

# 桥梁结构检测与评定

《城市桥梁检测与评定技术规范》实施指南

陈 凡 向中富 王海城 许 羿 编著

---



中国建筑工业出版社

# 桥梁结构检测与评定

《城市桥梁检测与评定技术规范》实施指南

陈 凡 向中富 王海城 许 羿 编著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁结构检测与评定 《城市桥梁检测与评定技术规范》实施指南/陈凡, 向中富, 王海城, 许羿编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016.4

ISBN 978-7-112-19439-1

I. ①桥… II. ①陈… ②向… ③王… ④许…  
III. ①桥梁结构-检测②桥梁结构-评定 IV. ①U443

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 098472 号

本书是《城市桥梁检测与评定技术规范》CJJ/T 233—2015 实施的配套性应用指南。

全书分为六章。第 1 章介绍了规范编制的背景、定位及主要内容; 第 2 章介绍了桥梁结构常见病害及产生原因; 第 3 章介绍了桥梁结构检测与评定的范围、项目、方法和标准; 第 4 章介绍了桥梁结构检算的方法、各种桥型检算的主要内容及要点; 第 5 章介绍了桥梁荷载试验的对象、方法、内容及标准; 第 6 章简要介绍了结构检测在桥梁技术状况评估中的应用。

本书可供检测人员、桥梁人员使用。

责任编辑: 王梅 郭栋

责任设计: 李志立

责任校对: 陈晶晶 刘梦然

## 桥梁结构检测与评定 《城市桥梁检测与评定技术规范》实施指南

陈凡 向中富 王海城 许羿 编著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

环球东方 (北京) 印务有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14 字数: 338 千字

2016 年 5 月第一版 2016 年 5 月第一次印刷

定价: 39.00 元

ISBN 978-7-112-19439-1

(28570)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)



# 前 言

桥梁结构检测与评定是桥梁技术状况评估的基础。从实践来看，由于缺乏结构检测与评定标准以及结构检测评定结果不准确，城市桥梁技术状况评估判断偏差时有发生，导致桥梁管养决策不当，为结构安全埋下隐患。行业标准《城市桥梁检测与评定技术规范》CJJ/T 233—2015正是在这种背景下制订的。本书是该规范实施的配套性应用指南。

全书分为6章。第1章介绍了规范编制的背景、定位及主要内容；第2章介绍了桥梁结构常见病害及产生原因；第3章介绍了桥梁结构检测与评定的范围、项目、方法和标准；第4章介绍了桥梁结构检算的方法、各种桥型检算的主要内容及要点；第5章介绍了桥梁荷载试验的对象、方法、内容及标准；第6章简要介绍了结构检测在桥梁技术状况评估中的应用。

本书第1章由重庆交通大学向中富教授编写，第2章、第3章、第5章由中国建筑科学研究院（国家建筑工程质量监督检验中心）陈凡研究员、张彬彬高级工程师、钟铭高级工程师、王海城高级工程师编写，第4章由重庆交通大学向中富教授、黄海东副教授、林胜讲师、郭增伟副教授编写，第6章由重庆交通大学许羿副教授、向中富教授编写。全书由陈凡研究员统稿。

由于编写水平有限，本书中不可避免有错误之处，敬请读者批评指正。

编者

2016年3月于北京

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 桥梁建设发展现状及趋势 .....	1
1.2 服役桥梁突发垮塌的主要原因 .....	3
1.3 桥梁管养的主要任务 .....	8
1.4 城市桥梁结构检测与评定 .....	12
1.5 城镇建设行业标准《城市桥梁检测与评定技术规范》 .....	12
1.6 桥梁结构检测评估技术发展方向 .....	15
<b>2 桥梁结构病害及产生原因</b> .....	17
2.1 概述 .....	17
2.2 桥梁混凝土结构和钢结构的缺陷及劣化 .....	17
2.3 混凝土梁式桥常见病害及产生原因 .....	23
2.4 混凝土拱桥的病害 .....	36
2.5 钢结构桥梁常见病害 .....	41
2.6 缆索承重结构桥梁常见病害 .....	47
2.7 钢-混凝土组合结构桥梁常见病害 .....	50
2.8 桥梁产生病害的综合原因分析 .....	52
参考文献 .....	56
<b>3 桥梁结构检测</b> .....	57
3.1 概述 .....	57
3.2 结构几何参数检测 .....	61
3.3 结构线形与变位检测 .....	62
3.4 构件材料强度检测 .....	64
3.5 构件裂缝检测 .....	67
3.6 混凝土构件缺损状况检测 .....	71
3.7 钢构件缺损状况检测 .....	84
3.8 混凝土构件耐久性影响因素检测 .....	89
3.9 支座和伸缩装置状况检测 .....	93
3.10 索力检测 .....	97
3.11 结构自振频率检测 .....	99
3.12 其他检测项目及方法 .....	100
3.13 人行天桥检测 .....	101
3.14 检测报告 .....	102

3.15	结构检测方法的发展趋势	102
	参考文献	104
<b>4</b>	<b>桥梁结构检算</b>	<b>106</b>
4.1	概述	106
4.2	桥梁结构检算荷载确定	107
4.3	桥梁结构检算模型建立	111
4.4	桥梁结构检算基本内容	115
4.5	桥梁结构承载能力评定	117
4.6	城市桥梁结构检算案例	124
<b>5</b>	<b>荷载试验</b>	<b>144</b>
5.1	概述	144
5.2	静力荷载试验	148
5.3	动力荷载试验	169
	参考文献	180
<b>6</b>	<b>结构检测在桥梁技术状况评定中的应用</b>	<b>181</b>
6.1	概述	181
6.2	桥梁技术状况评定方法	183
6.3	桥梁技术状况一般评定体系	185
6.4	桥梁技术状况评定及其结果应用	195
6.5	关于 I 类养护城市桥梁技术状况评定	216
6.6	小结	217

# 1 绪 论

## 1.1 桥梁建设发展现状及趋势

桥梁是跨越江河、海峡、湖泊、山谷和道路等障碍使道路连续的人工构造物。桥梁在公路、铁路及城市道路等交通基础设施中起着控制性作用，被称为“道路的咽喉”。桥梁起源于 7000 余年以前，从木桥到石梁桥、浮桥、索桥以及拱桥，经历了漫长的发展过程，如今已形成梁式桥、拱式桥、斜拉桥和悬索桥四大类各种组合形式桥梁。

桥梁的建设发展与经济社会发展密切相关。虽然中国桥梁建设历史悠久，特别是以迄今已有 1400 多年历史的赵州桥为代表的古代桥梁在世界上具有较高的地位，但在新中国成立时，中国桥梁水平还很低，与世界水平相差甚远。随着国家的建设发展，中国桥梁也得到了发展，到 20 世纪 70 年代末，钢筋混凝土桥梁、预应力混凝土桥梁等从无到有，桥梁总量达到 12 万座。随着 30 多年来的改革开放，中国桥梁建设发展也步入了黄金时期。迄今为止，中国已建成跨越大江、大河、山谷、海湾等各种形式桥梁 80 万余座，其中，梁式桥、拱式桥世界最大跨径纪录仍保持在中国，1000m 斜拉桥诞生在中国，悬索桥跨径处于世界第二位，使中国一跃成为世界桥梁大国，在一些方面领先于世界。其主要成就体现在以下方面：

桥梁设计理论与方法方面，逐步完成了由容许应力法到极限状态法的转变，全寿命、耐久性、可持续发展等设计理念推动了桥梁设计理论内涵与外延的发展。当前，着眼于全寿命周期的近似概率极限状态设计方法正成为我国桥梁设计的主流方法，开始注重概念设计和基于性能设计方法的研究和应用。

桥型与结构体系方面，世界上已建成跨度超 400m 的斜拉桥共 114 座，中国占 59 座，其中世界主跨排名前 10 的斜拉桥中国占 6 座，包括世界上首座超千米斜拉桥——苏通大桥等；世界上已建成跨度超 400m 的悬索桥共有 110 座，中国占 34 座，其中世界主跨排名前 10 的悬索桥中国占 5 座，包括处于世界第二位的 1650m 西堠门大桥等；世界上已建成跨度超 300m 的拱桥共有 50 座，中国占 25 座，其中世界主跨排名前 10 名的拱桥中国占 7 座，包括处于世界第一位的 552m 重庆朝天门长江大桥等；世界上已建成主跨大于 200m 的预应力混凝土梁桥共有 64 座，中国占 38 座，包括处于世界第一位的 330m 重庆长江大桥复线桥等；矮塔斜拉桥、自锚式悬索桥、斜拉-悬索协作体系桥等桥型也陆续得到工程应用。

桥梁新结构方面，钢箱梁、钢桁梁、钢-混凝土叠合梁、钢-混凝土混合梁等结构形式不断创新并得到推广应用；混凝土拱肋、钢箱拱肋、钢桁拱肋、钢管及劲性骨架组合拱肋等结构形式均得到广泛应用，并保持着各类型拱桥跨径的世界纪录；成功建成了异形变截

面哑铃形承台超大型群桩基础，先后研发了超大直径钻孔灌注桩基础、大型钢-混凝土组合沉井基础、大型圆形地下连续墙锚定基础围护结构，提出了大直径钢管复合桩基础、沉井+管桩复合基础等新型基础形式；研发了设计寿命 50 年的高强度耐久型平行钢丝以及平行钢绞线拉索体系。

桥梁高性能材料方面，C50、C60 混凝土得到广泛应用；Q345、Q370 钢材得到大量使用，Q420、Q500 也已开始应用；1770MPa 钢丝、1860MPa 钢绞线已实现国产化，1960MPa 钢丝（锌铝合金）也已经研发成功；记忆合金、压电材料、光导纤维、智能自修复混凝土等新型材料在桥梁监测检测和加固改造工程中已逐步应用。

施工技术与装备方面，已掌握大直径钻孔桩、大型群桩基础、大型沉井基础、超深地连墙基础等施工技术；掌握了混凝土桥梁整孔预制架设技术、钢箱梁整体吊装施工技术等，自主开发了包括浮吊、缆载吊机等关键装备；研发了斜拉扣挂施工钢筋混凝土拱桥、大节段提升钢拱桥等施工技术，拱肋施工技术总体处于世界领先水平；研发了斜拉桥热挤聚乙烯防护拉索技术，掌握了 PPWS 和 AS 工法的主缆架设技术；形成了系统的桥梁施工过程控制技术。

防灾减灾技术方面，提出了桥梁三维颤振分析的状态空间法和全模态分析法、斜风作用下抖振分析法、风振概率性评价方法等，研发了能够有效控制桥梁主梁颤振、涡振和拉索风雨振的启动控制措施和机械控制措施；提出了基于寿命期与性能的桥梁抗震设计理论，开发了桥梁减隔震技术和多种减隔震装置；提出了基于性能的桥梁船撞设计方法、基于概率的船撞危险性分析方法、船舶撞击力实用计算方法；研发了防撞装置等控制措施，研发了深水基础波流作用水动力试验水池和弹性模型试验技术；初步建立了桥梁结构构造细节及工艺保障体系。

桥梁监测、检测及评估与管养方面，厘米级实时动态差分式全球定位系统、全系列光纤光栅传感器和监测产品得到广泛应用，长大桥梁状态检测技术日臻成熟；桥梁混凝土无损检测、钢结构疲劳裂纹探测等技术得到了深入研究；桥梁检测手段不断丰富，检测精度和效率得到有效提高；提出了采用分层综合评定与五类桥梁单项控制指标相结合的桥梁技术状况评定方法；提出了基于桥梁试验检测结果和结构检算等的承载能力评定方法；碳纤维等复合材料、体外预应力加固等新方法和新工艺开始应用于桥梁维修加固工程，形成了较为完善的桥梁养护、维修与加固成套技术成果。

桥梁作为重要的基础设施，一方面已经成为国家经济社会发展的重要支撑，同时，也是“一带一路”基础设施骨干通道建设、长江经济带综合立体交通走廊建设等的重要组成部分，对于完善国内和国际基础设施网络，推动区域经济快速发展至关重要；另一方面，相对于我国经济社会发展目标，现有桥梁还不能满足交通需要，桥梁建设还将是今后一定时期内中国交通建设的主要任务。相对于世界先进国家桥梁技术发展水平，桥梁建设中还有一些理论与技术难题需要攻克，主要体现在以下方面。

桥梁设计理论与方法方面，需重点解决不同交通方式组合下的设计荷载标准，用于寿命设计的作用标准，多灾害作用的防灾减灾理论，性能、能力和寿命协调设计方法等问题。

桥梁结构体系与构造方面，需要研究发展 3000m 以上悬索桥、1500m 以上斜拉桥、深水基础等及其关键设施，研究发展多功能多层承载结构桥梁，发展预制装配的标准化中



小跨径桥梁。

桥用材料方面，需要开发应用大跨度桥梁高强度结构用钢、超高性能混凝土、高强度耐腐蚀钢筋、智能材料与纳米材料、结构表面涂层材料以及桥梁维修加固补强材料等。

桥梁施工及装备方面，需要重点解决深水基础施工技术及装备，预制基础节段施工方法，跨海及特殊地质地形下桥梁节段施工技术及装备，施工安全风险评估技术，智能建造与管养技术及装备，快速预制安装施工技术等问题。

总之，一方面，我国需要在已有建设发展成就基础上，针对存在的问题以及与世界桥梁发达国家的差距，就桥梁设计理论、桥用材料、施工技术 etc 开展深入研究与工程实践，突破桥梁建设，特别是涉及桥梁结构耐久性的桥梁建设技术，确保桥梁成桥质量；另一方面，中国桥梁总数已超过 80 万座，并还将不断增长。桥梁“老龄化”和服役条件的恶化带来的大量桥梁病害问题将更加突出，危桥所占比例不断提高，安全事故日益增多，如何保障数十万座桥梁运营安全已成为全社会关注的焦点与桥梁管养部门面临的主要任务。

## 1.2 服役桥梁突发垮塌的主要原因

从重视建设、忽视管养，到重建轻养，到如今建养并重的提出，我国桥梁在管养上有了一定的进步，为桥梁保持良好的使用状态起到了一定作用，但离确保桥梁长期安全运营的要求还存在不小的距离，无论是城市桥梁还是公路桥梁，“带病”服役的桥梁还不在少数，桥梁运营中突发垮塌还时有发生。

2011 年 7 月 14 日，某中承式拱桥在运行 11 年后，桥道系突然断裂（图 1-1），一辆旅游大巴坠入桥下，当场造成 1 人死亡、22 人受伤。事故主要原因在于吊杆锈蚀、超载。

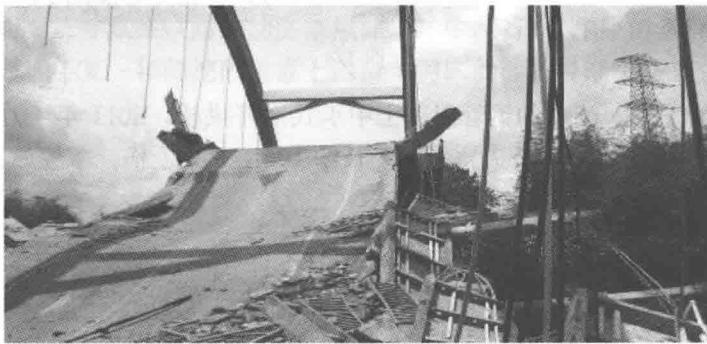


图 1-1

某桥 1997 年 3 月通车。桥梁引桥建成不到 10 年就多次整修，2 次大修。大修后，禁止大货车通行。2011 年 2~6 月，3940 辆 55~100t 货车通过；百吨以上货车 993 辆，部分超过 200t。2011 年 7 月 15 日凌晨 1 时 45 分左右，部分桥面突然塌落（图 1-2），一辆重型半挂车从桥面坠落，又将下匝道砸塌。事故主要原因在于施工质量较差及超载。

1973 年建成的某 5 跨净跨径 30m 等截面悬链线双曲拱，设计荷载为汽-13 级，拖一



图 1-2

60级。2009年6月29日2时40分许，桥体垮塌（图1-3），共有8台车辆和车上21人落水，造成4人死亡、4人受伤。事故原因：墩基底局部被水冲刷脱空，基底沉降位移；设计荷载偏低。



图 1-3

某桥跨150m、宽24.5m的钢管混凝土中承式系杆拱桥，2011年4月12日清晨，主跨第二根吊杆断裂（图1-4），造成桥面塌陷长约10m，6人受伤。事故原因与吊杆钢缆腐蚀有关。



图 1-4

某桥建于1972年，桥长52m，为单孔拱桥，2006年设为危桥，限载5t，限速单车通行。2010年6月8日，一大挂货车（126t）通行时突然垮塌（图1-5），两车入江，6人受

伤。事故原因：超载；监管不力；年久失修。



图 1-5

某桥 1985 年建成，全长 122m，桥高约 30m，宽 7m，主跨 80m 混凝土双曲拱桥。设计荷载汽-15，挂 80。2006 年 11 月 25 日凌晨，大桥在没有车辆行驶的情况下突然垮塌（图 1-6）。事故原因与大桥设计标准低、曾两次受洪水浸泡、疲劳极限提前、细部裂缝多、凌晨低温应力拉大陈旧性裂缝等有关。



图 1-6

2002 年 6 月 9 日，某铁路大桥 5 个桥墩突然发生连续垮塌（图 1-7），约 150 多米的铁路桥完全垮塌断裂，导致某铁路大动脉全然瘫痪，中断行车 14 小时 30 分，经济损失 1 亿多元。事故原因：年复一年的挖砂造成上游覆盖河床的砂石日渐采空导致基础失稳。



图 1-7

2004 年 6 月 10 日早 7:00，某 T 形刚构桥挂孔掉落（图 1-8）。主要原因与悬臂端薄弱部位——牛腿破坏有关。

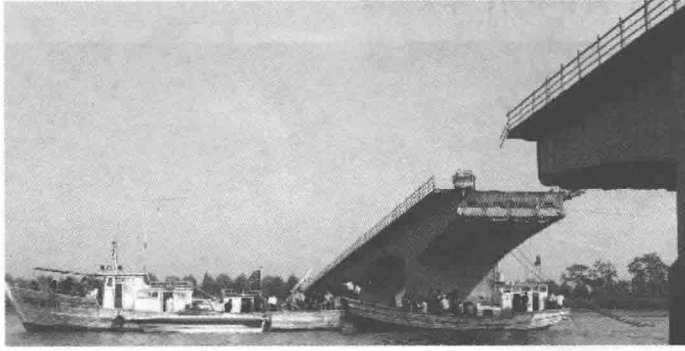


图 1-8

某跨径 120m 中承式钢管混凝土提篮人行拱桥，矢跨比 1/5，桥面全宽 6m，桥长 140m。1999 年 1 月 4 日，使用仅 3 年就发生坍塌（图 1-9），造成 40 人死亡、14 人受伤的特大安全事故。主要原因系设计、施工质量差，包括吊杆下锚固构造不合理，拱肋钢管对焊接头焊缝质量低劣，吊杆 PVC 管中灌浆不密实，施工及验收管理混乱等，导致多根吊杆锚固处迅速失效，桥体垮塌坠入河中。



图 1-9

某大桥匝道桥采用三跨连续钢混叠合梁，2012 年 8 月 24 日 5 时 30 分左右，4 辆严重超载车辆在梁体 121.96m 范围内同时集中靠右侧行驶，造成匝道挤一侧偏载受力，导致其整体倾落（图 1-10），致使 4 辆大货车随之倾翻，造成 3 人死亡、5 人受伤。事故直接原因是超载，但其独柱墩结构设计埋下的桥梁整体稳定性隐患也值得反思。



图 1-10

某中承式钢筋混凝土肋拱桥，是建桥当时国内跨径最大的钢筋混凝土拱桥，中部 180m 范围为钢筋混凝土连续桥面。2001 年 11 月 7 日凌晨 4 点，靠近拱圈的 4 对 8 根短

钢丝吊杆断裂，致使悬吊部分桥道系北端长 10m、南端长 20 余米的桥面预制板发生坍塌（图 1-11）。原因与短吊杆疲劳断裂有关。

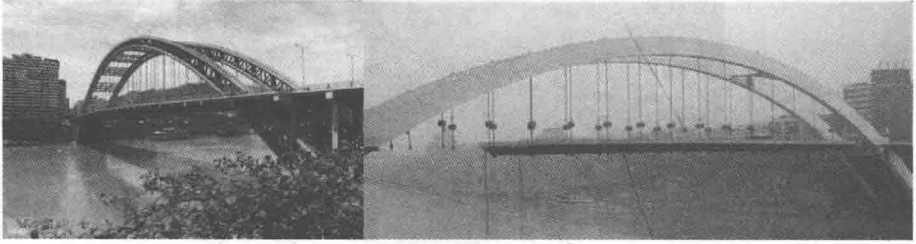


图 1-11

韩国首尔桑苏大桥，1994 年垮塌，死亡人数为 31 人。原因在于养护过程中出现焊接失误以及桥梁的设计缺陷和施工质量差。

加拿大地拿康可德桥，2006 年垮塌，直接原因在于悬臂端混凝土剪切破坏。最初设计就不够合理，施工对设计的改变使结构更加不利。由于检查困难，早期裂缝未及时发现。



图 1-12

印度比哈尔邦一座 50 年桥龄老桥，因年久失修，2006 年垮塌，死亡 33 人。

2007 年 8 月 1 日美国明尼苏达州一桥梁突然垮塌（图 1-12），近 50 辆车从 18m 高度坠入河中，有 9 人死亡、数十人受伤，引起全世界的震惊。该桥修建于 1967 年，为钢结构拱桥，2005 年和 2006 年分别接受检查，均未发现问题。事故原因与主结构桁架存在“老化问题”有关。

加拿大魁北克大桥，1907 年在竣工前垮塌，导致 75 人死亡。1913 年重建，1916 年第二次垮塌（图 1-13），主要由于设计上存在缺陷，材料指标不达标，导致桥梁承载力太低。

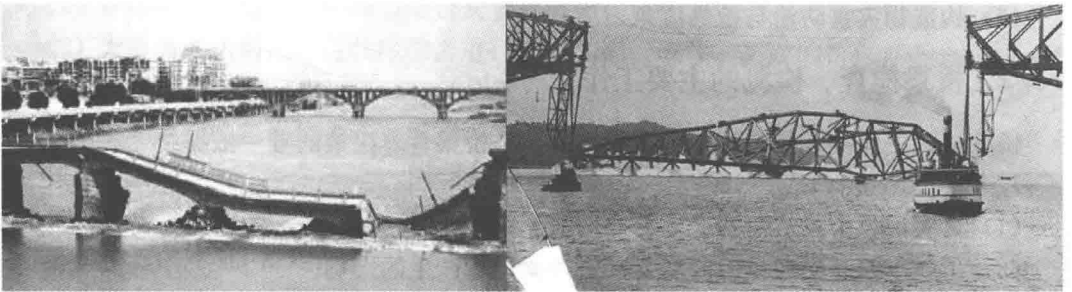


图 1-13

美国堪萨斯州海厄特-雷根西饭店的高架人行桥，1981 年，人们在桥上跳舞引起桥梁共振垮塌（图 1-14），死亡 114 人。

从国内外在用桥梁突发垮塌实例来看，其原因很复杂，但主要还是在于桥梁设计缺



图 1-14

陷、材料选用不当、施工质量差、科学使用不够（如超载）、管养不到位、未及时发现安全隐患并处治等。桥梁从交付使用开始，设计、施工质量等既成事实，要想使得桥梁长期安全运营，必须关注桥梁管养是否到位、有效。

## 1.3 桥梁管养的主要任务

### 1.3.1 桥梁管养的目标及主要内容

桥梁管养的总目标是确保桥梁运营安全与畅通。围绕这一目标，需要投入必须的人、财、物及技术与管理力量，开展长期、连续的系列技术与管理工作。桥梁管养的主要工作内容在于：

- (1) 养护技术与信息化管理；
- (2) 日常养护、检查、评定；
- (3) 构造物的维修、加固；
- (4) 运营与安全监测监控；
- (5) 使用管理；
- (6) 构造物灾害防治与抢修应急。

### 1.3.2 桥梁检查、检测的主要工作

桥梁检查、监测评估是桥梁管养的核心，是桥梁管养决策的唯一依据。

#### 1. 检查、检测评估

- (1) 真实记录桥梁当前的结构与使用状况；
- (2) 了解车辆和交通量的改变及其对桥梁运行产生的影响；
- (3) 跟踪结构与材料性能的变化及其对桥梁的影响；
- (4) 采集与桥梁状态评估相关的其他各类信息；
- (5) 对桥梁当前及未来的交通量、荷载等级、承载能力及耐久性进行评估与预测；
- (6) 提出桥梁维修或加固建议。

#### 2. 经常性检查

- (1) 桥面系及附属结构物的外观情况；
- (2) 上下部结构异常变化、缺陷及可辨别的变形；
- (3) 城市道路管理条例中规定的各类违章现象；
- (4) 桥梁安全保护区内可能存在的施工作业情况；
- (5) 桥梁各种标志及附属设施的完好情况；
- (6) 其他较明显的损坏及不正常现象。

### 3. 定期检测

定期检测分为常规定期检测和结构定期检测，检测频率按照相关规定执行。

常规定期检测应包括下列内容：

- (1) 现场校核桥梁的各项状态数据，填报桥梁资料卡；
- (2) 实地检测并准确记录病害，判断病害类型及成因，估计维修范围和方案；
- (3) 对难以判断其病害程度和成因及影响的构件提出进行特殊检查的建议；
- (4) 对损伤严重、危及结构安全的桥梁提出实施必要应急措施的建议。

结构定期检测应包括下列内容：

- (1) 查阅历次经常性检查和常规定期检测报告中提出的结论与建议；
- (2) 根据常规定期检测中桥梁状况评定结果，进行结构构件的检测；
- (3) 通过材料取样试验确认材料特性、退化机理和退化程度；
- (4) 分析确定材料退化的原因及对桥梁结构适用性、安全性和耐久性的影响；
- (5) 对可能影响结构正常工作的构件，评价（预测）其在下一次结构定期检测之前的退化情况；
- (6) 检查桥梁所处河床的淤积、冲刷等现象以及水位变化情况；
- (7) 必要时进行荷载试验方式评定桥梁结构的承载能力；
- (8) 通过综合检测评定，确定桥梁构件的退化状况，并提出相应的养护及处治措施。

### 4. 特殊检测

桥梁特殊检测的对象必须包括：

- (1) 遭受洪水冲刷、漂流物、船舶或车辆撞击、滑坡、地震、风灾、火灾、化学物质腐蚀、超载车过桥等造成结构损伤的桥梁；
- (2) 常规定期检测中难以判明是否安全的桥梁；
- (3) 为提高或达到设计荷载标准需进行维修加固、改建、扩建的桥梁；
- (4) 超过设计年限，需继续使用的桥梁；
- (5) 常规定期检测评估为不合格等级的 I 类养护桥梁和评估为 D 级或 E 级的 II ~ V 类养护桥梁；
- (6) 常规定期检测发现桥梁构件加速退化而需补充检测的桥梁。

特殊检测的主要内容：

#### (1) 结构材料缺损状况诊断

根据材料缺损的类型、位置和检测的要求，选择表面测量、无损检测技术和局部取样等方法。

#### (2) 结构整体性能、功能状况评估

根据诊断的构件材料质量状况及其在结构中的实际功能，用计算分析评估结构承载能



力。当计算分析评估不满足或难以确定时，用静力荷载方法鉴定结构承载能力，用动力荷载方法测定结构力学性能参数和振动参数。

### 5. 长期监测

长期监测主要针对特大桥梁进行，重点包括基础薄弱桥梁沉降情况、拱桥脚变位情况、墩柱（特别是独柱墩、塔柱）偏位情况、桥跨结构空间行为情况、斜拉索索力以及拱桥系杆和吊杆拉力情况。通过监测及其数据对比分析，掌握桥梁结构的总体安全状态。

## 1.3.3 桥梁技术状况评估

城市桥梁技术状况评估分为一般评估和适应性评估两类。

### 1.3.3.1 桥梁技术状况一般评估

桥梁技术状况是指桥梁结构或构件各方面技术特征的总称。对于混凝土桥梁，主要包括表观质量、缺损状况、锈蚀情况、强度状况等，对于钢结构桥梁，主要包括防护情况、开裂状况、连接状况、变形情况等。桥梁技术状况评定是在桥梁定期检测资料基础上，通过对桥梁各部件、构件（如桥面系、上部结构、下部结构等）技术状况进行综合评估，确定桥梁技术状况等级，并据此提出养护对策。

按照现行《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99，根据桥梁重要程度，城市桥梁养护等级分为五类：特大桥梁和特殊结构桥梁为Ⅰ类养护桥梁，Ⅱ～Ⅴ类养护桥梁则为Ⅰ类养护桥梁以外的其他桥梁，分别为城市快速路网上的桥梁、城市主干路上的桥梁、城市次干路上的桥梁以及城市支路和街坊路上的桥梁。

#### 1. Ⅱ～Ⅴ类养护城市桥梁技术状况评估

对于Ⅱ～Ⅴ类养护城市桥梁技术状况，采用分层加权+单项判定法进行评估。

分层加权法系根据定期检测的桥梁技术状况记录，对桥面系、上部结构和下部结构分别进行评估，再综合得出整个桥梁技术状况的评估等级——A、B、C、D、E级。其中，A级表示完好，B级表示良好，C级表示合格，D级表示不合格，E级表示危险。详见现行《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99。

单项判定法属于“一票否决”法，即只要桥梁存在下列情况之一就直接评定为D级或E级：

- (1) 预应力梁出现受力裂缝且裂缝宽度超过限值；
- (2) 拱桥的拱脚产生水平位移或无铰拱拱脚产生较大的转动；
- (3) 钢结构节点板及连接铆钉、螺栓损坏在20%以上、钢箱梁开焊、钢结构主要构件有严重扭曲、变形、开焊，锈蚀削弱截面积10%以上；
- (4) 墩、台、桩基础出现结构性断裂缝，裂缝有开合现象，倾斜、位移、沉降变形危及桥梁安全；
- (5) 结构关键部位混凝土出现压碎或压杆失稳、变形现象；
- (6) 结构永久变形大于设计及规范限值；
- (7) 结构刚度达不到设计标准要求；
- (8) 支座错位、变形、破损严重、支座脱空，已失去正常支承功能；
- (9) 基底冲刷面达20%以上；



- (10) 结构承载能力下降 25%以上;
- (11) 人行道栏杆残缺超过 20%;
- (12) 上部结构有落梁和脱空趋势或梁、板断裂;
- (13) 钢-混凝土组合梁、桥面板发生纵向开裂、支座和梁端区域发生滑移或开裂;斜拉桥拉索或锚具损伤;吊桥主缆及锚具损伤;拱桥系杆或吊杆及锚具损伤;
- (14) 其他危及桥梁结构安全的部件损坏。

## 2. I类养护城市桥梁技术状况评估

从上述评估来看, II~V类养护城市桥梁技术状况评估的特点是利用桥梁结构定期检测中的目测病害记录并以定性判断为主的评估。对于 I类养护桥梁, 由于面对的是更加重要的特大桥梁和特殊结构桥梁, 需按影响结构安全状况的桥梁各部件权重的综合评定方法进行评定。在这方面, 现行《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 未做规定。上海市工程建设规范《城市桥梁养护技术规程》DGT J08 要求参照 II~V类养护城市桥梁技术状况评估方法制定具体的技术评估方案。

《重庆市城市桥梁养护技术规程》DB 50/231 参照《公路桥涵养护规范》JTG H11, 对于 I类养护城市桥梁技术状况评估给出了相应规定, 即按影响结构安全状况的桥梁各部件权重的综合评定方法进行评估, 亦可按重要部件最差的缺损状况进行评估。

2011年交通运输部颁布了《公路桥梁技术状况评定标准》JTG H21, 该标准可看作是《公路桥涵养护规范》JTG H11的配套标准。笔者认为, 参照上述标准, I类养护城市桥梁技术状况也可细分为 5类并可据此采取相应的养护对策:

- 1类: 完好或良好状态; 日常保养即可。
- 2类: 较好状态; 需要小修、保养。
- 3类: 较差状态; 需要中修。
- 4类: 差的状态; 需要大修、加固或改建。
- 5类: 危险状态; 需要加固、改建或重建。

### 1.3.3.2 桥梁适应性评估

桥梁适应性评估系在桥梁定期检测和特殊检测资料基础上, 结合检算和试验, 评估桥梁结构承载能力、通行能力、排洪能力等是否满足要求, 为桥梁结构安全性判定提供依据。

在桥梁适应性评估中, 桥梁结构承载能力评定最为关键。桥梁承载能力包括强度、刚度、稳定、位移、结构裂缝、结构疲劳、地基与基础承载力等。结构承载能力通常采用结构检算法或荷载试验法进行。

2011年交通运输部颁布了《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T J21, 按照该规程, 桥梁结构承载能力通过作用效应与抗力效应的比较进行评定, 例如:

——对于圬工结构桥梁, 计算承载能力极限状态的抗力效应时, 通过引入检算系数  $Z_1$  (检测评定时) 或  $Z_2$  (荷载试验评定时)、截面折减系数  $\xi_c$  进行修正;

——对于配筋混凝土桥梁, 计算承载能力极限状态的抗力效应时, 通过引入检算系数  $Z_1$  (检测评定时) 或  $Z_2$  (荷载试验评定时)、承载能力恶化系数  $\xi_e$ 、混凝土和钢筋截面折减系数  $\xi_c$  和  $\xi_s$  进行修正;

——对于钢结构桥梁, 计算承载能力极限状态的抗力效应时, 通过引入检算系数  $Z_1$