

第 1 章 隧道工程施工机械

1.1 概述

隧道是铁道线路的重要组成部分，它包括山岭隧道、河谷隧道、水底隧道及城市地下铁路。当今隧道及地下工程已涉及到国民经济的各个领域，如：公路、水利、水电、煤炭、采矿、国防工程、地下仓库、地下停车场及过街地道等。

铁路隧道的施工方法，因隧道水文地质情况、埋置深度、断面结构形状等条件的不同，可采用明挖法和暗挖法两大类型。

明挖法是先把隧道及其上方的地层全部挖开，然后修筑衬砌，再进行回填把隧道掩埋起来，如：修筑明洞、浅埋地下铁道或地铁车站等工程。明挖法可采用通用的土、石方工程机械、桩工机械等进行开挖与回填。

暗挖法是全部工程作业都在地下进行，它的主要施工方法有：喷锚构筑法、盾构法和掘进机法。喷锚构筑法是以钻爆开挖、喷锚支护为主体的施工方法。这种方法应当装备有：凿岩、装药机械；装碴运输机械（即有轨运输或无轨运输设备）；喷锚支护机械；二次模筑衬砌机械；动力通风机械及其它附属设备。盾构法和掘进机法是将开挖、支护和衬砌组合为一体的大型专用机械设备。它相当于一座流动的工厂，通过地层后将隧道建成。盾构法主要用于有水地层、软弱不稳定围岩中修建地下铁路或过江隧道工程。掘进机法主要用于掘进中硬以上岩层的长隧道。

隧道穿越江河海峡时，采用沉埋管段建筑的施工方法，在我国正在起步。这种方法要装备大型水上吊装设备和水下挖沟装置。它涉及技术范围较广，需要进一步开发、研制。

本章主要介绍盾构法和掘进机法的主要施工机械。

1.2 盾构

1.2.1 概述

1.2.1.1 盾构的作用及施工方法

盾构是指用钢板制成圆筒形的结构物。它是集开挖、支护、衬砌等多种作业于一体的大型隧道施工机械。主要用于软弱、复杂等地层的隧道施工。目前盾构已发展到功用更加齐全、性能更加完善、操纵十分简单、整个施工过程均可由电子计算机自动控制的程度。

使用盾构修筑隧道的方法称为盾构施工法。简称盾构法。盾构法

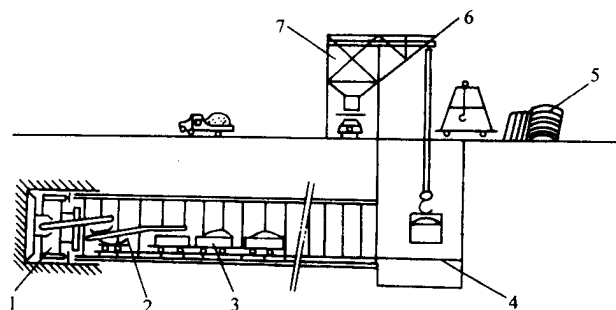


图 1-1 盾构施工法示意图

1—盾构 2—管片台车 3—土斗车
4—轨道 5—材料场 6—起重设备 7—弃土仓

的施工程序是：在盾构前部盾壳下挖土（可采用机械挖土或人工挖土），并同时用千斤顶向前顶进盾体；当盾体顶进一定长度（即为一环衬砌片的宽度）后，再在盾尾拼装预制好的衬砌块，并以此作为下次顶进的基础，继续挖土前进。如此不断循环直至修完隧道为止如图 1-1 所示。

1.2.1.2 盾构的类型

盾构的型式很多，可按盾构的断面形状、构造及开挖方式进行分类。

按盾构断面形状可分为：圆形、拱形、矩形和马蹄形等四种；

按开挖方式可分为：手工挖掘式、半机械挖掘式和机械化等三种；

按盾构前部构造可分为：全部开口型、部分开口型、密闭型等三种；

按平衡地层土压方式可分为：气压式、局部气压式、水压式、泥水加压式和土压平衡式等。

1.2.1.3 几种盾构的主要技术性能

国内使用过的几种盾构的主要技术性能，见表 1-1。

表 1-1 常用盾构主要技术性能

盾构型式	1	2	3	4	5	6	7
	手工挖掘式	半机械化式	机械式	土压平衡式	加泥性土压平衡式	泥水加压式	网格挤压式
盾构外径/mm	φ7760	φ7760	φ6970	φ7450	φ7350	φ9700	φ11300
盾构内径/mm	φ7640	φ7640	φ6850	φ7300	φ7200	φ9580	φ11100
盾构全长/mm	5420	5420	7145	6900	5850	9000	上部 8900 下部 8400
盾尾间隙/mm	60	60	60	75	75	40	100
盾构千斤顶推力/kN	1500	1500	1500	1500	1500	2500、3000	2250
盾构千斤顶个数/个	30	30	20	36	30	33	48
盾构千斤顶行程/mm	1050	1050	1050	1050	1150	1100	上部 12×250 下部 36×150
油压/MPa	30	30	42	30	30	30 35	32
驱动电动机功率/kW	30×4	30×4	30×1		45×1	45×2	
工作平台行程/mm	1200	1200					
切削刀盘形状			回转刀盘	回转刀盘	刀架式	回转刀盘	
切削刀盘支承方式			周边支承	混合支承	中心支承式	周边支承	
切削刀盘转速/(r/min)			0.25~0.125	0~0.74	0~0.76	0.6,0.52, 0.44	
切削刀盘转矩	常用/(kN.m)		3700	5000	3960	8300 12450	
	最大/(kN.m)		7400	7500	5940	14500	
传动方式				液压		液压	
拼装机型式	环式	环式	中空轴式	环式	环式	环式	框架式

1.2.2 手工挖掘式盾构

手工挖掘式盾构是盾构的最基本型式，其他型式的盾构都是由此而发展起来的。手工挖掘式盾构虽然在性能上有许多缺点，使用范围也受到一定程度的限制，但由于它所具有的优点，却仍受到重视而在继续使用。

1.2.2.1 主要结构

手工挖掘式盾构主要由盾壳、支护结构、推进机构、拼装机构、附属装置等五部分组成，如图 1-2 所示。

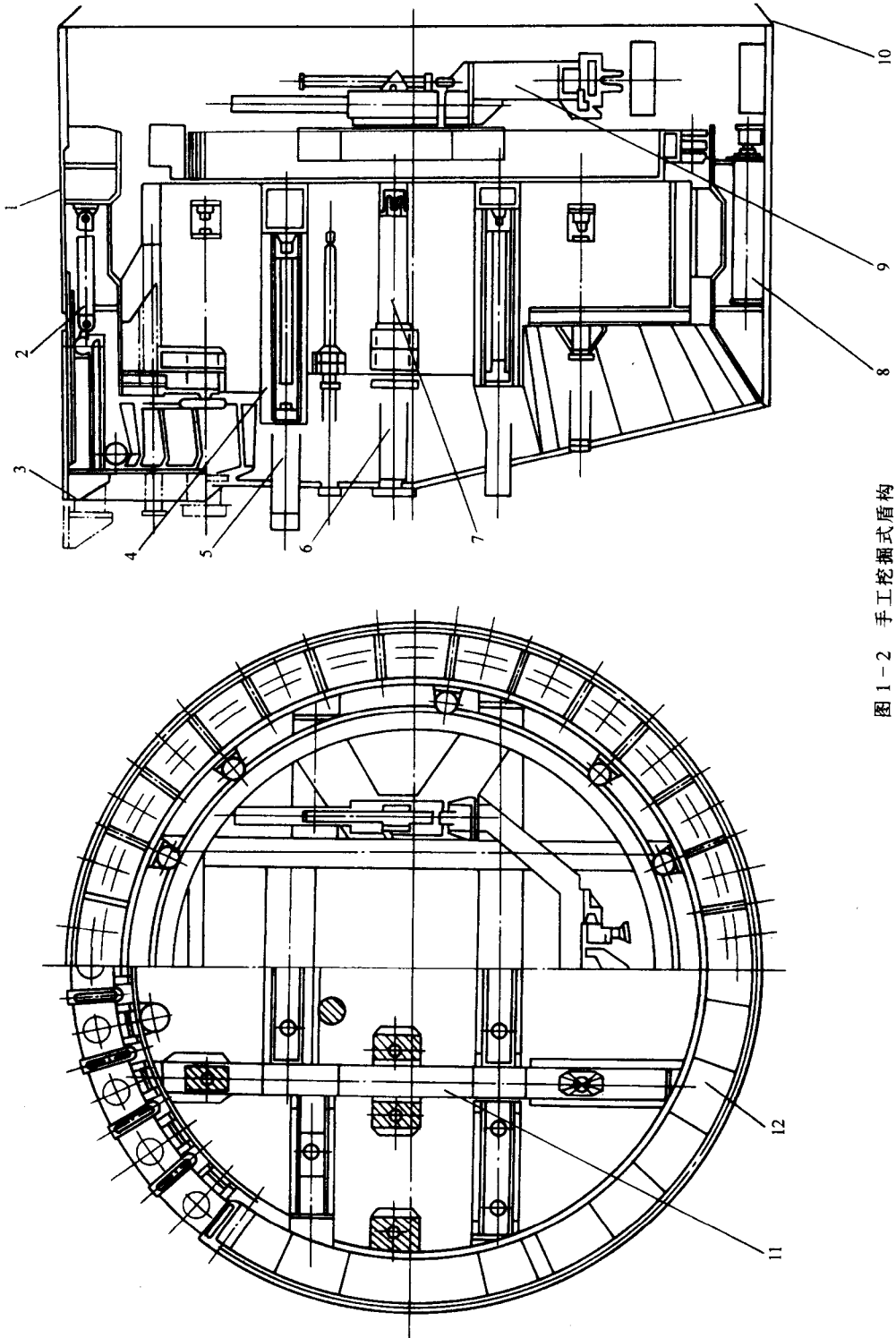


图 1-2 手工挖掘式盾构

- 1—盾壳
- 2—前檐千斤顶
- 3—活动前檐
- 4—工作平台
- 5—活动平台
- 6—支护挡板
- 7—支护千斤顶
- 8—盾构千斤顶
- 9—举重臂
- 10—盾尾密封装置
- 11—井字型隔架
- 12—锥形切口

1. 盾壳 盾壳是由钢板焊制而成的圆形壳体结构。它的主要作用是：承受地层压力，起临时支护作用，保护设备及操作人员的安全；承受千斤顶的水平推力，使盾构在土层中顶进。同时，也是盾构其他机构的骨架和基础。

盾壳主要由切口环、支承环、盾尾等组成，其结构如图 1-3 所示。

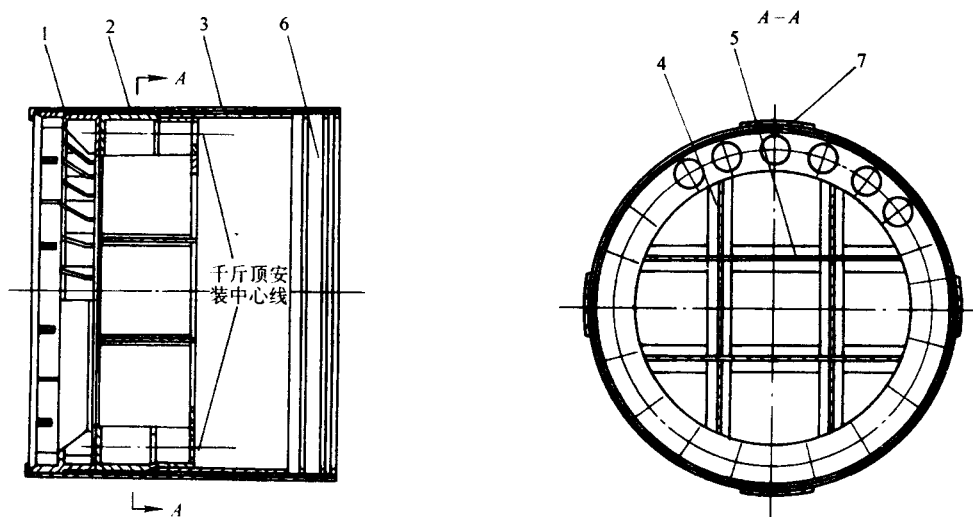


图 1-3 盾壳结构

1—切口环 2—支承环 3—钢板束 4—立柱 5—横梁 6—盾尾密封 7—盖板

(1) 切口环 切口环为一圆环，前端带有刃口，长出的部分称为前檐，其内焊有楔形的纵向加强肋，数块斜板与切口环刃口组成内锥形的切口。由于切口环切入土层起稳定开挖面的作用，刃口大都采用耐磨钢材制作。加强肋也作成坡形，减少切入阻力。

切口环的长度和形状依土层条件而定，切口环不宜过长，否则将使盾构的稳定性变差，增大盾构推进阻力。在开挖面难于自稳的地层中需要较长的切口环时，大都采用活动前檐以增加切口环的长度。

(2) 支承环 支承环在盾构的中部，连接切口环与盾尾，使盾构构成整体。它由外壳、环状加强肋和纵向加强肋组成。环状加强肋分别焊在支承环的两端，外缘与支承环相连接。纵向加强肋则焊在支承环内侧与环状加强肋之间。盾构千斤顶就布置此间并将盾构千斤顶的推力传给壳体。

支承环的长度取决于盾构千斤顶和支护千斤顶的长度。由于安装盾构千斤顶与支护千斤顶，环状加强肋的断面缺损较大，所以，环状加强肋的厚度均比支承环壳体厚。

(3) 盾尾及密封装置

1) 盾尾 盾尾在盾壳的尾部，由环状外壳与安装在内侧的密封装置构成。其作用是支承坑道周边，防止地下水与注浆材料被挤入盾构隧道内。同时，也是进行衬砌组装的地方。盾尾的环状外壳大都用高强度的薄型钢板制作，以减少盾构向前推进后留下的环状间隙。

盾尾的长度取决于衬砌型式，采用管片衬砌时，盾尾尺寸计算如下：

$$L_r = K \cdot B + L_1 + C$$

式中 L_r ——盾尾长 (mm)；

- K ——系数， $K \approx 1.3$;
- B ——每环管片宽度 (mm);
- L_1 ——盾构千斤顶尾座长 (mm);
- C ——余量， $C = 100 \sim 300\text{mm}$ 。

2) 密封装置 为防止泥水和水泥砂浆从盾构外流入盾构内和盾构内压气向地层中漏泄，在盾尾内壁与衬砌之间设有密封装置。对泥水盾构，盾尾密封装置更为重要。盾尾密封形式很多如图 1-4 所示。

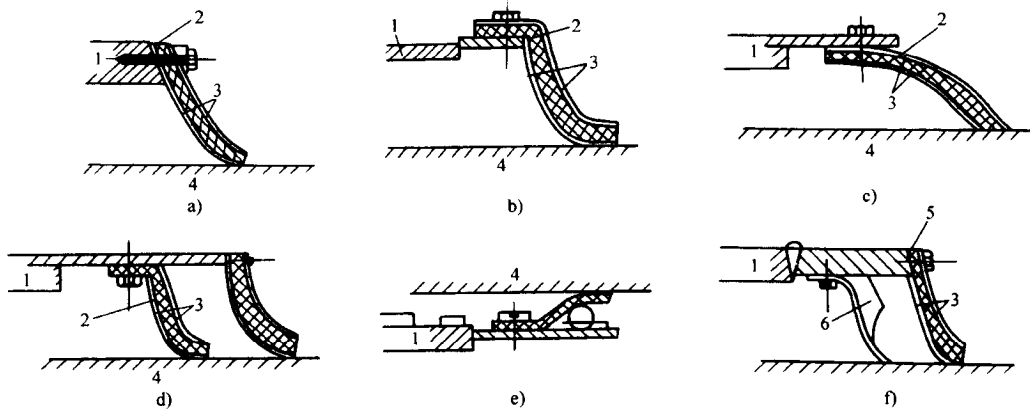


图 1-4 盾尾密封装置

1—盾尾 2—合成橡胶 3—护板 4—衬砌环外壁 5—氯丁橡胶 6—氨基配乙酯泡沫

(4) 钢板束与盖板 钢板束用两层 16Mn 钢板铆接而成，依盾构直径大小分块，包在支承环与切口环外面。钢板束连接缝必须与支承环各块间联接缝错开。钢板束较支承环长，伸出部分构成盾尾。钢板束在包裹时，亦必须将支承环与切口环之联接缝包住，长度略小于盾构全长，它与支承环、切口环间用焊接或铆接相连。在钢板束各块间的接缝处包有盖板。

(5) 立柱、横梁及工作平台 在支承环内设有两根垂直立柱，水平方向上有两条水平横梁并与立柱垂直相交。其作用是支承盾构体的结构，提高盾构壳体的承压能力。通过强度计算，可知横梁受拉、立柱受压，横梁受力比立柱大。

在支承环内，立柱、横梁将盾构断面分成上下、左右各三部分，构成两层水平工作台。这样便于工作人员进行开挖、运土等作业。

2 支护结构 支护结构一般由活动前檐、活动工作平台和支护挡土板等构成。

(1) 活动前檐 活动前檐 3 (见图 1-2) 由多块扇形体组成，位于切口环拱部的滑槽和滚轮滑道内。扇形体的前端带有特殊的刃口，后端与前檐千斤顶 2 一端相连，前檐千斤顶 2 的另一端被固定在支承环后部的横向隔板上。当千斤顶伸出时，推动活动前檐向前伸出，伸出长度为千斤顶的行程。

(2) 活动平台 活动平台 5 安置于横向两层工作平台 4 内，后端与固定在工作平台 4 内的千斤顶相连。当千斤顶伸出时，活动平台沿着工作平台内的轨道向前伸出，伸出长度和千斤顶的伸出行程相同。

(3) 支护挡土板 支护挡土板 (见图 1-2) 由支护挡板 6 和支护千斤顶 7 构成。支护

挡板安装在框架的前端，支护千斤顶一端安装在框架内，另一端固定在盾构的隔板上。千斤顶伸出时，推动框架在支座上滑动，将挡板向前推进。由于切口环的形状不同，上下层的支护挡板伸出长度可以不同。

为了确保盾构在推进过程中不影响支护结构的作用，支护结构千斤顶的行程都比盾构千斤顶长出 100~300mm。

3. 推进机构 推进机构主要由盾构千斤顶 8、千斤顶支座及液压动力站等组成。

盾构千斤顶 8 的推力与台数是根据盾构外径、总推力大小、衬砌构件构造、隧道平面形状等条件来决定。一般为小断面采用 20~30 台，大断面用 31~38 台。小断面每台千斤顶推力为 1000~1500kN 大断面的为 1600~2500kN。

盾构千斤顶的总推力一般可按下式计算：

$$P = (700 \sim 1000) A$$

式中 P ——盾构千斤顶的总推力 (kN)；

A ——开挖断面的面积 (m^2)。

盾构千斤顶的支座是用铰接形式与千斤顶端部相连接的。这样可使千斤顶的推力能均匀地分布在衬砌的端面上，尤其是在曲线段施工时，铰接支座更有必要。

4. 拼装机构

(1) 拼装机构的作用 随着盾构向前顶进，隧道的永久支护需要同时进行拼装。拼装机构的作用就是将运输到盾尾内的管片，逐片地进行拼装以构成隧道的永久性支护结构。

目前，隧道的永久性支护结构多为圆环形，是由若干段弧形（一般为六片）拱片（又称衬砌管片）组成。管片通常在地面预制好，运输到盾构尾部。因此，拼装机构需要具备有以下三个动作：即衬砌管片的提升；绕盾构轴线的回转和沿盾构轴向方向的平移。相应的拼装机构应设置：起升装置、平移装置和回转装置。

拼装机构按支承方式的不同，分为环形式和中空筒式。环形式适用于较小直径的盾构，可充分利用盾构中心空间。中空筒式支承主要用于较大直径的盾构，中心部分可以安装输送机或管道设备。

(2) 环形拼装机构 环形拼装机构由转盘、支承滚轮、径向伸缩臂、纵向伸缩臂、举重臂、爪钩和平衡重等组成，如图 1-5 所示。

整个拼装机是以转盘 1 为主架，它靠支承滚轮 2 支承在盾构内壁的环形支撑的滚道上。当爪钩将管片从隧道底部的运输小车上抓起后，举重臂提升，纵向伸缩臂平移、翻转定位，再由径向伸缩臂调整拼装。这几个动作是独立操纵控制的。

5. 附属装置 主要为液动力台车、变电控制设备台车、排水注浆设备台车以及真圆保持器等。

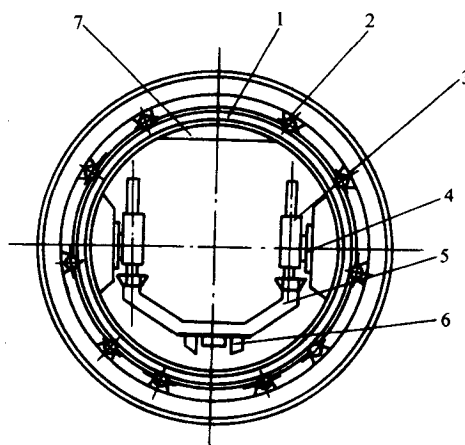


图 1-5 环形拼装机构

1—转盘 2—支承滚轮 3—径向伸缩臂
4—纵向伸缩臂 5—举重臂 6—爪钩 7—平衡重

1.2.2.2 工作过程及应用特点

手工挖掘式盾构进行开挖作业时，首先开启全部或大部分盾构千斤顶，将伸出端顶到衬砌环上，盾构在千斤顶的推动下向前推进，切口环切入土层中。如开挖面自稳性好，即可在切口

环的保护下进行开挖作业；若开挖面自稳性较差，可开启活动前檐千斤顶使前檐贯入土层中，或同时开启支护千斤顶与活动平台一起顶住开挖面，保证开挖作业的正常进行。盾构千斤顶的不断伸出，切口环不断切入土层，直到伸出全部行程为止。这时，盾构向前推进了一个衬砌环的宽度。然后，用拼装机进行管片衬砌作业和其他辅助作业，完成一个工作循环。

手工挖掘式盾构主要用于开挖面基本上能自稳的土层中。支护挡板可根据开挖面情况，进行支护使用。

1.2.3 半机械化盾构

半机械化盾构是在手工挖掘式盾构的基础上发展起来的一种盾构。它保留了手工挖掘式盾构的优点，克服了劳动强度大，效率低的缺点，将下半部的手工开挖改为机械开挖，减轻了劳动强度，提高了劳动效率。在土质条件适合时，就成为盾构施工的首选类型而受到重视。

1.2.3.1 主要结构

半机械化盾构与手工挖掘式盾构不同之处是在盾构的下半部增加了一台或两台挖掘机和一台刮板输送机，主要结构如图 1-6 所示。

1.2.3.2 半机械化盾构的应用与特点

半机械化盾构主要用于开挖面基本上能自稳而又无水的土层中，具有结构简单、造价较低、施工效率较高等特点。由于下部为机械开挖，因此其性能还与采用不同挖掘机类型而异。几种挖掘机的技术特点见表 1-2。

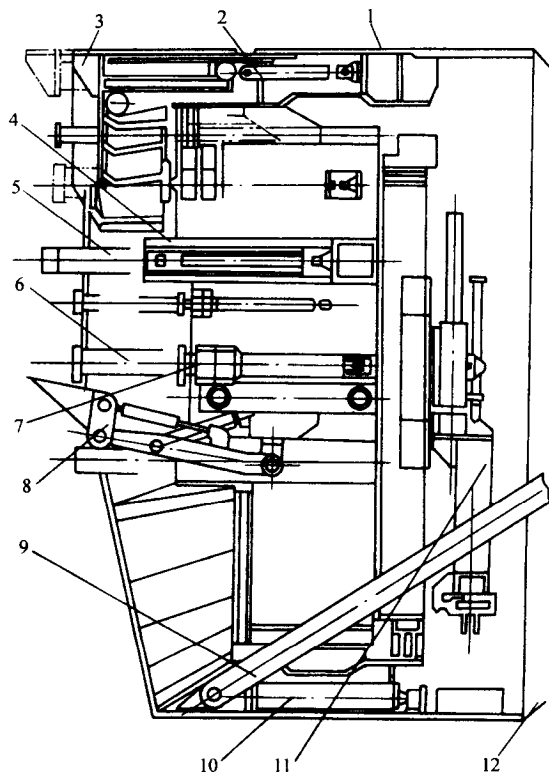


图 1-6 半机械化盾构
1—盾壳 2—活动前檐千斤顶 3—活动前檐
4—固定工作平台 5—活动工作平台 6—支护挡板
7—支护千斤顶 8—挖掘机 9—刮板输送机
10—盾构千斤顶 11—拼装机构 12—盾尾密封装置

表 1-2 几种挖掘机的技术特点

型 式		适 应 地 质	优 点	缺 点
旋 转 刀 头 式	刀 头 式	洪积粘土 硬粘土 软 岩	1. 不扰动围岩 2. 一般可用带式输送机	挖掘机的铲斗容量较小
	螺 旋 式	洪积粘土 粘土质砂	可耙、搂石碴	挖掘机的铲斗容量较小
铲 斗 式		砂 砾 砂 洪积粘土	1. 铲斗容量大 2. 开挖速度快	易扰动围岩

1.2.4 泥水加压盾构

1.2.4.1 主要结构

泥水加压盾构由盾壳、开挖机构、推进机构、送排泥浆机构、拼装机构、附属装置等组成，如图 1-7 所示。

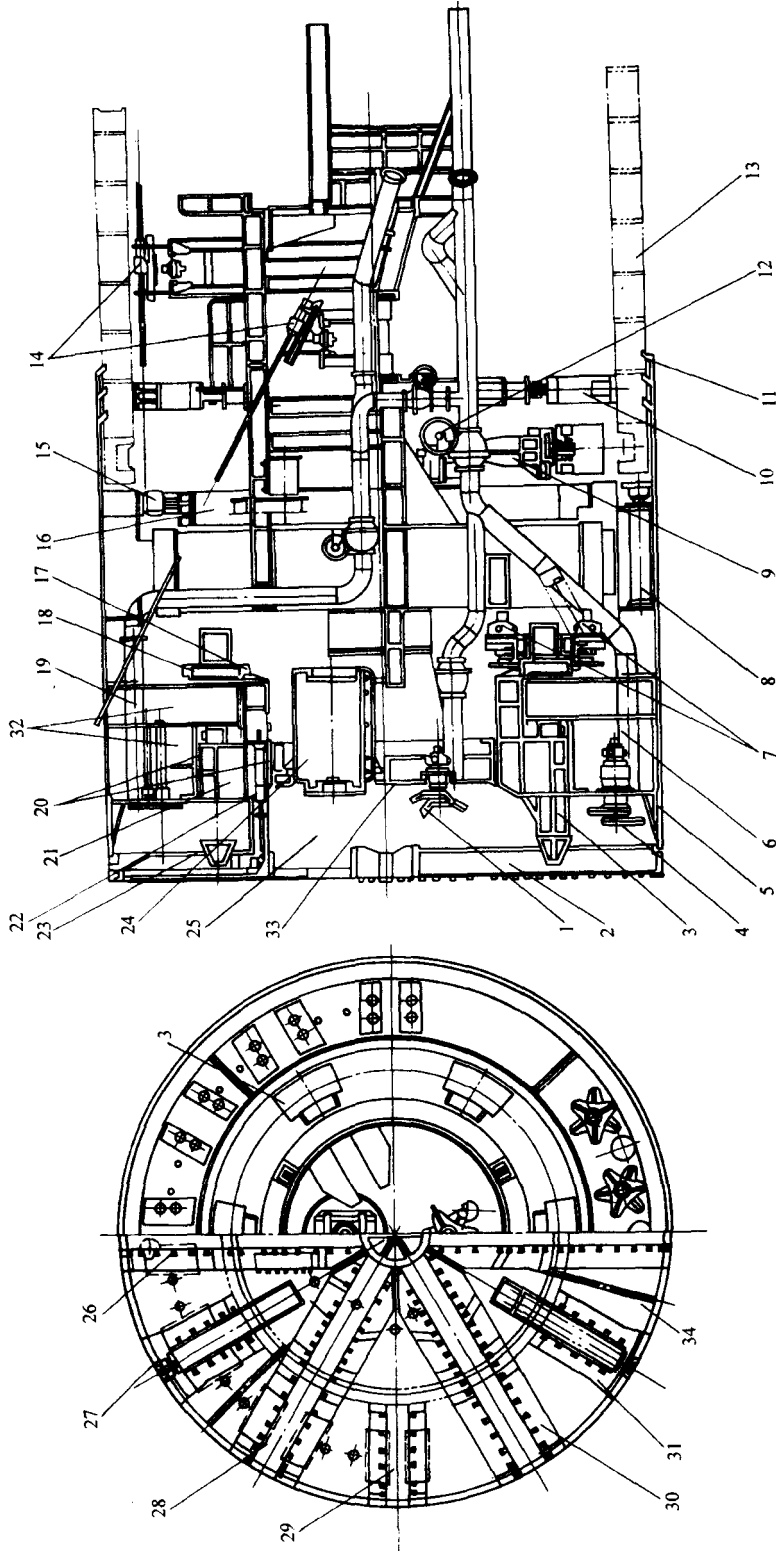


图1-7 泥水加压盾构

- 1—中部搅拌器 2—切削刀盘 3—转鼓凸台 4—下部搅拌器 5—盾壳 6—排泥浆管
 7—刀盘驱动马达 8—盾构千斤顶 9—举重臂 10—真圆保持器 11—盾尾密封 12—闸门 13—衬砌环
 14—药液注入装置 15—支承滚轮 16—转盘 17—切削刀盘内齿圈 18—切削刀盘外齿圈
 19—送泥浆管 20—刀盘支承密封装置 21—转鼓 22—掘挖刀控制装置 23—刀盘箱形环座 24—进入孔 25—泥水室
 26—切削刀 27—掘挖刀 28—主刀架 29—副刀架 30—主刀槽 31—副刀槽 32—固定鼓 33—隔板 34—刀盘

1. 盾壳 泥水加压盾构的盾壳基本上同手工挖掘式盾构。不同之处在于切口环是平直式，环口呈内锥形切口。支承环两端无井字型支撑架。盾尾密封装置采用多级密封结构。

2. 开挖机构 开挖机构由切削刀盘、泥水室、泥水搅拌装置、刀盘支承密封装置、刀盘驱动系统等部分组成。

(1) 切削刀盘 切削刀盘 2 包括：刀盘 34、主副刀槽 30、31、主副刀梁 28、29、切削刀头及转鼓 21 等。

刀盘 34 盘面开有呈放射状的主、副刀槽 30、31，盘背面焊有径向与环向加强肋和环形座，环形座将刀盘、刀梁连接成一体。

刀槽开口大小与主、副刀槽的个数取决于土质、地下水量、开挖速度、砾石大小等因素。

刀梁分为主、副刀梁 28、29，均在刀槽的中间，断面呈箱形，是开挖机构中的传力与承力结构。刀梁上固定着刀头。刀头分为切削刀 26、超挖刀 27、切割刀和保护刀等。数量最多的是切削刀，呈环状或螺旋状，安装于刀梁上。

转鼓 21 呈阶梯形环状结构，前端有凸台，通过凸台与切削刀盘上的环形座相连接。转鼓的后端连接有环状接盘，接盘上有内、外齿圈 17、18，供马达 7 驱动刀盘作正、反向回转。

(2) 泥水室 由切削刀盘 2、切口环锥形切口、固定鼓 32、支承密封结构 20、转鼓 21、圆形隔板 33 围成的区域称为泥水室。在泥水室的上部有压力泥水的进出口，下部有搅拌器 4 和泥浆排出口。泥水室与开挖面之间只有刀槽，刀盘与切口环端部接缝处是相通的，其余为完全封闭状态。

(3) 刀盘支承系统 泥水加压盾构刀盘的支承系统随刀盘支承型式不同而异，常用的支承型式如图 1-8 所示。

大型泥水加压盾构一般采用周边支承式。它由固定鼓 32（见图 1-7）、转鼓 21、复合式或多唇式密封环 20，径向、轴向轴承等组成。这种支承式具有作业空间大、受力较好等特点。中小型泥水加压盾构的刀盘支承多用中心支承式。

3. 推进机构、拼装机构及真圆保持器 泥水加压盾构的推进机构、拼装机构及真圆保持器基本上同手工挖掘式盾构，仅结构尺寸大小、数量、行程、功率大小不同而已。

4. 送、排泥浆系统 送、排泥浆系统由送泥浆水管 19、排泥浆管 6、闸门 12、碎石机、泥浆泵、驱动机构、流量监控机构等组成。该系统大部分设备都安装在盾构后端的台车上。

5. 附属装置 泥水加压盾构的附属装置由操作控制设备、动力变电设备、后续台车设备及泥水处理设备等组成。

(1) 操作控制设备 操作控制设备有：开挖面状态监控设备，盾构位置、状态的检查控制设备，泥浆的输送与排出的控制设备等。

开挖面状态监控设备主要有：超声波检查仪和压力、流量测量装置。前者用来监测盾构拱部的坍塌量，后者测量切削量即排出泥碴量。拱顶的坍塌情况也可用刀盘上伸出的探针来测量。

盾构位置与状态的检测与控制设备有：速率积分陀螺仪或激光测量装置、加速度计。前者用来检查盾构本身的方位角，后者用来检查盾构的俯仰与旋转角。

土碴、泥浆的输送与排出控制系统，采用测量泥浆浓度与流量的办法进行控制，或者用差压式密度计来进行测量。

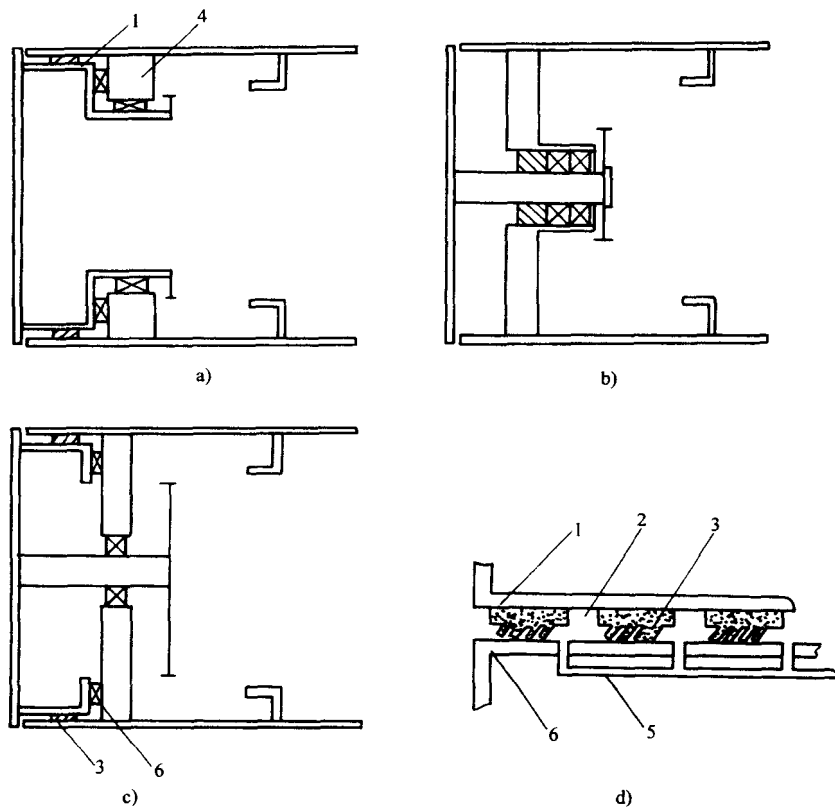


图 1-8 刀盘支承与密封结构

a) 周边支承式 b) 中心支承式 c) 混合支承式 d) 密封结构简图

1—转鼓 2—润滑油脂腔 3—多唇密封环 4—固定鼓 5—润滑油注入管道 6—轴承

上述监控设备测得的数据可直接输入电子计算机进行综合处理实现自动调节控制。

(2) 后续台车设备 后续台车设备有以下几组平板车（它们与盾构连接在一起）：动力组台车、自动闸门台车、碎石机台车、差压式密度计台车、注浆设备台车、送排泥浆泵台车等。

(3) 泥浆处理设备 泥浆处理设备由泥浆制备与泥水分离两大部分组成。设备的规模大小，取决于开挖速度与土质条件。

1.2.4.2 工作过程及特点

1. 工作过程 泥水加压盾构施工简图如图 1-9 所示。盾构作业时，首先起动刀盘驱动液压马达，驱动转鼓并带动切削刀盘转动；起动送泥浆泵，将一定浓度的泥浆经泵送到泥水室中。然后开启盾构千斤顶，使盾构向前推进，此时切削刀盘上的切削刀便切入土层，切下的土碴与地下水顺着刀槽流入泥水室中，土碴经刀盘与搅拌器的搅拌而形成浓度更大的泥浆。随着盾构的不断推进，土碴量的不断增加，泥水的不断注入，泥水室内泥浆的压力逐渐增大。当泥水室的泥浆压力足以抵抗开挖面的土压力与地下水压时，开挖面就能保持相对的稳定而不致坍塌。这时，只要控制进入泥水室的泥水量和碴土量与从泥水室中排出去的泥浆量和碴土量相平衡，开挖工作就能顺利地进行。当盾构向前推进到一个衬砌环宽度后，即可进行衬砌的组装，将缩回的千斤顶继续伸出，重新推进，进行下一个循环。

从泥水室排出的浓泥浆经排泥管及碎石机、排泥浆泵输送至地面泥水处理设备，进行泥水分离处理。被分离出的碴土运至弃碴场。处理后的泥水再送入泥水室循环使用。

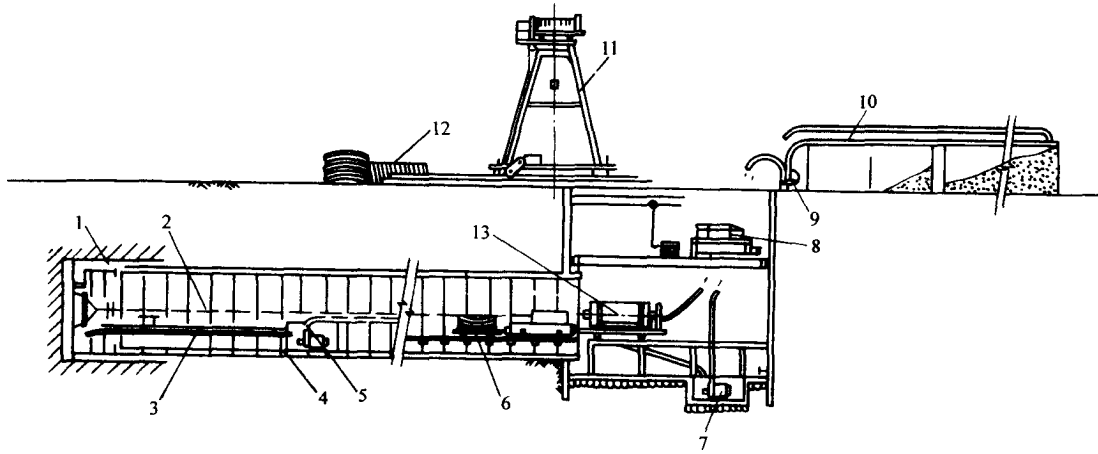


图 1-9 泥水加压循环式盾构施工简图

- 1—盾构 2—送水管 3—排泥管 4—中间水槽
 5—中间泵 6—管片台车 7—泥浆泵
 8—搅拌机 9—送水泵 10—沉淀池
 11—起重机 12—材料场 13—泥浆填充器

2. 泥水加压盾构的施工技术特点 泥水加压盾构是目前各类盾构中最为复杂、价格最贵的一种。它适用范围较大，多用于含水率较高的砂质、砂砾石层、江河、海底等特殊的超软弱地层中。它施工结果能获得其他类型盾构难以达到的较小的地表沉陷与隆起。由于开挖面泥浆的作用，刀具和切削刀盘的使用时间相应地增长。泥水盾构排出的土碴为浓泥浆输出，靠管道输送，较其他排碴设备结构简单方便。泥水加压盾构操作控制比较容易，可实现远距离的遥控操作与控制。泥水盾构的排碴过程始终在封闭状态下进行，施工现场与沿途隧道十分干净，减少了对环境的污染。

泥水加压盾构的缺点是：由于切削刀盘和泥水室泥浆的阻隔，不能直接观察到开挖面的工作情况，对开挖面的处理和故障的排除都十分困难。泥水盾构必须有泥水分离设备配套才能使用，而泥水分离设备结构复杂，规模较大，尤其是在粘土层中进行开挖时，泥水分离更加困难。庞大的泥水处理设备占地面积较大，不适宜在市内建筑物稠密区应用。

1.2.5 土压平衡盾构

土压平衡盾构是在总结泥水加压盾构与其他类型盾构优缺点的基础上发展起来的一种新型盾构，在结构与原理上和泥水加压盾构相类似。

1.2.5.1 主要结构

土压平衡盾构由盾壳、开挖机构、推进机构、排土机构、拼装机构、附属装置等组成，主要结构如图 1-10 所示。

1. 开挖机构 开挖机构由切削刀盘 1、泥土仓 2、切削刀盘支承系统、切削刀盘驱动系统等部分组成。除泥土仓与泥水加压盾构的泥水室不同外，其余基本上同泥水加压盾构。

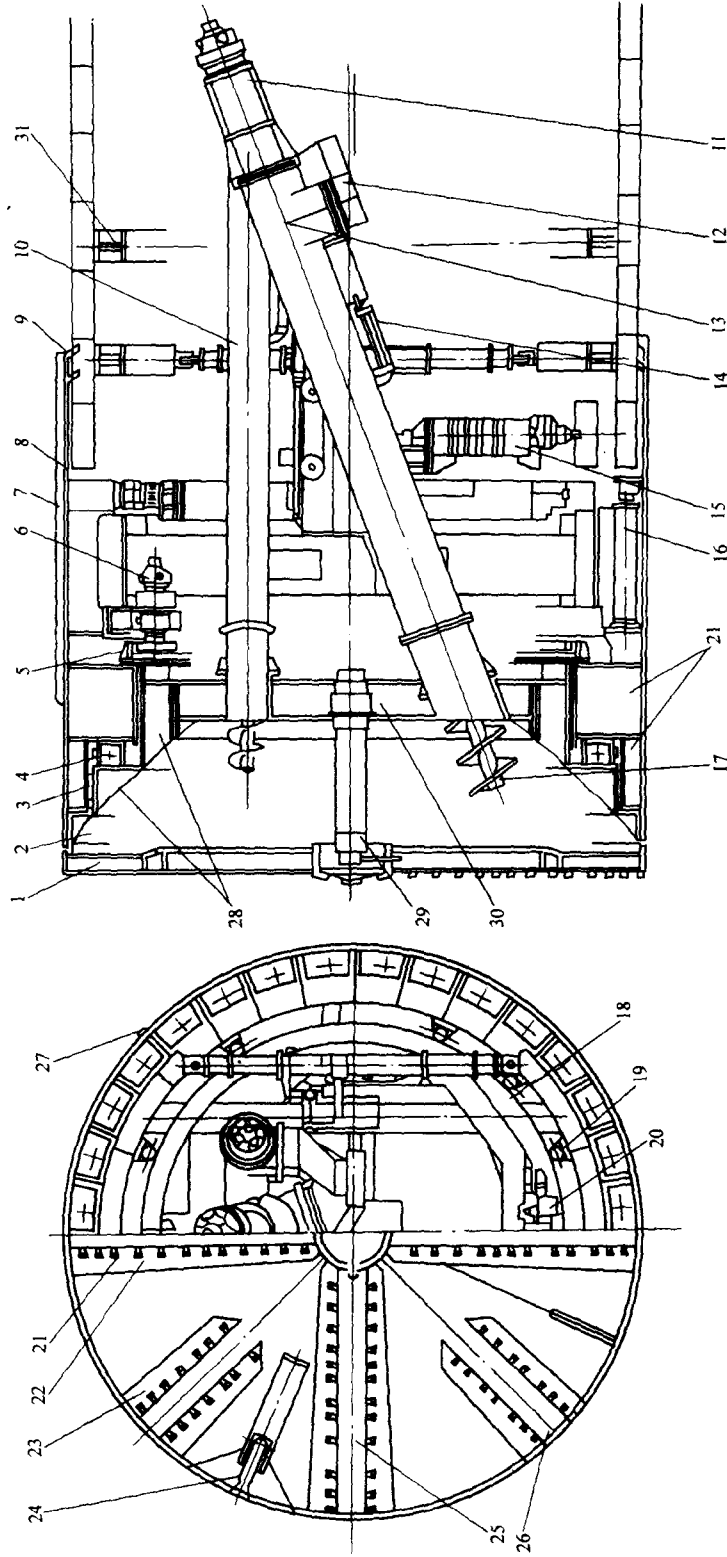


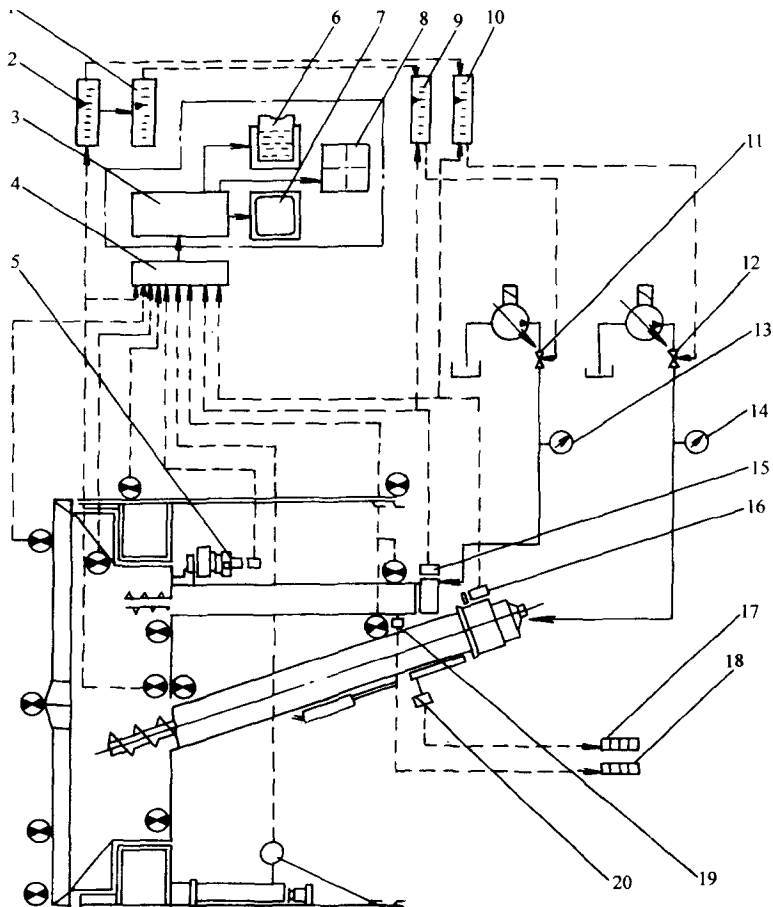
图 1-10 土压平衡盾构

- 1—切削刀盘 2—泥土仓 3—密封装置 4—支承轴承 5—驱动齿轮 6—液压马达 7—注浆管
- 8—盾壳 9—盾尾密封装置 10—小螺旋输送机 11—大螺旋输送机驱动液压马达 12—排土闸门 13—大螺旋输送机
- 14—闸门滑阀 15—拼装机构 16—盾构千斤顶 17—大螺旋输送机叶轮轴 18—拼装机转盘 19—支承滚轮
- 20—举升臂 21—切削刀 22—主刀槽 23—副刀槽 24—超挖刀 25—主刀梁 26—副刀梁
- 27—固定鼓 28—转鼓 29—中心轴 30—隔板 31—真圆保持器

刀盘支承结构为混合支承结构，即有周边支承，也有中心支承。这是大型土压平衡盾构常用的刀盘支承形式。

2. 排土机构 排土机构由大螺旋输送机 13、小螺旋输送机 10、排土闸门 12、闸门滑阀 14 及驱动液压马达等组成。常用的螺旋输送机有带状和中心轴式两种。常用排土闸门有舌瓣式、回转叶轮式和闸门式。排土闸门是土压平衡盾构的关键部位，要设计合理。

3. 土压管理 在土压平衡盾构的操作控制设备中，土压平衡是对土压管理的重点，土压管理控制系统如图 1-11 所示。



⊗ 土压计及其配置情况

图 1-11 土压控制系统

- 1—土压调节计 2—比例计 3—计算机 4—接收器 5—切削刀盘运转同步信号发生器
 6—打印机 7—视屏 8—绘图机 9—小螺旋输送机转速调节计 10—大螺旋输送机转速调节计
 11—小螺旋输送机油量控制装置 12—大螺旋输送机油量控制装置 13—小螺旋输送机压力计
 14—大螺旋输送机压力计 15—小螺旋输送机回转信号发生器 16—大螺旋输送机回转信号发生器
 17—大闸门开度指示计 18—小闸门开度指示计 19—小螺旋输送机闸门开度信号发生器
 20—大螺旋输送机闸门开度信号发生器 21—千斤顶行程指示计

土压管理主要是通过电子计算机将安装于盾构有关重要部位的土压计信号收集并综合处理，进行自动调节控制；或者发出信号，指示出有关数据进行人工调节控制。

1.2.5.2 工作过程及特点

1. 工作过程 土压平衡式盾构施工示意图如图 1-12 所示。

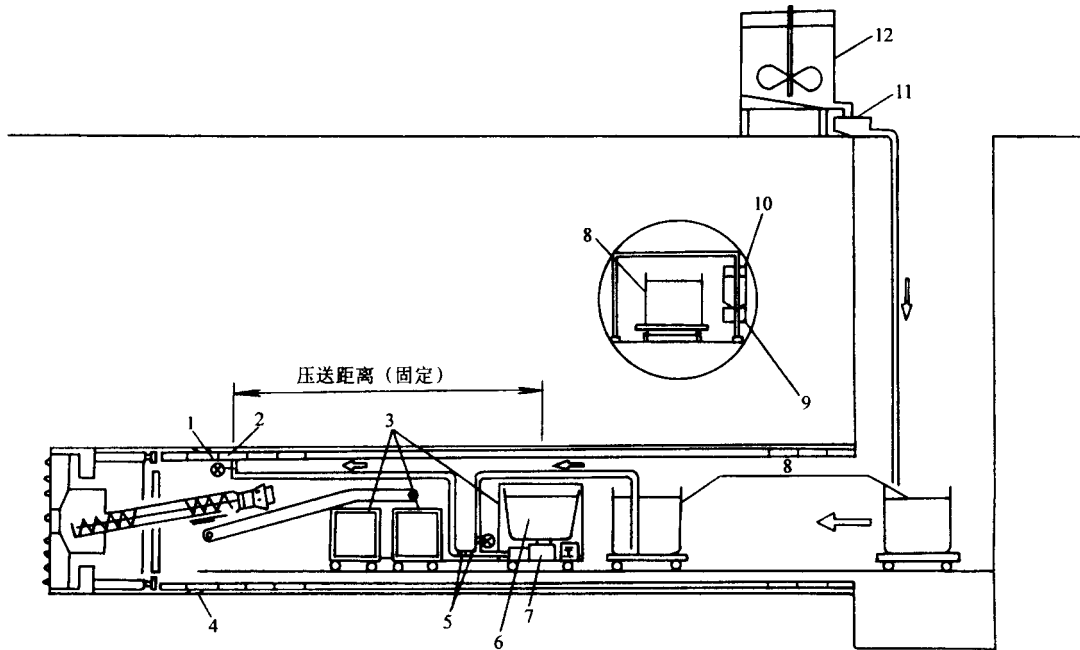


图 1-12 土压平衡式盾构施工示意图

- 1—压力表 2—衬砌管片 3—土斗车 4—盾构密封 5—换向管 6—填充材料
7、9—压入泵 8—填充材料输送车 10—漏斗 11—过滤器 12—泥土搅拌机

盾构作业时，首先起动液压马达，驱动转鼓与切削刀盘旋转，同时开启盾构千斤顶，将盾构向前推进。土碴被切下并顺着刀槽进入到泥土仓中。随着盾构千斤顶的不断推进，切削刀盘不断地旋转切削，经刀槽进入泥土仓的土碴不断增多。这时起动螺旋输送机，调整闸门开度，使土碴充满螺旋输送机。当泥土仓与螺旋输送机中的土碴量积累到一定数量时，开挖面被切下的土碴经刀槽进入泥土仓内的阻力加大，当这个阻力足以抵抗土层的土压与地下水压时，开挖面就能保持相对的稳定而不致坍塌。这时，只要保持用螺旋输送机从泥土仓中输送出去的土碴量与切削下来流入泥土仓中的土碴量相平衡，则开挖工作就能顺利进行。其他各工序与其它类型盾构相同。

土压平衡盾构就是通过对土压管理来保持土压或土碴量的相对平衡与稳定来进行工作。

2. 施工技术特点 土压平衡盾构能适应较大的土质范围与地质条件，能用于粘结性和非粘结性、甚至含有石块、砂砾石层及有水与无水等多种复杂的土层中。土压平衡盾构无泥水处理设备，施工速度较高，比泥水盾构价格低廉，能获得较小的沉降量，也可实现自动控制与远距离遥控操作。

土压平衡盾构由于有隔板将开挖面封闭，不能直接观察到开挖面变化情况，开挖面的处理和故障排除较为困难。切削刀头、刀盘盘面磨损较大，刀头寿命比泥水盾构要短，要求刀头的耐磨性较高。

1.2.6 网格挤压式盾构

网格挤压式盾构是我国自行研制，应用较为成功和数量最多的一种盾构。

1.2.6.1 主要结构

网格挤压式盾构如图 1-13 所示。它与其它几种盾构的主要区别是：在切口环内设置了网格加胸板；另外开挖机构也较为独特。

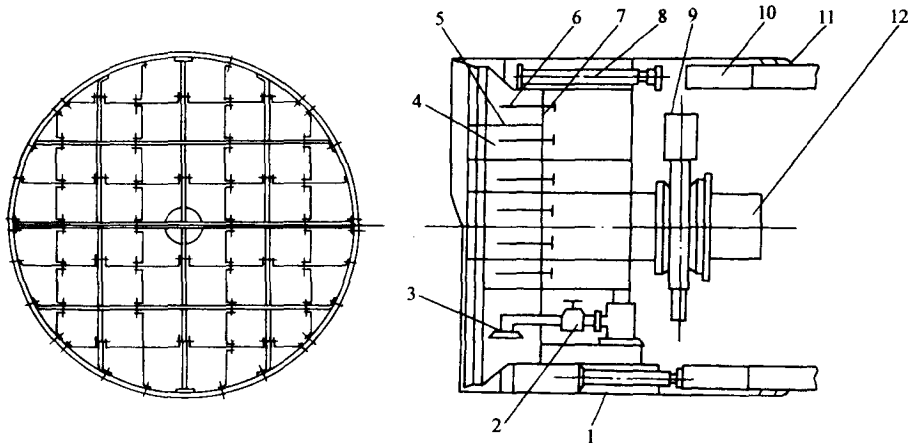


图 1-13 网格挤压式盾构

1—盾壳 2—排泥泵 3—吸盘 4—网格 5—网格板 6—射水枪
7—胸板 8—盾构千斤顶 9—拼装机构 10—管片 11—盾尾密封 12—中空轴

网格 4 由网格板 5 和大梁组成，网格板可随意拆装组合，改变开口大小。胸板 7 装在网格大梁上，分大小两种。大胸板上设有可随意开闭的液压闸门。小胸板可随意拆装，供观察与进入开挖面之用

在切口环与支承环之间设有隔舱板，使切口环成为泥水室，高压水枪就装在隔舱板上并伸入泥水室中。工人可在隔舱板后操作，将进入泥水室中的泥块冲成泥浆。

1.2.6.2 工作原理及特点

1. 工作原理 网格挤压盾构在稳定的软土地层中掘进时，一般采取大网格推进，以开口挤压为主。这时，网格板及网格大梁直接插入土中，土体即通过网格孔被挤入盾构内。同时，也可改变网格板开孔大小，以适应不同土质的需要。只有在推进阻力较大时，才用高压水枪冲刷网格的边缘，减少推进阻力。挤入泥水室中的泥块在高压水枪的冲刷下变成泥浆，并由泥浆泵经管道输送至地面的泥水处理设备，进行泥水分离。

网格挤压盾构进行闭胸挤压开挖时，首先在网格上装上大小胸板，通过调节液压闸门的开度大小，放进部分泥土，减小推进阻力。或者根本不进土，将盾构前方的泥土挤向盾构上方或盾构的四周。闭胸挤压开挖会引起地层的隆起，必须有选择地使用。

2. 施工技术特点 网格挤压式盾构的网格板与胸板可以随意拆装，改变格板孔口的大小，增大了网格挤压盾构的使用范围。一般挤压盾构难以使用的土质，网格式盾构就可以使用。而且网格式盾构还能根据土质与施工条件的变化，选择相应的措施与结构上的转换。例如，在出碴方式上，即可采用泥浆输送，也可以改用带式输送机（以下称输送带）或斗车装运。

网格挤压盾构结构比较简单，施工速度也较高，但地表的沉降与隆化较大。因此施工时，与其它类型盾构相比，需要更加精心操作与管理。

1.3 悬臂掘进机

1.3.1 概述

1.3.1.1 悬臂掘进机的用途与特点

悬臂掘进机是一种集开挖与装载于一体的隧道施工机械，可用于采煤、采矿、城市地下铁路、铁路隧道、公路隧道、市政排水管道、矿用巷道及其它地下峒室工程的施工中。

与传统的钻爆法相比，使用悬臂掘进机掘进巷道具有以下优点：

- (1) 能够保证巷道的稳定性。因为巷道的围岩不受爆破的影响，有利于巷道的支护安全。
- (2) 掘进速度快。平均掘进速度比用钻爆法提高 1~1.5 倍，因此巷道成本降低 30%~50%。
- (3) 减少巷道的超挖量和不必要的辅助工程量。
- (4) 减少岩石的坍塌及瓦斯的突然涌出，有利于安全生产和通风管理。
- (5) 改善了劳动条件，提高了机械化程度，减轻了笨重的体力劳动。

1.3.1.2 悬臂掘进机的分类

悬臂掘进机的分类，如图 1-14 所示

1.3.1.3 主要技术性能及参数

部分国内外悬臂掘进机的主要技术性能及参数，见表 1-3。

1.3.2 ELMB 型悬臂掘进机

ELMB 型悬臂掘进机是我国自行设计的一种悬臂纵轴式外伸缩的部分断面掘进机。它除切割机构由电动机驱动外，其它各部分都采用液压驱动。ELMB 型悬臂掘进机主要由切割机构、装运机构、行走机构、转载机构、液压系统、喷雾降尘和电气系统等组成，如图 1-15 所示。

1.3.2.1 适用范围与工作原理

ELMB 型悬臂掘进机是综采、普采巷道机械化作业的主要设备。它适用于切割普氏硬度系数 $f \leq 4 \sim 5$ 的煤层或软岩，巷道最大切割断面为 15.4m^2 ，高度为 3.5m，宽度为 4.2m。它可以掘进任意断面形状、倾角为 $\pm 12^\circ$ 的巷道。

当切割装置切削岩石时，装载装置将落下的石碴装入输送机构，输送机构将石碴送到转载机构，转载机构再将石碴送到紧跟在悬臂掘进机后面的车辆或其它运输设备中运出洞外。

1.3.2.2 主要结构

1. 切割机构 切割机构是悬臂掘进机的主要工作装置，由切割头、工作臂、行星减速器、电动机、导轨架、推进液压缸、升降液压缸和回转座等组成，如图 1-16 所示。

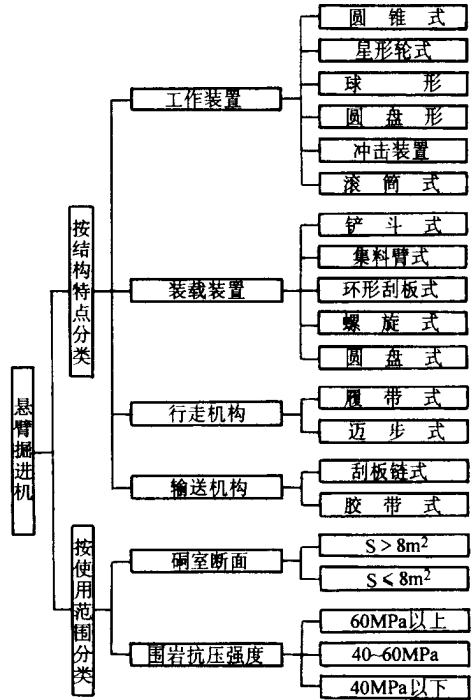


图 1-14 悬臂掘进机的分类

表 1-3 悬臂掘进机的主要技术性能及参数

机型	工作性能			围抗压强度 /MPa	总体尺寸		重量 /kg	切割装置		装载装置		一级输送机			二级输送机			行走机构			液压系统		装机总功率 /kW
	切割高度 /mm	切割宽度 /mm	向下深切割度 /mm		切割断面 /m ²	长 × 宽 × 高 /mm		电动机功率 /kW	滚筒伸 /mm	装载宽度 /mm	装载能力 / (m ² /h)	宽度 /mm	速度 / (m/s)	宽度 /mm	速度 / (m/s)	速度 / (m/s)	最小转弯半径 /mm	爬坡能力	行走速度 / (m/s)	接地压力 /MPa	油箱容量 /L	工作压力 /MPa	
S200—50	6000	6400	350	35	100	15500×3600×3000	50000	200 110	700	3600	258	650	0.68	900	1.02	0.13	0.13	0.13	600	21	303		
S125—24	4300	5000	360	27	60	13000×2800×2300	30000	125 75	500	2800	180	600	0.68	750	1.02	0.13	0.11	0.13	400	21	166		
S90—34	6000	5900	350	35	40	14300×3000×3200	40000	100 70	780	3000		750	0.6	900	1.16	0.11	0.09			14			
S65	4300	4700	350		60	11500×2800×1500	20000	65	500	2800	168	450		500	1.12	0.10	0.13	±15°	180	21	113		
S50	4500	4660	200	17	40	11720×2800×1800	16500	50	500	2800	120	450	0.51	500	1.1	0.09	0.13	±15°	300	14	83		
WAV300	5360	7800	270	39	120	13000×3530×2020	90000	300	600	4000	200	730				0.16	0.08	±22.5°	600	20	470		
WAV170	5400	6340	140	24	100	11900×2600×3000	56000	200		4200	250				0.17	0.13	±19.8°	800	20	300			
WAV130	4200	5000	200		100	10500×2000×1550	32000	130		2000					0.15	0.17	±22.5°	600	20	250			
STM100	4000	5200	150	20	80	8800×3200×1400	28000	132		3200	250	650	0.9	650	1.2	0.12	0.17	+16° -18°	1000	16	232		
STM160H	5000	6900	250	33	100	11000×5900×1770	50000	160		5900	300	760	0.9	800	1.2	0.15	0.17	+16° -18°	800	16	290		
STM200	5500	7500	220	40	120	11750×5900×2000	75000	200		5900	300	760	0.9	800	1.2	0.16	0.17	±16°	1200	16	330		
STM300	6100	7500	300	47	120	14000×5200×4000	110000	315		5200	300	760	0.9	1000	1.2	0.18	0.13	±16°	900	18	509		
ET 110— Q/L	4000 4400	5300 5500	175 300	20 22	100	7600×1900×1490	32500	110	500	3200		600	0.96	800	1.9	0.16			300	14			
AM—50	4400	5050	100	20	80	7500×1910×1650	24000	100		2000			0.9			0.13	0.08	±16.2°		20	163		
AM170	7500	9500	800	65	60	17000×2870×3260	62000	175		3800			1.1	800	1.5	0.13	0.3			26	335		
F6—C	3400	4500	250	14	50	6970×1620×1425	12000	45		2000			0.9			0.12		±18°			75		
EL—90	3760	5290	300	22	60	8670×2400×2000	41000	90	500	2800	125	560	0.89	980	1.6	0.13	0.04	±10°	300	14	154		
ELMB	3500	4700		12		12000×2000×1700	21500	55	500		(t/h) 100		0.67	500	1.67	0.12	0.048	±12°		16	100		
17K—9	3900	6300		25		7700×1800×1830	30000	88	600	4600	125		0.81	500	1.21	0.09	0.03	±10°		10	173		