



高等学校试用教材

# 桥梁 检测与加固

王国鼎  
袁海庆 等编著  
陈开利



人民交通出版社

China Communications Press

高等学校试用教材

Qiaoliang Jiance Yu Jiagu

# 桥梁检测与加固

王 国 鼎  
袁 海 庆 等 编 著  
陈 开 利

人民交通出版社

92  
98  
49  
26  
118  
88  
120  
50  
72  
92  
138  
88  
175  
32  
60  
36  
98  
78  
43  
68  
30  
50  
82  
12  
72  
50  
45  
50  
68  
30  
26  
31  
33  
50  
92  
92  
68  
16  
24  
90  
29  
32  
38  
}

## 内 容 提 要

本书为面向21世纪交通版高等学校试用教材。内容主要包括桥梁检测技术,桥梁结构质量现场检测,桥梁结构静、动载试验,桥梁检查与评定,桥梁结构缺损及裂纹修补,桥梁上部、下部及拱桥的加固与改造。

本书是高等学校土木工程专业和道桥与渡河工程专业教学用书,亦可供从事桥梁设计、施工的专业技术人员及科研工作者使用和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

桥梁检测与加固/王国鼎,袁海庆,陈开利等编著. —  
北京:人民交通出版社,2003.10  
ISBN 7-114-04815-7

I. 桥… II. ①王…②袁…③陈… III. ①桥-检测-高等学校-教材②桥-加固-高等学校-教材 IV. U445

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第081657号

### 高等学校试用教材 桥梁检测与加固

王国鼎

袁海庆

陈开利 等编著

正文设计:彭小秋 责任校对:宿秀英 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:15 字数:347千

2003年10月 第1版

2003年10月 第1版 第1次印刷

印数:0001~6000 册 定价:27.00元

ISBN 7-114-04815-7

面向 21 世纪交通版

## 高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

主任委员:王秉纲(长安大学)

副主任委员:胡长顺(长安大学)

陈艾荣(同济大学)

王 炜(东南大学)

杜 颖(人民交通出版社)

委 员:周 伟(交通部交通科学研究院)

郑健龙(长沙交通学院)

张建仁(长沙交通学院)

刘小明(北京工业大学)

梁乃兴(重庆交通学院)

周志祥(重庆交通学院)

裴玉龙(哈尔滨工业大学)

黄 侨(哈尔滨工业大学)

钟 阳(哈尔滨工业大学)

黄晓明(东南大学)

叶见曙(东南大学)

赵明华(湖南大学)

郭忠印(同济大学)

杨晓光(同济大学)

王殿海(吉林大学)

徐 岳(长安大学)

符铎砂(华南理工大学)

秘 书 长:韩 敏(人民交通出版社)

# 总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入 WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在 1998 年 7 月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养 21 世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套面向 21 世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000 年 6 月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的 12 所高校的专家学者组成面向 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约 130 种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近 20 所高校的百余名教授承担约 130 种教材的主编工作。2001 年 6 月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

面向 21 世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能

力的培养,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套面向21世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

面向 21 世纪交通版  
高等学校教材(公路类)编审委员会  
人民交通出版社  
2001 年 12 月

# 前 言

本教材是根据面向 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会 2001 年审定的教学大纲而编写的。全书共分九章:第一章桥梁检测技术;第二章桥梁结构质量现场检测;第三章桥梁结构静载试验;第四章桥梁结构动载试验;第五章桥梁检查和评定;第六章桥梁结构缺损及裂缝修补;第七章梁桥上部构造的改造与加固;第八章拱桥的改造与加固;第九章桥梁下部结构的改造与加固。

本书第一、三章由武汉理工大学袁海庆、范小春、范剑峰撰写;第二章由铁道部大桥工程局桥梁科学研究院陈开利撰写;第四、五章由华中科技大学丁锐撰写;第六、七、八章由华中科技大学王国鼎撰写;第九章由华中科技大学郑俊杰撰写。全书由王国鼎教授担任主编,袁海庆教授担任副主编。华中科技大学博士生杨爱平讲师在统稿过程中做了大量的工作;铁道部大桥工程局桥梁科学研究院为本书第六章的编写提供了一些很有价值的资料;该院院长陈开利高级工程师审阅了第七章并提出了一些很好的意见,均为提高本书的质量做出了贡献。

这本新教材涉及面广、内容较新、实践性强。但由于作者的知识面和水平所限,书中难免有不妥甚至错误之处,恳请读者提出宝贵意见,以便再版时完善。

王国鼎 袁海庆 陈开利

2003 年 6 月于武汉





作者照背景为：

世界著名大拱桥——卢森堡的阿道夫桥

### 作者简介

王国鼎，1935年生，武汉市人。1996年湖南大学桥隧系毕业后，先后在湖南大学、华中科技大学从事桥梁工程教学、科研工作。现任华中科技大学教授、博士生导师，兼任湖北省工程建设专家委员会委员，《中南公路》杂志编委。

主要著作：

- 拱桥连拱计算（1983）
- 拱桥等代荷载（1988）
- 桥梁计算示例集 拱桥（1989）
- 换算刚度法在拱桥及其它结构中的应用（与李靖森教授合著 1990）
- 拱桥连拱计算（第二版）（1998）
- 桥梁计算示例集 拱桥（第二版）（2000）

获奖情况：

- “拱桥连拱计算”获教育部科技进步二等奖
- “无桥台的桥梁”等获建设部科技进步三等奖
- “换算刚度法在拱桥及其它结构中的应用”获湖北省人民政府自然科学三等奖
- “将拱桥改为梁拱式拱上建筑桥的新方法”获发明专利（已授权）



# 目 录

第一章 桥梁检测技术	1
1.1 概述	1
1.1.1 引言	1
1.1.2 桥梁检测的内容和检测依据	1
1.1.3 常用检测仪器	2
1.2 静载检测技术	3
1.2.1 引言	3
1.2.2 机械式检测仪表	4
1.2.3 应变电测技术	8
1.2.4 光测式量测装置	15
1.3 动载检测技术	16
1.3.1 引言	16
1.3.2 测振传感器	16
1.3.3 测振放大器	19
1.3.4 测振记录装置	20
1.4 桥梁检测中的其它常用传感器	22
1.4.1 电阻应变式传感器	22
1.4.2 钢弦式传感器	24
1.4.3 光纤布拉格光栅传感器	26
参考文献	28
第二章 桥梁结构质量现场检测	30
2.1 概述	30
2.2 混凝土结构无损检测	32
2.2.1 混凝土结构无损检测技术的形成与发展	32
2.2.2 混凝土结构无损检测技术的适用范围	32
2.2.3 混凝土强度的无破损检测法	33
2.2.4 混凝土缺陷的无破损检测法	40
2.3 混凝土结构半破损检测	46
2.3.1 钻芯取样法检测混凝土强度	46
2.3.2 后装拔出法检测混凝土强度	48
2.4 钢结构无损检测	51
2.4.1 超声波探伤	52
2.4.2 射线探伤	54
2.5 预应力混凝土结构检测	54

2.5.1	预应力钢材的试验检测	55
2.5.2	预应力锚具、夹具和连接器检测	55
2.5.3	张拉设备校验	60
2.5.4	张拉工艺和张拉力控制	62
2.5.5	水泥浆的技术条件	64
	参考文献	65
<b>第三章</b>	<b>桥梁结构静载试验</b>	<b>67</b>
3.1	概述	67
3.1.1	桥梁静载试验的目的	67
3.1.2	静载试验的主要工作内容	67
3.2	桥梁静载试验组织与方案设计	68
3.2.1	桥梁静载试验组织	68
3.2.2	桥梁静载试验方案设计	69
3.3	桥梁静载试验理论分析与计算	75
3.3.1	概述	75
3.3.2	荷载横向分布计算方法	76
3.3.3	荷载影响面分析	80
3.4	预制梁板试验	81
3.5	成桥静载试验实例	85
3.6	桩基静载试验	90
3.6.1	概述	90
3.6.2	单桩静压试验	91
3.6.3	单桩静拔试验	95
3.6.4	单桩水平荷载试验	95
3.7	静载试验报告编制	97
	参考文献	98
<b>第四章</b>	<b>桥梁结构动载试验</b>	<b>100</b>
4.1	概述	100
4.2	振动理论基础	101
4.2.1	振动的特性	101
4.2.2	单自由度系统的线性振动	101
4.3	桥梁动载试验组织与方法设计	103
4.3.1	动载试验方案的主要内容	103
4.3.2	动载试验效率	105
4.3.3	动载试验的测点设置	106
4.3.4	桥梁动载试验	109
4.4	桥梁动载试验的激振方法	110
4.4.1	自振法(瞬态激振法)	110
4.4.2	共振法(强迫振动法)	111
4.4.3	脉动法	112

4.5	振动特性分析	112
4.5.1	资料的整理	113
4.5.2	结果的评定与分析	115
4.6	索力测定方法	116
4.6.1	索力测定的常用方法	116
4.6.2	索力振动测定法	117
4.7	桩基动力检测	119
4.7.1	弹性直杆中的波传播理论简述	119
4.7.2	一维波动方程的解及行波理论	120
4.7.3	边界效应	121
4.7.4	杆件性质突变对弹性波传播的影响	122
4.7.5	桩基低应变动力检测	123
4.7.6	杆件侧摩阻力影响	125
4.7.7	总的土阻力—CASE法的基本公式	125
4.8	桥梁动载试验报告的编写	127
	参考文献	128
<b>第五章</b>	<b>桥梁检查和评定</b>	<b>129</b>
5.1	桥梁检查	129
5.1.1	经常检查	129
5.1.2	定期检查	133
5.1.3	特殊检查	133
5.2	桥梁评定	135
5.2.1	荷载试验成果分析与评定	135
5.2.2	桥梁验算与评估	136
	参考文献	138
<b>第六章</b>	<b>桥梁结构缺损及裂缝修补</b>	<b>140</b>
6.1	混凝土桥梁的缺损及其成因	140
6.2	桥梁裂缝	141
6.2.1	梁式桥的常见裂缝	142
6.2.2	拱式桥的常见裂缝	144
6.3	裂缝的修补	147
6.3.1	表面封闭	149
6.3.2	压力灌浆	149
	参考文献	150
<b>第七章</b>	<b>梁桥上部构造的改造与加固</b>	<b>151</b>
7.1	增大主梁截面的惯性矩	151
7.1.1	从梁板结构的上部加强	151
7.1.2	从梁板结构的下部加强	152
7.2	粘贴加固	153
7.2.1	粘贴钢板(或钢筋)	154

7.2.2	粘贴碳纤维(CFRP)	156
7.3	减小梁中内力	160
7.3.1	增设纵横梁法	160
7.3.2	改变结构体系	161
7.4	体外预应力加固	162
7.4.1	横向收紧张拉法	162
7.4.2	纵向张拉法	163
7.4.3	竖向张拉法	166
7.4.4	预弯梁法	167
	参考文献	168
<b>第八章</b>	<b>拱桥的改造与加固</b>	<b>169</b>
8.1	加强主拱圈	169
8.1.1	由拱圈下部加固	169
8.1.2	由拱圈上部加固	170
8.1.3	由拱圈上、下部同时加固	173
8.2	增强横向联系	173
8.3	锚喷混凝土加固	174
8.3.1	锚喷混凝土	174
8.3.2	锚喷混凝土施工工艺	174
8.3.3	锚喷法加固实例	175
8.4	改拱式拱上建筑为梁拱式拱上建筑	177
8.4.1	基本原理	177
8.4.2	工程实例	178
8.4.3	设计、施工要点	180
8.5	拱桥改造加固的其它方法	180
8.5.1	减轻拱上建筑的重量	181
8.5.2	体外预应力	181
8.5.3	用顶推法消除桥台的变位	182
8.6	拱桥的拓宽改造	184
8.6.1	采用一桥两做	184
8.6.2	设置悬臂挑梁或悬臂墩	184
	参考文献	185
<b>第九章</b>	<b>桥梁下部结构的改造与加固</b>	<b>186</b>
9.1	桥梁下部结构的主要问题	186
9.1.1	桥梁基础的缺陷	186
9.1.2	墩(台)身的缺陷	188
9.2	桥梁墩台基础的维修与加固	188
9.2.1	墩台基础的养护与维修	188
9.2.2	墩台基础的加固	191
9.3	桥梁墩台基础的改造	196

9.4 高压喷射注浆法 .....	202
9.4.1 概述 .....	202
9.4.2 加固机理 .....	203
9.4.3 旋喷法加固墩台基础的设计 .....	204
9.4.4 旋喷法加固墩台基础的施工 .....	206
9.4.5 高压旋喷法加固墩台基础的应用实例 .....	206
9.5 灌浆法 .....	207
9.5.1 概述 .....	207
9.5.2 灌浆材料 .....	208
9.5.3 灌浆分类 .....	208
9.5.4 灌浆设计程序 .....	209
9.5.5 灌浆效果及检验 .....	210
9.5.6 工程实例 .....	210
9.6 综合加固技术 .....	212
参考文献 .....	217

# 第一章 桥梁检测技术

## 1.1 概 述

### 1.1.1 引言

随着我国改革开放的深入和社会主义市场经济体制的建立, 公路交通作为我国经济建设中重点投资建设的行业, 正以前所未有的规模和速度向前发展, 截止到 2002 年, 我国已建成永久性公路桥梁 29.9 万余座, 总长度达 1 161.2 万延米以上, 其中特大桥 1 900 座, 171.86 万延米, 大桥 15 891 座, 276.12 万延米。我国依靠自己的技术力量, 建成了不同结构形式的大跨径悬索桥、斜拉桥、拱桥、连续刚构桥, 取得了成功的经验。已建成和即将建成的一批大跨径桥梁, 技术复杂, 科技含量高, 施工难度大, 标志着我国桥梁技术已进入世界先进行列。

在新桥大量建造的同时, 桥梁工程的质量成为必须高度重视的重大问题。为了保证桥梁工程的质量, 除了加强对勘测、设计和施工的质量管理之外, 对竣工桥梁实行成桥检测是最为直接有效的方法。桥梁检测最主要的方法是桥梁的荷载试验。

近年来, 随着我国交通运输事业的不断发展, 大量低等级公路被改建扩建, 服役桥梁能否继续使用已成为公路建设决策部门的一件大事。20 世纪 70 年代以前修建的大量低标准公路桥梁已达到或接近设计年限。在风、雨、洪水、冰冻、温度变化和湿度等自然因素侵蚀下, 甚至在地震、撞击和超载营运的严重损害下, 许多桥梁的结构性能发生了巨大变化, 有些桥梁已出现不同程度的损伤, 甚至其承载能力已大大降低而逐渐演变为危桥。到 20 世纪末, 我国公路危桥数量已达 4 451 座, 总长度达 16 万延米。为了对这类桥梁进行综合评定, 为相应的技术改造或拆除改建的决策提供依据, 对桥梁进行包括荷载试验在内的检测是必不可少的工作。

总之, 无论是新建桥梁还是在役桥梁, 为了对其承载力进行评定, 都需要进行桥梁检测。

### 1.1.2 桥梁检测的内容和检测依据

#### 1. 检测内容

检测技术是桥梁试验的重要技术保障, 它的科学性、准确性直接关系到桥梁结构试验能否达到预期的目的。桥梁检测的工作内容比较多, 涉及到很多方面。从试验方法上来讲, 分为静载试验、动载试验和无损检测; 从试验经历的时间上来看, 分为短期试验和长期试验; 从试验的进行时期来看, 分为成桥试验和施工阶段监测控制。

在桥梁静载、动载试验中, 检测的内容一般包括以下几个方面:

1) 试验荷载的大小。

2) 结构构件截面上应力的分布状态及其大小、支座反力、推力等的大小。

3) 结构的各种静态变形,包括水平位移、挠度、相对滑移、转角等。结构局部的损坏现象如裂缝的分布及其宽度、深度等。

4) 结构的动力特性,如自振频率、周期、衰减特性等,以及在动力荷载下的结构的动应力、动位移、速度和加速度等。

要准确获取以上检测的各项数据,必须使用相应的检测仪器和检测方法。

## 2. 检测依据

公路桥梁检测应以国家和交通部颁布的有关公路桥涵的法规、技术标准、设计规范为依据进行,对于某些新结构以及采用新材料、新工艺的桥梁,无相关条款规定时,可以借鉴国外或国内其它行业的相关规范、规程的有关规定。我国结构工程的标准和规范可以分为:

### 1) 综合基础标准

《工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50153—92),是指导制订专业基础标准的国家统一标准。

### 2) 专业基础标准

《公路工程技术标准》(JTJ 001—97)、《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999),是指导专业通用标准和专业专用标准的行业统一标准。

### 3) 专业通用标准

公路桥梁检测主要涉及的专业通用标准有:

公路桥涵设计通用规范(JTJ 021—89)

公路砖石及混凝土桥涵设计规范(JTJ 022—85)

公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTJ 023—85)

公路桥涵地基与基础设计规范(JTJ 024—85)

公路桥涵钢结构及木结构设计规范(JTJ 025—86)

公路工程抗震设计规范(JTJ 004—89)

公路工程质量检验评定标准(JTJ 071—98)

公路旧桥承载能力鉴定方法(试行)(1988)

### 4) 专业专用标准

公路桥梁检测主要涉及的专业专用标准有:

公路斜拉桥设计规范(试行)(JTJ 027—96)

公路悬索桥设计规范(正在制订)

大跨径公路桥梁抗风设计规范(正在制订)

大跨径公路桥梁抗震设计规范(正在制订)

需要说明的是,上述专业通用标准和专业专用标准有的正在修订之中,进行荷载试验时应按新颁布的标准执行。

## 1.1.3 常用检测仪器

### 1. 检测仪器的分类

检测仪器最常见的分类方法见表 1-1。



分类依据	仪器类型
仪器的工作原理	机械式测试仪器、电测仪器、光学仪器、声学仪器、复合式仪器、伺服式仪器等
仪器的用途	测力计、应变计、位移计、倾角仪、测振仪等
测定的方法	平衡式和非平衡式
结果显示与记录方式	直读式、自动记录式、模拟式、数字式
仪器与结构的相对关系	附着式、接触式、手持式、遥测式等

## 2. 性能指标

仪器的性能指标一般包括以下几个方面：

- 1) 量程：指仪器的最大测量范围，如百分表的量程一般有 5cm 和 10cm。
- 2) 最小刻度：指仪器指示装置的每一最小刻度所代表的数值，如百分表的最小刻度为 0.01mm。
- 3) 灵敏度：指被测结构的单位变化所引起仪器指示装置的变化数值。
- 4) 精度：指仪器指示的数值与被测对象的真实值相符合的程度。
- 5) 绝对误差：指仪器指示的数值与被测值之差。仪器的误差与仪器的准确度恰好相反。

## 3. 桥梁检测对仪器的要求

桥梁检测对仪器的要求包括以下几个方面：

- 1) 根据要求合理选用仪器的各项性能指标。
- 2) 仪器轻巧，使用方便，对环境适应性强，适于野外桥梁检测使用。
- 3) 仪器的多功能性，所使用的仪器应具有多种用途。
- 4) 使用安全，包括仪器本身不易损坏，不会危及操作人员的人身安全。

目前应用于桥梁试验中的仪器，以电测类仪器较多，而机械式仪器仪表已不能满足多点量测和数据自动采集的要求。从发展的角度看，数字化和集成化检测仪器的应用日益广泛，不仅方便了量测和数据处理，而且有利于提高检测精度。

# 1.2 静载检测技术

## 1.2.1 引言

桥梁静载试验时，需要量测的项目有结构的应变、位移、反力、倾角和裂缝等，应选择适当的仪器进行量测。常用的量测仪器有百分表、千分表、位移计、应变计（应变片）、应变仪、精密水准仪、经纬仪、全站仪、倾角仪和刻度放大镜等。这些测试仪器按其工作原理可分为机械测试仪器、电测仪器、光测仪器等。荷载试验应根据测试内容和量测值的大小选择仪器，试验前应对测试值进行理论分析估计，以便选择仪器的精度和量测范围。《公路旧桥承载能力鉴定方法》给出了仪器精度和量测范围的要求，见表 1-2。

静载试验常用仪表及适用范围

表 1-2

检测内容	仪表名称	最小分划值	适用量测范围	备注
应变	千分表	$2 \times 10^{-6}$	$50 \times 10^{-6} \sim 2000 \times 10^{-6}$	配合手持应变仪
	杠杆引伸仪	$2 \times 10^{-6}$	$50 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$	配合千分表
	手持应变仪	$5 \times 10^{-6}$	$100 \times 10^{-6} \sim 20000 \times 10^{-6}$	配合千分表
	电阻应变仪	$1 \times 10^{-6}$	$50 \times 10^{-6} \sim 5000 \times 10^{-6}$	需贴电阻片
位移	千分表	0.001mm	0.1 ~ 0.8mm	需配表座及吊架
	百分表	0.01mm	0.3 ~ 8mm	需配表座及吊架
	百分表(长标距)	0.01mm	0.3 ~ 25mm	需配表座及吊架
	挠度计	0.1mm	> 1mm	需配表座及钢丝
	精密水准仪	0.1mm	> 2mm	需配水准尺
	电阻应变位移计	0.01mm	0.3 ~ 25mm	需配表座
	经纬仪	0.5mm	> 2mm	
倾角	水准式倾角仪	2.5"	20" ~ 1°	需固定支架
裂缝	刻度放大镜	0.05mm	0.05 ~ 5mm	

## 1.2.2 机械式检测仪表

### 1. 机械式检测仪表的一般原理

机械式仪表的工作原理是通过机械传动系统和指示机构来测定结构所受荷载大小、应力及各种变形(包括挠度、位移、转角等)。它的特点是:安装便捷,读数方便,准确度高,对环境的适应性强,性能可靠,并在许多方面都能满足桥梁工程检测的要求;但灵敏度不很高,一般需要搭设脚手架,需要人工读数,试验人员较多。

机械式仪表本身通常是由杠杆、齿轮、弹簧、指针和度盘等各种机械零件组合而成。它主要包括以下四部分:

#### 1) 传感机构

它直接感受被测量的物理量变化,并把这种变化传到转换机构。在接触式机械检测仪器中,这部分常常是测杆及弹簧;对于张线式机械检测仪器,则常常是鼓轮一类的机构。

#### 2) 转换机构

它是把传感机构传来的被量测构件的变形放大或缩小,或改变方向,再转化为仪表内器件的运动,如百分表中的大小齿轮及弹簧。

#### 3) 指示装置

它是将经过转换机构转化而成的器件运动用可读形式表现出来。一般常由指针和度盘组成,如针入度仪中的指针和刻度盘。

#### 4) 附属装置

它是指仪表的支座、防护外壳等。它把各组成部分联结成整体,保护仪器不受周围环境的影响。