



第八章 隧道养护

教师：巨能攀

成都理工大学环境与土木工程学院



提纲

- 1 隧道运营阶段的养护工作
- 2 隧道档案的建立
- 3 隧道水害及整治措施
- 4 衬砌裂损及整治措施
- 5 衬砌侵蚀及整治措施
- 6 隧道冻害及整治措施



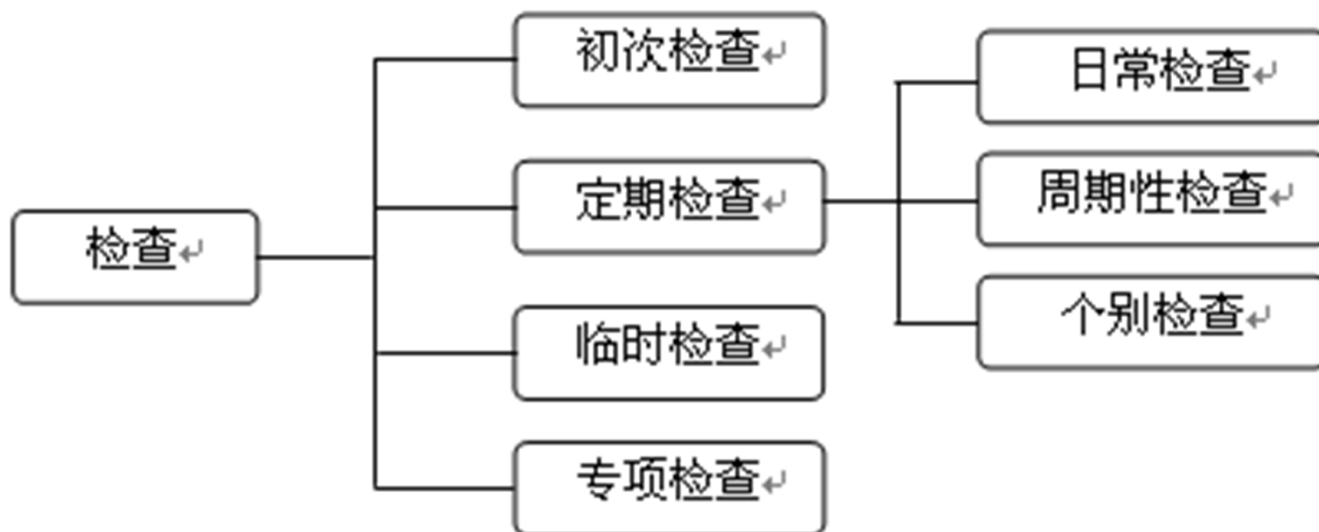


8.1 隧道运营阶段的养护工作

一、运营状态监视

二、检查以便及时发现隧道结构出现的病害

1. 隧道检查



8.1 隧道运营阶段的养护工作

2010年06月30日 星期三 15时17分29秒

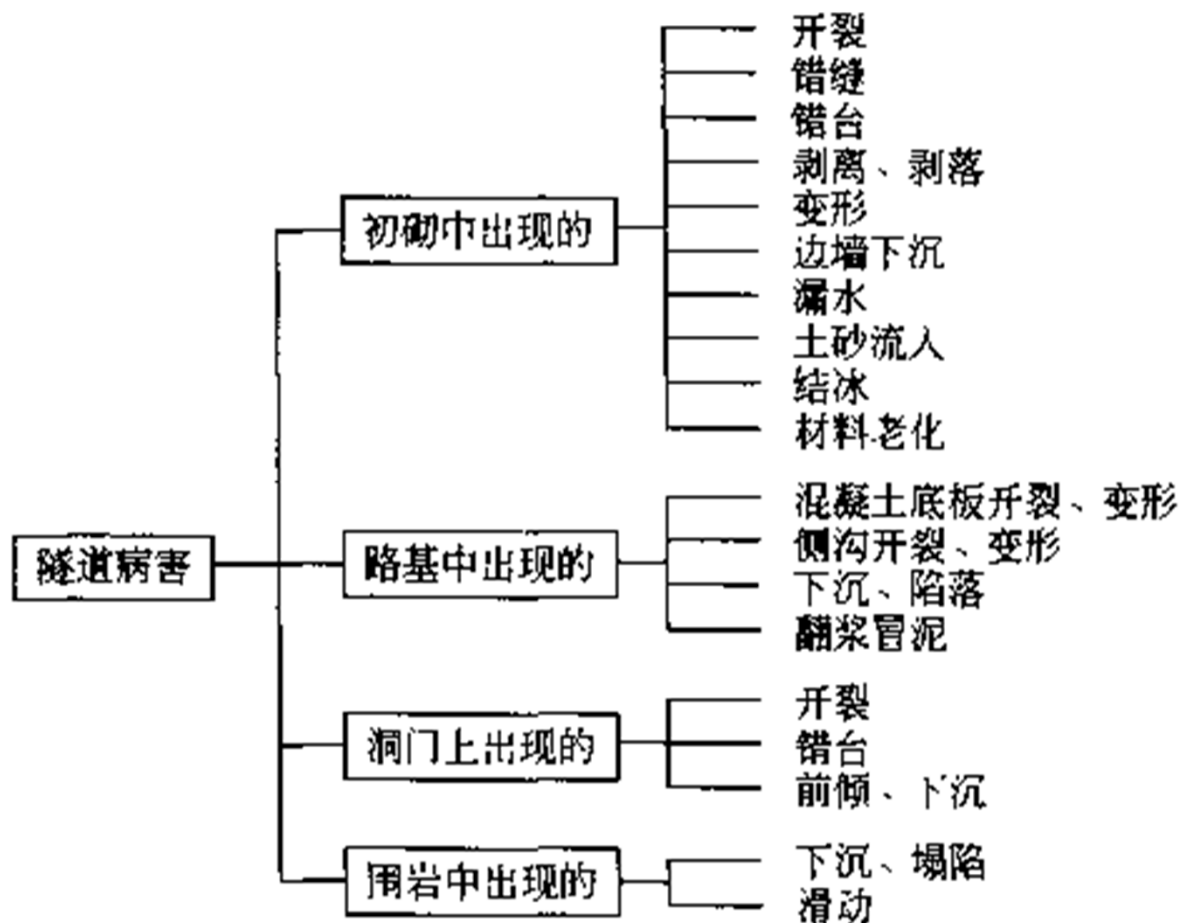




8.1 隧道运营阶段的养护工作

2. 隧道病害类型

隧道病害的类型主要有水害、冻害、衬砌裂损和衬砌侵蚀。最常见为水害，素有“十隧九漏”之说。





8.1 隧道运营阶段的养护工作

3. 检查隧道病害的方法

宜采用常规方法与无损检测技术相结合的方法

检测方法	适用性			可检测项目	检查范围	备注
	表层	内部	背后			
地质雷达	△	△	◎	衬砌背后空洞， 衬砌厚度不足	线	多测线同时进行； 检查速度 2~3km/h
红外线 温度记录法	○	△	△	衬砌背后空洞， 局部潮湿，有水裂缝等；	面	车载系统，已应用
多光谱分析	○	▼	▼	细微而干燥的裂缝	面	可移动型
超声波法	○	○	△	裂缝深度； 衬砌厚度	点	能检测出衬砌背后 有无空洞；可移动
打击声法	○	△	△	剥离、压溃、表面劣化、 内部缺陷、极端厚度不 足或背后空洞	点	厚度薄，一定场合 有效； 检查深度大场合， 要研究
弹性波法	△	○	△	裂缝；内部缺陷	点	已实用化； 可移支型

◎：表示已经广泛使用；○：表示已实用化，但仍需要改进；

△：表示目前正在试验应用；▼：表示难于应用。



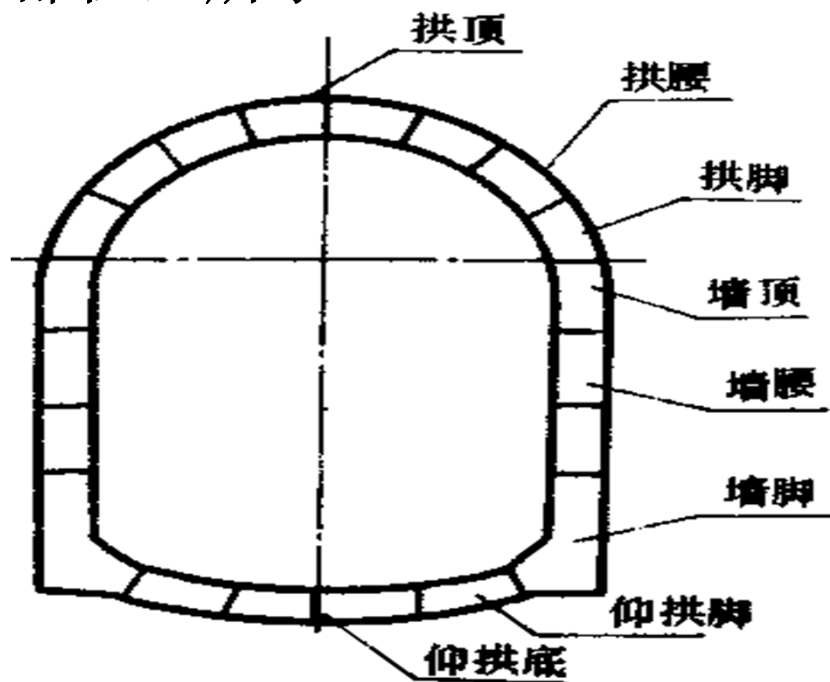


8.1 隧道运营阶段的养护工作

4. 衬砌裂损的描述

(1) 裂损部位

将衬砌划分为左右拱圈、左右边墙及仰拱五个部分，再将每个部分依其内缘周长划分四个等分，即把衬砌断面分为二十个部位，所示。



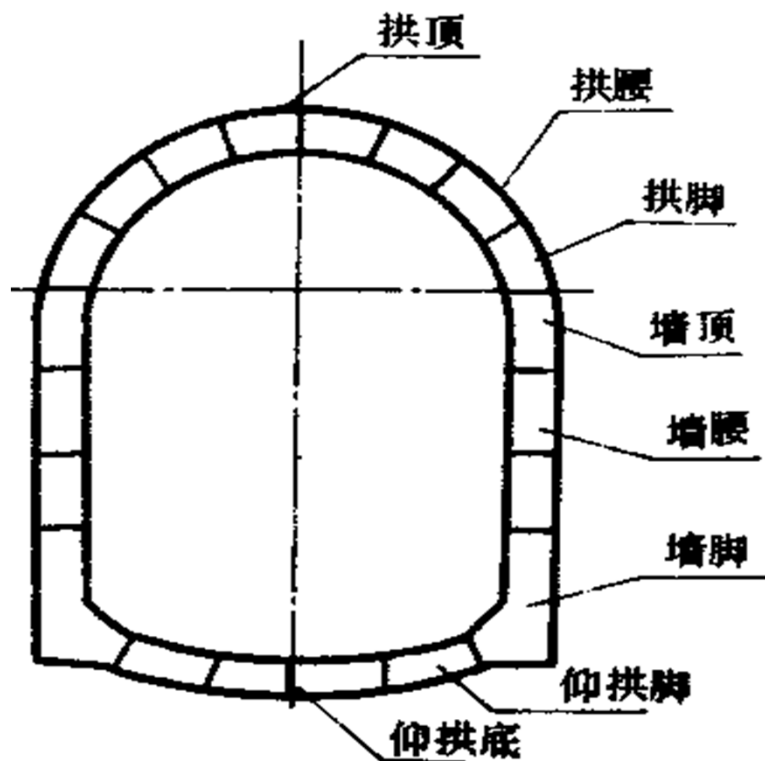
衬砌各部位的划分



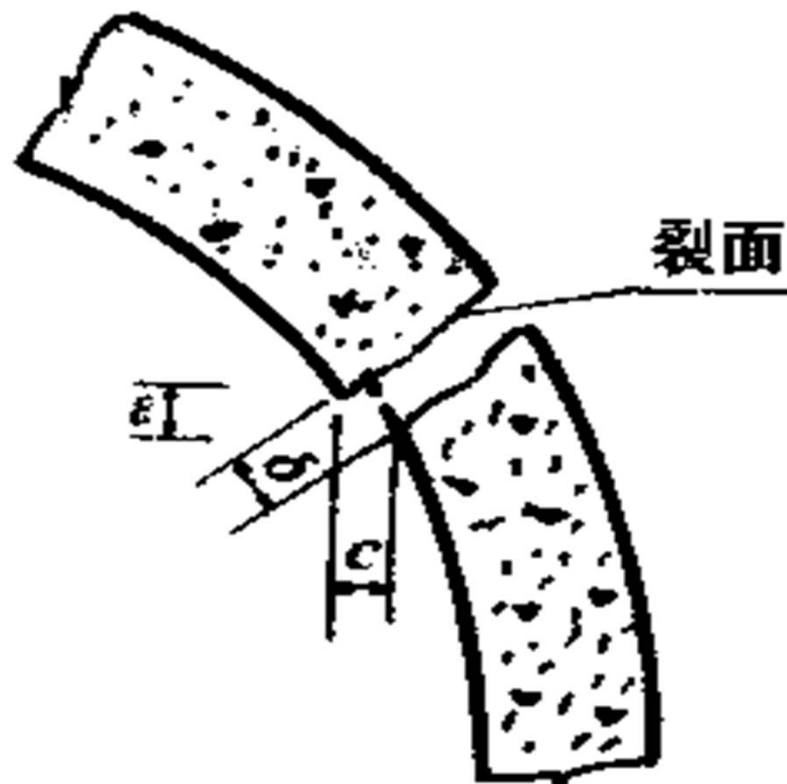


(2) 裂缝宽度 δ

δ 值是在缝口处沿垂直裂面方向量取的，如图所示。按裂缝宽度的大小可分为四个等级，即： $\delta \leq 0.3\text{mm}$ 为毛裂缝； $0.3 < \delta \leq 2.0\text{mm}$ 为小裂缝； $2.0 < \delta \leq 20\text{mm}$ 为中裂缝； $\delta > 20\text{mm}$ 为大裂缝。



衬砌各部位的划分

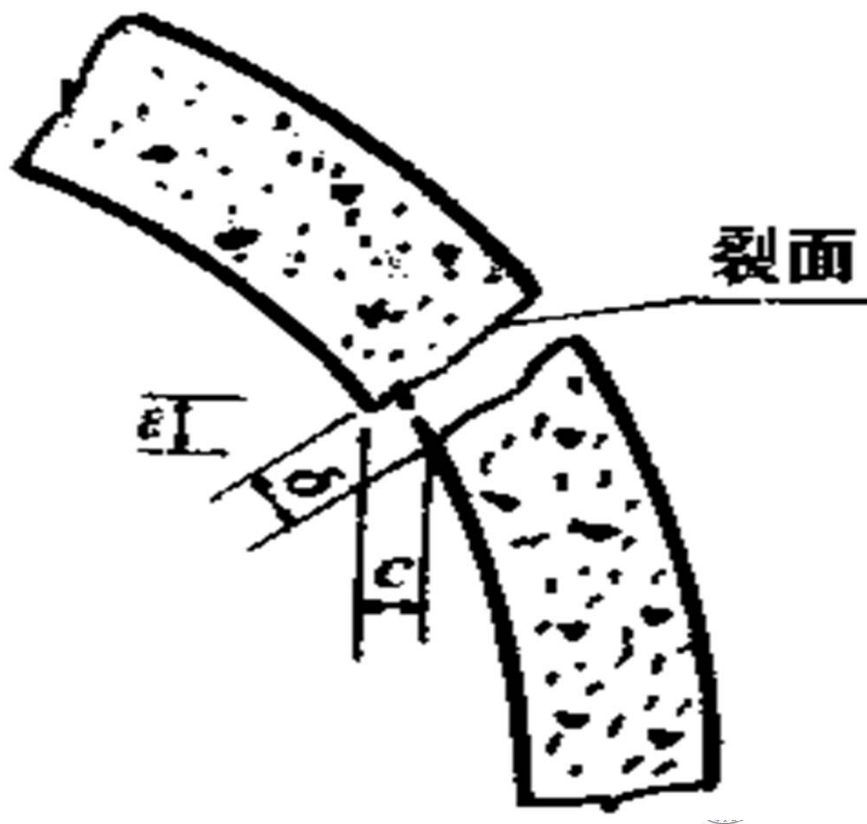




8.1 隧道运营阶段的养护工作

(3) 裂缝错距

当衬砌出现错牙状裂缝时用裂缝错距表示，沿裂缝垂直方向量取的 ϵ 值称垂直错距；沿裂缝水平方向量取的 c 值称水平错距。



衬砌裂缝的描述



8.1 隧道运营阶段的养护工作

(4) 裂缝间距

走向大致相同的两条相邻裂缝之间的距离称为裂缝间距。它被用来描述衬砌的破损程度。一般采取每一节段或每一节段中的某一部位（如左半拱、右边墙、仰拱等）为单位来分析。

(5) 裂缝密度

裂缝密度即裂缝总面积（各裂缝长度与裂缝宽度乘积的综合）与所分析的节段或节段某一部分衬砌表面积之比。用此比值的百分数来表示衬砌裂损的程度。





三、

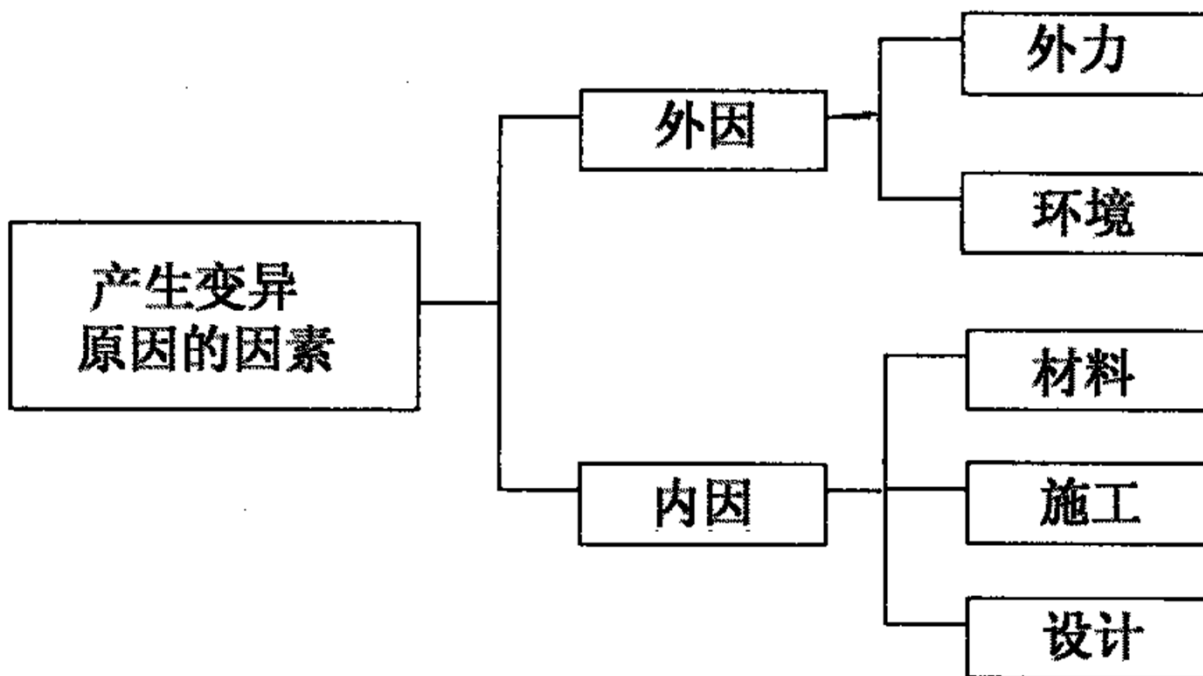
隧道病害引起的原因

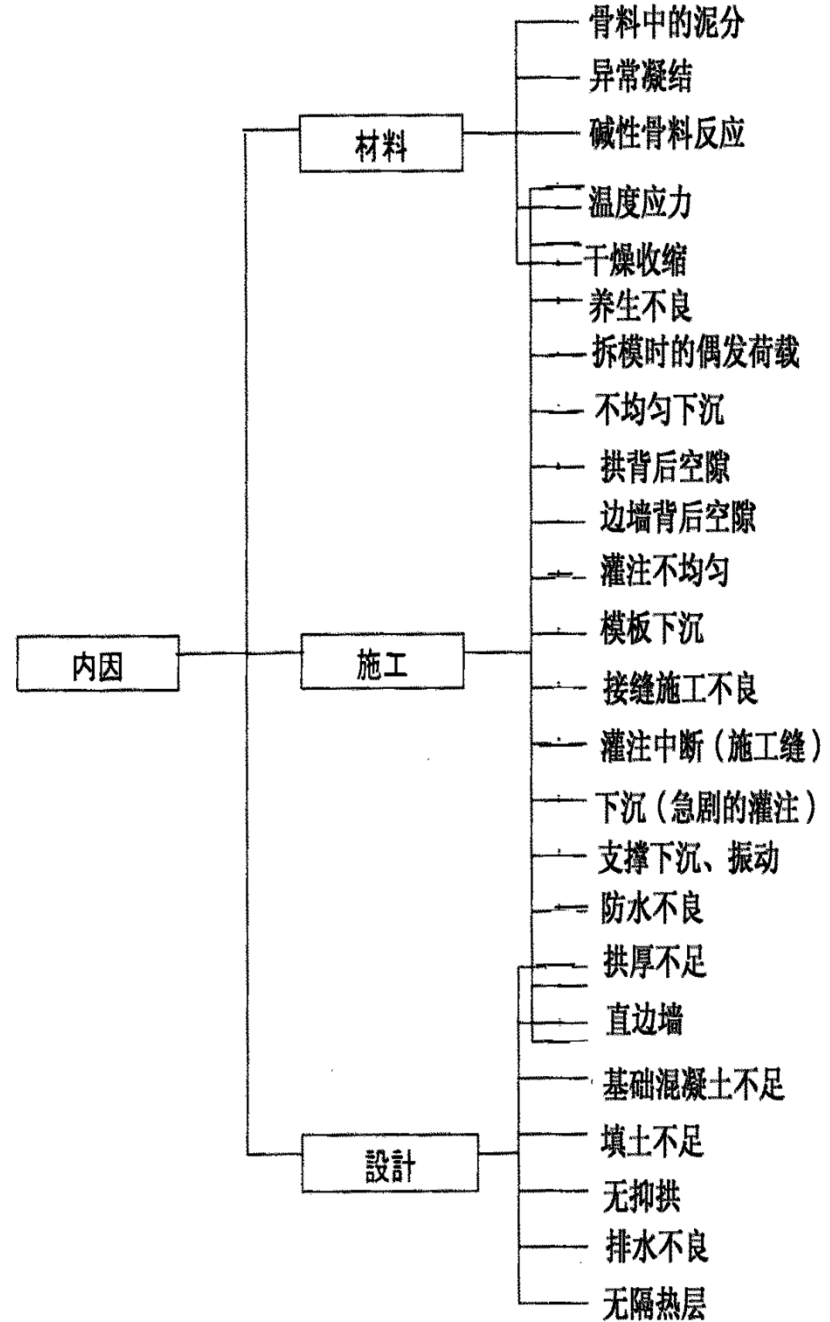
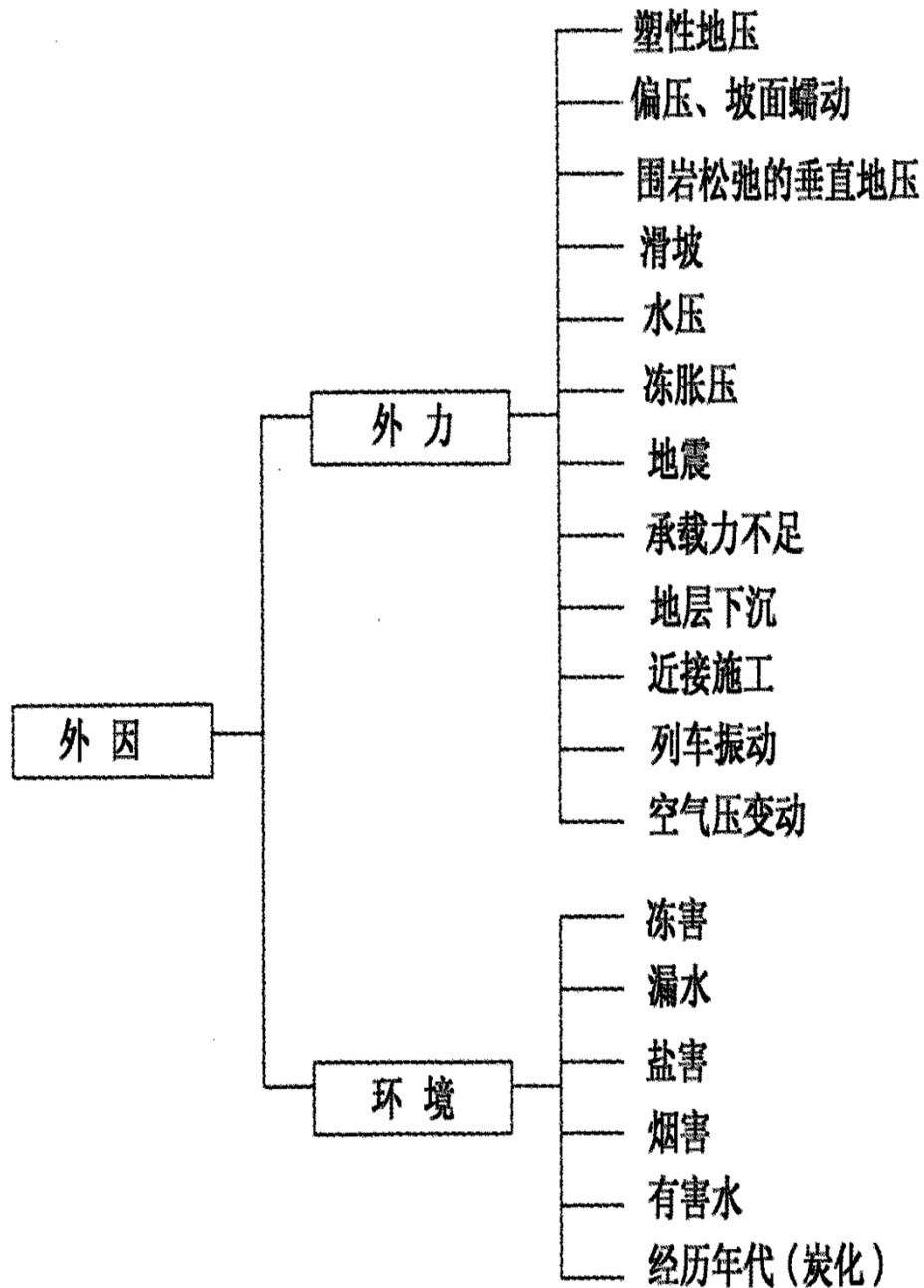
	原因	概要	备考
外力产生的变异	松弛土压	松弛土压，是围岩自然松弛，不能承受自重，而作为荷载作用在衬砌上，以垂直压力为主。因此，拱顶多沿纵向发生张开性的开裂。	
	突发性崩塌	隧道上部有比较大的空洞，空洞上部的岩块可能与围岩分离而掉落，视情况会对衬砌产生冲击。如衬砌强度不足，衬砌可能破坏，发生突然崩塌。	
	偏压·坡面	在坡面下，倾斜的片理等会产生偏压作用，是蠕变造成隧道变异的原因之一，靠山侧拱肩会产生水平张口开裂，以及错台。	
	滑坡	滑坡粘土在地下水作用下强度降低，沿滑面产生滑动，隧道发生变异，因滑坡产生的变异，与隧道和滑面的位置有关，形态也各异。	
	膨胀性土压	膨胀性土压产生的变异，在左右边墙或拱的两肩，易生产复杂的水平开裂，拱和墙的接缝处，易产生错台。	
	承载力不足	承载力不足，易产生纵向的或横向的不同下沉，前者多发生环形开裂，后者除有沿轴向的回转外，还有斜向开裂。	
其它	水压·冻结压力	水压·冻结压力，与涌水关系密切，通常侧压是主要的，在边墙和拱肩多产生水平开裂。	
	背后空洞	背后空洞不仅是围岩松弛、土压增加的原因，也阻碍了被动土压的产生，是造成衬砌强度降低的原因之一。	
	拱厚	设计厚度小时，有预计土压作用时，会造成变异。	
	无仰拱	施工时没有设置仰拱，但施工后因某种原因，土压增大，会造成无仰拱地段的变异。	
	漏水	漏水，有的是因外力产生的变异引起的，有的是因衬砌自身所引起的。	



8.1 隧道运营阶段的养护工作

引起隧道病害的原因有多种，主要可分为两类，即**内在因素**和**外在因素**。





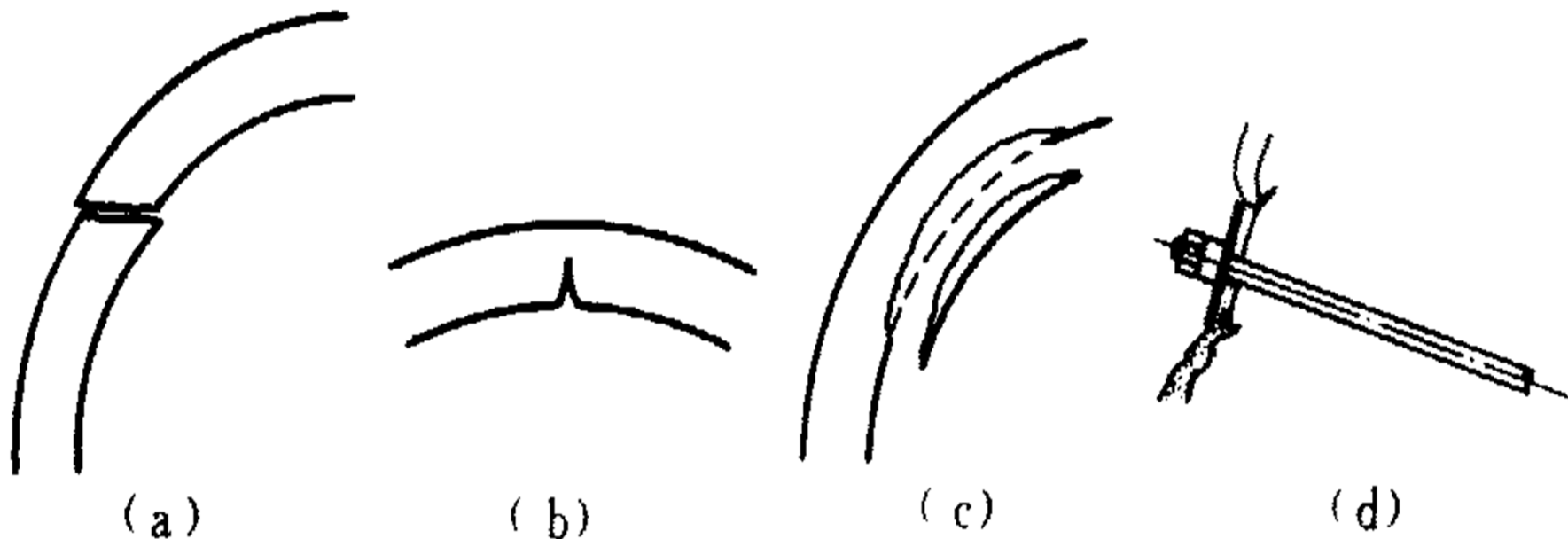


8.1 隧道运营阶段的养护工作

如图a，由于侧向压力较大时，隧道衬砌则会发生位移、裂缝、塌落、压剪破坏；

如图b，在竖向压力较大时，拱圈下沉，拱顶开裂；

如图c，当局部压力较大或有动态压力时，则会发生局部脱落；



衬砌裂损的形式



地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室(成都理工大学)
State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection



8.1 隧道运营阶段的养护工作

四、采用适当的维修及修复措施

- 建筑材料因素
- 设计因素
- 施工因素
- 地质状态
- 地下水效应





8.1 隧道运营阶段的养护工作

五、评价隧道结构的安全性及稳定性

1. 隧道结构的评价

包括对衬砌结构的刚度及变形状态、材料强度及变形性、仰拱及基底效应等进行评价。

2. 围岩状态的评价

包括对隧道衬砌与围岩的接触状态、松动区的大小及形状、作用于隧道衬砌上的压力、抗力效应、静水及附加压力、岩石的力学性能等进行评价。





8.1 隧道运营阶段的养护工作

根据隧道结构的评价和围岩状态的评价结果，进行衬砌截面的强度验算，评价隧道的安全及稳定性。

通过对旧隧道综合状态的评价，可以确定维修的必要性及相应的维修及加固方法。





8.2 隧道档案的建立

每座隧道都应建立隧道档案，特别是长大隧道的档案建立更应详细。隧道档案中应收集有该隧道的设计、施工及竣工资料，此外还包括养护与维修过程中的一些纪录资料。

一、隧道设备概况

1. 隧道概况：隧道所处线路及区间名称，隧道全长、起讫里程、开工、竣工年月，地质情况等。
2. 隧道结构的断面形状：内轮廓尺寸、衬砌材料、避车洞设置情况等。
3. 辅助坑道：记录竖井、斜井、横洞及平行导坑的位置及其它情况。





8.2 隧道档案的建立

4. 线路情况：纵坡、平面、设备、道床、轨枕、钢轨等情况。
5. 洞内排水设施：排水沟类型、长度、深度；检查井形状、间距、数量；盲沟情况、钻孔排水、泄水洞排水等情况。
6. 洞外排水设施：洞外排水沟及山上排水沟类型、长度等。
7. 路堑的起讫里程、护坡材料等。
8. 通风设备情况。
9. 电力及照明设备情况。
10. 通讯设施情况。





8.2 隧道档案的建立

二、主要病害状况卡片

主要病害状况卡片可以用列表的方式表示，如下表所示。

主要病害状况卡片 病害种类：

记录日期	病害性质	位置 自×至 ×	长度 (mm)	最大数量 ()	发生时间 ×年×月 ×日	危险程度	简要分析

在填写卡片时应注意以下几点：

1. 病害种类包括隧道水害、冻害、衬砌病害、整体道床病害、限界不足及有害气体危害等；





8.2 隧道档案的建立

2. 隧道水害中分涌水、漏水、滴水、渗水和润水；隧道冻害中分衬砌冻害、线路冻害、排水沟冻结及挂冰等；衬砌病害包括衬砌变形、裂损、侵蚀等；
3. 至少每年记录或修改一次；
4. 最大数量是指漏水量或刨冰量（t/d），以及冻胀量的最高记录；
5. 发生时间是指与季节有关的病害发生时间，如常年漏水、季节漏水或雨后几天漏水等。





8.2 隧道档案的建立

三、隧道历史概况与现状分析

1. 隧道历史概况
2. 隧道现状分析

四、图纸存档

1. 技术图纸
2. 隧道衬砌展示图
3. 隧道综合最小限界图





8.2 隧道档案的建立

五、各种检查观测记录

1. 衬砌裂缝记录。
2. 隧道洞外降雨记录。
3. 衬砌漏水记录。
4. 隧道洞内、外地下水的水源、流量及流速观测记录。
5. 其它项目观测记录（如：衬砌被腐蚀记录、冬季刨冰记录、洞内排水沟冻结记录、衬砌变形记录等）。





8.3 隧道水害及整治措施

隧道水害是指在隧道的修建或运营过程中遇到水的干扰和危害。

一、水害的种类及其危害

1. 施工中的隧道水害

施工中的隧道水害主要是指隧道围岩的地下水或部分地表水，以渗漏或涌出方式进入隧道内造成的危害。

2. 运营中水害种类及其危害

(1) 隧道漏水

隧道衬砌的漏水现象一般表现为渗、滴、淌、涌几种。





8.3 隧道水害及整治措施

以上四种漏水现象，其出露部位与水量的不同，对隧道产生不同的危害：

- 对电力牵引区段和电力配线，使电绝缘失效，发生短路、跳闸等事故，危及行车安全
- 洞内空气潮湿，影响养护人员身体健康，使洞内设备（通讯、照明、钢轨等）锈蚀
- 混凝土衬砌风化、腐蚀、剥落，造成衬砌结构破坏
- 涌水病害造成衬砌破坏，隧底积水造成道床基底被软化或掏空，使道床翻浆冒泥或下沉开裂，中断行车
- 有冻害地段的隧道漏水会造成衬砌挂冰侵限和冻融破坏





8.3 隧道水害及整治措施

(2) 衬砌周围积水

主要是指运营隧道中地表水或地下水向隧道周围渗流汇集。如果不能迅速排走而引起的病害有：

- 水压较大时会导致衬砌破裂
- 使原完好的围岩及围岩的结构面软弱夹层因浸水而软化或泥化，失去承载力，对衬砌压力增大而导致衬砌破裂
- 使膨胀性围岩体积膨胀，导致衬砌破坏
- 在寒冷地区发生冰胀和围岩冻胀，快速导致衬砌破坏





8.3 隧道水害及整治措施

(3) 潜流冲刷

主要是指由于地下水渗流和流动而产生的冲刷和溶蚀作用

其危害有：

- 衬砌基础下沉，边墙开裂或者仰拱、整体道床下沉开裂
- 围岩滑移错动导致衬砌变形开裂
- 对超挖回填不密实或未全部回填者，引起围岩坍塌，导致衬砌破坏
- 侵蚀性水对衬砌的侵蚀





8.3 隧道水害及整治措施

二、水害产生的原因

1. 勘测与设计

在防水设计之前，设计人员对工程地质和水文地质情况就了解得不够仔细，对衬砌周围地下水源、水量、流向及水质情况掌握不准等因素导致了隧道的防排水设计很难在隧道的使用期内完全满足防排水的要求。

2. 施工

施工不当也可产生水害，施工单位一味追求施工速度，忽视二次衬砌质量，对排水设施不按施工规范要求操作等，使地下水丰富地区的隧道造成严重的渗漏水。





8.3 隧道水害及整治措施

3. 材料

如果所选用的防水材料达不到国家质量标准，会导致隧道的渗漏水病害。

4. 监理

监理工程师应对防水材料的选择和使用，铺设基层的处理，铺设工艺等进行跟踪检查，确保防水质量。





8.3 隧道水害及整治措施

5. 验收

工程竣工后，从衬砌表面往往看不出什么问题，管理单位缺乏检验手段，有时又接近运营期限，往往对交验前的渗水情况，缺乏进一步查验，只好按竣工报告及施工总结，勉强验收，导致运营后渗漏水逐渐严重。

6. 匹配

防水技术的匹配就是指防水设计、防水材料 and 防水施工工艺与防水工程相适应的问题。





8.3 隧道水害及整治措施

一、水害的整治措施

隧道水害要进行综合整治，要设计、施工、运营三个阶段配合治理。

隧道治水的具体措施就是“**防、排、截、堵结合，因地制宜，综合治理**”，使之既能自成体系，又能互相配合，形成一个完整的隧道治水体系。

（一）排水设施

1. 施工排水

- （1）上坡进洞的排水方式
- （2）下坡进洞施工的排水方式

2. 运营隧道的排水

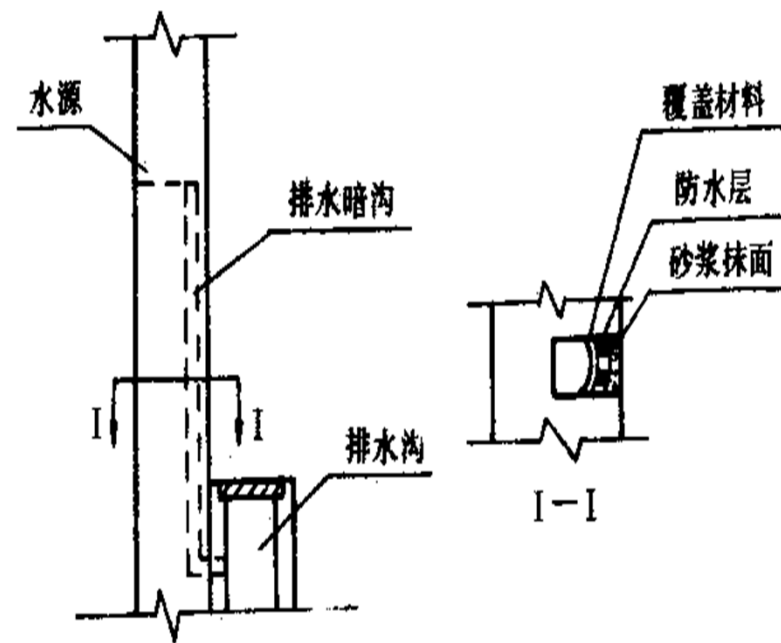
- （1）在衬砌外面设置排水设施





8.3 隧道水害及整治措施

- ① 岩石暗槽
- ② 盲沟
- ③ 围岩排水钻孔
- ④ 纵向排水沟
- ⑤ 横向排水沟



(2) 在衬砌内面设置排水设施

引水暗槽

- ① 引水管
- ② 泄水孔
- ③ 引水暗槽





8.3 隧道水害及整治措施

3. 衬砌自防水

衬砌自防水是以衬砌结构本身的混凝土密实性实现防水功能的一种防水方法，造价低，工序简单，施工方便。

4. 外贴防水层

对新建隧道、运营隧道更换衬砌和其它一些适合的条件下，施作外贴防水层，并结合洞内排水设施，使之相辅相成，结合良好，是能够防治水害的。





8.3 隧道水害及整治措施

5. 内贴防水层

内贴防水层不用凿开衬砌，比外贴防水层施工简便，成本低，可随时检修，因此在运营隧道养护维修中，是整治水害最常用的方法之一。

- (1) 喷浆防水层
- (2) 喷射混凝土防水层
- (3) 砂浆抹面防水层
- (4) 喷涂乳化沥青乳胶防水层





8.3 隧道水害及整治措施

6. 压注法

压注法就是用压力把某些能固化的浆液注入隧道围岩及衬砌混凝土的裂缝或孔隙，以改善其物理力学性能，达到防渗、堵漏和加固的目的。

- (1) 对新建隧道和改建隧道，进行围岩预注浆加固防水
- (2) 既有线隧道，当隧道围岩破碎、节理发育、地下水丰富时，也可进行注浆防水

7. 施工缝、变形缝防水

对新建或更换衬砌的隧道，变形缝、施工缝的防水可随混凝土灌注同时施工，采用的主要材料有：止水带，遇水膨胀橡胶，各种密封材料





8.3 隧道水害及整治措施

(二) 衬砌漏水的封堵

所谓堵漏材料就是一种能在几十秒或数分钟即开始初凝的材料。堵漏材料品种繁多，常用的有：

(1) 无机高效防水粉

(2) 水泥类堵漏材料

(三) 截水设施

1. 地表截水

地表截水就是在地表截断流向隧道围岩的水





8.3 隧道水害及整治措施

2. 地下截水

当隧道衬砌周围地下水有明显集中的来水通路，导致地下水流量很大，可采取地下截水设施截断水源

泄水洞

钻孔截水

拦截暗河

防渗帷幕截水

总之，隧道的水害治理是一个完整的治水系统，要排、堵、截相结合，不能只强调其中一方面。只有防、排、截、堵互相配合，相辅相成，共同发挥作用，才有可能根治水害





8.4 衬砌裂损及整治措施

一、衬砌裂损的类型

(一) 衬砌变形

衬砌变形有横向变形和纵向变形两种，其中横向变形是主要变形。衬砌横向变形是指衬砌由于受力原因而引起拱轴形状的改变。

(二) 衬砌移动


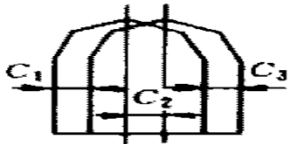
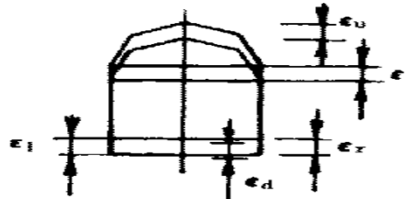

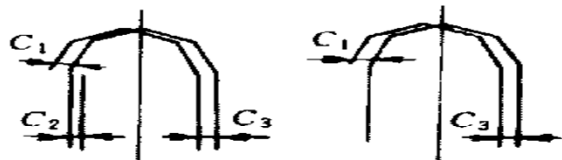
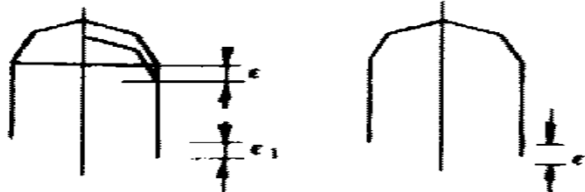
衬砌移动是指衬砌的整体或其中一部分出现转动（倾斜）、平移和下沉（或上抬）等变化，也有纵向与横向移动之分，其基本形态如表8-4和表8-5所示。



移动种类	移动形态示意	移动特征
节段转动		<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道纵轴发生 α 角; 2. 节段竖接缝出现 V 形或 Λ 形 (上、下宽度不等)
节段平移		<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道纵轴不发生转动; 2. 节段竖接缝变宽, 但上下变化量相等; 3. C_1 与 C_1-1 可能不等
节段下沉 (或节段上抬)		<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道纵轴不发生转动; 2. 节段竖接缝未必改变; 3. $\epsilon_u \neq \epsilon_d$ 时, 说明隧道有变形

表8-4 隧道衬砌纵向移动的基本形态



移动种类		移动形态示意	移动特征
整体移动	转动		<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道竖轴产生移动; 2. 转动中心可能出现在不定的高度; 3. 移动方向视围岩岩体的变形和移动情形而定
	平移		<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道竖轴产生平移; 2. $C_1 = C_2 = C_3$, 否则 C_1 或 C_3 既有变形又有平移同时存在; 3. C_2 在不同高度应相等, 否则 C 应同时含有转动影响
	下沉或上抬		<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道横轴产生垂直位移; 2. $\epsilon_l = \epsilon_r = \epsilon_u = \epsilon_d = \epsilon$, 否则除 ϵ 外, 均含有转动和衬砌变形影响; 3. ϵ 沿横轴处处相等, 否则隧道同时发生转动
局部移动	转动		<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道竖轴没动, 仅衬砌一部分 (半侧拱墙) 发生转动; 2. β 指不包括拱轴变形的影响 (如边墙的倾斜角); 3. 既可能一侧发生, 也可能两侧发生
	平移		<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道竖向无转动; 2. 或拱部发生平移, 或墙体单独平移, 或者两者兼有; 3. C_1、C_2、C_3 各值都未必相等
	下沉或上抬		<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道横轴没动, 仅衬砌一部分 (半侧拱墙) 发生垂直位移; 2. $\epsilon_1 = \epsilon$ 时说明墙身有变形或裂缝存在



8.4 衬砌裂损及整治措施

(三) 衬砌开裂

衬砌开裂是指衬砌表面出现裂纹（或龟裂）和裂缝（宽度较大）或贯通衬砌全部厚度的裂纹的总称，是衬砌变形的结果。衬砌开裂包括有张裂、压溃和错台三种。





8.4 衬砌裂损及整治措施

1. 张裂

弯曲受拉和偏心受拉引起的裂损，其特征是裂纹、裂面与应力方向正交，缝宽由表及里逐渐变窄。如图8-7所示。

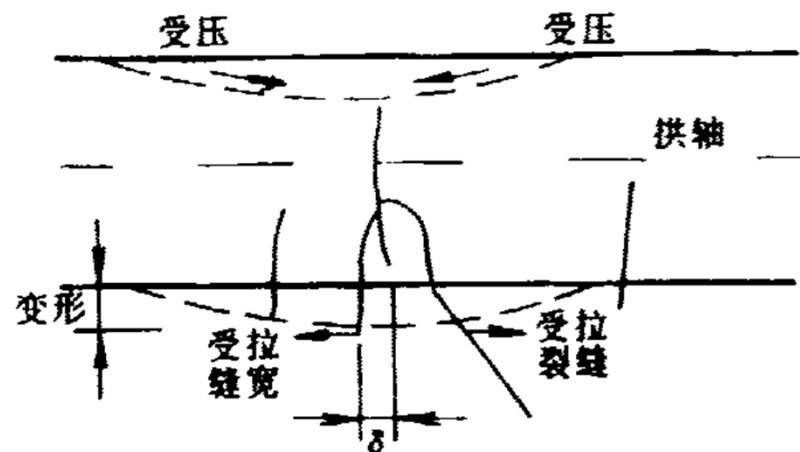


图8-7

2. 压溃

弯曲或偏心受压引起的衬砌裂损。裂纹边缘呈压碎状，严重时受压区表面产生鱼鳞状碎片（中间厚，四周薄）剥落掉块等现象，如图8-8所示。

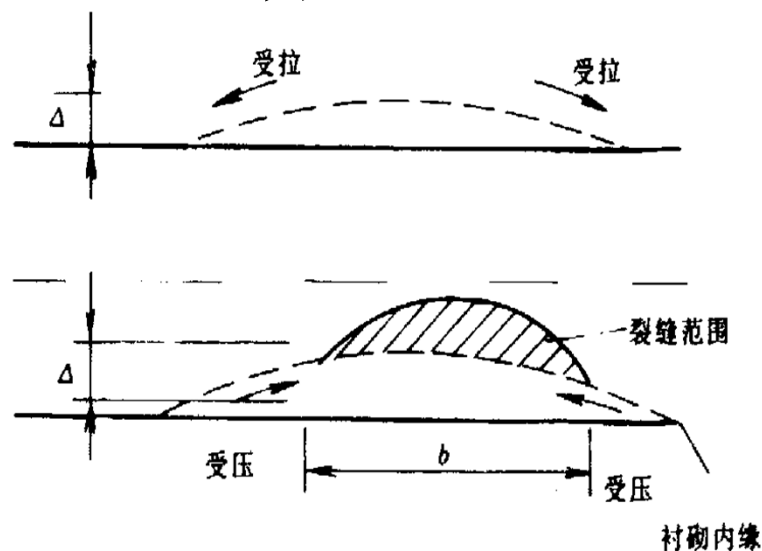


图8-8





8.4 衬砌裂损及整治措施

3. 错台

由剪切力引起的裂缝，裂缝宽度在表面至深处大致相同，衬砌在裂缝两侧沿剪切方向有错动，即形成错台，如图8-9所示。

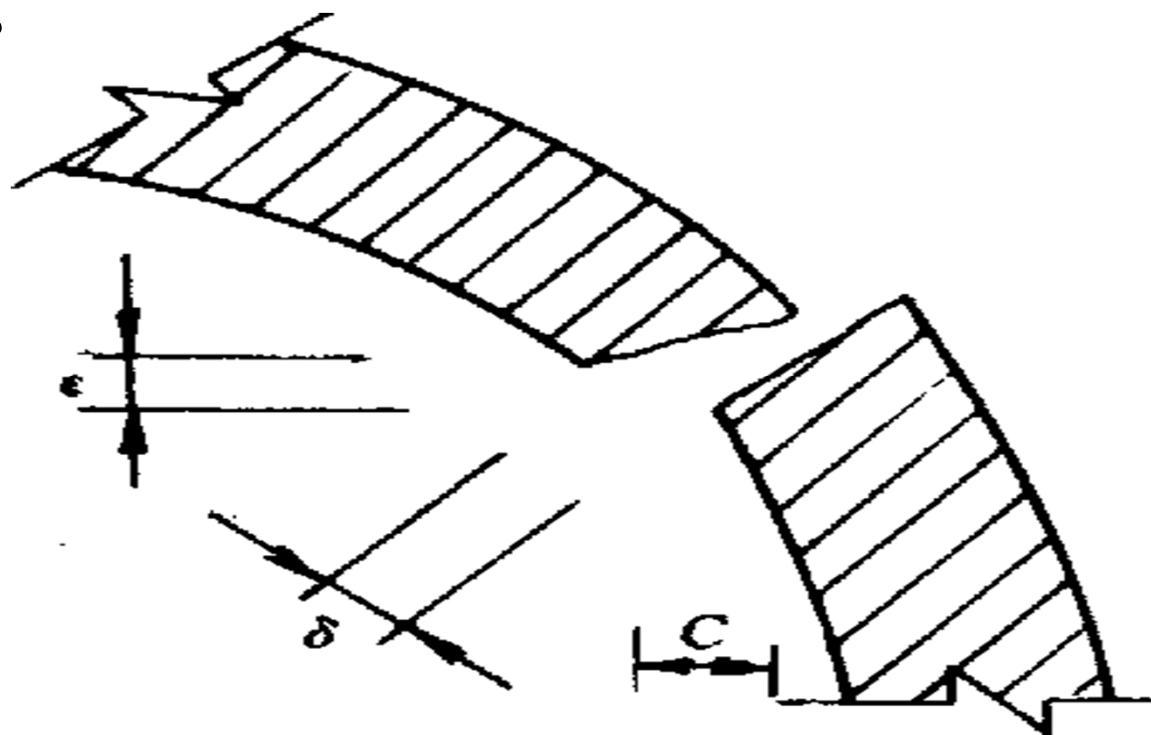


图8-9





8.4 衬砌裂损及整治措施

二、衬砌裂损的特点

1. 裂损的自然发展过程

衬砌结构受力（轻微变形、移动）→局部出现少量裂纹（变形范围，变形量增大；移动部位，移动量增大）→裂纹宽度、密度增大，隧道净空变小（严重变形，移动显著增大）→隧道净空严重缩小、衬砌破碎、失去承载能力→局部掉块、失稳、甚至拱坍墙倒。

2. 裂损发展的主要规律

衬砌的裂损发展一般有缓慢变化，急剧变化，相对稳定等三个不同的阶段，往往是交替呈周期性地出现。





8.4 衬砌裂损及整治措施

3. 裂损的分布特点

了解和掌握衬砌裂损的分布特点，就能及早发现病害，及时采取对策。衬砌裂损的分布一般有以下特点。

(1) 按纵向节段分布：

- ①洞口与洞口段，特别是斜交洞门有偏压或边、仰坡不稳固的洞口段。
- ②设有大型洞室的节段或各种洞室的接头处。
- ③洞身穿过断层、构造破碎带、接触变质带、滑坡带等山体压力大且岩体不稳定的节段。





8.4 衬砌裂损及整治措施

- ④洞身穿过软弱围岩的节段。
- ⑤偏压隧道没有采用加强衬砌或偏压衬砌的节段。
- ⑥寒冷地区围岩有冻胀现象的节段。
- ⑦衬砌实际厚度不足或圻工强度过低的节段。
- ⑧施工中超挖过大没有回填或回填不密实及施工中发生大塌方的节段。
- ⑨施工中已经发生裂损的节段。





8.4 衬砌裂损及整治措施

(2) 按横断面分布:

- ①洞口附近及傍山隧道靠山侧裂损多，靠河侧少。靠山侧以拱腰、墙腰内缘张裂多，靠河侧墙顶压劈或墙脚张裂较多。
- ②衬砌断面对称，实际荷载分布不对称的变形、移动和裂损的部位也不对称。
- ③衬砌的变形、移动和裂损多沿施工期间出现过的裂缝和施工缝发展。
- ④衬砌背后存在没有回填或回填不密实处则该部位易出现较大的移动和外鼓。





8.4 衬砌裂损及整治措施

- ⑤衬砌背后临时支撑未能全部拆除的，在支撑部位会出现较大的集中荷载，此处衬砌内缘易出现张裂和错台。
- ⑥采用三心圆尖拱衬砌的隧道，易在拱腰墙腰产生内鼓开裂拱顶内缘压碎。
- ⑦由于各种原因（如坍方、拱架下沉、施工困难等）造成衬砌厚度不足，则此处衬砌容易发生变形和裂损。





8.4 衬砌裂损及整治措施

三、衬砌裂损的整治措施

(一) 衬砌裂损的整治原则

整治衬砌裂损病害首先要消灭已有的衬砌裂损带来的对结构及运营的一切危害，并防止再加大裂损。其次是采取以稳固围岩为主，稳固围岩与加固衬砌相结合的综合治理措施。

(二) 稳固岩体的工程措施

1. 治水稳固岩体

地下水的浸泡与活动对各种围岩的稳定性削弱最大。通过疏干围岩含水，坚决地采取治水措施是稳固岩体的根本措施之一。





8.4 衬砌裂损及整治措施

2. 锚杆加固岩体

对较好的岩体（小于V级），自衬砌内侧向围岩内打入一定数量和深度（3~5m）的金属锚杆、砂浆锚杆，可以把不稳定的岩块固定在稳定的岩体上，提高破碎围岩的黏结力。

3. 注浆加固岩体

通过向破碎松动的岩体压入水泥浆液和其它化学浆液（如铬木素、聚氨酯等），加固围岩。

4. 支挡加固岩体

对靠山、沿河偏压隧道或滑坡地带，除治水稳固山体外，尚可采用支挡措施，包括设支挡墙、锚固沉井、锚固钻（挖）孔桩等来预防山体失稳与滑坡，这种工程措施只能用于洞外整治。





8.4 衬砌裂损及整治措施

5. 回填与换填

如果衬砌外周围存在着各种大小空隙（如超挖而没有回填等），要采取回填措施，用砂浆或混凝土将围岩空隙回填密实。如果隧底存在厚度不大的软弱不稳定的岩体或有不稳定的充填物，可以采取换填办法处理。

（三）衬砌更换与加固

1. 压浆加固

（1）圻工体内压浆加固

衬砌裂损发展非常缓慢或者已呈稳定，可以进行圻工体内压浆，一般以压环氧树脂浆为主，并选择无水季节施工。





(2) 衬砌背后压浆加固

主要是针对衬砌的外鼓和整体侧移。在拱后压浆增加拱的约束可以起到提高衬砌刚度和稳定性的作用，所以一般可以局部应用，主要在发生外鼓变形的部位。

2. 嵌补加固

对已呈稳定暂不发展的裂缝，如果不能采取压浆加固者可以采取嵌补，即将裂缝修凿剔深，在缝口处用水泥砂浆、环氧树脂砂浆或环氧树脂混凝土进行嵌补。如图8-10所示。

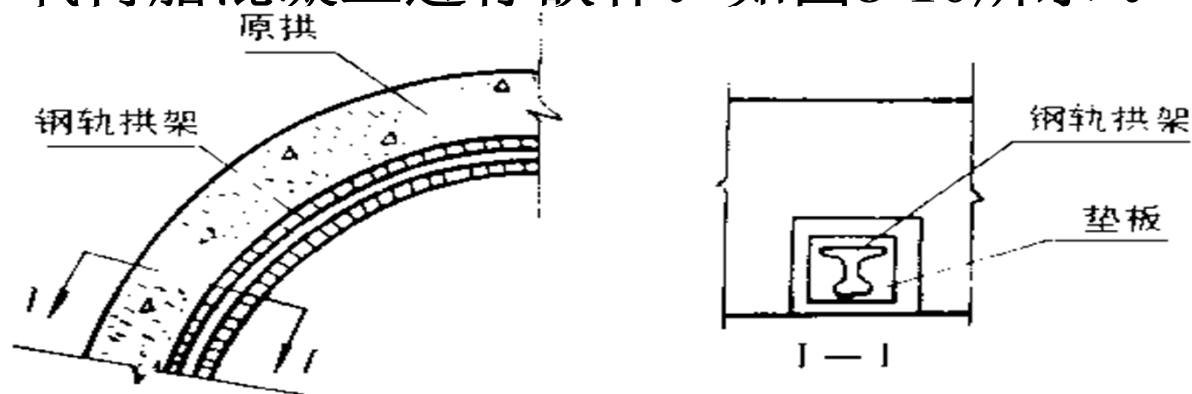


图8-7 嵌补加固





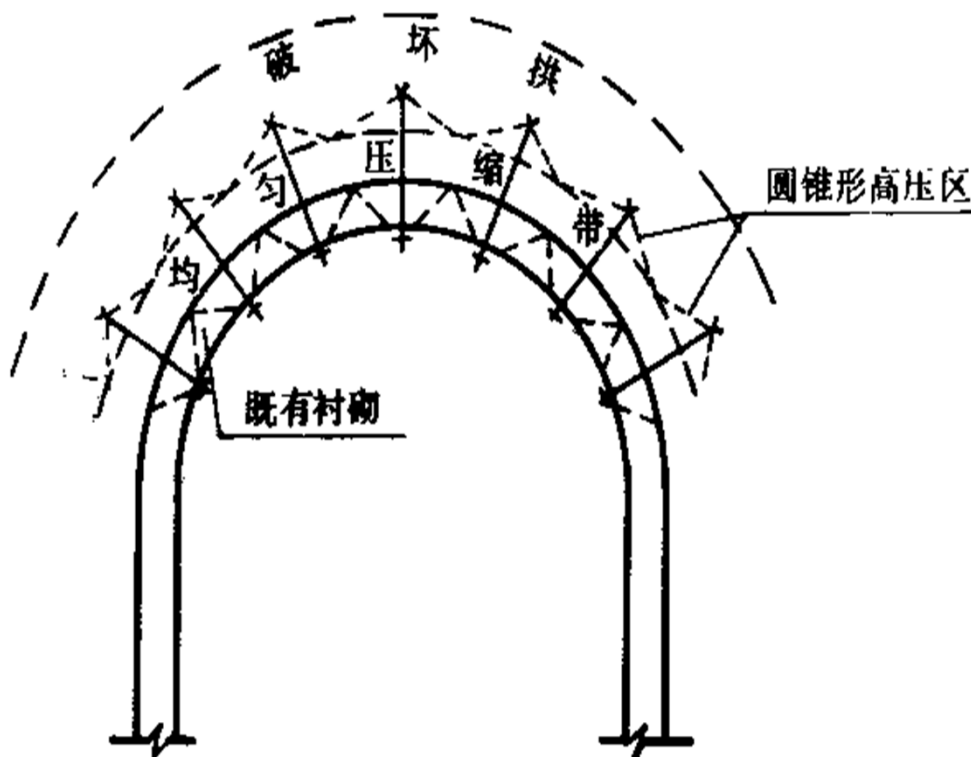
8.4 衬砌裂损及整治措施

3. 喷锚加固

裂损衬砌的所有内鼓变形和向内移动的裂损部位，采用（预应力）锚杆加固岩体（如图8-8所示），可将衬砌与岩体嵌固在一起，形成一个均匀压缩带，以增强围岩的稳定性。

右图

锚喷加固





8.4 衬砌裂损及整治措施

4. 套拱加固

如果混凝土质量差，厚度不够，或受机车煤烟侵蚀，掉块剥落严重，并且拱顶净空有富余时，可对衬砌拱部加筑套拱（如图8-9所示）或全断面加筑套拱（如图8-10所示）

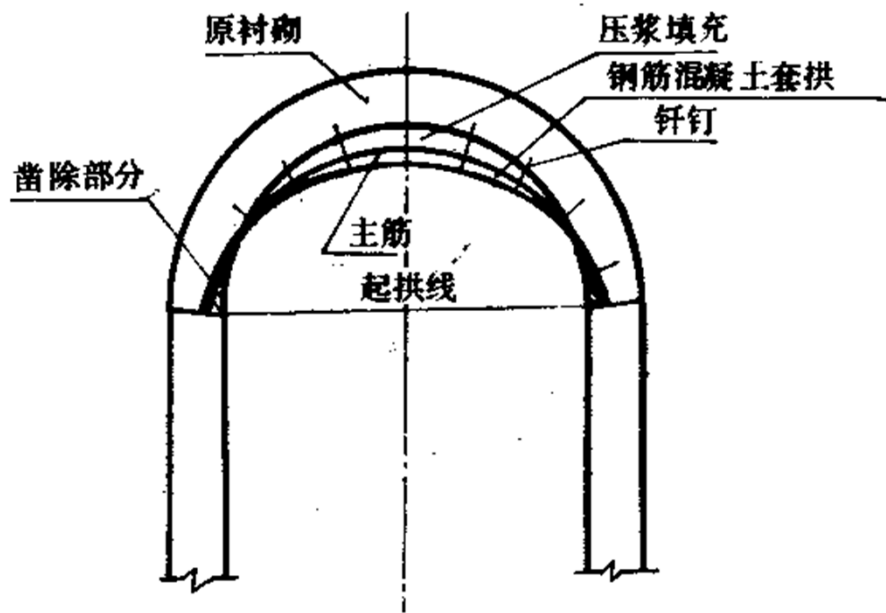


图8-9拱部套拱加固

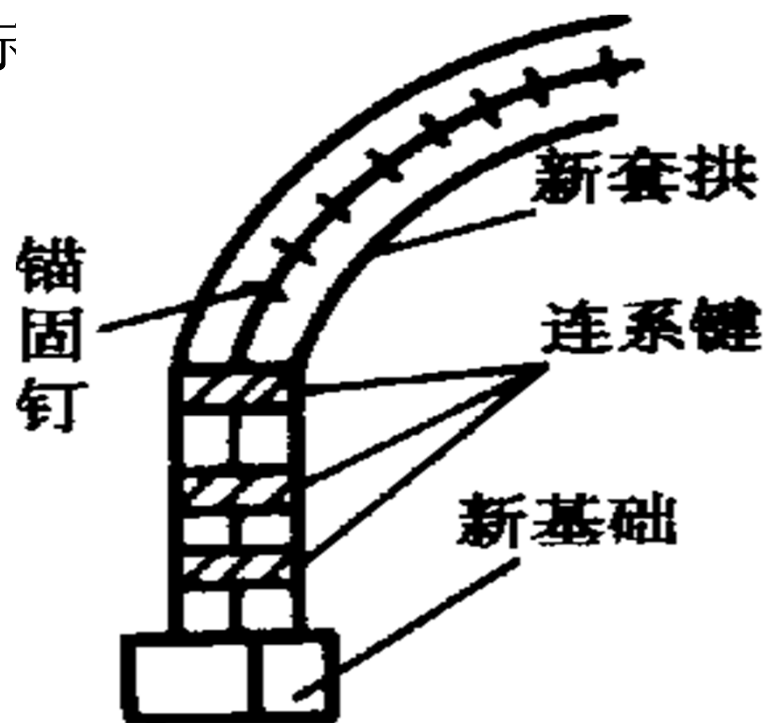


图8-10全断面套拱加固



8.4 衬砌裂损及整治措施

5. 更换衬砌

拱部衬砌破坏严重，已丧失承载能力，用其它整治补强手段难以保证结构稳定，或者衬砌严重侵入限界，采用其它整治措施有困难时，采用全拱更换，彻底根除病害。





8.4 衬砌裂损及整治措施

6. 其它加固手段

当仅有墙脚内移而不下沉和隧底岩土隆起时，可在墙基处增设混凝土支撑以扩大基础，如图8-11所示。隧底围岩软弱下沉或隧底填充上鼓时，可加设仰拱，如图8-12所示。

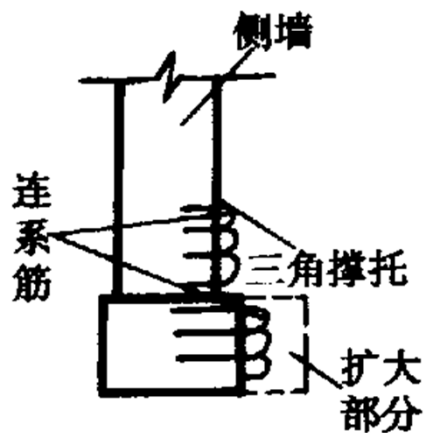


图8-11 墙基混凝土支撑加固

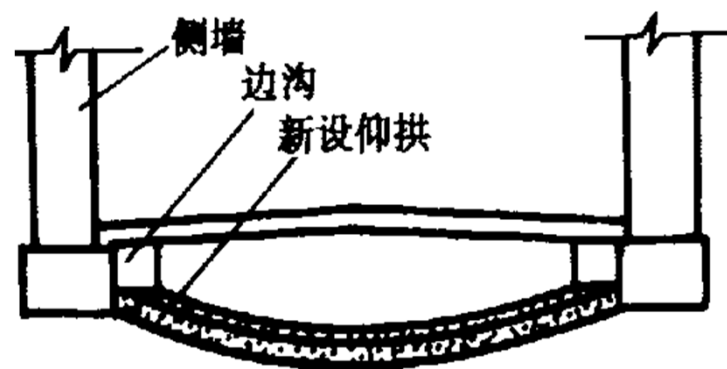


图8-12 增设仰拱加固





8.5 衬砌侵蚀及整治措施

一、衬砌侵蚀的种类及危害

1. 水蚀

主要指衬砌受到地下水的作用而产生的腐蚀。一般发生在隧道的拱部、边墙、仰拱、排水沟和电缆槽等各部位。

2. 烟蚀

主要是指在蒸汽机车牵引的区段，其产生的“烟雾”对衬砌混凝土产生的侵蚀，分为化学性侵蚀和机械性侵蚀。





8.5 衬砌侵蚀及整治措施

3. 冻蚀

冻蚀是指在严寒地区的隧道，混凝土衬砌由于冻融交替产生的侵蚀。

4. 骨料溶胀

骨料溶胀指衬砌混凝土中的粗、细骨料中含有遇水溶解和膨胀的材料而造成的对衬砌的侵蚀。





8.5 衬砌侵蚀及整治措施

混凝土侵蚀的整治措施

(一) 防侵蚀原则

在各类侵蚀病害中，除了烟的机械侵蚀外，水是主要的致害媒介，因此，防蚀必先治水。环境水对混凝土和水泥砂浆的侵蚀作用主要可归纳为三种：溶出性侵蚀（即非结晶性侵蚀）、结晶性侵蚀和复合性侵蚀（溶出性和结晶性两种侵蚀同时作用或交替作用）。

(二) 防侵蚀的方法

1. 采用抗侵蚀混凝土

(1) 抗侵蚀水泥材料的选择

(2) 采用外加剂





8.5 衬砌侵蚀及整治措施

2. 采用防蚀层

- (1) 防蚀层铺设面的确定
- (2) 制作防蚀层
- (3) 伸缩缝、变形缝防蚀
- (4) 已腐蚀衬砌的加固与翻修





8.6 隧道冻害及整治措施

一、冻害的种类及其危害

1. 冰柱、冰溜子

渗漏的地下水通过混凝土裂缝逐渐渗出，在渗出点出口处受低温影响积成冰柱，尤其在施工接缝处渗水点多，结晶明显，累积十至几十厘米厚的冰溜子（又称为挂冰）。如不清理，冰溜子越积越大，侵入限界，危及行车安全。

拱部渗漏逐渐形成冰柱子（冰葫芦），一般地区仅仅是影响限界。

隧道排水沟槽设施，保温不良引起冰冻称冰塞子。水沟地下排水困难，因结冰堵塞，使水沟（管或槽）冻裂破损，地下水不易排走，衬砌周边因水结冰而冻胀，致使隧道内各种冻害接踵而来。





8.6 隧道冻害及整治措施

2. 衬砌发生冰楔

隧道砌筑在围岩良好地段，一旦衬砌壁后有空隙，渗透岩层的地下水，在排水不通畅时水就积在衬砌与壁后围岩间，结冰冻胀产生冰冻压力，传递给衬砌。

3. 围岩冻胀破坏

- (1) 隧道拱部衬砌发生变形与开裂
- (2) 隧道边墙变形严重
- (3) 隧道内线路冻害
- (4) 衬砌材料冻融破坏
- (5) 隧底冻胀和融沉





8.6 隧道冻害及整治措施

二、冻害的成因

1. 寒冷气温的作用

隧道冻害与所在的地区气温（低于 0°C 或正负交替）直接相关。

2. 季节冻结圈的形成

沿衬砌周围各最大冻结深度连成一个圈叫做季节冻结圈。隧道的排水设备如埋在冻结圈内，冬季易发生冰塞。在冻结圈范围内的岩土，由于受强烈频繁的冻融破坏，风化破碎程度与日俱增，也是冻害成因之一。

3. 围岩的岩性对冻胀的影响

4. 隧道设计和施工的影响





8.6 隧道冻害及整治措施

三、冻害的整治措施

(一) 综合治水

(二) 更换土壤

(三) 保温防冻

(1) 在隧道内加筑保温层

(2) 降低水的冰点

(3) 供热防冻

(四) 防止融塌





8.6 隧道冻害及整治措施

(五) 结构加强

- (1) 加大侧向拱度，使拱轴线能更好地抵抗侧向冻胀。
- (2) 拱部衬砌厚度增加，一般加厚10cm左右。
- (3) 提高衬砌混凝土标号或采用钢筋混凝土。
- (4) 隧底增设混凝土支撑。





谢谢!



地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室(成都理工大学)
CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection