

# 目 錄

- (一) 目前國內外的頂管施工環境,技術水平及發展方向
  - 1.頂管施工隨着各大都市的市政發展勢在必行
  - 2.國內外頂管施工技術發展的不平衡性和特徵
  - 3.目前國外頂管施工和設備的研究和發展方向
- (二) 頂管施工法概述
  - 1.頂管施工的分類和評價方法
  - 2.頂管施工法的介紹
- (三) 在引進頂管施工法時的定位點,市場占有率和經濟效益諸問題
  - 1.立足中口徑頂管施工,發展小口徑和可撓性管材的頂管施工
  - 2.頂管機的選型原則和定位
  - 3.硬軟件並舉經營和資金的回收
- (四) 引進關鍵技術和國內配套並舉可減輕前期資金投入負擔
  - 1.頂管設備的系統分類及其特點
  - 2.引進國外關鍵技術,附帶設備國內配套

‘頂管施工’在國際上,其英文名称為‘PIPE JACKING’或‘MICRO TUNNELLING’,國內也有譯成‘微型隧道施工’,在台灣被稱為‘推進施工’。

## (一) 目前國內外的頂管施工環境,技術水平和發展方向

### 1. 頂管施工隨着各大都市的市政發展勢在必行 (提綱):

自來水,排污,天然氣和 IT 信息通信等項目的建設,需要頂管施工法。

一般大城市內路面 5m 以下管網交叉,開槽越來越困難。

市區埋深 6m (國外 4m) 以下的開槽埋管成本大於頂管。

高速道路,高架路,鐵道的發達,使很多城市已制定規範,不可開槽。

高層建築附近開槽埋管影響基礎結構。

開槽埋管,破壞城市形像。

我國 100 萬人口城市達 100 個以上,頂管遠未普及。

### 2. 國內外頂管施工技術發展的不平衡性和特徵:

頂管施工從最原始的‘土頂’開始,國內外均是在 60 年代起步的,但國外 70 年代迅速地發展了機械頂管,而國內是在上海合流污水一期時代 (80 年代末) 引進了伊勢機公司的 TM800 型軟土頂管機後,才開始軟土頂管機的開發研究。

目前國際上比較有規模的頂管機製造商以日本和德國為主流,如日本伊勢機開發工機公司 (以生產中小口徑泥水型頂管機為主),德國海瑞克公司 (以生產中大口徑土壓型頂管機為主) 等。其他也有一些代理外商的公司在國內活動的,均屬二,三流製造商。三菱,日立,川崎重工和石川島等公司均是以盾構機械為主,小松,古河等公司,是 TBM,函洞和掘岩機械製造商。

國內在吸收伊勢機公司軟土頂管機技術的基礎上,也成功地制作了一些在軟弱地盤 (主要適用於上海地區) 中施工的頂管機,其中上海市政研究所和煤炭設備研究所中大口徑泥水式頂管機為主,上海第二市政頂管研究所和揚州廣新自動化設備廠等以中大口徑土壓式頂管機為主。

國外公司在相互競爭和市場需求的環境下,在研究開發上投入了大量人力物力,目前已開發出全土質,岩盤,超長距離和曲線頂管用機械,以及用於可撓管 (PVC, PE 管) 頂管的機械。在施工法的研究上更有發展,如置換頂管施工法,二工程施工法和泥濃式頂管施工法等不勝枚舉。

縱觀國內頂管機研究,由於體制的改革,研究經費已不可能由國家負擔支付,而依賴企業自籌資金則必須結合工程。因此國內各單位疏於頂管機研究,而致力於施工法的研究,取得了不俗成績。如上海基礎工程公司,上海隧道工程公司,其大口

徑頂管施工,已能在軟土中一次頂進 1,600m。在軟土中的垂直頂昇和曲線頂管,也研究成功,趨於成熟。

反之,目前有巨大市場的小口徑頂管,多土質對應機種以及 PVC, PE 管等可撓管頂管施工的研究,却無人問津。研究機構在創收和效益的支配下,以完成一般的頂管施工任務為主業,而在研究開發上却毫無建樹。目前到了施工需要小口徑,全土質等對應機種時臨時抱佛腳開發新設備,匆忙用於施工,出了大問題。施工現場到底不是實驗場所,容不得一次失敗的。好的機種,國外是化了幾十年時間和大量人力物力開發出來的。

於是,站在施工單位的立場,利用較少的資金,採用適合本公司的國外先進技術,以搶先掌握中小口徑,全土質和可撓管的頂管施工法,就能掌主導權,占領該領域的巨大市場。

### 3.目前國外頂管施工和設備的研究和發展方向(提綱):

#### 1) 已研究成熟,投入批量生產的:

- 中小口徑,帶破碎結構的機頭的全土質對應型頂管機
- 超級岩盤頂管機
- 可撓性管頂進用的頂管機
- 舊管的置換,更新和修復技術

#### 2) 處在開發階段的:

- 採用導向儀的小口徑曲線頂管機及其施工法
- 頂管機頂進中的前方探測裝置研究
- 地中對接技術
- 超長距離頂進中的刀具在線更換技術

## (二) 頂管施工法概述

### 1.頂管施工的分類和評價方法:

國內外對頂管施工的分類,以分類方法不同而名目繁多,現全部列舉如下:

#### 1) 以頂管機機頭形式分:

開放式	手掘式
	網格式
	反掘式
	局部氣壓式
	水槍式

機械式  
泥水式  
土壓式  
泥濃式  
螺旋鑽式

2) 以管徑分：

小口徑 ( $\phi 600\text{mm}$  以下)  
中口徑 ( $\phi 600\text{mm} \sim 1500\text{mm}$ )  
大口徑 ( $\phi 1500$  以上)

3) 以土質對應分：

軟土頂管機 (適用污泥, 粘土, 粉土地盤的頂進)  
全土質頂管機 (適用從粘土, 砂, 礫石到軟岩地盤的頂進)  
超級岩盤頂管機 (適用在花崗岩等硬地盤的頂進)

4) 以管材對應分：

一工程法 (適用鋼管, 鋼筋混凝土管, 陶管等的頂管施工)  
二工程法 (適用 PVC 管, PE 管等可撓性管的頂管施工)

根據積累的經驗和參考有關資料, 頂管機和頂管工程的評價方法有 10 個方面：  
(詳見附件)

2. 頂管施工法的介紹：

(詳見附件)

(三) 在引進頂管施工法時的定位點, 市場占有率和經濟效益諸問題

在已進入 21 世紀的今天, 頂管事業的起步當然不必從‘土頂’開始了。但擬採用國外先進技術, 也有一個性能價格比的問題。

分析目前的頂管市場現狀, 結合公司的施工資質和結構功能, 引進目前急需的國外先進設備, 同時借鑑國外的先進管理經驗, 培養出一支過得硬的施工隊伍, 提供以下資料和建議以供參考：

1. 立足中口徑頂管施工, 發展小口徑和可撓性管材頂管施工 (提綱)：

- 1) 大口径頂管工程量已不足 (大城市主管工程大部已接近尾声)
- 2) 中型城市主管一般不超過  $\phi 1500\text{mm}$ 。
- 3) 中大口径頂管施工隊伍已形成,不易揀足
- 4) 以上海為例:蘇州河後期,浦東新区等污水項目和上海周圍地区,今後將以中小口径為主,其中  $\phi 600, \phi 800$  左右的工程量為最。以北京為例:作為渴水地域,將上‘中水項目’,其送水管路多為  $\phi 500 \sim 1000$  鋼管。

## 2.頂管机的選型 (見附件) 原則和施工定位 (包括市場定位和技術定位等):

- 1) 以引進多土質對應的機種以利競爭:  
廣州地区地下水位高,土質又比較複雜,加之施工前無詳細勘探土質資料成為一般工程的通病。故選用全土質對應 (岩盤除外) 泥水機種,在頂進時能對抗地下水,一般的碎石,砂礫就對付過去了。
- 2) 市場以立足廣州,並向周圍地区發展,放眼香港,東南亞:  
廣州地区經濟比較發達,穿河過路,房下頂管機會多。  
南方沿海地区,經濟比較發達,容易接受新技術,注意施工形像。  
目前在香港等地区,能真正頂好管子的施工企業不多,大部分是轉包商。
- 3) 以下水道為主,多方位展開:  
下水道施工量大,加之是重力流管,勾配要求高,除頂管以外不可能用其他施工法。在煤氣,天然氣,電纜,通信領域,可以用氣動茅和水平定向鑽等方法施工,但在土質複雜,曲線,長距離時無能為力。而頂管能克服上述難點施工,且上述領域的施工單價大大高於市政行業。

## 3.硬軟件並舉經營和資金的回收 (提綱):

頂管机是一種施工設備,有了先進的設備,還需現代的管理系統和人員,以充分發揮效益。實際頂管現場,有 1 名現場經理全面負責外部事務,1 人作副手兼施工管理,兩名操作員管理頂管作業 (兩班倒),一名測量管理,其他均可雇用小工解決。公司關鍵是要有專人負責技術營業接業務,充分掌握市場信息,同時了解競爭對手的動態。上述內容,在引進設備同時,將詳細說明介紹。

頂管設備的折舊和資金回收,國外因頂管單價高,一般在 500m 左右的施工量即可回收投資,國內根據情況不同,一般有 1,000~2,000m 的施工量即可。

## (四) 引進關鍵技術和國內配套並舉可減輕前期資金投入負擔

## 1.頂管設備的系統分類及其特点：

一個完全的泥水頂管系統見樣本。其分為若干個部分,各部功能如下：

- |              |                  |
|--------------|------------------|
| 1) 頂管机本体,操作盤 | 掘削頂進前部土層,控制頂進方向  |
| 2) 後方頂進裝置    | 推進在土層中的頂管机和頂進用管  |
| 3) 泥水輸送裝置    | 平衡地下水,搬送殘土,循環送排水 |
| 4) 激光定位裝置    | 指示偏移方向和偏移量       |
| 5) 潤滑材注入裝置   | 提供管外壁潤滑,減小總推力    |
| 6) 泥水处理裝置    | 沈澱处理殘土,使清水循環使用   |

## 2.引進国外關鍵技術,附帶設備国内配套：

建議引進偏壓破碎型泥水式頂管机 TCZ,TCC 機種。該機種能全土質對應,從粘土,粉土,砂礫至軟岩,如TCC600型頂管机,可頂 $\phi 600$ 混凝土管,軟土中可擴徑頂 $\phi 800$ 混凝土管,也可頂 $\phi 750$ 鋼管。

為了節約前期投資費用,僅引進頂管机本体,操作盤,其他在国内配套,既引進了国内暫時不能製造的關鍵設備,又利用了国内的成熟技術,可最大限度地利用前期投入資金。

## 關於頂管設計的說明

1/頂管設計由設計院完成,其內容包括如下:(可參考實例)

- 1.管道走向,頂程,傾斜度。
- 2.管材,管徑的確定。
- 3.工作井,接收井位置,材質,尺寸,深度和施工要求。
- 4.各頂程的土質勘探資料,既存管道詳圖等。

2/頂管施工設計由施工單位完成,應包括:

- 1.頂管工藝流程,施工法概要等的說明。
- 2.頂管設備平面,立面布置圖(包括占地面積,井內布置,進出洞口止水措置等)。
- 3.頂管工期予定表。
- 4.頂管勞務編成。
- 5.頂管工程表(從進場開始到設備撤去為止的所有工序)。
- 6.工程費用概算(包括工作井,設備折舊費用,管材,泥水處理費用等,應和甲方協議後定)。
- 7.現場安全措置說明。

3/關於頂管費用的說明:(包括工作井,管材和頂管施工三部分)

在設計院階段,除工作井和管材,施工可以單價(每米的金額 $\times$ 總米數)定。

4/頂管設計中應注意事項:

- 1.頂程的設計,小口徑(內徑 800mm 以下)取 100~120m 以下,中大口徑原則上無限制(世界記錄是 1.7km)。
- 2.頂進計畫線尽可能避免設計在互層中(如上部是硬度,下部是軟土等)和既存管線不明的土層中。
- 3.管路埋深最淺不得小於管外徑的 2.5 倍。
- 4.與周圍建築物的基樁等的距離,不得小於管外徑 2 倍,否則應對基樁進行加固。
- 5.與周圍各種管路最近距離不得小於管外徑。
- 6.目前初級階段,故暫不考慮曲線頂管。
- 7.口徑品種尽可能少。

# 關於應用頂管技術在砂礫和岩盤地層進行超長距離施工的 可行性探討

株式会社伊勢機開發工機 黃仕元

## 一. 概述

## 二. 頂管技術和特點的說明（重點）

1. 如何切削岩盤和破碎礫石
2. 如何進行超長距離頂進

## 三. 頂管施工法和盾構施工法的比較

1. 需引進設備的性能價格比
2. 管材的制作和供應
3. 推進距離和速度
4. 曲線施工的水平
5. 施工時的能源消耗
6. 技術指導和人員的培訓
7. 施工設備的實用性和將來性
8. 施工後的管線耐用性和日常保養問題

## 四. 今後的課題和發展方向

1. 砂礫地層和岩盤地層兼用機
2. 地中對接技術
3. 關於管內高壓供電

## 一. 概述：

採用頂管或盾構施工法，作為今後一種新的施工法，與定向鑽施工法‘互補’，可以徹底地解決我國廣大地區，特別是內陸中西部地區在砂礫和岩盤中敷設管路，為西氣東輸，南水北調等天然氣輸送和給排水工程解決穿山越河提供便利。

頂管施工法，目前在國內外已極為普及，其布管口徑，從鋼筋混凝土管 $\phi 200\sim 3,000\text{mm}$ （鋼管可達 $\phi 3,500\text{mm}$ ）（一般管路外徑超過 $\phi 3,500\text{mm}$ 後，採用盾構施工法）。

頂管施工的原理，是用頂管機本體前方刀盤邊切削土體，邊由後部頂進裝置將頂管機連同頂進用管一起沿着計畫管線向前推進。被切削的殘土，由水力或土砂壓送裝置送至地面運走，前者稱為泥水式頂管，後者稱為土壓式頂管（EPB 型）。



泥水頂管施工法,不僅可用調節排泥量和頂進速度來平衡刀盤正面土壓,且可用調節送水壓力來平衡地下水壓,控制地表隆沈精度高,故泥水頂管施工法,被廣泛用於穿越江河,鐵道公路和建築物下的管路敷設。

土壓頂管施工法,使用螺旋輸送機出土,且對於易崩壞的砂礫地層,可用向頂進面注入泥漿的方法有效地防止地層崩壞和礫石大量涌入泥水倉內。

頂管施工法已有幾十年的歷史,特別是近十年來,已有全方位的發展,即全土質對應(當然包括砂礫和岩盤地層),極小半徑曲線和超長距離頂進等等。

株式會社伊勢機開發工機(以下簡稱伊勢機公司),是世界中唯一一只生產頂管機的專業公司,31年來全力注重新品種開發,目前已備齊所有機種,產品遍布世界中33國,至今年年初,已生產各類頂管機2,000台以上,總頂進距離已超過2,000km。

限於篇幅,以下僅就如何對付砂礫,岩盤和超長距離頂進等大家關心的問題,作一說明。

## 二.頂管技術和特點的說明:

### 1.如何切削岩盤和破碎礫石

伊勢機公司針對各種地層,開發了泥水和土壓兩用機種。

用於岩盤頂管的機頭,其刀盤正面布置有各種刀具,其中的滾輪刀具由能正反旋轉的刀盤帶動,靠刀盤正面壓力,對岩盤進行剪切破碎和研軋。被破碎的碎礫石,進入刀盤後方的偏心破碎裝置進行二次破碎後,由泥水將殘土經排泥管運走。該刀盤具有以下二個特點:

1) 一次破碎用的滾輪刀,其滾輪上的圓型突出部,呈不均等狀態,布置於滾輪上。該布置,是在充分研究了刀盤旋轉過程中,使對岩盤的前一次切削和後一次切削不重複在岩盤的同一個點上的原理,從而大大提高了切削效率和滾刀的耐用程度。

2) 二次破碎,是由刀盤後方的偏心回轉破碎裝置,依靠該裝置的外圓錐筒和內圓錐轉子,進行擠壓軋碎。因該破碎方法,不是依靠刀盤正面加壓,從而起到了既能破碎礫石,又能保持土體平衡的作用。該偏心回轉破碎方法,是伊勢機公司特有的專利,專門用於對付礫石。

在對付易崩壞的礫石地層,採用土壓式機頭,用中空式螺旋輸送機輸送粒徑較大的礫石,在頂管機後部用破碎機構破碎後再用水力自動出土。必要時可對頂進面注入泥漿,有效防止大量礫石崩落引起頂進面平衡的破壞。

該頂管機的設計,除一般頂管機所有的方向修正等共有特點和上述性能外,還具有以下專門對付砂礫和岩盤的特殊裝置:

1) 為防止頂管機在岩盤頂進中旋轉,頂管機兩側設有防旋轉掌腳,必要時由液壓千斤頂操作伸出固定在頂管機兩側岩盤。

2) 頂管機後部備有液壓千斤頂裝置,可操作頂管機前進或後退,必要時用對

頂管機前進速度微調整,在起動或更換刀具前操作刀盤後退,使之暫時脫離頂進面。

3) 刀盤改中心傳動為周邊齒圈傳動,以便留有更大空間更換刀具或處理前方故障。

## 2. 如何進行超長距離頂進

由於頂管是在工作井內接續管子,頂進時整個管段向前推進,故頂進時的推力,主要是克服管外壁與地層間的摩擦力。而管材的軸向耐荷力有一定限度,如何解決這一對矛盾,施工中採用以下方法:

1) 在頂管機後部和各管段內通過注漿孔向管外壁和地層間的空隙注入潤滑劑,形成漿套,可大大減低管壁摩阻,其效率在 25%~60% (視地層不同而不同)。

2) 在管段間按一定間隔設置稱之為‘中繼間’的千斤頂組,採用接力方式頂進。整個頂進結束後,撤去千斤頂組,使中繼間閉合形成一個標準管節。

關於採用中繼間並不影響頂進速度的‘分組中繼頂進’,因限於時間,對感興趣者可在會後說明。

除了上述減少推力的措施,易損件的在線更換也必須解決:

1) 在頂進中,刀具 (特別是滾輪刀具) 是主要易損件之一。伊勢機公司採用能在頂管機內刀盤後方在線更換刀具的形式,是既保證人身安全,又能延長頂進距離的有效方法。

2) 中繼間的止水密封圈,也是一主要易損件。採用可在線更換的密封裝置,原理上可無限延長頂進距離。

## 三. 頂管施工法和盾構施工法的比較:

這兩種施工法各有所長,我僅按施工的實用性,作以下比較。

### 1. 需引進設備的性能價格比

由於頂管施工和盾構施工的不同,首先是機械的後方構造:前者用管材,將整個管段向前推進,後者則採用管片結構組合。

其次,伊勢機公司在機頭刀盤構造上利用 31 年的頂管機制作經驗再加以創新,製造了泥水和土壓用頂管機,其既能剪切岩盤,以偏心旋轉法擠壓破碎礫石,必要時以注漿防止地層崩壞,且具有盾構掘進機不可比擬的機動性如機身後退,單獨的方向修正裝置等。

盾構施工法的設備,機頭價格亦不相上下,而後方管片安裝用台車和機械手的價格和管片製造工廠的投入較昂貴。

頂管施工,主要從國外導入岩盤和砂礫地層的頂進技術,後方配套均可在國內解決,即用有限的外貨,導入必要的技術,以填補國內空白。

## 2. 管材的制作和供應

盾構施工,因制作精密的管片,需高精度的模具,以及管理良好的製造工場。國內隧道施工已普及,但目前最小口徑在 4m 以上,2m 左右的管片還未有先例。

頂管施工採用的鋼筋混凝土管,口徑從 600mm~3,000mm,只要有離心制管設備,各地均能製造,若使用鋼管,則管材的供應更無問題。

由於施工隊伍流動性大,盾構施工的管片運輸有一定難度,且一旦口徑變化,將重開模具,以後的隱性成本高。

## 3. 推進距離和速度

目前國內最長一次連續頂進距離為 1,865m。長距離頂進,在國內外均已普及,如目前在江蘇省南通的天然氣輸送管過長江項目研討會上,已在考慮 6km 頂管技術。

關於頂進速度,有一種認為頂管使用中繼間,引起速度慢的誤解。實際上長距離頂管,採用‘中繼間分組’的頂進方法,可達到與不使用中繼間時的同樣速度。

而盾構施工,因管片的運輸和安裝等,其推進速度大大慢於頂管。

在礫石地層中頂進時,由於採用中空式螺旋輸送機將大塊的礫石不破碎而直接排出,故比泥水施工法要充分破碎后排出的推進速度要快得多。

一般根據地質條件,將頂管機設計成平均 10m/天(視土質有時需要兩班輪換工作)左右。

## 4. 曲線施工的水平

目前伊勢機公司的曲線施工水平,已能沿半徑 50m 的急曲線頂進。當然因施工難度大和成本高,應盡量避免小半徑曲線頂進施工。

關於目前曲線施工用測量裝置,有全站儀、羅盤(包括光纖和機械式)和激光折射式等,但價格貴。

根據管道敷設的一般情況,若以上下曲線為主,建議曲線測量技術的引進,分二個階段進行:引進水壓測量裝置在頂進中管理垂直方向曲線,(價格僅為全方位測量裝置的 1/10),今後根據技術進步和工程需要,再考慮引進全方位曲線測量裝置為好。

## 5. 施工時的電力消耗

頂管施工法,由於無需盾構施工法的安裝管片的機械手和管片運送台車等裝置,整體裝機容量大大小於盾構機械。

加之伊勢機公司的頂管機,刀盤等重負荷部分直接使用電力,比起液壓馬達因使用液壓動力站和中繼裝置將電力轉換成液壓使用,效率更高。

## 6. 技術指導和人員培訓

由於伊勢机公司目前已有 35 台套頂管設備在國內施工,加之配套設備基本採用國內,故頂管的基本培訓,擬在國內由勢机機械技術工程公司進行,可大大節約費用。

- 1) 現場操作員,維保人員等一般技術者,基本在國內培訓
- 2) 高級管理和技術者如現場責任者,局和公司的管理層(決策,選型和設計等),到國外考察和實習。
- 3) 施工中,由伊勢机公司技術人員到現場具體指導頂進操作。

#### 7. 施工設備的實用性和將來性

頂管設備,由於其設備小巧和組合性強,既可用於硬地層和超長距離施工,也可用於其他地層和短距離施工,且由於工作井面積大大小於盾構機械,所以在其他工程中,如穿越小山包,城市中的房下頂進中也能利用。

因設備的小型化,使頂進的前期準備作業時間大幅縮短,也是特點之一。

#### 8. 施工後的管線耐用性和日常保養問題

盾構施工,是用管片組合,通過管片之間的止水密封條和螺栓,防止管片和管片之間漏水等的發生。在施工完成后,需一支維保隊伍對其作專業日常保養。頂管施工,若使用鋼管,因用溶接法聯接,無漏水問題。若用鋼筋混凝土管,僅管與管之間的聯接採用止水環,且在施工后即用混週土作補強作業,故僅有定期檢查而無日常保養問題。

### 四. 今後的課題和發展方向:

#### 1. 砂礫地層和岩盤地層兼用頂管机

由於砂礫地層用和岩盤地層用掘進設備的面板構造和刀具的配置結構有根本的不同,後者須具耐磨特性和主要靠刀盤剪切破碎岩石,而前者須具擠壓破碎防止礫石地層倒壞的機能,同時兩者都須在遭遇粘土時要防止進泥口堵塞和刀具嵌泥的故障,故兼用机是今後的課題之一。

#### 2. 地中對接技術

無論頂管和盾構施工,一次掘進距離超過 1000m 以上后,在殘土輸送,測量等方面,都變得困難起來,採用地中對接施工法,對一個超長距離的頂進段,從兩個方向同時頂進,頂進雙方机頭在相遇前進行地中精確測量確認後對接,這樣就可在同樣時間內使施工進度加倍。幾種地下對接的施工方法,目前均處在不斷完善之中。

### 3. 關於管內高壓供電

在超長距離頂進施工時,對管內包括機頭的用電,採用從地面用高壓(3000~6000v 交流)送電,在管內再變為 380v 交流供設備使用的技術,國外已極為普遍,形成了標準化,目前我國上海等地也已普遍採用。

權宜之計可採用調頻穩壓器,詳細在會後討論。

## 頂管机的選型 (一)

根据土質確定所用頂管机的轉矩：

1) 頂管机机頭轉矩越大,价格就越昂貴。但選擇的頂管机轉矩太小,将有可能不能在所希望的土層中頂進。

故在初期設備選購階段,如何根据当地的土質來確定所選頂管机的轉矩,是涉及實用性和經濟性的重大問題之一。

頂管机轉矩的計算,可按以下世界頂管行業公認的經驗公式：

$$T = \alpha D^3$$

其中：T-----頂管机轉矩 (tf-m)

D-----頂管机外径 (m)

$\alpha$ -----系数：軟土（粘土,淤泥,粉土）類,取 1.05~1.99

砂,砂礫（粒徑在頂管机公称直径 20%以下）,取 2~4

砂礫（粒徑在公称直径 30~40%以下）,軟岩,取 4~7

（巨礫,岩盤頂管机因刀盤轉速快好幾倍,故  $\alpha$  不可比）

2) 以上計算的重要性：

1. 可根据当地土質狀況,選擇  $\alpha$  系数,再根据頂進管外径選定轉矩 T,從而比較各製造商的產品。当然 T 值越大越好,但因价格基本和 T 值的平方成正比,故正確選擇 T 值,既能基本適應本地區的土質,又節約了前期的投資費用,應是頂管施工企業領導的首要決策。

2. 使用上述公式,可從理論上確定是否能進行擴徑頂管。

一般購入了一台頂管机,總希望能兼幾種管徑的施工。擴徑頂管,對土質有一定的限制,其理論也是出之上述公式,举例如下：

擬使用我公司的 TCC800 机進行  $\phi 1000$  鋼筋混凝土管的施工,先算出 TCC800 的轉矩：

$$T = 6.59 \times 0.98^3 = 6.20 \text{ tf-m}$$

再以  $\phi 1000$  管外径 1220mm,求得  $\alpha$  值：

$$6.20 = \alpha \times 1.22^3 \quad \alpha = 3.41$$

從  $\alpha \rightarrow$  土質對照表知：仍可在砂礫土中施工（但對付礫徑能力有下降）。

当擴徑至  $\phi 1200$  施工時： $\alpha = 6.20 \div 1.45^3 = 2.03$ , 僅能施工於軟土了。

以上的計算和確定, 一般的製造商因土質條件不詳, 是不提供的, 代理商更是無從着手, 只能依靠施工企業自己來決定, 故我認為比較重要, 在此提出供各位同仁作參考。

3) 我公司提供的全土質對應 (除岩盤) TCC 機種的  $\alpha$  值：

TCC800	$\alpha = 6.59$	可破碎最大礫徑：320mm
TCC1000	$\alpha = 6.83$	可破碎最大礫徑：400mm
TCC1350	$\alpha = 7.15$	可破碎最大礫徑：540mm
TCC1650	$\alpha = 5.72$	可破碎最大礫徑：490mm
TCC2000	$\alpha = 4.30$	可破碎最大礫徑：590mm

以下是我公司售價比較低的軟土頂管機的  $\alpha$  值：

TM800	$\alpha = 1.53$
MEP1000	$\alpha = 1.60$
MEP1350	$\alpha = 1.13$
MEP1650	$\alpha = 2.09$
MEP2000	$\alpha = 1.20$

4) 岩盤頂管機因刀盤轉速快, 故要求電動機功率更大。具體計算式如下：

$$N = 1.026 n T$$

其中：N-----電動機功率 (kw)

n-----刀盤轉速 (r.m.p)

T-----轉矩 (tf-m)

## 頂管機的選型（二）

### 刀盤前部結構：

#### 1) 刀盤的剪切破碎機能（第一次破碎）

所配置的刀具的位置,形狀,硬度和抗彎曲度等,應能適應本地区的土質,既能有效切削,又不易被粘土糊住。

伊勢機公司的 TCC,TCZ 型頂管機,採用在條幅刀盤上設置各種刀具（中心刀,主切削刀,外周刀和超刀等）,能對付粘土,砂礫直至軟岩。

#### 2) 是否帶補助破碎機能（第二次破碎）

二破至關重要,因僅靠一破達到能被輸送（泥水輸送管路或土壓螺旋輸送機）的粒徑,將大大縮短刀具壽命和影響頂進速度。一破的功能,應是將礫石破碎成二破能接受的程度,然後由二破將礫石破碎成能被輸送的粒徑。

伊勢機公司在刀番上採用世界上獨一無二的圓錐形偏心破碎裝置（專利）作為二破,不僅能極有效地進行破碎,且因礫石是被機頭本體的內外圓錐軋碎,故破碎過程中頂管機不易旋轉。

伊勢機公司的主力產品（TCZ,TCC,TCS 和用於超長距離,曲線頂管的 TCL）均具有此功能,占到目前為止生產的 2,000 台中的 1,600 余台。

#### 3) 對粘土的防堵機能

應了解頂管機的切實有效的防堵功能,而不是被堵後的解決方法。

伊勢機公司刀頭的偏心回轉,使排泥口大小在頂進中不斷變化,能極有效地防止堵塞。

#### 4) 全土質（除岩盤）對應機種比更換刀盤來對應土質的機種優秀。因為在一個頂進行程中,土質不可能一層不變,當土質有比較大的變化或與互層時,中途是不可能更換刀盤的。



## 頂管機的選型（三）

### 1. 控制地表隆沈的水平：

控制原理及控制量，目前優秀的機種可達 $\pm 10\text{mm}$ 以內。

伊勢機公司 MEP, TM 型頂管機，採用刀盤平動（專利）來自動平衡土壓 TCZ, TCC, TCS 型頂管機，採用調節排土量（排泥 PUMP 無級調速）來平衡土壓。

### 2. 防止地下水的流失和噴出：

要求頂進前不須作井點降水處理，頂進時能對抗地下水保持平衡。

伊勢機公司採用調節送水壓力來平衡地下水。

### 3. 頂進的速度和精度：

優秀機種速度根據土質不同可達  $70\sim 200\text{mm/min}$ ，精度可達上下 $\pm 20\text{mm}$ ，左右 $\pm 40\text{mm}$ 以內。

伊勢機公司的 TCZ, TCC, TCS 頂管機，採用 RSG 激光方向誘導裝置進行半自動糾偏，替代了昂貴的計算機系統，利於新手操作。

### 4. 一個頂程的頂進長度和曲線頂進水平：

一般小口徑頂管一個頂程在  $100\sim 130\text{m}$ ，中大口徑頂管一個頂程可達  $1,000\text{m}$  以上（使用中繼間）。曲線頂管以曲率半徑越小越先進來評價。

伊勢機公司的曲線頂管機的最小曲率半徑可達  $20\text{m}$ 。

### 5. 減小後方頂力的手段：

採用注入潤滑劑的方法來減小頂進推力，根據土質，注漿設備，材料和注漿水平決定潤滑效率。採用中繼間進行接力頂進，有最小可用於  $\phi 800\text{mm}$  的中繼間。還有最先進的止水密封圈可在頂進過程中更換的中繼間，適用於在超長距離沙層中頂進。

伊勢機公司潤滑劑注入使用螺桿 PUMP，無脈動，優於柱塞 PUMP，整套裝置為一體化型。

### 6. 被掘削土砂的排出方法：

根據機種和口徑，有人工式，半自動式和全自動式。

伊勢機公司的中小口徑泥水式頂管機，採用泥水全自動式的出土方式，大大提高了頂進效率。

### 7. 尽可能小的工作井和接收井：

比較頂管機可分割頂進和回收的水平。

伊勢机公司目前最小機種的工作井直径僅 2m。TCZ 型机頭可四分割回收,故無須接收井,可在 900mm 的檢查陰井（人孔）中回收。TCC 也可兩分割回收。

8. 尽可能小的占地面積：

地面上的附属設備的小型化水平。

伊勢机公司的一体型泥水处理裝置,占地面積小,殘土經处理后可直接用汽車運走。

9. 施工時振動和騒音水平（所謂為環境保護施工時的環境保護）

伊勢机公司的後方液压動力站採用防音裝置。

10 設備的耐久性（包括主机,部品和易損件的耐用性）

伊勢机公司的頂管机,其易損件,止水,油封等一般可頂進 1km 后更換,刀具視土質而定。半耐用件（主軸,主齒輪,主減速机等）在正常使用時可達数十公里。筒体等耐用件可使用至設備折旧為零。

## 頂管机的選型（四）

在參觀頂管施工現場時應了解和注意的項目：

1) 整体施工形象：

整体布置不僅體現頂管机系統水平,也體現了管理水平,同時間接反映製造商的技術指導,善后服務等軟件提供的好壞。

內容包括：1.占地面積

2.工作井,回收井面積

3.設備安放的合理

4.對環境的影響（振動,噪音,對交通和住民的影響等）

5.安全（包括對設備和人員的安全,以及電器,精密儀器的防雨,防水等）

2) 頂進速度,包括兩個方面：

1.頂進中,好的頂管机系統,應具有頂進速度和行程的儀表表示。

2.頂進一個管節后,其管的接續,各電纜,管路的斷開和連接所需時間應越短越好。

3) 頂進精度：

注意頂進時電視屏幕上激光點的絕對偏差,激光的大小和抖動情況。在頂進停止后方推力消失瞬間,激光不應上下移動。

同時應觀察糾偏操作和效果。

4) 頂進時刀盤轉矩表指針的指示和抖動情況。

5) 頂進面壓力和地下水壓力平衡的管理水平,以及排土量的調節和控制方法。

6) 總推力的絕對值大小和頂進長度的比例（經驗公式）

7) 潤滑劑的注入狀況（厚度和用量）和效果（使總推力減小的百分比,有無堵塞現象等）

8) 殘土處理方法

# 伊勢机公司泥水頂管系統的特点和優越性

## (一) 先進性

1. 机頭帶有目前世界上最先進的偏壓破碎機構（專利），可全土質（除岩盤）對應。

一般的頂管机頭，具有刀盤旋轉對土層進行剪切破碎能力（稱為一破）。伊勢机公司生產的机頭，除上述一破外，還具有刀盤偏心回轉（即刀盤回轉一圈作偏心運動 25 次）破碎礫石（稱為二破），並可防止粘土堵塞進泥口，同時也因具有二破，故可防止因一破轉矩過大引起机頭旋轉。（請見附件）

因具有二破功能，故頂管机頭不必更換刀盤即能在粘土，砂礫直至軟岩地層中頂進，其破碎礫石大小為口徑的 40% 以下，強度可達 200Mpa。

2. 机頭帶有 RSG 方向修正誘導裝置（專利）

頂管机在地下精確頂進，一般依靠經驗豐富的操作員操作。伊勢机公司為了便於新手操作員也能精確糾偏，開發了 RSG 方向修正誘導裝置，大大提高了推進精度。該裝置以低廉物美替代了昂貴複雜的計算机糾偏系統。

3. 機內設有電視攝像机和聽音裝置，使操作員在地面遙控操作時如同置身於機內一樣掌握頂進面和機內機械狀況。

4. 使用泥水全自動排出殘土。

## (二) 安全性

1. 操作人員在地面遙控操作，無須進入管內，在長距離頂進時保證了人身安全。

2. 地面隆沈可控制在最小範圍內

採用調節送水壓力平衡地下水的流出，調節送泥流量和頂進速度平衡頂進面土壓，從而有效控制地面隆沈。

3. RSG 方向修正誘導裝置使頂進精度大大提高，防止了頂進蛇行引起推力增大管材破裂等故障。

4.頂管後方裝有回拔棒,以在頂進途中(頂進面遭遇不可逾越的障害物等)也可將頂管機從工作井中回收。

### (三) 經濟性

1.頂管機頭在到達回收井後可分段回收,縮小了回收井面積,從而可降低回收井的築造成本。

2.附帶設備如後方頂進系統等,均設計成通用型,互換性強,實現了一機多用,為用戶節約設備費用。

3.由於機頭具有二破功能,故在土質限定條件下可擴徑使用(一般可兼大一級口徑)。

4.通過國內可信賴的工廠解決部分配套件(後方頂,泥水輸送,激光器,注漿裝置和泥水處理等)以降低用戶設備投資成本。

5.通過設在國內的強有力的善後服務系統,免費協助用戶解決施工前的設計和安排施工計畫,進行施工時的現場設備安裝,調試和頂進指導,指導施工後的維修保養和解體大修等,節約施工費用。

### (四) 快速性

1.泥水頂管,是目前世界頂管行業中速度最快的施工工法,在同樣土質條件下,是土壓頂管速度的一倍,根據不同土質、一般可達  $70 \sim 200 \text{ mm/min}$ 。

2.三段等推力後方頂進裝置,注漿裝置等均為整體組裝式,使之在現場安裝和移動時極為快速和便利。

3.伊勢機公司的後方千斤頂,其行程保證能連續頂完一節完整管子而中間無須停頓,其後退速度是前進速度的3倍,大大提高了施工效率。

4.泥水處理裝置的使用,可使殘土排出後直接用汽車裝走。

## 頂管設備以及頂管工程的評價

以下 10 個項目,可作為評價方法的參考。

1.控制地表隆沈的水平：

控制原理及控制量,目前優秀的機種可達 $\pm 10\text{mm}$ 以內。

2.防止地下水的流失和噴出：

要求頂進前不須作井點降水處理,頂進時能對抗地下水保持平衡。

3.頂進的速度和精度：

優秀機種速度根據土質可達  $70\sim 200\text{mm/min}$ ,精度可達上下 $\pm 20\text{mm}$ ,左右 $\pm 40\text{mm}$ 。

4.一個頂程的頂進長度和曲線頂進水平：

目前國內優秀工程一個頂程可達  $1,700\text{m}$  (使用中繼間)。曲線頂管以曲率半徑小來評價,伊勢機公司的曲線頂管機的最小曲率半徑可達  $20\text{m}$ 。

5.減小後方頂力的手段：

採用注入潤滑劑的方法來減小頂進推力,根據土質,注漿設備和注漿水平決定潤滑效率。採用中繼間進行接力頂進,有最小可用於  $\phi 800\text{mm}$  的中繼間。

6.被掘削土砂的排出方法：

根據機種和口徑,有人工式,半自動式和全自動式。伊勢機公司的中小口徑泥水式頂管機,採用泥水全自動式的出土方式,大大提高了頂進效率。

7.尽可能小的工作井和接收井：

由於頂管機可分割頂進和回收,伊勢機公司目前最小的工作井直徑僅  $2\text{m}$ ,且無須接收井,可在  $900\text{mm}$  的檢查陰井 (人孔) 中回收。

8.尽可能小的占地面積：

地面上的付帶設備的小型化水平。

9.施工時振動和騒音水平 (所謂為環境保護施工時的環境保護)

10 設備的耐久性 (包括主機,部品和易損件的耐用性)

## 對頂管設備介紹,評價的誤區的說明

### 介紹誤區（一）：可更換刀盤來對應各種土質

頂管機在土層中掘進,當土質發生變化時,不可能中途更換刀盤。

既要對應土質的變化,又不可在頂進途中更換刀盤,只有開發全土質對應刀盤。伊勢機公司的帶偏心破碎機構的機頭,是既能破碎礫石,又能防止粘土堵塞的全土質對應機頭（TCZ,TCC 機種對應除岩盤以外土質,TCS 機種對應岩盤土質）。

伊勢機公司頂管機機頭的偏心回轉破碎機構,是登記了國際專利的,其他製造商不能採用。在無其他技術下,不得已採取更換刀盤方法來應付客戶。

### 理解誤區（二）：只要是進口機種,總歸能用,故以价格便宜為好。

實際國外各製造商,各有特點,也各有弱點：

如在開發上未化大力氣,實際使用期間短,製造台數実績少,機種只能對付均一土質等等。客戶應注意不成熟的二三流製造商,仔細了解其性能和銷售実績。

### 理解誤區（三）：全套設備進口比部分付屬設備國產化好。

進口國內目前沒有或不成熟的技術設備,其餘盡量在國內配套,可為客戶節約前期投資費用。因為頂管全體設備中,有很多鋼管,電纜,PUMP 等,國內完全能自行解決,且如激光發生裝置,因國情不同,功率大於進口製品。

### 介紹誤區（三）：國產也有帶破碎礫石的頂管機。

國內以上海地區為中心,在軟弱地層使用的頂管機的製造上大有進步,但開發硬地層用頂管機上,因存在開發經費,材質等問題,還未見有何起色。

有公司因知道伊勢機公司的技術專利已在國內登錄,故僅在機頭上模擬伊勢機機頭外形,內部構造上完全是兩回事。

客戶應全面了解該廠商的開發經緯,使用実績等,慎重對待。

### 理解誤區（四）：只要頂管機先進,工程就能順利完成。

頂管施工能順利進行,有以下因素決定：

- 1.計畫選擇了適合土質的頂管機。
- 2.優秀的現場工程師和經驗豐富的操作人員。

其人員的培訓,往往被忽視,特別是有中間商社,以頂管機販賣為結束,不考慮也無能力為客戶培養技術人員。

我公司在國內已設立服務公司,為客戶提供培訓服務。因在國內各地均有我公

司的頂管現場,可為客戶提供前期視察和培訓的方便。

**介紹誤區（五）：頂管機是耐久設備,售出后即一勞永逸。**

頂管機是一種半永久的耐久施工設備,但必須認真地進行維修保養,定期更換易損件和消耗品,始能保證每次頂管的順利進行。

很多国外的廠商和代理商,往往無法做到及時為客戶提供施工中的配件,易損件,至使工程延誤。

我公司在國內設有善后服務公司,一呼即應。且有專門維修點和維修人員,即時解決客戶的困難。



## 关于顶管施工法的说明

### 一、采用顶管施工法铺设管道的长处:

- 1、顶管施工是非开挖铺管技术的一种，其在国外已广泛使用，在国内也已逐渐普及。由于不开挖地面，所以能穿越公路、铁路、河流，甚至能在建筑物底下穿过，是一种能安全有效地进行环境保护的施工法。
- 2、顶管施工不开挖地面，故而被铺设管道的上部土层未经扰动，管路的管节端不易产生段差变形，其管寿命亦大于开挖法埋管。
- 3、采用房下顶管施工法能节约一大笔征地拆迁费用，减少动迁用房，缩短管线长度，有很大的经济效益。

### 二、采用泥水式顶管施工法的优点:

- 1、泥水式顶管施工法是一种顶进面完全与顶管机内绝缘的施工法，顶进面由土压监测仪器随时测量顶进过程中的土压，操作人员通过地面操作盘上的萤光屏观察顶进土压和计算土压的偏压值，从而调节顶进速度，保证地表隆沉控制在最小范围以内。优秀的顶管机操作员，能使地表隆沉控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内甚至零。
- 2、泥水式顶管施工法在顶进过程中，通过送水管道将清水或泥水送至顶进面，与被掘削的土渣混和后用泵将泥浆

排至泥水处理装置，经沉淀处理后水被循环利用，而土渣则被沉淀运走。在整个顶进过程中通过调节送水压力用以平衡地下水压力，从而防止地下水的喷发和流失，故施工中不需做井点降水等影响地盘隆沉的措施，而且由于是一种全自动出渣的排泥方式，极适用小口径（ $\phi$  800mm 以下）顶管。

- 3、这种施工法是一种通过观察仪表和摄象画面，在地面上操作和控制的施工法，故而操作人员不须进入管内，从而非常安全可靠。

### 三、伊势机公司的偏压破碎型泥水式顶管系统（UNCLEMOLE 或称之为 TCC 型）介绍：

日本伊势机开发工机公司，是世界上最大的专业制造顶管设备的公司。其成立 28 年以来已生产各类顶管机 1300 多台，遍布世界 33 个国家。使用这些顶管机已顶进管道 1200 多公里，其中中国国内实绩请见附件 1。其详细工作原理和介绍请见附件 2，3。除了具备一切泥水顶管设备的特点外，还具备以下的其他公司不可比拟的专利和特点：

- 1、顶管机先端部分采用条幅刀盘进行偏心回转，从而能破碎 2000kgf/cm 以下的砾石，而是一种在粘土、淤泥到砂砾等广范围地层都能自如施工的顶管设备。
- 2、顶管机具有纠偏功能，操作员通过摄象系统观察激光定位仪发出的激光光束在顶管机内光靶上的光点移动来予

测顶管机偏离顶进计划线的偏差值，从而进行方向修正。熟练的操作员可在顶进过程中操作顶管机与计划线之间的偏差保持在上下 20mm，左右 30mm 以内的精度。

3、一次顶进距离可达 100 米以上，顶进速度为每分钟 70-200mm。

4、顶进设备如后方顶进装置等均采用整体吊装的形式，从而安装速度快，在同一个工作井内可简单地调向安装，便于双向顶进。

#### 四、伊势机公司设备提供和技术支援者。

1、在充分研究了该标书的土质状况和管段布置以后，伊势公司将提供顶管机以及有关配套设备。该套设备能完成各管段的顶管施工。

2、伊势机公司将选派最优秀的现场操作指导员来施工现场具体指导顶管施工，并负责培训有关人员能使用以上设备顺利进行顶管施工。

3、伊势机公司将利用其 28 年以来在顶管施工上的软件以及在世界上 33 个国家的顶管施工经验，对施工方案、施工设计开始到施工过程中的各种故障处理，直至维修保养和顶进用管选择等，进行培训指导，以能培养出优秀的顶管施工设计工程师、现场经理和熟练的顶管施工操作员，直至建立一套完整的顶管施工规范和一个完善的管理系统。

## TCC 偏压破碎型泥水式頂管机的掘削和礫石破碎原理

TCC 型頂管机,是刀盤後部設有応用錐型破碎原理的高効率,強力的礫石破碎裝置的偏压破碎型環流式頂管机,基本的掘削構造圖見圖 1。

刀盤和圓錐型轉子,由軸承安裝在曲軸的先端部,如圖 1「基本的掘削構造圖」和圖 2「圓錐型轉子的回轉運動圖」所示,在由頂管机本体直接聯接的內齒輪中,使直接聯接於圓錐型轉子後部的外齒輪作遊星運動的原理,邊進行偏心運動,邊進行減速回轉。

刀盤從 TCC 型独特的遊星減速機構得到強大的轉矩和偏心力,從而可掘削直至軟岩的土層。刀盤的開口部,如圖 3「礫石的破碎原理圖」所示,可吞入頂管机公称直径約 40%大小的礫石,被吞入的礫石,在外圓錐和內圓錐之間經圓錐型轉子的強大的偏心力,被連續破碎成破碎機構後方土砂排出口能通過的大小,然后隨同其他的土砂由流体輸送排出工作井外。

又,TCC 型頂管机,如圖 4「掘削土砂的压密和压出的概念圖」所示,依靠压密和切削面的土压反作用力,將土砂直線狀压出土砂排出口,可有效地減少由土砂引起的摩擦轉矩和土的攪拌,上揚引起的阻力。一般的頂管机刀盤均為同心回轉,掘削土砂在刀盤內部隨刀盤一起回轉,故需要比較大的轉矩。

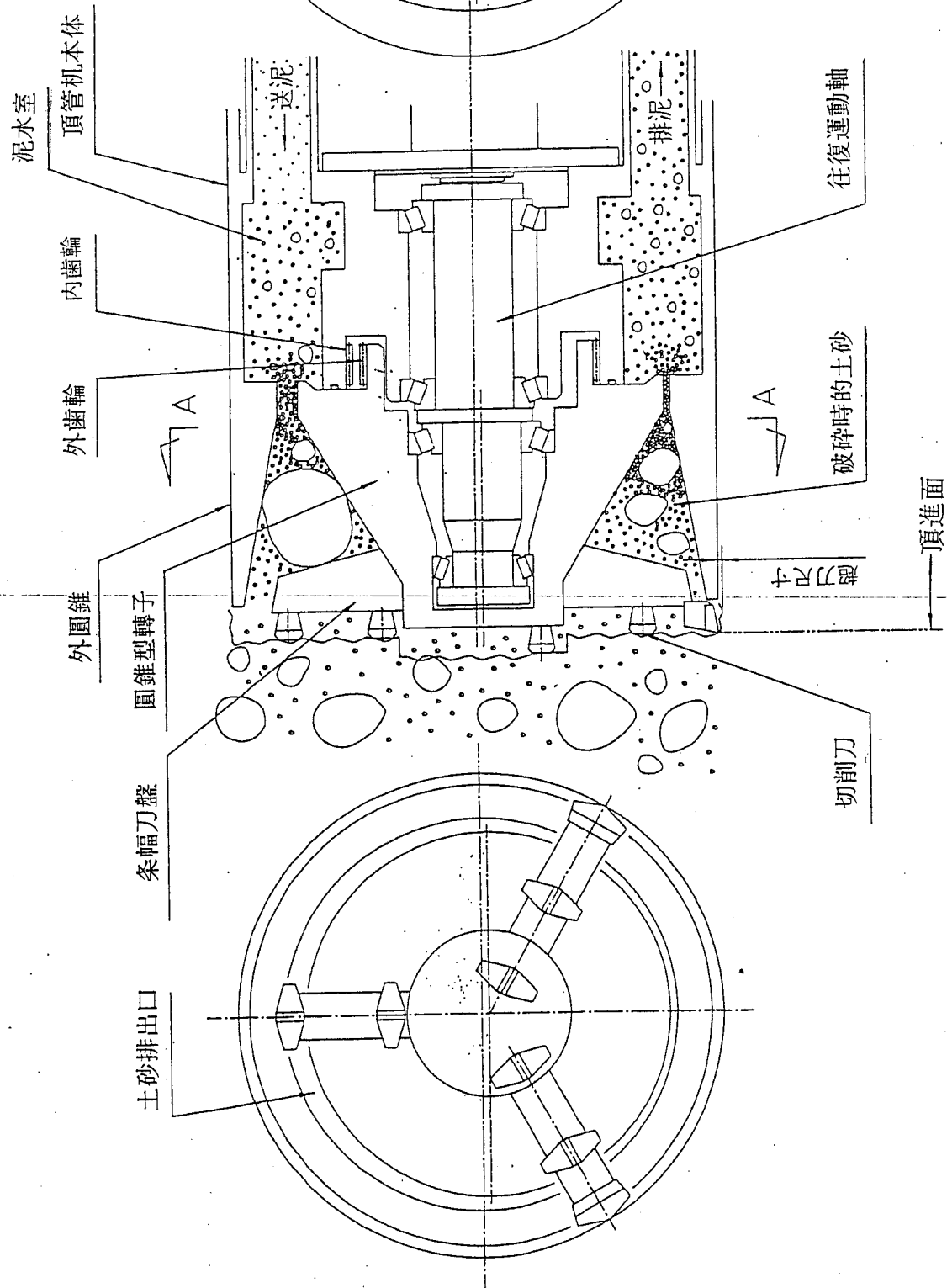
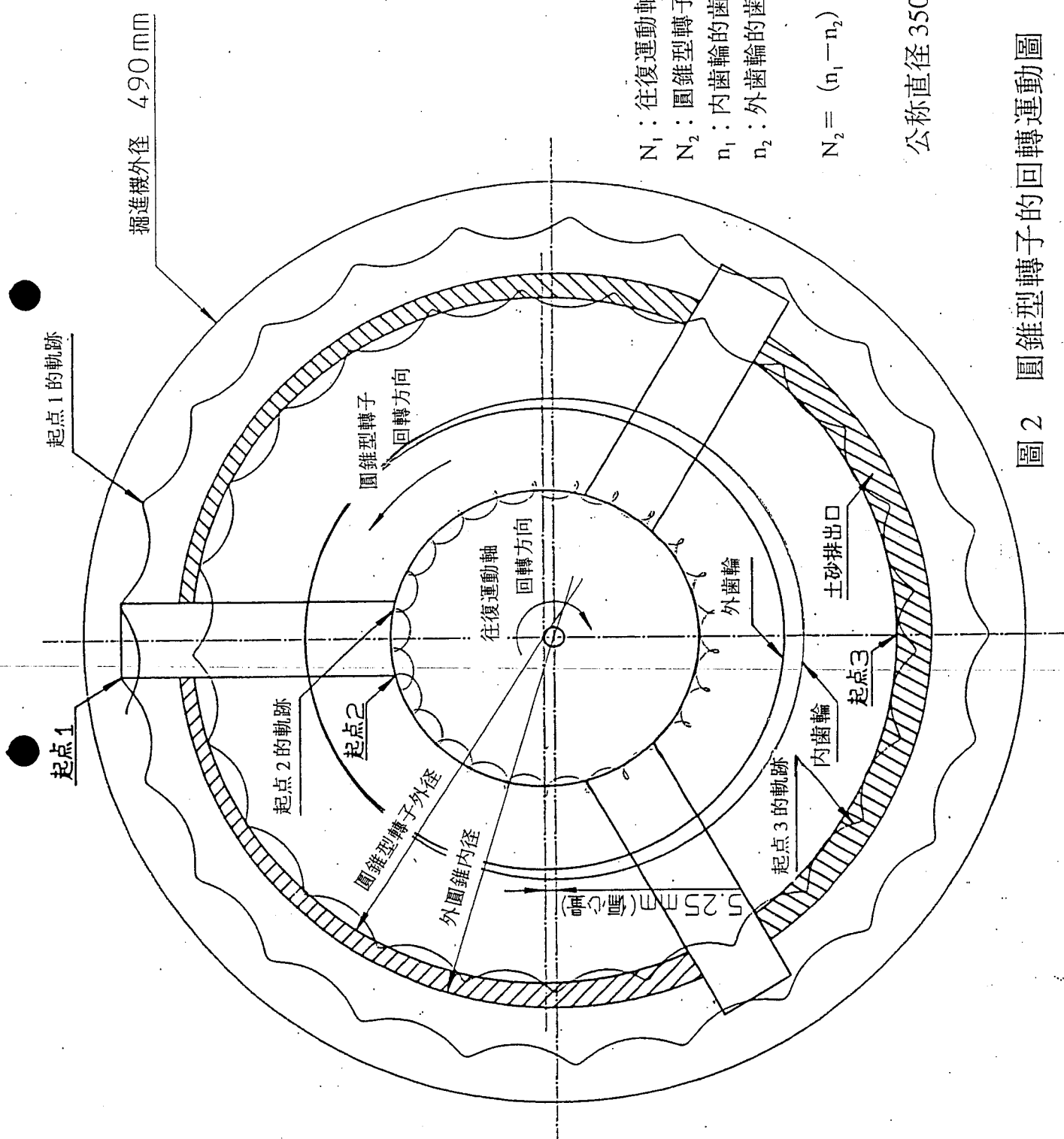


圖 1 基本的掘削構造圖



$N_1$  : 往復運動軸回轉數 (r.p.m)  
 $N_2$  : 圓錐型轉子回轉數 (r.p.m)  
 $n_1$  : 內齒輪的齒數  
 $n_2$  : 外齒輪的齒數

$$N_2 = (n_1 - n_2) \div n_2 \times N_1$$

公稱直徑 350 (S=1/3)

圖 2 圓錐型轉子的回轉運動圖

P: 由圓錐型轉子的偏心運動產生的偏心力

頂管機公称直径 40%左右大小的礫石

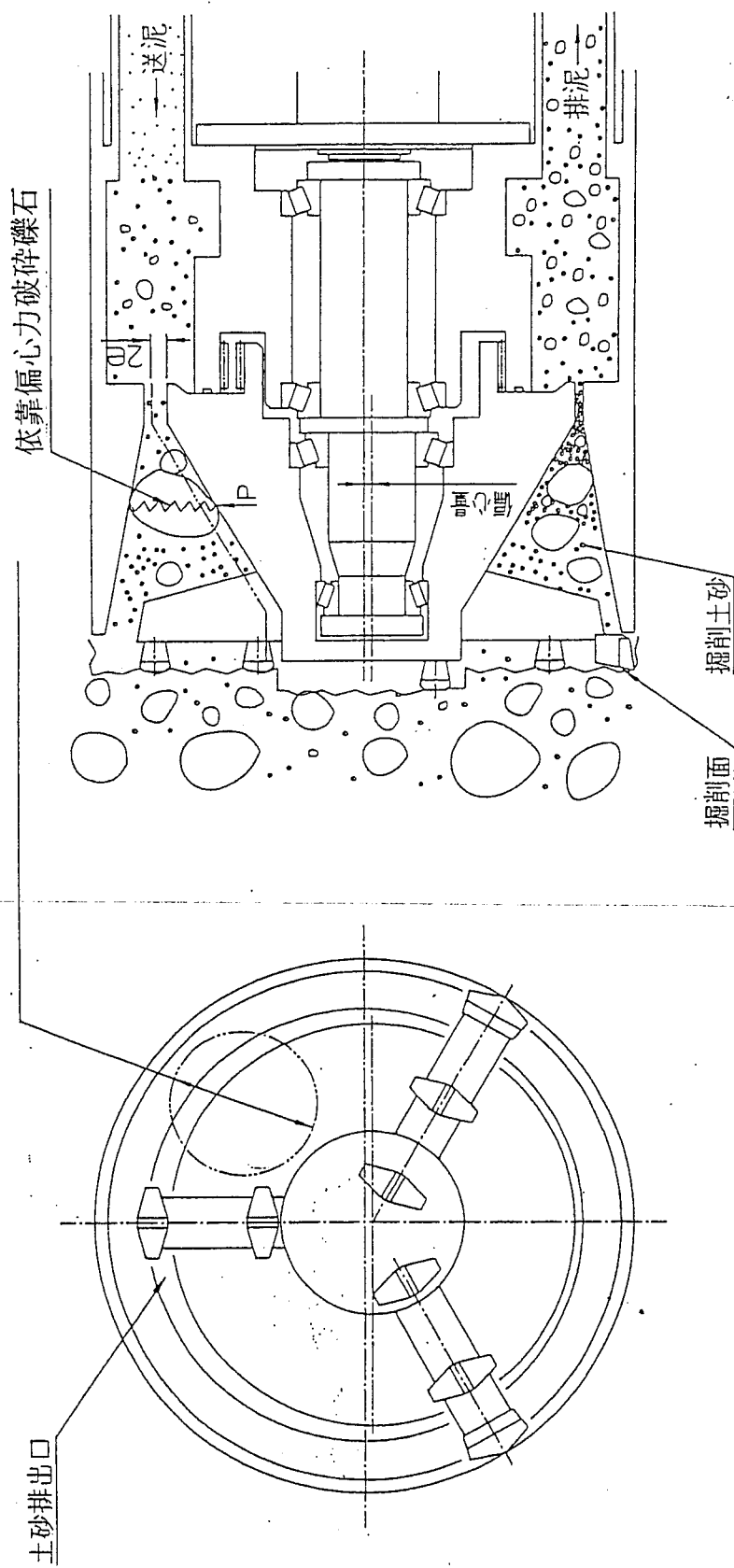
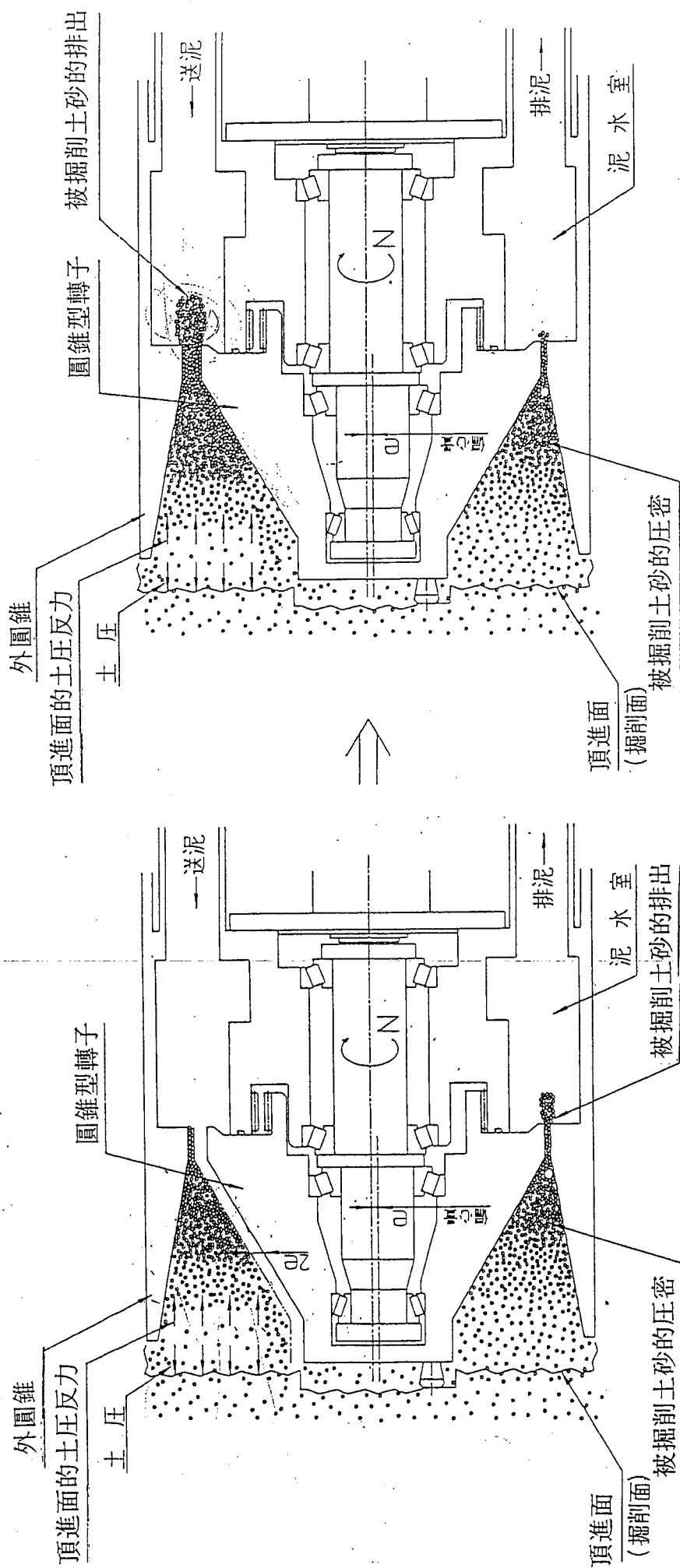


圖 3 礫石的破碎原理圖



随着顶管机的前进,被掘削的土砂充满在如图所示由圆锥型  
 转子偏心运动产生的间隙中同时,被直接压出泥水室的状态

圆锥型转子在进行偏心运动瞬间,外圆锥和圆锥型转子之间  
 产生偏心量 2 倍的间隙的状态

圖 4 被掘削的土砂的压密和排出的概念圖



## 向中國大陸出口的實績

[illegible]