

隧道工程

第4讲：隧道位置和洞口位置的选择

土木与交通学院

School of Civil Engineering and Communication

第4讲：隧道位置和洞口位置的选择

主要内容

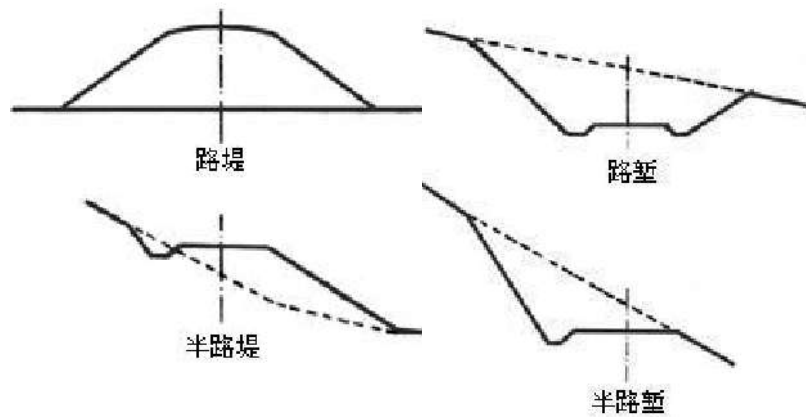
- 一、方案比选
- 二、按地形条件进行隧道位置的选择
- 三、按地质条件进行隧道位置的选择
- 四、对相关工程的考虑
- 五、洞口位置的选择
- 六、边仰坡开挖线的确定

一、方案比选

1.按地形及地质条件进行选择

(1) 深塹方案

当地形比较开阔，有山谷台地可资展线时，就可以尽量地把线路展长，坡度用足以争取把线路标高抬起到可能的高度。然后把高程尚有不足之处，在山顶部位开凿深路塹通过。



一、方案比选

1.按地形及地质条件进行选择

(2) 隧道方案

当地形紧迫，山坡陡峭，不具备上述条件时，开凿隧道，穿山而过，就成为唯一可行，而且是比较有利的方案。



(3) 绕行方案

当附近地形开阔，山坡地带宽敞时，克服高程障碍的一个比较简易的办法是避开前方的山峰，迂回绕行而过。



2. 隧道方案与明堑的比较

(1) 经济和技术上的比较

一般说来，隧道造价比明堑要贵一些，施工技术也复杂一些，明堑方案常常是比较省钱、省事、又快速的。

(2) 安全条件比较

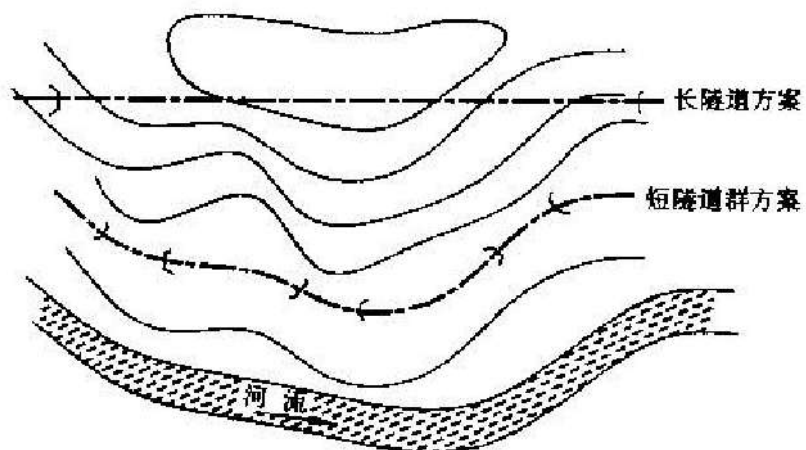
在比较隧道方案与明堑方案时，忽略了安全条件，就会造成错误。例如，为了避免修建工程较难的隧道，有意识地，将线的一侧移动，把本该用隧道穿过的深运地方，硬以明堑通过。由于明堑劈坡太深，开挖后，边坡不稳，施工时坠石掉块，运营后塌方，给长期的运营带来安全上的威胁和防护上的困难。从长期来看，隧道方案优于明堑。



3.长隧道方案与短隧道群方案的比较

(1) 短隧道群方案的优缺点

(2) 长隧道群方案的优缺点



3.长隧道方案与短隧道群方案的比较

(1) 短隧道群方案的优点

一般说来，短隧道是比较容易施工的。有时可以只用简单的设备就可以进行施工，技术上困难也不多；

- 一群短隧道并不相连，这一座与那一座之间留有长短不等的明线部分。这样，它们各自有自己的出口和入口，可以开辟较多的工作面，容纳较多的人同时工作，施工进度较快；
- 建成后，由于隧道短，多半可以只靠自然通风，不必另配机械通风系统；
- 运营成本低，车上旅客长时间处于地下的不舒服感觉可以减轻。



3.长隧道方案与短隧道群方案的比较

(1) 短隧道群方案的缺点

- 河谷边坡的地质多是比较复杂的，尤其是地表覆盖层更是风化地带，岩体松散破碎，节理切割严重。短隧道在此通过，坑道多不稳定，围岩压力很大，开挖时易致坍方；
- 隧道外侧覆土太薄，形成偏侧压力，使隧道的支护结构处于不利的受力状态中。若是岩体的，层理是向外下倾的，更易发生剪切破坏，对隧道的稳定形成威胁；
- 多个隧道相距不远，有时前一座隧道的出口，隔不了多远就是另一座隧道的进口，施工时互相干扰，洞口场地也不好布置；
- 多条隧道要多建许多洞门建筑物，在工程造价上就不经济了。



3.长隧道方案与短隧道群方案的比较

- 长隧道方案的优点

- 它将位于岩体深处坚固稳定的地层中，围岩压力小，坑道稳定，无偏压受力的情况；
- 支护可以简单，施工比较安全；
- 工程单一，施工不受干扰；
- 洞门建筑物只有两个，比多座短隧道为少。

- 长隧道方案的缺点

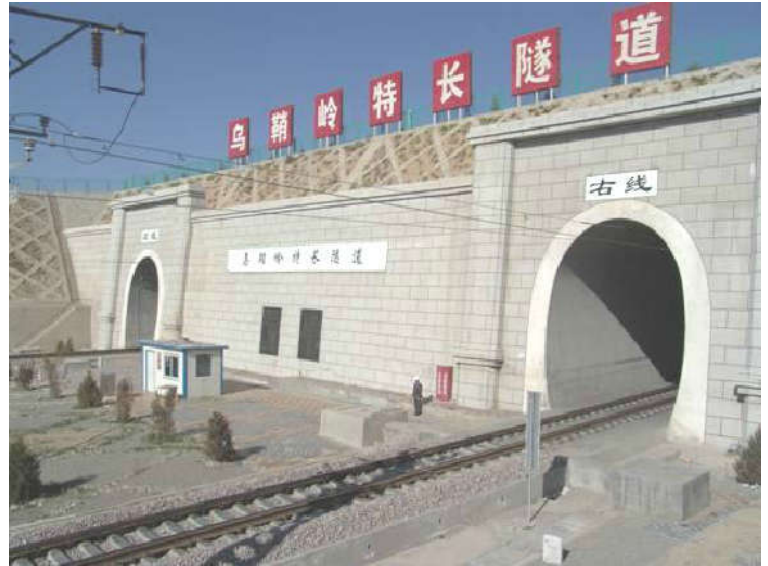
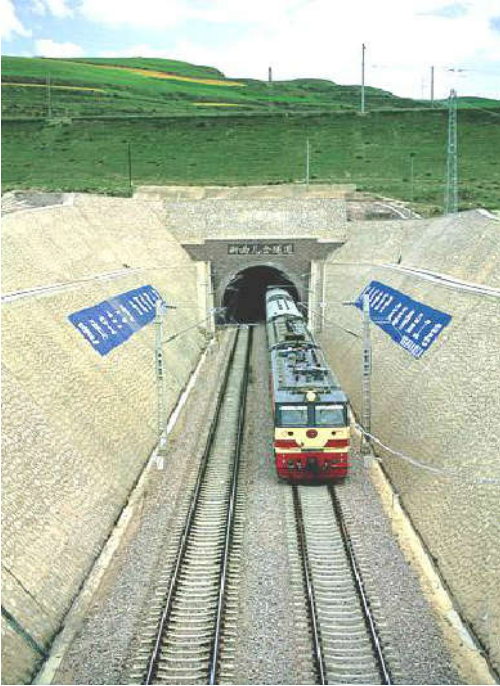
隧道长，技术上要复杂一些，工程造价可能要贵一些。

多年实践指出，线路还是倾向于向里靠一些，宁愿隧道长一些，但只是一座为好。



4. 双线单隧道和单线两隧道的比较

- (1) 一座双线隧道的优缺点
- (2) 两座单线隧道的优缺点



4. 双线单隧道和单线两隧道的比较

- 一座双线隧道的缺点

- 双线隧道断面跨度大，所受围岩压力也就大。因此需要更为有力的支护结构；
- 隧道施工时，因为压力大，临时支护困难，发生坍方事故的威胁较大；
- 双线隧道的一次工程投资比两座单线隧道先后修建的初期投资大；
- 双线隧道断面积大，不能充分利用列车活塞风。

- 单线隧道的优点

- 断面小，压力小，坑道的稳定性好，施工容易，支护简单而且安全；
- 对于近期尚不准备修第二线的新建隧道来说，可以先修第一线的单线隧道，预留第二线，待需要时才修。如此则初期一次投资较少；
- 若第一线隧道施工时采用了平行导坑，则平导即可作为第二线隧道的前进导坑。

4. 双线单隧道和单线两隧道的比较

- 单线隧道的缺点

- 两座单线隧道必须横向相隔一定的安全距离，才能保证两隧道间的围岩土柱有足够的支承能力，以避免在修筑第二线隧道的施工中，对第一线隧道有影响；
- 两座单线隧道无论是同时施工还是先后施工，施工时总会有些相互干扰。尤其是在修第二线隧道时，多半是在已成第一线不间断行车的条件下进行的，这就增加了施工的困难。

两种方案各有其优缺点。比较时，就要从铁路运量的要求，结合地形、地质以及施工条件、工期要求、资金运用等因素，综合比较，择优选定。

4. 双线单隧道和单线两隧道的比较

当复线本身相距一个相当的横向距离时，当然要各自修建单线隧道。但要保证两座隧道之间有足够的**安全距离**。在实践的基础上，归纳出最小间距的数值，如下表所列，仅供参考。

复线两隧道间的横向最小距离

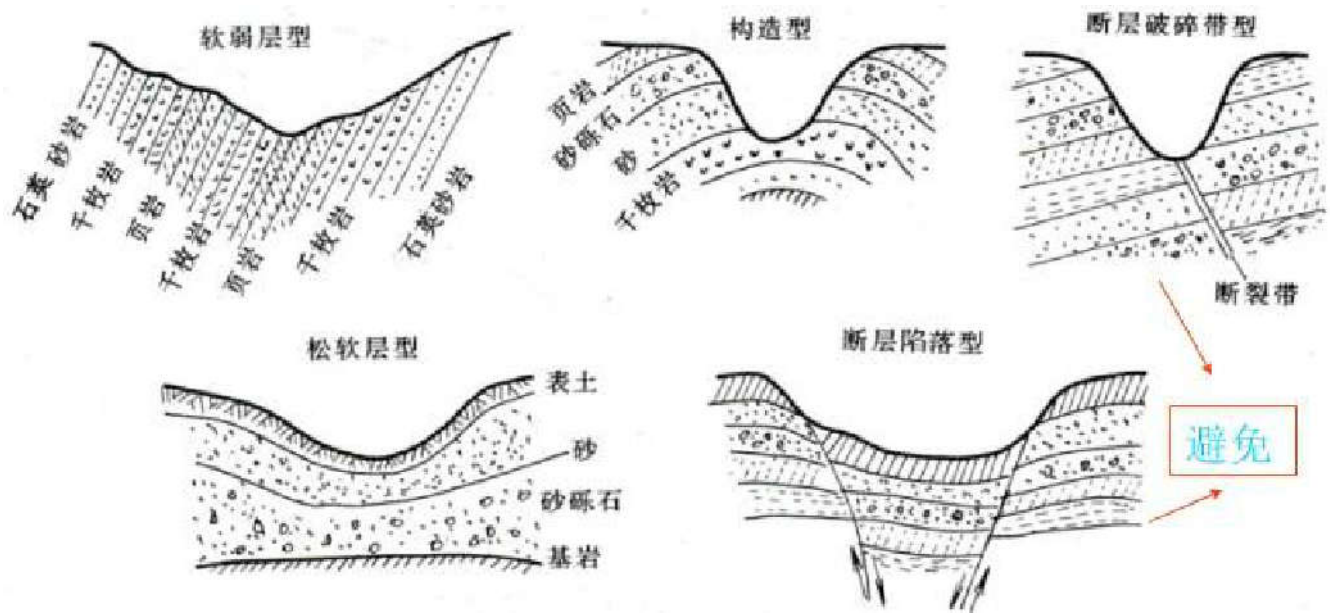
围岩级别	最小安全距离(m)
I	(1.5~2.0)B
II—III	(2.0~2.5)B
IV	(2.5~3.0)B
V	(3.0~5.0)B
VI	>5.0B

注：表中B为隧道开挖断面的宽度(m)

二. 按地形条件进行隧道位置的选择

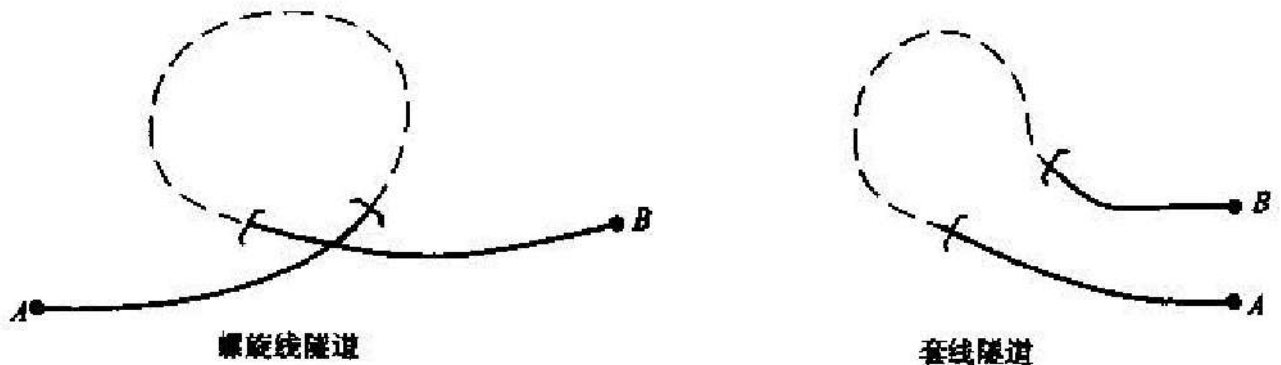
1. 隧道平面位置的选择

当线路必须跨越分水岭时，分水岭的山脊线上总会有高程较低处、称之为垭口。一般的情况，常常有若干个垭口可以通过。此时，就要分析比较，选定最为理想的垭口。

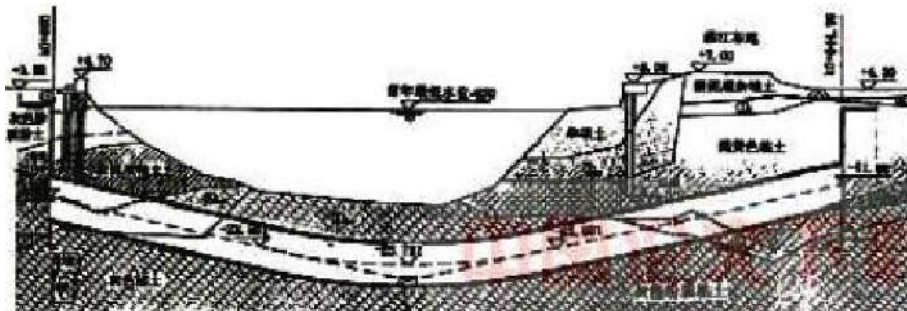


2. 隧道立面位置的选择

分水岭的山体，一般是上部比较陡峭而下部比较平缓。隧道位置定得越高山体较薄，隧道越短，工程可以小一些，反之隧道位置定得越低，隧道将越长，工程规模要大一些。

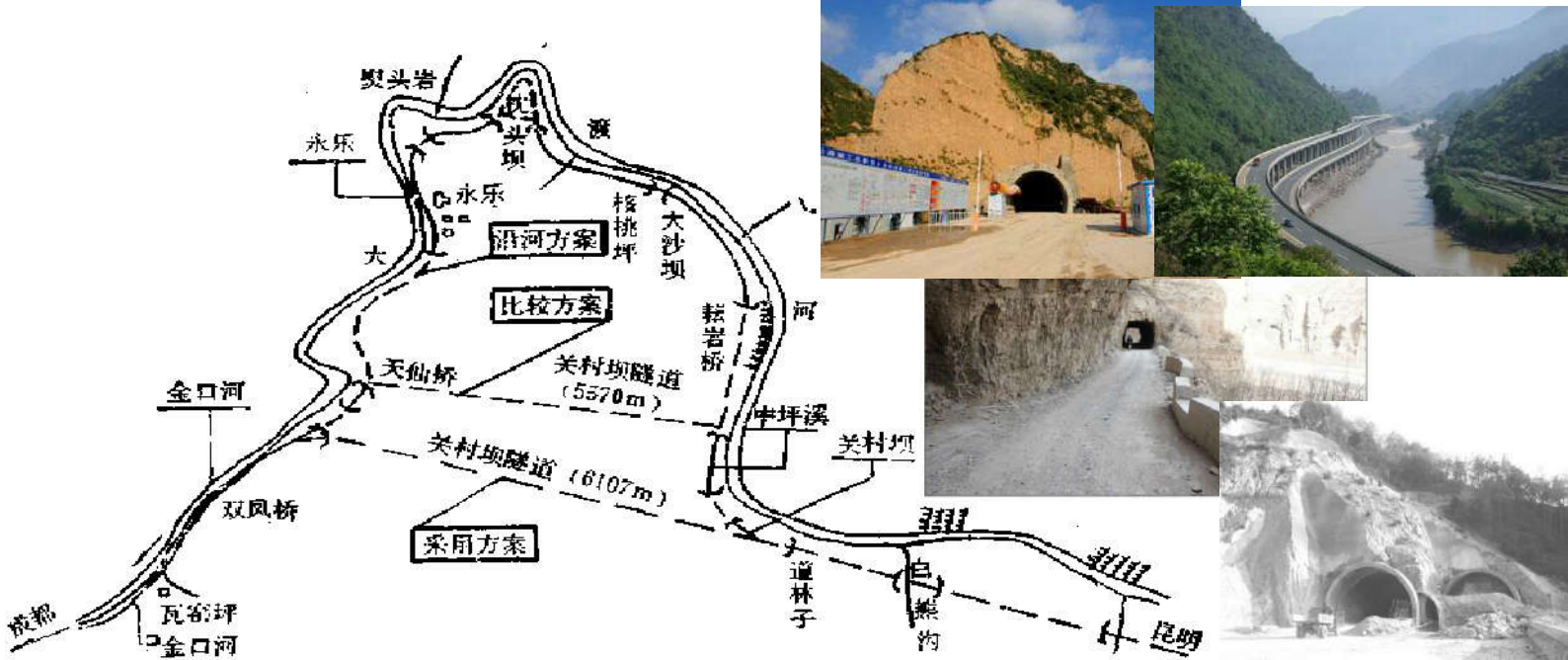


展线隧道



3.河谷线上隧道位置的选择

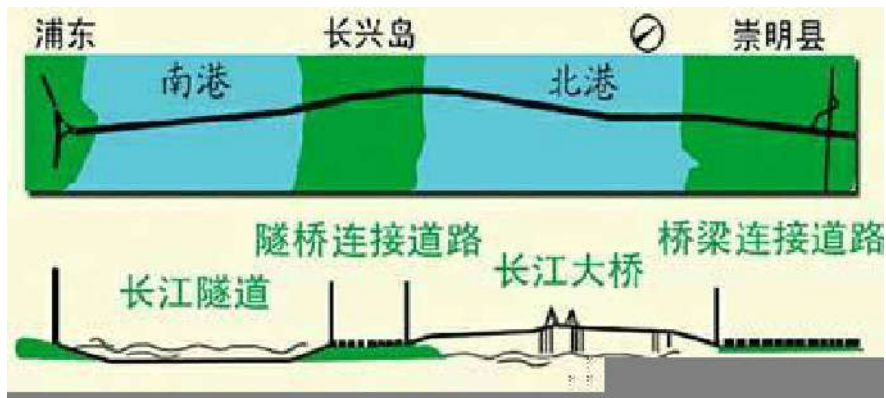
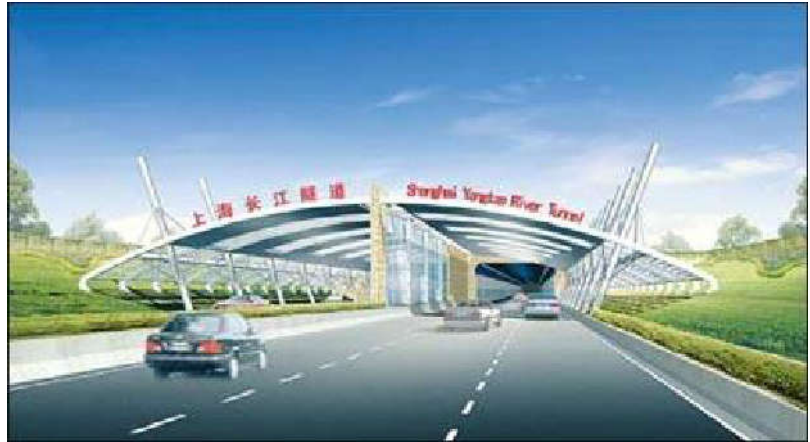
公（铁）路沿河傍山而行时称之为河谷线。这种线路左右受到山坡和河谷的制约，上下受到标高和限制坡度的控制，比选方案时，可能移动的幅度不大。但是，虽然摆动的幅度很有限，可对工程的难易、大小都有关系。当地层结构面倾向山一侧时，地层比较稳定，覆盖厚度可以酌减。当地层结构面倾向河流一侧时，覆盖厚度宜予加大。



4. 隧道方案与跨河建桥方案的比较

(1) 跨河建桥方案的优缺点

(2) 隧道方案的优缺点



4.隧道方案与跨河建桥方案的比较

(1) 跨河建桥方案的优缺点

- 一般跨过河谷的桥梁，河心不宜设墩，所以中孔跨度较大，两端基础必须十分坚实；
- 在洪水或严寒时期，施工就比较困难，因而施工有季节性；
- 跨河桥的最大缺点是桥头两端必然是曲线，甚至曲线半径很小。这就使得线路的行车条件变坏；
- 如果线路原本要抬坡争取高程的，转为桥梁后，桥身及两端引线都要放在平坡上，于是就达不到争取高程的目的；
- 在国防意义上，跨河建桥往往是空袭的明显目标，一旦受到破坏，全线就要中断，而且不能做临时便线。

4. 隧道方案与跨河建桥方案的比较

(2) 隧道方案的优缺点

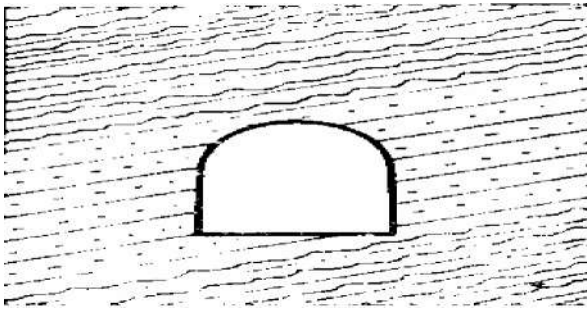
- 隧道穿山而过，线路直、短、平；
- 施工不受季节影响；
- 隧道建成后维修养护的工作量较小；
- 战时可作列车掩蔽所；
- 如果线路前方遇到不良地质地段，修建隧道将增加困难。
- 如果隧道太长，工程太大，出渣太多，将会堵塞河道，施工场地不如桥梁开阔，不能容纳更多的人同时施工，那就不如建桥了。

三. 按地质条件进行隧道位置的选择

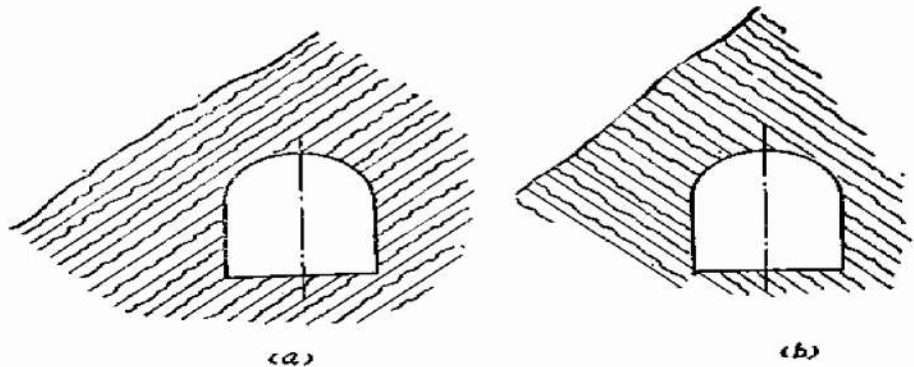
1.地质构造（岩层的构造特征、节理裂隙发育程度、结构面的性状、岩石的块状大小与完整状态）

(1) 单斜构造与隧道位置的选择

水平或缓倾角岩层-当隧道通过坚硬的厚层岩层时，较为稳定。若通过很薄的岩层，则施工时顶部易产生掉块现象，此时，以不透水的坚硬岩层作顶板为最好。



缓倾角岩层隧道位置的选择

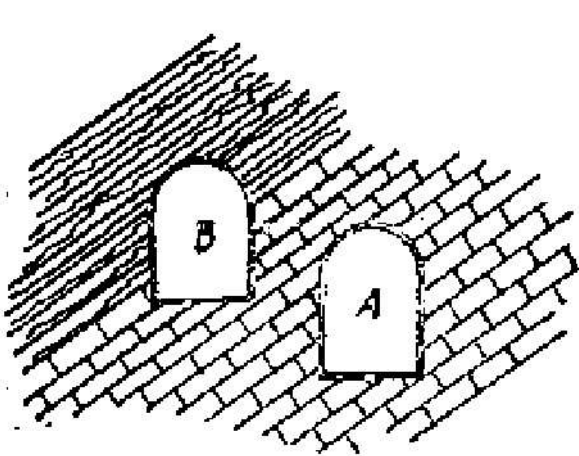


结构面倾向对隧道位置的影响

三. 按地质条件进行隧道位置的选择

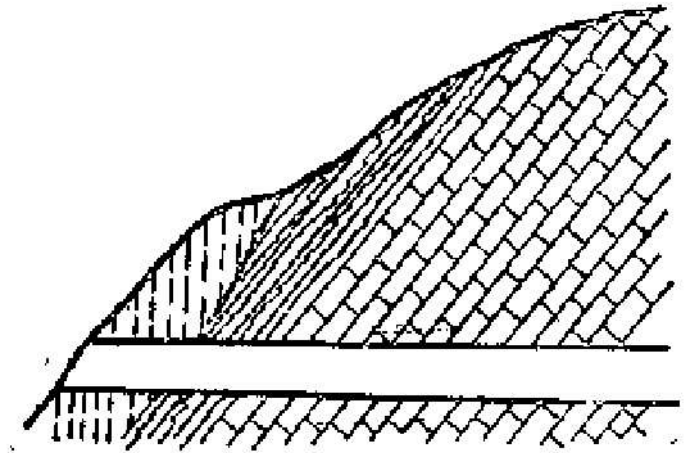
1.地质构造（岩层的构造特征、节理裂隙发育程度、结构面的性状、岩石的块状大小与完整状态）

(1) 单斜构造与隧道位置的选择



(a)

软弱结构面地带隧道位置的选择



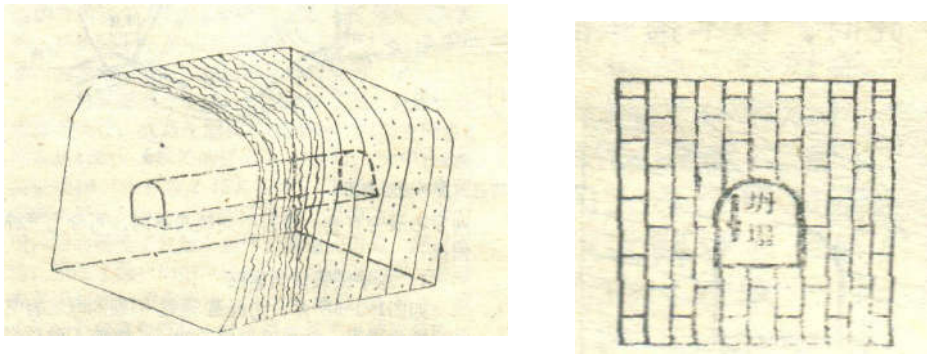
(b)

三. 按地质条件进行隧道位置的选择

1.地质构造（岩层的构造特征、节理裂隙发育程度、结构面的性状、岩石的块状大小与完整状态）

(2) 直立岩层与隧道位置的选择

•**直立岩层** — 隧道通过直立岩层时，其中线宜垂直于岩层的走向穿过，在隧道开挖过程中，易产生坍塌，甚至会导致大的坍力，致使地面形成“天窗”。

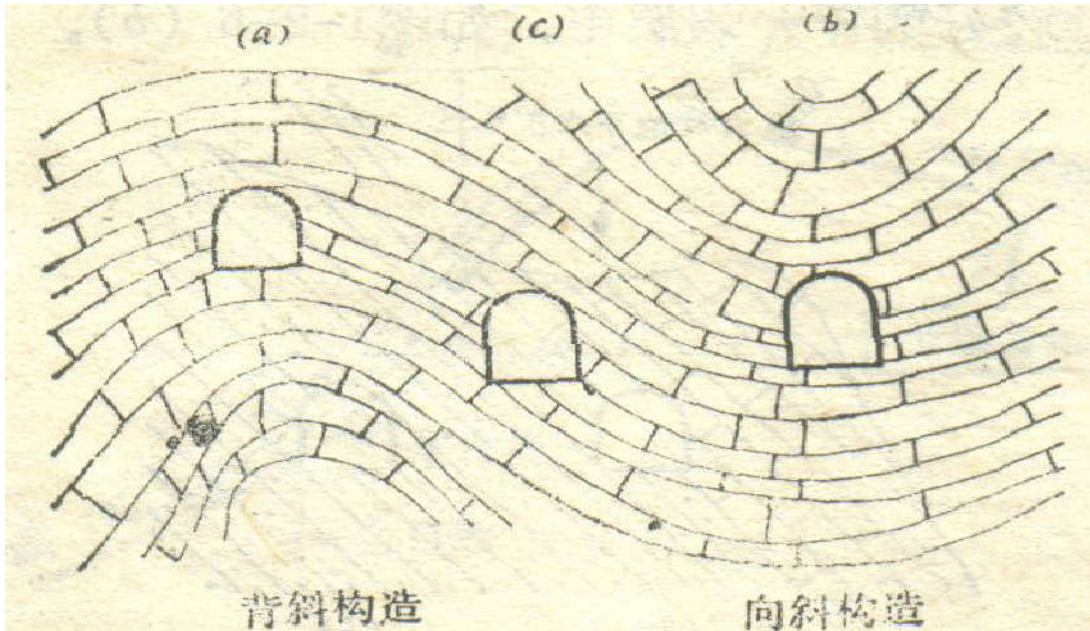


直立岩层中隧道位置的选择

三. 按地质条件进行隧道位置的选择

1.地质构造（岩层的构造特征、节理裂隙发育程度、结构面的性状、岩石的块状大小与完整状态）

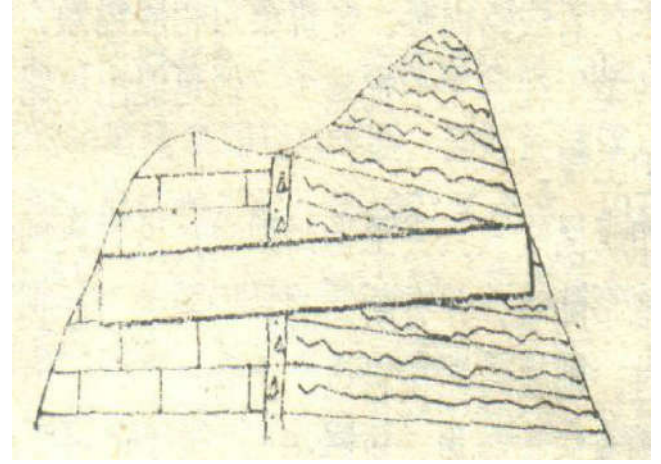
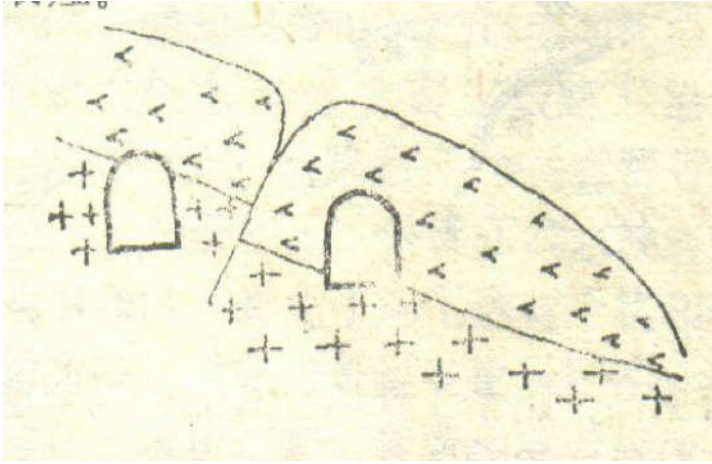
(3) 褶皱构造与隧道位置的选择



三. 按地质条件进行隧道位置的选择

1.地质构造（岩层的构造特征、节理裂隙发育程度、结构面的性状、岩石的块状大小与完整状态）

(4) 断裂构造和接触带与隧道位置的选择



三. 按地质条件进行隧道位置的选择

2.岩体强度

3.水文地质条件

4.不良地质

(1) 滑坡地区

(2) 岩堆、崩坍、错落、堆积层以及危岩落石地区

(3) 泥石流

(4) 溶洞地区

(5) 瓦斯地区

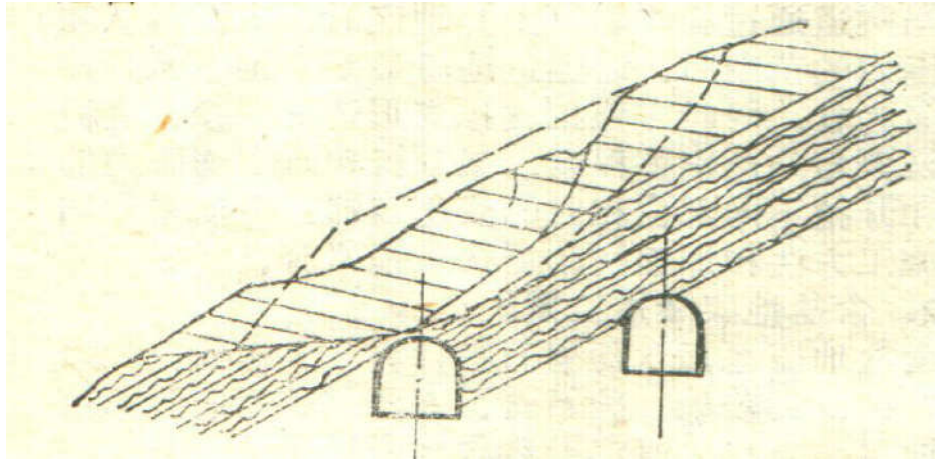
(6) 黄土地区

(7) 地下水

(8) 地温

三. 按地质条件进行隧道位置的选择

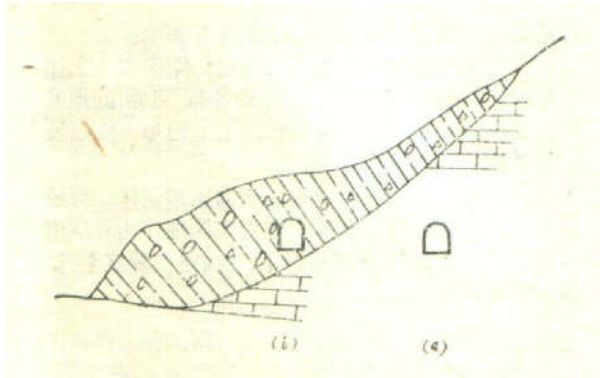
- 不良地质的影响
 - 滑坡地区



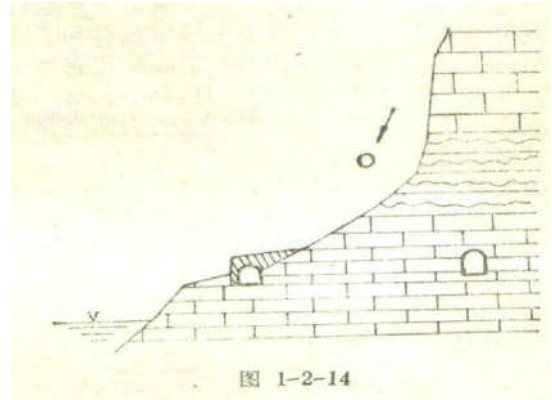
滑坡地带的隧道位置选择

三. 按地质条件进行隧道位置的选择

- 岩堆、崩坍、错落、堆积层以及危岩落石地区



不良地质中的隧道



落石地带的隧道

三. 按地质条件进行隧道位置的选择

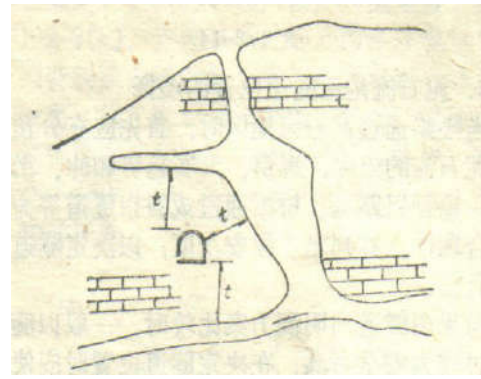
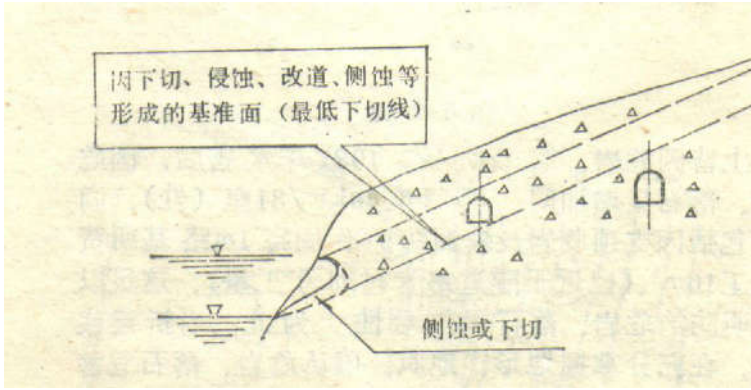
- 泥石流

当线路通过泥石流地区时，首先应充分预计和判明泥石流的成因、规模、发展趋势和冲、淤变化规律，论证以路基、桥梁通过或者以隧道等方式绕道的合理性，并判定工程安全度，以决定隧道方案的可行性。当隧道(明洞)洞口位置毗邻泥石流沟时，应注意适当延长以避免泥石流可能扩散范围的影响。

- 溶洞地区

当隧道通过岩溶地区时，应力求避免穿越岩溶严重发育的网状洞穴区、巨大空洞区及有利于岩溶发育的构造带，尽量避开洞身置于碳酸盐岩与非碳酸盐岩(可溶岩与非可溶岩)的接触带。当不可能时，应选择在较狭窄地段，以垂直或大角度穿过，使通过岩溶地段为最短。

三. 按地质条件进行隧道位置的选择



• 瓦斯地区 侧蚀地带的隧道

溶洞地区隧道位置的选择

隧道开挖时，有害气体如甲烷(CH_4)和二氧化碳(CO_2)逸出；轻则致人窒息，重则引起爆炸，危害甚大。选择隧道位置时，最好能避开。不得已时，应做好通风稀释的措施。

• 黄土地区

黄土具有干燥时甚坚固，遇水容易剥落和遭受侵蚀的特征。选择隧道时应避开沟壑及地下水活动和地面陷穴密集的地区。

三. 按地质条件进行隧道位置的选择

- 不良水文地质的影响

- **地下水**—— 地下水多是由地表水的渗透或地下水源补给的它们的存在，使岩石软化、强度降低，层间夹层软化或稀释，促成了层间的滑动。选择隧道位置时，最好不从富水区中经过。不得已时，也要尽可能地把隧道置于地下水位以上的地方，或在不透水层中穿过。

- **地温**—— 地球核心有巨大的热量隧道如果埋置很深，地温太高，将会降低施工效率。隧道通过高温、高热地段，会给施工带来困难选择隧道位置时，应尽可能不把隧道放在山体太深处。遇到部分地区埋深太大或高地温时，则应作好通风降温措施。

四. 对相关工程的考虑

1. 桥隧工程毗邻的统一安排

在同一条线路上，常常分布着若干座隧道、桥梁和路基支档结构等。它们之间看来似乎是个体，但从整条线路的选定出发，又是彼此相关的组成体。因此，需要有统一的安排。

2. 隧道位置与前后线路防护措施的关系

沿着河谷行进的铁路，由于侧坡较陡，线路稍有偏外就会落入河道之中或跨到河岸之上，需要设置栈桥或高填路基，需建护坡建筑物。线路稍有偏内，则会插进山体，需要大劈大挖或延长隧道。



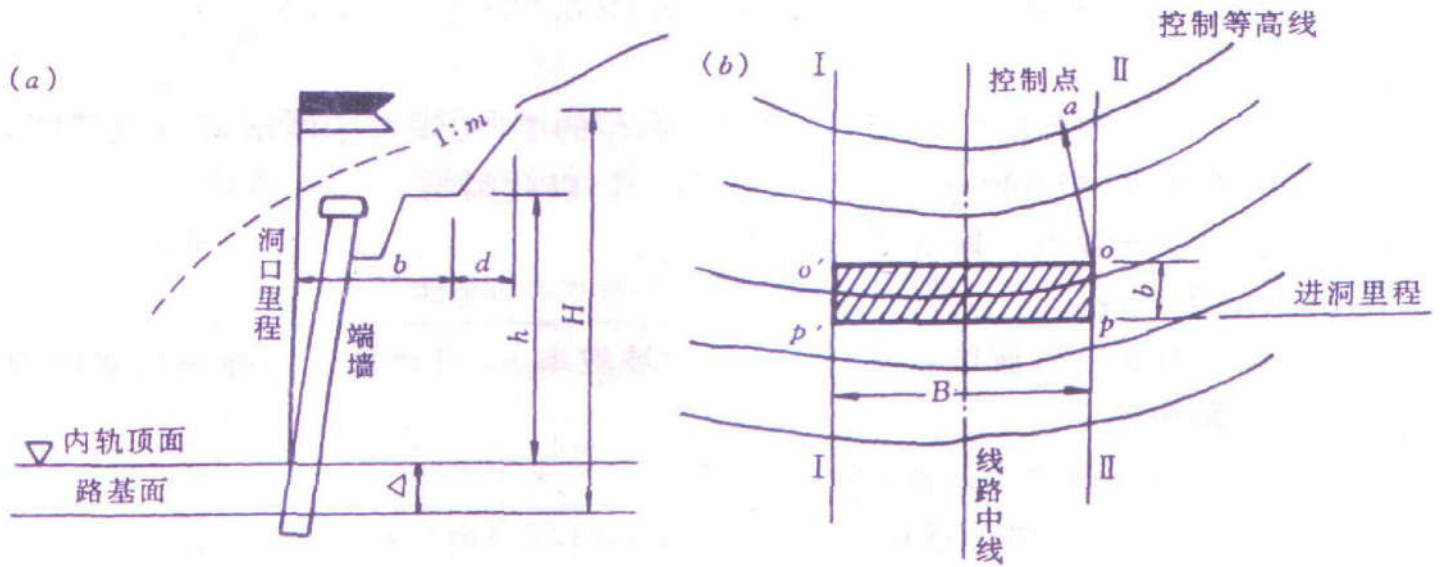
五. 洞口位置的选择

洞口位置选择好坏，将直接影响隧道施工、造价、工期和运营安全。选择时要结合洞口的地形，地质条件、施工、运营条件以及洞口的相关工程（桥涵、通风设施等）综合考虑。



五. 洞口位置的选择

隧道的长度由洞口的位置决定，铁路隧道长度系指洞门外表面与内轨顶面的交点之间的长度。公路隧道的长度系指洞门外表面与路面中点的交点之间的长度。



五. 洞口位置的选择

1. 隧道洞口位置选择的“早进晚出”原则

在确定隧道洞口位置时，为确保施工及运营的安全，宁可早一点进洞，晚一点出洞。

影响洞口位置的因素：

- (1) 边仰坡的稳定：适当延伸洞口，以降低边仰坡高度。
- (2) 工程造价：尽量缩短隧道长度，延长路堑长度。
- (3) 二者的矛盾：只有在确保边仰坡稳定的前提下，才能考虑造价。

五. 洞口位置的选择

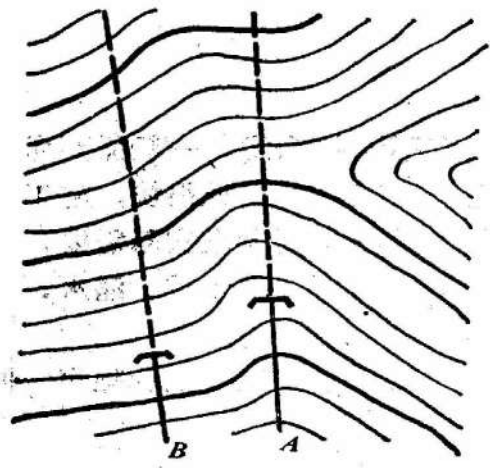
• 为了保证洞口的稳定和安全，边坡及仰坡均不宜开挖过高，不使山体扰动太甚，也不使新开出的暴露面太大。一般情况下，设计各类围岩中隧道洞口上方的仰坡和路堑的边坡控制高度和坡度可参考下表：

围岩级别	I ~ II			III		IV			V ~ VI	
	坡率	贴壁	1:0.3	1:0.5	1:0.5	1:0.75	1:0.75	1:1	1:1.25	1:1.25
高度 (m)	<15	<20	25左右	<20	25左右	<15	<18	20左右	<15	<18

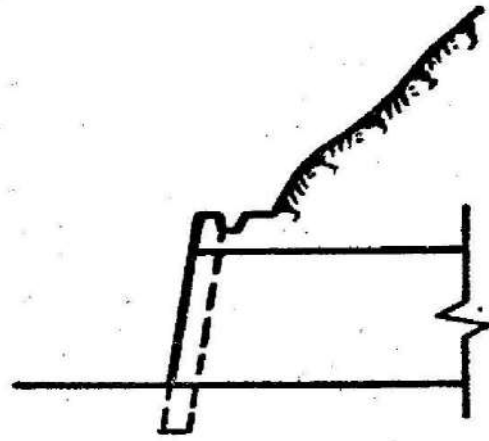
五. 洞口位置的选择

2. 隧道洞口位置的选定对地质和地形条件的考虑

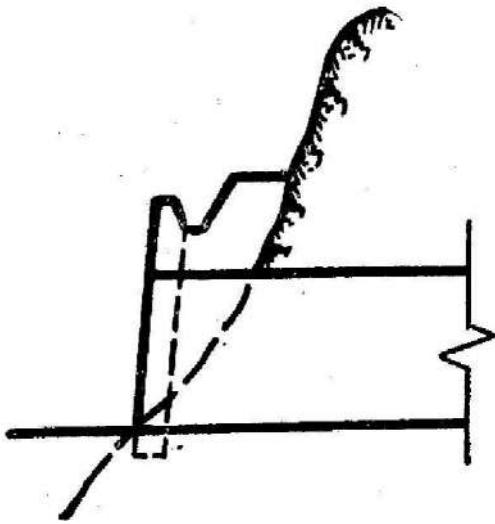
- (1) 洞口部分在地质上通常是不稳定的。一般应设在山体稳定，地质条件好，排水有利的地方。隧道宜长不宜短，应“早进洞，晚出洞”，尽量避免大挖大刷，破坏山体稳定。
- (2) 洞口不宜设在沟谷低洼处和汇水沟处，一般宜将洞口移到沟谷地质条件较好的一侧有足够宽度的山嘴处。
- (3) 当洞口处为悬崖陡壁时，根据地质情况采用贴壁或采用接长明洞的办法，将洞口堆到坍方范围以外3—5m处。



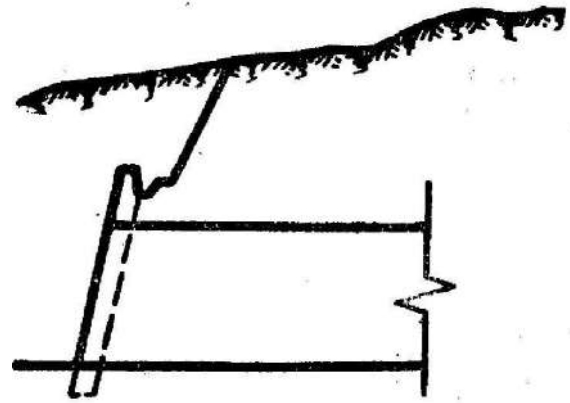
沟谷附近洞口平面位置示意图



贴壁进洞时洞口纵断面示意图



陡壁下接长明洞纵断面示意图



缓坡洞口纵断面示意图

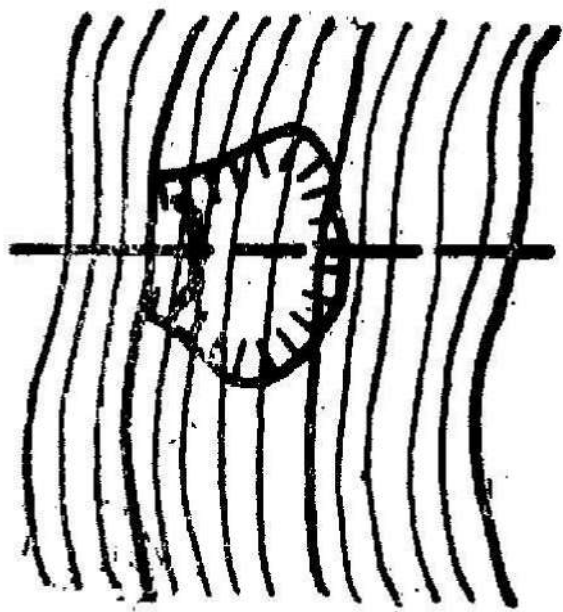
五. 洞口位置的选择

(4) 洞口地形平缓时，一般也应早进洞晚出洞。这时洞口位置选择余地较大，应结合洞外路堑、填方、弃渣场地、工期等具体确定。需要时可接长明洞，以确保施工和运营安全。

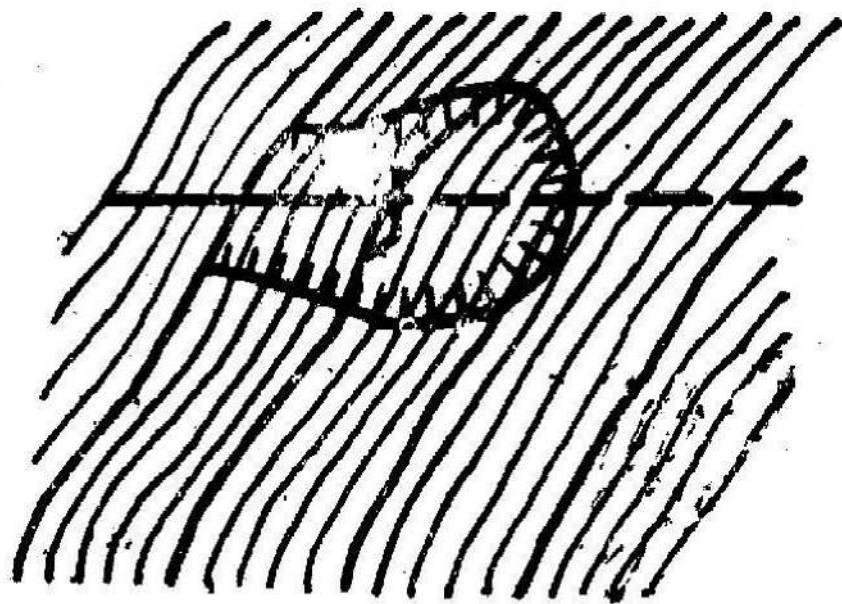
(5) 考虑洞口边仰坡不致开挖过高和洞口段衬砌结构受力，洞口位置宜与地形等高线大体上正交。特别是在土质松软、岩层破碎、构造不利的傍山隧道，更应注意。道路隧道一般不宜设计斜交洞门。若为斜交时，应尽可能加大斜交角度（一般不小于45°），或采取工程措施，以降低垂直等高线方向的开挖高度。

(6) 长大隧道在洞门附近应考虑施工场地、弃渣场以及便道等的位置。

五. 洞口位置的选择



(a) 正交洞门平面示意图



(b) 斜交洞门平面示意图

五. 洞口位置的选择

(7) 洞口附近有居民点时，考虑提前进洞，尽可能减少附近地上构筑物，地下埋设物与隧道的相互影响，及减少对环境（农业、交通、居民生活）的影响。

(8) 洞口路肩应高出设计洪水位（包括浪高）以上0.5m，以免洪水浸入隧道。

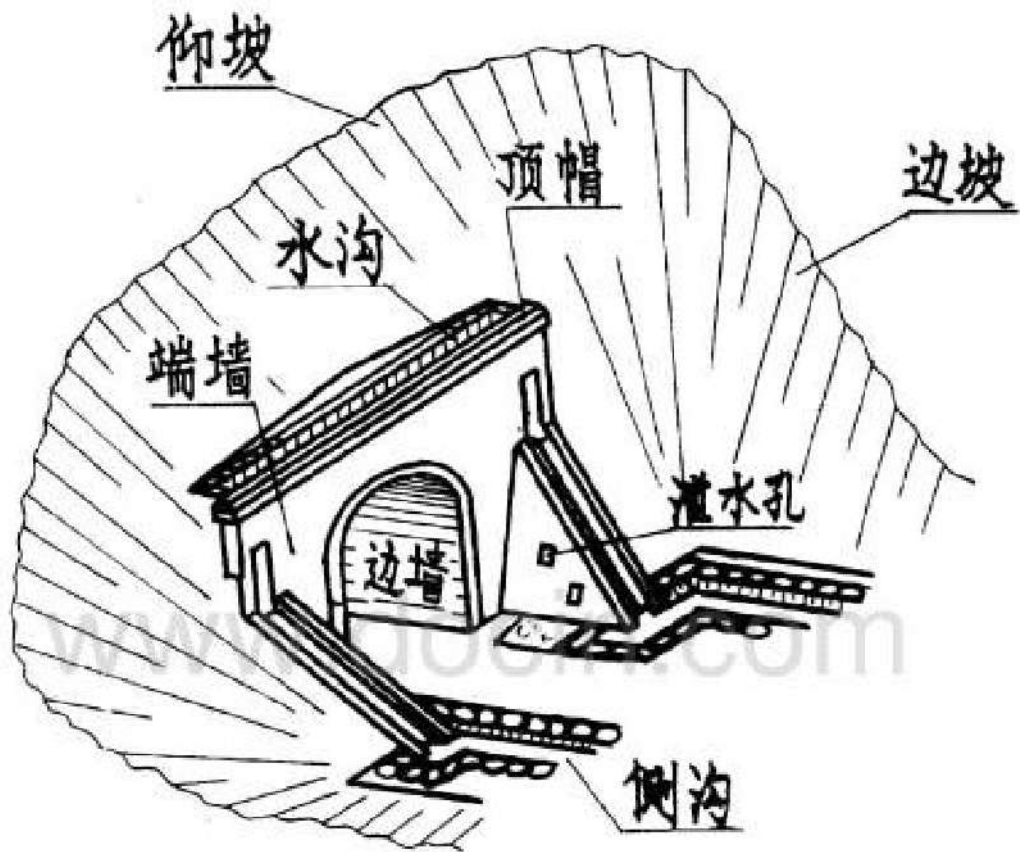
(9) 考虑通风设备排出的废气和噪声对周围环境的影响程度和解决办法。

(10) 考虑设置防雪工程、防风工程和防路面冻害工程的必要性。

总之，隧道洞口和洞身是不可分的整体，在位置选择时不能顾此失彼，应该同样的重视。



六. 边仰坡开挖线的确定



六. 边仰坡开挖线的确定

- 用作图法确定进洞里程和洞口边、仰坡开挖线

- *进洞里程的确定*

— 在洞口地形平面图上找出控制等高线

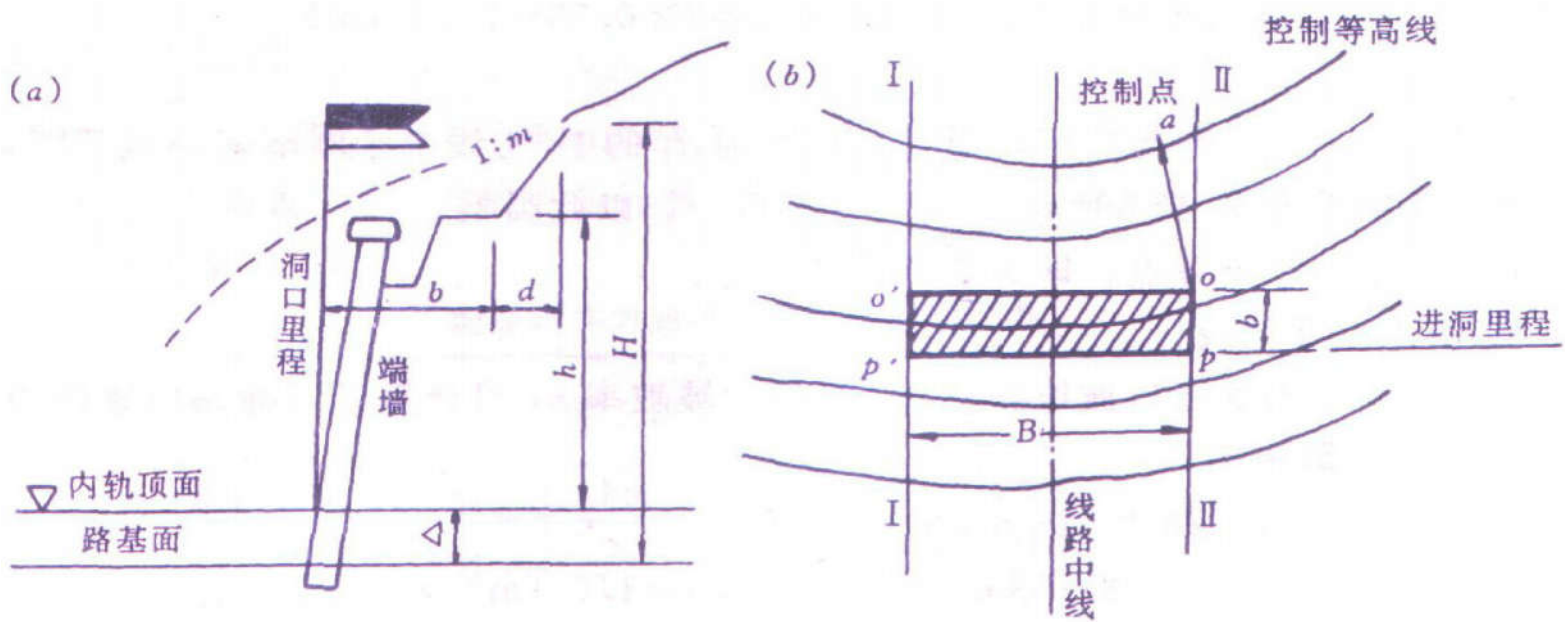
— 在预先选定的洞口附近，以洞门墙宽度 B 为距离，作对称于线路中心线的平行线I—I和II—II

— 以仰坡坡脚至极限挖高控制点的水平距离 d 为半径，用分规沿I—I（或II—II）线移动，找出与控制等高线相切于 a 点(即控制点)的圆心 O 。

— 过 O 点作线路中心线的垂线 OO' 。

— 以洞口里程至仰坡坡脚的水平距离 b (由洞门图查得)为间距，作 OO' 线的平行线 PP' ，则 PP' 线为洞口里程位置。

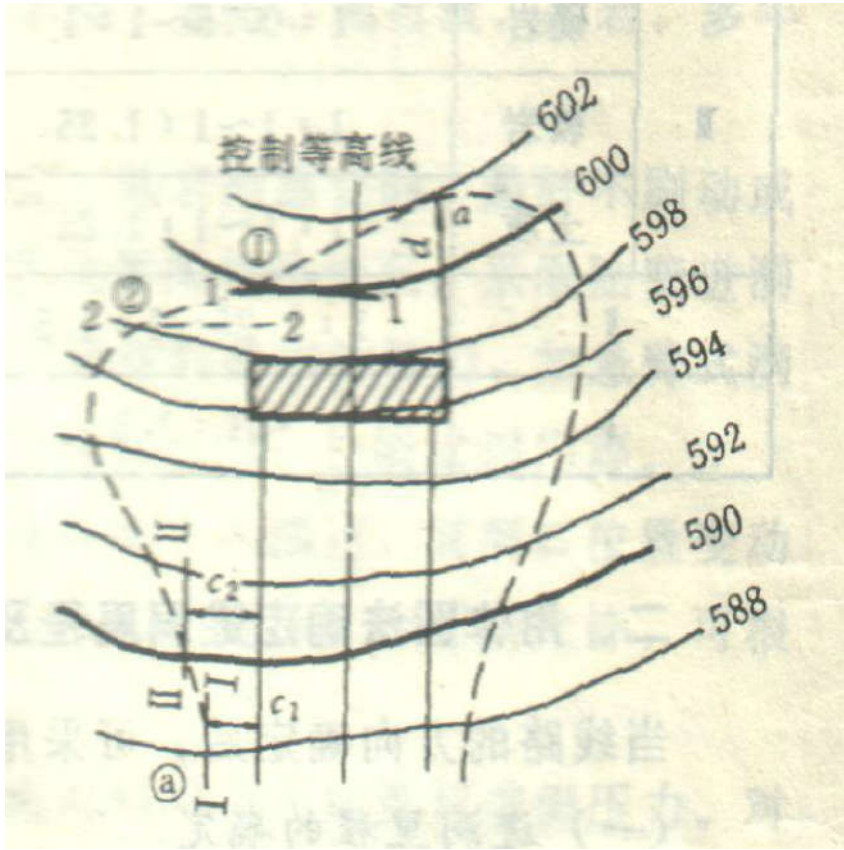
六. 边仰坡开挖线的确定



洞口里程的确定



六. 边仰坡开挖线的确定



边、仰坡开挖线

洞门位置确定后，可计算仰坡坡脚标高 $H_{仰}$ ，则由仰坡坡率 m ，求得仰坡顶点位置。

例如，控制等高线为602m，仰坡坡脚标高为595m，仰坡坡率 m 为1:0.75，即可计算602至595各等高线坡率为 m 而距仰坡坡脚的水平投影距离 d_1, d_2, \dots 等各值。对600m等高线：

$$d_1 = (600 - 595) / m = 5 \times 0.75 = 3.75(\text{m})$$

在洞门地形图上，作与洞门墙平行且相距为 d_1 的1—1线交600m等高线于①点；作2—2线与洞门墙相距为 d_2 交598m等高线于②点...，以此类推。连接 a 、①、②...各点，即为仰坡开挖线。

六. 边仰坡开挖线的确定

- 绘制边坡开挖线

其原理同前，先确定边坡坡脚标高，根据边坡坡率 n ，可计算不同标高位置的**边坡顶至边坡坡脚的水平投影距离 c** 。

例如，边坡坡脚标高为586m， $n=0.5$ 则

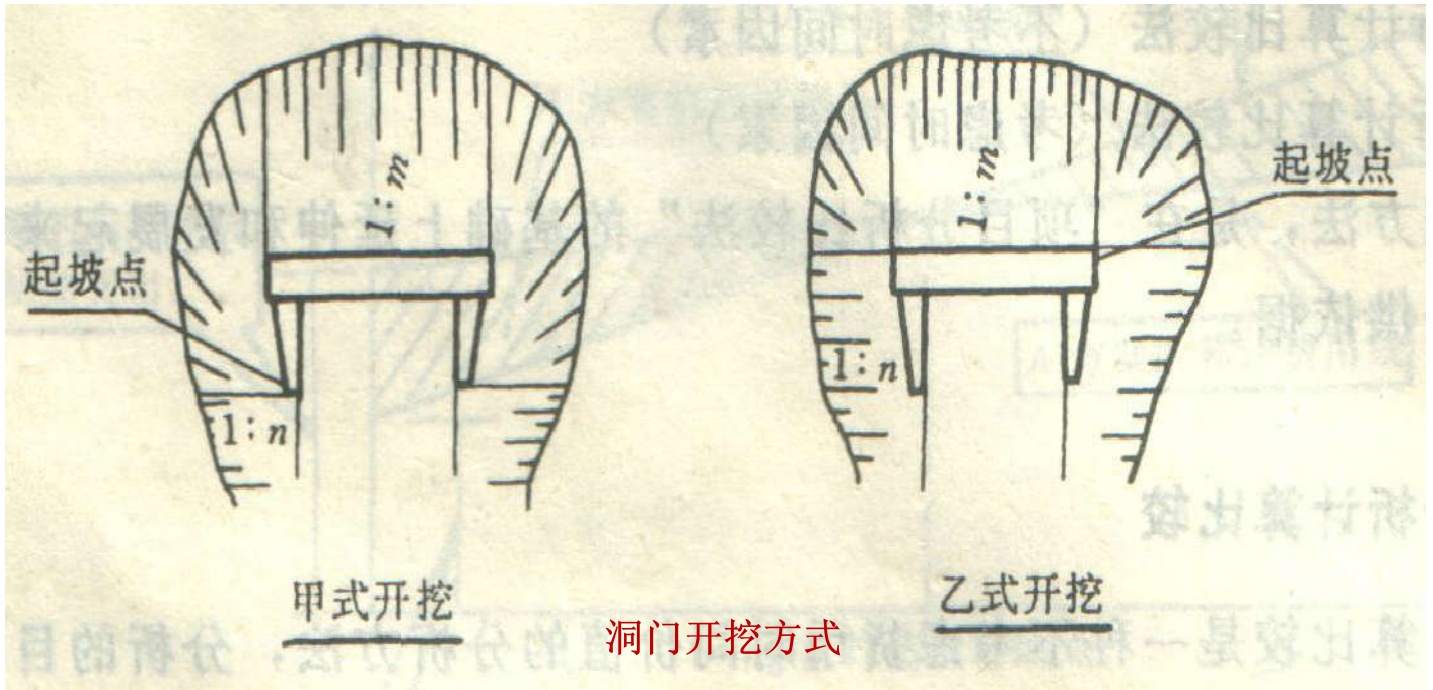
$$c_1=(588-586) \times n=2 \times 0.5=1.0 \text{ (m)}$$

$$c_2=(590-586) \times n=4 \times 0.5=2.0 \text{ (m)}$$

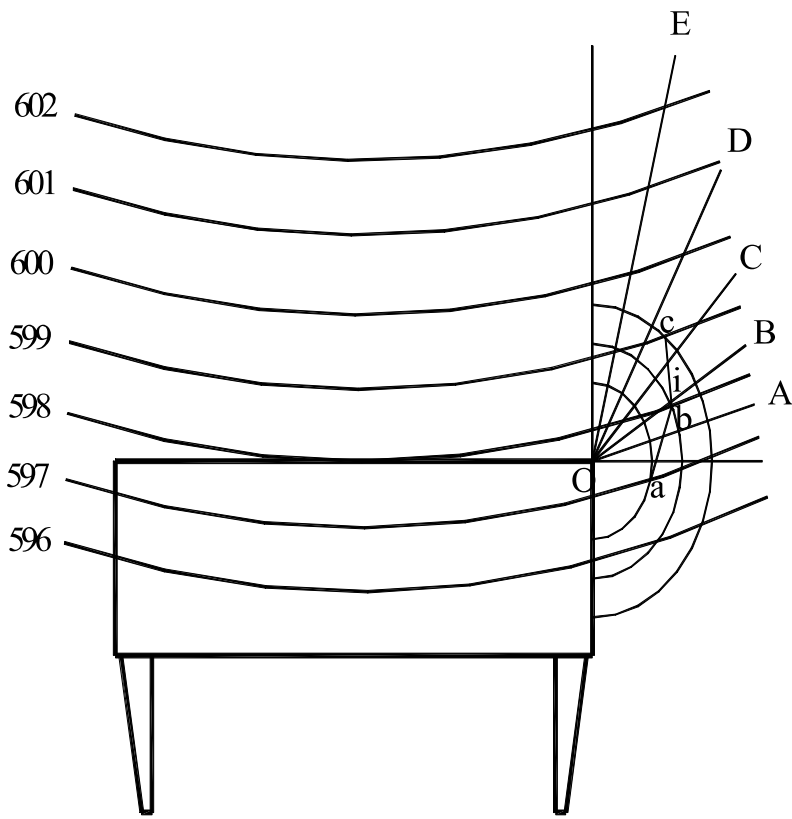
作I—I线与**路堑坡脚线平行**且相距为 c_1 ，交588m等高线于a。作II—II线与路堑坡脚线平行且相距为 c_2 交590m等高线于b。同理可求得其它各点。连接a, b, ...各点，即得边坡开挖线。

六. 边仰坡开挖线的确定

洞门开挖方式有两种，即甲式开挖和乙式开挖，如下图所示，其刷坡的起坡点不同。采用甲式开挖时，起坡点为翼墙端点；乙式开挖时，起坡点为仰坡坡脚。由此可确定相应起坡点的标高值。



六. 边仰坡开挖线的确定



乙式开挖边、仰坡交角处开挖线

以乙式开挖为例，绘制仰坡与边坡交角处开挖线

— 在 90° 交角范围，等分6等份，即由边坡至仰坡的累计度数为 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° 。当仰坡坡率 m 与边坡坡率 n 不同时，应圆顺过渡，其各等份的坡率 K 可按下式计算：

$$K = \frac{nm}{\sqrt{n^2 \sin^2 \alpha + m^2 \cos^2 \alpha}}$$

式中 n —边坡坡率；

m —仰坡坡率；

α —圆角部分等份角度的累积度数(由边坡至仰坡)。



六. 边仰坡开挖线的确定

— 确定等份线与开挖线的交点

以OB等份线为例，累积度数 $\alpha=30^\circ$ ，仰坡坡率 $m=0.75$ ，边坡坡率 $n=0.5$ ，由上式计算得坡率 $K=0.54$ ，可计算不同标高位置的坡顶至起坡点的水平投影距离 r 。

例如，起坡点高程为595m，则

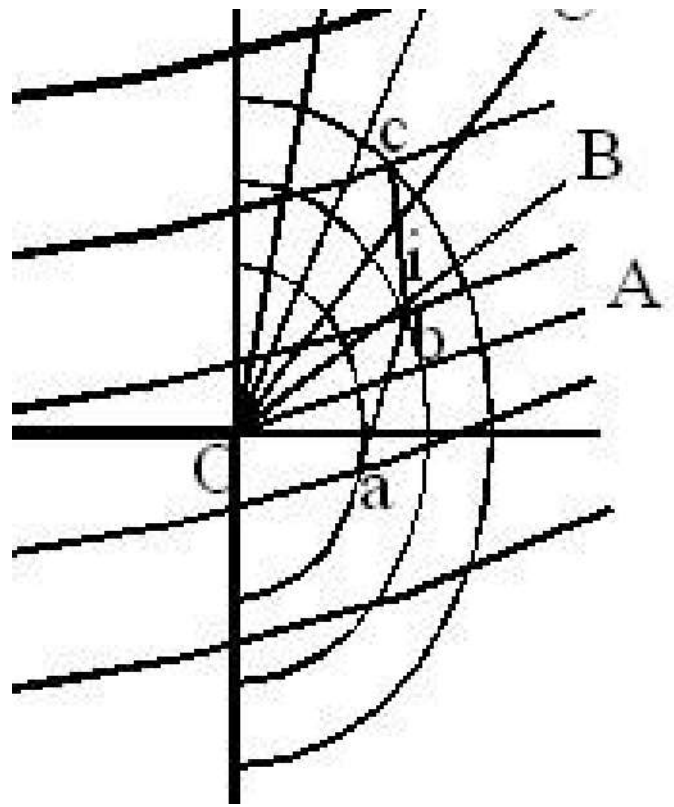
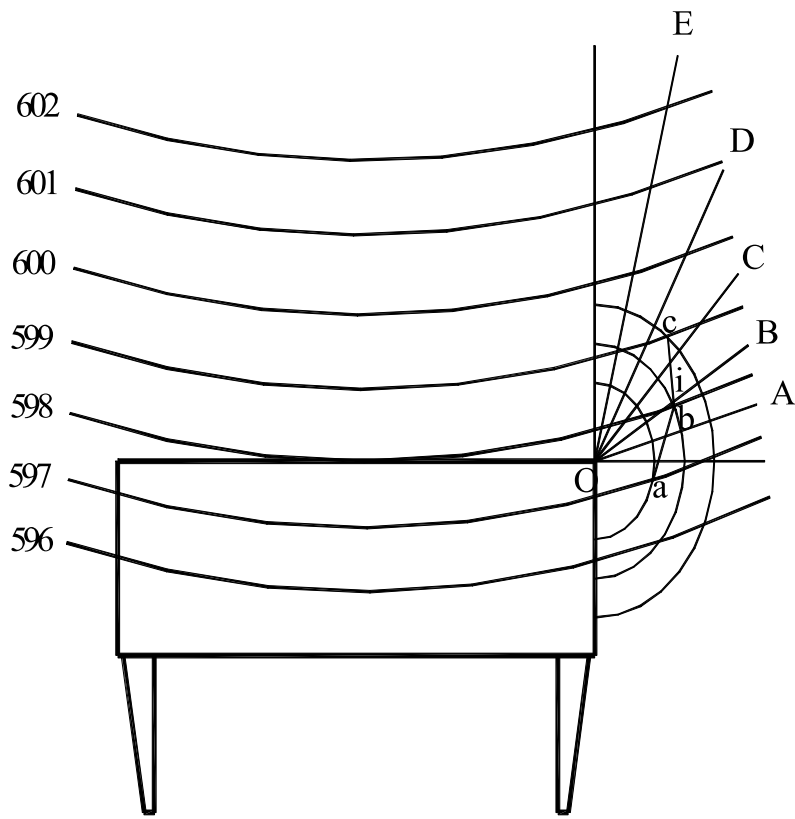
$$r_1=(597-595) \times K=2 \times 0.54=1.08 \text{ (m)}$$

$$r_2=(598-595) \times K=3 \times 0.54=1.62 \text{ (m)}$$

.....

以O点为圆心，以 r_1 、 r_2 、....为半径，分别交等高线597、598...于 a 、 b 、 c ...，连接 a 、 b 、 c ...各点所形成的曲线与OB交于 i 点，即为该等份线与开挖线的交点。同理可得其它等份线与开挖线的交点 j 、 k 、....，连接 i 、 j 、 k ...各点，即得交角处开挖线。

六. 边仰坡开挖线的确定



六. 边仰坡开挖线的确定

