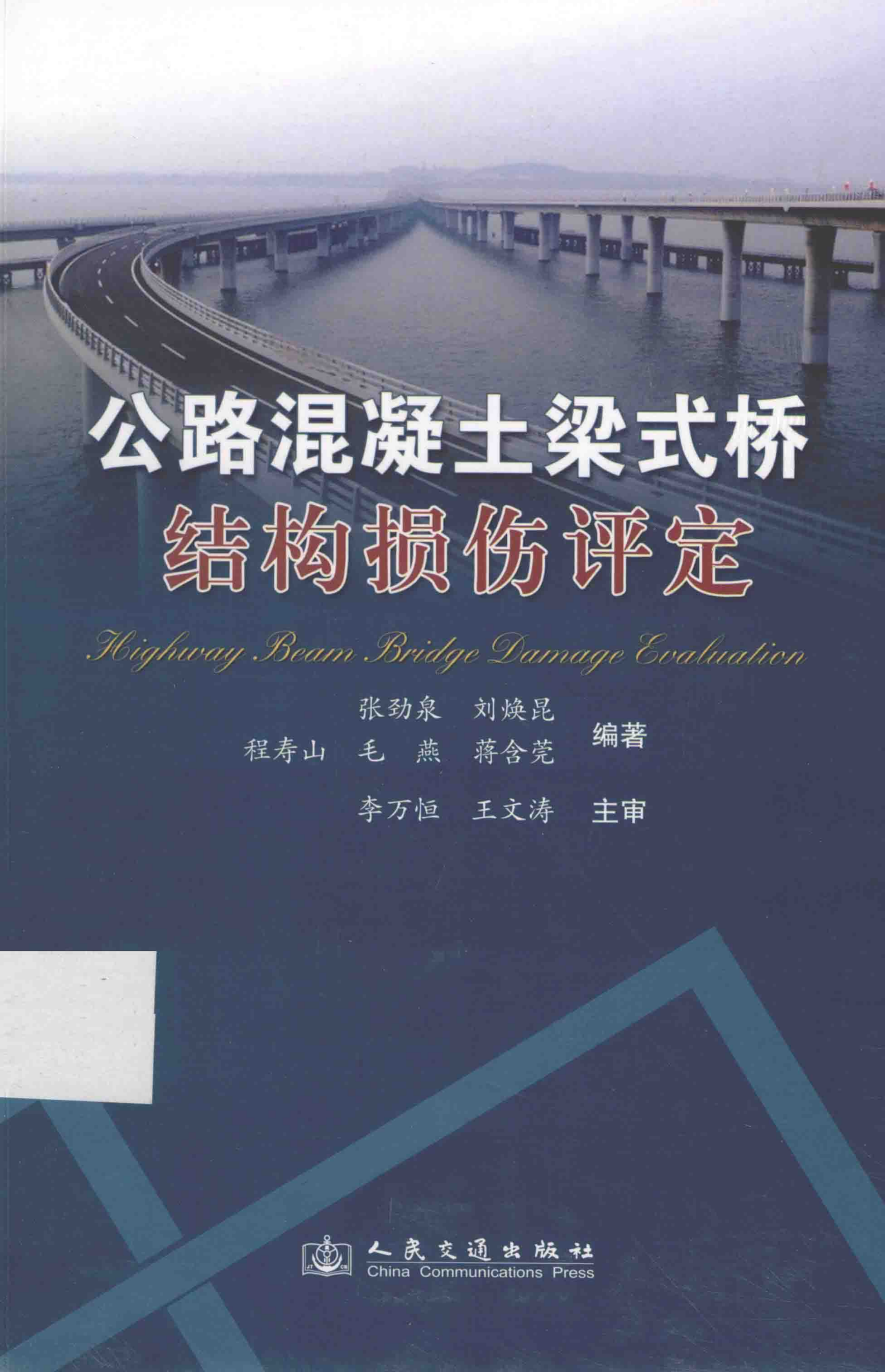




公路混凝土梁式桥 结构损伤评定

Highway Beam Bridge Damage Evaluation

张劲泉 刘焕昆 编著
程寿山 毛燕 蒋含莞
李万恒 王文涛 主审



人民交通出版社
China Communications Press

公路混凝土梁式桥结构损伤评定

Highway Beam Bridge Damage Evaluation

张劲泉 刘焕昆 程寿山 毛 燕 蒋含莞 编著
李万恒 王文涛 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

公路混凝土梁式桥的损伤及其耐久性衰减、承载能力降低等问题在使用过程中逐渐暴露出来,影响其服务水平及寿命周期。本书在借鉴国内外桥梁检测和评定的先进技术以及科研成果的基础上,通过对我国公路混凝土梁式桥损伤状况进行综合调研,采用多指标、多层次的结构损伤评定指标体系,建立了定性、定量描述以及配有损伤图形标杆的评定指标;采用桥梁的损伤指数表征桥梁损伤状况,用分项打分加权评定法评定各部件的损伤程度,最终评定桥梁结构的损伤状况。

本书适合从事公路桥梁科研、设计工作的人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

公路混凝土梁式桥结构损伤评定 / 张劲泉等编著

—北京:人民交通出版社,2013.9

ISBN 978-7-114-10833-4

I. ①公… II. ①张… III. ①公路桥—桥梁结构—混凝土结构—损伤(力学)—评定 IV. ①U448.141—34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 186392 号

书 名:公路混凝土梁式桥结构损伤评定

著 作 者:张劲泉 刘焕昆 程寿山 毛 燕 蒋含莞

责任编辑:周 宇 贾秀珍

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门东大街外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:6.75

字 数:143 千

版 次:2014 年 2 月 第 1 版

印 次:2014 年 2 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10833-4

定 价:27.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

混凝土梁式桥因其自身的优点成为目前我国使用最广泛的桥型。随着时间的推移,混凝土梁式桥的损伤及其耐久性衰减、承载能力降低等问题在使用过程中逐渐暴露出来,一大批早期修建的装配式空心板、T形梁桥出现单梁(板)受力,大跨箱形连续梁、连续刚构桥普遍出现腹板开裂和下挠严重等现象。因此,要及时对运营中混凝土梁式桥的损伤状况进行适时评定,以满足桥梁科学养护、可持续发展的需求。

本书在借鉴国内外桥梁检测和评定先进技术以及科研成果的基础上,通过对我国公路混凝土梁式桥损伤状况进行综合调研,采用多指标、多层次的结构损伤评定指标体系,建立了定性、定量描述并配以损伤图形标杆的评定指标;采用桥梁的损伤指数表征桥梁损伤状况,用分项打分加权评定法评定各部件的损伤程度,最终评定桥梁结构的损伤状况。我们希望本书能够为科研、技术人员提供参考,为提高我国公路混凝土梁式桥损伤评定技术水平作出贡献。

本书共分5章。第1章介绍了混凝土结构损伤现状、我国公路混凝土梁式桥损伤状况及损伤机理和成因分析。第2章介绍了混凝土梁式桥损伤评定指标及其选取原则、指标体系的构成。第3章介绍了混凝土梁式桥损伤评定工作流程、评定等级和权重,并详细介绍了各部位、结构损伤状况评分方法,给出了评定为危险桥或差桥的指标。第4章介绍了各损伤指标的评定标准,并对部分指标给出了具体的图形标杆。第5章给出了混凝土梁式桥损伤评定的实例。

参加本书编写的人员有樊平、张科超、吴寒亮、和海芳、冷艳玲。本书的编写得到了交通运输部公路局、交通运输部西部交通建设科技项目管理中心、业内相关单位领导及同行的大力支持和配合,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,加之学术水平和能力有限,疏漏、谬误之处在所难免。特别是目前我国桥梁损伤类别繁多,“图形标杆”评价系统还需在今后的实践中不断丰富完善。为此,敬请桥梁工程师们在应用中提出宝贵意见,以便日后更正完善。意见请寄至交通运输部公路科学研究院(地址:北京市海淀区西土城路8号,邮政编码:100088)。

编者

2013年7月于北京

目 录

1 概述	1
1.1 混凝土结构损伤研究现状	1
1.2 我国公路混凝土梁式桥损伤状况	3
1.3 混凝土梁式桥损伤机理及成因分析	6
2 混凝土梁式桥损伤评定指标体系	9
2.1 混凝土梁式桥损伤评定指标的选取	9
2.2 混凝土梁式桥损伤评定指标体系构建	10
3 混凝土梁式桥损伤评定方法	13
3.1 损伤评定工作流程	13
3.2 损伤评定方法	13
3.3 损伤状况评分	19
4 混凝土梁式桥损伤指标评定标准	25
4.1 混凝土梁式桥结构损伤检查内容	25
4.2 桥面系损伤指标评定标准	26
4.3 上部结构损伤指标评定标准	39
4.4 下部结构损伤指标评定标准	75
5 混凝土梁式桥损伤评定工程应用实例	87
5.1 装配式空心板桥	87
5.2 整体现浇板桥	93
参考文献	98

概 述

1.1 混凝土结构损伤研究现状

自英国土木工程师协会(ICE)发表《既有结构的评估》^[1]之后,联合国“经济合作与发展组织”主持召开了关于“道路桥梁维修与管理”国际会议,要求对现有桥梁结构进行全面的调查和评估。美、英、加拿大等国先后颁布了基于结构性理论和设计规范的桥梁评估规范或文件^[2, 3]。J. T. P. Yao^[4]成功地将模糊数学应用于震后结构破损评估和旧有结构性能评估的专家系统。Ah Beng Tee^[5]论述了模糊集理论在桥梁状况评估中的应用,认为材料特性、桥梁的几何特性以及作用荷载是分析结构承载力的三个重要参数,提出了非常量权重的评估方法。考虑破损阶段的不同,引入变权重的概念,即破损越严重,权重越大。在确定桥梁损伤等级时,建议用所得结果与各个评语之间的 Euclidean 距离大小来表达。美国联邦公路管理局(FHWA)将桥梁划分成三个子系统(下部结构、上部结构、桥面),对每座桥梁收集 90 个项目的数据,将桥梁结构缺陷划分成 10 级来评估桥梁的缺陷状态^[6]。美国 Pontis 桥梁管理系统主要负责公路交通网中中小桥梁的管理与维护,目前已经广泛用于其所属各州公路桥梁管理工作。系统采用网络优化模型和 Markov 决策过程实现桥梁养护维修预算的制订和资金的分配,通过效益/费用分析方法在限制预算内进行桥梁维修管理的决策^[7, 8]。J. de Brito 等人针对混凝土桥梁开发了桥梁管理专家系统。该系统功能分为两大模块:①检测模块,进行桥梁现场信息定期采集,基于知识的交互式系统作为补充;②梁管理策略优化模块,包括检测策略、养护和维修三个子模块。系统采用了 FORM (first-order reliability methods) 方法进行可靠性评价^[9, 10]。Stephens^[11]应用多个定量指标和 BP 网络对地震后结构的损伤进行评定,并认为神经网络能够给出比较可靠的结论。Szezezyk 和 Hajela^[12]将结构静力位移作为网络输入,来识别结构刚度的变化,利用 CPN 网络对桁架和框架结构进行损伤识别。H. G. Melhem 等采用专家系统工具 CLIPS (C Language Integrate Production System) 建立了桥梁总体评价程序,提出了采用模糊加权向量法,基于由重要性两两比较矩阵得到的权重,采用弱 α 分割和模糊加法得到相应各评价子集的模糊加权向量,提高了最终评价结果的稳定性,支持检测者评价结果的分散性,克服了对部分监测者可能不精确检测结果的敏感性。系统对桥梁结构的最终评价值分为 1~9 级,并按照各级指标的权重及评价结果进行检测和维修策略的制订^[13]。

我国自《公路旧桥承载能力鉴定方法》(试行)^[14]颁布后,不少学者开展了混凝土损伤评估方法方面的研究。西南交通大学钱永久教授通过引入模糊数学的概念与思想,将桥梁系

统分解为若干个子系统,再将子系统分解为若干构件,对桥梁结构的损伤状态进行多层次模糊综合评判^[15]。吕克明^[16]将桥梁结构划分为六个可能受损主因素,主因素之下又分为若干影响各主因素评估的次因素,制定出适当的评估项目及各因素的评估方式,将桥梁损坏影响因素的评分作为输入,利用模糊数学原理建立了桥梁损坏模糊评估模型。西南交通大学开发的铁路桥条件评价专家系统(CARB),采用了诸如破损数据的自动采集与自动生成、破损数据与评价准则的前提条件相一致等措施,并使用了综合评价指标与先行准则法这两种推断知识^[17]。王永平等^[18]在对数十位桥梁专家的咨询以及大量的调查研究基础上,收集整理了桥梁评估专家知识,提出了用损伤度来度量桥梁结构或构件的损伤程度,并采用模糊数学原理,建立了桥梁实用性能的模糊综合评估体系,并探索建立了桥梁评估的专家系统。西南交通大学郑凯锋提出用局部损伤度与总体损伤度相结合的概念来评价既有桥梁的损伤程度,并将其作为主体知识用于既有桥梁损伤评定与对策专家系统之中,取得了良好的效果^[19]。潘黎明等^[20]采用层次分析法、模糊数学理论和人工神经网络方法对斜拉桥的安全性及耐久性评估进行了深入研究,开发了大型桥梁安全性与耐久性评估的神经网络专家系统。其综合评估结果为桥梁总体状态对应于优、良、中、差、劣五个等级的模糊隶属度向量。陈少文等^[21]针对当前公路桥梁养护管理工作的迫切需要,开展了在桥梁损伤评价与处治对策中应用和开发专家系统的新尝试,就构成该专家系统知识库和推理机制的需要,提出了公路桥梁损伤的评价方法、评价标准、对策方法和两个不确定推理指标,并用 Turbo - prolog 人工智能语言予以实现。姜海波和车惠民等^[22]在对影响钢筋混凝土梁可靠性的各种因素变异性分析的基础上,采用一次二阶矩的验算点法对一座既有铁路混凝土桥梁在单元时段内的失效概率进行了估计,并根据剩余使用期内的失效概率与单元时段内失效概率的简单比例关系,对该梁剩余使用期内的失效概率进行估计等。胡雄等^[23]应用模糊神经网络开发了以斜拉桥为背景的拉索桥安全性与耐久性评估专家系统。该系统能够根据桥梁监测过程中所获得的数据,对桥梁总体及其各个部分的状况进行评估,及时获得桥梁运行状态信息,评估其退化及损伤程度等。陆亚兴等^[24]根据桥梁结构的特点以及缺损特征,提出了桥梁构件缺损状况的监测内容和构件的五级评定标准,将桥梁缺损状况指数 BCI 作为桥梁缺损状况的评价综合指标,建立了 BCI 的计算模型,通过主客观相结合的方法标定了模型中的各项参数,并探讨了 BCI 与桥梁养护维修对策之间的关系。张家维^[25]结合灰色预测模型和统计方法评估混凝土的碳化损伤,并基于灰色区间回归分析方法,将混凝土的碳化规律表示为一有界区域,区域中的每一点都有一相应的权与之对应,用加权平均可靠指标表示结构的平均耐久度等。吴家合^[26]采用了四种方法即单层、双层、多层和多目标多跨度模糊评估模型对既有钢筋混凝土桥梁损伤进行了评估。帅长斌和吕任东等^[27]根据目前公路桥梁的现状,系统地提出了桥梁结构可靠性评估的基本特征,认为桥梁结构的可靠性包括安全性、适用性和耐久性三个方面,选用层次分析法建立递阶层次结构模型,在此基础上探讨了实现自动化评估系统的途径和方法。张永清和冯忠居^[28]提出用层次分析法建立桥梁安全性评价模型,在专家咨询的基础上,借助多级模糊综合评判和打分法相结合的方法,分析确定影响桥梁安全性各因素的权重及隶属度,并计算出桥梁安全性的总评分,据此确定桥梁的安全性等级。兰海和史家均^[29]引用灰色关联分析和变权综合的概念,提出了量化并确定评价指标评语和其他层次指标评语的综合方法。夏进明^[30]为了准确地把握现有城市公路桥梁的损伤程度,将桥梁

评定单元划分为下部结构、支座、上部结构及桥面系四个组合项目,每个项目包括若干个子页,在各个层次上直接对可靠性进行评级。

综上所述,目前对混凝土桥梁的技术状况评定,主要是采用层次分析结合专家调查的方法,凭借专家打分并引入影响权重的经验性、粗定量评估方法,即采用以专家调查和经验为主的模糊评价方法,尚未结合结构的特点,将结构损伤程度定量化地体现到技术状况的评定之中。

1.2 我国公路混凝土梁式桥损伤状况

1.2.1 损伤的定义及描述方法

损伤是指在单调加载或重复加载下,材料的微观缺陷导致其内聚力的进展性减弱,并导致体积单元破坏的现象。混凝土结构材料中的损伤有的是在施工中引起的初始损伤,有的是在外力作用或环境因素影响下产生的损伤。材料损伤的描述模型按其特征尺寸和研究方法大致可分为微观、细观和宏观三种。混凝土桥梁的损伤研究目前基本处于对宏观损伤的定性评价阶段,对其微观和细观层次的损伤评价处于理论探讨研究阶段,尚未达到工程应用的要求。损伤对桥梁结构的影响主要表现在结构强度的下降和结构体系受力特性的变化,通过试验研究宏观层次损伤对桥梁结构体系的影响,进而分析混凝土梁式桥的损伤状况。因此,根据梁式桥的结构特点和梁式桥典型损伤特征,在进行混凝土梁式桥损伤状况的评定分为材料损伤、构件损伤和结构损伤。就混凝土梁式桥而言,材料损伤主要表现为混凝土材料性能的退化和钢筋的锈蚀所引起的一系列问题;构件损伤主要表现为结构的开裂和缺损;结构损伤主要表现为结构构件发生损伤后对整体结构受力的影响,具体表现如下。

在材料层次上,主要表现为环境作用引起的材料性能劣化,包括混凝土碳化、氯离子侵蚀等所导致的钢筋锈蚀与混凝土胀裂、混凝土的碱—集料反应、冻融循环破坏等。其中,钢筋锈蚀是混凝土桥梁材料损伤的突出问题,也是目前在桥梁检查过程中无法通过表面损伤程度来定量化判断的指标,对钢筋锈蚀的量化评定是桥梁检测评定中的瓶颈问题。

在构件层次上,主要表现为荷载或外力作用所致的构件开裂或截面损失。构件层次的损伤会导致内力或应力重分布,对构件的承载性能产生重要影响。裂缝的分布特征可以反映构件的应力分布和刚度衰减情况,其损伤判定指标需考虑裂缝发生位置、长度、宽度、间距等特征量;截面缺损特征主要由缺损的位置、面积和深度确定。

在结构层次上,主要表现为结构连接构造或重要边界条件发生开裂、失效等不可逆变化。结构层次的损伤将导致结构整体承载性能下降或引发局部构造破坏、失稳。对混凝土梁式桥而言,结构层次损伤突出表现在横隔板、铰缝等横向连接构造以及连续现浇段、节段接缝等纵向连续构造的开裂、破损等。

连续损伤力学通常采用定义一种损伤变量来描述材料的损伤状态,在确定损伤变量时通常采用以下对所研究的损伤过程比较敏感、在检测过程中便于测定和统计的量:

- ①按空隙面积定义损伤标量;
- ②按空隙配置定义损伤张量;

- ③按弹性模量的变化定义损伤张量；
 - ④通过剩余寿命定义损伤变量。
- 在实际应用过程中,对于混凝土梁式桥而言,损伤的基准量可以有以下几种:
- ①空隙或裂缝的数量；
 - ②缺损的形状和面积；
 - ③弹性常数,如屈服应力、延伸率、弹性模量；
 - ④固有特性,如超声波速度、声发射、阻尼比等。

1.2.2 我国公路混凝土梁式桥损伤现状

通过对国省道干线公路上的混凝土空心板桥、现浇板桥等近 500 座混凝土梁式桥进行损伤状况调查,并对调查结果进行总结分析,得到各种形式混凝土梁式桥的典型结构和构件损伤如下。

(1)空心板梁桥

空心板梁桥的典型损伤为:铰缝开裂破损,板底面纵向裂缝,跨中区段受弯裂缝,端部腹板上方竖向裂缝,中性轴附近的横向裂缝和预应力钢束位置的针脚状裂缝,见图 1-1 ~ 图 1-6。

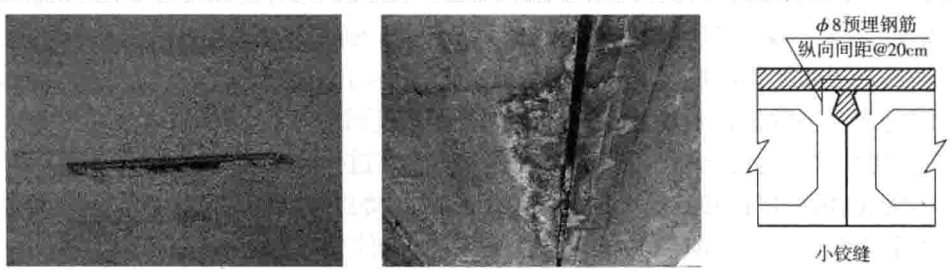


图 1-1 铰缝开裂

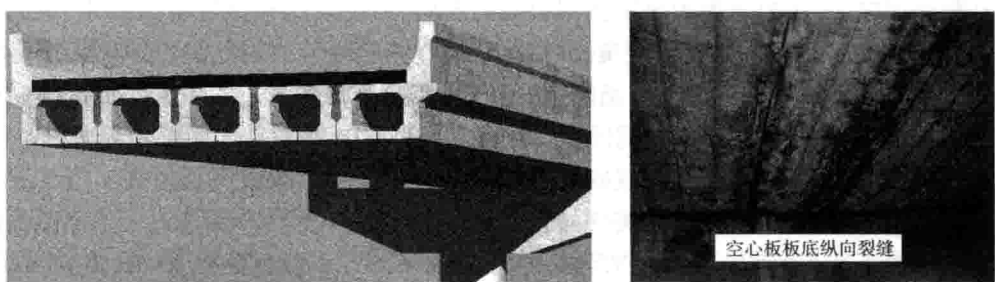


图 1-2 板底面纵向裂缝

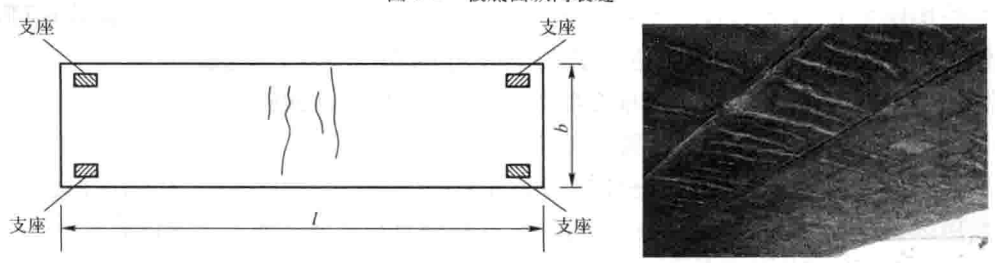


图 1-3 跨中受弯裂缝

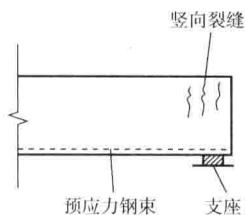


图 1-4 端部竖向裂缝

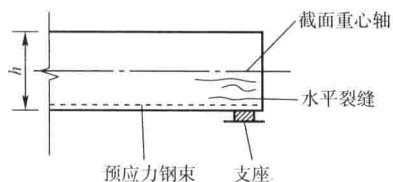


图 1-5 中性轴附近横向裂缝

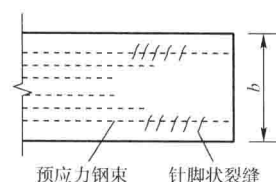


图 1-6 预应力钢束附近针脚状裂缝

(2) 整体现浇板桥

整体现浇板桥的典型损伤为:板底面的纵向裂缝(图 1-7)和跨中区段底板受弯裂缝。

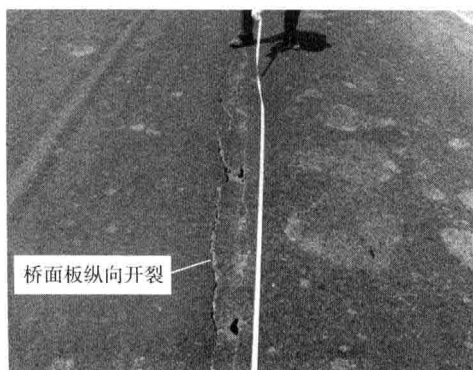


图 1-7 板底面的纵向裂缝

(3) T 形梁桥(工形梁桥)

T 形梁桥的典型损伤为:跨中区段受弯裂缝,梁端肋板弯剪斜裂缝,梁端部区域水平裂缝,梁端沿预应力方向裂缝,翼板现浇段开裂,横隔梁或铰缝的开裂,详见图 1-8 ~ 图 1-12。

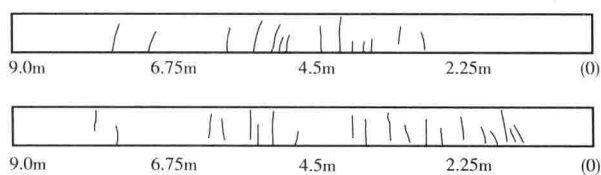


图 1-8 跨中受弯裂缝

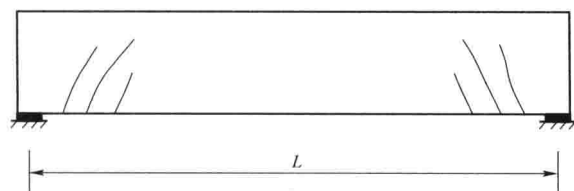
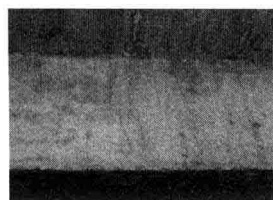


图 1-9 梁端斜裂缝



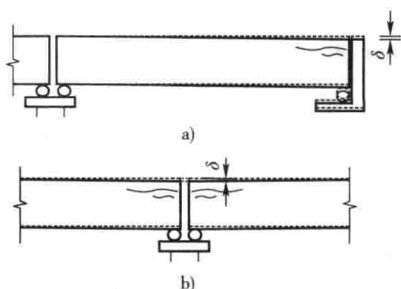


图 1-10 梁端部区域水平裂缝

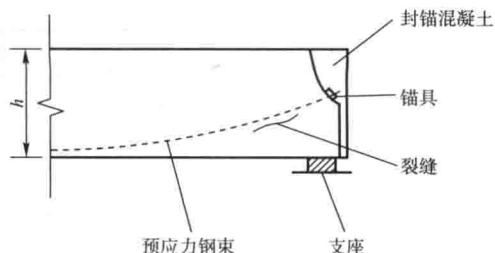


图 1-11 梁端沿预应力方向裂缝

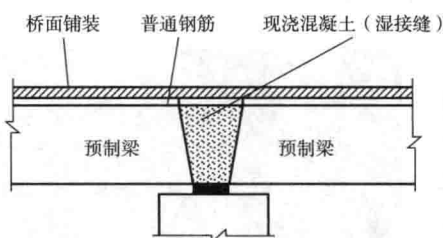


图 1-12 现浇段开裂

(4) 预应力混凝土连续梁桥和连续刚构桥

预应力混凝土连续梁桥和连续刚构桥的典型损伤为:跨中区段受弯裂缝,箱梁腹板斜裂缝,节段接缝附近的横向裂缝,齿板及其附近裂缝,箱梁底板纵向裂缝,详见图 1-13 和图 1-14。

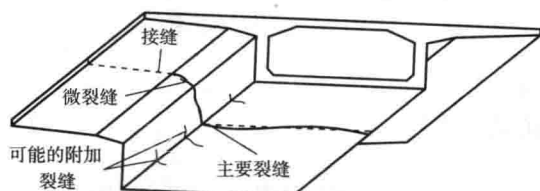


图 1-13 接缝附近的横向裂缝

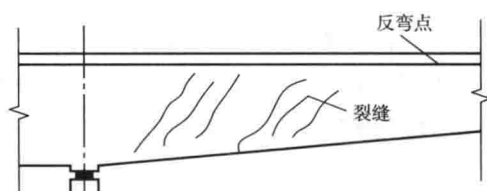


图 1-14 箱梁腹板斜裂缝

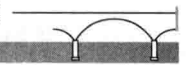
1.3 混凝土梁式桥损伤机理及成因分析

1.3.1 材料损伤机理及成因分析

混凝土梁式桥的材料损伤主要是由环境作用引起的耐久性损伤,表现为:①混凝土碳化导致的钢筋锈蚀;②氯盐侵蚀引起的钢筋锈蚀;③冻融循环导致的混凝土损伤;④硫酸盐等化学物质与水泥水化产物反应导致的混凝土损伤;⑤盐类结晶膨胀引起的混凝土损伤;⑥碱—集料反应引发的混凝土损伤等。

(1) 混凝土碳化

混凝土碳化是混凝土中性化的一种表现形式。混凝土碳化主要是由于水泥中的水



化物(如氢氧化钙、水化硅酸钙、水化硫铝酸盐等)与 CO_2 (通过裂缝、空隙等扩散到混凝土中) 反应(即碳化反应), 生成 CaCO_3 , 使混凝土的碱度降低。水化硅酸钙由于碳化反应除生成 CaCO_3 外, 还生成 SiO_2 , 在混凝土表面发生起砂现象。水化硫铝酸盐由于碳化反应除生成 CaCO_3 外, 还生成 $\text{Al}(\text{HO})_3$ 。这些没有胶凝性质的组分, 会使混凝土的强度降低。

钢筋混凝土结构中的钢筋由于混凝土中的 $\text{Ca}(\text{HO})_2$ 而处于强碱性保护下, 在一般大气环境下不易发生钢筋锈蚀。但由于混凝土碳化将导致混凝土的 pH 值降低, 使钢筋的钝化膜遭到破坏, 在传输渗透进入混凝土中的水和氧的作用下, 钢筋将会发生腐蚀, 钢筋腐蚀将产生铁锈膨胀压力, 导致混凝土保护层开裂或脱落。

(2) 氯盐侵蚀

混凝土中的氯盐主要有两部分: 一部分是从混凝土结构内部得到氯盐, 主要来源于拌和用水、化学外加剂、水泥及矿物质掺和料、海砂等带进的氯盐; 另一部分是外部侵入的氯盐, 主要来源于海洋环境中的海水作用、近海环境的大气盐雾作用、地下水中的氯盐(Cl^-)作用和冬季除冰盐的作用等。

氯离子半径小、穿透能力强, 外部的 Cl^- 从混凝土表面通过扩散渗透进入混凝土内部, 并进一步扩散到混凝土表面。当钢筋表面的混凝土孔隙中游离氯离子浓度达到或超过一定限值时, 即使混凝土碱度较高, 氯离子也能使钝化膜破坏, 使钢筋产生锈蚀。氯离子穿透进入氧化物内层形成易溶的 FeCl_2 , 使氧化膜局部溶解, 形成坑蚀。氯离子又吸附于局部钝化膜处, 使在钢筋坑蚀处与其他钢筋表面钝化膜还未遭破坏区域形成电位差, 构成腐蚀电池, 使钢筋发生大面积腐蚀。坑蚀的不均匀性使钢筋产生应力集中, 易导致结构或构件突然断裂。

(3) 冻融循环作用

混凝土冻结融解劣化或除冰盐冻融劣化的机理主要包括宏观应力作用和微观应力作用两个方面。宏观应力作用主要是由混凝土的水泥石与集料的热膨胀系数差异、混凝土由表及里的层状冻结差异以及除冰盐冰雪融解所致的混凝土表面温度剧降等所导致的; 微观应力作用主要是由水压作用、混凝土毛细管作用、除冰盐过程中的水盐扩散与渗透作用等所导致的。

混凝土的冻融破坏一般发生于寒冷地区经常与水接触的混凝土结构物。混凝土冻融循环产生的破坏作用主要有冻胀开裂和表面剥蚀两个方面。水在混凝土毛细孔中结冰造成的冻胀开裂使混凝土的弹性模量、抗压强度、抗拉强度等力学性能严重下降, 危害结构物的安全性。

(4) 硫酸盐侵蚀

硫酸盐侵蚀损伤机理: 一是与混凝土中水化铝酸钙起反应生成硫铝酸钙即钙矾石。二是与混凝土中氢氧化钙结合生成硫酸钙(石膏), 两种反应的生成物均会吸水膨胀, 造成体积增大, 使混凝土开裂。当含有镁离子时, 同时还能和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应, 生成疏松而无胶凝性的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, 这会降低混凝土的密实性和强度, 并加剧混凝土的腐蚀。三是外部侵入的存于混凝土空隙中的硫酸盐, 在干湿交替的情况下, 超过饱和浓度时, 会在混凝土中形成硫酸盐结晶, 产生较大的内压力, 导致混凝土开裂破坏。

(5) 碱—集料反应

碱—集料反应是指混凝土中的碱与具有碱活性的集料间发生的膨胀性反应,主要包括碱—硅反应和碱—碳酸盐反应两类。这种生成物(碱性凝胶、碱硅凝胶等)遇水后发生明显的混凝土体积膨胀,导致混凝土开裂,改变混凝土的微结构,使混凝土的抗压强度、抗弯拉强度、弹性模量等力学性能明显下降,严重影响结构的安全使用性,而且反应一旦发生很难阻止,更不易修补和挽救。

1.3.2 构件损伤机理及成因分析

混凝土梁式桥的构件损伤主要表现为由于荷载或外力作用所致的混凝土开裂或截面损失。

混凝土开裂主要分为两类:一类是混凝土早期开裂,如塑性混凝土裂缝、材料不良引起的裂缝、温度引起的裂缝、收缩裂缝等;另一类是由于荷载作用或结构变形引起的结构受力裂缝,如受弯裂缝、剪切裂缝、弯剪组合受力裂缝等。

混凝土塑性裂缝主要是由于施工不当引起的,这种裂缝可划分为两类:一类是塑性混凝土收缩引起的裂缝,一般出现在大面积的板、墙表面,因混凝土表面水分散失过快导致表面干缩变形而形成;另一类是塑性混凝土沉降引起的裂缝,一般是由于集料下沉水分上升(泌水),混凝土受钢筋阻挡在钢筋顶面产生的裂缝。材料不良引起的裂缝,一般是由于水泥安定性不符合要求、集料中含有泥土杂质、外加剂使用不当、配合比失误等原因引起的。温度引起的裂缝,一般发生在大体积混凝土中,主要由于混凝土水化热过大而降温措施不力所致。收缩裂缝,主要是在混凝土结硬过程中,收缩变形受到约束而产生的。

混凝土受力裂缝产生的原因可大致归结为荷载作用导致混凝土应力超限,基础不均匀沉降导致结构异常变形、结构支撑条件(边界条件)变化,或预应力作用等产生过大结构次内力两大类。

1.3.3 结构损伤机理及成因分析

混凝土梁式桥的结构损伤主要表现为结构连接构造或重要边界条件发生开裂、失效等不可逆变化。突出表现在:横隔板、铰缝等横向连接构造以及连续现浇段、节段接缝等纵向连续构造的开裂、破损等。

横隔板、铰缝等横向连接构造的损伤主要表现为横隔板或铰缝混凝土开裂破损,桥跨结构横向整体性降低,整体承载能力下降,主要原因为横向连接构造不合理和重荷载作用影响。简支变连续结构现浇段混凝土的损伤主要表现为墩顶负弯矩裂缝,形成的主要原因为结构构造不合理。箱梁阶段接缝损伤主要表现为接缝混凝土接合不良、接缝开裂,造成桥跨结构整体性下降,结构刚度降低,结构变形过大,主要原因为施工过程中新旧混凝土接合面处理、钢筋安置以及混凝土养生不当。

混凝土梁式桥损伤评定指标体系

2.1 混凝土梁式桥损伤评定指标的选取

2.1.1 损伤评定指标选取原则

评定指标的选取是否合适,直接影响评定的结果。为了客观、全面、科学地衡量混凝土梁式桥的受损情况,在研究和确定混凝土梁式桥损伤的评定体系及其评定方法时,遵循以下原则:

①科学性原则,即评定指标的选择、指标权重系数的确定、数据的选取、计算与合成要建立在科学的基础上。

②全面性、典型性、独立性原则,即指标具有较强的综合性,既能简化指标体系,又能全面集中地反映桥梁的典型病害特征,同时,各指标间又相互独立,相关性小。

③可行性和可操作性原则,即指标所涉及的数据比较容易得到和计算。

2.1.2 混凝土梁式桥损伤评定指标

(1)材料损伤的评定指标

材料损伤主要是指环境作用引起的耐久性损伤,主要包括混凝土碳化和氯离子侵蚀引起的钢筋锈蚀、碱—集料反应破坏、硫酸盐化学侵蚀损伤、冻融循环损伤。基于耐久性极限状态的三种定义,材料层次的损伤主要表现为混凝土锈胀开裂、剥落和钢筋锈蚀,对结构或构件抗力、整体牢固性将产生不利影响。对此类损伤可采用混凝土裂缝宽度、剥落面积等指标进行评定。

(2)构件层次损伤的评定指标

构件层次的损伤主要指由外力作用所引起的结构开裂和截面缺损,其损伤程度反映了截面抗力和刚度的衰减情况。因此在确定构件层次损伤的指标时主要考虑受力裂缝和截面缺损。根据裂缝和截面损伤对结构承载性能的影响,其评定指标如下。

裂缝指标:位置、长度、宽度、深度。

缺损指标:位置、面积、深度。

(3)结构层次损伤的评定指标

体系层次的损伤主要反映了损伤所导致的结构内力重分布的影响,就梁式桥而言,表现为结构纵、横向联系,边界条件等方面的变化。根据梁式桥结构形式的特点,其主要体系损

伤类型及指标如下:

①横向连接损伤主要是指装配式空心板或 T 形梁桥铰缝开裂、横隔梁开裂及缺损造成结构横向内力分布的变化。其指标为:铰缝开裂比率、横隔板损坏比例、裂缝特征参数和缺损严重程度等。

②纵向连接构造损伤主要是指节段施工接缝、连续现浇接缝。其指标为:接缝混凝土密实性、开裂分布特征(裂缝宽度、长度、深度)、缺损状况。

③结构支撑构件损伤状况评定主要考虑支座脱空程度和表征支座功能的两类损伤。其指标为:支座脱空率和支座变形能力。

2.2 混凝土梁式桥损伤评定指标体系构建

桥梁损伤状况评定采用多指标评定体系。按结构体系分为简支梁、连续梁和连续刚构桥,其截面形式按板梁、T 形梁和箱梁构建损伤评估指标体系;按混凝土损伤特征,则分为结构开裂、结构腐蚀、结构异常变形、结构边界条件变化、构件连接状况和使用功能恶化六种情况进行损伤评估;按混凝土结构损伤层次又分为三个层次,即材料层次、构件层次和结构层次损伤指标;按指标体系可分为三级,一级指标为桥梁的三大部件,即桥面系、上部结构(在指标体系划分时,我们将支座划分到上部结构)、下部结构,其中上部结构按照不同结构形式,分别划分构件组成;二级指标为一级指标部件下的构件;三级指标为构件的典型损伤。一级指标划分如图 2-1 所示。二、三级指标划分如图 2-2 ~ 图 2-8 所示。

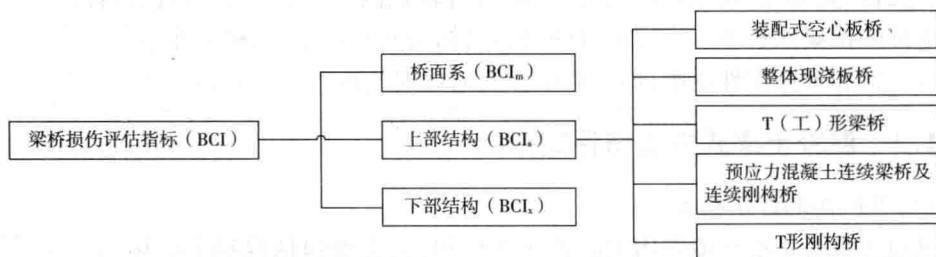


图 2-1 混凝土梁式桥损伤状况的评估指标体系

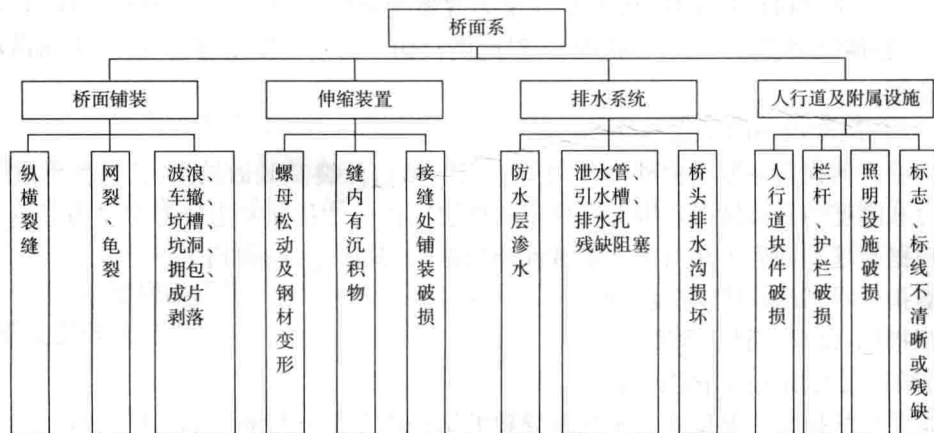


图 2-2 桥面系损伤状况的评定指标

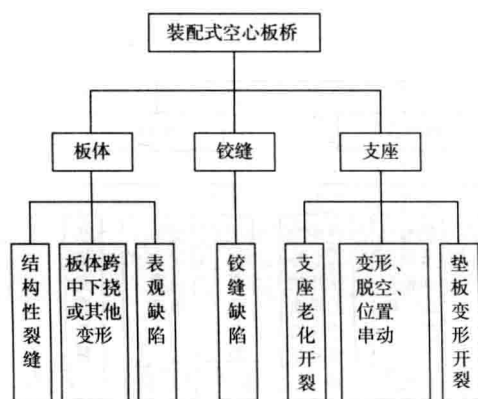


图 2-3 装配式空心板桥上部结构损伤状况的评定指标

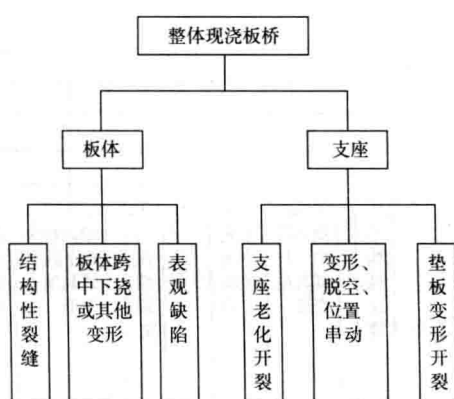


图 2-4 整体现浇板上部结构损伤状况的评定指标

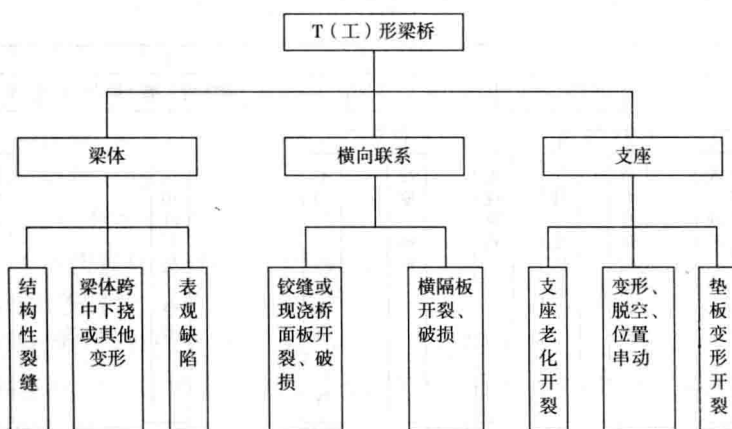


图 2-5 T(工)形梁桥上部结构损伤状况的评定指标

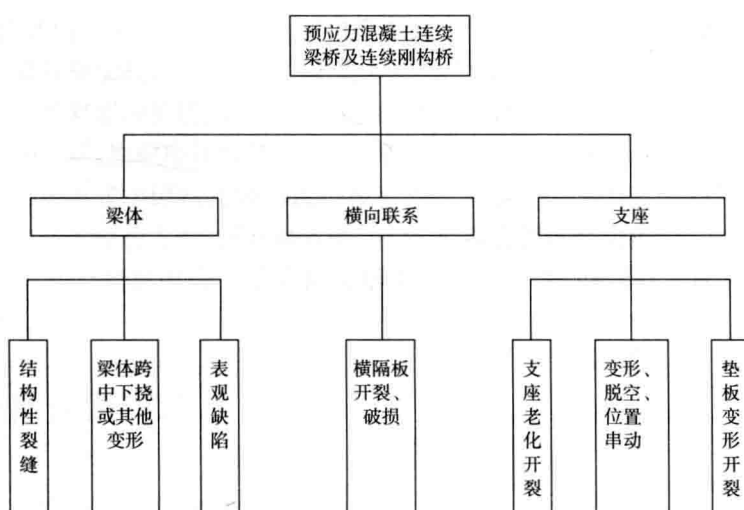


图 2-6 预应力混凝土连续梁桥及刚构上部结构损伤状况的评定指标

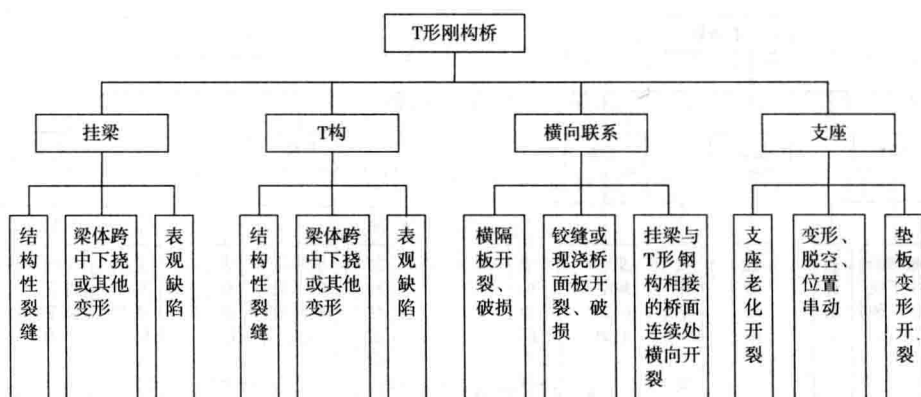


图 2-7 T 形刚构上部结构损伤状况的评定指标

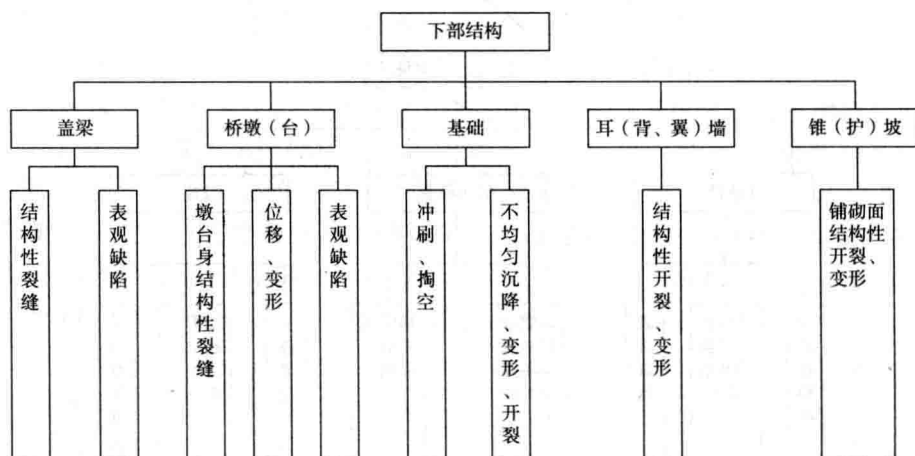


图 2-8 下部结构损伤状况的评定指标