

# JTG

公路工程标准规范解读系列丛书

JTG/T 5440—2018

---

## 公路隧道维修加固实例集

中交瑞通路桥养护科技有限公司 主编



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

# 公路隧道维修加固实例集

中交瑞通路桥养护科技有限公司 主编



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

## 图书在版编目(CIP)数据

公路隧道维修加固实例集 / 中交瑞通路桥养护科技有限公司主编. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.4

ISBN 978-7-114-15449-2

I. ①公… II. ①中… III. ①公路隧道—维修②公路隧道—加固 IV. ①U459.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第062036号

书 名:公路隧道维修加固实例集

著 者:中交瑞通路桥养护科技有限公司

责任编辑:李 沛 侯蓓蓓 周佳楠

责任校对:刘 芹

责任印制:张 凯

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)85285838,59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:720×960 1/16

印 张:26.75

字 数:317千

版 次:2019年4月 第1版

印 次:2019年4月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-15449-2

定 价:120.00元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

## 本书编审委员会

顾 问：韩常领

主 编：宫成兵 秦 洲

副主编：顾博渊 田 正

编写人：李玉文 陈建勋 李志厚 姜 杰

曹校勇 杨彦民 王万平 肖了林

袁永新 秦 峰 秦之富 高世军

邓承波 雷 华 罗彦斌 姚红志

苏臣宏 李伟平 朱小明 冯 勇

蒲建军 刘燕鹏 蔺虎平 张立东

李 祥 姜 博 秦 楠 成光明

刘宝华 张彦晓 王文浩 杨 溢

石开荣

主 审：叶 飞

# 前 言 QIANYAN

近年来,在役公路隧道的运营安全受到社会各界的广泛关注,我国交通运输主管部门通过制定制度、开展专项行动、颁布相关标准规范等手段不断加强行业监管。2018年12月25日,交通运输部发布公告颁布了《公路隧道加固技术规范》(JTG/T 5440—2018),促进在役公路隧道提质升级行动,规范、指导公路隧道维修加固领域工作。

为便于使用者更好地掌握、执行《公路隧道加固技术规范》(JTG/T 5440—2018),规范编写组编制了《公路隧道维修加固实例集》一书,以工程实例的形式将规范中的相关规定、要求具体化。编制过程中,编写组对国内典型公路隧道维修加固案例进行筛选,并与规范紧密结合,客观地总结和分析工程案例中的经验和成果。希望本书可以给公路隧道养护从业人员提供借鉴,以期达到抛砖引玉的效果,为不断提高我国的公路隧道养护技术水平尽绵薄之力。

本书主要从公路隧道运营期常见病害的现状、类型、成因及维修加固面临的问题、原则、方法等进行介绍。筛选了国内公路隧道典型加固案例33篇,含衬砌加固4篇,套拱加固5篇,换拱加固2篇,隧底加固4篇,洞口工程处治2篇,渗漏水处治4篇,冻害处治3篇,震害、火灾处治3篇,综合处治6篇。

编写过程中,长安大学叶飞教授为本书编写提供了宝贵意见,在此表示感谢。由于时间仓促和作者水平限制,书中难免存在谬误及疏漏,望广大读者批评指正。

# 目 录 MULU

第1章 绪论	1
1.1 隧道工程发展状况	1
1.1.1 隧道的功能	1
1.1.2 我国隧道的发展简史	1
1.2 公路隧道加固维修	4
1.2.1 我国公路隧道病害现状及认识	4
1.2.2 公路隧道维修加固的特点	6
1.2.3 公路隧道维修加固面临的问题	8
第2章 公路隧道病害分类及成因	9
2.1 公路隧道病害	9
2.1.1 公路隧道病害类型	9
2.1.2 公路隧道常见病害	10
2.2 公路隧道病害成因	16
2.2.1 外荷载作用	16
2.2.2 材料劣化	19
2.2.3 地下水作用	20
第3章 公路隧道维修加固方法	22
3.1 公路隧道维修加固原则	22
3.2 公路隧道维修加固方法	23
3.2.1 衬砌加固	23
3.2.2 注浆加固	31
3.2.3 换拱加固	34
3.2.4 隧底加固	36
3.2.5 洞口工程加固	39
3.2.6 衬砌裂缝处治	42
3.2.7 渗漏水处治	44
3.2.8 冻害处治	48
3.2.9 震害处治	52

3.2.10 火灾病害处治 .....	54
<b>第4章 衬砌加固 .....</b>	<b>57</b>
4.1 猫狸岭隧道 .....	57
4.1.1 工程概况 .....	57
4.1.2 隧道病害状况 .....	58
4.1.3 隧道加固方案 .....	61
4.1.4 整治效果 .....	65
4.2 石苍岭隧道 .....	66
4.2.1 工程概况 .....	66
4.2.2 隧道病害状况 .....	67
4.2.3 隧道加固方案 .....	70
4.2.4 整治效果 .....	75
4.3 新琼隧道 .....	76
4.3.1 工程概况 .....	76
4.3.2 隧道病害状况 .....	77
4.3.3 隧道加固方案 .....	84
4.3.4 整治效果 .....	89
4.4 枫香垭隧道 .....	90
4.4.1 工程概况 .....	90
4.4.2 隧道病害状况 .....	92
4.4.3 隧道加固方案 .....	94
4.4.4 整治效果 .....	100
<b>第5章 套拱加固 .....</b>	<b>101</b>
5.1 六甲洞隧道 .....	101
5.1.1 隧道概况 .....	101
5.1.2 隧道病害状况 .....	103
5.1.3 隧道加固方案 .....	106
5.1.4 整治效果 .....	111
5.2 麻街岭隧道 .....	112
5.2.1 隧道概况 .....	112
5.2.2 隧道病害现状及成因分析 .....	114
5.2.3 隧道加固方案 .....	119
5.2.4 整治效果 .....	120

5.3	甘肃某隧道 .....	121
5.3.1	隧道概况 .....	121
5.3.2	隧道病害现状及成因分析 .....	125
5.3.3	隧道加固方案 .....	129
5.3.4	整治效果 .....	132
5.4	龙门隧道 .....	133
5.4.1	隧道概况 .....	133
5.4.2	隧道病害现状及成因分析 .....	134
5.4.3	隧道加固方案 .....	137
5.4.4	整治效果 .....	138
5.5	槐树关隧道 .....	139
5.5.1	隧道概况 .....	139
5.5.2	隧道病害状况 .....	141
5.5.3	隧道加固方案 .....	143
5.5.4	整治效果 .....	145
<b>第6章</b>	<b>换拱加固</b> .....	<b>147</b>
6.1	观音岩隧道 .....	147
6.1.1	工程概况 .....	147
6.1.2	隧道病害状况 .....	148
6.1.3	隧道加固方案 .....	149
6.1.4	整治效果 .....	155
6.2	四角山隧道 .....	155
6.2.1	工程概况 .....	156
6.2.2	隧道病害状况 .....	156
6.2.3	隧道加固方案 .....	160
6.2.4	整治效果 .....	163
<b>第7章</b>	<b>隧底加固</b> .....	<b>164</b>
7.1	白云隧道 .....	164
7.1.1	隧道概况 .....	164
7.1.2	隧道病害现状及成因分析 .....	166
7.1.3	隧道加固方案 .....	169
7.1.4	加固效果及经验总结 .....	172
7.2	西南某高速公路隧道 .....	173

7.2.1	隧道概况 .....	173
7.2.2	隧道病害现状及成因分析 .....	175
7.2.3	隧道加固方案 .....	176
7.2.4	加固效果及经验总结 .....	181
7.3	铁峰山Ⅱ号隧道 .....	182
7.3.1	隧道概况 .....	182
7.3.2	隧道病害现状及成因分析 .....	185
7.3.3	隧道加固方案 .....	188
7.3.4	加固效果及经验总结 .....	189
7.4	八盘山隧道 .....	190
7.4.1	隧道概况 .....	190
7.4.2	隧道病害现状及成因分析 .....	192
7.4.3	隧道加固方案 .....	194
7.4.4	加固效果及经验总结 .....	202
<b>第8章</b>	<b>洞口工程处治 .....</b>	<b>204</b>
8.1	焦溪岭Ⅲ号隧道 .....	204
8.1.1	隧道概况 .....	204
8.1.2	隧道病害现状及原因分析 .....	205
8.1.3	隧道加固方案 .....	206
8.1.4	整治效果 .....	210
8.2	西汉高速公路两座隧道 .....	211
8.2.1	隧道概况 .....	211
8.2.2	隧道病害现状及成因分析 .....	213
8.2.3	隧道加固方案 .....	215
8.2.4	整治效果及经验总结 .....	218
<b>第9章</b>	<b>渗漏水处治 .....</b>	<b>220</b>
9.1	坪东隧道 .....	220
9.1.1	工程概况 .....	220
9.1.2	隧道病害现状及成因分析 .....	223
9.1.3	隧道加固方案 .....	226
9.1.4	加固效果及经验总结 .....	230
9.2	碌冬隧道 .....	232
9.2.1	工程概况 .....	232

9.2.2	隧道病害现状及成因分析 .....	236
9.2.3	隧道加固方案 .....	239
9.2.4	加固效果及经验总结 .....	245
9.3	鲇门隧道 .....	247
9.3.1	工程概况 .....	247
9.3.2	隧道病害现状及成因分析 .....	248
9.3.3	隧道加固方案 .....	250
9.3.4	加固效果及经验总结 .....	252
9.4	藤蔑山隧道 .....	255
9.4.1	工程概况 .....	256
9.4.2	隧道病害现状及成因分析 .....	259
9.4.3	隧道加固方案 .....	259
9.4.4	加固效果及经验总结 .....	263
<b>第10章</b>	<b>冻害处治 .....</b>	<b>264</b>
10.1	梯子岭隧道 .....	264
10.1.1	隧道概况 .....	264
10.1.2	隧道病害现状及成因分析 .....	266
10.1.3	隧道加固方案 .....	268
10.1.4	处治效果及经验总结 .....	271
10.2	天恒山隧道 .....	273
10.2.1	隧道概况 .....	273
10.2.2	隧道冻害分析 .....	275
10.2.3	隧道防冻设计与施工 .....	276
10.2.4	防冻效果及经验总结 .....	278
10.3	雾凇岭隧道 .....	281
10.3.1	隧道概况 .....	281
10.3.2	隧道冻害分析 .....	283
10.3.3	隧道防冻设计与施工 .....	283
10.3.4	防冻效果及经验总结 .....	285
<b>第11章</b>	<b>震害、火灾处治 .....</b>	<b>289</b>
11.1	紫坪铺隧道 .....	289
11.1.1	工程概况 .....	289
11.1.2	隧道震害现状及成因分析 .....	291

11.1.3	隧道加固方案	294
11.1.4	加固效果及经验总结	297
11.1.5	施工安全措施与建议	297
11.2	新七道梁隧道	298
11.2.1	工程概况	298
11.2.2	隧道病害现状及成因分析	301
11.2.3	隧道加固方案	308
11.2.4	加固效果及经验总结	311
11.3	大宝山隧道	311
11.3.1	工程概况	312
11.3.2	隧道病害现状及成因分析	314
11.3.3	隧道加固方案	320
11.3.4	加固效果及经验总结	323
<b>第12章</b>	<b>综合处治</b>	<b>325</b>
12.1	六盘山隧道	325
12.1.1	工程概况	325
12.1.2	隧道病害现状及成因分析	329
12.1.3	隧道加固方案	334
12.1.4	整治效果	340
12.2	西北地区某隧道	341
12.2.1	工程概况	341
12.2.2	隧道病害状况	345
12.2.3	隧道加固方案	348
12.2.4	整治效果	356
12.3	华莹山隧道	357
12.3.1	工程概况	357
12.3.2	隧道病害状况	360
12.3.3	隧道加固方案	371
12.3.4	整治效果	375
12.4	广东省珠海市某隧道	376
12.4.1	工程概况	376
12.4.2	隧道病害状况	378
12.4.3	隧道加固方案	381

12.4.4	整治效果	385
12.5	金鸡关隧道	386
12.5.1	工程概况	386
12.5.2	隧道病害状况	387
12.5.3	隧道加固方案	394
12.5.4	整治效果	400
12.6	山王庙隧道	401
12.6.1	隧道概况	401
12.6.2	隧道病害现状及成因分析	402
12.6.3	隧道加固方案	405
12.6.4	加固效果及经验总结	408
	结语	410
	参考文献	412

# 第1章 绪 论

## 1.1 隧道工程发展状况

### 1.1.1 隧道的功能

隧道(图 1-1-1、图 1-1-2)通常指埋置于地层内用作地下通道的工程建筑物,是人类利用地下空间的一种形式,可分为公路隧道、铁路隧道、水工隧道、矿山隧道等。公路隧道在公路交通体系中发挥着重要的作用,且具有自身明显优势。平原区公路隧道可减少用地、构成立体交叉、解决交叉路口的拥挤阻塞问题并疏导交通;山岭区公路隧道可以克服地形或高程障碍、改善线形、提高车速、缩短里程、节约燃料、节省时间、减少对植被的破坏、保护生态环境等。公路隧道还可作为防治局部路段落石、塌方、雪崩、崩塌等危害的措施。



图 1-1-1 早期修建的毛洞



图 1-1-2 现代化的隧道

### 1.1.2 我国隧道的发展简史

我国关于隧道修建的记载非常早,早在公元 66 年(东汉年间)就在陕西省汉中市褒谷口内修建了第一座交通隧道——石门隧道。

石门隧道总长 15.75m,宽 4.15m,高 3.6m,规模虽然不大,但在当时技术条件下修建了 3~4 年,开创了我国交通隧道建造的先河。

但由于我国早期所修建的公路等级低,线形要求不高,当需翻越山岭时,大都采用盘山展线绕行。总体来讲,我国公路隧道前期发展缓慢,直到中华人民共和国成立前仅有十余座,最长的只有 200m,且大部分为单车道隧道,洞身为裸洞或采用条石、砖进行简单支护,具有代表性的是修建于抗战时期的重庆市山洞隧道。

中华人民共和国成立初期,我国仅有公路隧道 30 多座,总长约 2.5km,均为中、短隧道。到六七十年代,我国在干线公路上修建的也仅是 100m 左右的隧道,如 1964 年的北京至山西原平公路(四级公路),修建了两座 200m 以上的隧道,在当时已是非常大的工程。

进入 20 世纪 80 年代,随着我国交通事业的发展,建设者面对高山险阻开山破岩,建造出千米以上的长隧道。此阶段建成的公路隧道总长达到约 150km,1000m 以上的公路隧道已有十余座,具有代表性的是甘肃的七道梁隧道、新疆天山铁力买提隧道(图 1-1-3)等。

20 世纪 90 年代,我国进入了公路隧道高速发展时期,出现了成渝高速公路的中梁山隧道、川藏公路的二郎山隧道、南广邻高速公路的华莹山隧道(图 1-1-4)等,把我国公路隧道单洞长度提高到 3000m 以上,并在应对突涌水、岩溶、瓦斯等不良地质及处治塌方、大变形等问题方面积累了经验,特别是在公路隧道机电设施、运营管理、防灾救援等技术方面取得了突破性进展,为我国后来修建山岭长大公路隧道积累了宝贵经验。

进入 21 世纪,我国已修建了众多的长隧道、特长隧道以及隧道群,隧道在公路里程中比重不断增大,同时隧道建设技术也不断



图 1-1-3 新疆铁力买提隧道



图 1-1-4 四川华蓥山隧道

提高和日趋成熟。特别是涌现出一批世界级的公路隧道工程,如陕西省秦岭终南山隧道(长 18.02km)(图 1-1-5)、甘肃省麦积山隧道(长 12.29km)(图 1-1-6)、山西省西山隧道(长 13.65km)等。一大批特长隧道的出现,也促使我国在公路隧道防灾救援领域的研究有了长足进步。我国公路隧道不仅单洞长度在增加,内轮廓断面也逐渐扩大。早期的公路隧道为单车道隧道,后来出现了双车道隧道,并不断发展为三车道隧道及四车道隧道。



图 1-1-5 终南山隧道



图 1-1-6 麦积山隧道

随着我国公路隧道数量增多、规模增大,结构形式变得多样。由于地形限制,部分情况下双洞隧道左右线间距往往不能满足建设需求,在正常分离式的基础上,出现了连拱式(图 1-1-7)或小净距式等多种隧道结构形式。此外,由于复杂地形条件限制及其他

特殊需求,我国公路隧道还出现了分岔式结构形式、桥隧相接结构形式(图 1-1-8)、地下立交结构形式等。



图 1-1-7 连拱隧道

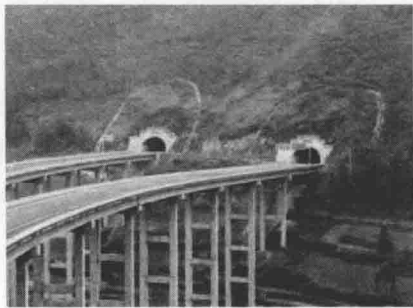


图 1-1-8 桥隧相接

截至 2018 年底,我国已建成公路隧道 16229 座,总里程 17236.1km,其中特长隧道 4706.6km/1058 座,长隧道 7421.8km/4315 座。

## 1.2 公路隧道加固维修

### 1.2.1 我国公路隧道病害现状及认识

结合发达国家的发展历程,我国公路隧道工程的发展大致可分为三个时期:大规模建设时期、新建和维修改造并重时期、改造和维修加固为主时期。我国幅员辽阔、地域自然条件差异较大,隧道穿越山体的工程地质、水文地质条件复杂多变,既有隧道受设计、施工、养护等因素的限制,很多隧道在投入运营初期就出现了各种各样的病害。如隧道渗漏水(图 1-2-1)、衬砌开裂(图 1-2-2)、路面开裂(图 1-2-3)、限界受侵、基底下沉、底鼓、冻害(图 1-2-4)、火灾(图 1-2-5)、震害(图 1-2-6)等问题,不同程度地影响了隧道内的行车环境和行车安全。不仅部分早期建设的隧道已进入“高维修”阶段,而且预期在不久的将来会有大量的公路隧道需要进行维修加固处治。

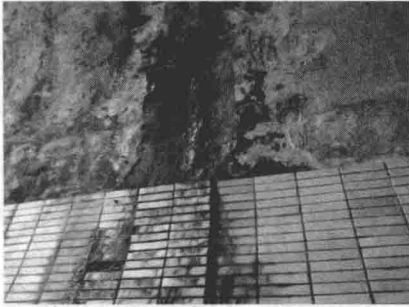


图 1-2-1 衬砌渗水



图 1-2-2 衬砌开裂

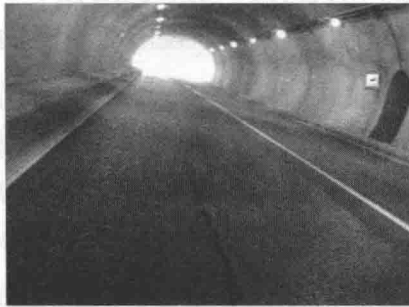


图 1-2-3 路面开裂



图 1-2-4 隧道冻害



图 1-2-5 隧道火灾



图 1-2-6 隧道震害

有资料显示,我国目前大约 30% 的公路隧道处于病害发育的亚健康状态,但公路隧道管理者没有给予足够的重视,仍普遍存在“轻检查、轻维护”的问题。往往是隧道出现轻微病害时得不到及时、有效的维修加固,等到部分隧道发生局部失稳、掉块、坍塌、涌水等严重病害才进行处治,导致处治难度大、费用高昂、