

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

都會區汽機車氣懸微粒物理特性之研究 (三)

Physical Characteristics of Particulate Matter by Automobiles-III

計畫編號：NSC 87-2621-P-002-022

執行期限：86 年 8 月 1 日至 87 年 7 月 31 日

主持人：陳志傑 台大職業醫學與工業衛生研究所

摘要

在台灣地區由於二行程機車輕便、價格低廉、馬力強的因素，深受大眾的青睞。由於有研究指出，二行程機車排放之廢氣中含有大量未完全燃燒之機油微粒。然而在本土研究中常因為經費有限，且機車運轉之操作系統及其他影響因子難以準確控制，僅能進行短時期高暴露之研究，並無針對其相關氣懸微粒之數目濃度、粒徑分佈、及氣態污染物質對人體暴露的深入探討。本計畫建立一套具有穩定性、持久性之機車廢氣排放系統及改良設計一動物暴露腔裝置，可適切模擬一般環境之廢氣排放情況。

研究採用 40 千瓦之動力計

(Dynamo metric Brakes, Eddy Current, Model 2030, Type FR50, API Com., Via F.lli Bandiera, 1-44042 Cento (FE) Italy) 以控制二行程或四行程引擎，且發展改善一有效稀釋採樣系統，可稀釋微粒至 10000 顆/c.c.之濃度，提高氣膠偵測儀器 SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer, TSI Inc., Model 3934, St. Paul, M.N., U.S.A., SMPS) 之測量準度。而大於 1 μm 之微粒則輔以 APS (Aerodynamic Particle Sizer, model APS 3310A, TSI Inc., St. Paul, MN, APS) 進行量測。另外，機車所排廢氣中 CO_2 、 CO 、 O_2 、 HC 等濃度，則以機車排氣分析儀 (EGA 2000 Exhaust-Gas Analyzer, and Cod. 69155971, Anno Di Fabbricaz) 進行

測量。而在本研究中，除了為方便控制空燃比而修改化油器之節氣閥外，並以質流控制器 (Mass flow controller) 控制一定壓縮氣體流量的輸入或輸出。實驗中操縱變項包含：機車排放之氣懸微粒粒徑分佈、數目濃度在不同汽油油品、不同轉速與負載程度、燃料與潤滑油比、潤滑油品種類、不同空氣燃料比時之變異情形。

關鍵詞：引擎、動力計、氣懸微粒、動物暴露腔

ABSTRACT

Small capacity two-stroke motorcycles are still the predominant transportation tools in Taiwan because of their simplicity, performance and economic costs. In the very few publications dealing with the emissions of two-stroke engines, exhaust particles were identified as unburned lubrication oil droplets. Limited by the budget, the previous studies on the health effects of motorcycle exhaust have used the street motorcycles for short-term high concentration exposures. The system was difficult to control, resulting in exposure conditions that were often poorly defined, and, in particular, the particle size distribution that is influential to human health hazard, was not well characterized. In the present study, we established a system for producing stable and reproducible motorcycle exhaust aerosol particles and gaseous pollutants,

and an exposure system for chambers that collects and dilutes pollutants to simulate environmentally relevant conditions.

The motorcycle exhaust system was composed of a 40 kW dynamometer (Dynamo Metric Brakes, Eddy Current, Model 2030, Type FR50, API Com., Via F. Ili Bandiera, Italy), a two-stroke and/or four-stroke engine (50 c.c. preferred), a mixing chamber, a conditioning (dilution) chamber, and a monitoring station. The main pollutants of motorcycle, such as CO, CO₂, HC and aerosol particles number concentration and size distribution were measured and monitored within the exposure system. The gaseous pollutants were monitored using a Exhaust Gas Analyzer (EGA 2000, Anno Di Fabbricaz). An improved, self-fabricated simple diluter was used to reduce the aerosol number concentration to be lower than 100,000 particles per cubic centimeter, which is also the detection upper limit of the Scanning Mobility Particle Sizer (Model 3940, TSI Inc., St. Paul, MN, USA). For particles larger than 1 µm, the aerosol number concentration and size distribution were measured using an Aerodynamic Particle Sizer (APS 3310, TSI Inc.). The carburetor was modified so that the air/fuel ratio could be changed without affecting the rotation speed. All the air flows were controlled by the mass flow controllers. Measurements of emission of particulate matter as determined on a chassis dynamometer provide the knowledge of the effects of driving cycles, engine temperature, fuel type, air-fuel ratio, fuel-oil ratio, and distance from the exhaust outlet on the number concentration and size distribution of aerosol particles from motor vehicles. Keywords: engine, dynamometer, aerosol, exposure chamber.

第一章 前言

由於二行程引擎在機械組件設計方面，遠比四行程引擎來的容易、體積較小且重量較輕，且在單位重量內的動力輸出高於四行程引擎，又加上二行程引擎的動力特性易於控制，基於這些特點，在摩托車、雪車、汽艇、發電機...上受到廣泛的利用，具有潛在的市場能力。自 1970 年代以來，二行程引擎即大量的使用在機車上，並變成是都會區民眾的主要交通工具之一。這種近乎指數的使用增加率，主要導因於傳統的騎車習慣、休閒用途、交通特徵、以及近年的賽車風氣等等。而由於二行程引擎在汽缸上驅氣（Scavenging）系統設計上的缺失—新鮮油氣部份洩漏出汽缸外，使得碳氫化合物排放量較高，造成環境的污染，為二行程引擎美中不足的地方⁽¹⁻⁹⁾。在台灣地區的機動車輛至民國八十二年為止，已共有 15,190,089 輛機動車⁽¹⁰⁾，並持續成長增加中，促使機動車輛躍升為都會區污染源之首。此種造成主要空氣污染的來源，在本土研究中並無其相關氣懸微粒之數目濃度、粒徑分佈的深入探討，實為環境空氣污染控制之一大缺陷。

本「都會區氣膠微粒特性之研究」整合計畫中「汽機車氣懸微粒物理特性之研究」子計畫，在第三年度將以台灣地區機動車輛使用量最高（57.68%）之二行程機車⁽¹⁰⁾為研究標的，設計改良一有效稀釋採樣系統，準確量測機車氣懸微粒之數目濃度及粒徑分佈，並解決目前儀器量測濃度的限制，提高氣膠偵測儀器之測量準度。配合 50 匹馬力動力計控制引擎運轉的穩定性，並探討機車排放之氣懸微粒粒徑分佈、數目濃度在怠轉時受到不同汽油油品、負載程度、燃料與潤滑油比、潤滑油品種類、不同空氣燃料比時之變異情形。最後將提供

技術資料建立「機汽車排放廢氣動物實驗系統」以進行動物暴露於汽機車排放氣懸微粒之毒理研究，並可一連串進行細胞毒理、正烷基、多環芳香烴的後續研究。

第二章 文獻探討

大氣中氣懸微粒，其行為特性和粒徑有絕對的關係，尤其氣懸微粒對人體所造成的危害與微粒的粒徑、成分、濃度有極大的關係⁽¹¹⁻¹³⁾。我國空氣污染防治法施行細則中，將粒狀污染物區分為粒徑在 10 μm 以下的懸浮微粒，和粒徑超過 10 μm 的落塵。根據美國國家空氣污染管理局 (National Air Pollution Control Administration) 所制訂的粒狀物空氣品質標準⁽¹⁴⁾ 中指出，粒狀物依粒徑大小在鼻咽部、氣管及支氣管、肺泡等三個部位的沈積效率各有不同，粒徑大於 10 μm 的幾乎可完全沈積在鼻咽部，粒徑在 2-5 μm 的微粒約 10% 沈積於支氣管，約 20-30% 沈積於肺泡，而粒徑小於 2 μm 的主要沈積在肺泡組織中⁽¹¹⁻¹³⁾。

根據研究指出，懸浮微粒表面可能附著不完全燃燒所產生的多環芳香烴化合物，而多環芳香烴化合物中有很多已被確認為致突變物或致癌物⁽¹⁵⁻²¹⁾。此類化合物的代謝活化和單氧酵素系統密不可分，而且粒徑極小的微粒可以隨著呼吸進入肺部，進而造成人體健康的危害。民國八十五年黃文柏等人，曾進行以大鼠暴露於未經稀釋的機車排放物實驗，在四周後發現在大鼠之肝、腎、肺三種組織皆可觀察到 beno(a)pyrene hydroxylase 及 ethoxyresorufin O-deethylase 活性上升，而 immunoblot 的結果亦可看到在處理組肝和肺 P4501A 的蛋白量有增加的現象⁽²³⁾。

而由前兩年的研究，發現二行程機車在不同汽油油品、不同轉速與負載程

度、燃料與潤滑油比、潤滑油品種類、不同空氣燃料比時會有不同之氣懸微粒粒徑分佈、及微粒數目濃度。並且其 HC、CO、CO₂ 等濃度也有明顯差異。所以，建立一套穩定性、持久性，之機車排放廢氣之產生系統、暴露實驗系統、調節系統及量測 HC、CO、CO₂....等裝置，不僅可以進行動物暴露於機車排放氣懸微粒及氣態污染物質之毒理研究，也可進行細胞毒理、正烷基、多環芳香烴的後續研究。

第三章 研究方法及步驟

本研究之實驗設備包括光陽公司翔鷹二期、單汽缸、二行程、50 c.c.引擎一具、控制引擎運轉之動力計 (Dynamo metric Brakes, Eddy Current, Model 2030, Type FR50, API Com., Via F.lli Bandiera, 1-44042 Cento (FE) Italy) 一台。進氣、燃油、潤滑油系統一組、以及觸媒轉化器一具。微粒物質量測設備包括：以掃描式移動度粒徑分析儀 (Scanning Mobility Particle Sizer, TSI Inc., Model 3934, St. Paul, M.N., U.S.A., SMPS) 為主，以氣動微粒分徑器 (Aerodynamic Particle Sizer, model APS 3310A, TSI Inc., St. Paul, MN, APS) 為輔，進行微粒之粒徑測量。另外尚有：機車排氣分析儀 (EGA 2000 Exhaust-Gas Analyzer, and Cod. 69155971, Anno Di Fabbricaz) 稀釋器 (Dilution Chamber) 以及緩衝器 (Buffer Chamber) 等。稀釋器是為了調整微粒濃度至適合 SMPS 量測範圍，而緩衝器則為連接排氣管至稀釋器中之緩衝作用。為了瞭解不同燃油對排氣氣懸微粒粒徑分佈之影響，本研究選用市售 92 無鉛汽油、及標準 92、95 實驗。在潤滑油方面，則使用二行程機車專用之潤滑油——市售特使 Ultra、NSR、SW/20 等三種。

改變及更換機車運轉條件時，如排放之氣懸微粒粒徑分佈、數目濃度在不

同構造時受到不同汽油油品、負載程度、燃料與潤滑油比、潤滑油品種類、進入引擎空氣品質、不同空氣燃料比之實驗時，均熱車 15 分鐘後才進行測試，每次測量 150 秒，重複五次求其平均值。另實驗中將以紅外線皂泡計 (Gilian Instrument Corp, west caldcoell, NT) 來進行流量的校正。並以質流控制器 (Mass flow controller, Teledyne Hastings - Ragdist Instruments, model 400, Hampton Virginia, U.S.A.) 控制一定壓縮氣體流量的輸入或輸出。

第四章 結果與討論

本研究主要以二行程引擎為首要設置配備，並改善系統之設計以利於日後進行四行程引擎的設置準備。(其引擎系統結構及構造特性如圖一所示，及表一⁽²³⁾所列)。在機車引擎控制及量測系統方面，引擎動力控制及量測系統是由動力計、動力計控制器及引擎測試平台所組成(如圖二所示)，用以提供引擎負載並量測馬力。本研究利用 40 千瓦 (K watt) 渦電流式 (Eddy Current) 動力計控制引擎運轉的穩定性。引擎測試平台為一 $1.2 \times 1.0 \times 0.08 \text{ m}^3$ ，重約 700 公斤之不鏽鋼板，用來放置引擎。動力計則另外安置於平台鋼板近側。平台的四角以空氣彈簧 (Air Spring) 支撐，避免引擎運轉時的振動，影響實驗量測的準確性。

機車排放之氣懸微粒粒徑分佈 數目濃度變化之量測採用 SMPS 輔以 APS 進行量測。而在不同轉速與負載程度的變化，可依動力計及其控制器進行設計。在本研究中將化油器上的節氣閥做了些修改，使研究人員能自行調整油針的上下位置來改變汽油的攝入量，進而達到改變空燃比的目標(參見圖三)。實驗中利用玻璃滴管及碼錶，量測汽油及潤滑油之使用量；在空燃比的量測上主

要是將油箱獨立，使用 50 C.C.的滴管及碼表來量測燃油的消耗；進氣量的量測則是使用乾式體積計 (Dry Gas Meter) 量測化油器在攝入一定體積的空氣所需的時間。本次研究的實驗機車基本運轉條件經測量後，如圖四、五所示，顯示本次實驗完全在適當的機車運轉條件下。而在燃油及潤滑油之種類與特性方面，選用市售 92 無鉛汽油，及標準 92、95 實驗用油，如表二⁽²⁴⁾所示。潤滑油種類的選擇，首先以二行程機車專用潤滑油--市售特使 Ultra、NSR、SW/20 等三種，進行實驗比較。

而機車排氣分析也是本實驗的重點之一，主要為使用機車排氣分析儀 (EGA 2000 Exhaust-Gas Analyzer, Cod. 69155971, Anno Di Fabbricaz.) 利用 NDIR (Non-disperse Infra-red) 測得機車排氣所含之 CO_2 、 CO 、 HC 、 NO_x 、 O_2 等濃度。在機車排氣緩衝系統方面，緩衝腔 (Buffer Chamber) (約 30 cm 長，內徑 15 cm)、延伸管線 (約 5 m 長，內徑 15 cm) 測試系統之使用，與機車尾端排氣管連接。另外，在氣懸微粒採樣稀釋系統的設計方面，採用第一年度所設計改良之稀釋器為主，以準確量測機車氣懸微粒之數目濃度及粒徑分佈，並解決目前儀器量測濃度的限制，提高氣膠偵測儀器之測量準度。其本體長 17 cm、外徑 3 cm、內徑 2 cm (含錐角 20 度的縮小管，最窄處為 1 cm。) 的稀釋器 (參見圖六)。

實驗暴露系統之設計為本年度之研究重點，除了可進行動物暴露於汽機車排放氣懸微粒之毒理研究，並可一連串進行動物暴露、細胞毒理、正烷基、多環芳香烴的後續研究，其主要特點為可接於機車排氣緩衝系統之後，如圖七、八所示。圖七主要做為動物暴露實驗用。可作為評估長時期低暴露劑量，或短時期高濃度暴露用途，其大小

約 90 x 65 x 85 cm。圖八則可做為細胞毒理實驗的暴露腔設計。本實驗利用水浴法 (Water Jacket) 作為穩定腔內溫度，及減少週界溫度變化之影響⁽²⁴⁾。並外接一 CO₂ 氣體之進口，以控制細胞培養所需之環境條件⁽²⁵⁾，其大小約 80 x 50 x 80 cm。另外，在正烷基、多環芳香烴的採樣上，僅需接於緩衝系統之後即可。

第五章 結論與建議

由於機車排放氣懸微粒濃度極高 ($> 10^8 \text{ \#/cm}^3$)，所以為配合量測儀器 (掃描式電移動度粒徑分析儀) 之濃度範圍，所以需要加裝稀釋器，以提高量測結果之準確度。由於不同污染物間極可能有相互作用 (加成或拮抗)，所以一個完整的暴露系統需同時量測除氣懸微粒的粒徑分佈與數目濃度之外，亦需要監測如 CO、CO₂、HC 等主要氣懸污染物。而實驗的對象除可以進行一般細胞毒理，動物吸入等實驗之外，亦可以用於研究一般植物 (例如行道樹、盆栽) 受機車排放污染物影響的機制。

本暴露系統可適用於中、長期的暴露實驗，並可調整各不同污染物的濃度，在加裝動力計的電腦程式控制碼之後，更能模擬不同行車時段與不同負載所造成的實際污染狀態，是國內相關各研究單位可充分利用的系統。本研究對本土問題之貢獻性，在於可作為評估長時期低暴露劑量，或短時期高濃度暴露用途，並可一系列進行細胞毒理、正烷基、多環芳香烴的後續研究。成果擴散方面，本研究對於毒理學實驗非常必須且重要，因為氣膠微粒、尤其是所謂氣動直徑與擴散直徑，是與肺部沈積最有相關的兩個指標。未來，將可繼續在毒理學領域深入研究。

參考資料

- [1] Patterson, D.J., Henein, N.A., "Emissions from Combustion Engines and Their Control," Ann Arbor Science, 1981.
- [2] Kenny, R.G.: "Developments in two-stroke cycle engine exhaust Emissions" Proc. Inst. Mech. Eng., part D, vol. 206, No. D2, pp. 93-106, 1992.
- [3] Walsh, M.P.: "Risk Assessment/Risk Management of Motor Vehicle Emissions" 83. Annual Meeting of the Air & Waste Management Association, P102, 1990.
- [4] Mineo Kagaya and Mitsuaki Ishimaru ; Anew Challenge for High Performance Two-Cycle Engine Oils; Society of Automotive Engineers, Inc.; 3722-3736, 1989.
- [5] 蕭瑞聖，機車原理與機構，徐氏基金會，民國 84 年。
- [6] Hitztenberger, R.; Vienna, A., Comparisons of the measured and calculated specific absorption coefficients for urban aerosol samples in Vienna. Aerosol Science and Technology., v 18, n 4, P 323-345, 1993.
- [7] Adler, Jonathan M.; Ann Arbor ; Carey, Penny M., Air toxic emissions and health risks from motor vehicles. Proceedings - A & WMA Annual Meeting v 3, P19. 1989.
- [8] U.S.EPA, "User's Guide to Mobile5," EPA-AA-AQAB-9401, 1994
- [9] National Air Pollution Control Administration, "Air Quality Criteria for Particulate Matter," pub.No.AP-49, 1969
- [10] 台灣省監理處，台灣省監理統計年報，民國82年。
- [11] National Air Pollution Control Administration, "Air Quality Criteria for Particulate Matter," pub.No.AP-49, 1969

- [12]陳志傑，”氣態微粒之沈積與其對人體健康之影響”，1994 氣態微粒危害及污染控制研習會，民國 83 年。
- [13]李俊璋，”台北市空氣中懸浮微粒物理化學分析及學童肺功能之研究”，國立台灣大學環境工程研究所碩士論文，民國 71 年。
- [14]National Air Pollution Control Administration, ”Air Quality Criteria for Particulate Matter,” pub.No.AP-49, 1969
- [15]International agency for research on cancer: IARC working group on the evaluation of carcinogenic risks to human: overall evaluations of carcinogenicity: an updating of IART MONOGRAPHS volumes 1-42, pp.13-74,Lyon,France, 1987.
- [16]Bascom,R,Bromberg,P.A,Costa,D.A., Devlin,R,Dockery,D.W.,Frampton,M.W.,Lambert,W.,Samet,J.M.,Speizer,F.E.,and Utell,M.: Health effects of outdoor air pollution. Am.J.Respir.Crit. Care Med. 153,3-50, 1996.
- [17]Utell, M.J., Warren, J., and Sawyer, R.F.: Public health risks from motor vehicle emissions. Annu. Rev. Public Health 15, 157-178, 1994.
- [18]Jemma, C.A., Shore, P.R.,and Widdicombe, K.A.: Analysis of C1-C16 hydrocarbons using dual-column capillary GC: application to exhaust emissions from passenger car and motorcycle engines.J.Chromato. Sci.33,34-48, 1995.
- [19]Chan,C. C.,Lin, S. H., and Her, G. R.: Student's exposure to volatile organic compounds while commuting by motorcycle and bus in Taipei city.J.Air Waste Manage.Assoc.43,1231-1238, 1993.
- [20]Snyder, R., Witz, G., and Goldstein, B. D.: The toxicology of benzene. Environ. Health Perspect. 100,293-306, 1993.
- [21]International agency for research on cancer: IARC working group on the evaluation of carcinogenic risks to human: overall evaluations of carcinogenicity: an updating of IART MONOGRAPHS volumes 1-42, pp.13-74,Lyon,France, 1987.
- [22]黃文柏，”機車排放物對大鼠單氧酵素系統之影響”，國立台灣大學醫學院毒理學研究所碩士論文，民國 86 年。
- [23]光陽公司，光陽翔鷹 50 服務手冊，光陽工業股份有限公司，民國 80 年。
- [24]Stephen V. Teague, Kent E. Pinkerton, Michael Goldsmith, Assefa Gebremichael, Sharon Chang, Roger A. Jenkins, Jack H. Moneyhun.; Sidestream Cigarette Smoke Generation and Exposure System for Environmental Tobacco Smoke Studies., Inhalation Toxicology, 6:79-93, 1994.
- [25]Butler, M. and Dawson, M; Cell Culture., Bios Scientific Publishers, 1992.

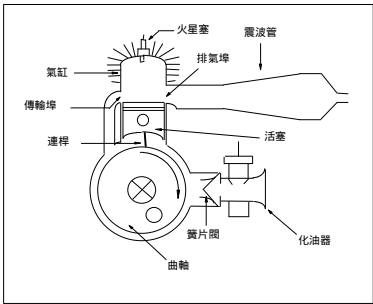
表一：機車配備及構造特性表。

燃料種類	汽油、二行程潤滑油
汽缸數、配置	1、前傾度
門閥機構	單向閥活塞並用式
內徑 X 行程 mm	39 X 41.4
壓縮比	7.2 : 1
壓縮壓力 kg/cm ² rpm	12 kg/cm ² 6000 rpm
最高出力 ps/rpm	5.6/7500 ps/rpm
最大扭力 kg m/rpm	0.550/7000 kg m/rpm
無負荷迴轉速度 rpm	1800 ± 100 rpm
潤滑方式	分離式
油幫浦形式	柱塞式
油濾器	全流通濾式
空氣濾清器形式、數	濾式、單片
汽化器形式	PB2BB
汽化器文氏管口徑	14 mm 相當
點火裝置形式	CDI 磁電機點火
點火時期F記號	17° ± 2 BTDC/3000 rpm
點火時期	17° ± 2 BTDC/1800 rpm
火星塞	NGK BR8ESA
火星塞間隙	0.6 ~ 0.7 mm
動力至變速機	動力-變速機-離合器
減速機	二段減速式
活塞外徑 (活塞裙部下端 約 5 mm 位置)	38.970 mm 38.955 mm
汽缸與活塞間隙	0.003 ~ 0.07 mm
汽缸內徑	39.0 mm 39.025 mm
低速油嘴	40 #
主噴油嘴	78 #
加油柄遊隙	2 ~ 6 mm

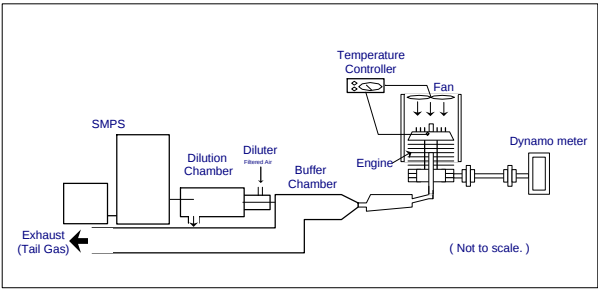
表二、燃油之種類與特性。

	標準 95 無鉛汽油	標準 92 無鉛汽油
Specific Gravity at 60 °F	0.752	0.7443
Octane No., Research	95.3	92.4
Octane No., Motor	85.7	83.4
Reid Vapor Pressure, KPa	56.5	59.3
Sulfur, %wt	0.003	0.003
TEL Cont. Metallic Pb, g/l	<0.0025	<0.0025
Hydrogen Content, %wt	12.3	13.1
Composition, %vol	MTBE 0 Paraffines 48.6 Olefines 5.1 Naphthenes 2.5 Aromatics 43.8 Benzene 1.1	MTBE 0 Paraffines 53.3 Olefines 8.5 Naphthenes 2.5 Aromatics 35.7 Benzene 1.3

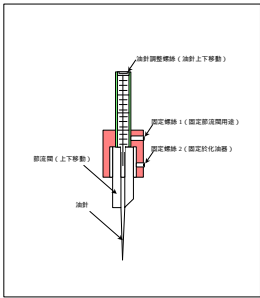
圖一：二行程機車之引擎系統結構。



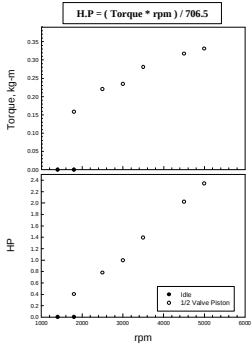
圖二：測試系統設置圖。



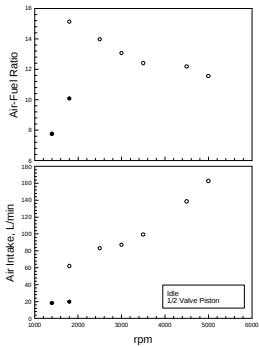
圖三：節氣閥及油針之設計圖。



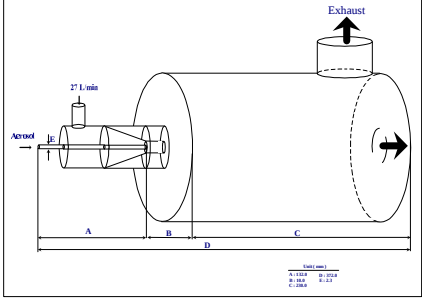
圖四：實驗機車基本運轉條件測試圖 (一)。



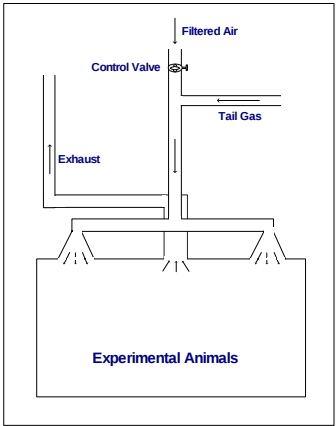
圖五：實驗機車基本運轉條件測試圖 (二)。



圖六：稀釋器設計圖。



圖七：實驗動物暴露測試腔示意圖。



圖八：實驗細胞暴露腔示意圖。

