



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I628422 B

(45) 公告日：中華民國 107 (2018) 年 07 月 01 日

(21) 申請案號：105123152

(22) 申請日：中華民國 105 (2016) 年 07 月 22 日

(51) Int. Cl. : G01L1/24 (2006.01)

G01L5/00 (2006.01)

(71) 申請人：國立清華大學 (中華民國) NATIONAL TSING HUA UNIVERSITY (TW)

新竹市光復路二段 101 號

(72) 發明人：王偉中 WANG, WEI-CHUNG (TW) ; 宋泊錡 SUNG, PO-CHI (TW) ; 江禹安

CHIANG, YU-AN (TW) ; 洪德恆 HUNG, TE-HENG (TW)

(74) 代理人：高玉駿；楊祺雄

(56) 參考文獻：

TW 381167

TW 201543016A

US 5400131

US 6693710B1

審查人員：盧贊文

申請專利範圍項數：21 項 圖式數：20 共 56 頁

(54) 名稱

基於時間域相位展開之應力分析方法

STRESS ANALYSIS METHOD BASED ON TEMPORAL PHASE UNWRAPPING

(57) 摘要

一種應力分析方法，適於一計算機裝置執行，包含以下步驟：步驟(A)存取一光譜資料，該光譜資料是由一光學檢測系統透過光彈技術偵測一待測物件之一干涉條紋圖形所產生，該光譜資料包含至少三筆對應於相異波長的光強度資訊；步驟(B)依據每一光強度資訊計算一相應的包裹相位資訊；步驟(C)依據每一包裹相位資訊計算一相應的包裹應力資訊，每一包裹應力資訊是正比於其相應的包裹相位資訊對波長之線性函數的乘積；步驟(D)依據包裹應力資訊之間的相對關係擇定一計算關係式；及步驟(E)依據該計算關係式計算一相應於該待測物件之包裹應力資訊的應力值。

A stress analysis method based on temporal phase unwrapping is to be implemented by a computer device, and includes: (A) receiving spectrum data which is generated from an interference pattern of an object by an optical inspection system through photoelastic technique, and has at least three light intensity information with respect to different wavelengths; (B) calculating a wrapped phase information based on each of the light intensity information; (C) calculating a wrapped stress information, which is proportional to a product result of each of the wrapped phase information and a linear function of each of the wavelengths, based on each of the wrapped phase information; (D) selecting a calculation relation based on the relation between the wrapped stress information; and (E) calculating a stress value with respect to the wrapped stress information through the calculation relation.

指定代表圖：

符號簡單說明：

A0、A~H . . . 步驟

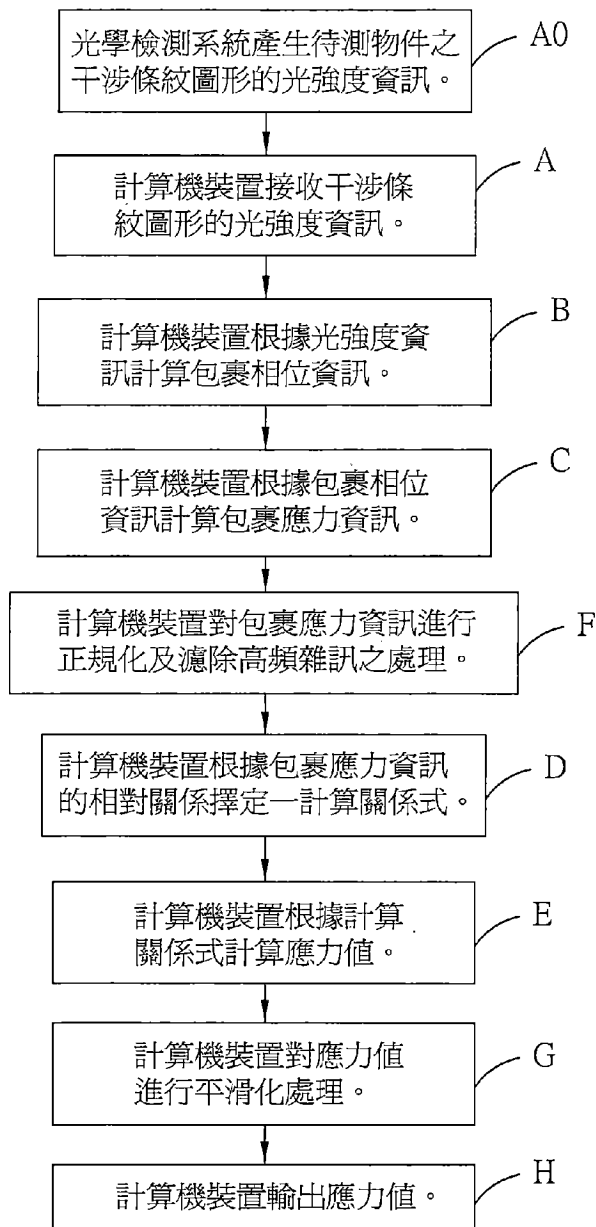


圖3

【發明圖式】

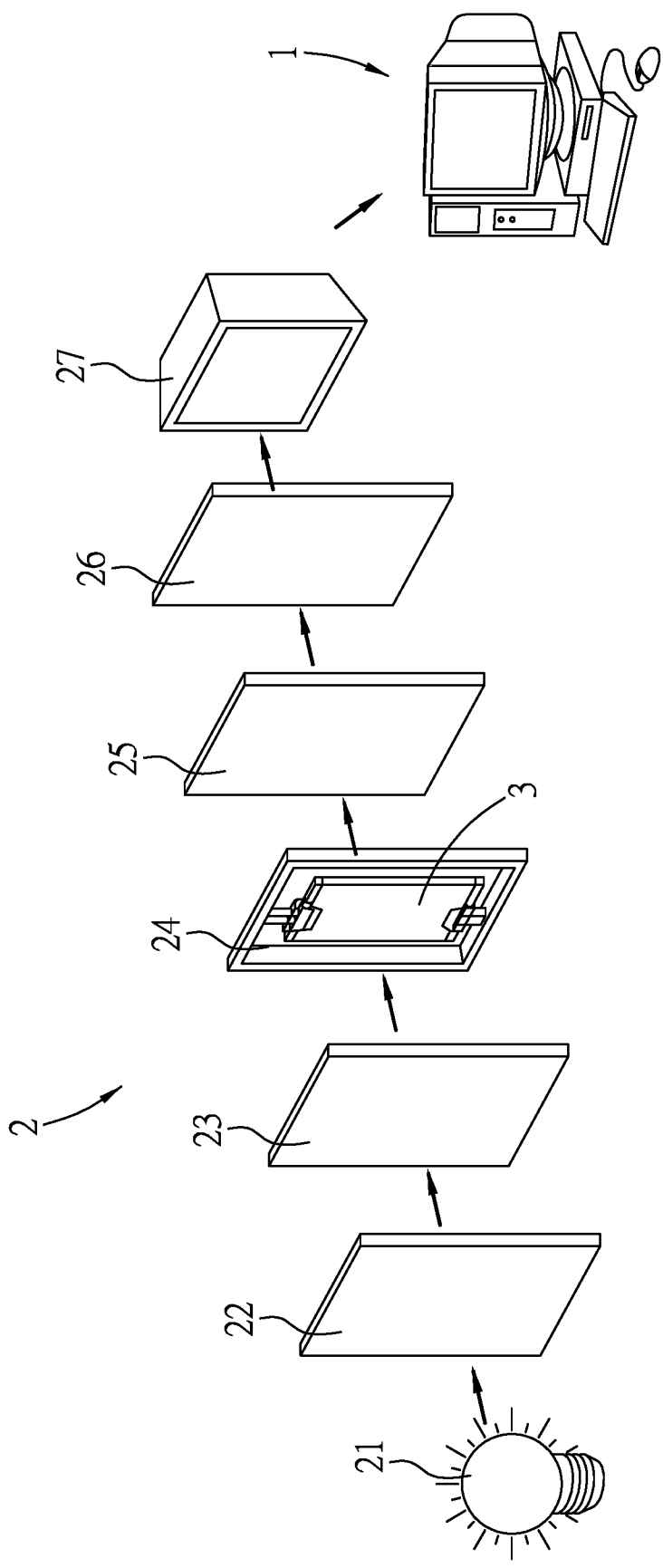


圖1

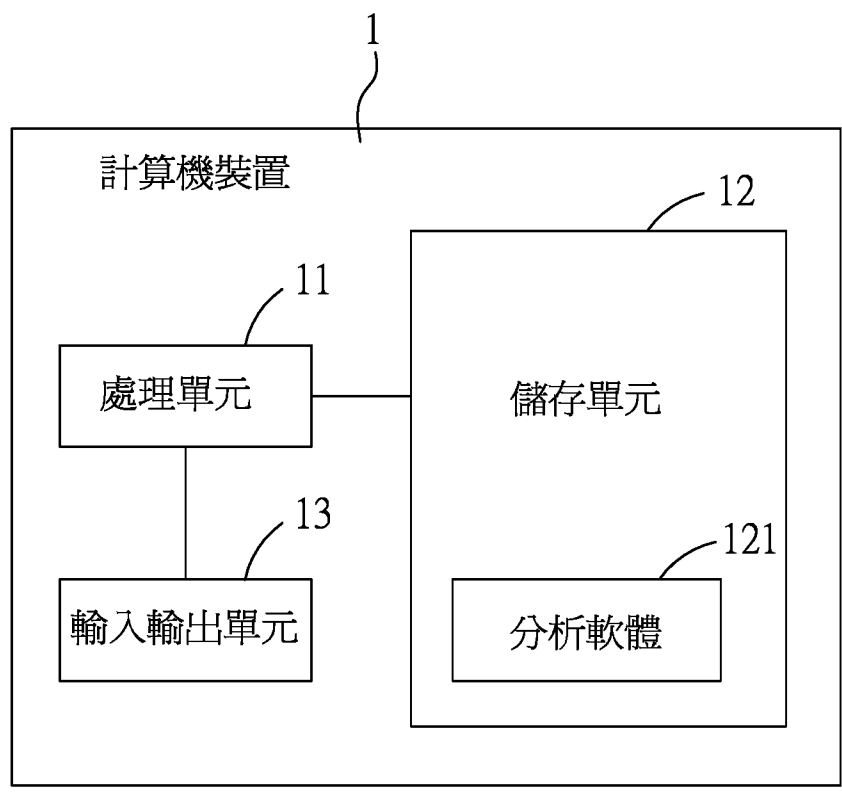


圖2

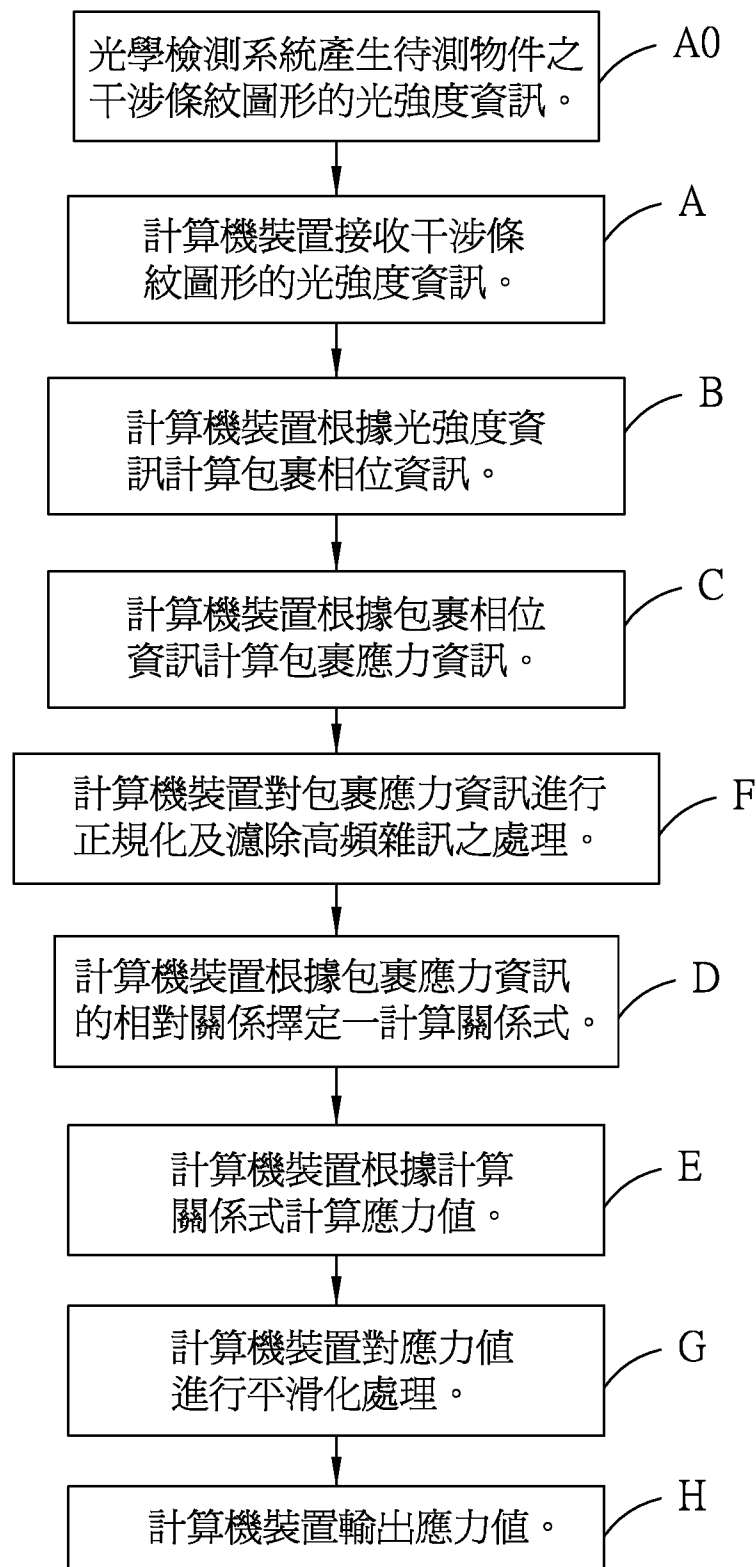


圖3

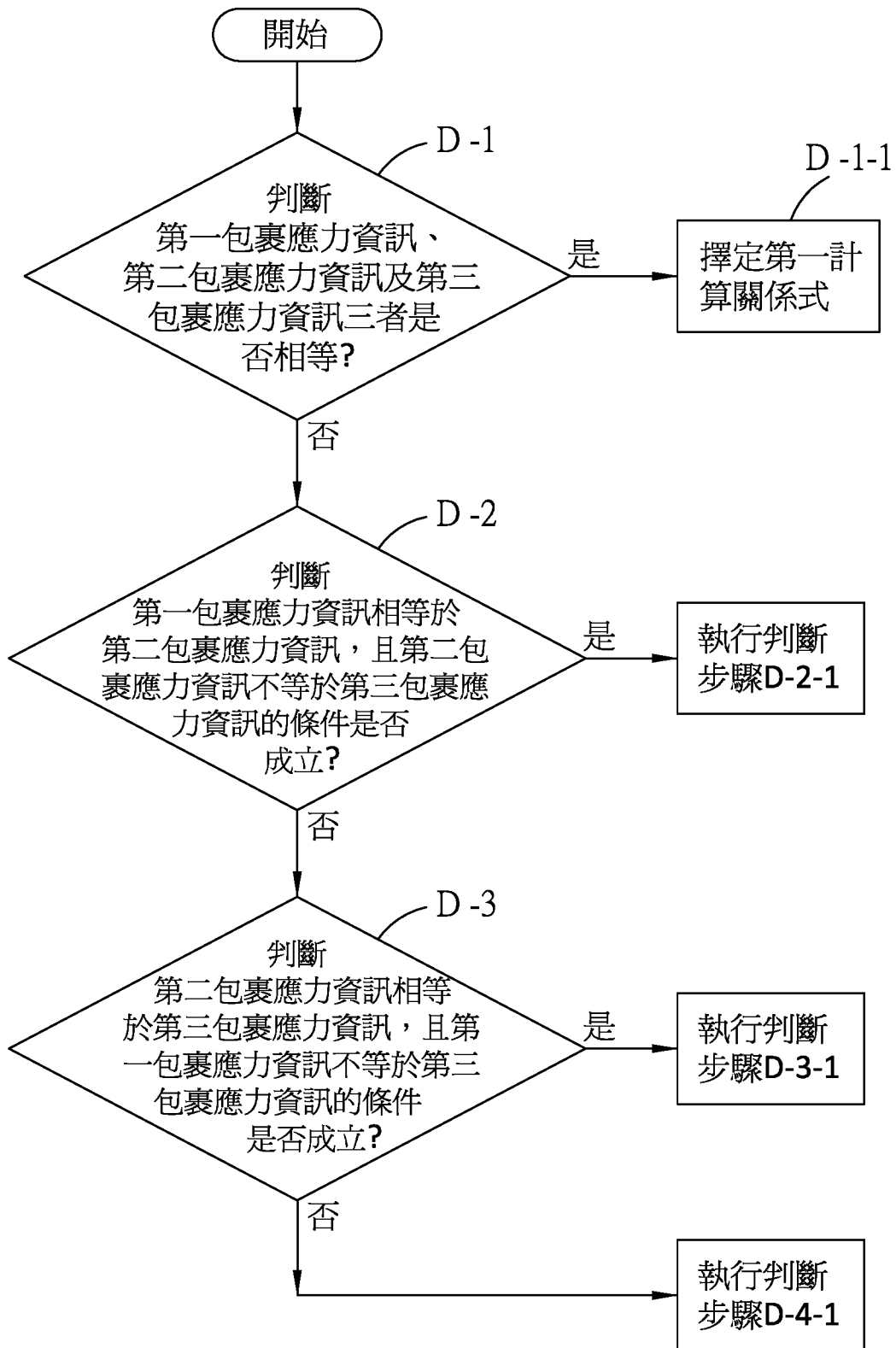
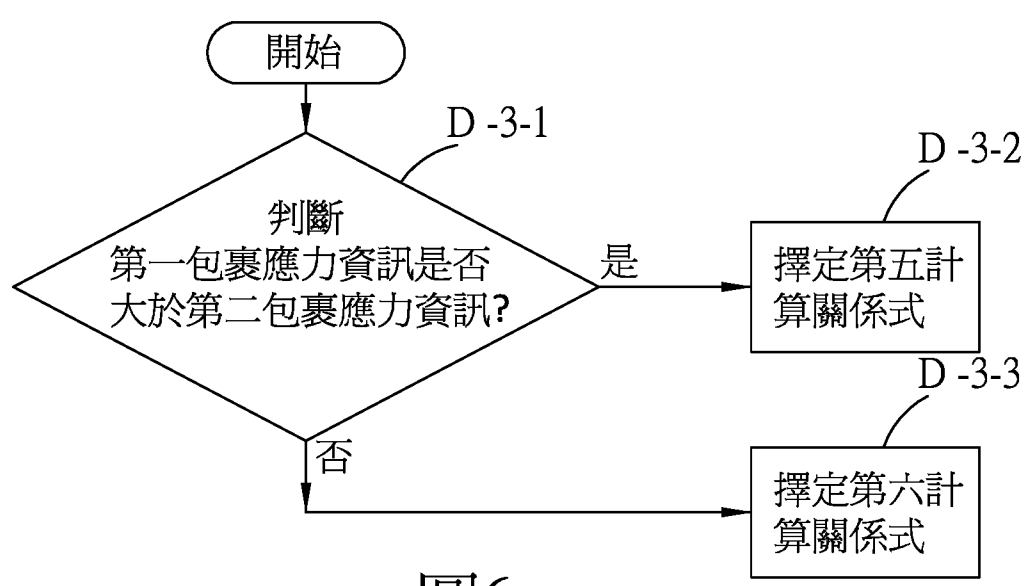
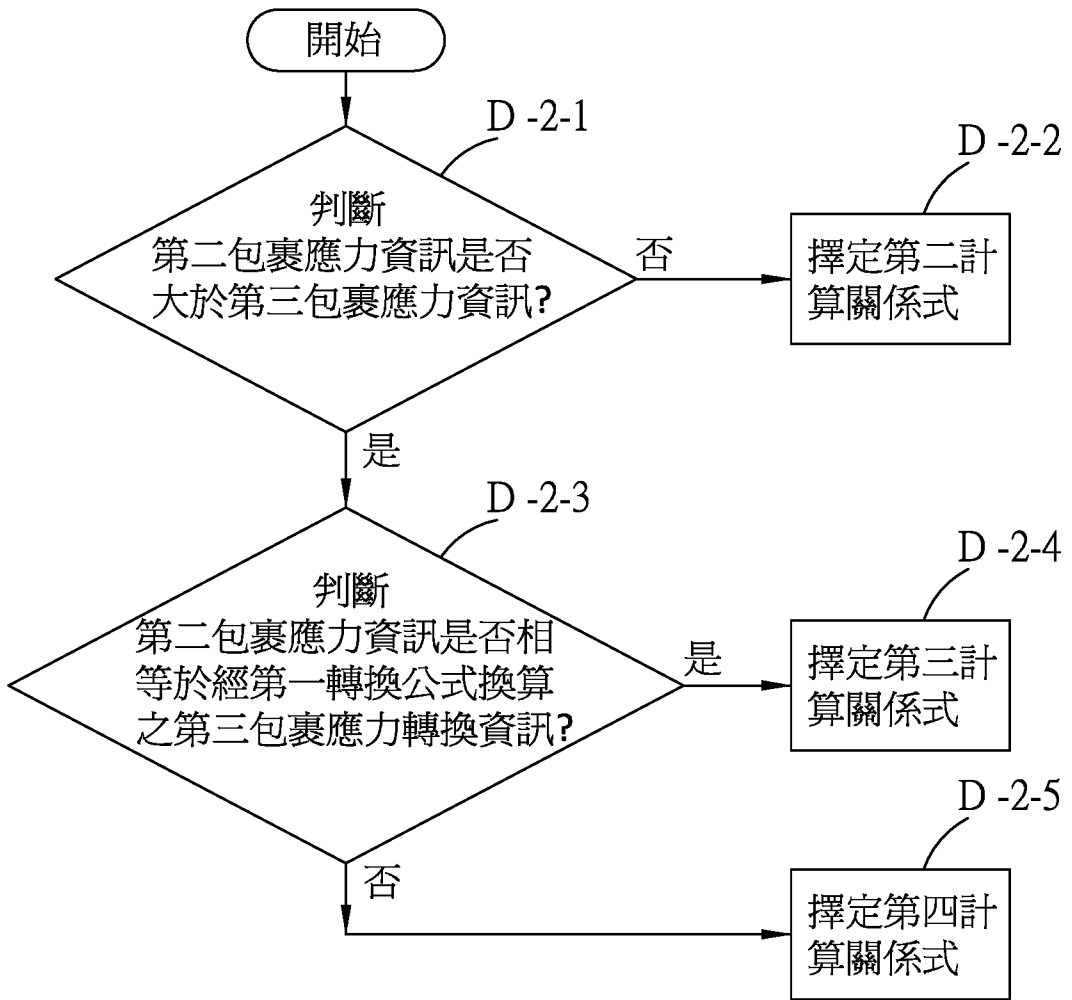


圖4



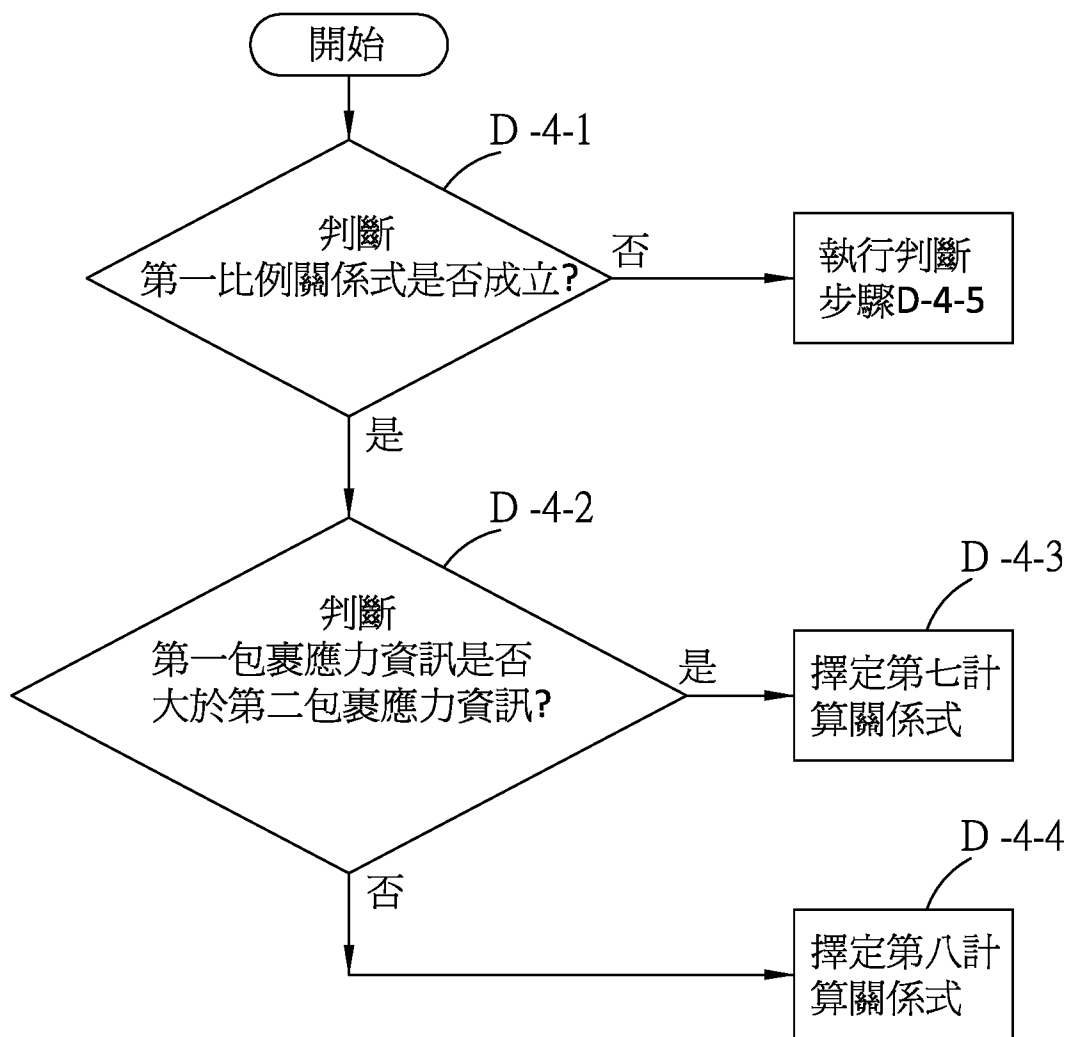


圖7

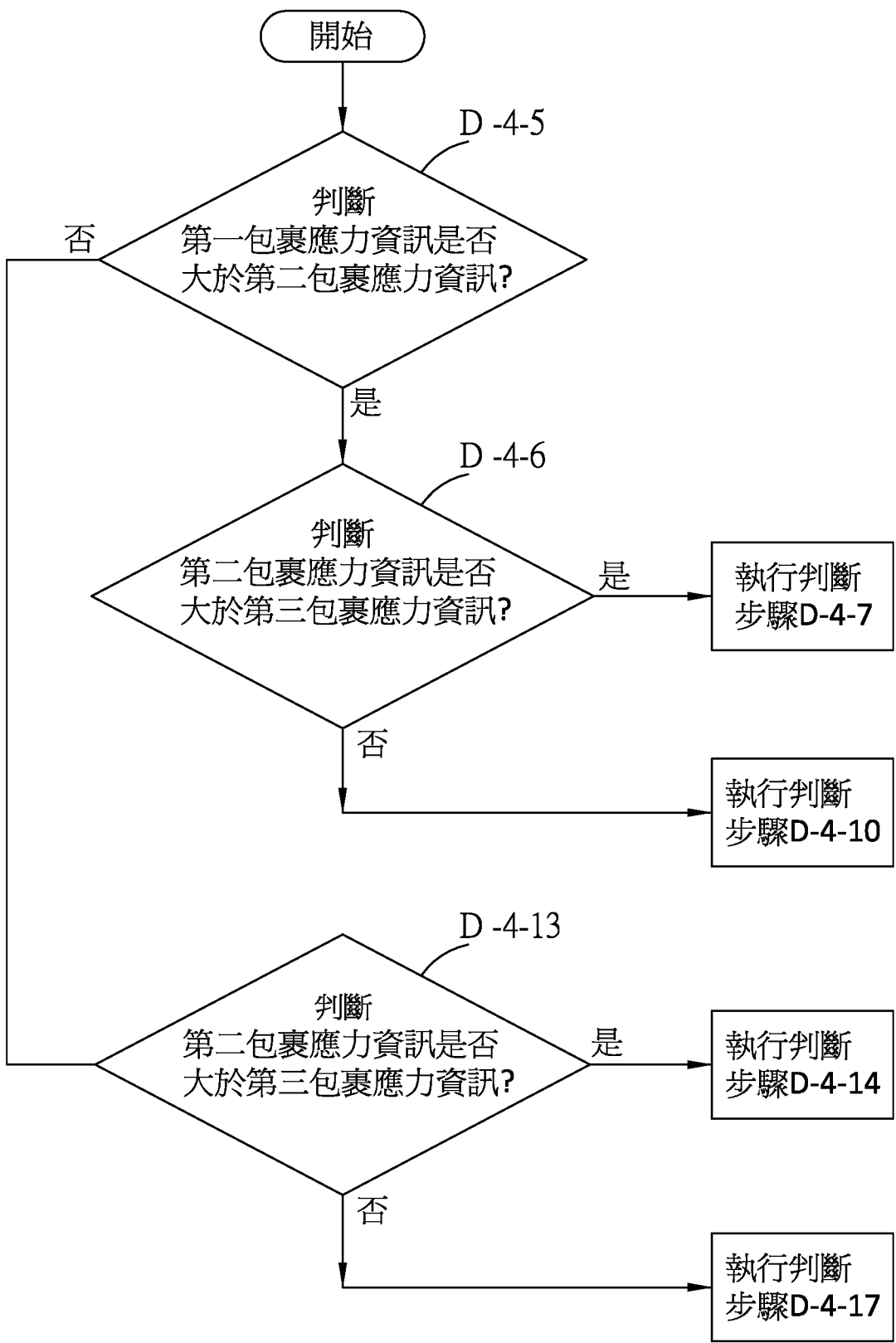


圖8

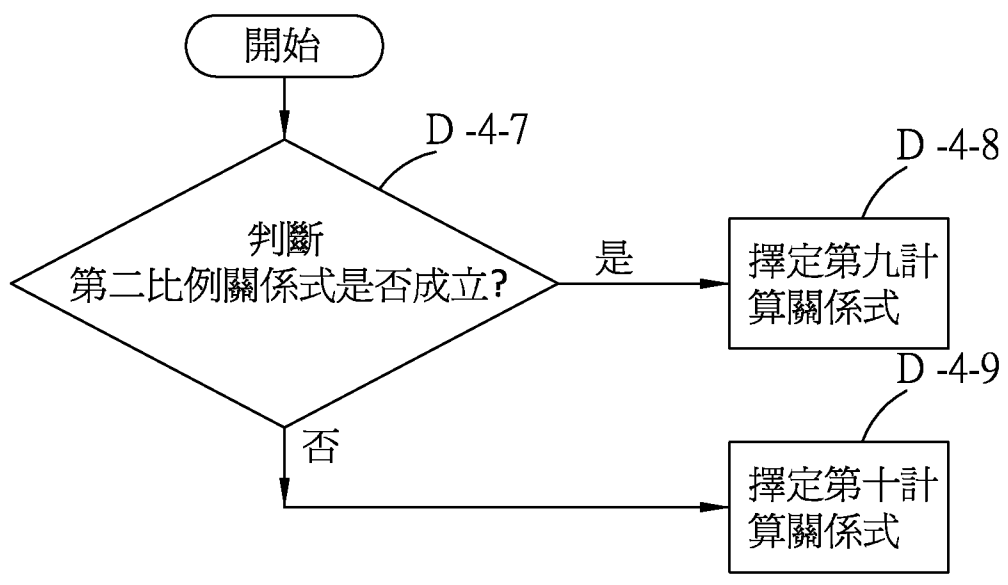


圖9

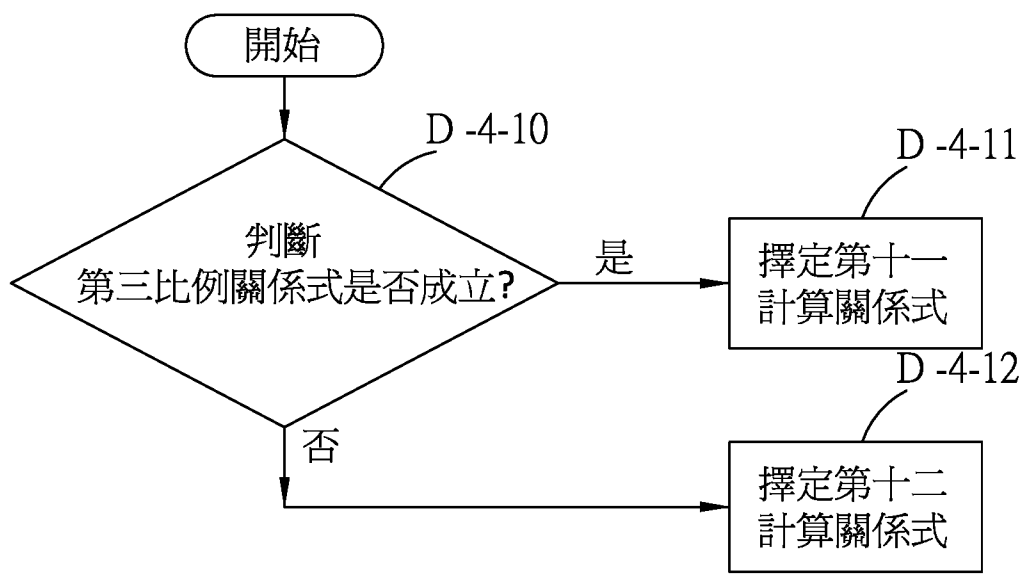


圖10

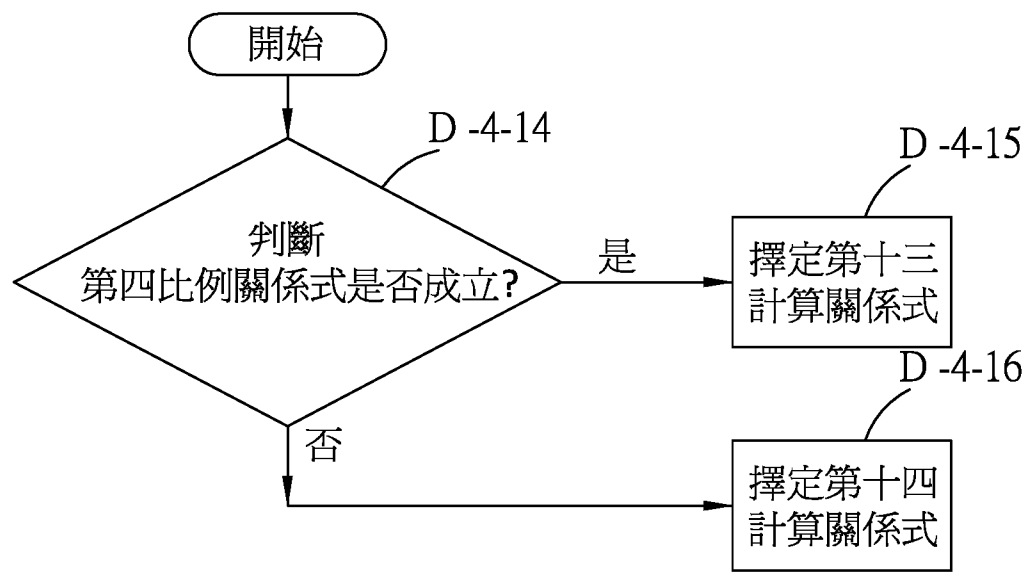


圖11

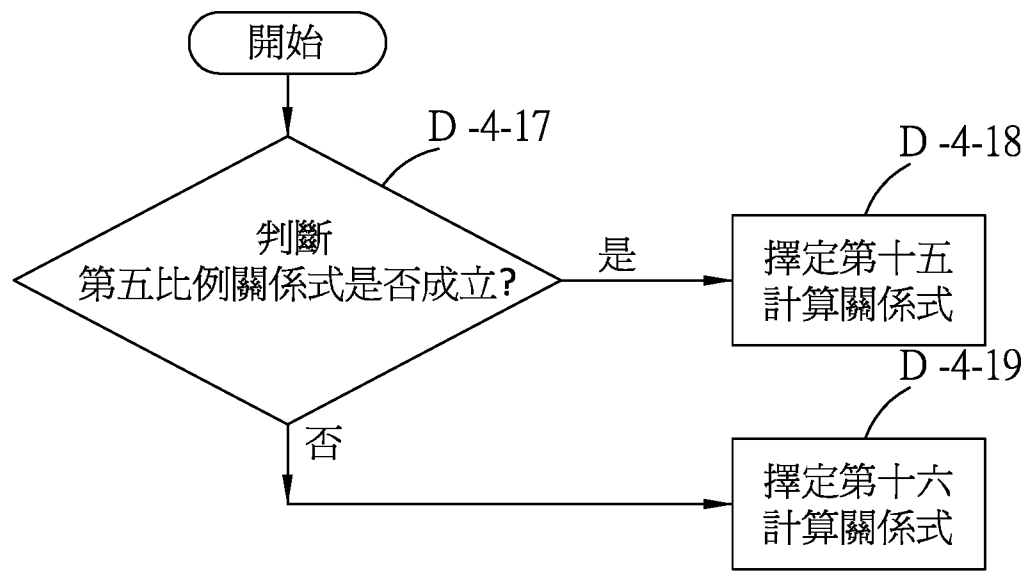


圖12

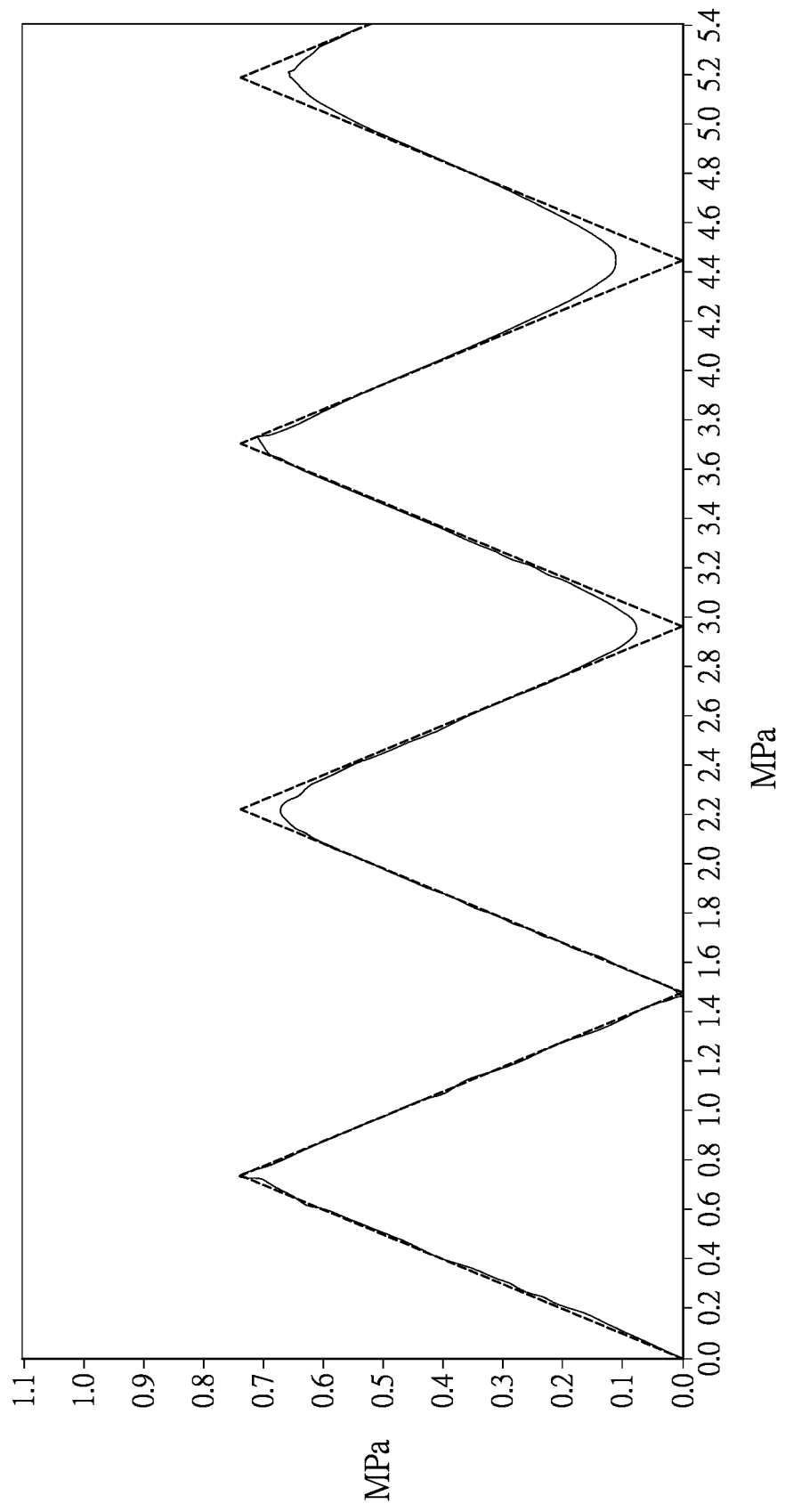


圖13

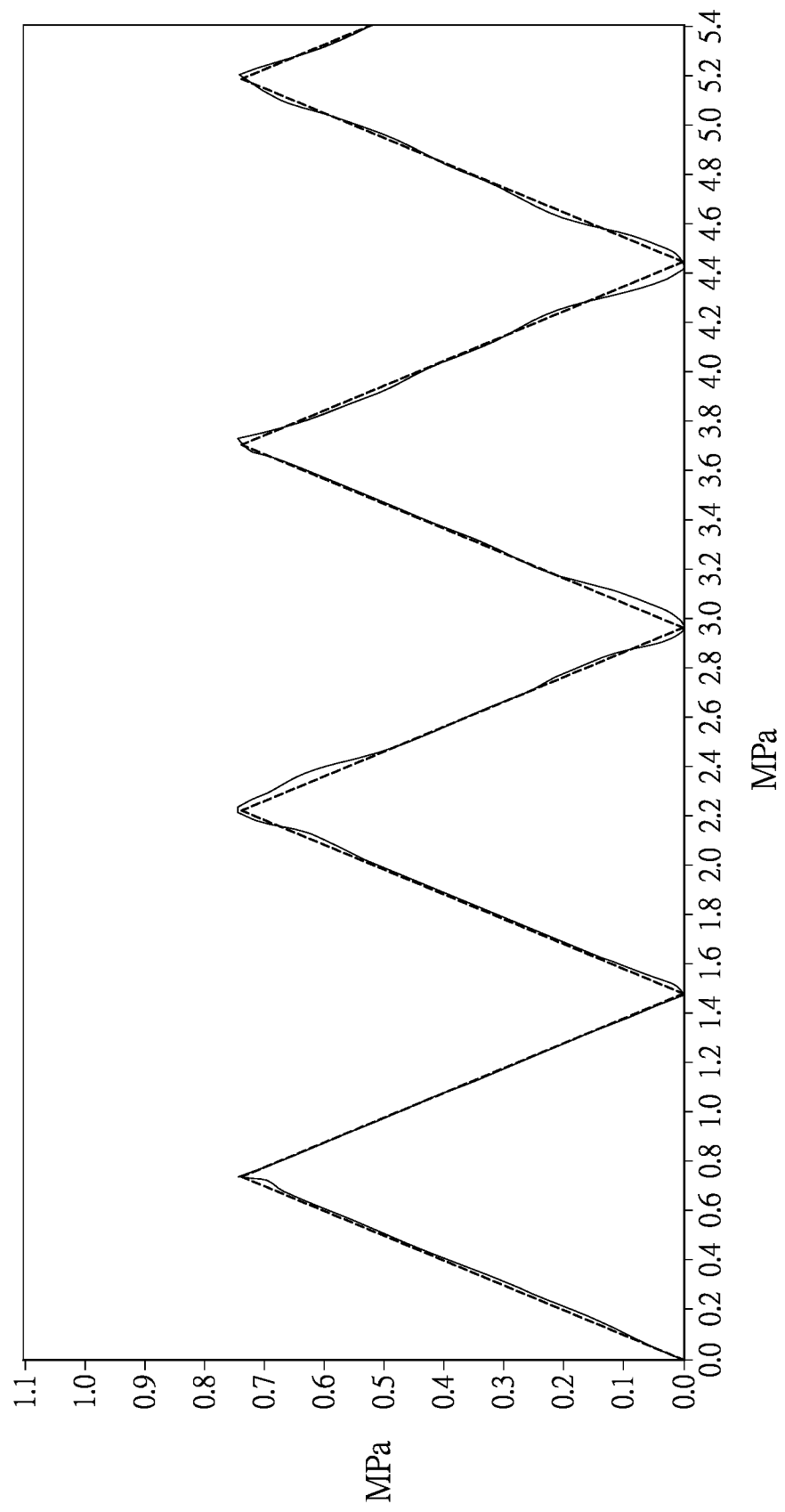


圖14

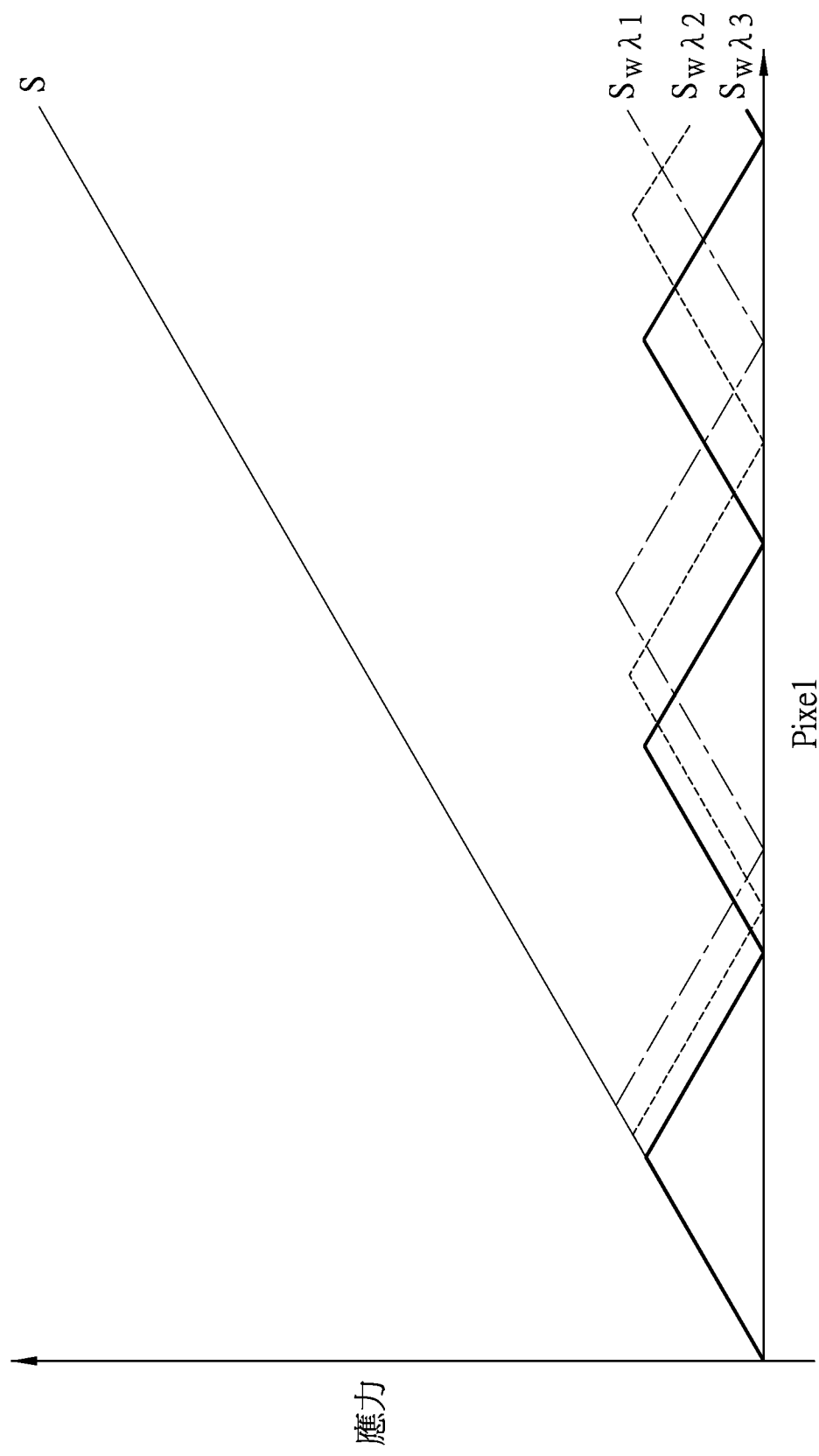


圖15

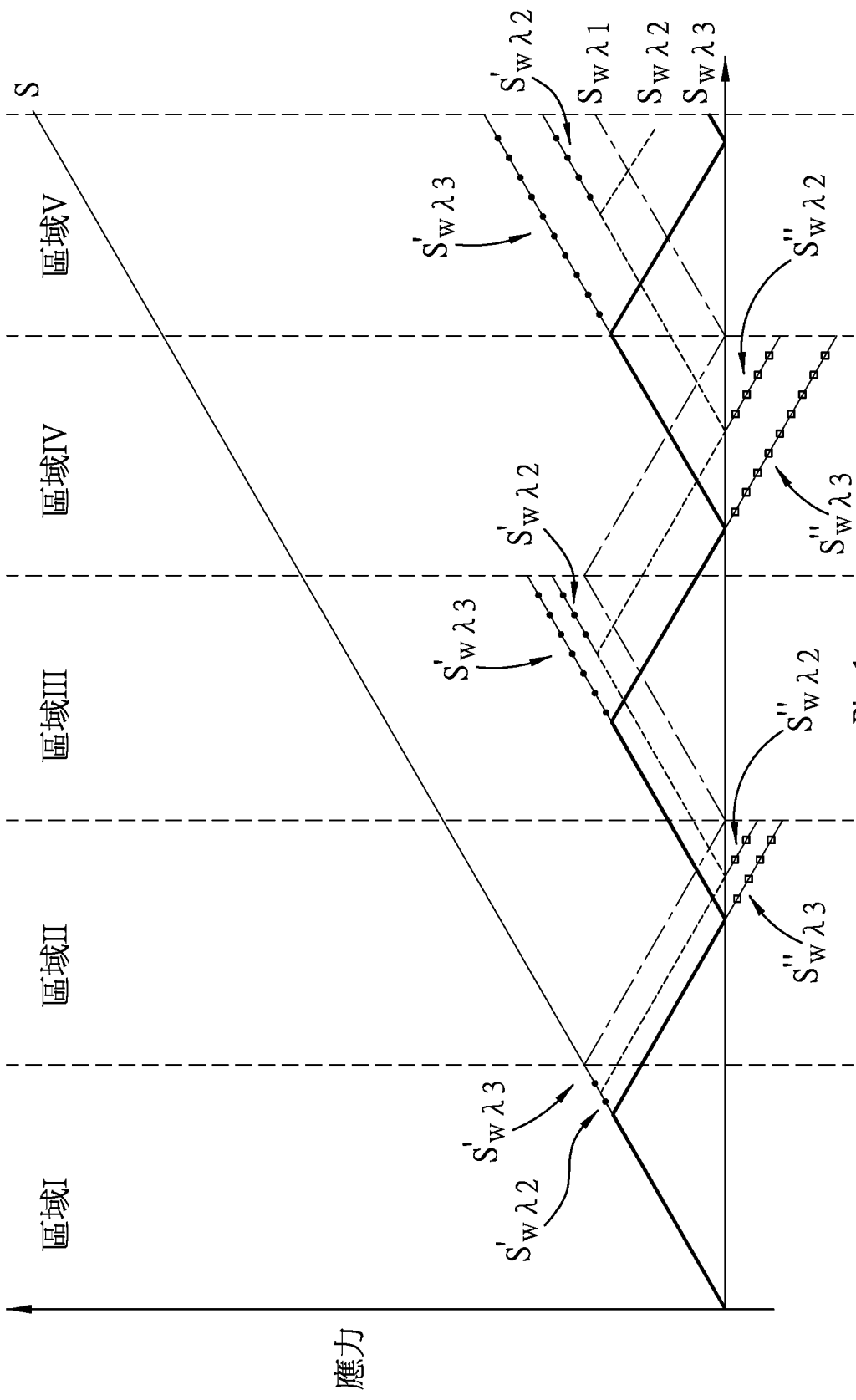


圖16

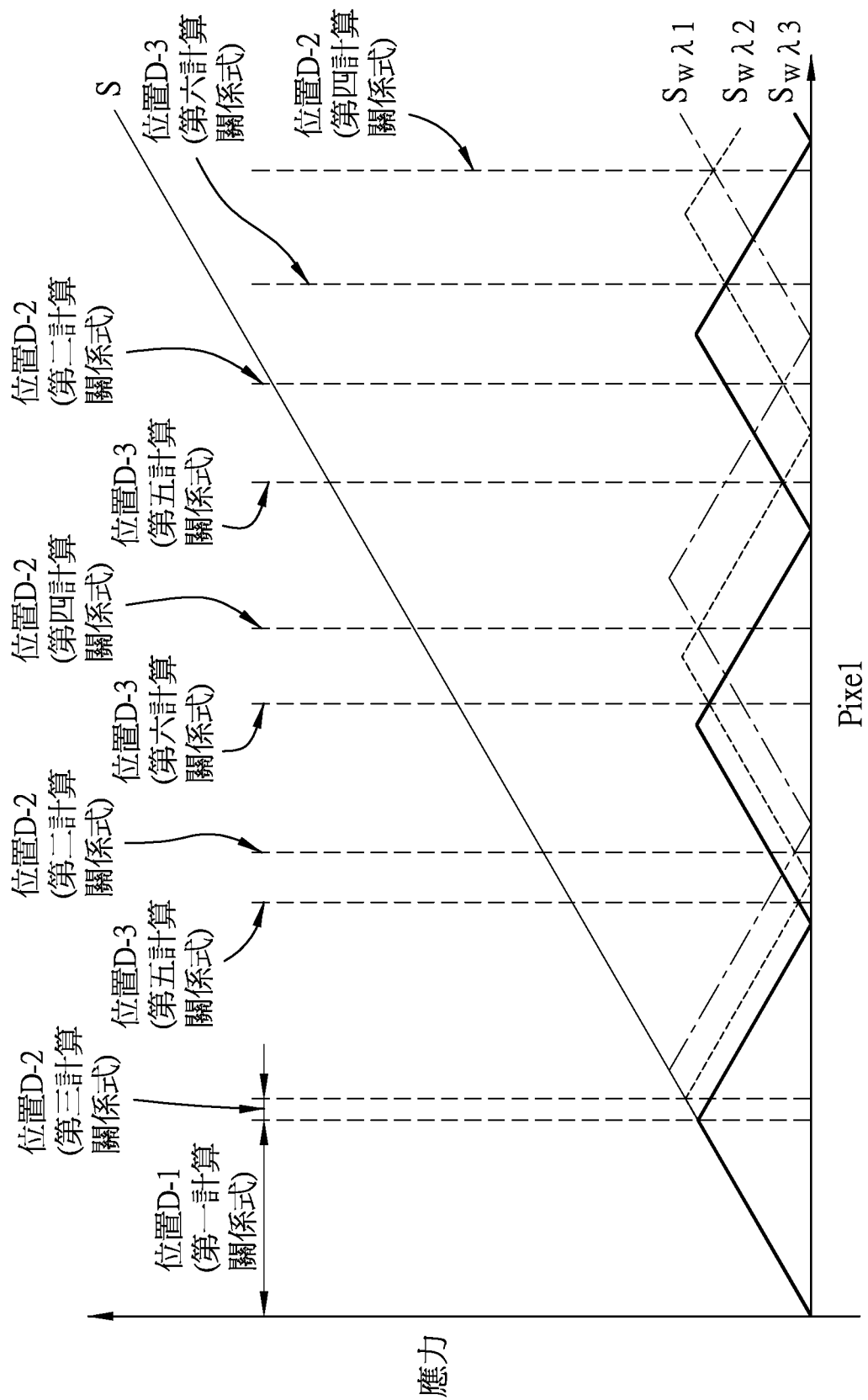


圖17

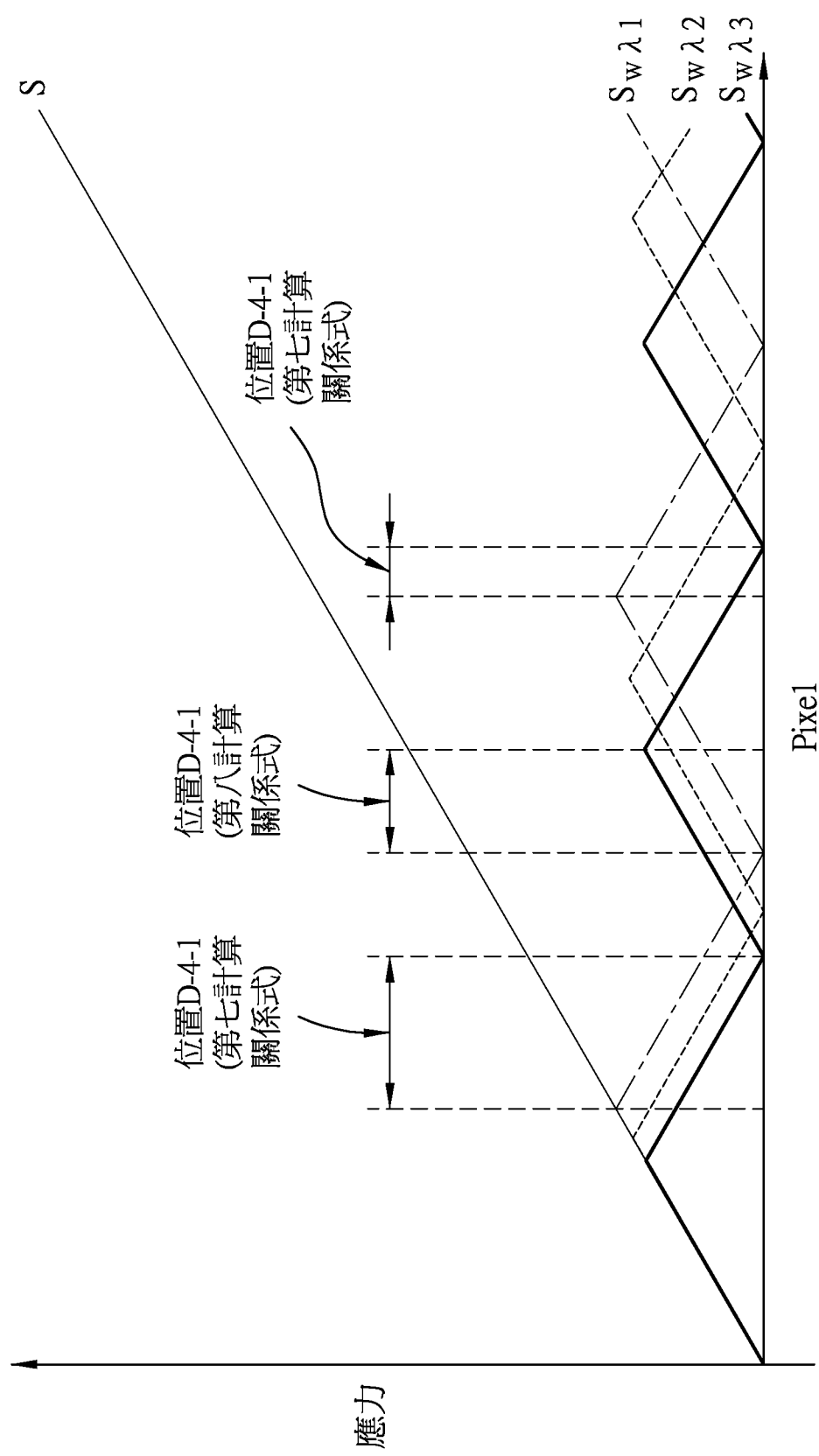


圖18

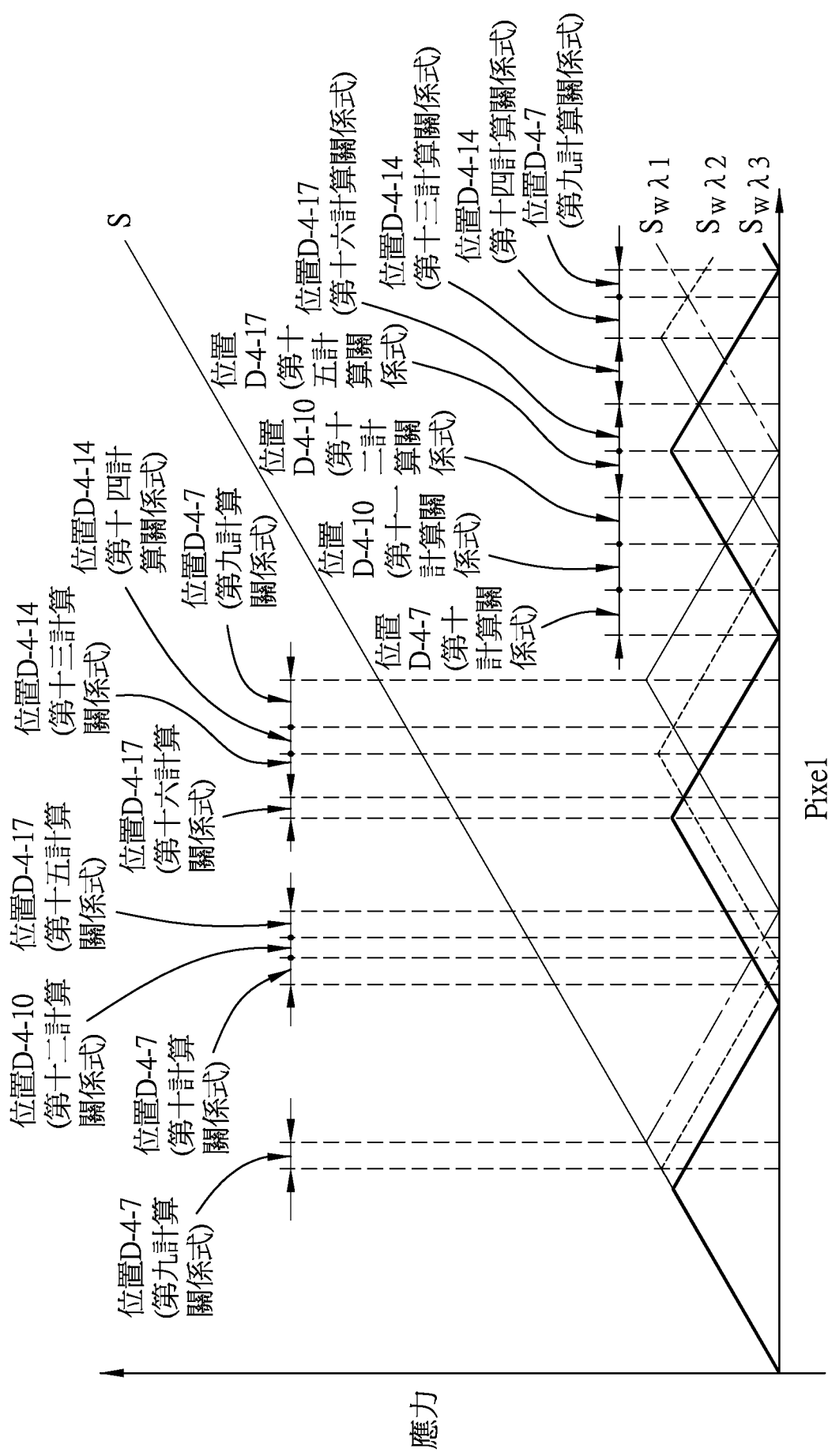


圖19

Pixel

應力

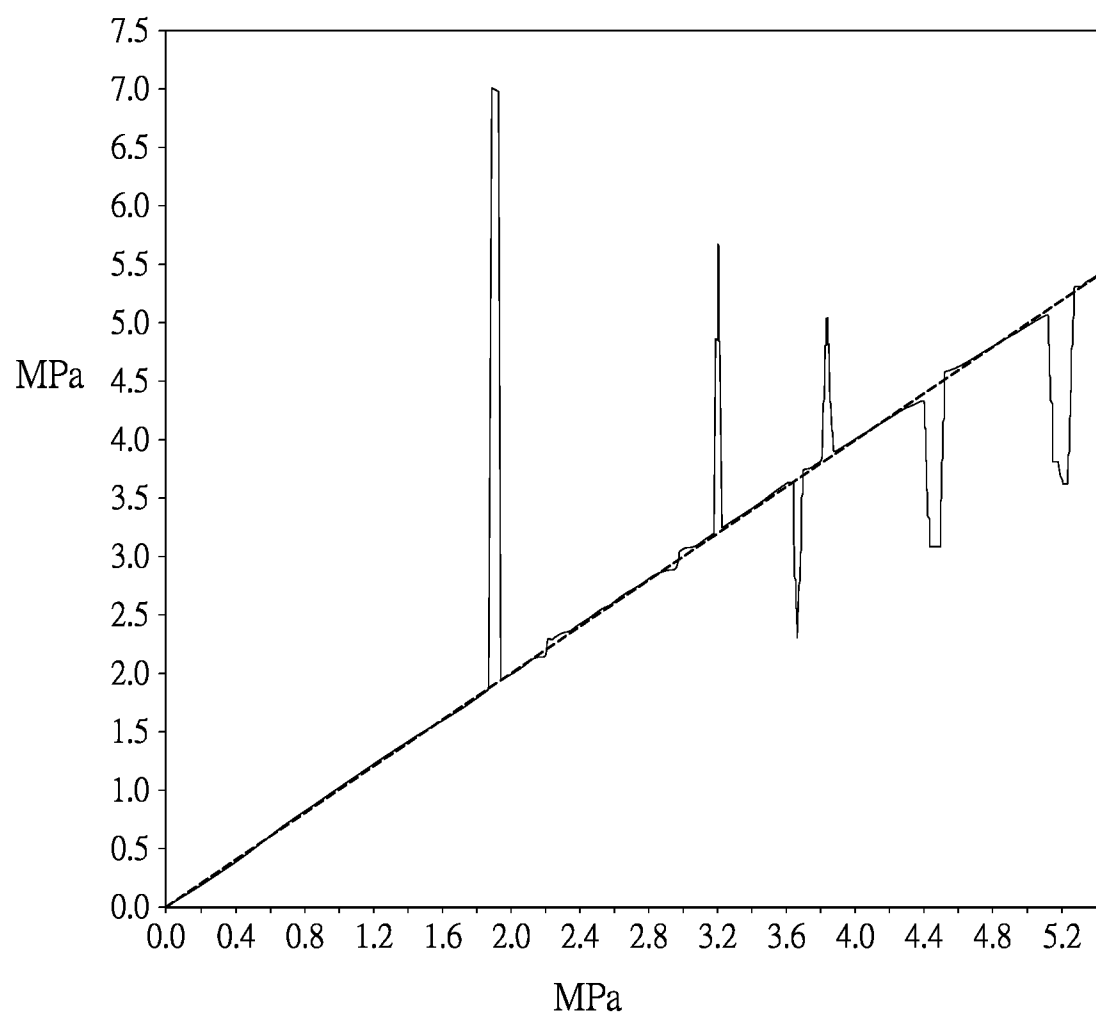


圖20

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】 基於時間域相位展開之應力分析方法

【英文發明名稱】 Stress analysis method based on temporal phase unwrapping

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種應力分析方法，特別是指一種運用光彈技術的應力分析方法。

【先前技術】

【0002】 光彈法是基於物體之雙折射特性，由物體之干涉條紋圖形對其內部應力進行檢測分析的光學方法，具有全場性檢測、高精確性及非破壞性檢測等優點。現今已有透過電子取像裝置及影像分析系統進行應力分析的數位光彈法，在此種數位光彈法的檢測過程中，由於電子取像裝置及影像分析系統測得之干涉條紋級次及相位延遲量屬於包裹相位(wrapped phase)，因此需要透過相應的相位展開法將包裹相位還原為實際相位值，方能進行相應的應力分析。

【0003】 一般運用於光彈應力分析的相位展開法可分為空間域相位展開法(Spatial phase unwrapping theory, SPUT)及時間域相位展開法(Temporal phase unwrapping theory, TPUT)，在時間域相位展開法中包含透過 $\pi$ 模數(modulo  $\pi$ )或 $2\pi$ 模數(modulo  $2\pi$ )之相位所進行的演算技術。在 $\pi$ 模數相關的時間域相

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

位展開法中，目前已有將 $\pi$ 模數之包裹相位展開為 $2\pi$ 模數之包裹相位再進行相關應力演算的技術，此外也有透過迭代猜值法進行應力分析的技術。然而，在此等演算法的分析計算過程中，電腦需要執行較多的分析計算流程，例如不能直接以 $\pi$ 模數之包裹相位進行應力分析而需額外將 $\pi$ 模數之包裹相位展開為 $2\pi$ 模數之包裹相位以進行後續的演算分析，或是在迭代猜值法中需將檢測數據透過迭代猜值法與資料庫中的眾多預建數據逐一進行比對，如此一來諸多冗長的計算流程會導致電腦的演算效率低落。此外，上述分析技術對光譜資料的波長選用存在一定的限制條件，例如透過三波長法進行相位展開時，其三個波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 之選用必須符合以下條件，如此會導致眾多使用上的限制。

$$\lambda_2 = 2 \frac{\lambda_1 \times \lambda_3}{\lambda_1 + \lambda_3}, \lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$$

#### 【發明內容】

【0004】 因此，本發明之其中一目的，即在提供一種簡潔而具有良好演算效率的演算步驟，且不限定待分析物理量之波長選用的應力分析方法。

【0005】 於是，本發明應力分析方法，適於一計算機裝置執行，該計算機裝置包含一處理單元及一儲存單元，該應力分析方法包含以下步驟：步驟(A)該處理單元自該儲存單元存取一光譜資料，該

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

光譜資料是由一光學檢測系統透過光彈技術偵測一待測物件的一干涉條紋圖形所產生，該光譜資料包含至少三筆對應於相異波長的光強度資訊；步驟(B)該處理單元依據每一光強度資訊計算一相應的包裹相位資訊；步驟(C)該處理單元依據每一包裹相位資訊計算一相應的包裹應力資訊，每一包裹應力資訊是正比於其相應的該包裹相位資訊對該波長之線性函數的乘積；步驟(D)該處理單元依據該等包裹應力資訊之間的相對關係擇定一計算關係式；及步驟(E)該處理單元依據該計算關係式計算一相應於該等包裹應力資訊的應力值。

**【0006】** 本發明至少具有以下功效：本發明之應力分析方法使用 $\pi$ 模數的相位展開法，將包裹應力資訊之間的相對關係歸納出有限且少量的判斷條件及計算關係式，因此計算機裝置讀入待測物件的光譜資料後，可依據各項判斷條件迅速擇定計算關係式，並依據計算關係式分析出待測物件的應力值，且於分析時不須限制波長之選用。因此，本發明提出的應力分析方法能實現即時快速量測應力的相關應用，且在光學檢測系統的架設及計算機裝置後續分析時不受限於波長選用而具有高自由度的應用範疇。

#### **【圖式簡單說明】**

**【0007】** 本發明之其他的特徵及功效，將於參照圖式的實施方式中清楚地呈現，其中：

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

圖 1 是一系統示意圖，說明一光學檢測系統的實施態樣；

圖 2 是一系統示意圖，說明一計算機裝置的實施態樣；

圖 3 是一流程圖，說明本發明應力分析方法的執行流程；

圖 4 至圖 12 是相應於圖 3 之步驟 D 的子流程圖；

圖 13 及圖 14 為曲線圖，說明圖 3 之步驟 F 的執行功效；

圖 15 至圖 19 是曲線圖，說明圖 3 之步驟 D 的執行原理及功效；

及

圖 20 是一曲線圖，說明圖 3 之步驟 G 的執行功效。

#### 【實施方式】

【0008】 參閱圖 1 至圖 3，本發明應力分析方法適於由一計算機裝置 1 配合一光學檢測系統 2 執行，該應力分析方法係運用光彈技術對一具有雙折射特性的待測物件 3 進行結構之應力分析。

【0009】 光學檢測系統 2 為一透過圓偏振光對待測物件 3 進行應力分析的光學系統，其依光線行進路線依序包含一光源 21、一線偏光片 22、一第一四分之一波片 23、一用於裝載待測物件 3 並可對待測物件 3 施予外力的施載單元 24、一第二四分之一波片 25、一檢光片 26 及一光譜儀 27。光源 21 用於產生單色光或具有特定波長範圍的光線，在本實施例該光源 21 以非單色光為佳，如此便於使用者進行應力分析時能夠彈性地選擇欲分析之波長。線偏光片 22、第一四分之一波片 23、第二四分之一波片 25 用於轉換光線的偏振特性，

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

線偏光片 22 與第一四分之一波片 23 之配合可將光源 21 發出的光線轉換為圓偏振光，而第二四分之一波片 25 則能將圓偏振光轉換為線偏振光。檢光片 26 與光譜儀 27 之配合可將光線穿透待測物件 3 所產生的干涉條紋圖形轉換為一光譜資料，該光譜資料可供計算機裝置 1 進行待測物件 3 之結構應力分析。要說明的是，根據實際需要，使用者可透過不同配置的光學檢測系統 2 進行應力檢測，例如在一實施態樣中可以省略第二四分之一波片 25 的設置，或者也能夠同時省略第一四分之一波片 23 與第二四分之一波片 25 的設置而透過線偏振光進行檢測，不限於特定實施方式。

**【0010】** 計算機裝置 1 包含一處理單元 11、一儲存單元 12 及一輸入輸出單元 13。處理單元 11 例如為中央處理器 (Central processing unit, CPU)，係用於資料之分析運算，並可控制儲存單元 12 及輸入輸出單元 13 之運作。儲存單元 12 電連接於處理單元 11，用於儲存前述光學檢測系統 2 產生之光譜資料，並儲存一用於應力分析的分析軟體 121。輸入輸出單元 13 電連接於處理單元 11，用於接收光學檢測系統 2 輸出之光譜資料，並能將處理單元 11 求得之待測物件 3 的應力值輸出顯示器等外部裝置。

**【0011】** 參閱圖 3 以及相關圖式，以下說明本發明應力分析方法的具體執行流程。

**【0012】** 參閱圖 1 至圖 3，首先，於步驟(A0)使用者可先架設好

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

計算機裝置1及光學檢測系統2，由光學檢測系統2透過光彈技術偵測待測物件3的干涉條紋圖形而產生一光譜資料，該光譜資料包含多筆(本實施例需至少三筆)對應相異波長 $\lambda$ 的光強度資訊。

【0013】 接著，於步驟(A)使用者可操作計算機裝置1，由計算機裝置1的輸入輸出單元13接收光學檢測系統2的光譜儀27所產生的該光譜資料，並讓該光譜資料儲存於儲存單元12中。

【0014】 隨後，於步驟(B)使用者可啟動儲存單元12中的分析軟體121，讓計算機裝置1的處理單元11自儲存單元12存取該光譜資料，並由使用者預先擇定用於分析該光譜資料的三個相異的待分析波長，此等波長由大而小以第一波長 $\lambda_1$ 、第二波長 $\lambda_2$ 及第三波長 $\lambda_3$ 表示。處理單元11會依據光譜資料中對應於第一波長 $\lambda_1$ 、第二波長 $\lambda_2$ 及第三波長 $\lambda_3$ 的各筆光強度資訊計算一相應的包裹相位資訊 $\delta_w$ (Wrapped phase)，在此將對應於第一波長 $\lambda_1$ 、第二波長 $\lambda_2$ 及第三波長 $\lambda_3$ 的包裹相位資訊 $\delta_w$ 分別以第一包裹相位資訊 $\delta_{w\lambda_1}$ 、第二包裹相位資訊 $\delta_{w\lambda_2}$ 及第三包裹相位資訊 $\delta_{w\lambda_3}$ 表示。由於光強度資訊為包裹相位資訊 $\delta_w$ 的正弦函數(Sine function)，因此本步驟(B)由處理單元11透過對光強度資訊取反正弦函數(Inverse sine function)運算，即可獲知值域範圍介於 $0\sim\pi$ 之間的包裹相位資訊 $\delta_w$ ，且於後續之分析計算步驟能夠直接以該包裹相位資訊 $\delta_w$ 進行 $\pi$ 模數相關的時域相位展開，不需要進行額外的 $2\pi$ 模數轉換運算，因此能省略繁

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

瑣的轉換運算步驟，提升演算過程的效率。要說明的是，上述關於包裹相位資訊  $\delta_w$  的運算方式，除了透過反正弦函數計算外，也可以透過反餘弦函數 (Inverse cosine function) 或是反正切函數 (Inverse tangent function) 等運算方式對光強度資訊進行運算處理，如此亦能由光強度資訊獲取相應的包裹相位資訊  $\delta_w$ 。

【0015】 接著，於步驟(C)處理單元11會依據步驟(B)求得之包裹相位資訊  $\delta_w$  進一步計算相應的包裹應力資訊  $S_w$  (Wrapped stress)，該包裹應力資訊  $S_w$  是正比於其相應的包裹相位資訊  $\delta_w$  對波長  $\lambda$  之線性函數的乘積，如下式所表示。

$$S_w = \frac{A\lambda + B}{\pi} \delta_w$$

其中， $\frac{A\lambda + B}{\pi}$  即為波長  $\lambda$  之線性函數， $A$  為與波長  $\lambda$  獨立之線性函數斜率項， $B$  為與波長  $\lambda$  獨立之線性函數截距項， $A$  及  $B$  與待測物件3的材料特性相關，兩者可視為已知參數。在步驟(B)求得包裹應力資訊  $S_w$  後，上述公式中的  $A$ 、 $B$ 、 $\lambda$  及  $\delta_w$  均為已知數，因此，本步驟(C)中處理單元11能夠根據不同的第一波長  $\lambda_1$ 、第二波長  $\lambda_2$  及第三波長  $\lambda_3$  及其各自相應的第一包裹相位資訊  $\delta_{w\lambda_1}$ 、第二包裹相位資訊  $\delta_{w\lambda_2}$  及第三包裹相位資訊  $\delta_{w\lambda_3}$ ，求得三筆相異的包裹應力資訊  $S_w$ ，此等包裹應力資訊  $S_w$  後續以第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$ 、第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  稱之，三者為各別相應於第一波長  $\lambda_1$ 、第二波長  $\lambda_2$  及第三波長  $\lambda_3$  的包裹應力資訊  $S_w$ 。

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

【0016】 參閱圖2及圖3，於步驟(C)處理單元11完成包裹應力資訊  $s_w$  的初步計算後，由於該包裹應力資訊  $s_w$  可能會在應力檢測過程中受到環境因素干擾而有所誤差，因此處理單元11需執行步驟(F)，對步驟(C)求得之包裹應力資訊  $s_w$  進行正規化處理及濾除高頻雜訊之數值處理，該正規化處理例如可採用局部線性正規化，該雜訊去除處理例如可採用快速傅立葉轉換(Fast Fourier transform)之頻率域(Frequency domain)高斯低通濾波器(Gaussian low-pass filter)進行，然而本步驟的數值處理方式不以此處揭露之技術手段為限。以下，配合圖13及圖14說明執行步驟(F)所能實現的技術功效。

【0017】 參閱圖13，圖13中的虛線為包裹應力資訊  $s_w$  的理論化曲線，實線為步驟(C)求得之包裹應力資訊  $s_w$  的原始實際量測曲線，由此兩條曲線的分布可知包裹應力資訊  $s_w$  的原始實際量測資訊存在一定程度的偏差，因此需要進行步驟(F)的正規化處理及濾除高頻雜訊等數值處理。

【0018】 參閱圖14，其中的虛線同樣為包裹應力資訊  $s_w$  的理論化曲線，實線則為經步驟(F)之正規化處理及濾除高頻雜訊處理後的包裹應力資訊  $s_w$  的曲線分布。由圖14的結果可知，經步驟(F)的數值處理後，能有效消除高頻雜訊及檢測誤差對包裹應力資訊  $s_w$  的影響，有利於提升應力分析的精確性。當然，若步驟(C)求得之包

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

裹應力資訊  $s_w$  本身即為高準確性的數值資訊，則本實施例之應力分析方法亦能省略步驟(F)的執行。

【0019】 參閱圖1~圖3及圖15，完成前述步驟(F)後，於步驟(D)處理單元11會依據第一包裹應力資訊  $s_{w\lambda_1}$ 、第二包裹應力資訊  $s_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $s_{w\lambda_3}$  之間的相對關係，在預先歸納出的十六個計算關係式中擇定一計算關係式，藉由該被擇定的計算關係式進行應力值之計算。關於第一包裹應力資訊  $s_{w\lambda_1}$ 、第二包裹應力資訊  $s_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $s_{w\lambda_3}$  相較於應力值的相對關係，以下配合圖15進行說明。在圖15中，較細的斜向實線為一相對於待測物件3之假想的線性應力值  $S$ ，一點鏈線為第一包裹應力資訊  $s_{w\lambda_1}$  的曲線，虛線為第二包裹應力資訊  $s_{w\lambda_2}$  的曲線，較粗的實線為第三包裹應力資訊  $s_{w\lambda_3}$  的曲線，第一包裹應力資訊  $s_{w\lambda_1}$ 、第二包裹應力資訊  $s_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $s_{w\lambda_3}$  三者的極大值依序遞減，且三者的週期值依序遞減。

【0020】 包裹應力資訊  $s_w$  與應力值  $S$  之間的關係式為：

$$S = 2i(A\lambda + B) \pm S_w$$

其中， $i$  為待測物件3經光學檢測系統2進行檢測所產生之干涉條紋圖形中，對應特定波長  $\lambda$  的整數級條紋級次。將第一波長  $\lambda_1$ 、第二波長  $\lambda_2$  及第三波長  $\lambda_3$  以及前述三者相應的第一包裹應力資訊  $s_{w\lambda_1}$ 、第二包裹應力資訊  $s_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $s_{w\lambda_3}$  代入上述關係式後，可獲得以下聯立式。

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) \pm S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) \pm S_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) \pm S_{w\lambda_3}$$

在上述聯立式中， $A$ 、 $B$ 、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $S_{w\lambda_1}$ 、 $S_{w\lambda_2}$  及  $S_{w\lambda_3}$  等八者為已知數，但  $S$ 、 $i_{\lambda_1}$ 、 $i_{\lambda_2}$ 、 $i_{\lambda_3}$  以及 3 個待定之正負號等七者均為未知數，無法直接由該具有三條計算式的聯立式求得應力值  $S$  的確切數值。因此，本實施例進一步透過一第一轉換公式及一第二轉換公式對第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  進行轉換，即可進一步根據轉換後的包裹應力資訊  $S_w$  判定聯立式中的部分未知數，以進行應力值  $S$  之計算。該第一轉換公式如下：

$$S'_w = 2(A\lambda + B) - S_w$$

其中， $S'_w$  為該包裹應力資訊  $S_w$  經轉換計算之包裹應力轉換資訊。該第二轉換公式如下：

$$S''_w = -S_w$$

其中， $S''_w$  為該包裹應力資訊  $S_w$  經轉換計算之包裹應力變化資訊。因此，第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  經第一轉換公式與第二轉換公式計算後，可獲知以下之轉換式：

$$S'_{w\lambda_2} = 2(A\lambda_2 + B) - S_{w\lambda_2}$$

$$S''_{w\lambda_2} = -S_{w\lambda_2}$$

$$S'_{w\lambda_3} = 2(A\lambda_3 + B) - S_{w\lambda_3}$$

$$S''_{w\lambda_3} = -S_{w\lambda_3}$$

其中， $S'_{w\lambda_2}$  為第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  經第一轉換公式計算之第二包裹應力轉換資訊， $S''_{w\lambda_2}$  為第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  經第二轉換公式計算之

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

第二包裹應力變換資訊， $S'_{w_3}$  為第三包裹應力資訊  $S_{w_3}$  經第一轉換公式計算之第三包裹應力轉換資訊， $S''_{w_3}$  為第三包裹應力資訊  $S_{w_3}$  經第二轉換公式計算之第三包裹應力變換資訊。

【0021】 參閱圖 15 及圖 16，以下透過曲線圖說明第二包裹應力轉換資訊  $S'_{w_2}$ 、第二包裹應力變換資訊  $S''_{w_2}$ 、第三包裹應力轉換資訊  $S'_{w_3}$  與第三包裹應力變換資訊  $S''_{w_3}$  之意義。在圖 16 中，本實施例以第一包裹應力資訊  $S_{w_1}$  的極大值與極小值作為區域劃分之準則，將圖 16 的曲線圖區分為 5 個區域 I~V。在區域 I、III、V 中，第二包裹應力轉換資訊  $S'_{w_2}$  及第三包裹應力轉換資訊  $S'_{w_3}$  分別代表從第二包裹應力資訊  $S_{w_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w_3}$  的極大值以相同斜率向右上方繼續延伸的線段，兩者相較於第二包裹應力資訊  $S_{w_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w_3}$  多了圓圈的標示。在區域 II、IV 中，第二包裹應力變換資訊  $S''_{w_2}$  及第三包裹應力變換資訊  $S''_{w_3}$  分別代表從第二包裹應力資訊  $S_{w_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w_3}$  的極小值以相同斜率向右下方繼續延伸的線段，兩者相較於第二包裹應力資訊  $S_{w_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w_3}$  多了正方形的標示。因此，在檢測前即使無法預測應力值  $S$  是落在那一個區域中，也可以根據第一包裹應力資訊  $S_{w_1}$ 、第二包裹應力資訊  $S_{w_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w_3}$  的相對大小關係，或是進一步在第二包裹應力轉換資訊  $S'_{w_2}$ 、第二包裹應力變換資訊  $S''_{w_2}$ 、第三包裹應力轉換資訊  $S'_{w_3}$  及第三包裹應力變換資訊  $S''_{w_3}$  輔助下，由此等應力資訊

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

的曲線相對位置關係確定應力值S的所在區域，而能將前述具有七個未知數的聯立式簡化至只剩下兩個未知數，以進行應力值S的計算。

【0022】 參閱圖3、圖4及圖17，以下說明步驟(D)擇定計算關係式的具體執行子步驟。在判斷步驟(D-1)中，計算機裝置1的處理單元11判斷第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$ 、第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  三者是否相等，也就是判斷以下條件是否成立。

$$S_{w\lambda_1} = S_{w\lambda_2} = S_{w\lambda_3}$$

若該條件成立，表示第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$ 、第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  三者相等，可判定應力值S應落在圖17的位置(D-1)中，也就是圖17中第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$ 、第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  的三條曲線重合的區域。由於已獲知應力值S的所在位置，因此可將前述聯立式的部分未知數確立為已知數，此時處理單元11會執行步驟(D-1-1)，擇定如下的第一計算關係式。

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) + S_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) + S_{w\lambda_3}$$

在該第一計算關係式中，前述聯立式的3個待定之正負號已確定為正號，且  $i_{\lambda_2}$ 、 $i_{\lambda_3}$  確定為相等於  $i_{\lambda_1}$ ，因此僅剩下應力值S及對應第一波長  $\lambda_1$  的  $i_{\lambda_1}$  整數級條紋級次等兩者為未知數，後續可由該具有三條

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

公式的第一計算關係式對應力值  $S$  及整數級條紋級次  $i_{\lambda}$  進行求解。

【0023】 參閱圖3~圖5以及圖17，類似於前述判斷步驟(D-1)的說明，若步驟(D-1)的判定結果為「否」，也就是第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$ 、第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  三者彼此並非完全相等，則處理單元11執行步驟(D-2)，判斷第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$  相等於第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  且第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  不等於第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  的條件是否成立，也就是判斷以下條件是否成立。

$$S_{w\lambda_1} = S_{w\lambda_2} \neq S_{w\lambda_3}$$

若上述條件成立，代表應力值  $S$  應落在圖17的位置(D-2)，由於圖17的曲線圖具有數個位置(D-2)符合上述條件，因此處理單元11會繼續執行步驟(D-2-1)，判斷第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  是否大於第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$ ，也就是判斷以下條件是否成立。

$$S_{w\lambda_2} > S_{w\lambda_3}$$

若該條件不成立，亦即第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  是小於第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$ ，則處理單元11會執行步驟(D-2-2)以擇定一第二計算關係式，該第二計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) - S_{w\lambda_2}''$$

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) - S_{w\lambda_3}''$$

類似於前述之第一計算關係式，該第二計算關係式僅有應力值  $S$  及對應第一波長  $\lambda_1$  的  $i_{\lambda}$  整數級條紋級次為未知數，因此可供後續進行計

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

算。

【0024】 於前述步驟中，若處理單元11於步驟(D-2-1)判斷該條件成立，則會繼續執行步驟(D-2-3)，判斷第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  是否相等於第三包裹應力轉換資訊  $S'_{w\lambda_3}$ ，也就是判斷以下條件是否成立。

$$S_{w\lambda_2} = S'_{w\lambda_3}$$

若該條件成立，則處理單元11續執行步驟(D-2-4)，擇定一第三計算關係式，該第三計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) + S_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) + S'_{w\lambda_3}$$

若處理單元11於步驟(D-2-3)判斷該條件不成立，則會執行一第四計算關係式，該第四計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) + S'_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) + S'_{w\lambda_3}$$

如此一來，根據步驟(D-2-1)~步驟(D-2-5)的流程步驟，處理單元11得以判斷應力值S是位在圖17的數個位置(D-2)中的何者，而能擇定以第二計算關係式~第四計算關係式的其中一者進行後續運算。至於第二計算關係式~第四計算關係式具體對應的位置(D-2)，則可參照圖17之標示。

【0025】 圖4、圖6及圖17，此處重回圖4的步驟(D-2)進行說

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

明，若處理單元11判斷步驟(D-2)的條件不成立，則會執行步驟(D-3)，判斷第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  相等於第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  且第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  不等於第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$  的條件是否成立，也就是判斷以下條件是否成立。

$$S_{w\lambda_2} = S_{w\lambda_3} \neq S_{w\lambda_1}$$

若上述條件成立，代表應力值  $S$  落在圖17的數個位置(D-3)中的其中一者，此時處理單元11須進一步執行步驟(D-3-1)，判斷第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$  是否大於第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$ ，也就是判斷以下條件是否成立。

$$S_{w\lambda_1} > S_{w\lambda_2}$$

若該條件成立，則處理單元11會執行步驟(D-3-2)，擇定一第五計算關係式，該第五計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) - S_{w\lambda_2} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) - S_{w\lambda_3}'' \end{aligned}$$

若步驟(D-3-1)的條件不成立，則處理單元11會執行步驟(D-3-3)，擇定一第六計算關係式，該第六計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) + S_{w\lambda_2} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) + S_{w\lambda_3}' \end{aligned}$$

如此一來，當處理單元11於步驟(D-3)初步判定應力值  $S$  應落在圖17的位置(D-3)後，可進一步藉由步驟(D-3-1)確切判斷應力值  $S$  位

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

於數個位置(D-3)之中的何者，據以擇定相應的第五計算關係式或第六計算關係式，以進行後續之應力值S的運算。至於第五計算關係式與第六計算關係式具體對應的位置(D-3)，則可參照圖17之標示。

【0026】 參閱圖4、圖7及圖18，此處重回到圖4之步驟(D-3)進行說明，若處理單元11判斷步驟(D-3)的條件不成立，也就是指以下三個條件均不成立，也就是第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$ 、第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  三者彼此完全不相等，表示應力值S未落在圖17的位置D-1、位置D-2或位置D-3，此時處理單元11會執行步驟(D-4-1)，進一步判斷應力值S的所在位置。

$$S_{w\lambda_1} = S_{w\lambda_2} = S_{w\lambda_3}$$

$$S_{w\lambda_1} = S_{w\lambda_2} \neq S_{w\lambda_3}$$

$$S_{w\lambda_2} = S_{w\lambda_3} \neq S_{w\lambda_1}$$

在步驟(D-4-1)中，處理單元11會判斷以下第一比例關係式是否成立。

$$\frac{S_{w\lambda_1} - S_{w\lambda_2}}{S_{w\lambda_2} - S_{w\lambda_3}} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3}$$

若該第一比例關係式成立，代表應力值S應落在圖18的數個位置(D-4-1)中的其中一者，此時處理單元11會進一步執行步驟(D-4-2)，判斷第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$  是否大於第二包裹應力資訊

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

$S_{w\lambda_2}$ ，也就是判斷以下條件是否成立。

$$S_{w\lambda_1} > S_{w\lambda_2}$$

若該條件成立，則處理單元11會執行步驟(D-4-3)擇定一第七計算關係式，該第七計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) - S_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) - S_{w\lambda_3}$$

另一方面，若處理單元11判斷步驟(D-4-2)的條件不成立，則會執行步驟(D-4-4)擇定一第八計算關係式，該第八計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) + S_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) + S_{w\lambda_3}$$

如此一來，當處理單元11於步驟(D-4-1)初步判定應力值S應落在圖18的位置(D-4-1)後，能夠進一步藉由步驟(D-4-2)確切判斷應力值S位於數個位置(D-4-1)之中的何者，據以擇定第七計算關係式與第八計算關係式的其中一者作為後續進行運算的計算關係式，兩者具體的對應位置可參照圖18之標示。

**【0027】** 參閱圖4、圖7、圖8及圖19，此處回到圖7的步驟(D-4-1)進行說明。若處理單元11判斷步驟(D-4-1)的條件不成立，則會執行步驟(D-4-5)、(D-4-6)及(D-4-13)以判斷後續確切的執行步驟。在步驟(D-4-5)中，處理單元11判斷第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$  是否大於第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$ ，也就是判斷  $S_{w\lambda_1} > S_{w\lambda_2}$  的條件是

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

否成立。若判斷結果為「是」，則執行步驟(D-4-6)續行判斷第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  是否大於第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$ ，也就是  $S_{w\lambda_2} > S_{w\lambda_3}$  的條件是否成立。若步驟(D-4-5)的判斷結果為「否」，則執行步驟(D-4-13)亦判斷第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  是否大於第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$ 。根據步驟(D-4-6)及步驟(D-4-13)的判斷結果，會導向四種不同的後續執行步驟(D-4-7)、步驟(D-4-10)、步驟(D-4-14) 及步驟(D-4-17)。步驟(D-4-7)是在  $S_{w\lambda_1} > S_{w\lambda_2}$  及  $S_{w\lambda_2} > S_{w\lambda_3}$  兩個條件同時成立下才會執行，其代表應力值S位於圖19中的位置(D-4-7)。步驟(D-4-10)是在  $S_{w\lambda_1} > S_{w\lambda_2}$  及  $S_{w\lambda_2} < S_{w\lambda_3}$  兩個條件同時成立下才會執行，其代表應力值S位於圖19中的位置(D-4-10)。步驟(D-4-14)是在  $S_{w\lambda_1} < S_{w\lambda_2}$  及  $S_{w\lambda_2} > S_{w\lambda_3}$  兩個條件同時成立下才會執行，其代表應力值S位於圖19中的位置(D-4-14)。步驟(D-4-17)是在  $S_{w\lambda_1} < S_{w\lambda_2}$  及  $S_{w\lambda_2} < S_{w\lambda_3}$  兩個條件同時成立下才會執行，其代表應力值S位於圖19中的位置(D-4-17)。

【0028】 參閱圖8、圖9及圖19，以下先說明處理單元11執行步驟(D-4-7)的實施方式。在步驟(D-4-7)中，處理單元11判斷以下之第二比例關係式是否成立。

$$\frac{S_{w\lambda_1} - S'_{w\lambda_2}}{S'_{w\lambda_2} - S'_{w\lambda_3}} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3}$$

若該第二比例關係式成立，則處理單元11執行步驟(D-4-8)擇定一

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

第九計算關係式，該第九計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) + S'_{w\lambda_2} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) + S'_{w\lambda_3} \end{aligned}$$

反之，若處理單元11判斷步驟(D-4-7)的第二比例關係式不成立，則執行步驟(D-4-9)擇定一第十計算關係式，該第十計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) - S_{w\lambda_2} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) - S''_{w\lambda_3} \end{aligned}$$

如此一來，當處理單元11於步驟(D-4-6)初步判定應力值S應落在圖19的位置(D-4-7)後，能夠進一步藉由步驟(D-4-7)確切判斷應力值S位於數個位置(D-4-7)之中的何者，據以擇定第九計算關係式與第十計算關係式的其中一者作為後續進行運算的計算關係式，第九計算關係式與第十計算關係式的具體位置可參照圖19的標示。

【0029】 參閱圖8、圖10、圖19，在圖8的執行步驟中，若處理單元11判斷步驟(D-4-6)的條件不成立而執行步驟(D-4-10)，則會依據以下的第三比例關係式是否成立以選擇後續的執行步驟。

$$\frac{S_{w\lambda_1} - S_{w\lambda_2}}{S_{w\lambda_2} - S''_{w\lambda_3}} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3}$$

若該第三比例關係式成立，則處理單元11執行步驟(D-4-11)擇定一第十一計算關係式，該第十一計算關係式為：

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) - S_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) - S''_{w\lambda_3}$$

若該第三比例關係式不成立，則處理單元11執行步驟(D-4-12)擇定一第十二計算關係式，該第十二計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) - S''_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) - S''_{w\lambda_3}$$

在上述第十一計算關係式及第十二計算關係式中，應力值S分別對應於不同的位置(D-4-10)，且只有應力值S及對應第一波長 $\lambda_1$ 的 $i_{\lambda_1}$ 整數級條紋級次為未知數，因此可供後續進行分析運算。至於第十一計算關係式及第十二計算關係式的具體對應位置，可參圖19之標示。

【0030】 參閱圖8、圖11及圖19，當處理單元11判斷步驟(D-4-13)成立而執行步驟(D-4-14)時，會判斷以下的第四比例關係式是否成立。

$$\frac{S_{w\lambda_1} - S_{w\lambda_2}}{S_{w\lambda_2} - S''_{w\lambda_3}} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3}$$

若該第四比例關係式成立，則處理單元11執行步驟(D-4-15)擇定一第十三計算關係式，該第十三計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) + S_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) + S'_{w\lambda_3}$$

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

若該第四比例關係式不成立，則處理單元11執行步驟(D-4-16)擇定一第十四計算關係式，該第十四計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) + S'_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) + S'_{w\lambda_3}$$

根據上述執行流程，當處理單元11初步判斷應力值S應落在圖19的位置(D-4-14)後，能夠進一步藉由步驟(D-4-14)確切判斷應力值S位於不同位置(D-4-14)之中的何者，據以擇定第十三計算關係式與第十四計算關係式的其中一者作為後續進行運算的計算關係式，兩計算關係式所對應的具體位置可參照圖19之說明。

【0031】 參閱圖8、圖12及圖19，當處理單元11判斷步驟(D-4-13)不成立而執行步驟(D-4-17)時，會判斷以下的第五比例關係式是否成立。

$$\frac{S_{w\lambda_1} - S''_{w\lambda_2}}{S''_{w\lambda_2} - S''_{w\lambda_3}} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3}$$

若該第五比例關係式成立，則處理單元11執行步驟(D-4-18)擇定一第十五計算關係式，該第十五計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) - S''_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) - S''_{w\lambda_3}$$

若該第五比例關係式不成立，則處理單元11執行步驟(D-4-19)擇定一第十六計算關係式，該第十六計算關係式為：

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) + S_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) + S'_{w\lambda_3}$$

根據上述執行方式，當處理單元11初步判斷應力值S應落在圖19的位置(D-4-17)後，能夠進一步藉由步驟(D-4-17)確切判斷應力值S位於數個位置(D-4-17)之中的何者，據以擇定第十五計算關係式與第十六計算關係式的其中一者作為後續進行運算的計算關係式，兩者對應的具體位置可參照圖19之標示。

**【0032】** 參閱圖3，綜合前述關於第一計算關係式至第十六計算關係式的擇定流程可知，本發明的應力分析方法將第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$ 、第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  的相對關係歸納出系統性的判斷規則後，於步驟(D)處理單元11確實能夠依據第一包裹應力資訊  $S_{w\lambda_1}$ 、第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  及第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  之間的相對關係擇定一計算關係式，且每個計算關係式都只有應力值S及對應第一波長  $\lambda_1$  的  $i_{\lambda_1}$  整數級條紋級次為未知數，能夠用於後續步驟(E)進行應力值S的演算。

**【0033】** 在步驟(E)中，處理單元11可依據步驟(D)擇定之計算關係式進行應力值S之演算，該演算例如可透過最小平方法(Method of least squares)以矩陣形式進行應力值S及  $i_{\lambda_1}$  線性迴歸演算，而且根據  $i_{\lambda_1}$  為整數值的已知性質，可將求得之具有小數位數的  $i_{\lambda_1}$  四捨五入為最接近的整數，並計算相應之應力值S，如此可有

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

效提升應力值  $S$  之正確性。

【0034】 在步驟(E)處理單元11計算出應力值  $S$  之數值結果後，該應力值  $S$  仍可能因環境干擾及操作誤差，而在第一包裹應力資訊  $s_{w_1}$ 、第二包裹應力資訊  $s_{w_2}$  及第三包裹應力資訊  $s_{w_3}$  的局部極大值與極小值處產生較大的偏差與跳動，因此處理單元11可繼續執行步驟(G)，對應力值  $S$  透過平滑化數值處理以獲得更準確的計算結果，該平滑化處理例如可採用數位訊號處理中之空間域(Spatial domain)高斯平滑化濾波器(Gaussian smoothing filter)進行，但不以此技術為限。

【0035】 參閱圖20，在圖20中實線為步驟(E)求得之應力值  $S$  曲線，可觀察到有明顯的偏差值存在；虛線則為經平滑化處理後之應力值  $S$ ，其數值分布與理論值相當接近。因此，由此等曲線之比較可知，平滑化處理確實能增進應力值  $S$  的精確性。當然，類似於前述步驟(F)，若步驟(E)計算所得之應力值  $S$  已為高精確性的數值結果，則步驟(G)也屬於可省略的執行步驟。

【0036】 最後，於步驟(H)中，處理單元11可控制輸入輸出單元13，將經計算機裝置1對待測物件3之光譜資料進行演算分析所求得之應力值  $S$  輸出至未圖示的顯示器、外部儲存裝置等，以供使用者利用。

【0037】 綜上所述說明可知，本發明之應力分析方法使用  $\pi$  模數

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

的相位展開法，將包裹應力資訊  $s_n$  之間的相對關係歸納出有限數量的判斷條件及計算關係式，因此計算機裝置 1 讀入待測物件 3 的光譜資料後，可依據各項判斷條件在第一計算關係式至第十六計算關係式中迅速擇定一計算關係式，並依據計算關係式分析出待測物件 3 的應力值，且於分析時不須限制波長之選用，都能由計算關係式求得所需之應力值  $S$ 。由於上述第一計算關係式至第十六計算關係式都只需要進行兩個未知數的求解，因此在光譜資料中只需要選擇三個波長的光強度資訊進行分析。當然，要以多於三個波長的光強度資訊進行分析也在本發明的實施範疇中。如此一來，本發明提出的應力分析方法確實能夠實現即時快速量測應力的相關應用，且在光學檢測系統 2 的架設及計算機裝置 1 後續分析時不受限於波長選用而具有高自由度的應用範疇，故能達成本發明所欲達成之目的。

**【0038】** 惟以上所述者，僅為本發明之實施例而已，當不能以此限定本發明實施之範圍，凡是依本發明申請專利範圍及專利說明書內容所作之簡單的等效變化與修飾，皆仍屬本發明專利涵蓋之範圍內。

#### **【符號說明】**

##### **【0039】**

1…… 計算機裝置

11…… 處理單元

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

- 12 …… 儲存單元
- 121 …… 分析軟體
- 13 …… 輸入輸出單元
- 2 …… 光學檢測系統
- 21 …… 光源
- 22 …… 線偏光片
- 23 …… 第一四分之一波片
- 24 …… 施載單元
- 25 …… 第二四分之一波片
- 26 …… 檢光片
- 27 …… 光譜儀
- 3 …… 待測物件
- A0 …… 流程步驟
- A~H …… 流程步驟
- D-1~D-4-14 流程步驟、位置

申請案號：

申請日：

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

IPC 分類：

**【發明摘要】****【中文發明名稱】** 基於時間域相位展開之應力分析方法**【英文發明名稱】** Stress analysis method based on temporal phase unwrapping**【中文】**

一種應力分析方法，適於一計算機裝置執行，包含以下步驟：  
步驟(A)存取一光譜資料，該光譜資料是由一光學檢測系統透過光彈技術偵測一待測物件的一干涉條紋圖形所產生，該光譜資料包含至少三筆對應於相異波長的光強度資訊；步驟(B)依據每一光強度資訊計算一相應的包裹相位資訊；步驟(C)依據每一包裹相位資訊計算一相應的包裹應力資訊，每一包裹應力資訊是正比於其相應的包裹相位資訊對波長之線性函數的乘積；步驟(D)依據包裹應力資訊之間的相對關係擇定一計算關係式；及步驟(E)依據該計算關係式計算一相應於該待測物件之包裹應力資訊的應力值。

**【英文】**

A stress analysis method based on temporal phase unwrapping is to be implemented by a computer device, and includes: (A) receiving spectrum data which is generated from an interference pattern of an object by an optical inspection system through photoelastic technique, and has at least three light intensity information with respect to different wavelengths; (B) calculating a wrapped phase information based on each of the light intensity information; (C)

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

calculating a wrapped stress information, which is proportional to a product result of each of the wrapped phase information and a linear function of each of the wavelengths, based on each of the wrapped phase information; (D) selecting a calculation relation based on the relation between the wrapped stress information; and (E) calculating a stress value with respect to the wrapped stress information through the calculation relation.

【指定代表圖】：圖（3）。

【代表圖之符號簡單說明】 步驟A0、A~H

## 【發明申請專利範圍】

【第1項】一種應力分析方法，適於一計算機裝置執行，該計算機裝置包含一處理單元及一儲存單元，該應力分析方法包含以下步驟：

步驟(A)該處理單元自該儲存單元存取一光譜資料，該光譜資料是由一光學檢測系統透過光彈技術偵測一待測物件的一干涉條紋圖形所產生，該光譜資料包含至少三筆對應於相異波長的光強度資訊；

步驟(B)該處理單元依據每一光強度資訊計算一相應的包裹相位資訊；

步驟(C)該處理單元依據每一包裹相位資訊計算一相應的包裹應力資訊，每一包裹應力資訊是由下列公式計算：

$$S_w = \frac{A\lambda + B}{\pi} \delta_w$$

其中， $S_w$ 為該包裹應力資訊， $\lambda$ 為該波長， $A$ 為與該波長 $\lambda$ 獨立之線性函數斜率項， $B$ 為與該波長 $\lambda$ 獨立之線性函數截距項， $\delta_w$ 為該包裹相位資訊；

步驟(D)該處理單元依據該等包裹應力資訊之間的相對關係擇定一計算關係式；及

步驟(E)該處理單元依據該計算關係式計算一相應於該等包裹應力資訊的應力值。

【第2項】如請求項1所述的應力分析方法，其中，於該步驟(B)每一包裹相位資訊是由其相應的該光強度資訊取反正弦函數

第 105123152 號申請案替換頁(107.02. 修正)

運算、反餘弦函數運算或反正切函數運算所計算得出。

【第3項】如請求項1所述的應力分析方法，其中，該步驟(D)包含以下子步驟：

步驟(D-1) 該處理單元判斷以下條件是否成立，

$$S_{w\lambda_1} = S_{w\lambda_2} = S_{w\lambda_3}$$

其中， $S_{w\lambda_1}$  為對應於一第一波長  $\lambda_1$  的第一包裹應力資訊， $S_{w\lambda_2}$  為對應於一第二波長  $\lambda_2$  的第二包裹應力資訊， $S_{w\lambda_3}$  為對應於一第三波長  $\lambda_3$  的第三包裹應力資訊，該第一波長  $\lambda_1$  大於該第二波長  $\lambda_2$  且該第二波長  $\lambda_2$  大於該第三波長  $\lambda_3$ ；若該條件成立，則執行以下步驟(D-1-1)；

步驟(D-1-1)該處理單元擇定一第一計算關係式，該第一計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) + S_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) + S_{w\lambda_3}$$

其中， $s$  為應力值， $i_{\lambda_1}$  為對應於該第一波長  $\lambda_1$  的整數級條紋級次。

【第4項】如請求項3所述的應力分析方法，其中，該步驟(D)包含以下子步驟：

步驟(D-2) 該處理單元判斷以下條件是否成立，

$$S_{w\lambda_1} = S_{w\lambda_2} \neq S_{w\lambda_3}$$

若該條件成立，則執行以下步驟(D-2-1)；

步驟(D-2-1)該處理單元判斷以下條件是否成立，

$$S_{w\lambda_2} > S_{w\lambda_3}$$

若該條件不成立，則執行以下步驟(D-2-2)；

第 105123152 號申請案替換頁(107.02. 修正)

步驟(D-2-2)該處理單元擇定一第二計算關係式，該第二計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) - S''_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) - S''_{w\lambda_3}$$

其中， $S''_{w\lambda_2}$  為該第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  經一第二轉換公式計算之第二包裹應力變換資訊， $S''_{w\lambda_3}$  為該第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  經該第二轉換公式計算之第三包裹應力變換資訊，該第二轉換公式為：

$$S''_w = -S_w$$

其中， $S''_w$  為該包裹應力資訊  $S_w$  經轉換計算之包裹應力變化資訊。

【第5項】如請求項4所述的應力分析方法，其中，若該步驟(D-2-1)的判斷條件成立，則執行步驟(D-2-3)；

步驟(D-2-3)該處理單元判斷以下條件是否成立，

$$S_{w\lambda_2} = S'_{w\lambda_3}$$

其中， $S'_{w\lambda_3}$  為該第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  經一第一轉換公式計算之第三包裹應力轉換資訊，該第一轉換公式如下，

$$S'_w = 2(A\lambda + B) - S_w$$

其中， $S'_w$  為該包裹應力資訊  $S_w$  經轉換計算之包裹應力轉換資訊；若該條件成立，則執行步驟(D-2-4)；

步驟(D-2-4) 該處理單元擇定一第三計算關係式，該第三計算關係式為：

第 105123152 號申請案替換頁(107.02. 修正)

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) + S_{w\lambda_2} \circ$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) + S'_{w\lambda_3}$$

【第6項】 如請求項5所述的應力分析方法，其中，若該步驟(D-2-3)的判斷條件不成立，則執行步驟(D-2-5)；

步驟(D-2-5)該處理單元擇定一第四計算關係式，該第四計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) + S'_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) + S'_{w\lambda_3}$$

其中， $S'_{w\lambda_2}$  為該第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  經該第一轉換公式計算之第二包裹應力轉換資訊。

【第7項】 如請求項3所述的應力分析方法，其中，該步驟(D)包含以下子步驟：

步驟(D-3) 該處理單元判斷以下條件是否成立，

$$S_{w\lambda_2} = S_{w\lambda_3} \neq S_{w\lambda_1}$$

若該條件成立，則執行以下步驟(D-3-1)；

步驟(D-3-1) 該處理單元判斷以下條件是否成立，

$$S_{w\lambda_1} > S_{w\lambda_2}$$

若該條件成立，則執行以下步驟(D-3-2)

步驟(D-3-2) 該處理單元擇定一第五計算關係式，該第五計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) - S_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) - S''_{w\lambda_3}$$

其中， $S''_{w\lambda_3}$  為該第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  經一第二轉換公式計

第 105123152 號申請案替換頁(107.02. 修正)

算之第三包裹應力變換資訊，該第二轉換公式為：

$$S''_w = -S_w$$

其中， $S''_w$ 為該包裹應力資訊 $S_w$ 經轉換計算之包裹應力變化資訊。

【第8項】如請求項7所述的應力分析方法，其中，若該步驟(D-3-1)的條件不成立，則執行步驟(D-3-3)；

步驟(D-3-3)該處理單元擇定一第六計算關係式，該第六計算關係式為：

$$S = 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1}$$

$$S = 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) + S_{w\lambda_2}$$

$$S = 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) + S'_{w\lambda_3}$$

其中， $S'_{w\lambda_3}$ 為該第三包裹應力資訊 $S_{w\lambda_3}$ 經一第一轉換公式計算之第三包裹應力轉換資訊，該第一轉換公式如下，

$$S'_w = 2(A\lambda + B) - S_w$$

其中， $S'_w$ 為該包裹應力資訊 $S_w$ 經轉換計算之包裹應力轉換資訊。

【第9項】如請求項3所述的應力分析方法，其中，若該步驟(D-1)的條件不成立，且該處理單元判斷以下條件不成立，則執行步驟(D-4-1)；

$$S_{w\lambda_1} = S_{w\lambda_2} \neq S_{w\lambda_3}$$

$$S_{w\lambda_2} = S_{w\lambda_3} \neq S_{w\lambda_1}$$

步驟(D-4-1)該處理單元判斷以下之第一比例關係式是否成立，若該第一比例關係式成立，則執行步驟(D-4-2)；

第 105123152 號申請案替換頁(107.02. 修正)

$$\frac{S_{w\lambda_1} - S_{w\lambda_2}}{S_{w\lambda_2} - S_{w\lambda_3}} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3}$$

步驟(D-4-2) 該處理單元判斷以下條件是否成立，

$$S_{w\lambda_1} > S_{w\lambda_2}$$

若該條件成立，則執行步驟(D-4-3)；

步驟(D-4-3)該處理單元擇定一第七計算關係式，該第七計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) - S_{w\lambda_2} \text{。} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) - S_{w\lambda_3} \end{aligned}$$

【第10項】如請求項9所述的應力分析方法，其中，若該步驟(D-4-2)的條件不成立，則執行步驟(D-4-4)；

步驟(D-4-4)該處理單元擇定一第八計算關係式，該第八計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) + S_{w\lambda_2} \text{。} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) + S_{w\lambda_3} \end{aligned}$$

【第11項】如請求項9所述的應力分析方法，其中，若該步驟(D-4-1)的該第一比例關係式不成立，則執行步驟(D-4-5)；

步驟(D-4-5) 該處理單元判斷以下條件是否成立，

$$S_{w\lambda_1} > S_{w\lambda_2}$$

若該條件成立，則執行步驟(D-4-6)；

步驟(D-4-6)該處理單元判斷以下條件是否成立，

$$S_{w\lambda_2} > S_{w\lambda_3}$$

若該條件成立，則執行步驟(D-4-7)；

步驟(D-4-7)該處理單元判斷以下之第二比例關係式

第 105123152 號申請案替換頁(107.02. 修正)

是否成立，若該第二比例關係式成立，則執行步驟(D-4-8)：

$$\frac{S_{w\lambda_1} - S'_{w\lambda_2}}{S'_{w\lambda_2} - S'_{w\lambda_3}} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3}$$

其中， $S'_{w\lambda_2}$  為該第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  經一第一轉換公式計算之第二包裹應力轉換資訊， $S'_{w\lambda_3}$  為該第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  經該第一轉換公式計算之第三包裹應力轉換資訊，該第一轉換公式如下，

$$S'_w = 2(A\lambda + B) - S_w$$

其中， $S'_w$  為該包裹應力資訊  $S_w$  經轉換計算之包裹應力轉換資訊；

步驟(D-4-8)該處理單元擇定一第九計算關係式，該第九計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) + S'_{w\lambda_2} \circ \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) + S'_{w\lambda_3} \end{aligned}$$

【第12項】如請求項11所述的應力分析方法，其中，若該步驟(D-4-7)的該第二比例關係式不成立，則執行步驟(D-4-9)；

步驟(D-4-9)該處理單元擇定一第十計算關係式，該第十計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) - S_{w\lambda_2} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) - S''_{w\lambda_3} \end{aligned}$$

其中， $S''_{w\lambda_3}$  為該第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  經一第二轉換公式計算之第三包裹應力變換資訊，該第二轉換公式為：

$$S''_w = -S_w$$

第 105123152 號申請案替換頁(107.02. 修正)

其中， $S''_w$  為該包裹應力資訊  $S_w$  經轉換計算之包裹應力變化資訊。

【第13項】如請求項11所述的應力分析方法，其中，若該步驟(D-4-6)的條件不成立，則執行步驟(D-4-10)；

步驟(D-4-10)該處理單元判斷以下之第三比例關係式是否成立，若該第三比例關係式成立，則執行步驟(D-4-11)；

$$\frac{S_{w\lambda_1} - S_{w\lambda_2}}{S_{w\lambda_2} - S''_{w\lambda_3}} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3}$$

其中， $S''_{w\lambda_3}$  為該第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  經一第二轉換公式計算之第三包裹應力變換資訊，該第二轉換公式為：

$$S''_w = -S_w$$

其中， $S''_w$  為該包裹應力資訊  $S_w$  經轉換計算之包裹應力變化資訊；

步驟(D-4-11)該處理單元擇定一第十一計算關係式，該第十一計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) - S_{w\lambda_2} \\ S &= 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) - S''_{w\lambda_3} \end{aligned}$$

【第14項】如請求項13所述的應力分析方法，其中，若步驟(D-4-10)的該第三比例關係式不成立，則執行步驟(D-4-12)；

步驟(D-4-12)該處理單元擇定一第十二計算關係式，該第十二計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_2} (A\lambda_2 + B) - S''_{w\lambda_2} \\ S &= 2i_{\lambda_3} (A\lambda_3 + B) - S''_{w\lambda_3} \end{aligned}$$

第 105123152 號申請案替換頁(107.02. 修正)

其中， $S''_{w\lambda_2}$  為該第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  經該第二轉換公式計算之第二包裹應力變換資訊。

【第15項】如請求項11的應力分析方法，其中，若該步驟(D-4-5)的條件不成立，則執行步驟(D-4-13)；

步驟(D-4-13) 該處理單元判斷以下條件是否成立，

$$S_{w\lambda_2} > S_{w\lambda_3}$$

若該條件成立，則執行步驟(D-4-14)；

步驟(D-4-14)該處理單元判斷以下之第四比例關係式是否成立，若該第四比例關係式成立，則執行步驟(D-4-15)；

$$\frac{S_{w\lambda_1} - S_{w\lambda_2}}{S_{w\lambda_2} - S'_{w\lambda_3}} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3}$$

步驟(D-4-15)該處理單元擇定一第十三計算關係式，該第十三計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) + S_{w\lambda_2} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) + S'_{w\lambda_3} \end{aligned}$$

【第16項】如請求項15所述的應力分析方法，其中，若步驟(D-4-14)的該第四比例關係式不成立，則執行步驟(D-4-16)；

步驟(D-4-16)該處理單元擇定一第十四計算關係式，該第十四計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) + S'_{w\lambda_2} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) + S'_{w\lambda_3} \end{aligned}$$

【第17項】如請求項15所述的應力分析方法，其中，若步驟(D-4-13)的條件不成立，則執行步驟(D-4-17)；

第 105123152 號申請案替換頁(107.02. 修正)

步驟(D-4-17)該處理單元判斷以下之第五比例關係式是否成立，若該第五比例關係式成立，則執行步驟(D-4-18)；

$$\frac{S_{w\lambda_1} - S_{w\lambda_2}''}{S_{w\lambda_2}'' - S_{w\lambda_3}''} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3}$$

其中， $S_{w\lambda_2}''$  為該第二包裹應力資訊  $S_{w\lambda_2}$  經一第二轉換公式計算之第二包裹應力變換資訊， $S_{w\lambda_3}''$  為該第三包裹應力資訊  $S_{w\lambda_3}$  經該第二轉換公式計算之第三包裹應力變換資訊，該第二轉換公式為：

$$S_w'' = -S_w$$

其中， $S_w''$  為該包裹應力資訊  $S_w$  經轉換計算之包裹應力變化資訊；

步驟(D-4-18)該處理單元擇定一第十五計算關係式，該第十五計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) - S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) - S_{w\lambda_2}'' \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) - S_{w\lambda_3}'' \end{aligned}$$

【第18項】如請求項17所述的應力分析方法，其中，若步驟(D-4-17)的該第五比例關係式不成立，則執行步驟(D-4-19)；

步驟(D-4-19)該處理單元擇定一第十六計算關係式，該第十六計算關係式為：

$$\begin{aligned} S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_1 + B) + S_{w\lambda_1} \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_2 + B) + S_{w\lambda_2}'' \\ S &= 2i_{\lambda_1} (A\lambda_3 + B) + S_{w\lambda_3}'' \end{aligned}$$

【第19項】如請求項1所述的應力分析方法，其中，該步驟(C)與該步驟(D)之間還包含：

第 105123152 號申請案替換頁(107.02. 修正)

步驟(F)該處理單元對該等包裹應力資訊進行正規化及濾除高頻雜訊之處理。

【第20項】如請求項1所述的應力分析方法，其中，該步驟(E)之後還包含：

步驟(G)該處理單元對該應力值進行平滑化處理。

【第21項】如請求項1所述的應力分析方法，其中，於該步驟(E)中該處理單元是以最小平方法對該計算關係式計算該應力值。

第 105123152 號申請案替換頁(106.11 修正)

calculating a wrapped stress information, which is proportional to a product result of each of the wrapped phase information and a linear function of each of the wavelengths, based on each of the wrapped phase information; (D) selecting a calculation relation based on the relation between the wrapped stress information; and (E) calculating a stress value with respect to the wrapped stress information through the calculation relation.

【指定代表圖】：圖（3）。

【代表圖之符號簡單說明】 步驟A0、A~H