

# 單軌系統差異性分析比較-以龐巴迪 INNOVIA300 型 與日立跨坐式單軌系統為例

林忠正<sup>1</sup>

摘要

跨坐式單軌系統可分為單軸轉向架及雙軸轉向架車型單軌系統，全世界較成熟且具有商業實績之跨坐式單軌系統共有六家，分別是單軸轉向架之加拿大龐巴迪、馬來西亞 SCOMI、義大利 Intamin 及瑞士 von roll 單軌系統，以及雙軸式轉向架之日本日立及重慶長客單軌系統，在中國、美國、日本、新加坡、馬來西亞、泰國、巴西、俄羅斯及澳洲等國家均已廣泛運用，並有 70 餘年安全運用歷史。其中義大利 Intamin 系統由傳統遊樂區單軌發展為新型跨坐式運輸系統，採用單軸轉向架，並在俄羅斯營運，但成熟穩定度尚待商榷，瑞士 von roll 單軌系統運用在澳洲雪梨，目前單軌系統已拆除，近年並無進一步發展，屬單軸轉向架，因此跨坐式單軌系統仍以龐巴迪、SCOMI 和日立、長客為代表。

台南捷運系統初步建議採用跨坐式單軌系統，但各個單軌系統之車輛、軌道梁及道岔方式皆有所不同，同時考量未來單軌系統引進台灣之可行性及成熟度，筆者以多年在中國大陸及台灣之軌道交通經驗，茲將標準車型之單軸轉向架龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統及雙軸轉向架日立單軌系統之核心技術-車輛、軌道梁及道岔進行分析比較，提供做為台南及台灣各都市有意採用跨坐式單軌系統之參考比較。

關鍵詞：跨坐式單軌系統

## 一、車輛分析比較

### 1.1 車輛主要尺寸、外觀及內部空間分析比較

#### 1. 車輛主要尺寸分析比較

跨坐式單軌系統車輛主要可分為“單軸式”和“雙軸式”兩種車型，龐巴迪系統主要採用傳統單軸轉向架車輛，日立系統主要採用雙軸轉向架車輛，車輛大小及配置將影響車輛載客量。

龐巴迪單軸轉向架單軌系統包括二個走行輪，四個導向輪及二個穩定輪，轉向架進入客室，侵入載客空間，日立雙軸轉向架單軌系統包括四個走行輪，四個導向輪及二個穩定輪，低於地板平面。

---

<sup>1</sup> 林同棧工程顧問股份有限公司副總工程師，重慶交通大學特聘兼任教授，106 臺北市仁愛路三段 136 號 12 樓 1202 室；電話：02-27840988；傳真：02-27030244；信箱：cclin@tylin.com.tw

茲將龐巴迪 INNOVIA300 型與日立跨坐式單軌系統之車輛主要尺寸及載客量整理如下，由下表可知，龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統之車輛較日立單軌系統為寬但車長小約 2 公尺左右，且龐巴迪單軌系統進入客室，侵入載客空間，因此載客量較小，以最大舒適度載客量 5 人/平方公尺而言，龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統 MC 為 116 人，M 為 124 人，日立單軌系統 MC 為 132 人，M 為 144 人，因此標準四車列車編組龐巴迪單軌系統為 480 人，日立單軌系統為 552 人，據此可進行營運規劃。

同時標準四車列車編組龐巴迪單軌系統長度為 50.11 公尺，日立單軌系統為 58.2 公尺，據此可進行車站大小規劃。

對比項目	INNOVIA 300 型	日立單軌
車體外寬	3147mm	2980mm
車內淨寬	2900mm	小於2700mm
車長	MC：13210mm M：11845mm	MC：15500mm M：13600mm
整車高度(車頂至車底裙板)	4053mm	5130mm
地板面高度(地板面至走行面)	450mm	1117mm
空車重量	平均14t	約28t
車門寬度	1600mm	1300mm
載客量(5人/m <sup>2</sup> )	116/124	132/144
最高速度	80km/h	80km/h

## 2. 車輛外觀分析比較

龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統之車輛外觀具有細長、流線型的外型，美觀、時尚，為一道靚麗的風景線，外部裝飾可客製化但載客量較小；日立單軌系統車廂較窄高，傳統的捷運外形，外觀亦可客製化，載客量較大。



龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統



日立單軌系統

### 3.車門分析比較

龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統之每扇車門淨開度達 1600mm，日立跨坐式單軌系統之每扇車門淨開度 1300mm，此意謂龐巴迪單軌系統進出車輛之客流量較日立單軌系統為快速，在車站之停等時間較短，使得龐巴迪單軌系統行車間距較日立單軌系統為短。



INNOVIA Monorail 300型



日立系統

### 4.車輛內部空間分析比較

龐巴迪 INNOVIA300 型與日立跨坐式單軌系統均採用縱向兩側布置座椅的方式，其中龐巴迪單軌系統基於車廂客室內部轉向架布置，增加沿車廂端牆橫向布局的座椅。整體而言，日立單軌系統車廂載客量較大；基於車廂客室內部轉向架布置，龐巴迪單軌採用一側貫通道設計，日立單軌採用中間貫通道設計。



INNOVIA 300型車輛客室

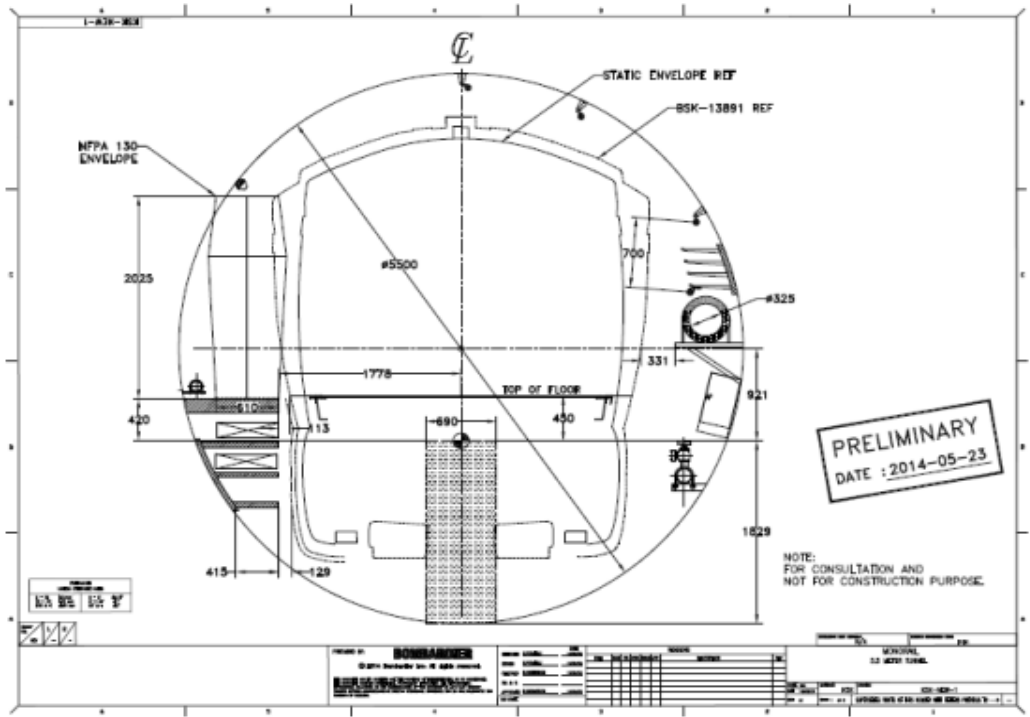
日立單軌車輛客室

## 1.2 車輛斷面分析比較

### 1.龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統

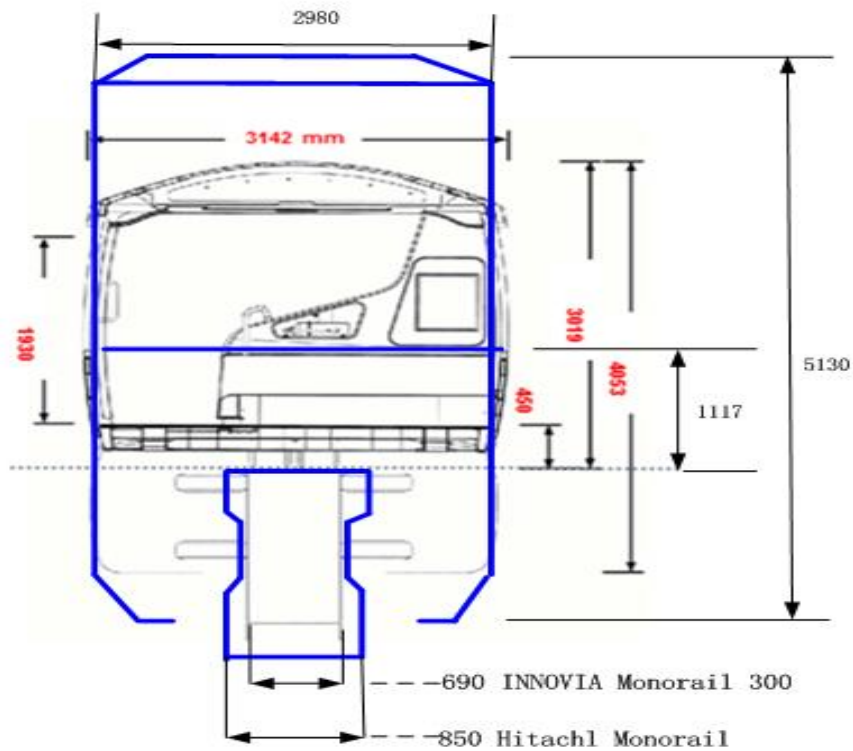
龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統由於車輛高度、地板面高度低，為低底盤車輛，因車輛重心較低，爬坡力較強，曲線半徑較小，客室地面距逃生通道高度小，便於快速緊急逃生，且重心低，抗側傾能力强，但車輛為單軸轉向架，且車輛較輕，車輛穩定度較差。

龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統由於高度僅有 4.053 公尺，車輛可以滿足捷運標準 5.6 公尺內徑潛盾隧道的地下限界要求。



## 2. 日立單軌系統

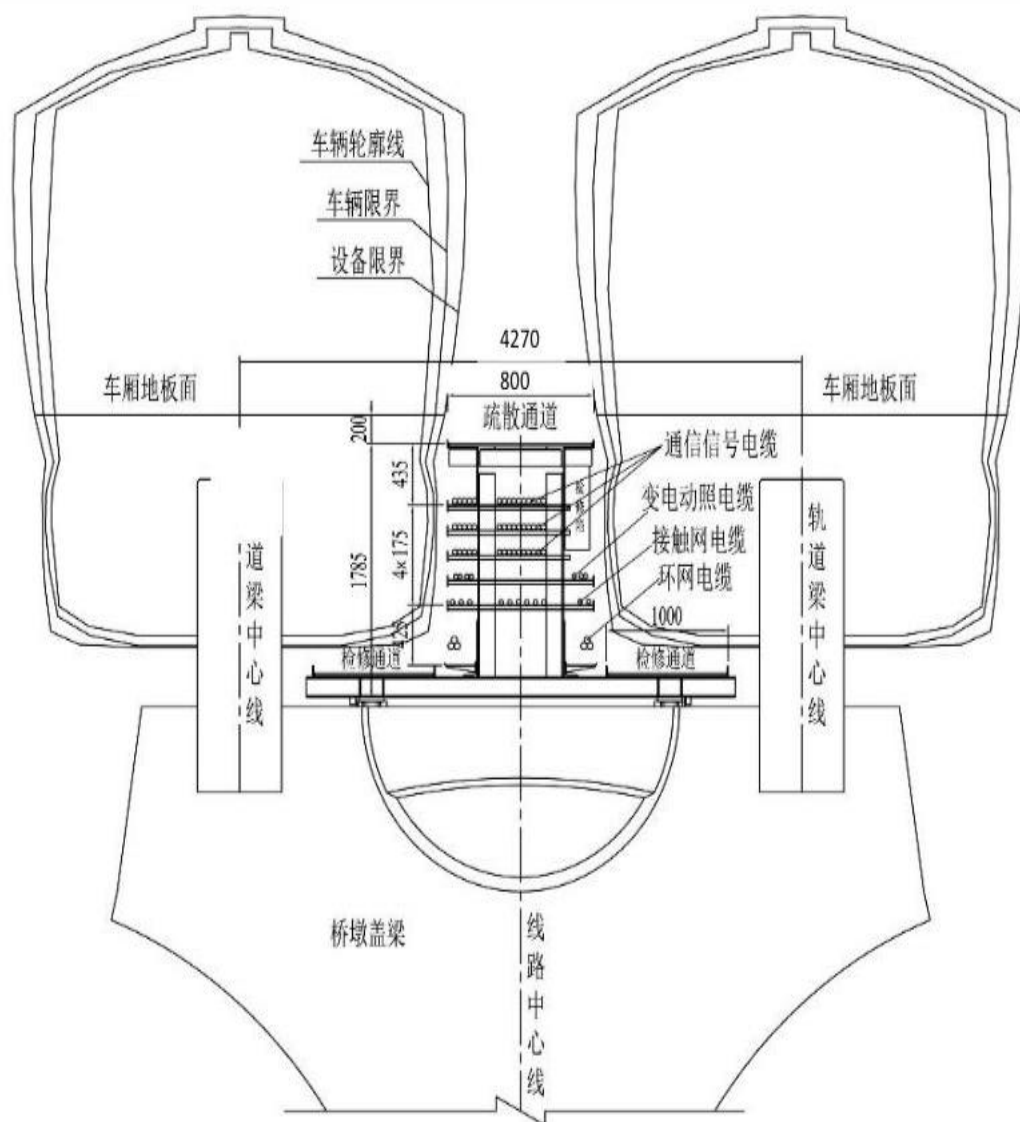
日立單軌系統車輛高度為 5.13 公尺，屬高底盤車輛，因重心較高，因此最小曲線半徑較龐巴迪單軌系統大及最大縱坡較小，因車輛轉向架布置，地板面距軌道梁走行面高度超過 1.1 公尺，距緊急逃生通道的高度約 3 公尺，緊急疏散不方便，且重心高，抗側傾能力弱，但車輛為雙軸轉向架，且車輛較重，車輛穩定度較高，因車輛高度較高，無法滿足標準潛盾隧道 5.6 公尺的地下限界要求。



### 1.3 線間距分析比較

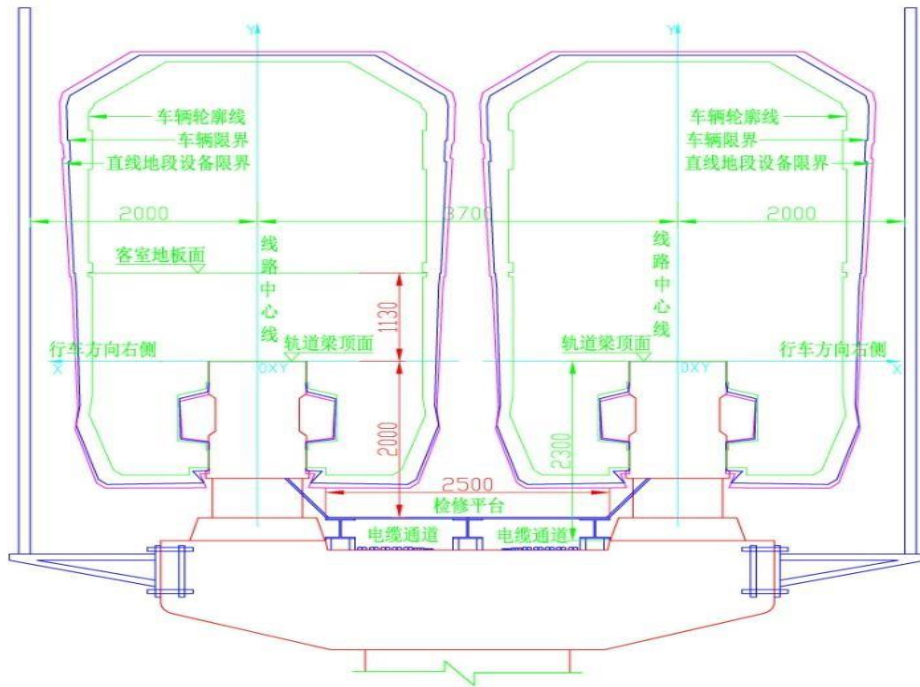
#### 1. 龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統

龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統線間距 4.27m，車輛外緣距 7.417m，全寬 8.07m(含動態包絡線)，龐巴迪單軌系統線間距較寬原因在於龐巴迪 INNOVIA 300 型單軌系統除供電管架配合軌道梁先行預埋，其他管線主要於兩軌道梁內側配合疏散通道安裝管纜橋架，管線佈設占用較大空間，而動態包絡線較小原因在於重心較低，曲率半徑較小，因此動態包絡線較小。



#### 2. 日立單軌系統

日立單軌系統線間距 3.7m，車輛外緣距 6.68m，全寬 7.57m(含動態包絡線)，日立單軌系統線間距較小原因在於管線配合軌道梁先行預埋，管線預埋位置在軌道梁側部、下部，而動態包絡線較大原因在於重心較高，曲率半徑較大，因此動態包絡線較大。



3. 龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統軌道兩軌道外緣線距離 4.96m，日立單軌系統兩軌道外緣線距離 4.55m，此意謂單軌系統天際線之遮蔽較高架輕軌之影響為小。

### 跨坐式單軌與高架輕軌比較



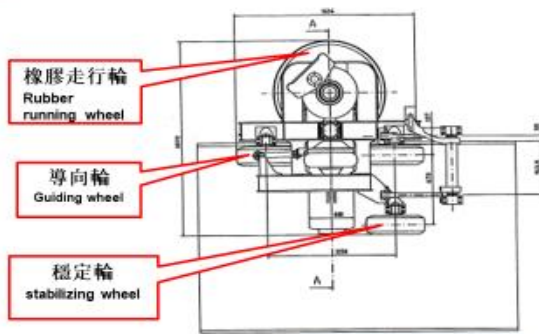
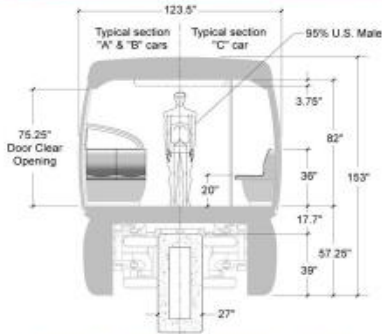
## 1.4 轉向架系統分析比較

### 1. 龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統

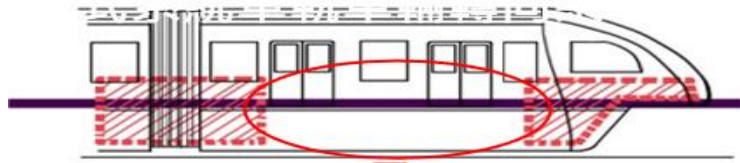
龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統轉向架系統採用傳統單軸轉向架，且為低底盤車輛，車輛最小曲線半徑可達 30m(營運實績為 46 公尺)，最大縱坡可達 100%，考慮限速影響、經濟性等因素，正線最小曲線半徑以 70m 為宜，轉向架進入客室，侵占載客空間，載客量較小，但距軌道面較低，緊急逃生較佳。

龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統因為單軸轉向架，結構較緊湊輕巧，車輛重量僅 14 噸，所以車輛較搖晃，但車輛具有徑向功能。

# 單軸轉向架



龐巴迪轉向架結構形式  
Bogie structure type of Bombardier

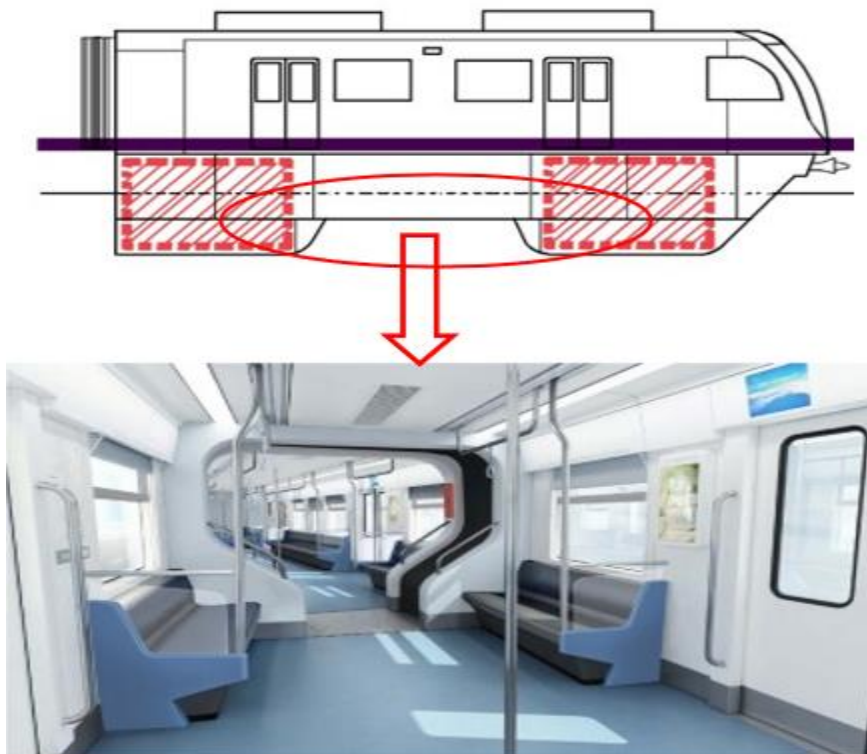
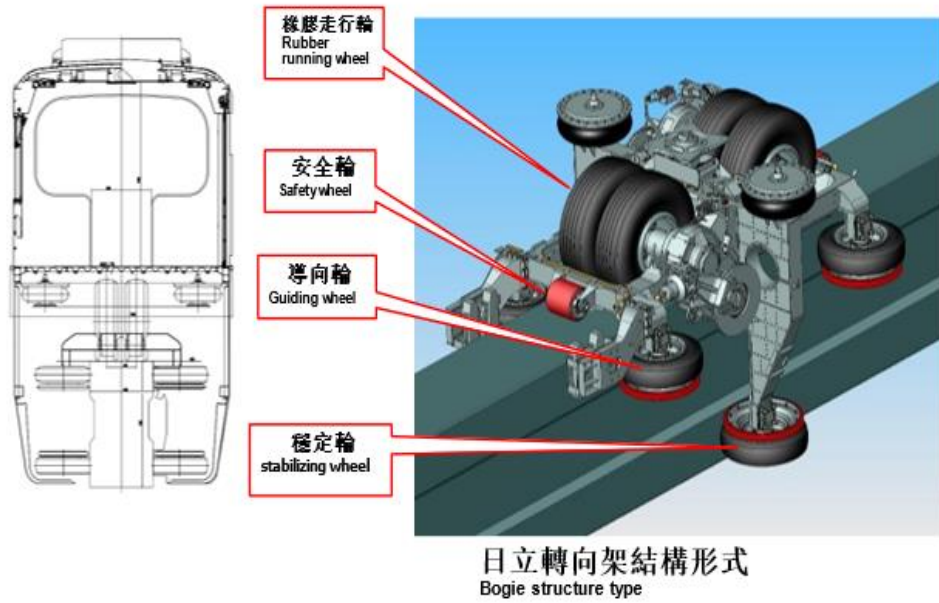


## 2. 日立單軌系統

日立單軌系統轉向架系統採用雙軸轉向架，且為高底盤車輛，車輛最小曲線半徑為 50m，最大縱坡為 60%，考慮限速影響、經濟性等因素，正線最小曲線半徑以 100m 為宜，轉向架低於地板平面，增大載客區域，載客量較大，但距軌道面較高，緊急逃生較差。

日立單軌系統結構較笨重，車輛重量 28 噸，因此車輛較穩重，但車輛無徑向功能。

## 雙軸轉向架



### 1.5 牽引和冷却系統分析比較

龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統採用先進的永磁牽引電機和逆變器，電機為液體冷却，噪音較低，電機配合齒輪箱直接驅動走行輪，能效高，能耗低；日立單軌系統採用單純永磁電機系統，冷却系統採用傳統的風機強迫風冷，噪音較

大，電機配合傳統的齒輪箱和聯軸節驅動走行輪，效率較低、能耗較高，新型日立單軌系統可就牽引和冷却系統調整為節能減噪之先進的永磁牽引電機和逆變器，電機為液體冷却系統。



INNOVIA Monorail 300型



日立系統

## 1.6 車輛噪音分析比較

根據下表得知，在設計速限 80km/h 下，龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統之噪音值比日立單軌系統為小，但皆超過限制噪音值，但在營運速度 30km/hr 下，二者噪音值分貝數皆在 60-70dB 左右，不超過限制噪音值，其中 INNOVIA 300 型單軌較日立單軌略低，其原因在於 INNOVIA 300 型單軌系統採用全包裹裙板設計，全車包括貫通道都採用全新高科技隔音材料，較為節能降噪，且 INNOVIA 300 型單軌系統車輛較輕，摩擦產生的噪音較小，採用永磁電機，水冷系統，無需風機進行強迫風冷，因而噪音較低。

	<b>INNOVIA 300型</b>	<b>日立單軌</b>
動態	約76dB(A)	約81dB(A)
	@ 80 km/h	@ 80 km/h

## 1.7 能耗分析比較

根據實際仿真驗證，在現有營運路線，INNOVIA 300 型單軌系統比日立單軌系統節約能耗約 20%，但新型日立單軌系統對於能耗也可就下列項目進行改善，降低能耗。

對比項目	INNOVIA 300型	日立單軌	項目對比說明
空車重量	14t 單位自重運輸乘客數為9.21人	28t 單位自重運輸乘客數為5.89人	日立單軌系統能量消耗很大一部分浪費在運輸車輛自重上
承載輪數量	2個/輛	4個/輛	日立系統輪胎使用成本是龐巴迪的兩倍，導致運維成本較高
轉向架車軸	採用單軸轉向架，避免高沖角、過彎阻力小、輪胎磨損小、能耗小。	採用雙軸轉向架，固有的高沖角、過彎阻力大、輪胎磨損大、能耗大。	日立系統能耗更高、輪胎磨損大將增加營運成本
牽引電機	先進的永磁電機，效率高、能耗小	傳統的三相電機、效率低、能耗高。	日立系統能耗高
電機驅動方式	電機與齒輪箱高度集成，電機軸直接驅動承載輪行走，效率高、能耗低	採用傳統的齒輪箱、聯軸節驅動方式，效率低、能耗高	日立系統能耗高
軌旁儲能裝置	獨有的軌旁儲能裝置，能夠吸收制動產生的電能，避免能耗浪費	無	日立系統能耗高

## 1.8 駕駛方式分析比較

龐巴迪 INNOVIA 300 型單軌採用無人駕駛 CBTC 系統其駕駛面板採用先進的觸摸操縱屏(正常情況下不使用，鎖在面板下)，緊急情況下可人工駕駛；日立單軌系統採用的是傳統的地鐵列車駕駛操縱台，但新型日立單軌系統也可採用無人駕駛之 CBTC 系統。



INNOVIA Monorail 300型



日立系統

## 1.9 運能分析比較

根據下表，日立單軌系統由於車輛長度大於龐巴迪 INNOVIA 300 型單軌系統，且轉向架不侵入客室，因此運能較龐巴迪大。

	龐巴迪系統	日立系統
車輛長度	MC: 13210mm M: 11845mm	MC: 15500mm M: 13900mm
車輛寬度	3147mm	2980mm
車輛高度	4053mm	5300mm

以最大舒適度載客量 5 人/平方公尺而言，龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統 MC 為 116 人，M 為 124 人，日立單軌系統 MC 為 132 人，M 為 144 人，因此標準四車列車編組龐巴迪單軌系統為 480 人，日立單軌系統為 552 人，據此得知，班距 2 分鐘之龐巴迪單軌系統尖峰小時運量為 14,400 人/小時，日立單軌系統尖峰小時運量為 16,560 人/小時，據此可進行路線營運規劃。

型式	班距 (分)	龐巴迪 INNOVIA 300 型系統 (人/小時)	日立系統 (人/小時)
標準	2	14,400	16,560

同時由於日立單軌採用雙軸轉向架，當其中一個輪胎爆裂時仍可繼續行駛，龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統採用單軸轉向架，當其中一個輪胎爆裂時須停駛更換輪胎，但龐巴迪單軌系統輪胎更換簡單，所以備用車數量少於日立單軌系統。

龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統採用 CBTC 號誌控制系統，且車門較大，進出車輛之客流量較日立單軌系統為快速，在車站之停等時間較短，因此行車間距可做到 90 秒，而日立單軌系統雖可採 CBTC 號誌控制系統，但車門較小影響乘客上下時間及車站停等時間，導致目前行車間距僅能做到 2 分至 2 分半。

## 二、軌道梁分析比較

### 2.1 軌道梁說明

單軌系統軌道梁乃決定車輛行駛平順與否之關鍵所在，龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統軌道梁寬 690mm，日立單軌系統軌道梁寬 850mm，龐巴迪單軌系統

軌道梁大多為剛構 PC 結構梁，跨度平均 30m，最大可達 36.5m；日立單軌系統軌道梁大多為 RC 結構梁，平均跨度約為 20-25m，但已研發 25-30m 跨度 PC 梁。

軌道梁之功能在於為承重梁、導向軌及各種構件的載體，跨坐式單軌系統結構梁即軌道，軌道梁均採用預應力結構，其製造和架設的品質及精度較高，達 mm 等級，因此多採預製方式。



## 2.2 跨座式單軌軌道梁預製與架設技術

### 2.2.1 軌道梁梁橋三大技術核心

軌道梁梁橋三大技術核心為：

1. PC 軌道梁製造控制系統：解決 PC 軌道梁預製廠製梁問題。
2. 蓋梁支承墊石定位計算：為保證蓋梁支承墊石設計精度，並配合與之對應的 PC 軌道梁設計參數，嚴格計算蓋梁支承墊石定位位置及精度。
3. RC 軌道梁配筋計算：一般而言 RC 軌道梁以 22m 為標準，為解決新型 RC 軌道梁，如 24m、25m、30m、非標 RC 軌道梁以及結構優化設計的 RC 軌道梁配筋與預應力布置，應嚴格計算軌道梁配筋。

### 2.2.2 軌道梁技術重點分析

1. 由於 PC 軌道梁精度要求高，所以製造模板需要採用可橫向彎曲、扭轉，豎向可調整的專用模板，模板的剛度和穩定性應能保證梁體的尺寸精度，制作工藝比一般簡支梁相對複雜。

2. 軌道梁在預製時，在軌道梁梁體側部、底部或檢修通道設有通訊、號誌及供電電纜橋架，在梁體成型過程中，如果預埋於梁體中的各種預埋件出現脫落、移位，或者預埋位置不能滿足精度要求，很可能由此造成整樑梁的報廢，以及車輛運行中的安全品質事故。

3. PC 混凝土梁設計強度為 C60，使用年限為 100 年，台灣酸雨多，夏季持續高溫時間久，若採用高水泥用量配製的高強度等級混凝土，對 PC 軌道梁的混凝土耐久性不利，需研究適應台灣氣候環境特點的耐久性混凝土。同時施工過程中應加強混凝土的原材料檢驗，保證水泥骨料及外加劑等的品質指標滿足高強度

混凝土的要求；混凝土配合比嚴格控制最大水灰比、最少水泥用量，盡可能減少水泥用量和拌合水用量；嚴格控制混凝土的攪拌、運輸、澆注和振搗作業程序，強化混凝土的保濕保溫養護；加強對混凝土的過程檢驗。

4.為在狹小空間安裝超重 PC 梁的技術難題，可研擬將 PC 軌道梁跨度增加至 25 公尺，甚至 30 公尺以提高 PC 梁連續空間曲面體的整體性能，同時降低了工程造價。

5.小曲線半徑（尤其是 75m）PC 軌道梁曲率半徑小、控制難度大，需對鋼梁設計、製造、安裝、調試以及生產進行技術研擬；若小曲線 PC 梁走行面線形與梁端傾斜度偏差，造成梁面橫坡超限或指形板錯台超過 2mm，將影響結構安全和乘車舒適度。

6.PC 軌道梁線形調整將影響橋墩和 PC 梁建造，把單樑的 PC 梁連接成連續、平直、圓順的路線，可達到路線運行的合格要求。

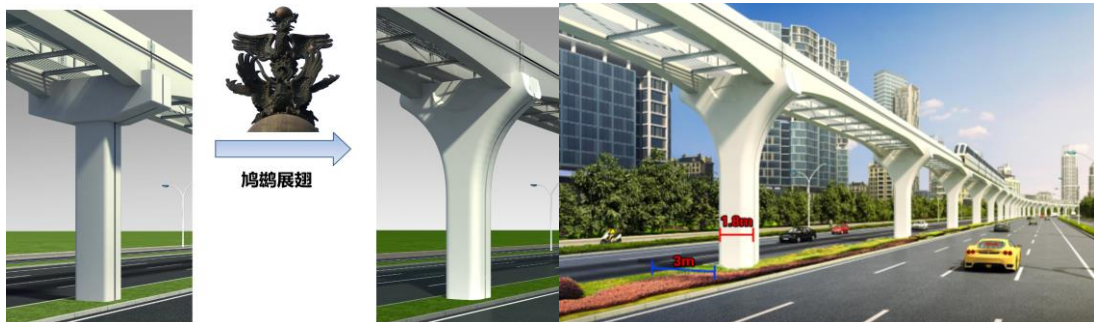
7.架橋機和運梁車架設技術可解決複雜地形、道路狹窄、山地河川分佈密集、高架立交橋眾多和高架車站無法採用汽車吊架設的難題。

8.由於蓋梁內密集的鋼筋和砼澆築產生的浮力，造成錨箱中心位置座標和高程精度控制非常困難。傳統定位工裝為 5×50 固定角鋼支架焊接固定在蓋梁鋼筋骨架上，安裝功效低且一次調校合格率僅為 30%，同時存在支架預埋在蓋梁中無法迴圈使用，造成浪費，無法滿足工程的需要。新型 H 型鋼懸掛定位工裝方法可解決鋼筋密集和砼浮力影響錨箱安裝精度的問題，一次調校合格率由 30% 提高到 90% 以上。

## 2.3 龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統與日立單軌系統軌道梁分析比較

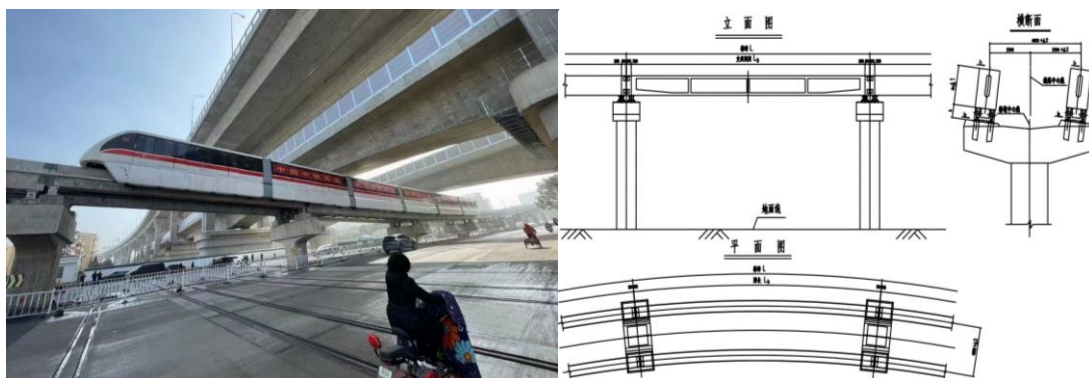
### 2.3.1 龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統軌道梁

1.剛構 PC 軌道梁：龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統結合道路幾何條件、地質情況對簡支體系、連續梁體系、連續剛構體系進行對比，各有優缺點。從行車舒適性、經濟性等考量，龐巴迪主要採用 3×30m 連續剛構 PC 軌道梁作為高架區間的標準結構形式，軌道梁寬度 690mm，梁體採用 C60 混凝土。具有結構整體性好，行車舒適性高、少伸縮縫、無支座、養護維修工作量大等優點，但是對施工及線形控制需要更高的要求。



2.簡支 PC 軌道梁：在車站內、局部墩高較矮段落採用簡支 PC 軌道梁，軌道梁寬度 690mm，跨度區間 15~25m，採用鑄鋼拉力支座和下部結構連接，曲線

地段結合路線平曲線半徑曲梁曲做，根據路線橫坡情況將梁體和支座斜置，梁體採用 C60 混凝土。

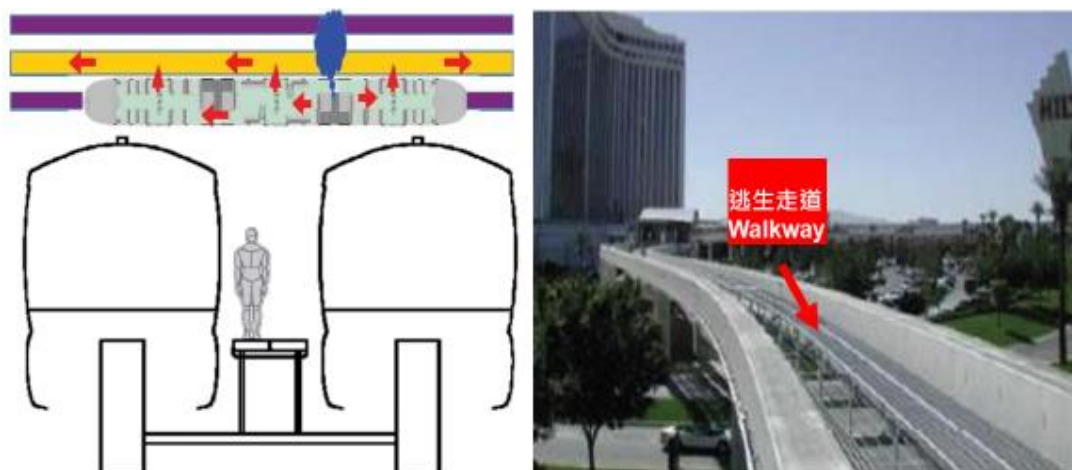


3. 龐巴迪 INNOVIA 300 型單軌供電管架配合軌道梁先行預埋，其他管線主要於兩軌道梁內側配合緊急逃生通道安裝管纜橋架，龐巴迪跨坐式單軌供電系統主要採鋼鋁複合接觸軌。



龐巴迪單軌軌道梁供電系統

4. 緊急逃生走道：龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統在進行軌道梁之架裝時，在兩軌道梁間設置緊急逃生走道，同時並安裝管纜橋架，由於龐巴迪單軌系統為低底盤車輛，在此系統之逃生走道距離車地板的高度，可以讓旅客一步踏下，此外逃生走道的寬度，亦考慮了車輛的包絡線，此系統實際運作在美國紐澤西、美國佛羅裡達州坦帕國際機場、美國內華達州拉斯維加斯、沙烏地阿拉伯利雅德、巴西聖保羅、中國蕪湖和泰國曼谷等，同時此逃生通道亦可做為維檢修通道。



### 2.3.2 日立單軌系統軌道梁

1. 日立單軌系統在一般路段採用預應力混凝土梁，主要為簡支梁，在交叉口或特殊地段採用鋼梁結構，標準車型軌道梁寬度 850mm，小型車型軌道梁寬度 700mm。



預應力混凝土梁

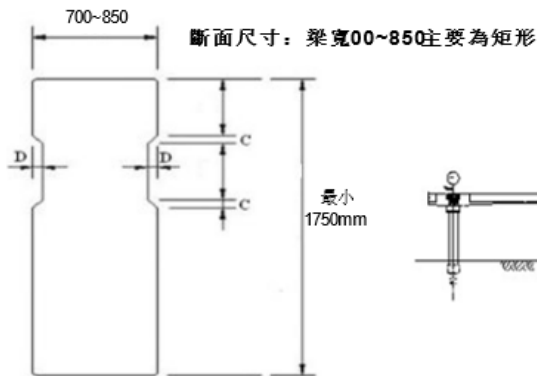
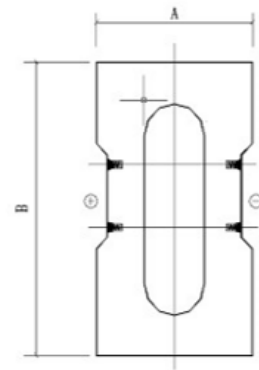


鋼樑

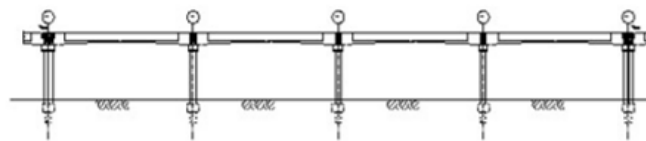


簡支梁體系

單軌型式	大型	小型
A	850mm	700mm
B	1500mm	1300mm



連續鋼構體系



2. 軌道梁與軌道梁間接不同於一般接頭銜接，多採用齒形鋼板，確保車輛在軌道梁上平穩運行，減少震動與噪音，軌道梁端部預埋指形板板座，架梁後指形板以錨固螺栓錨固於板座上，軌道梁支座具有橫向抗傾覆能力，確保軌道在車輛運行時的橫向穩定；並在橫向、縱向、傾斜度方向具有調整的功能，以保證軌道所需線形。



導向面及穩定面指形板



行走面指形板



PC軌道梁鑄鋼拉力支座



鋼軌道梁大位移鑄鋼拉力支座



PC軌道梁T型滑槽大位移鑄鋼拉力支座

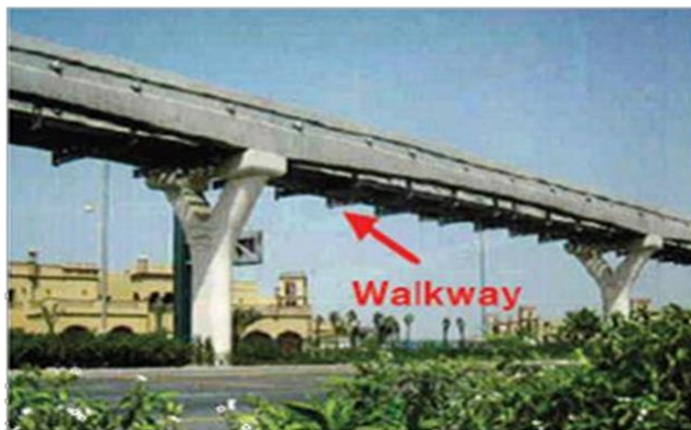
3.日立單軌系統管線預埋位置在軌道梁側部、下部，在PC 軌道梁內預埋件的種類多（如絕緣子、饋線電纜、避雷電纜、管纜橋架和計軸）等，安裝精度要求高（最小達 $\pm 1\text{mm}$ ）以及安裝工作量大（每樁梁安裝預埋件最多達80個）。



日立單軌軌道梁供電系統

絕緣子  
鋁合金匯流排  
接觸導線

4.緊急逃生走道：日立單軌系統在進行軌道梁之架裝時，為解決逃生安全之疑慮，並考慮安全性為最主要的關鍵要素，於兩條軌道之間的下方位位置鋪設鋼制的緊急逃生通道，用於解決安全顧慮上之問題，由於日立單軌系統為高底盤車輛，緊急逃生通道與車輛地板面距離較高（約3公尺），需配置梯子或滑索進行逃生，此系統實際運作在日本東京-羽田、日本北九州、新加坡聖淘沙、日本沖繩、杜拜、美國紐澤西、中國重慶二號線等，同時此逃生通道亦可做為維檢修通道。



### 三、道岔分析比較

#### 3.1 道岔說明

##### 3.1.1 單軌系統道岔類型

單軌系統道岔為一平台設施，目前國際現有的單軌系統道岔總體可分為關節型道岔和整體型道岔兩種，關節型道岔可分為可撓式關節型道岔及關節型道岔；整體型道岔又可分為整體平轉型道岔和整體平移型道岔，整體平轉型道岔又有替換梁式道岔和樞軸式道岔兩種類型，關節型道岔占地小，過岔速度較小，轉轍效率相當，結構複雜且造價高；整體平轉型道岔占地稍大，過岔速度較大，轉轍效率相當，結構簡單，造價低；整體平移型道岔占地最大，過岔速度較大，轉轍效率相當，結構稍複雜，造價介於兩者之間。

日立單軌系統主要採用關節型道岔，龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統主要採用整體平轉型道岔。



關節型道岔



整體平轉型道岔



整體平移型道岔

跨坐式單軌系統道岔佈設將影響營運調度，乃營運維修之關鍵所在，龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統道岔為整體型道岔，簡單的梁結構，轉轍較容易，轉轍時間 10-15 秒，簡單並能滿足列車以 40km/h 的速度通過，但所需道岔平台較寬，最小寬度約為 14.5 公尺；日立單軌系統道岔為關節型道岔，結構較複雜，轉轍時間 10-15 秒，列車通過速度需限制在 25km/h 以下，最小寬度約為 14 公尺。



龐巴迪系統道岔



日立單軌系統道岔

## 3.2 龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統與日立單軌系統道岔分析比較

### 3.2.1 龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統道岔

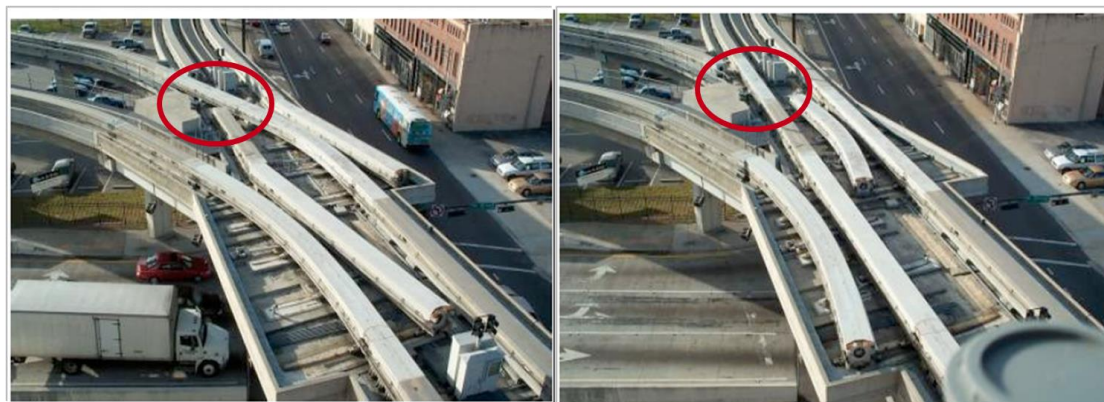
#### 1. 龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統整體平轉型道岔

(1). 整體型道岔的梁體為一根或二根完整的鋼制道岔梁，由台車支撐，採用電力驅動，道岔梁通過平移或繞固定端轉動的方式使道岔梁與另一條路線軌道梁或其它道岔梁銜接形成岔道聯通，轉換列車行駛路線。

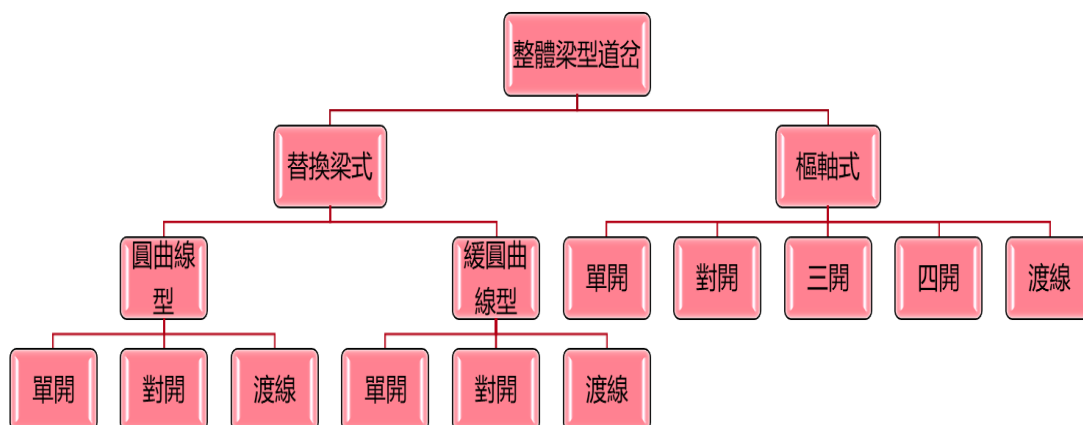
(2). 整體型道岔可分為整體平移型道岔和整體平轉型道岔兩種。其中整體平移型道岔運行時，道岔梁整體平行移動至設計位置，使得道岔梁體與軌道梁或其它道岔梁銜接形成岔道；而整體平轉型道岔的梁體通常一端固定，道岔梁整體繞固定端轉動至設計位置，使得道岔梁體與軌道梁或其它道岔梁銜接形成岔道。

(3). 整體平移型道岔有平移型單開和平移型渡線兩種形式；整體平轉型道岔有替換梁式道岔和樞軸式道岔兩種類型，其中替換梁式道岔有單開、渡線等形式，樞軸式道岔有單開、對開、三開、四開及渡線等形式。

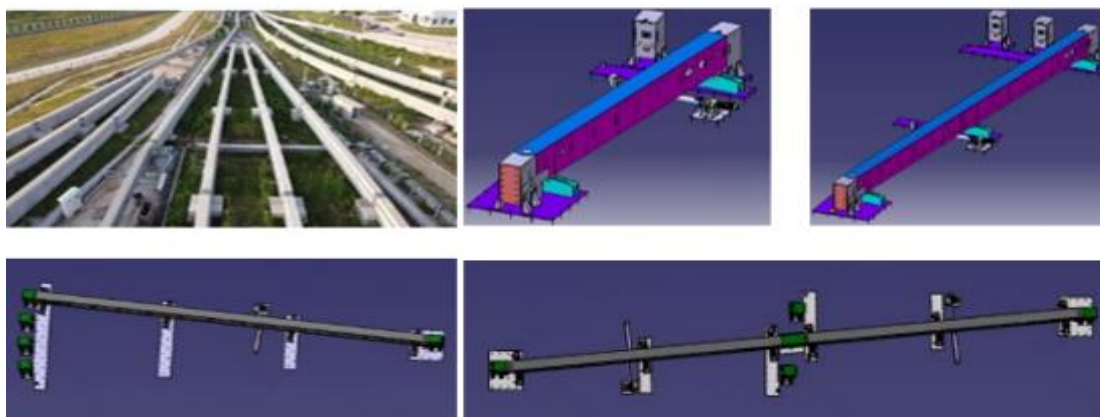
(4). 道岔平台一般設於車站前後端，寬度大於軌道面以利布設道岔設備轉轍，實際寬度視採用形式而異，單開形式最小寬度約為 14.5 公尺左右，整體型道岔一般用於單軸轉向架車輛，龐巴迪單軌系統主要採用整體平轉型道岔。



2. 龐巴迪單軌系統主要採整體平轉型道岔，按結構特點可分為替換梁式和樞軸式兩類。



3. 樞軸式道岔由一根整體式直梁組成，側向以小折線代替圓曲線的過渡，允許列車通過速度 8km/h，通常用於機廠或停車場區域。



樞軸式道岔主要技術參數如下：

參數	道岔類型	對開	單開、三開	四開	單渡線
活動端固定段與道岔梁最小間距 (mm)		2140			
道岔梁截面寬度 (mm)		690			
道岔梁長度 (mm)		11445	20920	30995mm	2x20920
轉轍角度		6°	6°	2°、6°	6°
轉轍時間 (s)		15以內	15~25以內	15~35以內	15以內
ATO 速度, km/h		5	5	2°位置9; 6°位置5	5
驅動推杆功率 (kW)		3.3	6	6	6*2
鎖定推杆功率 (kW)		2.2		3	2.2*2
控制系統		繼電器控制			
電源		驅動電源: AC380V 50Hz, 控制電源: AC220V 50Hz以及DC24V。			
適用範圍		停車場、機廠			

4. 替換梁式道岔由兩根整體式梁組成，為一直一曲（單開）或兩曲（對開），側股線形為曲線，允許列車通過速度較高，平穩性較好，通常用於正線、出入段線及使用頻率較高的區段。



替換梁式道岔主要技術參數如下：

參數	道岔類型		單開	對開	渡線		渡線
			(圓曲線)	(圓曲線)	(圓曲線)		(緩圓曲線)
曲線半徑 (m)	54	100	100	54	100	69	
限界 (兩根梁中心線最小距離, mm, 直股/側股)	2180/	2180/	2180/	2180/	2180/	2180/	
	2280	2240	2240	2280	2240	2260	
道岔梁截面寬度 (mm)	690						
道岔梁總長 (mm, 至固定段外側)	21650	27450	-	38077	50381	53359	
轉轍量 (m)	2.65		-	線間距5.3		線間距5.6	
轉轍時間 (s)	15						
ATO速度 (km/h)	18	23	23	18	23	20	
驅動推杆功率 (kW)	15	18	18	15*2	18*2	18*2	
鎖定推杆功率 (kW)	4			4*2			
控制系統	PLC控制						
電源	驅動電源: AC380V 50Hz, 控制電源: AC220V 50Hz以及DC24V。						
適用範圍	正線及出入場線						

### 5. 整體型道岔具有以下技術特點

- (1). 道岔梁為一根或二根整體鋼結構梁，結構簡單。
- (2). 替換梁式道岔曲線位由曲梁直接形成，允許列車通過速度高，約在 40km/h 以下。
- (3). 樞軸式道岔梁間夾角較大，允許列車通過速度小，約在 8km/h 以下單節梁尺寸和重量大，不便於運輸和現場安裝。
- (4). 道岔平台一般設於車站前後端，寬度大於軌道面以利布設道岔設備轉轍，實際寬度視採用形式而異，道岔占地面積相對較大，最小約為 14.5 公尺，地形適應能力欠佳。
- (5). 設備系統構成相對簡單，短期維護較為便利。

### 6. 路線設計時可參考以下原則

- (1). 正線採用替換梁式道岔，可選擇替換梁式單開、換梁式渡線道岔等道岔類型。
- (2). 機廠和車場採用樞軸式道岔，可選擇樞軸式單開道岔、樞軸式對開道岔、樞軸式三開道岔、樞軸式四開道岔等道岔類型。
- (3). 出入段及聯絡線可採用替換梁式道岔或樞軸式道岔。當對列車通過速度有要求時，應採用替換梁式道岔。

## 3.2.2 日立單軌系統道岔

### 1. 日立單軌系統關節型道岔

- (1). 關節型道岔可分為可撓式關節型道岔及關節型道岔。
- (2). 可撓式關節型道岔包括單開、對開、單渡線、雙渡線及交叉渡線等。
- (3). 關節型道岔包括單開、對開、三開、五開、單渡線、雙渡線及交叉渡線等。
- (4). 一般正線採用關節型可撓式道岔及關節型道岔，機廠及副線(輔助線)採用關節型道岔。
- (5). 道岔根據在路線上之位置可分為左開、右開或對開。

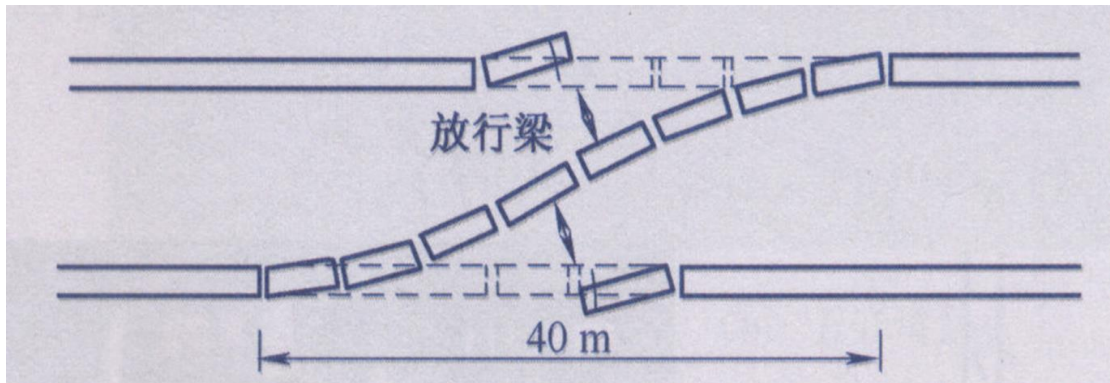
(6).道岔系統為平台系統，並由號誌系統控制並通過控制電路和傳動裝置完成轉轍，一般而言，道岔轉轍時間包括號誌發出、解鎖、轉轍、鎖定、號誌回復等大概在 15 秒內完成。

(7).道岔平台一般設於車站前後端，寬度大於軌道面以利布設道岔設備轉轍，實際寬度視採用形式而異，單開形式最小寬度約為 14 公尺左右，長度大約 25-30 公尺左右，日立單軌系統主要採用關節式道岔。

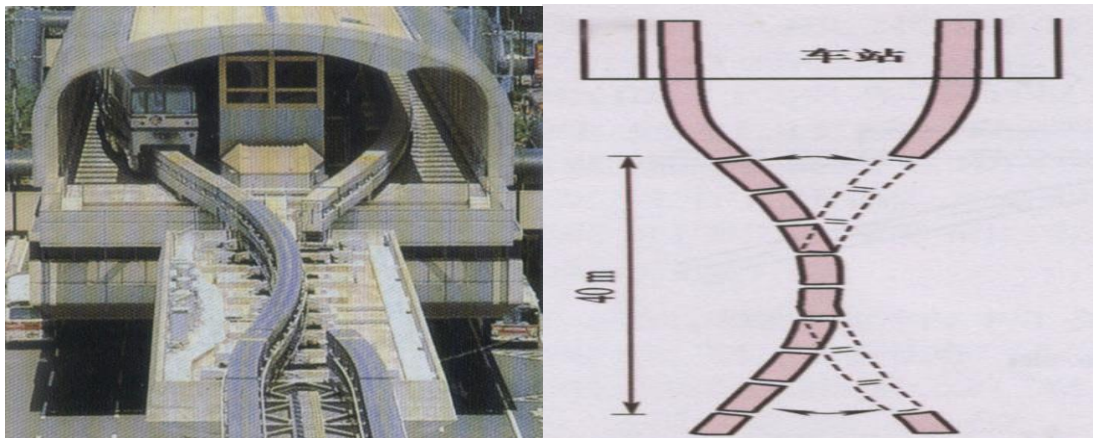


2.日立單軌系統關節型道岔主要有單開、雙開、三開及五開等幾種。依據行車組織設計，組合成單渡線、交叉渡線等多種不同的形式。下面為具有代表性的幾種道岔：

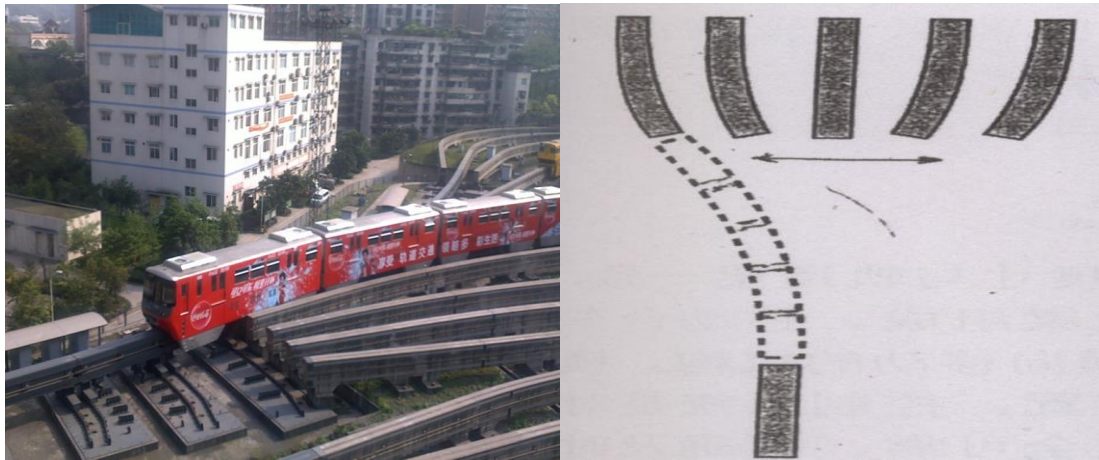
(1).可撓式關節型單渡線道岔：供上下行線間設單渡線使用。道岔區長度約 40m。



(2).可撓式關節型交叉渡線道岔：用於上下行線交叉渡線處，中間兩節短道岔梁為固定式，另有 2 組活動道岔梁，通過不同組合連接，可構成 4 條通路。道岔區長約為 40 m，列車通過速度可達 25 km/h。



(3).關節型多開道岔：道岔用於機廠內行車線與多條停車線的連接。根據連接路線的多少，道岔採用單開、雙開、三開或五開形式，道岔區長度一般為 25 ~30 m。



3.關節型道岔主要技術參數如下：

項目	單開		雙開		三開	五開	單渡線		X 渡線	備註
	圖式	性能	圖式	性能	圖式	性能	圖式	性能	圖式	
示意圖								間距 3.7m		
類型	關節可變型	關節型	關節可變型	關節型	關節型	關節型	關節型	關節可變型	關節可變型	
全長 (m)	22	22	22	22	30	30	43.8	43.8	44	寬 0.85×高 1.50
車輛側向通過速度限制 (km/h)	25	15	25	15	15	15	15	25	25	
道岔組合 (節組)	4	4	4	4	5	5	2×4	2×4	2×4	
道岔梁結構	鋼梁桁架形	鋼梁桁架形	鋼梁桁架形	鋼梁桁架形	鋼梁桁架形	鋼梁桁架形	鋼梁桁架形	鋼梁桁架形	鋼梁桁架形	
推動機構	齒輪齒條	齒輪齒條	齒輪齒條	齒輪齒條	齒輪齒條	齒輪齒條	齒輪齒條	齒輪齒條	齒輪齒條	
側置可曲裝置	有	無	有	無	無	無	無	有	有	
開閉方式	氣動	氣動	氣動	氣動	氣動	氣動	氣動	氣動	氣動	柱銷強制壓入
移動動力 (台)	4	4	4	4	5	5	2×4	2×4	2×4	電動機
轉動時間 (s)	15	15	15	15	15-33	15-33	15	15	15	

4.關節型道岔具有以下技術特點

- (1).道岔梁由數節鋼梁組成，各節梁之間鉸接連接。
- (2).岔梁間夾角較小，允許列車通過速度較高，約在 25km/h 以下。
- (3).單節梁尺寸和重量較小，便於運輸和現場安裝。
- (4).道岔形式多樣，便於路線總體選型設計。
- (5).道岔占地面積較小，道岔平台一般設於車站前後端，寬度大於軌道面以利布設道岔設備轉轍，實際寬度視採用形式而異，寬度最小約為 14 公尺左右，長度約為 25-30 公尺左右，能適用於不同地形。
- (6).技術成熟，設備故障少，設備可靠性高。
- (7).設備系統構成稍顯複雜，維護頻率較高。

#### 5.路線設計時可參考以下原則

(1).正線採用的道岔類型可為關節型單開道岔、關節型單渡線道岔、可撓式關節型單開道岔、可撓式關節型單渡線道岔。正線折返線道岔應採用可撓式關節型道岔，存車線、停車線、避讓線宜採用關節型道岔。

(2).機廠、出入段及聯絡線宜採用關節型道岔。機廠採用的道岔類型為關節型單開道岔、關節型單渡線道岔、關節型三開及關節型五開道岔。出入段及聯絡線採用的道岔類型為關節型單開道岔、關節型單渡線道岔。

(3).出入段及聯絡線在與正線接軌處當營運速度有要求時宜採用可撓式關節型道岔，此時採用的道岔類型為可撓式關節型單開道岔和可撓式關節型單渡線道岔。

### 四、 結論與建議

1.跨坐式單軌系統可分為單軸轉向架及雙軸轉向架單軌系統，其中具有代表性之系統為龐巴迪 INNOVIA300 型單軸轉向架單軌系統及日立雙軸轉向架單軌系統，跨坐式單軌系統核心技術主要為車輛、軌道梁及道岔三大核心技術，三大核心技術各有其優缺點可供參考。

2.跨坐式單軌捷運系統具有以下特色：路線彈性高、軌道結構輕巧、施工快速、成本經濟、環境友善、車輛種類編組具彈性、系統載客容量範圍廣、具設計彈性等優勢，雖系統供應廠商多，但仍具獨特專利性，因此在系統建置時，必須針對工程、營運維修及後續路網相容、採購等加以規範，以免讓系統廠商予取予求，同時應考慮技術移轉及國產化等相關問題，讓單軌系統能在台灣真正落地。

3.採用跨坐式單軌系統，環境噪音污染較小；占地面積不大，造價較低，垂直空間佔用較少，道路不會過於擁擠；外型與運輸方式不同於台灣現有大眾運輸系統，是個新穎的系統，可成為城市的地標，具有觀光及運輸效果。

4.台南捷運初步建議採用跨坐式單軌系統，因此對於單軌系統之特性、技術、造價等應加以了解，筆者以多年在中國大陸及台灣之軌道交通經驗，僅粗淺就單軌系統相關技術資料，將標準車型之單軸轉向架龐巴迪 INNOVIA300 型單軌系統及雙軸轉向架日立單軌系統之核心技術-車輛、軌道梁及道岔進行分析比較，提供做為台南及台灣各都市有意採用跨坐式單軌系統之參考比較。

### 參考文獻資料

林忠正(2021年7月21日)，「軌道交通前沿」，全華圖書公司。

林忠正(2017年12月)，「從單軌捷運系統談跨坐式單軌捷運核心技術」，中華民國運輸學會2017年年會暨學術論文國際研討會

中國城市軌道交通協會單軌分會(2019年3月),「中國單軌交通發展研究報告(2018)」,城市軌道交通協會  
都市運輸觀點(2023年6月21日),「曼谷捷運黃線通車」,facebook  
重慶軌道交通產業投資公司  
中鐵工程設計諮詢集團公司  
中車浦鎮阿爾斯通運輸系統公司  
日立軌道交通號誌系統公司  
林同棧國際工程諮詢(中國)公司