

磁浮運輸科技之探討

李欣儒

國立臺灣師範大學 工業科技教育系

壹、前言

磁浮 (Magnetic Levitation, 簡稱 Maglev) 運輸科技, 是一種利用磁力相吸或相斥的原理, 使列車浮離地面, 並結合超導電磁鐵 (superconduction) 及線型馬達 (linear motor) 科技, 以增進行駛速度的超高速運輸系統。最適合以 400-500 公里/小時的超高速度行駛於相距約 160-483 公里 (100-300 英哩) 的城際之間 (Markham, 1999)。由於車身不與軌道接觸, 且為電力驅動, 所以提供高速、安全、平穩、舒適、無噪音及低污染的乘載環境。

本文旨在探討磁浮運輸科技的發展, 並分析磁浮列車行駛的原理及其優點與限制, 從而了解磁浮運輸科技的過去、現在與未來。

貳、磁浮運輸科技的發展

在 20 世紀的初期, 法國工程師 Emile Bachelet 曾經提出利用交流電產生相斥力量的磁力懸浮概念, 由於當時普通的電磁鐵無法提供足夠的電力驅動, 因此 Bachelet 的概念無法付諸實現。直到 1960 年代, 超導電磁鐵出現後, 排斥式 (repulsive-mode) 的磁浮運輸系統才開始發展 (Lever, 1998)。1920 年代, 德國的 Hermann Kemper 則倡導吸引式 (attractive-mode) 磁力懸浮概念, 經過近二十年的不斷研究, 遂在 1953 年的報告中提出吸引式磁浮車的基本設計。至今, 磁浮列車的懸浮方式仍以排斥式與吸引式為主。

世界各國磁浮運輸科技的發展, 以日本及德國投注最多心力, 也最有成就。因此, 以下將分別介紹日本及德國磁浮運輸科技的發展, 並探討美國在磁浮運輸科技發展過程中扮演的角色。

一、美國的磁浮運輸科技

美國在 1965 年通過地面高速運輸法案 (High Speed Ground Transportation Act of 1965), 以進行地面高速運輸系統的研究與發展。在聯邦政府撥款補助有關磁浮運輸科技的研究下, 美國在磁浮運輸推進系統「線型馬達」的研究曾一度領先世界各國。然而, 1975 年, 美國國會突然終止這項支助, 有關地面高速運輸系統的相關研究計畫, 在缺乏經費的情況下只好停止。從此, 美國失去領先發展磁浮運輸科技的機會。如今, 有關磁浮運輸科技的技術, 反倒要從日本及德國引進 (張有恆和張贊育, 民 74)。

二、日本的磁浮運輸科技

早在 1960 年代初期，日本對磁浮科技已有適度的接觸。至 1970 年，日本國鐵 (Japanese National Railway, JNR) 便開始研究利用超導電磁鐵，使車體以排斥方式懸浮推進的可能性。目前日本擁有兩種完全不同概念的磁浮車系，分別是高速路面運輸 (High Speed Surface Transportation, 簡稱 HSST) 發展股份公司的 HSST 車系，及鐵道綜合技術研究所 (Railway Technical Research Institute, RTRI) 的 ML, MLU, 及 MLX 車系。

(一)HSST 車系

日本航空爲了提供快速到達機場的運輸載具，遂在 1972 年開始發展 HSST 系列的吸引式磁浮運輸系統。1978 年，HSST 的一號車曾經在川崎的實驗軌道上率先創下時速 307.8 公里/小時的空車行駛紀錄 (牛頓雜誌，民 79)。1985 年日本航空成立「高速路面運輸 (HSST) 股份公司」，1993 年更名爲「高速路面運輸發展股份公司」，並有名古屋 (Nagoya) 鐵路公司的加入。有關 HSST 系列磁浮列車的歷史發展如表 2-1，造型如圖 2-1 及 2-2。

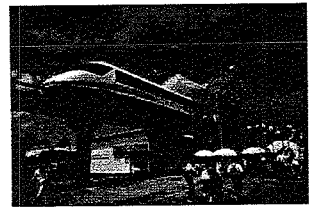


圖 2-1 HSST-03 實驗車



圖 2-2 HSST-06 實驗車

表 2-1 HSST 磁浮列車的發展

年	月	事	件
1972	6	日本航空開始發展 HSST 磁浮運輸系統，以提供快速抵達機場的途徑。	
1975	11	HSST-01 實驗車完成，可搭載 2 名乘客。	
1975	12	在 200 公尺長的軌道上成功測試懸浮與推進。	
1978	2	HSST-02 實驗車 (8 個座位) 進行測試及開放公开展示。	
1985	3	HSST-03 實驗車 (50 個座位) 在筑波科技博覽會進行列車行駛展示，從 3 至 9 月共搭載了 610,000 名乘客。	
1985	10	日本航空成立高速路面運輸 (HSST) 股份公司。	
1986	5	HSST-03 實驗車在溫哥華交通博覽會上進行列車行駛展示，從 5 至 10 月，共搭載 470,000 名乘客。	
1987	3	HSST-03 實驗車在川崎 (Okazaki) 資訊博覽會上進行列車行駛展示，從 3 至 5 月，共搭載 90,000 名乘客。	
1988	3	HSST-04 實驗車 (70 個座位) 在 Kumagaya 的博覽會上進行列車行駛展示，從 3 至 5 月，共搭載 240,000 名乘客。	
1988	4	HSST 獲得運輸部門發出的鐵路商業執照。	
1989	3	HSST-05 號車 (二節車箱，158 個座位) 在橫濱 (Yakohama) 開始進行商業營運，共搭載 1260,000 名乘客。	
1991	5	HSST-100 開始進行測試。有兩組人員負責評鑑 HSST 系統，一組評鑑使用普通電磁鐵的 HSST 列車，一組則評鑑使用超導電磁鐵的 HSST 列車。	

1993	1	成立 HSST 發展股份公司。
1993	4	運輸部門認同 HSST-100 的安全性與平穩性，並宣佈 HSST-100 沒有商業使用上的技術問題。
1993	5	愛知 (Aichi) 縣政府宣稱 HSST 作為城市內的運輸系統，並無商業上的實務問題。
1995	3	HSST 的商業營運成為合法。
1995	3	雙節車箱的 HSST-100L 完成。
1995	5	HSST-100L 開始進行行駛測試。
1995	6	HSST-100L 行駛於 Ofuna 及橫濱之間，長 5.3 公里。

資料來源：High Speed Surface Transport, 1996.

(二)ML, MLU, MLX 車系

日本鐵道綜合技術研究所在 1970 年即開始發展排斥式磁浮運輸系統。較早期的 ML (Magnetic Levitation) 系列磁浮車，如代號 ML-100 及 ML-500 實驗車 (其中 100 為慶祝日本鐵路 100 週年紀念，500 則象徵行駛速度朝 500 公里/小時的目標努力)，行駛時採用倒 T 型導軌。MLU 系列 (U 代表 U 型導軌) 的磁浮車是為了從事長距離的大眾運輸而設計，故將倒 T 型導軌改為 U 型導軌，使列車能裝配多節車箱，載運大量乘客，如代號 MLU001 及 MLU002 的實驗車。MLX 系列的磁浮車為最新型的實驗車，其中「X」代表實驗 (experimental)，如代號 MLX01 的實驗車。

在不斷努力下，1979 年，代號「ML-500」的實驗車於長 7 公里的宮崎實驗軌道上，締造時速 517 公里/小時的空車行駛記錄；1980 年，新型的「MLU001」實驗車也創下載人行駛時速 400.8 公里/小時的當時最高紀錄 (牛頓雜誌，民 79)。1997 年，代號「MLX01」的實驗車，在裝配三節車箱的情況下，最高時速達 531 公里/小時；1999 年，裝配五節車箱的 MLX01 實驗車已經創下時速 552 公里/小時的行駛速度。有關 ML, MLU 及 MLX 系列磁浮列車的發展如表 2-2，列車造型如圖 2-3 至 2-6。

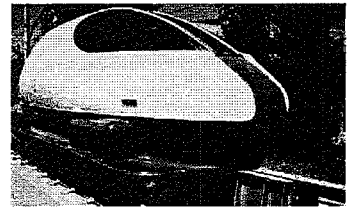


圖 2-3 ML-100 實驗車



圖 2-4 ML-500 實驗車

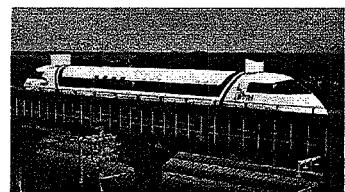


圖 2-5 MLU001 實驗車

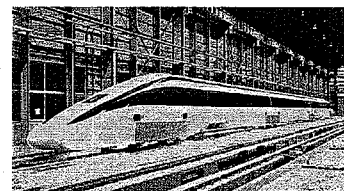


圖 2-6 MLX01 實驗車

表 2-2 ML, MLU 及 MLX 磁浮列車的發展

年	月	事	件
1962		開始進行線型馬達及無接觸行駛的研究。	
1970		開始研究使用超導電磁鐵的電動懸浮系統。	
1972		線型同步馬達 (LSM) 推進的磁浮實驗車測試成功。	
		線型感應馬達 (LIM) 推進的 ML100 實驗車成功懸浮。	
1975		採用超導電磁鐵及線型同步馬達 (LSM) 推進的 ML100A 磁浮車測試成功。	
1977	4	宮崎 (Miyazaki) 磁浮實驗中心成立。	
	5	ML-500 實驗車在宮崎磁浮實驗軌道 (倒 T 型導軌) 測試行駛。	
1979	1	模擬管道行駛實驗。	
	5	ML-500R 實驗車以冷卻液態氮測試行駛	
	12	ML-500R 實驗車創下時速 517 公里/小時的最高速度。	
1980	11	MLU001 實驗車在宮崎磁浮實驗軌道 (U 型導軌) 測試行駛。	
1981	11	雙節磁浮實驗車開始測試行駛。	
1982	9	載人行駛的雙節磁浮實驗車開始進行測試。	
1986	12	三節磁浮實驗車時速達到 352.4 公里/小時。	
1987	1	載人行駛的雙節磁浮實驗車時速達到 405.3 公里/小時。	
1987	2	載人行駛的雙節磁浮車時速達到 400.8 公里/小時。	
	5	MLU002 實驗車開始測試行駛。	
1989	3	MLU001 實驗車進行氣體動力學煞車系統測試。	
1989	11	MLU002 實驗車時速達到 394 公里/小時。	
1990	11	開始建造著名的山梨 (Yamanashi) 磁浮實驗路線。	
1991	1	側邊 (sideway) 懸浮系統開始測試行駛。	
	10	MLU002 實驗車在一場意外火災中燒毀。	
1993	1	MLU002N 實驗車開始行駛測試。	
1994	2	MLU002N 實驗車時速達到 431 公里/小時。	
1995	2	MLU002N 實驗車在人員駕駛情況下, 時速達到 411 公里/小時。	
1996	7	山梨磁浮實驗中心成立。	
1997	4	MLX01 實驗車開始在山梨線進行測試行駛。	
	12	MLX01 實驗車載人行駛速度達 531 公里/小時。	
		MLX01 實驗車空車行駛速度達 550 公里/小時。	
1998	12	磁浮實驗車相對行駛速度達 996 公里/小時。	
1999	3	MLX01 實驗車裝配五節車箱, 載人行駛速度達 548 公里/小時。	
	4	MLX01 實驗車裝配五節車箱, 空車行駛速度達 552 公里/小時。	
	11	山梨 MLX01 實驗車相對行駛速度創世界新高, 達 1003 公里/小時。	

資料來源：Overview of Maglev R&D, 1999.

三、德國的磁浮運輸科技

1970 年代，幾乎與日本同一時期，西德也開始研究及證實磁浮的概念。目前，德國磁浮運輸科技以「捷運國際 (Trans Rapid International, TRI) 公司」所發展與製造的「TR (Transrapid)」車系最廣為人知。TR 車系是吸引式的磁浮運輸系統 (圖 2-7)，實驗車從 Transrapid-05、06 到 1989 年製造的 Transrapid-07。

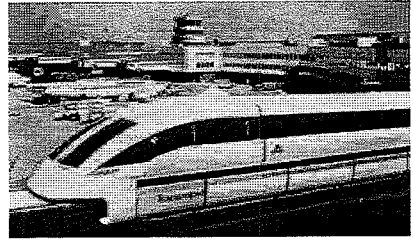


圖 2-7 TR 系列實驗車

Transrapid-07 實驗車已在艾姆斯蘭德 (Emsland) 實驗軌道上測試與實驗多年，是目前世界上唯一一個適合商業營運的磁浮運輸系統 (Lever, 1998)。

Transrapid-05 實驗車是為了 1979 年在漢堡舉行的萬國交通博覽會而製造的，成為世界公認的第一列於公共場所載客行駛的磁浮列車 (牛頓雜誌，民 78)。列車共有 68 個座位，行駛速度達 75 公里/小時，在展示期間共搭載 50,000 名乘客。

Transrapid-06 實驗車於 1984 年製造完成，同年 8 月，在全長 20.6 公里的艾姆斯蘭德磁浮實驗軌道上進行測試，創下時速 302 公里/小時的行駛速度。1987 年艾姆斯蘭德實驗軌道延長為 31.5 公里，Transrapid-06 實驗車遂在 1988 年 1 月創下時速 412.6 公里/小時的當時世界紀錄。列車可搭載 192 名乘客。

Transrapid-07 實驗車於 1989 年製造，運用電磁鐵作為推進系統，在 1993 年 1 月達到 450 公里/小時的行駛速度，列車可搭載 164 名乘客。Transrapid-07 實驗車在 31.5 公里長的艾姆斯蘭德實驗軌道上已測試多年，這些測試包括在各種氣候下的載客行駛速度、列車的維修及營運程序的商業化測試等。

參、磁浮列車行駛的原理

根據物理的特性，車輪式列車必須藉車輪與鋼軌間的摩擦力，才能在軌道上行駛。由於車速愈高，滾動摩擦力愈小，列車會失去牽引力；另一方面，車速愈高，列車的行駛阻力也愈大，致使車輪式列車的最高行駛速度受到限制，其理論值為 375 公里/小時 (如圖 3-1 所示)。因此，要使列車的行駛速度超過此一理論值，勢必要放棄使用車輪，而使列車不與地面接觸，唯有如此，列車速度才能不受摩擦力的限制。「磁浮」就是不使用車輪而能支撐列車的方式之一。事實證明，磁力懸浮的方式確實大幅提高了列車的行駛速度，且不易造成噪音或空氣污染。

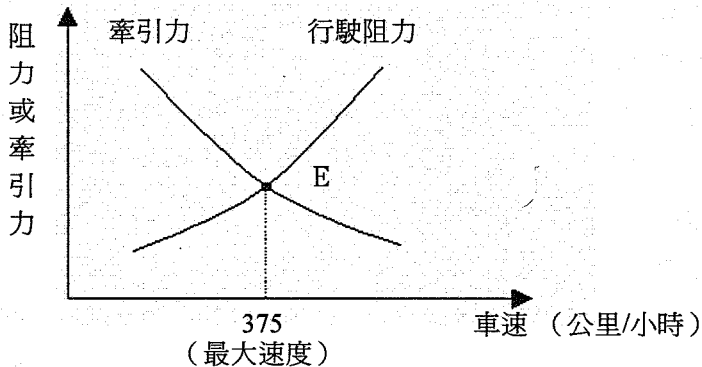


圖 3-1 車輪式列車最高限速理論值

磁浮列車是利用磁力相吸或相斥的原理，讓列車浮離地面約 1 至 15 公分，同時使用線型馬達作為推進系統，使列車往前高速行駛。維持磁浮列車超高速行駛所不可或缺的三大要素為：（1）超導電磁鐵；（2）懸浮系統；及（3）推進系統，以下分別說明之。

一、超導電磁鐵（superconduction）

電磁鐵只有在通電時才能產生磁性，列車在高速的情況下，集電相當困難，因此，普通的電磁鐵只能適用於行駛速度較慢（約 300 公里/小時左右）的磁浮列車。速度高達 500 公里/小時以上的磁浮列車則必須使用超導電磁鐵（張有恆和張贊育，民 74）。

所謂「超導電磁鐵」就是利用鈮鈦合金所製成的線圈（鈮鈦金屬在絕對溫度 -273°C 下，電阻為零），冷卻至絕對溫度（浸在液態氮中，因氮的液化溫度為 -270°C ，非常接近絕對溫度），再通以強大的電流，使其成為強力的電磁鐵。由於這種電磁鐵的線圈沒有電阻，因此，電流不會有任何損失，通一次電就永遠具有磁性，故稱為「超導電磁鐵」。使用超導電磁鐵的磁浮列車，通電後即具有強大的磁性，而且不用再集電，所以能讓列車進行時速 500 公里/小時以上的超高速行駛。

二、懸浮系統

磁浮列車最大的特徵是車身懸浮在軌道上頭，不與車軌接觸。目前磁浮列車採用的懸浮系統有兩種，一為排斥式的電動懸浮系統；一為吸引式的電磁懸浮系統。

（一）電動懸浮系統（electrodynamic suspension）

排斥式磁浮列車採用電動懸浮系統。電動懸浮系統是利用同性磁場間的排斥力，作為列車的支撐與導引。由於列車上裝有超導電磁鐵，當列車經由外力先動通過導軌時，超導電磁鐵產生的磁場也會跟著移動，使地面的線圈產生感應電流，電流再生磁場。此二種磁

場的方向相同，所以列車與軌道會產生排斥力，列車因而懸浮起來（如圖 3-2），然後利用線型馬達推進。因兩磁場作用力相平衡，所以列車可維持一定的懸浮高度，約 10-15 公分。由於感應相斥的磁浮現象不會在靜止時存在，列車必須先動，才能產生感應電流與磁場，因此，列車裝配有車輪，用於「起飛」與「降落」之用，實際上在時速 60 公里/小時左右，車輪仍和地面接觸，再加速時，車體才會逐漸浮起（何建民，民 85）。日本鐵道綜合技術研究所發展的 ML，MLU 及 MLX 磁浮車系即是採用此種懸浮系統。

電動懸浮系統的優點為，列車能浮離地面約 10 至 15 公分的高度，所以在地震發生時，可以提供一段緩衝的距離，避免列車因地震而猝然撞擊路面造成災難。缺點則包括：(1) 列車平穩度較電磁懸浮系統差，必須在列車底部加裝避震器來改善。(2) 超導電磁鐵產生的巨大磁場會對旅客造成影響，鐘錶、音響等電子儀器也會遭受干擾。(3) 強力磁場產生的電流及外界傳入的熱量，都容易使液態氦溫度上升而蒸發，所以必須在列車上加裝氮氣冷凍機，才能使線圈產生超導作用（牛頓雜誌，民 79）。

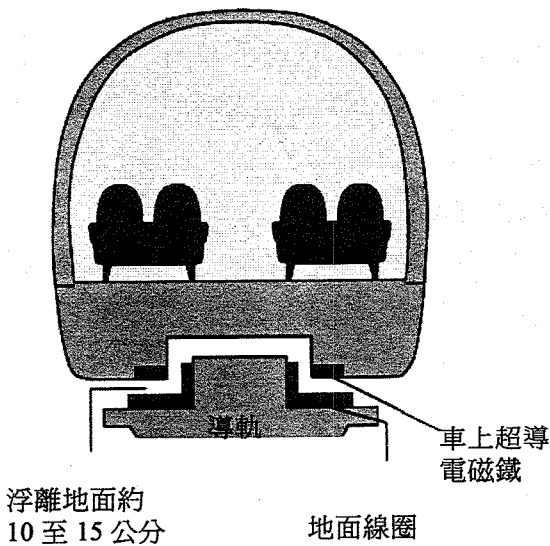


圖 3-2 電動懸浮系統

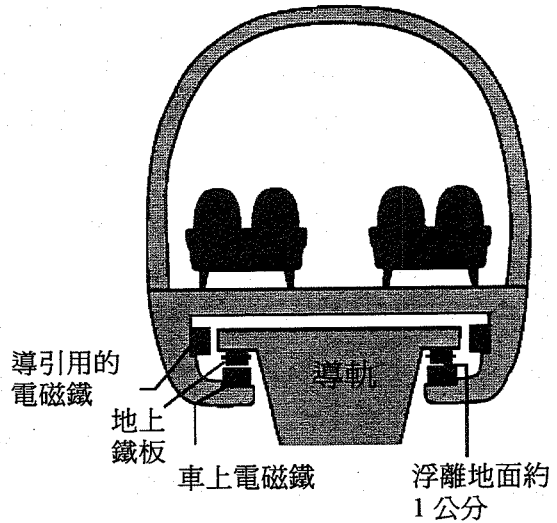


圖 3-3 電磁懸浮系統

(資料來源：How Maglev Vehicles Float.)

(二) 電磁懸浮系統 (electromagnetic suspension)

吸引式磁浮列車採用電磁懸浮系統。電磁懸浮系統是利用異性磁場間的吸引力，作為

列車的支撐與導引。列車的車體底部，大都具有截面呈 C 字形的構造環覆住導軌，詳細如圖 3-3 所示。當通電時，電磁鐵產生的磁場吸引力，會將列車向上吸引，而列車又因重力而下沉，當車身的重力與磁鐵的吸引力保持平衡時，列車剛好浮離軌道一間隙 (gap)，約 1 公分。此間隙的大小會隨磁力的強弱而發生變化，故列車是處於極不穩定的狀態。

由於列車與地面的間隙約只有 1 公分，所以，必須加裝間隙感測器，以隨時調整磁力，控制間隙。而電流的大小也經由間隙探測器反饋控制，控制系統 (圖 3-4) 也包括利用線型馬達作無接觸的推進，透過其功能調節器，不但控制產生推進力的線圈電流大小和頻率，同時和車體線圈同步激發的車道線圈電流有效區域僅限於當車體經過的一段，亦即整個車道分段，每段只有 0.5 到 5 公里的長度，可以減少電能消耗，也間接維持車次間的距離，增加行車安全 (何建民，民 85)。電磁懸浮系統仍非十分穩定，因為間隙越小時，吸引力越大，任何一段導軌些微凸起，都有可能導致磁鐵完全吸附住鋼軌，使列車動彈不得，因此，導軌必須建造得非常平坦，且精密控制。這對目前短距離的實驗軌道而言，雖然不是問題，但對於日後必須翻山越嶺而行的實用化幹線而言，卻是相當困難 (牛頓雜誌，民 79)。

電磁懸浮列車的特色則在，一開始 (速度為零) 時列車即浮離地面，故不需裝設車輪 (張有恆和張贊育，民 74)。日本路面高速運輸系統的 HSST 磁浮車系及德國捷運國際公司的 TR 磁浮車系皆採用此種懸浮方式。

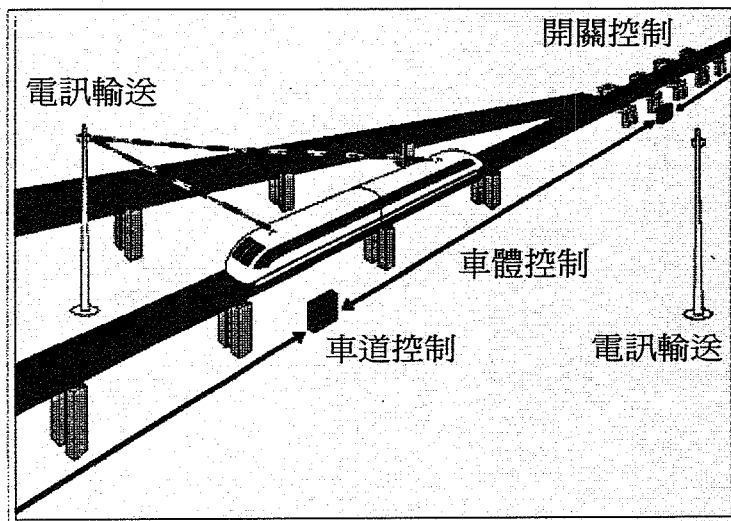


圖 3-4 電磁懸浮控制系統

三、推進系統

磁浮列車的推動力量來自線型馬達，馬達是一種將動能轉換為機械能的機器。如果機械能是以旋轉運動的方式輸出，這種馬達即為圓型馬達；若是以直線運動的方式輸出，則稱線型馬達（牛頓雜誌，民 79）。換言之，線型馬達是將普通馬達沿軸線切開後，予以展開，使主線圈與場線圈平行地排列，兩者間的運動也由旋轉運動變為直線運動，如圖 3-5 所示。在磁浮系統中，主線圈既可安裝在列車上，也可以裝置在導軌上。當電流流經地面的線圈時，會產生一個磁場（南北極），於是列車一方面受到地表上的線圈和超導磁力的異極所產生的吸力，另一方面則有同極所產生的排斥力動作，藉由前吸後推的動作，使列車向前推進，如圖 3-6。

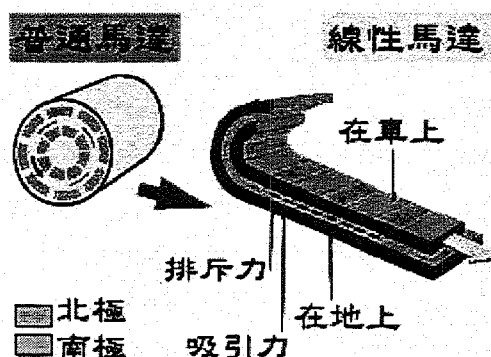


圖 3-5 普通馬達與線型馬達

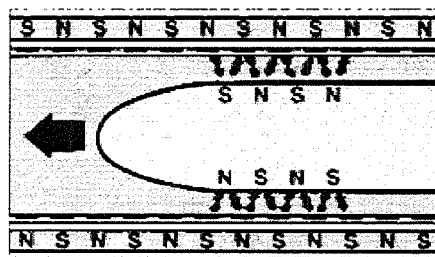


圖 3-6 磁力前吸後推的動作

資料來源：<http://140.127.117.212/nuang/stephen/page/newpage3.ntm>

目前運用於磁浮列車的線型馬達有兩種型式，一種是同步馬達場線圈置於列車上的「線型同步馬達（linear synchronous motor, LSM）」，如日本的 MLU 車系、德國的 TR 車系等。一種是感應馬達場線圈置於導軌上的「線型感應馬達（linear induction motor, LIM）」，如日本的 HSST 車系即屬此型式。由於受到馬達轉速的限制，感應馬達的推動效率明顯較同步馬達低，這也正是日本 MLU 車系及德國的 TR 車系行駛速度較日本的 HSST 車系快出許多的原因。

肆、磁浮運輸科技的優點與限制

磁浮運輸科技在列車不與軌道接觸的特色下，具有許多優點。雖然如此，然而卻未見磁浮運輸科技被廣泛使用，究其原因，主要是磁浮運輸尚有許多的限制有待解決，茲將磁

浮運輸科技的優點與限制分述如下：

一、磁浮運輸科技的優點

- (一)速度快、安全性高：高速行駛是磁浮車特有的優點，由於沒有碰觸導軌，因此其速度可高達 500 公里/小時。這樣的速度並不是技術上有所限制，而是作經濟上的考量。
- (二)能源效率高：根據計算結果，磁浮列車每一旅客公里所消耗的能量為飛機的 1/4，可減少對能源的依賴。
- (三)維修成本低：由於列車不與軌道接觸，所以不會有磨損，不需考慮鋼軌的抽換及車輪的更新，因此維修成本較低。
- (四)公害少：列車的車身及軌道的設計，很少有旋轉或滑動的部分，因此，列車在行駛時平穩而安靜，又因為電力驅動，故無噪音、震動及空氣污染之虞。

二、磁浮運輸科技的限制

- (一)造價太昂貴：由於磁浮列車必須懸浮在軌道上行駛，所以列車與軌道都必須事先經過嚴密的設計與控制，這使得磁浮運輸系統建造成本過於高昂。且冷卻用的液態氦價格昂貴，必須回收使用，在列車上裝設回收裝置，反而又增加投資成本。
- (二)相關技術有待克服：有關空氣阻力、轉輒問題，及液態氦避免氣化的隔熱設備與超導電線圈的強化問題等，仍有待解決。
- (三)強烈磁場造成的傷害：超導電磁鐵產生的強烈磁場，可能對旅客造成的影響，為不可忽視的問題。
- (四)磁場易受外界干擾：由超導電磁鐵產生的強大磁場會受外界其它磁力的干擾，而降低效力。
- (五)最高速度的限制：由於磁浮列車與導軌並不接觸，所以其行進阻力主要來自風阻。而這種阻力會隨著速度的平方而增加，當列車的行駛速度每小時超過 500 公里以上時，推進效率會因此而大幅遞減（牛頓雜誌，民 79）。列車若要進行更高速度的行駛反而需耗費更多的能量，不符合成本效益。

伍、結語

發展快速、便捷、安全、舒適、無噪音、低耗能及零污染的交通運輸載具，一直是人類追求的梦想。一般而言，所有運輸工具中，以飛機的速度最快，但飛機搭乘的方便性及使用程度較低，且機票價位高，所以較少為短途旅客或一般人採用（張有恆和張贊育，民 74）。因此，世界各國都積極進行地面列車高速化的研究，以聯絡城際間的運輸，例如有名的法國高速列車 TGV、英國高速列車 HST、德國的高速鐵路 ICE，及日本新幹線高速列車等。

然而，高速列車受到傳統鐵路「在高速下、車輛會失去牽引力」，亦即在高速時，列車阻力會大於牽引力，終無法突破地面運輸最高速度 375 公里/小時的瓶頸。在不斷研究下，終於發現不與軌道接觸的磁浮列車，可衝破此限制進行超高速行駛，因此，許多國家紛紛投入研究，其中以德日兩國最有成果。

然而在德日兩國積極發展磁浮運輸科技時，法國的 TGV A 鋼軌鋼輪超高速列車，卻於一九九〇年五月以 515.3 公里/小時的速度，突破以往被認為很難超越的 375 公里/小時鋼軌列車時速界線（張志榮，民 83），也因而引起了是否需要以極高成本，研究與發展新一代磁浮列車的質疑？雖然如此，磁浮運輸系統擁有的高速度、低公害、安全舒適及節省能源等特性，仍然相當吸引人，因此，在未來運輸系統追求高速化發展及超導體有更進一步的研究下，磁浮運輸科技應能突破目前一些技術瓶頸，而成爲未來城際高速大眾運輸的主要載具之一。

參考資料

1. 明日科技 3--磁浮列車（民 79），牛頓雜誌，86 期，頁 14-19。
2. 何建民（民 85），低溫、超導、磁浮。台北：台灣書店。
3. 張志榮（民 83），都市捷運發展與應用。台北：胡氏圖書出版社。
4. 張有恆、張贊育（民 74），磁浮運輸系統技術之探討。運輸計劃季刊，14（4），頁 531-546。
5. HSST 實現理想都市機能配置的構想（民 78），牛頓雜誌，80 期，頁 30-35。
6. 磁浮列車—21 世紀交通運輸新主流。見 <http://140.127.117.212/nuang/stephen/page/newpage3.ntm>
7. High Speed Surface Transport. 見 <http://faculty.washington.edu/~jbs/itrans/hsst.htm>
8. How maglev Vehicles Float. 見 <http://web.yuntech.edu.tw/~wangyj/PQ/HST/21.htm>
9. Lever, J.H. (1998). Technical Reports Mobility / Trafficability / Transport Technical Assessment of Maglev System Concepts: Final Report by the Government Maglev System Assessment team. 見 http://www.crrel.usace.army.mil/techpub/CRREL_Reports_web/html_files/SR98_12.html
10. Markham, G. (1999). Critical Transportation Issues and Opportunities: The Case for High Speed Ground Transportation Systems By Gregory, P.E. Mechanical Engineer. 見 <http://www.hsgt.org/link.htm>
11. Overview of Maglev R&D. 見 http://www.rtri.or.jp/rd/maglev/html/english/maglev_introduction_E.html