

談

空氣污染

私立中國文化大學化學系

黎世源

一、前言

早在古希臘時期，就曾經有人對空氣的污染問題表示關心，但是真正問題的發生，卻是在十八世紀蒸汽機發明，即工業革命以後，科學技術不斷的進展，自然資源不停的採取，雖然給人類帶來了文明，卻造成了生活環境的污染，有人稱之為公害。如果按其造成公害的原因區分，可以把公害分為生物公害——微生物、灰塵、糞便；物理公害——機械能、熱能、地層下陷、噪音；化學公害——空氣污染、水質污染、放射性污染、醫藥、及化粧品污染、食品污染等。但通常我們把汽車、工廠的廢氣、燃燒生煤、地面塵埃，歸納為空氣污染；都市污水、工業廢水、各種殺蟲劑、清潔劑，及不易腐化的塑膠製品之流入河川，油料及放射性物質之流入海洋，均叫做水質污染；各種車輛、飛機的鳴聲、建築工程、機械操作，甚至於宣傳廣告，則稱之為噪音干擾。像以上三大公害，不僅直接危害人類的生活，同時也危害其它生物的生存，破壞古物的完整。

二、空氣污染

既然環境的污染到了這樣嚴重的地步，所以我們不能不加以關心。因為西元一九四八年，美國賓州多羅拉鎮(Donora)的居民有百分之五十因空氣污染造成溫度逆反的現象(Pneumonia of Temperature Inversion)而得病，其中有二十人因而喪生，這種不幸的事件，去年夏天在美國境內再度發生；一九五二年的倫敦大霧，致死四千人的主兇就是二氧化硫的廢氣；有三百多年歷史的牛津大學，校內許多紀念物都開始銹蝕了；一九六三年，紐約城兩星期的臭空氣也窒息了四百人；一九六〇年，英格蘭的農場曾經有上千隻的火雞死於未知疾病，被稱為“Turkey X Disease”，後來發現致病因子乃是其飼料——花生粉中的毒素；一九六九年萊因河裏被殺蟲劑毒死的魚約四千萬條，而贏得了「歐洲陰溝」之譽；同年，日本東京約有三百人因「光化煙霧」(Photochemical Smog)而中毒；在我國，民國五十四年，高雄市東南化工廠因二硫化碳(CS_2)的廢氣外泄，導致附近樹德女中師生九十八人中毒；民國六十一年，淡水和高雄等地之電子工廠女工因有機溶劑中毒而身亡；又如最近(民國六十八年)，楠梓加工區工廠排出廢氣，而造成附近居民數十人中毒；同年，中鋼公司煉鋼廠之提煉爐一氧化碳外洩，而造成員工傷亡。以上在在實例，使我們非加緊研究防治污染不可。根據政府有關機構的發表，空氣污染是目前台灣地區公害最顯著者，因此，我們就這麼複雜的問題中，選空氣污染來談談。

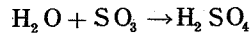
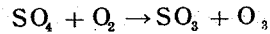
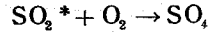
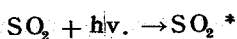
三、空氣污染的成因

每年幾乎有千萬噸的廢氣排進大氣層內，想這些污染物籠罩在我們生活的環境裏有多可怕

，而造成這些廢氣的來源就是工廠的燃燒生煤，車輛油料的燃燒，工業生產過程的廢氣，焚化爐的灰塵，農藥和預防病劑的噴灑，核子試爆，有機廢物（垃圾、糞便等）經細菌分解出的毒氣，以及家庭廚房的抽油煙機所排出的油煙等等。其實，來自以上各種原因的廢氣，成分不外是硫氧化物、碳氧化物、氮氧化物、硫氢化物、碳氢化物，以及石棉灰塵等。

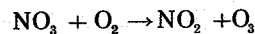
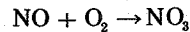
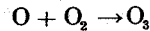
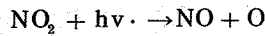
進一步，讓我們來討論這些廢氣是如何形成危害人類的毒物。本來，大氣層自身有淨化空氣的作用，但是雜氣的濃度一高，它自淨的作用就相對的減低，時間一久，污染物愈積愈多，於是造成殺人不計其數的事件。其中之一就是我們前面提過「溫度逆反」的現象，此現象仍指離地面愈高溫度反而愈高。正常的情況，在距離地面約十公里內的高空，高度越高溫度應越低的。這種高度越高溫度越高的反常現象使靠近地面附近空氣因廢氣的增加，反比高空空氣之密度為大，於是地面的空氣無法上昇，空氣縱向對流的現象無法產生，則空氣污染物便聚集不散，如此惡性循環下去，以致產生所謂的毒煙霧（Smog）、毒煙塵（Smust）等，這些毒煙霧及毒煙塵，目前生化學家都懷疑它也是中有許多是引起癌症的因素之一。還有一個罪魁也是前面曾提過的，叫做光化作用（Photochemical Reaction），即空氣中的污染物（主要是二氧化硫、二氧化氮、碳氢化合物三者）經陽光之紫外線作用後，產生臭氣（ O_3 ）及其它強氧化劑氣體，例如可產生「過氧硝酸乙醯」（Peroxyacetylnitrate, PAN）；係一種對眼、鼻、喉及樹葉均有極大刺激性的氣體，此外，由於其帶淡褐色，故使能見度減低，容易引起飛機失事和車禍。茲將各種污染物的光化作用分述於後：

(1) 二氧化硫光化之作用：



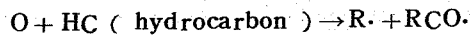
（亦即：二氧化硫經過光化反應之後，產生具有腐蝕性的硫酸以及臭氧。）

(2) 二氧化氮之光化作用：

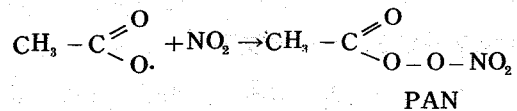
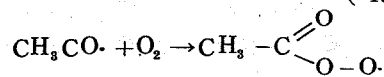


（亦即：三莫耳的氧氣與一莫耳的二氧化氮起光化作用後，會產生兩莫耳的臭氧。）

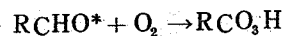
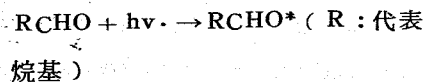
PAN的產生：



（ $R = CH_3$ ）



(3) 碳氢化合物之光化作用：



(4) 細菌之分解作用：

便溺或其它有機廢物分解的第一步就是氨氣（ NH_3 ）的游離，氨和空氣中的氧會形成二氧化氮，而再行光化作用。

四、空氣污染的影響

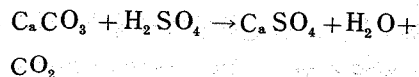
我們都知道，大自然的空氣是有一定的組成，據分析的結果，氮氣佔 78.03%，氧氣佔 20.99%，鈍氣佔 0.95%，二氧化碳只佔 0.03%，而其餘水蒸氣、臭氣、細菌、灰塵等的總含量也不

超過 0.01 %。然而，今天的空氣組成卻大大地改變了。就拿美國來說，超過一百萬家的工廠，以及將近一億輛的汽車和數萬架的飛機，每天不斷地製造空氣污染。根據美國國會的統計，每年因為空氣污染所造成的損失達二百億美元之多，而在較嚴重的都市，如紐約、費城、芝加哥和洛杉磯等，每年每人平均則要損失數百美元。就拿南港、高雄或台北市來說，穿白襯衫不到一天就髒了，還有鼻孔經常會像煙齒一樣地污黑。這到底是那些污染物在作怪呢？讓我們依次以它們的嚴重性詳細說明如下：

(1) 一氧化碳 (CO)：這種氣體無色、無臭、無味，它主要是來自汽油引擎及家庭、工廠燃料不完全燃燒的結果。一氧化碳對血紅素中之鐵的親和力非常強，因此，它能夠取代在血紅素 (Hemoglobin, Hb) 內的氧 ($\text{HbO}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{COHb} + \text{O}_2$)，尤其是在高濃度的環境下，將阻礙氧氣的輸送，因此造成了體內氧氣之不足而發生窒息。症狀輕時，有頭痛、暈眩、耳鳴、噁心、嘔吐、運動均衡障礙等症狀發生。慢性中毒常發生於伙夫、廚師、煤氣工作者、焦炭製造者等，其症狀有悸動、不眠、精神作用減弱、記憶薄弱、頭痛、暈眩、舌苔等。症狀較重時，引起意識不明、硬直性及弱搐性痙攣、呼吸障礙，而後死亡。一氧化碳中毒量事實上不易決定，根據 Flury, Zernik 之報告指出，空氣中的一氧化碳含量 0.018 % (V/V) 時，長時間暴露其中，亦有危險性，達到 0.1 % 時，則有死亡之危險。中毒之程度受到一氧化碳暴露的時間和濃度的影響，比較長時間時，0.02 % 為中毒限度，短時間時，0.1 % 為其限度。又根據長期統計的顯示，心臟病、氣喘、肺氣腫和動脈硬化的增加，都與一氧化碳有關。

(2) 硫的氧化物：主要為二氧化硫 (SO_2)，其次為三氧化硫 (SO_3)。二氧化硫主要來自

工廠和家庭用煤的燃燒，此外，尚有柴油引擎的燃燒，所以熔礦爐、紙漿、漂白、鑄造黃銅、消毒劑、殺蟲劑、染料等的工廠，也經常發生二氧化硫中毒的事件。二氧化硫是無色、有特異臭味並富刺激性的氣體，可經由皮膚或吸入而發生中毒症狀。吸收於體內之二氧化硫可引起酸中毒 (Acidosis)，而使骨骼脫灰，大部分或無機硫酸排泄於尿中。至於急性中毒，會引起眼、鼻、喉等的激烈刺激症狀，並會破壞呼吸系統的組織，特別是慢性支氣管炎和各種肺部症狀的發生。慢性二氧化硫中毒為慢性鼻、咽頭炎、嗅覺味覺障礙、倦怠、疲勞等。又有牙齒腐蝕症，即中毒初期琺瑯質失去光澤，表面變為粗糙，然後腐蝕象牙質而引起牙齒之脫落。根據調查結果，二氧化硫之中毒量以及致死量如下：3~5 ppm，可感覺有臭味；8~12 ppm，刺激咽喉；20 ppm，感覺眼睛受刺激且有咳嗽發生；50~100 ppm，此為最大容許界限；400~500 ppm，則有生命的危險。二氧化硫不僅危害人類，而且對植物也構成威脅，計有細胞死亡性組織崩潰和葉部乾脫等病變；同時，它也使許多建築材料受蝕，如前面曾經提過，有三百年歷史的牛津大學，校內許多紀念物都開始銹蝕了，尤其是大理石之建築物為甚。大理石之主要成分是碳酸鈣 (CaCO_3)，其與二氧化硫經光化作用而產生的硫酸 (H_2SO_4) 相互反應，而導致腐蝕。其化學反應關係式如下所示：



[註：單位 ppm 表示百萬分之一 (parts per million)]

(3) 碳氫化合物 (Hydrocarbons)：主要是來自各種引擎的燃料、家庭煤炭和天然瓦斯的燃燒所生的有機物，它們是烷類 (Alkanes)、芳香族化合物 (Aromatic Compounds)、四

乙基鉛〔 $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ 〕和甲醛(HCHO)等。雖然這些化合物一直被認為與癌症的發生有關，但是總未達到威脅人類的濃度；但是我們仍不能不注意，尤其它們是造成光化煙霧的主要污染物。用作引擎抗震劑的四乙基鉛，當吸入過量時會侵襲體內之神經系統而可能死亡。而甲醛在濃度低至0.25 ppm（以體積計）時，對人的眼睛即有刺激性，而比直接影響人類健康還甚的，就是微量之醛類經過光化作用之後，卻產生威脅人類的臭氧和有機酸。

木材煙之應用於食品加工已有相當長的歷史，它不但可以供給良好的味道與顏色，同時在肉類的表面上可以形成一層薄膜而具有抗氧化、抗菌及殺菌等功用。但是，根據Goos的研究，木材煙的成分極為複雜，均在兩百種以上。此等物質具有殺菌、防腐作用外，部分則有香味，但大都亦具有毒性，尤其發現酚系化合物（Phenolic Compounds）似具有致癌性之作用（Carcinogenesis）後，以木材煙作為食品加工或以木材作為燃料時，其煙霧之污染應予慎重考慮。

(4) 氮的氧化物：空氣中氮的氧化物主要是來自火力發電廠、化學工廠（製造硝酸者），以及汽車引擎等所排之廢氣。一氧化氮最先形成，繼而與氧結合產生二氧化氮，甚至形成四氧化二氮。此等之影響有二：第一、形成與一氧化碳中毒類似之情形；第二、二氧化氮經過光化作用後，產生強氧化劑，對生物造成極其嚴重的損害。

(5) 硫化氫氣體：硫化氫（ H_2S ）主要是由製造焦煤、精煉石油和天然氣、製造化學纖維等所產生的，此外，污水處理不當，經硫細菌的厭氧分解（Anaerobic Decomposition），也產生一些硫化氫氣體。故吸入人造絹絲、橡膠、製革、染料等的製造工廠，或垃圾處理場、溫泉等地方發生的氣體，常引起硫化氫中毒事件。硫化

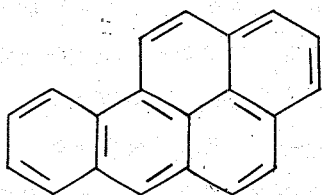
氫是無色的氣體，具有腐卵樣的惡臭味，其毒性甚烈，空氣中含有0.02%（V/V）的硫化氫，即於五至八分鐘內發生中毒；0.1~0.15%（V/V）時，短時間內即死亡。其中毒之作用為破壞含鐵氧化酵素，使細胞內呼吸作用停止。其症狀為：眼痛、鼻黏膜炎症、呼吸困難、悸動、暈眩、四肢震顫、脫力感等，甚至於死亡。硫化氫氣體除了對人類構成危害外，同時對於銀器、銅器和漆器皆有化學腐蝕性。

(6) 二氧化碳（ CO_2 ）：天然的空氣本來就含有300 ppm的二氧化碳，且為植物進行光合作用所必須者，而且空氣中只要含量不超過5000 ppm，是不會影響人類的呼吸。然而，最近科學家們發現過多的二氧化碳，會導致大氣層產生「溫室效應」（Greenhouse Effect），即空氣中的二氧化碳具有吸收太陽輻射線，並防止其再行反射回太空之溫室作用，如此，會使得地球之氣溫逐年增高，有朝一日，即使不致於熱死人（其實，去年夏天美國就有好幾十人熱死）也會使南北極的冰山融化，而淹沒全人類。此外，過量的二氧化碳會溶解於水中形成碳酸，再與石灰質（主要含碳酸鈣）起化學反應，亦即： $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ ，使許多水中的甲殼生物（含石灰質者）不能再生存下去。如果空氣污染之防治工作不加緊研究，則看到樹木枯萎，花草不生，禽獸滅跡，魚類中毒，古物倒毀，文書腐壞，簡直就像一九七一年美國生態學者Samuel Mines所描述的「人類的末日」（The Last Days of Mankind）。

(7) 微粒狀物質：就像砂粒、氟化物、細菌、金屬顆粒、煙灰和石棉等微粒，對人體以及其他動植物皆有不小的毒害。例如：水銀蒸氣就是傷害腦神經的毒劑；石棉微粒在每立方呎中含有五個以上時，就會導致肺纖維化症，因而破壞呼吸系統；而甚多的微粒，必然減低能見度，而使

綠葉氣孔堵塞，從此花葉不生，破壞自然之美。

其中以吸煙或烤肉所產生肺癌的致癌物質 (Carcinogens) 一多環芳香碳氫化合物 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH)，較引人注目，此物質亦存在於空氣污染中所具有之懸浮微粒，為汽油、燃料油，以及煤等之不完全燃燒物，而以苯吡啉 (Benzopyrene) 毒性最烈。在一七七五年，英國的 Percirral Pott 首先發現，煙鹵的清理工人由於長時期與煤煙、煤焦油接觸而產生癌症。是故，在密閉的空間，如冷氣公車、戲院、機艙等，應儘量避免抽煙，以維持空氣之清潔。



苯吡啉結構圖

(8) 放射性物質：長崎、廣島原子彈下劫後餘生的人，有遠過常人的血癌、乳癌、腸癌與腦癌發生率。至於引起癌症的原因，一般相信是由於輻射線擾亂了 DNA base Pairing 的氫鍵，因此造成了轉譯錯誤 (Copy Errors)。最近有人研究血癌 (Leukemia)，而認為是輻射線使細胞膜上的 SH 基發生變化，使之轉變成癌細胞。由於大家強烈的關心，目前，對於放射性物質污染的防治甚有績效。但是，預計至西元兩千年時，由於原子爐的急遽增加，和先進國家之核子試爆，將會引起更大的難題。

我們或許會認為，高層大氣中的污染，可能遠較低空大氣污染得少，這是因為低空大氣與人類的生活環境息息相關，而高空大氣則相關性少。但是，假如高空大氣中，吸收紫外線，對地球上的生物具有保護作用的臭氧 (O_3) 濃度受

到改變時，就可能影響氣候與生物的生存。譬如飛行中的超音速飛機 (Supersonic Transports, SST)，因具有高溫的引擎，通過大氣時，使得大氣中的氧與氮氣發生作用，產生了一氧化氮，這和大氣對高捲雲的形成有關。高捲雲會使得噴射機氣流之路線發生改變，而造成遠方氣象之改變，同時由於一氧化氮的催化作用會使高空的臭氧減少。 ($O_3 + O \rightarrow 2O_2$) 另外，氯氣的碳化物能吸收八至十二微米 (μm) 的紅外線輻射，而造成溫室效應。諸如這些均可能改變氣候，尤其高層大氣中的臭氧可吸收大約在 300 μm 附近的紫外線輻射，而在 280~320 μm 的輻射線可使生物遭受到傷害。在實驗室中已證明氯氣烷可被紫外光分解產生氯原子，它可破壞臭氧。而現在氯氣烷正被人們大量地使用著，故有人擔心氯氣烷散入高空中受到太陽光紫外線的照射而破壞臭氧層。如此，高層大氣中的臭氧濃度一旦受到改變時，地球上生物的活動與生存必然將會受到嚴重的影響。

五、空氣污染的控制

基於上述之因素，美國福特汽車廠每年要花費大筆的金錢與精力去研究改善發動機，美國各大汽車公司也在積極發展電動汽車，日本發展電力火車來減少污染；而我們有關部門也在推動各項措施，如嚴禁燃燒生煤，開工業安全及衛生會議，燃料低硫政策，以及征收清潔費用，這都是令人鼓舞的事，不過，我們並不能以此為滿足。我們更應該結合各類學者專家之智慧，順著自然界平衡的原則，整理出一個和諧進步的環境。亦即在健康和經濟的條件之下，配合自然進化的法則，去尋求生態系統的協調。或應用「再利用」的積極方法，化腐朽為神奇，也就是我們常說的「廢物利用」的觀念。或利用物理、化學等方法，以減少污染物的產生。譬如：重油可用加氫脫

硫法減少硫的含量；汽車的廢氣可以氨水或石灰水來吸收；二氧化氮和硫化氫都可以用活性碳或是二氧化錳等來吸收；像灰塵和煤屑則可以用漩氣機或靜電集塵器等來吸收；其它如：陶瓷工廠普遍以電熱爐來取代燃燒煤炭；火車、汽車普通電氣化；道路普遍鋪設柏油，避免塵埃飛揚，加強核子發電廠之管制，避免輻射線之外洩；並加強國民生活須知，不亂倒垃圾，不隨地吐痰等等，皆是改善空氣污染之措施。茲舉幾個有關改善空氣污染的研究實例如下：

(1) 俄亥俄州立大學發展的細菌法可以降低煤的含硫量：因為硫含量的去除，可以避免煤燃燒時二氧化硫之產生。俄亥俄州哥倫布 (Columbus) 俄亥俄州立大學的細菌學家 Patrick R. Dugan，最近在國家煤協會 (National Coal Assn.) 在肯塔基州 Louisville 召開的會議上，發表有關細菌法減少煤含硫量的研究報告，謂：俄亥俄州立大學已發展一種細菌法，細菌可使煤之含硫量在九天之內，由 5% 降至 2%，目前研究仍在繼續進行中，希望能把含硫量降至 1% 以下。

(2) 利用陶土以阻止大氣中光化學煙霧之形成：根據名古屋工業技術研究院的研究，證實：陶土 (ceramic) 吸附劑可以充分應用於去除碳氫化合物。名古屋研究院就以 Allophane-base 陶土吸附劑做試驗，可以有效的阻止碳氫化合物氣體之排出，而進入大氣層中；因大氣層中 Photo-chemi-cal Smog (光化學煙霧) 之形成，主要之原因是由碳氫化合物氣體所形成。活性碳雖已廣泛用做吸附劑，但從價格和燃燒特質 (Combustion Quality) 的觀點來看頗不適宜；而陶土吸附劑的吸附能力雖遜於活性碳，但是價格便宜頗為合適。

(3) EPA 提議新的空氣中含鉛標準：美國環境保護局 (EPA) 提議一項新的標準，再降

低空氣中 (汽油除外之其它來源) 鉛含量濃度，這項提議中的標準將在一九八二年限制空氣中鉛含量為 1.5 微克 / 立方公尺以下，目前，其國內平均鉛含量為 2~4 微克，某些城市則高達六微克。因為必須燃用無鉛汽油的新型車輛使用空氣污染控制裝置，EPA 估計一九八五年空氣中鉛含量將比目前的含量降低 60%。EPA 局長 Douglas Costle，於指出新標準的需要說，我們健康影響資料顯示，必須慎重考慮低濃度鉛的長期暴露，因為大部分的小孩血液中鉛含量已經高於他們應有的。

(4) 改良型硫酸鹽之二氧化硫去除法：由凱勒格 (Kellogg) 公司發展成功的一種改良型鈣基二氧化硫去除系統，對於二氧化硫吸收效率較傳統方法有很大之改進，其它特點如：預防在容器內壁產生積垢，能夠使接觸時間低的吸收塔，藉以使塔內壓力減至最低限制。美國 Pennsylvania 電力公司，設在 Shipping Port 的 Bruce Mansfield 發電廠，已經選用此種二氧化硫去除法，該系統採用一項交錯噴射室，並更用可溶性硫酸鹽 (尤以硫酸鎂為佳) 為洗滌液，硫酸鹽濃度約在 3~27% 之範圍。

六、結 論

總之，「污染防治，人人有責」，不要以為廢氣由煙囪、排氣管、抽氣機排出之後，就與吾人毫無關係。其實，我們正生活在自己製造的垃圾堆中而毫不自覺。至於如何去維護人類生存的環境，應該是目前相當重要的課題。

七、參考資料：

(1) “毒物化學”陳瑞雲、許盤銘合編 (1977 年)

(2) “石油技術新知”中國石油學會主編(1978年)。

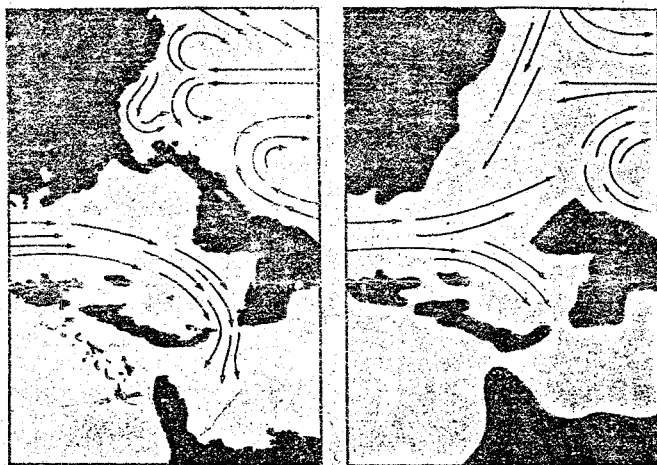
(3) “文藝復興”月刊第118期(1980年)。

(4) “台灣科學”雜誌第三十四卷第二期(1980年)。

(5) “Inorganic Chemistry” James E. Huheey (1978年)。

陸地的上升與氣候的改變

冠 穎



約三百萬年以前，當巴拿馬地峽從海中上昇前，從加勒比海和太平洋來的海水能自由地混合在一起(左圖)。

今日大西洋流向北偏折，使得北半球天氣變得較潮濕及較溫暖。

六百萬年前，船隻可自大西洋通向太平洋而不必經過巴拿馬運河，因為當時有巴拿馬地峽居於兩洋之間，使之通行無阻。此地峽的浮出，對北半球的氣候有很大之影響；可能促成冰河的沉澱下來及北極冰帽的生成。

這地峽於二千三百萬年前因大陸之移動而開始上昇，並使海水的環境受到影響，直到三百萬年前，它形成狹長的地形，而改變了赤道附近海水的流通。

地球海洋學家勞以德·蓋文(Lloyd Keigwin)研究深海沈積物，由單細胞動物有孔蟲類(forminifera)的化石證明了上述事實。

地峽的上昇使大西洋及太平洋的洋流不能溝通。因此，依蓋氏解釋，灣流(Gulf Stream)的變強與地峽之上昇有關。洋流折向北流使北半球雨量增加，而致氣溫上昇。北半球的冰河作用開始於三百萬年前，蓋氏認為與巴拿馬地峽的上昇亦有很大關係。(本文為地科二同學而報導)

(取材自 Science Digest — March 1982)