收集人：红旗飞扬

隧道工程-----精简版

- 一般概念

穿通山岭、地下、河道及海峡底下，供车辆、管线等通过的通道，也可以是防空设施等。

最终使用于地表以下，不论以任何方式修建的所需形状和尺寸的空洞，内部净空断面在 2m2 以上者。这一定义的外延相当大，它包括了所有的人工地下通道，如斜井、竖井、地下道路、城市地铁、水底通道、地下供排水通道等，也包括地下厂房、出油库、核废料存放地、防空洞等。

- 交通领域

修筑在地表以下，作为跨越交通障碍的工程建筑物，地下空间一般具有较大的纵向长度/横向跨度比值。

隧道分类

1）按照隧道的功能分为：交通隧道（如铁路、公路、航运隧道和城市地铁等）、水工隧道（如输排水隧道）、矿山巷道（如运输和开采巷道等）、国防地道（如人防地道和军用地道等）。

2）按照隧道所处介质类别分为：岩石隧道（软岩和硬岩隧道）和土质隧道。

3）按照隧道所处地理位置分为：山岭、城市和水底隧道。山岭隧道有越岭隧道和傍山隧道；水底隧道分为海底和江底隧道。

4）按照隧道施工方法分为：明挖隧道和暗挖隧道。明挖隧道的施工方法有：挖筑法、沉埋法等；暗挖隧道的施工方法有矿山法、盾构法、顶推法。不过目前出现了明挖法与暗挖法相结合的方法称之为盖挖法。

5）按照隧道埋深分为：深埋隧道和浅埋隧道。深埋还是浅埋，与围岩工程地质条件、施工方法、隧道断面大小及形状有关。但是明挖法施工隧道一定是浅埋隧道，而对于一些暗挖法施工隧道则需要具体分析。

6）按照隧道空间及其断面大小、形状分为：如圆形隧道、矩形隧道和拱形隧道（主要根据隧道断面的力学性质和空间利用率综合考虑）；特大断面（100 m2 以上）隧道、大断面（50~100 m2）隧道、中等断面（10~50 m2）隧道、和小断面（3~10 m2）隧道；单车道隧道、双车道隧道和三车道隧道；公路上的特长隧道（长度大于 3000 米）、长隧道（1000~3000 米）、中隧道（500~1000 米）和短隧道（≤500 米）。

3.1 隧道结构

（1）纵向

洞门-（明洞-）洞身-（明洞-）洞门

（2）横断面

形式 I: 围岩-(围岩加固支护体系-)初期支护-防排水体系-二次衬砌

形式 II: 围岩-(围岩加固支护体系-)初期支护-防排水体系-二次衬砌

形式 III: 围岩-(围岩加固支护体系-) (防排水体系-)二次衬砌

一般分为主体结构及其建筑物和附属结构及其建筑物两部分。

主体结构包括洞身结构和洞门结构，其中洞身结构包括毛洞、支护、衬砌和部分防排水设施；主体结构及其建筑物的作用是保持隧道具有稳定、符合要求的地下空间和一定的装饰作用。**隧道的附属结构及其建筑物，**不同规模、用途和工程地质条件的隧道有较大差异。规模较大

的公路隧道附属结构及其建筑物一般包括通风井、采光井、排水洞、集水井、避车洞、安全横洞、风机房、配电室、管理所、水泵房等，以满足通风、照明、防排水、运营管理、灾害监控和救援需要。

5. 隧道工程的重要性

克服道路交通中的自然及工程障碍

改善道路线形，提高交通运输的经济效益

克服自然及环境因素对交通运输的制约

工程造价与可持续发展之间的辨证统一

3.1 地质详查的主要内容

（1）地形地貌调查

（2）地层及岩性研究

（3）地质构造研究

（4）水文地质调查

（5）不良地质的研究

（6）地温的测定

4. 勘测设计面临的挑战（1）

在地下工程中有许多不确定因素；

项目的造价和可行性主要取决于地质情况；

地质特征的调查难度高于传统的基础工程项目；

对区域地质工作必须了解；

工程特性可能因时间、季节、加载的速率和方向等条件的不同而变化，有时是剧烈的（灾难性的）

；5. 工程地质条件的重要性

地质工作影响隧道设计和施工中的每一项重大决策，并在一定程度上影响后期运营

勘探工作越早，节约资金的可能性越大

隧道的位置和埋深选择最为主要，它直接决定与隧道有关工程地质和水文地质条件的好与坏，从而直接影响施工造价和后期运营费用

地质工作为施工条件、围岩类型和典型实例之间的对比分析提供依据。它不仅可以预测可能出现的问题，而且可以给出类似围岩相应的应对措施和围岩行为预测。

围 岩 (Wall Rock)：隧道及地下工程周围一定范围内，对洞身稳定性有影响的地质体（岩体、土体，Soils or/and Rock mass ）。

影响围岩稳定性的因素

影响隧道围岩稳定性的因素很多。大致可以分为：**地质因素和非地质因素**。

其中地质因素包括：初始应力、岩体结构、岩性、地质体的水文地质条件等；

非地质因素包括：设计、施工、支护时间和方法以及与施工有关的一些因素。

这里主要讨论影响隧道稳定性的地质因素和人为因素。

1.1.1 岩体中的初始应力

（1）岩体中的初始应力及其特征

- **初始应力**是指在岩体工程开挖之前，在岩体中就赋存着的天然应力。

岩体中的初始应力的形成是复杂的。一般认为，岩体中的初始应力是多种地质作用长期演化的产物，现今在一定地质体中所能观测到的初始应力往往是其地质应力的残留，或现代与地质历史残余应力的综合表现。

产生初始应力的原因主要有：岩体及其周围介质自重应力和构造应力两种。

较大的初始应力对隧道围岩稳定性的影响，与初始应力的侧压力系数λ 值有关，λ =σ

h/σ v 对围岩稳定性影响主要有以下几种形式：

初始应力对隧道围岩稳定性的影响

λ 很小时，岩体中的应力以垂直应力为主，如果按线弹性体考虑，在隧道的拱顶和洞底产生拉应力，边墙部位产生高的压应力。这时，对于强度较高的岩体，拱顶可能发生坍塌，需要支护。

随着λ 值的增大，隧道拱顶和洞底拉应力区逐渐减小，边墙部位产生高的压应力。对于岩体强度较大的围岩是稳定的；对于围岩强度较低者，则隧道的边墙有可能发生由于压应力过大而引起的剪切破坏，或产生向内滑动。这时，支护的重点是隧道的边墙。

当λ 值接近 1 或大于 1 时，围岩的压应力区向隧道或地下结构物的顶部围岩区转移，在边墙围岩产生拉应力区。这时，即使是强度很大的围岩，也会失稳，需要及时支护。初始地应力与岩爆

- 岩爆是指在隧道或地下工程开挖后或开挖过程中发生的一种带有爆裂声的岩层或岩体开裂，岩片或岩块沿一定方向弹射出来或坠落下来的现象。

岩爆一般发生在埋藏较深、岩体坚硬、完整、干燥的围岩中。岩爆一般在地下工程开挖之后的数小时内，但也有特殊情况。岩爆发生的部位一般在地下工程的顶部或腰部，掌子面或侧壁较少。另外，施工方法和进度、掌子面的大小，围岩主应力差值等因素，都会影响岩爆的发生。

- 岩爆必要条件
- 较大的初始地应力
- 坚硬的岩体
- 岩体中弹性（应变）能的突然释放（开挖、施工等引发）

①软弱结构面是影响隧道围岩稳定性的关键性因素

- 岩体中往往发育多组结构面，但是对隧道围岩稳定性起控制作用的结构面则一般是那些软弱结构面。这主要是由于软弱结构面本身是力学性质和岩体变形-破坏特征所决定的。

②岩体中结构面的变形-破坏特征

- 在工程技术界，比较常用的岩体结构面强度评价方法有两种：一是双直线型的 Patton 公式，二是曲线型的 Barton 公式。
- Patton 认为，具有规则齿状表面的结构面，在施加正应力后，将产生剪胀的力学效应，其主要表现为沿结构面表面的齿形滑动而产生破坏。当作用于结构面上的正应力达到一定值时，结构面的剪胀现象将逐步减弱、消失。此时，结构面出现剪断齿形的所谓切齿效应。很显然，这是由于剪断结构面表面突出物所需的能量小于沿结构面滑动（剪胀）所需能量的缘故。因此，这两条直线的斜率可以近似地认为：前者为结构面的摩擦角加上结构面沿齿形突出物向上滑动的面与水平面的夹角（爬坡角）；后者可以认为是结构面的摩擦角与齿形突出物的抗剪能力（内聚力）之和。由于剪断齿形突出物的现象，此时的抗剪强度应同时考虑具有一定的内聚力。
- Barton 认为，结构面的抗剪强度除了正应力所给予的影响外，结构面自身的粗造程度 JRC、结构面的面壁强度 JCS、结构面的基本摩擦角也将影响其强度值的大小。

地下水对围岩稳定性的影响大致有四种形式：

- 地下水压力作用在围岩上，增加围岩压力；
- 地下水的冲刷-侵蚀作用；
- 地下水对围岩的软化作用
- 地下水位的变化对围岩稳定性的影响。

围岩分类

对各种围岩条件下的开挖、支护方面的成功经验与失败教训加以总结，把实用于某种开挖方法和支护结构的围岩地质条件划归一个类或一个亚类，称为**围岩分类；**

把工程地质条件与岩体力学性质联系起来，对岩体质量进行定性或定量评价，将岩体质量定量评价结果与工程设计和施工联系起来的岩体等级或类别划分体系称为**围岩分类（级）**。

（1）隧道围岩分类的意义

- 给出各种围岩条件下的隧道或其它地下硐室的开挖、支护方法和围岩压力的重要途径之一；

使隧道隧道或其它地下硐室的设计和施工工艺标准化；实现理论与经验相结合，达到安全、经济的目的。

（2）岩分类应具有的特征

围岩分类应具有下列特征：

- **理论性：建立在相对成熟的理论的基础上，在保证安全的基础上，尽量做到精确、经济；**

可操作性或实用性：方法简明，易于应用到工程实践中，对现今设计和施工具有指导意义；

概括性：能够包括或基本上包括已有分类和工程实践经验的优秀成果；

可发展性：可以在实践中不断充实和完善,或具有前瞻性。

排它性（唯一性）

（3）隧道围岩分类的依据

现代各围岩分类，大多是按围岩的稳定性划分的。隧道围岩的稳定性与许多因素有关。实践表明，这些因素可以分为地质因素和施工因素，在同类围岩中：

隧道的跨度越大，围岩的稳定性越差；

隧道硐室的形状不同，围岩的稳定性不同；

施工方法不同，围岩的稳定性不同；

支护时间和支护形式与隧道围岩的稳定性有关。

我国公路隧道围岩分类考虑的因素主要有：**围岩主要工程地质条件**（岩石主要工程地质条件、结构特征和完整状态）和**围岩开挖后的稳定状态**。

（1）围岩主要工程地质条件中考虑了以下 6 方面内容，前三项内容分别用表格予以说明（A、B 和 C）**我国公路隧道围岩分类（2）**

- **A 岩石等级划分：**分为硬岩和软岩，主要反映岩石的单轴饱和极限强度和抗风化能力
- **B 围岩受地质构造影响的程度**
- **C 节理发育程度**
- **D 层状岩石厚度**
- **E 风化作用对围岩的影响**
- **F 遇水后围岩类别调整**

（2）开挖后的围岩稳定状态

（3）RQD

（4）岩体的地震波速度

（5）各类围岩的物理力学指标（密度、弹性抗力系数、弹性模量、泊松比、计算内摩察角等）

1. 概述（1）

1.1 路线和隧道位置选择

路线和隧道位置选择应遵循的原则主要有：

与道路线形的总体规划一致，体现隧道是道路的一部分，考虑特殊与一般的关系；
服从 “公路工程技术标准”的有关规定，充分考虑施工造价与运营费用之间的关系；
考虑自然、人文、已有工程建筑物及环境等因素对隧道工程的制约；
具体的地形、地质、水文条件对隧道规模、位置选择的制约，如越岭隧道、傍山隧道和水底隧道，重点考虑的因素不同的。

6.隧道断面设计要点

6.1 概念

衬砌内轮廓线：衬砌的内表面与隧道轴线垂直的平面的交线。

衬砌的外轮廓线：衬砌的设计外表面与隧道轴线垂直的平面的交线，也叫最小开挖线。

实际开挖线：隧道毛洞表面与隧道轴线垂直的平面的交线，也叫超挖线。

- **隧道结构构造是由主体构造物和附属构造物两大类组成。**

主体构造物是为了保持岩体的稳定和行车安全而修建的人工永久建筑物，一般指洞身衬砌和洞门构造物。

附属于隧道主体结构的其它建筑物，服务于隧道的运营管理、维修养护、给水排水、通讯、安全。

几个概念（Concepts）

洞门（tunnel portal）：为保持洞口上方及两侧路堑边坡的稳定，在隧道洞口修筑的墙型构造物。

衬砌（tunnel lining）：为防止围岩变形或坍塌，沿隧道洞身周边用水泥混凝土等材料而修筑的永久性支护结构（support structure）。临时支护结构称为隧道支撑（tunnel support）

明洞（open cut tunnel）：用明挖法修筑的隧道。

明挖法（open cut method）：先将隧道部位的岩体全部挖除，然后修筑洞身、洞门，最后回填的修筑方法。

隧道建筑限界（structural approach limit of tunnel）：在隧道洞身内应保持的道路建筑限界及设置其它设施的空间范围。

1.1 洞门

1.1.1 洞门的作用

增大隧道结构物稳定性，并具有支挡边坡功能

美观、与环境相协调

防水、排水功能

运营阳光与洞内光线的协调

1.1.2 洞门型式

端墙式—稳定围岩（如 IV 级以下）

翼墙式—围岩稳定性差的条件，或要挖路堑高边坡时，由端墙和翼墙组成。

环框式—围岩稳定性很好，洞门与衬砌一体浇注。

遮阳（光）棚式—开放、封闭两种。

台阶式

与周围建筑物一致的形式

拱式明洞

- **结构特点**

（1）整体性好，承载能力强。

（2）除对称型外，外墙承载强度大于内墙。

- **衬砌形式：整体式衬砌。**

◆ 结构材料：素混凝土、钢筋混凝土。

棚式明洞

◆ 结构特点

（1）承载能力比拱式明洞弱；

（2）内墙承载强度大于外墙。

◆ 衬砌形式：现浇、预制拼装

◆ 结构材料：钢筋混凝土

（1）按结构及组成分

- 单层衬砌

  整体式衬砌

  锚喷（锚杆＋喷射混凝土）

- 复合衬砌

  锚喷支护

  防排水设施

  二次衬砌

- 半衬

- 隧道防排水原则

隧道防排水应视水文地质条件因地制宜地采取“以排为主，防、排、截、堵相结合”的综合治理原则，达到排水通畅、防水可靠、经济合理、不留后患的目的。

⑶ 地下水的作用和影响

● 使岩质软化，强度降低，对软岩尤为明显，对土体则可促使其液化或流动；

● 有软弱结构面的围岩，会冲走充填物或使夹层液化，减少层间摩阻力促使岩块滑动；

● 在某些围岩中，如石膏、岩盐和蒙脱石为主的粘土岩中，遇水后产生膨胀，在未胶结或弱胶结的砂岩中可产生流砂和潜蚀。

1.概念

围岩压力 由前面所讲内容可知，**围岩压力**也叫岩石压力，是指围岩施加在隧道结构物或地下工程结构物上的压力，这种压力是由作用在地下结构物之上的岩石重量、残留应力和岩体或围岩变形引起的挤压力。

其中把变形岩体引起的挤压力称为**形变压力**；

由坠落、滑移、坍塌体重力产生的压力叫**松散压力**。

其中松散围岩压力大小与围岩类别成负相关关系。如深埋隧道，根据铁路隧道坍塌高度与围岩类别之间的统计关系，证实了这一点（下图）。

1.4 隧道掘进机施工特点 1 优点

安全、快速、自动化和机械化程度高、围岩扰动小 、对环境影响小的特点，体现在：

- **对围岩的扰动小，超欠挖量小，衬砌量小；**
- **降低劳动力成本和强度；**
- **在长大隧道中有较大的优越性；**
- **机械化程度高，工序连续性好，施工进度较快；**
- **辅助工程少。**

缺点

(1) 能耗大

(2) 断面单一

(3) 对岩层变化的适应性差

(4) 一次性购买 TBM 投资高

(5) 主机重量大，运输不方便，安装工作量大

(6) 短隧道不能发挥其优越性(不经济)

4.1 管片衬砌

优点：适合软弱围岩，特别是当围岩允许承载力很低，撑靴不能支撑岩面时，可利用尾部推力千斤顶，顶推已安装的管片获得推进反力；当撑靴可以支撑岩面时，双护盾掘进机可以使掘进和换步同时进行，提高了循环速度；利用管片安装机安装管片速度快、支护效果好，安全性强。

缺点：造价高。为了防水需要，块与块之间必须安装止水带，并需在管片外壁和岩壁间隙中压入豆石和注浆。为了生产预制管片，需要有管片工厂，如工地施工场地允许，最好是设在现场，以方便运输，如秦岭铁路隧道就是如此。

（1）发生坍方的主要原因

◎ 不良地质及水文地质条件

◎ 隧道设计考虑不周

◎ 施工方法和措施不当

◎ 施工组织管理不到位

处理方法

◎ 处理坍方应先加固未坍塌地段，防止继续发展

◎ 处理坍方的同时，应加强防排水工作。

◎ 坍方地段的衬砌，应视坍穴大小和地质情况予以加强。

明挖法—开挖地面至设计标高，施作支护结构，然后回填。

盖挖法—先以临时路面或结构顶板维持地面交通，然后施工。

浅埋暗挖法—浅埋隧道进行暗挖施工。**2. 明挖法施工(1)**

明挖法施工的隧道也称为明洞，其主体结构施工与地面上工程相似，以基坑开挖常见。

明挖法具有：施工作业面多、速度快、工期短、容易保证工程质量和造价低等优点。但对地表干扰和环境影响大。

（2）1.敞口放坡基坑开挖法　基坑坡面不加支护基坑

喷射混凝土和锚杆护坡基坑

2.有维护结构支撑的基坑开挖法

- **工字钢桩维护基坑**
- **钢板桩维护基坑**
- **钢筋混凝土钻孔灌注桩维护基坑**
- **人工挖孔桩维护基坑**
- **地下连续墙维护基坑**

预制钢筋混凝土连续墙—关键是固化泥浆的管理

现浇混凝土连续墙—柱列式和连续式（导墙施工）

- **土钉墙维护基坑—（土钉墙与锚杆是不同的）**

3. 盖挖法施工(1)

盖挖法的优点

- **结构施工对环境扰动小**
- **临时支撑减少**

按主体结构的施作顺序，盖挖法分为如下几种类型：

- **盖挖顺作法**

- **盖挖逆作法**
- **盖挖半逆作法**
- **盖挖法与其它方法的结合**

（2）盖挖顺作法—在路面交通不能长期中断，以定型的预制结构覆盖置于挡土结构之上维持交通，再向下开挖支护，到设计标高后，顺序建筑主体结构和防水设施。

盖挖逆作法—在路面交通不能长期中断，无定型的预制结构覆盖置于挡土结构之上维持交通，以及为防止周围地基沉降，利用中间柱和土体做模板，浇注结构覆盖物，再向下开挖支护，并修筑结构物到设计标高。

盖挖半逆作法—是盖挖顺作法与逆作法的结合，先你做法，后顺作法。

1.1 隧道照明的目的

把必要的视觉信息及时传递给司机，提高行车的安全性和舒适性。

隧道照明最终作为工程运营的一个重要组成部分，必然涉及道运营的安全性、舒适性和经济性等问题。

隧道照明的相关因素

- 首先，隧道的运营照明与照明水平有关；

也与下列因素相关：

① 设计行车速度
② 交通量
③ 道路线形
④ 运营方式（单向、双向交通）
⑤ 隧道外的亮度（环境亮度）及其变化特征
⑥ 道路与环境亮度的对比度等。

照明设计应考虑的因素

隧道附近的环境—地形、植被、气象、引线线形等；
隧道结构构造及其技术等级；
隧道内部交通形式、交通量等；
有关附属设施、运营条件或标准

几个术语

黑框效应（短隧道）/黑洞效应（长隧道）—无法辨认洞口附近的物体。
感应现象—眼睛不能分辨出亮度反差明显的同一视域内的暗物体。
亮适应（由暗到明，时间 1-3 秒）/暗适应（由明到暗，时间 10 秒）
良好的照明设计达到按眼睛适应规律布设照明设施。

（3）照度（E）

照度(E)是用来表示被照面上光的强弱的，以被照场所光通量的面积密度来表示，单位 lx（勒克斯）。

取微小面积 dA，入射的光通量为 dΦ，则照度 E 为：

$$E = d\Phi / dA$$

对于任意大小的表面积 A，若入射光通量为Φ，则在表面积 A 上的平均照度 E 为：$E = \Phi / A$。
当光源的直径小于它至被照面之间距离的 1/5 时，可以称之为点光源。

（4）亮度（L）

亮度的定义是，表面上一点在约定方向的亮度等于包含该点在内的表面上无限小面积元在该给定方向的发光强度，与该面积元在垂直于给定方向的平面上投影面积的比。发光体在视线方向单位面积上的发光强度，称之为该发光体表面的亮度。单位为 cd/m2。

3.3 影响视觉的主要因素

① 亮度

② 对象大小

③ 对象和背景的亮度对比

④ 颜色对比的影响

⑤ 环境亮度

⑥ 空气污染程度

⑦ 观察时间

4. 隧道照明的基本特点

- 汽车进入隧道时，由于存在“黑洞效应”，往往使驾驶员获得的视觉信息量急剧降低，可能导致事故发生。为此，要求提高隧道内部的照度。

照明的费用一般是很高的，这就出现了视觉信息不间断与照明经济性之间的矛盾。良好的设计是把二者有机地统一起来。

4.1 隧道照明区段与亮度曲线

4.1.1 照明区段的划分

- 根据司机视觉适应对隧道照明的要求和照明的经济性，一般将隧道照明划分为 5 个区段：接近段、入口段、过渡段、中间段和出口段。

但是对于隧道照明系统，还包括应急照明、减光设施和洞外引道照明。

（1）接近段

注视点到适应点之间的一段道路，在照明中称之为接近段，也叫引入段。我国隧道规范按一个停车视距计算接近段长度。

注视点：接近隧道时，司机的注意力集中于隧道洞口附近，开始注视之点。

适应点：到达隧道口 10m 附近，此时司机视野中的外界景物全部消失，开始适应洞内亮度，该点称之为适应点。

⑴ 失能眩光

眩光导致的识别能力的下降，是由光在眼睛里发生散射过程造成的。表示对照明设施造成的能见度损失方面的评价。

失能眩光是生理上的过程，是表示由生理眩光导致辨认能力降低的一种度量。

⑵ 不舒适眩光

眩光造成的不舒适感，目前还没有专门的测量仪器，是用眩光控制等级（G）表示所感到的不舒适程度的主观评价。表示在眩光感觉中的动态驾驶条件下，对道路照明设施的评价,心理上的过程。

（1）视见诱导性（标志）

道路视线诱导标志，是沿行车带标明道路边缘和线形的一种设施，以便昼夜诱导司机的视线，并根据需要设在某一路段上，如路面中心线、路线或两侧路面标志、道路护栏与护桩、积雪地区设置雪标杆等。

（2）视见诱导性条件

隧道内墙面也可以起诱导作用，但隧道内的诱导作用首先要求有足够的照明，使诱导标志成为可以视见的。

（完）