

出國報告（出國類別：考察）

鐵路臨時軌道床內鋪設熱拌瀝青混
凝土及路堤段銜接高架橋端（末）處
鋪設熱拌瀝青混凝土之工法

服務機關：交通部鐵路改建工程局南部工程處

姓名職稱：簡派正工程司兼段長 夏恒仁

副工程司 王淳玄

派赴國家：英國

出國期間：99年11月9日~99年11月17日

報告日期：100年2月11日

摘要：

有鑒於本局辦理「臺鐵捷運化－高雄市區鐵路地下化計畫」（下稱「高雄計畫」）、「高雄鐵路地下化延伸左營計畫」（下稱「左營計畫」）、「高雄鐵路地下化延伸鳳山計畫」（下稱「鳳山計畫」）均屬地下化鐵路改建工程，為維持臺鐵營運不中斷，需於現有軌旁施設臨時軌，並將現有軌切換至臨時軌後，拆除現有軌進行地下化開挖施工；而因施工需要所鋪設之臨時軌約使用 7 年(99 年~106 年)，考量高雄計畫施工位置均緊鄰民房，為降低列車行駛臨時軌衍生震動及噪音，目前美國、歐洲及日本有於軌道道床內鋪設熱拌瀝青混凝土，以減少震動、噪音及維護成本(為預防雨水滲入道床而產生噴凝致沉陷)，其設計施工方式及成效值得本局各計畫借鏡及探討。

另外，本局辦理之「臺鐵高雄－屏東潮州捷運化建設計畫」（下稱「潮州計畫」）規劃路線大多採高架化設計，惟屏東市區段之廣東南路高架橋、麟洛~西勢間之隘寮溪、西勢~竹田間國道三號及竹田~潮州間省道 88 各約有 200m 之路堤段，目前國外亦有於路堤段銜接橋端(末) 處鋪設熱拌瀝青混凝土以避免沉陷以減少維護成本，並且具有減少震動、噪音之效果，值得高架化鐵路之借鏡及探討。

本報告將就本次出國考察之目的及內容詳為說明，並提出心得與建議。

目 次

一、目的	1
二、過程	7
2.1 行程概要	7
2.2 參訪過程說明	8
2.2.1 軌道之道床型式	9
2.2.2 HMA 使用於鐵路工程的源起	12
2.2.3 HMA 應用於道床墊層或全鋪層	13
2.2.4 HMA 軌道床的優點	13
2.2.5 HMA 軌道床之設計及施工	14
2.2.6 修復軌道之道床	18
三、心得與建議	19

圖 目 錄

圖 1	高雄計畫、左營計畫、鳳山計畫範圍示意圖	1
圖 2	中華路段臨時軌	2
圖 3	愛河段臨時軌	2
圖 4	大順路段臨時軌	3
圖 5	潮州計畫路線圖	4
圖 6	潮州計畫縱坡示意圖	4
圖 7	英國的鐵路路網示意圖	6
圖 8	英商 Mott MacDonald 公司簡報情形 1	8
圖 9	英商 Mott MacDonald 公司簡報情形 2	8
圖 10	拜會 Dar al-handasah 公司及交換意見	9
圖 11	鋪設碎石道碴層與瀝青混凝土墊層剖面示意圖	10
圖 12	HMA 鋪設於全道床結構剖面示意圖	11
圖 13	高雄捷運系統減振型無道碴軌道橫剖面示意圖	11
圖 14	台灣高速鐵路無道碴軌道橫剖面示意圖	11
圖 15	台北捷運系統採用之浮動式道床軌道剖面示意圖	12
圖 16	台鐵隧道平版式無道碴軌道橫剖面示意圖	12
圖 17	隧道內鋪設全斷面 HMA -1	17
圖 18	隧道內鋪設全斷面 HMA -2	17
圖 19	對現有營運線之 HMA 墊層鑽心取樣	18

表 目 錄

表 1	考察行程表.....	7
表 2	軌道床鋪設 HMA 級配粒料配比.....	15
表 3	軌道床 HMA 配比設計標準.....	15

一、目的：

本局辦理之「左營計畫」、「高雄計畫」、「鳳山計畫」工程範圍起於高雄市臺鐵新左營車站以南（台鐵里程 UK400+040）至鳳山車站以南大智陸橋附近（台鐵里程 UK410+257），詳如圖 1。工程設置台鐵單孔雙軌隧道一座長約 16.75 公里（含引道段），並設置 8 處台鐵捷運化通勤車站[包含 7 座地下車站（內惟站、美術館站、鼓山站、三塊厝站、民族站、大順站、正義/澄清站）] 及原有之高雄車站及鳳山車站地下化。高雄計畫（含延伸左營及鳳山）整體工程需在維持臺灣鐵路管理局（下稱「鐵路局」）正常營運下完成鐵路地下化工程。為了配合隧道施工，須將現有鐵路局營運軌道切換至臨時軌運行，以維持其正常營運；然而由圖 1~圖 4 可見從鼓山站到經武路間，兩側民房稠密且緊鄰鐵路兩側，施工空間狹隘，大大增加了施工的困難性。另臨時軌完成後緊臨民房，列車行駛臨時軌衍生震動及噪音勢必增大，如何降低影響，成為鐵路下地通車前必須面臨的課題。



圖 1：高雄計畫、左營計畫、鳳山計畫範圍示意圖



圖 2 中華路段臨時軌



圖 3 愛河段臨時軌



圖 4 大順路段臨時軌

另本局辦理之「潮州計畫」大多採高架化設計(詳如圖 5)，惟屏東市區段之廣東南路高架橋、麟洛~西勢間之隘寮溪、西勢~竹田間國道三號及竹田~潮州間省道 88 各約有 200m 之路堤段(詳如圖 6)，在路堤與橋樑銜接處(即進橋版)由於橋台結構與路堤之物理性質不同，易產生差異沉陷，列車通過時易產生較大之震動與噪音，而需經常進行維護，如何避免差異沉陷，降低維護成本，亦為橋梁軌道工程之一大課題。



圖 5 潮州計畫路線圖



圖 6 潮州計畫縱坡示意圖

目前臺鐵軌道系統大多數為道碴軌道，於道床鋪設典型的碎石，在逐年有損耗情況下，須定期補碴，而且降雨及排水條件使基層碎石級配及路基含水量變化，不利於軌道床之支撐作用，因此，必須尋找補強材料，可防止基層的游離水滲透並減少溼氣波動之影響。

由於無道碴軌道之結構型式主要是以鋼筋混凝土結構為主軸，即以混凝土代替枕木及道碴之承載功能、道碴之縱向及橫向束制功能，具有軌道省力化、整體結構強、穩定性佳、維修養護兼成本少及低污染…等優點，已成為世界各國軌道工程發展的趨勢。

然無道碴軌道雖具有上述優點，但由於混凝土道床於列車經過時，產生的振動及噪音較行駛於道碴道床軌道為大，為了減少振動及降低噪音，必須調整扣夾系統的勁度成效及彈性材隔開軌道系統；若因扣夾系統的勁度不足或彈性材老化及疲乏，勢必使軌道幾何線形產生變化，危及列車行駛安全，須例行檢視、保養或更換等維修作業，增加維修費用。

爰此，歐、美、日各國皆有於軌道床系統中鋪設熱拌瀝青混凝土(Hot Mix Asphalt, HMA)做為強化軌道支撐層及不透水排水層功能，以HMA 墊層取代部份碎石級配道碴以一致提供承載層，可解決該碎石粒料在長期運轉狀態所需維修費用，進而減少要求列車慢駛的機率、降低營運干擾，HMA 不僅提供穩固弱層的支撐及承載的均勻分布，亦具有結構的穩定性、耐久性及不易老化，更能幫助減少振動及降低噪音。

擁有綿密鐵路路網的英國(詳圖 7)，從 1960 年開始研究無道碴軌道，1966 年起開始試鋪各種型式的無道碴軌道，為瞭解英國鐵路對於瀝青混凝土軌道床應用實績之情形，遂安排此次參訪，以吸收新知，作為本局鐵路改建工程軌道工法與材料應用之參考。

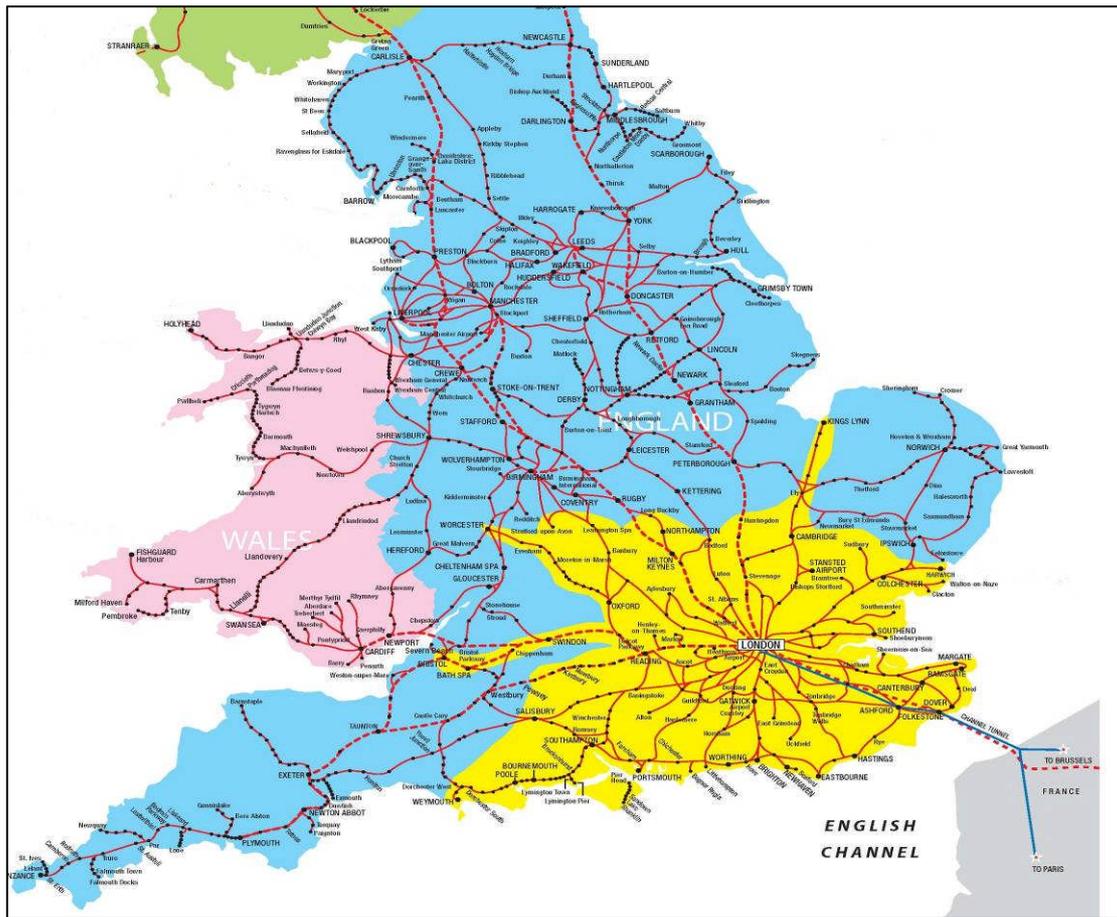


圖 7 英國的鐵路路網示意圖

二、過程

2.1 行程概要

本次考察主要係在於瞭解英國鐵路系統中，有關軌道床對於減震與降噪工法與材料之研究與應用情形，以作為「高雄計畫」(含延伸左營與鳳山)及「潮州計畫」施工採用之參考，以提升施工品質與改善鄰近臨時軌居民生活品質。

本次考察行程共九天，第一天與最後兩天為去程與返程，中間六天為參訪拜會行程，行程內容如下表。

表 1 考察行程表

日期	地點	紀要事項
99.11.09 (星期二)	桃園/倫敦	桃園中正國際機場-倫敦希斯洛機場
99.11.10 (星期三)	倫敦	考察英國國鐵 Central London-Sutton 線(往貝丁頓)
99.11.11 (星期四)	倫敦	至英裔 Mott MacDonald 公司聽取簡報及交換意見
99.11.12 (星期五)	倫敦	1. 至英裔 Mott MacDonald 公司聽取簡報及交換意見 2. 考察英國倫敦達爾文中心(Darwin Centre) 3. 拜會 Dar al-handasah 公司及交換意見
99.11.13 (星期六)	倫敦	參訪倫敦交通博物館
99.11.14 (星期日)	倫敦	參訪國鐵東倫敦線
99.11.15 (星期一)	倫敦/曼徹斯特	參訪英國國鐵曼徹斯特線
99.11.16 (星期二)	倫敦	倫敦希斯洛機場-回程
99.11.17 (星期三)	桃園	回程-桃園中正機場

2.2 參訪過程說明

由於參訪期間，英國鐵路各路線並無瀝青混凝土軌道床正在施工，故無法至工地參觀施工情形，僅由英商莫特麥當勞公司簡報介紹瀝青混凝土軌道床在英國鐵路應用之情形，實為本行遺珠之憾。



圖 8 英商 Mott MacDonald 公司簡報情形 1



圖 9 英商 Mott MacDonald 公司簡報情形 2



圖 10 拜會 Dar al-handasah 公司及交換意見

早在 1960 年美國瀝青協會已引用 HMA 在鐵路道床，大多引用在提供高承載荷重的貨運鐵路及路基或路床需要再重建強度、橋端和橋末通道、穿越方塊型交叉路口、平交道及車輛避讓處。在歐洲義大利、德國及日本方面亦相繼引用 HMA 在高速鐵路的道床。目前國內在高雄左營機九路基工程道床頂部鋪設 5 公分 HMA 做為防止降雨及排水滲入道床及路基，成效頗受肯定，惟 HMA 使用於軌道之道床結構案例仍甚少，實值得探究。

2.2.1 軌道之道床型式

一般列車行駛於軌道上，以何種軌道工程較能有高品質軌道結構俾使維修費用降至最低，故取決於軌道之道床型式，目前道碴軌道及無道碴軌道之道床型式包含：

1. 道碴軌道道床

大多數鐵軌系統於道床鋪設典型的碎石，如圖 11 上圖所示，逐年

偶有損耗舊有碎石砂混合料情況下，定期在軌枕下增鋪碎石，軌道床厚度視碎石道碴材料品質來進行修正。

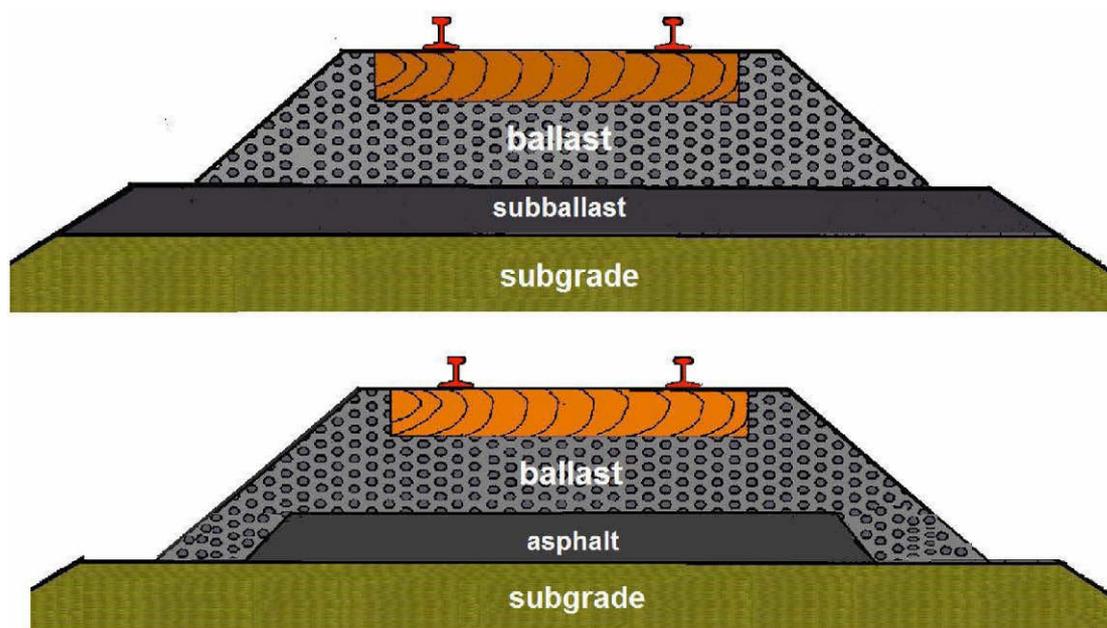


圖 11 鋪設碎石道碴層與瀝青混凝土墊層剖面示意圖

應用HMA鋪設於道床墊層結構以取代下方碎石粒料，如圖11下圖所示，是為不受降雨及排水條件使碎石級配及路基含水量產生變化而有不一致的沉陷，除此之外；HMA亦防止基層的游離水滲透並減少溼氣波動之影響。

更廣泛地應用 HMA 鋪設於全道床結構，如圖 12 所示，除上述優點外，在估計同一營運承載下，充分提供承載層使道床的厚度比鋪設碎石道碴還要少，而且軌枕直接安裝在 HMA 層，無須鋪任何碎石道碴。

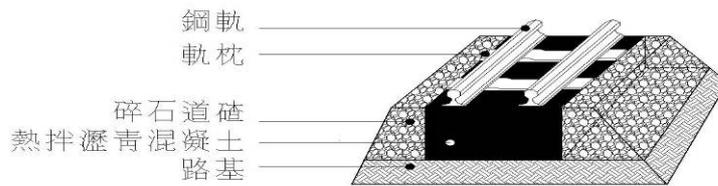


圖 12 HMA 鋪設於全道床結構剖面示意圖

2.無道碴軌道直結式道床

(1)混凝土枕埋置式

此種是將預鑄的混凝土枕(版)埋在混凝土道床內，如圖 13 及圖 14 所示，皆以混凝土道床取代道碴軌床，構築成一體，以彈性基鈹、隔間材或螺旋鋼圈等構件，連結於混凝土道床，由於混凝土道床較道碴道床堅固及結實，列車經過時，產生的振動及噪音較行駛於道碴道床軌道為大，須設置彈性基鈹及隔間材或螺旋鋼圈以減少振動及降低噪音系統。

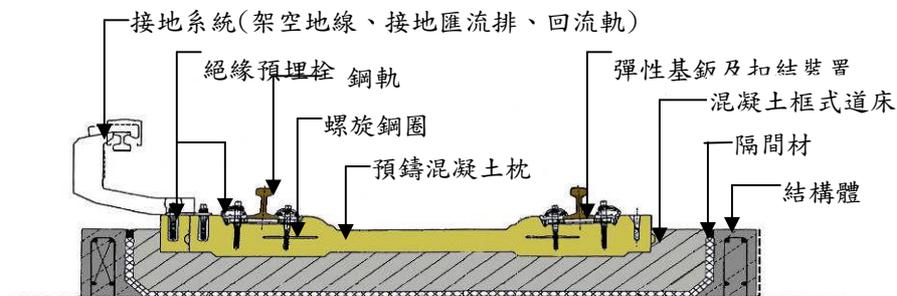


圖 13 高雄捷運系統減振型無道碴軌道橫剖面示意圖

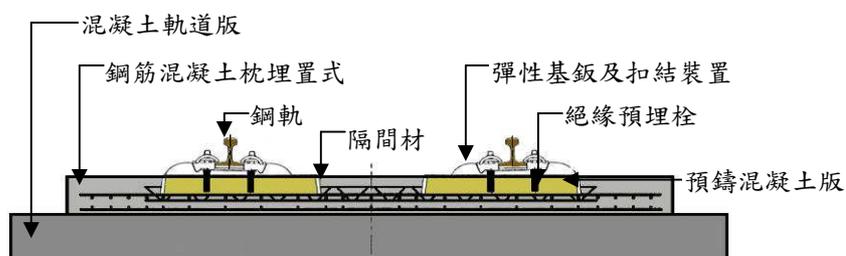


圖 14 台灣高速鐵路無道碴軌道橫剖面示意圖

(2)非混凝土枕埋置式

此種是不將預鑄的混凝土枕木埋在混凝土道床內，如圖 15 所示，以浮動式道床、彈性材隔開、防振墊板、鋼軌及在彈性基鈔底部灌注不收縮混凝土等為構件，連結於連續性混凝土基座，另圖 16 所示，以平版式混凝土軌道版、鋼軌、墊鈔、彈性基鈔及扣結裝置做連結構件，其中彈性材、防振墊板及彈性基鈔的設置為減少振動及降低噪音功能。

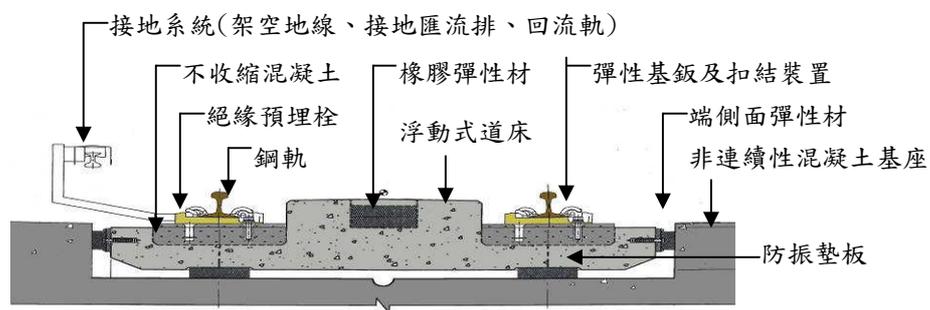


圖 15 台北捷運系統採用之浮動式道床軌道剖面示意圖

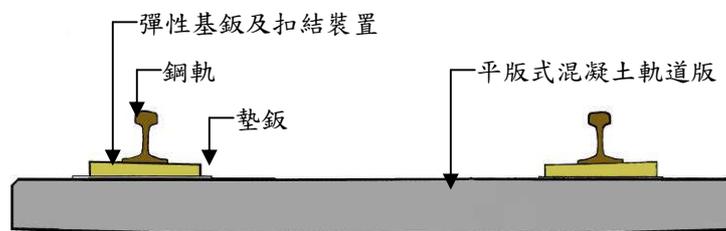


圖 16 台鐵隧道平版式無道碴軌道橫剖面示意圖

2.2.2 HMA使用於鐵路工程的源起

在過去20年為了軌道營運幾何線形，需要頻繁的維修軌道，每年在建造、維持高速度及噸數的軌道結構維修費用必需花費8億元，以繼續增加貨運及旅客運載的高品質。經過實際了解熱拌瀝青混凝土(HMA)可以提供軌道結構的效益，從1980年代初期起，開始使用HMA來取代常見的碎石道碴，回顧以往的廿年間已有施作了一千多個

HMA底層經驗，顯示使用HMA加速了長期性能及經濟核算較優的一面，對HMA而言，每個月所節省的維修保養費用十分可觀，每年的投資收益更可實現百分之300%。

2.2.3 HMA應用於道床墊層或全鋪層

近幾年來，HMA 獲得承認使用在多數軌道的大型新建結構計畫，用來解決使用傳統碎石道碴所產生的土工技術問題，或者做為軌道床長期效能及軌道構件生命週期的一種手段。HMA 在一般理想的道床構造是鋪於墊層或全鋪層，墊層適用於直接鋪置於路基或再建的舊道床。在全鋪層方面，全部取代碎石道碴使軌枕直接置放在 HMA 層上。

HMA 在道床的 2 種設計厚度，視交通營運及路基支撐類別而有不同設計，墊層部分在路基支撐為非常好等級；最經濟至少 75mm，至於全鋪層部分最大以 457mm 為限；若路基支撐為非常好及好等級，則不必考慮使用全鋪層而是鋪築適度的 HMA 厚度做為墊層。

2.2.4 HMA軌道床的優點

由於HMA墊層提供特定工址的好處，透過過去超過廿年間的試驗與報告，將所得到的理想特性運用於軌道系統，使能達到最大的營運效率，功能包含如下：

(1)做為道碴下層的強化軌道支撐層，將力均勻傳遞至道床或基層。

(2)做為排水層並限制下鋪的道床，即使在臨界品質的道床也能提供軌道結構一致的載重傳遞能力。

(3)做為不透水層，將水分轉向排至邊溝使消除道床或路基的水分波動，有效地改善並維持下層的支撐。

(4)做為高標準的道碴限制層，使道碴能發揮高剪力強度，並均勻分散壓力。

(5)施作於道碴和道床間的彈性層，以減低實際上浸溼路基而無增加軌道勁度的可能性。

(6)做為全天候均勻穩定的表層，以安置道碴及軌道上部結構。

軌道位址為不良條件而須營運較重的交通時，設計HMA全鋪層為最佳的方式，功能包含如下：

(1)提供一個充分強度或穩定堅實地盤。

(2)迅速排出在軌道結構的表面排水。

(3)降低地下水位，以避免軌道結構的弱化。

(4)使用在高衝擊應力的接縫處、道岔處及橋樑、隧道通道口。

HMA的功能除了前述外，且具有：

(1)抵抗額外荷重所衍生張力。

(2)改進道床結構的穩定性使維持鐵路的幾何線形。

(3)比較道床使用碎石道碴所受列車荷重將導致永久垂直變形，惟HMA高勁度材料消除該顧慮。

(4)增加基礎模數及提供了更剛性基礎(耐久性)，免受使用碎石級配所衍生張應力及剪應力的變形。

(5)力學特性降低列車在行駛中產生的振動及噪音。

2.2.5 HMA軌道床之設計及施工

適合用於軌道結構的混合瀝青混凝土，為一具有低模數(塑性)混合物，設計空氣孔隙率為1~3%，比在公路用的5%空氣孔隙率來的壓密應更高，以當地密等級粒料為基礎，混合粒料的最大骨材粒徑為25~37mm，瀝青含量的理想值要高於使用在公路0.5%，以利該混合料

易於壓密且得到所需求密度，由於HMA道床位於底部，車轍及冒油應不影響其功能，至於瀝青混凝土方面須充滿孔隙率(VFA)78%以上，所增加的瀝青亦是增加混合料的耐久性及防止瀝青混凝土的鬆散及龜裂。

表2及表3包含瀝青混凝土學會對於HMA混合物的建議設計標準。

表 2：軌道床鋪設 HMA 級配粒料配比

篩號	通過篩孔重量百分率
37.5mm(1.5in)	100
25.0mm(1.0in)	90-100
12.5mm(0.5in)	56-80
4.75mm(No.4)	29-59
2.36mm(No.8)	19-45
300 μ m(No.50)	5-17
75 μ m(No.200)	1-7
瀝青膠泥(佔總拌合的百分率)	3-9

表 3：軌道床 HMA 配比設計標準

特性	範圍
夯壓	50 次
穩定度(最低限度)	3375N
流度	3.8-6.4mm
空氣孔隙率	1-3
填滿孔隙率	80-90
現場壓密度	92

大多HMA道床墊寬為3.7M，於特殊的軌道工程中，如岔線可容

許自軌枕兩側延伸0.5M或更寬，用以提供更長枕木下的支撐。另軌道工程與道路交叉處，所鋪設的HMA應再延伸約7.5~30M，特別是用以提供列車調車場及機車維修廠等特殊軌道工程區域外的軌道勁度改變。

HMA的厚度變化取決於路床的支撐狀況、交通承載及設備的形式，一般的狀況下，厚度使用125~150mm，特別軟弱的路床和高衝擊性區域使用至少200mm的厚度，道碴厚度一般為200~300mm。HMA特殊優點具有防水劑特性，注意的是必須在設計承載區域時絕對要將排水併入考慮，路床應為緊實、排水良好，使能容許提供托運及延伸設備額外載重，而不形成過度的車轍或變形。至於排水方面，於HMA表面形成有如路拱的形狀一般，坡度大約2%是合乎需要的，而坡度變化將視改進地面排水的工址狀況分析而定。

一般鋪築 HMA 分為墊層及全鋪層，2 者鋪築厚度同為 150mm，經過充分夯壓為 100mm，為達到最佳的壓密程度，溫度應控制在攝氏 105~140 度並使用鋼輪振動壓路機夯壓，最大夯實度必須達到 95%以上，若於小面積無法用滾壓機時，須應用小型震動機重複的滾壓。為使排水更加的容易，HMA 的頂部應如同路拱一般，或者傾斜向一側，這一方面可藉由傾斜推土機的葉片來調整鋪面。

一般HMA分為墊層及全鋪層，在墊層方面：鋪設碎石道碴以普通常見的卸載或設備散佈，一般多餘的碎石道碴則以裝卸工或碎石車輛散布填滿軌枕之間的區域並提供一個0.5~1.5ft 寬的路肩，全鋪層方面：無鋪設碎石道碴，有鋪設道碴的位置僅在HMA的頂部—相接於毗鄰的軌道側上方鋪設，如此將提供一正向排水，使道碴能維持乾淨，兩者在施工軌道枕部份須使用膠輪起重機設備是較好的，蜿蜒前進把軌道枕吊放定位於道碴或剛鋪的HMA底層上，先決條件是必須

提供足夠的空間，以便移動、置換軌道及鋪設的作業更加容易。在運用於修復特殊的軌道工程中，若為淺斷面可使用震動機來夯實道碴，以便軌道可以定位在所需的高程上，這可加速安裝的過程。



圖17 隧道內鋪設全斷面HMA -1



圖18 隧道內鋪設全斷面HMA -2

2.2.6 修復軌道之道床

對現有鐵道來說，必須先移開軌道，軌道下的材料也要挖掘到需求的強度等級。挖掘的深度會有變化，取決於HMA將取代的厚度、道碴層的厚度、存在的硬質地層深度，亦包含軌道將提升的高程；換句話說，從軌枕下方計算挖掘的深度應等於HMA及道碴厚度總和減去軌道提升之高度，假如硬質地層會被破壞，減少道碴厚度或者提升軌道高程以減少開挖的深度是可以接受的。挖掘工作應該以最精簡的軌道裝卸工、推土機及挖掘工來施作，保持最小通行量以避免膠輪設備造成車轍或造成空氣進入路床。



圖19 對現有營運線之HMA墊層鑽心取樣

三、心得與建議

瀝青混凝土軌道床(HMA)在國外實務運用上已有相當之時間與經驗，無論是鋪設道碴 HMA 層或鋪設全斷面 HMA 層，對於降低軌道維護頻率與費用，以及降低列車行駛所產生的振動與噪音，確有顯著之成效。目前本局全臺執行中之計畫達 14 項計畫，實應擇定若干路段應用 HMA 軌道床，已提供臺灣鐵路對於 HMA 之應用實績與進行驗證，相信對臺鐵軌道維護能提供詳實可靠之參考實據。

因目前南部鐵路改建工程中高雄計畫、左營計畫及潮州計畫均已近細部設計成果定稿，將 HMA 軌道床納入設計對於緊迫之計畫時程確有困難，而「高雄鐵路地下化延伸鳳山計畫」剛於 99 年 12 月 16 日奉行政院核定，近期將辦理細部設計發包，該計畫將於鳳山市區施工，爰建議將 HMA 軌道床納入該計畫臨時軌設計，並於施工時進行相關數據之紀錄與驗證。

對於進橋版處 HMA 軌道床因屬局部之應用，建議可於屏東市區高架施工時，辦理變更設計將 HMA 軌道床納入，或考量於其他高架路段試辦。