

在役 预应力混凝土桥梁 检测与量化评估及加固关键技术

邬晓光 李彦伟 赵彦东 编著



人民交通出版社
China Communications Press

Zaiyi Yuyingli Hunningtu Qiaoliang Jiance
在役预应力混凝土桥梁检测
yu Lianghua Pinggu ji Jiagu Guanjian Jishu
与量化评估及加固关键技术

邬晓光 李彦伟 赵彦东 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统总结了预应力混凝土桥梁的检测技术、评价方法,介绍了基于动态可靠度理论的寿命预测相关理论,分析说明了加固设计、施工关键技术,并提供了相应的计算实例,具有较强的实用性和指导性。

本书可供桥梁加固设计技术人员参考使用,也可供大专院校相关专业师生学习借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

在役预应力混凝土桥梁检测与量化评估及加固关键技术/邬晓光,李彦伟,赵彦东编著.--北京:人民交通出版社,2011.11

ISBN 978-7-114-08990-9

I.①在… II.①邬… ②李… ③赵… III.①预应力混凝土桥-检测②预应力混凝土桥-量化-评估③预应力混凝土桥-加固 IV.①U448.35

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第052748号

书 名: 在役预应力混凝土桥梁检测与量化评估及加固关键技术

著 者: 邬晓光 李彦伟 赵彦东

责任编辑: 高 培

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街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: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 10.5

字 数: 177千

版 次: 2011年11月 第1版

印 次: 2011年11月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08990-9

定 价: 30.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

预应力混凝土桥梁是目前国内外采用最多、应用最普遍的桥梁类型,随着使用年限的增加和桥梁使用环境的变化,它们都会出现不同程度的病害,有些甚至必须进行加固或改建。目前,我国众多在役预应力混凝土桥存在不同程度的材料老化、裂缝、结构损伤等病害和桥梁宽度不足造成车辆通行不畅等现象。重车、超载车辆比例的提高更加重了这些病害的程度,且新的桥梁设计规范中各项标准的提高,使得许多旧桥承载力不能满足新规范要求,这些因素降低了旧桥的使用功能,严重影响公路通行能力。我们对旧桥病害的检测评估和旧桥加固关键技术进行了认真研究,力求安全、合理、经济地恢复和提高旧桥的承载能力,并延长其使用寿命。

本书依托河北省重点攻关项目“在役预应力混凝土桥梁检测量化评估及加固关键技术研究”,以及浙江、山西、贵州等省相关桥梁加固改造工程,系统分析和总结了目前不同体系、不同截面形式的桥梁存在的病害,并进行了桥梁量化检测评估及加固关键技术研究,对加固方法进行优化设计。归纳起来本书内容主要包括以下几方面:

(1)通过桥梁外观检查和材质状况与耐久性检测,确定桥梁的损伤状态,并对桥梁各构件的病害情况进行量化评定,得到桥梁结构的综合技术状况,然后对影响预应力混凝土桥梁承载能力的主要因素(混凝土、普通钢筋、预应力钢筋)进行评价,运用模糊综合评判方法对在役预应力混凝土桥梁耐久性进行初步评定。

(2)根据预应力混凝土桥梁的现状 & 检测结果,对其承载能力进行模糊综合评定。在确定在役预应力混凝土桥梁参数衰减模型基础上,用 JC 法和神经网络技术计算预应力混凝土桥梁的动态可靠度,预测桥梁的剩余寿命。

(3)研究存在结构缺陷桥梁的有限元计算建模方法,采用四种主要加固方法(增大截面加固法、粘贴钢板加固法、粘贴碳纤维加固法、体外预应力加固法)对不同结构形式的桥梁分别模拟,通过对比分析,得出其对结构承载力、刚度及抗裂性能的影响规律;结合其施工方法、适用环境等,对不同问题推荐行之有效的加固方法,以供加固设计参考。

(4)针对不同桥梁病害,提出适合不同桥型的加固方法,并对设计、施工中的关键技术进行探索和研究,主要包括受压区高度对碳纤维加固的有效性影响研究和旋转顶升技术在施工中的应用。

(5)对不同加固方法进行优化评估与经济性分析,实现加固方法的优化设计。确定综合评价指标,用优选法确定最优加固方法;通过量化模糊影响因素得到各因素的相对隶属度,用多层多目标模糊优选法优化设计加固方法。

本书研究成果的可行性和有效性通过依托工程的具体应用得到证明,为桥梁管理和养护部门的科学决策提供一定指导,具有巨大的经济效益和显著的社会效益,但是本书研究成果必须与国家和交通运输部颁布的各种现行公路混凝土桥梁设计规范、标准、规程(包括抗震设计规范)配套使用。本书研究成果主要适用于一般环境条件下公路上常见的、正在使用的钢筋混凝土、预应力混凝土桥梁结构;对于遭受大灾、处于严重污染的水环境以及沿海地区等特殊侵蚀介质中的公路混凝土桥梁,除应遵守本书研究成果的规定外,尚应遵照其他现行的有关规范及标准要求。

本书除由长安大学公路学院邬晓光和石家庄市交通局李彦伟及河北省交通规划勘察设计院赵彦东编著外,石家庄市交通局赵永祯与甘肃省公路局远大公司吕文全及长安大学赵京博士参加了部分编写工作,由于编写时间仓促,书中有错误之处在所难免,希望读者指正。

邬晓光

2011年1月1日 西安

目 录

1 桥梁检测与量化评定	1
1.1 桥梁检测与评定的意义	1
1.2 预应力混凝土桥梁耐久性检测与量化评定	2
1.3 预应力混凝土桥梁技术状况评定	24
1.4 桥梁技术状况检测工程实例	30
2 在役预应力混凝土桥梁承载力评估与寿命预测	42
2.1 在役预应力混凝土桥梁承载力评估方法	42
2.2 基于动态可靠度的预应力混凝土桥梁寿命预测研究	55
3 在役预应力混凝土桥梁加固方法有限元建模分析	74
3.1 研究方向及模拟方法	74
3.2 单元选取及材料特性确定	78
3.3 非线性解的模拟思想	86
3.4 不同加固方法的模拟思路	87
3.5 加固实例	87
3.6 体外预应力加固实例	109
3.7 加固效果分析建议	118
4 预应力混凝土桥梁加固设计关键技术	120
4.1 预应力混凝土桥梁常用加固技术综述	120
4.2 预应力混凝土桥梁加固设计技术研究	128
4.3 桥梁顶升旋转工艺技术	132
5 在役桥梁加固设计方案优化	140
5.1 在役桥梁加固方案优选的意义	140
5.2 在役桥梁加固方法选用的原则	141
5.3 桥梁加固方案层次优选法	142
5.4 桥梁加固方案优选的多目标决策技术	147
参考文献	154

1.1 桥梁检测与评定的意义

桥梁检测与量化评定的意义在于通过对在役预应力混凝土桥梁的检测评定,为在役桥梁使用的安全可靠及维修加固提供必要的依据和积累技术资料,建立桥梁数据库检验桥梁结构的技术状况;确定工程的可靠度,推动和发展在役桥梁评定及新结构的设计计算理论。具体桥梁检测与量化评定的意义如下。

(1) 桥梁的承载能力是根据设计时所采用的荷载等级来确定的,而荷载等级又由各个时期所颁布的公路工程设计规范或桥梁设计规范所规定。我国的设计规范随着科技进步和社会发展,有过多次修订。虽然这些规范的制定充分考虑了当时的远景经济发展和社会诸多方面的需求,体现了当时的最先进技术,适应当时的建筑材料,但仍然难以摆脱历史的局限性。通过检测评定,可确定在役桥梁的荷载等级,从而决定是否需要通过加固来提高其荷载等级。

(2) 近年来我国的经济发展迅速,反映在公路运输上主要表现为交通量猛增,运输量增大。桥梁由于运营使用多年,桥面出现老化、破损、裂缝等病害,已经满足不了现代交通的通行要求,且随着交通量的剧增,桥宽不能满足通行能力;另外,车型的变化也使桥面显得狭窄;因此需要通过检查确定桥梁各部位损坏程度,超重车辆是否能安全通过,并为临时加固提供技术资料。

(3) 有一些桥梁因受到意外荷载的作用或周边环境的变化,如撞击、河道疏浚、洪水冲击、桥下或桥旁的挖掘等影响,而引起桥梁损坏,需要通过检测。

(4) 有些在役桥梁由于历史或特殊原因资料不全,需通过检测重新建立和积累技术资料,为加强科学管理和提高桥梁技术水平提供必要条件。

(5) 重要的大桥或特大桥梁,在建成之后,通过检测评定,可确定其设计与施工质量,确定工程的可靠度。

(6) 对经过维修加固的桥梁,在进行竣工验收时,需要通过检测,检验维修加固的质量,并验证加固方法的合理性与可靠性。

(7) 了解桥梁实际受力状态,判断结构的安全承载力和使用条件,为进行桥



梁的维修加固提供可靠依据。

(8)根据桥梁检测评定的结论,确定其维修加固或拆除重建的方案,能节省大量投资,并可以在提高原有桥梁服务水平的基础上减少交通安全隐患,具有巨大的经济效益和显著的社会效益。

1.2 预应力混凝土桥梁耐久性检测与量化评定

1.2.1 桥梁概况及环境条件的调查

1) 桥梁概况的调查

桥梁概况调查包括原始资料的调查与桥梁实地考察两部分。原始资料的调查主要是针对桥梁的设计、施工及使用、养护、维修、加固与管理情况进行的;桥梁实地考察主要是初步了解桥梁的技术状况和主要存在问题,并向相关人员调查了解桥梁病害史、使用中的特别事件、限重限速原因、交通状况、今后改扩建计划、水文、气候及环境等方面状况。

2) 环境条件的调查

环境条件调查包括桥梁所处地区的气象条件调查和桥梁工作条件调查两部分。

(1)气象条件调查:平均温度、湿度;年最高温度、年最低温度、湿度;历史最高温度、最低温度、湿度;年最大降雨量、最小降雨量、平均降雨量;桥址处风环境等。调查方法主要参考当地气象部门的资料,必要时进行现场鉴定。

(2)工作条件调查:交通状况、桥梁是否处于风口处、构件是否易受雨水侵蚀、潮沟与泡溅情况、构件工作环境的温、湿度,干湿交替情况,周围 CO₂ 浓度、有无有害气体、酸碱度及冻融情况等,调查方法以查询桥梁养护管理人员为主,必要时进行现场测定。

推荐桥梁所处环境条件影响分级评定标准见表 1-1:

推荐桥梁所处环境条件的分级评定标准

表 1-1

环境类别	环境条件		环境影响系数
I(可忽略)	非寒冷或寒冷地区的大气环境,水或土壤无侵蚀性;干燥环境;风环境	内陆干旱地区	1.0
II(轻微)	严寒地区的大气环境;潮湿	不直接受日晒、雨淋或风蚀的构件;水下构件	1.1

续上表

环境类别	环境条件		环境影响系数
III(中度)	内陆潮湿气候; 干湿交替	一般环境,受日晒、雨淋或风蚀的 构件;靠近地表受地下水影响的 构件	1.2
IV(严重)	酸雨或沿海环境; 接触除冰盐构件	沿海盐雾地区;酸雨或盐碱环境	1.3
V(恶劣)	干湿交替,有侵蚀性水、气体或土 壤;高度水饱和并受冻融循环	海水浪溅、潮差区	1.4

1.2.2 表观损伤的检测与评定

表观检查包括:桥梁整体与局部构造几何尺寸的量测、结构病害(结构裂缝、结构附属设施病害)的检查与量测等。表观检查的项目和要求对不同的桥型有不同的侧重点。表观检查要达到可以定量反映桥梁当前结构状况、依据相关规范评定桥梁技术等级的要求。结构资料的调查包括:了解桥梁的原结构设计、施工工艺及过程以及桥梁的结构维修养护历史等。

1) 检测方法

表观损伤总体上可分为:①裂缝,包括非结构受力裂缝和结构受力裂缝;②层离、剥落或露筋及掉棱或缺角;③蜂窝麻面、表面侵蚀及表面沉积等。

裂缝检测的主要内容为:裂缝的形态;裂缝的分布情况;裂缝周围有无锈迹、锈蚀产物和凝胶泌出物;裂缝的宽度、长度和间距等。检测以目力检查为主,辅以刻度放大镜(最小分辨率不得大于0.05mm)量测宽度,用钢卷尺(最小分辨率不得大于1.0mm)量测裂缝的长度和间距。裂缝检测结果的描述,应注意如实反映裂缝的形态、分布情况和裂缝周边混凝土表面状况,尽可能采用图片进行表观损伤的描述,对所有的表观损伤均应有详尽的文字描述。对层离、剥落或露筋、掉棱或缺角、蜂窝麻面、表面侵蚀及表面沉积等表观损伤的检测,主要检测面积和深度,检测方法有目力检查、辅助钢尺测量和锤击检查。应检查宽度超过0.05mm的裂缝以及大小超过20mm的其他表观损伤。

2) 表观损伤分级评定标准

- (1) 钢筋混凝土构件非结构受力裂缝,按表 1-2 分级标准进行评定。
- (2) 预应力混凝土构件非结构受力裂缝,按表 1-3 分级标准进行评定。
- (3) 钢筋混凝土构件结构受力裂缝,按表 1-4 分级标准进行评定。
- (4) 预应力混凝土构件结构受力裂缝,按表 1-5 分级标准进行评定。

钢筋混凝土构件非结构受力裂缝分级评定标准

表 1-2

评定标度值	分 级 标 准		
	裂缝最大宽度(mm)	裂缝部位	裂缝形态与分布
1	≤0.25	次要受力部位	少量短细裂缝
	≤0.20	主要受力部位	少量短细裂缝
2	≤0.30	次要受力部位	出现短细裂缝,开裂区域面积占其所在构件表面积的3%以下
	≤0.25	主要受力部位	出现短细裂缝,开裂区域面积占其所在构件表面积的2%以下
3	≤0.35	次要受力部位	出现较多的短细裂缝,开裂区域面积占其所在构件表面积的6%以下
	≤0.30	主要受力部位	出现较多的短细裂缝,开裂区域面积占其所在构件表面积的4%以下
4	≤0.40	次要受力部位	出现网状裂缝,开裂区域面积占其所在构件表面积的7%以下,或出现沿受力钢筋方向的裂缝
	≤0.35	主要受力部位	出现网状裂缝,开裂区域面积占其所在构件表面积的7%以下,或出现沿受力钢筋方向的裂缝
5	>0.40	次要受力部位	出现网状裂缝,开裂区域面积占其所在构件表面积的10%以上,或出现沿受力钢筋方向的裂缝,裂口有锈迹
	>0.35	主要受力部位	出现网状裂缝,开裂区域面积占其所在构件表面积的7%以上,或出现沿受力钢筋方向的裂缝,裂口有锈迹
备注	当结构所处环境条件影响系数大于等于1.1时,表观裂缝宽度限值减去0.05mm后取用		

预应力混凝土构件非结构受力裂缝分级评定标准

表 1-3

评定标度值	分 级 标 准		
	裂缝最大宽度(mm)	裂缝部位	裂缝形态与分布
1	≤0.10	次要受力部位	少量短细裂缝
	无	主要受力部位或预应力筋部位	无裂缝
2	≤0.15	次要受力部位	出现短细裂缝,开裂区域面积占其所在构件表面积的3%以下
	≤0.05	主要受力部位或预应力筋部位	少量短细裂缝

续上表

评定标度值	分级标准		
	裂缝最大宽度 (mm)	裂缝部位	裂缝形态与分布
3	≤ 0.20	次要受力部位	出现较多的短细裂缝, 开裂区域面积占其所在构件表面积的 6% 以下
	≤ 0.10	主要受力部位或预应力筋部位	出现短细裂缝, 开裂区域面积占其所在构件表面积的 3% 以下
4	≤ 0.25	次要受力部位	出现网状裂缝, 开裂区域面积占其所在构件表面积的 10% 以下; 或出现沿受力钢筋方向的裂缝
	≤ 0.15	主要受力部位或预应力筋部位	出现网状裂缝, 开裂区域面积占其所在构件表面积的 6% 以下
5	> 0.25	次要受力部位	出现网状裂缝, 开裂区域面积占其所在构件表面积的 10% 以上; 或出现沿受力钢筋方向的裂缝
	> 0.15	主要受力部位或预应力筋部位	出现网状裂缝或出现沿预应力筋方向的裂缝, 开裂区域面积占其所在构件表面积的 6% 以上
备注	当结构所处环境条件影响系数大于等于 1.1 时, 表观裂缝宽度限值减去 0.05mm 后取用		

钢筋混凝土构件结构受力裂缝分级评定标准表

表 1-4

评定标准值	分级标准			
	裂缝部位	裂缝长度或高度	受力钢筋处裂缝宽度 (mm)	裂缝的最小与平均间距 (cm)
1	次要受力部位	纵向长度小于构件长度 1/6, 或高度不足截面尺寸 1/3	≤ 0.10	≥ 50
	主要受力部位		≤ 0.05	
2	次要受力部位	纵向长度小于构件长度 1/6 ~ 1/4, 或高度不足截面尺寸 1/3 ~ 1/2	≤ 0.15	≥ 30
	主要受力部位		≤ 0.10	
3	次要受力部位	纵向长度小于构件长度 1/4 ~ 1/3, 或高度不足截面尺寸 1/2 ~ 2/3	≤ 0.20	≥ 20
	主要受力部位		≤ 0.15	
4	次要受力部位	纵向长度小于构件长度 1/3 ~ 1/2, 或高度不足截面尺寸 2/3	≤ 0.25	< 20
	主要受力部位		≤ 0.20	

续上表

评定标准值	分级标准			
	裂缝部位	裂缝长度或高度	受力钢筋处裂缝宽度(mm)	裂缝的最小与平均间距(cm)
5	次要受力部位	纵向长度小于构件长度1/2,或裂缝基本贯穿	>0.30	开裂严重,裂缝与受力钢筋方向、间距重合,缝口有锈迹
	主要受力部位		>0.25	
备注	当结构所处环境条件影响系数大于等于1.1时,表观裂缝宽度限值减去0.05mm后取用			

预应力混凝土构件结构受力裂缝分级评定标准表

表 1-5

评定标准值	分级标准			
	裂缝部位	裂缝长度或高度	受力钢筋处裂缝宽度(mm)	裂缝的最小与平均间距(cm)
1	次要受力部位	纵向长度小于构件长度1/6,或高度不足截面尺寸1/4	≤0.05	≥50
	主要受力部位		无	
2	次要受力部位	纵向长度小于构件长度1/6~1/4,或高度不足截面尺寸1/4~1/3	≤0.10	≥30
	主要受力部位		无	
3	次要受力部位	纵向长度小于构件长度1/4~1/3,或高度不足截面尺寸1/3~1/2	≤0.15	≥20
	主要受力部位		无	
4	次要受力部位	纵向长度小于构件长度1/3~1/2,或高度不足截面尺寸1/2~2/3	≤0.20	<20
	主要受力部位		≤0.10	
5	次要受力部位	纵向长度小于构件长度1/2,或高度不足截面尺寸2/3,裂缝基本贯穿	>0.20	开裂严重,裂缝与受力钢筋方向、间距重合
	主要受力部位		>0.10	
备注	当结构所处环境条件影响系数大于等于1.1时,表观裂缝宽度限值减去0.05mm后取用			

(5) 钢筋混凝土结构构件表观损伤(除裂缝),按表1-6分级标准进行评定。

(6) 预应力混凝土结构构件表观损伤(除裂缝),按表1-7分级标准进行评定。

钢筋混凝土结构构件表观损伤(除裂缝)分级评定标准表 表 1-6

评定标准值	分级标准		
	裂缝部位	缺陷类型	层离、剥落或露筋、掉棱或缺角
			蜂窝麻面、表面侵蚀、表面沉积
1	主要受力部位	累积损伤面积占构件外露表面积的 3% 以下,或由于损伤引起的构件截面最大损失率小于 5%	
	次要受力部位	累积损伤面积占构件外露表面积的 6% 以下,或由于损伤引起的构件截面最大损失率小于 10%	
2	主要受力部位	累积损伤面积占构件外露表面积的 10% 以下,或由于损伤引起的构件截面最大损失率小于 15%	
	次要受力部位	累积损伤面积占构件外露表面积的 15% 以下,或由于损伤引起的构件截面最大损失率小于 20%	
3	主要受力部位	累积损伤面积占构件外露表面积的 20% 以下,或由于损伤引起的构件截面最大损失率小于 25%	
	次要受力部位	累积损伤面积占构件外露表面积的 25% 以下,或由于损伤引起的构件截面最大损失率小于 30%	
4	主要受力部位	累积损伤面积大于外露表面积的 15%,或由于损伤引起的构件截面最大损失率大于 20%	
	次要受力部位	累积损伤面积大于外露表面积的 20%,或由于损伤引起的构件截面最大损失率大于 25%	
5	主要受力部位	累积损伤面积大于外露表面积的 15%,或由于损伤引起的构件截面最大损失率大于 20%	
	次要受力部位	累积损伤面积大于外露表面积的 20%,或由于损伤引起的构件截面最大损失率大于 25%	

预应力混凝土构件表观损伤(除裂缝)分级评定标准表 表 1-7

评定标准值	分级标准		
	裂缝部位	缺陷类型	层离、剥落或露筋、掉棱或缺角
			蜂窝麻面、表面侵蚀、表面沉积
1	主要受力部位	构件外观基本完好	
	次要受力部位	累积损伤面积占构件外露表面积的 3% 以下,或由于损伤引起的构件截面最大损失率小于 5%	
2	主要受力部位	累积损伤面积占构件外露表面积的 6% 以下,或由于损伤引起的构件截面最大损失率小于 10%	
	次要受力部位	累积损伤面积占构件外露表面积的 10% 以下,或由于损伤引起的构件截面最大损失率小于 15%	
3	主要受力部位	累积损伤面积占构件外露表面积的 15% 以下,或由于损伤引起的构件截面最大损失率小于 20%	
	次要受力部位	累积损伤面积占构件外露表面积的 20% 以下,或由于损伤引起的构件截面最大损失率小于 25%	
4	主要受力部位	累积损伤面积大于外露表面积的 10%,或由于损伤引起的构件截面最大损失率大于 15%	
	次要受力部位	累积损伤面积大于外露表面积的 15%,或由于损伤引起的构件截面最大损失率大于 20%	
5	主要受力部位	累积损伤面积大于外露表面积的 10%,或由于损伤引起的构件截面最大损失率大于 15%	
	次要受力部位	累积损伤面积大于外露表面积的 15%,或由于损伤引起的构件截面最大损失率大于 20%	

1.2.3 混凝土强度的检测与评定

1) 一般要求

(1) 为了突出混凝土桥梁结构的特殊性,混凝土强度检测评定分为结构或构件的强度检测评定与承重构件的主要受力部位的强度检测评定。如主梁,根据具体检测目的和检测要求,选择合适的方法进行检测时,可对主梁整个(批)构件进行检测评定,也可对主梁跨中部位进行混凝土强度的检测评定,但测区布置必须满足规定。

(2) 原则上对结构不采取破损检测,但在其他方法不能准确评定结构(构件)或承重构件主要受力部位的混凝土强度时,应采用取芯法结合其他方法综合评定。在结构上钻、截试件时,应尽量选择承重构件的次要部位或次要承重构件上,并应采取有效措施,确保结构安全。钻、截取试件后,应及时进行修复或加固处理。

(3) 对在役混凝土桥梁结构或构件,当有两个可测面时,宜采用超声-回弹综合法检测其结构混凝土强度。

但在下列情况下,不宜应用超声-回弹综合法检测结构混凝土强度:

- ① 遭受冻害、化学腐蚀、火灾、高温损伤的混凝土。
- ② 被测构件厚度小于 10cm。
- ③ 结构表面温度低于 -4°C 或高于 60°C 。

(4) 超声-回弹综合法所使用的回弹仪,应满足回弹单一参数检测时的各项要求,如回弹仪的技术指标、检定及保养等。

2) 检测仪器技术要求

(1) 超声检测仪器的技术要求

- ① 超声波检测仪器须具有产品合格证,并应是通过计量检定的。
- ② 仪器的声时范围应为 $0.5 \sim 9999\mu\text{s}$,测读精度为 $0.1\mu\text{s}$ 。
- ③ 仪器应具有良好的稳定性,声时显示调节在 $20 \sim 30\mu\text{s}$ 范围内时,2h 内声时显示的漂移不得大于 $\pm 0.2\mu\text{s}$ 。
- ④ 仪器的放大器频率响应宜分为 $10\text{kHz} \sim 200\text{kHz}$ 、 $200\text{kHz} \sim 500\text{kHz}$ 两频段。
- ⑤ 仪器宜具有示波屏显示及手动游标测读功能,显示应清晰稳定。若采用整形自动测读,混凝土超声测距不得超过 1m。
- ⑥ 仪器应能适用于温度为 $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于 80%、电源电压波动为 $220\text{V} \pm 22\text{V}$ 的环境中,且能连续 4h 正常工作。

(2) 回弹仪的技术要求

①测定回弹值的仪器,宜采用示值系统为指针直读式的混凝土回弹仪。

②回弹仪必须具有制造厂的产品合格证及检定单位的检定合格证,并应在回弹仪的明显位置上具有下列标志:名称、型号、制造厂名(或商标)、出厂编号、出厂日期和中国计量器制造许可证标志 CMC 及许可证证号等。

③回弹仪应符合下列标准状态的要求:

- a. 水平弹击时,弹击锤脱钩的瞬间,回弹仪的标准能量应为 2.207J。
- b. 弹击锤与弹击杆碰撞的瞬间,弹击拉簧应处于自由状态,此时弹击锤起跳点应相应于指针指示刻度尺上“0”处。
- c. 在洛氏硬度 HRC 为 60 ± 2 的钢砧上,回弹仪的率定值应为 80 ± 2 。

④回弹仪使用时的环境温度应为 $-4^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 换能器技术要求

①换能器宜采用厚度振动形式压电材料。

②换能器的频率宜在 50kHz ~ 100kHz 范围以内。

③换能器实测频率与标称频率相差应不大于 $\pm 10\%$ 。

3) 检测技术

(1) 一般规定

①采用超声-回弹综合法检测桥梁结构或构件的混凝土强度前,应具有以下资料:

- a. 工程名称及设计、施工、监理(或监督)和建设单位名称。
- b. 结构或构件名称、外形尺寸、数量及混凝土强度等级。
- c. 水泥品种、强度等级、安定性、出厂厂名,砂、石品种、粒径,外加剂或掺合料品种、掺量以及混凝土配合比等。
- d. 模板类型、混凝土浇筑和养护情况以及成型日期。
- e. 检测原因。

②桥梁结构或构件混凝土强度可采用的检测方式有如下两种:

- a. 构件检测:适用于单个结构或构件的检测。
 - b. 部位检测:适用于对结构或构件关键控制部位的检测。
- ③结构或构件上的测区、关键控制部位的测区布置应满足下列要求:

- a. 测区尺寸为 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 。
- b. 测区应均匀布置在构件混凝土浇筑方向的侧面,测区在两个相对应的侧

面上应对称布置。

c. 按构件检测方式检测时,每一结构或构件的测区数不应少于 10 个,相邻两测区的间距不宜大于 2m,测区应布置在结构或构件的重要部位及薄弱部位。

d. 按部位检测方式检测时,每一部位的测区数不应少于 6 个,相邻两测区的间距应控制在 0.4m 以内。

e. 测区避开钢筋密集区和预埋件。

f. 测区离构件端部或施工缝边缘的间距不宜大于 0.4m,也不宜小于 0.2m。

g. 测区应清洁、平整、干燥,不应有接缝、饰面层、浮浆和油垢,并避开蜂窝、麻面部位,必要时可用砂轮片清除杂物和磨平不平整处,并擦净残留粉尘。

h. 测区应注明编号,并记录测区位置和外观质量情况。

④结构或构件或关键控制部位的每一测区内,宜先进行回弹测试,后进行超声测试。

⑤非同一测区内的回弹值及超声声速值,在计算测区混凝土换算强度值时不得混用。

4) 检测方法

采用超声-回弹综合法进行检测。超声法和回弹法都是以材料的应力、应变特性与强度建立的一定对应关系为检测依据的。超声速度一方面反映材料的弹性性质,同时由于它穿过材料,因而也反映了材料内部构造的某些信息;回弹法则反映了材料的弹性性质,同时也在一定程度上反映了材料的塑性性质,但它只能确切反映混凝土表面(3cm 左右)的状态。因此,超声法与回弹法的综合使用,既能反映混凝土的弹性,又能反映混凝土的塑性,既能反映表层的状态,又能反映内部的构造,因而能较确切地反映混凝土的强度。尤其是对龄期较长、表面碳化较严重的混凝土构件,综合法更加准确。

在选定构件后,按照均布原则布设若干 20cm × 20cm 超声-回弹测区,应用回弹仪及混凝土超声波测试仪进行检测读取回弹值及声时值,经数据处理后得到强度平均值和推定强度值。结构或构件或关键控制部位混凝土强度计算汇总表见表 1-8。

超声-回弹综合法测强原始记录表,见表 1-9。

5) 混凝土强度评定标准

(1) 结构混凝土强度,应在结构承重构件或其主要受力部位布置测区,根据

相关标准或规范,按照标准操作方法和技术要求进行测定。

(2)对混凝土桥梁结构,应根据每一承重构件或其主要受力部位的实测强度推定值和测区平均换算强度值,按式(1-1)和式(1-2)计算其推定强度匀质系数 K_{bt} 和平均强度匀质系数 K_{bm} ,并按表 1-10 对其强度状态作出评定。

推定强度匀质系数

$$K_{bt} = R_{it} / R \quad (1-1)$$

式中: R_{it} ——承重构件或其主要受力部位混凝土的实测强度推定值;

R ——承重构件混凝土极限抗压强度设计值。

平均强度匀质系数

$$K_{bm} = R_{im} / R \quad (1-2)$$

式中: R_{im} ——承重构件或其主要受力部位测区平均换算强度值。

超声-回弹综合法检测混凝土强度计算汇总表

表 1-8

建设单位:

工程名称:

第 页 共 页

项目 构件编号 或关键控制部位	测区换算强度 f_{cu}^c (MPa)											测区最小强 度值 $f_{cu,min}^c$ (MPa)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...		n
强度平均值 $m_{f_{cu}}^c$ (MPa)				标准差 $S_{f_{cu}}^c$ (MPa)				推定强度值 f_{cu}^c (MPa)					

测试:

记录:

计算:

复刻:

测试日期:

年

月

日