

降低成本、環境和施工影響： 隧道設計可持續發展的方向

黎錦雄 《lai.steven@pbworld.com；+852-2963-7625》
陳兆根 《alexchan@atihk.com；+852-2881-6587》

作為工程師，我們知道我們需要在規劃、設計與分析方面有豐富的專業知識，才能令項目達到可持續發展目標。隧道設計就是一個例子：有效的設計可以為經濟、社會以及環境帶來效益。本文作者討論了可持續發展的隧道設計的幾個元素，使隧道成為可持續發展項目的可行方案。

本文的網上英文版本另外討論了以下幾點：(1) 適當的隧道通風設計能減少沉管隧道的體積，(2) 採用施工橫坑可以優化隧道的斷面，以及 (3) 在有工地限制時利用臨時豎井可以幫助設計達到可持續發展。詳情請參閱：

http://www.pbworld.com/news_events/publications/network/issue_59/59_14_chan_tunnel_design.asp

隧道一般比橋樑和地面的結構昂貴，因此儘管它有更能持續發展的條件，但仍然可能因為成本的考慮而不被採用。在文中我們探討了幾種不同形式的、成本低且效果好的隧道通風設計。這些設計可以為隧道提供更多可行方案，特別是要求可持續發展的項目。因為從項目的使用週期來看，隧道對環境和社會的長遠效益往往可以超越初期高昂的成本。

公路隧道：使成本與環境影響減至最低

隧道通風系統

一般來說，隧道通風系統可分為 3 種主要型式：縱向，半橫向與全橫向。

以新加坡全長 15 公里的地下道路系統作為例子，其雙向雙線車道設計的環形隧道環繞新加坡的商業中心區，共有 17 個地下入口和 16 個地下出口。栢誠是整個項目的概念設計諮詢顧問。作為可持續發展的設計，栢誠推薦了一個有定點排風的縱向綜合系統。在一些策略性選址的通風大樓內配備了便於檢查與維修的軸流式風機。進風通過一個 Saccardo 噴嘴，以固定速度按交通流量方向射入每段隧道，使之形成縱向氣流，在下一個通風區的起點前排出。這個概念除了能顯著地節約初期投資（2 億美元）以外，還利用車輛的活塞效應，使隧道自行誘導通風，從而降低能量的消耗和運行費用。

工地限制

在人口稠密的市區建造隧道往往十分困難，特別是位於軟土和很接近地面的隧道。在這些情況下重疊隧道可解決土地問題。澳洲悉尼市的東部分流幹道便是一例。該幹道長 6 公里，包括一條 1.7 公里長的主要隧道和 600 米長的Dacey Todman 地下道（見圖 1）。栢誠負責該項目的隧道通風設計。



圖 1 東部分流幹道的重疊隧道設計

受地面空間限制的主要隧道設計採用創新的雙層方案，每層各有雙向三線車道，以傾斜入口和傾斜出口連接。由於在峒口處有非常嚴格的環保要求（廢氣排量必須為零），所以在靠近兩個峒口處各建造一座通風大樓，以排出隧道內的廢氣，然後將廢氣垂直地高速排到大氣中。這是悉尼市主要的可持續發展項目之一，因為它利用了一條狹窄的走廊連接人口稠密的北悉尼市和南悉尼市，並且在峒口排放最少量的廢氣，維持了附近地區的良好空氣質素。

通風大樓的位置

栢誠是香港 3.8 公里長的大欖隧道的機電項目設計者。該隧道是全世界最長的雙向三線車道隧道。兩座通風大樓（兩端峒口各一座）共安裝了 24 台軸流式進風機和 15 台軸流式排風機。設計採用了半橫向通風系統，在隧道長度的 1/4 與 3/4 處各設定點排氣。下列的特點能節省成本，亦令施工過程縮短了十二個月：

- 在交通限界上方拱頂空間加建混凝土板，用作通風管道。
- 在隧道長度的 1/4 與 3/4 處設定點排氣，以減少峒口的廢氣排放。
- 由於隧道位於郊野公園之下，因此不容許採用垂直通風管道排風，及進行相關的地盤平整和道路工程。在兩端峒口另建 1/4 長度的通風隧道解決了這個問題。

鐵路隧道：節省成本的設計亦能節約能源

環控系統

熱帶地區的軌道運輸系統主要採用兩種環控系統概念：封閉系統（站台與隧道相連）及站台屏蔽門系統。站台屏蔽門系統的概念已經在東南亞的幾個項目中採用。它將站台的空調環境與隧道內炎熱潮濕的空氣隔離，並且改善列車誘導的通風以促進隧道通風，和減少隧道通風風機運行時滲透入車站的風量，因此能節約可觀的能源。站台屏蔽門系統的總體效果實現了一個可持續發展的設計：減少設備所佔的空間和購置機電設備的費用，降低環控系統與隧道通風系統的運行費用，以及改善了車站的環境與安全。

列車設備

列車設備對於隧道設計與有關的機電系統設計有顯著的影響，特別是下列幾項造成的影響：

剎車方法

在變阻式與再生式兩種剎車方法中，再生式屬於可持續發展的設計，因為它可以將列車動能轉變為電流輸送給其他附屬設備，而其餘電流可以通過牽引電力系統，輸送給在附近運行的其他列車，或反饋列車站的供電系統。相對之下，變阻式剎車由一排電阻器組成，將動能轉為電能後以熱能的形式散發至隧道內，將隧道內的空氣加熱。

列車內的空調系統

安裝在列車底部或頂部的空調器對隧道空氣溫度以及隨後的隧道通風要求有顯著的影響。當列車停止運行時，熱量會累積在隧道空間內，較熱而密度較低的空氣會上升，並積聚在隧道的拱頂。

安裝在列車頂部的空調器將使問題更加惡化，因為空調器排出的熱量逐步累積在隧道頂部，使下層的空氣越來越熱，這樣導致當隧道通風系統運行時，下游空調器的冷凝器進口溫度亦可能比隧道平均空氣溫度高出約攝氏 7 度。與此比較，安裝在列車底部的冷空調器由於隧道內的氣流分層分佈現象，可以降低交通阻塞時的風量要求，從而減少有關的隧道及相關設施要求。

瞬變壓力

當列車進入或離開峒口時由於車箱的滲透性會產生壓力波，可能影響車廂內或站台上的乘客，因此有必要對壓力加以控制，以保證乘客有一個安全和舒適的環境。能減緩瞬變壓力而又節省成本的設計包括：控制火車在峒口的車速，採用減壓氣閘或減壓豎井，使用隔離牆，和採用專門的峒口設計等等。

結論

隧道是可持續發展的交通基礎設施設計的一個重要部分。人們往往可以容易地解決可持續發展三要素中的其中兩項，即對環境與社會的影響。而工程師的義務是開發能節省成本的設計以滿足第三要素，即經濟影響。

【 完 】

黎錦雄在栢誠（亞洲）公司負責運輸系統隧道與公路隧道的通風領域工作已 16 年。他是栢誠的高級主任工程師，並剛剛完成香港西鐵項目的隧道通風系統。聯繫：+852-2963-7625；lai.steven@pbworld.com

陳兆根曾是栢誠（亞洲）公司的副總裁。他曾參與完成多個亞洲和歐洲的運輸隧道與公路隧道項目，並在 2003–2004 年度擔任香港工程師學會會長。聯繫：+852-2881-6587；alexchan@atihk.com

本文原文刊登於 2004 年 11 月的栢誠雜誌《PB Network》第 59 期。

相關網站：

- 澳洲的東部分流幹道 www.easterndistributor.com
- 香港大老山隧道 www.tctc.com.hk
- 香港西區隧道 www.westernharbourtunnel.com
- 香港三號幹線大欖隧道 www.route3cps.com.hk
- 建築期刊和建築承造雜誌的編輯小組聯合出版的「香港十五個最傑出工程項目」
www.cityu.edu.hk/CIVCAL/book/misc_book.html
- 香港機場核心計劃 www.info.gov.hk/archive/napco/p-coren.html