

空氣污染對健康影響之評估

黃迪安*譯

爲保障大衆健康而確立一套適宜的空氣品質標準，各立法機構需要空氣污染對健康影響的廣泛而可靠的科學資料。特別是短期標準，甚至必需的資料，都是經由志願實驗者的反應而獲得。他們故意曝露於人爲控製實驗室的污染空氣情況下而引起的反應，姑不論這些資料對立法過程的重要性如何；但控制下的人類研究方面，對今日很多從事於環境控制與健康的專業人員，却仍很陌生。

本文旨在敘述：評估空氣污染對健康危害現存的若干問題；控制下的人類研究對解決這些問題的能量與限制；以及控制下的人類研究對另外兩項危害評估方式之相互關係——動物毒物學與流行病學。重點置於周圍空氣有關呼吸的刺激物，尤其是光化學作用的氧化劑與二氧化硫。在社區或工作環境發現的若干其他污染物，也可能經由人類曝露而進行研究。

控制污染下的人體實驗

藉人類曝露而進行的研究，需要從大氣化學、環境工程、生理學、與臨床醫學諸方面共襄盛舉。科學調查研究家們，必須在實驗室內創造與實際污染空氣的周圍環境情況大致相同；然後招募處於危險社區的代表性居民接受實驗。但這些實驗者曝露的污染空氣實驗室，必須具有良好的控制設備，完整的紀錄。而且，儘可能符合周圍曝露的實際情況。最後，科學家必須隨時能以最靈敏的生物醫學測試儀器，偵檢被實驗者的反應；如果可能，包括污染物的劑量。

與大多數的醫學實驗雷同，被實驗者對「醫療」的反應，必須與控制實驗或寬心藥一樣。而且，當科學家實際估測其結果時，對於實際曝露與控制情況之間的差異，被實驗者應盲無所知，否則，有關人員的預期心理或污染物以外的其他實驗壓力，可能激起的反應而誤爲是污染物曝露的不利影響。沒有增添污染物的清淨空氣，通常作爲控制的大氣。

在若干情況下，要被實驗者與工作人員全然不知大氣的情況，確實甚難；比方說，當實驗污染物達到測驗濃度時，就會產生怪味。在行劑量反應研究時，讓被實驗者曝露於一種以上的實驗污染物濃度，有助於克服此項難題。如果觀察中的生理影響增加程度與污染物劑量的增加一致，則支持直接偶然聯想的可能性而反對非特殊生理引誘的反應可能性。

由於生理上與臨床反應會因被實驗者的不同而異，通常測量技術上也有所差異，故須運用統計測試，以確定控制與曝露情況間的差異有何意義。統計上對於曝露情況的變化，不一定經常具有醫學上的意義，也不一定危及大衆健康，但可能代表着被實驗者對整個容忍壓力一適宜的體內環境恒定反應；也許可能反映健康上一輕微的煩擾，而不是很大的威脅。

相反的，未能發現統計上重要的變化，也並不一定能排除對健康的危害。如果被實驗者或進行的測試，並未達到最大感應；或被測試的人數太少，以致統計上的分析不足以顯示任何意義，則「陰性」結果可能是一種錯覺。為克服這些難題，調查研究家通常綜合利用極富敏感的被實驗對象——諸如早已染上呼吸疾病的患者；採用極敏感的測試程序；以及極濃的污染物——諸如採取極少有的最嚴重污染城市的周圍空氣。即使以這種最壞的實驗情況，但獲致的「陰性」結果，也並非全然確定，因稍後還可能會發現更敏感的測試與更敏感的人。這種情形將在下文的氯化硫一段中予以討論。

能量與限制

論及控制污染下的人類曝露研究，就性質而言，通常可憑經驗與描述。他們可提出下列問題：曝露於某種物質下的影響如何？那一類人會感受影響？對某種曝露濃度影響的嚴重性如何？感受這種影響的持續力如何？除極有限的情況外，從化學、藥物學、或生理學方面而言，有關污染物質與人體之間的反應機構，目前所知者甚少。預測污染物曝露影響效應的廣泛而統一的原則，一般尙付闕如。在大多數情況下，評估一疑惑健康危害的惟一可行手段，係獲致特殊相關的實驗證據。

大多數的人體研究案例，旨在直接支持空氣品質管制計畫。而這些工作所需的基金，通常都是由管制單位或受管制約束的工業界捐助。這些結論的可靠性，可想而知足以抗拒熱心科學家們的評論，以及受管制決策約束的所有相關團體的法定審查。

論及空氣品質可靠性的要件，可以三個「R」表示之：科學上的精密（Rigor）或實驗可變性的控制；切合人民的實際曝露與生物反應（Relevance）；重複——也就是獨立答覆實驗結果（Redundancy）。利用動物在實驗室作毒物學研究，能良好控制，也能獨立重複研究。但對於人體健康的切合性如何，則端視動物標本代表人類特性的程度如何而定。某一種動物標本的適合度，不論作正常人體功能抑或作為人類疾病過程，往往都不可靠。

不可否認，進行空氣污染物的流行病學研究，與人類健康有關。但在科學上的精密度並不理想，特別是關於被實驗者的污染曝露特性。尤有甚者，由於人類的行為在不同時空中很少會前後一致，故流行病學研究很難重複實驗。

從某種程度而言，控制下的人體研究可避免這一切問題。被實驗者的特性、曝露的情況，以及對曝露的反應，都能可靠而詳細的紀錄；曝露情況的回答，也正直坦率。對人體研究的大部份限制，都是倫理上的與實際的問題，而非科學上的問題。冒險程度大或不可變疾病的曝露結果，很難預期。除血型以外，人體內的其他組織，通常不能檢驗。被實驗的人數一般都很少。而且，不能期望志願被實驗者作好幾天或好幾禮拜以上的研究，故僅能作短期曝露的調查。因此，仍有相當的範圍值得作進一步調查研究。為進行較長期間的調查或對人體健康不可逆影響的調查，則追溯與預期流行病學研究甚屬必要。為詳細調查反應方面的生物結構，動物或細胞培養研究均極需要。這些研究調查需要觀察的影響效應包括：組織、細胞、或分子；故以人體進行這些項目實很困難，也是不可能的任務。因此，控制下的人體研究，只能補助，而不能代替其他危險評估方式的調查。

我們深知，相當廣泛的健康危險問題必須得到答案，而每一項調查範圍僅能直接引出其中的若干部份。雖然如此，但從各種可能的不同方式獲致的研究結果，都應該合併利用。一項特別重要而大部份尚未解決的問題，即觀察短期可逆性健康影響而預測長期不可逆健康影響的方法，值得積極進行。

方 法 論

至於曝露的設施，曝露研究所需的基本準備，包括清淨空氣的來源，增添實驗性污染物（氣體，液化氣體或兩者）至清淨空氣的方法；監視污染物濃度的手段；以及使被實驗者曝露於污染空氣的設施。而且曝露環境下的溫度、濕氣、光線與聲響標準等適宜管制規定，也須一一建立。

小規模的實驗，每次也許僅容許一人。經由口罩或面具曝露較複雜的與精心設計的研究，可運用實驗室規模的曝露房間，其大小以足夠容納數位被實驗者停留一較長時間即可。戴口罩或面具曝露造成不自然的呼吸，在若干情況下，可能會改變被實驗者對污染的反應。但從另一角度來衡量，這種方式僅需簡單的裝備與小量的清淨空氣與污染物質。同時，口罩與面具使科學家容易監聽被實驗者的呼吸方式，因為這方面對生理反應上可能有重要影響。

如在較大的房間內曝露，可使被實驗者自然呼吸，能經驗合宜的正常物理活動。因此，實驗環境儘可能改進成「實際世界」。當然，要建立與操作一間與自然環境完全相同的實驗室，花費很高昂；目前美國僅少數幾間。但自一九七七年以來，北卡羅來納大學與羅契斯特大學 (University of Rochester) 已建立較大規模的實驗設施。

從筆者製作的曝露實驗室空氣清淨系統簡圖，說明可能需要的各種元素，利用高溫金屬氧化觸媒劑，將一氧化碳與低分子量碳化氫變成二氧化碳。同時，在吸附床的周圍溫度，使用另外的氧化觸媒劑，以便截捕氯化氮。每個吸附床作定期性清理，然後再加熱充氧。活性碳吸收大部份有機污染，藉觸媒作用將臭氧分解為氧分子。過錳酸鉀之氧化鋁丸能有效排除氯化氮，高效率紙質微粒狀過濾器 (HEPA filter)，可截捕百分之99.9的入射粒子。此類綜合技藝裝備，供應14立方公尺體積之曝露實驗室的空氣，而含微塵量僅 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。這是傳統周圍空氣偵檢儀器無法偵測或很難偵檢到的普通污染氣體標準。這種系統的產量，可使實驗室內的空氣每小時約可調節15次。

在較差的實驗室，通常使用化學吸附與高效率紙質微粒濾器。大多數這種系統都無法有效排除碳氫分子，但也可免除昂貴的高溫觸媒劑與有關之高能量空氣調節。

在實驗室作曝露研究時的空氣偵測，通常使用一般作普通周圍空氣偵測用的商用儀器。必須注意的是，以這種儀器抽樣的空氣，係被實驗者所呼吸的空氣樣本，在若干情況下，曝露設施內各不同位置的污染濃度，有實質上的差異。

臭氧通常以紫外線光度分析偵測；氮氧化分子與碳化氫則以非散光紅外線分析儀分析；二氧化硫則以焰度分析術或紫外線光度分析偵測。氯化氮偵測人員，通常係依據帶臭氧 O_3 的氯化氮 NO 之化合光反應；同時，也可利用這種反應偵測氯化氮。所有這些氣體偵測技術，可提供連續性的讀數與快速反應；這些都是被實驗者安全上必須的警告。至於液化氣體普通周邊偵測技術，牽涉過濾器樣本的收集與隨後的定量分析，都需要數小時或數天始可完成。因此，液化氣體的曝露研究

，需要具備快速反應的其他偵測術：諸如光學粒子計數器與電子分析儀。

偵測裝備的校正程序，應與空氣品質管制機構正常所使用者相比。因此，健康影響資料、偵測資料、以及合格標準，能以相同的術語表示。當然，矛盾之處仍難避免。一九七〇年代後期大部份臭氧對健康影響的研究，係利用中和緩衝液碘化鉀校正手段，這是聯邦政府批准的標準。因此，較早期出版物報導的臭氧濃度，必須乘 0.8 始可與聯邦政府批准以紫外線光度表校正手段達成的標準一致。

諸如二氧化硫與二氧化氮之類的污染氣體，通常以低濃度氮混合物量筒源與適當之流量計即可輕易產生。臭氧的產生，可利用紫外線燈光或高伏特排放。如果臭氧是從空氣產生而不是從百分之百的氧，則可能無意中產生微量氧化氮，但從毒物學角度而言，濃度低得無關緊要。再如硫酸與硫酸氨之類的水溶性微粒，變成霧狀水溶液後即可產生。至於不能溶解的液化氣體粒子物質，可使用萊特飛塵飼進產生器 (Wrightdust-feedgenerators) 或流體化床產生器 (Fluidized-bedgenerators)；不過這兩種手段多半用於動物毒物學研究，甚少用作人體研究。

曝露對生物醫學反應之研究

呼吸系統係吸入刺激物的首要通道，故為人體曝露研究調查的主要焦點。在若干情況下，檢查血液也甚為重要——可檢驗是否由於呼吸不適而引起氧化減少；或確定其生物化學結果，是否因吸入的刺激物或反應滋生物完全通過呼吸道而進入循環後所引起。但截至目前為止，除曝露於一氧化碳而形成羧甲血紅素外 (Carboxyhemoglobin)；在控制曝露研究而從血液中明確證實的影響，尚無此類案例。因此，絕大部份注意力置於呼吸道方面。但對肺部結構作客觀的定量測驗：諸如氣壓容量、流動關係、係任何控制曝露研究的基本項目。當然，被實驗者報告的各種徵候，也就是主觀的反應，同樣列為重要的考慮線索。

測驗肺部結構功能的最普通手段，與臨床肺部實驗室為協助疾病診斷而採用者大致相同。實施強行吐氣的肺活量測量，可紀錄空氣量與強行呼氣的最大流率；很容易實施，也可複製整個呼吸生理功能的指標。由於這些結果賴於外力誘導以及各不同生理情況的變化，故這項測試結果並不完全客觀，不能有效辨證功能上任何不適的來源。

較為明確的一種測試即身體體積描記法，被實驗者處於一種稱之為體積描記法 (Plethysmograph) 的封閉式壓力測量室。通氣的流量抗阻，可藉這種方法測量。但抗力的測量對測驗支氣管的壓縮很有用處，像發生哮喘就是其中之一。但這種技術却遠比肺活量測量複雜，而且測量結果很少能複製成圖形。

以動脈血作抽樣是評定血氧的最好辦法。係藉極譜法式 (Polarographically) 決定部份氧壓，但這種方法會使被實驗者感到痛苦。另一種間接法即非外傷替代手段，利用醫學界所熟知的耳氧表儀器，經由分光光度計確定外耳內部毛細管血液的氧紅血球蛋白 (Oxyhemoglobin)。對呼吸管道的污染影響作更精細的檢驗，包括測量吸入曳光劑微粒的清理率，以及確定對標準化劑量通氣緊縮藥之反應，諸如使用鹹性之有機化合物 (acetyleneholine) 即是。這些程序都很複雜，而且也很難建立複製圖形。

但利用上述各種測驗手段作為臨床抑或實驗，其間的區別必須明確劃分。臨床試驗——通常

僅須測驗一位患者，目的在偵測其慢性疾病。對臨床醫生而言，陽性反應的發現（不正常），必須根據統計上的正常測量值，係經由大多數或假定健康民衆而確定的結果。換一句話說，被實驗者在曝露污染物以前與以後，都已經過好幾次的測驗。以他們曝露前的檢驗值與曝露後的測驗結果比較，並與其他被實驗者相互對照比較，以檢驗他們由於曝露後的短期與可逆變化。如果被實驗者連續的顯示因曝露而起的短期功能消耗，也就是說一連串的測試中顯示實質而重要的變化，即證明是陽性反應。

有時候即使在一系列測驗中有明顯的重要發現，但每一被實驗者的測量結果，却全都在正常值以內。因此，正如前述，往往從實驗發現的「陽性」結果，對照統計上的健康意義，會產生疑惑與矛盾。因此，從事控制下人體研究的調查學家，不能經常對健康定義上的問題提供絕對性的答案。他們的基本工作，係對曝露是否有任何影響提供一可靠的答案。至於健康問題，當結果是「陽性」時，他們才須面對這一事實。當然，任何答案——陽性還是陰性反應，也惟有在提供的實驗範圍以內，始具有意義。

臭氧與其他氧化劑

雖然，以人體曝露於臭氣實驗室的歷史，一個世紀以前就有過此一實驗。但一直到一九七〇年代早期，科學界才開始對這方面產生濃厚興趣。貝特斯 (D. V. Bates) 與麥克基爾大學 (Mcgill University) 的合作者，對第一個現代化臭氣研究計畫做過若干工作。他們使用單純的一人曝露室，裏面設置一架固定腳踏車，讓被實驗者間歇性的做些輕微的日常戶外運動。他們邀請的被實驗者，都是健康的成年人。在為期兩小時的曝露時期，呼吸道的刺激與強制吐氣操作時，量的減少都在漸次的形成，但延後幾個小時以後，這些徵候又已慢慢消失。

按今日的測量法，以 0.3ppm 的臭氣，對人體的影響輕微。但 0.6ppm 時，則明顯的比較嚴重。在其他實驗室所作的一系列實驗，也發現類似的結果。刺激對人體較明顯的影響，是下呼吸道引起咳嗽與胸部痛；但上呼吸道的不適也可能發生。這些結果確切的證實，普通健康人在周圍空氣處於一嚴重氧化劑污染情況下，所能呼吸到的臭氣，即使僅做些輕微活動，也會產生不良影響。隨後進行的若干其他研究工作，試圖辨證生理上、行為上、或大氣因素影響，其反應的嚴重性如何？

增加空氣的流通，在任一曝露濃度下練習吸入更多臭氣劑量。休息時一般成年人的換氣率，每分鐘約六公升；但在劇烈運動以後，可能增到十倍以上。因此，運動家或勞力者進行冗長的笨重工作以後，從臭氣曝露引發的呼吸道刺激危險特別高。無論以連續性或間歇性劇烈運動進行研究，在 0.2ppm 濃度以下，都發現統計上重要的臨床與生理影響。在濃度 0.3ppm 或以上時，即使進行輕微運動，通常也會產生同樣的影響。

當然，臭氣並非是光化學污染物中惟一具威力的氧化劑。因此，確定是否有其他氧化劑也呈現健康危險，甚為重要。這不是容易的工作，因臭氣以外的其他氧化劑，通常在較低周圍濃度才會發生，故更難偵檢。在實驗室中，也比臭氣更難培養。通常僅以過氯乙醯硝酸 (PAN) 作為控制下的人體研究，在濃度 $0.24\text{--}0.27\text{ppm}$ 時，不曾發現有何影響。這種濃度，可能與最大周圍標準相等或超過。

評估參雜臭氧的空氣污染毒性另外一種手段，使志願者曝露於周圍氧化劑污染，比較他們在控制下單獨曝露於相同濃度的臭氧之反應如何。最近發展成功的一種活動實驗室，裝備更大規模的空氣監測儀器，臨床支援設施，以及可注滿污染的周圍空氣或清淨空氣的曝露室。洛杉磯係美國科學界公認的較高污染地區之一，目前這套實驗裝備就安置在附近市區。臭氧、微粒狀硝酸、與微粒狀硫酸，在周圍空氣曝露中最為顯著。但目前沒有過氯乙醯硝酸或其他光化學氧化劑的現場測驗結果。雖然，生物影響可與控制下的臭氧研究結論相比，但沒有直接的比較，却不能確定或否定周圍混合污染的加添影響與臭氧有關。

隨後進行的研究中，已獲致一項直接的比較，即劇烈運動中的健康成年人曝露於好幾種臭氧控制標準，還包括清淨空氣與周圍空氣。他們對周圍空氣的反應，平均比較下，大致從控制下臭氧曝露所獲到的劑量反應曲線雷同。因此，至少一般健康成年人在洛杉磯那種煙霧環境下，呼吸道的刺激似乎全是臭氧的影響。

二氧化硫與微粒狀物質

流行病學的研究，常顯示增高的周圍二氧化硫標準與微粒狀物質間的關係，以及疾病與早死的增加率。由於二氧化硫與微粒狀物質可能與大氣密切有關，在流行病學上，通常很難分離它們的影響。但在控制下的實驗並不構成問題，故已分別研究二氧化硫各種微粒狀物質、與氣體微粒綜合物質對健康的個別影響。

微粒狀污染物質變化繁多而複雜，對健康可能造成的影響，已呈現廣泛的疑問。至目前為止，其中僅少數業已做過人體研究調查。據我們所知，曝露於周圍空氣可能有的濃度中，任何微粒狀下而觀察到的，即使有，也僅是輕微與不確定的影響。一直到最近，二氧化硫的研究結果也是如此。一九六〇年代與一九七〇年代期間，曾就二氧化硫作過若干次的研究調查，其中顯示增加的通氣抗力與刺激的徵候，在曝露下可能會發生；但多數的被實驗者都祇是在濃度 1ppm 或普通周圍大氣標準以上始有。

一九八〇年，雪派德(D. Sheppard)與加里福尼亞大學的同事提出的研究報告，哮喘患者對二氧化硫的反應，比曝露於同樣環境下的健康實驗者更為持久而顯著。這些調查者隨後報告一組進行溫和運動的哮喘患者，僅僅曝露於 0.25ppm 約十分鐘，他們的通氣阻力，統計上有明顯的增加。他們的研究報告，已重新引起科學界與管制單位對二氧化硫與健康影響的關切，激起一連串的追蹤調查，其中若干仍在進行中。

我們實驗室第一批哮喘患者曝露於 0.25 或 0.50ppm 二氧化硫的影響實驗，未能獲得重要的發現，與雪派德實驗結果不一致的原因，極可能是曝露期間呼吸方式不同的緣故。雪派德研究小組最初使用口罩呼吸，基本上比我們採用自然而沒有妨礙的呼吸法產生更嚴重的反應。以二氧化硫在含水媒體的高度可溶性來看，這種差異至少可獲得部份的解釋。自然的呼吸至少部份是經由鼻孔，即使在劇烈運動也會如此。鼻腔的濕潤表面，可有效過濾二氧化硫，因而減少通往緊縮支氣管的劑量。

甚至以自然方式吸入二氧化硫，即使在 0.4ppm 的低濃度，在足夠的劇烈運動下，也導致哮喘患者若干經驗性的徵候與加劇的通氣阻力。在若干情況下，甚至少量二氧化硫滲入下呼吸道

時，由於鼻腔的反射反應，也可能發生支氣管緊縮。這種影響，在五分鐘以內就會顯示；也就是說，比曝露於臭氧下的影響更快。至於影響的嚴重性，決定於二氧化硫的劑率（濃度乘被實驗者的通氣率），而不是整個劑量。大多數的哮喘患實驗者，在休息時，即使繼續曝露在二氧化硫下，這種影響微候在一小時內消失。很多哮喘患者，即使在清淨空氣下運動，也會經驗各種徵候與通氣緊縮，故須小心辨別二氧化硫對運動所引發的各種影響。

從最近控制下的二氧化硫曝露研究已無庸置疑，在可能的周圍環境下，即使某種小量的污染濃度，哮喘患者作劇烈運動後，就能產生呼吸影響。這些「陽性」發現是否與較早發現的陽性結論有關，目前尚不明確。

最近所關切的酸霧問題

由科學界主持的大多數人體曝露研究，都是在溫和的相對溫度下進行。過去有關嚴重污染空氣伴隨着死亡率實質增加的傳說，濃霧天氣就是肇禍的魁首。一九五二年十二月倫敦至少有三個呼吸患者有關早死的傳說，持續有好幾天。較早時在賓州與比利時，也曾發生過類似意外事件，只是死亡人數較少而已。實際上，並沒有證實某些特殊污染物是這些早死者與患者的禍因。那時候的微粒狀物質與二氧化碳濃度，遠比今日為低。嚴重污染的情況對病患與死亡率的影響不能說完全沒有，至少沒有今天如此明顯。

最近對大氣的研究發現，使科學家的注意力轉向於濃霧有關的可能健康危害。對控制下的人體濃霧曝露研究，已呈現嶄新的挑戰面。霍夫曼(M. R. Hoffman) 與加州工學院的同事，在加州南部各不同場地收集夜間與清晨霧水標準，從他們的樣本中發現若干酸性類的濃度，有時候酸鹹值(PH)已接近兩個（通常沒有污染的霧水 PH 值為五至六）。大多數的標本中，氮似為主要的酸性類，顯示加州南部市區普遍呈現高水準的氧化氮。在其他工業市區，硫酸可能充斥大氣。

加州污染霧水含酸性的濃度，可能已接近一九五二年倫敦意外事件的程度，只是加州的嚴重情況僅持續幾分鐘，而不是長達數月之久。當然，純從霧水的分析來看，對人們呼吸霧水潛在的毒污染劑量，並不能提供多少資料。我們須知道的一項事實是，人們吸入的大氣污染濃集物為何。這種污染物引起何種生理反應？檢驗濃霧大氣而企圖獲取此項資料，事實上甚為困難，但却是探尋酸霧對健康影響的基本手段。

污染霧降下的水滴大小，可能與滲入霧中的毒性多寡密切有關。從理論上來講，能够被人們呼吸的水滴（僅測微計或更小直徑大小），也許帶有可溶性毒氣或液化氣體。當人們吸入時，可能先行沉積於呼吸道，像此類劇性沉澱物斑點，自然比以前更易接受毒劑的感染。但從另一方面來看，很多霧水體積太大，應該不致於貫通呼吸管道，而在這些大水滴中溶解出的任何污染物，被阻止到達下呼吸道。像這種情況，霧對健康危險還可能有減輕作用。

洛杉磯污染傳說事件中的硝酸與硫酸濃度，幾達 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的十倍。控制下的硫酸液化氣體曝露，即使比這更高的濃度的刺激性硫液，却並無影響顯示。在 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的硝酸氨濃度下，也無重要之影響。但硝酸的效應如何，還不會作過研究。前文所述的各項主要研究均未涉及霧，也不會調查較具危險性的哮喘患者在劇烈運動後之情形。因此，不但沒有酸霧對健康影響的實證，即使反證資料也不够確切。

爲證實或支持目前大家對酸霧的關切，確需要進行新的調查研究。若干負責管制的單位與工業界資助研究機構，都在考慮此項實驗工作。酸霧曝露研究的生物醫學方面，可與前述其他污染研究雷同，但大氣方面的探討却更爲複雜。爲瞭解污染霧對人體與化學上的特性，需要更爲精密的周圍空氣偵測研究；而且，偵測與培養實驗室中所需污染霧的新技術，尤須積極發展。

結 論

討論至此，吾人深知，由志願者曝露於控制下的空氣污染物，確能提供危害健康上的適切科學根據，也是支持管制單位釐訂工業污染管制決策所必需。但此項控制下進行的研究，僅適用於短時間內溫和與暫時性效驗的曝露。無可諱言，較長期的曝露與影響反應，必須經由動物毒物學與流行病學的實驗調查，始可獲得有價值的結論。爲使大家對空氣污染危害的全盤瞭解擴至最高度，短期與長期間的生物影響，以及各不同調查面間，都需建立連繫，以便廣泛交換心得意見。

在各種控制環境下進行研究的諸項污染物中，惟有從污染周圍空氣中可能獲得的臭氧與二氧化硫濃度，對呼吸系統顯示明確的不當影響。臭氧對人體最顯著的反應，即下呼吸道的刺激；而且，顯現與分解都相當緩慢。這種反應，或多或少與臭氧的劑量比例有關。劇烈運動下的人，他的呼吸加急，長時間的曝露似最易感染。至於二氧化硫的典型影響——引起支氣管緊縮，僅運動中的哮喘患者曝露於類似周圍空氣濃度下的實驗，已獲致觀察結論。這種影響的發展很快，在休息時，通常也很快分解。這種反應的強度，似與二氧化硫的劑率比例有關，而不是整個劑量。酸霧對健康可能構成的影響，最近已激發大家的關切。控制下的人體研究，係解答此項關切的一種手段。但須先作大氣的監測研究與新曝露方法的發展，始期有成。

譯自「環境、科學、工藝雜誌」一九八四年四月號

作者在本文中所引述之實驗心得，業已獲得電力研究學院、南加州愛迪生公司、美國環境保護署、以及協調研究會議的支持。

本文在刊出前，經由匹茲堡大學「工業環境健康科學系」審查，並推許爲「環境科學工藝雜誌」之專論

——譯者謹識