一，滅菌效果不一，二. 或含有危害健康的成分。

5. 臭氧 (O₃) 處理和日曬後的濾效

休旅車內 N95 處理環境（圖四），經臭氧處理和日曬後都沒有顯示電荷衰退的現象（表 5.），但經臭氧處理的這款口罩耳帶（鬆緊帶）有裂痕的現象（圖五），強度降低很多，文獻有資料報導這一現象。

圖四. N95 口罩懸掛臭氧處理 25 分鐘。



圖五. 鬆緊帶經臭氧處理後有裂痕。



表 5. N95 口罩臭氧處理和日曬後的濾效（部份業界提供）

處理方法	處理前		處理後	
	濾效 (%)	阻抗	濾效 (%)	阻抗
臭氧(O ₃)，25'，樣 1	98.17	9.5	98.46	9.6
臭氧(O ₃)，25'，樣 2	97.6	9.5	97.86	9.7
日曬（70F），3 天（8 小時/天）	97.89	9.1	98.15	9.3

註：測試按 42CFR Part 84

還沒有文獻和資料顯示臭氧可以滅 COVID-19，但 N95DECON 說明臭氧對人體有害，不建議使用。

坊間有說這個病毒怕陽光，多怕？沒有資料！眾所周知來到地球的日光含有大量的紫外線，但 N95DECON 一個禮拜前的資料說：文獻顯示來到地球的陽光沒有紫外線，所以陽光不能滅 COVID-19，昨天公佈的網頁，這一席話已經不復存在，所以陽光能不能滅 COVID-19，目前還沒有資料，不過，下第 6.可當參考。

6. 使用後存放幾天再重複使用

根據新英格蘭醫學雜誌（NEJM. March 17，2020）報導，實驗溫度是 70-73F，相對濕度是 40%。

<https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMc2004973>

COVID-19 的最長存活期如下：

1. 氣溶膠化懸浮於空氣中 3 小時
2. 銅金屬表面 4 小時
3. 紙版表面 24 小時
4. 不銹鋼金屬表面兩天
5. 塑膠表面三天

坊間專家有說法：病毒要依附宿主（細胞）才能存活，所以口罩放在通風處兩三天，口罩乾了，病毒就會死。N95 口罩除了鼻樑有些是鋁片製的以外，其它材質是塑膠材料，按照 NEJM 的資料和上面專家的說法，我們提議拿 4 個口罩編號 1、2、3、4，每天依序號拿一個戴，第五天回頭戴 1 號，病毒已死。N95DECON 說明病毒在表面上可存活 3 天或 3 天以上（可能是根據 NEJM），所以不建議口罩放一宿，第二天重複使用，至於放幾天後可以滅菌重複使用，仍然持保留態度。

上述氣溶膠化懸浮於空氣中 COVID-19 可存活 3 小時，但根據專家解析，是實驗室方法讓病毒懸浮在空氣中，一般認為 COVID-19 縱然是微小顆粒，在短距離內就會掉落在地上，所以保持安全社交距離 6 英尺（兩公尺）。

7. 紫外線(UV)和輻射線的影響

UV 和 Gamma 射線是經常用來做材料滅菌的，鋪在田大網頁上我寫的文章裡，口罩的 PP 材料對 UV 很敏感，因為 PP 主分子鏈的側群組是甲烯基，有孤獨的電子對，受到高能量時（能量和熱量有別，縱然能量可轉換成熱量，但這個能量跟第一項所談的溫度不一樣，照 X 光時，能量很高，對人體有傷害，但人沒感覺有熱量），孤獨電子對的電子會去攻擊主鏈配對的電子，造成分子鏈斷裂，材料變脆，過程中，電荷會跟隨消失，所以能不能用來做口罩滅菌，要看 UV 強度和暴露的時間。

我的文章鋪出去以後，各方要我提出 UV 會破壞 PP 材料的計量和暴露時間，幾近瘋狂，因有 UV 設備廠準備要上路用來滅 COVID-19，隨即有 Yale 和 Harvard 學者傳給我如下三網頁，表明在滅菌的 UV 強度和暴露的時間下，口罩的強度明顯下降，舒緩我的壓力，感謝老天！

<https://t.co/8aPfLMeskF?amp=1>

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25806411/>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4699414/>

Gamma 射線能量比紫外線更高，MIT 的醫學院學者傳給我如下網頁，顯示 Gamma 射線對口罩強度的嚴重破壞（這是他們新的研究資料，正在投稿）

<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.28.20043471v1>

美國 NIH 證實波長 265-285nm UV，暴露 100 分鐘，可以滅 COVID-19 的試驗，且可通過洩漏測試，但沒有 UV 破壞材料的資料，如下網頁。

<https://www.nih.gov/news-events/news-releases/nih-study-validates-decontamination-methods-re-use-n95-respirators>

8. Ethylene Oxide (EO) 環氧乙烷的影響

EO 經常用來做醫療防護材如隔離衣或手術服的滅菌方法，但會殘留在材料上，不宜用來做口罩的消毒，吸入殘留的 EO 對人體有害，所以沒有人用 EO 做滅 N95 的試驗。

9. N95 口罩使用前後的濾效

口罩經過處理後的電荷衰退，一般都是用沒有用過的口罩去做試驗，如果口罩使用後因人體呼出的水汽集結在口罩內而失去了濾效，那就沒有必要去研究口罩如何處理可以滅菌。還好，下表 6 顯示口罩使用後晾乾，濾效沒有衰退。

表 6. N95 口罩使用前後的濾效（業界提供）

N95	使用前		使用後		晾乾再 70 °C，30'處理	
	濾效(%)	阻抗	濾效(%)	阻抗	濾效(%)	阻抗
Wearer 1	99.787	9.3	99.757	9.4	99.746	9.3
Wearer 2	99.774	7.4	99.767	7.4	99.742	7.3
Wearer 3	99.869	8.2	99.77	8.2	99.715	7.9
Wearer 4	99.852	7.5	99.787	7.6	99.710	7.2

使用時間 8 小時，阻抗單位 mmH₂O，測試按 42 CFR Part84

10. 自製口罩的材料

疫情燒到美國，太突然，速度也太快，一時口罩短缺嚴重，CNN 採訪我自製口罩該用甚麼材質，市面上沒有口罩過濾層的材質，從過濾和疏水的理論，我就建議用 PP 或 PET 不織布當中間層，外面用手帕或圍巾包著，市面上有修護廠油擦拭布，接近這級結構，美國市面上空氣過濾網 MERV14 級別接近醫用口罩第一級別的 BFE95，但達不到 N95，買不到 MERV14，MERV13 比 BFE95 差點，也很好用。

使命

我二月初寫的英文版原稿，傳給華人地區翻成中文，引來華人地區湧入大量的問題詢問。新冠病毒爆發後，中國地區有人發現田大於去年 8 月 27 號對我報導新發明的網頁，翻成中文，文中有誤，說我是 N95 的發明人，N95 是一個標準，不是一項發明，我的發明是電量加電，熔噴電量加電布是 N95 口罩的核心材料，所以在 SARS 期間守護了十億人的健康，田大是這樣寫的。

我二月初寫的英文版原稿在歐美地區受到揭露，同樣引來歐美地區湧入大量的問題詢問，有的直接傳給我，有的經過田大轉傳，我的郵箱和 LINE 幾度爆破停擺，田大又聘請我回去，要我整合所有的問題，在原稿上加上 FAQ's 經由田大鋪上網，湧入的問題並沒有因此而減少，反而增加，多來自媒體人要把訊息播放出去，讓大家對口罩瞭解及可能滅菌重複使用的方法，美國也有很多組織包括 N95DECON 開始研究如何滅 N95 COVID-19 重複使用，紛紛向我詢問問題，同時也提供給我很多的訊息，我在田大的網頁也不斷更新，交流後，大家增加了很多的知識。

兩個禮拜前 NPR (National Public Radio) 採訪我，我說 "My invention is an ordinal one, nothing special"，記者加上 "It's very special at this time."

上禮拜 Reuters (路透社) 視訊訪問我，問我 "What is corona charging?" 我說 "It is the same 'corona' as corona virus. I am using corona charging to fight corona virus." 接著問 "How do you feel at this time that your invention making the media to make N95 respirators that save lives?" 我說 "I am too busy to think about that at this busy time, but it is a good opportunity that I can provide information from my 35 years of experience contributing to the communities. This will be a good memory for the rest of my life after retirement." 人生能有機會對人類社會做出貢獻，將會給我餘生留下美好的回憶。

此期間我們也忙於把國家科學實驗室和工業界做其它產品的熔噴線設備加以修改或製程加以調整，加上我的電量加電硬體，做 N95 口罩材料，忙碌中，找空檔，寫了這篇文章和大家分享。

現在大家對口罩的知識大增，大家意識到，戴 N95 口罩，口罩內的氧氣比大氣中的氧氣少了約 5-6%，就是從 21% 降為 15-16%。有人提議戴 N95 口罩的同時背一個氧氣筒，把氧氣灌入口罩內，這可能不太實際。戴呼氣閥是一個解決氧氣不足的現象，但醫療級的口罩戴呼氣閥是不正確的，因為醫療級的口罩要到達雙邊防護的功能，帶呼氣閥的口罩只有戴的人的單邊防護的功能，且病毒如果卡在氣閥上，吸氣時也有可能跟著氣體吸入人體。

去年田大跟我登的網頁介紹我新的發明，過濾材料比原先的電量加電多了一個檔次，達到沒有加電的 20 倍效果，N95 口罩將來採用這個材料，口罩的舒暢性增加了一倍，口罩內的 N95 氧氣就會增加很多。

美國很多醫生及學者對我提供的訊息非常感激，說要提名我拿 The Nobel Prize，我說這三個月來，我瘦了 10 磅，肚子沒有了，I deserve a No Belly Prize.