

乳管清洗效能提升

空氣注入器調整與應用

光泉酪農部 楊耀焜編譯

榨乳機在清洗過程中，清洗液必須形成 slug（浪湧）才能有效刷洗乳管內壁，且必須快速地在管路中移動，才會達到清潔效果。多數現代化的榨乳系統會使用可調式空氣注入器來掌控 slug 的形成；對許多牧場來說，注入器的調整若更精準，能讓清洗效率更高。

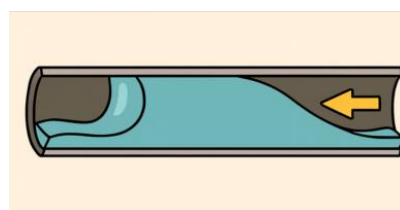
當清洗循環開始時，乳管的下方部分會充滿水。當空氣以約 20% 的流速比例注入乳管時，slug 的前端會開始形成。這股 slug 會往前推進，速度愈來愈快。slug 的頭部會吸收水分並增長，但尾端則逐漸失去水分而變薄，最後可能完全消失。

要確保系統被妥善清洗，需要有足夠尺寸（>3 米）的 slug，並維持適當的流速（約 7 - 10 m/s），而且在每次空氣注入循環中，不能使浪湧有破裂的情形。

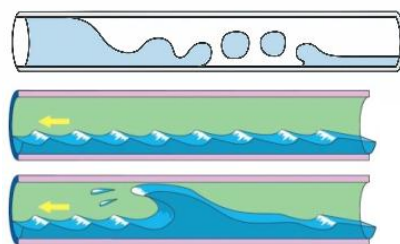
改善空氣注入器的設定不僅能提升清洗效率，也能減少水與清洗劑的消耗。以下是注入器調整不正確或位置不當的徵兆：

- 清洗循環中抽乳泵一直在運作。
- 在清洗過程中清洗槽的管路會將空氣吸入系統中。

- 衛生罐會被阻塞，進而停止系統運作（例如衛生罐充滿水）。
- 循環結束後有大量的清洗液從分配桶的排水閥排出。



正常的 Slug（浪湧）



破碎沒有連續的 Slug（浪湧）

空氣注入循環

每一個空氣注入循環包含兩個階段：

1. 關閉期（off time）：此時清洗液被吸入乳管，以便形成 slug。
2. 開啟期（on time）：此時空氣被注入，推動 slug 沿著乳管移動。

若注入器調整得宜，每一次循環都能

產生一個完整的 slug。

合適尺寸的 slug 會以足夠的力量進入集乳罐 (receiver)，並有效地將其清洗乾淨。如果 slug 過大或清洗液過多，液體會溢入衛生罐 (sanitary trap)，導致衛生罐會灌滿水，甚至使系統關閉。理想情況是：slug 通過注入器剛好抵達集乳罐時，並能產生足夠的湍流。若集乳罐過大或難以清洗時，則可適度延遲注入器關閉時間，讓產生的 slug 足夠大，可在集乳罐內部製造足夠的湍流。

空氣注入器的開啟時間 (on time)

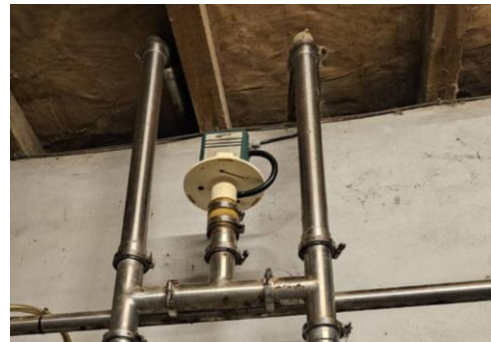
空氣注入器的開啟時間通常是第一個需要設定的參數。當注入器開啟時，空氣以一定速度進入並推動 slug 沿乳管移動。

計算方式：乳管總長 ÷ slug 移動速度 = 注入器開啟時間。

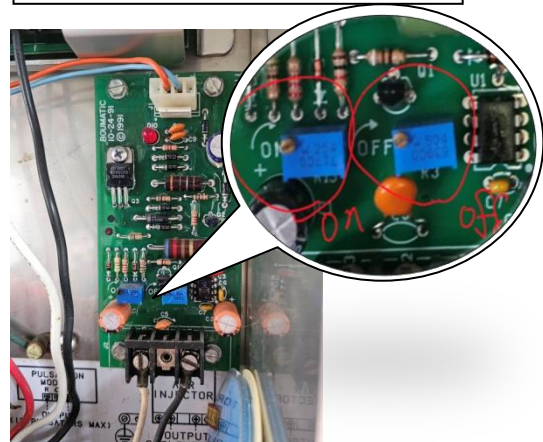
例如：乳管長度 40 公尺，slug 移動速度 8 m/s，則開啟時間為 5 秒。

空氣注入器的流量

多數注入器有多個噴嘴孔徑可供選擇，藉此調整所需的空氣流量。流量需求取決於乳管直徑和迴路數。一般而言，slug 的速度應維持在 7-10 m/s。若真空泵容量正常、注入器調整得宜，系統的真空壓降在注入時通常會超過 10 kPa (3 吋汞柱)。



空氣注入器



空氣注入器調整面板

空氣注入器的關閉時間 (off time)

在關閉期，清洗液被吸入乳管中。關閉時間必須足夠長，讓乳管可吸入適當的液體體積，形成完整的 slug。

關閉時間太長 → slug 過大

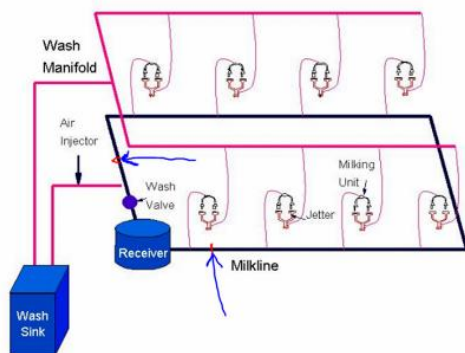
關閉時間太短 → slug 過小，清洗效果差

slug 的體積必須足以流經整條乳管，並有效清洗集乳罐。通常在 7-10 分鐘的清洗過程中，應形成 20-30 個 slug。開啟與關閉時間合計大約為 20 秒。

有多個注入器時

當系統中有兩個收集器時，就需要使用兩個注入器。在雙迴路系統中，每個迴路都要配置一個注入器。兩個注入器應避免同時開啟，否則會產生兩股 slug 同時進入系統，降低清洗效果。如果真空泵容量有限，更應避免同時開啟。

大多數榨乳機的注入器通常設在清洗槽與乳管之間；一般情況，無需讓空氣經過集乳座。若系統中配有流量計，則可能需要在清洗槽與集乳座清洗座之間的清洗管道上，再額外加裝一個注入器，以確保清洗效果。



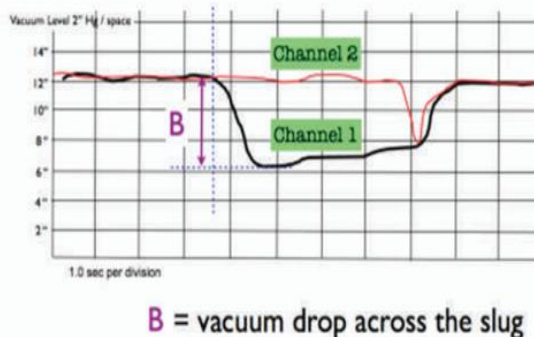
真空記錄儀安裝位置(藍色箭頭)

使用真空記錄儀分析 slug 的流動

合格的榨乳機技術人員可以透過真空記錄儀，在乳管的不同位置測量清洗過程中的真空變化。這些數據能提供 slug 尺寸、速度以及注入器設定是否合宜的資訊，協助調整與優化清洗效果。



真空記錄儀



真空記錄儀顯示的標準圖形



真空記錄儀的檢測圖形