

隧道湧水的工程對策

潘國樑

隧道在掘進過程中，祇要切穿含水層，便成爲排水通道。在一般情況下，祇要水量不大，採取一定的排水措施，對正常施工就不會有太大的影響。但是當遇到富水的砂礫岩層、斷層破碎帶、向斜軸部，特別是充水的石灰岩大溶洞或廢棄礦坑，以及隧道圍岩的最小安全厚度不足時，就要提防突發性湧水的襲擊。上述湧水的水量都很大、來勢兇猛，常伴有頂拱塌陷、砂石隨水湧入，往往造成淹沒及沖毀隧道內的機具，不僅嚴重影響施工的正常進行，甚至還會造成人身事故；長期的大量湧水還會造成地表水源枯竭等。因此隧道施工時一定要預先查明工作面前方有無突發性湧水的可能性，並大致確定湧水帶的位置及湧水量，以便採取適當的預防措施，以保證人機安全。

山岳隧道一般都構築在固結岩盤內，而固結岩盤在地質作用下常產生各種裂隙、節理或斷層，爲地下水最佳的貯留所。這些裂隙水具有一些特性，例如在某些情況下，隧道雖然開鑿於同一岩層中，但是相距很近的隧道段，其出水量非常懸殊，甚至一段有水，另一段無水；或者在出水量不大的岩層中開挖隧道，局部可能大量湧水。這種現象說明，裂隙水分佈得極不均勻，且具方向性，其水力連繫更不統一。

根據力學性質，岩石可分爲塑性及脆性兩大類。塑性岩石（如頁岩、泥岩、凝灰岩、板岩等）受力後發生塑性變形，破壞以剪裂爲主，常形成閉合的裂隙，故多構成阻水層。相反地脆性岩石（如塊狀緻密的石灰岩、石英岩等）主要呈現彈性變形，破壞時以張裂爲主，裂隙張開性佳、延伸遠，故常

構成含水層。大地應力集中的部位裂隙常較發育，岩層透水性也好。在同一裂隙含水層中，背斜軸部常較兩翼富水，傾斜岩層較平緩岩層富水（故向斜的軸部具有集水的功能），斷層附近往往格外富水。裂隙含水系統的儲水量與其規模大小成正相關。規模大的系統貯水能力大、補給範圍廣、水量豐富，對隧道施工造成較大的威脅。規模小的系統貯水能力及補給能力都小，隧道切穿時，初期水壓較高、水量較大，但隨著時間的延長，水壓與水量便迅速下降。

斷層切穿不同岩層，常構成特殊的導水管路。斷層的導水性取決於兩側的岩性及斷層力學性質。發育於脆性岩層中的張性斷層，其中心部位多爲疏鬆多孔的斷層角礫岩，兩側一定範圍內則爲張開度及裂隙密度都增大的裂隙增強帶，故常具有良好的導水能力。發育於含泥質較多的塑性岩層中的張性斷層，其斷層破碎帶夾有大量泥質，兩側的裂隙增強也不如脆性岩層中明顯，故往往導水不良，甚至成爲阻水的水文邊界。壓性斷層在脆性岩層中，其中心部位爲細碎緊密、透水性很差的破碎帶，但斷層兩側多發育開張性較好的剪張裂隙，常成爲導水帶；但在塑性岩層中，其中心部位爲緻密不透水的斷層泥，兩側多發育開張性很差的剪切節理，通常是阻水的。因此同一條斷層由於兩側岩性及力學性質的變化，其不同部位的導水性可以很不相同。例如淺部兩側都是脆性岩層，斷層導水；深部兩側爲塑性岩層，就變成阻水了。由於斷層將兩盤岩層錯開，有時會使含水系統與不含水系統在阻水斷層兩側相鄰，如果隧道係由不含水岩層向含水

岩層開掘，在切入斷層帶時常造成災害性的湧水。發育於裂隙非常發達的導水斷層，不僅是貯水空間，還兼具集水廊道的功能；當隧道切穿時，斷層就像集水廊道似的匯集廣大範圍的裂隙水，因此湧水量大且穩定。如果導水斷層溝通若干個含水系統或者通至廢棄礦坑、石灰岩溶洞或地表水體時，斷層帶就兼具貯水空間、集水廊道及導水通道的功能。隧道切穿時將各個水源的巨大貯（存）水量，源源不斷地導入，其湧水量奇大，且長期保持穩定。

開掘隧道的工程中對湧水預測是一項重要的工作。根據前述，大地應力集中的部位常是發生突然湧水的地方，這些部位有向斜軸部、褶皺傾沒端及其轉折點、斷裂組收斂處、斷裂交會處、斷裂彎曲處、斷層分叉處、斷層尖滅處及斷層帶等。在詳細調查階段，針對地下水的調查必須特別注意三件事情：可能進入隧道的水量、它的流量（單位時間內流入之水量）及水壓。對於水量的計算需要知道含水系統的貯水空間及水文邊界，同時必須注意含水系統之間的連通關係，此因地下水可以從很遠的地方流向隧道，尤其需要注意含水系統是否與地表水體（如河流、水庫等）、廢棄礦坑或石灰岩溶洞相通。地下水的流量與含水系統的透水係數及水力梯度有關。裂隙水可以是自由水，也可以是受壓水；但從局部看，往往具有受壓性，因為完好岩塊相對於裂隙具有阻水的作用，岩塊壁面乃承受一定的靜水壓力，所以鑽孔的水位將上昇到一定的高度，有時井水還可自噴。在某些情況下，打在同一岩層中相距很近的鑽孔，測得的地下水位可能差別很大；有時一孔抽水，遠遠的井孔水位下降，而近處的井孔水位反而沒有變化。這些現象表示幾個不同裂隙系統可能互不連通，各系統中的地下水彼此無水力連繫，且無統一水面。

由於地質在短距離內的變異很快，所以通常在隧道施工時均需採用前探法，以預先對工作面前方的地質及含水情況進行瞭解。最常用的方法就是前探孔（Probe Drilling）。典型的作法是利用衝鑽法鑽鑿 3 至 5 孔，其孔徑為 45mm，長度為 30m。鑽孔的方向一般是向上，且向外偏斜（可視節理的位態不同而調整偏斜角），在左右側壁各打一孔，預拱正前上方一孔；如果情況特殊，則在預拱部位再補兩孔。每次接鑽桿一節（長度為 3m）時即應注意出水量。如果出水量大於 6 l/min，則應採取預灌（漿）措施（Pre-grouting），以防止湧水。初期可採用較稀的水泥漿（W/C = 2）；如果功效不大，才採用濃一點的。還有一種比較新型的泡沫式化學漿，當它與裂隙水接觸時，體積會膨脹 20 倍，固結後即可封閉裂隙，但費用較高。另外一種前探法稱為跨孔震波成影法（Cross-hole Seismic Tomography）也被證明非常成功，它能夠提供工作面前方岩體三向度的裂隙情況。此外，電探及電磁前探法也在開發中。

湧水的處理主要是採取排水或止水方法，如下表所示。採用排水法的目的在於減少水量及降低水壓，但對地下水豐富，且厚岩覆的隧道不一定有效。採用止水法的目的主要在阻絕地下水流入隧道內，且在外圍形成一圈堤壩，達到切斷補給源、增大岩體強度及加強圍岩隔水能力等目的。

排水方法	自然排水法	下導坑排水、平行導坑排水
	強制排水法	井點法、深井抽水法
止水方法	灌漿法、冷凍法、壓氣法	

總而言之，在開掘隧道過程中免不了會遇到地下水，大地工程師或應用地質師應在掘進之前預先查明湧水的可能性，進行超前預報，防止突發性的湧水，以保證施工安全及保障人身性命。