

我国公路桥梁检测评价与加固技术的现状与发展

交通部公路科学研究院，张劲泉

1 引言

公路交通是人类社会生命线工程的重要组成部分，公路桥梁作为公路交通基础设施的咽喉工程，在公路运输系统中发挥着至关重要的作用。由于使用荷载和环境因素等的作用，将导致桥梁使用性能衰退、结构安全与耐久性降低，造成桥梁适应性不足，甚至出现桥毁人亡事故。作为人造结构物的桥梁，客观上也有其“生、老、病、死”的生存过程，采用科学的技术手段与方法对其实施及时有效的养护维修与管理，是保证其健康、安全服役，最大效能发挥其经济效益的关键。因此，桥梁养护管理技术一直以来都是国际桥梁界的关注的热点问题。

发达国家的经验表明，通常桥梁在建成投入使用的 20~30 年后，将愈来愈多地面临耐久性降低和安全性不足等问题，且越是经济发达的国家所面临的问题越突出。我国自上世纪 80 年代起开始，公路建设事业步入了高速发展时期，建设了大量各类桥梁，目前公路桥梁总数已突破 57 万座，成为仅次于美国的世界第二桥梁大国。随着服役时间推移和交通运输事业的持续蓬勃发展，我们所面临的桥梁养护管理工作任务也日趋艰巨，客观上对桥梁检测、评价、维修加固和养护管理等技术提出了更高的要求。为适应不断增长的养护维修市场需求，解决桥梁养护工作中的瓶颈性技术问题，自上世纪 60 年代开始，我国在公路桥梁领域立体开展了大量科研项目和计划，尤其值得一提的是，进入 21 世纪后，我国交通行业主管部门加大了对相关技术研究的支持力度，通过这些项目的实施，形成了较为健全的公路桥梁养护管理技术体系，对保障桥梁安全服役和路网畅通起到了关键性支撑作用。

2 我国公路桥梁的技术现状

截至 2007 年底，我国共有公路桥梁 570016 座/23191812 延米，其中永久性桥梁 552216 座/22795222 延米、半永久性桥梁 11502 座/270234 延米、临时性桥

梁 6298 座/126357 延米。公路桥梁中混凝土桥梁占到了 90% 以上的绝对多数。桥梁数量众多、总体技术状况不容乐观是目前我国公路桥梁的主要特点。具体表现在以下几方面：

(1) 公路路网中还有为数不少的半永久性桥梁（数量比：2.0%）与临时性桥梁（数量比：1.1%），它们的承载能力普遍偏低，难以适应当前交通运输需求，其抵抗自然灾害的能力较差，安全隐患突出，急需进行“永久化”改造。

(2) 1950 年~1980 年期间，按 1981 年以前颁布的不同版本的技术标准设计建造的桥梁，设计荷载标准偏低、桥面宽度狭窄。虽然，在“六五”、“七五”期间对它们进行了全面的技术改造，但由于当时资金有限，技术改造主要是以加固补强和加宽为主的。这些桥梁经过 20 余年的重载交通频繁运行，普遍老化、衰退严重，绝大多数桥梁处于“带病”工作状态。

(3) 八十年代前修建的少筋混凝土桥梁（如：壳体桥、少筋微弯版组合梁桥、二铰板拱和双曲拱桥等）、桁架拱桥、刚架拱桥、以及带挂孔的钢筋混凝土双悬臂结构和预应力混凝土 T 型刚构桥等，由于它们构造与施工上的特点以及结构体系上的弱点，使它们无法适应当前的频繁重载交通，存在冲剪与压溃破坏甚至构件掉落的风险。使用中的辽宁盘锦田庄台辽河大桥挂梁脱落就是一个典型例证。

(4) 八十年代修建的预应力混凝土斜拉桥、中承式和下承式吊杆拱桥，由于受当时桥梁建设技术的限制，拉索和吊杆的防腐层普遍出现过早的老化损坏，钢束和锚头锈蚀严重；加上当时对锚固区的构造以及抗风、雨振措施考虑欠合理，安全系数取值又偏小，致使拉索和吊杆易出现疲劳破坏。由于构造和手段的限制，目前对它们无法进行更深入的检查，导致拉索和吊杆的破坏存在极大的突然性。广州海印大桥斜拉索和四川宜宾小南门桥吊杆断裂破坏就是典型示例。

(5) 改革开放后，我国公路建设的高速发展初期建设的不少桥梁也存在安全与耐久性方面的隐患。比如：近二十年，我国在大江大河上、深沟峡谷间修建了为数众多的预应力混凝土连续梁和连续刚构桥，由于在设计和施工上存在一定的缺陷或不足，致使这些桥梁在投入使用 1 到 6 年后，普遍暴露出预应力管道压浆不饱满或漏压浆、后期预应力损失偏大，主梁跨中下挠过大、梁体斜向和纵横向开裂等危及桥梁正常使用与耐久性的缺陷与病害；再如：我国近些年修建的高速公路上，采用预制安装施工方法修建了大量的钢筋混凝土和预应力混凝土空心板

梁与小箱梁桥，这些桥梁在投入使用以后，普遍出现了梁端支承受力不匀、支座滑脱造成梁体受力不均，横向联接薄弱、铰缝纵向开裂，单板或单梁受力特征显著，在当前频繁重载交通下，存在极大的安全隐患。

(6) 我国地域辽阔，区域经济发展水平和自然环境差异较大，造成不同地区的桥梁病害和损伤表现出较强的区域分布特点。如沿海地区的钢筋混凝土和预应力混凝土桥梁，普遍存在钢筋锈蚀、混凝土保护层离层或剥落等耐久性问题；西北、华北地区由于季节性河流较多、温差较大，下部结构的磨蚀与侵蚀问题较突出；东北等寒冷地区，混凝土桥梁结构的冻融损伤问题较典型；南方地区的基础冲刷和水毁问题较严重。

(7) 近些年来，由于经济的快速发展，公路交通流量出现了持续迅速的增长，加之在我国的货物运输车辆中普遍存在、屡禁不止的超载现象，极大地增加了路网中桥梁结构的负担，低等级公路上的桥梁压垮现象时有发生，高速公路桥梁也普遍暴露出过早损坏的不正常现象。

(8) 历年桥梁调查结果显示，我国桥梁有相当一部分处于“带病”工作甚至在“危险”状态。虽然交通运输部每年都安排大量资金用于国省道危旧桥梁的改造和技术提升，但随着我国经济的快速发展，近些年我国公路交通的通行量和单车荷载重量均呈快速增长趋势，加之我国目前公路桥梁中荷载等级较低（汽—20级以下）的桥梁总数大，尤其是农村公路上的桥梁技术状况相对较差，致使公路桥梁中的危桥比例不降反升。表 2-1 列举了近些年全国危桥调查的基本情况，其中 1999~2005 年统计结果不含农村公路，2006、2007 两年统计农村公路后，危桥的数量及其所占比例均有大幅上升。

近五年全国危桥的基本情况 表 2-1

年份	永久性桥梁总数		危桥数量		危桥所占比例 (%)	
	座数	延米	座数	延米	按座数	按延米
1999 年	230778	8005661	4451	160491	1.93	2.00
2000 年	240630	8655112	5176	186632	2.15	2.16
2001 年	284117	10649704	10131	357909	3.57	3.36
2002 年	299397	11612187	10804	391043	3.61	3.37
2003 年	310773	12466143	10443	378439	3.36	3.04

2004年	321626	13376416	13303	468888	4.14	3.51
2005年	336618	14747542	14659	537384	4.35	3.64
2006年	533620	20399092	63094	1778174	11.82	8.72
2007年	570016	23191812	98623	3068704	17.30	13.23

总的看来，我国公路桥梁的总体技术状况不容乐观。我国虽已成为世界桥梁大国，但在桥梁的养护管理方面还有很多不足和亟待解决的技术和管理问题。随着国民经济的持续发展，这些问题会不断的暴露和显现出来，并成为制约公路交通事业持续健康发展的关键因素，也将成为我国走向世界桥梁强国过程中必须突破的一个关键环节。

3 近年来的主要进展

为解决我国公路桥梁养护管理工作中的关键技术问题，我国交通主管部门围绕桥梁养护的各个环节，持续立体开展了较系统的研究和技术推广工作，极大地丰富和完善了技术成果，形成了较完善的技术体系，提高了行业技术水平，推动了行业科技进步。尤其是“十五”以来，依托西部交通建设科技项目、部省联合攻关项目和部交通应用基础研究项目等科研项目平台，交通运输部针对制约公路桥梁养护管理的瓶颈性技术问题，把握行业热点问题和国际前沿，从基础理论研究、应用技术研发、成果转化与推广等方面设立百余项科研项目，取得了一系列技术成果与突破，主要有以下几个方面：

(1) 桥梁养护检查、技术状况评价与养护管理技术

“七五”“八五”和“九五”期间，通过“公路桥梁使用功能评价方法”、“公路桥梁管理信息系统”和“公路桥梁周期费用分析与状况预测模型研究”等一系列部重点项目和国家推广项目“公路桥梁管理系统推广”的实施，构建了我国公路桥梁技术状况和使用功能评价方法与标准体系。

在桥梁技术状况评定方面，其主要成果是：构建了通过对桥梁各部件技术状况的综合评定，确定桥梁的技术状况等级的评定方法。本方法的核心内容将桥梁各组成部件作为“串联”系统，依据缺损程度、缺损对使用功能的影响程度、缺陷发展变化状况进行量化评分，采用标度法并叠加发展趋势修正的方法，对桥梁

各部件进行技术状况评定（详见表 3-1），并在专家调查评估、层次分析和模糊评估的基础上，依据桥梁各部件重要程度采用权重理论，对桥梁的技术状况做出综合评定。

桥梁技术状况综合评定模型：

$$BCI = DCI \cdot W_D + SPCI \cdot W_{SP} + SBCI \cdot W_{SB} \quad (3-1)$$

式中： DCI 、 W_D 为桥面系的评分值及相应的权重； $SPCI$ 、 W_{SP} 为上部结构的评分值及相应的权重； $SBCI$ 、 W_{SB} 为下部结构的评分值及相应的权重。

桥梁部件缺损及技术状况评定方法 表 3-1

缺损状况及标度			组合评定标度					
缺损程度及标度		程度	小→大 少→多 轻度→严重					
		标度	0	1	2			
缺损对结构使用功能的影响程度	无、不重要	0			0	1	2	
	小、次要	+1			1	2	3	
	大、重要	+2			2	3	4	
以上两项评定组合标度			0	1	2	3	4	
缺损发展变化状况的修正	趋向稳定	-1		0	1	2	3	
	发展缓慢	0		1	2	3	4	
	发展较快	+1	1	2	3	4	5	
最终评定结果			0	1	2	3	4	5
桥梁技术状况及分类			完 好	良 好	较 好	较 差	差 的	危 险
			一 类	二 类	三 类	四 类	五 类	

在桥梁使用功能评定方面，其主要成果是基于桥梁结构缺损状况、荷载标准足够性和桥面收缩状况三个方面，在系统分析国外公路桥梁使用功能评价方法的基础上，采用层次分析理论和专家调查评估方法，提出了适合我国国情的桥梁使用功能评定模型。这成为指导我国公路养护部门制定桥梁养护、维修和改造计划，确定养护维修资金投放优先次序的重要技术依据。也为维护使用者利益和安全，保证投资效益，确定桥梁养护、维护与改善需求提供了技术手段。

公路桥梁使用功能评定模型：

$$D_q = 100 - \frac{1}{5} \alpha \beta (\gamma \omega_1 R_1 + \gamma \omega_2 R_2 + \omega_3 R_3) \quad (3-2)$$

式中： D_q 为桥梁使用功能评定值，以 0~100 表示，数值越小，功能缺损越大，

维修或改善需求越大； ω_1 、 ω_2 、 ω_3 为结构缺损状况，载重标准不足和桥面收缩功能相应的权重； R_1 、 R_2 、 R_3 为上述三项功能的缺损值，采用 0~5 整数刻度评分，值越大缺损越小； α 、 β 、 γ 分别为与公路类别、交通量、绕行距离因素相关的重要性系数。

上述成果形成了我国《公路养护技术规范》(JTJ 073-96)、《公路桥涵养护规范》(JTG H11-2004)和《公路桥梁技术状况评定标准》(报批稿)的核心技术依据，依据成果开发了桥梁养护管理综合系统(CBMS)，并通过国家推广项目进行了推广应用，在 31 个省

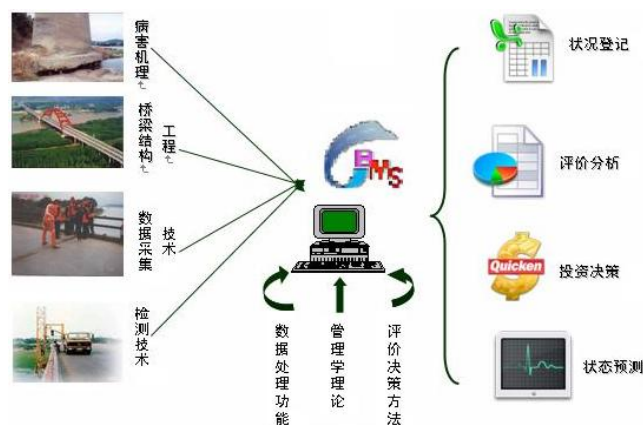


图 3-1 桥梁养护管理综合系统

市建立了桥梁养护管理系统，入库桥梁达 23 万余座。这些技术成果的形成和推广应用，大大提升了我国公路桥梁日常养护工作的科学性、有效性和经济性，形成了桥梁养护的基础理论体系和应用技术平台。

近 10 多年以来，我国特大桥建设事业的蓬勃发展，大型桥梁所具有的复杂性和特殊性对养护管理工作提出了更高的要求，特大桥养护管理技术应运而生，交通部也专门立体开展了梁桥安全预警技术和监测系统等方面的研究。虎门大桥、杭州湾大桥、苏通大桥等均结合自身特点，量身定制了各自的养护管理系统、健康检测系统和养护管理手册等技术文件。另外，在一些经济发达地区，区域公路基础设施的安全问题变得日益突出，桥梁因其在道路运输系统中的重要性，往往被寄予高度关注。北京市就在 2008 年专门设立了“桥梁结构安全监测与养护管理技术研究”项目，以期系统研究解决桥梁的使用安全与保障等问题。

(2) 桥梁检测与承载力评定方法

桥梁检测与承载力评定技术是判定桥梁安全性的重要手段和依据，是桥梁评定的最核心内容，其涉及检测、荷载试验、评定方法和检测仪器设备等多方面内容。

我国自“六五”期间开始加大力度开展相关理论和应用技术研究。“九五”之前，通过“大跨径混凝土桥梁的试验方法”、“桥梁检测与试验设备”、“用动力法快速检测钢筋混凝土筒支梁桥使用承载力的试验研究”和“旧桥承载能力评定方法”等项目的实施，初步构建了以荷载试验为主要手段的桥梁承载力评定技术与方法体系，研发了部分桥梁检测仪器设备，使我国的公路桥梁承载力评定工作实现了有章可循。“九五”以后，我国对桥梁检测和承载力评定技术的研究逐步走向深入，表 3-2 列举了“十五”和“十一五”期间交通部西部课题的有关项目，这期间的成果主要体现在以下几个方面：

2001~2008 年西部项目桥梁检测评价方面课题一览表 表 3-2

序号	项目类别及名称	实施年限
1	检测技术与仪器设备	
(1)	桥梁无线检测技术的研制与开发	2004-2007
(2)	桥梁振动测试技术及其在检测中的应用	2004.7-2007.6
(3)	稀土换能器及系统集成的桥梁无损检测技术开发研究	2004-2006
(4)	既有桥梁结构测试数据采集优化、识别及安全评价技术研究	2003.7-2005.12
(5)	大型钢管混凝土拱桥光纤传感无损监测系统的开发	2001-2004
(6)	大、中跨径混凝土桥梁预应力检测技术研究	2005.7.-2008.6
(7)	西部地区水下基础检测诊断技术及相关设备的研制	2007.7-2010.6
2	检测评定方法	
(1)	公路旧桥检测评定与加固技术研究及推广应用	2001-2005
(2)	拱桥吊杆健康诊断技术研究	2003.06-2005.06
(3)	大跨径桥梁承载力测评、加固、维护与管理成套技术研究	2004-2007
(4)	服役石拱桥可靠性评估与加固改造技术研究	2004-2007
(5)	震后桥梁性能评价及加固技术研究	2004.10-2007.10
(6)	混凝土梁式桥梁损伤评估与安全可靠性评价技术研究	2005.7-2008.6
(7)	岩溶地区桥梁桩基承载能力评价及施工综合技术研究	2005-2008
(8)	钢筋混凝土桥梁剩余寿命评估方法研究	2006-2009
(9)	西部地区在役混凝土梁桥结构体系时变可靠度分析与评价方法的研究	2007.7-2010.12
(10)	西部地区在役中小跨径桥梁承载力快速检评技术研究	2007.7-2010.7
(11)	公路旧桥检测评定与加固技术研究推广应用	2007.6-2009.6
(12)	桥梁事故调查及过程反演计算机辅助技术研究（一期）	2008

桥梁承载力评定方面。结合我国桥梁自身及其使用特点，在“十五”期间研究提出了基于检测结果的桥梁承载力多参数修正检算分析方法。该方法的主要特点是：在深入研究旧桥承载力影响因素和系统分析国内外已有评定方法的基础上，通过对桥梁技术状况进行检查评估，依据桥梁质量状况及耐久性参数检测、结构固有模态参数测试和使用荷载检查结果，采用旧桥检算、承载力恶化、截面折减及活载影响修正等多系数影响分析的方法，基于近似概率理论，建立了承载力评定方法与参数体系；通过对大量实桥检测、荷载试验鉴定资料的分析 and 实体工程试验验证研究，基于模糊数学评估理论与专家评估方法，采用影响因素敏感分析、德尔菲专家调查、层次分析和数理统计分析的方法，创建了桥梁承载力评定参数的理论模型和计算方法；分桥型研究确定了用荷载试验鉴定桥梁承载力的评定指标、应力和挠度校验系数的限制范围、裂缝扩展评定方法与标准等。

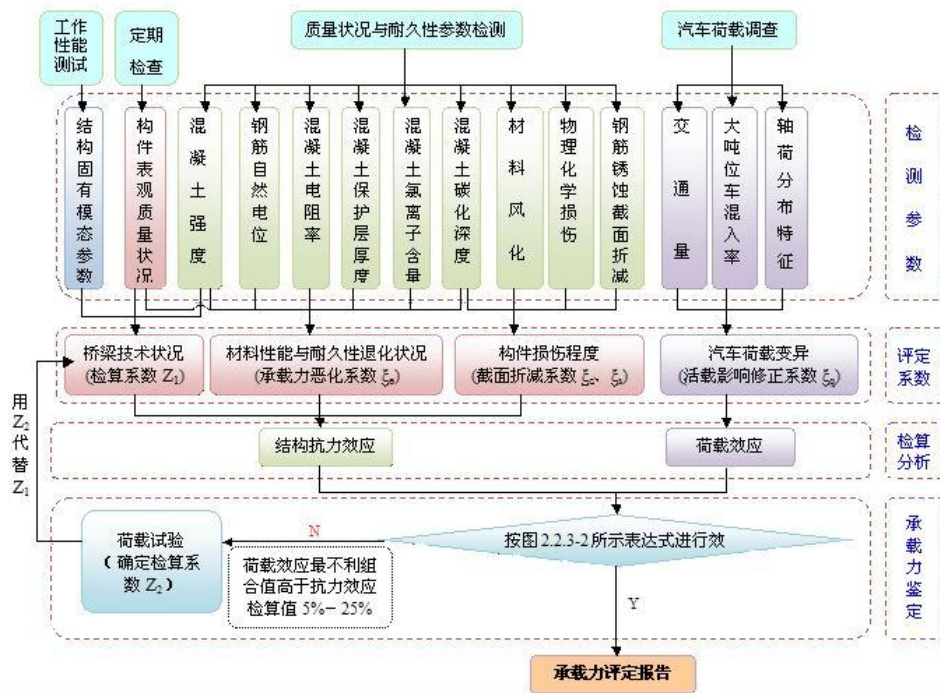
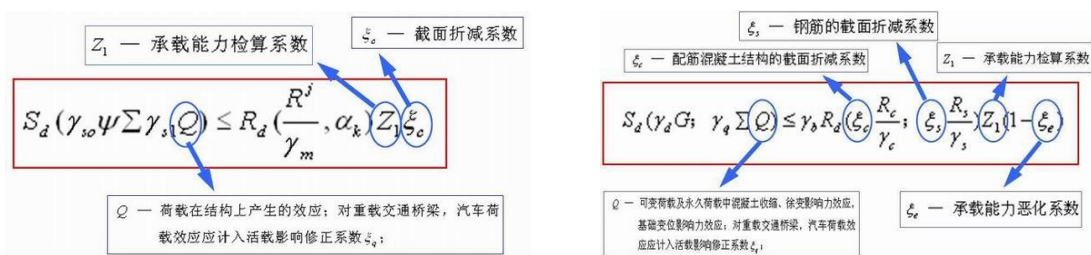


图 3-2 桥梁承载力检测评定方法与体系框图



a) 砖、石及混凝土桥梁

b) 混凝土及预应力混凝土桥梁

图 3-3 桥梁承载力检测评定检算表达式

这些成果攻克了桥梁技术状况检查评估结果、质量状况及耐久性参数检测评估数据、桥梁工作性能测试结果和使用荷载调查结果在桥梁承载力评定中如何合理有效应用的技术难题，解决了桥梁承载能力评定过分依赖荷载试验的问题，节约了桥梁承载力鉴定费用，克服了用荷载试验鉴定桥梁承载力无法反映鉴定期内材料进一步恶化以及实际使用荷载与桥梁设计荷载存在偏差等的不利影响。

检测技术与设备研发方面。为满足检测市场需求，研究开发了超声波检测装置、混凝土保护层测试装置、钢筋锈蚀测试装置等一批桥梁材质状况检测仪器设备及其测试分析方法和评价指标标准；静动态应力应变试验装置，检测数据无线传输设备、光纤传感器、弦式传感器等先进的检测仪器设备均已实现国产化。这些仪器设备不仅具有自主知识产权，而且性价比均明显优于国外同类产品。

上述成果解决了我国公路桥梁承载力检测评定的关键技术难题，形成了《公路桥梁承载能力检测评定规程》（报批稿）等行业技术指南与标准，使我国公路桥梁的承载力检测评定工作有法可依。目前这方面的研究正在走向深入和细化，针对不同结构形式的桥梁损伤识别、安全评价和可靠性评估方法的研究项目正在实施过程中，结构内部和基础等隐蔽工程缺损的检测评定方法与仪器设备也在研发之中。这些成果的最终形成，将极大地丰富和完善桥梁检测评定技术体系，使我国的桥梁检测评定工作更加科学有效。

(3) 桥梁维修加固技术

伴随着桥梁技术状况评定、结构检测与承载力评定技术的逐步定量化、科学化，桥梁的维修加固技术近些年取得了长足的进步与发展。许多新材料、新方法被应用于桥梁维修加固工作中。早在“六五”期间开始，交通部就组织实施了“提高旧桥承载能力的加固技术措施的研究”、“双曲拱桥拱座位移病害整治的研究”、“公路水毁成因及防治措施研究”等一批旧桥维修加固技术的研究，国内研究机构和院校还针对粘贴钢板、纤维片（半）材、增设体外预应力、增补钢筋、增大截面、改变结构体系等加固方法开展了大量专项研究，形成了较成熟的旧桥维修加固计算理论方法和技术措施手段。

“十五”期间通过“公路旧桥检测评定与加固技术研究及推广应用”项目的实施，系统地研究总结和提升了国内外常用的 20 余种桥梁加固方法，并在旧桥加固基本原则，加固方法特点及适用条件、材料要求、施工工序质量控制与加固

工程质量检验评定、加固后评价等方面取得了创新，形成了系统完善的桥梁加固成套技术成果，编制了公路旧桥加固成套技术应用指南，为桥梁维修加固的科学化、规范化奠定了坚实的基础。

目前，正在开展诸如石拱桥、桁式组合拱桥、双曲拱桥、钢筋砼肋拱桥、预应力混凝土斜拉桥、连续刚构和连续梁桥等的专用成套维修加固技术，桥梁抗震加固和震后加固技术，桥梁维修加固质量检验评定方法，桥梁加固高粘结抗扰动混凝土等新材料的研究。通过这些更为深入的专项研究，将使我国的桥梁维修加固工作更加科学规范。

(4) 桥梁耐久性检测评价技术

随着时间的推移，由于环境和荷载等的作用，桥梁的材料和结构性能会逐步退化，进而带来结构安全性问题，这一耐久性问题将在我国今后的桥梁养护工作中变得越来越突出。目前我国桥梁耐久性技术研究刚处于起步阶段，技术水平远落后于欧美等发达国家。为解决这一问题，我国交通主管部门设立了“桥梁耐久性关键技术研究”重大专项，针对我国公路桥梁在材料组成、结构体系与构造、设计、施工、质量控制与养护维修等环节存在的耐久性问题进行了研究项目布局，以期形成一套提高我国公路桥梁耐久性的实用技术，为建立我国公路桥梁耐久性设计、施工、质量控制与养护维修等标准规范体系提供技术支撑。

桥梁耐久性关键技术研究（专项）课题一览表 表 3-3

序号	项目类别及名称	实施年限
1	桥梁耐久性关键技术研究	2006-2010
(1)	公路桥梁耐久性状况调查分析	2006-2010
(2)	混凝土桥梁耐久性设计方法与设计参数的研究	2006-2010
(3)	桥梁结构表面耐久性防护材料的研究	2006-2010
(4)	跨江海大型桥梁结构混凝土劣化性能与耐久性对策措施的研究	2006-2010
(5)	混凝土桥梁合理耐用结构构造的研究	2006-2010
(6)	拉吊索结构耐久构造与可检修易更换技术的研究	2006-2010
(7)	混凝土桥梁耐久性指标体系、检测方法与评价标准的研究	2006-2010
(8)	提升桥梁耐久性的施工改进技术与质量控制方法的研究	2006-2010
(9)	桥梁混凝土性能长期演变规律与跟踪观测技术的研究	2006-2010
(10)	公路常用桥梁预防性养护技术的研究	2006-2010

4 下阶段重点突破的方向与技术

(1) 加强相关政策的研究制定。随着桥梁工程“全寿命设计”，“全寿命成本”、“社会成本优化”理念的建立和完善，桥梁的养护管理工作将会发生重大的变革，许多相关技术管理政策要修订乃至重新制定。通过全面系统的研究，提出各阶段匹配的政策以保证这些新理念有序、健康的在桥梁养护工作中体现至关重要。

(2) 进一步开展桥梁结构多致因损伤机理、结构性能衰减规律、耐久性评价、承载力鉴定等方面的基础理论和应用技术研究。基于桥梁结构安全和使用寿命，开展桥梁承载能力计算分析与试验方法、损伤结构评定方法与标准研究，以及开展结构耐久性评定与安全寿命预测技术研究，实现桥梁结构技术性状评定的科学化、规范化和专业化，提高桥梁结构安全可靠性与长期寿命。着力解决桥梁结构缺损与耐久性检测与诊断技术，从材料性能、结构缺损等方面研究检测/监测技术、诊断技术、技术标准、以及技术装备，实现检测/监测手段自动化、网络化、标准化，提高桥梁检测/监测效率、准确性。

(3) 进一步加强桥梁维修加固和养护管理技术的研究。目前我国已研究总结了桥梁维修加固的成套技术成果，针对特殊结构型式的典型病害也开展了一些专项研究，但是总的看来，在特殊桥梁典型病害的维修处置技术方面研究尚不完善，对新型加固材料性能和施工技术的研究方面还有缺憾，对加固设计的精细化、特殊加固方法在设计计算理论和施工方法等方面的研究不足。在桥梁养护管理方面，应注重预防性养护的理念，结合我国公路桥梁的技术与使用现状及发展趋势，开展相关技术研究。今后应着眼于桥梁养护与维修成本综合优化，开展桥梁管理系统、养护决策系统、维修加固等方面技术的研究，实现桥梁养护决策科学化、规范化、专业化，降低养护与维修综合费用，延长结构寿命。

(4) 进一步加强防灾减灾技术的研发。从今年我国发生的冰雪凝冻灾害以及汶川地震对公路基础设施破坏与影响不难看出，我国在防灾减灾中预测、灾毁评估、抗灾设计与装备等方面存在不足，需要进一步加强桥梁灾害检测评估、保通临时处置措施、灾后维修加固技术、防灾减灾技术、桥梁减隔震构造与装置等方面的技术研究。另外，也应注重对大跨径桥梁风荷载效应数值仿真和数值风洞、

抗风构造设计与装置方面的研究。

(5) 加强新材料和检测仪器设备等的研发。随着材料科学技术的发展，维修加固材料已不再局限于钢和混凝土等常用材料，纤维材料、工程塑料、铝合金、复合材料等高性能材料正被越来越广泛地应用于桥梁维修加固中。加强新材料研发及其使用性能试验研究十分必要。在桥梁检测仪器设备研发方面，我国多年来基本延续着跟随国外先进仪器设备发展趋势的模式。随着桥梁检测和评价技术的发展，要求对桥梁常规缺陷、隐蔽工程缺陷具有更为准确可靠的检测数据，这客观上对桥梁检测仪器设备提出了更高或全新的要求。今后应重点关注新型检测仪器设备和检测技术的研发。

(6) 加强科研成果的推广应用力度。及时总结成熟研究成果并在行业内推广应用，扩大社会和经济效益。