



# 上海納卡什瑪液壓技術有限公司

## Nakashima Hydraulics Technology Co., Ltd.

Add: Plant3#, No. 86-150 Pingbei Rd. Zhuanqiao, Minhang District, Shanghai, China 201108  
Tel: 400-021-9112 86-21-64901276/2276/3476 Fax: 86-21-64902590  
Website: www.nakashima.cn E-mail: sales@nakashima.cn

## 注塑機節能液壓系統的分析研究

注塑機的最主要的能耗即是動力驅動系統，注塑機節能的重點即是提高動力驅動系統本身的能耗效率及驅動系統輸出功率與執行機構執行功率達到自適應調節匹配，兩者之間的能量利用率越高，即系統節能率越高，達到節省能源的功效。注塑機節能動力驅動系統是把有關節能驅動技術運用於注塑機上的技術。節能動力驅動系統是注塑機節能的主要研發課題。

注塑機動力驅動系統一般有以下三種：液壓驅動系統；全電子驅動系統；液電混合驅動系統。長期以來，注塑機節能液壓系統是重點研究的節能動力驅動系統。注塑機節能液壓系統，正在從過去的流量比例和壓力比例的雙控制走向負載敏感自適應控制，走向變頻調速控制、伺服控制及伺服閉環控制。

### 節能液壓驅動控制系統

注塑機的工藝過程一般分為鎖模、射膠、熔膠、保壓、冷卻、開模等幾個階段，各個階段需要不同的壓力和流量。對於油泵馬達而言，注塑過程是處於變化的負載狀態，在定量泵的液壓系統中，油泵馬達以恒定的轉速提供恒定的流量，多餘的液壓油通過溢流閥回流，此過程稱為高壓節流。據統計由高壓節流造成的能量損失高達 36%-68%。減少節流損失，提高能量效率，成為液壓驅動系統節能的發展方向。

### 流量比例和壓力比例控制的雙比例控制與定量泵組成節能動力控制系統

流量比例和壓力比例控制的雙比例控制的節能技術是隨著注射成型技術的發展及控制性能的提高而發展起來的。開關閥與定量泵組成的動力驅動系統不能滿足注射成型性能的要求，比例閥達到了無級靈活調節，同時顯示出了節能的性能，在推廣應用過程中，又不斷提高其節能的性能。

中、小型注塑機的 P/Q 複合電液比例技術與定量泵組成節能動力驅動系統，是國內注塑機製造單位普遍使用的節能驅動系統。中、小型注塑機的液壓泵源一般為單泵或雙泵，液壓泵排出流量全部經過 P/Q 閥進行比例調速。P/Q 複合比例閥的技術特徵是用三通型的比例調速閥控制速度，再在其上迭加比例壓力先導閥控制系統壓力。同最初採用分離元件構成的系統相比，該系統雖可大大減少元件數量、簡化結構，減少管路能耗損失及節流能耗損失。但因採用定量泵供油，工作過程中始終存在與流量有關的能量損失，特別是保壓過程中，這部分的流量能耗處於最大值。系統的應用，提高了注塑機的自動控制技術及注射成型性能，在成型製品工藝週期過程中所需冷卻時間長的注射成型，節能明顯，在節能與性價比方面具有一定優勢，國產注塑機幾乎全部應用了 P/Q 複合電液比例技術。

大型注塑機的比例技術與定量泵組成節能動力驅動系統。大型注塑機的液壓泵源由多個定量泵組成，以達到系統工作所需流量。對於多泵與比例閥的如何搭配，直接關係到系統的能耗的高低。多泵與比例閥搭配有兩種形式：一種是採用中、小型注塑機的 P/Q 複合電液比例技術與定量泵組成節能動力驅動系統的形式，總流量全部通過 P/Q 比例閥(或傍路 P/Q 比例閥)，不論那個泵的工作流量必須通過比例流量閥進入系統，這樣，造成了流量壓差能量損失，特別在大流量情況下，能量損失較大；另一種形式是僅對其中一個小流量泵進行比例調速，其於泵的流量根據工況與比例調速小泵的流量組合疊加，形成一條流量比例斜線，各個工況所需流量可在比例斜線上選取，這種比例流量調速，除比例調速的小泵外，其於泵的工作流量進入系統中，均沒有第一種搭配形式的能量損失，提高了能量利用率。

作者設計的合模力 8000kN 注塑機為例，泵源由五個定量泵組，分別為：比例調速小泵的排量為 76，其餘兩個為排量 76/152 的雙泵。兩個雙泵的四個泵的流量根據工況與比例調速小泵組合疊加，形成一條流量比例斜線，各個工況所需流量可在比例斜線上選取，這種比例流量調速，

除比例調速的小泵外，其於泵的工作流量進入系統中，基本上沒有流量的能量損失，提高了能量利用率。系統還可根據需要，減少工作泵的數量，不影響系統的調速性能。

### 節能負載敏感控制系統在注塑機上應用

注塑機節能最有效的措施是動力機構和執行機構兩者之間流量的自適應調節匹配。變數泵和電液比例閥結合的負載敏感泵節能控制系統，整個控制機構由差壓控制型徑向變數柱塞泵、含位置閉環的高速比例閥、以及壓力感測器和位移感測器組成，提高了動態回應速度。控制流量由比例閥與檢測變數泵偏心量的位移感測器構成的位置閉環系統完成。通過壓力感測器補償因洩漏造成的流量損失，使泵輸出的流量在 0~10V 內與設定值信號成線性比例。控制系統壓力由比例閥與壓力感測器構成的電閉環回路完成，壓力與流量兩種控制狀態的分離與轉換由電子放大器根據設定信號自動完成。系統的輸出流量由 0 增大到 90% 時，回應時間約為 50ms；而由 90% 輸出流量減小為 0 時，回應時間約為 30ms，系統壓力的動態回應時間當負載容腔為 4L 時，小於 200ms，均與高性能的比例閥相當，因而完全適合於注塑機的程序控制。負載敏感比例泵節能液壓系統，液壓動力輸出隨負載而同步化，其差值達到最小，基本上沒有能量浪費，與定量系統相比，節能達到 (30-60) %，是理想的節能液壓系統。

設定的負載敏感泵輸出流量，不一定能與需精確調節流量匹配，系統中還須增加流量調節閥，造成節能消耗損失。負載敏感泵與伺服閥組成閉環控制系統，可消除節流及管路的能耗損失，並且較大幅度提高了整機性能。國內大多數單位，僅從節能方面考慮，用負載敏感泵取代定量泵與 P/Q 雙比例閥，而沒有進一步從負載敏感泵能提高整機性能方面考慮，系統的控制性能及節能特性沒有得到進一步發揮。國際上先進的負載敏感泵控制系統，在塑化注射油路部分設置伺服閥，目的是與負載敏感泵共同組成一個高性能的閉環節能控制系統，在節能的同時，提高注射性能，但在國內塑機製造單位基本上沒有得到推廣應用。作者在 1985 年設計的負載敏感泵與伺服閥組成的閉環控制系統的注塑機，經實際應用證明，在節能及性能兩方面都取得了良好效果。

國內為研發負載敏感泵做了大量的工作。陝西秦川機床廠在上世紀八十年代中與上海第一膠機廠共同開發了負載敏感泵，並成功在注塑機上得到應用。近年來，重慶邦助工業有限公司研製出的 BK 系列注塑機專用負載敏感比例泵，其價格與定量泵和 P/Q 閥的總價差不多，從根本上解決了負載敏感比例泵價高難以推廣的障礙，已得到批量應用，取得了較好的效果。海特克液壓有限公司引進日本先進技術批量製造出負載感應泵。

### 定量泵加變頻調速電機電液節能控制系統

變頻調節技術通過調節液壓泵的轉速，使動力機構的性能類似於比例泵節能系統，達到動力機構輸出的流量與執行機構的流量相匹配，使流量的損失降低。變頻調節技術是利用注塑機同步信號及電氣控制系統，根據注塑成型的工藝要求，將電液比例控制系統，類比成負載跟蹤控制系統，使油泵電機的轉速與注塑機工作所需液壓的流量與壓力乘積成正比，將傳統的定量泵改造成變頻變數驅動系統，從而使溢流閥的回油流量降到最小，無高壓節流能量損失，進而將傳統有高壓節流的“耗能型”注塑機升級為無高壓節流的“節能型”注塑機，節能型注塑機除了節能功能之主要特性外，依據其節能原理，還具有附加系列的優點，包括：減輕開、鎖模衝擊，延長機械和模具使用壽命；延長油路系統（密封元件等）使用壽命，減少維修次數、節省維護費用；降低噪音、改善工作環境；系統油溫大幅降低，冷卻用水量可節省 30% 以上；對電機具有過壓、過流、缺相等多種保護；注塑機原有的控制方式及油路不變。將注塑機改造升級為“節能型”注塑機，其投資（主要是變頻器）在一年內可通過節約的電費收回。浙江慈溪市從去年開始大力推廣注塑機節能技術，在注塑機上安裝變頻節能器後，單機節能效果達到 30%~60%。慈溪市 200 多家企業為注塑機安裝節能器後，年省電達 6000 萬千瓦時左右。深圳市奧宇控制系統有限公司節能事業部主要從事注塑機變頻節能控制系統，為深圳市龍華富士康多家塑膠廠安裝該公司的注塑機變頻節能控制系統，油泵電機平均節電率達到 45%；為上海宜新集團公司改造 100 多台注塑機。油泵電機平均節電率 41%。

注射成形各階段頻繁的速度變化，使液壓泵驅動電機頻繁處於加減速工況下，由於磁滯效應及轉動慣量的影響，變頻調節技術通過調節液壓泵的轉速，回應速度慢（比例泵回應時間在 100ms 之內，變頻調速回應時間需 800ms~1000ms），導致了注射迴圈週期時期的增加，降低了生產效率，對高要求的製品難以成型。電機轉子品質比變數泵變數的斜板的品質大許多，所以前者流量改變的回應時間大於後者的回應時間，不能適應多級速度變化的快速注射。通過實現變頻器的輸出頻率和輸出轉矩解耦調節，達到變頻器與注射過程各動作的最佳配合，以達到提高應答反映性能。注塑機是否採用變頻調速，主要看加工製品的要求。變頻調速節能的本質就是在電機轉速低於設置的最高轉速情況下起到節能效果，低速的運轉時間越長，節能的越明顯。厚壁製品的保壓時間及冷卻時間長，是應用變頻調速設備的首選。

### 高响应的交流伺服电机驱动定量泵系统

高响应的交流伺服电机驱动定量泵系统解决了变频调节技术通过调节液压泵的转速，响应速度慢的性能，同时由于其本身的运转的特性提高了电力的利用效率。伺服电机驱动系统，由于伺服电机不使用永久磁铁结构，且由于转矩及惯量的密切配合下，又在低惯量的转子的配合下，免除了脉动转矩，在速度范围内有着良好的加减速度动态反应特性。因转矩是由感应式电流产生，具有完满磁性分布之高密度磁通所生，在 2000r/min 速度范围内，输出高比例(可达到 2.8 倍)的额定转矩情况下，能保持非常低的转矩波动，在非常低的速度下也可有大的定转矩区，达到衡定的流量输出。转速随系统流量需求而改变，反应速度比伺服阀快千分之 4 秒，液压系统基本上不需冷却水，对于保压及冷却时间长的制品，节能可达 80%。设定电机的转速控制流量，没有节流损失。可极大地减少保压工况及空转工况（等待周期）的流量损失。保压时电机处于停转状态，比负载敏感泵节能驱动系统更节能。高响应的交流伺服电机驱动定量泵系统与伺服阀组成闭环控制系统，更能发挥出节能特性，提高系统的精密控制性能。日进精密股份有限公司的一台隆亨 SN-220D 伺服电机驱动的注塑机，据该公司介绍，成型电脑底座，材料为 ABS，重量 118g，成型周期 48 秒，以普通电机驱动定量泵的隆亨 NC-220 II 注塑机能耗耗电 20kW/h 为基准，负载敏感泵驱动系统耗电 10kW/h 节能 50%，全电动驱动系统耗电 3.2kW/h 节能 84%，伺服电机驱动系统耗电 4kW/h 节能 80%。日精公司 2006 年在美国芝加哥展出了融合了伺服电动机驱动和变量泵的“X 泵”6 台注塑机，X 泵是新型 FNX Ecoject 的核心部件，X 泵能使其与全电式机器相媲美，X 泵有节能作用，因为伺服马达只在需要时才会运转液压泵，在不需要时，马达处于停止状态。日精的“X 泵”的 FNX 注塑机所使用的能源只是该公司标准注塑机的 30% 左右，FNX 注塑机少用 41% 的液压油。X 泵的速度和准确度都很高，甚至能够立刻变换方向。注塑升温速度 45 毫秒，与全电式机器相同。注塑速度可高达每秒 300 毫米，是该公司其他注塑机的一倍。

交流伺服电机的最高转速可达 4000r/min，从理论上讲，与之相配的液压泵的排量可根据最高转速选择，选用比一般系统中应用的更小排量的液压泵，降低系统中应用液压泵的成本。但目前一般液压泵的最高转速为 1800r/min，同时，考虑到液压泵的高速工作噪音及使用寿命，选用液压泵的工作转速低于 1800r/min、较大排量的液压泵与伺服电机组成动力驱动系统，所以还不能充分发挥交流伺服电机能高速运转的优良特性，提高了驱动系统的成本。高响应的交流伺服电机驱动定量泵系统在注塑机上的推广应用，有待于高速低噪音液压泵的研发，以降低制造成本。如单纯从节能角度来推广应用高响应的交流伺服电机驱动定量泵系统，由于成本太高，达不到效果。如把高响应的交流伺服电机驱动定量泵系统，应用于普通注塑机上，仅体现出节能效果，那肯定是败笔之作，只能当展品，不能成为商品。应把伺服电机高速灵敏反应的特性与精密注射成形结合起来，创新出一种新的高性能的注射成型，能对高端的塑料制品进行特定加工，才能使之应用越来越广。

## 节能动力驱动与注射成型

变频节能技术，应用于保压时间长的制品的注射成型，才显示出节能的特性，如应用于高速成型，由于其反应速度相对较慢，不但不能适应注射成型的要求，而且不能显示出节能特性。前些时候，变频技术兴起的时候，有的同行把变频技术作为注塑机上万能的节能技术来推广，实践证明，事不如意。微型精密注射，要求注射机构具备塑化及计量的精确位置，液压执行机构由于液压油介质刚性弱，并且易受温度、泄漏等干扰，难以达到精确的重复位置精度，所以再好的液压驱动技术也不能应用于微型精密注射成型，节能的全电子驱动及执行机构具备高刚性及精确重复位置精度，为微型精密注射成型的发展提供了更大的空间。

## 结语

根据注射成形要求开发节能动力驱动系统。高端的动力驱动系统匹配于高端的注塑机，达到高端的注射成形。纯碎的把高端的节能驱动系统当作节能技术来推广，是没有生命力的，没有市场的。那种在普通注塑机上配上高端的伺服节能驱动系统，是没有市场价值的，成不了商品。