

桥梁的可靠性评估与加固

QIAOLIANG DE KEKAOXING PINGGU YU JIAGU

王有志 王广洋 任 锋 王广月 等编著

余建星 主审



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

桥梁的可靠性 评估与加固

王有志 王广洋 任 锋 王广月 等编著
余建星 主审



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书反映了公路桥梁可靠性评估与加固技术方面的最新成果,如粘贴碳纤维布和芳纶纤维布等加固技术等。内容包括:钢筋混凝土桥梁病害机理分析;结构可靠性评估理论与方法;桥梁构件与体系的安全性评估、耐久性评估;桥梁缺损状况评定标准与方法;公路桥梁加固修补材料;桥梁上部结构和下部结构的加固维修技术等。

本书可供从事交通、土木和水利水电工程等专业的工程养护、管理、科研、设计和施工人员参考。也可作为高等院校土木工程专业高年级学生及研究生的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁的可靠性评估与加固/王有志等编著. -北京:中国水利水电出版社, 2002

ISBN 7-5084-1190-0

I. 桥… II. 王… III. ①公路桥-可靠性估计②公路桥-加固
IV. U448.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 065267 号

书 名	桥梁的可靠性评估与加固
作 者	王有志 王广洋 任锋 王广月 等 编著
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 362 千字
版 次	2002 年 9 月第一版 2002 年 9 月第一次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	32.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

随着我国经济实力的不断增强，交通运输事业发展迅猛。公路运输以其方便快捷的特点，在与铁路、航空、河道、海上运输的竞争中，其地位和作用正在不断提高。公路是公路运输发展的基础，良好的路况才能为汽车提供安全、快速的行驶条件。桥梁更是确保公路畅通的咽喉，其承载能力和通行能力是沟通全线的关键。

旧桥承载力不足、老化、破损是个世界性范围的问题。近十几年来，一方面公路交通量急速增长，大型重载的运输工具越来越多，需要高标准的桥梁，另一方面原有的公路桥梁因老化、破损及原设计标准偏低，难以满足公路运输的发展。这一矛盾越来越尖锐。另外在大型水电站、矿山建设中，需通行运输超大型构件的大吨位车辆，即使近年来修建的桥梁也不能满足使用上的要求。因此，在建设高标准的公路桥梁的同时，公路养护和设计研究部门应花大力气对旧桥进行检查、评估、维修和加固补强。

旧桥、危桥的加固、维修，以及如何评价现有桥梁的承载能力和安全度，正确地评估结构物的损伤程度，合理地桥梁进行加固维修，提高桥梁的可靠性，已经引起世界的关注。

对旧桥的维修、加固，必须在详尽的调查基础上，结合工程实际情况，进行混凝土桥梁病害机理分析，建立各种损伤模型，应用可靠性理论对其进行评估。结构的耐久性评估是在机理分析的基础上对现存结构通过适当的方法得到各阶段可靠性，最终预测该结构今后可靠性降低的情况以及预测寿命。现阶段我国缺少对工程结构严格科学的使用、检查及维修制度，因此缺少各种环境下构件损伤和老化过程的数据，这制约着结构耐久性分析和剩余安全度的评定，更无从评定不同的使用维修制度对结构寿命的影响，因此对结构中病害的调查与机理分析显得尤为重要。目前，我国对结构可靠度的研究只限于理论方面，而且又侧重于可靠度设计方面，对结构耐久性方面的研究特别是对耐久性评估理论的研究还落后于可靠度设计的研究。在结构的鉴定、维修、加固中，只有对现有结构做出正确的评估，准确预测出其剩余寿命，

才能制定出科学的加固方案，保证结构在寿命延续期内的安全性，节省大量维修加固资金。

近年来，由于新材料、新理论和新技术的发展，国内外提出了大量的新的加固维修技术。桥梁经维修后，大大地提高了其承载和通行的可靠性，取得了显著的经济效益和社会效益。

本书是根据国内外在桥梁的可靠性评估技术、旧桥测试及加固维修技术方面的最新研究成果而编著的。内容包括了系统的桥梁结构的可靠性评估理论，已建钢筋混凝土桥梁主要损坏形式、破坏机理。对桥梁个体评估，提出了桥梁缺损状况等级评定法、桥梁构件和体系安全性按可靠指标评定等级法、以模糊理论为基础的桥梁耐久性综合评估等多种方法。书中还重点介绍了公路桥梁加固修补材料，桥梁上部结构和下部结构的加固维修技术，尽可能详尽地叙述了新型修补材料和加固技术，如粘贴碳纤维布和芳纶纤维布加固技术等。

本书内容由浅入深、循序渐进，力求概念明确，说明清楚透彻，文字简练、内容新颖，反映了该领域的最新成果。

全书共分九章，第一章由山东大学王有志、同济大学孙大海编写，第二章由山东省交通监理咨询公司王广洋编写，第三章由天津大学余建星、王有志编写，第四章由王有志、徐鸿儒编写，第五章由任锋、王广月编写，第六章由王有志、孙大海编写，第七章由王广洋、周庆刚编写，第八章由王有志编写，第九章由杨博编写。全书由王有志修改定稿，余建星教授任主审。

本书在编写过程中，得到罗建群教授的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。

限于作者学识和经验，书中定存在一些不足乃至错误之处，恳请读者批评指正。

王有志

2002年6月

目 录

前 言

第一章 公路钢筋混凝土桥梁病害调查与机理分析	1
第一节 概述	1
第二节 公路钢筋混凝土桥病害调查分析	3
第三节 钢筋混凝土桥梁病害机理分析	8
第二章 桥梁结构可靠性评估的基本原理	27
第一节 概述	27
第二节 极限状态及其描述	28
第三节 结构的可靠度与失效概率	30
第四节 结构的可靠性指标	34
第五节 均值一次二阶矩法	38
第六节 改进的一次二阶矩法	40
第七节 JC 法	45
第八节 蒙特卡罗法	51
第九节 相关变量的变换	59
第三章 桥梁结构系统可靠性分析的基本理论	64
第一节 桥梁结构系统可靠性分析的基础	64
第二节 桥梁结构系统可靠性评估分析的基本方法	79
第三节 分析结构系统可靠性的 β 分支法	93
第四章 钢筋混凝土桥梁的安全性评估	128
第一节 钢筋混凝土桥梁的可靠性评估准则与评估模型	128
第二节 校准法与设计目标可靠指标	131
第三节 桥梁结构构件的动态可靠性	140
第四节 桥梁结构构件的可靠性分析	147
第五节 桥梁结构体系可靠性分析	155
第五章 钢筋混凝土桥梁耐久性评估	160
第一节 概述	160
第二节 评估方法及评估模型	162
第三节 钢筋混凝土桥梁耐久性的模糊综合评估	166

第四节	基于混凝土碳化的桥梁耐久可靠度分析	178
第五节	评估实例	181
第六章	钢筋混凝土桥梁缺损状况的评价	184
第一节	桥梁构件缺损状况监测内容与评定标准	184
第二节	钢筋混凝土桥梁构件缺损状况评价	185
第三节	评估实例	187
第四节	基于神经网络理论的可靠性评估方法	188
第五节	基于遗传算法的可靠性评估方法	192
第七章	常用桥梁加固修补材料	196
第一节	常用的水泥基修补材料	196
第二节	常用的高分子有机修补材料	199
第三节	聚合物水泥基修补材料	207
第四节	钢材及其他修补加固材料	211
第五节	灌浆修补材料	212
第八章	钢筋混凝土梁桥上部结构加固改造技术	215
第一节	下撑式预应力拉杆—喷射混凝土加固	216
第二节	预应力钢丝束—喷射混凝土加固	219
第三节	增大构件截面加固	220
第四节	粘贴加固	222
第五节	增加辅助构件加固	229
第六节	改变结构体系加固	230
第九章	桥梁基础加固技术	232
第一节	墩台加固补强	232
第二节	桥台滑移倾斜的处理方法	235
	主要参考文献	236

第一章

公路钢筋混凝土桥梁病害调查与机理分析

第一节 概 述

近年来的经济发展反映在公路运输上,表现为交通量猛增,载重量增大。由于设计标准的改变,载重能力的提高,使得许多已建桥梁的承载力变得偏低,桥面变窄,线型不良。

现将造成桥梁结构可靠性降低的主要原因简介如下。

1. 公路车辆的超限运输

在发展公路超限运输、提高公路货运车辆经济效益的同时,存在着大量提高公路运输车辆轴载重量、总质量以及外形尺寸限值标准的现象,即超载运输,给处于道路咽喉的桥梁增加了额外的载重负担,对桥梁的安全性构成巨大的威胁。

2. 结构的老化与病害

由于结构所处外界环境的影响而产生的老化与病害,在此主要指因混凝土碳化和裂缝开展引起的钢筋锈蚀,从而造成的钢筋力学性能改变、混凝土的强度随时间改变,以及由此引起的混凝土与钢筋间的粘结能力降低等。老化和病害使结构的承载能力降低,安全性下降。究其产生的原因,除了自然老化外,更主要是由于施工质量差、材料强度下降及长年失修、恶劣的运营条件。

3. 设计标准的演变

在我国,许多建于 20 世纪 60 年代的桥梁目前仍在正常运营。这意味着依据旧规范设计的桥梁承担着新规范规定的增大的设计荷载,超载现象是客观存在的。在设计方法的发展和设计标准的不断细化过程中,虽然能保证前后规范在安全性方面的合理衔接,但其中存在些许差异也是难免的。1974 年以前我国尚无高速公路,也不存在汽车专用公路与一般公路的区别,但随着公路网的重新划分,必然造成部分公路等级的提高,从而造成桥梁承担的荷载等级也会相应提高,并因此影响到桥梁结构的安全性。这是进行桥梁评估的最主要的原因。仅从一般公路规定荷载的比较,就足以说明新旧规范的荷载差异(在此给出的是 1974 年规范和 1985 年规范间的荷载差异)。

JTJ023—85《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》规定的荷载见表 1-1。

另外,该规范还规定:人群荷载:一般情况下为 300kgf/m^2 ,密集情况下为 350kgf/m^2 。两车道的情况下:荷载不折减。

表 1-1

1985 年规范规定的荷载

公路等级	汽车专用公路			一般公路		
	高速公路	一	二	二	三	四
计算荷载	汽车—超 20 级	汽车—超 20 级 汽车—20 级	汽车—20 级	汽车—20 级	汽车—20 级	汽车—10 级
验算荷载	挂车—120	挂车—120	挂车—100	挂车—100	挂车—100	履带—50
		挂车—100				

《公路桥涵设计规范》(1974 年)规定的荷载见表 1-2。

表 1-2

1974 年规范规定的荷载

公路等级	一	二	三	四
计算荷载	汽车—超 20 级	汽车—20 级	汽车—15 级	汽车—10 级
验算荷载	挂车—100	挂车—100	挂车—80	履带—50

同时规定,汽车—15 级的验算荷载也可用挂车—100 级。人群荷载:一般情况下为 250kgf/m^2 ,密集情况下为 350kgf/m^2 。两车道的情况下:荷载折减 10%。

4. 意外碰撞

结构在使用过程中,由于意外碰撞引起的结构构件断裂、失稳或变形过大而没有及时修复或更换,常常会影响相邻构件的承载能力。构件裂缝的开展会导致构件的抗力下降。这种情况下构件承载力的评估需通过现场检测,然后根据测量结果验算确定。此情况属偶然现象,故在本书中不予涉及。

旧桥承载力不足、老化、破损是个世界性范围的问题,越是工业发达的国家,如美、日、西欧和北欧等,这一问题就越严重。

美国 20 世纪 80 年代初的调查显示,全国共有 566000 座公路桥梁。在调查报告中叙述了 514000 座桥梁,其中有 40% 以上桥梁都有不同程度的损坏,98000 座桥梁结构强度降低,只能停止或限载通行,102000 座桥梁行车道太窄,桥下净空不够或承载力不足。由于桥梁陈旧老化、失修,塌桥事故不断发生。

原联邦德国曾于 70 年代末对一个州的 1500 座钢筋混凝土和预应力混凝土公路桥做了全面检查。结果发现,钢筋混凝土桥:桥龄在 50~60 年的,有 27% 的桥梁至少有一处严重损伤,64% 至少有一处重要损伤,77% 至少有一处中等损伤;桥龄在 30~35 年的,有 13% 的桥梁上部结构至少有一处严重损伤,37% 至少有一处重要损伤,53% 至少有一处中等损伤;桥龄在 20~30 年的,有 8% 的上部结构至少有一处严重损伤,24% 至少有一处重要损伤,46% 至少有一处中等程度损伤。预应力混凝土桥的损伤情况比钢筋混凝土桥更严重,20~30 年桥龄的预应力混凝土桥,有将近 50% 的桥梁上部构造至少有一处重要损伤,其中 2/3 至少有一处中等损伤。

日本、北欧、西欧甚至印度等国也都对本国的公路桥梁状况进行了调查统计,对承载力较低的桥梁进行了加固,对一些旧桥进行了加宽。

我国的公路桥梁虽然大部分是新中国成立以后兴建的，但部分桥梁的桥龄也已达 40 余年。根据 80 年代和近年的几次公路调查结果，已有相当数量的桥梁发生了不同程度的老化、损坏，危桥的数量逐年增长。特别是 50 年代和 60 年代建造的一些桥梁，普遍存在着因设计荷载较低，承载力不足，桥面过窄和老化、破损、裂缝等问题。还有一部分桥梁因受意外荷载的作用或周围环境的变化如撞击、河道疏浚，洪水冲击桥下或桥旁的挖掘等而引起损害。这些桥梁不能正常使用，必须限重、限载通行，有些桥梁甚至不得不关闭交通。只有加固补强，使其恢复设计承载能力或提高荷载标准后才能运行。

为确保公路交通的正常运行，必须保证桥梁的承载能力、通行能力及良好的工作状况。要做到这一点，需要做的工作很多。首先要对现有的桥梁进行调查、检测，在此基础上，对桥梁进行评估。然后再进行有效的维修加固。

目前的评定标准主要有：①以可靠度理论为基础的可靠性评定标准；②以模糊数学及专家系统理论为基础的评定标准；③以专家经验为基础的构件缺损状况分级评定标准。

我国现行《公路养护技术规范》采用的是第三类方法。这类方法目前主要有两种：一是对桥梁各分部结构缺损状况进行分级评定，然后按缺损最严重的评定等级作为整个桥梁的缺损等级；二是根据桥梁各构件或各分部结构的缺损状况进行评分，然后依据其相对重要性给定权重进行叠加，从而得出整个桥梁的评分值。

由于在需要加固的桥梁中，钢筋混凝土桥梁数量最多，地位最重要，本书将重点论述钢筋混凝土桥梁的可靠性评估与加固技术。

第二节 公路钢筋混凝土桥病害调查分析

一、病害的概念

GB/T 50283—1999《公路工程结构可靠度设计统一标准》规定公路工程结构必须满足下列功能要求：

- (1) 在正常施工和正常使用时，能承受可能出现的各种作用。
- (2) 在正常使用时，具有良好的工作性能。
- (3) 在正常维护下，具有足够的耐久性能。
- (4) 在预计的偶然事件发生时及发生后，仍能保持必需的整体稳定性。

凡由于人为的（勘察、设计、施工、使用等）或自然的（地质、风雨、冰冻等）原因，使桥梁结构出现不符合上述规范和标准要求的一些问题和现象，统称桥梁结构的病害。按照不同的严重程度可分为四类：

(1) 完好或基本完好：桥梁结构基本满足上述要求，与建造时比基本没有可观测到的病害。

(2) 轻微损伤的病害：这类病害并不影响结构的承载力、刚度、完整性及其使用功能，但要消除由于它们造成的损伤则需要额外的费用，有时还要在使用过程中对结构作系统的观察。例如，勾缝脱落、混凝土轻微剥落等。

(3) 一般性损伤的病害：这类病害虽不一定影响结构应有的承载力，但却使它们的使用性能下降，维护费用增大，有时还影响观感，使人们有不安全感。如钢筋混凝土梁挠度过大、出现肉眼可见裂缝、基础发生整体沉降等。

(4) 严重性损伤或破坏性损伤的病害：这类病害往往表现为所采用的材料强度不足，或者构件残缺有伤，或者所选取的构件截面尺寸不够，或者所安装的连接构造质量低劣或使用环境恶劣，如超载、撞击等。如由于混凝土强度不足造成梁支座处剪切裂缝，梁、板通缝，基础发生过大不均匀沉降等，以至威胁到构件甚至整个结构的承载力和稳定性。这类病害如不及时消除，就有可能迅速导致局部结构甚至整个结构的破坏，而修复这类病害则一般要耗费巨额资金，有些甚至无法修复，必须推倒重建。

除第一类外，其余三类病害可能是显露的，如混凝土漏振拆模后发现大面积空洞，毛石砌体出现通缝等；也可能是隐蔽的，如埋设在混凝土中的钢筋位置有错，砌体强度不足等。隐蔽的病害尤其危险，因为它们有着良好外表的假象，不易被察觉，一旦这些病害导致结构发生破坏就会带来严重后果。

二、各分部结构的病害分类

桥梁病害的定义一般都由定性标准和定量界限两部分组成。定性标准从病害的形状和表象上进行界定，以从外观上将病害明显区别开，它是确定病害种类的主要依据；定量界限是从便于检查和处理的角度出发人为确定的界限。病害的界定以有利于指导道班养护生产为主，以客观反映现有钢筋混凝土梁桥的实际状况即实际服务水平为原则。

1. 翼墙、耳墙

翼墙或耳墙的病害是指桥台两侧翼墙的病害，包括开裂、倾斜、滑移、沉降等使翼墙、耳墙降低或丧失挡土能力的状况，见表 1-3。

表 1-3 翼墙、耳墙病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		轻微剥落、长满树木杂草、块石松动	冻融、下沉滑动、严重剥落、严重开裂	大贯通缝、有倾覆危险、翼墙断裂、人为拆除

2. 锥坡、护坡

锥坡、护坡的病害是指两桥台周围的锥形护坡和台前溜坡的病害，包括冲刷、滑塌、沉陷、草木丛生等现象，见表 1-4。

表 1-4 锥坡、护坡病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		长满树木杂草、局部缺损、松动、塌陷	大部分松动、大部分缺损、空洞裂缝	严重缺损、整体或局部下滑

3. 墩（台）身

墩（台）身的病害包括墩（台）身表面的各种缺损，如裂缝宽度超过容许值、下沉、

倾斜、滑动、剥落露筋等，见表 1-5。

表 1-5 桥墩（台）身病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		轻微剥落、蜂窝麻面、少量裂缝超容许值	较严重风化酥松、网裂、局部松动、整体下沉、柱空洞	梯形或横竖贯通缝、主筋暴露、翼墙与前墙分离有倾覆危险、严重不均匀沉降、位移、倾斜

4. 墩（台）基础

墩（台）基础的病害是指河床冲刷和腐蚀对基础造成的病害，包括风化、剥落露筋、发生不许可的冲刷或淘空等现象，见表 1-6。

表 1-6 桥墩（台）基础病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		轻微剥落、露基，但未露底，局部冲毁剥落	桩基被冲、直径减小、露筋，混凝土严重风化剥落，大部分偏位，局部露筋锈蚀严重	浅基冲空露出底面，基础不均匀沉降，基础淘空墩台身塌裂变形

5. 盖梁、墩台帽

盖梁、墩台帽的病害是指桥墩上或排架的盖梁、墩台帽的病害，包括表面的各种缺损、露筋、锈蚀、局压破坏等状况，见表 1-7。

表 1-7 盖梁、墩台帽病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		轻微剥落、露筋，蜂窝麻面，轻微渗漏	混凝土大面积退化、酥裂，混凝土局部压碎破裂，局部出现压裂缝	主筋大面积露筋、锈蚀，混凝土严重缺损、有落梁危险

6. 支座

支座的病害是指支座出现老化、破裂、破碎、错位、倾斜、脱空等导致其功能出现缺陷的现象，见表 1-8。

表 1-8 支座病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		个别滑动面干涩，个别轻微锈蚀，轻微老化	位置严重偏离、致使梁端支承不稳，大部分石垫块压碎	大部分老化坏死、失去功能，丢失

7. 上部主要承重结构

上部承重结构的病害是指桥梁的主要受力构件如梁、板的病害，包括裂缝、风化、剥落、露筋锈蚀等现象，见表 1-9。

表 1-9

上部主要承重结构病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		轻微剥落、梁腹蜂窝麻面、少量裂缝超容许值	混凝土剥落露筋锈蚀、梁腹混凝土酥裂剥落、梁板挠度过大	大部分板露筋、梁多处露筋、腹板竖向裂缝、板头混凝土破碎或断掉、板支点处竖向裂缝、梁支座附近梁体开裂、板头 45°斜裂缝、沿主筋较大纵裂、横隔板失去联系、过车有异常响动

8. 上部一般承重结构

上部一般承重结构的病害是指非主要承重构件如横隔梁和其他构造需要的构件的病害,包括裂缝、风化、剥落、露筋锈蚀等现象,见表 1-10。

表 1-10

上部一般承重结构病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		轻微缺陷损坏、蜂窝麻面、混凝土轻微剥落、少量裂缝超容许值	混凝土有部分风化酥松、帽石外移、挑梁有局部压碎	主筋暴露、严重贯通缝

9. 调治构造物

调治构造物的病害是指桥位附近为保护桥梁和桥头引道、河岸的安全和稳定而修建的防洪、防冲等防护措施的病害,包括剥落、草木丛生、砌体松动缺损、下滑、沉陷等现象,见表 1-11。

表 1-11

调治构造物病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		轻微剥落、长满杂草堆满垃圾、砌体局部松动、局部缺损	露基但未露底、下滑位移沉陷	基础淘空、截水墙冲毁、大部分缺损功能不良、严重残缺丧失防护功能

10. 桥面铺装

桥面铺装的病害主要包括桥头跳车、坑槽、裂缝(纵横缝、网裂)、波浪变形等现象,见表 1-12。

表 1-12

桥面铺装病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		局部损坏面层松散坑洼、有波浪变形、桥头跳车	大部分桥面有线状裂缝、拥包和凹陷、局部露筋、不规则纵横缝	严重纵裂、人为大空洞、大部分桥面破碎严重泛油打滑积水、严重网裂大部分桥面有坑槽

11. 伸缩缝

伸缩缝的病害主要包括脱落、渗漏、不平跳车、严重缺损等情况,见表 1-13。

表 1-13

伸缩缝病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		轻微渗漏、轻微不平跳车	严重不平跳车、钢板松动	U形板堵死、缝内沥青严重挤出、桥面板缝卡死、搭桥缝上层钢板损坏、失去伸缩功能、淤积

12. 人行道

人行道的病害包括撞击、断裂、错位、缺件、剥落、锈蚀等，见表 1-14。

表 1-14

人行道病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		轻微剥落、个别块件破裂塌陷	多处破裂塌陷、局部露筋	底部混凝土大面积剥落露筋、大部分残缺、人行道板断裂

13. 栏杆

栏杆的病害指桥梁两侧栏杆和护栏的病害，包括撞击、断裂、错位、缺件、剥落、锈蚀等，见表 1-15。

表 1-15

栏杆病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		轻微剥落、个别杆件松动或丢失、扶手栏杆变形、局部残缺、外移、个别裂缝	多处明显损坏、有倾斜裂缝多处	大部分残缺，危及人身安全

14. 排水系统

排水系统的病害指桥上的纵横坡、泄水孔、泄水管等的病害，包括坡度不适、积水、堵塞、排水沟损坏等情况，见表 1-16。

表 1-16

排水系统病害分类

病害类型	完好	轻微损伤	一般损伤	严重或破坏损伤
病害特征		个别不畅	较多不畅	大部分堵塞，排水不畅

三、调查结果分析

1. 钢筋混凝土梁桥病害状况

根据笔者近年对某地区桥梁状况所做的调查结果，88 座桥梁共有 585 处病害，其中轻微损伤的病害 266 处，一般性损伤的病害 167 处，严重或破坏性损伤的病害 152 处，分别占总病害数的 45.47%、28.55%、25.98%。说明主要病害形式是轻微损伤，而一般损伤、严重或破坏损伤也占相当大的比重。总体说来，钢筋混凝土桥梁的各种病害（损伤）

已十分严重，已严重危及桥梁安全、缩短了桥梁寿命，衰减了其预定功能。

根据调查结果，存在严重病害的占 25.98%，比较严重病害的占 28.55%，轻微病害的 45.47%，需要分别采取更新、部分更新与大修措施。这些桥梁几乎全部是国道、省道上的桥梁，交通量比较大，负荷较重，形式十分严峻。目前完全整修、加固好这些桥梁需要大量的资金。

2. 病害的主要形式是轻微损伤

在钢筋混凝土桥梁中，最常见的病害是轻微损伤，包括轻微剥落（如砌体部分勾缝剥落、墩台身冲蚀剥落、混凝土结构因风化冻胀引起的表面剥落等）、局部松动塌陷损坏残缺（如翼墙块石松动塌陷、锥坡块石松动塌陷等）、蜂窝麻面（如混凝土梁板因施工原因引起的蜂窝麻面等）、少量裂缝超容许值（如混凝土梁因超载而出现的裂缝等）等现象。产生的主要原因：由于施工质量差、材料强度低，致使桥梁的抵抗能力弱；由于常年失修的恶劣运行条件，加快了这种病害的迅速发展及蔓延。

3. 对相对次要的结构重视不够

将桥梁划分为四个体系：桥面系、上部结构、下部结构、其他部分。桥面系包括：桥面铺装、伸缩缝、排水系统、栏杆及扶手、人行道；上部结构包括：上部主要承重结构、上部一般承重结构；下部结构包括：支座、墩台身、墩台基础、盖梁及墩台帽；其他部分包括：翼墙、锥坡、调治构造物。各部分的病害数分别为 195、89、121、180，分别占总病害数的 33.33%、15.21%、20.68%、30.77%。不难看出，桥面系和其他部分的病害都达到了 30% 以上，是产生病害的主要部位，而我们平时比较重视的上部结构和下部结构分别为 15.21% 和 20.68%，远远小于前两者。说明钢筋混凝土桥梁的病害主要发生在桥面系和其他部分，我们的养护工作也应该对桥面系和其他部分加以重视，当然对上部结构和下部结构也不能放松，因为如果它们发生破坏，后果将是致命的。但日常养护则应该对桥面系和其他部分有所倾斜，使桥梁能够更好地完成其预定功能。

4. 结构及主体安全性降低是普遍严重的病害

桥梁结构断裂、构件失稳和失去功能为主的病害占 25.98%，如果加上局部破损和部分抗力不足引起的裂缝，使这类严重的病害超过了 50%，成为普遍严重的病害内涵。这类病害主要是由于设计考虑不周、施工质量差、材料强度低、基础不均匀沉降等原因引起的，直接关系到桥梁的安全度。

5. 桥梁病害已经直接导致其目标功能的衰减

据资料调查，由于桥梁病害涉及桥梁安全性的降低，许多桥梁只能限载运行，从而降低了正常功能。钢筋混凝土桥梁群体功能衰减已十分严重，如考虑潜在的寿命衰减，可能还要更严重一些。

第三节 钢筋混凝土桥梁病害机理分析

一、病害的主要形式

钢筋混凝土桥梁的病害主要有以下几种形式。

1. 裂缝

裂缝是钢筋混凝土桥梁中最普遍、最常见的病害之一，不产生裂缝的桥梁几乎没有，而且裂缝往往是多种因素联合作用的结果。裂缝对钢筋混凝土桥梁的危害程度不一，严重的裂缝如贯通缝、网裂等将会严重危及桥梁的安全运行。另外裂缝往往也会引起其他病害的发生与发展，如钢筋锈蚀、冻融破坏等，这些病害与裂缝形成恶性循环，会对桥梁的耐久性产生很大的危害。裂缝种类如下：

(1) 超载裂缝：由于交通运输的发展以及设计、施工等方面的原因，大部分钢筋混凝土桥梁处于超载运行状态，使结构上的作用超过了其抗力，出现了此类裂缝，包括局压裂缝、弯曲裂缝、剪切裂缝。

(2) 不均匀沉降引起的裂缝。

(3) 网裂：混凝土出现不规则裂缝。

(4) 钢筋锈蚀引起的裂缝。

(5) 碱骨料反应裂缝。

2. 混凝土碳化及钢筋锈蚀

混凝土碳化及钢筋锈蚀现象在钢筋混凝土桥梁中比较普遍，也比较严重。调查表明，当碳化深度接近或超过混凝土的保护层厚度时，混凝土结构内的钢筋多已锈蚀。但凡裂缝较多、混凝土质量较差的桥梁，其钢筋锈蚀程度也就必然严重，产生的顺筋裂缝也特别多。

3. 剥蚀

剥蚀是从混凝土的外观破坏形态着眼，对混凝土桥梁结构表面混凝土发生蜂窝麻面、露石、酥松起皮和剥落等病害的统称。根据不同的机理可分为冻融剥蚀、冲磨和空蚀、水质侵蚀、风化剥蚀等。

4. 结构构造的破坏

在钢筋混凝土桥梁中，由于结构的关键部位构造不合理、施工过程中存在问题或年代久远等而引起的结构构造老化、失稳、变形过大等已在一定程度上影响了桥梁的安全运行。

5. 地基不均匀沉降引起的破坏

由于地基不均匀沉降引起的破坏对结构的影响也比较大，如翼墙和锥坡的下沉、滑动、开裂，毛石墩台的贯通缝等。

6. 人为破坏

人为因素也是导致结构功能丧失的一个重要因素，有时造成的破坏是非常严重的以至于结构的某项或几项功能完全丧失，主要有撞击、人为拆除等。

二、病害的机理分析

1. 裂缝

当混凝土中拉应力大于其抗拉强度或拉应变大于其极限拉应变时，混凝土会产生裂缝。混凝土产生裂缝的主要原因见表 1-17。

表 1-17

混凝土产生裂缝的主要原因

大的方面	分类	因素	原因
材料	原材料	水泥	水泥的非正常凝结，水泥的水化热，水泥的非正常膨胀
		骨料	骨料中含泥土，骨料质量低劣，使用了反应性骨料
	混凝土		混凝土中的氯化物，混凝土的沉缩及泌水，混凝土的干缩
施工	混凝土	拌和	掺和料拌和不匀，搅拌时间过长
		运输	泵送时改变了配合比
		浇筑	浇筑顺序不合适，浇筑速度太快
		振捣	振捣不足或漏振
		养护	硬化前受到振动或加载，初期养护时急骤干燥，初期冻害
	钢筋		钢筋位置被扰动，保护层厚度不够
	模板	模板	模板变形，模板漏浆或底部渗水，过早拆模
		支撑	支撑下沉
运行与环境	物理方面	温湿度	环境温湿度的变化，构件两面的温湿度相差较大，反复冻融
	化学方面	化学作用	酸或盐类的化学作用，碳化引起的内部钢筋锈蚀，氯化物侵入使内部钢筋锈蚀
结构及外力	荷载	基本荷载组合	运行中的荷载在基本荷载组合内，运行中的荷载超过基本荷载组合
		特殊荷载组合	运行中的荷载在特殊荷载组合内，运行中的荷载超过特殊荷载组合
	结构设计		断面及钢筋用量不足，混凝土标号低，钢筋接头、锚固、构造等设计不当
	支承条件		结构不均匀沉降，冻胀作用
	其他	其他	

(1) 超载裂缝：

1) 局压裂缝：当设计的混凝土抗压强度不够或超载使用时，在承压应力大的部位，由于出现局部拉应力，常常导致产生局压裂缝，甚至会局部压碎。特征：在局压区出现大体与压力方向平行的多条短裂缝。临近破坏前，裂缝加密、混凝土压酥，或发生一条集中开展的主裂缝、混凝土劈裂。

2) 弯曲裂缝：当受拉区拉应力超过混凝土抗拉强度时往往出现弯曲裂缝。特征：弯矩最大截面附近从受拉区边缘开始出现横向裂缝，逐渐向中和轴发展；用螺纹筋时，裂缝间可见短向次裂缝。临近破坏时，横向裂缝向压区延伸，压区出现短而密的纵向裂缝，压区混凝土和箍筋间纵向受压筋外鼓；梁高较大的 T 形或 I 形梁中，次裂缝可发展成与主裂缝相交的枝状裂缝。

3) 受剪裂缝：特征：分两种情况，当箍筋适当时，沿梁端中下部发生约 45° 、方向相