

高速公路隧道 维修与加固

何 川 余 健 著



人民交通出版社

China Communications Press

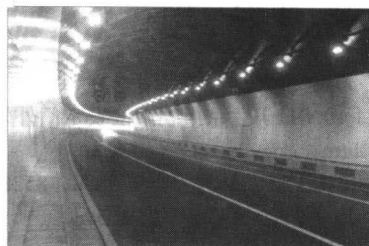


U459.2
4

高速公路隧道 维修与加固



何 川 余 健 著



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书结合国内现阶段典型高速公路隧道的施工过程,对初期支护和永久衬砌结构的实际受力状况和围岩体的稳定性开展原位试验,进行长期跟踪观察,同时,采用数值模拟手法对现场结果进行相互印证分析,归纳出锚喷支护和模筑混凝土复合式隧道结构体这一主流结构形式与围岩体在修建阶段及早期运营阶段的实际力学行为,作为高速公路隧道维修加固研究的基础条件。在此基础上,对不同围岩特征和物性、原始地应力场进行物理模拟,通过大比尺多组数的相似模型试验,针对不同隧道病害形式下的维修加固方法与效果进行研究,以期对我国高速公路隧道的维修加固工作在基础及应用等方面提供参考。

本书可供从事隧道建设的科技人员使用,也可作为高等院校隧道专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路隧道维修与加固 / 何川, 余健著. —北京: 人民交通出版社, 2006.4
ISBN 7-114-05973-6

I. 高… II. ①何…②余… III. ①高速公路-公路隧道-维修②高速公路-公路隧道-加固 IV.U459.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 031261 号

书 名: 高速公路隧道维修与加固

著 作 者: 何 川 余 健

责任编辑: 吴有铭

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 14

字 数: 352 千

版 次: 2006 年 4 月 第 1 版

印 次: 2006 年 4 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN7-114-05973-6

印 数: 0001~3000 册

定 价: 30.00 元

(如有印刷、装订质量问题, 由本社负责调换)

前言

随着我国高速公路建设的不断发展,高速公路隧道的总延长不断增加,尤其在西部地区各类长大及复杂地质环境条件下的高速公路隧道数量极大。从数量、规模和建设速度看,我国已成为世界上高速公路隧道工程最多、最复杂、发展最快的国家。但国内外各类隧道工程的实际情况表明,由于地质条件、地形条件、气候条件和设计、施工、运营过程中各种因素的影响,隧道建成后在长期的使用过程中有很大部分会出现各种各样不同程度的病害,在特殊情况下,部分隧道甚至在使用的初期就出现比较严重的隧道病害,对隧道的维修加固是运营阶段不可避免的重要工作。同时,鉴于我国数量极大的高速公路隧道基本集中在约 20 年间建成,可以预见今后面临的维修加固任务将是十分艰巨的。因此,对维修加固方面的基础与实用技术研究已经是刻不容缓的重要课题。

基于这一背景,著者从 2001 年起,开始针对我国高速公路隧道今后面临的维修加固方面的问题从基础入手进行了尝试性的研究工作,并得到了重庆市科学技术委员会的课题立项支持和重庆南方高速公路有限公司及重庆高速公路发展有限公司的资助。本书是以 2002~2005 年间著者主持完成的重庆市科技攻关项目“高速公路隧道长期安全性评价及维护加固研究”的内容为基本素材,将著者近年来在此领域取得的相关研究成果进行了归纳,并参考总结了部分国内的工程实例写成此书,以供国内同行参考。

鉴于现阶段我国高速公路隧道采用的设计理念和施工方法有别于我国早期建成的大量铁路隧道、水工隧道等地下工程,我国高速公路隧道普遍采用了新奥法设计理念和相应的施工技术,隧道主体结构以锚喷支护和模筑混凝土复合衬砌结构为主流形式。因此,本书首先结合国内现阶段典型高速公路隧道的施工过程,对初期支护和永久衬砌结构的实际受力状况和围岩体的稳定性开展原位试验,进行长期跟踪观察,同时,采用数值模拟手法对现场结果进行相互印证分析,归纳出锚喷支护和模筑混凝土复合式隧道结构体这一主流结构形式与围岩体在修建阶段及早期运营阶段的实际力学行为,作为高速公路隧道维修加固研究的基础条件。在此基础上,对不同围岩特征和物性、原始地应力场进行物理模拟,通过大比尺多组数的相似模型试验,针对不同隧道病害形式下的维修加固方法与效果进行研究,以期对我国高速公路隧道的维修加固工作在基础及应用等方面提供参考。

本书包含的主要具体内容有:

(1)通过对新建高速公路隧道典型断面施工全过程及建成早期进行的约 3 年时间的跟踪监控量测,得到了从初期支护结构到永久衬砌结构的实际受力状况,探明了在现阶段的主流施工方法下,高速公路隧道在修建阶段及早期运营阶段的实际力学行为。

(2)对隧道修建阶段、早期运营阶段以及结构的长期运营阶段进行了安全性分析计算,为结构安全性评价及工程维护加固对策提供了基础数据。

(3) 针对洞口软弱围岩段结构受力复杂的情况,采用三维有限元方法模拟隧道施工的全过程,探明了开挖全过程隧道结构的应力、应变、塑性区、位移及沉降的分布及空间效应。

(4) 利用相似模型试验对在不同的应力场作用下、不同的围岩级别下的隧道结构进行加载破坏试验,研究了隧道结构破坏规律及极限承载能力,以及针对不同病害情况下的合理补强方法和效果。

(5) 应用平面有限元方法对隧道结构的破坏和补强过程进行数值模拟,并与模型试验进行了对照分析,可为隧道的维修加固设计提供参考。

(6) 分析介绍了国内 6 座隧道的病害与维修加固工程实例。

感谢重庆南方高速公路有限公司原总经理阳光教授级高级工程师、总工程师夏小泉对研究工作的大力支持,感谢中铁隧道集团第一工程处的技术人员对现场试验的大力协助,感谢西南交通大学刘永华、兰宇两位硕士研究生在现场试验和模型试验中所做的具体工作。

鉴于著者的水平和认识的局限性,对书中出现的不妥乃至谬误之处望同行批评指正。著者联系方式为:成都市二环路北一段 111 号,西南交通大学土木工程学院地下工程系何川(收),邮编 610031, Tel:028-87601932, Fax:028-87603021, E-mail:chuanhe21@sina.com。

著 者

2005 年 12 月

于西南交通大学

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 问题的提出	1
1.2 隧道工程维修管理	2
1.2.1 隧道工程维修管理的基本认识	2
1.2.2 隧道工程维修管理的现状和存在的问题	4
1.2.3 隧道工程维修管理的基本理念	5
1.3 隧道病害现象分类及原因分析	6
1.3.1 隧道病害现象	6
1.3.2 隧道病害原因	6
1.4 隧道维修与加固研究现状	9
1.4.1 现场原位试验	9
1.4.2 理论与数值分析	10
1.4.3 室内相似模型试验	11
第 2 章 隧道修建阶段实际力学形态的现场试验	13
2.1 概述	13
2.2 现场试验隧道简介	13
2.2.1 工程地质条件	13
2.2.2 水文地质条件	14
2.2.3 气候特征及地震情况	14
2.2.4 隧道主要不良地质现象	14
2.2.5 主洞洞身结构设计	15
2.3 现场试验概况	17
2.4 现场试验项目及结果分析	19
2.4.1 锚杆轴力	19
2.4.2 二次衬砌接触压力	22
2.4.3 二次衬砌应力	26
2.5 二次衬砌安全性分析	30
2.5.1 安全系数计算方法	30
2.5.2 隧道的安全性分析	31
2.6 本章小结	32
第 3 章 隧道修建阶段力学形态的数值模拟	34
3.1 概述	34

3.1.1	分析方法	34
3.1.2	隧道施工的应力及变形分析	34
3.1.3	新奥法施工锚喷支护的数值分析	35
3.2	数值模拟关联问题	36
3.2.1	围岩力学模型的选择	36
3.2.2	地应力场的模拟	37
3.2.3	边界条件的确定	37
3.2.4	释放荷载的计算	37
3.2.5	计算模型本构关系的选择	39
3.3	三维计算模型	40
3.3.1	模型确定	40
3.3.2	模拟开挖步骤	41
3.4	计算结果分析	44
3.4.1	围岩的应力、应变特征	44
3.4.2	围岩位移特征	49
3.4.3	初期支护受力特征	55
3.4.4	二次衬砌受力特征	57
3.4.5	计算结果与现场试验的比较	59
3.5	安全性模拟分析	61
3.5.1	基本假定和计算模式	61
3.5.2	计算模型	61
3.5.3	数值模拟结果与分析	62
3.6	本章小结	64
第4章	隧道病害与维修加固研究用模型试验概况	67
4.1	相似关系	67
4.1.1	相似定理	67
4.1.2	试验相似关系的确定	68
4.2	试验原型及相似材料	69
4.2.1	原型隧道	69
4.2.2	相似材料	69
4.3	模型试验装置及量测系统	71
4.3.1	模型试验装置	71
4.3.2	量测系统	73
4.4	模型试验系列	75
4.4.1	补强等级的划分	75
4.4.2	隧道补强设计	76
4.4.3	隧道补强试验分组	78
4.4.4	试验步骤	80

4.5 本章小结.....	80
第5章 隧道施工缺陷对衬砌承载力影响的模型试验	82
5.1 衬砌背后空洞对衬砌承载力的影响.....	82
5.1.1 水平应力为最大主应力时拱顶空洞对结构承载力影响.....	82
5.1.2 不同的空洞位置对衬砌承载力的影响.....	88
5.1.3 竖直应力作用时拱顶空洞对衬砌承载力的影响.....	94
5.1.4 试验结论	101
5.2 衬砌减薄对隧道承载力的影响	102
5.2.1 水平主应力作用时 V 级围岩衬砌厚度不足对结构承载力影响	102
5.2.2 水平主应力作用时 IV 级围岩衬砌厚度不足对结构承载力影响	107
5.2.3 竖直应力作用下衬砌厚度不足对结构承载力的影响	109
5.2.4 试验结论	112
5.3 施工方法对隧道衬砌结构承载力的影响	113
5.3.1 水平主应力场中施工方法对隧道衬砌承载力的影响	113
5.3.2 竖直应力为主应力时施工方法对隧道衬砌承载力的影响	117
5.3.3 不同的主应力方向对隧道衬砌承载力的影响	120
5.3.4 试验结论	124
5.4 应力场对隧道承载力的影响	124
5.4.1 应力场对 III 级围岩中隧道承载力的影响	124
5.4.2 应力场对 IV 级围岩中隧道承载力的影响	128
5.4.3 应力场对 V 级围岩中隧道承载力的影响	132
5.4.4 试验结论	136
5.5 本章小结	136
第6章 隧道病害维修加固方法与效果的模型试验.....	138
6.1 回填压注	138
6.1.1 水平应力为主应力的情况	138
6.1.2 竖直应力场作用的情况	140
6.1.3 小结	142
6.2 内表面补强	143
6.2.1 内表面补强对结构承载力的影响	143
6.2.2 内表面补强刚度的影响	145
6.2.3 内表面补强范围的影响	147
6.2.4 不同围岩级别中材质对内表面补强的影响	148
6.2.5 小结	150
6.3 锚杆补强	151
6.3.1 水平应力为主应力的情况	151
6.3.2 竖直应力为主应力的情况	153
6.3.3 小结	155

6.4 内衬·拱架补强	156
6.4.1 竖直应力作用的情况	156
6.4.2 水平应力为主应力的情况	156
6.4.3 小结	158
6.5 组合补强	159
6.5.1 内衬·拱架与锚杆组合补强	159
6.5.2 回填压注、内衬·拱架与锚杆的组合补强	160
6.5.3 回填压注、内表面与锚杆组合补强	161
6.5.4 小结	163
6.6 补强试验模拟计算算例	164
6.6.1 V级围岩算例	164
6.6.2 III级围岩算例	166
6.7 本章小结	169
第7章 隧道病害与维修加固实例及分析	171
7.1 龙泉山隧道病害维修加固	171
7.1.1 工程概况	171
7.1.2 隧道病害治理设计	171
7.1.3 隧道病害整治施工	175
7.1.4 结论	178
7.2 西岭雪山隧道衬砌裂损病害整治	179
7.2.1 工程概况	179
7.2.2 隧道病害现状综述	180
7.2.3 隧道病害原因分析	182
7.2.4 隧道病害整治设计	183
7.2.5 主要施工方法	185
7.3 大坪口隧道病害整治	186
7.3.1 工程概况	186
7.3.2 病害状况	186
7.3.3 病害整治原则	187
7.3.4 病害整治方法	187
7.3.5 病害整治验收标准	192
7.4 龙门隧道病害整治	192
7.4.1 工程概况	192
7.4.2 病害原因分析	193
7.4.3 隧道病害的治理	194
7.4.4 整治结果	196
7.4.5 结语	196
7.5 六甲洞隧道病害整治	196

7.5.1 工程概况	196
7.5.2 病害地段的工程地质和水文地质	197
7.5.3 病害成因分析	197
7.5.4 病害治理措施	199
7.5.5 施工监测与信息反馈	200
7.5.6 结论与经验	201
7.6 祁家大山隧道病害整治	201
7.6.1 工程概况	201
7.6.2 病害检测及原因分析	202
7.6.3 加固方案	203
7.6.4 结语	206
参考文献	207

第1章 绪 论

1.1 问题的提出

随着我国国民经济实力的不断增强,特别是西部开发的不断深入,公路、铁路等交通建设工程日益增多,根据交通部“九五”计划和2010年长远规划,在最近的十多年间,我国的公路里程将大幅度增加,新增公路15万km以上^[1-2],尤其是高速公路的建设将跨上一个新台阶,“九五”期间新增高速公路约1.3万km,通车里程达1.6万km左右,在“十五”期间,高速公路通车里程超过2.5万km,增加9000km;在2020年前后将建成纵贯东西、横穿南北由高等级公路组成的总长约3.5万km的“五纵七横”国道主干线。我国是一个多山的国家,山区面积约占总面积的三分之二,因此,隧道工程以其自身具有的改善线形、缩短里程和行车时间、提高运营效益等方面的优势,在高速公路建设中,其方案的优越性越来越多地为道路建设者和设计者所公认而被大量采用。隧道工程在道路建设中所占线路长度比例迅速提高,如近期重庆市境内在建的几条高速公路中隧道所占比例约为总里程的30%左右,个别路段高达70%。这在客观上极大地促进了隧道的建设,而隧道工程在工程建设中的众多技术领域中十分突出。

据来自于各方面的统计资料表明,到2003年年底,我国大陆即已建成铁路隧道7400座,总延长4200km;公路隧道1970余座,总长近1000km;已建成运营的城市地铁总长近200km;从最近几年的建设规模和速度来看,铁路隧道和公路隧道分别约以每年300km和150km或更快的建设速度在增长^[3-4]。从隧道的数量、规模和建设速度来看,我国已成为世界上隧道工程最多、最复杂、发展最快的国家^[2-3]。

综合国内外的实际情况看,由于地质条件、地形条件、气候条件和设计、施工、运营过程中各种因素的影响,隧道建成后在长期的使用过程中会出现各种各样不同程度的病害,部分隧道甚至在使用的初期就出现比较严重的隧道病害,如衬砌裂损、隧道渗漏水、基底下沉和底鼓等。日本对部分铁路和公路隧道病害的调查表明^[5],有70%的隧道发生衬砌裂损病害,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,将使隧道结构的稳定性受到一定程度的破坏,使衬砌结构的安全可靠性降低,造成危及行车安全的重大问题。隧道渗漏水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,如会造成衬砌开裂或使原有裂缝发展变大,加速衬砌的损坏;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,在寒冷地区还会产生冻胀病害等。基底下沉或底鼓将严重影响行车的安全性,会为行车埋下重大的安全隐患。这些病害既影响了隧道作为快速安全交通通道的功能,在维修加固时又会花费大量的资金。

针对以上问题,作者结合国内现阶段典型高速公路隧道的施工过程,对初期支护和永久衬

砌结构的实际受力状况进行针对性原位试验,并进行长期观察,以明确锚喷支护和模筑混凝土复合式隧道结构体这一主流结构形式在修建阶段及早期运营阶段的实际力学行为。通过长期的定期量测,研究整个隧道结构的受力变化过程,为隧道的安全评估提供实测数据。同时,采用数值模拟对现场结果进行相互印证分析后,得出新建高速公路隧道主体结构的实际力学形态。在此基础上,对不同围岩特征和物性、原始地应力场进行室内模拟,通过大比尺多组数的模型试验,针对不同隧道病害形式的维修加固方法与效果进行研究,以期对我国高速公路隧道的维修与加固提供参考。

1.2 隧道工程维修管理

1.2.1 隧道工程维修管理的基本认识

隧道工程维修管理是指隧道结构物在使用期间,保持结构物性能在容许范围内的技术行为。

在合适的设计、施工和维修管理条件下,隧道结构物会具有良好的承载性、耐久性和满足耐久性要求的使用寿命。但如设计、施工不当或对某些潜在的因素考虑不周,或维修管理不善,就会出现劣化现象或加速劣化的发展,从而造成结构物耐久性的降低或使用寿命的缩短。维修管理的目的就是保证隧道良好的运营条件和结构物的使用功能,不断地延长结构物的使用寿命。世界各国对此都非常重视。

隧道工程维修管理工作的基本原则是确保隧道的功能和运营环境的质量,为此应对影响隧道结构物安全性、耐久性的病害进行检查及调查,并采取适当的对策和措施。

对隧道结构物的要求是由其特殊的性质所决定的。隧道结构物与一般工程结构物,在性质上有很大的不同,不了解这一点,就不可能真正地认识隧道。

从维修管理角度看,隧道结构物的性质,概括地说,有以下几点是我们关注的:

1. 隐蔽性

地下结构与其他结构最大的不同就是它的隐蔽性。隐蔽性使我们无法迅速发现结构物的病害,增加了判断结构物病害的“隐蔽”原因的难度。

2. 环境影响

隧道的运营环境,如车辆运行振动引起的结构疲劳、电力的迷流等对结构物使用寿命的影响,是不可忽视的。地下结构物除受自然环境的影响外,还受到地下环境,如围岩和地下水条件变动的影响。

3. 可维修性

工程结构一般都是可维修的,只是有的易于维修,有的难于维修而已。隧道属于难于维修的一类,它的可维修性是比较差的。因此,在隧道结构物的设计施工中建立“少维修”的概念是非常重要的。

4. 既有结构物的状态

既有结构物使用期的长短、结构物病害状态和程度等,对维修管理的影响是巨大的。

正是由于隧道结构物的这种与众不同的性质,对隧道结构物的耐久性、可靠性及可维修性

提出了不同的要求。

从现有的资料看,目前满足结构物功能要求的混凝土的耐久性可能只有 60 年左右。喷混凝土就更低些,只能满足 30 年不维修的要求。而一般混凝土结构物的使用寿命,都应该在 100 年以上。这样,提高混凝土的耐久性,就成为当务之急。

表 1-1 列出一些混凝土结构寿命平均值的调查数据^[5]。简易的混凝土制品约为 20 年,桥梁、隧道约为 50 年,大坝为 100 年以上。

混凝土结构物寿命平均值的调查数据

表 1-1

结 构 名 称	10 年	20 年	30 年	50 年	法定偿还期	100 年	>100 年	合 计
大坝	0	0	2	28	2	82	88	202
桥梁	0	8	35	134	4	52	3	236
隧道	0	2	20	122	5	74	21	244
防波堤	3	24	51	84	8	17	12	199
公开建筑	0	4	17	94	101	25	16	257

最近,日本一些有识之士提出“2020 年的警钟”,即“日本将从土建大国变成修缮大国”。2020 年的结构物维护费和改建费,仅建设省就超过 2 兆亿日元,是现在的 3 倍,维护费用将成为国家财政的巨大负担^[5]。我国铁路隧道的修建已有近 100 年的历史,许多隧道都已经进入高维修管理阶段,维修管理费将大幅度地增长,这是不容忽视的。公路隧道正进入建设的高潮期,应该从一开始就重视引入“少维修”的概念,使结构物具有符合要求的耐久性。

因此,不管是新建还是既有结构物,都要消除“免维修或不能维修”的误解,而建立起“把劣化构件或构件的性能恢复到设计意图的使用水准以上的补修、补强”的概念。也就是说,要构筑一个把设计、施工、维修管理结合到一起的体系。这也是目前各国土建工程技术的重要发展趋势。

在山岭隧道中,即使结构的病害状态相同,结构物的安全性和耐久性也会有很大的差异,这是屡见不鲜的。例如,衬砌表面发生开裂的情况、衬砌背后与围岩密贴和有空洞存在的情况、衬砌厚度充分和不充分的情况、开裂有无发展的情况等,对隧道使用功能的影响、对病害的评价是完全不同的。因此,在隧道的维修管理中,必须要掌握在隧道使用过程中,发生和可能发生的各种病害现象,并推定病害发生的原因,评价结构物的损伤程度和研究是否采取相应的措施和对策,以延长结构物的寿命,提高结构物的服务功能。这就是隧道维修管理技术的重要使命。

在结构物中如何考虑维修管理的作用,目前大体上有三种观点:

- (1)能完全防止劣化现象发生,不需进行维修管理的观点;
- (2)容许某些劣化现象发生,同时采取有计划的维修管理,保证结构物使用年限的观点;
- (3)以维修管理为前提,劣化现象发生时,进行补修、补强的观点。

目前大多数结构物基本上是按第(2)种观点进行设计与施工的。

结构物的维修管理技术,首先要了解和掌握结构物在使用过程中的劣化状态。从图 1-1 中可以清楚地看出维修管理工作的重要性。

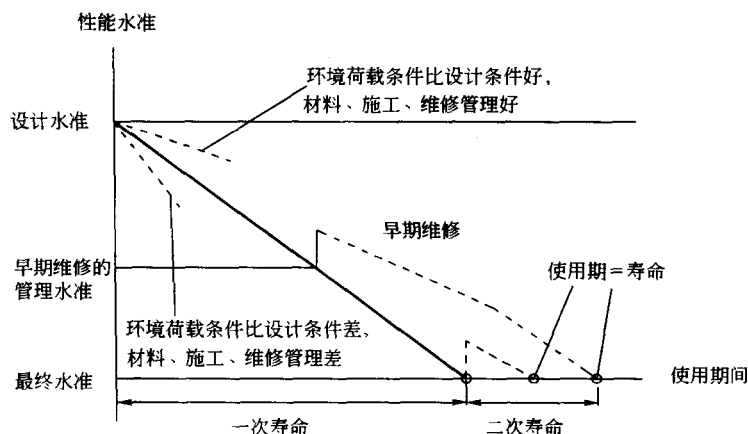


图 1-1 结构物劣化曲线

从隧道及地下工程使用过程中的经验看，各国采取的维修管理基本模式是：检查→发现病害→推定病害原因→明确病害后的结构物的健全度→制订相应的整治措施→整治。也就是采用“早期发现—及时维护”或者说是“勤检查、早发现、少维修”的维修管理模式。这也是我们应该建立的隧道及地下工程维修管理模式。

1.2.2 隧道工程维修管理的现状和存在的问题

如何利用工程学的方法，有效地解决、防治和减轻灾害的破坏效应是当前结构工程学一个新的研究领域。为了解决这一问题，许多国家都把确立结构物使用期（寿命）的研究作为基础性研究，而给予了极大的关注。

日本从 20 世纪 80 年代起，在铁路隧道、水工隧洞中引入健全度的概念，对结构物的剩余寿命进行评估，获得了实质性的进展。特别是将专家系统引入结构物健全度的评定，效果很好。美国则以结构损伤度的概念，进行结构物损伤评估方法的研究，也取得了一定的进展。但从整体上看，对地下结构物使用期的研究，是相当不充分的。

例如，日本的铁路隧道相继发生 3 次重大的混凝土掉块事故，引起了日本运输省的高度重视^[5]。1999 年 6 月 27 日，山阳新干线福岗隧道发生衬砌混凝土剥落，造成列车破损的重大事故；10 月 9 日，山阳新干线北九州隧道的边墙上端又发生混凝土剥落事故；11 月 28 日，室兰本线礼文宾隧道再次发生重达 2t 的拱部衬砌混凝土剥落，造成货物列车脱轨事故。

我国也曾发生拱部突然坍落、拱后空洞无回填等事故。如近期国内浙江、四川等省市出现过因拱后空洞、围压异常或其他未预见的原因而导致已经建成的公路隧道和铁路隧道主体结构失稳严重坍塌的重大事故。上述事故说明维修管理的重要性，也说明维修管理是世界各国关注的永恒的课题。例如，日本隧道界以日本隧道协会为中心，由铁路、公路、电力、地下铁路等行业组成隧道维修管理委员会，进行有关隧道维修管理技术的研究，引进和普及技术，提出建议，组织情报和技术交流等。

我国铁路、公路隧道的总里程已超过 5000km，是一笔巨大的社会财富。管好、用好这些

财富,是维修管理的重要任务。因此,从设计、施工阶段就开始考虑今后的维修管理问题,为今后运营阶段的维修管理工作创造良好的条件是非常重要的。

日本是目前修建隧道工程最多的国家之一。日本隧道协会的维修管理研究委员会在广泛调查研究的基础上,对隧道工程的维修管理提出了许多有价值的建议,其中许多建议和方法可以供我们参考。

从各国的现状看,研究主要集中在以下几个方面:

- (1)维修管理的基本模式;
- (2)隧道结构病害现象的分类及其标准化;
- (3)结构病害的原因、病害现象和病害原因的因果关系;
- (4)结构病害程度的分级及其判定;
- (5)结构病害的防治措施(整治、对策)等。

我国 5000km 的铁路、公路隧道基本上是采用矿山法修筑的,目前在维修管理方面存在的主要问题有以下几点:

(1)还没有真正地把维修管理的理论和方法运用到隧道的维修管理中,在这方面与一些国家的差距十分明显。也就是说,在维修管理中要建立一个新的概念,即结构物在设计基准期内受到劣化外力作用(环境条件的变化等),以把劣化状态控制在容许水准以内为目标;同时,根据经济性来设定材料规格、设计基准和施工工艺,并确定相应的维修管理基准的概念。

(2)缺乏早期发现病害现象的检查和检测方法,由于隧道内的运营条件差(潮湿、阴暗等),很难早期发现病害的前兆和病害现象。因此,在日常检查中,充实、改进和完善检查和检测方法是当务之急。

(3)对既有隧道功能状态的判定和评价方法有待提高。

(4)目前,我国 20 世纪 80 年代修建的隧道已经进入“高维修”管理期。为了延长或提高隧道的使用寿命,必须改变“重工程、轻维护”、“重治理、轻检查”、“重晚期、忽视早期”等传统观念,建立“预防为主、早期发现、及时维护、对症下药”的基本观念。形成这种传统观念的原因是多方面的,有体制上的,有经济上的,也有技术上的。

(5)目前,我国隧道病害的整治方法落后。不仅与发达国家隧道工程的病害整治方法相比较落后,就是与国内其他工程的整治方法相比也是较落后的。这当然与隧道工程自身的特点有关,但缺少对整治方法、材料及工艺的系统研究和整理也是很重要的一个原因。因此,将一些成熟的、有效的和先进的整治方法模式化是十分必要的。

1.2.3 隧道工程维修管理的基本理念

针对目前存在的问题,隧道工程维修管理的要点就是“预防为主”、“早期发现”、“及时维护”和“对症下药”。

1. 预防为主

预防维修管理是最好的维修管理方法。也就是说,在劣化发现之前进行详细的检查,并采取必要对策不让劣化发生是最经济的维修管理方法。因此,建立一个完善的检查体系是十分重要的。

2. 早期发现

隧道病害的发生一般都是有前兆的,早期发现这些前兆,并作出正确的判定,及时处理可

能发生的病害,是当前各国进行隧道维修管理的基本前提。这一点对我们具有更重要的意义。早期发现、正确诊断、推定病害发生原因应该成为我们进行维修管理的基本原则。

3. 及时维护

拖延处理发生的病害,只会使病害继续发展,最后可能导致隧道各种事故的发生。实践证明:出现了病害,就要及时处理,这样会收到“事半功倍”的效果。隧道是修筑在地下的线状结构物,围岩动态及环境条件是十分复杂的。因此,即使进行了详细的调查,有时也很难充分掌握隧道的病害状态。在病害有发展趋势的情况下,在病害发生的初期阶段,只要采取一些简单的措施就可解决问题。但如在发展过程中,就必须采取强有力的措施了。

4. 对症下药

隧道发生病害,就和人生病一样。因此,有人把隧道的维修管理认为是“隧道临床医学”,“对症下药”就是临床医学的重要原则,也应是隧道维护的重要原则。隧道的病害是各种各样的,整治的方法也是各种各样的。因此,必须了解病害和各种整治对策的相互对应关系,以期获得最好的治理效果。

归根结底一句话,就是要大力提高我国隧道工程的维修管理技术水平。

1.3 隧道病害现象分类及原因分析

1.3.1 隧道病害现象

既有隧道发生的病害现象,根据病害发生的地点,一般有如下分类(图 1-2)。

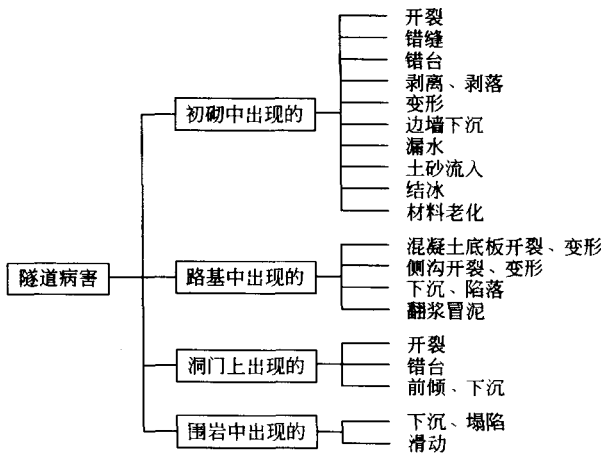


图 1-2 病害分类

衬砌中出现的隧道病害,因其营运隧道内部光线较差,检查不便,具有较大的隐蔽性,故对隧道的安全运营影响极大,故为本著的研究重点。

1.3.2 隧道病害原因

产生病害的原因是多方面的,大体上分为外因(外力和环境等外部因素)和内因(材料和设

计、施工等结构上的因素)两大原因,见图 1-3~图 1-5 所示。

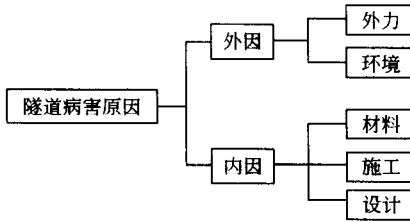


图 1-3 隧道病害原因

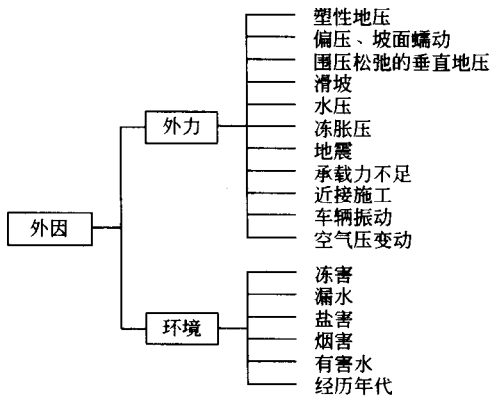


图 1-4 外因分类

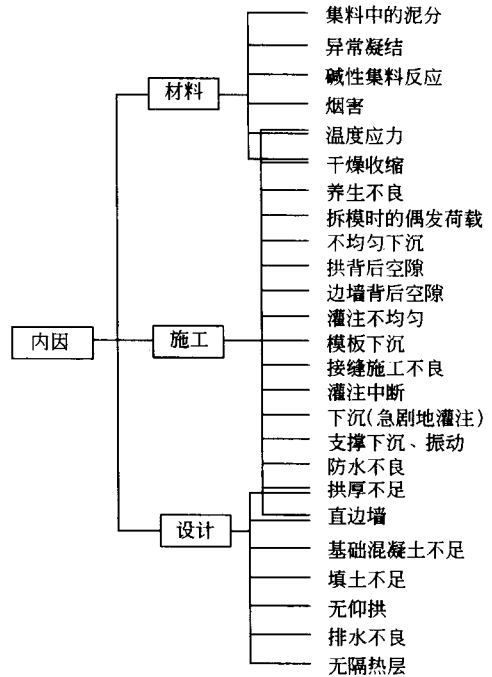


图 1-5 内因分类

山岭隧道是修筑在自然地层中的一种地下结构物,对土压等外力来说,是由围岩和支护结构双方共同支持的,并维持其功能;同时采用与漏水、涌水量相匹配的排水系统来维护隧道不受水压的作用。这两点是很重要的,这是地下结构的重要特征。而且,在隧道施工过程中,更精确地预测长期的围岩动态,以现在的技术水准还办不到。因此,使用阶段也会产生预料不到的外力。

有外力作用时,隧道的局部动态,有隧道壁面向净空内挤出而出现主动区域和向围岩方向挤压而出现被动区域两种情况。在被动区域的衬砌背后有空洞时,背后的围岩对变形不能提供反力,对外力来说,是易于产生变形的结构。此外,空洞部分的围岩形状是凸凹不平的,被动区域和主动区域在衬砌背后与围岩是不均匀接触的,因此会产生较大的应力。另外,空洞部分的围岩可以说是和毛洞状态一样的,围岩会松弛而逐渐扩大。所以,衬砌背后的空洞对隧道来说是极为有害的。在没有充分围岩支撑力的情况时,为使隧道下沉,应设置仰拱等结构物。

排水系统不充分时,地下水位会上升,产生水压并使围岩劣化。所以,要保持隧道内良好的排水条件;同时对衬砌背后的空洞进行回填,以防止外力作用而引起的病害。

使用阶段外力的变化,可分为以下几类:

- (1) 施工阶段的外力在继续发展;
- (2) 从施工阶段或较早期,外力有增加的趋势;
- (3) 外力间断地增大;