

陽明山國家公園地熱噴氣 對人體影響之調查研究

計劃主持人：鄭 福 田

協同研究員：蔡 俊 鴻

研究助理： 洪 文 雅 劉 希 平 李 曜 全

內 政 部 營 建 署 委 託
國立台灣大學環境工程學研究所

中華民國七十七年四月

陽明先生全集

摘 要

本研究主要目的在調查分析陽明山國家公園範圍內，地熱噴氣作用所造成附近區域空氣品質變異現象，及其可能對人體造成之影響，以供規劃設置禁制或警告標示之參考。

研究工作乃於陽明山國家公園範圍內之大磺嘴，硫磺谷，小油坑，大油坑及石碇子坪等地熱噴氣孔附近區域進行現場調查測試，包括地熱噴氣之硫化氫濃度分析，以及大氣環境中之硫化氫，二氧化硫與二氧化碳濃度分析。每處調查分析區域分別於六至八個地點採樣分析，並於不同季節分別進行，以比較地熱噴氣孔附近區域空氣污染物濃度之變異特性。

調查研究結果主要獲致如下結論：

1. 陽明山國家公園範圍之地熱噴氣作用，造成噴氣孔附近地區大氣環境中之硫化氫、二氧化硫及二氧化碳濃度明顯高於一般大氣環境之現象。
2. 噴氣孔附近地區之空氣品質受噴氣量、地形、氣象等因素影響甚大。
3. 在所選定五處地熱噴氣孔之噴氣特性顯示，硫化氫平均排放濃度約5ppm (3~7ppm)。
4. 地熱噴氣孔附近地區之硫化氫濃度，在10公尺距離處約為2.2ppm(0.6~5.4ppm)，受風向、地形影響甚大；在四週道路側之濃度則約為0.2~0.3ppm。
5. 地熱噴氣孔附近區域之二氧化硫濃度，在10公尺距離處約為0.3ppm；在較遠處之道路側，一般多界於0.02~0.05ppm。
6. 二氧化碳濃度在噴氣孔附近約為1000ppm，在30公尺以外區域則多已降至600ppm以下。
7. 以短時間曝露而言，地熱噴氣孔附近區域之各項空氣污染物濃度尚不致對人體造成直接而顯著之危害；以長時間暴露而言，則部份噴氣孔附近部份區域，大氣之空氣污染物濃度已達到可能造成慢性危害程度，是否會造成實際影響則尚待進一步之研究。
8. 經以電化學法測定地熱噴氣，其氰化氫(HCN)之濃度約在數十ppm之間，其對人體之危害程度為何，則有待更進一步之研究。

ABSTRACT

This study is focused on the measuring air quality around the fumarole in the Yang-Ming Shan National Park. Literature review of Health Effect caused by fumarole emissions are also conducted. Air pollutants analyzed include Hydrogen Sulfide, Sulfur Dioxide, and Hydrogen Cyanide. Ground level wind speed and wind direction were measured too.

Air pollutant concentrations measured at fumaroles exist indicated that the Hydrogen Sulfide concentration ranged from 3-10 ppm. Hydrogen Cyanide concentration were more than 10 ppm.

Ambient air pollutant concentration measured at breathing height around different fumaroles indicated that in the region with distance about 10 meters away from fumaroles, Hydrogen sulfur concentrations ranged from 0.6 - 5.4 ppm for sulfur dioxide, Carbon Dioxide concentration are 0.1 - 0.6 ppm and 600 - 700 ppm respectively. It is concluded that at present time the health effect of fumarole emission in Yang-Ming Shan National Park is very slight. However, it is advisable to set warning board around the fumarole in order to prevent the tourist from high exposing in this spot.

誌 謝

本研究承陽明山國家公園管理處劉處長慶男，林副處長培旺，與保育解說課蔡課長惠民及羅淑英小姐之支持與協助，本所李曜全、林文印、劉希平，許敬仲諸同仁協助採樣分析，使研究調查工作得以順利完成，謹於此表示誠摯之謝意。

研究進行期間，承蒙懋欽高工提供電源設備及場所，使研究工作順利進行，於此一併表示謝意。

圖二十七	硫磺谷噴氣孔附近地區秋季之二氧化碳等濃度圖	45
圖二十八	硫磺谷噴氣孔附近地區冬季之二氧化碳等濃度圖	46
圖二十九	小油坑噴氣孔附近地區秋季之二氧化碳等濃度圖	47
圖三十	小油坑噴氣孔附近地區冬季之二氧化碳等濃度圖	48
圖三十一	石磺子坪噴氣孔附近地區秋季之二氧化碳等濃度圖	49
圖三十二	石磺子坪噴氣孔附近地區冬季之二氧化碳等濃度圖	50
圖三十三	大油坑噴氣孔附近地區秋季之二氧化碳等濃度圖	51
圖三十四	大油坑噴氣孔附近地區冬季之二氧化碳等濃度圖	52
圖三十五	公園管理處新址硫化氫之 24 小時連續偵測	53
圖三十六	公園管理處新址二氧化硫之 24 小時連續偵測	53
圖三十七	公園管理處新址二氧化碳之 24 小時連續偵測	54

表 目 錄

表 一	不同濃度硫化氫對人體之影響	15
表 二	不同濃度二氧化硫對人體之影響	16
表 三	微粒與二氧化硫協力效應之影響	17
表 四	不同濃度二氧化碳對人體之影響	18
表 五	地熱噴氣之硫化氫氣體濃度	18

陽明先生全集

壹、前言

一. 研究目的

陽明山國家公園位於台灣北部大屯山火山群之核心地區，除以三、四月間之花季聞名全省外，更擁有台灣本島規模最大之火山地形特徵，及地下殘熱所造成之溫泉和噴氣活動[1]，奇峰羅列，景緻宜人，故一向為北部民衆休閒、遊憩之主要處所。

陽明山國家公園範圍內，地熱噴氣活動較強烈之地區，如小油坑、馬槽、大油坑、石碇子坪等地，由於具有高度遊憩、教育功能，在陽明山國家公園管理處規劃之下，擬興建多處遊憩設施及停車場，以滿足爾後旅客日增所可能導致之需求，並使其觀光價值能充分加以開發。鑑於上述地區之地熱噴氣範圍甚廣，噴氣量亦相當大，且由於陽明山地區之氣候變化不定，於不良天候狀況下，地熱噴氣所含之空氣污染物可能由於地形、氣象條件而造成局部高濃度現象，對遊客之健康與安全具有潛在之威脅。本研究乃針對前述地區之地熱噴氣現象，探討其所造成之空氣污染問題，並收集有關文獻以評估其可能對人體造成之影響，作為建立禁止或警告標示之參考。

二. 研究內容

由於陽明山國家公園範圍遼闊，地熱噴氣現象發生於多處地點，其所造成之影響區域及程度不一，本研究基於時間與人力、物力之考慮，依據陽明山國家公園管理處之建議，乃針對地熱噴氣現象比較顯著之地區，包括大磺嘴、硫磺谷、小油坑、石碇子坪及大油坑等五處，其地點分佈如圖一所示，進行噴氣孔附近地區空氣品質調查測定，主要調查項目為硫化氫、二氧化硫、二氧化碳，以及地面風速、風向。

依據現場調查測定資料，配合地形地物，分析各項空氣污染物之地面濃度分佈特性，參酌有關各種空氣污染物對人體健康影響之資料，評估陽明山地熱噴氣對附近區域空氣品質及對人體健康之影響，以供有關單位研擬因應對策之參考。

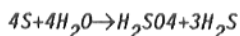
貳. 地熱噴氣特性暨其對人體之影響

一. 地熱噴氣之形成

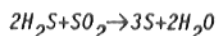
大屯山火山群區地熱之形成大致係由雨水滲入地下、進入含水層或儲集層，被下方之熱源加熱以後再順沿岩石裂隙而上，或在低窪處形成溫泉，或在高處（地下水面以上）形成噴氣孔[1]。

地熱噴氣乃以噴出蒸汽為主之一種地熱活動，如果噴氣孔周圍有天然硫磺生成則稱之為硫氣孔(Solfatara)。噴氣孔之生成條件有二：一為地下熱水必須超過攝氏一百度，否則無法汽化成為蒸汽；另一個條件為噴氣孔位置必須在地下水面以上，否則縱有百餘度之熱水亦只能造成沸騰溫泉而非噴氣孔。

噴氣孔所噴出之氣體以水蒸汽為主，約佔96.5~97.7 %（體積比），其餘3.5~2.3 %為不凝結性氣體，其中又以二氧化碳(CO₂)及硫化氫(H₂S)為主，各佔55.0~71.5%與37.2~20.3 %（體積比）。深部熱水汽化所得蒸汽中之不凝結氣體較噴氣孔蒸汽為低，僅約佔1.3~1.9%，其中二氧化碳與硫化氫含量各佔33.3~68.3 %與43.6~26.3%，顯示深部熱水之硫化氫含量有相對提高之趨勢，此現象可能與深部硫黃水解有關，其化學反應式可由下式表示之：



噴氣孔周圍常見黃色針狀硫黃結晶，此種噴氣孔又稱硫氣孔，其周圍之硫黃結晶乃蒸汽中所含硫化氫與二氧化硫化合之結果，化學反應如下式：



由於二氧化硫極易與硫化氫反應形而成硫黃，在硫化氫含量甚高之蒸汽中，不太可能發現二氧化硫存在，故地熱噴氣之二氧化硫含量甚低。

二. 影響地熱噴氣空氣污染物濃度分佈之因素

影響地熱噴氣附近地區空氣污染物濃度之因素主要包括以下三項：(一)噴氣量：噴氣量直接影響污染物濃度，噴氣量大者或噴氣所含污染物濃度較高者，其污染 物之排放量亦隨之增大。(二)局部地形：局部地形對污染物擴散作用影響甚大，由於陽明山地區之地形複雜，且地熱噴氣孔 均位於山谷之中，局部地形所造成之複雜風場使污染物濃度之空間分佈產生顯著之變化。在部份山谷地區，可能由於擴散不佳而形成局部高濃度現象。(三)局部風速、風向：風速、風向能影響污染物之擴散作用，惟仍需考慮噴氣量及地形之作用。如圖二(a)所示，當噴氣量較大時，水平風向作用能使污染物飄浮一段距離後再著地，故在噴氣孔近距離範圍內之污染物濃度反而低於較遠處之濃度。而地形之影響，如圖二(c)，(d)所示，可能在山谷處形成迴流作用(Circulation)而增加污染物之濃度。

三. 地熱噴氣對人體之影響

地熱噴氣中所含之氣體以硫化氫、二氧化硫及二氧化碳為主，其對人體之影響分述如下：

(一)硫化氫

硫化氫為一無色氣體，具有蛋臭 (Rotten eggs) 般令人厭惡之臭味，在濃度低至 0.00047ppm 時即可為人類嗅覺感知。短時間曝露於存有硫化氫之環境中，可使嗅覺發生疲勞，刺激眼睛和呼吸系統，造成眼結膜發炎及水腫。高濃度時會引起全身癱瘓，甚至造成呼吸系統急速衰竭，導致死亡 [2]。在墨西哥 Poza Rica 地區，曾發生天然氣精煉廠硫化氫外洩之意外事件，造成320人患病，22 人死亡之案例 [2]。

不同濃度硫化氫對人體所造成之影響如表一所示。

(二)二氧化硫

二氧化硫為一無色而有特殊臭味之氣體，其味覺容忍限值為0.3ppm，濃度超過0.5ppm時即可產生令人厭惡之味道。二氧化硫對人體之影響主要為刺激呼吸道，破壞肺部組織，引起呼吸系統之疾病 [4]。

大氣中微粒子之存在將與二氧化硫發生協力效應 (Synergistic effect)，加重對人體之危害 [4]。協力效應產生機制係由於人類呼吸道中滿佈纖毛 (Cilia)，經由規則

蠕動而將由口部或鼻部吸入之外物排出體外。二氧化硫和硫酸分子能麻痺纖毛，使其喪失正常功能，以致微粒物質得以深入肺部。二氧化硫氣體由於分子粒徑太小，並不停留在肺部，然而部份二氧化硫氣體能吸附在微粒物質表面，隨其進入肺部，並沉積在肺部內。經由長期沉積作用，二氧化硫和微粒物質之化合物將損害肺部組織，刺激呼吸管道，增加心臟輸氧負荷，甚致導致心臟功能喪失而造成死亡。

二氧化硫及其與微粒物質所造成之協力效應，對人體之影響如圖三、表二、表三所示。

二氧化硫對人體影響因人而異，而哮喘患者對其反應尤為劇烈，Sheppard[6] 之研究指出，哮喘患者對二氧化硫反應之症狀比曝露於同樣環境下健康之實驗者更持久而顯著。在其一組進行溫和運動之哮喘患者中，僅曝露於 0.25ppm 濃度下約十分鐘，患者之通氣阻力在統計上即呈現顯著增加之趨勢。

(三) 二氧化碳

二氧化碳為一無色無臭之氣體，於低濃度條件下對人體之影響並不顯著，濃度必須高至數千 ppm 才有輕微之生理症候出現。二氧化碳濃度在 $2\sim 3\%$ 時會造成人體暈眩、耳鳴、頭痛、腹瀉、思睡、肌肉無力等現象，濃度高達 $7\sim 10\%$ 時將有呼吸困難，甚至導致窒息之情形產生[7]。

二氧化碳對人體之影響如表四所示

參. 空氣污染物之調查分析

研究工作主要包括現場調查與資料分析，藉由現場調查採樣所得不同空氣污染物濃度資料，配合地形特徵，即可獲得噴氣孔附近地區之空氣品質分佈特性。

研究工作之流程圖如圖四所示。

(一)調查測定地點

現場調查測定地點分別於大磺嘴、硫磺谷、小油坑、石磺子坪及大油坑等五處分別進行，各測定地點分佈如圖一所示。

(二)測試方法

本研究之實驗係以現場調查採樣為主，於測試之前先行實地踏勘，選定適合之地點進行採樣。調查採樣時以採樣器於各採樣點同時擷取六至八個氣體樣本，分別儲存於採樣袋，並將採樣袋所收集氣體送入設置於現場之分析儀器進行分析。採擷氣體樣本時亦同時測定地面風速、風向及溫度、濕度，以了解氣候因素對污染物濃度變化之影響。

各項空氣污染物測定之儀器及其分析原理分別說明如下：

1. 二氧化硫(SO_2)

二氧化硫測定係以二氧化硫分析儀(*Sulfur Dioxide Analyzer, Dasibi Model 4108*)為之，利用紫外光螢光法(*UV Fluorescence*)原理分析。

2. 硫化氫(H_2S)

硫化氫之測定係先以硫化氫轉化器(*H₂S Converter, Thermo Electron Model 340*)在 $400^{\circ}C$ 之高溫條件下，將硫化氫轉化成二氧化硫，分析二氧化硫濃度後再換算成為硫化氫濃度。

3. 二氧化碳(CO_2)

二氧化碳之測定係以二氧化碳分析儀(*Carbon Dioxide Analyser, A D C Model SB-100*)為之，利用紅外光法(*Infra Red*)原理分析。

三.資料分析

依據現場調查採樣所得空氣污染物濃度資料，配合各採樣點位置，以台北市航照圖為基準，利用內差法計算各噴氣孔附近地區之空氣污染物濃度分佈，繪得地面等濃度圖。依據各項空氣污染物濃度資料，參考有關空氣污染物對人體健康影響之文獻，評估地熱噴氣對附近地區空氣影響程度，以及可能對人體健康或安全所造成之衝擊。

肆. 陽明山國家公園地熱噴氣對空氣品質之影響

本研究之現場調查測定工作，依季節不同而分別於七十六年十月間與七十七年元月間進行，由於調查期間，陽明山地區天候陰晴不定，為顧及儀器設備及工作人員安全，所有調查測試工作皆於晴天進行，故每一階段之空氣品質測試工作皆持續多日始克完成。考慮不同季節氣候條件之影響，每一測點之空氣品質測試結果予以分別討論。

一. 地熱噴氣孔之噴氣特性

由於地熱噴氣孔之範圍一般多包含主噴氣孔，以及附近諸多裂縫皆呈噴氣現象，且噴氣孔附近土質鬆軟，加上噴氣煙煙影響，噴氣孔之噴氣特性量測工作十分困難。

依據現場調查測量所得，主噴氣孔出口處之硫化氫氣體濃度一般介於3~7ppm之間，不同噴氣孔之測值如表五所示。由於噴氣孔面積無法量測，故亦無法推估各個噴氣孔之排放量。量測結果與文獻資料比較，顯示陽明山國家公園範圍內之地熱噴氣所排放硫化氫濃度並非很高。

二. 噴氣孔附近地區之硫化氫濃度分佈特性

依據現場調查測試結果，繪得各噴氣孔附近地區之硫化氫氣體濃度如圖五至圖十四所示。

1. 大磺嘴噴氣孔

圖五及圖六為大磺嘴噴氣孔附近區域之硫化氫濃度分佈特性。在兩測定期間，附近地區地面風向皆以東南風向為主。由等濃度線分佈顯示，在噴氣孔附近約10公尺處，硫化氫濃度高達2.7ppm，在環繞噴氣孔之道路側，硫化氫濃度約為0.2~0.3ppm，已達人體可嗅覺之程度。兩次測定結果之等濃度線分佈呈現相似趨勢，顯示地形風對此區域內硫化氫濃度分佈影響十分顯著。

2. 硫磺谷噴氣孔

圖七及圖八分別為硫磺谷噴氣孔附近地區於不同季節之硫化氫濃度分佈狀況。由於地

形之影響，此區域之地面風主要為東南風向，故於西北側之山坡及附近圍繞山坡之硫化氫濃度可高達2ppm，在噴氣孔附近分別為10公尺及30公尺處，其濃度更高達5.4ppm及3ppm，已造成顯著之臭味干擾問題。

3. 小油坑噴氣孔

小油坑噴氣孔附近地區，由於地勢坡降極大，故採樣點位置乃依地勢而設於山谷之北側。兩次測定期間之風向恰好相反，圖九為南風向之濃度分佈，由於採樣點位置，亦即一般遊客之步道，係於噴氣孔下風側，受下降風之影響，雖然採樣點並非位於下降山谷軸心線上，但其硫化氫濃度在離開噴氣孔約10公尺處仍達到1.6ppm。圖十為北風向時之濃度分佈，雖然採樣點位於噴氣孔上風側，但由於受到局部迴流之影響，在噴氣孔上風側約10公尺處，硫化氫濃度仍達到1ppm程度，顯示地形對地熱噴氣產生污染物之濃度分佈影響甚大。

4. 石碇子坪噴氣孔

石碇子坪噴氣孔附近區域之硫化氫濃度如圖十一及圖十二所示。由於主要風向與噴氣孔位置略呈平行，且與山坡走向一致，故採樣點位置分佈皆在採樣點側部，以致在採樣區域，亦即一般遊客可及之處，硫化氫濃度較低，於距離噴氣孔約10公尺處，硫化氫濃度約0.6ppm。風向由北風轉為西北風，對地面硫化氫濃度分佈之影響並不十分顯著。

5. 大油坑噴氣孔

圖十三與圖十四為大油坑噴氣孔附近區域之硫化氫氣體濃度分佈，由於地形之影響，主要風向為與山谷軸向平行之東北風，受地形限制，採樣點位置僅能設置於噴氣孔之上風帶，亦為一般遊客可及之處。雖然採樣點位於噴氣孔之上風側，但由於地形造成局部迴流現象，故在上風側之硫化氫濃度最高仍達0.8ppm，於30公尺外之地區，硫化氫濃度仍維持在0.5~0.6ppm附近，已達到造成嗅覺干擾之程度。

三. 噴氣孔附近地區之二氧化硫濃度分佈特性

依據現場調查測試結果，繪得各噴氣孔附近地區之二氧化硫氣體濃度分佈如圖十五至圖二十四所示。由於二氧化硫並非直接由地熱噴氣孔排放於大氣中，故二氧化硫濃度在噴氣孔附近地區之濃度不如硫化氫濃度高。

1. 大磺嘴噴氣孔

圖十五及圖十六為大磺嘴附近地區之地面二氧化硫濃度分佈。在噴氣孔附近約30公尺

處，二氧化硫濃度約為 $0.2\sim0.3\text{ ppm}$ ，已達到人類嗅覺界限值；於西北邊之公路側，濃度約為 0.1 ppm 。

2. 硫磺谷噴氣孔

硫磺谷噴氣孔附近區域之二氧化硫濃度分佈如圖十七與圖十八所示。距離噴氣孔約30公尺處附近，二氧化硫濃度約 0.5 ppm ，在鄰近道路側，最高可達 0.3 ppm 左右，一般則多低於 0.2 ppm 。

3. 小油坑噴氣孔

圖十九與圖二十分別為小油坑噴氣孔附近地區，於不同風向條件下之二氧化硫濃度分佈現象。在噴氣孔上風地區，二氧化硫濃度較低；但於南風條件下，遊客可及區域之濃度則較高，約為 $0.05\sim0.2\text{ ppm}$ 範圍。

4. 石磺子坪噴氣孔

石磺子坪噴氣孔附近區域之二氧化硫濃度分佈如圖二十一及圖二十二所示，在噴氣孔平行風向側之區域，距離約20公尺處之二氧化硫濃度為 $0.1\sim0.15\text{ ppm}$ ，在50公尺以外區域，二氧化硫濃度則降至 0.05 ppm 以下。

5. 大油坑噴氣孔

由於地形之影響，大油坑噴氣孔上風側10公尺處，二氧化硫濃度約 $0.20\sim0.30\text{ ppm}$ ，如圖二十三與圖二十四所示；於50公尺以外地區，二氧化硫濃度則降至 0.1 ppm 以下。

四. 噴氣孔附近地區之二氧化碳濃度分佈特性

各個噴氣孔附近地區之二氧化碳濃度分佈如圖二十五至圖三十四所示。除大磺嘴噴氣孔附近地區，於第二次測試過程，於接近道路側曾經測得 1000 ppm 二氧化碳濃度以外，其餘各噴氣孔附近地區，於距離噴氣孔約30公尺以外範圍，二氧化碳濃度多已降至 600 ppm 以下，顯示陽明山國家公園範圍內，由於地熱噴氣作用所造成二氧化碳濃度局部增高現象，主要係發生於噴氣孔附近約30公尺以內之範圍，由於其濃度尚未達到於短時間曝露即會造成人員健康威脅之程度，故地熱噴氣之二氧化碳污染影響，顯然低於硫化氫與二氧化硫所可能造成之影響。

五. 陽明山國家公園管理處新建辦公大樓之空氣品質時間變異特性

為瞭解陽明山國家公園範圍內，二氧化硫、硫化氫及二氧化碳氣體濃度隨時間變異之性，乃於陽明山國家公園管理處新建辦公室進行連續三日之測定。所得之各項空氣污染物之逐時平均濃度如圖三十五、圖三十六及圖三十七所示。

硫化氫濃度變化趨勢顯示，於中午時段之濃度顯然高於其它時段之濃度，最高濃度為 0.016ppm ，而上午與夜間之濃度較低，一般多維持在 0.01ppm 以下。與噴氣孔附近地區之硫化氫濃度比較，顯然此處濃度遠低於噴氣孔附近區域。

二氧化硫濃度變化趨勢如圖三十六所示，於早上九點時濃度最高，為 0.011ppm ，其它時段濃度則皆低於 0.01ppm ，顯然辦公大樓新址之二氧化硫污染問題並非十分顯著。

二氧化碳濃度變化趨勢如圖三十七所示，一般多介於 $340\sim 380\text{ppm}$ ，稍高於一般大氣環境中 340ppm 之程度。

伍．地熱噴氣排放空氣污染物對人體健康之影響

依據前述各項空氣污染物濃度測定結果，配合有關污染物濃度對人體危害資料，初步評估地熱噴氣對人體健康之影響。

在噴氣孔附近50公尺以內範圍，硫化氫濃度多維持在1ppm以上，主要問題乃造成嗅覺干擾與惡臭，由於在此區域內，遊客僅作短暫停留，故仍不致造成對人體直接而顯著之危害。在較遠距離處，硫化氫濃度則多低於0.2ppm，已達到可嗅覺之限值，長期曝露是否可能對人體造成危害則仍有待更進一步之研究。

二氧化硫濃度在噴氣孔附近區域多維持在0.2ppm以上，在數十公尺以外地區，一般多在0.05ppm以下。由於遊客在噴氣孔附近區域之停留時間並不長，故應不致有明顯不利之影響；由於在部份噴氣孔約一百多公尺外之距離有民宅，其濃度達0.03ppm以上，是否可能造成長期曝露之影響，則有待深入探討。

噴氣孔附近地區之二氧化碳濃度一般並不很高，因此，地熱噴氣之二氧化碳應不致對人體造成明顯之負面影響。

由於不同空氣污染物同時存在於地熱噴氣孔附近區域之大氣中，可能產生「協力效應」而對人體造成危害，此一問題則有待深入探討，以確保遊客及住民之健康。

陸. 結 論

依據調查分析結果，本研究報告獲致如下結論：

1. 陽明山國家公園範圍之地熱噴氣作用，造成噴氣孔附近地區大氣環境中之硫化氫、二硫化硫及二氧化碳濃度明顯高於一般大氣環境之現象。
2. 噴氣孔附近地區之空氣品質受噴氣量、地形、氣象等因素影響甚大。
3. 在所測定五處地熱噴氣孔之噴氣特性顯示，硫化氫平均排放濃度約5ppm (3~7ppm)。
4. 地熱噴氣孔附近地區之硫化氫濃度，在10公尺距離處約為2.2ppm(0.6~5.4ppm)，受風向、地形影響甚大；在四週道路側之濃度則約為0.2~0.3ppm。
5. 地熱噴氣孔附近區域之二氧化硫濃度，在10公尺距離處約為0.3ppm；在較遠處之道路側，一般多介於0.02~0.05ppm。
6. 二氧化碳濃度在噴氣孔附近約為1000ppm，在30公尺以外區域則多已降至600ppm以下。
7. 以短時間曝露而言，地熱噴氣孔附近區域之各項空氣污染物濃度尚不致對人體造成直接而顯著之危害；以長時間曝露而言，則部份噴氣孔附近區域，大氣中之空氣污染物濃度已達到可能造成慢性危害程度，是否會造成實際影響則尚待更進一步之研究。
8. 經以電化學法測定地熱噴氣，其氰化氫(HCN)之濃度約在數十ppm之間，對人體之危害程度為何，則有待更進一步之研究。

柒. 建議

1. 雖然噴氣孔附近地區空氣品質尚未達到構成對人體造成直接顯著危害之程度，然而為保護遊客之健康，並顧慮患有宿疾或年老體弱遊客之安全，於噴氣孔附近應設警告與說明標幟。
2. 前項警告說明標幟可依不同污染物濃度而設定之。在二氧化硫濃度超過 0.2ppm 之處，或在硫化氫超過 3ppm 之處，應設置警告說明標幟，提示遊客應勿久留。
3. 由於地熱噴氣排放空氣污染物之質、量特性皆十分複雜，在地形、氣象條件影響下，附近地區空氣品質變異甚大。為徹底探討地熱噴氣作用所造成空氣品質與對人體健康之影響，宜進行更周延而深入之研究，有待繼續研究探討之問題包括以下四項：
 - (1) 地熱噴氣特性之研究，包括各項可能存在之危害性物質濃度，及其組成變化現象。
 - (2) 地熱噴氣孔附近地區各項空氣污染物濃度分佈與變異現象之長期監測。
 - (3) 地熱噴氣孔附近地區空氣污染危害評估。
 - (4) 地熱噴氣孔附近地區空氣品質監測與預警系統。

參考文獻

1. 火山奇蹟—陽明山國家公園地形、地質景觀，陽明山國家公園管理處 (七十六年)
2. Bela G. Lipta, K, "Environmental Engineers' handbook", Vol II, Chilton Book Company (1974)
3. 陳瑞雲，許盤銘，"毒物化學"，大行出版社 (六十六年)
4. Esberl. Shaheen, "Environmental Pollution: Awareness and Control", Engineering Technology Inc. (1974)
5. 郎咸白，"空氣污染物之形成與其影響"，環境科學月刊，第二卷，第二期 (七十一年)
6. 施安迪譯，"空氣污染對健康影響之評估"，工業污染防治，第三卷，第三期 (七十三年)
7. 呂明傳，"工業安全與衛生"，正文書局 (七十一年)

硫化氫濃度 (ppm)	對人體之影響
0.2	可感覺微弱臭味
3	有顯著臭味問題
10	8 小時之恕限值
80~120	尚無顯著症狀，可支持約6 小時
150	嗅覺神經麻痺
200~300	臭氣感覺減弱，然而於曝露5~8 分鐘後，眼鼻喉等之粘膜有強烈疼痛感，長時間曝露會引起肺水腫
500~700	曝露半小時至一小時會引起全身症狀，發生亞急性中毒，有生命危險
1000	呼吸系統急速衰竭
5000	即刻死亡

表一 不同濃度硫化氫對人體之影響[3]

二氧化硫濃度 (ppm)	對人體之影響
0.03 (年平均)	美國於1974年公佈之空氣品質標準、植物受慢性傷害
0.037~0.092	加速呼吸、甚者引起肺病
0.11~0.19(24小時平均)	加速金屬腐蝕速率、增加老年人之呼吸疾病
0.19 (24小時平均)	在低濃度微粒物質之條件下即會增加死亡率
0.25 (24小時平均)	在150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 濃度煙霧下將增加死亡率，而且快速地增加疾病患者
0.3 (8小時平均)	可嗅覺、有些樹木將受到傷害
0.52 (24小時平均)	當大氣中有微粒存在，將增加死亡率
3	臭味問題、肺功能輕微受傷害、支氣管痙攣（抽搐）、咳嗽現象產生
20	（可恢復性之）呼吸系統受害
50~100	肺水腫導致肺功能喪失，為最大容許界限
400~500	有生命危險

表二 不同濃度二氧化硫對人體之影響〔5〕

微粒濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	二氧化硫濃度 (ppm)	影 響
75	年平均	美國於1974年公佈之空氣品質標準
150	相對濕度低於70%	視程減少到五哩
100~150		日光減少1/3
80~100	硫酸鹽含量為 $30\text{mg}/\text{cm}^2/\text{月}$	增加死亡率
100~130	當二氧化硫 $>0.05\text{ppm}$	孩童會增加呼吸疾病 之發生率
200		工廠工人易患病，增 加工人缺席率
(24小時平均值)	二氧化硫 $>0.1\text{ppm}$	台灣地區環境空氣品質標準
260		
(24小時平均值)		
300		慢性支氣管炎患者
(24小時平均值)	二氧化硫 $>0.25\text{ppm}$	可能急劇惡化
750	二氧化硫 $>0.27\text{ppm}$	將發生死亡和 疾病
(24小時平均值)		

表三 微粒與二氧化硫協力效應之影響[5]

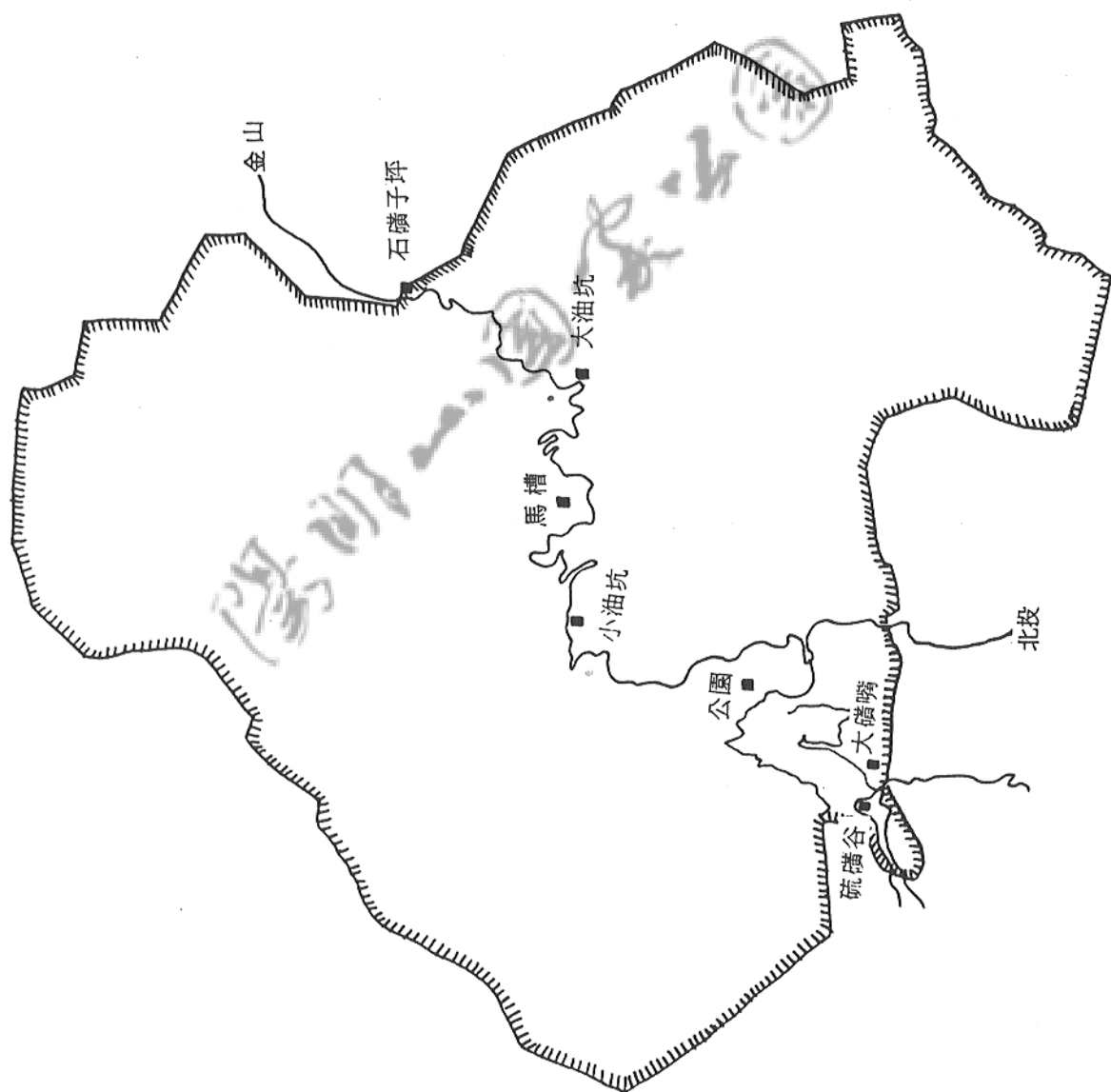
二氧化碳濃度 (%)	對人體之影響
2	呼吸加速
3	肺部之運動量加倍
4.5 - 5.0	呼吸極端費力，嘔吐現象產生。
8.5	無法量測血壓，呼吸困難，肺部充血。
7 - 10	短時間內因窒息導致死亡。

註：1% = 10000 ppm

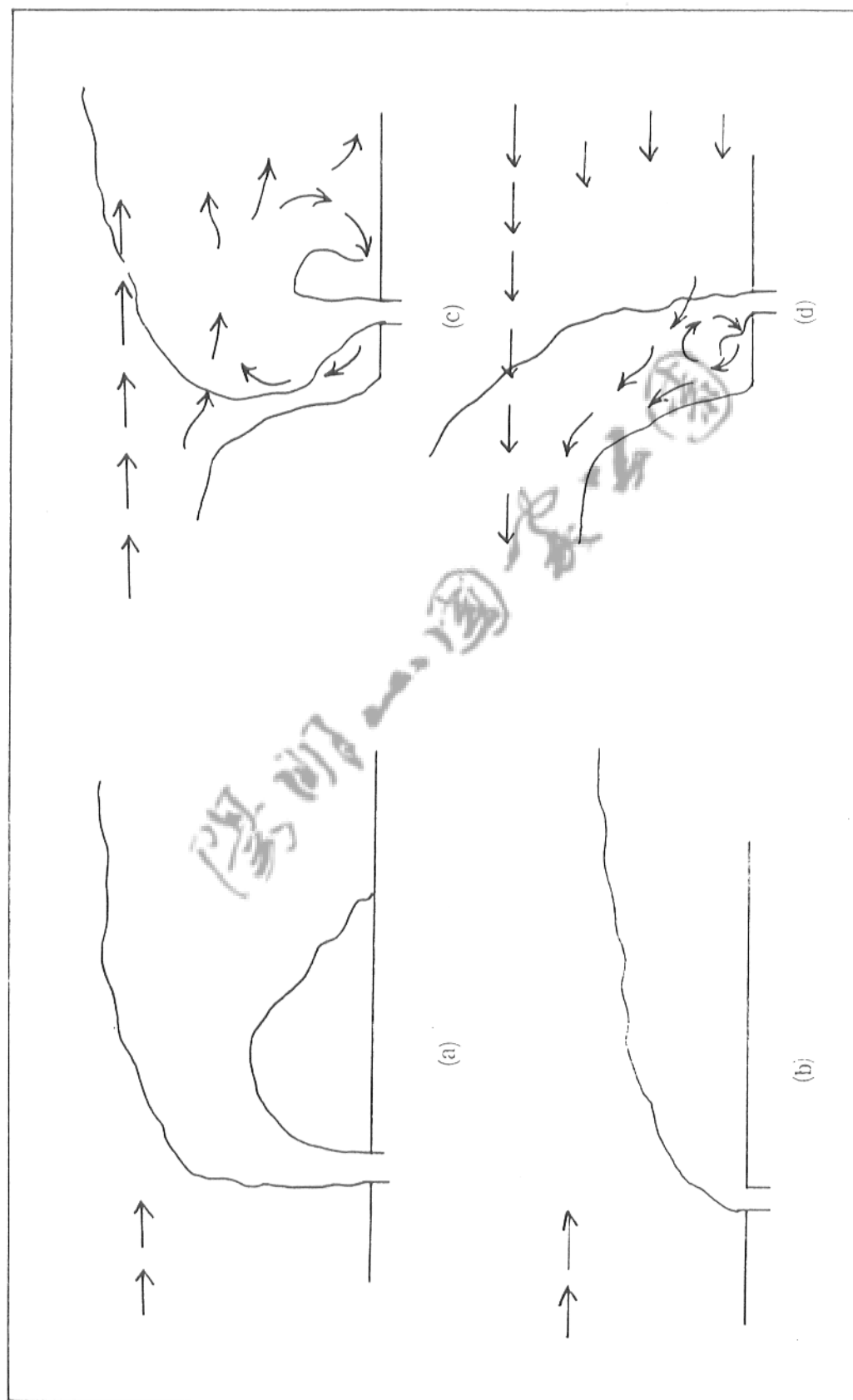
表四 不同濃度二氧化碳對人體之影響

噴氣孔位置	硫化氫氣體濃度 (ppm)
大磺嘴	5
硫磺谷	6
小油坑	4
石磺子坪	3
大油坑	7

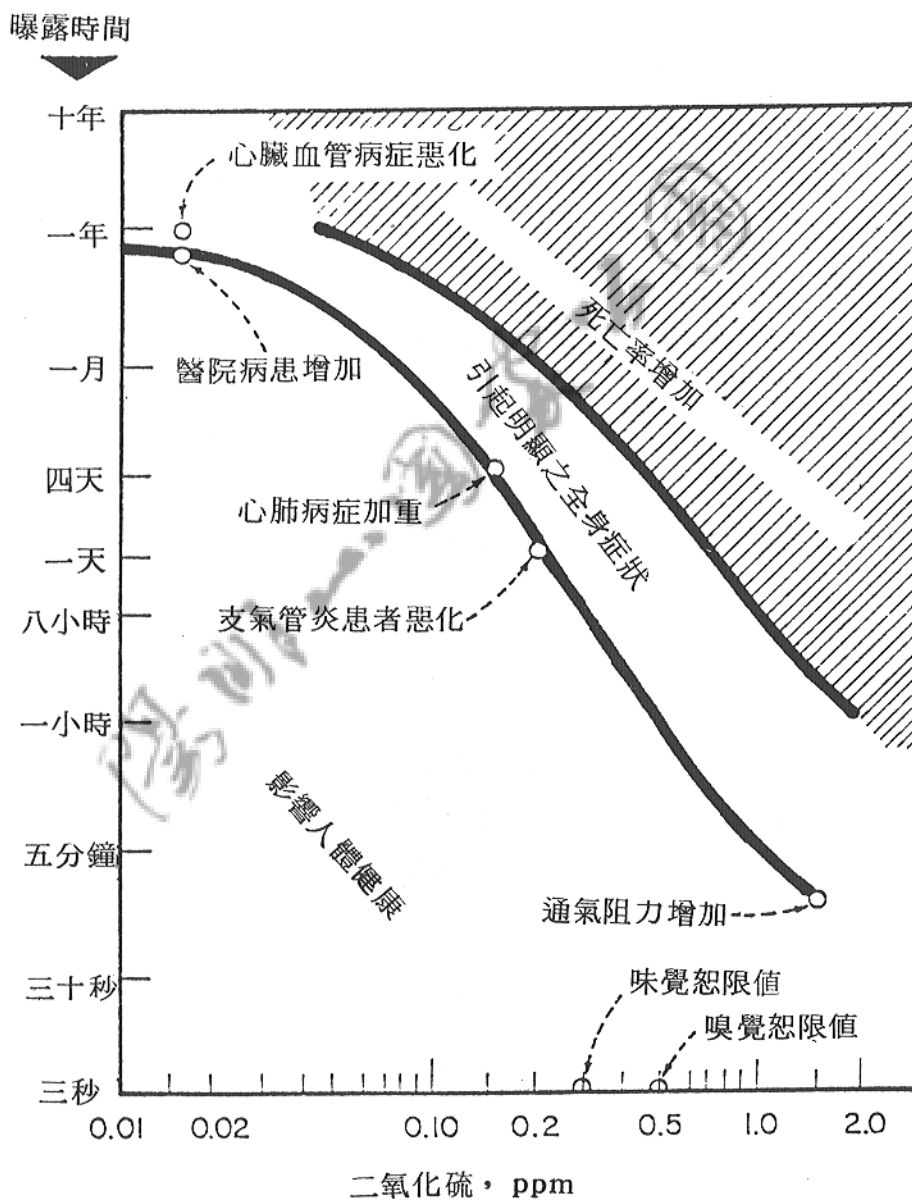
表五 地熱噴氣之硫化氫氣體濃度



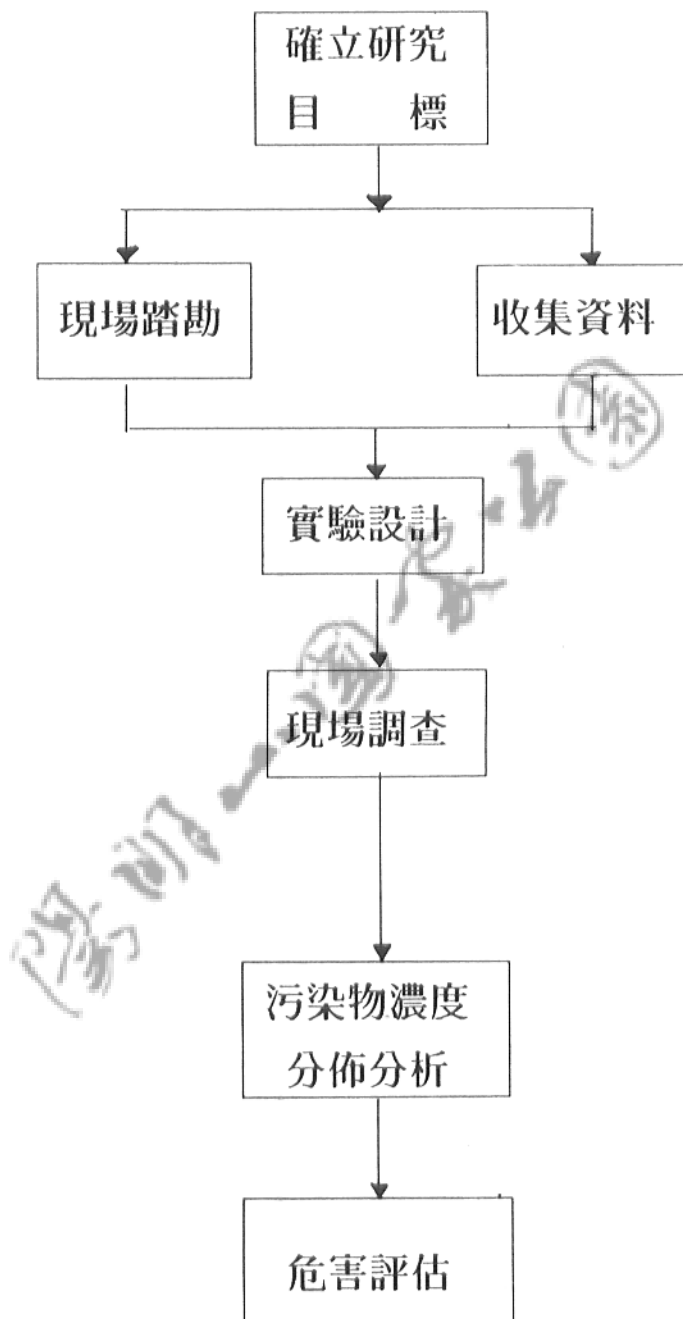
圖一 調查區域示意圖



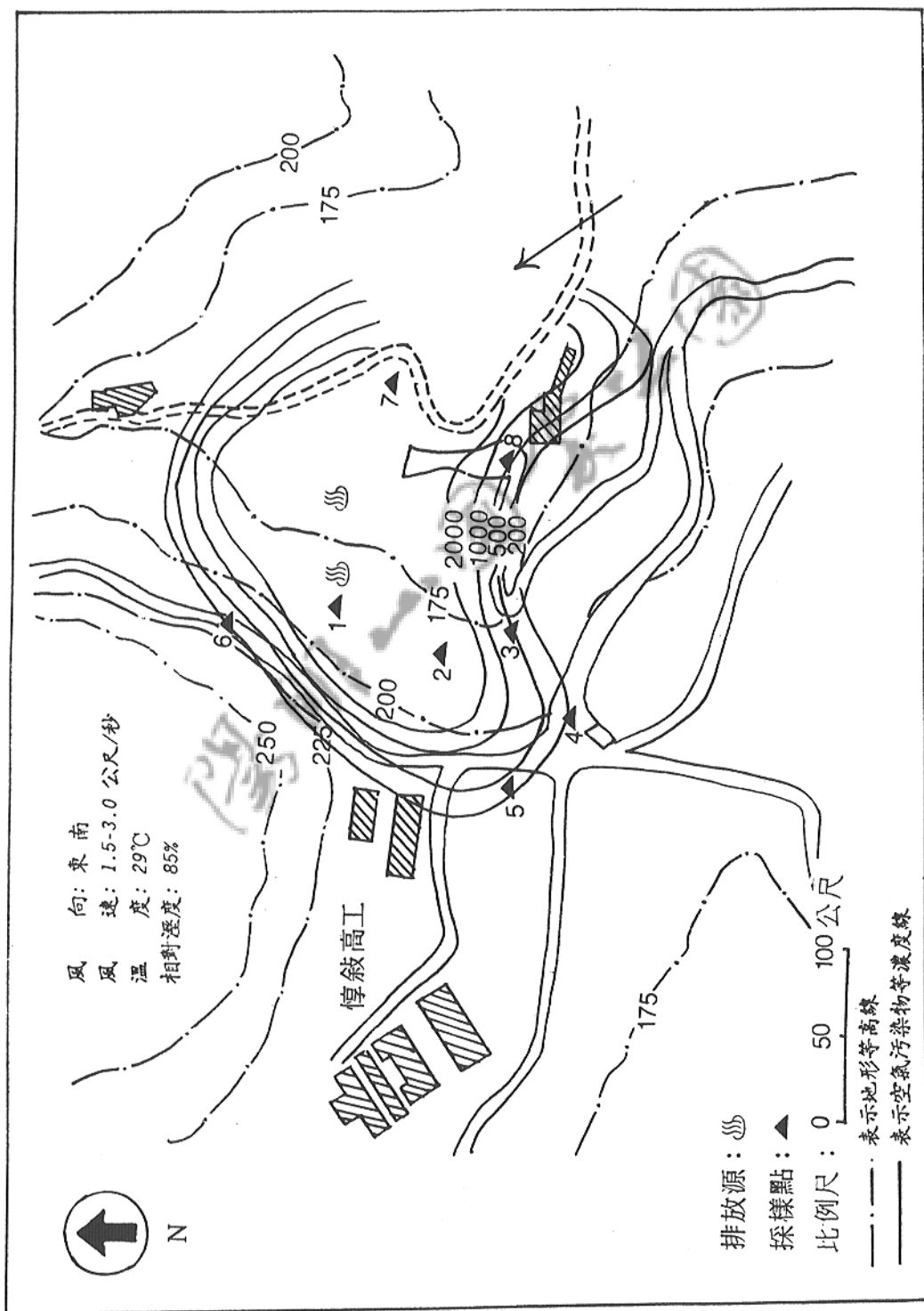
圖二 地形、風向對噴氣煙流擴散之影響



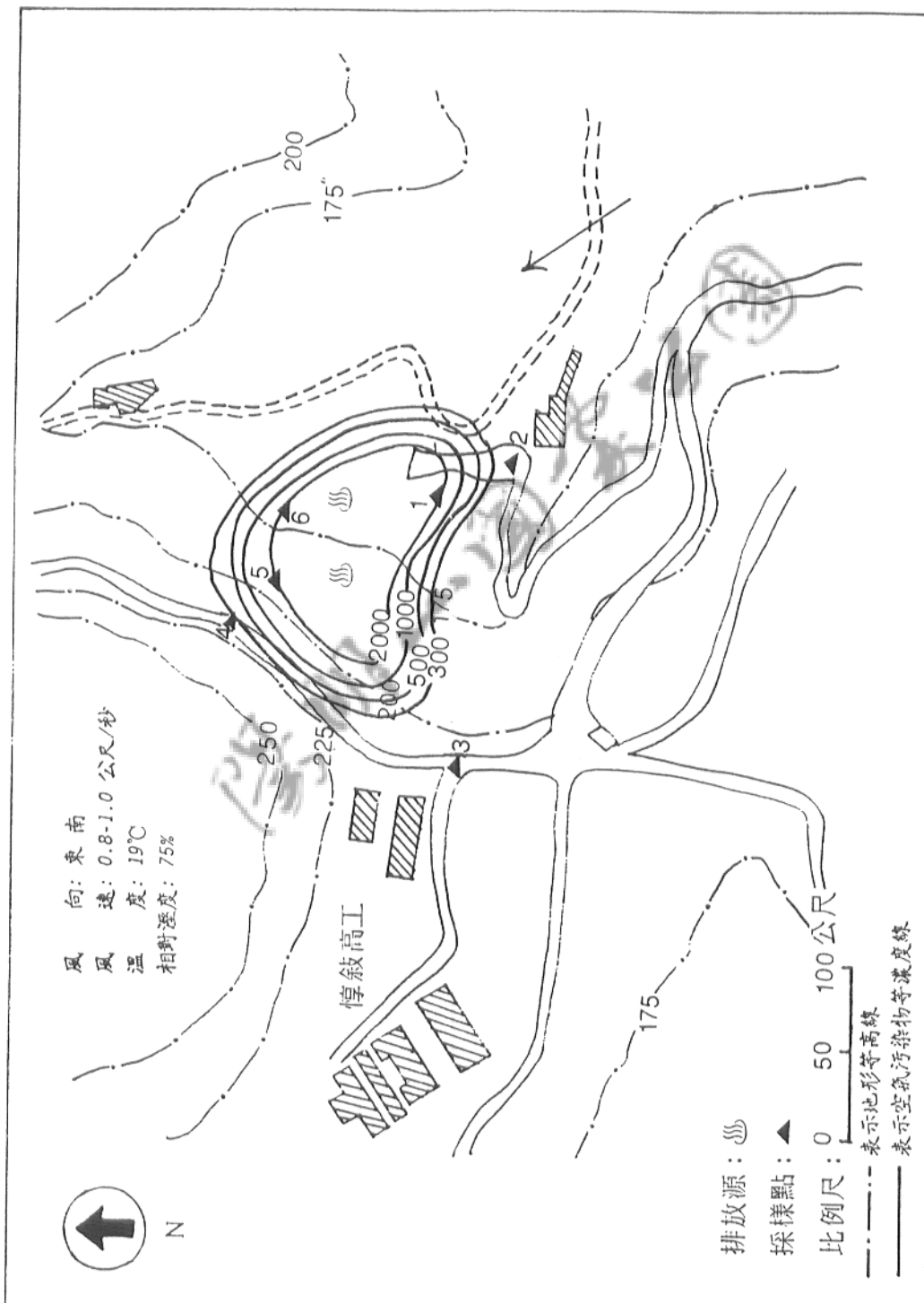
圖三 二氧化硫對人體之危害〔4〕



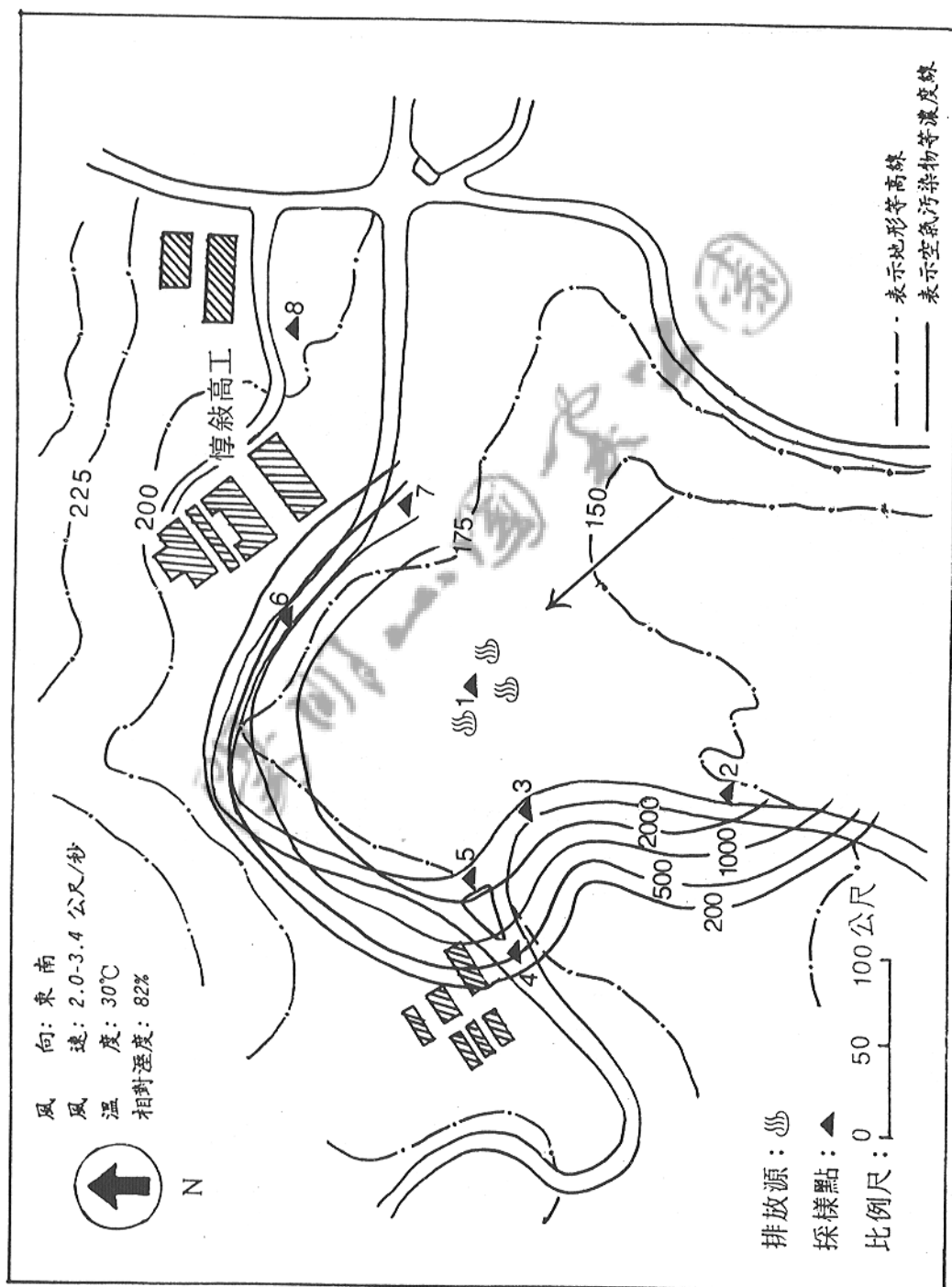
圖四 研究工作流程圖



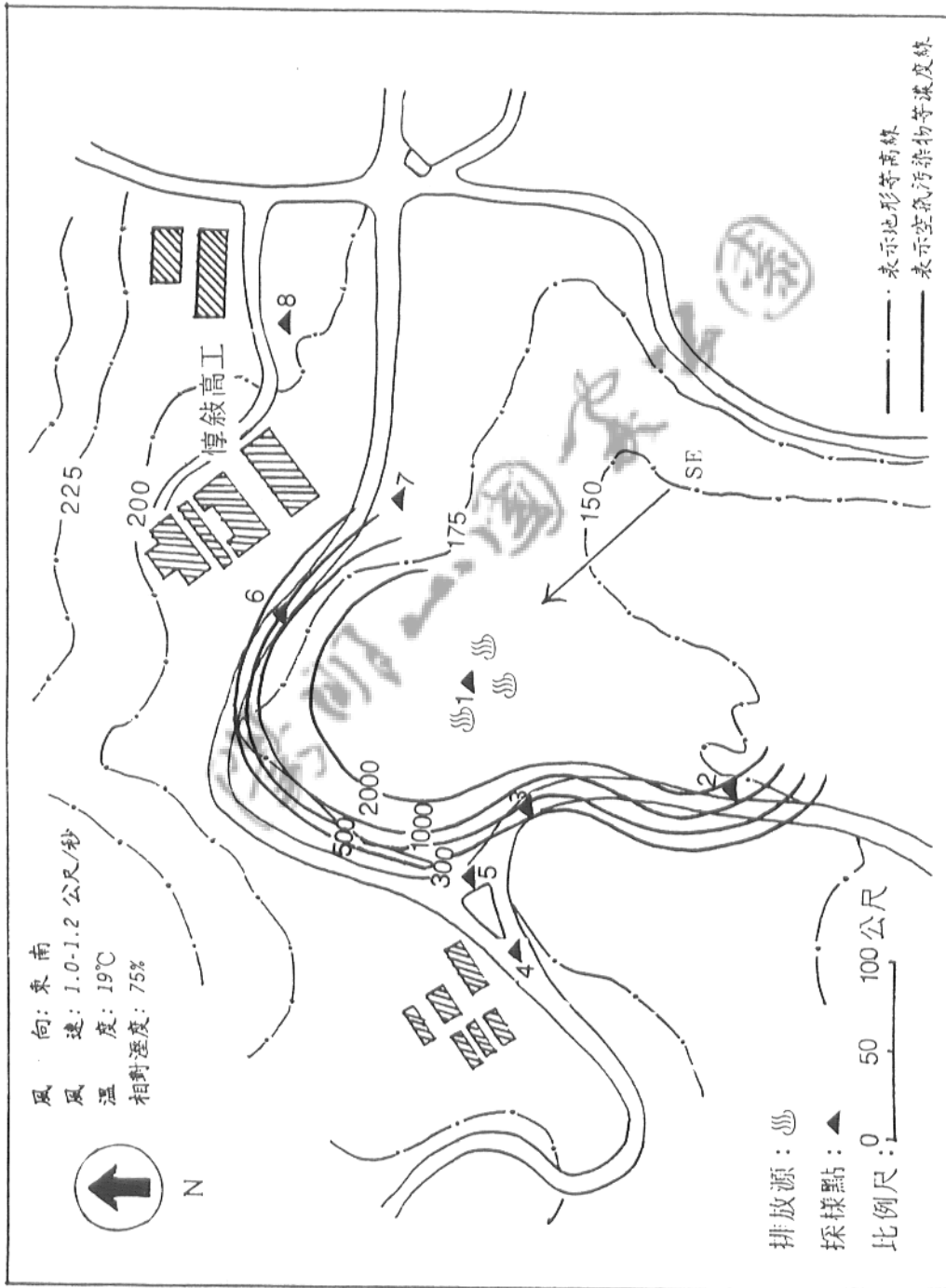
圖五 大礦嘴噴氣孔附近地區秋季之硫化氫等濃度圖 (濃度單位: ppb)



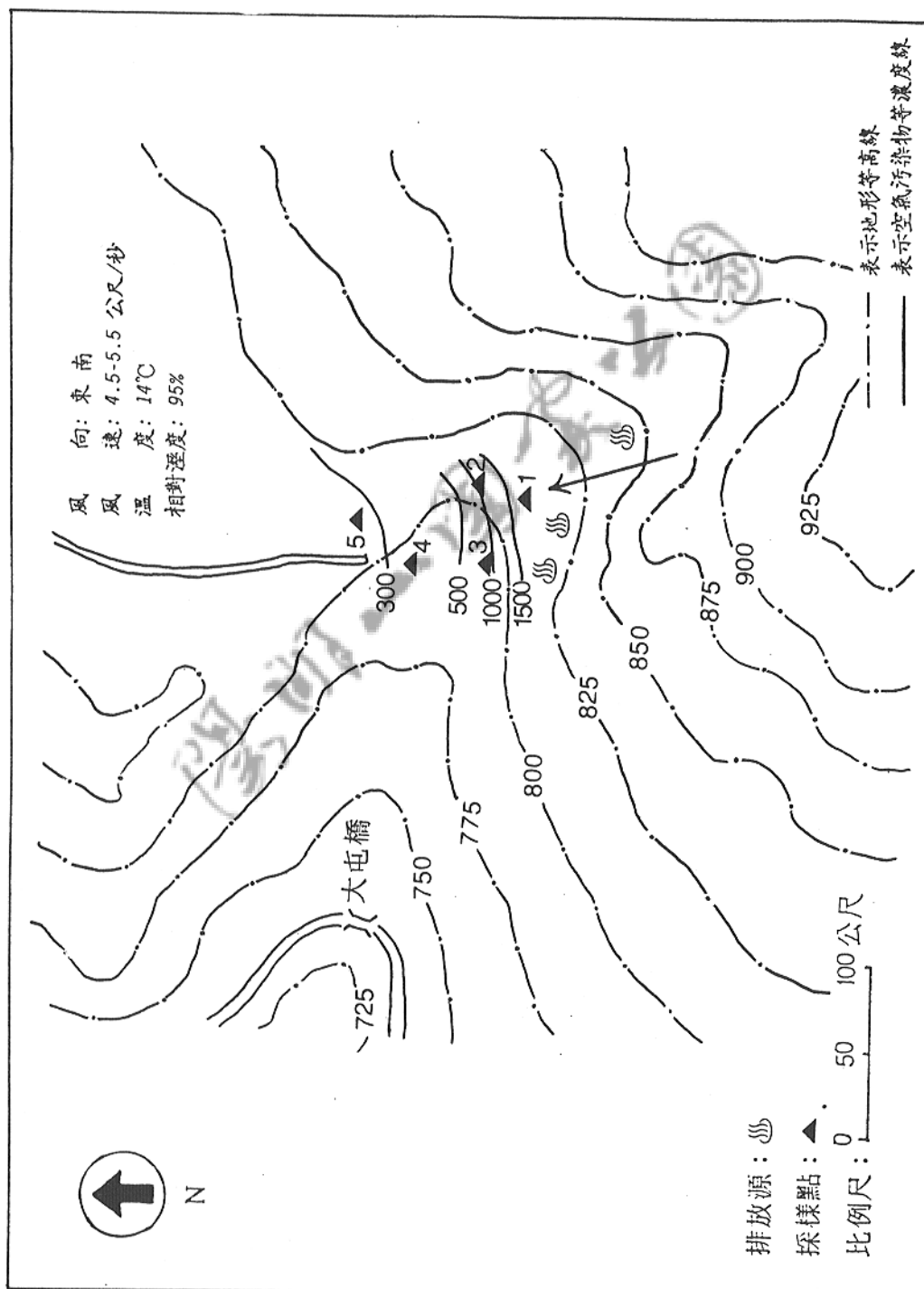
圖六 大磺嘴噴氣孔附近地區冬季之硫化氫等濃度圖 (濃度單位: ppb)



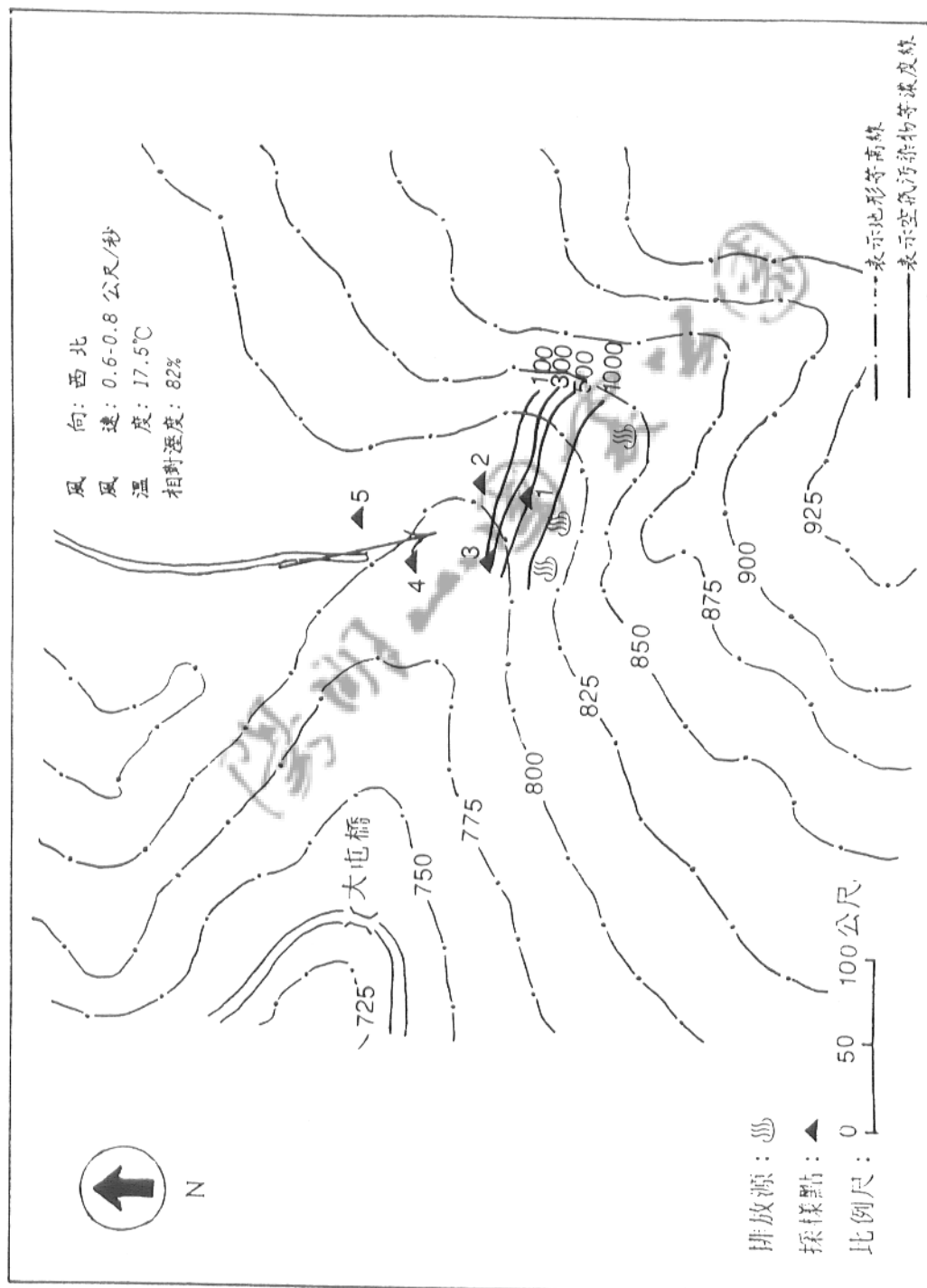
圖七 硫磷谷噴氣孔附近地區秋季之硫化氫等濃度圖（濃度單位：ppb）



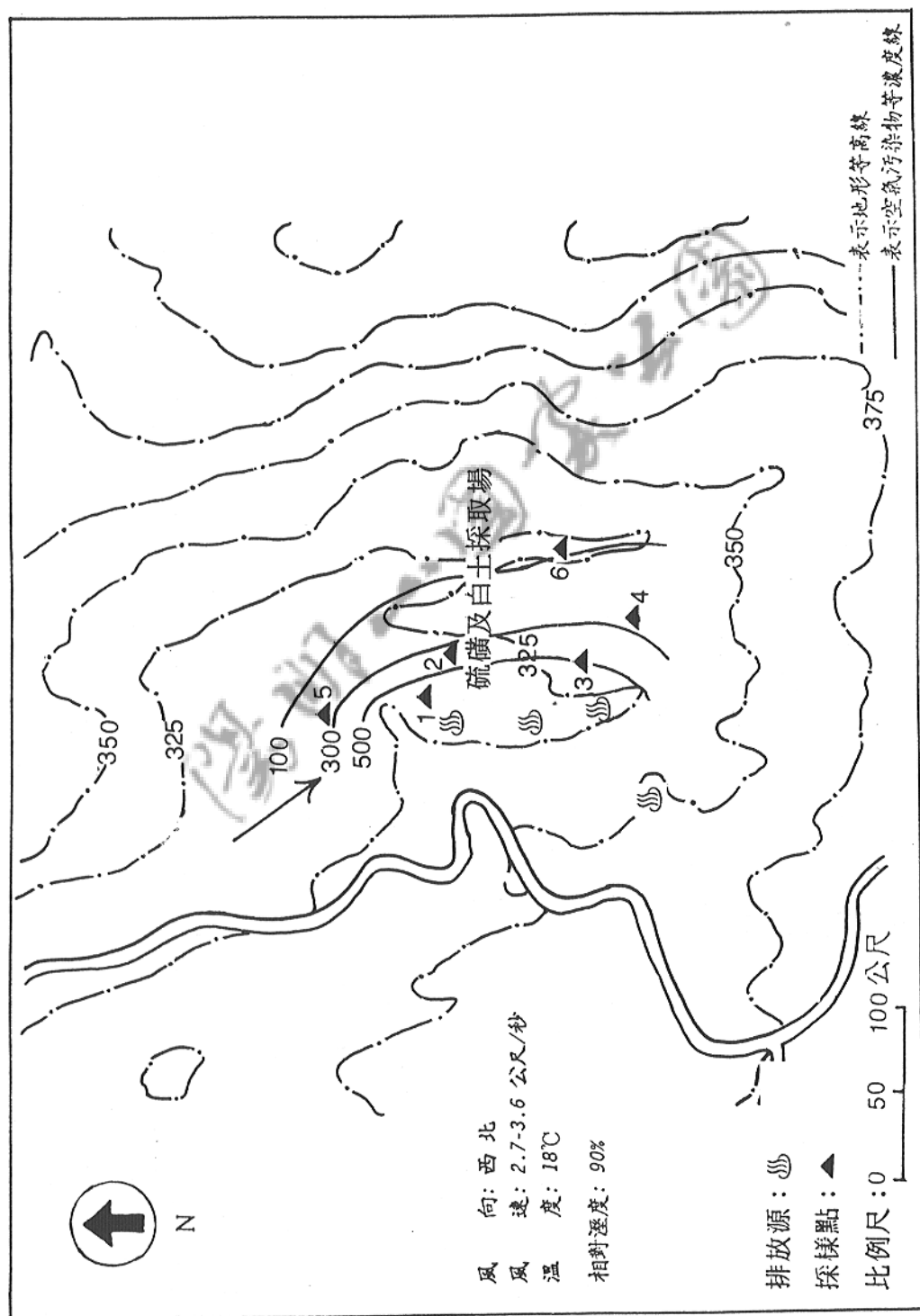
圖八 硫磺谷噴氣孔附近地區冬季之硫化氫等濃度圖 (濃度單位: ppb)



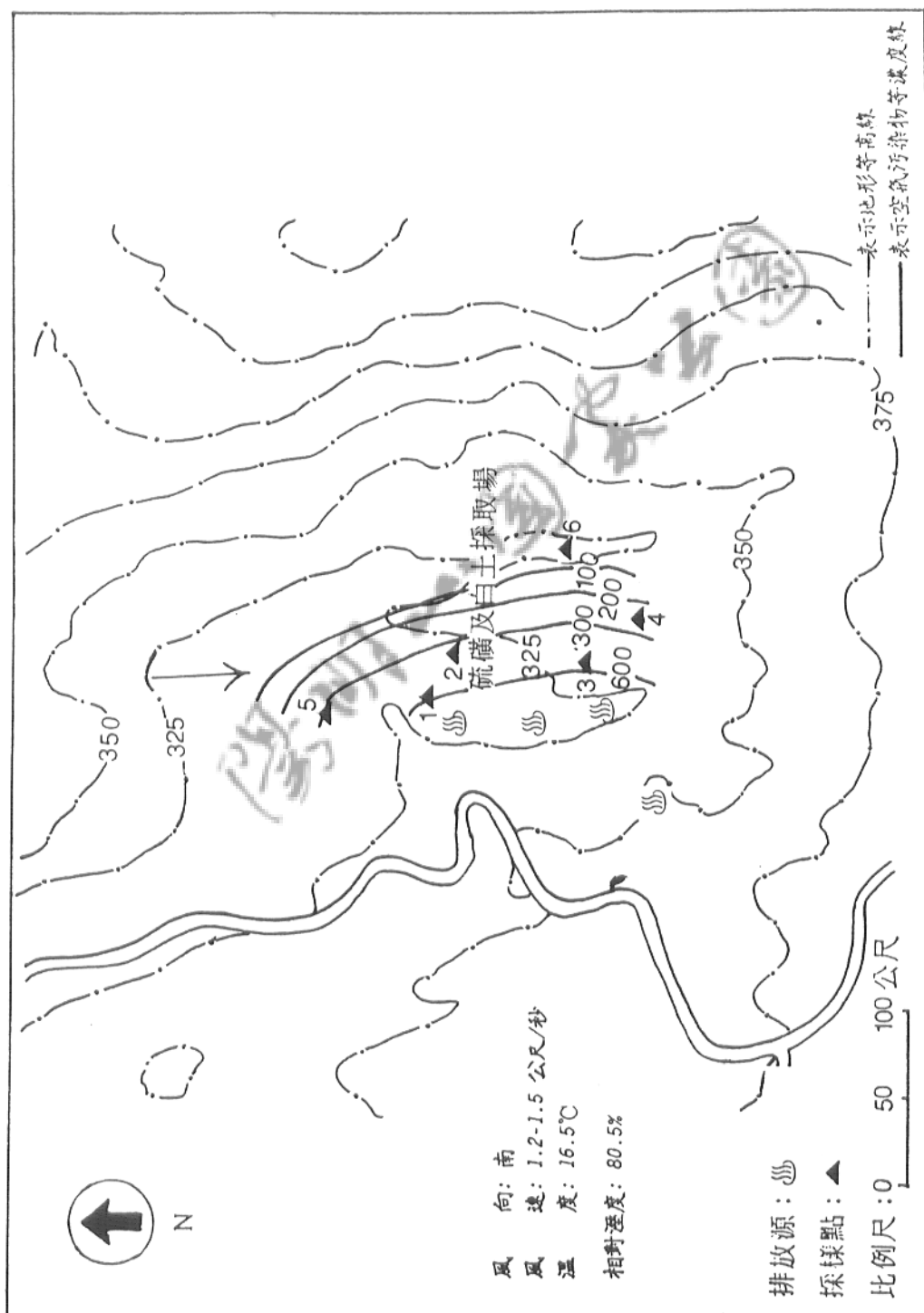
圖九 小油坑噴氣孔附近地區秋季之硫化氫等濃度圖 (濃度單位: ppb)



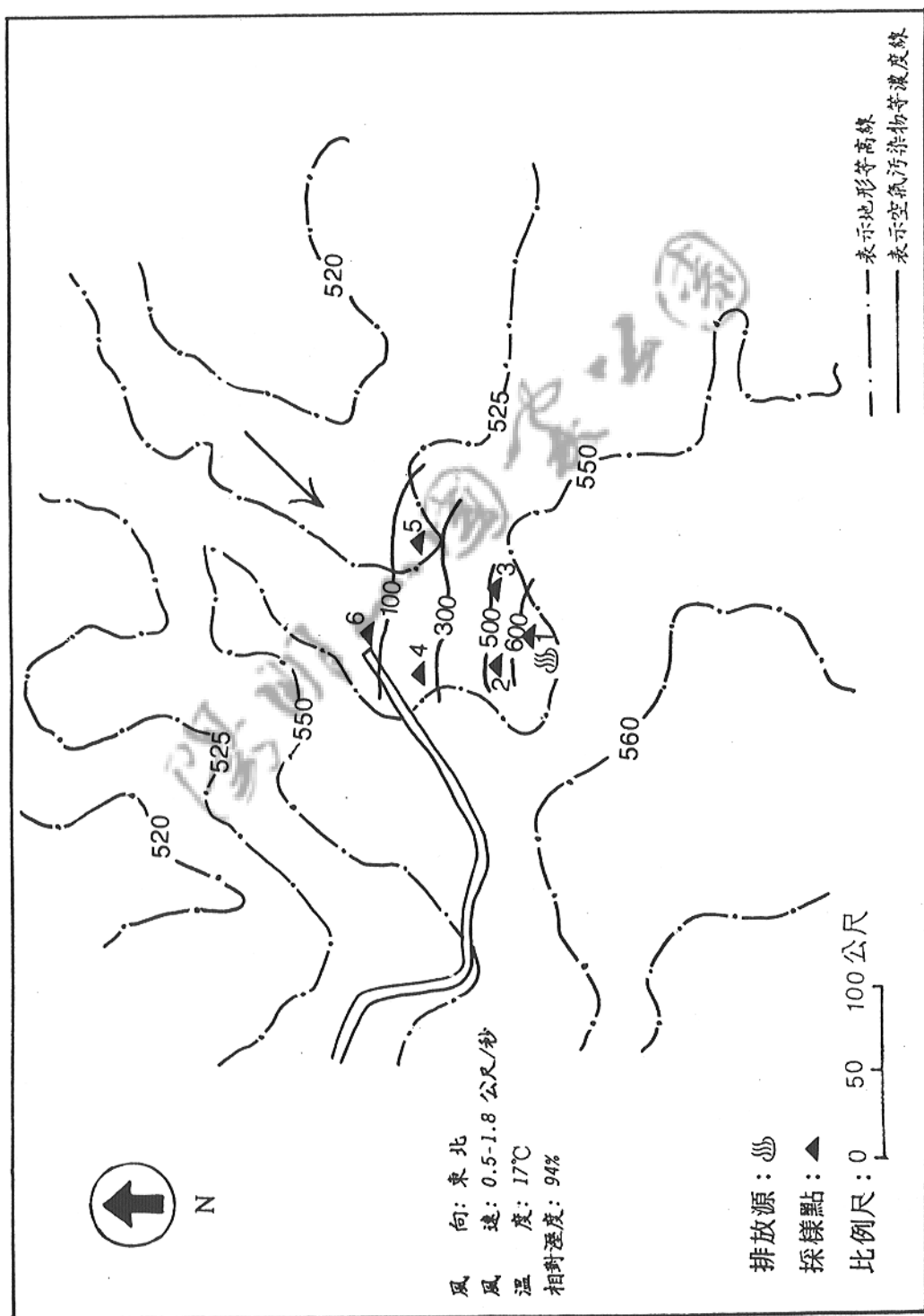
圖十 小油坑噴氣孔附近地區冬季之硫化氫等濃度圖 (濃度單位: ppb)



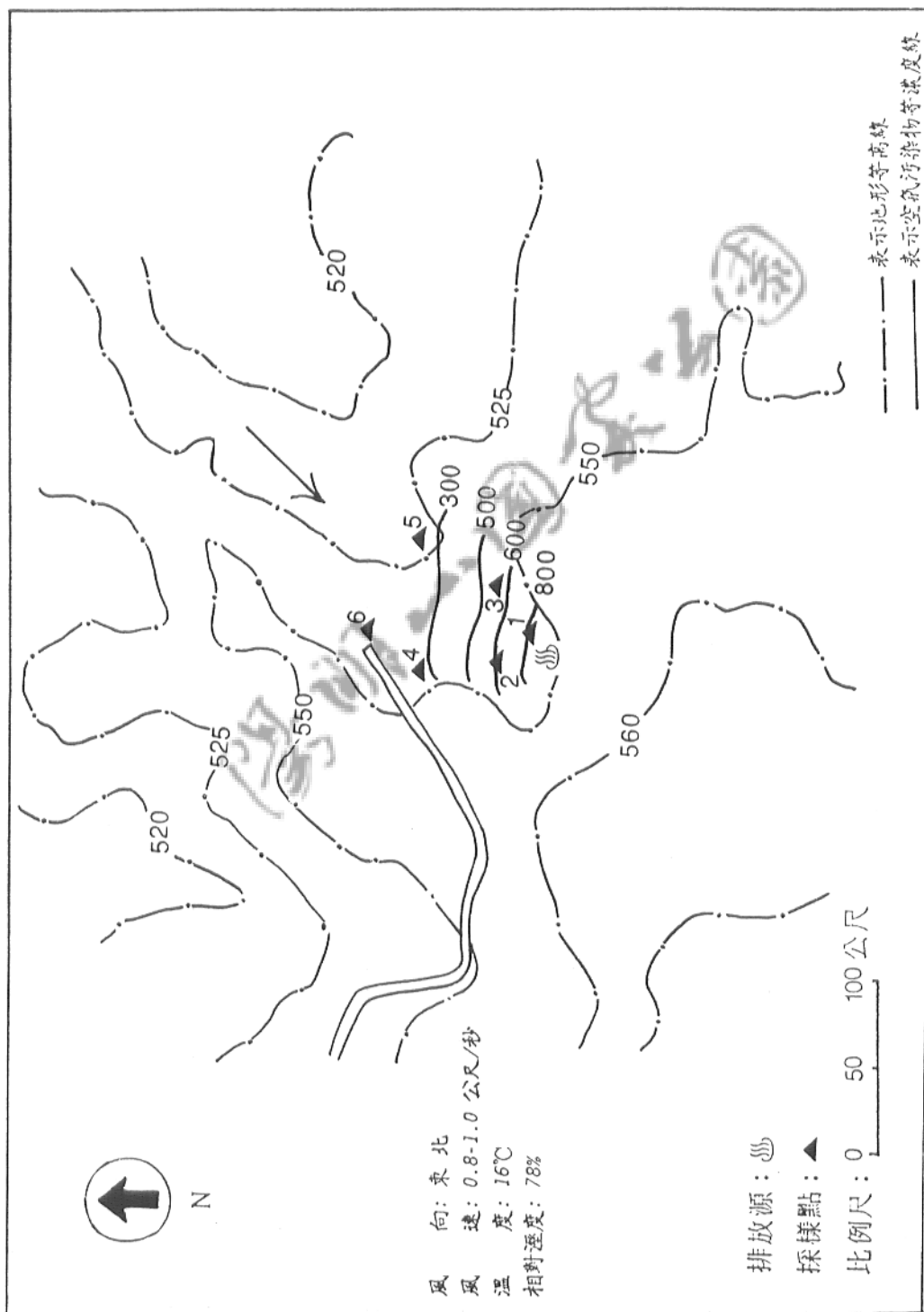
圖十一 石磺子坪噴氣孔附近地區秋季之硫化氫等濃度圖（濃度單位：ppb）



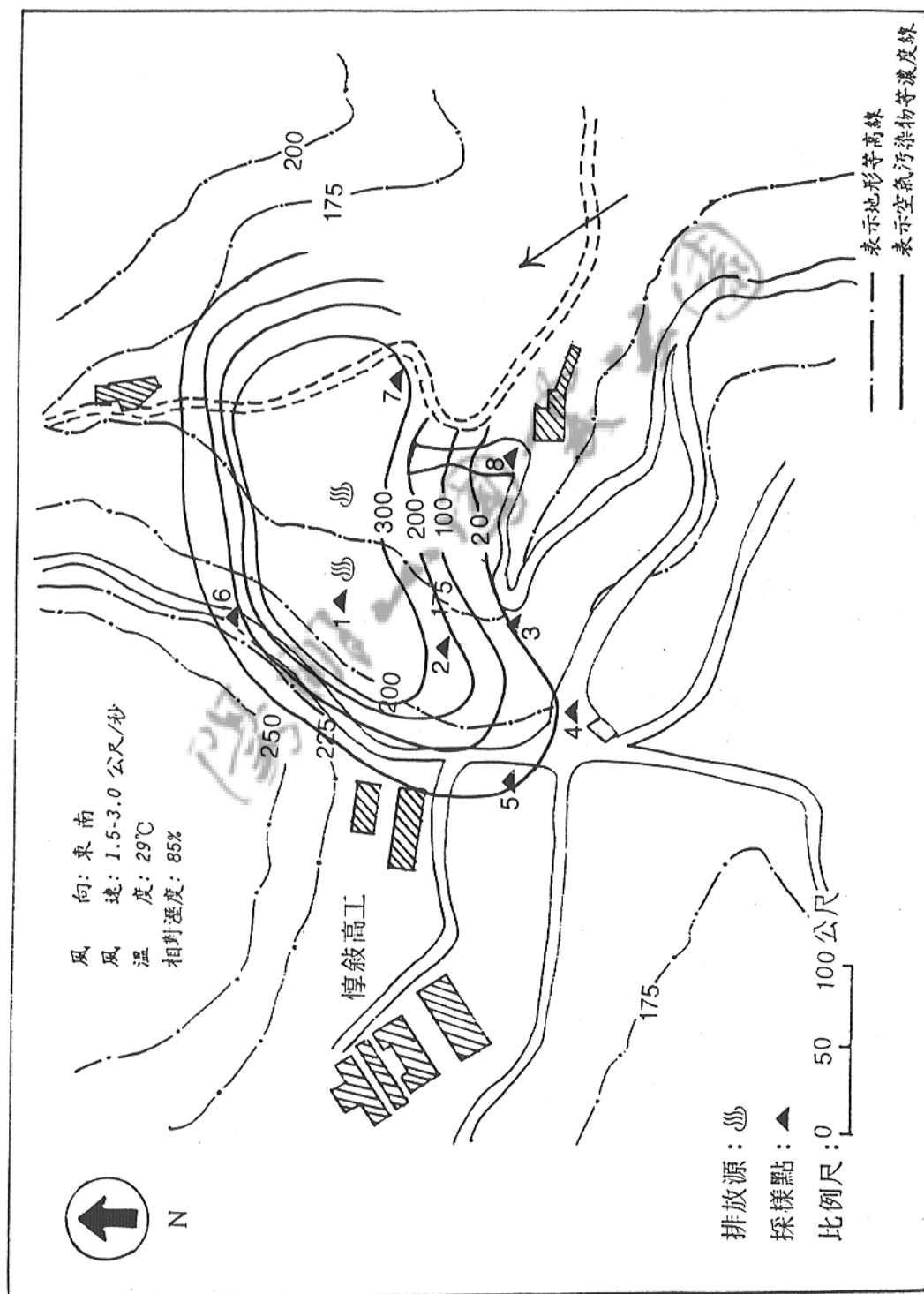
圖十二 石碇子坪噴氣孔附近地區冬季之硫化氫等濃度圖（濃度單位：ppb）



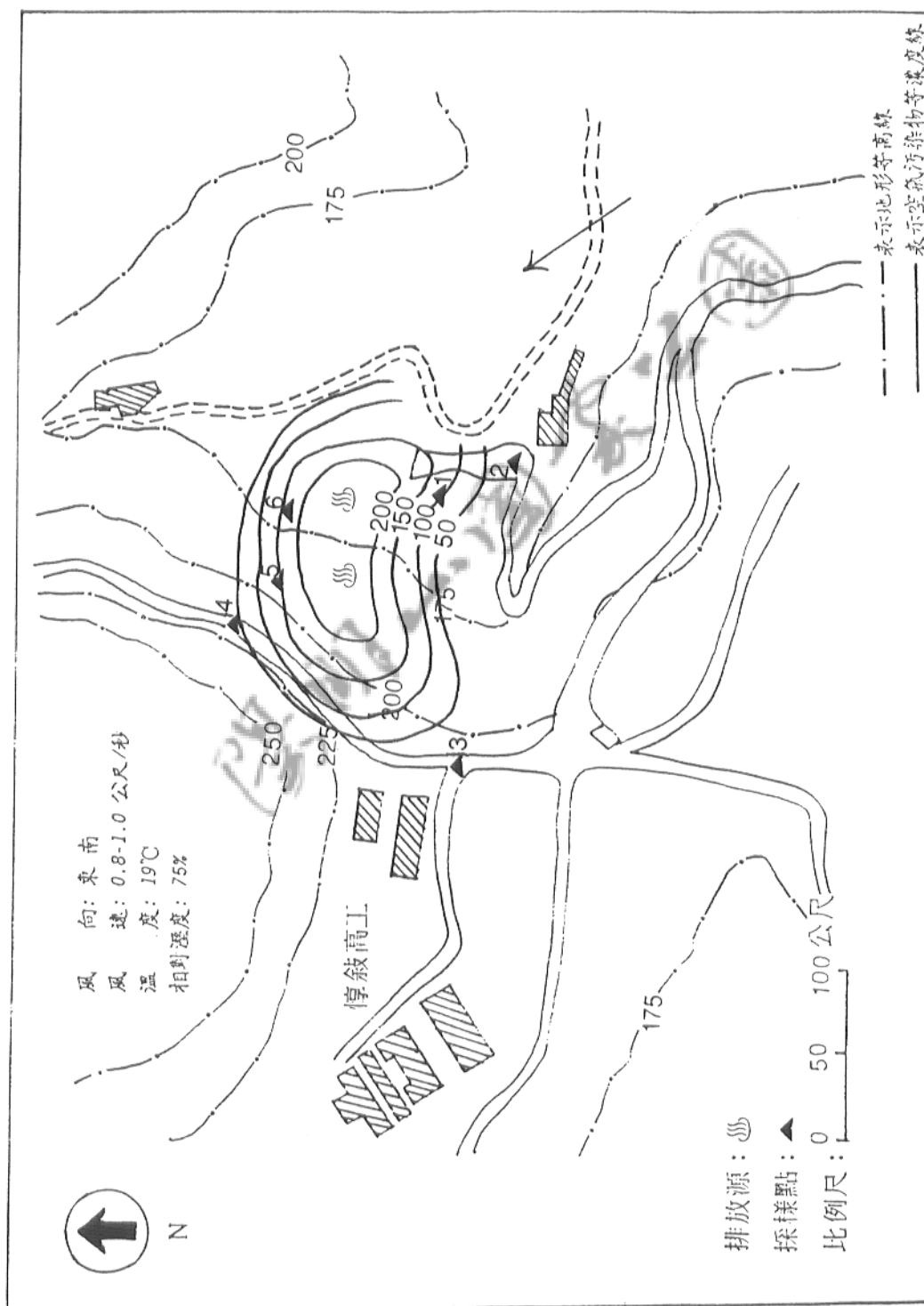
圖十三 大油坑噴氣孔附近地區秋季之硫化氫等濃度圖 (濃度單位: ppb)



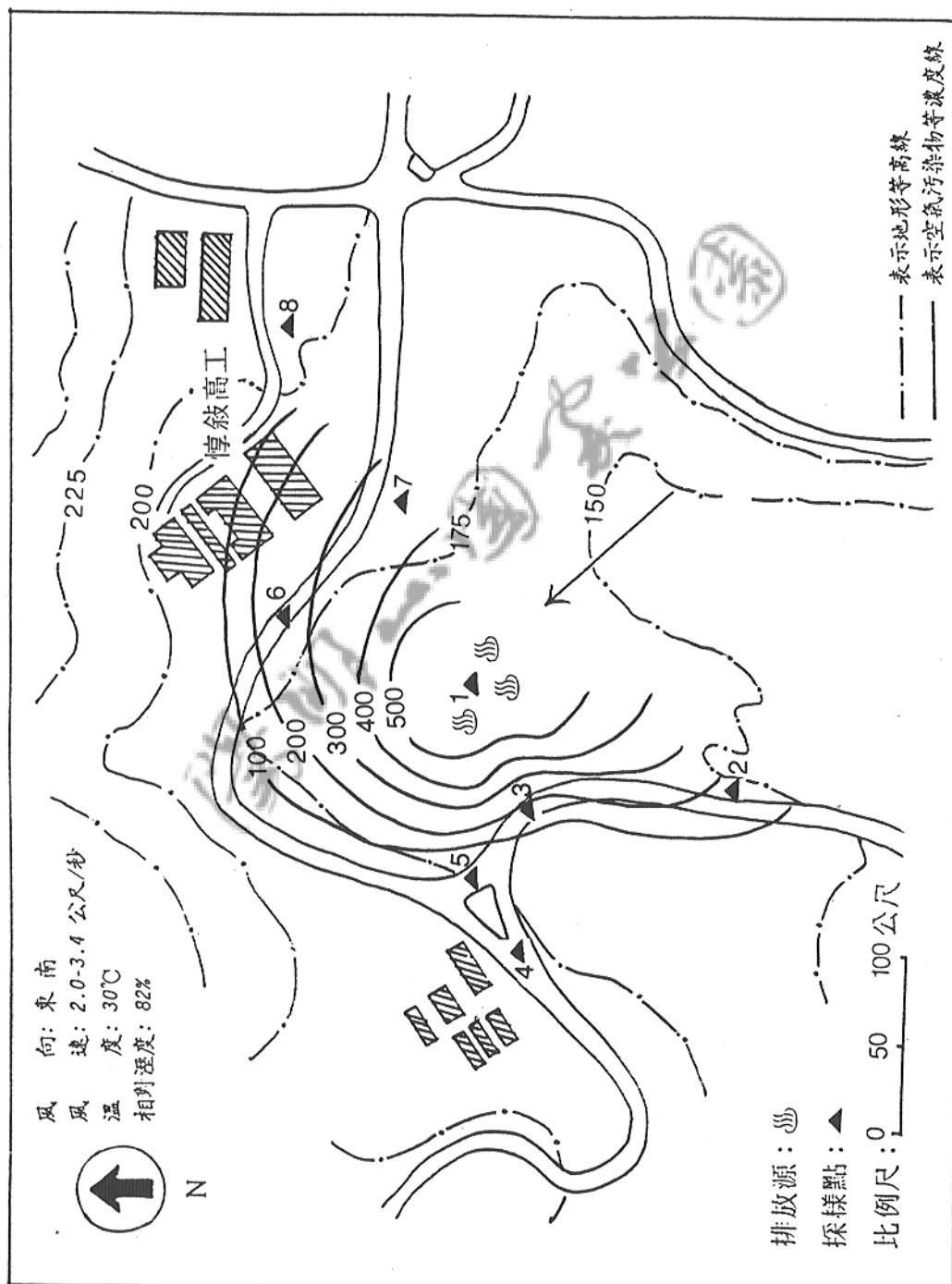
圖十四 大油坑噴氣孔附近地區冬季之硫化氫等濃度圖 (濃度單位: ppb)



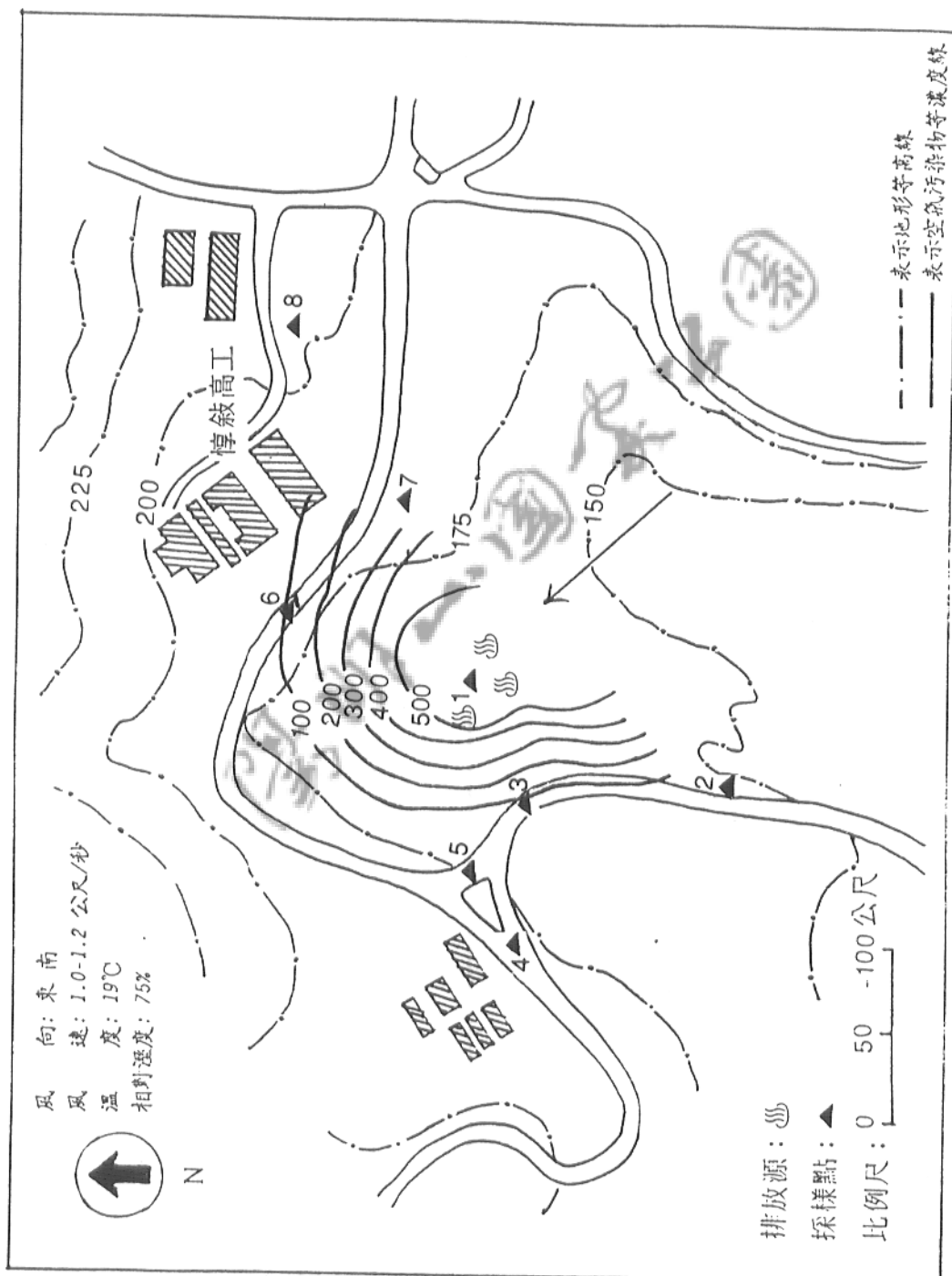
圖十五 大礮嘴噴氣孔附近地區秋季之二氧化硫等濃度圖 (濃度單位: ppb)



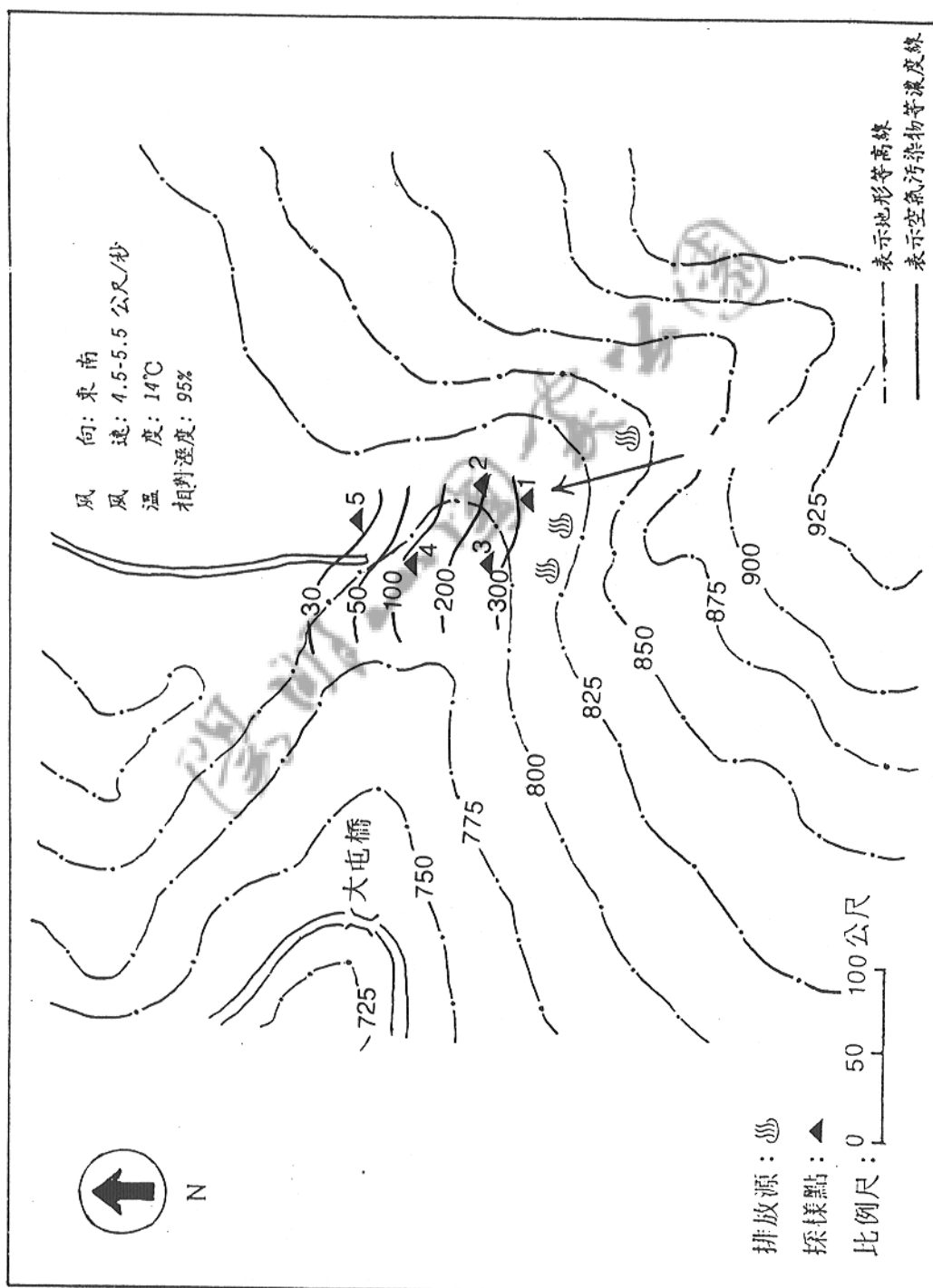
圖十六 大礦嘴噴氣孔附近地區冬季之二氧化硫等濃度圖（濃度單位：ppb）



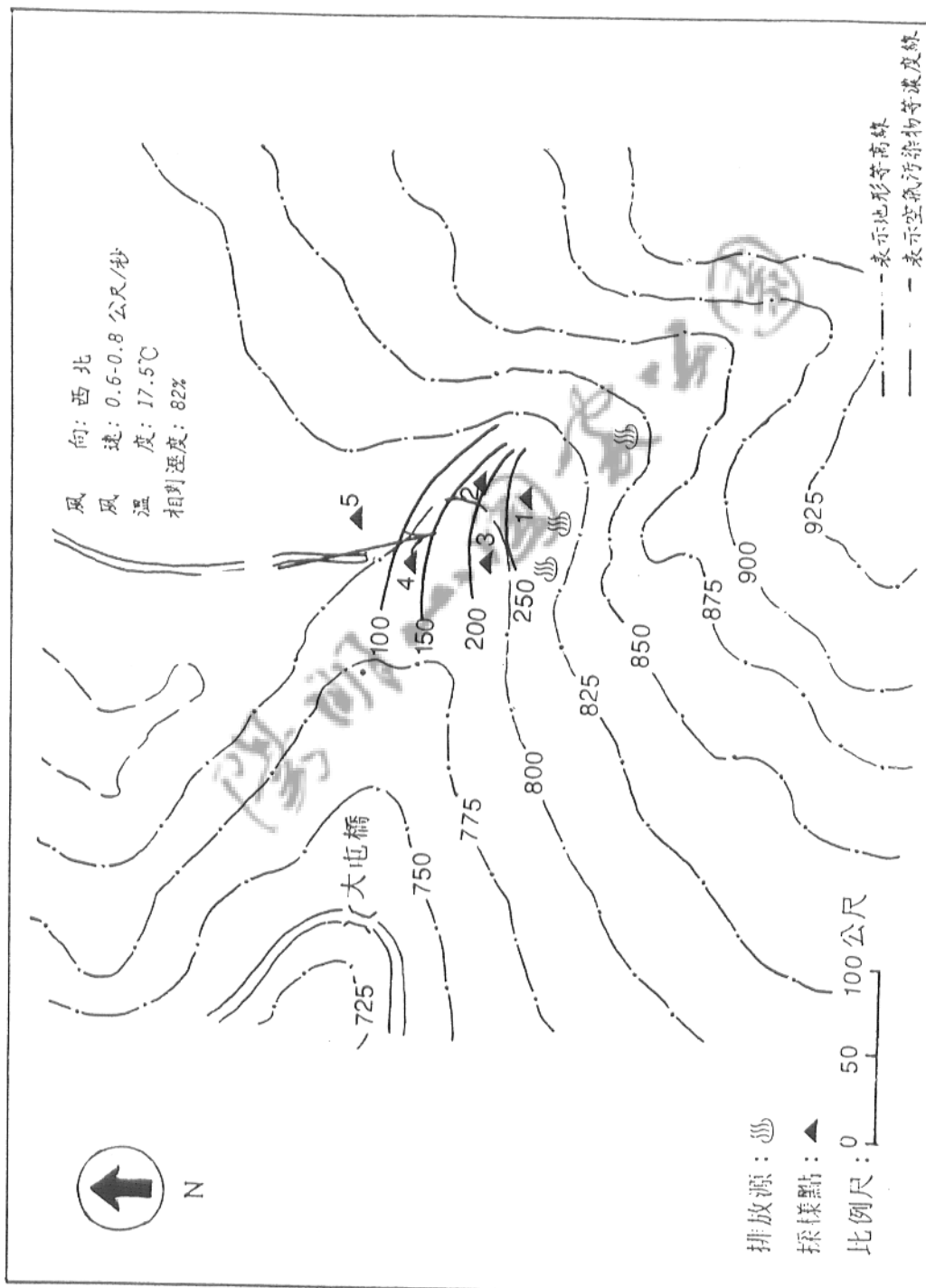
圖十七 硫磺谷噴氣孔附近地區秋季之二氧化硫等濃度圖（濃度單位：ppb）



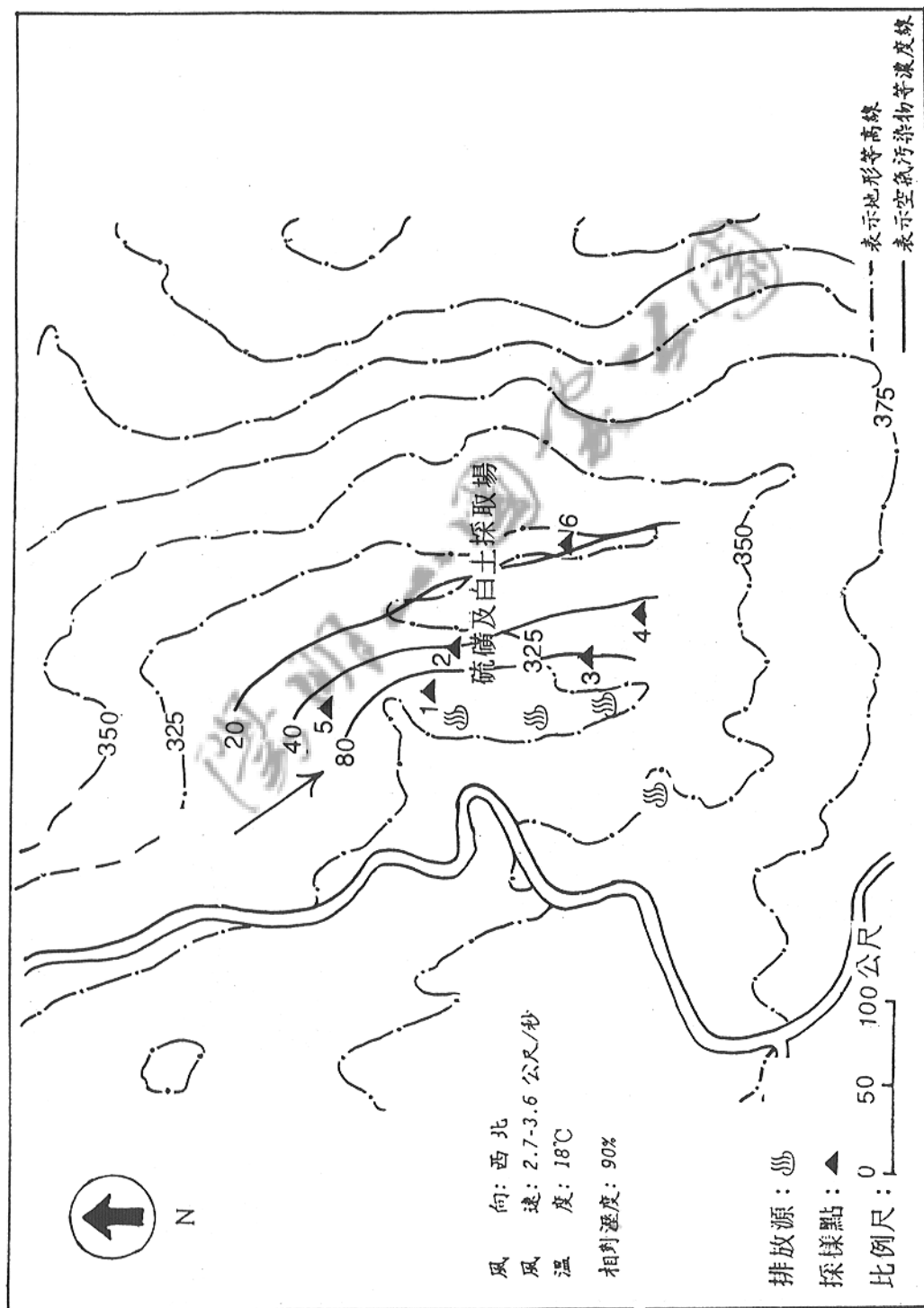
圖十八 硫磺谷噴氣孔附近地區冬季之二氧化硫等濃度圖（濃度單位：ppb）



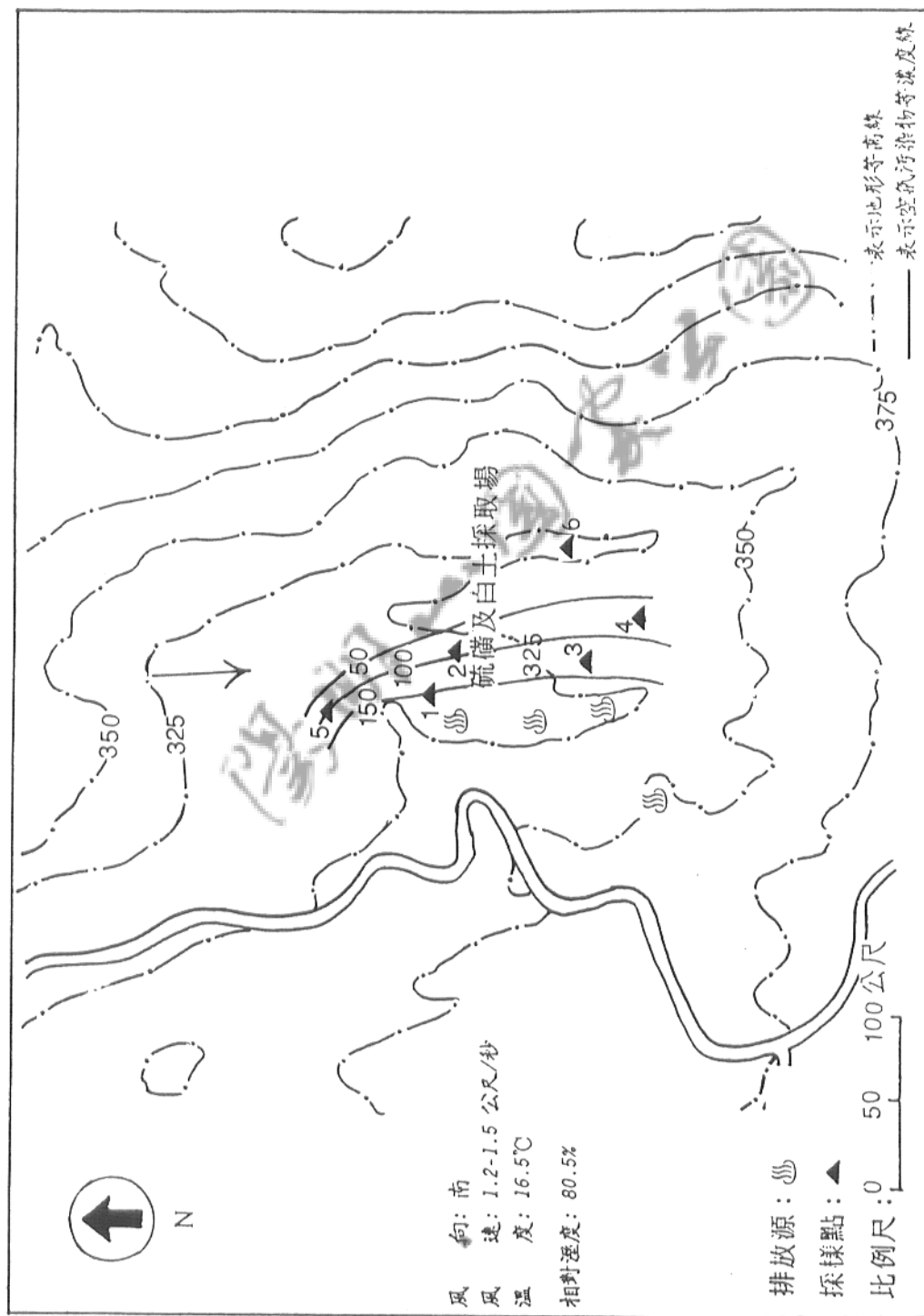
圖十九 小油坑噴氣孔附近地區秋季之二氧化硫等濃度圖（濃度單位：ppb）



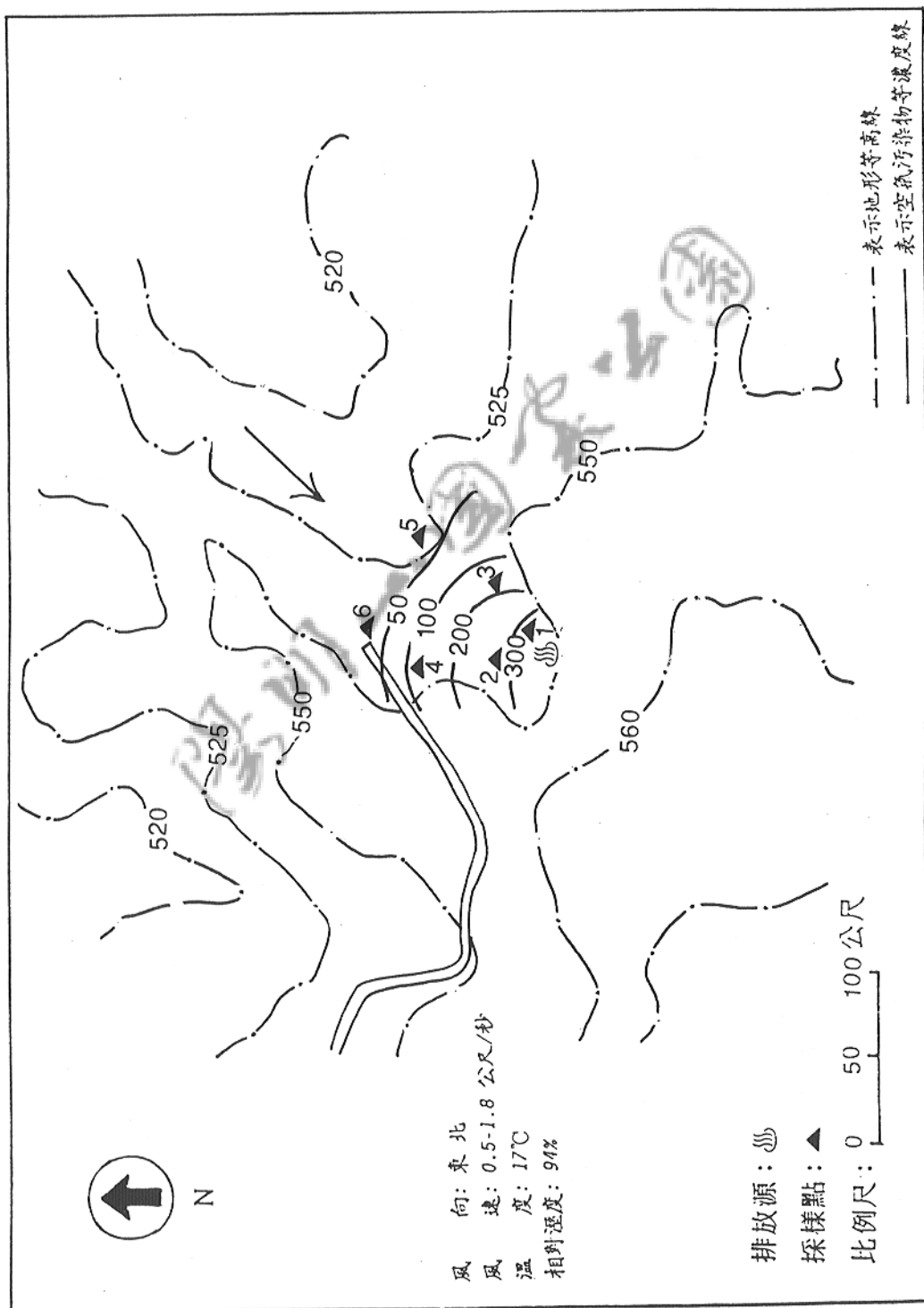
圖二十 小油坑噴氣孔附近地區冬季之二氧化硫等濃度圖（濃度單位：ppb）



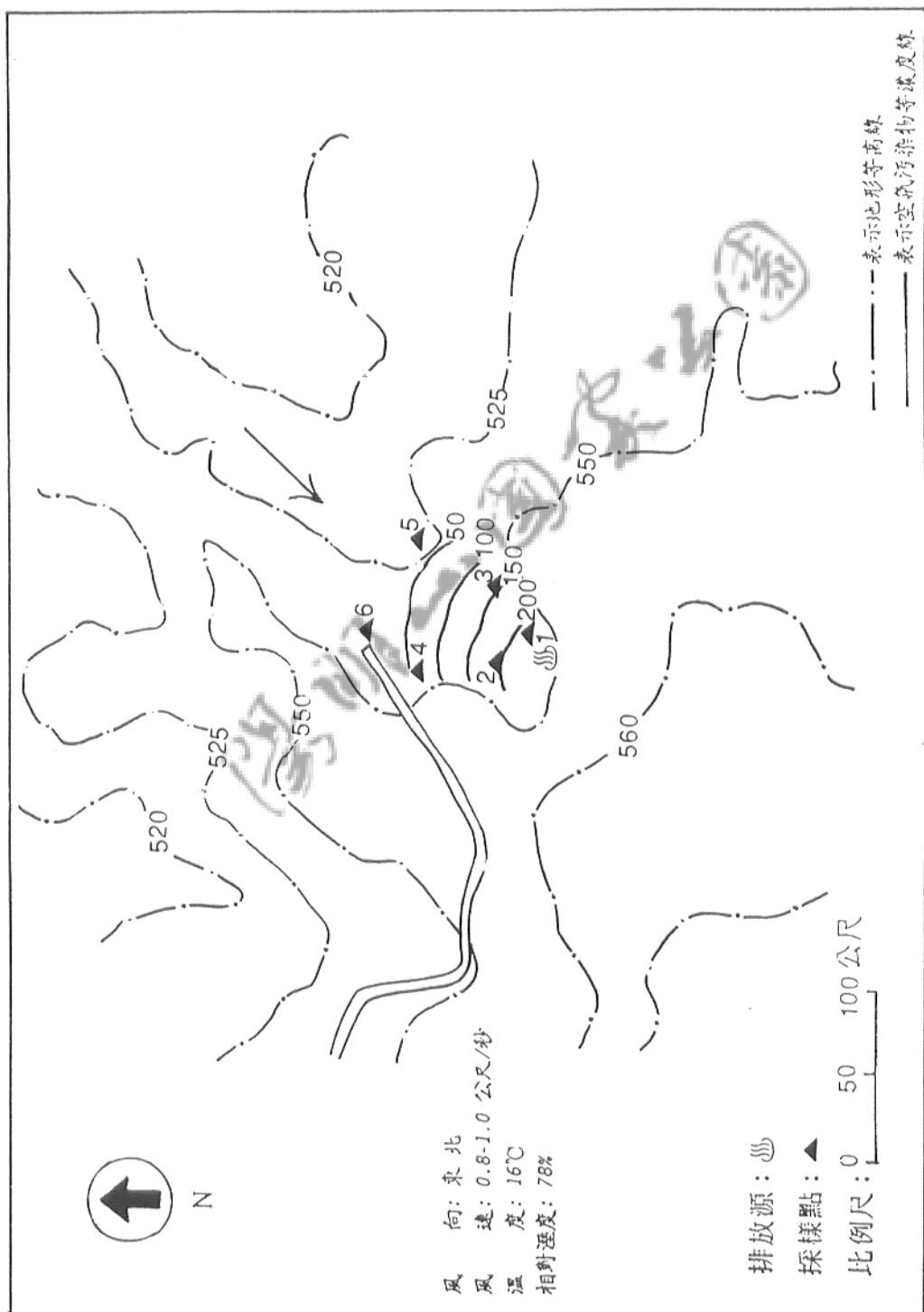
圖二十一 石磺子坪噴氣孔附近地區秋季之二氧化硫等濃度圖（濃度單位：ppb）



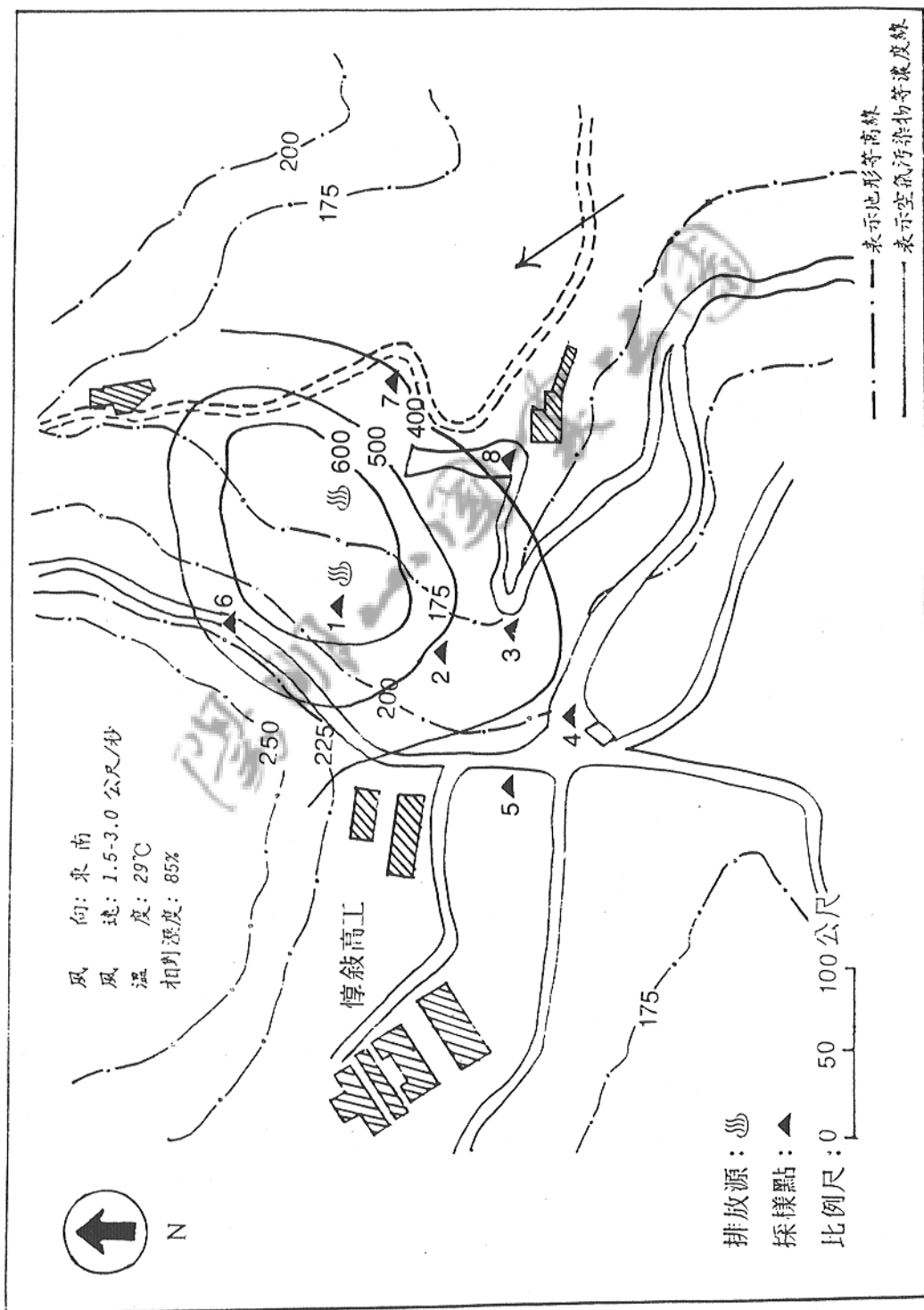
圖二十二 石磺子坪噴氣孔附近地區冬季之二氧化硫等濃度圖 (濃度單位: ppb)



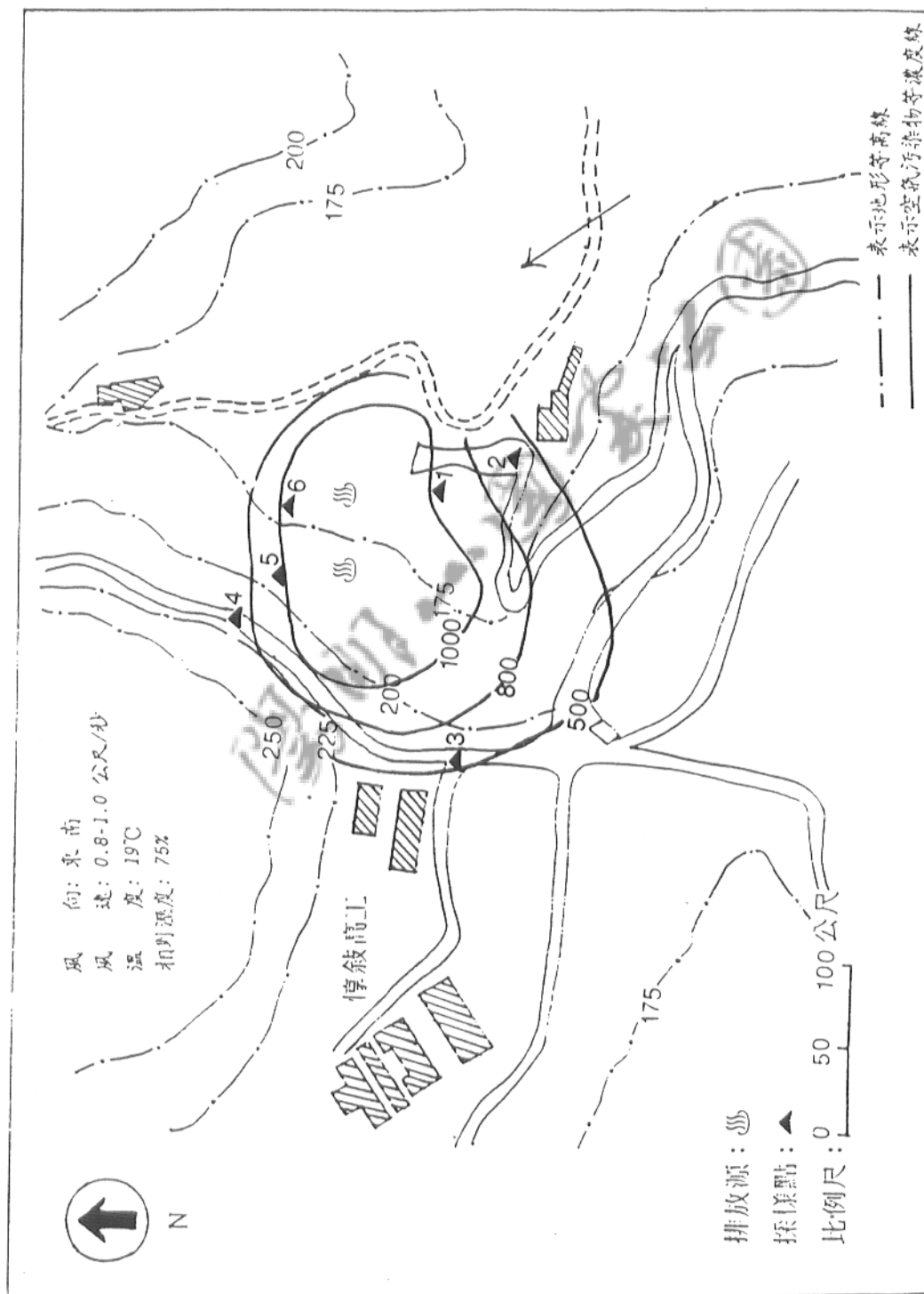
圖二十三 大油坑噴氣孔附近地區秋季之二氧化硫等濃度圖（濃度單位：ppb）



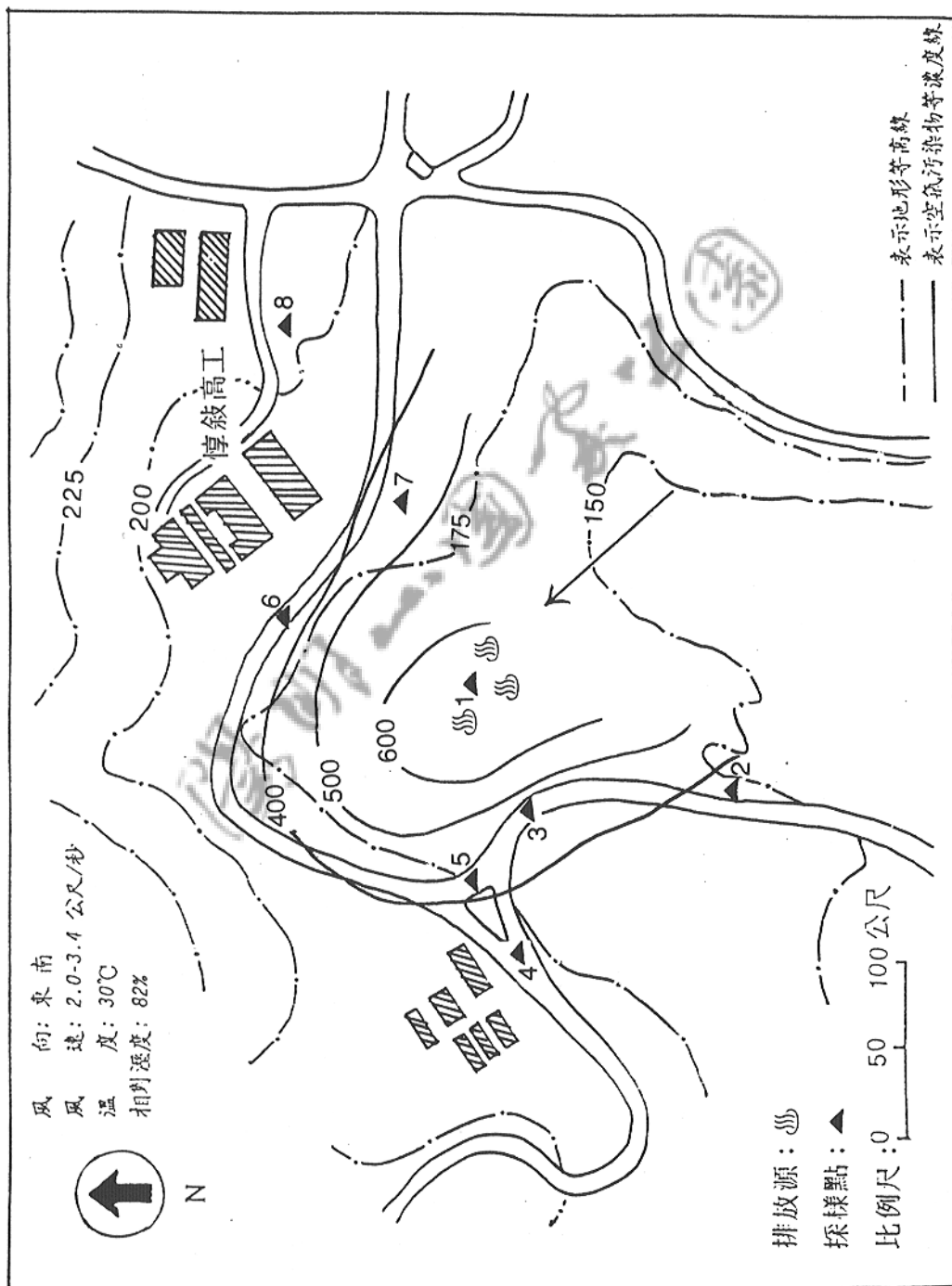
圖二十四 大油坑噴氣孔附近地區冬季之二氧化硫等濃度圖 (濃度單位: ppb)



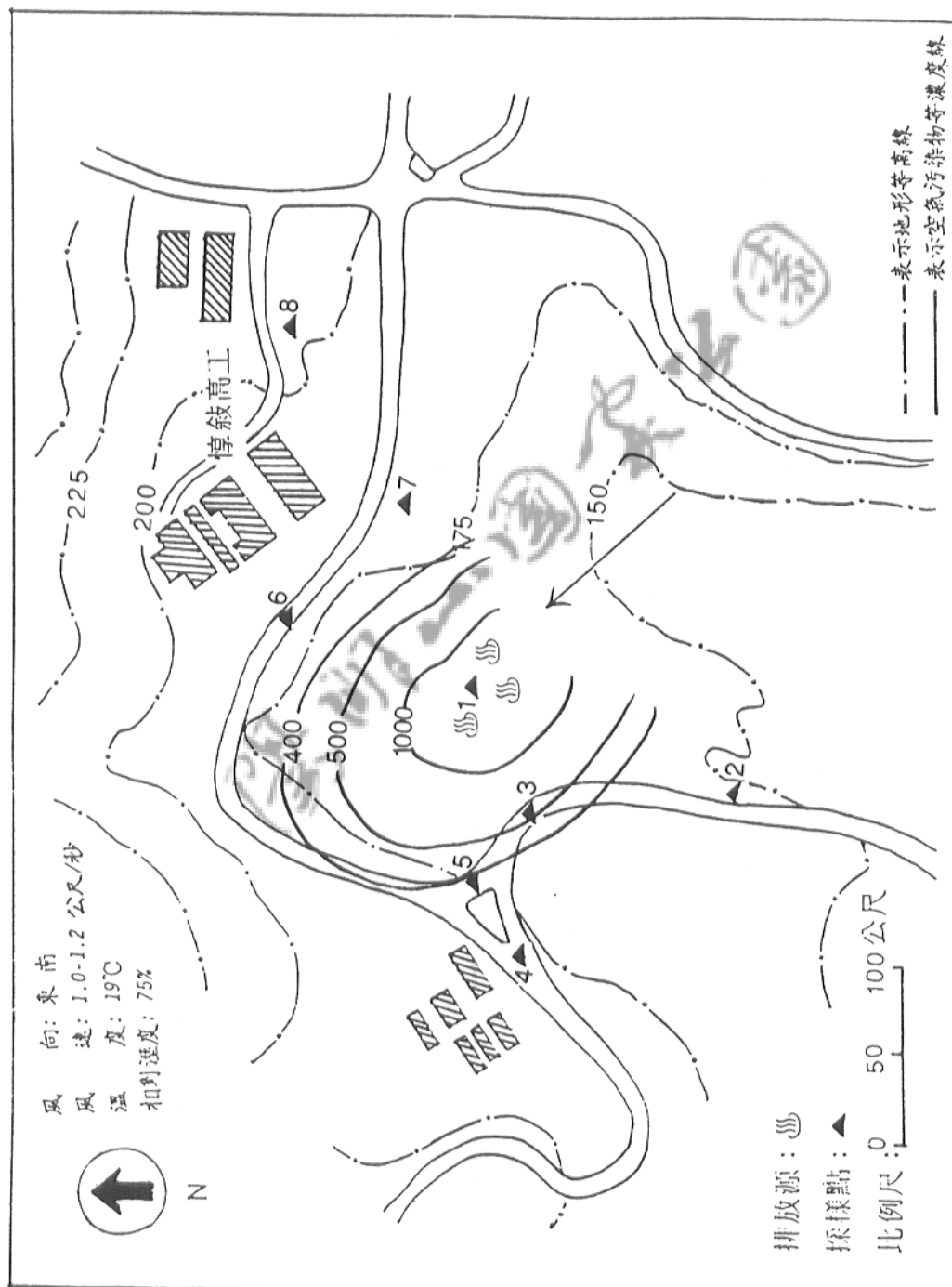
圖二十五 大碇嘴噴氣孔附近地區秋季之二氧化碳等濃度圖 (濃度單位: ppm)



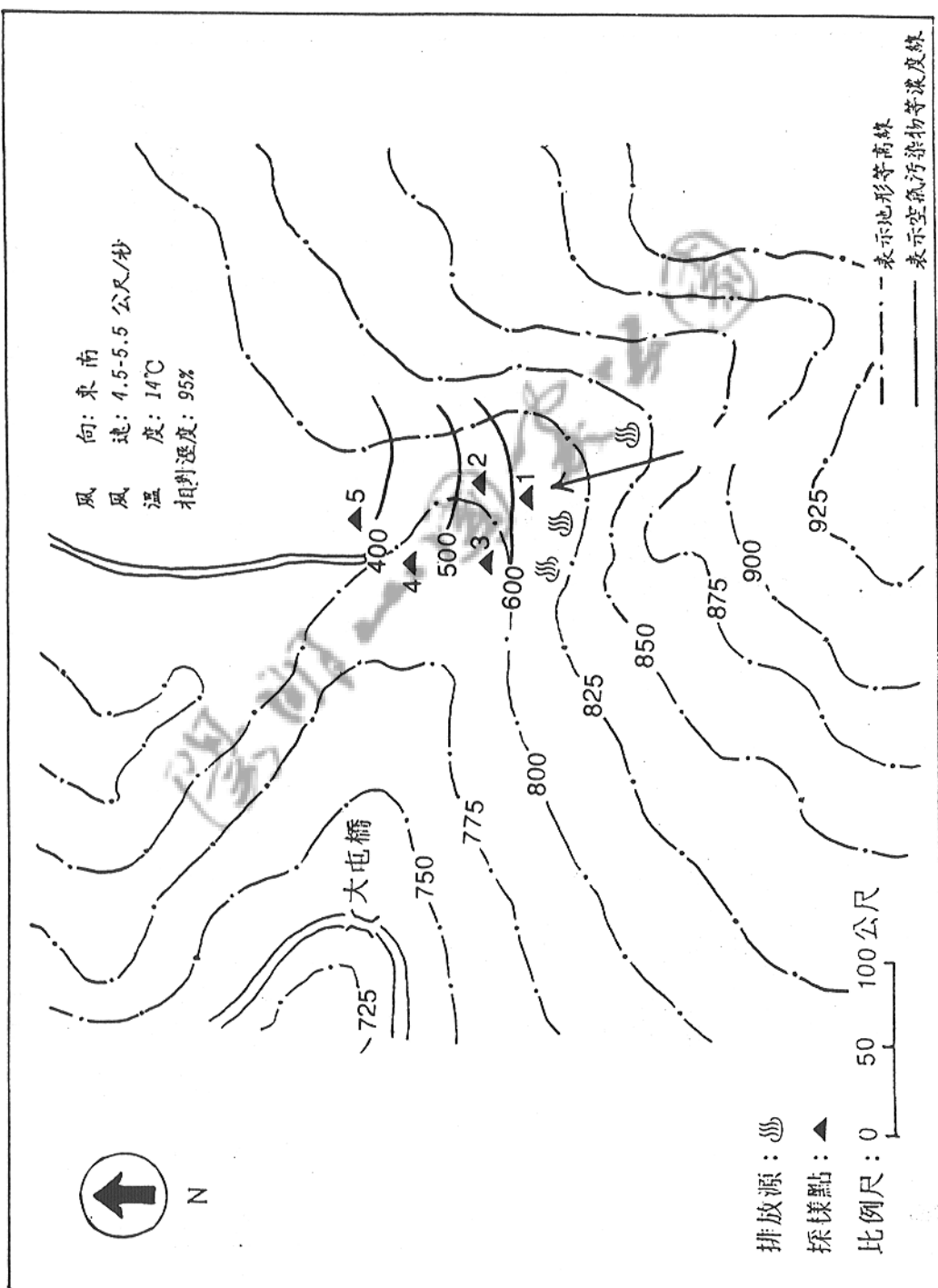
圖二十六 大磺嘴噴氣孔附近地區冬季之二氧化碳等濃度圖 (濃度單位: ppm)



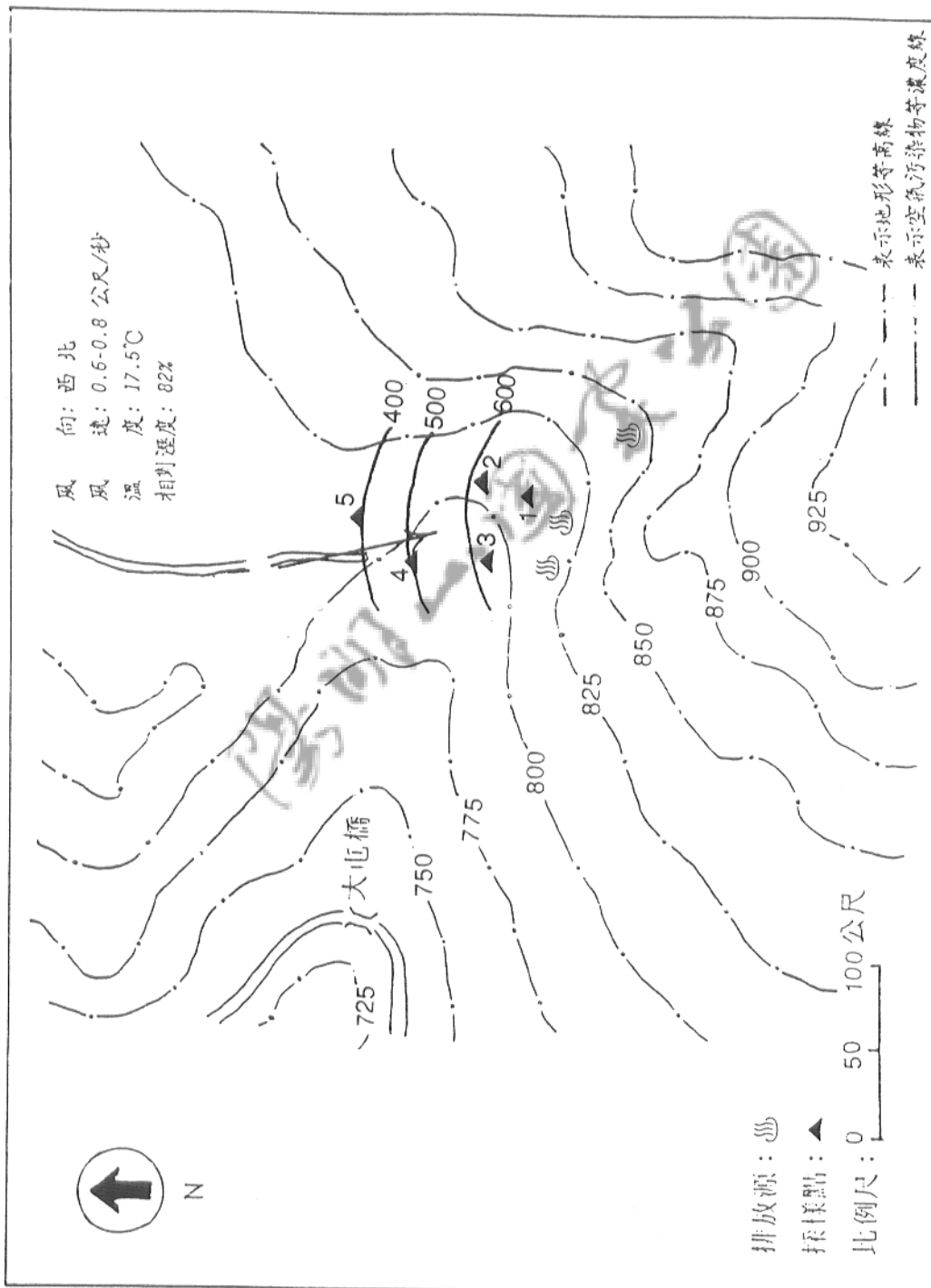
圖二十七 硫磺谷噴氣孔附近地區秋季之二氧化碳等濃度圖（濃度單位：ppm）



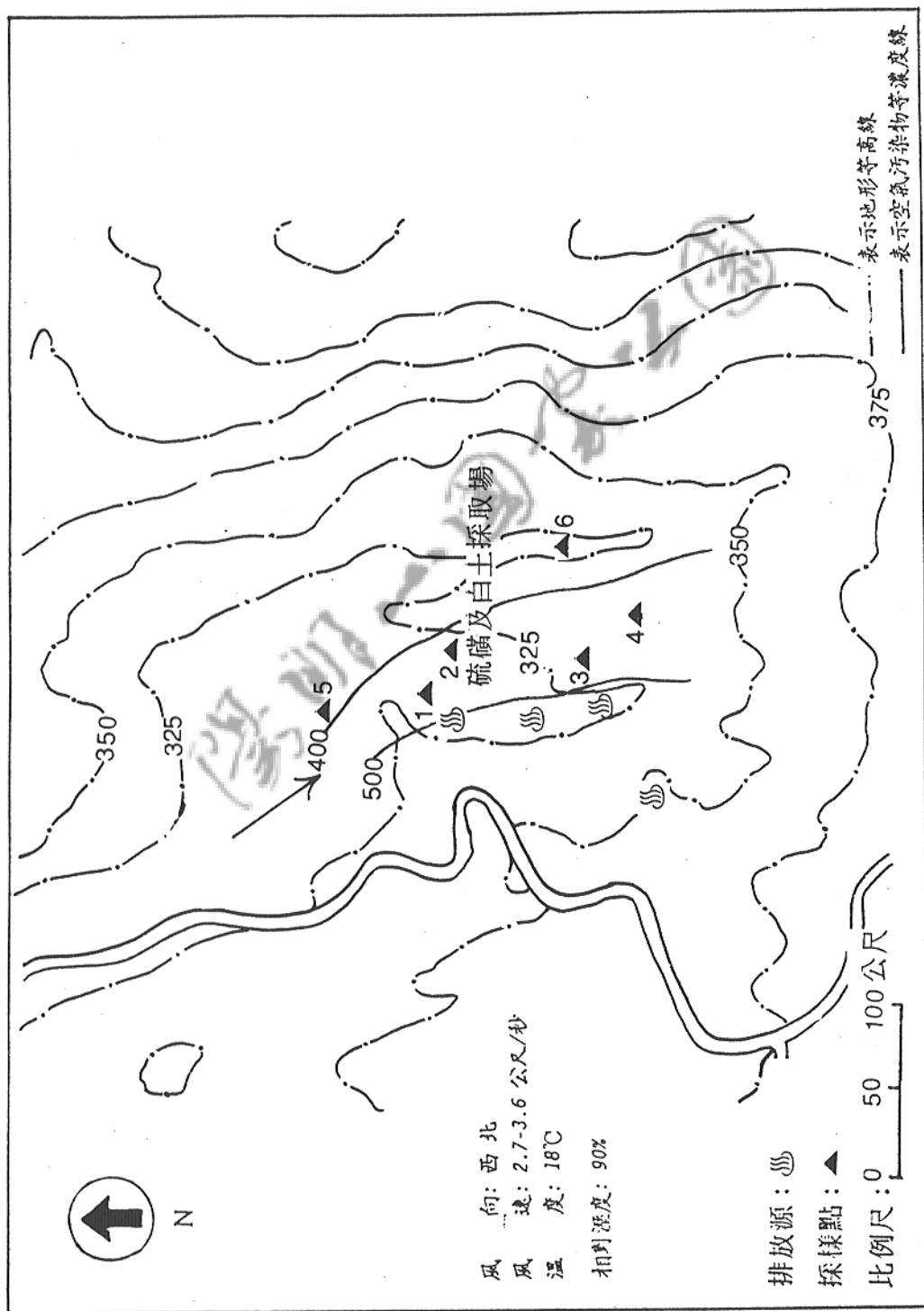
圖二十八 硫磺谷噴氣孔附近地區冬季之二氧化碳等濃度圖 (濃度單位: ppm)



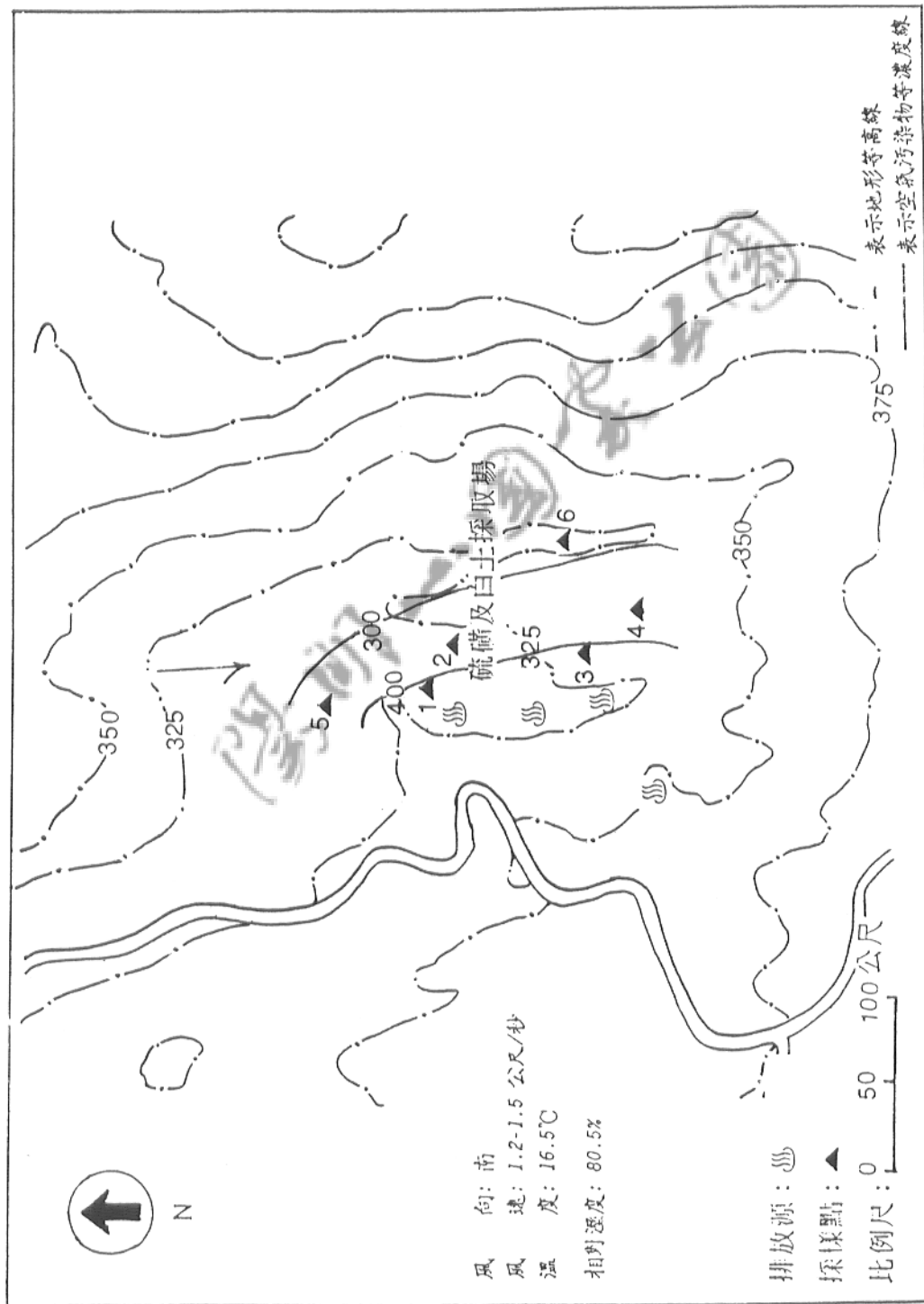
圖二十九. 小油坑噴氣孔附近地區秋季之二氧化碳等濃度圖 (濃度單位: ppm)



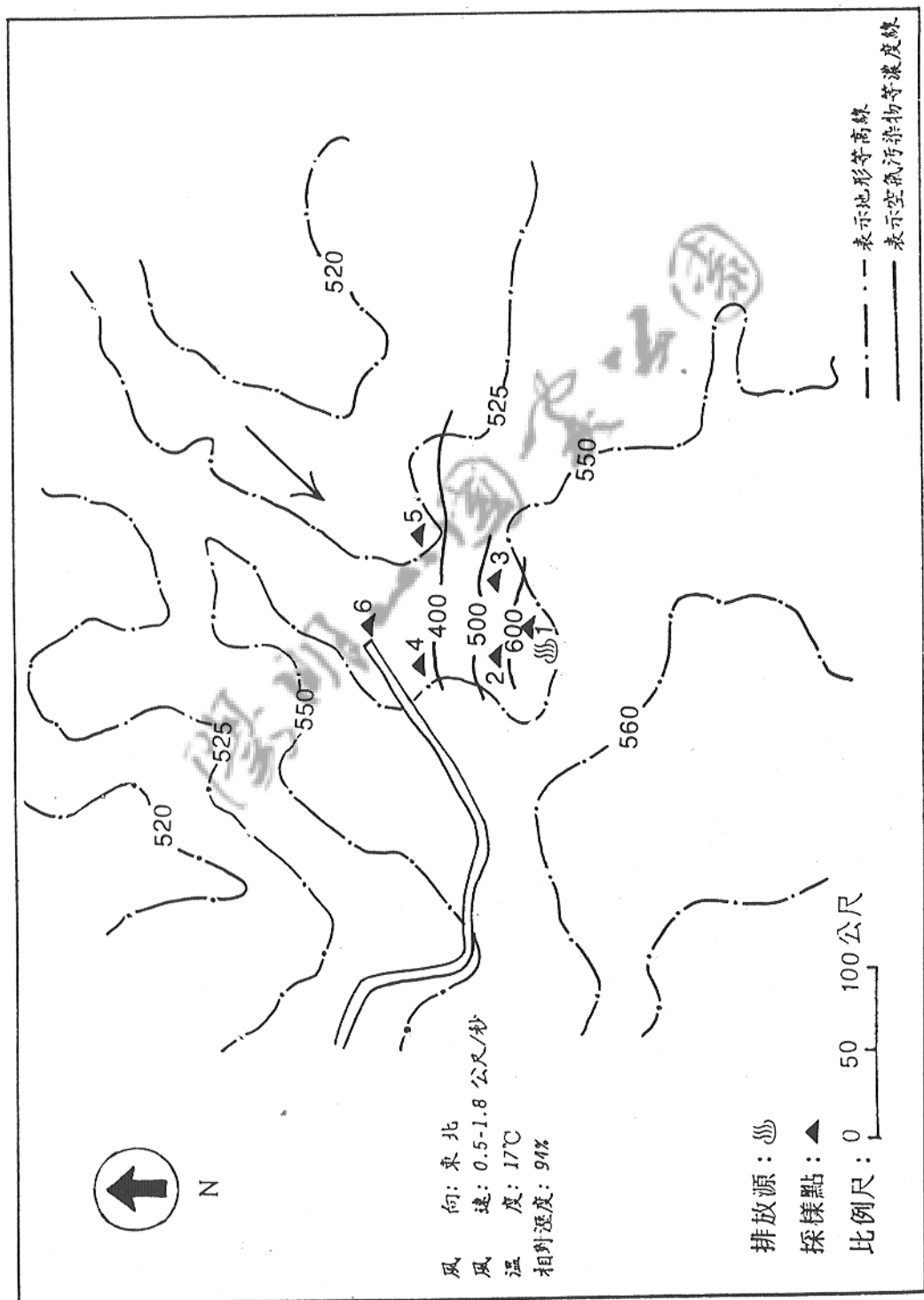
圖三十 小油坑噴氣孔附近地區冬季之二氧化碳等濃度圖 (濃度單位: ppm)



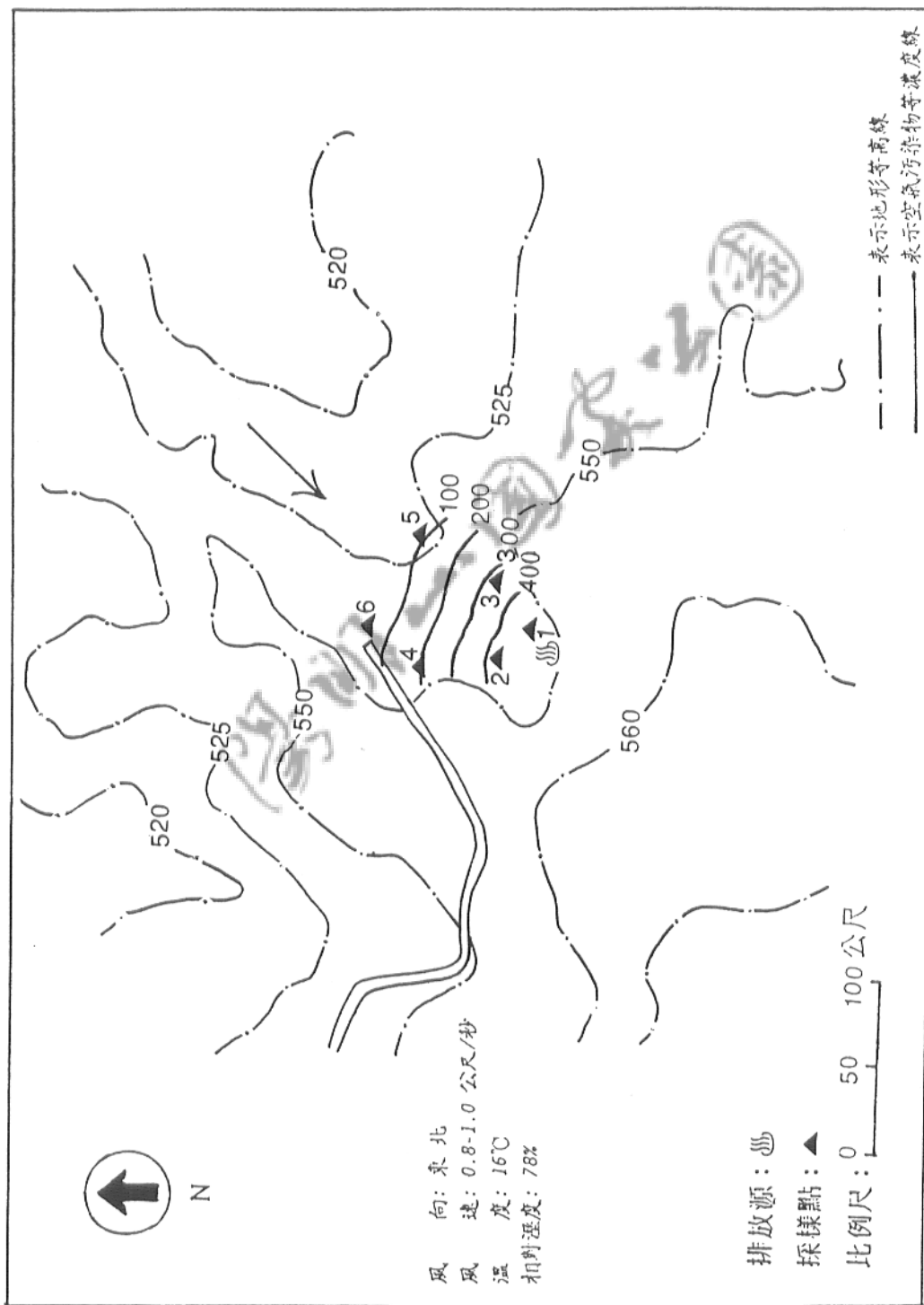
圖三十一 石磺子坪噴氣孔附近地區秋季之二氧化碳等濃度圖（濃度單位：ppm）



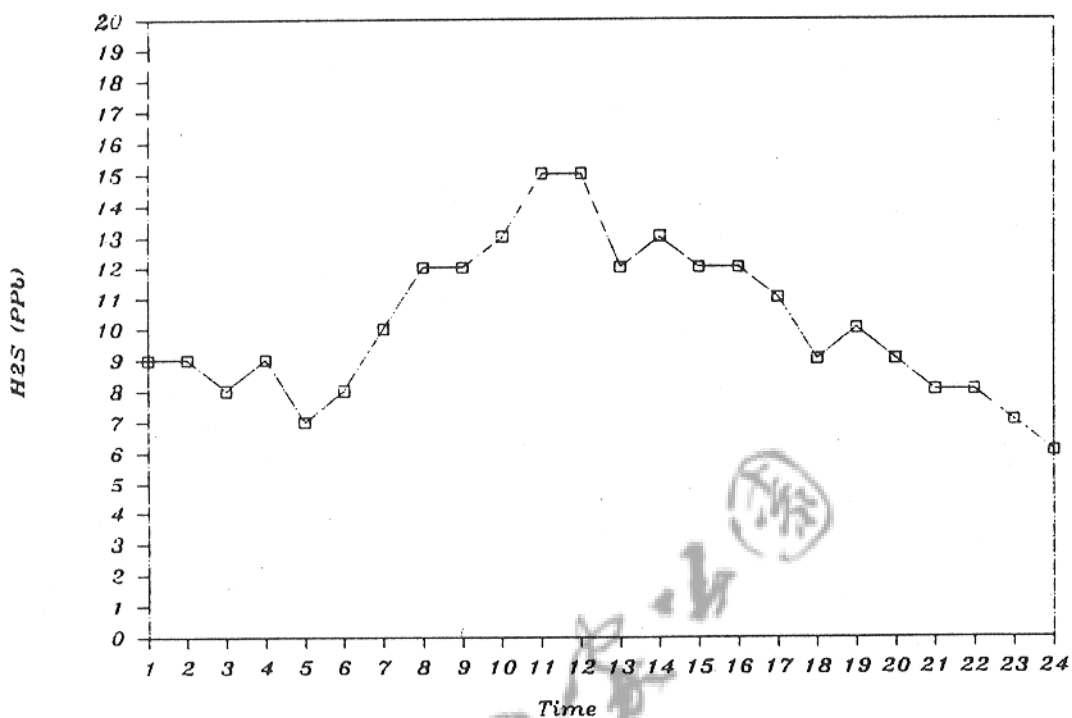
圖三十二 石磺子坪噴氣孔附近地區冬季之二氧化碳等濃度圖（濃度單位：ppm）



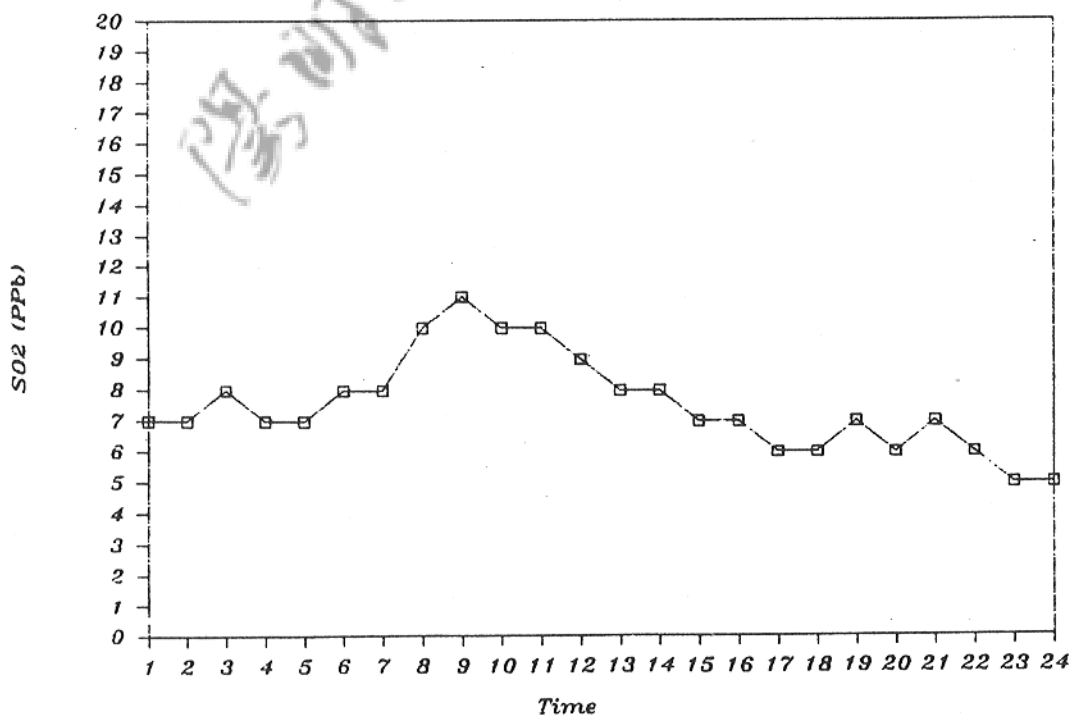
圖三十三 大油坑噴氣孔附近地區秋季之二氧化碳等濃度圖（濃度單位：ppm）



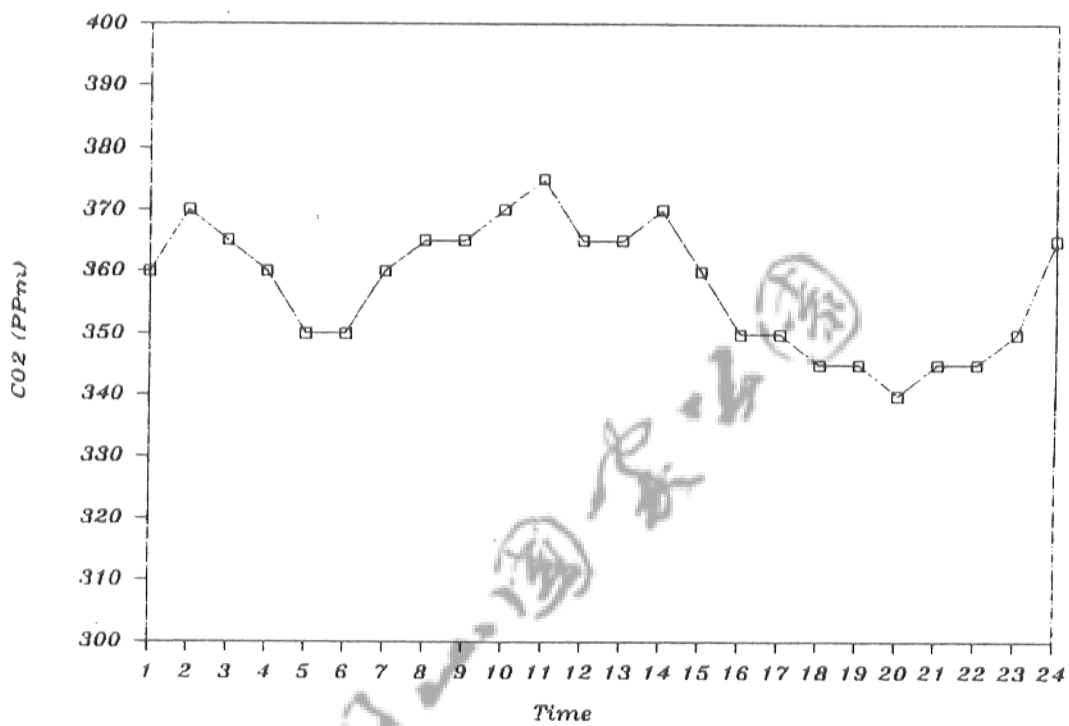
圖三十四 大油坑噴氣孔附近地區冬季之二氧化碳等濃度圖 (濃度單位: ppm)



圖三十五 公園管理處新址硫化氫之24小時連續偵測



圖三十六 公園管理處新址二氧化硫之24小時連續偵測



圖三十七 公園管理處新址二氧化碳之24小時連續偵測

附 錄

附錄一 測試方法簡介

本研究之各測試儀器均為數字型連續自動偵測儀，可自動顯示瞬間測試濃度。各項空氣污染物測試方法分別簡述如下：

- 一. 紫外光螢光法(UV Fluorescence Method)：將二氧化硫分子，透過吸收紫外光而成激發態，並以較長波長之光放出，經由偵測儀測得其發光強度而可求得二氧化硫氣體濃度。
- 二. 非散射性紅外光法(Non-Dispersive Infra-Red Method)：當二氧化碳氣體通過一能量源及紅外線偵測器(Infra Red Detector)之間時會吸收能量而使到達偵測器之能量降低，由紅外線偵測器之光電反應可測出其二氧化碳濃度之大小。

測試之前，各項儀器均先以標準氣體(span gas)予以校正，以確保其準確性。

附錄二

陽明山國家公園地熱噴氣 空氣污染物測試記錄表							
秋 季				冬 季			
時 間：76.9.18 地 點：大 磺 嘴 溫溼度：29℃ 85%				時 間：77.1.6 地 點：大 磺 嘴 溫溼度：19℃ 75%			
採樣點	SO ₂ (ppb)	H ₂ S (ppb)	CO ₂ (ppm)	採樣點	SO ₂ (ppb)	H ₂ S (ppb)	CO ₂ (ppm)
1	425	4827	712	1	102	2085	964
2	243	3080	494	2	21	130	637
3	18	510	446	3	15	29	523
4	13	194	352	4	46	214	736
5	27	353	347	5	143	1980	983
6	75	206	549	6	172	2014	1084
7	321	2960	407	7			
8	10	608	376	8			

陽明山國家公園地熱噴氣
空氣污染物測試記錄表

秋 季				冬 季			
時 間： 76.9.25 地 點： 硫 磺 谷 溫溼度： 30 °C 82%				時 間： 77.1.7 地 點： 硫 磺 谷 溫溼度： 19 °C 75%			
採樣點	SO ₂ (ppb)	H ₂ S (ppb)	CO ₂ (ppm)	採樣點	SO ₂ (ppb)	H ₂ S (ppb)	CO ₂ (ppm)
1	804	6043	736	1	793	5997	1310
2	176	2880	387	2	32	1904	346
3	193	3013	482	3	97	496	517
4	12	530	352	4	9	16	354
5	63	2560	426	5	26	107	392
6	248	782	371	6	113	504	364
7	357	764	460	7	286	485	359
8	45	32	358	8	23	18	348

陽明山國家公園地熱噴氣
空氣污染物測試記錄表

秋 季				冬 季			
時 間： 76.10.5 地 點： 小 油 坑 溫溼度： 14 °C 95%				時 間： 77.1.15 地 點： 小 油 坑 溫溼度： 17.5 °C 82%			
採樣點	SO ₂ (ppb)	H ₂ S (ppb)	CO ₂ (ppm)	採樣點	SO ₂ (ppb)	H ₂ S (ppb)	CO ₂ (ppm)
1	312	2087	621	1	294	493	783
2	194	1106	553	2	185	47	620
3	285	974	570	3	247	214	624
4	116	354	448	4	136	23	507
5	23	266	386	5	38	15	392
6				6			
7				7			
8				8			

陽明山國家公園地熱噴氣
空氣污染物測試記錄表

秋 季				冬 季			
時 間： 76.10.6 地 點： 石 磺 子 坪 溫溼度： 18 °C 90%				時 間： 77.1.20 地 點： 石 磺 子 坪 溫溼度： 16.5 °C 80.5%			
採樣點	SO ₂ (ppb)	H ₂ S (ppb)	CO ₂ (ppm)	採樣點	SO ₂ (ppb)	H ₂ S (ppb)	CO ₂ (ppm)
1	92	587	467	1	153	593	406
2	41	335	435	2	97	345	387
3	83	502	478	3	130	587	412
4	52	288	455	4	82	255	385
5	49	293	392	5	104	308	346
6	18	95	371	6	16	87	298
7				7			
8				8			

陽明山國家公園地熱噴氣
空氣污染物測試記錄表

秋 季				冬 季			
時 間： 76.10.23 地 點： 大 油 坑 溫溼度： 17℃ 94%				時 間： 77.1.22 地 點： 大 油 坑 溫溼度： 16℃ 78%			
採樣點	SO ₂ (ppb)	H ₂ S (ppb)	CO ₂ (ppm)	採樣點	SO ₂ (ppb)	H ₂ S (ppb)	CO ₂ (ppm)
1	313	665	637	1	209	810	483
2	291	548	562	2	192	603	409
3	187	520	547	3	146	562	318
4	126	263	385	4	60	290	203
5	44	198	378	5	45	283	96
6	42	87	350	6	32	92	85
7				7			
8				8			

『陽明山國家公園地熱噴氣對人體影響之調查研究』

期末簡報會議紀錄

一、時間：中華民國七十七年三月二十二日下午三時三十分

二、地點：本處會議室

三、主持人：劉處長

紀錄：羅淑英

四、出席單位及人員：

內政部營建署	林耀源	
台大環工所	鄭福田	蔡俊鴻
本處林副處長	林培旺	
第一課	盧淑妃	黃麗雯
第二課	蘇宜祥	黃佩陞
第三課	蕭淑碧	
遊憩組	王水祥	黃慧珠
保育組	李茂鐘	袁美蘭

五、會議內容：(略)。

六、結論：

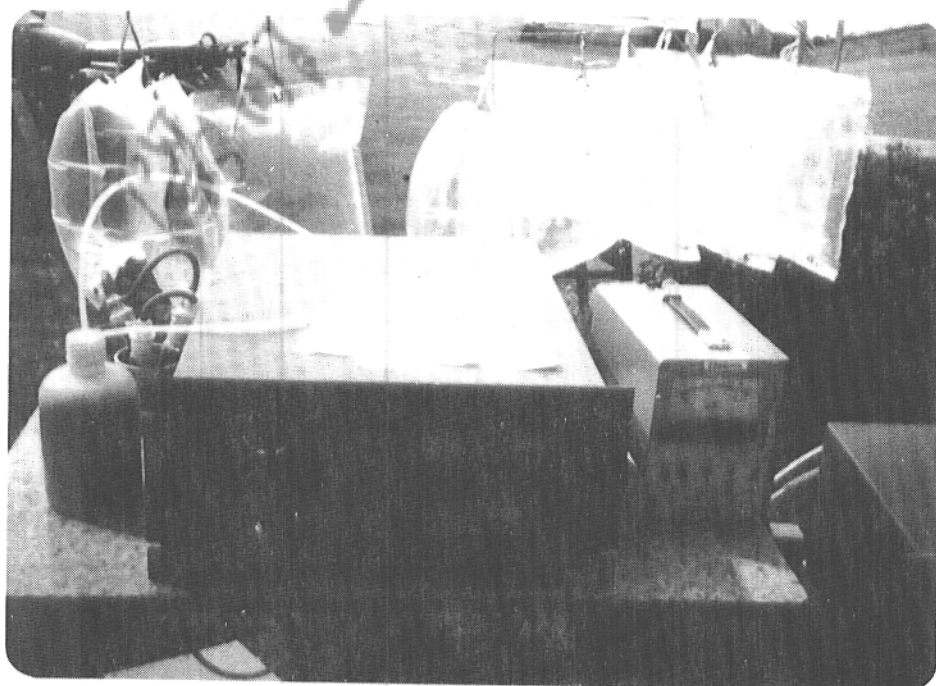
(一)請受託單位就以下各點意見參酌修正：

1. 爲免誤導，請刪除第三頁之第一句『地熱是指蘊含在天然熱水或蒸氣中的熱能』。
2. 有關研究進行之幻燈片，極爲生動，請於報告中儘可能補附照片。
3. 請增加附錄，提供紀錄表格之樣張，說明儀器之功能及簡單操作方法，及專有名詞之譯釋(如協力效應)。
4. 第四章4-5之內容及標題請再斟酌。
5. 期中報告中所提列之定性說明，請加入研究報告中。
6. 請補充中、英文摘要及設置環境品質監測站之建議。

(二)請就研究報告建議第三點所提之『深入研究』，補充詳細之研究方針及工作項目。



定時採樣器採擷氣體樣本



測試儀器分析氣體樣本