

铁路隧道结构物设计计算丛书

拱形明洞

人民铁道出版社



水
图



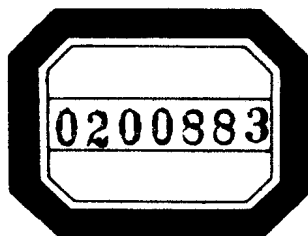
006444 水利部信息所

分类号 U45

铁路隧道结构物设计计算丛书

拱形明洞

铁道部第二勘测设计院 勘测处隧道组编
第七勘测设计队



人 民 铁 道 出 版 社

1979年·北京

内 容 简 介

本书介绍明洞设计的有关规定和要求, 阐明拱形明洞衬砌一般计算方法。着重介绍边墙作为弹性地基梁(包括长梁、短梁和刚性梁)及一般弹性墙的计算方法。并通过半路堑单压式明洞衬砌和偏压直墙式明洞衬砌两个算例作具体介绍。书末附有单、双线非电化铁路拱形明洞衬砌特征表及主要工程数量计算公式等。可供设计计算参考。

本书参加编写人员: 毛遵训、周明高、代美璋、杨诚道、张松林、高宜端、邹永尧、姚成惠、徐玉林、李茂群、汪彩芬、孟庆国、陈种智。

铁路隧道结构物设计计算丛书

拱 形 明 洞

铁道部第二勘测设计院 勘测处隧道组编
第七勘测设计队

人民铁道出版社出版

责任编辑 冯秉明 封面设计 赵敬宇

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 7.125 字数: 161 千
1979年4月第1版 1979年4月第1次印刷

印数: 0001—10,000册

统一书号: 15043·6162 定价: 0.74元

目 录

第一章 概述	1
第一节 一般规定与要求	1
一、适用条件	1
二、结构构造的基本要求	2
三、洞顶回填要求	2
四、防排水要求	4
第二节 明洞荷载	4
一、荷载的种类	4
二、荷载计算	5
第二章 计算原理及公式	12
第一节 基本原理	12
第二节 计算公式	14
一、变位计算	14
二、内力计算	33
第三章 算例	38
一、计算步骤	38
二、半路堑单压式明洞衬砌算例（单线非电化、Ⅱ类围岩）	39
三、偏压直墙式明洞衬砌算例（双线非电化、Ⅳ类围岩）	90
四、影响拱圈内力有关因素的探讨	140
附 录	192
一、单、双线非电化铁路拱形明洞衬砌特征表	192

二、单、双线铁路拱形明洞部分主要工程数量

计算公式	204
三、双曲线三角函数 ($\phi_1 \sim \phi_{15}$) 表	208
四、双曲线三角函数 ($\rho_1 \sim \rho_{10}$) 表	219

第一章 概 述

明洞是以明挖法修建的隧道，或在露天修建而洞顶有回填土石遮盖的结构，由拱圈、边墙、铺底（必要时加设仰拱或外墙设长腿带拉杆）组成。拱形明洞一般是当地形地质难以用暗挖法修建隧道或用路基通过有困难时，以及洞口处于不良地质如坍方、落石、泥石流、滑坡等病害地段时，用以作为地下结构通过，取代隧道保证铁路安全运营的建筑物。明洞在山区铁路中广泛应用。

目前拱形明洞衬砌标准图类型分为路堑式、偏压直墙式、偏压斜墙式、单压式四种。一般地形、地质条件下通常可采用标准设计；特殊情况时，应充分掌握外业资料，参考算例另行设计。

第一节 一般规定与要求

一、适用条件

（一）明洞一般适用于下列情况

1. 洞顶覆盖较薄，难以用暗挖法修建隧道者
2. 受坍方、落石、泥石流等危害的隧道洞口或路堑地段；
3. 公路、铁路、河沟必须在铁路上方通过，不宜作隧道、立交桥或涵渠时。

（二）在某些条件适合的情况下，明洞可用以整治滑坡病害和支撑山体的稳定。

二、结构构造的基本要求

(一) 构造要求

明洞内净空在任何情况下，不得侵入隧道建筑限界。

1. 拱圈：可以采用变截面和等截面结构。目前标准设计多采用等截面对称式结构。

2. 边墙：一般情况采用直墙。当围岩松软，墙背侧压力较大时可采用曲墙，并带仰拱。

3. 单压式明洞，外墙设置耳墙，墙顶厚度不小于50厘米。

4. 明洞处于软硬地层或深浅基础分界处应设置沉降缝。较长的半路堑单压式明洞应设置横向贯穿的伸缩缝，其间距：土质地基段不超过20米，石质地基段不超过30米。

5. 明洞应按隧道要求设置大、小避车洞，半路堑单压式明洞外边墙每隔8~10米设置侧洞。

(二) 基础设置要求

1. 明洞基础必须置于均质的稳固地基上，根据地基岩性不同，基底一般埋深80~125厘米。在冻胀性土壤上设置基础时，基底应埋置于冻结线以下25厘米。单压式明洞外墙基础置于斜坡岩层上时，基底应埋置于风化层以下25厘米。

2. 扩大基础时，基础台阶的坡线和竖直线之间的夹角，石砌基础不应大于 35° ，混凝土基础不应大于 45° 。

3. 单压式明洞外墙基底埋深在路基面以下超过3米的深基础，横向应设置钢筋混凝土拉杆，其间距一般为1米一根，拉杆钢筋应锚固在内边墙基底岩层内。

三、洞顶回填要求

(一) 洞顶回填土厚度

为缓和边坡上落石的冲击或支挡边坡的坍塌，明洞顶应有一定厚度的回填土。其厚度应根据实际落石冲击具体情况而定。

1. 为防护一般的落石坍塌时，其填土厚度不小于1.5米。

2. 当落石情况严重者，如地震烈度为8度及以上地区，可能有较多的落石坍塌，其填土厚度宜根据具体情况考虑适当加厚。

3. 当洞顶回填系用以支挡边坡的坍塌时，其填土厚度应结合边坡稳定情况和回填反压等需要确定。

4. 立交明洞，其填土厚度应结合其上公路、铁路及涵渠标高和结构要求情况而定。

(二) 回填土面坡度

洞顶回填土面坡度应根据防护落石、坍塌和支撑边坡稳定，并结合地形和排水要求而定。为了明洞结构能储备承受一定数量的坍方、落石，分为设计回填土坡度和实际回填土坡度，其要求如下：

1. 为满足洞顶排水的需要，实际回填土坡度应不小于2%。

2. 在一般落石、坍塌的情况下，可采用设计填土坡1:5~1:3，实际填土坡1:10。

3. 在有较多的落石、坍塌的情况下，如8度、9度地震区，可采用设计填土坡度1:3~1:2，实际填土坡1:10~1:5。

4. 利用回填土以支撑山坡的稳定，抵御滑坡，引渡泥石流时，可根据具体情况，确定其回填土坡度。

(三) 回填土施工要求

1. 明洞拱背回填土石应对称分层夯实，其两侧回填土

面高差不得大于 0.5 米，回填至拱顶后应满铺，并分层向上填筑。

2. 拱圈、边墙圬工强度达到设计强度 25% 时，始能做洞顶、边墙背的防水层及墙顶盲沟，达到设计强度 70% 时，应尽快回填，拱顶回填厚度达 0.7 米方可拆除拱架。

3. 回填土石与开挖边坡坡面间，应挖成台阶，并用粗糙的透水材料填塞，以增加摩擦力。

四、防排水要求

(一) 为排除洞内积水，洞内应按隧道要求设置排水系统。

(二) 为保证明洞结构圬工免受水流侵蚀及冰冻作用而损坏，明洞拱顶、边墙背面与回填土石接触部分应铺设外贴式防水层，回填土顶面应铺设粘土隔水层。

(三) 为疏导排除地下水，边墙背应设置纵向盲沟和竖向盲沟，竖向盲沟间距一般为 8~10 米，并于其下设泄水孔，将水引入洞内排出。

第二节 明洞荷载

一、荷载的种类

(一) 主要荷载

包括结构自重、围岩压力、回填土石压力，当为立交明洞时，其上应计算汽车活载、列车活载或沟槽流水的垂直荷载，汽车或列车活载的冲击力；当修建抗滑明洞时，应计滑坡体的下滑力。

(二) 附加荷载

包括山体落石、雪崩冲击力，温度变化影响力，混凝土

收缩影响力和冻胀力等。

当洞顶按设计填土坡线计算回填土石重时，不再计坍方、落石的土石重量及冲击力。当有落石危害需检算冲击力时，只计洞顶实际填土重量和落石冲击力。

当计算汽车或列车活载的冲击力时，不计落石冲击力。拱形明洞一般不计算温度变化和混凝土收缩的影响力。

(三) 特殊荷载

地震力。

二、荷载计算

(一) 拱圈回填土石的竖向压力

$$P_i = \gamma h_i \quad (1-1)$$

式中 P_i ——明洞结构上任意点处的回填土石竖向压力值
(吨/米²)；

γ ——回填土石的容重
(吨/米³)；

h_i ——明洞结构上任意点处土柱体的高度(米)。

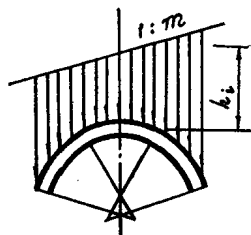


图 1-1

(二) 拱圈回填土石的侧向压力

明洞拱圈回填土石侧向压力的计算，应根据实际开挖边坡的情况和围岩类别，分别采用有限土体或无限土体进行计算。有限土体计算拱圈回填土石侧向压力，系指只计算拱脚外侧垂直假想面与边坡开挖面间所回填之土体对拱部之侧向压力，如图 1-2 所示。其条件为围岩开挖边坡必须是稳定的，此时产生最大主动侧向压力时之破裂面系沿开挖面产生。如开挖边坡较缓，破裂面不沿开挖面产生，而在回填土

中产生，则此时产生最大主动侧向压力应按无限土体计算。

有限土体产生最大的侧向压力时，破裂面坡率计算公式为：

$$n' = \frac{\mu m(\mu + \operatorname{tg} \rho) - \sqrt{m(\mu + \operatorname{tg} \rho)(\mu^2 + 1)(\mu m - 1)}}{1 + \mu^2 - \mu m + \mu^2 m \operatorname{tg} \rho} \quad (1-2)$$

究竟按有限土体计算，还是按无限土体计算，可按上式进行判别，即当开挖边坡坡率 n 陡于 n' 时（见图 1-3），

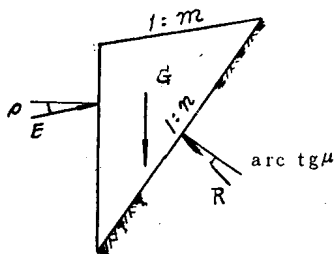


图 1-2

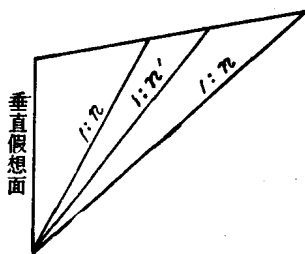


图 1-3

应按有限土体计算，将 n 代入 (1-4) 式，计算 λ 值；当开挖边坡坡率 n 等于或缓于 n' 时，应按无限土体计算，可将 (1-2) 式计算的 n' 值，作为 n 代入 (1-4) 式计算 λ 值。当拱顶回填土横坡为 1:5，侧压力作用方向采用平行坡面，回填土石与开挖边坡面间摩擦系数等于回填土石内摩擦角 ϕ 之正切时，产生最大侧向压力之破裂面坡率 n' 等于 0.621，开挖边坡陡于此值即按有限土体计算，缓于和等于此值时按无限土体计算。

侧向压力大小按下式计算：

$$e_i = \gamma h_i \lambda$$

式中 e_i ——拱圈上任意点处的侧向压力（吨/米²）；

γ ——回填土石的容重 (吨/米³) ;
 h_i ——拱圈上计算点处之土柱高 (米) ;
 λ ——拱圈侧向压力系数, 其计算方法为:

1. 填土坡面向上倾斜时的侧向压力系数 (见图 1—4)

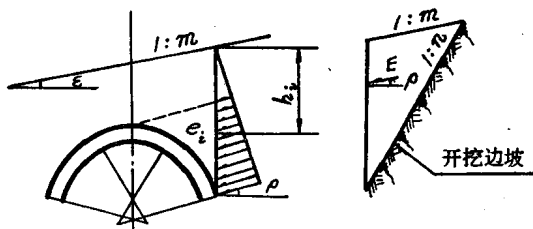


图 1—4

$$\lambda = \frac{1 - \mu n}{\cos \rho (\mu + n) + \sin \rho (1 - \mu n)} \cdot \frac{mn}{m - n} \quad (1-4)$$

式中 ρ ——侧向压力作用方向与水平线的夹角;
 n ——开挖边坡坡率;
 m ——回填土石面坡率;
 μ ——回填土石与开挖边坡面间摩擦系数, 等于摩擦角的正切。

当按无限土体计算, 侧向压力作用方向平行填土坡面时, 亦可按下式计算 λ 值:

$$\lambda = \cos \varepsilon \frac{\cos \varepsilon - \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}}{\cos \varepsilon + \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \phi}} \quad (1-5)$$

式中 ε ——设计填土坡度角;
 ϕ ——回填土石内摩擦角。

2. 填土坡面水平时的侧向压力系数 (见图 1—5)

填土坡面水平、侧向压力作用方向为任意角 ρ 时 (1—

4) 式可简化为:

$$\lambda = \frac{n(1-\mu n)}{\cos \rho (\mu + n) + \sin \rho (1 - \mu n)}$$

若侧向压力作用方向亦为水平时, 有限土体产生最大侧向压力之破裂面坡率计算公式可简化为:

$$n' = -\mu + \sqrt{\mu^2 + 1}$$

此时公式 (1-4) 可简化为:

$$\lambda = \frac{n(1-\mu n)}{\mu + n}$$

若为无限土体亦可按下式计算侧向压力系数。

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (1-6)$$

(三) 边墙回填土石之侧向压力 (作用方向水平)

$$e = \gamma_1 h_1 \lambda$$

$$\Delta e = \gamma_2 h_2 \lambda$$

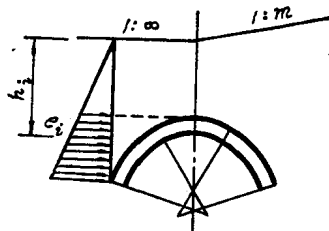


图 1-5

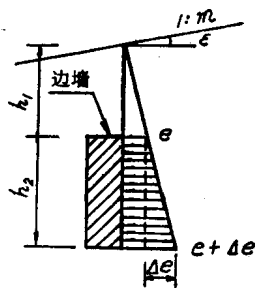


图 1-6

1. 填土坡面向上倾斜时的侧向压力系数 (见图 1-6)

$$\lambda = \frac{\cos^2 \phi}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \phi \cdot \sin(\phi - \epsilon')}{\cos \epsilon'}} \right]^2} \quad (1-7)$$

2. 填土坡面水平时的侧向压力系数 (见图 1—7)

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

3. 填土坡面向下倾斜时的侧向压力系数 (见图 1—8)

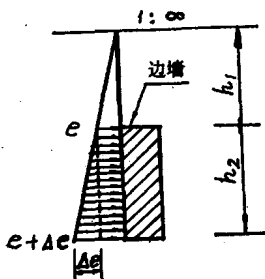


图 1—7

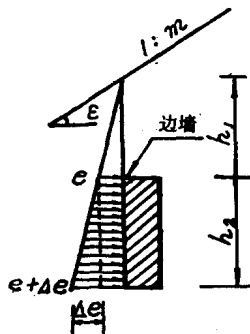


图 1—8

$$\lambda = \frac{\operatorname{tg} \theta_0}{\operatorname{tg}(\theta_0 + \phi)(1 + \operatorname{tg} \varepsilon' \operatorname{tg} \theta_0)} \quad (1-8)$$

$$\operatorname{tg} \theta_0 = \frac{-\operatorname{tg} \phi + \sqrt{(1 + \operatorname{tg}^2 \phi)(1 + \operatorname{tg} \varepsilon' / \operatorname{tg} \phi)}}{1 + (1 + \operatorname{tg}^2 \phi) \operatorname{tg} \varepsilon' / \operatorname{tg} \phi}$$

上列各式中

- e —— 边墙顶处的侧向压力 (吨/米²) ;
- $e + \Delta e$ —— 边墙基底处的侧向压力 (吨/米²) ;
- h_1 —— 墙顶回填土石高度 (米) ;
- h_2 —— 边墙回填土石高度 (米) ;
- γ_1 —— 墙顶回填土石容重 (吨/米³) ;
- γ_2 —— 墙背回填土石容重 (吨/米³) ;
- ϕ —— 墙背回填土石内摩擦角 (度) ;
- ε' —— 换算填土坡度角 (度) 。

$$\varepsilon' = \operatorname{arctg} \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} \operatorname{tg} \varepsilon \right)$$

其中 ε ——回填土石坡度角。

(四) 列车活载

1. 计算图式

铁路列车竖向标准活载计算图式如下：

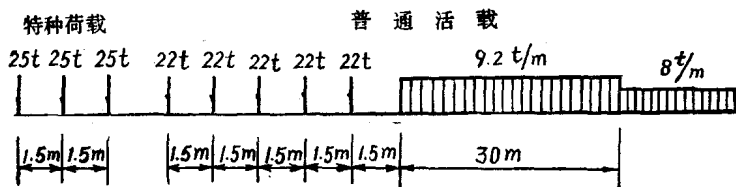


图 1-9

2. 列车活载产生的竖向压力

活载在轨底平面上的横向分布宽度为 2.5 米，其在路基内与竖直线成角度（正切为 0.5）向外分布。活载在明洞上产生的竖向压力按下式计算

$$q_h = \frac{16.5}{2.5 + h} \quad (1-9)$$

式中 q_h ——在轨底以下深度 (h) 米处，列车活载的竖向压力强度 (吨/米²)。

3. 列车活载产生的水平土压力

活载作用于明洞的水平土压力 P 按下式计算

$$P = \xi q_h \quad (1-10)$$

式中 ξ ——系数，采用 0.25 或 0.35，视设计的控制情况确定。

4. 列车活载冲击力

当明洞拱顶填土厚度 $h < 1$ 米时（从轨底算起）应计算列车活载冲击力，将静活载所产生的力乘以冲击力系数，其值为：

$$1 + \mu = 1 + \alpha \left(\frac{6}{30 + L} \right) \quad (1-11)$$

$$\alpha = 4(1 - h) \leq 2$$

式中 L —— 拱圈跨度 (米)；

h —— 拱顶填土厚度 (米)。

当洞顶无填土时，应计算制动力的影响。深基础明洞外墙计算列车活载时，只计算竖向压力及水平土压力，不考虑列车冲击力等的影响。

第二章 计算原理及公式

第一节 基本原理

明洞衬砌由拱圈、边墙、仰拱组成。拱脚弹性固定在边墙顶上，受边墙弹性变形影响。仰拱后建，结构计算中一般不考虑其作用。

衬砌计算图式如图 2—1。

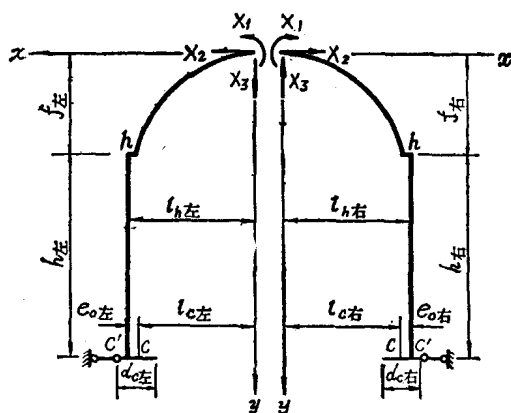


图 2—1

静力计算时，拱圈按无铰拱，边墙根据所处地质条件及本身性质，按弹性地基梁或一般弹性墙分别计算，考虑相互影响，属于三次超静定结构。一般为了计算简便，多采用力法，即从拱顶沿垂直轴切开，在其端点加上三个未知力——弯矩 X_1 、轴力 X_2 、剪力 X_3 ，代替另一侧的影响，使基本结构化为一对静定的悬臂曲梁（图 2—2），计算端点变位。