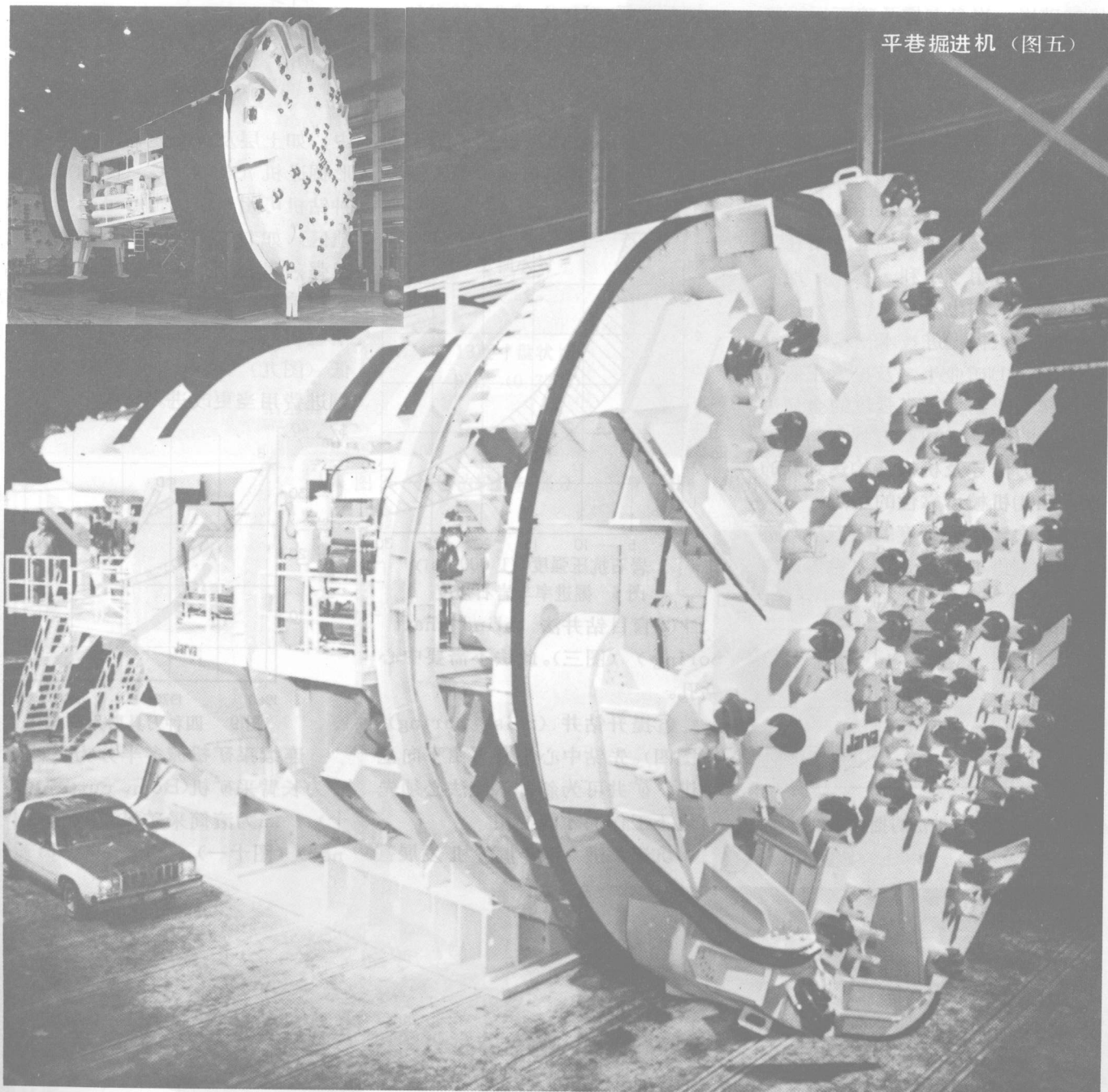


# 高速钻进

## RAPID EXCAVATION

王逢旦



平巷掘进机 (图五)

王逢旦 (Fun-Den Wang), 科罗拉多矿业学院 (Colorado School of Mines) 矿业和地力学研究所所长、采矿工程教授, 兼任美国内政部、能源部、科学院及工业界顾问。

随着文明的进步,生活水准的日渐提高,天然资源的需用量日益增加,同时由于地表的以及较富的矿床已渐枯竭,人们被迫开发较深及较贫的矿产资源。因而科学及工程人员皆积极发展探矿、开发、采矿、选矿及冶炼的新知识及技术。开采资源的重要问题是如何以最迅速的办法探得矿床并大量开采而降低成本,从而降低矿产价格。

自一九五〇年后,高速掘进技术发展甚快。主要的进步是在全面连续机械开采法方面。这个方法把机械破岩、岩盘支撑及碎石运输联合成为一个统一操作系统。因其连续统一性,掘进得以迅速而有效。机械高速掘进包括矿井钻进(shaft sinking)、坑道掘进(tunneling)、提升井(raise boring)及连续采掘法(continuous mining)四个方面。这种高速机械掘进除用在采矿外,亦可用于水利、铁路、地下道、电讯、输电及排水道等方面。

高速机械掘进技术出现的主要因素为,(1)矿业生产及土木工程的需要;(2)由于耐磨及高强度的金属冶金技术的进步,切石刀具有新的发展;(3)力传导及机械结构达到新的水平和(4)机械可靠性的增加。

在中等以下硬度的岩石中,高速机械掘进效率已超过打钻爆破方法,同时费用亦较低廉(图一)。

在较硬岩石中,如有适当的节理,机械方法亦可超过爆破方法。机械方法的主要优点是掘进率高,坑道无破碎带,所需支撑少,因而顶盘容易控制且安全,可以连续作业,节省人工。

竖井机械掘进在美国及欧洲日渐普及。在美国的煤矿竖井(coal pit),现在用爆破法掘进率每月为7至20米,费用每米约一万美元(U. S. \$10,000/M)。用机械方法掘进率可达每月15至40米以上,而费用仅及爆破法三分之一,约每米三千美元(U. S. \$3,000/M)。通用的三种竖井机械掘进法介绍如下:

①旋转钻井法(rotary shaft drilling)(图二)。此法类似石油工程打井法,直径可达7米,深度700米。

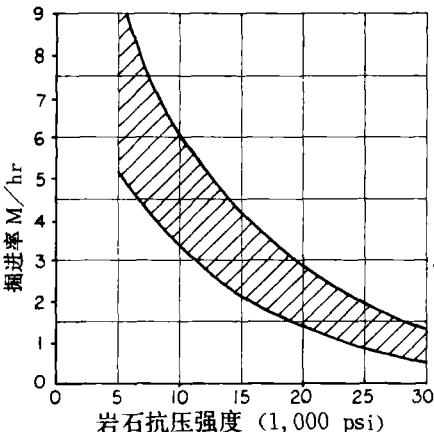


图6 掘进率与岩石强度

②盲目钻井法(blind shaft boring)(图三)。此法不需要中心钻孔。

③提升钻井(raise boring)(图四)。先钻中心小孔再由下向上钻进,矿井可为斜井。此法必须先有地下工作面才能使用。

坑道掘进 平巷掘进机 发展甚

快(图五),现可有效的钻进硬岩石( $2,000\text{kg}/\text{cm}^2$ ),直径可达约12米。此种钻机亦可用作斜井钻进,斜度约可达30度,钻进速度因岩石强度而异(图六)。在软岩中较快而硬岩中较慢,大钻机通常比小钻机转速低、掘进率低(图七)。大钻机性能现正在日益改进,其掘进率亦将随年增进(图七)。在较软地层

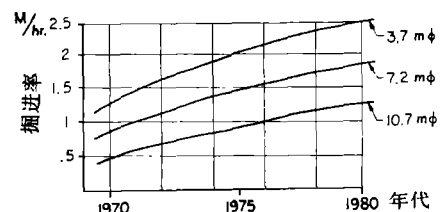


图7 掘进率与钻机大小及年代  
岩石抗压强度(1,000 psi)

中,如土层及碎石地带,可采用盾形掘进机(shield)(图八)。这种钻机可用于矿山,亦可用于其他地区,如北京的地下铁道。在中强及强硬岩石中,刀具磨损较大,其费用可占掘进费用之60%。近年因冶金材料之进步,刀具消耗不断减低(图九),同时因掘进率的增加,掘进费用当更改进。

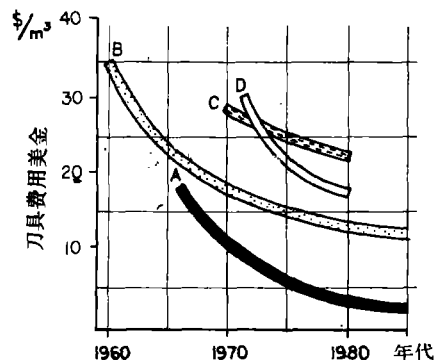


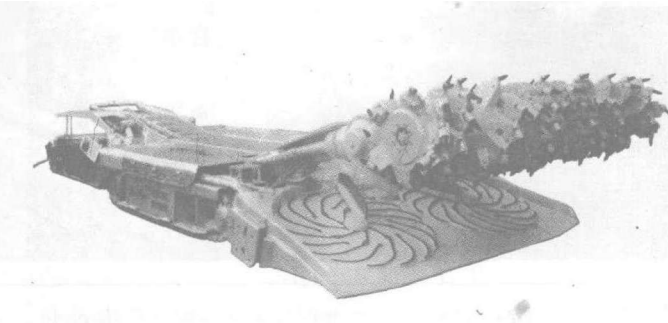
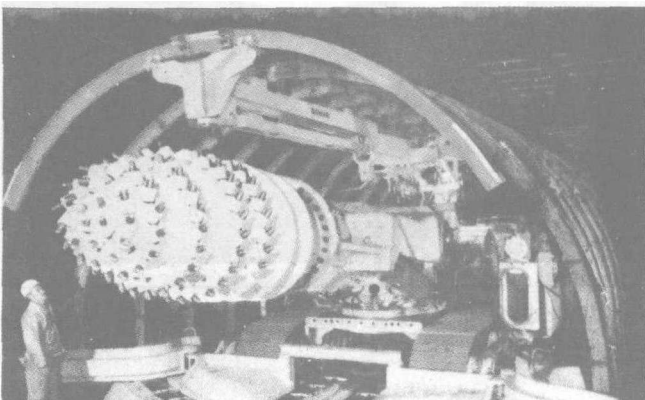
图9 四种刀具费用与年代

连续采矿机械多半分为三种:

一为长臂采矿机(Bonn cutter)(图十),二为滚筒采矿机(drum miner)(图十一)。

·下接 63 页·

▲图1 爆破法与机械法的掘进费用及掘进率  
△爆破法 ○机械法



◀图11 滚筒采矿机

▶图10 长臂采矿机

可靠性 (reliability), 使理论更健全。风洞实验仍然会占有很重要的一环。尽管计算机的发展日新月异, 某些流体物理的现象, 在将来25年里还是算不出来的, 非做实验不可。这些难题, 我会在下面提到。

在这一连串的改进当中, 最捉摸不定的因子是燃料问题。很明显的, 石油在下一个25年里将大成问题。我们所能找到最佳的石油代用品会是什么? 氢吗? 合成碳化物吗? 核子能吗? (直接应用太阳能的可能性几乎等于零)。燃料的困惑, 可能会使我们21世纪的飞机形态完全改观。目前, 还没有任何人能肯定, 石油能源一旦完全断绝后的飞机会是个什么样子。现在有些人在做这一方面的研究, 但是看着那些半卡通化, 科学幻想 (science fiction) 飞机设计图, 我不敢在这里向读者作介绍。总之, 21世纪里不用石油为燃料的飞机还只在构想中, 目前尚未定论。

## 7. 将来的航空工程学

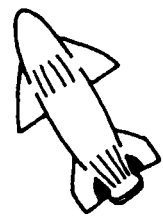
75年内, 从玩具似的飞机到今天的超音速喷气机, 航空工程真是有一个了不起的辉煌历史。遥看划着白线一闪而过的喷气机, 坐在舒适的现代机舱里, 望着窗外展现着朵朵的白云下, 大地与海洋, 我们不禁会想航空工业是不是已经达到顶峰了。到今天为止, 我们只是解

决了一些容易解决的问题, 在数学上, 多半是属于线性函数的问题, 用的多是理想气体的公式。事实上, 大自然的气体是粘性的, 所服从的是非线性函数的规律, 还有太多太多的问题留待我们去解决呢。

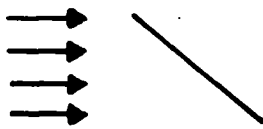
大约在一年前, 当我在设计桌上计算、绘图时, 来访的外甥问我: 大姨父你在设计什么? 我回答

斜, 前端与后端的流场还是一个大问题。至于上升的烟是一个湍流问题, 在本世纪内是没有希望可以获得解决的。真的, 我们可以上月亮, 但是上升烟的问题比上月亮还难。

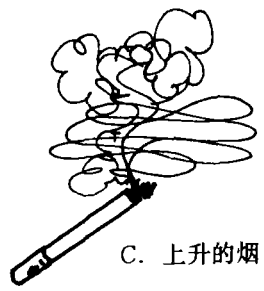
在航空工程上, 未能解答的问题太多了。能不能使大型的喷射机直升直降呢? 真的需要那么长的跑道吗? 年青的朋友们, 将来的航空



A. 火箭设计



B. 平板在流体内。



C. 上升的烟

图4 三个课题的比较到底哪一个问题的解答最难?

说, 正在设计一具轻型火箭。他瞪着眼睛, 说声了不起。真是那么了不起吗? 非也。我在纸上, 画了三个图: 火箭, 在流体内的一块平板, 冒烟的香烟 (见图四)。我问他, 在这三个题目里, 你认为哪一个比较难些? 他不解的看看我说, 当然是设计火箭了。其实, 设计火箭是最容易的。其次是解决平板在流体内的问题, 到今天为止, 我们还未解决得尽善尽美, 就算平板不倾

工程还等待着各位去发展呢!

## 8. 后记与期待

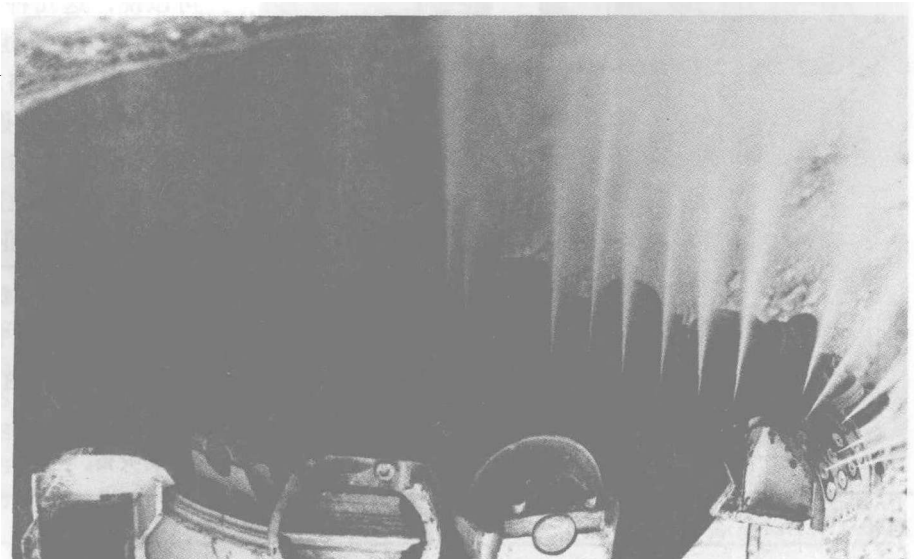
因篇幅所限, 本文未能把所有飞机设计的发展趋向包括进去, 譬如说直升飞机、小型民航机、农业用飞机、空间穿梭机 (space shuttle) 等等, 也没有提及航空工程另一大领域的火箭工程学, 而只是给读者一个概况的面貌。假若读者能从中得到收获, 我便心满意足了。

(注一) 波音747客运型66,000,000美元; 747运输机80,000,000美元; 747 (200B) 型72,000,000美元; 737运输机13,400,000美元。 ㊟

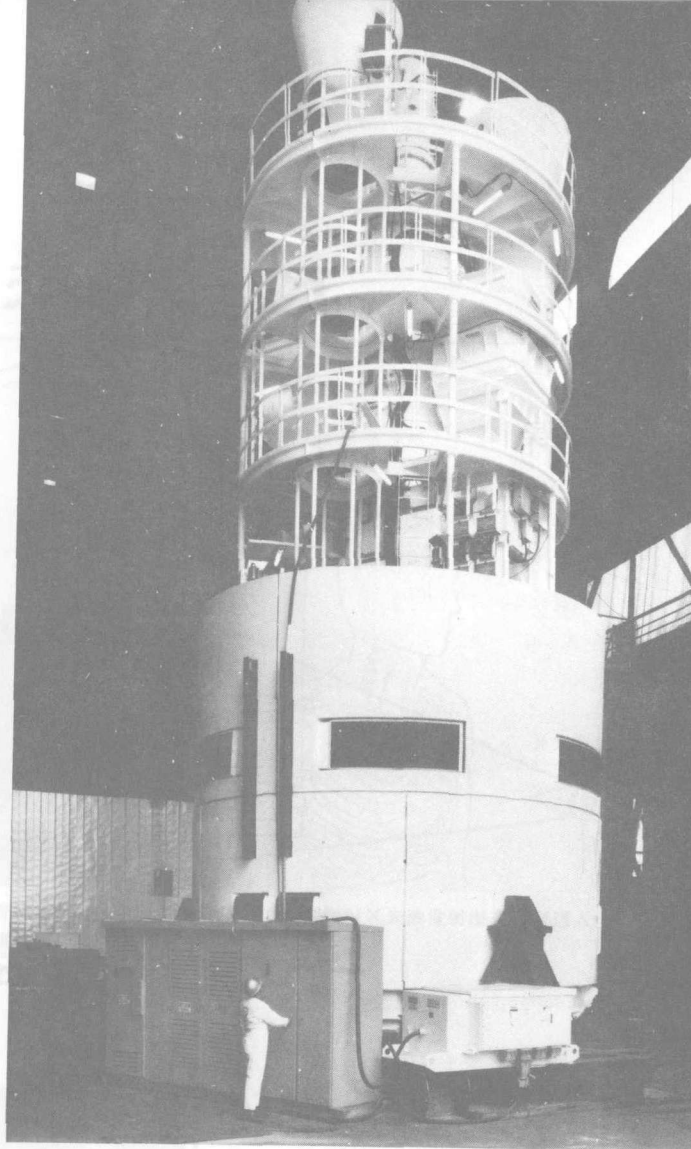
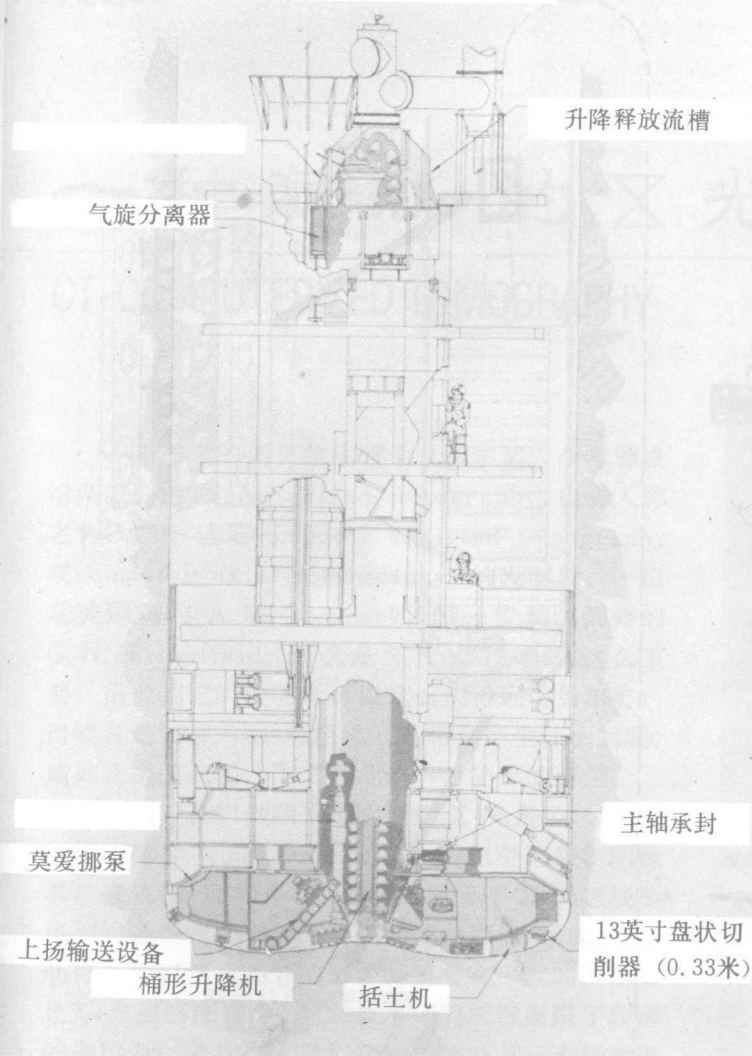
三为拨矿机 (shear), 此一类机械大多用于比较软性的矿床中的采矿分道 drift 的掘进及采矿。长臂采矿机多半用在巷道掘进; 滚筒采矿机多用在方柱 (room and pillar) 采煤; 拨矿机用在长壁 (long wall) 采煤。

高速机械掘进法尚在不断改进, 例如用高压水 (high pressure water jet) (图十二) 协助破岩的新方法等。可以展望, 随着高速机械掘进技术的进步, 掘进率当不断加快, 矿石产量将不断增加, 成本随之降低。 ㊟

图12 高压水协助的破岩机

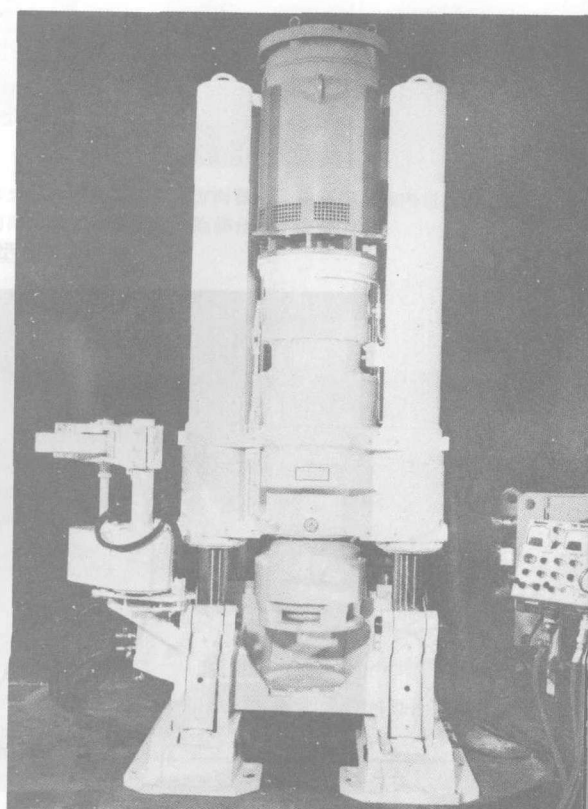
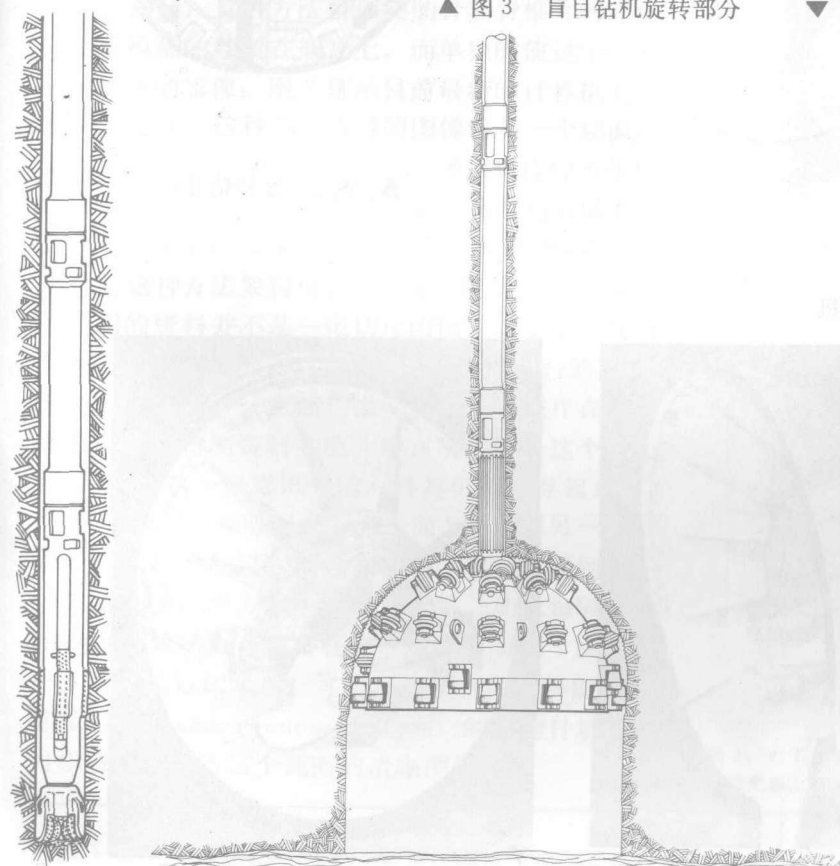


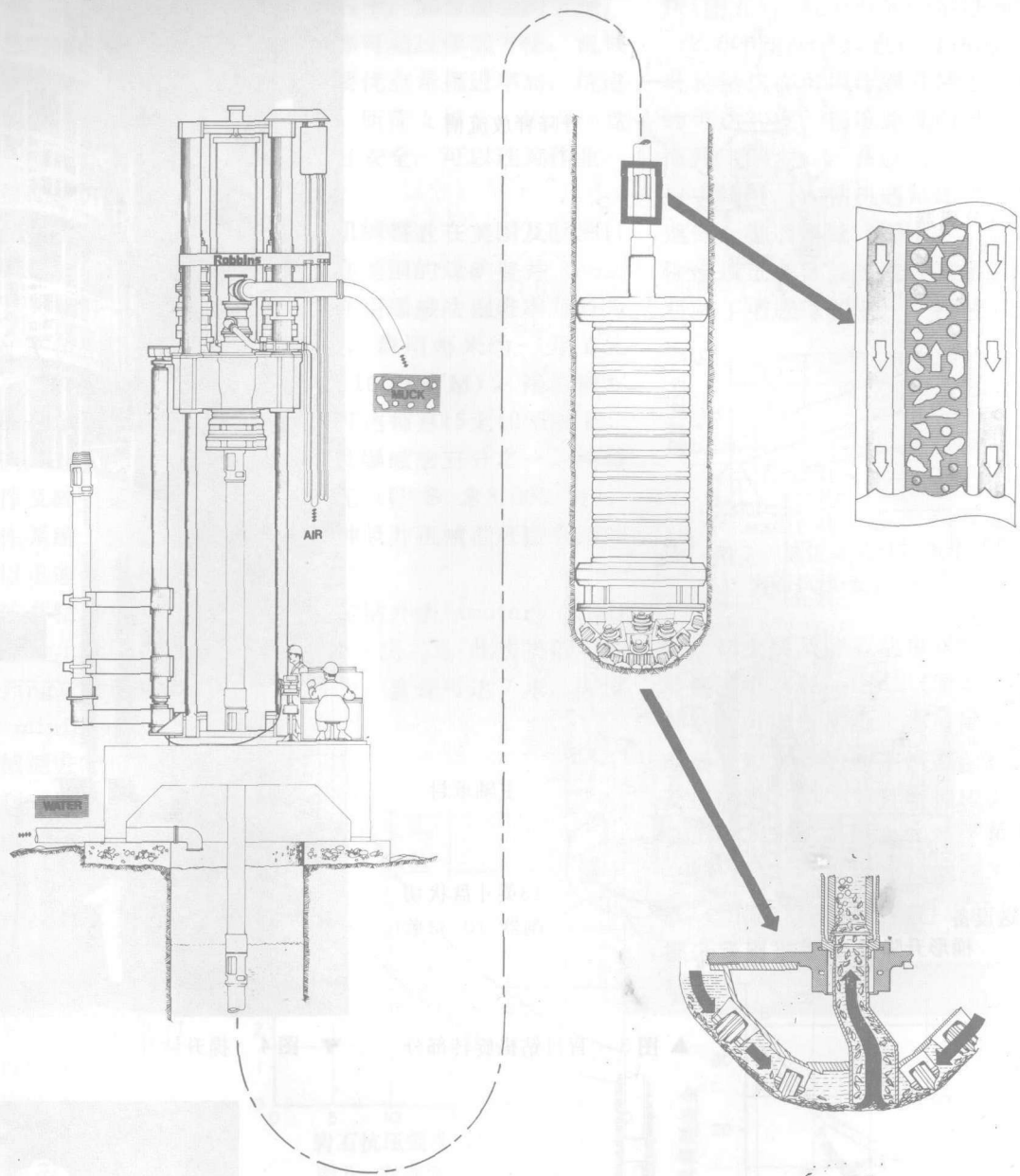
盲目钻机旋转部分



▲ 图3 盲目钻机旋转部分

▼ 图4 提升钻井





▲ 图 2 旋转钻井法

▼ 图 8 盾型掘进机

