

嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告

計畫編號：CNMI94-03

計畫名稱：露天礦體開採模擬規劃與立體檢視系統

執行期間：94 年 1 月 1 日至 94 年 12 月 31 日

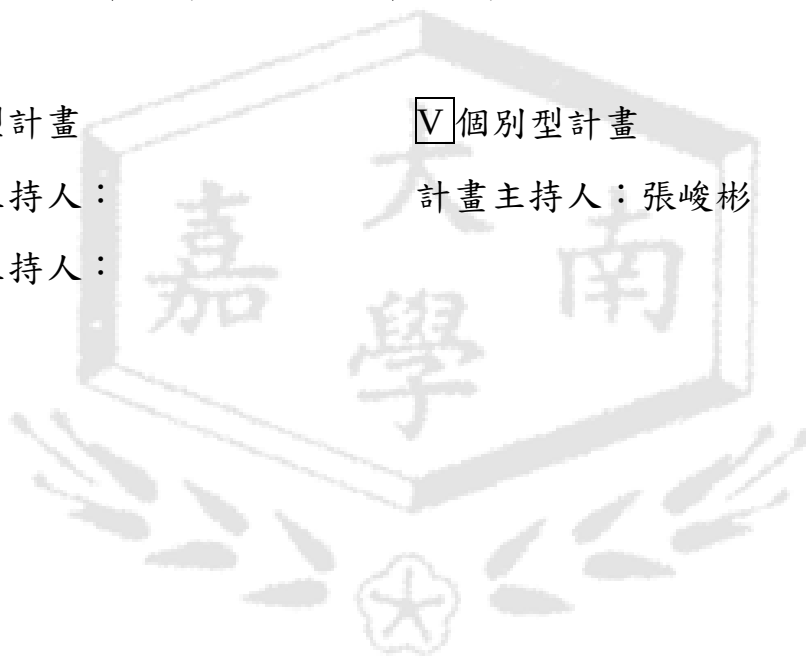
☐ 整合型計畫

☒ 個別型計畫

計畫總主持人：

計畫主持人：張峻彬

子計畫主持人：



中華民國 94 年 12 月 31 日

嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告

露天礦體開採模擬規劃與立體檢視系統

Quarry Scheduling and 3-D Simulation System of Open Pit

計畫編號：CNMI94-03

執行期限：94 年 1 月 1 日至 94 年 12 月 31 日

主持人：張峻彬 資訊管理系

一、中文摘要

本研究的目的是要建立一套露天礦體開採模擬規劃與立體檢視系統，在本研究中提出多移動參考點法，在此方法中可使用多個不同空間位置的參考點、多組開挖向量與多組開挖加權去控制不均勻礦體的開挖方向與開挖面的形狀。系統中嘗試以一些簡單的開挖限制的條件取代複雜的專家系統，以加快開採規劃系統的運行速度，並藉由網路應用程式結合網路虛擬實境(VRML)與網路資料庫，建立一個可即時以視覺的方式顯示符合開挖要求的開採地表隨時間變化的狀況的開採模擬系統，讓使用者可經由網路於任何時間、地點，不受作業系統與電腦等級好壞的限制，進行開採模擬規劃，視覺化地檢視規劃的結果。

關鍵詞：開採模擬規劃；多移動參考點法；網路虛擬實境；網路應用程式

Abstract

The purpose of this study is to establish a quarry scheduling and 3-D simulation system of Open Pit. The study proposes a method named "Multi-Moving Reference Point Method" which uses multi-reference point, multi-vector and multi-weighted factor to control the orientation and shape of quarry. For increasing the performance of system, a set of quarry constrains will be applied instead of an expert system. Integrating VRML and web database, the scheduling and simulation system can dynamic display the surface of open pit in the every quarry period. Users are able to view and interactive with the system across their network or across the Internet.

Keywords: Quarry Scheduling; Multi-Moving Reference Point Method; VRML; Web Application

二、前言

由於礦體形成的地質條件的不同，所以礦體在形成之後其品位常是呈現不均一的狀況。而在礦體開挖之後，考慮到下游處理的便利性以及能更加的延長礦區的壽命，一般會希望在不同的開採週期中所開採出的礦體其平均品位能保持在某一特定的範圍之內。在開採礦體的過程中，採出礦平均品位的維持並不是唯一要注意的項目，事實上在進行礦區的開採規劃時，尚需考慮開採的方便性以及殘壁坡度的維持、採掘與廢土的傾倒原則、道路與斜

坡的設計、爆破工程的考量等問題。在開採的規劃上若是利用人工來進行的話，通常都是採用嘗試錯誤(trial and error)的方式，所以一般均需花費大量的時間，有一些軟體即是用來針對不均勻礦體開採進行規畫，這些軟體的基本原理(Baumgarther, 1991)描述如下：

首先將礦體細分成為許多的單位礦塊(unit block)，然後再針對設定的各個開挖時段，排定所要開挖的礦塊。開挖礦塊的選擇步驟為

- (1)、根據礦區的道路以及已開發的礦區地形，決定第一個要開挖的初始礦塊。
- (2)、由專家針對不同礦體與狀況的開採經驗，建立開採礦塊的組合(pattern)法則，這些法則符合工程上的各類需求。再利用這些礦塊組合法則為依據，安排各開挖時段所需開採的礦塊。
- (3)、若是該時段所排定開採的礦塊之平均品位不符合要求時，再重新尋找可行的開採組合，如此重覆操作，一直到所安排各時段開採的礦塊品位均能符合所需的品質要求為止。

在上述的規劃方式中，必須要匯整專家的意見來整合出開採的專用法則，而且在系統中可能必須建立一規則式(Rule-Base)的專家系統，如此一來會增加系統的複雜度與運行的速度。因此有研究提出參考點法(reference point method)，利用一特定之參考點為基準，尋求礦體開挖的順序，以避免掉匯整專家意見的困擾，又可在程式設計中減少邏輯演算的時間。參考點的基本想法是在礦區所在空間中尋求一名為參考點之處，求取各個單位礦塊到這個參考點的距離，距離參考點最近的礦塊將被優先開挖，在每個時期只尋求一組距離此參考點最近的礦塊組合，若是這些礦塊組合的平均品位不符合品質要求時，將距參考點稍遠但品質較佳的礦塊與預定開挖中品位較差的礦塊互換，以便使平均品位能符合要求(施勵行等，1995)。在這樣的作法中，由於參考點的位置是固定的，所以在距離參考點近時，礦體的開挖面的曲度會比較大，而在距離參考點遠時，礦體的開挖面的曲度會比較小與平順，這對露天礦體的開採並不是十分的適合，因為一般會需要維持開挖面為一特定的開挖形狀，而且由於只有一個參考點，所以只能針對露天礦體的某一處為重點來開採，這跟實際的開採方式可能會有一些落差，因為實際在開採時可能會同時針對多處來進行開採。因此若是能有一個方法能針對露天礦體同時開

採多處與維持特定開挖面形狀的特性來加以規劃，將對礦場最佳規劃有相當大的幫助。

本研究的目的是要建立一套可在網路上使用的不均勻礦體開採模擬規劃與立體檢視系統，在此模擬與立體檢視系統中，使用者只需具備瀏覽器的基本操作知識，即可利用本分析系統。在本研究中提出多移動參考點法，在此方法中可使用多個不同空間位置的參考點、多組開挖向量與多組開挖加權去控制不均勻礦體的開挖方向與開挖面的形狀。在系統中嘗試以一些簡單的開挖限制條件取代複雜的專家系統，以加快開採規劃系統的運行速度，並藉由伺服器語言以網路應用程式的方式結合網路虛擬實境(VRML)與網路資料庫，建立一個可即時以視覺的方式顯示符合開挖要求的開採地表隨時間變化的狀況的開採模擬系統。讓使用者可經由網路於任何時間、地點，不受作業系統與電腦等級好壞的限制，進行開採模擬規劃，視覺化地檢視規劃的結果。透過資料庫的連結可以記錄各類模擬規劃結果與其相關資料，在多人使用的狀況下維持系統於最新的資料狀況、保留各類的分析結果，並可在分析系統中提供使用相同資料以進行不同種類的分析，或是視覺化地比較不同的分析結果。

三、網路應用程式與網路虛擬實境

3-1 網路應用程式(伺服器語言)

自從網際網路(Internet)這個名詞出現以後，其蓬勃發展的速度是以往的任何事業都比不上的，因為網際網路具備了很多其他產業都沒有的優點，而其中最重要的就是方便與快速。在網路上的應用由簡單的文字電子佈告欄到精美華麗的動畫網站，顯示了網際網路的變化與其發展的空間。事實上網際網路的應用不止於此，由微軟(Microsoft)所提出的web computing的想法，更促進了網路應用程式(web application)的進一步發展。網路應用程式擁有了目前所有網際網路的特點，更擁有了傳統的單機應用程式所沒有的優點。

目前可用於架構網路應用程式的最新平台是.Net Framework，它採用XML的技術來整合資料庫格式不統一的狀況，以便於在不同網站間傳遞資料(菁英工作室，2002)。要解決異質性資料庫的資料交換與整合，除XML技術外還必須有網路的標準通訊協定來配合，在.Net Framework中採用Web Service與SOAP(Simple Object access Protocol)技術來解決這樣的問題。而在.Net Framework支援各類型的程式語言(C#、VB.Net、J#……)，並且提供基礎類別庫，所有支援的程式語言的均可使用此類別庫來加速程式語言的開發。更由於共用同一基礎類別庫，在單機上所執行的應用程式，可以最小程度的修改之下轉變為網路應用程式。

3-2 網路虛擬實境(VRML)

虛擬實境(Virtual Reality; Burden and Coieff, 1994)是最近常被提及的一個名詞，所謂的虛擬實境就是要虛構出一個好像是真實世界的環境，在這

個虛擬的環境中，透過電腦系統讓人在此環境中眼睛看的到、耳朵聽的見，並且可以透過一些虛擬實境的設備與電腦空間中的事物接觸和互動(Mastuba and Roehl, 1996)。VRML(Virtual Reality Modeling Language)是一種電腦場景敘述語言(textual description)可與全球資訊網(World Wide Web)相互結合，用於構建立體場景的網頁程式語言，可應用於影音娛樂、電腦遊戲、資料視覺化、教育訓練、分析研究及工程設計等(汪洋，1999)。目前已經被公認為網際網路上的虛擬場景建構格式，並且受到ISO的界定為UCS Transform Format。VRML吸引人們的主要原因，在於它能橫跨各種不同的電腦平台展示3D圖像，這在3D圖像的領域是一項創舉。對於VRML而言只要瀏覽器支援在任何作業平台上均能執行觀看，而且VRML方便的建構方式，與易於修改與重覆使用的物件性質也是備受矚目的特色。使用者只要透過瀏覽器與適當的外掛程式，即可以在網路上觀賞VRML所建立的立體場景。在VRML中提供了許多立體物件、動態與互動的元件，但美中不足的是缺乏如同傳統語言的計算與邏輯處理能力，因此並不適合直接用於建構線上分析系統。不過若是能與.Net Framework網路應用程式強大的計算與邏輯處理能力相結合，將能發揮出網路虛擬實境的最大優點。

四、研究方法

在本究中提出多移動參考點法(Multi-Moving Reference Point Method)，在此方法中可使用多個不同空間位置的參考點、多組開挖向量與多組開挖加權去控制不均勻礦體的開挖方向與開挖面的形狀。其中參考點可設定礦體中所要優先開挖的多個空間位置(或者僅是一個參考位置)，任何礦體只要與這些參考點經開挖加權運算後的總加權距離愈小，其被開挖的順序就愈優先。開挖向量主要是控制各參考點在空間中移動的方式(亦即是開挖前進的方向)，此三維的向量可保持整個開挖的過程中，開挖面維持一定的挖掘形狀與前進的速率。開挖加權主要是針對挖掘的方向(開挖向量)進行加權設定，此加權可以控制整個開挖面的形狀。由多移動參考點的輔助可開始進行不均勻礦體的開挖模擬規劃。模擬的流程步驟如下：

(1)初始化礦區資料

先將包含所欲開挖的礦區空間分為若干立體方塊(可為正立方體，亦可是長寬高度不等的立體，全視礦區地形、生產狀況及工程上的要求而定)，根據這些立體方塊的屬性(譬如說是廢土或礦體，被挖空了沒，若是礦體則其品位值為多少)輸入至資料庫中，其他可能需要的資料有採掘與廢土的傾倒原則，道路與斜坡的設計要點，爆破工程的考量，土木工程與地表的復原的原則，運送卡車、牽引索與輸送帶的使用方式，這些資料可由使用者來輸入資料，或者是直接由網路資料庫中將已建立的礦區礦體資料讀出。

(2)設定開挖的參數：

在這個階段必須根據礦區已有的地形的狀

況，依需要決定安排參考點的數目與位置，並且決定各參考點的開挖向量與開挖加權以保持各開挖點的方向與開挖面的形狀。而在各個時期內所欲開挖的礦塊數目，可依原先劃分的立體方塊的大小，以及所需的開採進度來加以決定。

(3)顯示礦區的立體地貌

由初始化後的礦區資料，推算出地表的高度資料，透過 VRML 的幫助，繪出礦區的立體地貌。由於本研究中所採用的規劃方式是將礦區空間分為若干立體方塊(block model)，而在一般立體繪圖裡面是採頂點的方式來繪圖(在 VRML 中也是)，因此將採用如下的方式將頂點繪圖的方式轉換為方塊繪圖的方式。在本研究中將針對頂點模式中的每一高度點，轉化為方塊模式中的 $(2p+1)*(2p+1)$ 個高度點(p 為大於等於 1 的整數)，轉化的重點主要分為立體方塊方格的中央部分、四個邊界(不含四個角點)與四個角點三個部分。

方格的中央部分：共有 $(2p-1)*(2p-1)$ 個高度點，其值與頂點模式的高度值相同。

四個邊界(不含四個角點)：共有 $(2p-1)*4$ 個高度點，其值為鄰接兩個頂點模式的高度的平均值。

四個角點：共有 4 個高度點，其值為鄰接四個頂點模式的高度平均值。

底下是由頂點模式，以及由本研究所提將頂點模式的資料轉換為方塊模式所繪出的立體地貌圖，其中方塊模式利用 $p=1,2,3,4$ (點數分別是變為頂點模式的 9,25,49,81 倍)。

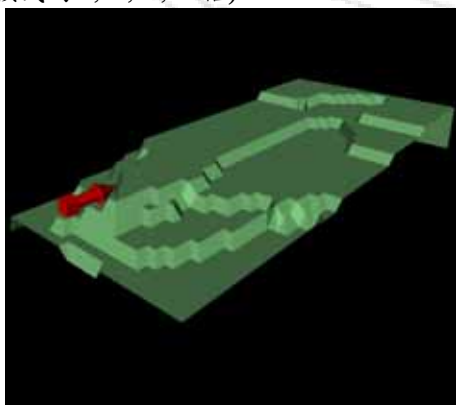


圖 1 以頂點繪圖的方式來顯示礦區的立體地貌

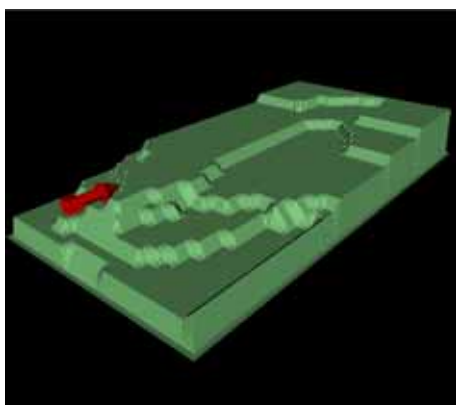


圖 2A 以立體方塊繪圖($p=1$)的方式來顯示礦區的立

體地貌

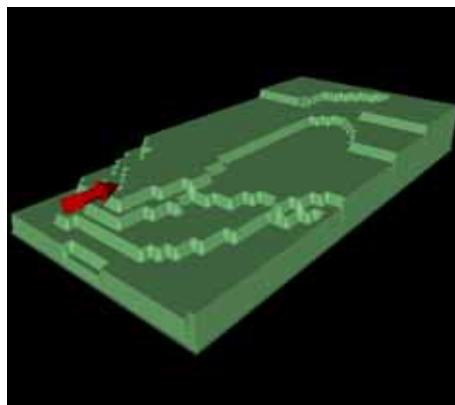


圖 2B 以立體方塊繪圖($p=2$)的方式來顯示礦區的立體地貌

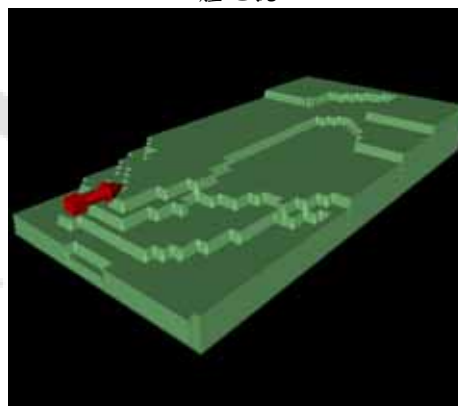


圖 3A 以立體方塊繪圖($p=3$)的方式來顯示礦區的立體地貌

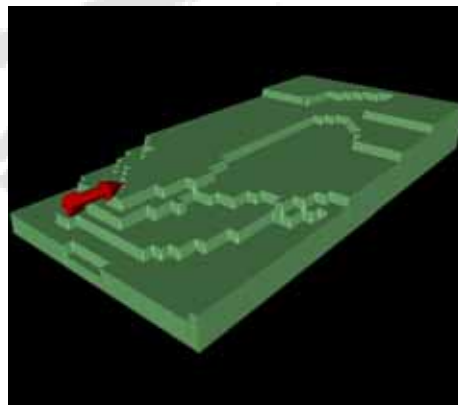


圖 3B 以立體方塊繪圖($p=4$)的方式來顯示礦區的立體地貌

由圖 1、2、3 可以看出，由頂點模式所繪出的地貌圖並沒有辦法顯示出把地表區分成若干立體方塊的特性，而利用本研究所提的轉換方法($p=1,2$)所繪出的立體地貌，能夠比頂點模式所繪出的地貌圖更能表現出地表區分成若干立體方塊的特性，當 p 設為 3 與 4 時就可以看出已可以很完美的方塊立體地貌。不過若考慮到執行效率的問題，將 p 設成 3 的話可以得到最佳的執行效率與顯示效果。

(4)選取下一時所需開挖的礦塊：

a.轉換各開挖向量上的開挖加權至原始的座標

空間

由於開挖加權是針對開挖向量的方向來設定的(這樣才有辦法維持開挖面的形狀)，但是在進行總加權距離時卻是在原始座標中計算的，所以必須利用如下的方式進行轉換(圖 4)，在圖中 X_1, Y_1, Z_1 是原本的直角座標系， V 為原始座標中的開挖向量，而 V 也是新座標系中 Z_2 軸的方向，也就是說 X_2, Y_2, Z_2 所形成的新直角座標是以 Z_1 軸為依據去進行旋轉，此軸沿著 Y_1 軸旋轉 θ 角，再沿著旋轉後的 X_2 軸旋轉 Φ 角而成，因此在 X_2, Y_2, Z_2 這個新直角座標中的開挖加權(可組成一個開挖加權向量)，只要先沿著 X_2 軸旋轉 Φ 角，再沿著 Y_1 軸旋轉 θ 角，就可以得到在原始座標中的開挖加權了。

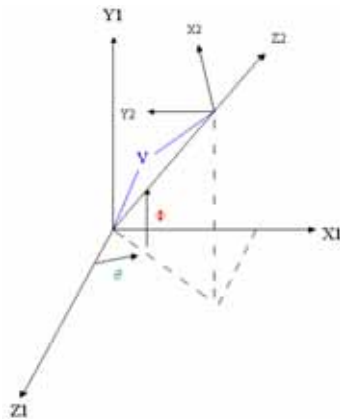


圖 4 空間座標轉換

A	B	C
D	E	F
G	H	I

圖 5 開挖限制參考圖

b. 計算出所有立體方塊與所有參考點間的總加權距離

由礦體被區分為許多的立體方塊，每一個立體方塊均有其空間中的座標，將此座標與各參考點間的加權距離算出並加總，此即為總加權距離。

c. 排出各礦塊的開挖優先序

根據各礦塊的總加權距離，由小至大排序，總加權距離小者將可能被優先開採。

d. 選擇下一時可開挖的礦塊

由總加權距離的排序，依小而大選出適合於下一時期開挖要求(個數要求、品位要求，以及工程上的要求)的礦塊。個數的要求指的是每時期所需挖的礦塊數。工程上的要求指的是開挖的限制，在此所用簡化後的限制主要有兩個，一個是所欲開採礦塊的上方九個礦塊必須已被開採，這主要是為了保持邊坡能維持在特定的數值，譬如說當礦塊為正立方體時，邊坡應該就會呈現 45° 左右。另一個開挖的限制是所欲開採礦塊週圍必須符合下述的狀況才能開採(圖 5)，也就是說要開採 E 礦塊的話，

必需要 ABC 或 BCF 或 CFI 或 FIH 或 IHG 或 HGD 或 GDA 或 DAB 等的任一組合先行挖空才能進行。在品位的要求部分由於每一時期均需維持在特定的範圍之內，因此在時期中依總加權距離與開挖限制所選出的礦塊總平均品位，不見得會符合品位的範圍要求，在這種狀況之下處理的方式可分為兩種，一種是品位高於範圍的上限，一種是品位低於範圍的下限。以品位高於範圍上限的處理方式為例，是在所選擇出的礦塊中，挑出品位最高的礦塊，並且挑出一個總加權距離較近且品位值較範圍上限為低的礦塊來取代此時期中品位最高的礦塊，重新計算品位平均值，重覆此動作一直到品位符合於品位範圍為止。對於平均品位低於範圍下限的處理方式，則與前述的作法類似。

(5) 更新礦區的立體地貌

將下一時間選定的開挖礦塊，於礦區資料中更新礦塊的屬性資料，重新推斷地表的高度資料，透過 VRML 的幫助更新礦區的立體地貌。

由於最後完成的系統是要在網路上使用的，因此主程式(規劃模擬)的部分是以伺服器語言 ASP.Net 來撰寫，並將結果動態輸出成 VRML 的檔案型式，以便即時地展現立體的地貌於網頁之中。在完成後的網路應用程式中將加入一些網路安全的程式碼，去防範非授權存取(unauthorized access)、程式碼執行(code execution)、服務癱瘓(denial of service)、資訊竊取(information theft)與資訊損壞(damage to information)等惡意的攻擊(Basiura, et al., 2002)。

五、範例分析與結果

在本研究中利用一仿照真實礦區的品位資料與地貌狀況以進行不均勻礦體的開採規劃，此模擬礦區空間依方塊模式將其劃分為 $25 \times 6 \times 50$ 個方塊，實際的操作畫面與地貌圖如圖 6(在此畫面中使用者可設定參數與任意旋轉地貌圖)，其品位的分佈頻率圖如圖 7。假設依照目前的生產需求是每個月開採 16 個立體礦塊，所需要維持的品位範圍是介於 2-3 之間。

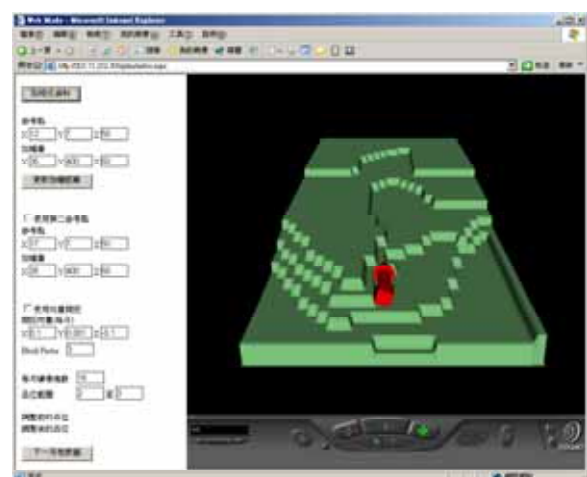


圖 6 實際的操作畫面與地貌圖

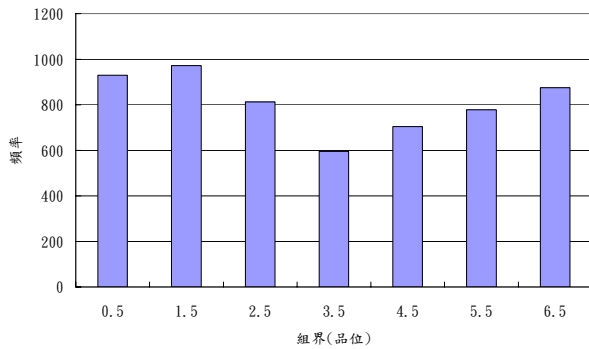


圖 7 品位的分佈頻率圖

5-1 狀況一

由於希望能先開發左邊地表的礦體(可參照圖 a 中間的圖), 因此初始的參考點設於(12,7,50)處(圖 6 中的紅色旋轉方塊)利用一個開挖向量 $(-0.06, -0.001, -0.3)$ (圖 a 中的紅色旋轉方塊)以便控制開挖方向與移動空間參考點, 並且使用空間加權量(35,400,50)加大 Y 軸的加權量, 優先開採左邊地表的礦體。底下為開挖 5 個月、10 個月、20 個月與 40 個月後的地貌圖(圖 8), 由這一系列的地貌圖可以看出, 在前述的設定由於參考點的 Y 值是 7, 而空間加權量的 Y 軸加權值是 400 比 X 軸的 35 與 Z 軸的 50 大很多, 所以會強迫優先開採高度較高的同一平面的礦體, 而由於開挖向量是向著礦區的左面, 所以左面的礦會先被挖走。



圖 8 開挖 5、10、20、40 個月後的地貌圖

在整個開採的過程, 會依照開採的各項限制與品位的要求去進行, 圖 9 中是此礦區前 100 個月份, 每一個月份開採的預定開採礦塊的原始品位, 以及在不符礦塊平均品位, 經調整後符合品位要求的開採礦塊平均品位。在前 100 個月中有兩個比較特殊的點第 20 個月份的平均品位 1.9 與第 49 個月份的平均品位 1.66, 這兩個不符合品位要求的月份, 主要是因為在開挖面上所有可開挖的礦塊, 經調整後仍無法使平均品位符合於所需的範圍。

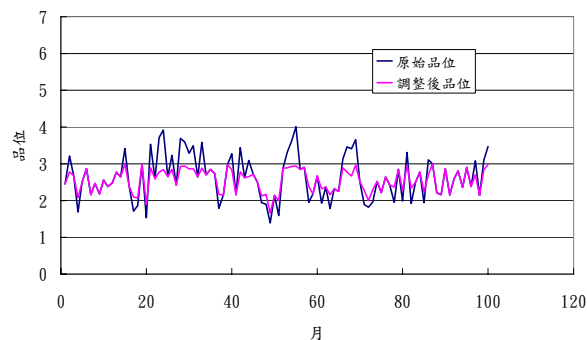


圖 9 各月份品位圖(狀況一)

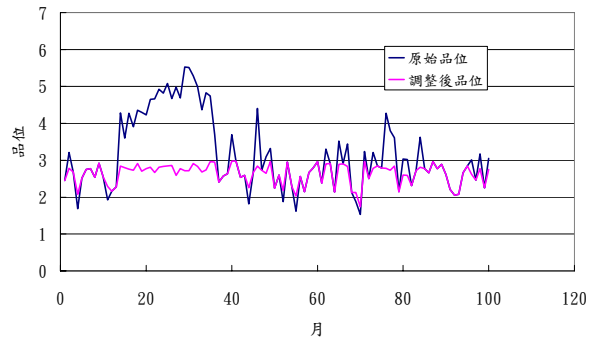


圖 11 各月份品位圖(狀況二)

5-2 狀況二

延續前面的設定, 若是在開採 5 個月後改變生產策略, 希望能最上兩層的礦體與左面的礦體一樣優先開採, 因此可在空間中(15,7,10)處加一固定的參考點, 使用空間加權量(35,400,50)加大 Y 軸的加權, 以便能先開採同一層的礦塊, 底下為開挖後 10 個月、20 個月、40 個月後的地貌圖與品位變化圖(圖 10 與圖 11)。在前 100 個月中有兩個比較特殊的地方, 一個是第 70 個月份的品位 1.74 無法調整至所需的品位範圍之內, 而在第 14 至第 36 個月份之間可以發現原始預備開採的礦塊其平均的品位都較高, 這主要是因為不均勻礦體的特性, 在礦區高層的部份是屬於品位比較高的區域, 所以平均品位會比較高, 不過由於在此規劃中是採用了兩個空間參考點, 所以規劃的過程中會自動地調配品位較低的礦塊, 所以在 14 至 36 月間的開採礦塊的平均品位均能維持在所需的範圍之內。



圖 10 開採 10、20、40 個月後的地貌圖

5-3 狀況三

延續前面的設定, 若將開採的過程從一開始就使用兩個固定的參考點(12,7,50)與(15,7,10), 空間加權量均為(34,400,50), 不使用開挖向量, 底下為開挖後 5 個月、10 個月、20 個月、40 個月後的地貌與品位變化圖(圖 12 與圖 13), 由於設置了兩個空間的參考點, 同時開採較高與較低品位的礦體, 所以前 100 個月中的平均品位均能維持在所需的範圍之內。



圖 12 開採 5、10、20、40 個月後的地貌圖

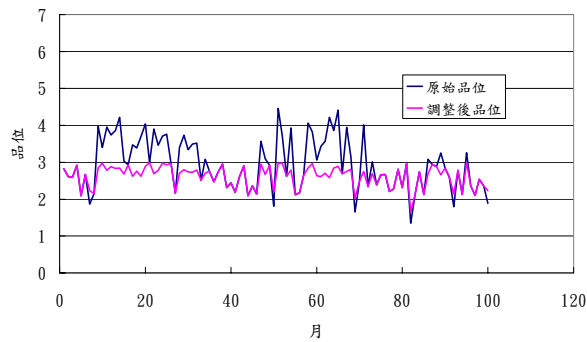


圖 13 各月份品位圖(狀況三)

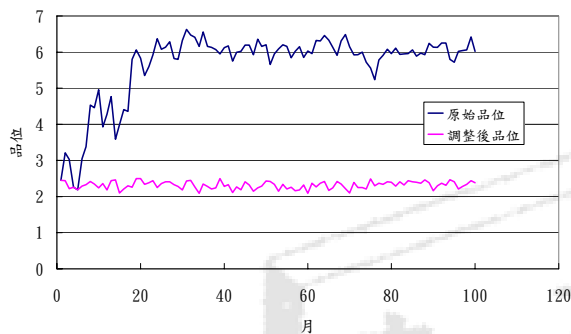


圖 15 各月份品位圖(狀況四)

5-4 狀況四

若是與狀況一的設定相同，所不同的是品位的要求改為需要介於 1.5-2.5 之，其各月份的開挖地貌圖與品位變化圖如後(圖 14 與圖 15)，由品位圖可以發現品位均能調整至所需的範圍之內，不過由於品位的範圍比較低，所以經調整的開採地貌可能會如圖中所出現破碎的狀況。



圖 14 開採 5、10、20、40 個月後的地貌圖

六、結論

在本研究中成功地利用伺服器語言，將傳統於單機上執行的程式轉換成為跨平台的網路應用程式，並且結合網路虛擬實境(VRML)與網路資料庫，輔助由程式所規劃出來的開採狀況。即時以視覺的方式顯示符合開挖要求的地貌狀況。在本研究中所提出的多移動參考點法，能夠利用空間中多個不同位置的參考點、多組開挖向量與開挖加權去控制所需的開挖方向與開挖面的形狀，搭配品位的控制原則，可規劃出各個月份符合於品位要求的開挖礦塊組合。在本研究中所發展出的開採規劃與立體檢視系統已可成功地應用於實際礦區的開採規劃以及立體的地貌與檢視之上。

七、參考文獻

- [1] 施勵行、張瑞麟與張峻彬(1995)：「不均勻礦體開採規劃之模擬系統」，礦冶，第三十九卷，第三期，第 98-102 頁。

- [2] 汪洋(1999)：VRML 設計寶典，文魁
- [3] 菁英工作室(2002)：邁向 ASP.NET 高手之路，全華科技
- [4] Basiura, R., et al.(2002)：Professional ASP.NET Security, Wrox Press
- [5] Baumgartner, W.(1991)：Developments and State-of-the-art, Holderbank, Switzerland, January
- [6] Burden, G. and Coiffe, P.(1994)：Virtual Reality Technology, Wiley, New York
- [7] Matsuba, S.N. and Roehl, B.(1996)：Virtual Reality, Modeling Language, Simon & Schuster
- [8] "Quarry Optimization," (1994)：International Cement Review, June, p53-66