

盾构工程的技术进步



孙 钧

同济大学隧道与地下工程研究所
上海市城建集团院士工作室
2007年9月25日• 沈阳市

介绍提纲

- 一、城市地下铁道与过江隧道施工、盾构机掘进开挖概述
- 二、盾构隧道的主要施工技术问题
- 三、土压/泥水平衡式盾构机的工作特征与掘进机制
- 四、盾构掘进施工中的若干技术关键及其处治
- 五、近年来盾构隧道工程的应用进展（以上海市经验为例）
- 六、有关盾构施工的一些图照

一、城市地下铁道与过江隧道施工、盾构机掘进开挖概述

- 盾构机选型
- 盾构进、出洞段的地基加固
- 盾构掘进开挖面稳定（舱压、出土量）
- 管片运输与安装
- 盾尾密封与壁后注浆
- 盾构掘进姿态控制与纠偏
- 泥水处理系统
- 盾构工作竖井施工（始发井、接收井）

二、盾构隧道的主要施工技术问题

√ 1. 盾构机的基本概况

√ 2. 土压平衡系列盾构机选型

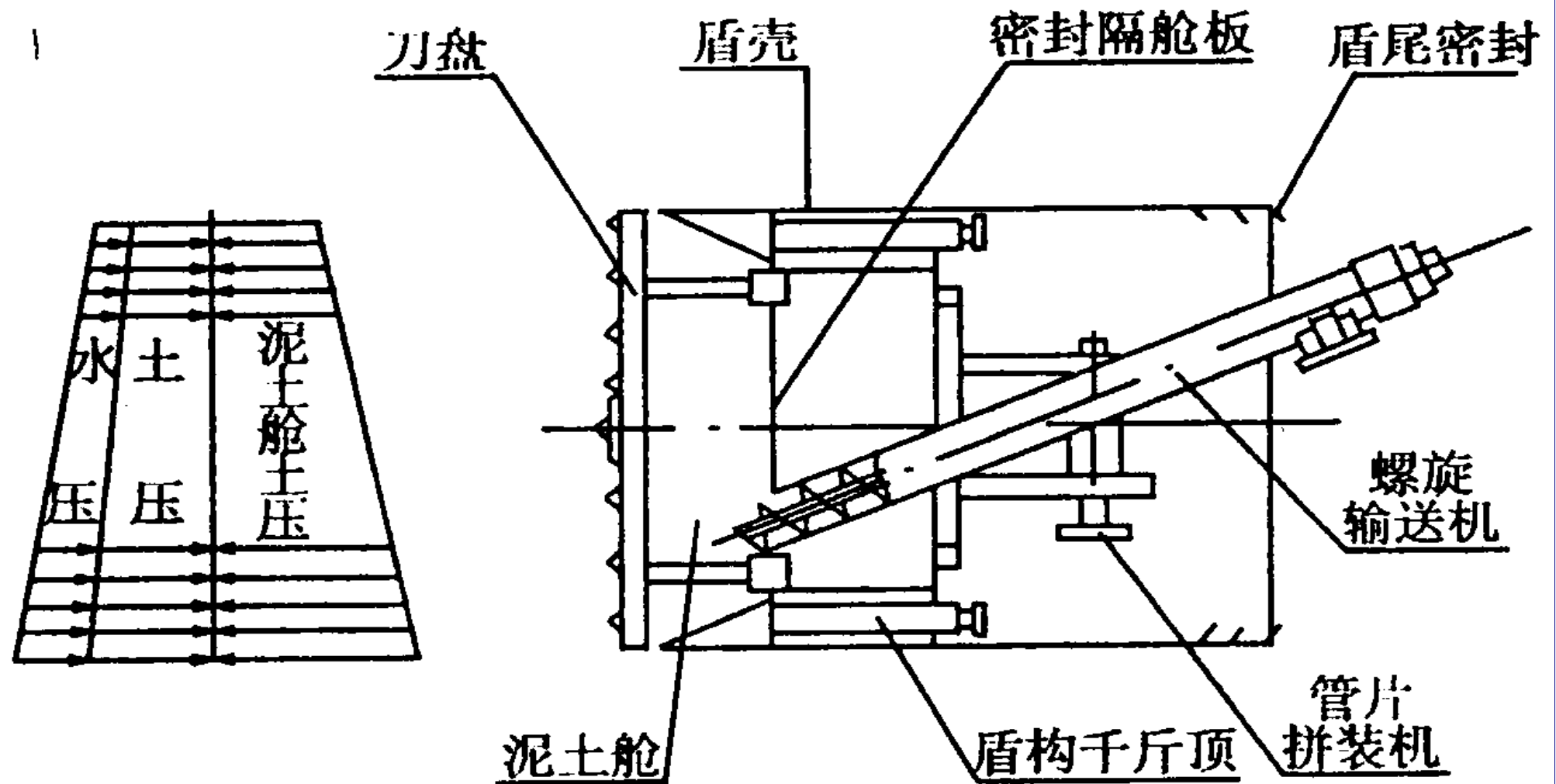
√ ● 普通型土压平衡盾构

● 加泥式土压平衡盾构

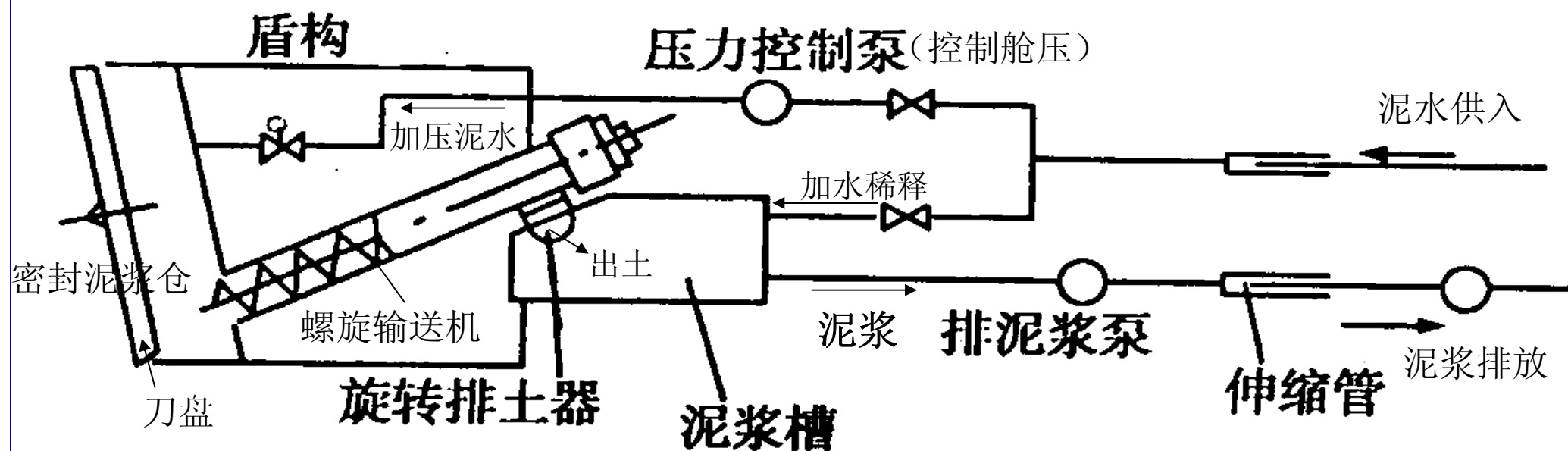
√ ● 泥水加压式盾构

● 泥浆型土压平衡盾构

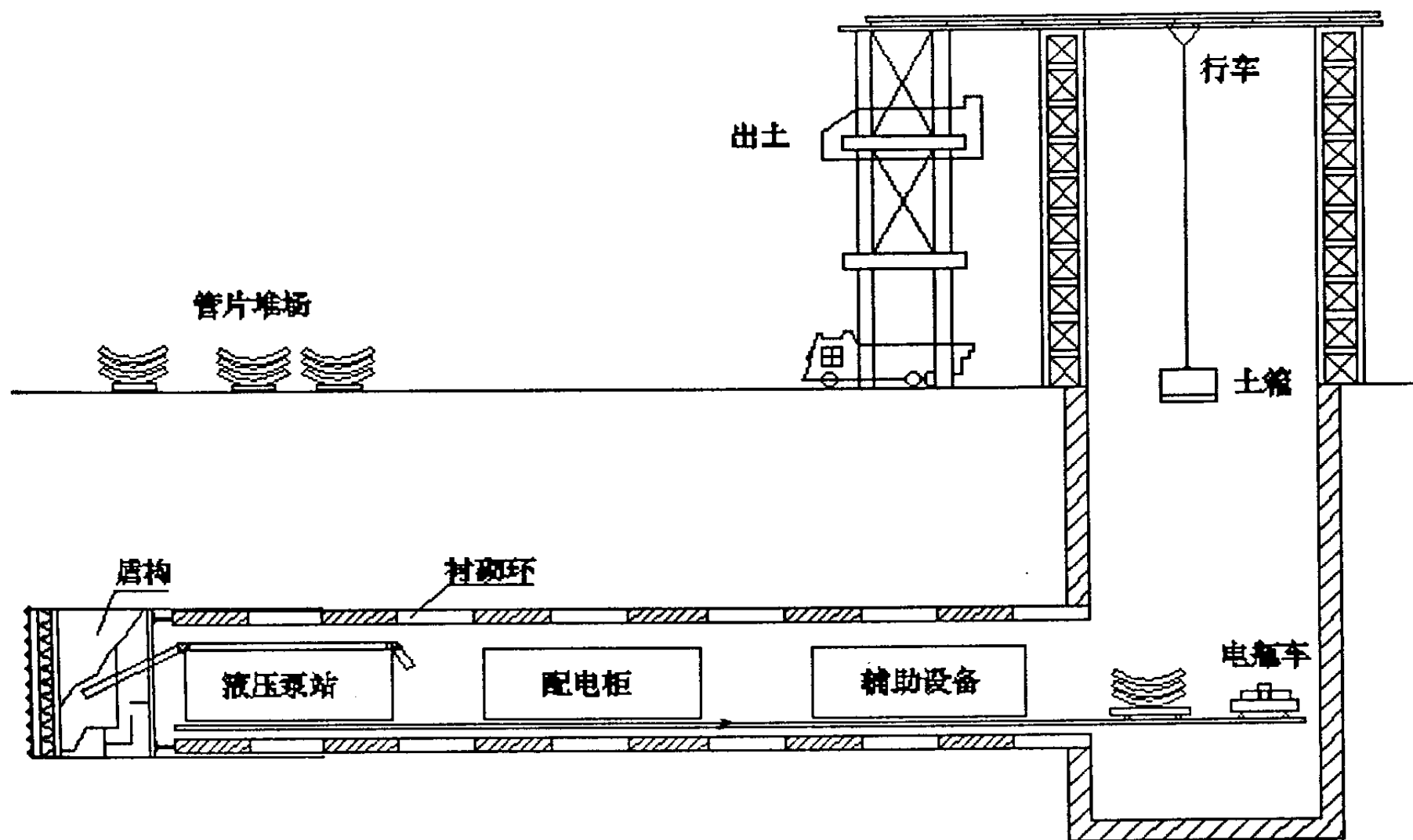
3. 盾构机的工作原理



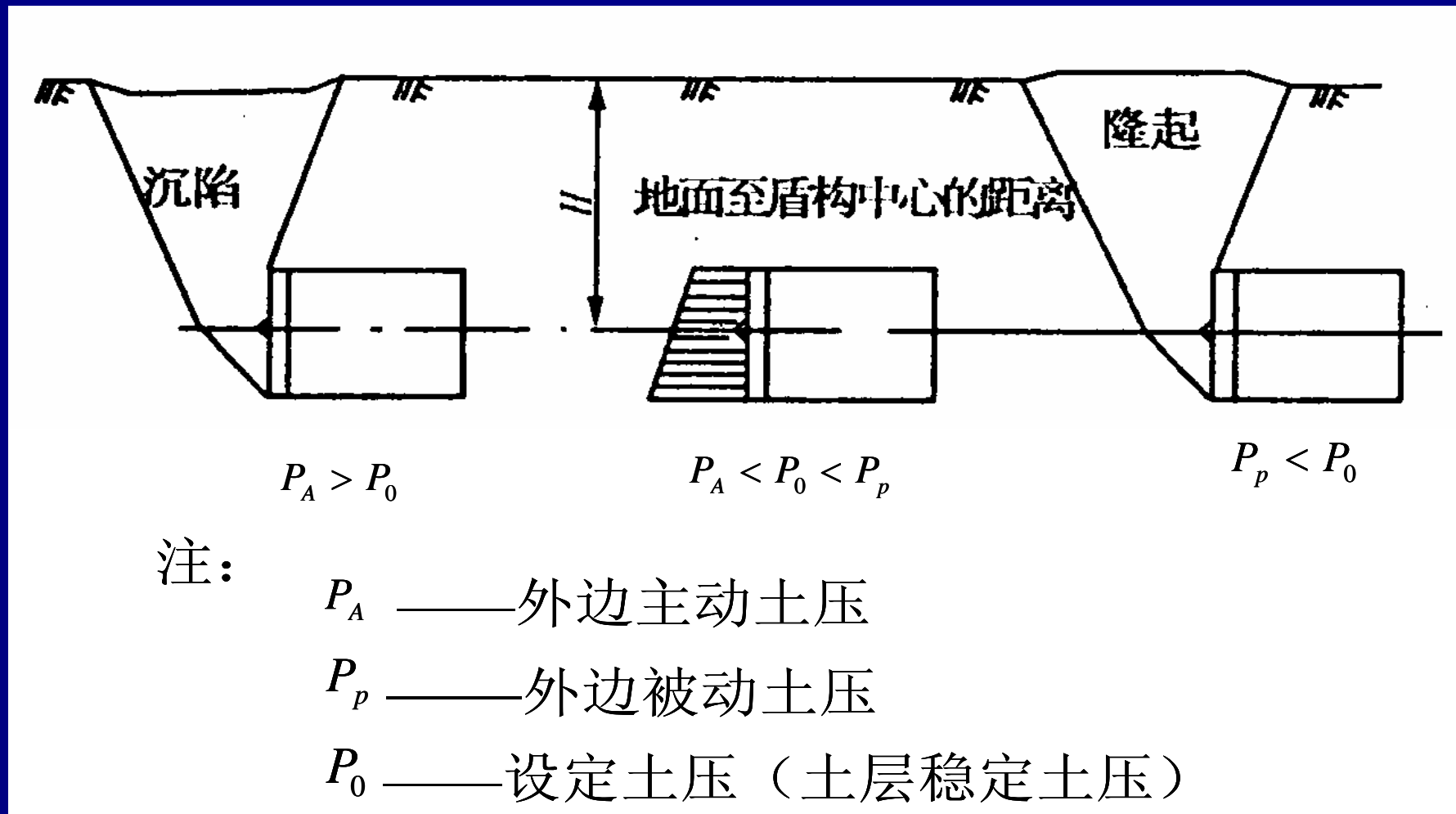
土压平衡盾构基本构造和工作原理简图



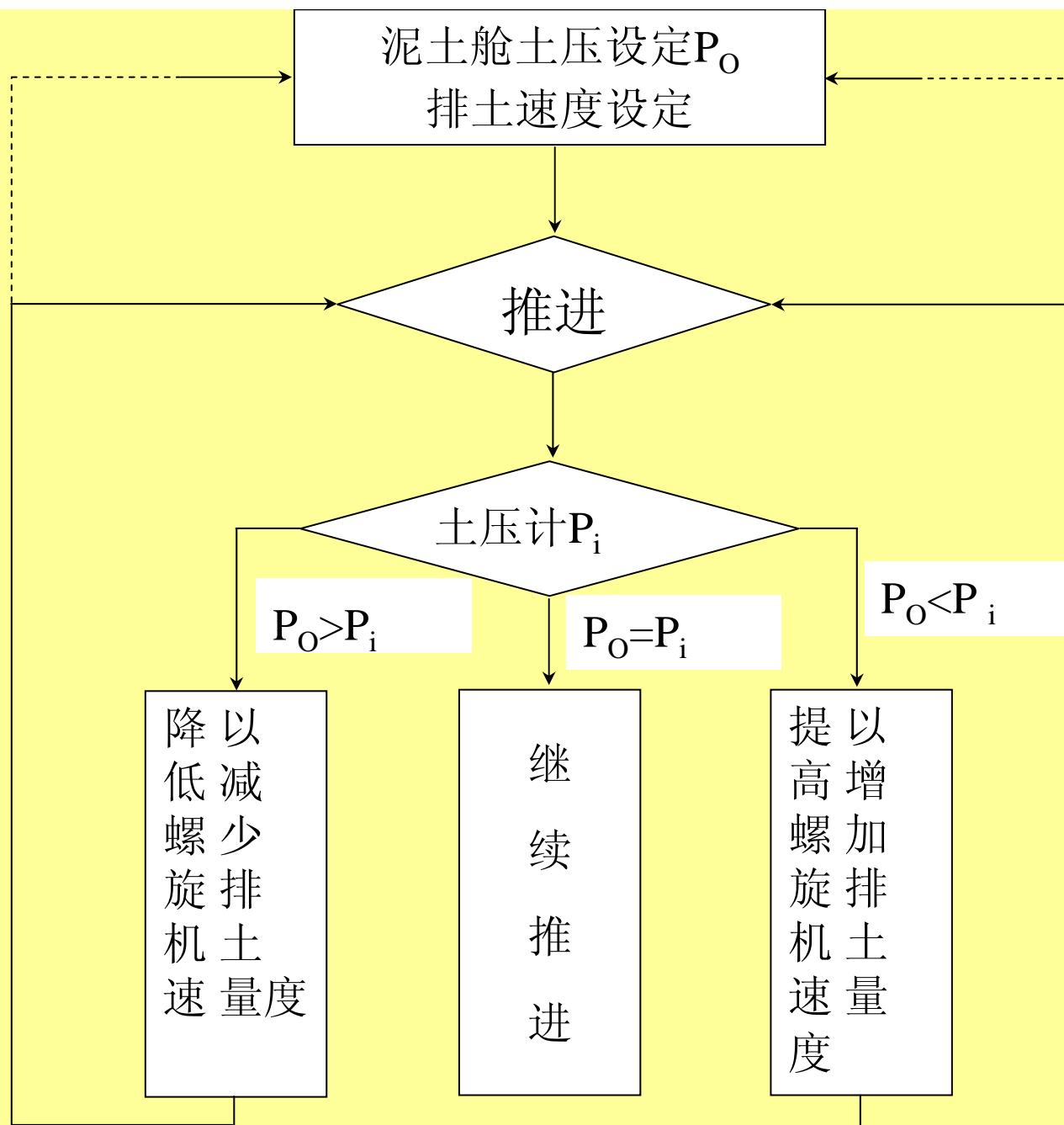
泥水加压盾构工艺流程简图



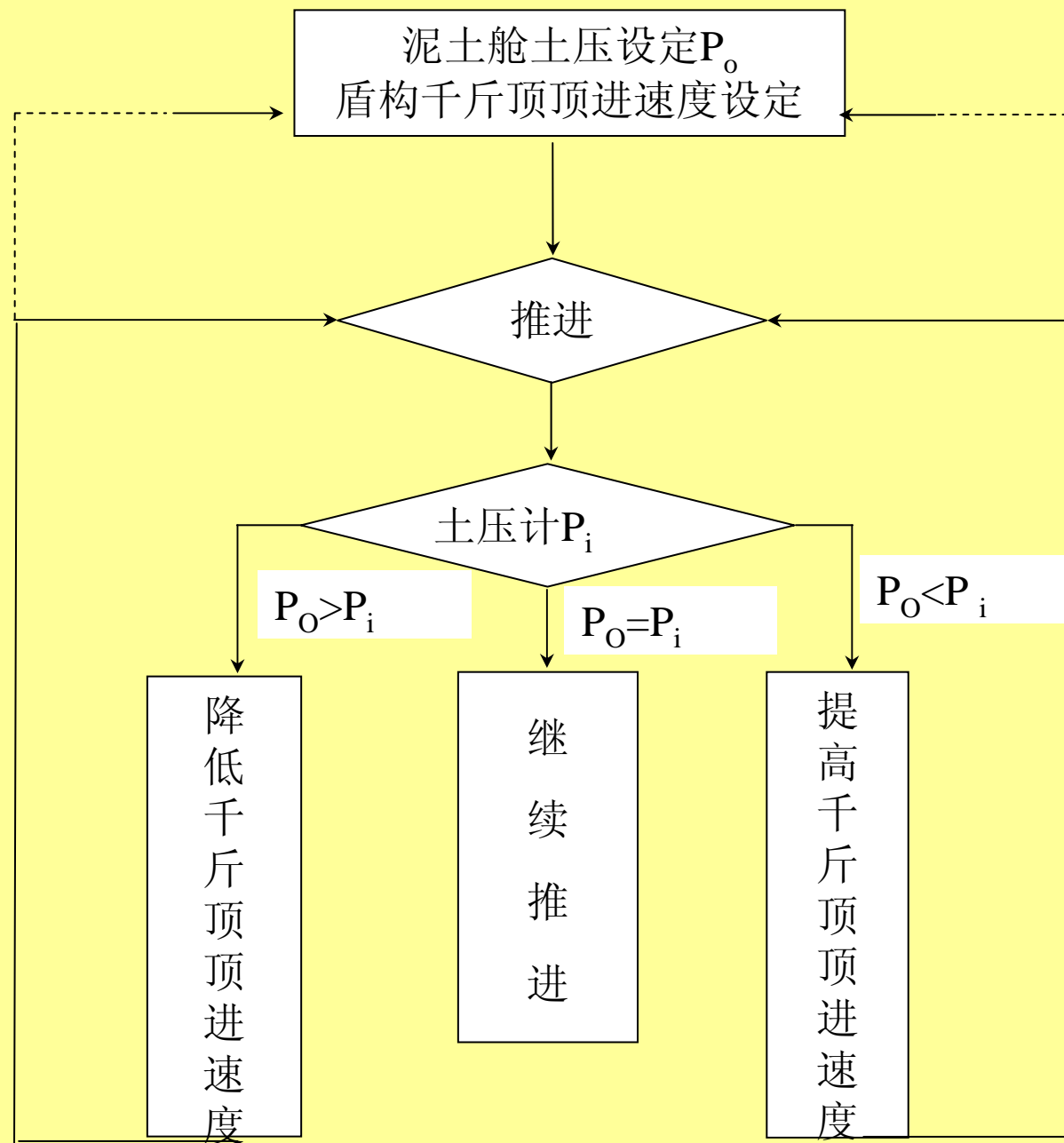
盾构法施工示意图



实际的排土量、需要的开挖量与地表变形的关系示意图



排土量控制模式框图



图中:

P_i ——实际的舱压值;

P_0 ——设定的舱压值;
(外边土、水压)

开挖量控制模式框图

泥水式盾构与土压平衡盾构的特征比较表

项 目		泥水式盾构	土压平衡盾构
工作面稳定		√ 腔里的泥水压	腔里的泥土压
开挖料排除		√ 流体输送(泥浆管)	机车输送(运输带)
盾 构 结 构	主体	由罩部、梁架部和尾部组成	
	铣头	面板式	辐射式或面板式
	推进机构	布置于梁架部的盾构千斤顶	
	段组装结构	设置于尾部的安装器和圆度支承装置	
	附属机构	位置测定、形位测定测量装置及其工段所需装置	
	排泥、排土机构	√ 泥水循环流体输送	螺旋输送机
	搅拌、混合搅拌	√ 搅拌器搅拌泥水	搅拌器混合搅拌泥砂土
	添加材料注入装置	没有	有
√ 适用土质		饱水松软粘土层、砂质土、砂砾和泥岩	粉质粘土层，当用于砂土时，需考虑辅助施工法
耐水压性		无需采取对策，较土压平衡盾构有利	需要机械挡水机构
刀盘耐久性		√ 较土压平衡盾构寿命长	比泥水式差

泥水盾构施工的开挖参数和地层特性（以穿黄隧洞为例）

特 性	参 数
隧洞开挖直径	8.82m（盾构外径）
盾构机开挖推进速率	2～（4）cm/min
每小时开挖量	100.3 m ³ /h
土层孔隙比	38%
开挖土体的比重	1.64 t/ m ³
开挖土体的颗粒比重	2.658 t/ m ³
盾构机穿过的地层	Q ₄ ²⁻¹ 、 Q ₄ ¹⁻⁴
盾构机穿过地层的土质	亚粘土、中砂、粉细砂、细砂、 黄土状粉质壤土

4. 盾构机主要技术参数

盾构机主要技术参数

项 目	单 位	指 标
1.外型尺寸		
外径 ϕ	mm	8.82
内径 ϕ	mm	8.7
长度	m	8.5
2.推进系统		
总推力	kN	115000
推进速度	cm/min	2~4
3.刀盘		
转速	转/min	0~0.6
扭矩	kN·m	12000
4.管片拼装机		
型式		环式
转动范围		+210°
提升能力	t	12
盾尾密封	环	4

5. 泥水加压盾构的掘进、开挖技术

- √ ● 开挖面稳定机理
 - 泥浆的主要性能指标——泥浆密度、粘度和泥浆压力
 - 开挖稳定判别与保证——土砂掘削量控制、溢水量和土体崩塌检查、地表沉降 / 隆起预测与信息反馈
 - 开挖面稳定的施工技术管理——泥水特性和泥水分离处理

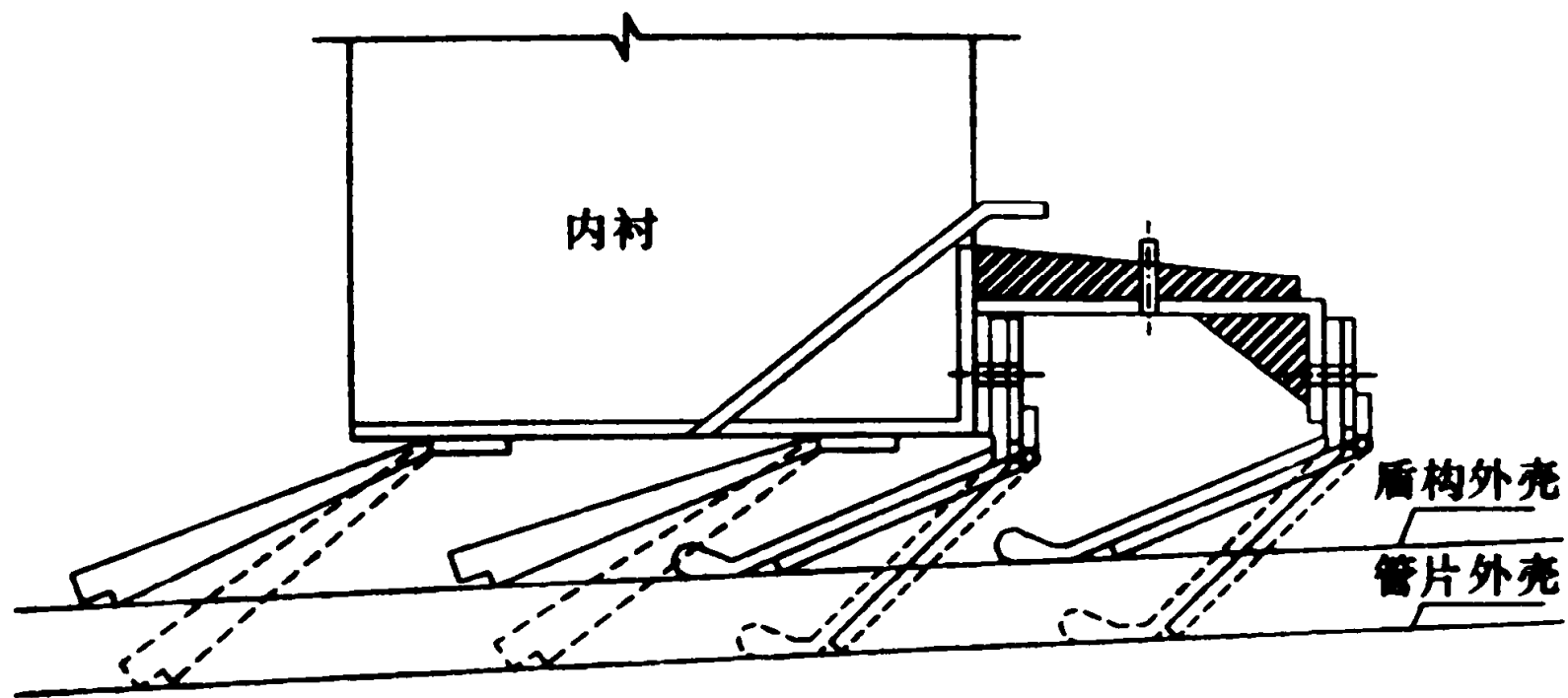
泥水盾构施工泥水特性一览表（以穿黄隧洞为例）

序 号	泥浆特性	符 号	单 位	数 值	备 注
1	表观粘度	Va	厘泊	10~20	
2	塑性粘度	Vp	厘泊	5~10	
3	屈服点	Yp	帕斯卡	5~10	
4	失水量		ml	15~30	
5	泥团（实验室）		mm	1~5	
6	马氏粘度	Vm	秒	35~50	
7	密度		t/ m ³	1.02~1.2	
8	PH值			7~10	
9	砂率		%	1~5	

泥水分离式处理系统主要技术指标

序号	项 目	单 位	指 标	备 注
1	粗筛处理能力	m ³ /h	800	
2	二次除砂处理能力	m ³ / h	120	
3	弃渣量	t / h	165	
4	泥水回收利用率	%	75	

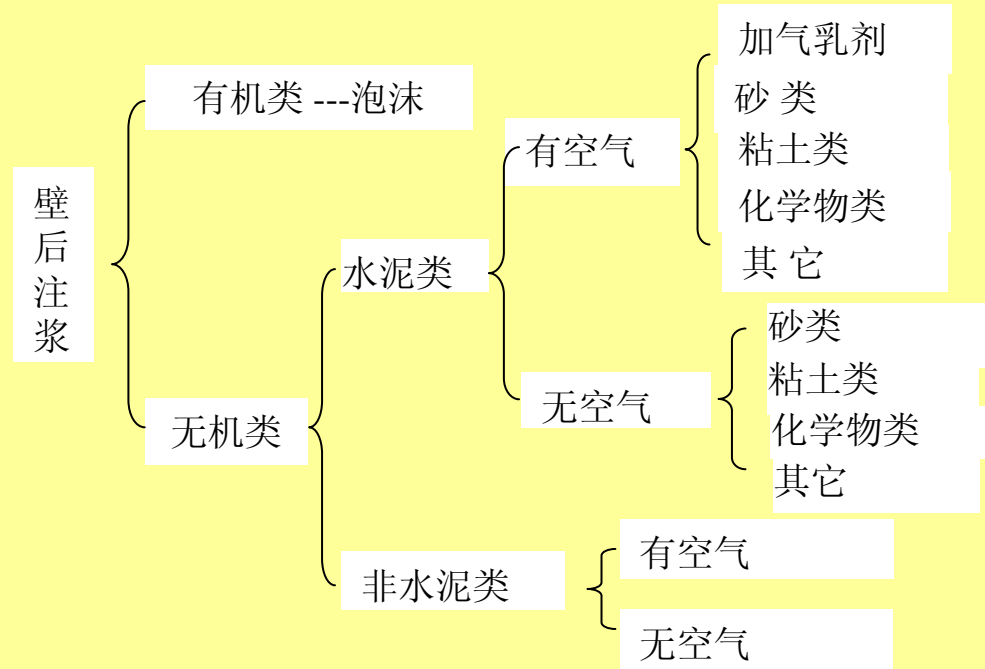
- √ 6. 盾尾密封与止水
- 7. 盾构掘进姿态控制与纠偏
- √ 8. 同步注浆与注浆材料
- 9. 盾构长距离掘进的可靠性保证
- 10. 盾构进、出洞段的地基加固
 - √ ● 高压旋喷法
 - 深层搅拌桩法
 - 化学灌浆法
 - √ ● 冻结法
 - √ ● 对盾构进出洞段施工的难点和重点



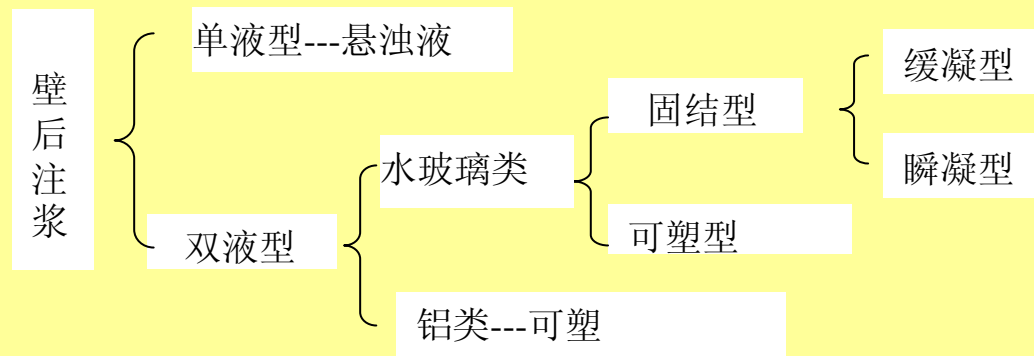
翔殷路北线隧道洞口止水装置工作图

壁后注浆图

1) 按注浆材料特性分类



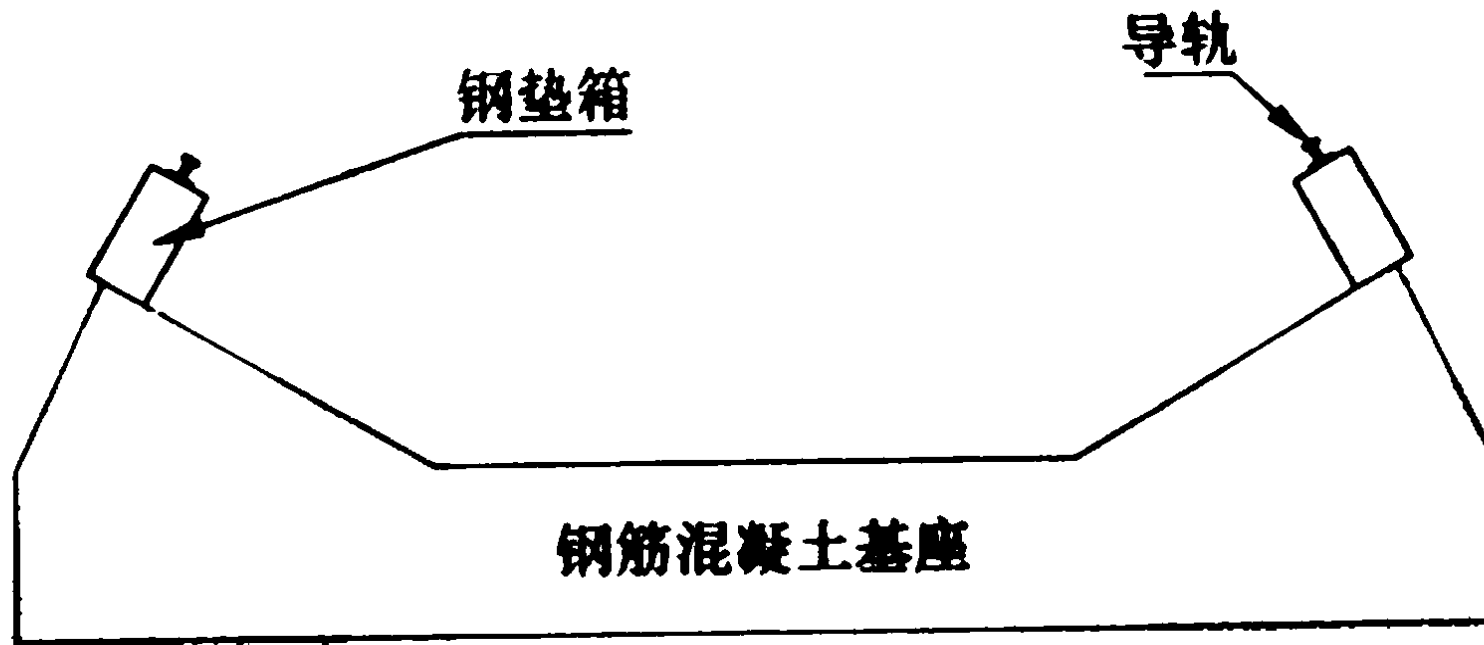
2) 按浆液状态分类



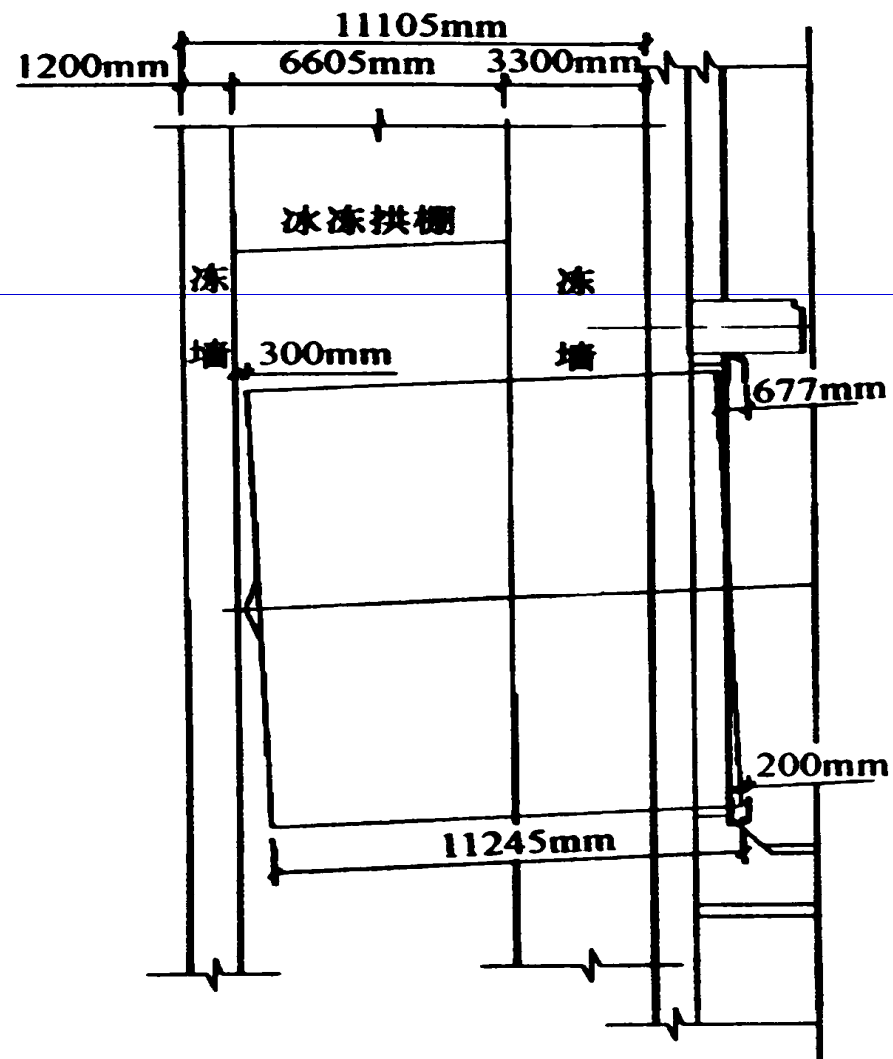
调整后的A、B浆液配合比

A 液				B 液
水	水泥 (kg)	膨润土 (kg)	稳定剂 (kg)	水玻璃 (l)
785	275	55	3.6	77

11. 盾构出洞段施工要点



基座示意图



冰冻区加固范围与加固深度示意图

✓ 12. 盾构出洞后的上浮

✓ 13. 出洞段的地面沉降控制（浅复土条件）

三、土压/泥水平衡式盾构机的工作特征与掘进操作控制

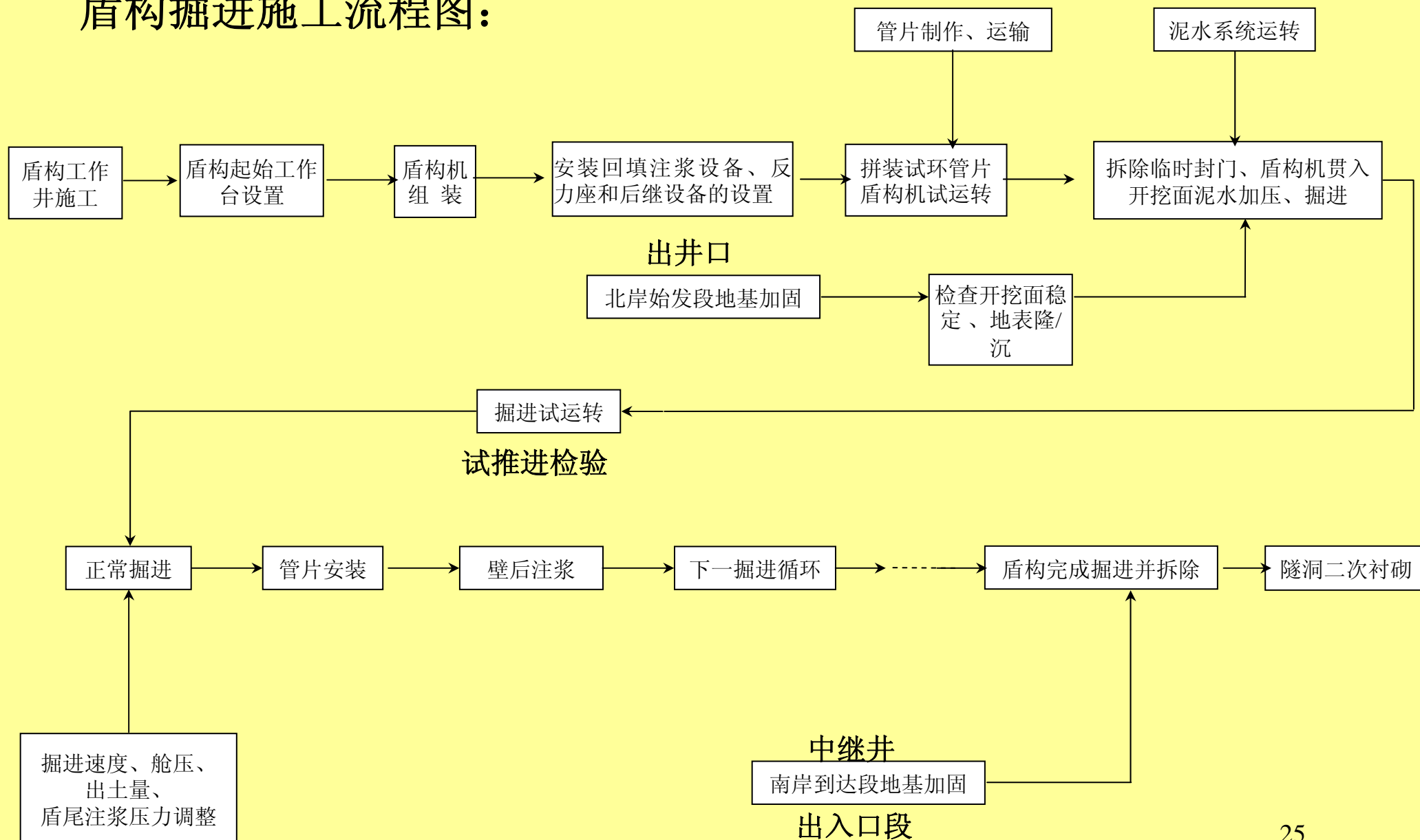
√ 1. 盾构掘进施工流程（图）

2. 盾构机械的工作特征与掘进操作控制

3. 制约盾构施工的工程地质条件

- 对泥水盾构掘进施工
- 对土压平衡盾构施工

盾构掘进施工流程图：



四、盾构掘进施工中的若干技术关键及其处治

√ 1. 关于盾构穿越深厚砂性土层的掘进施工

- 土舱压力设定
- 砂性土改良
- 螺旋机出口“喷发”

2. 管片通缝和错缝拼装

3. 盾构刀盘与刀具

4. 关于含水松散地层中盾构隧道的不均匀沉降及因水土流失导致施工中隧道沿纵向弯曲断裂问题
5. 隧道纵向接头构造中的变形缝设置——管片防水密封垫、竖井与隧道间的柔性接合

五、近年来盾构隧道工程的应用进展

（以上海市经验为例）

六、有关盾构施工的一些图照

上海地铁盾构雄姿



先行号





7号盾构吊装就位



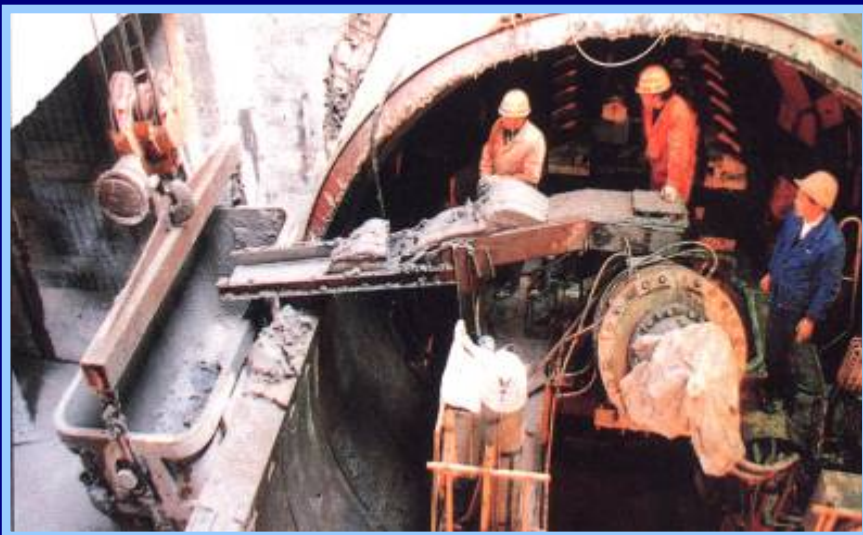
2号盾构设备车架



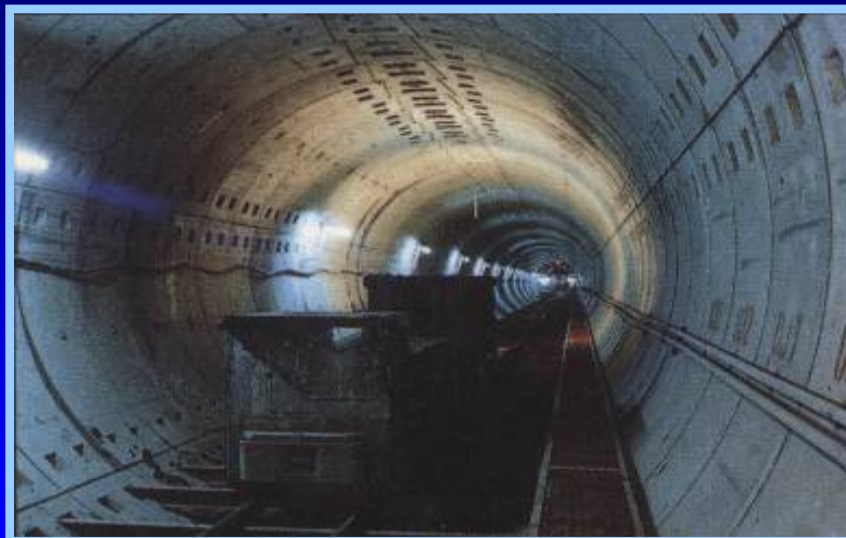
盾构设备车架



盾构操纵室



盾构出土



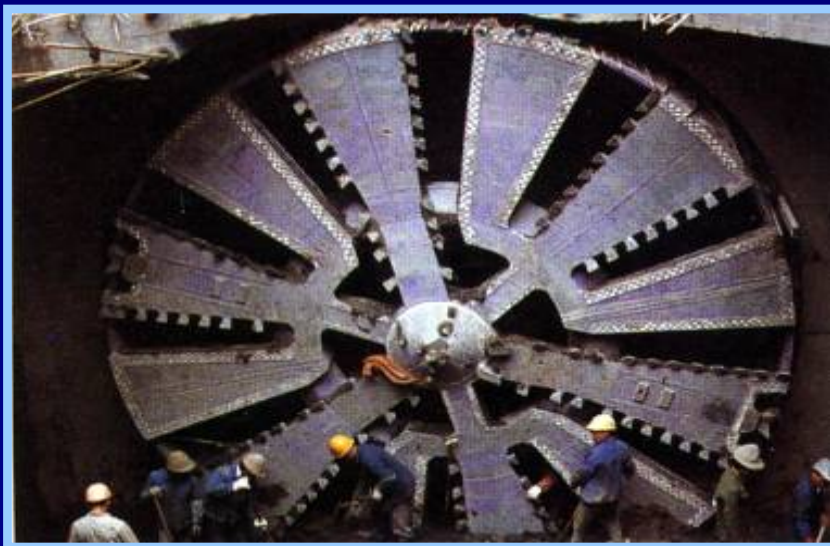
隧道运输



管片吊下



管片拼装



盾构进洞



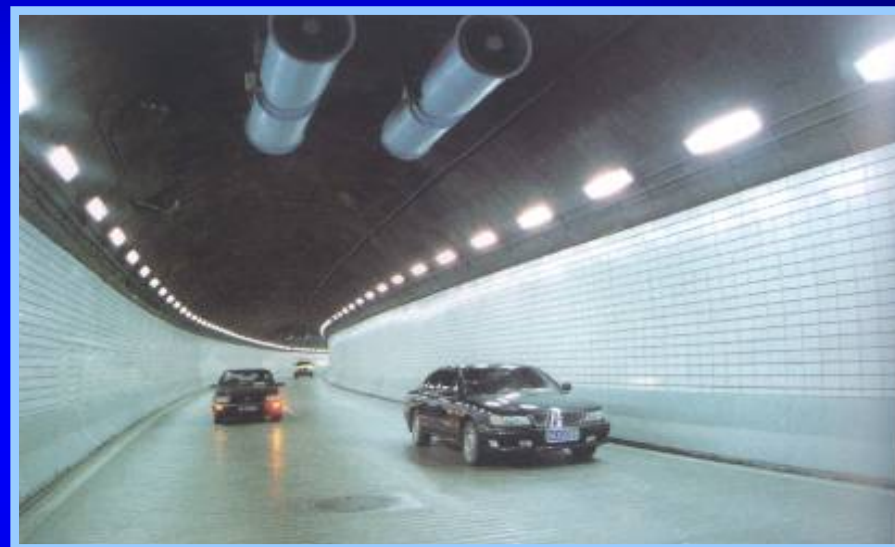
隧道全景



盾构施工



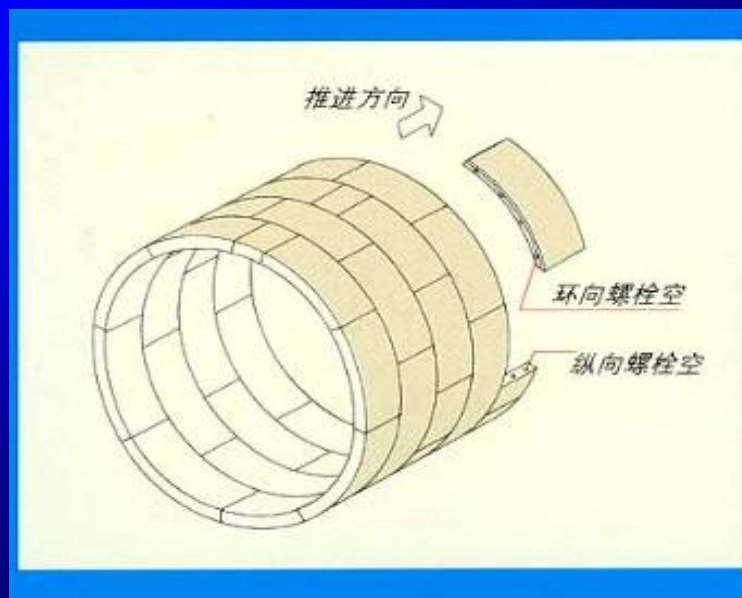
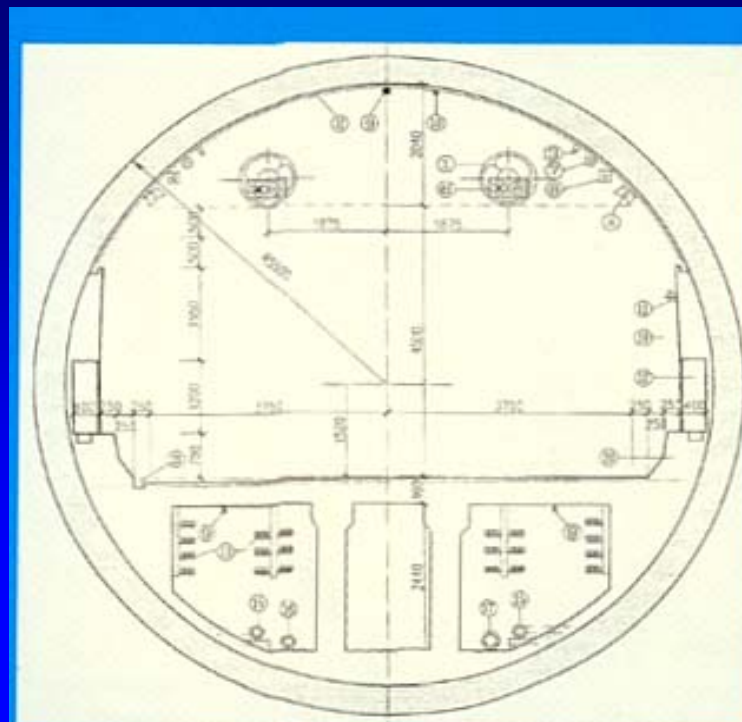
中央控制室



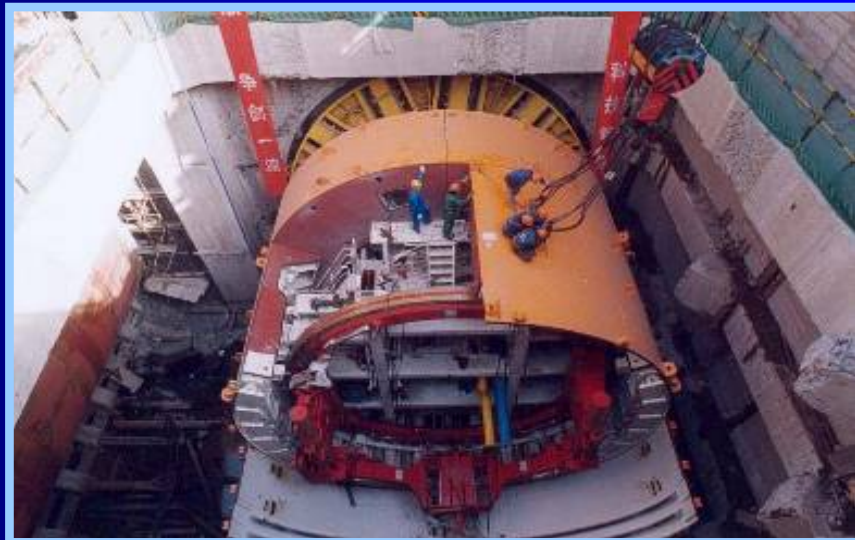
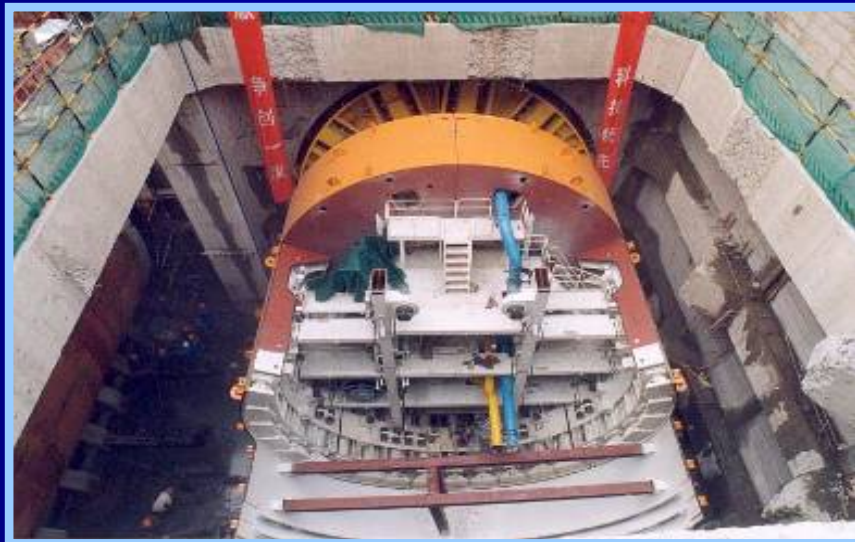
延安路隧道建成通车

大连路隧道横断面设计:

- ◆ 管片宽度 1.5m
- ◆ 管片厚度 0.48m
- ◆ 衬砌分块 8块
- ◆ 双车道宽度 $3.75\text{m} \times 2$
- ◆ 净高 4.5m



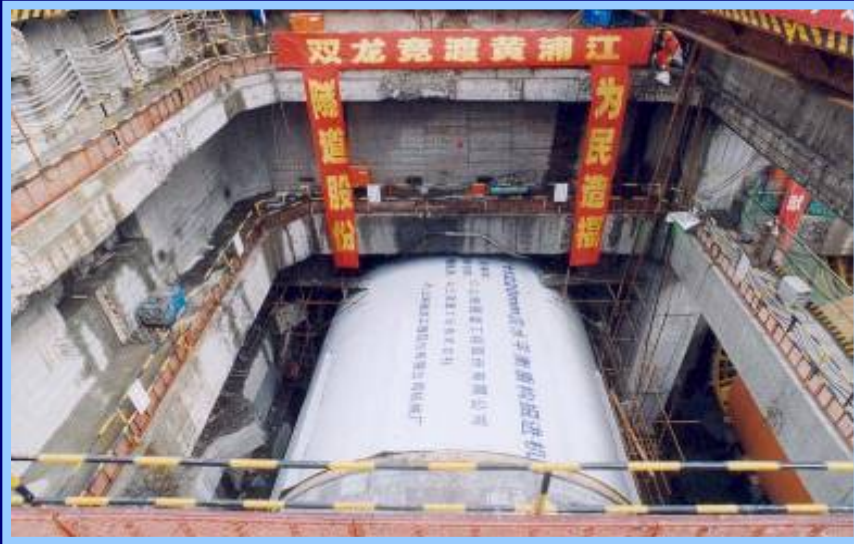
$\Phi 11.22\text{m}$ 泥水盾构井下安装



盾构始发推进:

洞口冻结加固







上海地铁盾构



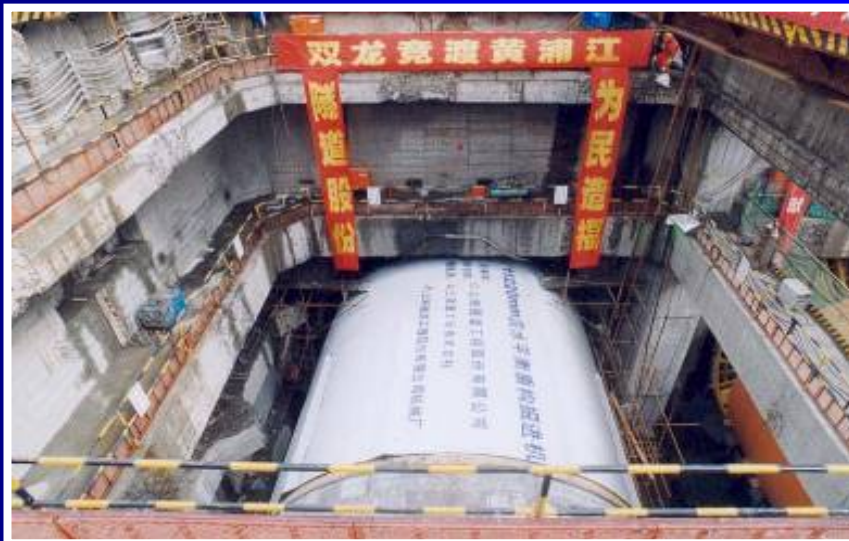
广州地铁盾构



南京地铁盾构



北京地铁盾构



大连路隧道 $\Phi 11.22\text{m}$ 泥水平衡盾构安装、施工



加拿大LOVAT公司的复合型土压平衡盾构

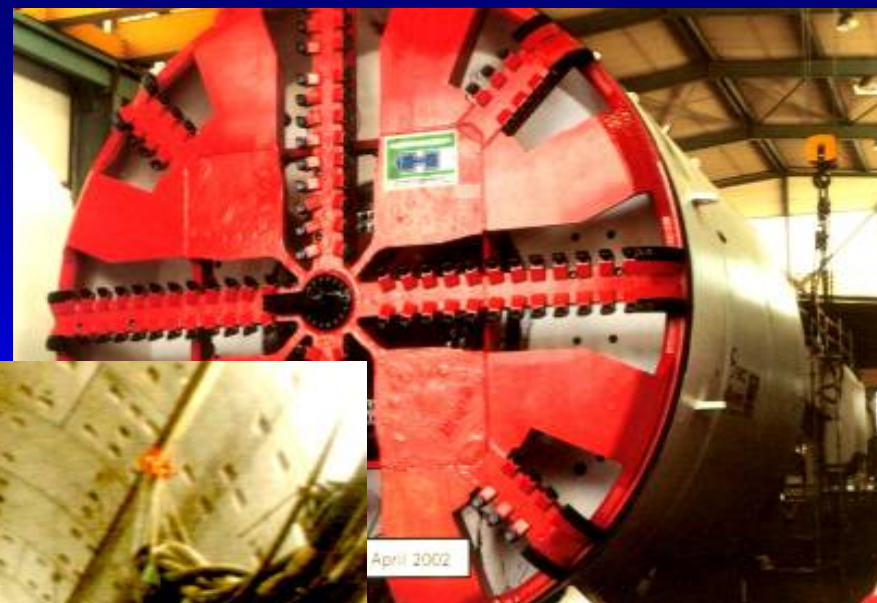
日本最新的 $\Phi 14.14\text{m}$ 泥水平衡盾构



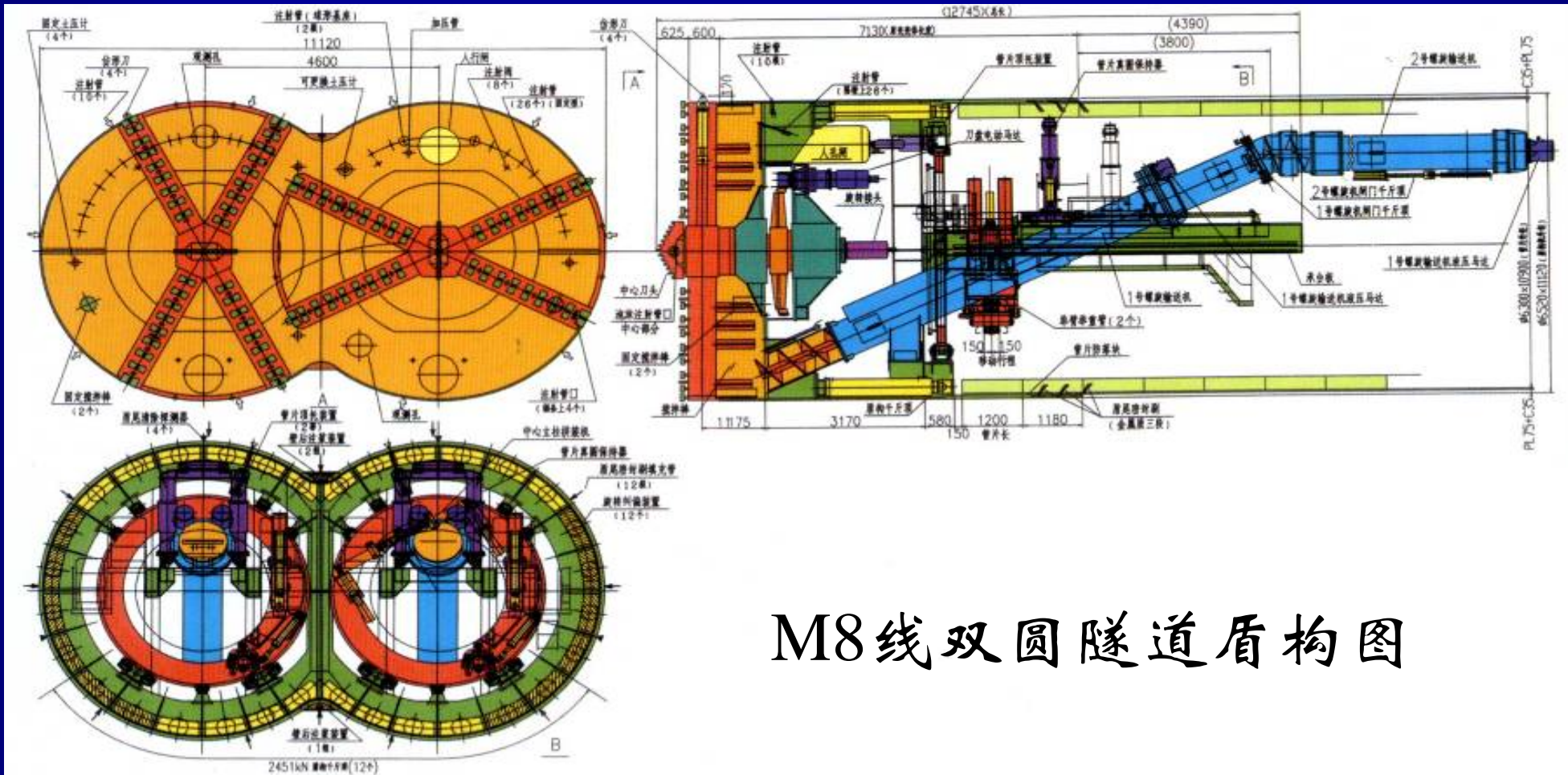
日本的矩形盾构



日本双圆土压平衡盾构



德国海瑞克盾构



双圆隧道盾构





双圆盾构隧道管片

双圆盾构始发推进



谢谢!