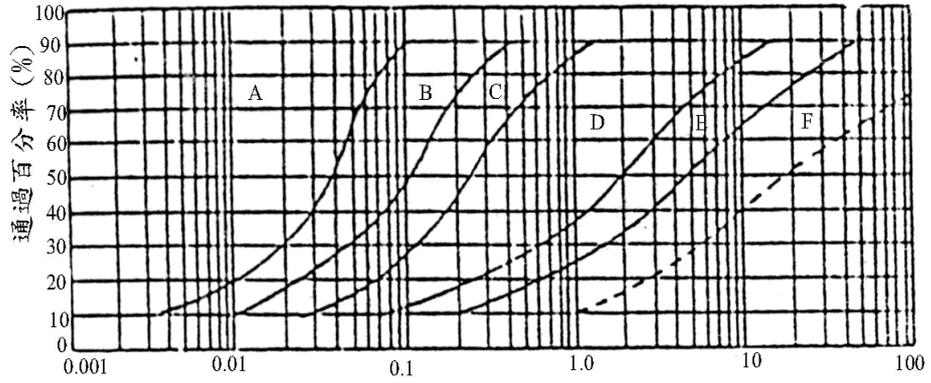


表 2-1 潛盾機分類與特性 (摘自 蔡茂生, 1985)

| 機 型 |  | 構 造   | 適 用 土 質  | 特 性   |  |
|-----|--|---|--|---|--|
| 開放式 | 手挖式  | 以人工至開挖面進行挖掘，開挖面呈開放狀態，以半月型、面型千斤頂為主要擋土措施。   | 適用於自立性高之地盤、硬質黏土及緊密砂層。  | (1)構造簡單，機具費最低。<br>(2)對開挖土質之變化及障礙物清除等應變能力最強。<br>(3)開挖面不安定時，需採用壓氣工法，祛水工法，或灌漿等輔助工法。  |  |
|     | 半機械式   | 將手挖部分加以機械化，依據土質狀況需採用機械臂或旋轉切土器等以提高工作效率。  | 與手挖式相同。  | 比人力開挖效率較佳，縮短後續作業時間。   |  |
|     | 機械式  | 在機身前方設置面鈸(Disk)，其上裝設切刃齒(Cutter Bit)以切刃盤之迴轉對開挖面進行連續之開挖。土渣由取土口進入土倉(Chamber)，再經由輸送帶排至機身後方。 | 適用於較手挖式及半機械式軟弱之土層。   | (1)面鈸可對開挖地層提供擋土之效果，並依地質狀況決定取土口開口率之大小，以控制開挖土量，安全性較高。<br>(2)簡單機械式常須配合壓氣、抽水、灌漿等輔助工法。 |  |
| 擠壓式 | 在潛盾機前方裝設隔鈸(Bulkhead)，其上方開設取土口，當潛盾機推進時，推力經由隔鈸傳遞至開挖地層，使土壤受擠壓而自取土口流入機內。 | 軟弱略具流動性(L.L. > 80%)含砂量低(30%以下)之沉泥質地盤。   | (1)依地質狀況決定開口位置及大小，以調整排土量及推進方向。<br>(2)開挖面施行輔助工法之需要性較開放式低。   |   |  |
| 密閉式 | 土壓平衡式  | 傳統土壓平衡式   | 以切刃盤之切削齒掘削地層，將開挖之土壤堆積於面鈸與隔鈸間之土倉，以貫穿隔鈸之螺旋輸送機內之土壤排出，排土時須保持螺旋輸送機內充滿土壤，並使開挖面內側與外側之土壓及水壓保持平衡。                       | 沉泥質砂至沖積層之砂、砂礫層及其互層均可適用。   | 原則上部需要以輔助工法維持開挖面之自立性。為使螺旋輸送機確實發揮壓力傳達及止水效果，必須使開挖土砂孔隙減少，在含砂量較高的地層，常須加入水、泥水、黏土等予以混合以提高開挖之安全性。 |
|     |  | 加泥土壓平衡式   | 可由盾首的魚尾版(Fish Tail)將細顆粒之泥土漿或泡沫材料(Foam)注入開挖面，以提高土倉內土壤之流動性與止水性，土倉內之泥水壓(Mud Pressure)須與盾首之土壓及地下水壓平衡，並使土渣之粒徑分佈較均勻。 | 此機型適宜在砂質土含量甚高之地層。   | (1)輔助工法之需要性較低。<br>(2)不需要泥水處理設備，但混入泥土增加排土量，其處理與價格有關。  |
|     | 泥水加壓式  | 在盾首和切刃盤間設置土倉，於倉內以泥水(Slurry)填充，使開挖面加壓以平衡土壓和水壓作用而維持安全，以流體運輸方式將土渣排出。                       | 儲水性砂層、砂礫層或穿越河川、湖泊等水壓較高之地層。   | (1)以比重大、黏性高之白皂土等材料作成泥水以填充地層中之孔隙。<br>(2)依地質狀況中原有構造，故其變形沉陷現象最小。<br>(3)對輔助工法的需要性最低。  |  |

表 2-2 土壤粒徑分佈與潛盾機適用範圍 (摘自 朱旭, 1984a)



| 型<br>式<br>輔助<br>工<br>法<br>粒<br>徑<br>分<br>佈<br>領<br>域 | 密閉式潛盾機 |      | 手挖式、半機械式、機械式潛盾機 |     | 泥水加壓式<br>潛盾機 | 土壓平衡<br>式潛盾機 |
|--|--------|------|-----------------|-----|--------------|--------------|
|  | 壓 氣    | 降低水位 | 壓 氣             | 灌 漿 |              |              |
| A 領域   | ◎ N<5  |      | ◎               |     | △            | ○            |
| B 領域   |        |      | ◎               |     | △            | ○            |
| C 領域   |        | ○    | ○               |     | ○            | ◎            |
| D 領域   |        | ○    | ○               | △   | ◎            | ◎            |
| E 領域   |        |      |                 | △   | ○            | ○            |
| F 領域   |        |      |                 | △   |              |              |

註：◎表示最適用。 ○表示適用。 △表示適用但不經濟



表 2-3 潛盾機型式與適用土質、輔助工法之關係 (摘自 日本土木學會, 1987)

| 地質    |              | 潛盾機型式 |         | 手挖式潛盾機 |          |      | 半機械式潛盾機 |    |      | 機械式潛盾機 |    |      | 擠壓式潛盾機 |    |      | 土壓平衡式潛盾機 |    |     |   |    |     |   |    |          |   |    |   |
|-------|--------------|-------|---------|--------|----------|------|---------|----|------|--------|----|------|--------|----|------|----------|----|-----|---|----|-----|---|----|----------|---|----|---|
|       |              | 分類    | 土質      | N值     | Wn (含水比) | 輔助工法 |         |    | 輔助工法 |        |    | 輔助工法 |        |    | 輔助工法 |          |    | 基本式 |   |    | 加泥式 |   |    | 泥水加壓式潛盾機 |   |    |   |
|       |              |       |         |        |          | 無    | 有       | 種類 | 無    | 有      | 種類 | 無    | 有      | 種類 | 無    | 有        | 種類 | 無   | 有 | 種類 | 無   | 有 | 種類 | 無        | 有 | 種類 | 無 |
| 沖積黏土層 | 腐植土          | 0     | 300以上   | X      | X        |      | X       | X  |      | X      | X  |      | X      | △  | A    | X        | △  | A   | X | △  | A   | X | △  | A        | X | △  | A |
|       | 粉土、黏土        | 0~2   | 100-300 | X      | △        | A    | X       | X  |      | X      | X  |      | ○      | -  |      | X        | △  | A   | △ | ○  | A   | △ | ○  | A        | △ | ○  | A |
|       | 砂質粉土、黏土      | 0~2   | 80以上    | X      | △        | A    | X       | X  |      | X      | X  |      | ○      | -  |      | △        | ○  | A   | △ | ○  | A   | △ | ○  | A        | △ | ○  | A |
|       | 粉質砂土、黏土      | 0~5   | 50以上    | △      | ○        | A    | X       | △  | A    | △      | ○  | A    | △      | ○  |      | ○        | -  |     | △ | ○  | A   | △ | -  |          | △ | -  |   |
| 洪積黏土層 | 壩埤 (Load)、黏土 | 10~20 | >50     | ○      | -        |      | ○       | -  |      | △      | -  |      | X      | X  |      | ○        | -  |     | ○ | -  |     | ○ | -  |          | ○ | -  |   |
|       | 砂質壩埤、黏土      | 15~25 | >50     | ○      | -        |      | ○       | -  |      | ○      | -  |      | X      | X  |      | ○        | -  |     | ○ | -  |     | ○ | -  |          | ○ | -  |   |
|       | 砂質壩埤、黏土      | 20以上  | >50     | △      | -        |      | ○       | -  |      | ○      | -  |      | X      | X  |      | ○        | -  |     | ○ | -  |     | ○ | -  |          | ○ | -  |   |
| 軟岩    | 泥岩           | 50以上  | <20     | X      | -        |      | △       | -  |      | ○      | -  |      | X      | X  |      | -        | -  |     | ○ | -  |     | - | -  |          | - | -  |   |
| 砂質土   | 粉土質砂、黏土質砂    | 10~15 | <20     | △      | ○        | A    | △       | ○  | A    | △      | ○  | A    | X      | X  |      | ○        | -  |     | ○ | -  |     | ○ | -  |          | ○ | -  |   |
|       | 鬆砂層          | 10~30 |         | X      |          | A、B  | X       | X  |      | X      | △  |      | X      | X  |      | △        | △  | A   | ○ | -  |     | △ | ○  | A        | △ | ○  | A |
|       | 固結砂層         | 30以上  |         | △      | ○        | A、B  | △       | ○  |      | △      | ○  |      | X      | X  |      | △        | △  | A   | ○ | -  |     | ○ | -  |          | ○ | -  |   |
| 砂礫石層  | 鬆砂層          | 10~40 |         | X      | △        | A、B  | X       | △  | A、B  | X      | △  | A、B  | X      | X  |      | △        | △  | A   | ○ | -  |     | △ | ○  | A        | △ | ○  | A |
|       | 固結砂層         | 40以上  |         | △      | ○        | A、B  | △       | ○  | A、B  | △      | ○  | A、B  | X      | X  |      | △        | △  | A   | ○ | -  |     | ○ | -  |          | ○ | -  |   |
|       | 夾雜卵石之砂層      |       |         | X      | △        | A、B  | △       | ○  | A、B  | X      | X  |      | X      | X  |      | △        | △  | A   | ○ | -  |     | △ | △  | A        | △ | △  | A |
|       | 卵石層          |       |         | X      | △        | A、B  | X       | △  | A、B  | X      | X  |      | X      | X  |      | △        | △  | A   | △ | -  |     | △ | △  | A        | △ | △  | A |

○：原則上適合之條件      無：未使用輔助工法時      手挖式、半機械式、擠壓式潛盾機原則上採用壓氣工法  
 △：需檢討其適用性      有：使用輔助工法時  
 X：原則上條件不適用      A：化學灌漿工法  
 -：特殊情形外不使用      B：地下水水位降低工法

表 2-4 灌漿材料之分類 (摘自 林耀煌 1994)

|      |              |           |              |
|------|--------------|-----------|--------------|
| 灌漿材料 | 懸濁液型         | 懸濁液       | 砂漿、水泥漿系列     |
|      |              |           | 水泥~黏土系列      |
|      |              |           | 黏土系列         |
|      |              | 半懸濁液      | 水玻璃~水泥(黏土)系列 |
|      | 水玻璃~黏土~硬化劑系列 |           |              |
|      | 溶液型          | 水玻璃~硬化劑系列 |              |
|      |              | 尿脂系列      |              |
|      |              | 亞克力系列     |              |
| 尿素系列 |              |           |              |

表 2-5 藥液灌漿工法分類表 (摘自 林耀煌 1994)

| 灌注管方式   | 膠凝時間       | 膠凝時間            | 材料混合方式   | 灌注管操作方式  |     |
|---------|------------|-----------------|----------|----------|-----|
| 單管灌漿工法  | 鑽桿工法       | 中               | 1.5 shot | 上昇式      |     |
|         | 多孔管工法      |                 |          | 下降式      |     |
| 雙重管灌漿工法 | 二重管雙環塞注入工法 | Soletanche      | 1.0 shot | 任意式      |     |
|         |            | Double Strainer |          |          |     |
|         |            | Sleeve Grouting |          |          |     |
|         | 二重管鑽桿復合法   | Multilizer      | 短        | 2.0 shot | 上昇式 |
|         |            | Unipack         |          |          |     |
|         | 二重管鑽桿瞬結工法  | L.A.G.          | 短        | 2.0 shot | 上昇式 |
|         |            | D.D.S.          |          |          |     |
| S.G.R.  |            |                 |          |          |     |
| M.T.    |            |                 |          |          |     |

註：表內膠凝時間 短：數十秒以內

中：數分單位

長：數十分單位

表 2-6 高壓噴射工法常用施工參數

(摘自 中國土木水利工程學會，1995)

| 高壓噴射種類          |              | 單管法  | 雙重管法          | 三重管法            |                       |
|-----------------|--------------|--|---------------|-----------------|-----------------------|
| 漿液材料及其配方        |              | 以水泥為主要材料，加入不同外劑後可具有速凝、早強、抗蝕、防凍等性能，常用水灰比 1：1。亦可用化學材料。 |               |                 |                       |
| 高壓噴射注漿參考值       | 水            | 壓力 ( kg/cm <sup>2</sup> )                            | —             | 200~400         |                       |
|                 |              | 流量 ( l/min )   | —             | 80~120          |                       |
|                 |              | 噴嘴孔徑 ( mm ) 及個數                                      | —             | 直徑 2~3 ( 一或二個 ) |                       |
|                 | 空氣           | 壓力 ( kg/cm <sup>2</sup> )                            | —             | 7~8             | 7~8                   |
|                 |              | 流量 ( l/min )   | —             | 1~2             | 1~2                   |
|                 |              | 噴嘴間隙 ( mm ) 及個數                                      | —             | 1-2 ( 一或二個 )    | 1-2 ( 一或二個 )          |
|                 | 漿液           | 壓力 ( kg/cm <sup>2</sup> )                            | 150~200       | 200             | 10~30                 |
|                 |              | 流量 ( l/min )   | 80~120        | 80~120          | 100~150               |
|                 |              | 噴嘴孔徑 ( mm ) 及個數                                      | 直徑 2~3 ( 二個 ) | 直徑 2~3 ( 一或二個 ) | 直徑 10 ( 二 ) ~14 ( 一 ) |
|                 | 噴射管外徑 ( mm ) |  | 42 或 45       | 42、50、75        | 75 或 90               |
| 提升速度 ( cm/min ) |              | 20~25  | 約 10          | 約 10            |                       |
| 旋轉速度 ( rpm )    |              | 約 20   | 約 10          | 約 10            |                       |

表 2-7 潛盾隧道施工產生之地盤變位發生原因與因應對策

(摘自中華技術 2005)

| 階段 | 變位現象   | 發生機制原因  | 因應對策工法構想   |
|----|--|---|--|
| 1. | <b>先行沉陷</b><br>係發生於距潛盾機到達之相當距離前方之沉陷。   | 在砂質土之情況，會因地下水位下降而引起。另於極軟弱之黏性土情況下，有時會在開挖面因開挖進土量過多而引起。  | 採適合工址地盤條件，能控制開挖面穩定機構，不須特別抽降地下水之密閉式潛盾機施工。   |
| 2. | <b>開挖面前方之沉陷或隆起</b><br>係發生於潛盾機開挖面即將到達時之沉陷或隆起，主要因潛盾機操作時，開挖面之土壓、水壓不平衡所致。  | 開挖面之土壓、水壓不平衡係指在土壓式或泥水式潛盾機，因推進量與排土量產生差異而使開挖面土壓及水壓與潛盾機之土倉壓間產生不平衡，開挖面就會失去平衡狀態而產生地盤變位。此等現象為開挖面之應力釋放、加壓力等引起之彈塑性變形。   | 1.設定潛盾機操作之開挖面壓力管控值，在合宜之施工管控下，不致產生開挖進土量過多之現象。<br>2.減低伴隨推進所產生潛盾機與地盤間之摩擦，儘量勿擾動周圍地盤，減少滾轉(Rolling)及俯仰(Pitching)等現象，並防止潛盾機之蛇行。 |
| 3. | <b>通過時沉陷或隆起</b><br>係發生於潛盾機通過時之沉陷或隆起，其產生之主要因為潛盾機四周表面與地盤間之摩擦，以及伴隨超挖產生之地盤擾動所造成。   | 推進時地盤之擾動係指潛盾機推進中，因潛盾機殼板與地盤間之摩擦造成地盤擾動而產生地盤隆起或沉陷。尤其是潛盾機進行蛇行修正、或因曲線段推進所伴隨產生之超挖致使地盤鬆弛情況。  | 按照地層狀態，選定滲透性好、固結強度大之背填灌漿材料，儘量於潛盾機推進之同時進行背填灌漿。  |
| 4. | <b>盾尾空隙沉陷或隆起</b><br>係發生於潛盾機尾部通過後不久之沉陷或隆起，其產生之主要因為環片與地盤間之潛盾機殼厚度之縫隙，稱為盾尾空隙(Tail Void)，在環片脫離機身時使地盤應力釋放造成沉陷。一般而言，地盤變位主要產生最大之沉陷量係由於此一階段所造成。 | 1.盾尾空隙之發生，係由於背填灌漿未能充分填滿盾尾空隙，以致機殼板所支承之地盤向盾尾空隙方向產生變形，造成地盤沉陷。此為因應力釋放所引起之彈塑性變形。<br>2.地盤沉陷之大小受背填灌漿材之材質及灌注時期、位置、灌注壓力、灌注量等所左右。一般而言，較大之背填灌漿壓力可抑制沉陷變形之發生，惟於黏性土地盤中，過大之背填灌漿壓力將可能造成暫時性地盤隆起。 | 1.細心地進行潛盾機推進管理作業，適時地施作一次襯砌組立及背填灌漿作業。<br>2.為了防止環片之變形，必須使用真圓保持裝置以確保環片之組立精度，同時充分鎖緊接頭螺栓。                                     |
| 5. | <b>後續沉陷</b><br>係在極軟弱之黏性土層可發現之現象，主要起因於潛盾機推進所引起整體性之地盤鬆弛及擾動。  | 1.環片接頭螺栓若未充分鎖緊則環片易生變形及變位，盾尾空隙之實質量會增大。環片脫離潛盾機盾尾後，由於外壓不均勻作用致使襯砌變形或變位，為造成地盤沉陷增大主因。<br>2.地下水位降低，發生開挖面之湧水或環片之漏水，會使地下水位降低而致地盤沉陷。此種現象為由於地盤有效應力增加所引起之壓密沉陷。                              | 為防止來自環片接頭及背填灌漿孔等之漏水，環片組立、止水工程必須仔細妥善地加以設計及施作。   |