

長隧道降溫方法評估

研究單位：國立臺灣大學應用力學所暨機械系

計畫主持人：陳發林

類別：機電

編號：研究報告 089

出版年月：1997年4月

GPN 9124860103

◎摘要

本研究案針對北宜高速公路之長隧道可能發生的溫升問題謀求降溫對策。我們分別對(1)增加通風量降溫(2)地下水降溫(3)冷凍空調降溫(4)噴霧降溫(5)交通管制降溫等五種方法作有系統的分析，並針對各方法之可行性作具體評估。

由研究成果發展，(1)增加通風量無法有效地抑制溫升的發生，卻需增加不少設備及營運成本，故不適合作為降溫方案。(2)地下水降溫能力，平均而言，在夏季約為 4°C ，在冬季約為 2°C 。此結果可增進設定降溫指標的準確性，進而降低工程成本。(3)冷凍空調是強制降溫裝置，能依設備之冷凍容量將隧道溫度有效地控制在預定範圍。唯其設備與營運耗費較大，是必要考量的主要因素。(4)噴霧降溫也能發揮適度的降溫效果，依冷卻塔空間需求之推估，噴霧裝置應沿隧道裝設才能得到所需之降溫效果。唯噴霧所引起的副作用，如溼度增加、視線不良、設備受潮……等應多予注意。(5)交通管制降溫似乎是最經濟有效的辦法。只要大型車在車流中的比例甚小（甚至為零時），雖車流為飽如狀態，隧道內的氣溫均在合理範圍內，並無溫升問題。

由以上各方法的各別評估結果，我們有以下項建議：

1. 降溫最有效方法為管制大型車在隧道內的數目。不但能降溫，空氣污染程度及粉塵濃度（大都由柴油車引起）皆能大舉改善，同時對隧道內的行車安全也甚有助益。
2. 若欲裝設主動控溫設備，如(3)冷凍空調或(4)噴霧裝置，需將地下水之降溫能力納入降溫指標之參考，以降低降溫容量，進而節省設備及營運成本。

◎結論與建議

“隧道溫升”在昔日隧道工程設計階段或在完工使用時很少被視為與“控制空氣污染成分”同等重要的問題。故當中興顧問社陳明毅工程師首度提出此可能存在的問題時，確曾引起許多議論。不久後瑞典 EWI 工程顧問公司也針對坪林隧道作了初步分析，其結論也認為有溫升問題存在的可能。但經各方面討論此問題後，國工局、中興社及台大的相關人員都認為此問題涵蓋的因素眾多，且對坪林隧道工程的影響甚巨，應再作有系統且深入的探討，並謀求可行之解決之道。因此產生了前期「隧道溫升問題研究」[1]與本期「長隧道降溫方法評估」等前後期兩期之建教合作案。另外，成

大水利系也曾受託著手研究山區地下水活動對隧道溫升的影響，其結論請見國工局報告第 075 號。

在前期研究案[1]中，我們除了建立隧道溫升的理論模式，並以台北近郊之懷恩隧道之實測數據來驗證此模式的可靠性外，更針對與溫升有關的各種基本資料作深入的查證，其中包含車輛發熱量，坪林山區氣象資料及地下水活動數據等。再配合一些可能發生的通車形態，我們對北宜高速公路上的各長隧道，計有坪林隧道，彭山隧道及南港二號隧道原三座，作長期的溫度變化分析。

由結果發現，在正常通車狀況下，溫升的問題並不嚴重，雖某些路段可能有 45°C 以上的高溫存在，但因路線短，並不至於影響到行車安全。然在某些特殊狀況下，如夏季中午（當地氣溫平均高達 33°C）交通流量大（如塞車）時，某些路段可能有高達 60°C 以上的高溫，此則不得不注意。因此，本期乃針對各種可能之溫升狀況謀求降溫的對策。

本期研究中，我們首先以最新的車輛發熱量測試數據（由財團法人車輛測試中心執行裕隆 PRIMERA 2000C.C.之動力測試之結果）來校正車輛發熱量之估算公式，並針對各種可能行車狀況估算不同型車的發熱量，再以前期所發展之理論模式來預測隧道內長期溫度變化情形。其結果與前期結論相似，唯所得數據應該較接近事實。由各種可能發生的溫升狀況作評估，我們選擇兩種最可能發生且不能予以忽視的溫升結果作為降溫指標，來探討各種降溫的方式。此兩種可能發生的溫升狀況分別發生在夏季中午交通流量飽和及塞車之時。

本期所探討的五種降溫方法之特性及效果分別總結如下：

1. 增加通風量方案

增加隧道內的通風量（或新鮮空氣量），不但能降低空氣污染物濃度，更能排除隧道內殘留之熱量，進而緩和溫升程度。但經考慮各種可能的通風形式，如縱流式、橫流式及半橫流式等，我們發現縱使將通風量增為最大通風量的兩倍時，仍無法有效地消除溫升現象，故此方案應不可行。

2. 地下水降溫方案

坪林山區地下水活動頻繁，地下水量之大甚至阻礙了隧道挖鑿工程進度。然而，此地下水活動可能有助於隧道內殘留熱量的排除，故探討其對溫升的影響是絕對必要者。在本研究中，我們對現有坪林山區的探勘資料做全面調查與整理，其中含當地的地質資料，地層結構，土質分析及地下水位等。另外，我們也從中央氣象局購得山區氣象站所量測到之地下水溫度長期變化情形。我們發現地下水溫不受大氣溫度變化的影響，在隧道地處之深層中，水溫常年維持在 20°C 左右，此與在頭城導坑內所測得之數據頗為吻合。此結果大大地簡化分析地下水影響溫升的複雜性。

我們根據上述之地質及水文資料對地下水活動作二維計算分析，求得地下水在隧道附近之流場結構，再配合隧道溫升理論分析。由結果發現，坪林山區地下水活動在夏季有降溫 4°C 的功能，在冷季則可降溫 2°C。此結果雖不能完全解決溫升的問題，但提供我們一個較篤定的數據，使我們了解地下水在解決溫升問題時所扮演角色的份量，更使我們在訂定降溫容量時，能有更可靠的依據，此對降

低工程及運轉成本有正面的幫助。

3. 冷凍空調方案

在隧道內加裝冷凍設備是一種主動且有效的方法以控制隧道內溫度升高的問題，此法首先實施於英法海底隧道[2]。其效果至今不明顯，因目前通車量仍遠低於設計值。然前者為火車隧道，而本案之分析對象為公路隧道。所需之設備及相關配置均與前者有所不同，這在本案均詳細說明。本方案是以前述之兩種最可能發生之溫升狀況作為指標，目標是將隧道內溫度降低至 40°C 或其它設計值。以此為基礎，所需之相關設備及配置，配合不同路段之不同溫升狀況，均詳記於本報告中，供工程人員參考。此方案的優點是降溫的機動性高，能在需要時期隨時提供有效的降溫方法。然其設備之施工、維後運轉皆所費不貲，是最主要的考量因素。

4. 噴霧降溫方案

中興社首先提出以噴霧方法來降低隧道內溫度。本案則針對以此法降溫之可能性作分析及評估。噴霧降溫已成功地應用在許多現有冷凍空調設備中的熱交換機構。機構呈現的外貌與功能不盡相同，然其原理不外乎以下兩種：降溫除溼及降溫增溼。除溫除溼在學理上可行，但由分析結果知，其所需之水量太大而顯得窒礙難行，故不應考慮之。然降溫增溼則可能性較大，因其所需之水量合理，所能降溫的能力也媲美冷凍空調方案。但是最需注意者為，理論分析中均假設噴霧後之水氣是 100% 汽化，此與實際情況會有相當大的出入。根據噴霧設備的功能及配置所在地之流場結構，所噴出來的水珠有可能不會汽化，反而會互相凝結於隧道表面或直接掉落地面（如下雨）。結果，不但無法發揮降溫效果，反而增加隧道內行車的困難度及維護隧道內設備的成本等。另外，坪林山區大氣溼度長年平均在 80% 甚至 90% 以上，所能再容納水汽的能力相當有限，故發生上述不能完全汽化的可能性不可低估。同時，不能汽化之水珠飄浮於空氣中所造成之霧氣也會影響隧道內的行車安全，此亦不能不防。

5. 交通管制方案

隧道溫升的主要原因是車輛所生之熱量無法有效地排散。但若能有效地控制熱量的來源亦能降低溫升的程度，此則可用交通管制的方法行之。管制車輛駛入隧道有兩種方法：一是交通流量的管制，另一是對行駛車型的篩選。本案則分別探討實施此二種方法對溫升程度的影響。

由分析結果知，實施交通流量管制的效果不如實施車型篩選來得有效。以前者而言，當交通量減少一半時，隧道內平均溫度可以降低 8°C 左右，而大部分的路段維持在 40°C 以上，局部路段可有高於 50°C 者。但若實施後者，將大型車在車流中所占比例降至 5% 甚至 0%，但總體車流量仍是飽和車流量或塞車的狀況下，此時隧道內的平均溫度可降至 35°C 以下，區段性的高溫也在 40°C 左右。此舉降溫效果最佳，亦能達到所欲之溫度範圍，同時對交通流量的影響也較小，應是可行之道。而且，以工程成本的考量觀之，比起本案所提前述之各種方案，此方法所需之額外費用不多，實施困難度亦不大，所產生的負面影響層次也不高，故應是本研究案所建議最先考慮實施的方案。

縱觀以上各降溫方法之綜合評估結果，我們很明顯地發現在五種降溫方法中，以“交通管制方案”最為可行，其中又以對大型車的管制最為有效。實施此方案，對工程設計的影響甚小，運轉及維護成本最低，對整體交通流量的影響也有限。另外，禁止大型車使用長隧道，對整體的行車安全應有相當正面的助益。

本案所建立的理論模式及所得之相關結果並不適用於南橫高速公路或中橫高速公路之長隧道，因這二處隧道所經過之地熱區使本案理論模式之邊界條件及熱源均產生變化，且其通風型態（此二者均採橫流式通風，單孔道雙向通車）與本案所考慮者不同。

隧道溫升所發生的時機與熱源的變化有絕對的關係，目前最大的熱源來自車輛及外界氣溫。除特殊狀況外，外界氣溫變化從昔日氣象資料皆可得知，易於預測。車輛熱源的變化則較為動態，尤其是以臺灣目前的交通狀況，塞車或車流密度達飽和的情形可能會常發生，甚至一天可發生數次。當上述車流發生時，溫升現象則會立即出現，此時交通管制及有效的通風控制應立即實施，才能避免溫升所帶來之相關問題。