

隧道工程

軌道交通建設為配合線型規劃及現地施工環境等需求而納入隧道配置，一般隧道設計包括潛盾隧道及山岳隧道，茲說明如下。

1. 隧道設計

(1) 隧道斷面考量

本工作潛盾隧道斷面主要為依下列項目進行設計：

- A. 系統標提供之靜態包絡線、動態包絡線、相關機電設施、軌道型式等設施空間。
- B. 安全輔助設施
安全走道乃為隧道逃生、避難及維修而設置，其寬度 550mm。
- C. 其它服務設施
包括消防、排水、電力、通訊、號誌與照明等服務設施，這些設施設置於隧道內車輛包絡線以外之剩餘空間。
- D. 安全淨距
為隧道斷面需求的一種額外安全考量，當車輛在確定的軌道型式、集電方式下行進時，車輛包絡線應與其他服務設施、安全走道包絡線、隧道內壁結構等保持一安全間距，以避免一些不可預期的碰撞發生。
- E. 施工誤差
隧道施工誤差控制設定在 100mm 以內。

機場捷運工程隧道斷面經綜合上述因素後，訂出最小隧道內部直徑為 5.6m。隧道斷面依直線段、曲線段及經過塔台管制區設置浮動式道床等三種斷面如圖 3-1-2-30~33。

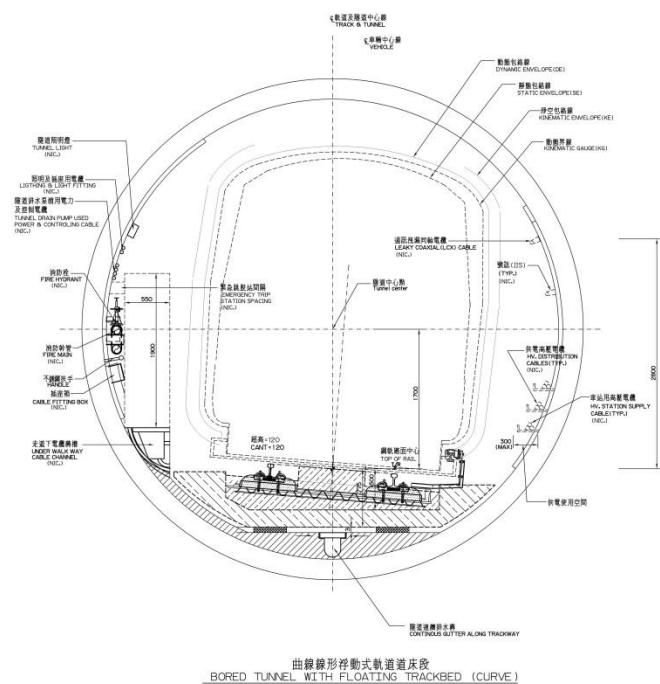


圖 3-1-2-32 曲線線形浮動式軌道道床段

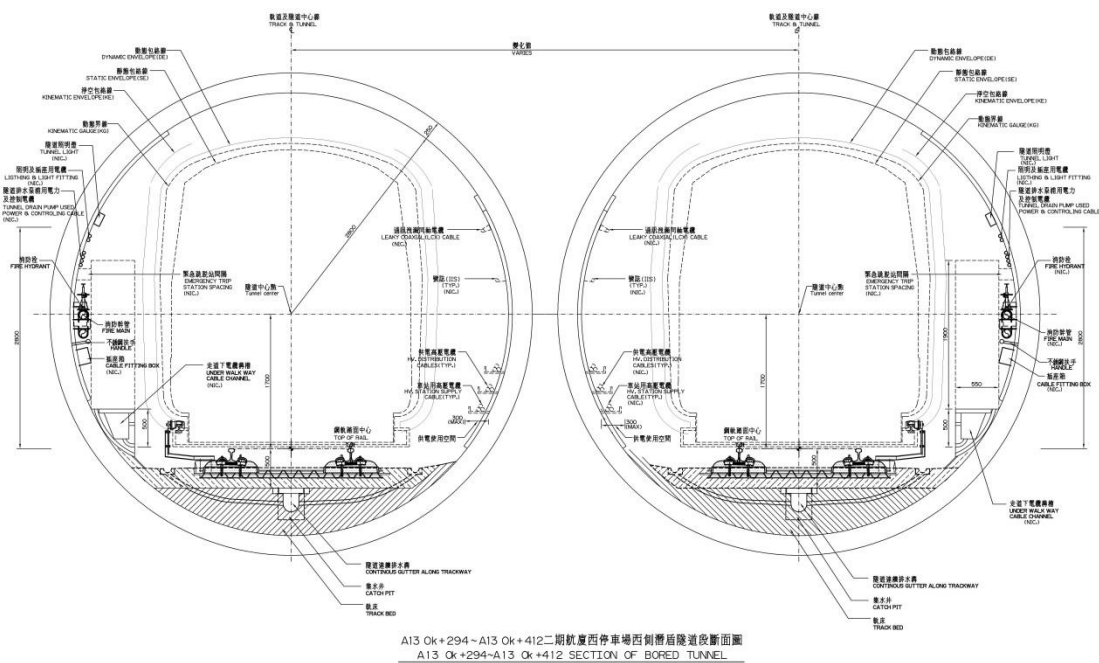


圖3-1-2-33 A13 0k+294~A13 0k+412二期航廈西停車場西側潛盾隧道段斷面圖

(2) 潛盾隧道設計

潛盾隧道一般適用於都會區軌道工程土層隧道設計，如台北捷運、機場捷運等。一般隧道斷面採用圓斷面，以機場捷運為例標稱內徑為5600mm，其鋼筋混凝土環片於潛盾機盾殼後段立即組裝而成，由三片A型環片、一片B型環片、一片C型環片及一片K型環片組合而成，如圖3-1-2-34所示。A型為標準環片，K型為梯型環片，B、C兩型與K型相接處為斜邊，而與A型相接處為垂直邊，環片內側設螺栓槽、螺栓孔，以供A307螺栓將上述環片組合聯成一環，環與環間亦以A307螺栓結合，組合時相鄰環節交互旋轉 36° ，形成環片交錯配置，相對地增加隧道剛度，以避免因接點不交錯而形成共線弱點。環片間隙皆置水膨脹性橡膠填封條封住滲水，避免接合處之漏水，並貼附合成橡膠接頭襯墊，以利潛盾機之千斤頂推力的傳遞，標準圖環片襯砌型式基本資料如表 3-1-2-21所示。

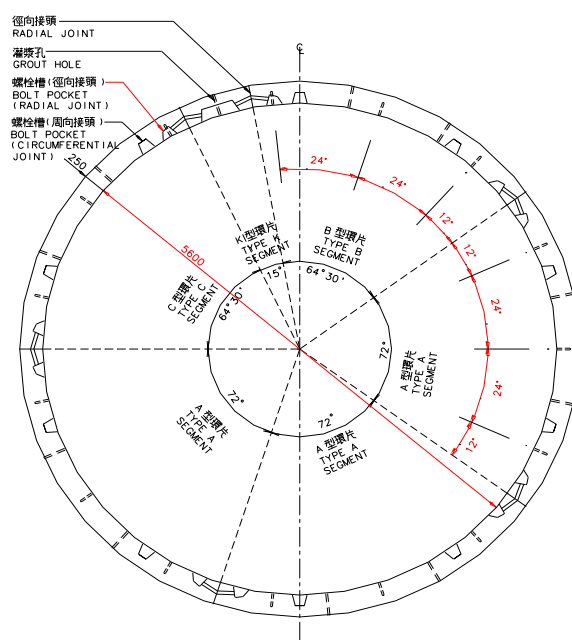


圖 3-1-2-34 環片襯砌組合標準斷面圖

表 3-1-2-21 標準圖環片襯砌型式基本資料

襯砌基本資料	說明	備註
襯砌厚度	250mm	
襯砌長度	1000mm	
接頭個數	6	
A 型環片角度	72°	
B 型環片角度	64.5°	

襯砌基本資料	說明	備註
C 型環片角度	64.5°	
K 型環片角度	梯型 15° 平推式	
螺栓型式	A307 M22 弧形螺栓	
接頭承壓長度	141mm	
背填灌漿孔徑個數	φ 58mm×11	
外部塗料	0.3~0.5mm 環氧樹脂柏油漆	
隧道管線吊架	預埋 M12 螺栓座×15	
混凝土強度	42N/mm ²	
接頭襯墊	3mm 周向及 2mm 徑向合成橡膠接頭襯墊	
接頭止水條	水膨脹性橡膠止水條	

(3)山岳隧道設計

A. 隧道斷面

為符合交通運輸功能及維修作業需求等條件下進行山岳隧道斷面設計，軌道工程山岳隧道之內空斷面將視軌道淨空需求、維修佈道空間需求、排水佈設、防災設備之佈設、轉彎半徑加寬量、超高加寬量、通風及照明附屬設備等因素而擇定，以採用近似圓形之最小斷面來達到最符合力學性質及最經濟實用斷面為原則。以機場捷運工程之功能需求為例，隧道行車淨空之設計高度為 3.8m，設計淨寬為 3.3m，維修步道之無礙寬度及高度各為 0.55m 及 1.9m。圖 3-1-2-36 及圖 3-1-2-37 即為本工程直線段擬定之直線段及曲線段隧道斷面示意圖。

B. 隧道襯砌

山岳隧道內襯砌設計須考量全部外襯砌所承擔之載重，若採不排水設計，除內襯砌外，須承擔全部地下水壓力，依地質調查地下水位之資料進行評估，一般內襯砌設計水壓，參酌以往設計慣例，採用頂拱上5m之靜水壓力。除水壓外，內襯砌將承擔全部外襯砌所承擔之載重，仰拱底鋪設防水膜後需組立鋼筋，設置5公分混凝土以保護仰拱處之防水膜。

C. 隧道內連絡通道配置

考量於隧道內發生緊急事故時之逃生救災功能，需設置聯絡通道連通隧道之上下行線，以提供緊急事故發生時人員逃生及救災等相關工作之行進路徑。機場捷運青山段採用之聯絡通道斷面及相關配置等，詳如圖 3-1-2-38。

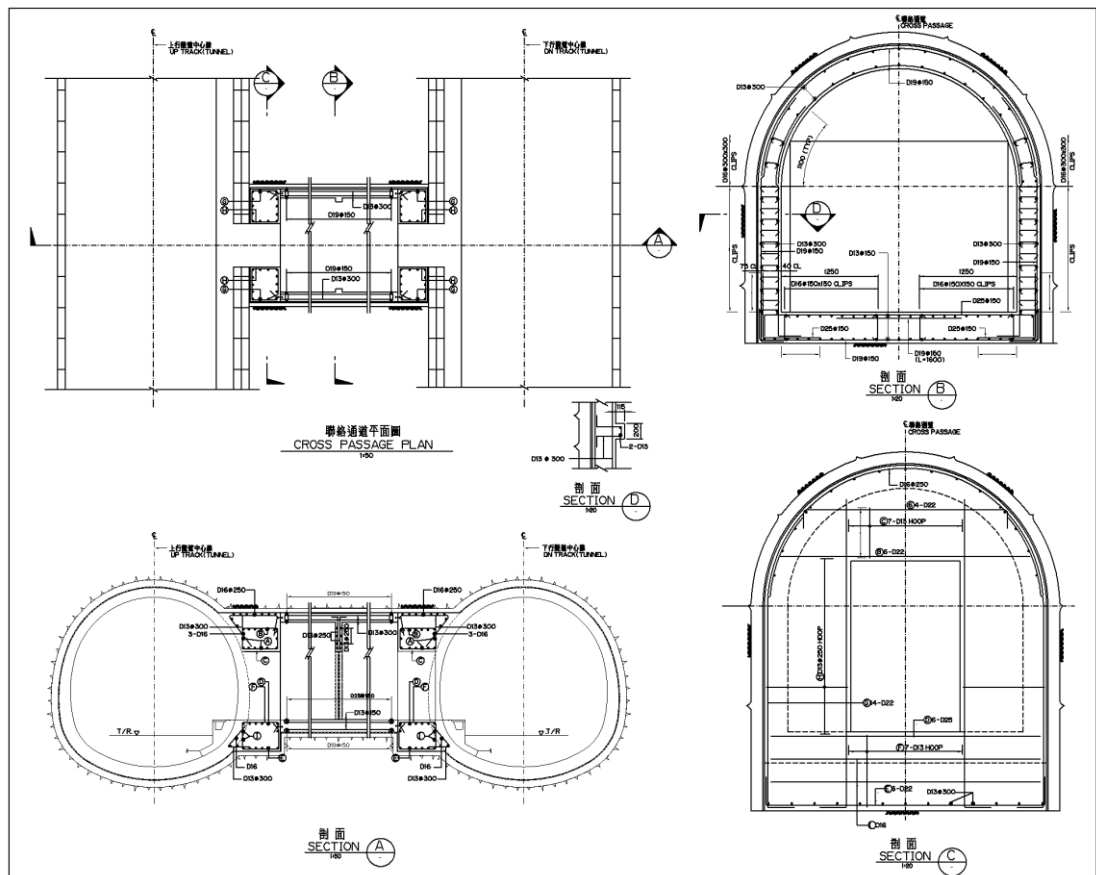


圖 3-1-2-38 聯絡通道詳圖

2. 隧道施工

依據現地施工環境及地質情況等因素採用適合施工方式，一般隧道施工方式潛盾隧道會採用潛盾機施工，如台北捷運及機場捷潛盾隧道施工；山岳隧道施工方式採 NATM 工法設計 NATM 工法及機械開挖，如 Road-header、TBM 等隧道鑽掘機具。

(1) 潛盾隧道

潛盾隧道施工一般係依據地質情況選擇適合的潛盾機具，以機場捷運工程為例，潛盾機施作主要地層為卵礫石層，局部路段如A11至A12車站間可能會遭遇大南灣砂岩層。地下水位位於地表下2~9m左右。因本標卵礫石層透水係數較大，且地下水位較高，為顧及施工安全性，原則上採密閉型潛盾機型，綜合比較不同機型之潛盾機特性如下：

A. 圓盤型切刀盤的圓(dome)型潛盾機(圖3-1-2-39)

(A) 圓盤型切刀盤為岩盤破碎TBM而開發的，整個斷面為岩盤時，掘進技術效率高。礫石層時，由於礫石會轉動，無法保持充分的反力，掘進花費時間多，滾輪式切刀盤易發生早期磨損及迴轉不良而造成的偏磨損，替換需花費相當高的費用及時間。

(B) 工法可分為土壓式及泥水式。土壓式情形下，開挖後餘土有可能在土倉裡凝結，因此作泥材的材料選擇、灌注方式及土倉內土壓的挖掘管理需非常注意。泥水式情形下，為輸送泥水，挖掘後的石片碴料有可能會造成排泥管的磨損及破壞。

採用此工法需對礫石的大小、大礫石的含有率、礫石的強度、礫石之間土砂的性質、地下水水壓等等有充份考慮及計畫。且在計畫滾輪式鑽頭及配管材料等的替換零件時，也需考慮到其替換費用。



圖 3-1-2-39 圓盤型切刀盤的圓(dome)型潛盾機

B. 礫石對應型泥土加壓潛盾機(圖3-1-2-40)

輪輻型切刀盤裝備耐久性高的鑽頭，較大礫石可直接穿過螺旋排土機。

- (A) 為了將礫石排出，一般螺旋排土機多採用無軸式。高水壓的情況下可能會有噴出現象，無法保持開挖面的土壓之問題，故亦可見有軸式及無軸式的併用型。
- (B) 無破碎較大礫石的機構，故以原狀處理，從可裝備的螺旋排土機的寬度來看，有500mm以上的礫石的情形下，無法以一般的掘進狀態來處理。若礫石的最大直徑在500mm以下時，能預期掘進速度將比上述的圓型潛盾機來得快。以一般條件而言，不需採用補助工法。

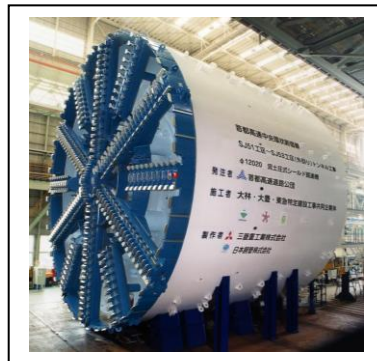


圖 3-1-2-40 礫石對應型泥土加壓潛盾機

C. 開放型潛盾機(圖3-1-2-41)

- (A) 潛盾機前面無隔艙，直接在開挖面挖掘的方式，當潛盾直徑大時，需要裝備油壓挖土機。
- (B) 開挖面需設置棚架及防止崩壞的結構以供緊急時所需，亦需設置安全門。
- (C) 藥劑灌漿工法、壓氣工法、深井工法等可做為湧水量多時的補助工法。若有大尺寸礫石是較易於處理的。湧水量多、高崩塌性的地盤，則需以地盤改良及降低地下水位做為有效的補助工法。



圖 3-1-2-41 開放型潛盾機

D. 卵礫石潛盾機施工主要課題與對策

表 3-1-2-22 卵礫石潛盾機施工主要課題與對策

項次	主要課題	對策
1	掘進速度提昇	儘量不要打碎卵礫石，使大卵石可直接進入機內排除之結構，可減少切刀磨耗及提昇速度。 螺運機之大口徑化。 採無軸之帶式螺運機，將可排除之礫徑大型化。
2	提昇切刀之耐久性，並降低更換次數	前述項次1之對策係提昇切刀耐久性之有效方法。 採用不同功能之切刀，並採高低差配置，以延長切刀之壽命。 強化各種不同型式切刀之耐磨耗性。
3	其他	採 Semi-Dom 型之面板型式(介於軸輻型與面盤型之間)。 強化切削軸輻(面板)之耐磨耗性。 強化切刀之安裝結構強度。 更換切刀之容易化。 採二段式螺運機以強化止水功能。

E. 卵礫石潛盾機型選擇注意事項

潛盾機可採具有開口寬度之面盤，開口可容許較小卵礫石可不經磨碎，直接進入螺運機排除，較大卵礫石必須經切刀磨碎後排除，以限制進入機內土倉之卵石大小，防止螺運機的阻塞。無法進入機內之卵石必須磨碎，為了有效磨碎無法進入機內之卵石，應配備碟式切刀(disc cutter)。為防止切刀之磨耗，應配備滾動切刀(roller cutter)及強化 shell bit。

- (A) 為防止卵石夾住面盤造成鎖死(lock)效應，潛盾機扭矩(Torque)之設備能量宜取較大值。卵礫石層切削盤驅動扭矩宜採比一般土層潛盾機的1.5~2倍。
- (B) 潛盾機之滾動切刀(roller cutter)必須具有更換功能。
- (C) 由於隧道位於地下水位以下，螺運機排碴口需考慮噴發防止對策。
- (D) 配備壓氣工法所須設備，以利排除障礙物或確認土倉內狀況時之需求。
- (E) 考慮土壓、水壓、施工距離、背填灌漿壓力等，盾尾封層採用3段式鋼刷(wire brush)，並加裝潤滑油補注裝置。

表 3-1-2-23 卵礫石潛盾機型選擇

項目	開放型潛盾機	密閉型潛盾機
工法特性	● 開挖面以人工或半機械開挖。 ● 卵礫石、孤石及岩塊等障礙物容易排除。 ● 地下水位高、無法維持開挖面自立性時，必須大幅採用壓氣工法、藥液灌漿工法或降水工法輔助。 ● 配合輔助工法下，施工期長、費用增加龐大。 ● 可能產生較大之地沉陷及災害範圍，對於建物產生危害。	● 以切削盤切割開挖面地盤。 ● 一般情形下，原則上可不需採用壓氣等輔助工法。 ● 地下水位高時，開挖面安全性及施工性佳。 ● 大顆粒之卵石須事先加以排除或予以破碎處理。
工率	無地下水情形下約 6~8 m/日	平均約 4.5 m/日
工程費用	低水位情形，無需搭配輔助工法時，工程費用較密閉型低，本計畫多為高水位情形，推估其工程費相對會較高。	低水位情形，工程費用較開放型高，惟高水位時，其費用相對較低。

F. 大南灣層適用之潛盾機械

本層屬未固結之粉土質砂岩，強度較低，但部分區段夾有卵礫石層，且出發段必須立刻開挖砂礫層，可採用Semi-Dom型潛盾機。

(2) 山岳隧道

A. 新奧隧道工法(NATM)工法

隧道施工工法若為新奧隧道工法(NATM)施作，一般可採鑽炸或機械開挖方式施作，如北二高隧道群及機場捷運青山段(A6~A7)隧道。

B. TBM工法

長隧道施工時，為加速工施工進度，一般會採用隧道鑽岩機及台車出土方式施作，如北宜隧道。