

第 4 章 軸系的組成元件

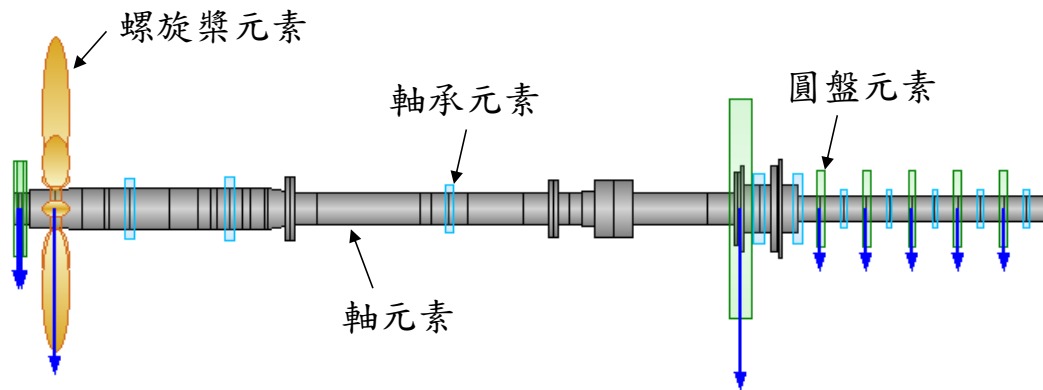


圖 4.1 SDP 軟體中的軸系示意圖

在 SDP 軟體中，軸系主要是由軸元素 (Shaft Element)、軸承元素 (Bearing Element)、圓盤元素 (Disk Element) 與螺旋槳元素 (Propeller Element) 所組成。其中，軸元素主要是用來模擬軸系系統中的「軸」，軸承元素主要是用來模擬軸系系統中的「軸承」，螺旋槳元素主要是用來模擬軸系系統中的「螺旋槳或葉片」，除螺旋槳或葉片以外，其它具有質量慣性矩且隨著軸系轉動的元件 (例如：法蘭、皮帶輪、齒輪、飛輪、... 等) 則以圓盤元素來模擬。在 SDP 軟體中，軸元素 (Shaft Element)、軸承元素 (Bearing Element)、圓盤元素 (Disk Element) 與螺旋槳元素 (Propeller Element) 的相關參數，詳細介紹如下。

4.1 軸元素 (Shaft Element)

軸元素 (Shaft Element) 的相關參數，詳細介紹如下：

(1) **MaterialNo**：軸元素的材料參數 (Material Parameters) 可由材料編號 (MaterialNo)

參數來指定，每一種材料的 MaterialNo 在 SDP 軟體中都是唯一的，不可重複。

每一種 MaterialNo 的材料參數有 3 個，分別為：楊氏模數(Young's Modulus)、質量密度(Mass Density)與蒲松比(Poisson's Ratio)。材料的參數可由 SDP 軟體中的 Material Database 表格來定義，如圖 4.2 所示。

Material Database				
Add	Remove	Insert	Move Up	Move Down
		Young Modulus (N/m ²)	Mass Density (kg/m ³)	Poisson Ratio
▶	Material 1	2.069e11	7850	0.3
	Material 2	2.069e11	6825	0.3
	Material 3	2.069e11	6950	0.3
	Material 4	2.069e11	1e-1	0.3

圖 4.2 SDP 軟體中的軸元素材料參數可由 Material Database 表格來定義

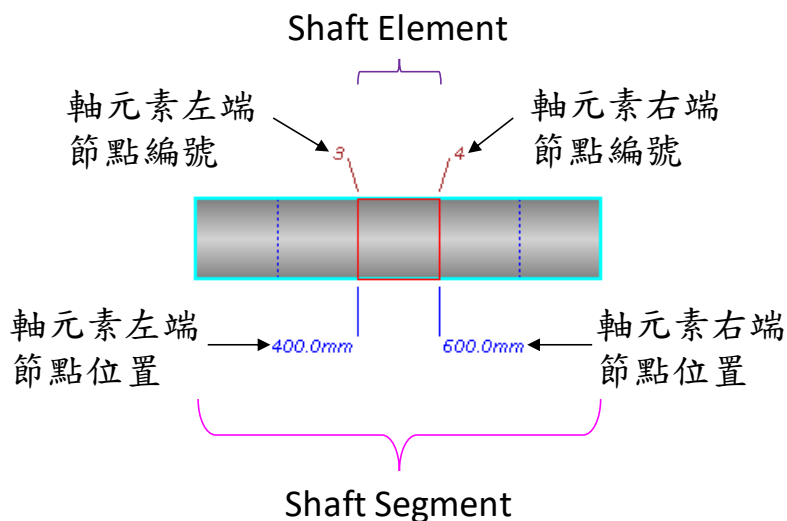


圖 4.3 SDP 軟體中的均勻段軸 (Uniform Shaft Segment) 示意圖

- (2) **TypeOfShaftSegment**：在 SDP 軟體中，軸系是由很多根段軸(Shaft Segment)所組成，一根段軸(Shaft Segment)又可以分割成很多根軸元素(Shaft Element)。換句話說，多根軸元素可以組成一根段軸，多根段軸可以組成一個軸系。段

軸與軸元素的關聯性，請參考圖 4.3 與圖 4.4。SDP 軟體中的段軸(Shaft Segment)有兩種：均勻段軸(Uniform Shaft Segment)與錐形段軸(Taper Shaft Segment)。均勻段軸之左端與右端截面的外直徑(Outer Diameter)都相同，錐形段軸之左端與右端截面的外直徑(Outer Diameter)則不相同。將段軸的 TypeOfShaftSegment 設定為 Uniform，則此段軸為均勻段軸(參考圖 4.3)，如將段軸的 TypeOfShaftSegment 設定為 Taper，則此段軸為錐形段軸(參考圖 4.4)。

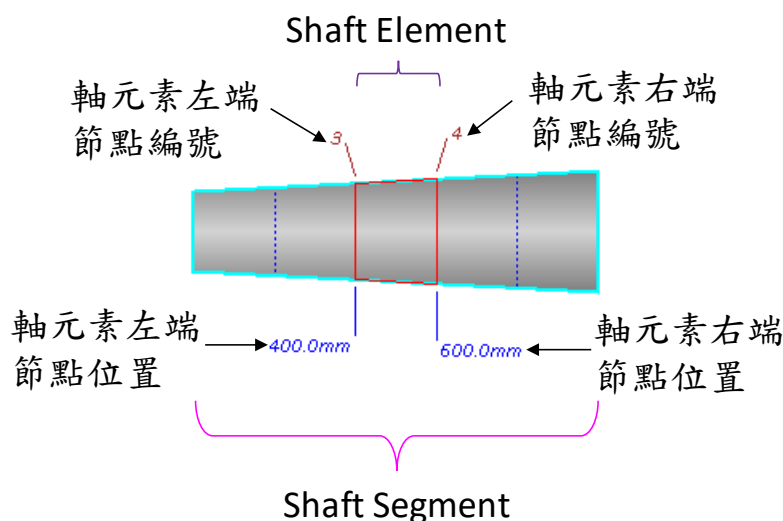


圖 4.4 SDP 軟體中的錐形段軸(Taper Shaft Segment)示意圖

(3) **DividedNoOfElement**: SDP 軟體以有限元素法(Finite Element Method)為基礎，來進行軸系的相關計算與分析，為使軸系有限元素分析的結果趨近於解析解 (Analytical Solutions)，一般會將段軸(Shaft Segment)再進一步切割為軸元素 (Shaft Element)。在 SDP 軟體中，使用者可以利用 DividedNoOfElement 參數分割段軸(Shaft Segment)，例如：使用者將 DividedNoOfElement 設定為 5，則

該段軸將自動分割為 5 根長度完全相同的軸元素(參考圖 4.3 與圖 4.4)。

- (4) **MediaDensity**：在 SDP 軟體中，軸系所處的外部環境可以由介質密度(MediaDensity)參數來設定。例如： $\text{MediaDensity} = 0.0 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ 表示軸的外部環境為空氣， $\text{MediaDensity} = 1000.0 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ 表示軸的外部環境為淡水，如果軸的外部環境為海水或油，則將 MediaDensity 參數設定為相關介質的密度就可以了。在 SDP 軟體中，軸系中的每一根段軸都可以個別設定 MediaDensity 參數的值，當某一根段軸之 MediaDensity 的值不等於 0.0 的時候，該段軸的外部會額外顯示波浪的符號(參考圖 4.5)，以利協助使用者輕易分辨軸系各段軸所處的外部環境。以船舶軸系為例(參考圖 4.5)，通常螺旋槳軸(Propeller shaft)的尾部是浸在水中的，這個時候，只要將浸在水中之段軸的 MediaDensity 參數設定為水的密度就可以了，而軸系其它段軸的 MediaDensity 參數仍然維持為 0.0 (即 $\text{MediaDensity} = 0.0 \text{ (kg/m}^3\text{)}$)。

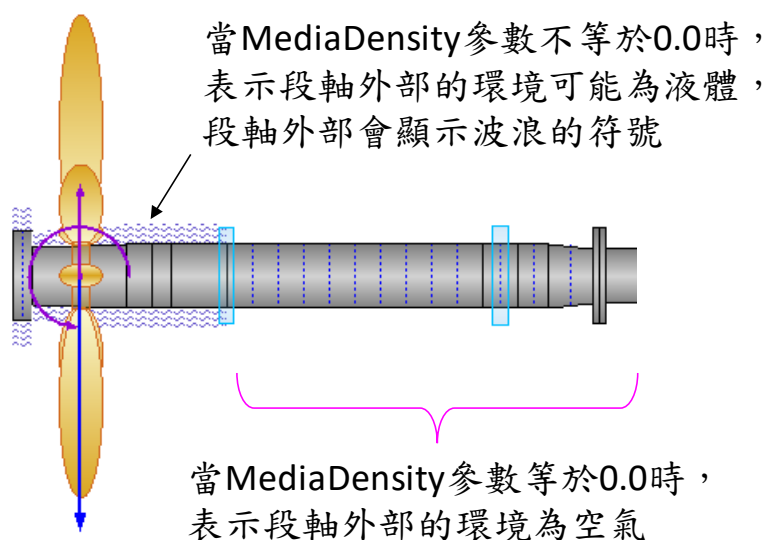


圖 4.5 SDP 軟體中的 MediaDensity 參數設定示意圖

- (5) **TotalLength**：段軸 (Shaft Segment) 的總長度可以用 **TotalLength** 參數來設定。例如：當段軸的 **TotalLength** = 1000.0 mm，而且 **DividedNoOfElement** = 5，則這根段軸將被自動分割為 5 根長度完全相同的軸元素，每根軸元素的長度為 $1000.0/5 = 200.0$ mm，如圖 4.6 所示。

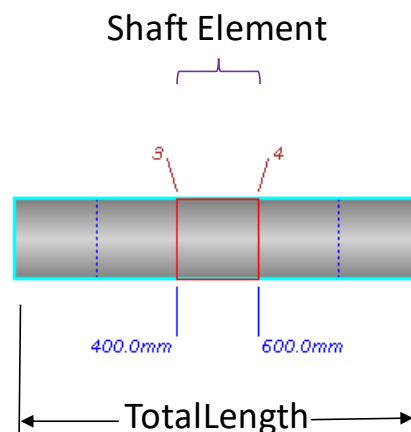


圖 4.6 段軸的 **TotalLength** 參數說明

- (6) **LeftOuterDiameter**：段軸 (Shaft Segment) 左側的截面直徑可以用 **LeftOuterDiameter** 參數來設定。如果段軸左側的截面直徑與右側的截面直徑相同，則段軸為均勻段軸 (Uniform Shaft Segment)，如果段軸左側的截面直徑與右側的截面直徑不相同，則段軸為錐形段軸 (Taper Shaft Segment)，如圖 4.7 所示。
- (7) **RightOuterDiameter**：段軸 (Shaft Segment) 右側的截面直徑可以用 **RightOuterDiameter** 參數來設定。如果段軸右側的截面直徑與左側的截面直徑相同，則段軸為均勻段軸 (Uniform Shaft Segment)，如果段軸右側的截面

直徑與左側的截面直徑不相同，則段軸為錐形段軸(Taper Shaft Segment)，如圖 4.7 所示。

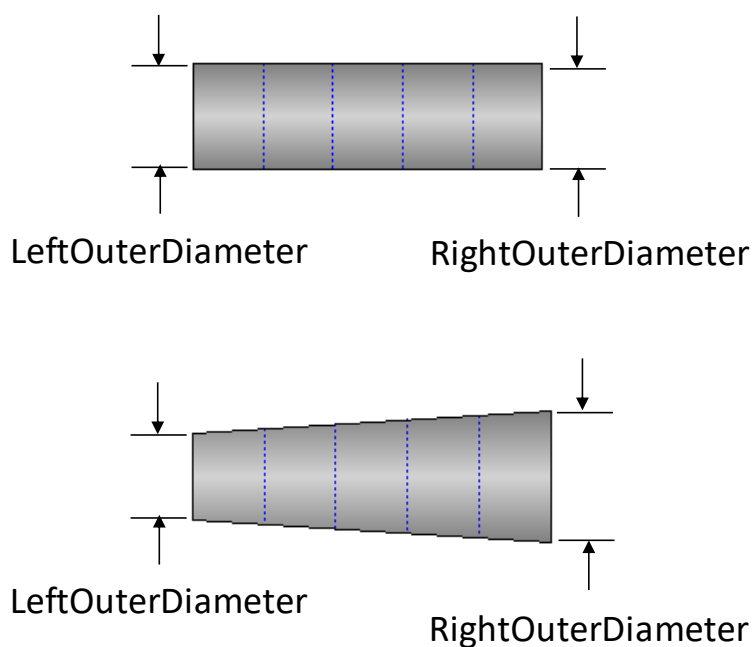


圖 4.7 段軸的 LeftOuterDiameter 與 RightOuterDiameter 參數說明

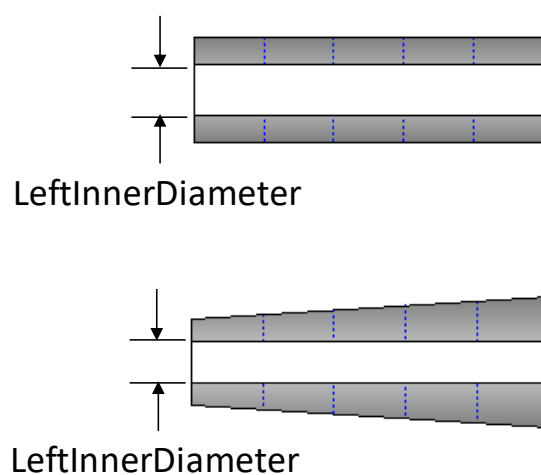


圖 4.8 空心段軸(Hollow Shaft Segment)的 LeftInnerDiameter 參數說明

(8) **LeftInnerDiameter**：空心段軸(Hollow Shaft Segment)的內部截面直徑可以用 LeftInnerDiameter 參數來設定。如果 LeftInnerDiameter = 0.0 mm，則段軸為實心段軸(Solid Shaft Segment)，如果 LeftInnerDiameter 參數的值不為零，則段軸為空心段軸(Hollow Shaft Segment)，如圖 4.8 所示。

4.2 軸承元素(Bearing Element)

軸承元素(Bearing Element)的相關參數，詳細介紹如下：

(1) **NodeNo**：軸承所在位置的節點編號(Node Numbering)。在 SDP 軟體中，一個節點只能有一個軸承元素、圓盤元素或螺旋槳元素。換句話說，軸承元素、圓盤元素與螺旋槳元素不可以安置在相同一個節點上。軸承所在位置的節點編號，可以依照下列步驟來改變：

(a)用滑鼠左鍵選取要移動位置的軸承，點選軸承時，請點選軸承與軸系不重疊的部份(參考圖 4.9)。

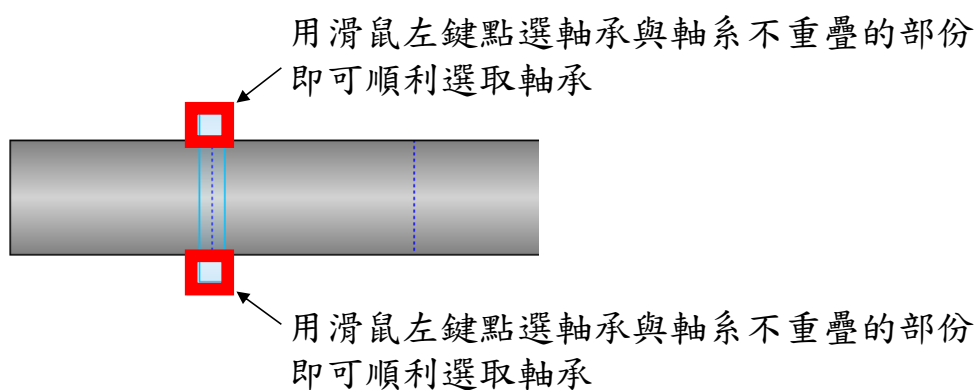


圖 4.9 用滑鼠點選軸承的方法

(b)按住 Ctrl 鍵，接著按住滑鼠左鍵，然後移動滑鼠，即可移動軸承。

(c)待軸承移動到目標位置節點附近後，釋放滑鼠左鍵，此時，軸承即會自動

移動到距離最近的節點。

(d) 釋放 Ctrl 鍵，完成改變軸承所在位置節點的流程。

(2) **SupportType**：軸承的支撐型式。在 SDP 軟體中，軸承的 SupportType 參數一律設定為 Elastic，軸承處的邊界條件，可以用 TransverseSpringStiffness、RotationalSpringStiffness 或 AxialSpringStiffness 等參數來模擬。例如：如果軸承處的邊界條件為固定 (Fixed)，則可以將 TransverseSpringStiffness、RotationalSpringStiffness 與 AxialSpringStiffness 等參數的值設定大一些 (例如：1.0E10 N/m 或 1.0E10 Nm/rad)，以利模擬固定邊界條件。

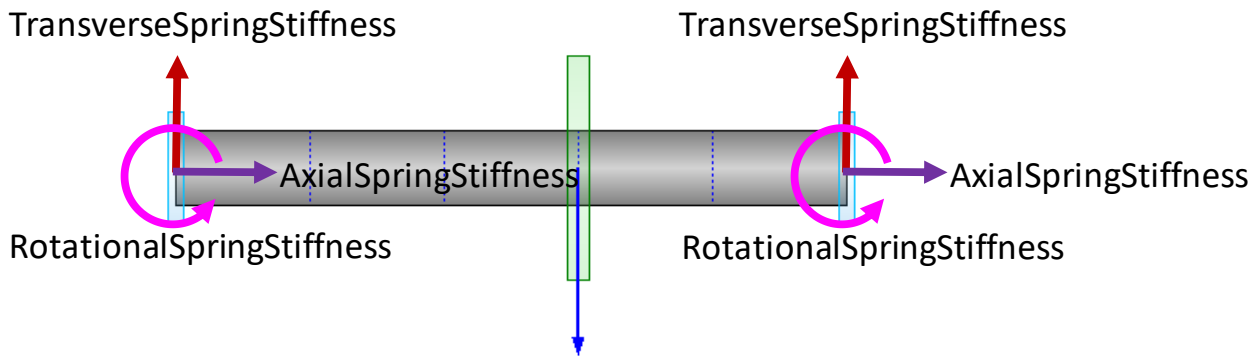


圖 4.10 軸承 TransverseSpringStiffness、RotationalSpringStiffness 與 AxialSpringStiffness 等參數的說明

(3) **TransverseSpringStiffness**：在 SDP 軟體中，軸承的側向彈簧常數可透過 TransverseSpringStiffness 參數來設定，側向彈簧常數影響的方向在垂直軸中心線的方向，如圖 4.10 所示。如果軸承的側向邊界條件為固定，則 TransverseSpringStiffness 參數可設定為一個較大的值，例如：

$\text{TransverseSpringStiffness} = 1.0\text{E}10 \text{ N/m}$ 。以船舶軸系而言， $\text{TransverseSpringStiffness}$ 參數一般採用經驗值 $1.0\text{E}09 \text{ N/m}$ ，即 $\text{TransverseSpringStiffness} = 1.0\text{E}09 \text{ N/m}$ 。當然， $\text{TransverseSpringStiffness}$ 參數也可以依照軸承本身的特性來加以設定。 $\text{TransverseSpringStiffness}$ 參數只適用於某些特定的模組，如果某些特定模組不需使用到 $\text{TransverseSpringStiffness}$ 參數，則上述參數便不會在該模組中出現。

- (4) **RotationalSpringStiffness**：在 SDP 軟體中，軸承的旋轉彈簧常數可透過 $\text{RotationalSpringStiffness}$ 參數來設定，旋轉彈簧常數與軸的彎曲(Bending)行為有關，旋轉彈簧常數影響的方向並不是軸的旋轉方向，而是軸的彎曲方向，如圖 4.10 所示。如果軸的彎曲方向邊界條件為固定，則 $\text{RotationalSpringStiffness}$ 參數可設定為一個較大的值，例如： $\text{RotationalSpringStiffness} = 1.0\text{E}10 \text{ Nm/rad}$ 。以船舶軸系而言，在進行軸系分析時， $\text{RotationalSpringStiffness}$ 參數一般採用經驗值 $1.0\text{E}09 \text{ Nm/rad}$ ，即 $\text{RotationalSpringStiffness} = 1.0\text{E}09 \text{ Nm/rad}$ 。當然， $\text{RotationalSpringStiffness}$ 參數也可以依照軸承本身的特性來加以設定。 $\text{RotationalSpringStiffness}$ 參數只適用於某些特定的模組，如果某些特定模組不需使用到 $\text{RotationalSpringStiffness}$ 參數，則上述參數便不會在該模組中出現。
- (5) **AxialSpringStiffness**：在 SDP 軟體中，軸承的軸向彈簧常數可透過 $\text{AxialSpringStiffness}$ 參數來設定，軸向彈簧常數影響的方向在軸的中心線方向，

如圖 4.10 所示。如果軸承的軸向邊界條件為固定，則 AxialSpringStiffness 參數可設定為一個較大的值，例如：AxialSpringStiffness = 1.0E10 N/m。以船舶軸系而言，如果止推軸承(Trust Bearing)的參數為未知(Unknown)，則 AxialSpringStiffness 參數一般採用經驗值 1.0E09 N/m，即 AxialSpringStiffness = 1.0E09 N/m。當然，AxialSpringStiffness 參數也可以依照軸承本身的特性來加以設定。AxialSpringStiffness 參數只適用於某些特定的模組，如果某些特定模組不需使用到 AxialSpringStiffness 參數，則上述參數便不會在該模組中出現。

(6) **Offset 1 至 Offset 20**：在 SDP 軟體中，每一個軸承都可以設定最多 20 組不相同的偏移值(Offset)，軸承的偏移方向與軸中心線垂直，單位為釐米(mm)。在 SDP 軟體中，只有一維靜態分析模組(Static Analysis 1D)、二維靜態分析模組(Static Analysis 2D)、下垂量與間隙量分析模組(Sag and Gap Analysis)會使用到 Offset 1 至 Offset 20 參數，也就是說，Offset 1 至 Offset 20 參數只會出現在上述三個模組中，Offset 1 至 Offset 20 參數與軸系振動分析無關，所以不會在軸系振動分析相關模組中出現。Offset 1 至 Offset 20 可透過 Bearing Offset Manager 來設定，如圖 4.11 所示，至於 Bearing Offset Manager 的使用方式，會在後續相關章節說明。

(7) **UseOffset 1 至 UseOffset20**：在 SDP 軟體中，每一個軸承都可以設定最多 20 組不相同的偏移值(Offset 1 至 Offset 20)，但是在進行軸系一維靜態分析、軸系二維靜態分析或軸系下垂量與間隙量分析時，不一定 20 組的軸承 Offset

值都一定要進入計算程序，使用者可以只選擇某些特定組別的軸承 Offset 值進入計算程序，而 UseOffset 1 至 UseOffset 20 參數正好可以用來達到這個目標。如果 UseOffset N 的值為 True，則軸承偏移值 Offset N 就會進入計算程序，並獲得相關結果，如果 UseOffset N 的值為 False，則軸承偏移值 Offset N 就不會進入計算程序。以圖 4.11 為例，UseOffset 2 與 UseOffset 4 的值為 True，其餘 UseOffset 的值為 False，那就表示在這次的軸系分析中，只有 2 組軸承偏移值(Offset 2 與 Offset 4)會進入計算程序，並獲得 2 組相關的結果。UseOffset 1 至 UseOffset 20 可透過 Bearing Offset Manager 來設定，如圖 4.11 所示，至於 Bearing Offset Manager 的使用方式，會在後續相關章節說明。

(8) OffsetDescription 1 至 OffsetDescription 20：在 SDP 軟體中，每一個軸承都可以設定最多 20 組不相同的偏移值(Offset 1 至 Offset 20)，而每一組軸承偏移值所相對應的軸系實際狀況，可以透過 OffsetDescription 1 至 OffsetDescription 20 參數來設定。OffsetDescription 1 至 OffsetDescription 20 參數的主要功能在於用來識別每一組軸承偏移值所相對應的軸系實際狀況，與軸系計算結果無關。OffsetDescription 1 至 OffsetDescription 20 可透過 Bearing Offset Manager 來設定，如圖 4.11 所示，至於 Bearing Offset Manager 的使用方式，會在後續相關章節說明。

UseOffset 1
至
UseOffset 20

Offset 1
至
Offset 20

OffsetDescription 1
至
OffsetDescription 20

每一個軸承的偏移值設定

	Use Offset	Description	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	B 9
▶ Offset 1 (mm)	<input type="checkbox"/>	Straight	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Offset 2 (mm)	<input checked="" type="checkbox"/>	Running Light	0.0	-0.7	-6.7	-9.4	-9.3	-9.1	-9.0	-8.8	-8.6
Offset 3 (mm)	<input type="checkbox"/>	Running Ballast	0.0	-0.6	-5.7	-8.1	-8.0	-8.0	-8.0	-7.9	-7.9
Offset 4 (mm)	<input checked="" type="checkbox"/>	Running Full Load	0.0	2.0	-2.3	-5.3	-5.3	-5.5	-5.7	-5.9	-6.3
Offset 5 (mm)	<input type="checkbox"/>	Running Hot	0.0	0.0	-5.0	-7.8	-7.8	-7.8	-7.8	-7.8	-7.8
Offset 6 (mm)	<input type="checkbox"/>	Hot	0.0	0.0	-5.16	-8.36	-8.36	-8.36	-8.36	-8.36	-8.36
Offset 7 (mm)	<input type="checkbox"/>	Hot Light	0.0	-0.7	-6.7	-9.4	-9.3	-9.1	-9.0	-8.8	-8.6
Offset 8 (mm)	<input type="checkbox"/>	Hot Ballast	0.0	-0.6	-5.7	-8.1	-8.0	-8.0	-8.0	-7.9	-7.9
Offset 9 (mm)	<input type="checkbox"/>	Hot Full Load	0.0	2.0	-2.3	-5.3	-5.3	-5.5	-5.7	-5.9	-6.3
Offset 10 (mm)	<input type="checkbox"/>	85% Cold 20 Deg	0.0	0.0	-5.1	-8.36	-8.36	-8.36	-8.36	-8.36	-8.36
Offset 11 (mm)	<input type="checkbox"/>	85% Cold 30 Deg	0.0	0.0	-5.05	-8.2	-8.2	-8.2	-8.2	-8.2	-8.2
Offset 12 (mm)	<input type="checkbox"/>	100% Cold 20 Deg	0.0	0.0	-5.16	-8.36	-8.36	-8.36	-8.36	-8.36	-8.36
Offset 13 (mm)	<input type="checkbox"/>	100% Cold 30 Deg	0.0	0.0	-5.05	-8.2	-8.2	-8.2	-8.2	-8.2	-8.2
Offset 14 (mm)	<input type="checkbox"/>	NONE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Offset 15 (mm)	<input type="checkbox"/>	NONE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Offset 16 (mm)	<input type="checkbox"/>	NONE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Offset 17 (mm)	<input type="checkbox"/>	NONE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Offset 18 (mm)	<input type="checkbox"/>	NONE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Offset 19 (mm)	<input type="checkbox"/>	NONE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Offset 20 (mm)	<input type="checkbox"/>	NONE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

圖 4.11 軸承 Offset 1 至 Offset 20、UseOffset 1 至 UseOffset20 與 OffsetDescription 1 至 OffsetDescription 20 等參數的說明

4.3 圓盤元素(Disk Element)

圓盤元素(Disk Element)的相關參數，詳細介紹如下：

- (1) **NodeNo**：圓盤所在位置的節點編號(Node Numbering)。在 SDP 軟體中，一個節點只能有一個軸承元素、圓盤元素或螺旋槳元素。換句話說，軸承元素、圓盤元素與螺旋槳元素不可以安置在相同一個節點上。圓盤所在位置的節點

編號，可以依照下列步驟來改變：

- (a) 用滑鼠左鍵選取要移動位置的圓盤，點選圓盤時，請點選圓盤與軸系不重疊的部份(參考圖 4.12)。

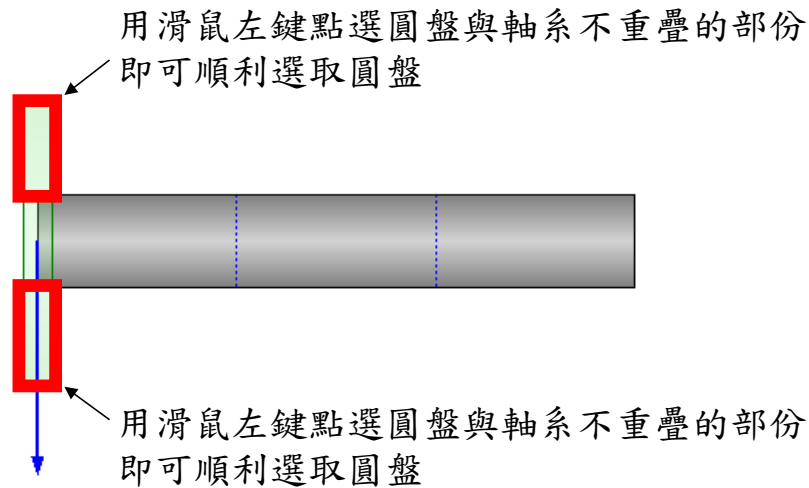


圖 4.12 用滑鼠點選圓盤的方法

- (b) 按住 Ctrl 鍵，接著按住滑鼠左鍵，然後移動滑鼠，即可移動圓盤。
- (c) 待圓盤移動到目標位置節點附近後，釋放滑鼠左鍵，此時，圓盤即會自動移動到距離最近的節點。
- (d) 釋放 Ctrl 鍵，完成改變圓盤所在位置節點的流程。

(2) **Mass1**：圓盤的質量，單位為公斤(kg)。SDP 軟體在進行計算程序時，圓盤的總質量將等於 Mass1 與 Mass2 參數的總和，在設定 Mass1 與 Mass2 參數時，兩者的值皆必須大於或等於 0。

(3) **Mass2**：與 Mass1 參數的說明相同。

(4) **MassInertia1**：在 SDP 軟體中，以圓盤 b 軸為中心軸(參考圖 4.13)，旋轉方向

的慣性矩，稱為圓盤的質量慣性矩 (Mass Moment of Inertia)，單位為 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 。

SDP 軟體在進行計算程序時，圓盤的總質量慣性矩將等於 MassInertia1 與 MassInertia2 參數的總和，在設定 MassInertia1 與 MassInertia2 參數時，兩者的值皆必須大於或等於 0。

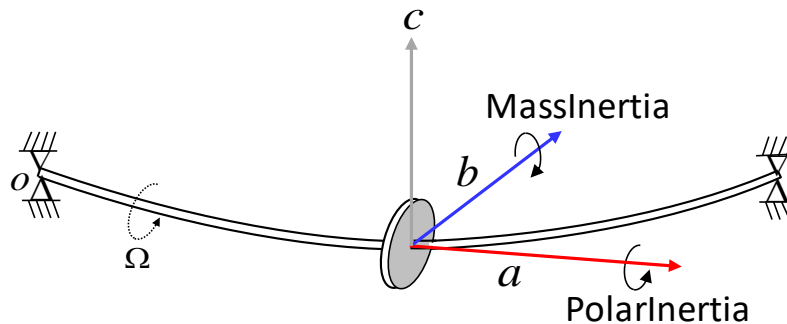


圖 4.13 圓盤之 MassInertia 與 PolarInertia 參數的說明

(5) **MassInertia2**：與 MassInertia1 參數的說明相同。

(6) **PolarInertia1**：在 SDP 軟體中，以圓盤 a 軸為中心軸(參考圖 4.13)，旋轉方向的慣性矩，稱為圓盤的極慣性矩 (Polar Moment of Inertia)，單位為 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 。

SDP 軟體在進行計算程序時，圓盤的總極慣性矩將等於 PolarInertia1 與 PolarInertia2 參數的總和，在設定 PolarInertia1 與 PolarInertia2 參數時，兩者的值皆必須大於或等於 0。

(7) **PolarInertia2**：與 PolarInertia1 參數的說明相同。

(8) **Eccentricity**：圓盤重心與幾何中心的距離，內定值為 0.0 mm，不可更改。

4.4 螺旋槳元素 (Propeller Element)

螺旋槳元素 (Propeller Element) 的相關參數，詳細介紹如下：

(1) **NodeNo**：螺旋槳所在位置的節點編號 (Node Numbering)。在 SDP 軟體中，一個節點只能有一個軸承元素、圓盤元素或螺旋槳元素。換句話說，軸承元素、圓盤元素與螺旋槳元素不可以安置在相同一個節點上。螺旋槳所在位置的節點編號，可以依照下列步驟來改變：

(a) 用滑鼠左鍵選取要移動位置的螺旋槳，點選螺旋槳時，請點選螺旋槳與軸系不重疊的部份 (參考圖 4.14)。

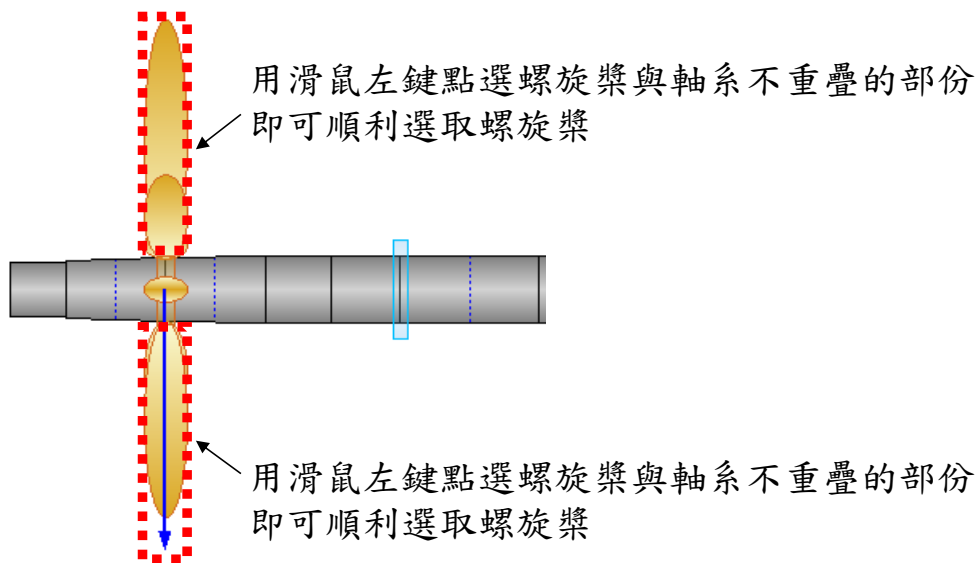


圖 4.14 用滑鼠點選螺旋槳的方法

(b) 按住 Ctrl 鍵，接著按住滑鼠左鍵，然後移動滑鼠，即可移動螺旋槳。

(c) 待螺旋槳移動到目標位置節點附近後，釋放滑鼠左鍵，此時，螺旋槳即會自動移動到距離最近的節點。

(d) 釋放 Ctrl 鍵，完成改變螺旋槳所在位置節點的流程。

(2) **Mass1**：螺旋槳的質量，單位為公斤(kg)。SDP 軟體在進行計算程序時，螺旋槳的總質量將等於 Mass1 與 Mass2 參數的總和，在設定 Mass1 與 Mass2 參數時，兩者的值皆必須大於或等於 0。

(3) **Mass2**：與 Mass1 參數的說明相同。

(4) **MassInertia1**：在 SDP 軟體中，以螺旋槳 b 軸為中心軸(參考圖 4.15)，旋轉方向的慣性矩，稱為圓盤的質量慣性矩(Mass Moment of Inertia)，單位為 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 。SDP 軟體在進行計算程序時，螺旋槳的總質量慣性矩將等於 MassInertia1 與 MassInertia2 參數的總和，在設定 MassInertia1 與 MassInertia2 參數時，兩者的值皆必須大於或等於 0。

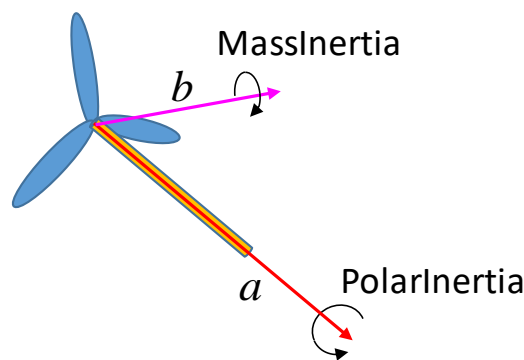


圖 4.15 螺旋槳之 MassInertia 與 PolarInertia 參數的說明

(5) **MassInertia2**：與 MassInertia1 參數的說明相同。

(6) **PolarInertia1**：在 SDP 軟體中，以螺旋槳 a 軸為中心軸(參考圖 4.15)，旋轉方向的慣性矩，稱為螺旋槳的極慣性矩(Polar Moment of Inertia)，單位為 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 。

SDP 軟體在進行計算程序時，螺旋槳的總極慣性矩將等於 PolarInertia1 與 PolarInertia2 參數的總和，在設定 PolarInertia1 與 PolarInertia2 參數時，兩者的值皆必須大於或等於 0。

(7) **PolarInertia2**：與 PolarInertia1 參數的說明相同。

(8) **Eccentricity**：螺旋槳重心與幾何中心的距離，內定值為 0.0 mm，不可更改。

