

HIWIN® MIKROSYSTEM



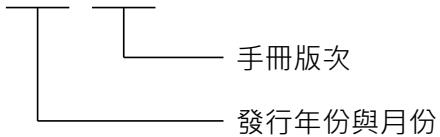
E 系列驅動器

力量控制功能
使用者操作手冊

修訂紀錄

手冊版次資訊亦標記於手冊封面右下角。

MD53UC01-2511_V1.0



發行日期	版次	適用產品	更新內容
2025/11/25	1.0	E2 系列驅動器	初版發行。

相關文件

透過相關文件，使用者可快速了解此手冊的定位，以及各手冊、產品之間的關聯性。詳細內容請至本公司官網→下載中心→手冊總覽閱覽（https://www.hiwinmikro.tw/Downloads/ManualOverview_TC.htm）。

韌體變更紀錄

驅動器韌體版本資訊請參閱《E2 系列驅動器使用者操作手冊》、《E2-R 系列驅動器使用者操作手冊》。

■ E2 系列驅動器

驅動器韌體版次	力量控制功能更新內容
3.14.8	支援力量控制功能。

■ E2-R 系列驅動器

驅動器韌體版次	力量控制功能更新內容
4.14.8	支援力量控制功能。

序言

本手冊說明 E 系列力量控制系統相關的硬體配置、設定流程、參數與應用功能。力量控制功能是將力量感測器（如荷重元 Load cell）之回授的類比訊號輸入至伺服驅動器，並根據預期的力量命令進行高速、高精準的力量閉迴路控制，即使負載發生變化，也能維持力量穩定。適用於壓合設備（Pressing Equipment）、接合機（Bonding Machines）等需要精確力量控制的設備。

目錄

1.	驅動器規格	1-1
2.	系統架構	2-1
2.1	控制方塊圖說明	2-2
3.	設定流程	3-1
3.1	前置作業	3-3
3.2	力量感測器回授設定	3-6
3.3	力量控制方向設定	3-9
3.4	數位輸入 / 輸出訊號配置	3-11
3.5	力量命令設定	3-12
3.6	力量控制安全保護設定	3-13
3.7	力量控制軟著陸設定	3-16
3.8	力量控制到位設定	3-19
3.9	力量控制增益調適	3-20
3.10	力量控制監控功能	3-24
3.11	試運轉	3-25
4.	力量控制操作方式	4-1
4.1	使用 EtherCAT 通訊進行力量控制的流程範例	4-2
4.2	使用脈波輸入進行力量控制的流程範例	4-2
5.	錯誤排除	5-1
5.1	相關警報	5-2

1. 驅動器規格

1. 驅動器規格 1-1

支援力量控制功能的 E 系列驅動器之機種如下：

■ E1 系列驅動器

不支援力量控制功能。

■ E2 系列驅動器

表 1.1

類型	功能	型號
標準型	AC	ED2S-V0-□□□-□-A-□□
	Advanced	ED2S-V0-□□□-□-C-□□
	GT	ED2S-V0-□□□-□-T-□□
總線型	AC	ED2F-E0-□□□-□-A-□□
	Advanced	ED2F-E0-□□□-□-C-□□
	GT	ED2F-E0-□□□-□-T-□□

■ E2-R 系列驅動器

表 1.2

類型	功能	型號
總線型	Rich	ED2F-E0-□□□-□-R-□□

註：

力量控制功能於總線型驅動器僅支援 EtherCAT 機種。

2. 系統架構

2.	系統架構.....	2-1
2.1	控制方塊圖說明.....	2-2

2.1 控制方塊圖說明

進入力量控制系統前的控制方塊圖，請參閱《E2 系列驅動器使用者操作手冊》、《E2-R 系列驅動器使用者操作手冊》。進入力量控制系統後的控制方塊圖，如圖 2.1.1。相關設定流程請參考第 3 章，警報排除方式請參考第 5 章。

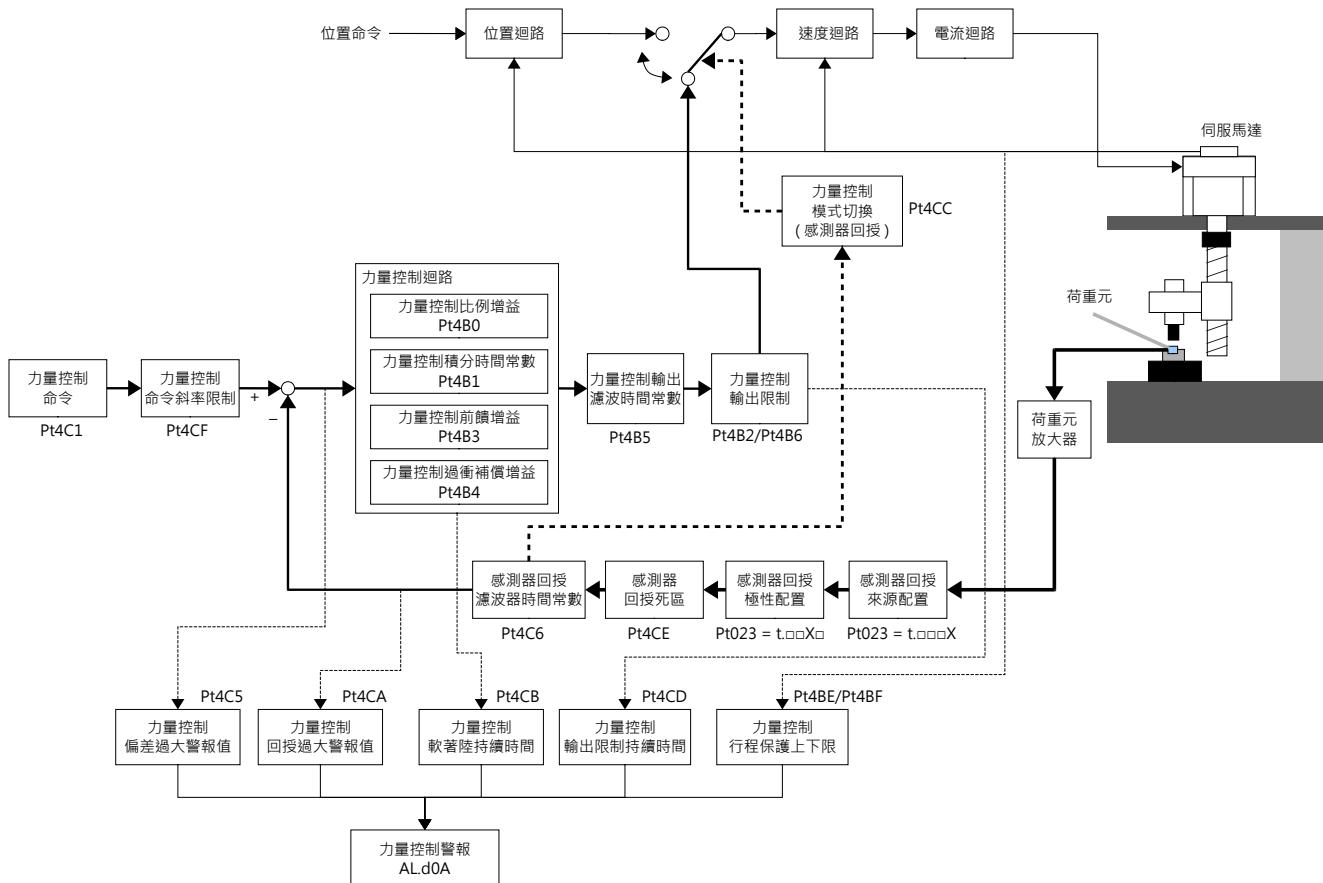


圖 2.1.1 力量控制系統的控制方塊圖

3. 設定流程

3.	設定流程	3-1
3.1	前置作業	3-3
3.2	力量感測器回授設定	3-6
3.3	力量控制方向設定	3-9
3.4	數位輸入 / 輸出訊號配置	3-11
3.5	力量命令設定	3-12
3.6	力量控制安全保護設定	3-13
3.7	力量控制軟著陸設定	3-16
3.8	力量控制到位設定	3-19
3.9	力量控制增益調適	3-20
3.10	力量控制監控功能	3-24
3.11	試運轉	3-25

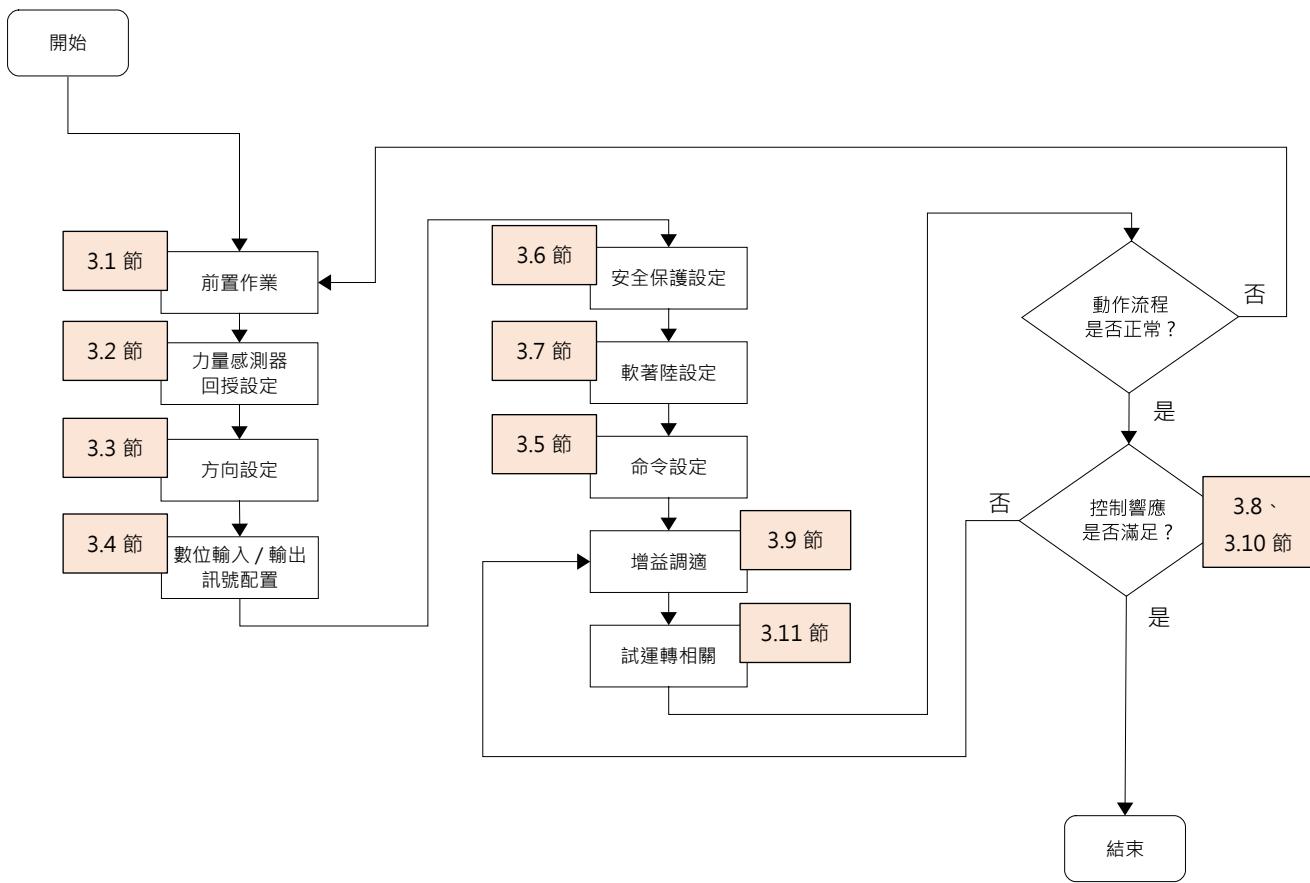


圖 3.1 設定流程總覽

力量控制功能的設定流程與說明，請參閱圖 3.1 與對應章節。進行設定前，請確認驅動器型號可以支援力量控制功能，請參考第 1 章的驅動器規格。

3.1 前置作業

使用力量控制功能前，請先完成下述前置作業，包含力量感測器選用簡易評估與設定步驟。

■ 力量感測器選用簡易評估

一般來說，力量感測器(如荷重元 Load cell)的性能會決定力量控制系統所能達到的最高精度。因此，選用力量感測器時須考量兩項核心需求：

1. 目標最大操作力量範圍：

預期會施加或量測到的最大力量範圍。建議選擇一個額定容量略大於（例如 1.25~1.5 倍）目標最大操作力量範圍的感測器，以提供充足的控制裕度和保護，避免感測器過載。

2. 目標控制精度：

力量控制允許的誤差範圍，取決於感測器精度的等級，而感測器精度通常以滿量程 (Full Scale, F.S.) 的百分比 (%) 來標示。百分比值越小，表示感測器最大量測誤差越小，則感測器越精密。因此，感測器精度建議為期望目標力量控制精度的 0.2~0.5 倍，以提供充足的控制裕度。

舉例來說：若最大的目標壓合力量為 100N，且期望在此目標力量下的控制精度為 $\pm 2\%$ ，則：

➤ **步驟一：量化目標力量控制精度**

$$\Rightarrow 100N * \pm 2\% = \pm 2N$$

計算說明：表示在 100N 下，力量控制須維持在 98N~102N 之間。

➤ **步驟二：選用感測器額定容量**

$$\Rightarrow \text{建議選用 } 150N$$

計算說明：若保留 1.5 倍的裕度，則選用的感測器額定容量為 $100N * 1.5 = 150N$ 。

➤ **步驟三：評估感測器精度等級**

$$\Rightarrow \text{建議 } 0.5\% \text{ F.S. (精度規格請查閱感測器的規格書)}$$

計算說明：依照**步驟二**選用一個額定容量為 150N 的感測器，假設感測器精度百分比為 $\pm 0.5\% \text{ F.S.}$ ，則其感測器精度為 $150N * \pm 0.5\% = \pm 0.75N$ 。此值需要小於**步驟一**所計算出來的目標力量控制精度。

■ 完成增益調適

調適方式請參閱《E2 系列驅動器使用者操作手冊》、《E2-R 系列驅動器使用者操作手冊》第 10 章調機。

■ 設定電子齒輪比設定視窗

力量控制功能通常用於垂直軸系統，而馬達種類為滾珠螺桿或線性馬達。請參閱《E系列驅動器 Thunder 軟體操作手冊》4.3.6.3 節電子齒輪比設定，於 Thunder 設定精靈的電子齒輪比設定視窗  進行設定，如圖 3.1.1 所示。使用旋轉馬達搭配滾珠螺桿時，必須完成進給常數的設定。

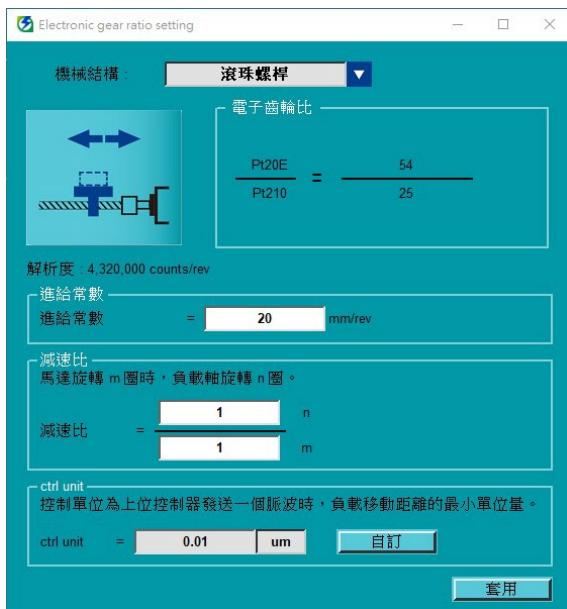


圖 3.1.1 電子齒輪比設定視窗

■ 力量感測器回授配置

驅動器力量控制功能是透過速度命令輸入訊號 (V-REF) 或轉矩命令輸入訊號 (T-REF) 的通道作為接收力量感測器回授的來源，使用者僅可擇一連接。

V-REF 或 T-REF 的 CN6 腳位連接，請參閱《E2 系列驅動器使用者操作手冊》、《E2-R 系列驅動器使用者操作手冊》進行配線，並依實際配線設定感測器回授來源 Pt023 = t.□□□X (請參閱 3.2 節)。

完成連接與設定後，使用 Thunder 內的示波器觀察物理量 34- 力量回授，確認力量感測器正常回授。



圖 3.1.2

3.2 力量感測器回授設定

■ 力量控制感測器回授來源配置

驅動器力量控制功能是透過速度命令輸入訊號 (V-REF) 或轉矩命令輸入訊號 (T-REF) 的通道作為接收力量感測器回授的來源，請依實際配線設定 Pt023 = t.□□□X，完成力量控制功能的啟用。

參數		說明	有效時間	分類
Pt023	t.□□□0 (出廠預設)	停用感測器回授控制功能。	寫入且再次接通電後	設定
	t.□□□1	啟用力量控制功能，並以 V-REF 作為力量感測器回授來源。		
	t.□□□2	啟用力量控制功能，並以 T-REF 作為力量感測器回授來源。		

△注意

- 當啟用感測器回授控制功能時，下列濾波器相關功能將無作用：

- 速度命令濾波時間常數 (Pt307)
- 速度前饋移動平均時間 (Pt30C)
- T-REF濾波時間常數 (Pt415)
- 轉矩前饋移動平均時間 (Pt426)

此外，部分功能也會根據 Pt023 = t.□□□X 的設定而有所限制：

- 設定 Pt023 = t.□□□1，選擇使用速度命令輸入訊號 (V-REF) 作為力量控制回授來源時，下列功能將無法使用：
 - 速度命令輸入增益 (Pt300)
 - V-REF 分配相關的功能 (Pt207 = t.□□X□、Pt002 = t.□□X□)
- 設定 Pt023 = t.□□□2，選擇使用轉矩命令輸入訊號 (T-REF) 作為力量控制回授來源時，下列功能將無法使用：
 - 轉矩命令輸入增益 (Pt400)
 - T-REF 分配相關的功能 (Pt002 = t.□□□X)

■ 力量控制回授單位增益

力量感測器輸出的電壓訊號(V)與實際物理力量單位(mN)的換算比例，可透過以下公式進行 Pt4C2 的設定。例如：10V = 50N，則 Pt4C2 = 50 * 1000 / 10 = 5000。

$$Pt4C2 = \frac{\text{實際力量 (N)}}{\text{力量感測器輸出電壓 (V)}} \times 1000$$

參數	Pt4C2	範圍	0~2 ³⁰	適用模式	力量控制模式
預設值	1000	生效時間	即時生效	單位	1 mN/V
參數說明					
力量控制回授單位增益					

註：

請務必正確設定力量控制回授單位增益。設定錯誤會造成單位顯示異常以及力量控制功能無法正常執行。

■ 感測器回授濾波器時間常數

在力量控制系統中，力量感測器回授（如荷重元 Load cell）的輸出電壓通常為類比訊號，容易受到雜訊、振動或高頻干擾影響。為確保判斷力量狀態的準確性，提供感測器回授濾波器時間常數 Pt4C6，用於平滑訊號、提升力量控制穩定性。Pt4C6 數值越大表示回授訊號越平滑，但若設定值過大，回授響應會降低。

參數	Pt4C6	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	100	生效時間	即時生效	單位	0.01 ms
參數說明					
感測器回授濾波器時間常數					

■ 感測器回授偏壓調整

當感測器的放大器不具備偏壓校正功能時，可於 Thunder 主畫面的 Tools 選擇 Analog offset。

在 Analog offset 視窗點擊偏壓修正按鈕，即可自動調整偏壓。

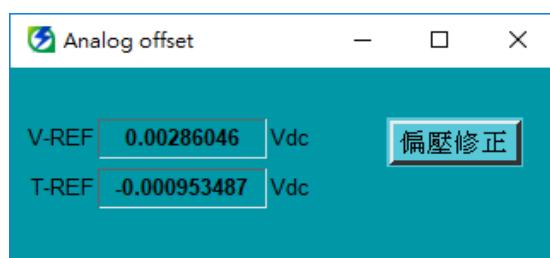


圖 3.2.1

■ 感測器回授死區

執行偏壓自動調整後，類比電壓仍可能有微小的跳動，可設定感測器回授死區以忽視該範圍內的類比回授訊號。

參數	Pt4CE	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	0	生效時間	即時生效	單位	1 mV
參數說明					
感測器回授死區					

3.3 力量控制方向設定

請依照以下步驟進行方向的確認與設定：

1. 請確認馬達與負載的機構可安全運轉，力量感測器已妥善安裝且訊號正常回授。
2. 力量感測器讀值方向設定：

當力量感測器在受到推壓（施力方向朝向感測器本體）時，使用 Thunder 內的示波器觀察物理量 34-力量回授，確認力量感測的讀值為『正值累加』。若非正值累加，請依下述進行感測器極性反向的設定：

- 若使用速度命令輸入訊號（V-REF）作為力量控制回授來源（Pt023 = t.□□□1）
⇒ 請將 Pt023 設定為 t.□□1□（V-REF 訊號極性反向）
- 若使用轉矩命令輸入訊號（T-REF）作為力量控制回授來源（Pt023 = t.□□□2）
⇒ 請將 Pt023 設定為 t.□□2□（T-REF 訊號極性反向）

註：

力量控制命令（Pt4C1）不支援負值命令，故請確保力量感測器受到推壓時，其輸出電壓讀值為正值。

參數		說明	有效時間	分類
Pt023	t.□□0□ (出廠預設)	不反向。	寫入且再次接通電後	設定
	t.□□1□	V-REF 訊號極性反向。		
	t.□□2□	T-REF 訊號極性反向。		

3. 力量控制輸出方向設定：

當馬達往力量感測器端或工件端的方向移動時，有兩個可能：

- 若編碼器回授為『累加』

⇒ 請將 Pt4C0 設定為 t.□□□0 (力量控制輸出方向與編碼器方向相同)

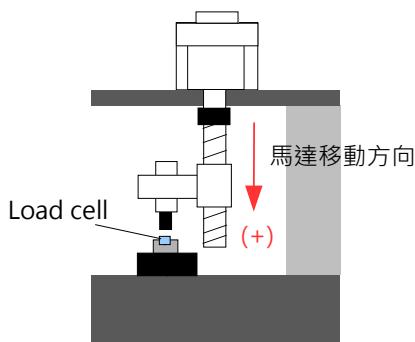


圖 3.3.1

- 若編碼器回授為『累減』

⇒ 請將 Pt4C0 設定為 t.□□□1 (力量控制輸出方向與編碼器方向相反)

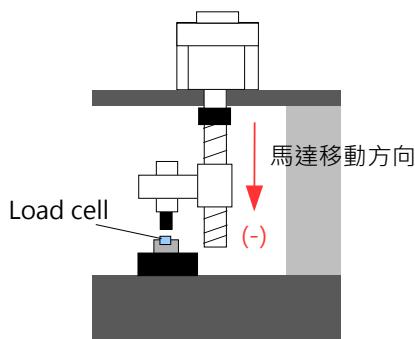


圖 3.3.2

註：

若更改馬達旋轉方向 (Pt000 = t.□□□X)，請重新確認力量控制方向的設定。

參數		說明	有效時間	分類
Pt4C0	t.□□□0 (出廠預設)	力量控制輸出方向與編碼器方向相同。	寫入且再次接通電後	設定
	t.□□□1	力量控制輸出方向與編碼器方向相反。		

⚠ 注意

- ◆ 力量控制輸出方向設定錯誤會導致力量控制出現失控或反向運動的異常狀況。發生異常時立即停止設備動作，並確認馬達旋轉方向、力量感測器回授方向是否正確設定。

3.4 數位輸入 / 輸出訊號配置

力量控制功能可以透過數位輸入 / 輸出訊號的配置，進行功能啟動與狀態監控。

數位輸入訊號之配置：

■ 力量控制功能開啟輸入 (FC-ENABLE) 訊號

欲透過外部觸發訊號啟動力量控制功能，請設定參數 Pt540 = t.□□□X，將 FC-ENABLE 訊號設定至所需的腳位。數位輸入訊號分配設定請參閱《E2 系列驅動器使用者操作手冊》、《E2-R 系列驅動器使用者操作手冊》8.1.1 節數位輸入訊號分配。

種類	訊號名稱	硬體腳位	訊號狀態	說明
輸入	FC-ENABLE	使用者自定義	正緣觸發	啟動力量控制。
			負緣觸發	關閉力量控制。

*總線型機種不支援

數位輸出訊號之配置：

■ 力量控制到位完成輸出 (FC-IN) 訊號

當力量控制偏差小於力量控制到位幅度 (Pt4C7)，並且維持反彈跳時間 (Pt4C8) 後，會輸出數位輸出訊號『FC-IN』，表示力量回授已到達目標狀態。請設定參數 Pt518 = t.□□X□，將 FC-IN 訊號設定至所需的腳位。數位輸出訊號分配設定請參閱《E2 系列驅動器使用者操作手冊》、《E2-R 系列驅動器使用者操作手冊》8.1.2 節數位輸出訊號分配。

種類	訊號名稱	硬體腳位	訊號狀態	說明
輸出	FC-IN	使用者自定義	ON	力量控制到位完成。
			OFF	力量控制到位未完成。

■ 力量控制就緒輸出 (FC-RDY) 訊號

當驅動器進入力量控制時，會輸出數位輸出訊號『FC-RDY』。請設定參數 Pt518 = t.□X□□，將 FC-RDY 訊號設定至所需的腳位。數位輸出訊號分配設定請參閱《E2 系列驅動器使用者操作手冊》、《E2-R 系列驅動器使用者操作手冊》8.1.2 節數位輸出訊號分配。

種類	訊號名稱	硬體腳位	訊號狀態	說明
輸出	FC-RDY	使用者自定義	ON	力量控制就緒。
			OFF	力量控制解除。

3.5 力量命令設定

■ 力量命令

力量命令是力量控制功能的力量目標值，請設定 Pt4C1。

參數	Pt4C1	範圍	0~10000	適用模式	力量控制模式
預設值	1000	生效時間	即時生效	單位	1 mV
參數說明					
力量控制命令					

■ 力量命令斜率限制

在力量控制應用中，步階命令可能會激發系統的高頻振動。為了抑制命令突變而引起的機械共振，可設定力量命令斜率限制 Pt4CF，以調整命令變化的平滑程度。

參數	Pt4CF	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	1000	生效時間	即時生效	單位	1 mV/0.1 s
參數說明					
力量控制命令斜率限制					

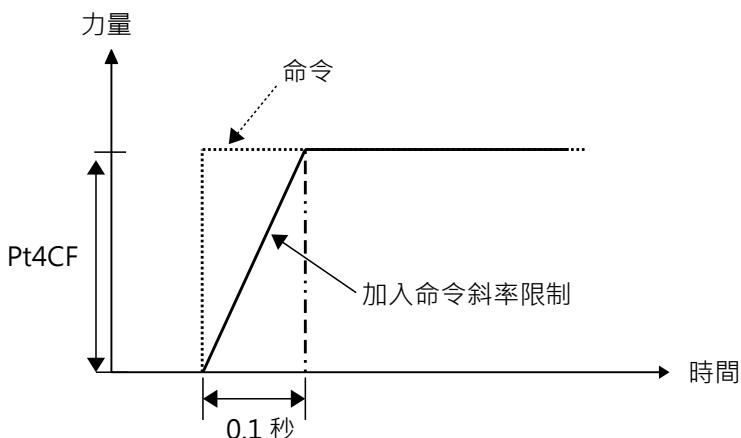


圖 3.5.1

3.6 力量控制安全保護設定

■ 力量控制偏差過大警報值

在力量控制中，驅動器會持續比較力量命令與力量回授之差值，以確保力量控制精度。當偏差超過設定值 Pt4C5，則會發生力量控制警報 AL.d0A。建議設定合理的安全裕度，使其略大於正常力量控制過程時的最大力量波動。

參數	Pt4C5	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	1000	生效時間	即時生效	單位	1 mV
參數說明					
力量控制偏差過大警報值					

■ 力量控制回授過大警報值

在進行力量控制時，驅動器會持續監測力量回授值，以確保不超出設備或工件所能承受的力量範圍，避免力量回授值異常升高，可能導致工件損壞或感測器過載。請依據實際應用所需的最大力量值設定合適的 Pt4CA，以防止過壓發生。設定值應高於正常壓力範圍，但低於機構或感測器所能承受的最大值。

參數	Pt4CA	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	8000	生效時間	即時生效	單位	1 mV
參數說明					
力量控制回授過大警報值					

■ 力量控制輸出限制與持續時間

為避免因過大的力量控制持續輸出，可能造成系統振盪或不穩定，請設定力量控制輸出限制（旋轉馬達設定 Pt4B2，線性馬達設定 Pt4B6）以及輸出限制持續時間（Pt4CD）的保護時間。因此，當力量控制輸出維持在限制值，且持續時間超過設定值 Pt4CD，則會發生力量控制警報 AL.d0A。

參數	Pt4B2	範圍	0~3000	適用模式	力量控制模式
預設值	20	生效時間	即時生效	單位	1 rpm
參數說明					
力量控制輸出限制（旋轉式伺服馬達）					

參數	Pt4B6	範圍	0~1000	適用模式	力量控制模式
預設值	10	生效時間	即時生效	單位	1 mm/s
參數說明					
力量控制輸出限制（直線式伺服馬達）					

參數	Pt4CD	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	3000	生效時間	即時生效	單位	1 ms
參數說明					
力量控制輸出限制持續時間					

■ 力量控制行程保護功能

避免執行力量控制時發生非預期的狀況，可能導致馬達異常移動，例如：持續往同一方向移動，造成工件損壞。請根據編碼器實際回授的方向，以及正常力量控制下的馬達回授位置，取安全裕度來設定力量控制行程保護的上、下限數值，並設定 Pt4C0 = t.□□1□來啟動力量控制行程保護功能。

設定範例：

在正常力量控制且為壓合狀態下，若馬達位置在 1000 控制單位，並取安全裕度 200 控制單位，請根據編碼器往工件端的變化進行 Pt4BE、Pt4BF 的設定。

- 若編碼器往工件端為『累加』：Pt4BE 設定為 1200 (1000+200)，Pt4BF 設定為 800 (1000-200)。

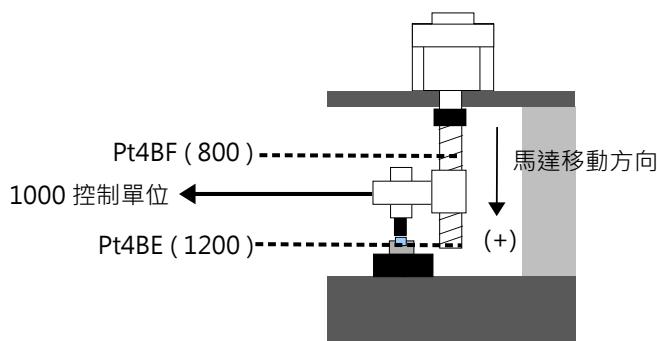


圖 3.6.1

- 若編碼器往工件端為『累減』：Pt4BE 設定為 800 (1000-200)，Pt4BF 設定為 1200 (1000+200)。

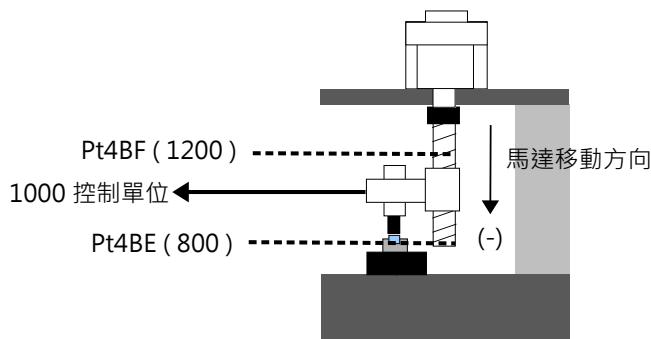


圖 3.6.2

△注意

- ◆ 請根據編碼器方向正確設定Pt4BE、Pt4BF，設定錯誤會導致保護功能失效。

參數		說明	有效時間	分類
Pt4C0	t.□□0□ (出廠預設)	停用力量控制行程保護功能。	即時生效	設定
	t.□□1□	啟用力量控制行程保護功能。		

參數	Pt4BE	範圍	-1073741823 ~ 1073741823	適用模式	力量控制模式
預設值	0	生效時間	即時生效	單位	1 控制單位
參數說明					
力量控制行程保護上限值					

參數	Pt4BF	範圍	-1073741823 ~ 1073741823	適用模式	力量控制模式
預設值	0	生效時間	即時生效	單位	1 控制單位
參數說明					
力量控制行程保護下限值					

3.7 力量控制軟著陸設定

軟著陸功能 (Soft Landing) 是力量控制功能中，用於提升接觸穩定性與安全性的功能，運作方式如下：

1. **低速接近**：力量控制功能啟用後，馬達會依照所設定的軟著陸加減速時間(Pt4C4)、軟著陸速度(Pt4C3)進行移動，並等待執行端接觸到工件。
2. **力量監控**：驅動器會持續監測力量回授訊號。
3. **自動模式切換**：一旦偵測到力量回授大於力量控制有效電壓 Pt4CC 的設定值，表示已接觸到工件。驅動器將自動從速度模式切換至力量控制模式。

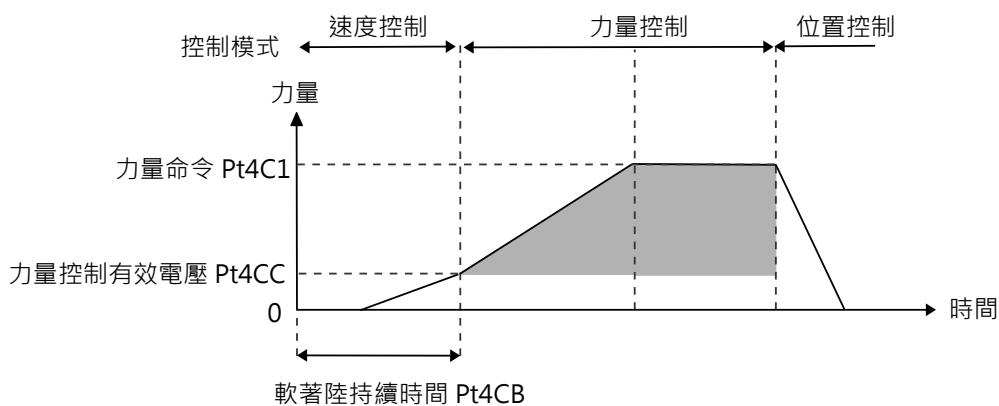


圖 3.7.1

註：

- (1) 圖中的灰色部分表示力量控制生效區域。
- (2) 力量控制有效電壓設定越低，切換到力量控制模式的反應越快，但過低可能增加誤觸發的風險。反之，設定越高，則馬達需施加更大的力量才能觸發切換，可能導致接觸時產生較大的衝擊。因此，通常會設定為略高於力量感測器在未受壓狀態下的讀值。
- (3) 請注意力量命令的設定值 (Pt4C1) 需大於力量控制有效電壓 (Pt4CC)，否則可能有非預期的動作。
- (4) 軟著陸功能啟動後，為了避免異常狀況，如感測器故障，導致未能及時偵測工件接觸而造成損壞，因此若在軟著陸持續時間 (Pt4CB) 內，力量回授訊號仍未達到 Pt4CC 的設定值，會發生力量控制警報 AL.d0A 。

■ 相關參數

參數	Pt4CB	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	1000	生效時間	即時生效	單位	1 ms
參數說明					
力量控制軟著陸持續時間					

參數	Pt4CC	範圍	0~10000	適用模式	力量控制模式
預設值	100	生效時間	即時生效	單位	1 mV
參數說明					
力量控制有效電壓					

參數	Pt4C3	範圍	0~3000	適用模式	力量控制模式
預設值	20	生效時間	即時生效	單位	1 rpm
參數說明					
力量控制軟著陸速度 (旋轉式伺服馬達)					

參數	Pt4C9	範圍	0~1000	適用模式	力量控制模式
預設值	10	生效時間	即時生效	單位	1 mm/s
參數說明					
力量控制軟著陸速度 (直線式伺服馬達)					

參數	Pt4C4	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	100	生效時間	即時生效	單位	1 ms
參數說明					
力量控制軟著陸時間					

實際軟著陸時間的計算如下：

$$\text{實際軟著陸時間} = \frac{\text{軟著陸速度}}{\text{參考速度}} \times \text{力量控制軟著陸時間 (Pt4C4)}$$

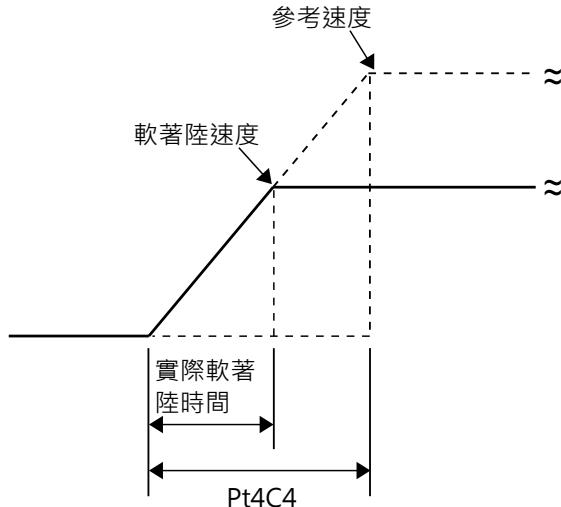


圖 3.7.2

註：

旋轉馬達的參考速度是 Pt317，線性馬達的參考速度是 Pt386。

旋轉馬達的軟著陸速度是 Pt4C3，線性馬達的軟著陸速度是 Pt4C9。

3.8 力量控制到位設定

當力量回授到達目標力量後，力量偏差小於力量控制到位幅度 (Pt4C7)，並且維持反彈跳時間 (Pt4C8) 後，其力量控制到位完成輸出訊號 (FC-IN) 才會輸出，稱為力量到位。從力量命令開始到力量到位完成輸出稱為總時間，即為力量命令規劃時間與力量到位時間之總和，如下圖所示。使用者也可透過 Thunder 力量控制功能介面觀察命令規劃時間、到位時間與總時間。

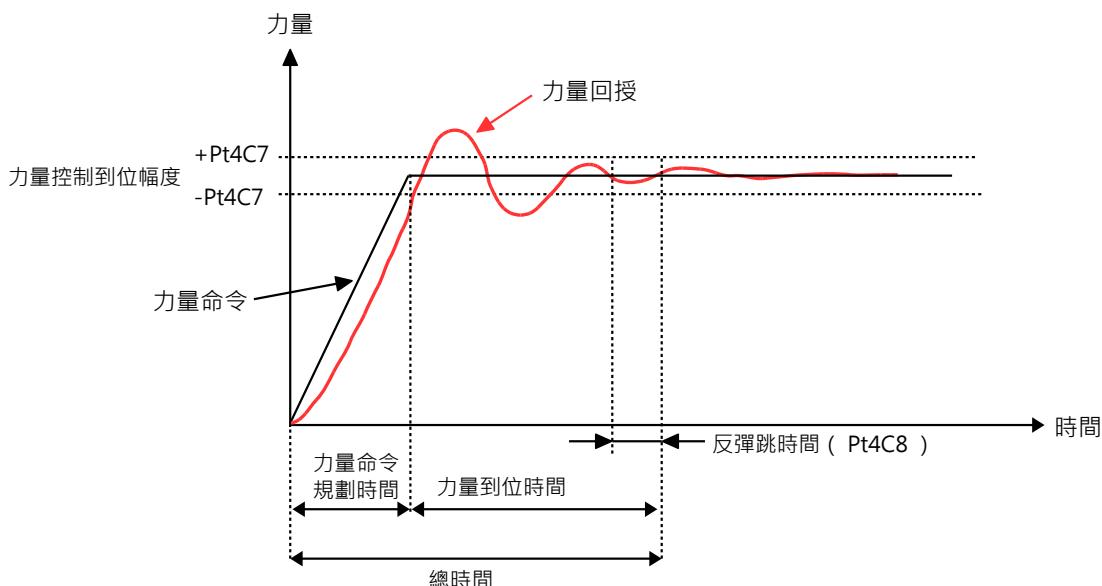


圖 3.8.1

■ 力量控制到位幅度

當力量偏差小於力量控制到位幅度的設定值時，即表示力量到位，會輸出力量控制到位完成輸出訊號 (FC-IN)。

參數	Pt4C7	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	100	生效時間	即時生效	單位	1 mV
參數說明					
力量控制到位幅度					

■ 力量控制反彈跳時間

使用者可設定維持反彈跳時間後，力量控制到位完成輸出訊號 (FC-IN) 才會輸出。

參數	Pt4C8	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	0	生效時間	即時生效	單位	1 ms
參數說明					
力量控制反彈跳時間					

3.9 力量控制增益調適

力量控制增益調適的流程圖如下。

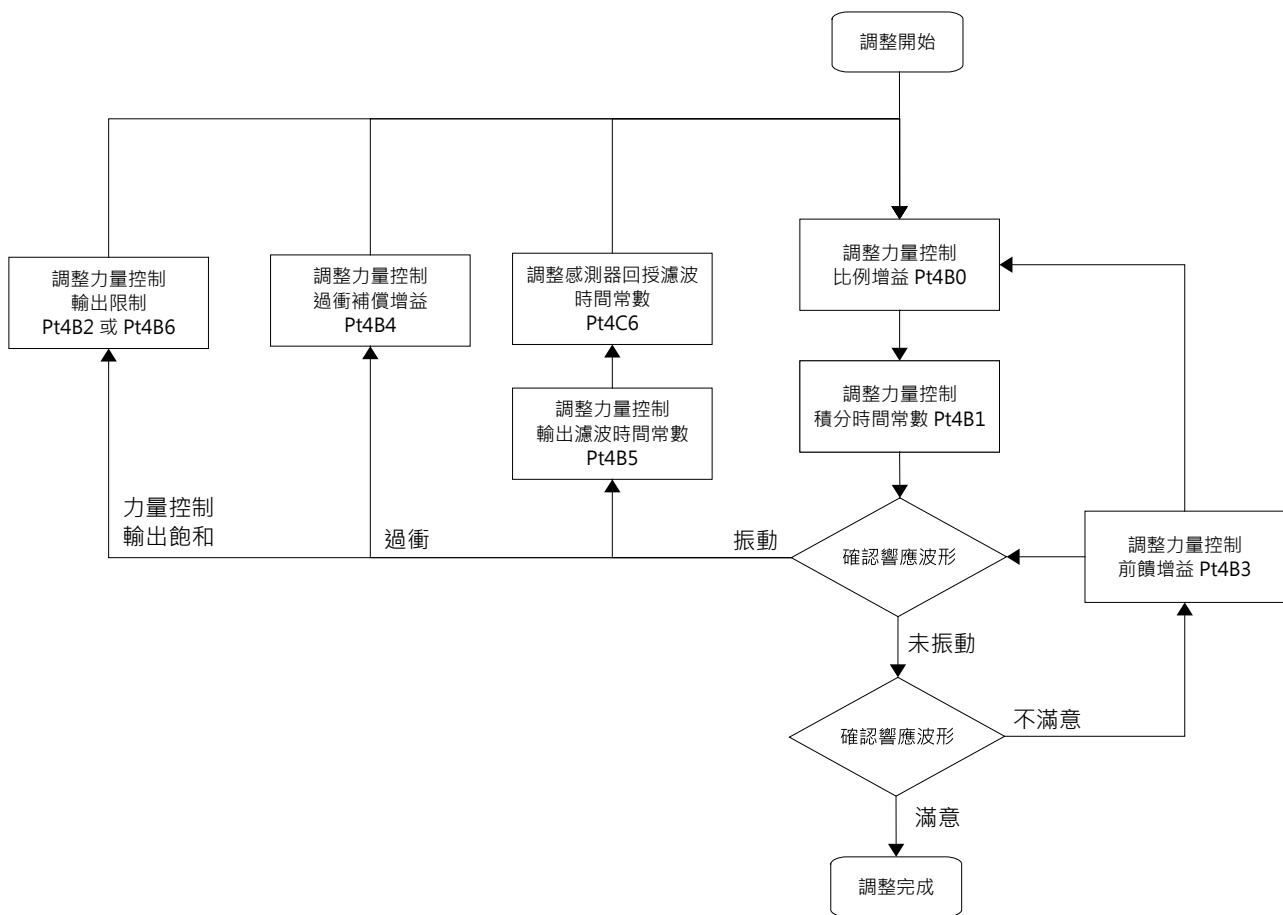


圖 3.9.1

■ 力量控制比例增益

力量控制比例增益用於調整力量控制的響應能力。數值越大，響應越快速，但若設定過大，可能會導致力量出現過衝或振盪現象。

參數	Pt4B0	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	10	生效時間	即時生效	單位	1 %/mV
參數說明					
力量控制比例增益					

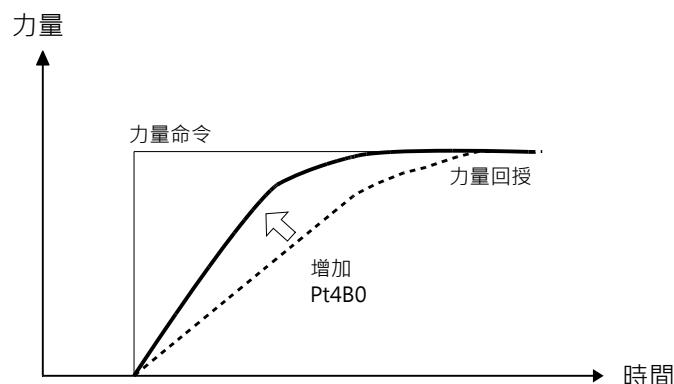


圖 3.9.2

■ 力量控制積分時間常數

力量控制積分時間常數用於消除力量控制的穩態誤差。數值越小，積分反應越快，但可能導致系統震盪或不穩定。

參數	Pt4B1	範圍	15~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	65535	生效時間	即時生效	單位	0.01 ms
參數說明					
力量控制積分時間常數					

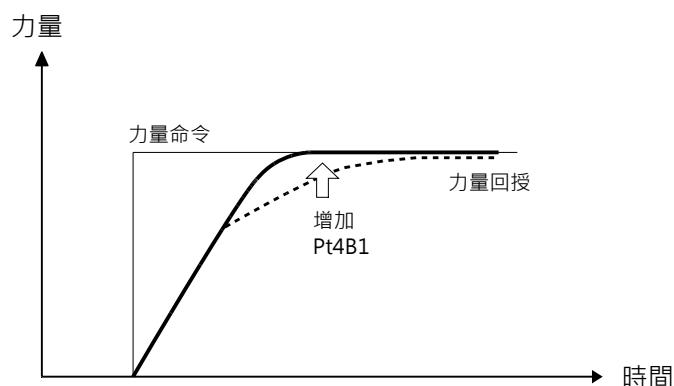


圖 3.9.3

■ 力量控制前饋增益

力量控制前饋增益可進一步提高力量控制追蹤性能。可逐步增加前饋增益，但過大可能導致振動及過衝。

參數	Pt4B3	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	0	生效時間	即時生效	單位	1 %
參數說明					
力量控制前饋增益					

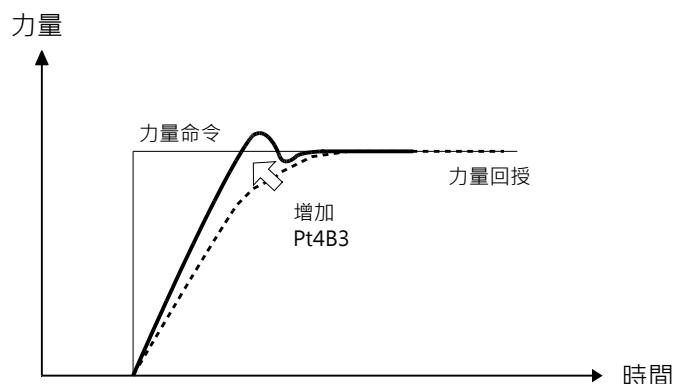


圖 3.9.4

■ 力量控制過衝補償增益

力量控制過衝補償可抑制在力量控制的過衝現象。增大設定值抑制效果越佳，但過大可能導致振動。

參數	Pt4B4	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	0	生效時間	即時生效	單位	1 %
參數說明					
力量控制過衝補償增益					

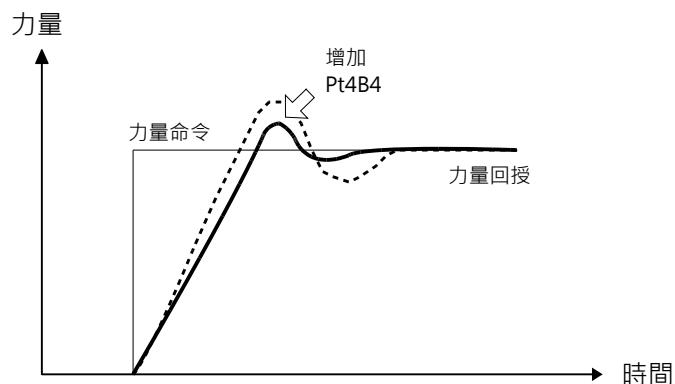


圖 3.9.5

■ 力量控制輸出濾波時間常數

若力量控制過程中發生振動，可調整 Pt4B5，就有可能消除振動。

參數	Pt4B5	範圍	0~65535	適用模式	力量控制模式
預設值	10	生效時間	即時生效	單位	0.01 ms
參數說明					
力量控制輸出濾波時間常數					

3.10 力量控制監控功能

- 使用總線型 EtherCAT 通訊進行力量控制的狀態監控，物件字典列表及說明如下。

表 3.10.1

索引	子索引	名稱	數據類型	途徑	PDO	有效值	單位
3090h	00h	Force control error code	U16	ro	-	0x0 ~ 0xFFFF	-
		力量控制警報的原因，請參考表 5.1.1。					
3091h	00h	Force control status	I16	ro	-	0 ~ 32767	-
		定義					
		0 力量控制功能未啟動。					
		1 模式切換執行中。					
		2 軟著陸執行中。					
		3 力量控制功能執行中。					
		4 力量控制功能關閉中。					
3092h	00h	Force error actual value	I32	ro	-	-2147483648 ~ 2147483647	mN
3093h	00h	Force feedback actual value	I32	ro	-	-2147483648 ~ 2147483647	mN

- 使用 Thunder 進行力量控制狀態監控，物理量與伺服訊號狀態如下。

表 3.10.2

物理量
(34) 力量回授 (Force feedback)
(35) 力量命令 (Force command)
(36) 力量誤差 (Force error)
(37) 力量控制輸出命令 (Force control output command)

表 3.10.3

伺服訊號狀態
(99) 力量控制功能開啟輸入訊號 (FC-ENABLE)
(100) 力量控制到位完成輸出訊號 (FC-IN)
(101) 力量控制就緒輸出訊號 (FC-RDY)

3.11 試運轉

完成力量控制參數的設定後，使用者可透過以下步驟進行力量控制的試運轉。

- 將以下 PDL 範例寫入驅動器，方便用於設定初始位置、接近位置。

_FC_SET_INIT_POS://init. position

X_FC_test_run_init_pos = dFbPos;

ret;

_FC_SET_NEAR_POS://near position

X_FC_test_run_near_pos = dFbPos;

ret;

- 於 Thunder 開啟 Test Run 視窗，進行運動條件與初始位置、接近位置的設定。設定步驟如下：

- 請將馬達移動到預期的初始位置後，執行 FC_SET_INIT_POS (將馬達當前位置記錄在**初始位置**的變數)。
- 接著再將馬達移動到預期的接近位置後，執行 FC_SET_NEAR_POS (將馬達當前位置記錄在**接近位置**的變數)。
- 可調整以下變數，進行力量控制試運轉條件設定與性能確認。

表 3.11.1

變數	單位	說明
X_FC_test_run_press_ms	ms	設定壓合時間，也就是切換到力量控制模式持續的秒數。 例如：設定 1000，表示會在力量控制模式下持續 1 秒鐘。
X_FC_test_run_num	次數	設定試運轉執行次數。 例如：設定 5，表示會執行 5 次試運轉。(設 0 為無限次)
FC.settle_time_ms	ms	力量控制到位時間。
FC.move_time_ms	ms	力量控制移動時間。
FC.move_settle_time_ms	ms	力量控制總時間。

- 觸發力量控制試運轉。請執行 FC_TEST_RUN，馬達會以 P2P 的運動條件進行運動。首先，馬達會先移動到初始位置，接著再移動到接近位置，觸發力量控制功能。其運行示例與說明如下所述。

註：若在試運轉過程中需緊急停止，請按下鍵盤快捷鍵 F12。

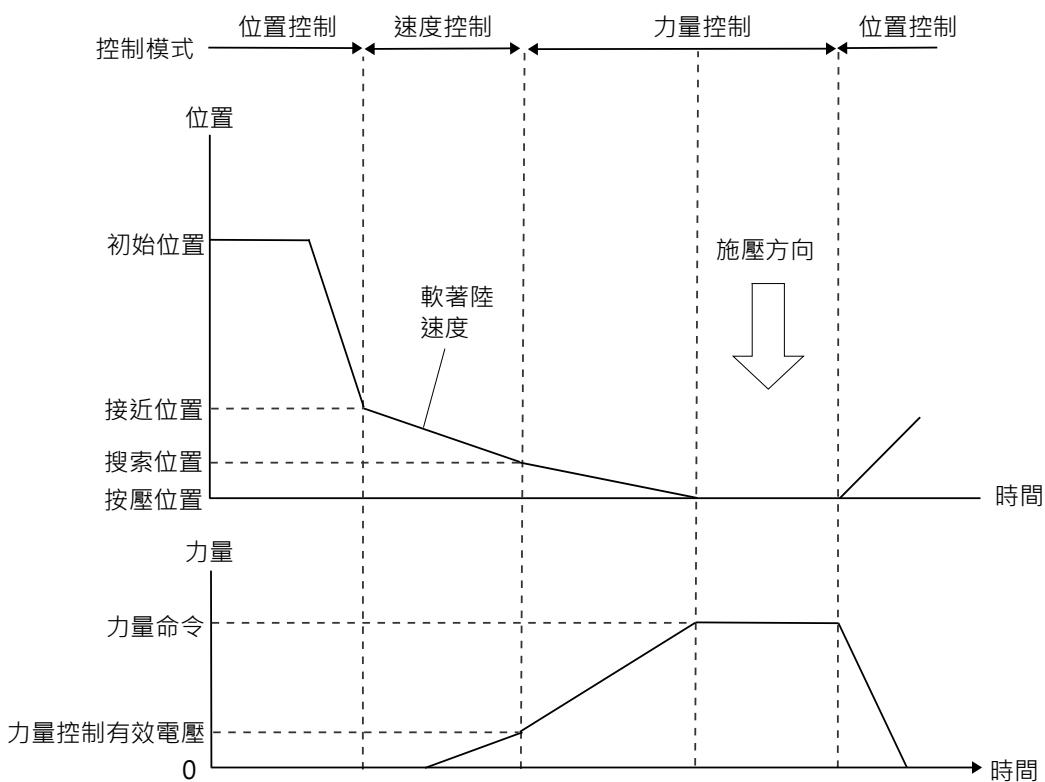


圖 3.11.1

■ 位置控制 - 接近階段

驅動器在位置模式下運作，此階段馬達會從安全位置快速移動至接近工件表面的位置。當馬達到達預設的接近位置時，控制模式將自動切換至速度模式，準備進行軟著陸流程。

■ 速度控制 - 軟著陸階段

進入此階段後，控制模式將自動切換為速度控制。馬達會以軟著陸速度穩定持續移動，直到與工件接觸。在此過程中，驅動器會持續監控力量回授訊號，準備進行力量控制模式的切換。

■ 力量控制 - 壓合階段

一旦力量感測器偵測到的力量回授到達力量控制有效電壓，即確認已接觸到工件，驅動器將自動切換至力量控制模式。在此模式下，驅動器將調整輸出以達到並維持目標的壓合力量。

■ 位置控制 - 完成即返回階段

當力量控制完成（例如：到達壓合時間），驅動器將從力量控制模式切換回位置模式。此時馬達會從壓合位置離開工件，移動回安全位置。

4. 力量控制操作方式

4.	力量控制操作方式	4-1
4.1	使用 EtherCAT 通訊進行力量控制的流程範例	4-2
4.2	使用脈波輸入進行力量控制的流程範例.....	4-2

本章說明 E 系列驅動器使用力量控制的流程範例。

4.1 使用 EtherCAT 通訊進行力量控制的流程範例

1. 請先完成第 3 章的設定流程，確認試運轉正常。
2. 使用上位控制器，於週期同步位置模式 (csp) 將馬達從初始位置移動到接近位置。
3. 到達接近位置後，將 6060h (Mode of operation) 設定為 -2，表示切換至力量控制模式。此時，驅動器將自動進行速度控制模式、力量控制模式的切換，並且執行力量控制。
4. 透過讀取物件（參考 3.10 節）進行相關狀態的監控，並確認力量回授已達到設定值。
5. 力量控制完成後，需要在控制器上更新軸的目標位置，請對齊目標位置 607Ah (Target position) 與實際位置 6064h (Position actual value)。
6. 將 6060h (Mode of operation) 設定為 8，關閉力量控制，切換回週期同步位置模式，並移動馬達至初始位置。

4.2 使用脈波輸入進行力量控制的流程範例

1. 請先完成第 3 章的設定流程，確認試運轉正常。
2. 使用上位控制器，於位置模式將馬達從初始位置移動到接近位置。
3. 設定力量控制功能開啟輸入 (FC-ENABLE) 訊號為 ON，切換至力量控制模式。
4. 讀取相關狀態（參考 3.10 節）進行監控，並確認力量回授已達到設定值。
5. 力量控制完成後，需要在控制器上更新軸的目標位置，請對齊脈波命令與實際回授位置。
6. 設定力量控制功能開啟輸入 (FC-ENABLE) 訊號為 OFF，關閉力量控制，切換回位置模式，並移動馬達至初始位置。

5. 錯誤排除

5.	錯誤排除	5-1
5.1	相關警報	5-2

5.1 相關警報

發生力量控制警報 AL.d0A 時，請透過 Thunder 力量控制功能介面或觀察變數 FC.err.all 來檢查發生警報的原因與處理措施。變數 FC.err.all 對應 bit 的說明如下表。

表 5.1.1

bit	警報名稱	警報原因	處理措施
0	力量偏差過大	力量偏差超過力量控制偏差過大警報值 (Pt4C5) 。	<ul style="list-style-type: none"> (1) 可能是感測器回授異常，請檢查力量感測器回授訊號是否正常。 (2) 請確認力量命令值設定是否過於劇烈，並適當調整力量控制命令斜率限制 (Pt4CF) 。 (3) 確認力量控制偏差過大警報值 (Pt4C5) 是否適當。 (4) 力量控制增益調適不當。請參考 3.9 節力量控制增益調適的說明。
1	力量感測器回授過大	力量感測器回授超過力量控制回授過大警報值 (Pt4CA) 。	<ul style="list-style-type: none"> (1) 可能是感測器回授異常，請檢查力量感測器回授訊號是否正常。 (2) 力量控制增益調適不當。請參考 3.9 節力量控制增益調適的說明。 (3) 確認力量控制回授過大警報值 (Pt4CA) 是否適當。 (4) 機械性因素（如機構干涉），請確認運動路徑無任何干涉。
2	軟著陸過程中超過時間限制	執行軟著陸的過程中，驅動器未能在設定時間 (Pt4CB) 內感測到力量回授達到有效電壓 (Pt4CC)，表示未成功接觸。	<ul style="list-style-type: none"> (1) 可能是感測器回授異常，請檢查力量感測器回授訊號是否正常。 (2) 軟著陸速度過快 / 慢，影響力量偵測。請參考 3.7 節力量控制軟著陸設定，適當調整相關參數的設定。 (3) 機械接觸不良，可能是接觸面不平整或有異物。
3	力量控制時觸發超程警告	力量控制時觸發超程警告。	確認在執行力量控制時，馬達的移動行程是否超過超程位置。
4	力量控制下，馬達超過行程保護範圍	力量控制過程中，馬達實際位置超出設定的保護範圍 (Pt4BE 、 Pt4BF) 。	<ul style="list-style-type: none"> (1) 可能是感測器回授異常，請檢查力量感測器回授訊號是否正常。 (2) 力量控制增益調適不當。請參考 3.9 節力量控制增益調適的說明。

bit	警報名稱	警報原因	處理措施
			<p>(3) 確認力量控制行程保護上限值 (Pt4BE) 與力量控制行程保護下限值 (Pt4BF) 是否適當。</p> <p>(4) 力量命令設定過大 / 過小，導致在力量控制下馬達移動超出設定範圍。</p>
5	在力量控制的過程中，力量控制器長時間達到限制值	力量控制輸出量超過力量控制輸出限制 (Pt4B2或Pt4B6)，且持續時間超過Pt4CD。	<p>(1) 可能是感測器回授異常，請檢查力量感測器回授訊號是否正常。</p> <p>(2) 力量控制增益調適不當。請參考 3.9 節力量控制增益調適的說明。</p> <p>(3) 請參考 3.6 節力量控制安全保護設定，適當調整 Pt4B2 或 Pt4B6，以及 Pt4CD。</p> <p>(4) 可能是馬達轉矩不足或驅動器電流輸出不足。請確認並重新評估馬達與驅動器型號。</p>