

第四节 喷锚暗挖法施工

1K413041 喷锚暗挖法的掘进方式选择

1K413042 工作井施工技术

1K413043 超前预支护及预加固施工技术

1K413044 喷锚支护施工技术

1K413045 衬砌及防水施工要求

1K413046 喷锚暗挖法辅助工法施工技术要点

1K420112 喷锚支护施工质量检查与验收

1K420172 暗挖法施工安全措施

一、喷锚暗挖法的掘进方式选择

管超前	指采用超前管棚或小导管注浆防护，实际上就是采用超前支护的各种手段，提高掌子面的稳定性，防止围岩松弛和坍塌。
强支护	指在浅埋的松软地层中施工，初期支护必须十分牢固，具有较大的刚度，以控制开挖初期的变形。
严注浆	指在导管超前支护后，立即进行压注水泥浆或其他化学浆液，填充围堰空隙，使隧道周围形成一个具有一定强度的壳体，以增强围岩的自稳能力。
短开挖	指一次注浆，多次开挖，即限制一次进尺的长度，减少对围岩的扰动。
快封闭	指在台阶法施工中，如上台阶过长时，变形增加较快，为及时控制围岩松弛，必须采用临时仰拱封闭，开挖一环，封闭一环，提高初期支护的承载能力。
勤量测	指对隧道施工过程进行经常性的量测，掌握施工动态，及时反馈，是浅埋暗挖法施工成败的关键。



一、浅埋暗挖法掘进方式

①全断面法

②正台阶法

③环形开挖预留核心土法

④单侧壁导坑法

⑤双侧壁导坑法

⑥中隔壁法

⑦交叉中隔壁法

⑧中洞法

⑨侧洞法

⑩柱洞法

(11)洞桩法



(1)全断面开挖法适用于土质稳定、断面较小的隧道施工，适宜人工开挖或小型机械作业。

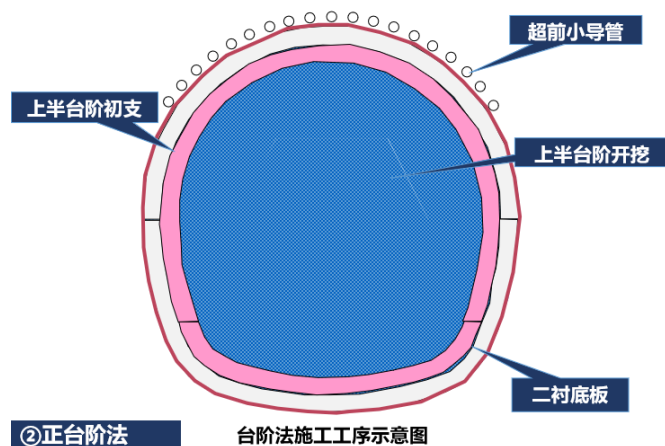
(2)全断面开挖法采取自上而下一次开挖成型，沿着轮廓开挖，按施工方案一次进尺并及时进行初期支护。

(3)全断面开挖法的优点是①可以减少开挖对围岩的扰动次数，②有利于围岩天然承载拱的形成，③工序简便；缺点是对地质条件要求严格，围岩必须有足够的自稳能力。

①全断面法



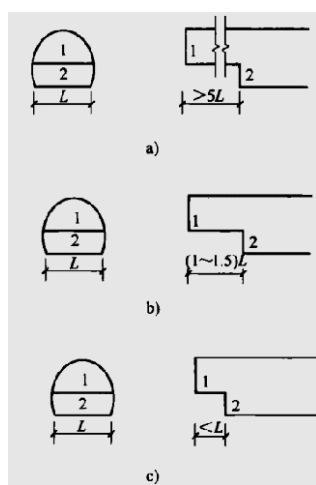
②正台阶法



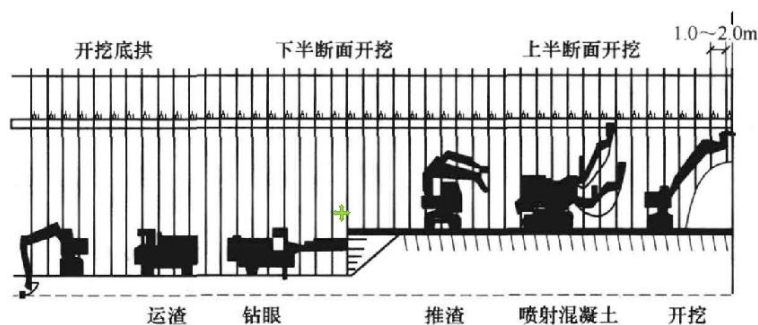
(1)台阶开挖法适用于土质较好的隧道施工，软弱围岩、第四纪沉积地层隧道。

(2)台阶开挖法将结构断面分成两个以上部分，即分成上下两个工作面或几个工作面，分步开挖。根据地层条件和机械配套情况，台阶法又可分为正台阶法和中隔壁台阶法等。正台阶法能较早使支护闭合，有利于控制其结构变形及由此引起的地面沉降。

(3)台阶开挖法优点是具有足够的作业空间和较快的施工速度，灵活多变，适用性强。



台阶法施工形式
a)长台阶法 b)短台阶法 c)超短台阶法



长台阶法的纵向工序布置和机械配置

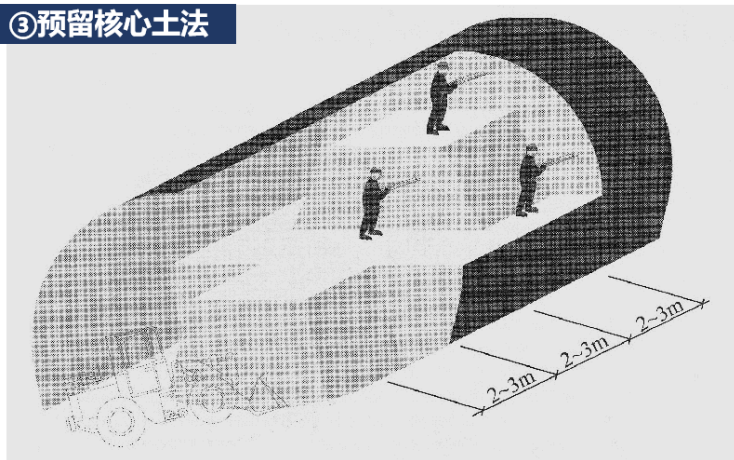
(4)台阶开挖法注意事项:

1)台阶数不宜过多,台阶长度要适当,对城市第四纪地层,台阶长度一般以控制在 $1D$ 内 (D 一般指隧道跨度) 为宜。

2)对岩石地层,针对破碎地段可配合挂网喷锚支护施工,以防止落石和崩塌。



③预留核心土法

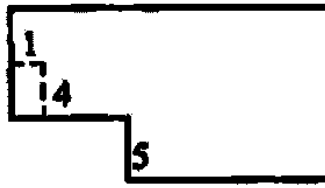


(1)环形开挖预留核心土法适用于一般土质或易坍塌的软弱围岩、断面较大的隧道施工,是城市第四纪软土地层浅埋暗挖法最常用的一种标准掘进方式。

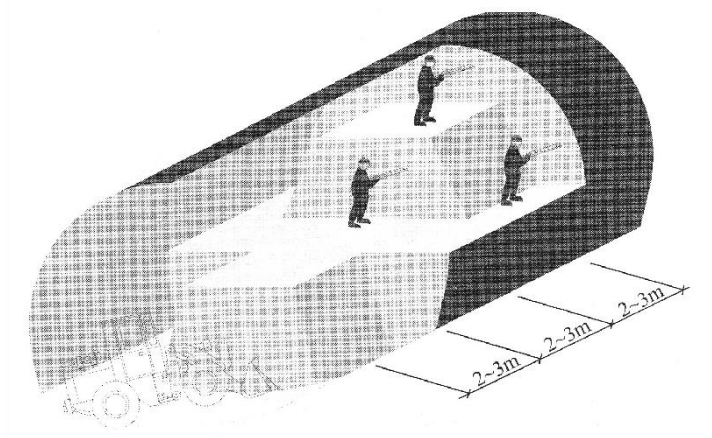
(2)一般情况下,将断面分成环形拱部(见表 1K413041 示意图中的 1、2、3)、上部核心土(见表 1K413041 示意图中的 4)、下部台阶(见表 1K413041 示意图中的 5)等三部分。

根据断面的大小,环形拱部又可分成几块交替开挖。环形开挖进尺为 $0.5 \sim 1.0\text{m}$,不宜过长。

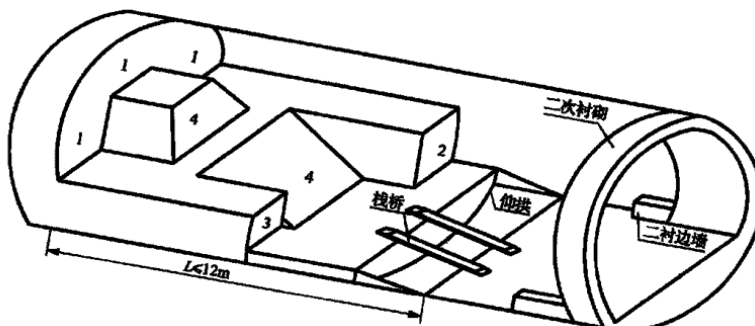
台阶长度一般以控制在 $1D$ 内 (D 一般指隧道跨度) 为宜。



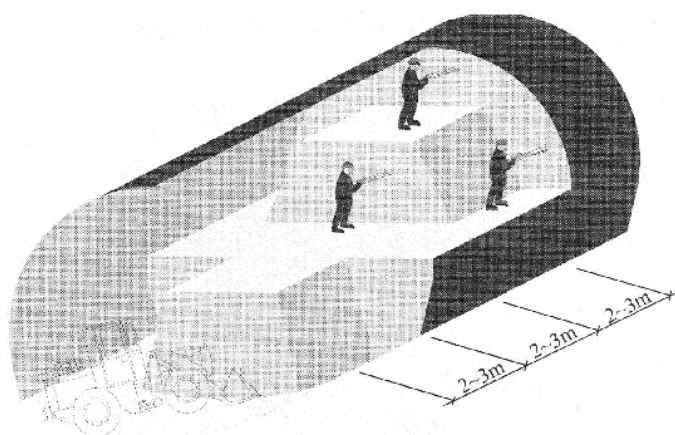
③预留核心土法



③预留核心土法



(3)施工作业流程：①用人工或单臂掘进机开挖环形拱部→架立钢支撑→挂钢筋网→喷混凝土。在拱部初次支护保护下，为加快进度，宜②采用挖掘机或单臂掘进机开挖核心土和下台阶，随时接长钢支撑和喷混凝土、封底。视初次支护的变形情况或施工工序，安排施工二次衬砌作业。



③预留核心土法

(4)本方法的主要优点：

1)因为开挖过程中上部留有核心土支承着开挖面，能迅速及时地建造拱部初期支护，所以开挖工作面稳定性好。

2)和台阶法一样，核心土和下部开挖都是在拱部初期支护保护下进行的，施工安全性好。与超短台阶法相比，台阶长度可以适度加长，以减少上、下台阶施工干扰。与下述的侧壁法相比，施工机械化程度可相对提高，施工速度可加快。



③预留核心土法

(5)注意事项:

1)虽然核心土增强了开挖面的稳定,但开挖中围岩要经受多次扰动,而且断面分块多,支护结构形成全断面封闭的时间长,这些都有可能使围岩变形增大。因此,常要结合辅助施工措施对开挖工作面及其前方岩体进行预支护或预加固。

2)由于拱形开挖高度较小,或地层松软锚杆不易成型,所以对城市第四纪地层,施工中一般不设或少设锚杆。

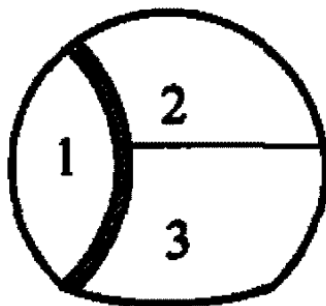


③预留核心土法

(1)单侧壁导坑法适用于断面跨度大,地表沉降难于控制的软弱松散围岩中隧道施工。

(2)单侧壁导坑法是将断面横向分成3块或4块:侧壁导坑、上台阶、下台阶,侧壁导坑尺寸应本着充分利用台阶的支撑作用,并考虑机械设备和施工条件而定。

(3)一般情况下侧壁导坑宽度不宜超过0.5倍洞宽,高度以到起拱线为宜,这样导坑可分二次开挖和支护,不需要架设工作平台,人工架立钢支撑也较方便。



④单侧壁导坑法

(4)导坑与台阶的距离没有硬性规定，但一般应以导坑施工和台阶施工不发生干扰为原则。

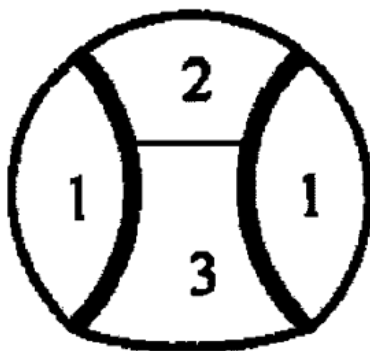
上、下台阶的距离则视围岩情参照短台阶法或超短台阶法拟定。



④单侧壁导坑法

(1)双侧壁导坑法又称眼镜工法。当隧道跨度很大，地表沉陷要求严格，围岩条件特别差，单侧壁导坑法难以控制围岩变形时，可采用双侧壁导坑法。

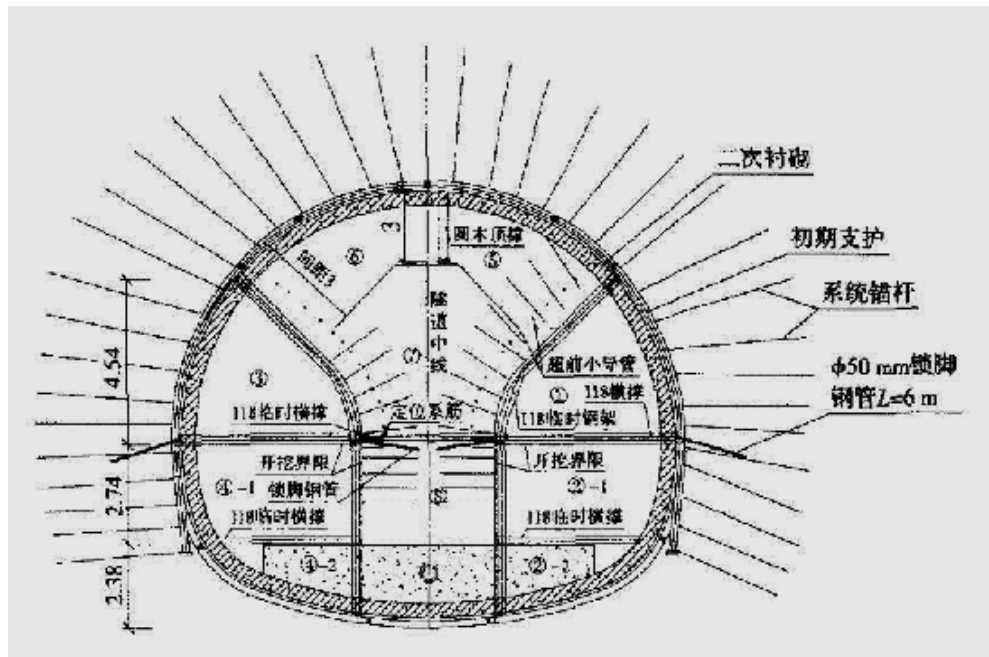
(2)双侧壁导坑法一般是将断面分成四块：左、右侧壁导坑、上部核心土、下台阶(分别见表1K413041 中对应工法示意图的 2、3)。导坑尺寸拟定的原则同前，但宽度不宜超过断面最大跨度的 $\frac{1}{3}$ 。左、右侧导坑错开的距离，应根据开挖一侧导坑所引起的围岩应力重分布的影响不致波及另一侧已成导坑的原则确定。



⑤双侧壁导坑法

(3)施工顺序：开挖一侧导坑，并及时地将其初次支护闭合→相隔适当距离后开挖另一侧导坑，并建造初次支护→开挖上部核心土，建造拱部初次支护，拱脚支承在两侧壁导坑的初次支护上→开挖下台阶，建造底部的初次支护，使初次支护全断面闭合→拆除导坑临空部分的

初次支护→施做内层衬砌。



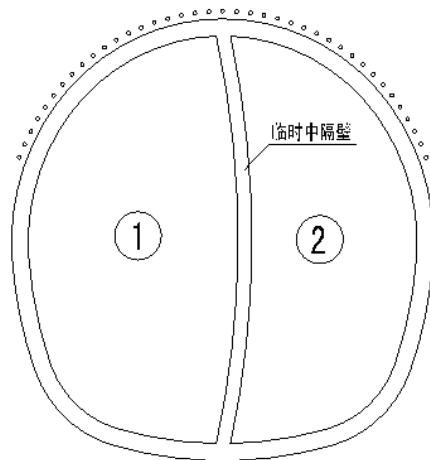
⑤双侧壁导坑法

(4)优缺点:

- 1)双侧壁导坑法虽然开挖断面分块多,扰动大,初次支护全断面闭合的时间长,但每个分块都是在开挖后立即各自闭合的,所以在施工中间变形几乎不发展。
- 2)双侧壁导坑法施工较为安全,但速度较慢,成本较高



CD 法: Center Diaphragm 的缩写



⑥中隔壁法

CRD 法: Cross Diaphragm 的缩写

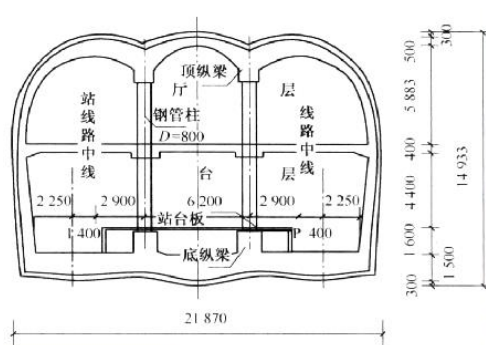


⑦交叉中隔壁法

(1)中隔壁法也称 CD 工法, 主要适用于地层较差、岩体不稳定且地面沉降要求严格的地下工程施工。

(2)当 CD 工法不能满足要求时, 可在 CD 工法基础上加设临时仰拱, 即所谓的交叉中隔壁法 (CRD 工法)。

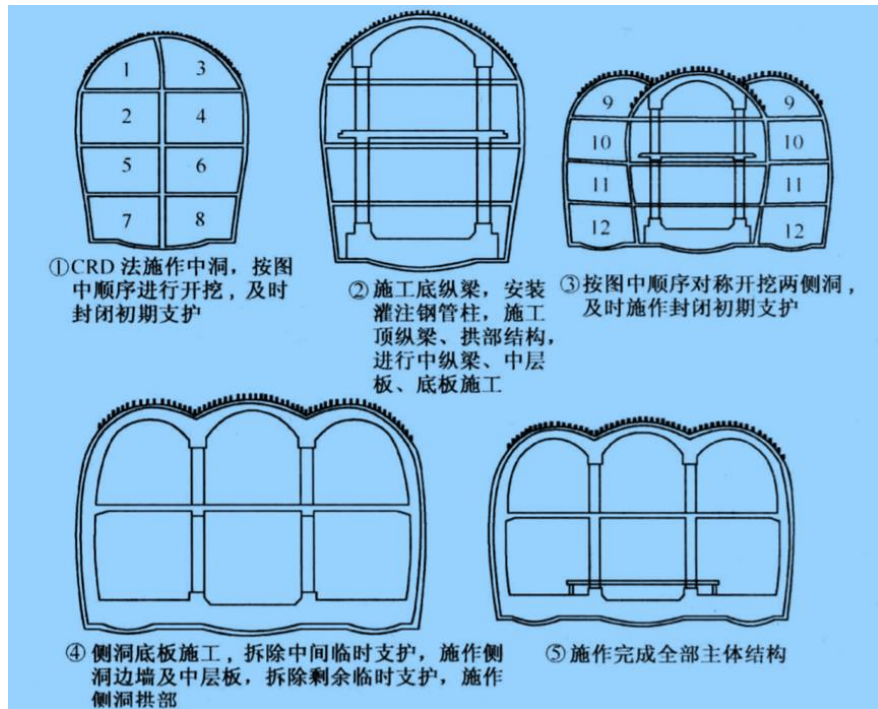
(3)CD 工法和 CRD 工法在大跨度隧道中应用普遍, 在施工中应严格遵守正台阶法的施工要点, 尤其要考虑时空效应, 每一步开挖必须快速, 必须及时步步成环, 工作面留核心土或喷混凝土封闭, 消除由于工作面应力松弛而沉降值增大的现象。



⑧中洞法

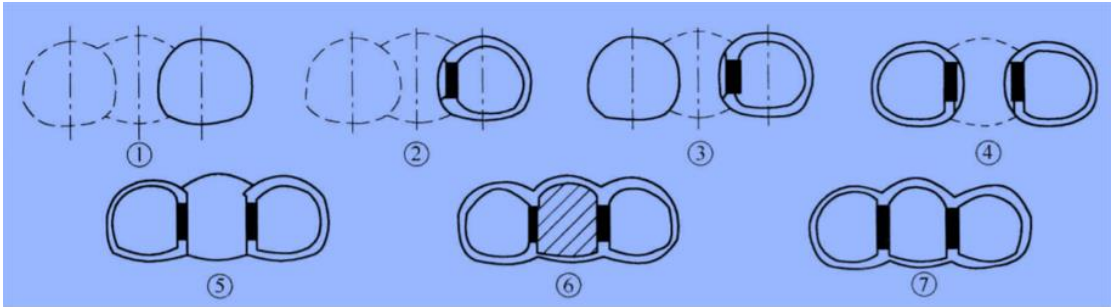
当地层条件差、断面特定时，一般设计成多跨结构，跨与跨之间有梁、柱连接，一般采用中洞法、侧洞法、柱洞法及洞桩法等施工，其核心思想是变大断面为中小断面，提高施工安全度。

(1)中洞法施工就是先开挖中间部分（中洞），在中洞内施作梁、柱结构，然后再开挖两侧部分（侧洞），并逐渐将侧洞顶部荷载通过中洞初期支护转移到梁、柱结构上。由于中洞的跨度较大，施工中一般采用CD、CRD或双侧壁导坑法进行施工。中洞法施工工序复杂，但两侧洞对称施工，比较容易解决侧压力从中洞初期支护转移到梁桩上时的不平衡侧压力问题，施工引起的地面沉降较易控制。中洞法的特点是初期支护自上而下，每一步封闭成环，环环相扣，二次衬砌自下而上施工，施工质量容易得到保证。



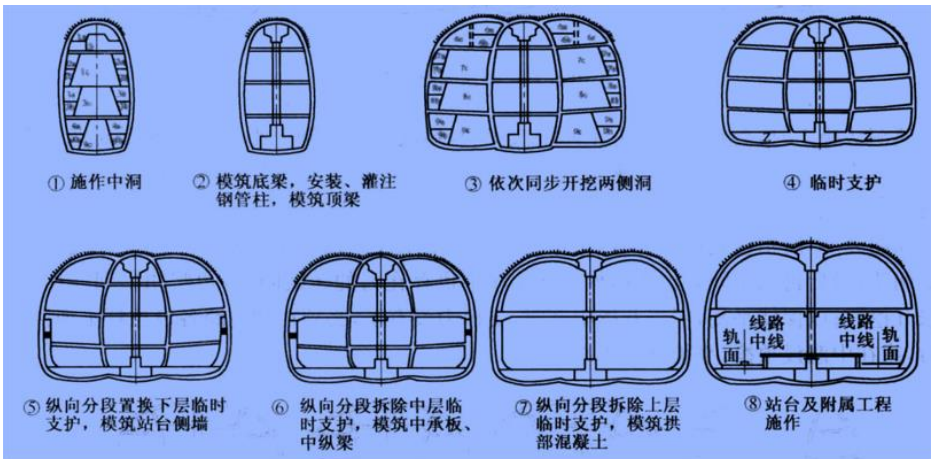
(2)侧洞法施工就是先开挖两侧部分（侧洞），在侧洞内做梁、桩结构，然后再开挖中间部分（中洞），并逐渐将中洞顶部荷载通过初期支护转移到梁、柱上，这种施工方法在处理中洞顶部荷载转移时，相对于中洞法要困难一些。两侧洞施工时，中洞上方土体经受多次扰动，

形成危及中洞的上小下大的梯形、三角形或楔形土体，该土体直接压在中洞上，中洞施工若不够谨慎就可能发生坍塌。



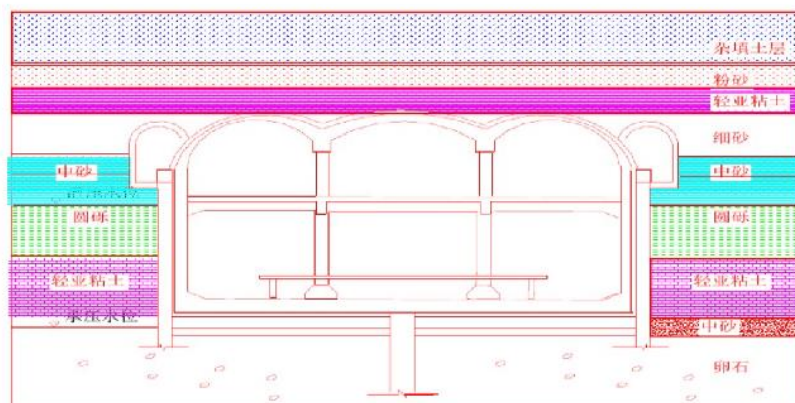
⑨侧洞法

(3)柱洞法施工是先在立柱位置施作一个小导洞，当小导洞做好后，在洞内再做底梁，形成一个细而高的纵向结构，柱洞法施工的关键是如何确保两侧开挖后初期支护同步作用在顶纵梁上，而且柱子左右水平力要同时加上且保持相等。



⑩柱洞法

(4) 洞桩法就是先挖洞，在洞内制作挖孔桩，梁柱完成后，再施作顶部结构，然后再其保护下施工，实际上就是将盖挖法施工的挖孔桩梁等转入地下进行。



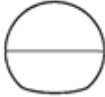
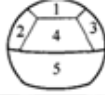
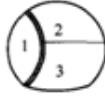
(11)洞桩法

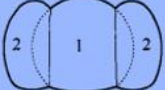
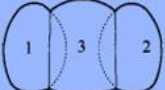
当地层条件差、断面特定时，一般设计成多跨结构，跨与跨之间有梁、柱连接，一般采用中洞法、侧洞法、柱洞法及洞柱法等施工，其核心思想是变大断面为中小断面，提高施工安全度。



喷锚暗挖（矿山）法开挖方式与选择条件

表2K313031

施工方法	示意图	选择条件比较					
		结构与适用地层	沉降	工期	防水	初期支护拆除量	造价
全断面法		地层好, 跨度 $\leq 8\text{m}$	一般	最短	好	无	低
正台阶法		地层较差, 跨度 $\leq 10\text{m}$	一般	短	好	无	低
环形开挖预留核心土法		地层差, 跨度 $\leq 12\text{m}$	一般	短	好	无	低
单侧壁导坑法		地层差, 跨度 $\leq 14\text{m}$	较大	较短	好	小	低
双侧壁导坑法		小跨度, 连续使用可扩大跨度	较大	长	效果差	大	高
中隔壁法 (CD工法)		地层差, 跨度 $\leq 18\text{m}$	较大	较短	好	小	偏高
交叉中隔壁法 (CRD工法)		地层差, 跨度 $\leq 20\text{m}$	较小	长	好	大	高

施工方法	示意图	选择条件比较					
		结构与适用地层	沉降	工期	防水	初期支护拆除量	造价
中洞法		小跨度, 连续使用可扩大跨度	小	长	效果差	大	较高
侧洞法		小跨度, 连续使用可扩大跨度	大	长	效果差	大	高
柱洞法		多层多跨	大	长	效果差	大	高
洞桩法		多层多跨	较大	长	效果差	较大	高

1. 给一个示意图，排施工的顺序
2. 考作业流程
3. 给一段描述判断是什么方法
4. 考表格中的要素

1. 防水问题：带洞的眼镜
2. 跨度问题：带洞的眼镜不受限，其他20米以内
3. 工期问题：带洞的眼镜长，CRD长
4. 初期支护量：正常台阶法没有

二、工作井施工技术

锚喷暗挖（矿山）法工作井是为隧道施工而设置的竖向通道，一般采用倒挂井壁法施工。本

条简要介绍工作井施工技术(以下简称竖井) 和马头门施工技术。(P168)





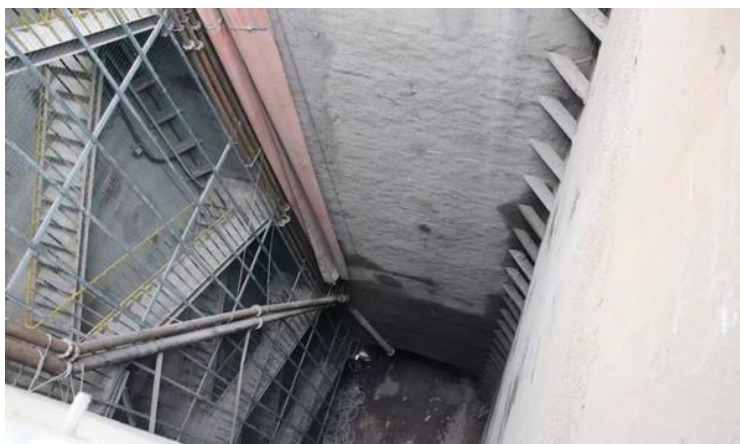
第一步：锁口圈梁施工



第二步：井身开挖，初期支护



第三步：二次衬砌施工



一、工作井施工技术

(一)施工准备

(1)竖井施工前，应对竖井及隧道范围内的地下管线、建（构）筑物进行调查，并应会同产权单位确定保护方案；施工中，应加强对重要管线、建（构）筑物等的保护和监测。

(2)竖井施工范围内应人工开挖十字探沟，确定无管线后再开挖。

(3)竖井井口防护应符合下列规定：

1)竖井应设置防雨棚、挡水墙。

2)竖井应设置安全护栏，护栏高度不应小于 1.2m。

3)竖井周边应架设安全警示装置。

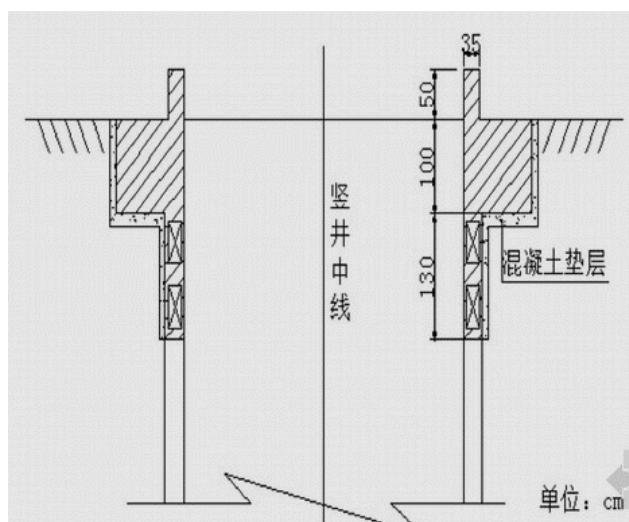
（二）锁口圈梁

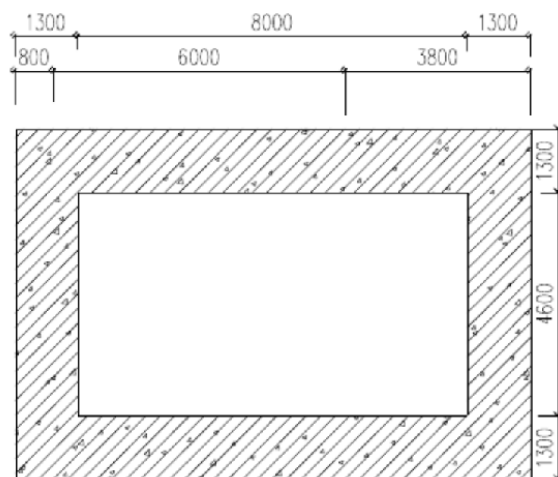
(1) 竖井应按设计施做锁口圈梁，圈梁埋深较大时，上部应设置砖砌挡土墙、土钉墙或“格栅钢架+喷射混凝土”等临时围护结构。

(2) 锁口圈梁处土方不得超挖，并应做好边坡支护。

(3) 圈梁混凝土强度应达到设计强度的 70%及以上时，方可向下开挖竖井。

(4) 锁口圈梁与格栅应按设计要求进行连接，井壁不得出现脱落。





锁口圈梁平面图

(三) 提升系统

(1)竖井应设置一套起重吊装设备作为提升系统，起重吊装设备应由有资质的单位安装、拆除；安装完成后，应进行安全检验，合格后方可使用。

(2)竖井提升系统制作、安装应符合现行国家或行业标准的有关规定。





(四) 竖井开挖与支护

(1)开挖前，应根据地质条件及地下水状态，按设计要求或专项施工方案采取地下水控制及地层预加固的措施。

(2)井口地面荷载不得超过设计规定值；井口应设置挡水墙，四周地面应硬化处理，并应做好排水措施。

(3)应对称、分层、分块开挖，每层开挖高度不得大于设计规定，随挖随支护；每一分层的开挖，宜遵循先开挖周边、后开挖中部的顺序。



(4)初期支护应尽快封闭成环，按设计要求做好格栅钢架的竖向连接及采取防止井壁下沉的措施。

(5)喷射混凝土的强度和厚度等应符合设计要求。喷射混凝土应密实、平整，不得出现裂缝、

脱落、漏喷、露筋、空鼓和渗漏水等现象。

(6)施工平面尺寸和深度较大的竖井时，应根据设计要求及时安装临时支撑。

(7)严格控制竖井开挖断面尺寸和高程，不得欠挖，竖井开挖到底后应及时封底。

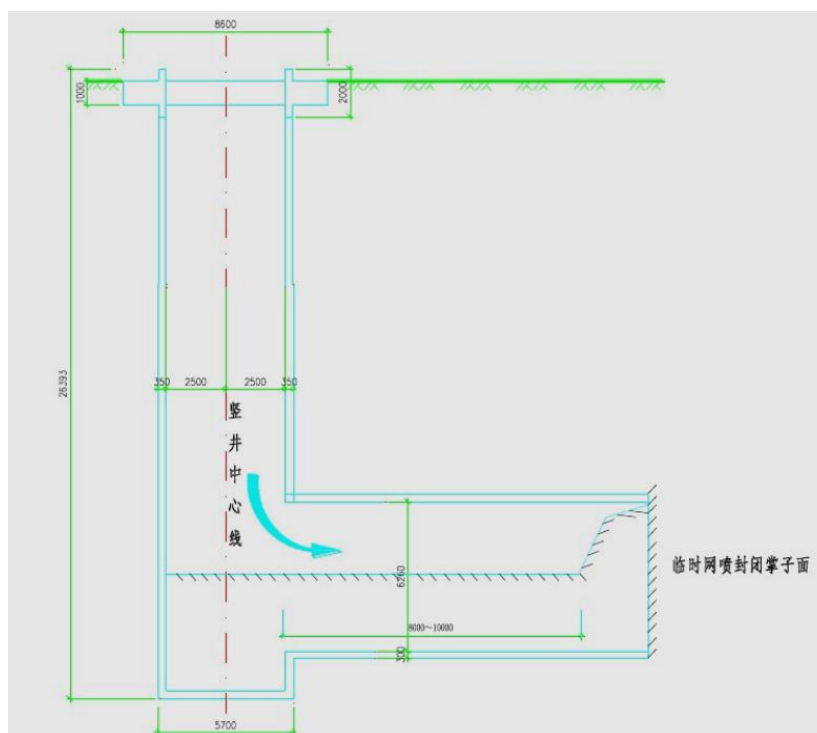
(8)竖井开挖过程中应加强观察和监测。当发现地层渗水，井壁土体松散、裂缝或支撑出现较大变形等现象时，应立即停止施工，采取措施加固处理后方可继续施工。

二、马头门施工技术

(1)竖井初期支护施工至马头门处应预埋暗梁及暗桩，并应沿马头门拱部外轮廓线打入超前小导管，注浆加固地层。

(2)破除马头门前，应做好马头门区域的竖井或隧道的支撑体系的受力转换。

(3)马头门开挖施工应严格按照设计要求，并应采取加强措施。



(4)马头门的开挖应分段破除竖井井壁，宜按照先拱部、再侧墙、最后底板的顺序破除。隧道掘进方式为环形开挖预留核心土法时，马头门施工步序如下：

1)开挖上台阶土方时应保留核心土。

2)安装上部钢格栅，连接纵向钢筋，挂钢筋网，喷射混凝土。

3)上台阶掌子面进尺 3~5m 时开挖下台阶，破除下台阶隧道洞口竖井井壁。

4)开挖下台阶土方。

5)安装下部钢格栅，连续纵向钢筋，挂初支钢筋网，喷射墙体及仰拱混凝土。



第四步:破除通道马头门，施作通道初期支护

(5)马头门处隧道应密排三榀格栅钢架；隧道格栅主筋应与格栅主筋、连接筋焊接牢固；隧道纵向连接筋应与竖井主筋焊接牢固。

(6)马头门开启应按顺序进行，同一竖井内的马头门不得同时施工。一侧隧道掘进 15m 后，方可开启另一侧马头门。马头门标高不一致时，宜遵循“先低后高”的原则。

(7)施工中严格贯彻“管超前、严注浆、短开挖、强支护、勤量测、早封闭”的十八字方针。

(8)开挖过程中必须加强监测，一旦土体出现坍塌征兆或支护结构出现较大变形时，应立即停止作业，经处理后方可继续施工。

(9)停止开挖时，应及时喷射混凝土封闭掌子面；因特殊原因停止作业时间较长时，应对掌子面采取加强封闭措施。



- ①施工准备
- ②测量放线、定出井位
- ③锁口圈梁施工
- ④提升系统施工（安装龙门架、电动葫芦）
- ⑤竖井开挖（土方开挖、小导管注浆、格栅钢架架立、喷射砼施工、竖井封底）
- ⑥马头门破除