

隧道工程病害防治图集

方利成等 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书针对目前隧道及地下工程常见的渗漏病害形式——水害、冻害、衬砌裂损、衬砌侵蚀等，分别介绍了病害现象和危害程度，分析了各种病害的产生、发展原因，提出了隧道病害的防治措施，并根据不同病害分别提供了相应的防治结构图，同时列举了大量施工实践中实际使用的病害防治结构图例简明方便、直观实用。

本书可供从事隧道及地下工程的科研、设计、施工的技术人员使用和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

隧道工程病害防治图集/方利成等编. —北京: 中国电力出版社, 2000
ISBN 7-5083-0448-9

. 隧 方 隧道病害-防治-图集
. U457-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 53027 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000 年 月第一版 2000 年 月北京第一次印刷

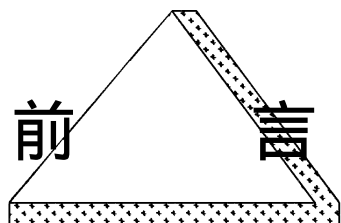
850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 5 印张 130 千字

印数 00001 - 00000 册 定价 0.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

序

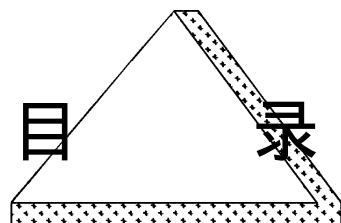


隧道及地下工程的渗漏水问题是当今工程中常见的突出的质量通病，我国铁路、公路、水底隧道和地下铁道以及各类人防工事都存在不同程度的渗漏病害。例如，我国现有铁路隧道 5000 多座，约 2500km，据国际隧道工程协会资料统计，其数量和长度均居世界领先地位，但在建成隧道中有 1000 多座不同程度存在渗漏水问题，约占建成隧道的三分之一。建成的隧道长期渗漏水不仅影响正常使用，而且严重地危及行车安全；新建隧道因漏水处理不当，影响施工质量和进度，从而导致企业信誉受损的情况时有发生。因此，隧道渗漏水是一个亟待解决的问题。

目前，国内外对整治漏水也有了不少的处理方法，但全面反映整治漏水成果的资料还没有。本书针对目前隧道工程常见的几种漏水病害形式——水害、冻害、衬砌裂损、衬砌侵蚀等，分别介绍了病害现象和危害程度，分析了各种病害的产生、发展原因，提出了隧道病害的防治措施，并根据不同病害分别提供了相应的防治结构图，同时，还列举了大量施工实践中实际使用的病害防治结构图例。这些结构图无疑将为建成及在建隧道防治病害提供一个较全面、直观的具体应用资料，可以供广大从事隧道及地下工程技术人员借鉴和参考。随着施工技术的不断发展和工程实例的增加，隧道的病害防治结构图将得到进一步的充实和完善。

作者

2000 年 8 月



前言

第一章 水害的种类及危害

第一节	概述	1
第二节	水害种类、成因及危害	2
第三节	衬砌侵蚀的种类及危害	5
第四节	冻害的种类及其成因	6

第二章 衬砌裂损病害分析

第一节	衬砌裂损类型	10
第二节	衬砌裂损的描述	14
第三节	衬砌裂损观测方法	16
第四节	衬砌裂损的特点	18
第五节	衬砌裂损分析	20

第三章 隧道病害防治

第一节	水害的防治	24
第二节	衬砌裂损的防治	35
第三节	混凝土侵蚀的防治	38
第四节	冻害的防治	45
第五节	建筑防水材料	47

第四章 隧道病害防治结构图

第一节	水害防治结构图	54
第二节	衬砌裂损防治结构图	82
第三节	冻害防治结构图	85
第四节	无衬砌隧道病害防治结构图	90
第五节	洞口病害防治结构图	91
第六节	整体道床病害防治结构图	94
第七节	防排水工程实例结构图	96
附录一	防水材料简介	132
附录二	注浆机具设备	146

水害的 种类及危害

第一节 概 述

作为运输主力军的铁路，随着国家经济的快速发展，也得到很大发展。到目前为止，我国已建成约 5000 座铁路隧道，总延长近 2500km，长度居世界领先地位，但隧道病害发生较多。据隧道病害调查的资料表明，我国铁路隧道大部分存在着不同程度的病害。

隧道病害的类型主要有水害、冻害、衬砌裂损和衬砌侵蚀。隧道病害发生较多的地段，从地质情况看，一般是断层破碎带，风化变质岩地带、裂隙发育的岩体、岩溶地层、软弱围岩地层等；从地形情况看，多发生在斜坡、滑坡构造地带、岩堆崩塌地带等。隧道内各种病害一般不是单独存在的，而是互相影响、互相作用的。其中最常见的病害形式是水害，调查中发现隧道养护人员中流传着“十隧九漏”这种说法，这正反映了水害发生的频繁。隧道水害不仅增加隧道内湿度，造成电路短路等事故，危及运输安全，而且还引发其他病害。隧道由于渗漏水、积水，将会造成衬砌开裂或使原有裂缝发展变大，加重衬砌裂损；当地下水有侵蚀性时，会使衬砌混凝土产生侵蚀，并随着渗漏水的不断发展，使混凝土侵蚀日益严重。在寒冷地区，水是影响隧道围岩冻胀的重要因素，衬砌水害严重，必然导致冻害严重。衬砌裂损病害主要表现为衬砌的变形、开裂和错台，而衬砌一旦开裂，将会给地下水打开一条外渗的通道，引发隧道严重水害，进而就会产生衬砌混凝土的侵蚀，在寒冷地区产生冻害等。寒冷地区的铁

路隧道如果围岩含地下水，就会产生隧道冻害。冻害的循环发生，使衬砌混凝土再产生开裂、变形，导致衬砌承载力降低，同时在春、夏季，冻害部位开始解冻，此时被冻结的冰融化成水，水就会“寻找”通路，致使衬砌产生渗漏水。在含有侵蚀性地下水的围岩中，地下水的侵蚀将造成衬砌混凝土的疏松、剥落，产生衬砌裂损承载力降低，总之，隧道内各种病害并不是单独作用的，而是几种情况共同作用，对衬砌结构产生连环破坏，致使衬砌混凝土开裂、变形，产生剥落、掉块等，使衬砌的有效厚度减薄，承载力降低，安全可靠性和减小，随着病害的持续发展，最终导致衬砌结构失稳破坏。

铁路隧道病害严重影响着运输的安全，制约了铁路运输的快速发展。为了整治各类病害，铁路部门每年都要耗费大量的人力、物力、财力，但是对于病害的整治分析我国还处于相对落后的地位。例如对于已发生病害的隧道，其承载力如何、是否需要加固，尚没有统一标准，广大的养护、维修人员总是从经验推断病害隧道的可靠性，从而进行维修加固。

针对以上问题，本书根据国内外维修、养护的经验，分别介绍隧道水害、冻害、衬砌裂损、衬砌侵蚀等病害的现象及其对衬砌结构及运输安全的影响，收集了常用、可行的病害整治措施和施工方法。

第二节 水害种类、成因及危害

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。水害是隧道中常见的一种病害，调查资料表明，大部分的隧道存在不同程度的水害。水害不仅本身对隧道结构产生危害，降低衬砌结构的可靠性，导致衬砌失稳破坏，而且还会引发其它病害，对隧道整体结构的稳定影响很大。

(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。

施工中隧道渗、漏水，造成洞内空气潮湿不仅影响施工人员的身体健康，而且使施工机械、设备产生锈蚀、腐烂，使绝缘设施失效，造成电路短路、跳闸甚至漏电事故，危及人身、设备安全。当变为突水或涌水时，就危及到施工人员的生命安全，损坏施工机械，造成塌方，斜、竖井被淹没，中断施工，造成重大的经济损失。如大瑶山隧道就因突水致使班古坳竖井被淹没，使其基本上未能发挥竖井作用。

2 运营中水害种类及其危害

(1) 隧道漏水和涌水。在运营隧道中围岩的地下水和地表水直接和间接地以渗漏方式或涌出的形式进入隧道内造成的危害。它受漏水、涌水规模以及隧道结构、牵引类型、地质条件等的影响，其产生的危害主要有：

- 1) 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；
- 2) 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；
- 3) 混凝土衬砌风化、腐蚀、剥落，造成衬砌结构破坏；
- 4) 涌水病害造成衬砌破坏，道床翻浆冒泥，中断行车。

(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：

- 1) 水压较大时会导致衬砌破裂；
- 2) 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；
- 3) 使膨胀性围岩体积膨胀，导致衬砌破坏；
- 4) 在寒冷地区发生冰胀和围岩冻胀，快速导致衬砌破坏。

(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：

- 1) 衬砌基础下沉，边墙开裂或者仰拱、整体道床下沉开裂；
- 2) 围岩滑移错动导致衬砌变形开裂；

3) 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；

(4) 侵蚀性水对衬砌的侵蚀。

(二) 水害产生的原因

水害产生的原因很多，归纳起来可分为以下几种：

1. 勘测与设计

设计人员在设计时往往只重视建筑和结构上的要求，而忽视了防排水的设计要求；在防水设计之前，对其工程地质及水文地质情况了解得不够仔细，对衬砌周围地下水源、水量、流向及水质勘察不全；有时还缺乏反映防水材料性能的室内试验数据，对结构抗渗、抗腐蚀未作具体要求。

2 施工

施工中的许多隧道和地下工程由于其光面爆破效果不佳，喷射混凝土面难以吻合；加上防水板接缝采用电烙铁，焊缝不均匀、不牢固，使防水板很容易产生空鼓开裂；局部超挖过量，回填不好不实，这样使塑料防水板的防水效能无法发挥。有的施工单位一味追求施工速度，忽视二次衬砌质量，造成混凝土内部空隙、衬砌表面粗糙不光滑。另外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。

3 材料

目前国内许多生产防水材料的厂家由于其设备陈旧，原材料选择不严，工艺落后，而致使产品质量较差，达不到国家质量标准，如果选用这样的防水材料也是导致隧道渗漏水的原因之一。

4 监理

隧道及地下工程的施工监理是近几年来才开始的，目前缺乏防水施工工艺等方面的监理规程。以前只是施工单位把关，由于防水概预算定额较低，对防水材料的选择和使用过问较少，所以，要做到确保速度及地下工程的防水质量，施工监理不可忽视。

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，往往对交验前渗水情况，缺少进一步查验，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、防水材料和防水施工工艺与防水工程相适应的问题。从工程实例来看，不少工程渗漏水是由于防水材料与基面粘结不良或不适应造成的，因而搞好防水技术的匹配近年来引起了人们的广泛关注。

防水施工方法不外乎喷射、涂刷、抹压、注浆、粘贴等等，防水材料可分为沥青、橡胶、塑料、水泥及聚合物等，不论采用何种施工工艺和何种材料，都有与建筑物基面的接触问题。所以从这一角度考虑，防水效果的关键是防水层与基面的粘结和适应问题。

第三节 衬砌侵蚀的种类及危害

隧道内金属构件的锈蚀、混凝土衬砌的侵蚀破坏，都属于腐蚀病害。

一般混凝土具有较好的耐久性、耐腐蚀性和较高的强度。但是，一旦由于地下水的侵入，衬砌受到侵蚀介质经常作用，就会出现起毛、酥松、蜂窝麻面、起鼓剥落、孔洞露石、骨料分离等材质破坏，导致材料强度降低，衬砌厚度变薄，渗、漏水严重，降低其使用寿命。隧道内混凝土衬砌的腐蚀按其种类不同，可分为水蚀、烟蚀、冻蚀及骨料溶胀等。

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。

(1) 溶出型侵蚀。主要是指水泥石中的生成物被水分解溶失

造成的侵蚀，表现为外观尚完善，常有白色沉淀物，内呈多孔状，强度降低。

(2) 硫酸盐侵蚀。主要是指环境水中含有硫酸根离子对混凝土的侵蚀。

(3) 镁盐和氯化物的侵蚀。

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。

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（参见第四节）。

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。

第四节 冻害的种类及其成因

隧道冻害会导致衬砌冻胀开裂，以至疏松剥落，造成隧道衬砌结构的失稳破坏，降低衬砌结构的安全可靠性，严重影响铁路运输的安全和正常运行。同时由于我国幅员辽阔，冻土地区分布广泛（其中多年冻土占整个陆地面积的 $1/5$ ），在现有的六万多公里铁路 5000 多座铁路隧道中，有相当一部分处于冻土分布地区。随着铁路自身发展的要求，在寒冷地区（西北地区）修建铁路隧道已是不可避免，隧道冻害问题会随之增多。

（一）冻害的种类

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，结冰明显，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。在电气化牵引区段，冰柱子下垂，挂在接触网高压电线上造成短路、坠断电线造成放电、跳闸，严重时危及人身安全。

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。

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。经缓慢发展，常年积累冰冻压力像楔子似的，使衬砌发生破碎、断裂、掉块等现象。

3 围岩冻胀破坏

隧道修筑在不良地质地段的围岩（ 、 类及破碎花岗岩、砂岩）地段，如果围岩层面及结构内含水多时，冬季就易发生冻胀破坏，主要有：

(1) 隧道拱部衬砌发生变形与开裂。拱部受冻害影响时，拱顶下沉内层开裂，衬砌开裂严重时尚有错牙发生，拱脚变形移动。冻融时又有回复（留有残余裂缝），多次循环危及结构安全。

(2) 隧道边墙变形严重。边墙壁后排水不畅，积水成冰，产生冻胀压力，造成拱脚不动，墙顶内移，有的是墙顶不动墙中发生内鼓现象，也有墙顶内移致使断裂多段。

(3) 隧道内线路冻害。线路结构下部无排水设施，在地下水丰富地区，水在冬季就冻结，道床隆起。在水沟之处因保温不好，与线路一样有冻结，这样水沟全长也会高低不平。由于冻融使线路和道床翻浆冒泥、水沟断裂破坏。水沟破坏后排水困难，渗入线路又加大了线路冻害范围。

(4) 衬砌材料冻融破坏。隧道混凝土设计标号较低，抗渗性

差，在地下水丰富地区，水就渗入混凝土内部。到冬季水在混凝土结构内冻结，膨胀产生冻胀压力，经年冻融循环使结构变酥、强度降低，造成冻融破坏。洞口段冻融变化大，衬砌除结构内因含水受冻害外，岩体冻胀压力传递等破坏，促使衬砌发生纵向裂纹和环向裂纹。

(5) 隧底冻胀和融沉。对多年冻土隧道，隧底季节融化层内围岩若有冻胀性，而底部没有排水设备，每年必出现冻胀融沉交替，无铺底的线路很难维持正常状态；有时铺底和仰拱也发生隆起或下沉开裂。

(二) 冻害的成因

1. 寒冷气温的作用

隧道冻害与所在地区气温（低于 0 或正负交替）有直接关系。由于气温的变化使得隧道产生冻害。

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。当衬砌周围超挖尺寸大小不等，超挖回填用料不当及回填密实不够产生积水，形成冻结圈。

在严寒冬季，较长的隧道，两端各有一段长度能形成冻结圈，叫做季节冻结段。中部的一段，多年不会形成季节冻结圈，叫做不冻结段。隧道两端冻结段长度不一定相等。同一座隧道内季节冻结段的长度恒小于洞内季节负温段的长度。

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

在隧道的季节冻结圈内如果是非冻胀土，是不会发生冻胀性病害的。冻结圈内冻土的分布情况就决定了发生冻害的部位。如果隧道围岩全是冻胀性土且均匀分布，则发生冻胀时沿衬砌外围对称均匀分布；如果是冻胀性土与非冻胀性土成层状分布，就可能出现冻胀部位不对称和非均匀分布。

4 隧道设计和施工的影响

隧道在设计和施工时，对防冻问题没有考虑或考虑不周，造成衬砌防水能力不足、洞内排水设施埋深不够、治水措施不当，加上施工单位未按施工规范认真施工等，都会造成和加重运营阶段隧道的冻害。

衬砌裂损病害 分析

在我国现在运营的铁路隧道中，部分隧道病害调查表明，70%的隧道要发生衬砌裂损病害（占整个隧道病害的40%左右）。隧道衬砌裂损造成的危害较多，如衬砌结构失稳破坏，净空变小而侵限等。

总之，衬砌发生裂损后，将使隧道结构的稳定性造成不同程度的破坏，使衬砌结构的安全可靠性降低，造成危及铁路行车安全的大问题。

第一节 衬砌裂损类型

隧道衬砌裂损的类型主要有衬砌变形、衬砌移动、衬砌开裂三种。

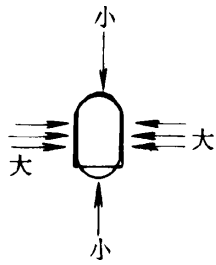
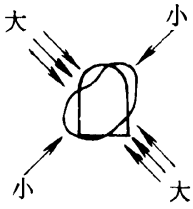
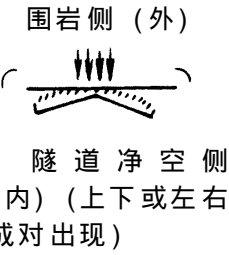
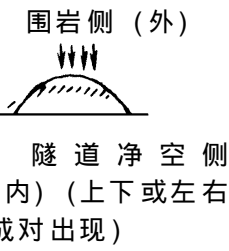
(一) 衬砌变形

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而引起拱轴形状的改变，基本形态如表 2-1 所示。

表 2-1 隧道衬砌横向变形的基本形态

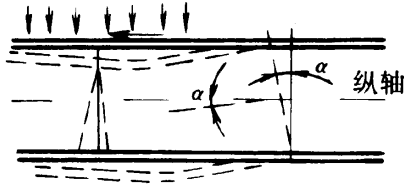
变形种类		变形形态示意		变形特征
		对称变形	非对称变形	
整体 变形	竖向 压扁			<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道内轮廓高度减小，宽度增大； 2. 非对称形也可称为斜向偏压； 3. 也可能出现部位对称，变形大小不等的情形

变形种类		变形形态示意		变形特征
		对称变形	非对称变形	
整体变形	横向压扁			<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道内轮廓高度增大, 宽度减小; 2. 非对称形也可称为斜向偏压; 3. 也可能出现部位对称, 变形大小不等的情形
	局部变形	<p>拱顶下弯、仰拱上拱、边墙内鼓</p> 	<p>只发生在一侧, 如左墙腰, 或左拱腰出现, 右墙腰, 右拱腰没出现等。如左、右或上、下相对变形范围相同, 但变形大小不相等。这属于变形部位对称, 变形区不等</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道内净高或净宽变小; 2. 除拱顶墙腰外, 其他部位都可能发生
局部变形	<p>拱顶上拱、仰拱下弯、边墙外鼓</p> 	<p>只发生在一侧, 如左墙腰, 或左拱腰出现, 右墙腰, 右拱腰没出现等。如左、右或上、下相对变形范围相同, 但变形大小不相等。这属于变形部位对称, 变形区不等</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道内净高或净宽变大; 2. 除拱顶墙腰外, 其他部位都可能发生 	

(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, 其基本形态见表 2-2 和表 2-3。对于大多数已发生裂损的衬砌, 往往是纵向与横向移动同时出现。

表 2-2 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
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 α 形或 β 形 (上、下宽度不等)