

第 1 篇 地下工程明挖法

明挖法是从地表面向下开挖，在预定位置修筑结构物方法的总称。它是一种用垂直开挖方式修建隧道的方法（对应于水平方向掘进隧道而言）。在城市地下工程中，特别是在浅埋的地下铁道工程中，明挖法获得了广泛的应用；此外，在水底隧道两端河岸段、洞门入口附近等常采用此法修建。

一般在地形平坦，埋深小于 30 m 时，采用明挖法具有很好的实用价值；明挖法适应性强，适用于任何岩（土）体，可以修建各种形状的结构物；明挖法可以为地下结构的施工创造最大限度的工作面，各项工序可以全面铺开，进行平行流水作业，因而施工速度快；明挖法施工技术比较简单，便于操作，工程质量有保证。在地面交通和环境条件允许的地方，应优先选择明挖法施工。

近年来基坑开挖和支护技术随着地下空间的利用有了很大的发展。早期基坑开挖较浅，基坑支护多以放坡开挖或悬臂式支护为主；随着基坑开挖的逐渐加深，这时基坑的支护再以放坡开挖或悬臂式支护已经不再经济并难以满足要求，所以多以地下连续墙支护为主，后来又出现了土钉和土钉墙加预应力锚索综合技术。随着深基坑开挖工程的逐渐增多，深基坑支护技术有了很大发展，逆作法就是一项近几年发展起来的新兴的基坑支护技术。

随着埋深的增加，明挖法的工程费用、工期都将增大。同时，明挖法对周围环境的影响

大，譬如对地面交通、商业活动、居民生活的影响等，其地下管线的拆迁量比暗挖法大；当地下水位较高时，降水和地层加固费用非常高。因此在采用明挖法时，应充分考虑各种施工方法的特征，选择最能发挥其特长的施工方法。

明挖法施工重点要解决的问题有：基坑的稳定性问题及施工工序、维护结构的选择以及降水问题。明挖法设计中应注意的若干问题如下所述。

1. 隧道设置深度

采用明挖法修筑隧道，主要的问题是隧道设置深度。一般说，隧道应设置在尽可能良好的地层中，并进行充分地调查，从技术、经济、运营、地层等方面，慎重研究设置深度，一般情况应 $< 20\text{ m}$ ，以确保隧道建成后的功能和安全性。

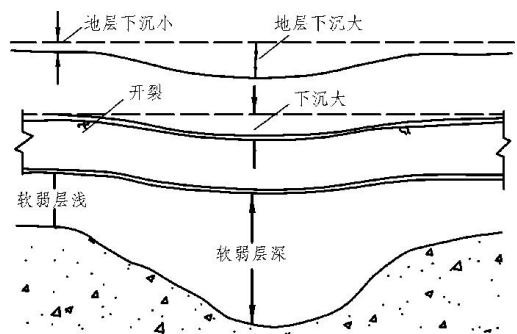


图 A 地层下沉和隧道变异

通常，根据地质状态，隧道建成后的地层有可能发生位移时，要充分研究其影响，并在设计上采用相应的措施。特别是在有图 A 所示的软弱地层厚度变化大的情况，可能沿纵向产生地层的不均匀下沉，而造成结构纵向的异常变形。此外，在饱和的松散土砂中时，地震会诱发砂层液化，从而使结构物受到较大的应力等。这些问题在隧道规划时必须给以足够的关注。

2. 隧道的结构形式

明挖法隧道采用的结构形式是多种多样的，大体可归结为直墙拱及单跨、双跨或多跨矩形闭合框架等。但一般都是箱形的、纵向连接的结构。中间构件多采用柱结构或墙结构。箱形结构的侧墙多采用连续墙作为主体结构的一部分。箱形结构的断面形状，视隧道的使用目的不同，有各种各样的形式，如图 B 所示。

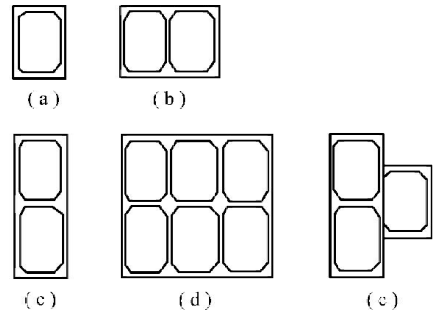


图 B 明挖隧道的断面形状

隧道纵向结构都是连续的，一般在良好的地层中，可以不考虑隧道纵向的影响，但在荷载状态及地层状态有显著变化的情况和隧道断面有显著变化的情况，要充分研究这种情况对隧道稳定性的影响。

3. 隧道结构的防水及抗震

明挖隧道一般都是修筑在地下水位以下的，因此隧道结构要具有良好的防水功能。为此，结构应尽量单纯化，以提高防水施工的可靠性。

明挖隧道与地面结构不同，隧道与周围地层的相互作用是非常复杂的，因此，要特别注意地震时隧道的动态。在设计时，要研究地震对隧道动态的影响，同时还要研究隧道受震灾后的社会的、经济的影响。

第 1 章 基坑开挖

1.1 敞口放坡明挖法

敞口放坡明挖法也称做敞口基坑法，包括全放坡开挖和半放坡开挖（图 1.1）2 种。全放

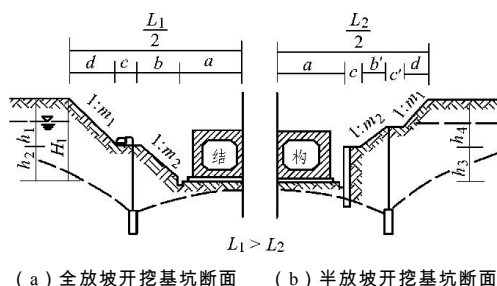


图 1.1 放坡开挖基坑断面

坡开挖是指基坑采取放坡开挖不进行坑墙支护，根据地质条件采用相应的边坡坡度，分段开挖至所需位置进行结构施工，完成后进行回填，将地面恢复到原来状态。半放坡开挖是在基坑底部设置一定高度的悬臂式钢桩加强土壁稳定。其槽底宽度是根据地下结构宽度的需要并考虑施工操作空间确定的。为了保持边坡稳定，常常需要沿基坑两侧设井点降水。

1.1.1 适用条件

在没有建筑物的空旷地段，以及便于采用高效率的挖土机及翻斗卡车的情况下，常采用全放坡或半放坡开挖，不加支撑的基坑形式。

采用此种开挖方式工程造价较低，与一般的打桩施工开挖方法相比，因不架设路面覆盖板，可使工费减少，工期缩短。但占地宽，拆迁量、土方挖填量较大，工程区域的交通被中断，在道路狭窄和交通繁忙的地区是不可行的。在市中心地区采用本方式施工的不多。地质情况的好坏、渗水量的多少以及开挖深度等条件，是这种方式能否采用的重要因素。敞口基坑法施工中，基坑边坡防护和开挖对于附近建筑物、地下埋设物的影响在施工管理中应充分注意。

1.1.2 设计与施工

边坡设计需要确定两个基本参数：边坡开挖深度和坡度。由于基坑的边坡稳定主要是通过边坡土质的抗剪强度来实现的，所以边坡开挖的深度以及坡度都受到土体抗剪强度的限制。

1. 边坡失稳的破坏形式

- (1) 沿近似圆弧的滑动面转动，这种破坏常常发生在较为均质的黏性土层；
- (2) 沿近乎平面的滑移，这种破坏常常发生在无黏性土层。

2. 影响基坑边坡稳定的因素

基坑边坡坡度是直接影响基坑稳定的重要因素。当基坑边坡土体中的剪应力大于土体的抗剪强度时，边坡就会失稳坍塌。另外施工不当也会造成边坡失稳，表现为：

- (1) 没有按照设计坡度进行边坡开挖；
- (2) 基坑坡顶堆载过大；

(3) 基坑降排水措施不利，地下水未降至基底以下，而地面雨水、基坑周围地下给排水管线漏水渗流至基坑边坡的土层中，使土体湿化，土体自重加大，增加土体中的剪应力；

(4) 基坑开挖后暴露时间过长，经风化而使土体变松散；

(5) 基坑开挖过程中，未及时刷坡，甚至挖反坡，使土体失去稳定性。

3. 基坑边坡稳定性的确定方法

确定基坑边坡稳定性有 3 种方法，即计算法、图解法和查表法。

(1) 计算法。通过计算公式确定边坡开挖深度和坡度。如图 1.2 所示，假定边坡破裂面为通过坡脚的一个平面，滑动面上部土体为 ABC ，则其重力线密度为

$$G = \frac{\gamma h^2}{2} \cdot \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\sin \theta \sin \varphi} \quad (1.1)$$

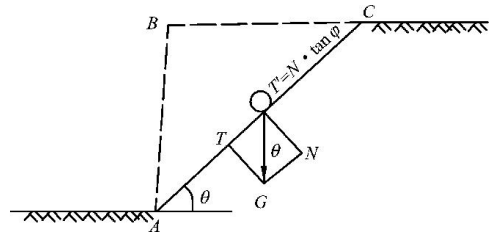


图 1.2 计算法图

当土体处于极限平衡状态时，边坡极限高度为

$$h = \frac{2C \sin \theta \cos \varphi}{\gamma \sin^2 \left(\frac{\theta - \varphi}{2} \right)} \quad (1.2)$$

式中 C —— 土体黏聚力 (kN/m^2)；

θ —— 边坡坡度角 ($^\circ$)；

φ —— 土的内摩擦角 ($^\circ$)；

γ —— 土体重度 (kN/m^3)。

土体 C 、 φ 、 γ 值和边坡极限高度 (基坑开挖深度) h 为已知，则基坑边坡的坡度角即可求出。并由公式 (1.1)、(1.2) 可知：

① 当 $\theta = \varphi$ 、 $C=0$ 时，则边坡极限高度不受限制，且边坡处于平衡状态。

② 当 $\theta > \varphi$ 时，则边坡为陡坡，其 C 值越大，则边坡极限高度 h 越高；若 $C=0$ ，则 $h=0$ ，即非黏性土时，边坡任何高度都是不稳定的。

③ 坡度角 θ 越大，坡高 h 越小；反之，坡度角 θ 越小，则坡高 h 越大。

(2) 图解法。对于基坑边坡坡度不变，坡顶为一平面，且土质均匀时，其稳定边坡角或极限坡高，可根据图 1.3 来求得，该图是通过计算资料综合整理而得到的。

图中横坐标为稳定边坡角 θ ，纵坐标表示稳定系数 $N_s = \gamma H_c / C$ 。假定土内聚力不随深度变化，对于一个给定的土的内摩擦角 φ 值，则边坡的临界高度及稳定安全高度，可由下式计算

$$\left. \begin{aligned} H_c &= N_s \frac{C}{\gamma} \\ H &= N_s \frac{C}{K\gamma} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

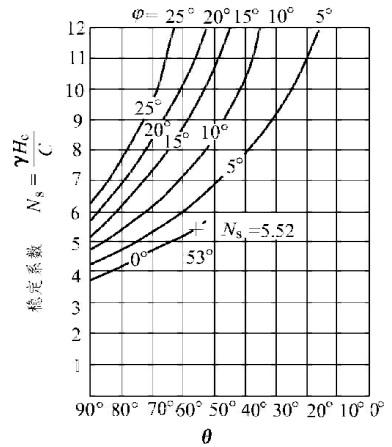


图 1.3 基坑边坡图解曲线

式中 H_c ——边坡的临界高度（即稳定高度）(m)；

N_s ——稳定系数，由图 1.3 查出；

C ——土体黏结力 (kN/m^2)；

γ ——土体重度 (kN/m^3)；

H ——边坡的稳定安全高度 (m)；

K ——稳定安全系数，一般取 1.1~1.5。

上述两式，当已知 θ 或 H 及土体的 C ， φ ， γ 时，可求出稳定安全的坡高 H （或 θ ，或 K 值）。

(3) 查表法。在城市地下工程建设的明挖施工中，一般在地质条件良好、土质较均匀，而地下水位低或通过降水将地下水位维持在基底面以下时，常采用查表法确定基坑边坡的坡度。根据地基基础设计规范并结合城市地下工程施工经验给出表 1.1、表 1.2，施工时可作为参考。

表 1.1 岩石基坑边坡坡度

岩石类别	风化程度	坡度值 (高宽比)	
		8 m 以内	8 ~ 10 m
硬质岩石	微风化	1: (0.1 ~ 0.2)	1: (0.2 ~ 0.35)
	中等风化	1: (0.2 ~ 0.35)	1: (0.35 ~ 0.5)
	强风化	1: (0.35 ~ 0.5)	1: (0.5 ~ 0.75)
软质岩石	微风化	1: (0.35 ~ 0.5)	1: (0.5 ~ 0.75)
	中等风化	1: (0.5 ~ 0.75)	1: (0.75 ~ 1.00)
	强风化	1: (0.75 ~ 1.00)	1: (1.00 ~ 1.25)

表 1.2 土质基坑边坡坡度

土的种类	密实度或状态	坡度值 (高宽比)

		5 m	5 ~ 10 m	10 ~ 15 m
碎石土	密实	1: (0.35 ~ 0.5)	1: (0.5 ~ 0.75)	1: (0.75 ~ 1.0)
	中密	1: (0.5 ~ 0.75)	1: (0.75 ~ 1.0)	1: (1.0 ~ 1.25)
	稍密	1: (0.75 ~ 1.0)	1: (1.0 ~ 1.25)	1: (1.25 ~ 1.5)
黏性土	坚硬	1: (0.75 ~ 1.0)	1: (1.0 ~ 1.25)	1: (1.25 ~ 1.5)
	硬塑	1: (1.0 ~ 1.25)	1: (1.25 ~ 1.5)	1: (1.5 ~ 1.75)

4. 基坑开挖注意事项

由于种种原因，常常出现施工工况和原设计条件不相符合的情况，或者设计中难以考虑周全的施工情况，此时必须对基坑边坡重新验算。如果安全度不足，应采取相应的补救措施。所以在施工过程中应注意：

- (1) 根据土层的物理力学性质确定基坑边坡坡度，并于不同土层处做成折线形或留置台阶；
- (2) 不要在已开挖的基坑边坡的影响范围内进行动力打入或静力压入的施工活动，如必须打桩，应对边坡削坡和减载，打桩采用重锤低击、间隔跳打；
- (3) 不要在基坑边坡堆加过重荷载，若需在坡顶堆载或行驶车辆时，必须对边坡稳定进行核算，控制堆载指标；
- (4) 施工组织设计应有利于维持基坑边坡稳定，如土方出土宜从已开挖部分向未开挖方向后退，不宜沿已开挖边坡顶部出土，应采用由上至下的开挖顺序，不得先切除坡脚；
- (5) 注意地表水的合理排放，防止地表水流入基坑或渗入边坡；
- (6) 采用井点等排水措施，降低地下水位；
- (7) 注意现场观测，发现边坡失稳先兆（如产生裂纹时）立即停工，并采取有效措施，提高施工边坡的稳定性，待符合安全度要求时方可继续施工；
- (8) 基坑开挖过程中，随挖随刷边坡，不得挖反坡；
- (9) 暴露时间在 1 年以上的基坑，一般可采取护坡措施。

5. 基坑边坡失稳的防止措施

(1) 边坡修坡。改变边坡外形，将边坡修缓或修成台阶形（图 1.4）。这种方法的目的是减少基坑边坡的下滑重量。因此必须结合在坡顶卸载（包括卸土）才更有效果。

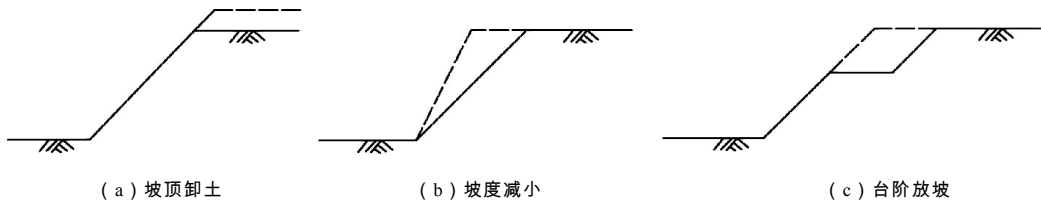


图 1.4 边坡修坡

(2) 设置边坡护面。设置基坑边坡混凝土护面的目的是为了控制地表水经裂缝渗入边坡内部，从而减少因为水的因素导致土体软化和孔隙水压力上升的可能性。护面可以做成 10 cm 混凝土面层（图 1.5）。为增加边坡护坡面的抗裂强度，内部可以配置一定的构造钢筋（如 $\phi 6@300$ ）。

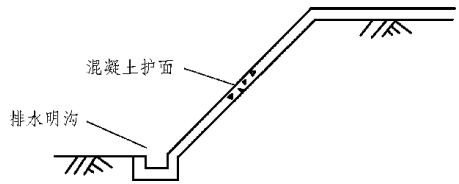


图 1.5 基坑边坡设置混凝土护面

(3) 边坡坡脚抗滑加固。当基坑开挖深度大，而边坡又因场地限制不能继续放缓时，可以通过对边坡抗滑范围的土层进行加固（图 1.6）。采用的具体方法有：设置抗滑桩、悬喷法、分层注浆法、深层搅拌法等。

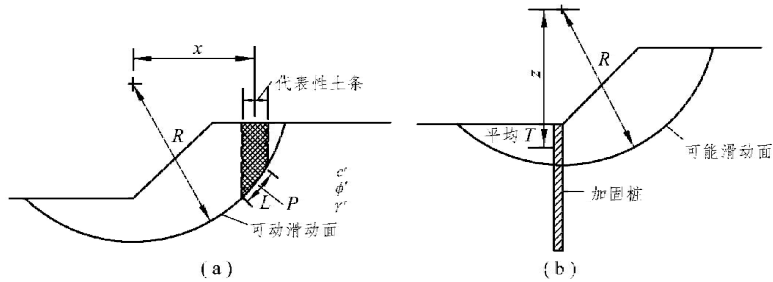


图 1.6 基坑边坡坡脚抗滑加固

采用这种方法的时候必须注意加固区应穿过滑动面并在滑动面两侧保持一定范围。一般地，对于混凝土抗滑桩此范围应大于 5 倍洞径。

6. 基坑开挖施工

由于放坡开挖的基坑一般都是针对浅埋地下工程而设的，土方开挖的工程量大，若采用人工，其劳动强度大，工期在工程总工期中所占的比重达 25%~30%，成为影响施工进度的重要因素。所以，应尽可能采用生产效率高的大型挖土和运输机械施工。

对于放坡开挖，目前常用的方法有人工开挖、小型机械开挖和大型机械开挖。

人工开挖效率低，劳动强度大，一般只在土方量小，如修坡或缺乏机械开挖的情况下采用。

小型机械常见的有蟹斗、绳索拉铲等简易挖土机械，小型开挖机械一般在施工空间受限制而无法采用大型机械的情况下采用。

对于大面积的土方开挖，采用大型机械如单斗挖土机、铲运机。大型机械工作效率很高，一台大型机械可以代替数百人的劳动，可以大大节约人力，加快进度。

机械挖土对土的扰动较大，且不能准确地将基底挖平，容易出现超挖现象，要求施工中机械挖土只能挖至基底以上 20~30 cm 位置，其余 20~30 cm 的土方采用人工或其他方法挖除。

1.2 基坑支护开挖法概述

随着地下工程的发展，基坑开挖深度不断增加，对基坑支护技术的要求也越来越高。1990

年以前基坑开挖深度较浅，基坑开挖多以放坡开挖或悬臂式支护为主；1990年以后，基坑开挖多以地下连续墙桩锚支护或墙锚支护为主，这种支护技术虽然安全可靠，但工程造价较高，后来出现了土钉和土钉墙加预应力锚索综合技术。近年来随着深基坑工程的逐渐增多，深基坑支护技术也有了很大发展，例如逆作法施工就是一项近年来发展起来的新兴基坑支护技术。