



# 馬來西亞 SMART 隧道工程

俞旗文

中興工程顧問社 大地工程研究中心副經理

## 前言

馬來西亞吉隆坡向來承受市區交通擁擠、暴雨洪水等問題為患，這似乎也是一些東南亞地區國家的首都長期以來的通病。為有效改善，首都政府接受了兩家馬來西亞的工程公司(MMC Berhad 與 GAMUDA Berhad)的建議，推動兼具防洪與道路交通功能的大型隧道工程(SMART 計畫)。價值馬幣 19 億 3 千萬元(約新台幣 100 億元)的 SMART 計畫的防洪隧道，位置就在吉隆坡市中心的金三角鬧區東南側，其設計理念頗為新穎且甚具創意，工程自 2003 年 1 月開始進行，目前施工已完成，並於去(2007)年中派上用場，特以此文加以介紹。

SMART 代表 stormwater management and road tunnel 的英文縮寫。對馬國政府而言，由於一年之中暴雨引起洪水為患總是短暫現象，因此若興建此防洪隧道，不但能於汛期暴雨洪水侵襲時，有效進行首都的防洪工作；非汛期大多數時間，則可用以解決吉隆坡交通擁擠問題，應該是極具效益的作法。防洪隧道與交通運輸隧道共構，在世界隧道史上堪稱首例，因此引起世人關注。由於

工程完成後的雙重功能，使政府公共支出經費大幅縮減，因此上述兩家工程公司也獲准取得將來隧道內道路段的交通收費特許權(concession)，可說是取得雙贏的局面。

本工程業主是馬國政府公共建設部(JPS)、水利部(DID; Drainage and Irrigation Department)，與公路總局(LLM; Highway Authority)。原始計畫推動者 MMC Berhad-Gamuda Berhad 聯合承攬體(MMC-Gamuda JV)，不但成為工程主承包商，並取得將來道路段交通收費特許權，也因此另成立一家 SMART Sdn Bhd 公司，成為將來實際運作交通收費的單位。設計與監造顧問由馬來西亞本土的 SSP(Sepakat Setia Perunding)與英國 Mott MacDonald 共同承擔。

## 工程特色

馬來西亞 SMART 防洪交通雙用隧道為南北向，全長大約是 9.7 km，隧道開挖斷面直徑達 13.26 m，隧道內部淨直徑達 11.83 m，主要工程結構物如下表所示：

主要工程或結構物	Main Project Components
Klang 河進水工	River Klang offtake structure
Klang 河導水堰	River Klang diversion weir
進水緩衝池	holding pond
隧道進水工	tunnel inlet structure
9.7 km 雙用隧道	9.7 km, 11.8 m internal dia. bored tunnel
緊急逃生通道	emergency escape passages
北端公路引道設施	north ingress/egress road box ramps
北端聯通箱井	north junction box
北端通風豎井	north ventilation shaft
南端通風豎井	south ventilation shaft
南端聯通箱井	south junction box
南端公路引道設施	south ingress/egress road box ramps
隧道出水工	tunnel outlet structure
出水緩衝池	attenuation pond
雙洞輸水箱涵	twin box culvert
Kerayong 河出水工	River Kerayong outfall structure

圖 1 所示為 SMART 計畫路線與主要的工程結構物的平面分布。隧道的中段，亦即由北端聯通箱井到達南端聯通箱井，長約 3 km 的隧道長度，設計成雙層結構(upper and lower decks)，可供上下層、雙向、各雙車道的交通運輸功能，詳見圖 2；通車隧道南北端利用公路引道設施方式，可銜接市區既有交通道路系統。

完工後雙用隧道操作方式分為三種模式，各模式情境模擬狀況，請參見圖 3。第一種模式係當隧道於非雨季時，隧道內近乎全乾，因此 3 km 的通車隧道，可進行正常交通道路運輸功能；第二種模式係當隧道於雨季時，隧道上游端與下游端均為雨水侵入，但通車隧道下方可正常疏通雨水，而通車隧道仍可進行正常交通道路運輸功能；第

三種模式係當隧道於暴雨汛期時，關閉通車隧道，停止通車，洪水由高水位的 Klang 河(與其支流 Ampang 河)經進水緩衝池導入後，啟動隧道防洪功能，視狀況將洪水經出水緩衝池與雙洞輸水箱涵，導入低水位的 Kerayong 河。

### 地質與開挖問題

SMART 隧道施工分南北段進行，南段隧道實際長度 4.1 km，北段隧道實際長度 5.2 km。隧道地質剖面圖，詳見圖 4。隧道通過具喀斯特地形特徵的石灰岩(Karst limestone)，其單壓強度約在 60 至 100 MPa；石灰岩上方近地表覆蓋甚淺僅約 10 至 20 m，為第四紀沉積物，包括鬆散粉土質砂土，泥炭，並局部混雜昔時採錫礦的殘留尾渣，沉積物

厚度平均在 4 至 5 m 之間。由於石灰岩與上覆沉積物接觸面起伏不定，且石灰岩中有間歇夾雜花崗岩脈的情況，開挖通過時，TBM 開挖面經常因岩土材料的不斷變化而有壓力浮動或突降現象。地下水離地表平均在 1.5 至 2 m，此地石灰岩透水性並不高，然而石灰岩與上覆沉積物間的高度導水性，在某些開挖擾動區，曾造成數百公尺外的地下水位受到影響而下降。隧道中段的開挖面大部分於石灰岩中開挖，遭遇許多喀斯特地形特徵；隧道南、北段兩端開挖面大部分則是遭遇鬆軟的土層或岩土混雜材料。

為克服石灰岩與岩土混雜材料中的開挖問題，本計畫使用了兩部德國 Herrenknecht 公司生產的泥水加壓式隧道 TBM 潛盾機(mix-shield slurry TBM)進行開挖，潛盾機規格詳見照片 1。特殊設計的雙層轉動刀切削頭(double rotational head)得以順利於岩石、土層、岩土混雜段，完成開挖直徑達 13.26 m 的隧道斷面。圖 5 所示為 TBM 潛盾每一循環中，前進開挖與預鑄混凝土環片支撐的前進過程。隧道全斷面直徑達 11.83 m，每輪環片支撐需使用主環片 6 片，加上兩片調整環片(counter key)，與一片樺環片(keystone)組合而成；環片厚度為 50 cm、每輪縱向長度 1.7 m。

### 工程進度

2006 年底前，已完成整體工程進度的 92%。北段隧道最前段約 0.7 km，於

2004 年 6 月開始，由近隧道中點位置的北端通風豎井處，如照片 2 所示，以綽號"Tuah"的 TBM 向北發進至北端聯通箱井，此段開挖於 2004 年 12 月完成(照片 3)。緊接著於 2005 年 3 月開始，重啟 TBM 向北繼續朝最北端緊鄰 Klang 河的進水緩衝池(holding pond)發進，開挖所剩隧道長度 4.7 km，於 2007 年 3 月完成。

南段隧道比北段隧道約晚三個月(2004 年 9 月)開始，亦由北端通風豎井，以綽號"Gemilang"的 TBM 南向開挖，先後通過兩處豎井，包括南端通風豎井、南端聯通箱井，於 2006 年 4 月完成。

圖 6 所示為 Gemilang TBM 潛盾機自發進後約 32 週，每週開挖進度的統計結果，最快每週進度達 104 m。整體工程，包括 9 處交岔道(cross passage)、雙層道路底板(road decks)與路面工程(照片 4)、豎井結構均已完成。銜接區域道路系統的引道設施結構與收費亭，均已完成；機電工程(M&E)部分 2007 年中完成。2007 年 7 月汛期啟動 SMART 隧道防洪功能。

### 參考文獻

1. Klados G., Kok Y. H., Parks D. R. and Tavender D.T. (2007) " Stormwater management and road tunnel (SMART)", Proceeding World Tunneling Congress 2007, Vol. 2, pp. 1183-1189.

2. Tunnel and Tunneling International, "A Special Supplement on SMART Project ", May 2005.
3. 網址<http://www.smarttunnel.com.my/home.htm>.
4. 「視覺中國」網址[http://static.chinavisual.com/storage/contents/2007/02/07/32114T20070207094617\\_1.shtml](http://static.chinavisual.com/storage/contents/2007/02/07/32114T20070207094617_1.shtml).



圖 1 馬來西亞吉隆坡 SMART 計畫路線圖

(資料來源：參考文獻 3.)



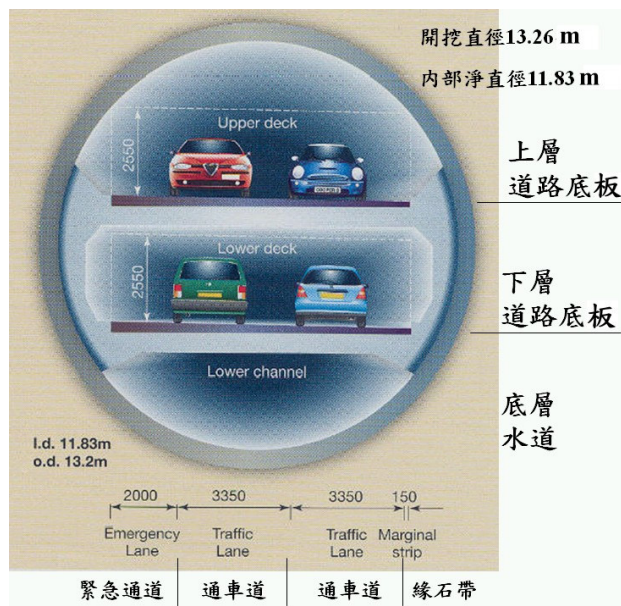


圖 2 SMART 隧道雙層結構設計 (資料來源：參考文獻 3.)

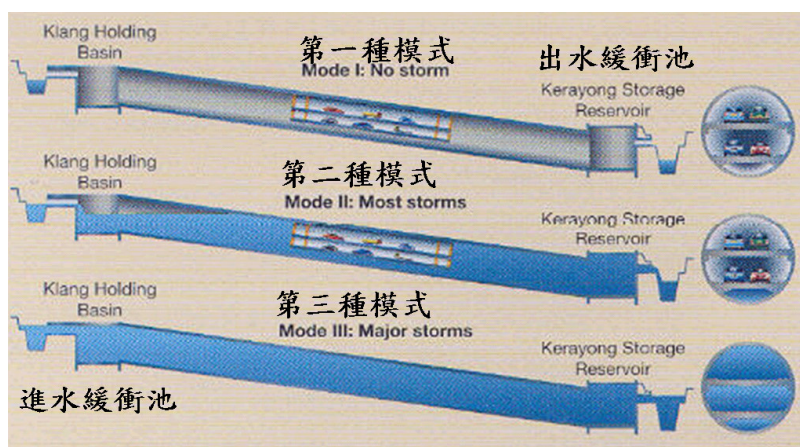


圖 3 雙用隧道三種操作模式 (資料來源：參考文獻 3.)

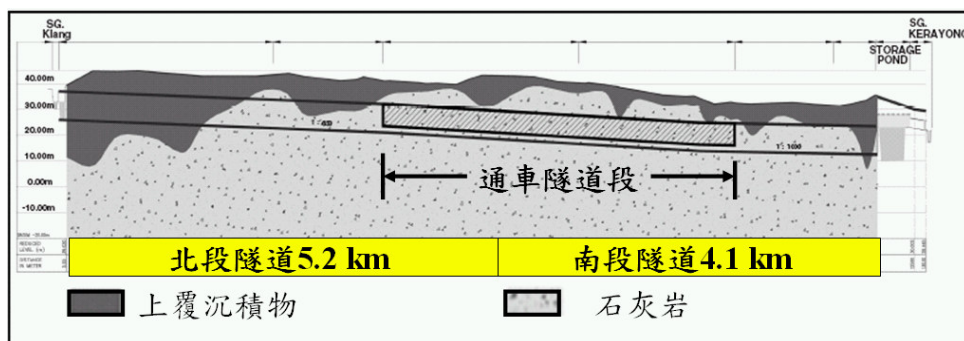
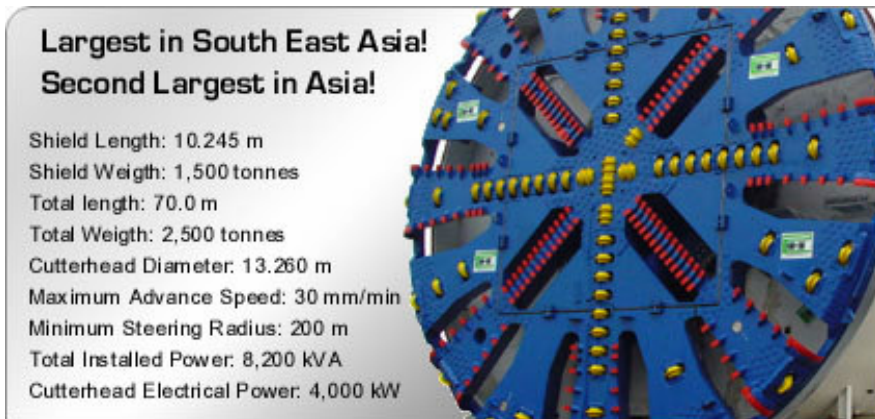


圖 4 隧道地質剖面圖 (資料來源：參考文獻 1.)



照片 1 泥水加壓式隧道 TBM 潛盾機 (資料來源：參考文獻 2.)

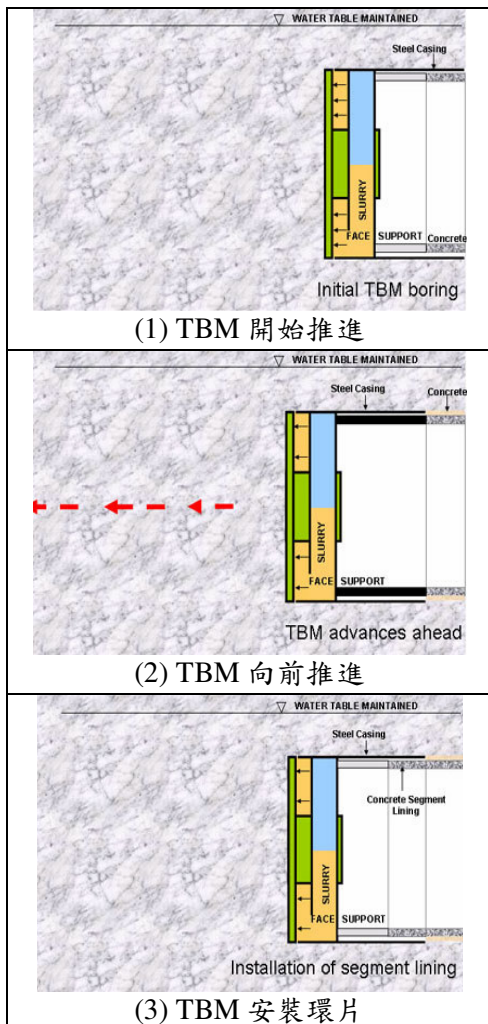
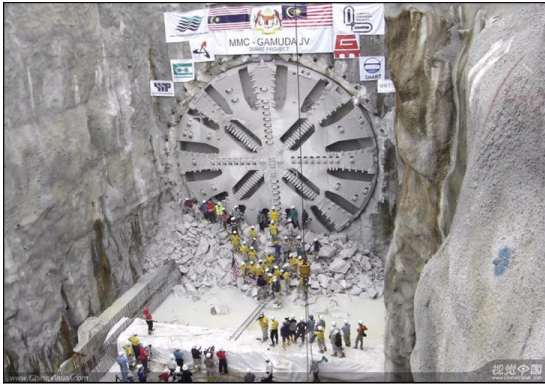


圖 5 TBM 潛盾機開挖三部曲  
(資料來源：參考文獻 3.)



照片 2 尺寸為 140 m 長、30 m 寬的北端通風豎井內，已安裝完成的兩部 TBM 與其後援系統。  
(資料來源：參考文獻 2.)





◀ 照片 3 北段 Tuah TBM 潛盾機破鏡現場  
(資料來源：參考文獻 4.)



◀ 照片 4 雙層道路底板施工現場  
(資料來源：參考文獻 4.)

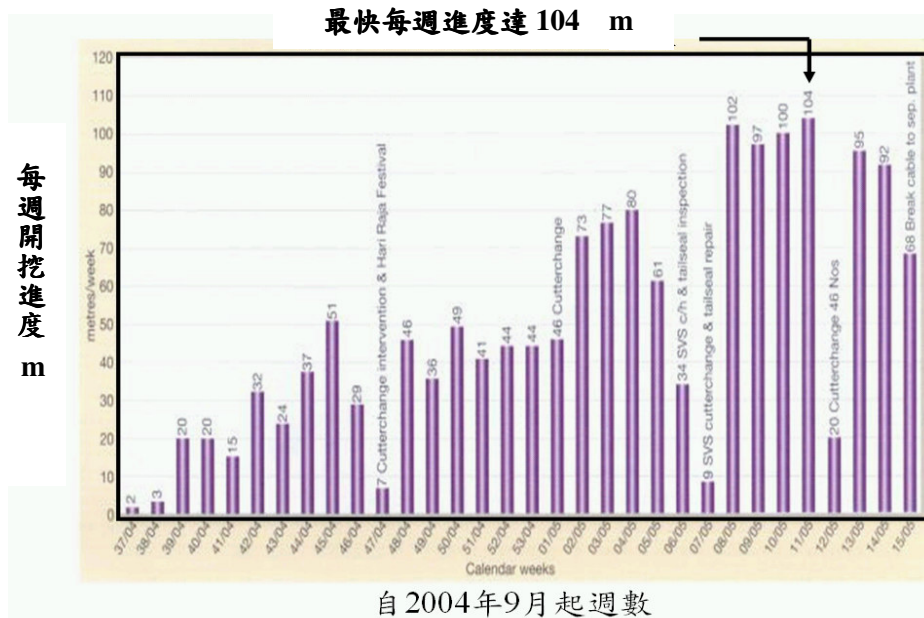


圖 6 TBM 潛盾機每週開挖進度統計圖

(資料來源：參考文獻 2.)