



中国工程建设标准化协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

混凝土桥梁结构无损检测技术标准

Technical Standard for Non-destructive Inspection of Concrete

Bridge

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction
Standardization

中国工程建设标准化协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

混凝土桥梁结构无损检测技术标准

Technical Standard for Non-destructive Inspection of Concrete
Bridge

主编单位：交通运输部公路科学研究所

发布机构：中国工程建设标准化协会

施行日期：2017 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

2017 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2014 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2014〕070 号）的要求，交通运输部公路科学研究所承担《混凝土桥梁结构无损检测技术标准》（以下简称“本标准”）的制订工作。

编写组按照“全面、实用”的指导原则，进行了广泛的调查研究，查阅了大量国内外有关无损检测技术的文献资料，积极吸纳近年来国内混凝土无损检测技术最新研究成果；积极吸纳近年来经工程验证的成熟技术和好经验、好做法；掌握国际先进标准的动态，积极采用经验证符合我国国情的国际标准和国外先进标准；广泛征求主管部门、项目业主、设计、设备企业等的意见，制订的技术内容充分考虑工程实施的可行性和可操作性，经反复讨论、修改，最终经审查定稿，完成了编制任务。

本标准共分 11 个章节 16 个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本要求、混凝土强度检测、钢筋保护层检测、钢筋锈蚀电位检测、混凝土电阻率检测、混凝土氯离子含量检测、混凝土碳化状况检测、混凝土外观质量及内部缺陷检测、预应力管道注浆密实度检测等。

本标准是基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本标准提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本标准相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由交通运输部公路科学研究所负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或交通运输部公路科学研究所（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088，电子邮箱：hf.he@rioh.cn），以便修订时参考。

主 编 单 位：交通运输部公路科学研究所

参 编 单 位：

主 编：

主要参编人员：

主 审：

参与审查人员：

目 录

1 总则	1
2 术语、符号	1
2.1 术语	1
2.2 符号	3
3 基本要求	4
3.1 检测工作程序与基本要求	4
3.2 检测项目和检测方法	7
3.3 检测方式和抽样方法	7
3.4 检测范围	8
3.5 检测报告	12
4 混凝土强度检测	13
4.1 一般规定	13
4.2 方法选择	14
4.3 检测要求	16
4.4 检测数据处理	22
5 钢筋保护层检测	29
5.1 一般规定	29
5.2 方法选择	29
5.3 检测要求	29
5.4 检测数据处理	31
6 钢筋锈蚀电位检测	34
6.1 一般规定	34
6.2 方法选择	34
6.3 检测要求	34
6.4 检测数据处理	37
7 混凝土电阻率检测	38
7.1 一般规定	38

7.2 方法选择	38
7.3 检测要求	38
7.4 检测数据处理	39
8 混凝土氯离子含量检测	41
8.1 一般规定	41
8.2 方法选择	41
8.3 检测要求	41
8.4 检测数据处理	44
9 混凝土碳化状况检测	46
9.1 一般规定	46
9.2 检测方法	46
9.3 检测要求	46
9.4 检测数据处理	48
10 混凝土外观质量及内部缺陷检测	50
10.1 一般规定	50
10.2 方法选择	50
10.3 检测要求	52
10.4 检测数据处理	57
11 预应力管道注浆密实度检测	65
11.1 一般规定	65
11.2 方法选择	65
11.3 检测要求	66
11.4 检测数据处理	70
附录 A 混凝土强度检测仪器使用要求	73
附录 B 专用测强曲线的制定方法	76
附录 C 用回弹—取芯综合法检测桥梁结构混凝土强度的方法	80
附录 D 用超声回弹综合法结合取芯检测桥梁结构混凝土强度的方法	85
附录 E 钢筋保护层测试仪核查方法及钢筋保护层厚度现场检测记录表	86
附录 F 钢筋锈蚀电位现场检测记录表	88

附录 G 混凝土电阻率现场检测记录表	89
附录 H 二次微商法计算硬化混凝土中氯离子百分含量实例及混凝土中氯离子含量现场检测记录表	90
附录 I 混凝土碳化深度现场检测记录表	93
附录 J 超声单面平测法检测混凝土裂缝深度	94
附录 K 超声双面对测法检测混凝土裂缝深度	98
附录 L 超声双面斜测法检测混凝土裂缝深度	99
附录 M 超声钻孔对测法检测混凝土裂缝深度	100
附录 N 超声法检测混凝土内部密实性	102
附录 O 冲击回波法检测混凝土缺陷	107
附录 P 预应力管道注浆密实度检测记录表	111
本规程用词说明	112
附件 《混凝土桥梁结构无损检测技术标准》条文说明	
3 基本要求	114
4 混凝土强度检测	116
5 钢筋保护层检测	120
6 钢筋锈蚀电位检测	123
7 混凝土电阻率检测	125
8 混凝土氯离子含量检测	127
9 混凝土碳化状况检测	130
10 混凝土外观质量及内部缺陷检测	132
11 预应力管道注浆密实度检测	136

1 总则

1.0.1 为规范混凝土桥梁结构无损检测，提高无损检测技术水平，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于各等级公路混凝土桥梁结构的无损检测。

1.0.3 混凝土桥梁结构无损检测是在不影响结构或构件性能的前提下，通过测定某些适当的物理量来判断结构或构件的某些性能。

1.0.4 混凝土桥梁结构无损检测除满足本标准外，尚应符合国家、行业颁布的其它有关标准、规范的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 桥梁调查 bridge survey

对桥梁结构及其附属设施进行的现场查看与记录描述。

2.1.2 上部结构 superstructure

桥梁支座以上（无铰拱起拱线或框架底线以上）跨越桥孔部分的总称。

2.1.3 下部结构 substructure

支承桥梁上部结构并将其荷载传递至地基的桥墩、桥台和基础的总称。

2.1.4 桥面系 bridge deck system

上部结构中直接承受车辆、人群等荷载并将其传递到主梁（或主拱、主索）的整个桥面构造系统，包括桥面铺装、桥面板、纵梁、横梁及人行道等。

2.1.5 钢筋的混凝土保护层 concrete cover to reinforcement

从混凝土表面到钢筋（包括纵向钢筋、箍筋和分布钢筋）公称直径外边缘之间的最小距离；对后张法预应力筋，为套管或孔道外边缘到混凝土表面的距离。

2.1.6 钢筋锈蚀电位 corrosion potential

钢筋/混凝土自然状态下半电池电极与测试参考电极之间的电位差。

2.1.7 混凝土电阻率 resistivity of concrete

混凝土电阻率反映其导电性。混凝土电阻率大，若钢筋发生锈蚀，则发展速度慢，扩散能力弱；混凝土电阻率小，锈蚀发展速度快，扩散能力强。

2.1.8 混凝土氯离子含量 Content of chloride ion in concrete

混凝土中氯离子含量是指氯离子占水泥含量的百分比。

2.1.9 混凝土碳化 concrete carbonization

混凝土中的碱性物质与 CO_2 等气体发生的中性化反应。

2.1.10 注浆密实度 grouting density

桥梁预应力管道内注浆的密实程度,本标准按单根预应力孔道内注浆密实段长度与预应力孔道长度的比值计算,用百分数表示。

2.1.11 注浆缺陷 grouting defects

桥梁预应力管道内注浆不密实部分及空洞区。

2.1.12 无损检测方法 method of non-destructive inspection

对结构实施的一种不损害或不影响其使用功能或用途的检测方法。

2.1.13 回弹法 rebound method

通过测定回弹值及有关参数检测材料抗压强度和强度匀质性的方法。

2.1.14 超声回弹综合法 ultrasonic-rebound combined method

通过测定混凝土的超声波声速值和回弹值检测混凝土抗压强度的方法。

2.1.15 超声法 ultrasonic method

通过测定超声脉冲波的有关声学参数检测非金属材料缺陷和抗压强度的方法。

2.1.16 电磁感应法 electromagnetic test method

用电磁感应原理检测混凝土结构及构件中钢筋间距、混凝土保护层厚度及公称直径的方法。

2.1.17 化学计量点 stoichiometric point

滴加的标准溶液与待测组分恰好反应完全时,也称等当点。

2.1.18 全长普查法 detection method of steel strand length

是在预应力管道端头(两端或同端)采用声波法检测孔道注浆密实度的方法,分为声波透视法和声波反射法。

2.1.19 侧面扫查法 detection method of bellows side scanning

在梁板侧面沿波纹管投影方向,采用声波、地质雷达等方法,详细扫查波纹管内注浆密实度及缺陷位置、范围的方法。分为声波剖面法、冲击回波法和地质雷达法。

2.1.20 检测批 inspection lot

检测项目相同、质量要求和生产工艺等基本相同，由一定数量构件等构成的检测对象。

2.1.21 测区 testing zone

按检测方法要求布置的，有一个或若干个测点的区域。

2.1.22 测点 testing point

在测区内，取得检测数据的检测点。

2.2 符号

d_m ——测区的平均碳化深度值。

$f_{cu,i}^c$ ——测区混凝土强度换算值；

$f_{cor,m}$ ——芯样试件混凝土强度平均值；

$f_{cu,m}$ ——同条件立方体试块混凝土强度平均值；

$f_{cu,m0}^c$ ——对应于钻芯部位或同条件试块回弹测区混凝土强度换算值的平均值；

$f_{cor,i}$ ——第 i 个混凝土样芯试件的抗压强度；

$f_{cu,i}$ ——第 i 个混凝土立方体试块的抗压强度；

$f_{cu,i0}^c$ ——修正前第 i 个测区的混凝土强度换算值；

$f_{cu,i1}^c$ ——修正后第 i 个测区的混凝土强度换算值；

$f_{cu,min}^c$ ——构件中测区混凝土强度换算值的最小值；

$f_{cu,e}$ ——构件混凝土强度推定值；

R_i ——测区第 i 个测点的回弹值；

R_m ——测区或试块的平均回弹值；

$R_{m\alpha}$ ——回弹仪非水平方向检测时，测区的平均回弹值；

$R_{\theta\alpha}$ ——回弹仪非水平方向检测时，回弹值的修正值；

R_m^t ——回弹仪在水平方向检测混凝土浇筑表面时，测区的平均回弹值；

R_m^b ——回弹仪在水平方向检测混凝土浇筑底面时，测区的平均回弹值；

D_1 ——测点第 1 次检测的钢筋保护层厚度检测值；

- D_2 ——测点第 2 次检测的钢筋保护层厚度检测值；
 D_0 ——测点探头垫块厚度；
 D_D ——测点钢筋保护层厚度修正值；
 D_{ni} ——测点钢筋保护层厚度平均检测值；
 $\bar{D}_n$ ——测量部位钢筋保护层厚度平均值；
 S_{i1} ——标准垫块放置前钢筋保护层检测值；
 S_{i2} ——标准垫块放置后钢筋保护层检测值；
 S_b ——标准垫块厚度值；
 S_i ——钻孔前验证测点位置钢筋保护层检测值；
 S_r ——钻孔后验证测点位置深度卡尺量测钢筋保护层值；
 K_i ——钢筋保护层厚度修正系数；
 ρ_i ——测点混凝土电阻率实测值 ($\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$)；
 $\bar{\rho}$ ——混凝土电阻率平均值 ($\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$)；
 $\rho_{\min}$ ——混凝土电阻率最小值 ($\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$)；
 C_{AgNO_3} ——硝酸银标准溶液的浓度；
 W_{cl}^{A} ——硬化混凝土中氯离子占水泥用量的百分比；
 W_{cl}^{B} ——硬化混凝土中氯离子占混凝土质量的百分比；
 D ——预应力管道注浆密实度；
 V ——弹性波传播速度，预应力孔道注浆锚固体体系的固结声波波速；

3 基本要求

3.1 检测工作程序与基本要求

3.1.1 混凝土桥梁结构无损检测的工作程序，宜按图 3.1.1 的框图进行。

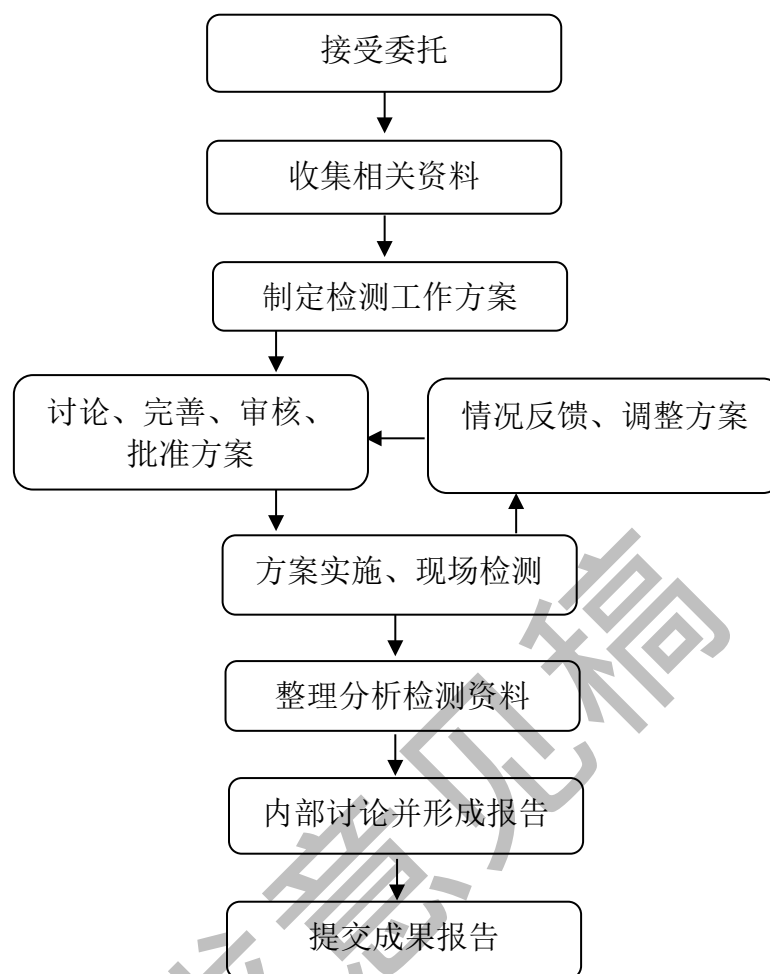


图 3.1.1 混凝土桥梁结构无损检测工作程序框图

3.1.2 混凝土桥梁结构现场和有关资料的调查，应包括下列工作内容：

- 1 收集与被检测混凝土桥梁结构有关的勘察设计、施工、监理和运营、养护、试验检测以及维修加固等方面的技术资料；
- 2 调查被检测混凝土桥梁结构现状缺陷、环境条件以及荷载变化情况；
- 3 向有关人员进行调查；
- 4 进一步明确检测目的和具体要求，并了解是否已进行过检测。

3.1.3 混凝土桥梁结构无损检测应有完备的检测方案，检测方案应经过审核批准。

3.1.4 混凝土桥梁结构无损检测方案宜包括下列主要内容：

- 1 项目概况，主要包括结构类型、设计、施工及监理单位，建造年代或检测时工程的进度情况、环境和荷载条件等；
- 2 检测目的或检测要求；

- 3 检测依据，包括检测所依据的标准及有关的技术资料；
- 4 检测范围、检测项目和选用的无损检测方法；
- 5 检测的方式、检验批的划分、抽样方法和检测数量；
- 6 检测人员和仪器设备情况；
- 7 检测工作进度计划；
- 8 所需要的配合工作；
- 9 检测中的安全措施；
- 10 检测中的环保措施。

3.1.5 检测所用仪器、设备的适用范围和检测精度应满足检测项目的要求。检测时应确保所使用的仪器设备在检定或校准周期内，并处于正常状态。

3.1.6 现场检测的测区和测点应有明晰标注和编号，必要时标注和编号宜保留一定时间。

3.1.7 现场检测获取的数据或信息应符合下列要求：

- 1 检测的原始记录，应记录在专用记录纸上，数据准确、字迹清晰、信息完整，不应追记、涂改，如有笔误，应进行杠改；
- 2 仪器自动记录的数据应妥善保存，必要时宜打印输出后经现场检测人员校对确认；
- 3 图像信息应标明获取信息的时间和位置；
- 4 原始记录必须由检测及记录人员签字。

3.1.8 混凝土桥梁结构现场检测工作结束后，应对由于检测造成的结构或构件的局部损伤进行及时修补。

3.1.9 混凝土桥梁结构无损检测数据计算分析和结果评价完成后，应及时出具相应的检测报告。

3.1.10 进行混凝土桥梁结构无损检测的检测单位和检测人员应满足如下要求：

- 1 承接混凝土桥梁结构无损检测工作的检测机构，应符合国家和行业规定的有关资质条件要求。
- 2 检测单位应有健全的质量管理体系和相应的技术能力。

3 现场检测工作应由至少 2 名检测人员承担,检测人员必须经过培训取得上岗资格,对特殊的检测项目,检测人员应有相应的检测资格证书。

3.2 检测项目和检测方法

3.2.1 混凝土桥梁结构无损检测可在下列项目中选取必要的项目进行检测:

- 1 混凝土强度检测;
- 2 钢筋保护层检测
- 3 钢筋锈蚀电位检测;
- 4 混凝土电阻率检测;
- 5 混凝土氯离子含量检测;
- 6 混凝土碳化状况检测;
- 7 混凝土外观质量及内部缺陷检测;
- 8 预应力管道注浆密实度检测;
- 9 其他特种参数的检测。

3.2.2 混凝土桥梁结构的无损检测,应根据检测项目、检测目的、结构技术状况和现场条件选择适宜的检测方法。

3.2.3 采用检测单位自行开发或引进的检测仪器及检测方法时,应符合下列规定:

- 1 该仪器或方法必须通过技术鉴定,并具有一定的工程检测实践经验;
- 2 该方法应已与成熟的方法进行比对试验;
- 3 检测单位应有相应的检测细则,并提供测试误差或测试结果的不确定度;
- 4 在检测方案中应予以说明,必要时提供检测细则。

3.3 检测方式和抽样方法

3.3.1 混凝土桥梁结构无损检测可采取全数检测或抽样检测两种检测方式,抽样检测时,宜随机抽取样本。当不具备随机抽样条件时,可按约定方法抽取样本。

3.3.2 混凝土桥梁结构无损检测的抽样方案,可根据检测项目的特点按下列原则选择:

- 1 外观缺陷或表面损伤的检测,宜选用全数检测方式;

2 构件结构性能的检测，应选择同类构件中荷载效应相对较大和施工质量相对较差构件或受到灾害影响、环境侵蚀影响构件中有代表性的构件；

3 按检测批检测的项目，应进行随机抽样，且最小样本容量宜符合相关标准的规定。

3.3.3 当为下列情况时，检测对象可以是单个构件或部分构件，但检测结论不得扩大到未检测的构件或范围。

- 1 指定的检测对象或范围；
- 2 因环境侵蚀或火灾、爆炸、高温以及人为因素等造成部分构件损伤时。

3.4 检测范围

3.4.1 不同结构类型混凝土桥梁上部结构宜进行无损检测的项目见表 3.4.1。

表 3.4.1 不同结构类型混凝土桥梁上部结构无损检测项目

序号	结构类型	部件		检测项目							
		主要部件	次要部件	外观质量及内部缺陷	混凝土强度	钢筋锈蚀电位	氯离子含量	混凝土电阻率	混凝土碳化	钢筋保护层厚度	预应力体系缺陷
1	梁式桥	上部承重构件（主梁、挂梁）	/	●	●	●	●	●	●	●	●
		/	上部一般构件（湿接缝、横隔板等）	●	●	●	●	●	●	●	△
		支座	/	●	△	△	△	△	△	△	△
2	板拱桥、肋拱桥、箱型拱桥、双曲拱桥	主拱圈、拱上结构、桥面板	/	●	●	●	●	●	●	●	●
3	刚架拱桥、桁架拱桥	刚架（桁架）拱片、横向连接系、桥面板	/	●	●	●	●	●	●	●	△
4	悬索桥	主缆、吊	/	●	△	△	△	△	△	△	●

		索									
		加劲梁、索塔、	/	●	●	●	●	●	●	●	●
		/	主鞍、索夹、锚杆	●	△	△	△	△	△	△	△
		支座	/	●	△	△	△	△	△	△	△
5	斜拉桥	斜拉索（包括锚具）	/	●	△	△	△	△	△	△	●
		主梁、索塔	/	●	●	●	●	●	●	●	●
		支座	/	●	△	△	△	△	△	△	△

注：●表示可选项目，△表示不选项目。

3.4.2 不同结构类型混凝土桥梁下部结构宜进行无损检测的项目见表 3.4.2。

表 3.4.2 不同结构类型桥梁下部结构无损检测项目

序号	结构类型	部件		检测项目							
		主要部件	次要部件	外观质量及内部缺陷	混凝土强度	钢筋锈蚀电位	氯离子含量	混凝土电阻率	混凝土碳化	钢筋保护层厚度	预应力体系缺陷
1	梁式桥	桥墩、桥台	/	●	●	●	●	●	●	●	△
		/	翼墙、耳墙	●	△	△	△	△	△	△	△
		/	锥坡、护坡；河床、调治构造物	●	△	△	△	△	△	△	△
2	板拱桥、肋拱桥、箱型拱桥、双曲拱桥	桥墩、桥台	/	●	●	●	●	●	●	●	△
		/	翼墙、耳墙；	●	△	△	△	△	△	△	△
		/	锥坡、护坡；河床、调治构造物	●	△	△	△	△	△	△	△
3	刚架拱桥、桁架拱桥	桥墩、桥台	/	●	△	△	△	△	△	△	△
		/	翼墙、耳墙；	●	△	△	△	△	△	△	△
		/	锥坡、	●	△	△	△	△	△	△	△

			护坡; 河床、 调治构 造物								
4	悬索桥	锚碇、桥 墩、桥台	/	●	△	△	△	△	△	△	△
		/	翼墙、 耳墙;	●	△	△	△	△	△	△	△
		/	锥坡、 护坡; 河床、 调治构 造物	●	△	△	△	△	△	△	△
5	斜拉桥	桥墩、桥 台	/	●	△	△	△	△	△	△	△
		/	翼墙、 耳墙;	●	△	△	△	△	△	△	△
		/	锥坡、 护坡; 河床、 调治构 造物	●	△	△	△	△	△	△	△

注：●表示可选项目，△表示不选项目。

3.4.3 不同结构类型混凝土桥梁桥面系宜进行无损检测的项目见表 3.4.3。

表 3.4.3 不同结构类型桥梁桥面系无损检测项目

序号	结构类型	部件		检测项目							
		主要部件	次要部件	外观质量及内部缺陷	混凝土强度	钢筋锈蚀电位	氯离子含量	混凝土电阻率	混凝土碳化	钢筋保护层厚度	预应力体系缺陷
1	梁式桥	/	桥面铺装、人行道	●	△	△	△	△	△	△	△
			伸缩缝装置	●	△	△	△	△	△	△	△
2	板拱桥、肋拱桥、箱型拱桥、双曲拱桥	/	桥面铺装、人行道	●	△	△	△	△	△	△	△
			伸缩缝装置	●	△	△	△	△	△	△	△
3	刚架拱桥、桁架拱桥	/	桥面铺装、人行道	●	△	△	△	△	△	△	△
			伸缩缝	●	△	△	△	△	△	△	△

			装置								
4	悬索桥	/	桥面铺装、人行道	●	△	△	△	△	△	△	△
			伸缩缝装置	●	△	△	△	△	△	△	△
5	斜拉桥	/	桥面铺装、人行道	●	△	△	△	△	△	△	△
			伸缩缝装置	●	△	△	△	△	△	△	△

注：●表示可选项目，△表示不选项目。

3.4.4 针对不同的无损检测项目，不同结构类型混凝土桥梁无损检测的范围及抽样宜按如下规定进行：

1 混凝土外观质量及内部缺陷应进行全数检测。

2 混凝土强度检测范围包括结构或构件的强度检测与承重构件主要受力部位的强度检测。结构或构件的强度检测宜按对整个（批）构件进行检测；承重构件主要受力部位的强度检测宜在主要受力部位布置测区，测区布置需满足本标准要求。

3 钢筋保护层厚度测定，应包括钢筋位置和混凝土保护层厚度测量，对缺失资料的桥梁还应包括钢筋直径估测。检测范围应为主要承重构件或承重构件的主要受力部位，或钢筋锈蚀电位测试结果表明钢筋可能锈蚀活化的部位，以及发生钢筋锈蚀胀裂的区域和布置混凝土碳化测区的部位。必要时，还应根据结构检算及其他检测需要确定的部位。

4 钢筋锈蚀电位检测范围，应为主要承重构件或承重构件的主要受力部位，或根据一般检查结果有迹象表明钢筋可能存在锈蚀的部位。

5 混凝土电阻率测定，应根据钢筋锈蚀电位测定结果确定，对钢筋锈蚀电位测定表明钢筋可能锈蚀的区域，应进行混凝土电阻率测定。

6 氯离子含量测定，应根据构件的工作环境条件及构件本身的质量状况确定测区；特别对钢筋锈蚀电位评定标度值为 3、4、5 的主要承重构件或承重构件的主要受力部位，以及对受氯离子侵蚀影响较大的主要结构部件，应进行混凝土氯离子含量的测定，测区应能代表不同工作条件及不同混凝土质量的部位。

7 混凝土碳化测定，应根据钢筋锈蚀电位测定结果确定，对钢筋锈蚀电位测定表明钢筋可能锈蚀的区域，应进行混凝土碳化深度测量。

8 预应力体系缺损应进行全数检测，检测范围为主要构件（梁）的预应力管道定位、压浆状况等的无损检测；以及缆索体系各主要部件的预应力缺损状态检测。

3.5 检测报告

3.5.1 经过无损检测的混凝土桥梁结构应撰写检测报告，报告应包括以下内容：

- 1 项目概括，包括工程名称、结构类型、建成时间、所处环境条件及现状等；
- 2 检测原因、检测目的及以往相关检测情况概述；
- 3 检测项目、检测方法及依据的标准；
- 4 检测方式、抽样方法、检测数量与检测位置；
- 5 检测项目的主要分类检测数据和汇总结果、检测结果、检测结论；
- 6 检测日期，报告完成日期；
- 7 检测、审核和批准人员的签名；
- 8 检测机构的有效印章。

3.5.2 检测报告应附有必要的原始资料、图表、照片。

4 混凝土强度检测

4.1 一般规定

4.1.1 本章适用于桥梁结构混凝土强度检测、推定和数据处理，混凝土强度的验收和评定应按照现行有关国家标准执行。

4.1.2 结构或构件混凝土强度检测前宜具有下列资料：

- 1 工程名称及设计、施工、监理（或监督）和建设单位名称；
- 2 结构或构件名称、外形尺寸、数量及混凝土强度等级；
- 3 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；
- 4 模板类型，混凝土浇筑和养护情况，以及成型日期；
- 5 必要的设计图纸和施工记录；
- 6 检测原因。

4.1.3 桥梁结构混凝土强度检测可采用下列两种方式：

- 1 构件检测：适用于单个结构或构件的检测；
- 2 部位检测：适用于对结构或构件关键控制部位的检测。

4.1.4 按构件检测方式检测时，每一结构或构件的测区布置应符合下列规定：

1 每一结构或构件测区数不应少于 10 个。当受检构件数量大于 30 个且不需提供单个构件推定强度或构件某一方向尺寸不大于 4.5m 且另一方向尺寸不大于 0.3m 时，其测区数量可适当减少，但不应少于 5 个。

2 对于混凝土生产工艺、强度等级相同，原材料、配合比、养护条件基本一致且龄期相近的一批同类构件的检测应采用批量检测。按批量进行检测时，应随机抽取构件，抽检数量不宜少于同构件总数的 30% 且不宜少于 10 件。当检验批构件数量大于 30 个时，抽样构件数量可适当调整，并不得少于国家现行有关标准规定的最少抽样数量。

3 相邻两测区的间距不应大于 2m。测区距构件端部或施工缝边缘的距离不宜小于 0.2m。

4 测区宜选在能使回弹仪处于水平方向的混凝土浇筑面。当不能满足这一要

求时，也可选在使回弹仪处于非水平方向的混凝土浇筑表面或底面。

5 测区宜布置在构件的两个对称的可测面上，当不能布置在对称的可测面上时，也可布置在同一可测面上，且应均匀分布。在构件的重要部位及薄弱部位应布置测区，并应避免预埋件。

6 测区面积不宜大于 0.04m^2 ，当超声测试采用平测时宜为 0.16m^2 。

7 对于泵送混凝土强度检测时，测区应选在混凝土浇筑侧面。

4.1.5 按部位检测方式检测时，每一部位的测区应符合下列规定：

- 1 每一部位的测区数不应少于 6 个；
- 2 相邻两测区的间距应控制在 0.4m 以内；
- 3 测区距构件端部或施工缝边缘的距离不宜小于 0.2m ；
- 4 测区面积不宜大于 0.04m^2 ，且应均匀分布，并应避免预埋件。

4.1.6 混凝土强度测区表面应为混凝土原浆面，并应清洁、平整，不应有疏松层、浮浆、油垢、涂层以及蜂窝、麻面。必要时，可用砂轮片清除疏松层和杂物，且不应有残留的粉末和碎屑。对于回弹仪弹击时产生颤动的薄壁、小型构件，应进行固定。

4.1.7 结构或构件的测区应标有清晰的编号，必要时应在记录纸上描述测区布置和外观质量情况。

4.2 方法选择

4.2.1 对于被测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；当只有一个可测面时，可采用回弹法检测其结构混凝土强度。

4.2.2 采用回弹法时，被检测混凝土的内外质量应无明显差异；采用超声回弹综合法时，被检测混凝土的内外质量应无明显差异，并宜具有超声对侧面。

4.2.3 下列情况下，不宜采用回弹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 其它表层与内部质量有明显差异或内部存在缺陷的混凝土结构或构件。

4.2.4 在下列情况下，不宜采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℃或高于 60℃。

4.2.5 混凝土强度换算值，一般可采用以下三类测强曲线计算：

1 统一测强曲线：由全国有代表性的材料、成型养护工艺配制的混凝土试件，通过试验所建立的曲线。

2 地区测强曲线：由本地区常用的材料、成型养护工艺配制的混凝土试件，通过试验所建立的曲线。

3 专用测强曲线：由于结构或构件混凝土相同的材料、成型养护工艺配制的混凝土试件，通过试验所建立的曲线。

4.2.6 检测时，应按专用测强曲线、地区测强曲线、统一测强曲线的次序，选用测强曲线。使用地区或专用测强曲线时，被检测的混凝土应与制定该类测强曲线混凝土的适应条件相同，不得超出该类测强曲线的适应范围，并应每半年抽取一定数量的同条件试件进行校核，当存在显著差异时，应查找原因，不得继续使用。

4.2.7 符合下列条件的非泵送混凝土，测区强度应按统一测强曲线进行换算：

- 1 混凝土采用的水泥、砂石、外加剂、掺合料、拌合用水符合国家现行有关标准；
- 2 采用普通成型工艺；
- 3 采用符合国家标准规定的模板；
- 4 蒸汽养护出池经自然养护 7d 以上，且混凝土表层为干燥状态；
- 5 回弹法适用于自然养护且龄期为 14~1000 天，超声回弹法适用于自然养护且龄期为 7~2000 天；
- 6 抗压强度为（10.0~60.0）MPa。

4.2.8 符合下列条件的泵送混凝土，测区强度应按统一测强曲线进行换算：

- 1 混凝土采用的水泥、砂石、外加剂、掺合料、拌合用水符合国家现行有关标准；

- 2 采用普通成型工艺；
- 3 采用符合国家标准规定的模板；
- 4 蒸汽养护出池经自然养护 7d 以上，且混凝土表层为干燥状态；
- 5 回弹法适用于自然养护且龄期为 14~1000 天，超声回弹法适用于自然养护且龄期为 7~2000 天；
- 6 抗压强度为（10.0~60.0）MPa；
- 7 按泵送混凝土配合比拌制的混凝土拌合物坍落度大于 100mm 的混凝土。

4.2.9 当有下列情况之一时，测区混凝土强度值不得使用统一测强曲线换算：

- 1 非泵送混凝土粗集料最大公称粒径大于 60mm，泵送混凝土粗骨料最大公称粒径大于 31.5mm；
- 2 特种成型工艺制作的混凝土；
- 3 检测部位曲率半径小于 250mm；
- 4 潮湿或浸水混凝土。

4.2.10 当构件混凝土设计强度等级大于 C60 时，可采用标准能量大于 2.207J 的混凝土回弹仪，并应根据行业标准 JGJ/T 294《高强混凝土强度检测技术规程》进行检测。

4.3 检测要求

4.3.1 桥梁结构混凝土强度检测测区布置应按如下规定进行：

- 1 按构件检测或部位检测推定混凝土强度时，应采用不同的测区布置方法。
- 2 当混凝土桥梁结构或构件有不同的可测面时，测区布设宜根据不同测试面分别布设测区，不同测试面测试数据不宜混用。
- 3 桥梁结构混凝土强度检测时，不同结构类型桥梁主要承重构件划分如表 4.3.1 所示。

表 4.3.1 混凝土桥梁主要承重构件划分表

结构类型		主要承重构件划分
梁式桥	装配式板梁	每一片空心板梁作为一个构件。
	装配式箱梁	每一片箱形梁作为一个构件。
	T 梁、I 字梁	每一片 T 形梁（I 字梁）作为一个构件。

	现浇板梁	整体浇筑每一跨作为一个构件，分块浇筑每一块作为一个构件。
	现浇箱梁	每一跨箱梁作为一个构件。
拱桥	刚架拱 桁架拱	a 钢筋混凝土刚架拱桥的刚架拱片按照每一拱片作为一个构件；两拱片间的多道横向联系（横系梁）作为一个构件；桥面板每跨作为一个构件； b 钢筋混凝土桁架拱桥的桁架拱片按照每一桁架作为一个构件；两拱片间的多道横向联系（横系梁）作为一个构件；桥面板每跨作为一个构件。
	板拱桥 肋拱桥 箱形拱 双曲拱	a 实腹式钢筋混凝土拱桥主拱圈的构件数量为一跨一个；拱上结构、拱上侧墙的构件数量为一跨左右两个； b 空腹式钢筋混凝土拱桥主拱圈的构件数量为一跨一个；拱上结构、腹拱的构件数量按照腹拱的个数进行统计； c 钢筋混凝土肋拱桥或双曲拱桥主拱圈的每一拱肋、拱波单独为一个构件；拱上结构（拱上立柱）的构件数量按立柱排数计算；两立柱间的桥面板做为一个构件； d 钢筋混凝土箱形拱桥主拱圈每一跨作为一个构件；拱上结构（拱上立柱）的构件数量按立柱排数计算；两立柱间的桥面板做为一个构件。
刚架桥	门式刚架桥 斜腿刚架桥 T 形刚构桥	门式刚架桥、斜腿刚架桥每孔上部结构算一个构件，每个斜腿算一个构件； T 形刚构桥每跨挂梁算一个构件，每个 T 构算一个构件。
组合体系桥	系杆拱	以孔为单位，每一个拱肋作为一个构件，每一个系梁作为一个构件，两系梁间桥面板作为一个构件。
	连续刚构桥	每一跨主梁作为一个构件。
	斜拉桥	斜拉桥的上部结构的每一斜拉索、斜拉索护套、主梁、锚具、减震装置、作为一个单独构件；每个索塔分为左右两个构件。
悬索桥		悬索桥的上部结构的每一加劲梁、支座、主鞍、主缆、索夹、吊索及钢护筒、锚杆作为一个单独构件；悬索桥的索塔通常有两个，每个索塔、索鞍分为左右两个构件；一根主缆对应的一群锚杆作为一个构件。
下部结构		a 桥墩中的每一墩柱（墩身）、盖梁（墩帽）和横系梁作为一个单独构件； b 桥台的台帽、台身（包括前墙和侧墙）合在一起作为一个构件； c 每一翼墙、耳墙、基础、锥坡、护坡、河床及调治构造物作为一个构件。

4 混凝土强度采用构件检测方式时，测区布置见表 4.3.2 所示。

表 4.3.2 不同结构类型桥梁主要承重构件测区布设

结构类型		测区布置
梁式桥	装配式板梁	a 测区宜布设于板梁侧面，当侧面布设困难时也可布设于板梁底面； b 跨径小于 20m，测区宜满布板梁侧面或底面并均匀布设，测区数不应少于 10 个；

		c 跨径大于 20m, 可增加测区数量或者分部位布设测区, 分部位布设总测区数不应少于 10 个, 并应涵盖构件的跨中、支点及薄弱部位。
	装配式箱梁	a 测区宜布设于箱梁腹板, 当腹板布设困难时也可布设于底板表面; b 跨径小于 20m, 测区宜满布箱梁腹板或底板并均匀布设, 测区数不应少于 10 个; c 跨径大于 20m, 可增加测区数量或者分部位布设测区, 分部位布设总测区数不应少于 10 个, 并应涵盖构件的跨中、支点及薄弱部位。
	T 梁 I 字梁	a 测区宜布设于构件腹板表面; b 跨径小于 20m, 测区宜满布 T 梁腹板并均匀布设, 测区数不应少于 10 个; c 跨径大于 20m, 可增加测区数量或者分部位布设测区, 分部位布设总测区数不应少于 10 个, 并应涵盖构件的跨中、支点及薄弱部位。
	现浇板梁、现浇箱梁	a 测区优先布设于梁体侧面, 当侧面布设困难时也可布设于底面; b 每一跨现浇梁体可按照左翼板、左腹板、底板、顶板、右翼板和右腹板各作为一个单元分别布设测区; c 现浇构件布设测区应包括构件的跨中、支点及薄弱部位; d 分段 (分层) 浇筑箱梁, 按不同节段对构件布设测区, 选择节段应涵盖跨中、支点及薄弱部位。 d 箱梁 (板梁) 翼板、左腹板、底板、顶板、右翼板和右腹板各单元单独测试推定混凝土强度, 若各单元实测强度标准差满足 4.4.5、4.4.6 节条件时不适用构件检测方式予以整体评定, 可采用部位检测评定方式予以单独评定。
拱桥	刚架拱 桁架拱	a 测区宜布设于拱肋侧面; b 测区宜涵盖实腹段、主拱腿、上弦杆、斜撑等单元, 各单元测区应满布且均匀布设; c 实腹段、主拱腿、上弦杆、斜撑各单元单独测试推定混凝土强度, 若各单元实测强度标准差满足 4.4.5、4.4.6 节条件时不适用构件检测方式予以整体评定, 可采用部位检测评定方式予以单独评定。
	板拱桥 肋拱桥 箱形拱 双曲拱	a 测区宜布设于拱肋侧面, 当侧面布设困难时也可布设于底面; b 拱肋测区宜涵盖拱肋拱顶截面、L/4 截面、拱脚截面等部位, 各部位测区应均匀布设; c 各部位单独测试推定混凝土强度, 若各部位实测强度标准差满足 4.4.5、4.4.6 节条件时不适用构件检测方式予以整体评定, 可采用部位检测评定方式予以单独评定。
刚架桥	门式刚架桥 斜腿刚架桥 T 形刚构桥	a 测区优先布设于梁体、斜腿侧面, 当侧面布设困难时也可布设于底面; b 测区宜涵盖构件关键部位, 测区应满布且均匀布设。

组合体系桥	系杆拱	a 测区可布设于拱肋侧面、系梁侧面、桥面板底面； b 测区宜涵盖跨中截面、L/4 截面、支点截面等部位，各部位测区应均匀布设； c 各部位单独测试推定混凝土强度，若各部位实测强度标准差满足 4.4.5、4.4.6 节条件时不适用构件检测方式予以整体评定，可采用部位检测评定方式予以单独评定。
	连续刚构桥	a 测区优先布设于梁体侧面，当侧面布设困难时也可布设于底面； b 每一跨现浇梁体可按照左翼板、左腹板、底板、顶板、右翼板和右腹板各作为一个单元分别布设测区； c 现浇构件布设测区应包括构件的跨中、支点及薄弱部位； d 分段（分层）浇筑箱梁，按不同节段对构件布设测区，选择节段应涵盖跨中、支点及薄弱部位。 d 箱梁（板梁）翼板、左腹板、底板、顶板、右翼板和右腹板各单元单独测试推定混凝土强度，若各单元实测强度标准差满足 4.4.5、4.4.6 节条件时不适用构件检测方式予以整体评定，可采用部位检测评定方式予以单独评定。
	斜拉桥 悬索桥	a 测区宜布设于主梁、主塔侧面，当侧面布设困难时也可布设于底面； b 测区宜涵盖主梁跨中截面、L/4 截面、支点截面，主塔根部截面并分别予以评定，各部位测区应均匀布设。
下部结构		a 测区可布设于墩台盖梁、立柱侧面； b 采用构件检测方式时，测区宜满布盖梁、立柱并均匀布设 c 对于悬索桥锚锭、承台等大体积混凝土构件可按照混凝土侧面或顶面等浇筑部位分别划分测区进行评定。

5 混凝土强度采用部位检测方式时，测区应涵盖桥梁主要承重构件的关键控制断面，测区宜均匀布置，可沿控制断面两侧锯齿形或对称布设，并应满足 4.1.5 规定要求。不同结构类型桥梁关键控制断面如表 4.3.3 所示。

表 4.3.3 不同结构类型桥梁关键控制断面及测区布设

结构类型	桥型	关键控制断面	测区布置
梁式桥	简支梁桥	a 跨中截面； b 距支点 $h/2$ 部位自梁底斜内侧向上 45° 截面。	a 装配式板桥，当侧面无可测面时，测区可布设于底面； b 箱梁、现浇板梁测区宜选在能使回弹仪处于水平方向的混凝土浇筑面。当不能满足这一要求时，也可选在使回弹仪处于非水平方向的混凝土浇筑表面或底面； c T 梁测区应布设于腹板左右侧面。
	连续梁桥	a 主跨最大正弯矩截面； b 边跨最大正弯矩截面；	a 箱形截面测区宜选在能使回弹仪处于水平方向的混凝土浇筑面。

		c 主跨中支点截面。	土浇筑面。当不能满足这一要求时, 也可选在使回弹仪处于非水平方向的混凝土浇筑表面或底面; c T 形截面测区应布设于腹板左右侧面。
	悬臂梁桥	墩顶支点截面。	箱形截面测区宜选在能使回弹仪处于水平方向的混凝土浇筑面。当不能满足这一要求时, 也可选在使回弹仪处于非水平方向的混凝土浇筑表面或底面。
拱桥	刚架拱桥 桁架拱桥	a 实腹段跨中截面; b 主拱腿拱脚截面; c 刚架拱桥节点部位; d 弦杆跨中截面。	测区宜布设于拱肋实腹段、主拱腿、上弦杆、大小节点等单元侧面;
	板拱桥 肋拱桥 箱形拱桥 双曲拱桥	a 拱顶截面; b 拱脚截面; c L/4 截面。	a 板拱、箱形拱桥当无可测侧面时, 测区可布设于底面; b 肋拱桥、双曲拱桥测区宜布设于拱肋侧面。
刚架桥	门式刚架桥 斜腿刚架桥 T 形刚构桥	a 主梁跨中截面; b 主梁与斜腿交界处主梁截面; c 斜腿顶截面、斜腿脚截面; d T 构墩顶截面。	a 板梁截面, 当侧面无可测面时, 测区可布设于底面; b 箱形截面测区宜选在能使回弹仪处于水平方向的混凝土浇筑面。当不能满足这一要求时, 也可选在使回弹仪处于非水平方向的混凝土浇筑表面或底面; c 下部测区宜布设于侧面。
组合体系桥	系杆拱桥	a 拱顶截面; b 拱脚截面; c 系梁跨中、L/4 截面。	测区宜布设于拱肋、系梁侧面。
	连续刚构桥	a 主梁最大弯矩截面; b 主梁墩顶处截面。	箱形截面测区宜选在能使回弹仪处于水平方向的混凝土浇筑面。当不能满足这一要求时, 也可选在使回弹仪处于非水平方向的混凝土浇筑表面或底面。
	斜拉桥	a 跨中截面; b 墩顶截面; c 主塔塔脚截面。	测区宜布设于主梁、主塔侧面。
悬索桥	悬索桥	a 中跨跨中截面; b 中跨 3L/8 截面; c 主塔塔脚截面。	测区宜布设于主梁、主塔侧面。

下部结构	a 盖梁柱间跨中截面； b 盖梁柱顶截面； c 立柱柱顶、柱脚截面。	测区可布设于墩台盖梁、立柱侧面。
------	--	------------------

6 对于因受不利因素影响的结构混凝土构件，应根据构件的环境差异及外观的检查结果来确定，测区应能代表不同环境条件和不同的受损结构外观表征。

7 分段（层）浇筑混凝土结构（如箱梁等）采用构件检测方式测试混凝土强度时，当各测区实测混凝土强度标准差满足 4.4.5、4.4.6 节条件时，应采用部位检测方式重新予以评定。

8 对于大体积混凝土（如锚锭、基础等）结构宜按浇筑部位对混凝土侧面或顶面采用部位检测方式进行评定，大体积混凝土宜采用标准能量大于 2.207J 的混凝土回弹仪进行回弹测试。

9 回弹法对箱梁构件箱内测区与箱外测区分别进行回弹测试时，若回弹测试结果差异较大，可使用超声回弹综合法进行复测，必要时结合取芯对测试数据进行修正。

4.3.2 桥梁结构混凝土强度检测现场操作应按如下规定进行：

1 用回弹法测试时，除要符合 4.1 条内容外，尚应符合下述规定：

（1）检测时，回弹仪的轴线应始终垂直于混凝土检测面，缓慢施压，准确读数，快速复位。

（2）宜使仪器处于水平状态，测试混凝土浇筑方向的侧面。如不能满足这一要求，也可非水平状态测试，或测试混凝土浇筑方向的顶面或底面。

（3）测点在测区范围内宜均匀分布，但不得布置在气孔或外露石子上。相邻两测点的净距离不宜小于 20mm；测点距构件边缘或外露钢筋、预埋件的距离不宜小于 30mm，且同一测点只允许弹击一次。

（4）回弹法测试每一测区应记取 16 个回弹值，每一测点的回弹值读数应精确至 1。

2 超声-回弹综合法测量时，除要符合 4.1 条内容外，尚应符合下述规定：

（1）同一个构件上的超声测距宜基本一致，测区尺寸宜为 200mm×200mm，采用平测时宜为 400mm×400mm。

（2）超声测点应布置在回弹测试的同一测区内，每一测区布置 3 个超声测点，

超声测试宜优先采用对测或角测，当被测构件不具备对测或角测条件时，可采用单面平测。

(3) 测量回弹值应在构件测区内超声法的发射和接收面各弹击 8 点；超声波单面平测时，可在超声波的发射和接收测点之间弹击 16 点。每一测点的回弹值读数精确至 1。

(4) 超声测试时，换能器辐射面应通过耦合剂与混凝土测试面良好耦合。

(5) 声时测量应精确至 $0.1\mu\text{S}$ ，超声测距测量应精确至 1.0mm ，且测量误差不应超过 $\pm 1\%$ 。声速计算应精确至 0.01km/s 。

(6) 超声测线距与其平行的钢筋距离不宜小于 30mm 。

(7) 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。

(8) 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。

3 在回弹法检测混凝土强度时，回弹值测量完毕后，应在有代表性的测区上测量碳化深度值，测点数不应少于构件测区数的 30%，碳化深度值的测量应符合本标准第 9 章相关规定。

4.4 检测数据处理

4.4.1 回弹法检测混凝土强度宜按如下规定进行：

1 计算测区平均回弹值，应从该测区的 16 个回弹值中，分别剔除 3 个最大值和最小值，将余下的 10 个回弹值按下列公式计算：

$$R_m = \sum_{i=1}^{10} R_i / 10 \quad (4.4.1-1)$$

式中 R_m — 测区平均回弹值，精确至 0.1；

R_i — 第 i 个测点的回弹值。

2 非水平状态检测混凝土浇筑侧面时，测区的平均回弹值应按式(4.4.1-2)进行修正：

$$R_m = R_{m\alpha} + R_{\partial\alpha} \quad (4.4.1-2)$$

式中 $R_{m\alpha}$ — 非水平状态检测时测区的平均回弹值，精确至 0.1；

$R_{\partial\alpha}$ — 非水平状态检测时回弹值修正值，可按表 4.4.1-1 采用；

表 4.4.1-1 非水平状态检测时回弹值修正值

α $R_{m\alpha}$ / $R_{\partial\alpha}$	测试角度 α							
	+90°	+60°	+45°	+30°	-30°	-45°	-60°	-90°
20	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	+2.5	+3.0	+3.5	+4.0
30	-5.0	-4.0	-3.5	-2.5	+2.0	+2.5	+3.0	+3.5
40	-4.0	-3.5	-3.0	-2.0	+1.5	+2.0	+2.5	+3.0
50	-3.5	-3.0	-2.5	-1.5	+1.0	+1.5	+2.0	+2.5
备注	1、表中修正值可用内插法求得，精确至 0.1； 2、 $R_{m\alpha}$ 小于 20 或大于 50 时，均分别按 20 或 50 查表。							

3 水平方向检测混凝土浇筑顶面或底面时，应按下列公式修正：

$$R_m = R_m^t + R_a^t \quad (4.4.1-3-1)$$

$$R_m = R_m^b + R_a^b \quad (4.4.1-3-2)$$

式中 R_m^t 、 R_m^b —水平方向检测混凝土浇筑表面、底面时，测区的平均回弹值，精确至 0.1；

R_a^t 、 R_a^b —混凝土浇筑表面、底面回弹值的修正值，应按表 4.4.1-2 采用。

表 4.4.1-2 混凝土浇筑表面、底面回弹值的修正

R_m	ΔR_s	
	混凝土浇筑表面	混凝土浇筑底面
20	+2.5	-3.0
25	+2.0	-2.5
30	+1.5	-2.0
35	+1.0	-1.5
40	+0.5	-1.0
45	0	-0.5
50	0	0
备注	1、表中修正值可用内插法求得，精确至 0.1； 2、 R_m^t 、 R_m^b 小于 20 或大于 50 时，均分别按 20 或 50 查表； 3、混凝土浇筑表面为一般原浆抹面； 4、表列修正值为底面和侧面采用同一类模板在正常浇筑情况下的修正值。	

4 当回弹仪处于非水平方向且测试面为混凝土的非浇筑侧面时，应先对回弹值进行角度修正，并应对修正后的回弹值进行浇筑面修正。

5 对于非泵送混凝土，测区混凝土强度换算值可参考以下测强曲线计算得出：

结构或构件第 i 个测区混凝土强度换算值，可按所求得平均回弹值 (R_m) 及平均碳化深度值 (d_m) 由测强曲线计算得出。应按专用测强曲线、地区测强曲线、统一测强曲线的次序，选用测强曲线。

统一测强曲线的表达式为:

$$f_{cu,i}^c = 0.250 \cdot R_{mi}^{2.0108} \cdot 10^{-0.0358d_{mi}} \quad (4.4.1-4)$$

式中 $f_{cu,i}^c$ — 测区混凝土换算强度值, 精确至 0.1MPa;

R_{mi} — 测区经修正后的平均回弹值, 精确至 0.1;

d_{mi} — 测区平均碳化深度, 精确至 0.5mm。 $d_{mi} < 0.5\text{mm}$ 时, 按无碳化处理; $d_{mi} \geq 6\text{mm}$ 时, 按 $d_{mi} = 6\text{mm}$ 计算。

统一测强曲线的平均相对误差(δ)不应大于 $\pm 15.0\%$, 相对标准差(e_r)不应大于 18.0%。

地区测强曲线的平均相对误差(δ)不应大于 $\pm 14.0\%$, 相对标准差(e_r)不应大于 17.0%

专用测强曲线的平均相对误差(δ)不应大于 $\pm 12.0\%$, 相对标准差(e_r)不应大于 14.0%

6 对于泵送混凝土, 测区混凝土强度换算值可参考以下测强曲线计算得出:

$$f = 0.034488R^{1.9400} 10^{(-0.0173d)} \quad (4.4.1-5)$$

式中 f — 测区混凝土换算强度值, 精确至 0.1MPa;

R — 测区经修正后的平均回弹值, 精确至 0.1;

d — 测区平均碳化深度, 精确至 0.5mm。 $d < 0.5\text{mm}$ 时, 按无碳化处理; $d \geq 6\text{mm}$ 时, 按 $d = 6\text{mm}$ 计算。

4.4.2 超声回弹综合法检测桥梁结构混凝土强度

1 回弹值的计算按 4.4.1 要求进行。

2 超声声速值的计算:

(1) 当在混凝土浇筑方向的侧面对测时, 测区混凝土中声速代表值应根据该测区中 3 个测点的混凝土声速值, 按下式计算:

$$v = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0} \quad (4.4.2-1)$$

式中 v — 测区混凝土中声速代表值 (km/s);

l_i — 第 i 个测点的超声测距 (mm);

t_i — 第 i 个测点的声时读数 (μs);

t_0 — 声时初读数 (μs)

(2) 当在混凝土的浇筑的顶面或底面测试时, 测区声速代表值应按下列公式修正:

$$v_a = \beta \cdot v \quad (4.4.2-2)$$

式中 v_a —修正后的测区混凝土中声速代表值 (km/s);

β —超声测试面的声速修正系数。在混凝土浇筑的顶面和底面间对测或斜测时, $\beta=1.034$; 在混凝土浇灌的顶面或底面平测时, 应按本章超声波平测方法及数据处理中的规定进行修正。

3 超声波平测方法及数据处理:

(1) 当结构或构件被测部位只有一个表面可供检测时, 可采用平测方法测量混凝土中声速, 每个测区布置 3 个测点。

(2) 布置超声平测点时, 宜使发射和接受换能器的连接与附近钢筋轴线成 $40^\circ \sim 50^\circ$, 超声测距 l 宜采用 350~450mm。

(3) 宜采用同一构件的对测声速 v_d 与平测声速 v_p 之比求得修正系数 λ ($\lambda = v_d/v_p$), 对平测声速进行修正。

(4) 当被测结构或构件不具备对测与平测的对比条件时, 宜选取有代表性的部位, 以测距 $l = 200\text{mm}$ 、 250mm 、 300mm 、 350mm 、 400mm 、 450mm 、 500mm , 逐点测读相应声时值 t , 用回归分析方法求出直线方程 $l = a + bt$ 。以回归系数 b 代替对测声速 v_d , 再按上条规定对各平测声速进行修正。

(5) 平测时, 修正后的混凝土中声速代表值应按下列公式计算:

$$v_a = \frac{\lambda}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0} \quad (4.4.2-3)$$

式中 v_a —修正后的平测时混凝土中声速代表值 (km/s);

l_i — 平测第 i 个测点的超声测距 (mm);

t_i — 平测第 i 个测点的声时读数 (μs);

λ — 平测声时修正系数。

(6) 平测声速可采用直线方程 $l = a + bt$, 根据混凝土浇筑的顶面或底面平测数据求得, 修正后的混凝土中声速代表值应按下列公式计算。

$$v_a = \frac{\lambda \beta}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0} \quad (4.4.2-4)$$

式中 β —超声测试面的声速修正系数, 顶面平测 $\beta = 1.05$, 底面平测

$\beta = 0.95$ 。

4 结构混凝土强度的推定

第 i 个测区的混凝土换算强度值 $f_{cu,i}^c$ ，应根据修正后的测区回弹值 R_{ai} 和修正后的测区声速值 v_{ai} ，优先采用专用或地区测强曲线推定。

当无专用或地区测强曲线时，经验证后可按下列公式表示的统一测强曲线进行计算：

(1) 粗骨料为卵石时：

$$f_{cu,i}^c = 0.0056v_{ai}^{1.439}R_{ai}^{1.769} \quad (4.4.2-5)$$

(2) 粗骨料为碎石时：

$$f_{cu,i}^c = 0.00162v_{ai}^{1.656}R_{ai}^{1.410} \quad (4.4.2-6)$$

式中： $f_{cu,i}^c$ — 第 i 个测区换算强度值，精确至 0.1 MPa；

v_{ai} — 第 i 个测区修正后的声速值，精确至 0.01 km/s；

R_{ai} — 第 i 个测区修正后的回弹值，精确至 0.10。

粗骨料为卵石时，其统一测强曲线（式 4.4.2-5）的相对标准差为±15.6%，平均相对误差为±13.2%。

粗骨料为碎石时，其统一测强曲线（式 4.4.2-6）的相对标准差为±15.6%，平均相对误差为±13.1%。

4.4.3 结构或构件或关键控制部位的测区混凝土换算强度平均值，可根据各测区的混凝土强度换算值计算。当测区数为 10 个及以上时，应计算强度标准差。平均值及标准差应按下列公式计算：

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m f_{cu,i}^c \quad (4.4.3-1)$$

$$S_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{f_{cu}^c})^2}{n-1}} \quad (4.4.3-2)$$

式中 $m_{f_{cu}^c}$ — 结构或构件测区混凝土强度换算值的平均值，精确至 0.1MPa；

$f_{cu,i}^c$ — 第 i 个测区混凝土换算强度值，精确至 0.1 MPa；

n — 结构或构件或关键控制部位的测区数；

$S_{f_{cu}^c}$ —测区混凝土换算强度值的标准差，精确至 0.01MPa；

4.4.4 混凝土强度推定值 $f_{cu,e}$ 应按下列公式确定：

1 当测区数少于 10 个时：

$$f_{cu,e} = f_{cu,min}^c \quad (4.4.4-1)$$

式中 $f_{cu,min}^c$ — 结构或构件中或关键控制部位最小的测区混凝土换算强度值 (MPa)，精确至 0.1 MPa。

2 当测区强度值中出现小于 10.0MPa 时：

$$f_{cu,e} < 10.0MPa \quad (4.4.4-2)$$

3 当测区数不少于 10 个时，应按下列公式计算：

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - 1.645S_{f_{cu}^c} \quad (4.4.4-3)$$

4.4.5 对于回弹法检测混凝土强度，对按照批量检测的构件，当该批构件混凝土强度标准差出现下列情况之一时，该批构件应全部按单个构件检测：

1 当该批构件混凝土强度平均值 $m_{f_{cu}^c} < 25.0$ MPa，标准差 $S_{f_{cu}^c} > 4.50$ MPa 时；

2 当该批构件混凝土强度平均值 $25.0MPa \leq m_{f_{cu}^c} \leq 60.0MPa$ ，标准差 $S_{f_{cu}^c} > 5.50$ Mpa

时。

4.4.6 对于超声回弹综合法检测混凝土强度，对按照批量检测的构件，当一批构件的测区混凝土抗压强度标准差出现下列情况之一时，该批构件应全部重新按单个构件进行检测：

1 一批构件的混凝土抗压强度平均值 $m_{f_{cu}^c} < 25.0$ MPa，标准差 $S_{f_{cu}^c} > 4.50$ MPa；

2 一批构件的混凝土抗压强度平均值 $m_{f_{cu}^c} = 25.0 \sim 50.0$ MPa，标准差 $S_{f_{cu}^c} > 5.50$ MPa；

3 一批构件的混凝土抗压强度平均值 $m_{f_{cu}^c} > 50.0$ MPa，标准差， $S_{f_{cu}^c} > 6.50$ MPa。

4.4.7 混凝土强度对比法修正

1 当采用回弹法检测桥梁结构或构件混凝土强度时，若检测条件与测强曲线的运用条件有较大差异时，可按下列要求进行：

(1) 采用回弹—取芯综合法检测其混凝土强度。

(2) 当结构或构件因构造等原因无法采用回弹—取芯综合法检测其混凝土强

度，宜按下列的龄期修正系数对回弹法得到的测区混凝土强度换算值进行修正，龄期修正系数应符合下列条件：

- 1) 龄期已超过 1000d，但处于干燥状态的普通混凝土；
- 2) 混凝土外观质量正常，未收环境介质作用的侵蚀；
- 3) 经超声波或其他探测法检测结果表明，混凝土内部无明显的不密实区和蜂窝状局部缺陷；
- 4) 混凝土抗压强度等级在 C20 级～C50 级之间，且实测的碳化深度已大于 6mm。

(3) 测区混凝土抗压强度换算值可乘以表 4.4.7 的修正系数 α_n 予以修正。

表 4.4.7 测区混凝土抗压强度换算值龄期修正系数

龄期 d	1000	2000	4000	6000	8000	10000	15000	20000	30000
修正 系数 α_n	1.00	0.98	0.96	0.94	0.93	0.92	0.89	0.86	0.82

2 当采用超声回弹综合法检测桥梁结构或构件混凝土强度时，若检测条件与测强曲线的运用条件有较大差异时，可采用超声回弹综合法结合取芯检测桥梁结构混凝土强度。

3 回弹—取芯综合法检测混凝土强度、超声回弹综合法结合取芯检测桥梁结构混凝土强度的方法详见附录 C、附录 D。

5 钢筋保护层检测

5.1 一般规定

5.1.1 本章适用于混凝土桥梁钢筋保护层厚度检测，其检测结果作为混凝土结构钢筋保护层厚度评定和验收的依据。

5.1.2 混凝土桥梁除钢筋保护层厚度检测外，还应包括钢筋位置、及对缺失资料的桥梁钢筋直径估测。

5.1.3 检测前应收集桥梁检测部位结构设计图纸、设计变更图纸等，确定检测区域内钢筋可能分布的状况，选择适当的检测面。检测面应清洁平整，并应避开金属预埋件。

5.1.4 对于具有装饰面层的桥梁结构，应清除装饰面层后在混凝土面上进行检测。

5.2 方法选择

5.2.1 混凝土桥梁钢筋保护层厚度检测优先采用电磁感应法进行无损检测。对于缺失资料的混凝土桥梁，可在结构非主要受力部位采用剔凿原位检测法进行验证。

5.2.2 钢筋净间距与保护层厚度比小于 2:1 时、或钢筋净间距小于 4cm 时，不宜采用电磁感应法进行检测。

5.2.3 当经验证混凝土桥梁钢筋锈蚀严重时，不宜采用电磁感应法进行检测。

5.2.4 当混凝土桥梁中含有铁磁性物质（如钢纤维）时，不宜采用电磁感应法进行检测。

5.2.5 当实际混凝土桥梁钢筋保护层厚度超出钢筋探测仪有效量程范围时，不宜采用电磁感应法进行检测。

5.2.6 保护层厚度大于 60mm 时，钢筋直径不宜采用电磁感应法进行检测。

5.3 检测要求

5.3.1 钢筋探测仪性能应满足如下要求：

- 1 钢筋探测仪能在-10℃~40℃环境条件下正常使用。

2 当采用保护层厚度为 10~50mm 的校准试件进行校准时, 钢筋探测仪的保护层厚度检测允许误差为 $\pm 1\text{mm}$, 钢筋位置的允许误差为 $\pm 3\text{mm}$, 钢筋直径的允许误差为 $\pm 1\text{mm}$ 。

5.3.2 检测前钢筋探测仪应进行如下准备工作:

1 检测前, 应在校准试件上对钢筋探测仪进行状态确认, 确认仪器性能是否正常。确认方法见附录 E。

2 检测前, 应对钢筋探测仪进行预热和调零, 调零时传感器应远离金属物体; 检测过程中, 应检查钢筋探测仪的零点状态。

3 钢筋探测仪一般适用探测混凝土构件第一层钢筋, 探测时应检测出钢筋的位置及走向。如第一层垂直钢筋间距较大, 可直接应用钢筋探测仪探测第二层钢筋, 应将测试测区的第一层及第二层钢筋的网格画出。第二层钢筋保护层厚度也可通过第一层钢筋实测保护层厚度推算。

5.3.3 钢筋保护层厚度测区布置原则:

1 根据混凝土结构钢筋分布状况调查的范围, 测区布置应在主要承重构件或承重构件的主要受力部位, 或钢筋锈蚀电位测试结果表明钢筋可能锈蚀活化的部位, 以及根据结构检算及其它检测需要确定的部位。

2 按单个构件检测时, 应根据尺寸大小, 在构件上均匀布置测区, 每个构件上的测区数不应少于 3 个; 对于最大尺寸大于 5m 的构件, 应适当增加测区数量; 测区应均匀分布, 相邻两测区的间距不宜小于 1m; 测区表面应清洁、平整、避开接缝、蜂窝、麻面、预埋件等部位。测区应注明编号, 并记录测区位置和外观情况。每一测区应检测不少于 10 个测点。

3 对某一类构件的检测, 可采取抽样的方法, 抽样数不少于同类构件数的 30%, 且不少于 3 件, 每个构件测区布置按单个构件要求进行。

4 对结构整体的检测, 可先按构件类型分类, 再按类型进行检测。

5.3.4 钢筋保护层现场检测应按如下规定进行:

1 检测前应了解设计资料, 以确定钢筋的种类和直径。

2 钢筋探测仪扫描的起始点和结束点(例如从坐标网格边缘开始)与最近钢筋间距必须保持至少 40mm;

3 将钢筋探测仪传感器在构件表面平行移动, 当仪器显示值最小时, 传感器

正下方即是所测钢筋的位置；

4 找到钢筋位置后，将传感器在原处左右转动一定角度，仪器显示最小值时传感器长轴线的方向即为钢筋的走向；

5 在构件测区表面画出钢筋网格。

5.3.5 钢筋位置确定后，应按下列方法进行混凝土保护层厚度检测值的测读：

1 将钢筋探测仪传感器置于钢筋所在位置正上方，传感器应避开钢筋接头和绑丝，并左右稍稍移动，读取仪器显示最小值即为该处保护层厚度；

2 读取第 1 次检测的混凝土保护层厚度检测值，在同一位置重复检测 1 次，读取第 2 次检测的混凝土保护层厚度检测值。如保护层厚度不大于 50mm，两次读取的混凝土保护层厚度检测值相差不应大于 1mm。如保护层厚度大于 50mm 时，两次读取的混凝土保护层厚度检测值相差不应大于 2mm。否则该组数据无效，并查明原因，在该处重新检测。仍不满足要求，应更换钢筋探测仪或采用钻孔的方法验证。

3 取两次平均值，准确至 1mm，作为该测点的保护层厚度检测值。

5.3.6 钢筋直径现场检测应按如下规定进行：

1 钢筋的公称直径检测应采用钢筋探测仪检测并结合钻孔、剔凿的方法进行，钢筋钻孔、剔凿的数量不应少于该规格已测钢筋的 20%且不应少于 2 处。钻孔、剔凿时，不得损坏钢筋，实测采用游标卡尺，量测精度为 0.1mm。

2 实测时，根据游标卡尺的测量结果，可通过相关的钢筋产品标准查出对应的钢筋公称直径。

3 当钢筋探测仪测得的钢筋公称直径与钢筋实测公称直径之差大于 1mm 时，应以实测结果为准。

4 被测钢筋与相邻钢筋的净间距应大于 100mm，且其周边的其它钢筋不应影响检测结果，并应避开钢筋接头及绑丝。记录钢筋探测仪的位置，及对应钢筋探测仪显示的公称直径。每根钢筋重复检测 2 次，第 2 次检测时探头应旋转 180°，每次读数必须一致，精确至 1mm。

5.4 检测数据处理

5.4.1 钢筋保护层厚度数据处理宜按如下规定进行：

1 测点钢筋保护层厚度平均检测值应按式(5.4.1-1)计算:

$$D_{ni} = (D_1 + D_2 + 2D_D - 2D_0) \quad (5.4.1-1)$$

式中 D_{ni} —第 i 测点混凝土保护层厚度平均检测值, 精确至 1mm;

D_1 、 D_2 —第 1、2 次检测的混凝土保护层厚度检测值, 精确至 1mm;

D_D —混凝土保护层厚度修正值, 为同一规格钢筋的混凝土保护层厚度实测验证值减去检测值, 精确至 0.1mm;

D_0 —探头垫块厚度, 精确至 0.1mm; 不加垫块时该值取 0。

2 根据某一测量部位各测点混凝土厚度实测值, 按下式求出混凝土保护层厚度平均值 $\bar{D}_n$:

$$\bar{D}_n = \frac{\sum_{i=1}^n D_{ni}}{n} \quad (5.4.1-2)$$

式中 $\bar{D}_n$ —测量部位钢筋保护层厚度平均值, 精确至 0.1mm;

D_{ni} —结构或构件测量部位测点保护层厚度, 精确至 1mm;

n —测点数。

5.4.2 钢筋保护层厚度数据修正

1 遇到下列情况之一时, 应对测试结果进行修正:

- (1) 认为相邻钢筋对检测结果有影响;
- (2) 钢筋公称直径未知或有异议;
- (3) 钢筋实测根数、位置、厚度与设计有较大偏差;
- (4) 同一根钢筋不同测点实测保护层厚度值偏差较大 (大于 3mm)。

2 当实测混凝土保护层厚度不大于 10mm 时, 应在探头下附加标准垫块重新进行检测, 混凝土保护层厚度为仪器示值减去标准垫块厚度。标准垫块用硬质无磁性材料制成, 平面尺寸应略大于钢筋探测仪传感器底面尺寸, 厚度 S_b 为 10mm~20mm, 其各个方向厚度值偏差不应大于 0.1mm。

3 用标准垫块对保护层厚度进行综合修正:

(1) 将传感器直接置于混凝土表面已标好的钢筋位置正上方, 读取测量值 S_{i1} ;

(2) 将标准垫块置于传感器原在混凝土表面位置, 并将传感器放于标准垫

块之上，读取测量值 S_{i2} ，则修正系数 K_i 为：

$$K_i = \frac{S_{i2} - S_{i1}}{S_b} \quad (5.4.3-1)$$

式中 K_i —钢筋保护层厚度修正系数，保留至两位小数；

S_{i1} —标准垫块放置前钢筋保护层检测值，精确至 1mm；

S_{i2} —标准垫块放置后钢筋保护层检测值，精确至 1mm；

S_b —标准垫块厚度值，精确至 0.1mm。

(3) 每测区应对不少于 3 个测点进行修正，最终测区测点修正系数的取值为各测点修正系数的算术平均值，并修约至一位小数。

4 用校准孔进行综合修正：

(1) 用 6mm 钻头在测点钢筋位置正上方，垂直于构件表面打孔，手感碰到钢筋立即停止，用深度卡尺量测钻孔深度，即为实际的保护层厚度 S_r ，精确值 0.1mm，则修正系数为：

$$K_i = \frac{S_i}{S_r} \quad (5.4.3-2)$$

式中 K_i —钢筋保护层厚度修正系数，保留至两位小数；

S_i —钻孔前验证测点位置钢筋保护层检测值，精确至 1mm；

S_r —钻孔后验证测点位置深度卡尺量测钢筋保护层值，精确至 0.1mm。

(2) 每测区应对不少于两根钢筋进行钻孔校准，最终测区测点修正系数的取值为各测点修正系数的算术平均值，并保留至一位小数。

6 钢筋锈蚀电位检测

6.1 一般规定

6.1.1 本章适用于定性评估混凝土桥梁结构或构件中钢筋的锈蚀状况，且测量时结构或构件应处于自然状态，不适用于带涂层的钢筋以及混凝土已饱和和接近饱和的构件检测。

6.1.2 钢筋的实际锈蚀状况必要时进行剔凿实测验证。

6.1.3 混凝土检测面应平整、清洁，去除涂料、浮浆、污迹、尘土等，必要时采用钢丝刷、砂纸打磨。

6.2 方法选择

6.2.1 钢筋锈蚀状况检测宜采用半电池电位法。

6.2.2 半电池电位法采用的参考电极宜为铜-硫酸铜半电池，如图 6.2.2 所示。

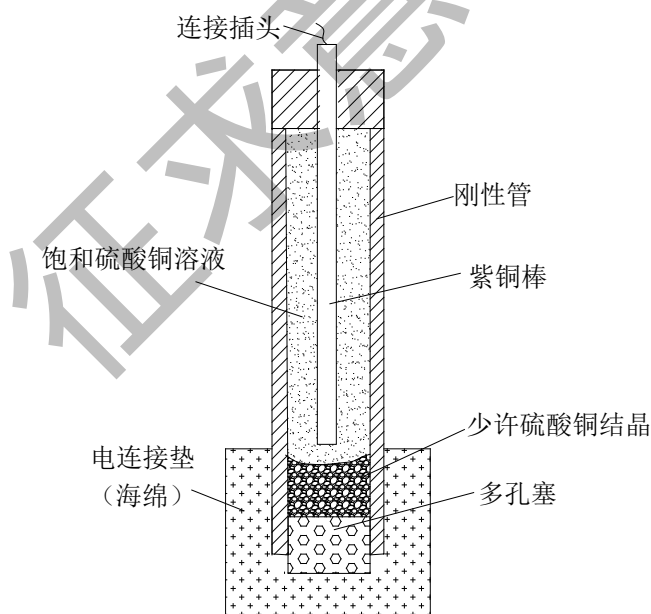


图 6.2.2 铜-硫酸铜半电池剖面

6.3 检测要求

6.3.1 钢筋锈蚀电位检测的仪器性能应满足以下要求：

- 1 检测仪器应包括半电池电位法钢筋锈蚀检测仪（以下简称钢筋锈蚀检测仪）

和钢筋探测仪等。

2 钢筋探测仪的技术要求应符合本标准第 5 章相关规定。

3 钢筋锈蚀检测仪应由铜-硫酸铜半电池（以下简称半电池）、电压仪和导线构成。

4 饱和硫酸铜溶液应采用分析纯硫酸铜试剂晶体溶解于蒸馏水中制备。应使刚性管的底部积有少量未溶解的硫酸铜结晶体，溶液应清澈且饱和，溶液应充满电极。半电池的电连接垫应预先浸湿，多孔塞和混凝土构件表面应形成电通路。

5 电压仪应满足以下要求：

（1）具有采集、显示和存储数据的功能，满量程不宜小于 1000mV；

（2）准确度优于 $0.5\% \pm 1 \text{ mV}$ ；

（3）输入电阻大于 $10^{10} \Omega$ ；

（4）仪器使用环境条件应满足：环境温度 $0 \sim 40^\circ\text{C}$ ；相对湿度 $\leq 95\%$ 。

6 用于连接电压仪与混凝土中钢筋的导线宜为铜导线。其总长度不宜超过 150m、截面面积宜大 0.75mm^2 ，在使用长度内因电阻干扰所产生的测试回路电压降不应大于 0.1mV。

6.3.2 钢筋锈蚀电位检测测区布置原则：

1 测区宜布置在主要承重构件或承重构件的主要受力部位，或根据一般检查结果有迹象表明钢筋可能存在锈蚀的部位。

2 在混凝土桥梁结构或构件上可布置若干个测区。测区应注明位置，并记录外观情况，当构件处于不利环境条件或出现质量缺损时，应根据构件的环境差异及外观检查的结果来确定具有代表性的测区，但测区不应有明显的锈蚀胀裂、脱空或层离现象。

3 在测区上布置测试网格，网格节点为测点，网格间距应根据构件尺寸设定，可采用 $20\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 、 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 等规格。当一个测区内存在相邻测点的读数超过 150mv，应适当减小测点间距。

4 测点应统一编号，测点位置距构件边缘应大于 5cm，测点数量一般不宜少于 20 个。

6.3.3 仪器与钢筋的连接应按下列步骤进行：

1 采用钢筋探测仪检测钢筋的分布情况，在适当位置剔凿出钢筋。

2 电压仪的正输入端应与铜/硫酸铜电极连接，负输入端应与钢筋连接。

3 仪器连接前，应对连接处的钢筋表面进行除锈或清除污物，并检查测区内的钢筋（钢筋网）与连接点的钢筋是否形成电通路。

4 铜/硫酸铜参考电极与测点的接触

测量前应预先将电极前端多孔塞充分浸湿，以保证良好的导电性，正式测读前应再次用喷雾器将混凝土表面润湿，但两个测点之间不应留有自由表面水。

连接方法见图 6.3.4。

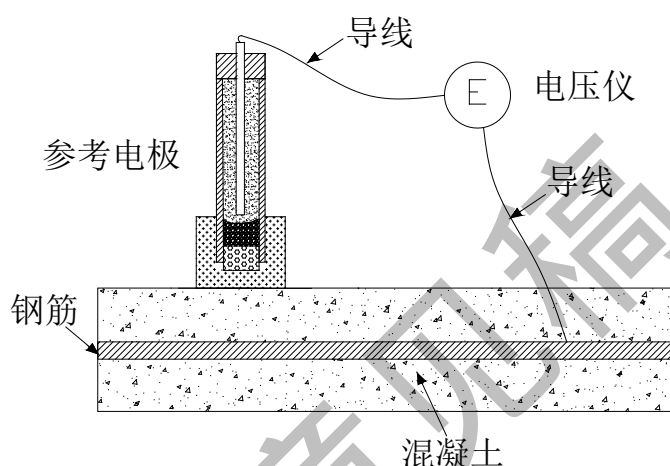


图 6.3.3 钢筋锈蚀仪检测系统简图

6.3.4 半电池电位法检测系统稳定性应符合以下要求：

- 1 测点读数应稳定，电位读数变动不超过 2mV；
- 2 在同一测点，用相同半电池重复 2 次测得该点的电位差值应小于 10mV。

6.3.5 半电池电位法现场检测宜按以下步骤进行：

- 1 测量并记录环境温度；
- 2 应按测区编号，将半电池依次放在各电位测点上，检测并记录各测点的电位值；
- 3 检测时，应及时清除电连接垫表面的吸附物，半电池多孔塞与混凝土表面应形成电通路；
- 4 在水平方向和垂直方向上检测时，应保证半电池刚性管中的饱和硫酸铜溶液同时与多孔塞和铜棒保持完全接触；
- 5 检测时应避免外界各种因素产生的电流影响；
- 6 应及时完整规范地填写检测记录表。钢筋半电池电位法现场检测记录表见

附录 F。

6.4 检测数据处理

6.4.1 环境温度在 $22\pm5^{\circ}\text{C}$ 范围之外，应对铜/硫酸铜电极做温度修正。

$$\text{当 } T \geq 27^{\circ}\text{C}: V = 0.9 \times (T - 27.0) + V_R \quad (6.4.2-1)$$

$$\text{当 } T \leq 17^{\circ}\text{C}: V = 0.9 \times (T - 17.0) + V_R \quad (6.4.2-2)$$

式中 V —温度修正后电位值，精确至 1mV ；

V_R —温度修正前电位值，精确至 1mV ；

T —检测环境温度，精确至 1°C ；

0.9—系数 ($\text{mV}/^{\circ}\text{C}$)。

6.4.2 钢筋锈蚀电位测量结果取测区锈蚀电位水平最低值。

6.4.3 半电池电位法检测结果可采用电位等值线图表示被测结构及构件中钢筋的锈蚀状况。

7 混凝土电阻率检测

7.1 一般规定

7.1.1 本章适用于桥梁结构或构件的混凝土电阻率检测，不适用于带涂层的混凝土结构以及混凝土已饱水或接近饱水的构件。

7.1.2 混凝土电阻率宜采用接触式方法现场检测。

7.1.3 混凝土电阻率检测前，应了解混凝土材料的性质、混凝土施工及养护的条件、混凝土所处的环境条件。

7.1.4 现场无破损或微破损检测混凝土电阻率时，测区表面应为混凝土原浆面，并应清洁、平整，不应有疏松层、浮浆、油垢、涂层以及蜂窝、麻面等。

7.1.5 混凝土电阻率检测结果应同钢筋锈蚀状况检测结果一并使用。

7.1.6 混凝土电阻率检测结果可按本标准附录 G 中表记录。

7.2 方法选择

7.2.1 混凝土电阻率检测宜采用四电极方法，由两电压电极间的混凝土电阻即可获得混凝土电阻率。

7.2.2 混凝土电阻率测试仪由四电极探头与电阻率仪表组成，采用交流测量系统。

- 1 每两探头间距为 50mm，探头端部配有泡沫垫层；
- 2 电压电极间的输入阻抗 $> 1 \text{ M}\Omega$ ；
- 3 测量范围为 $0 \sim 99 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ ；
- 4 分辨率为 $0.1 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ ；
- 5 准确度为 $\pm 1 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ ；

7.2.3 混凝土电阻率测试仪使用时的环境温度应为 $(0 \sim +40)^\circ\text{C}$ ；相对湿度 $\leq 85\%$ 。

7.3 检测要求

7.3.1 混凝土电阻率检测测区布置原则：

- 1 测区宜布置在主要承重构件或承重构件的主要受力部位，或对钢筋锈蚀电位评定标度值为 3、4、5 的主要构件或主要受力部位。

2 对于其他或特殊混凝土构件混凝土电阻率测区宜采取随机抽取样本的方法, 当不具备随机抽样条件时, 可按约定方法抽取样本。

4 对于因受不利因素影响的桥梁结构, 混凝土电阻率测区的布置, 应根据构件的环境差异及外观的检查结果来确定, 测区应能代表不同环境条件和不同的受损结构外观表征。

5 测区布置可参照钢筋锈蚀电位测量的要求, 在电位测量网格间进行, 测区应统一编号, 注明位置, 并描述其外观情况。网格间距宜用 200mm×100mm~300mm×300mm, 测区中的测点数不宜少于 12 个。

6 被测构件或部位的测区数量不宜少于 30 个。

7.3.2 混凝土电阻率测试仪在使用前后, 均应在电阻率标准板上进行核查, 核查结果应满足仪器设备精度要求。

7.3.3 混凝土电阻率检测宜按以下步骤进行:

1 混凝土表面应清洁、无尘、无油脂。为了提高量测得准确性, 必要时可去掉表面碳化层;

2 为了保证电极与混凝土表面有良好、连续的电接触, 应在电极前端涂上耦合剂 (特别时当数据不稳定时), 且测点之间耦合剂不能相通;

3 测量时探头应垂直置于混凝土表面, 并施加适当的压力。

7.3.4 混凝土电阻率检测, 因受到多种因素的干扰, 为了提高现场无损检测结果判读与评定的准确性, 可进行少量的现场验证性试验。

7.4 检测数据处理

7.4.1 混凝土电阻率取测区电阻率测量的平均值和最小值, 平均值及最小值按下式计算:

$$\bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n} \quad (7.4.1-1)$$

$$\rho_{\min} = \min \{ \rho_i \} \quad (7.4.1-2)$$

式中 ρ_i —测点混凝土电阻率实测值 (kΩ•cm);

$\bar{\rho}$ —混凝土电阻率平均值 ($\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$);

$\rho_{\min}$ —混凝土电阻率最小值 ($\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$);

7.4.2 按照测区混凝土电阻率的平均值和最小值来判定混凝土电阻率对钢筋锈蚀的影响速率，并绘出电阻率等值线图，等值线差值宜为 $5 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$ 。

征求意见稿

8 混凝土氯离子含量检测

8.1 一般规定

8.1.1 本章适用于在役混凝土桥梁结构中水溶性和酸溶性氯离子含量的检测。

8.1.2 对在役桥梁结构混凝土中氯离子含量的检测，是判断引起钢筋锈蚀危险性的重要依据。

8.1.3 在混凝土氯离子含量检测时，不得采用将混凝土中各原材料的氯离子含量求和的方法进行替代。

8.1.4 在混凝土氯离子含量检测前应了解混凝土桥梁结构或构件所处的环境条件及其本身的质量状况，收集混凝土桥梁结构或构件的混凝土配合比及施工和养护条件等资料。

8.2 方法选择

8.2.1 在役混凝土桥梁结构的氯离子含量检测宜采用电位滴定法测定。

8.2.2 水溶性氯离子含量检测可采用混凝土氯离子快速测定仪法，测定方法参考仪器设备使用说明书，但混凝土氯离子快速测定仪法不适用于酸溶性氯离子含量的测定。

8.3 检测要求

8.3.1 混凝土氯离子含量检测测区布置原则：

1 氯离子含量测定，应根据构件的工作环境条件及构件本身的质量状况确定测区，测区应能代表不同工作条件及不同混凝土质量的部位，测区宜参考钢筋锈蚀电位测量结果确定。特别对钢筋锈蚀电位评定标度值为 3、4、5 的主要构件或主要受力部位，以及对受氯离子侵蚀影响较大的主要结构部件，应进行混凝土氯离子含量的测定。

2 当结构混凝土所处环境条件为严寒地区的大气环境、使用除冰盐环境、滨海环境时，应结合外观检查质量状况和钢筋锈蚀电位水平确定检测部位。当结构混凝土所处环境为海水环境时，应在浪溅区和水位变动区选取测区。

3 每一被测构件测区数量不宜少于 3 个，测区应进行编号，注明位置，并描述外观情况。

8.3.2 混凝土氯离子含量检测现场取样宜按以下步骤进行：

1 取样前应先利用钢筋位置测定仪确定主筋位置，再使用直径不少于 20mm 的冲击钻在主筋附近混凝土表面钻孔。

2 钻孔位置应避开主筋，并在设计混凝土保护层内距主筋表面 20mm 的位置取样。取样时应注明并记录取样位置、测区和测孔编号及取样深度。

3 当需要了解构件混凝土氯离子含量的深度分布线时，也可采用现场按混凝土不同深度取样，结果须能反映氯离子在混凝土中随深度的分布情况。

4 同一测区不同孔的粉末可收集在一起，应不少于 25g，若数量不足可在同一测区增加钻孔数量。

5 采集混凝土粉末样品后，应立即将样品封存，标识，避免受潮和混淆。

8.3.3 混凝土氯离子含量检测的试验室测试应满足如下要求：

1 试验室试剂配制：

(1) 硝酸（1+7）溶液：分析纯硝酸和蒸馏水按体积比 1:7 配制；

(2) 10g/L 淀粉溶液：称取 5g（水溶性）淀粉，加水调成糊状后，加入蒸馏水稀释至 500mL，加热煮沸 5min，冷却后放入密封瓶中备用。

(3) 0.0141mol/L 硝酸银标准溶液：称取 2.3970g 化学纯硝酸银，精确至 0.0001g，用蒸馏水溶解后移入 1000mL 容量瓶中，稀释至刻度，混合均匀后，储存于棕色瓶中。

(4) 0.0141mol/L 氯化钠标准溶液：称取在 550℃±50℃灼烧至恒重的分析纯氯化钠 0.8240g，精确至 0.0001g，用蒸馏水溶解后移入 1000mL 容量瓶中，并稀释至刻度。

(5) 硝酸银标准溶液的标定

移取 20mL 氯化钠标准溶液（0.0141mol/L）于烧杯中，加 100mL 蒸馏水和 20mL 淀粉溶液（10g/L），在电磁搅拌下，用硝酸银标准溶液以电位滴定法测定终点，等当量点的判定应按 GB/T9725 中 6.2.2 条的规定，以二次微商法确定硝酸银溶液所用的体积 V_{01} 。移取 20mL 蒸馏水于烧杯中，按同样方法进行空白试验，计算空白试验硝酸银消耗的溶液量 V_{02} ，详见附录 H。

硝酸银标准溶液的浓度 C_{AgNO_3} 应按下式计算:

$$C_{\text{AgNO}_3} = \frac{C_{\text{NaCl}} \times V}{V_{01} - V_{02}} \quad \dots\dots\dots (8.3.3-1)$$

式中:

C_{AgNO_3} —硝酸银标准溶液的浓度 (mol/L);

C_{NaCl} —氯化钠标准溶液的浓度(mol/L);

V —氯化钠标准溶液的体积(mL);

V_{01} —达到等当量点时所消耗硝酸银标准溶液的体积(mL);

V_{02} —空白试验达到等当量点时所消耗硝酸银标准溶液的体积 (mL)。

2 仪器设备:

- (1) 电位滴定仪或酸度仪;
- (2) 银电极或氯电极;
- (3) 甘汞电极 (参比电极);
- (4) 电磁搅拌器;
- (5) 酸式滴定管 (50mL);
- (6) 移液管: 20mL;
- (7) 电子天平: 分度值 0.0001g。

3 试验环境: 电位滴定法试验环境为常温环境。

4 试样制备:

- (1) 将所取样品混合均匀, 并研磨至全部通过筛孔公称直径为 0.16mm 的筛。
- (2) 研磨后的粉末应置于 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘 2h, 取出后放入干燥器冷却至室温备用。

5 试验方法:

(1) 水溶性氯离子样品预处理: 称取 20g 过筛的样品, 精确至 0.0001g, 置于 250mL 的三角烧瓶中, 并加入 100mL 蒸馏水, 盖上瓶塞, 剧烈振摇 1min~2min, 浸泡 24h 后, 用快速滤纸过滤, 获取滤液, 三角烧瓶中的样品应尽可能倒入滤纸中, 得到滤液 A。

(2) 酸溶性氯离子样品预处理: 称取 20g 过筛的样品, 精确至 0.0001g, 置于 250mL 的三角烧瓶中, 并加入 100mL 硝酸 (1+7) 溶液, 盖上瓶塞, 剧烈振摇 1min~2min, 浸泡 24h 后, 用快速滤纸过滤, 获取滤液, 三角烧瓶中的样品

应尽可能倒入滤纸中，得到滤液 B。

(3) 氯离子含量测定：

移取 20mL 滤液 A（或 B）于 300mL 烧杯中，加入 100mL 蒸馏水，再加入 20mL(10g/L)淀粉溶液，在烧杯内放入电磁搅拌子。

将烧杯置于电磁搅拌器上后，开动搅拌器并插入银电极和甘汞电极（参比电极），两电极与电位测量仪相连。

用硝酸银标准溶液缓慢滴定，同时记录电势和对应的滴定管读数。当接近化学计量点时，电势的增加很快，此时需缓慢滴加硝酸银溶液，每次定量加入 0.1mL，当电势发生突变时，表示化学计量点已过，此时应继续滴加硝酸银溶液直至电势变化趋向平缓，用二次微商方法计算出达到化学计量点时硝酸银消耗的体积 V_1 ，详见附录 H。

(4) 空白试验：

在干净的烧杯中加入 100mL 蒸馏水和 20mL 硝酸溶液（水溶性试验时应为 20mL 蒸馏水），再加入 20mL 淀粉溶液，在电磁搅拌下，缓慢滴加硝酸银溶液，同时记录化学计量点对应的硝酸银溶液的用量，按二次微商法计算出达到化学计量点时硝酸银标准溶液消耗的体积 V_2 ，详见附录 H。

8.4 检测数据处理

8.4.1 混凝土氯离子含量数据处理宜按如下规定进行：

1 硬化混凝土中氯离子含量在已知混凝土配合比的情况下，按式（8.4.1-1）计算氯离子占水泥的百分比（%），精确至 0.001%：

$$W_{\text{cl}^-}^A = \frac{C_{\text{AgNO}_3} \times (V_1 - V_2) \times 0.03545 \times W_B \times 5}{G \times W_S} \times 100 \quad \text{..... (8.4.1-1)}$$

式中：

$W_{\text{cl}^-}^A$ ——硬化混凝土中氯离子含量占水泥用量的百分比（%）；

C_{AgNO_3} ——硝酸银标准溶液的浓度（mol/L）；

V_1 ——达到化学计量点时所消耗硝酸银标准溶液的体积(mL)；

V_2 ——空白试验达到化学计量点时所消耗硝酸银标准溶液的体积（mL）；

W_B ——混凝土配合比中，每立方米混凝土的质量（kg）；

G —— 试验所取粉末的质量(g);

W_s —— 混凝土配合比中, 每立方米混凝土的水泥用量 (kg)。

2 对未获得混凝土配合比的情况, 按式 (8.4.1-2) 计算氯离子占混凝土质量的百分比 (%), 精确至 0.001%:

$$W_{\text{cl}^-}^B = \frac{C_{\text{AgNO}_3} \times (V_1 - V_2) \times 0.03545 \times 5}{G} \times 100 \dots\dots\dots (8.4.1-2)$$

式中:

$W_{\text{cl}^-}^B$ —— 硬化混凝土中氯离子含量占混凝土质量的百分比 (%);

C_{AgNO_3} —— 硝酸银标准溶液的浓度 (mol/L);

V_1 —— 达到化学计量点时所消耗硝酸银标准溶液的体积(mL);

V_2 —— 空白试验达到化学计量点时所消耗硝酸银标准溶液的体积 (mL);

G —— 试验所取粉末的质量(g)。

8.4.2 同一试样平行试验两次, 取其平均值为作为试验结果。两次试验的结果的差值应不大于 0.04%。

8.4.3 混凝土中氯离子含量检测的重复性限为: 0.040%。

8.4.4 当对检测结果存在争议时, 应以酸溶性氯离子含量作为最终结果进行评定。

9 混凝土碳化状况检测

9.1 一般规定

9.1.1 本章适用于混凝土桥梁构件质量或性能的检测。碳化检测适用于混凝土结构的现场检测或试样及结构取芯的实验室检测。

9.1.2 碳化检测前宜收集桥梁结构基本信息、混凝土配合比、浇筑时间及浇筑方式、添加剂、混凝土涂层状况以及环境温度、湿度等主要技术资料。

9.1.3 检测仪器设备、现场记录应符合以下规定：

1 碳化深度检测仪精度应满足《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》中碳化读数精度要求，测试前应使用仪器校准块进行校准，校准结果满足后才能进行测试，不满足时应进行维修并经检定合格后使用。

2 现场记录应包含：工程名称、测试日期及时间、测试人员、现场测试条件、测试位置编号及室内或室外环境、试样尺寸及大小或现场钻孔大小、试剂浓度等。

9.2 检测方法

9.2.1 混凝土桥梁结构碳化检测的推荐方法为酚酞试液测试法，酚酞酒精溶液的浓度应为 1%~2%，在混凝土新鲜断面喷洒指示剂，观察指示剂颜色变化来确定混凝土的碳化深度。

9.2.2 采用酚酞试液测试如果测试界面变色缓慢或变色边界出现四散或散开情形时不能给出精确的结果，可以按照其它检测方法来验证。

9.3 检测要求

9.3.1 混凝土桥梁构件测区布置的原则应根据桥梁构件的特点及测试目的进行选取。

1 构件混凝土强度采用回弹法进行测试时，碳化测区的布设应符合以下规定：

(1) 混凝土碳化测区的布设应符合本标准第 4 章混凝土强度检测的有关规定；

(2) 混凝土碳化测区的数量不少于混凝土强度测区的 30%，每个碳化测区布设 3 个碳化测孔，在测区中按品字形布设，间距不小于 2 倍孔径，应取其平均值作为该构件每个测区的碳化深度值。

(3) 当碳化深度值极差大于 2.0mm 时, 应在每一测区分别测量碳化深度值。

2 桥梁构件进行材质状况检测及耐久性和承载能力评定时, 测试构件测区抽取应符合以下规定:

(1) 采用预制施工的桥梁上部结构构件按桥跨数量的 30% 抽检, 且不少于 1 跨, 每跨抽检构件数量为 30%, 测试构件测区数量不少于 3 个;

(2) 采用整体现浇的桥梁上部结构构件按桥跨的 30% 抽检, 且不少于 1 跨, 测试构件测区数量不少于 3 个;

(3) 桥梁下部结构墩、台及基础构件抽检数量不少于 30%, 测试构件测区数量不少于 3 个, 对于多次浇筑的大体积构件, 构件测区宜在不同浇筑部位布设测区, 测试部位测区数量不少于 3 个;

(4) 每个构件或构件的不同测试部位布设测区数量不少于 3 个, 当测区混凝土碳化深度测试极差大于 2.0mm 时, 宜根据检测情况增加测区数量, 每个测区按品字形布设, 间距不小于 2 倍孔径;

(5) 碳化检测用于火灾损伤、环境损伤和偶然损伤等损伤评定时, 应根据表面损伤状况进行分类, 将表面损伤状况相近的构件作为一个损伤类别, 每个损伤类别布置不少于 6 个测区, 宜布设在有代表性的位置。测区测点数量为 3 个, 按品字形布设, 间距不小于 2 倍孔径。

9.3.2 混凝土桥梁构件检测部位的选择应符合以下技术要求:

1 对于板式构件或板拱根据结构特点测试应选择板梁或板拱底面进行测试;

2 对于肋式梁桥 (T 梁、I 字梁或 π 型梁) 或肋拱宜选择腹板或肋拱侧面进行测试;

3 对于预制箱型构件宜选择混凝土构件的侧面及底面进行测试;

4 对于大跨径连续箱梁 (或连续刚构) 由于混凝土采用分层浇注方式可按不同浇筑部位对构件进行分区测试;

5 对于墩柱构件宜对结构侧面进行测试, 对于大体积混凝土 (如锚定、基础、主塔等) 构件宜对混凝土侧面或顶面按浇筑部位进行测试;

6 对于盖梁、台帽等构件宜对混凝土浇筑侧面或底面进行测试。

9.3.3 混凝土碳化现场检测操作应符合以下规定:

1 混凝土碳化现场测试可以采用原位钻孔, 钻孔直径约 15mm, 钻孔深度应

大于混凝土的碳化深度。

2 采用结构取样或取芯进行碳化测试时,宜用湿式切割法进行取芯。当集料最大公称粒径超过 16mm,取芯的最小公称直径为 50mm。取样或取芯所有表面在取样后的水分应立即清除干净,并标识其相对于原结构表面的位置和方向并放置在干燥环境尽快进行测试。

3 芯样的分裂应尽可能沿芯样直径和纵轴线,大的芯样(最小尺寸接近 50mm)分裂时应与结构混凝土面垂直,小的试样在不分裂的情况下应在从结构取出后立即进行测试。

4 在测试时,钻孔内或芯样的混凝土粉末和碎屑应清除干净,不得用水或刷子清除,并喷洒足够的酚酞试液湿润其表面。待酚酞指示剂变色后,用碳化尺测量混凝土表面至酚酞变色交界处的深度。酚酞指示剂从无色变为红紫色时,混凝土未碳化,酚酞指示剂未改变颜色处的混凝土已经碳化。

5 混凝土碳化测试应按照抽样要求进行碳化抽样并对钻孔或取样部位进行恢复。

9.3.4 碳化深度测量读数和测试记录应符合以下规定:

- 1 当喷洒酚酞试液后在瞬时颜色变为红紫色后 30 秒内应完成测量和记录。
- 2 混凝土碳化深度测量采用碳化深度测量仪测量已碳化与未碳化混凝土交界面到混凝土表面的垂直距离。
- 3 每个测孔中测量碳化深度时应测试不少于 3 个测点,读数精确至 0.25mm,计算碳化深度的平均值 d_{kmean} 和最大值 d_{kmax} 读数精确至 0.5mm。
- 4 测试记录中应绘制混凝土碳化测区的布置示意图和各测区碳化深度测试结果展开图,并按附表 I 格式填写测试信息。

9.4 检测数据处理

9.4.1 混凝土碳化深度测试数据应按照测孔、测区、构件的顺序分别进行处理:

- 1 每个测孔分别在碳化界面测试 3 个碳化深度,分别计算其平均值和最大值,以平均值作为测孔的碳化深度,精度至 0.50mm。
- 2 测区碳化深度为 3 个测孔碳化深度的平均值作为测区检测结果,精确至 0.50mm。
- 3 构件或构件不同部位碳化深度值为各测区检测结果的平均值,精确至

0.50mm。

9.4.2 检测数据的现场校验、修正方法

1 构件混凝土强度采用回弹法进行测试时，当测区碳化深度值的极差大于 2.0mm，应在每一个测区分别测量碳化深度值。

2 当进行材质状况检测及耐久性和承载能力评定或用于火灾损伤、环境损伤和偶然损伤等损伤评定时，当测区碳化深度值的极差大于 2.0mm，碳化深度测区应相应增加。

征求意见稿

10 混凝土外观质量及内部缺陷检测

10.1 一般规定

10.1.1 本章适用于混凝土桥梁结构外观质量和内部缺陷检测。外观质量缺陷检测包括裂缝、蜂窝、麻面、剥落、掉角、空洞、孔洞、露筋、沾污等；内部缺陷包括裂缝深度、混凝土内部空洞和不密实区、不同时间浇筑的混凝土结合面的质量及表面损伤层厚度等。

10.1.2 混凝土桥梁结构外观质量及内部缺陷检测前应收集以下技术资料：

- 1 被测结构的设计图纸、设计变更图纸、施工资料、历次检测养护及加固资料等；
- 2 检测原因或结构、构件存在的质量问题等。

10.1.3 当缺陷位于混凝土构件的内部或通过常用简单工具不能确定缺陷的深度和范围时，宜进行混凝土内部缺陷检测。

10.2 方法选择

10.2.1 混凝土桥梁结构外观质量缺陷检测以目力检查为主，辅以简单设备进行量测。

10.2.2 混凝土桥梁结构内部缺陷检测，应根据检测目的、检测项目和现场条件选择合适的检测方法。现场检测宜优先选用无损伤的检测方法，当采用局部破损的检测方法时，应选择对结构安全影响较小的部位。

10.2.3 混凝土裂缝的深度可采用超声法检测，也可采用钻孔取芯法进行检测或验证。

1 对开口垂直裂缝，构件断面不大，可采用双面对测法检测裂缝深度，测点布置在平行于裂缝的两侧面上。

2 对开口垂直裂缝，构件断面很大，只有一个可测面，可采用单面平测法检测裂缝的深度。

3 对于只有一个可测面的开口裂缝，且估计的裂缝深度不大于 500mm 时，可采用单面平测法检测裂缝的深度，按跨缝和不跨缝分别布置测点。

4 对于具有两个相互平行测试表面,可采用双面斜测法检测裂缝的深度。

5 对于大体积混凝土,如估计的裂缝深度大于 500mm 时,在被检测混凝土允许在裂缝两侧钻孔测试的情形下,可采用钻孔对测法检测裂缝的深度。

6 对开口垂直裂缝,可采用钻孔取芯法进行检测或验证。

10.2.4 混凝土不密实区和空洞的检测,可采用超声法、雷达法、冲击回波法等方法,必要时可采用钻芯法进行验证。

1 宜先根据外观质量状况,施工记录或使用过程中出现了质量问题,或采用大面积扫测初步确定混凝土内部缺陷的大致位置,然后再对可疑区进行详细检测。

2 采用超声法检测内部缺陷时,当结构被测部位具有两对平行表面时,可采用一对换能器进行对测;当结构被测部位只有一对平行表面可供测试,或被测部位处于结构的特殊位置,可采用对测和斜测相结合的方法,换能器在对测的基础上进行交叉斜测;对于大体积混凝土结构,可采用钻孔或预埋管测法进行测试。

10.2.5 检测两次浇注的混凝土结合面质量,可采用超声法、探地雷达法、冲击回波法等方法检测,必要时可采用钻芯法进行验证。

1 当构件的被测部位具有使声波垂直或斜穿结合面的测试条件时,可采用超声法检测混凝土结合面质量,可采用对测法和斜测法。

2 当结合面仅具有单个测试面时,可采用钻孔法进行检测。

3 当混凝土上层测试层的厚度已知或上部混凝土层无质量缺陷时,可采用冲击回波法、探地雷达法检测混凝土结合面质量,且测试面不应垂直于结合面。

4 对两次浇注的混凝土结合面质量存在缺陷时,必要时可采用钻芯法进行验证。

10.2.6 因冻害、高温或化学腐蚀等引起的混凝土表面损伤时,可采用超声法检测混凝土表面损伤层厚度。

1 超声法检测混凝土表面损伤层厚度的方法有单面平测法和逐层穿透法两种。

2 当被测结构或构件仅有一个可测表面或两个对应面上均有损伤层时,可采用单面平测法检测混凝土表面损伤层厚度。测试方法见图 10.2.6-1,将发射换能器 T 置于测试面某一点保持不动,再将接收换能器 R 以测距 $L_1=30\text{mm}$ 、 60mm 、 90mm ……,依次置于各点,读取相应的声时值 t_i 。

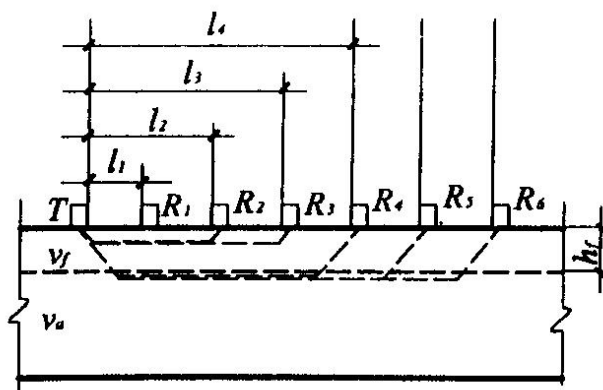


图 10.2.6-1 单面平测法检测损伤层厚度示意图

3 当被测结构或构件仅有一个可测表面时,可采用逐层穿透法检测混凝土表面损伤层厚度。测试方法见图 10.2.6-2,在损伤结构的一对平行表面上、分别钻出一对不同深度的测试孔,孔径为 50mm 左右,然后用直径小于 50mm 的平面式换能器,分别在不同深度的一对测孔中进行测试,读取声时值和测试距离,并计算其声速值,或者在结构同一位置先测一次声速,然后凿开一定深度的测孔,在孔中测一次声速。再将测孔增加一定深度,再测声速,直至两次测得的声速之差小于 2%或接近于最大值时为止。

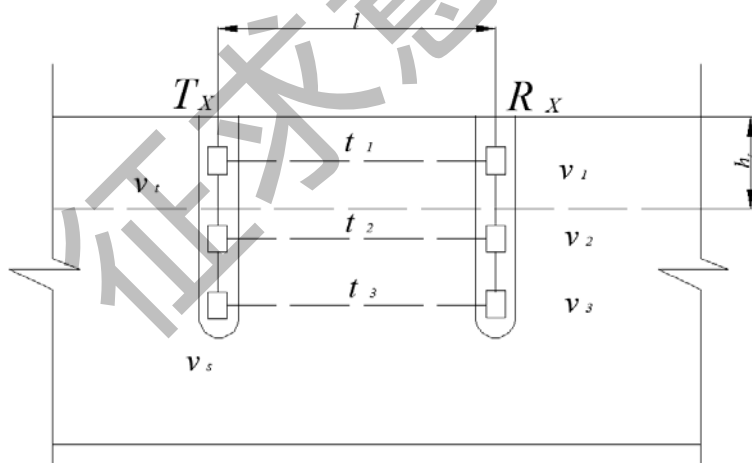


图 10.2.6-2 逐层穿透法检测损伤层厚度示意图

4 为保证检测结果的可靠性,宜做局部破损验证。

10.3 检测要求

10.3.1 混凝土桥梁结构外观质量缺陷检测时，应符合下列规定：

1 必须借助桥梁检测车、登高车、支架等检测平台接近桥梁各部件进行检测,

应对大小超过 20mm 的外观质量缺陷均应检查记录。

2 应采用粉笔、油性笔、油漆等记号笔在桥梁结构上进行现场标识，现场标识应包括外观质量缺陷特征参数及检测时间等信息，现场标识应完整、清晰，主要部件的重要病害现场标识宜保证三年内不会消失。

3 在记录纸上采记外观质量缺陷特征，包括位置、长度、宽度、深度、范围等参数，并采用照片、示意图加以描述。检测要求见表 10.3.1。

表 10.3.1 混凝土桥梁结构外观质量缺陷特征检测要求

序号	缺陷类型	检测项目	采记指标
1	蜂窝、麻面	位置、大小	中心点坐标：__cm、面积：__cm ²
2	剥落、掉角	位置、大小	中心点坐标：__cm、面积：__cm ²
3	孔洞	位置、大小、深度	中心点坐标：__cm、面积：__cm ² 深度：__mm
4	露筋	位置、大小、数量	中心点坐标：__cm、长度：__cm 根数：__根

10.3.2 检测混凝土桥梁结构裂缝时，应符合下列规定：

1 对受检范围内存在可见裂缝的混凝土桥梁结构构件宜进行全数检测，当不具备全数检测条件时，可根据约定抽样原则选择重要的构件、裂缝较多或裂缝宽度较大的构件和存在变形的构件进行检测。

2 裂缝检测时宜区分受力裂缝和非受力裂缝，分析裂缝的活动性和裂缝产生原因。

3 裂缝检查时，宜检查出长度不小于 20cm、宽度不小于 0.05mm 的裂缝，并对每条裂缝进行检查记录。

4 检查记录包括现场标识、裂缝记录表、照片等，当构件存在的裂缝较多时，可绘制裂缝分布示意图表示裂缝的分布特征。

5 裂缝现场标识应包含：构件编号、裂缝特征参数，标识宽度测试位置、检测时间等信息。裂缝特征参数宜包含裂缝起止点位置、长度、宽度、走向、裂缝间距等。

6 裂缝记录表（见表 10.3.2-1 和见表 10.3.2-2）宜包含构件编号、裂缝起点坐标、裂缝终点坐标、裂缝长度、裂缝宽度等参数信息，裂缝分布示意图应标明代表性裂缝的长度、宽度、深度等信息，以及代表性裂缝的深度及发展变化数据。

7 对次要部件、主要部件非主要受力部位的非代表性裂缝和非结构性裂缝，

应测试裂缝的最大宽度。对主要部件主要受力部位附近的代表性裂缝，应先对裂缝宽度进行试测，根据试测结果，沿裂缝走向至少布置 3 个裂缝宽度测位，其中一个测位布置在最大裂缝宽度处，并记录裂缝宽度沿裂缝走向的分布规律。同一条裂缝上测得的最大测试值作为该裂缝宽度代表值。

8 裂缝宽度应在混凝土构件表面量测，量测方向应与裂缝走向垂直。采用裂缝放大镜、裂缝测宽仪测量裂缝宽度，其精度应不大于 0.02mm，混凝土裂缝宽度检测的重复性不大于仪器的分辨力。

9 对主要部件主要受力部位附近的代表性裂缝或宽度较大的裂缝，宜检测裂缝深度。

10 超声波法检测混凝土桥梁结构裂缝深度时，裂缝中应没有积水、泥浆或其它能够传声的夹杂物，且裂缝附近混凝土相当匀质；选取裂缝最宽处进行量测，每处重复测量三次，当裂缝深度 h 为 $35\text{mm} \leq h < 100\text{mm}$ 时，各次测试结果差值不大于 2mm；当裂缝深度为 $100\text{mm} \leq h < 500\text{mm}$ 时，各次测试结果差值不大于 2% h ，精确到 1mm。检测方法及数据处理参照附录 J 至附录 M。

11 对于处于变化中或快速发展中的裂缝，宜对裂缝进行监测，一条裂缝上的宽度监测点宜不少于 3 个。

表 10.3.2-1 混凝土桥梁结构外观检查裂缝记录表

项目 位置	起点坐标 (m)		终点坐标 (m)		长度 (m)	最大宽度 (mm)	走向	裂缝 性质	发展 趋势
	X1	Y1	X2	Y2					

表 10.3.2-2 混凝土桥梁结构外观检查代表性裂缝记录表

项目 位置	起点坐标 (m)		终点坐标 (m)		长度 (m)	宽度 (mm)						走向	裂缝 性质	发展 趋势
	X1	Y1	X2	Y2		位置 1	W1	位置 2	W2	位置 3	W3			

项目 位置	起点坐标 (m)		终点坐标 (m)		长度 (m)	宽度 (mm)						走向	裂缝 性质	发展 趋势
	X1	Y1	X2	Y2		位置 1	W1	位置 2	W2	位置 3	W3			

10.3.3 混凝土桥梁结构内部不密实区和空洞、不良结合面、混凝土表面损伤厚度检测时，其检测项目和采记指标如表 10.3.3 所示。

表 10.3.3 混凝土桥梁结构内部缺陷特征检测要求

序号	缺陷类型	检测方法	检测项目	采记指标
1	空洞、不密实	超声法	位置、大小	位置坐标：__cm、面积：__cm ² 深度：__mm
		雷达法		位置坐标：__cm、面积：__cm ² 深度：__mm
		冲击回波法		位置坐标：__cm、面积：__cm ² 深度：__mm
2	不良结合面	超声法	位置、范围	位置坐标：__cm、面积：__cm ²
		雷达法		位置坐标：__cm、面积：__cm ²
		冲击回波法		位置坐标：__cm、面积：__cm ²
3	表面损伤厚度	超声法	位置、范围、厚度	位置坐标：__cm、范围：__cm ² 厚度：__cm

10.3.4 超声法检测混凝土桥梁结构内部不密实区和空洞时，应符合下列规定：

- 1 被测部位应具有一对(或两对)相互平行的测试面。
- 2 对外观质量较差的区域、怀疑存在缺陷的区域或通过敲击法不能确定缺陷的深度和范围时，宜对混凝土构件可疑区域进行全数检测。
- 3 测试范围原则上应大于有怀疑的区域，宜为可疑区域的 2~3 倍。
- 4 测点间距不宜大于 100mm。
- 5 测点连线（声通路）不宜与主钢筋平行。
- 6 应在同条件的正常混凝土区域进行对比测试，一般地，对比测点数不宜少于 20 个。

10.3.5 超声法检测两次浇注的混凝土结合面质量时，应符合下列规定：

- 1 构件的被测部位应具有使声波垂直或斜穿结合面的测试条件。
- 2 检测两次浇注的混凝土结合面质量时，应查明结合面的位置、走向及外观

质量，明确被测部位及范围。

3 测试范围应覆盖全部结合面或有怀疑的区域。

4 测点间距应根据被测结构尺寸结合面的外观质量状况确定，宜为100~300mm。

5 测点连线（声通路）应避开与构件主钢筋平行或预埋铁件。

6 按布置好的测点分别测出各点的声时、波幅和主频值。

10.3.6 超声法检测混凝土表面损伤时，应符合下列规定：

1 根据构件的损伤情况和外观质量选取有代表性的部位布置测位，其数量不宜少于3个，每个测位不宜少于10个测点。

2 当结构的损伤层厚度不均匀时，应适当增加测区数。

3 构件被测表面应平整并处于自然干燥状态，且无接缝和无饰面层。

4 测点连线（声通路）应避开与构件主钢筋平行或预埋铁件。

10.3.7 雷达法检测混凝土桥梁结构内部不密实区和空洞、检测两次浇注的混凝土结合面质量时，应符合下列规定：

1 被检测部位至少有一个相对平整的检测面。

2 测区应具有代表性，应覆盖怀疑存在内部缺陷的区域。

3 根据检测区域复杂程度、钢筋层数选用合适频率的天线以及适宜的雷达通道数。

10.3.8 冲击回波法检测混凝土桥梁结构内部不密实区和空洞、两次浇注的混凝土结合面质量时，应符合下列规定：

1 冲击回波法可用于非预应力混凝土构件及预应力构件中无预应力管道区域的内部缺陷检测。

2 测区应具有代表性，应覆盖怀疑存在内部缺陷的区域。

3 检测部位混凝土表面应清洁、平整，且不应有蜂窝、孔洞等外观质量缺陷，必要时应磨平。

4 每一测区测点布置可选取等间距方式布置测点，一般布置10个测点，不应少于6个测点。

5 冲击点位置与传感器的间距应小于传感器量程设计厚度的0.4倍；测点或测区中的测线距构件边缘宜不小于所测构件实际厚度的0.3倍。

6 采用单点式冲击回波检测系统检测时,构件的测点和测区应标明编号和位置,传感器与混凝土面间宜采取耦合措施,传感器和冲击器应位于沟槽或表面裂缝同侧。

7 采用扫描式冲击回波检测系统检测时,测线的位置和测线网络的疏密应考虑预估缺陷的位置、大小等因素,对于预应力混凝土构件,应避免预应力管道。测线的布置应位于沟槽或表面裂缝的同侧。扫描器应紧贴混凝土表面,宜匀速滚动,移动速率不宜大于 0.1m/s。

8 检测时,应及时观察时域曲线和振幅谱图的波形变动情况,并保存有效波段和振幅谱。当检测中出现可疑区域或测点时,应对其进行复测或加密检测,可采用超声法等其他方法进行验证。

9 在混凝土上层测试层的厚度已知或保证上部混凝土层无质量缺陷的情况下,可测试两次浇注的混凝土结合面质量,且测试面不应垂直于结合面。

10.4 检测数据处理

10.4.1 混凝土外观质量检测数据处理要求:

1 蜂窝、麻面,剥落、掉角,空洞、孔洞,露筋,沾污等外观质量缺陷宜采用缺陷记录表、典型照片、缺陷分布示意图等描述,并分类统计损伤面积,求出累计损伤面积占构件外露表面积比值。

2 裂缝检查成果宜包括裂缝记录表、典型照片、裂缝分布示意图,必要时采用文字进行补充描述。

3 取最宽位置裂缝宽度值作为该条裂缝宽度的代表值,精确到 0.01mm;取裂缝深度三次结果测量结果的平均值作为该条裂缝的深度,精确到 1mm。

4 混凝土裂缝宜按部件、裂缝走向、宽度等特征按如下要求进行统计,分类汇总:一是统计各部件的裂缝数量、裂缝总长;二是统计各部件裂缝宽度小于 0.15mm,大于等于 0.15mm 的裂缝数量、裂缝总长;三是统计超过规范限值的裂缝数量、裂缝总长。

5 根据裂缝的产生时间、形态特征、发展变化趋势等判断裂缝的性质,分析产生裂缝的原因,评估对结构的影响。

10.4.2 混凝土桥梁结构裂缝深度检测数据处理要求:

1 单面平测法检测裂缝深度的方法及数据处理要求按附录 J 执行。

2 双面对测法检测裂缝深度的方法及数据处理要求按附录 K 执行。

3 双面斜测法检测裂缝深度的方法及数据处理要求按附录 L 执行。

4 钻孔对测法检测裂缝深度的方法及数据处理要求按附录 M 执行。

10.4.3 混凝土桥梁结构内部空洞和不密实区检测数据处理要求：

1 测位混凝土声时（或声速）、波幅及频率等声学参数的平均值 m_x 和标准差 S_x 可按下列公式计算：

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (10.4.3-1)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot m_x^2 \right)}{(n-1)}} \quad (10.4.3-2)$$

式中 x_i —第 i 点某一声学参数的测量值；

n —参与统计的测点数。

2 异常数据可按下列方法判别：

（1）将测位各测点的波幅、声速或主频值由大至小按顺序分别排列，即 $X_1 \geq X_2 \geq \dots \geq X_n \geq X_{n+1} \dots$ ，将排在后面明显小的数据视为可疑，再将这些可疑数据中最大的一个（假定 X_n ）连同其前面的数据按（式 10.4.3-1）和（式 10.4.3-2）计算出 m_x 及 S_x 值，并按下式计算异常情况的判断值(x_0)：

$$X_0 = m_x - \lambda_1 \cdot S_x$$

式中 λ_1 按表 10.4.3-1 取值。

将判断值 (X_0) 与可疑数据的最大值 (X_n) 相比较，当 X_n 不大于 X_0 时，则 X_n 及排列于其后的各数据均为异常值，并且去掉 X_n ，再用 $X_1 \sim X_{n-1}$ 进行计算和判别，直至判不出异常值为止；当 X_n 大于 X_0 时，应再将 X_{n+1} 放进去重新进行计算和判别；

（2）当测位中判出异常测点时，可根据异常测点的分布情况，按下式进一步判别其相邻测点是否异常：

$$X_0 = m_x - \lambda_2 \cdot s_x \text{ 或 } X_0 = m_x - \lambda_3 \cdot s_x$$

式中 λ_2 、 λ_3 按表 10.4.3-1 取值。当测点布置为网格状时取 λ_2 ；当单排布

置测点时（如在声测孔中检测）取 λ_3 。若保证不了耦合条件的一致性，则波幅值不能作为统计法的判据。

表 10.4.3-1 统计的个数 n 与对应的 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 值

n	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
λ_1	1.65	1.69	1.73	1.77	1.80	1.83	1.86	1.89	1.92	1.94
λ_2	1.25	1.27	1.29	1.31	1.33	1.34	1.36	1.37	1.38	1.39
λ_3	1.05	1.07	1.09	1.11	1.12	1.14	1.16	1.17	1.18	1.19
n	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
λ_1	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04	2.05	2.07	2.09	2.10	2.12
λ_2	1.41	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.47	1.48	1.49	1.49
λ_3	1.20	1.22	1.23	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.30	1.31
n	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78
λ_1	2.13	2.14	2.15	2.17	2.18	2.19	2.20	2.21	2.22	2.23
λ_2	1.50	1.51	1.52	1.53	1.53	1.54	1.55	1.56	1.56	1.57
λ_3	1.31	1.32	1.33	1.34	1.35	1.36	1.36	1.37	1.38	1.39
n	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98
λ_1	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29	2.30	2.30	2.31	2.31
λ_2	1.58	1.58	1.59	1.60	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63	1.63
λ_3	1.39	1.40	1.41	1.42	1.42	1.43	1.44	1.45	1.45	1.45
n	100	105	110	115	120	125	130	140	150	160
λ_1	2.32	2.35	2.36	2.38	2.40	2.41	2.43	2.45	2.48	2.50
λ_2	1.64	1.65	1.66	1.67	1.68	1.69	1.71	1.73	1.75	1.77
λ_3	1.46	1.47	1.48	1.49	1.51	1.53	1.54	1.56	1.58	1.59

（3）当测位混凝土中某些测点的声学系数被判为异常值时，可结合异常测点的分布及波形状况，确定混凝土内部不密实区和空洞的位置和范围。

（4）当不密实区或空洞位于发射和接受探头连线的中央。如图 10.4.3-1 所示。探测时首先在无缺陷处测出无缺陷混凝土的声速，然后移动探头确定缺陷区及缺陷中心，声时最长点即为缺陷在垂直于两探头连线平面的中心位置。再在缺陷中心位置处测读声时，此声时即为声波绕过缺陷所需的时间。缺陷在声波传播方向的横向最小尺寸 d 可按下式计算：

$$d = D + \sqrt{t_1^2 v_a^2 - l^2} \quad (10.4.3-3)$$

式中 D —探头直径；

t_1 —在缺陷中心所测读的声时；

v_a —无缺陷处混凝土声速；

l —探头连线方向构件尺寸。

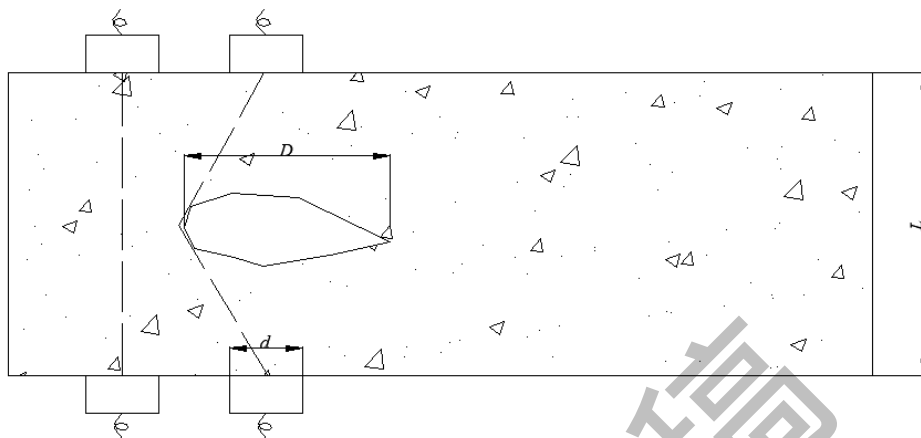


图 10.4.3-1 居中缺陷不密实或空洞的超声法检测

(5) 当判定为片状缺陷时，可将探头移至斜角进行测量，如图 10.4.3-2。此时，片状缺陷在其平面内的最小尺寸 d 可按下式进行计算：

$$d = \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{t_e^2 v_a^2 - l_e^2} \quad (10.4.3-4)$$

式中 α —斜角处两探头连线与片状缺陷平面的夹角；

t_e —斜角处所测读的声时值；

l_e —斜角处两探头间最小距离；

v_a —无缺陷处混凝土声速。

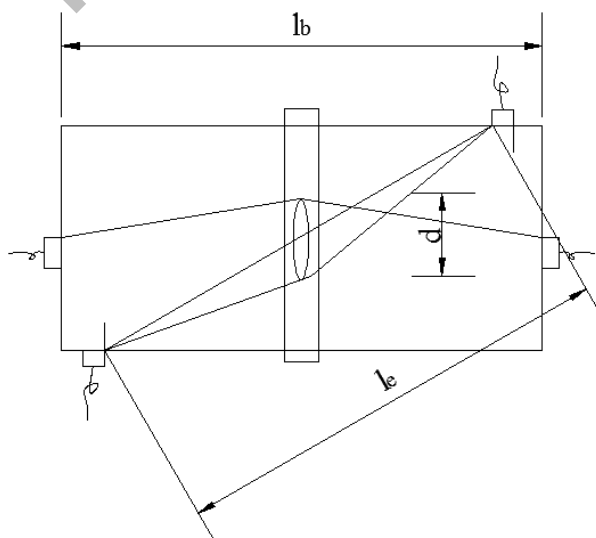


图 10.4.3-2 居中片状缺陷的超声波检测

(6) 当混凝土内部的不密实区或空洞位于发射和接收换能器连线的任意位置, 如图 10.4.3-3 设检测距离为 l , 空洞中心 (在另一对测试面上声时最长的测点位置) 距某一测试面的垂直距离为 l_h , 声波在空洞附近无缺陷混凝土中传播的时间平均值为 t_m , 绕过空洞传播的时间 (空洞处的最大声时值) 为 t_h , 空洞半径为 r 。

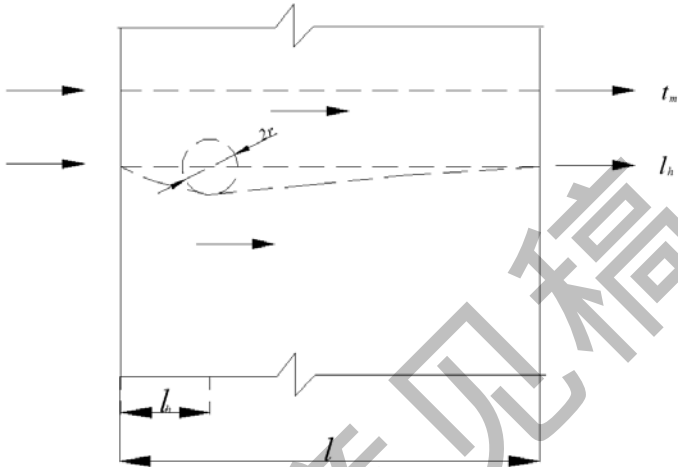


图 10.4.3-3 任意位置缺陷 (不密实区或空洞) 的超声波检测

设: $x = \frac{t_h - t_m}{h_m} 100\%$, $y = \frac{l_h}{l}$, $z = \frac{r}{l}$, 根据表 1-10-4 差得空洞半径 r 与测距 l 得比值 z , 再计算空洞的大致半径 r 。

表 10.4.3-2 x 、 y 、 z 函数值

$\begin{matrix} z \\ x \\ y \end{matrix}$	0.05	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30
0.10 (0.9)	1.42	3.77	6.26										
0.15 (0.85)	1.00	2.56	4.06	5.96	8.39								
0.2 (0.8)	0.78	2.02	3.17	4.62	6.36	8.44	10.9	13.9					
0.25 (0.75)	0.67	1.72	2.69	3.90	5.34	7.03	8.98	11.2	13.8	16.8			
0.3 (0.7)	0.60	1.53	2.40	3.46	4.73	6.21	7.91	9.38	12.0	14.4	17.1	20.1	23.6
0.35 (0.65)	0.55	1.41	2.21	3.19	4.35	5.70	7.25	9.00	10.9	13.1	15.5	18.1	21.0
0.4 (0.6)	0.52	1.34	2.09	3.02	4.12	5.39	6.85	10.3	12.3	14.5	16.9	19.6	
0.45 (0.55)	0.50	1.30	2.03	2.92	3.99	5.22	6.62	8.20	9.95	11.9	14.0	16.3	18.8
0.5	0.50	1.28	2.00	2.89	3.94	5.16	6.55	8.11	9.84	11.8	13.8	16.1	18.6

当被测部位只有一对可供测试的表面时,只能按缺陷位于测距中心考虑,此时缺陷的尺寸可按式计算:

$$r = l/2 \sqrt{(t_h/t_m)^2 - 1} \quad (10.4.3-5)$$

式中 r —空洞半径 (mm);

l —发射和接收换能器之间的距离 (mm);

t_h —缺陷处的最大声时值 (μs);

t_m —无缺陷区的声时值 (μs)。

10.4.4 不同时间浇筑的混凝土结合面的质量检测数据处理要求:

- 1 将同一测位各点声速,波幅和主频道分别按本标准 10.4.3 条进行统计计算与判断。
- 2 当测点数无法满足统计判断时,可将 T-R2 的声速、波幅等声学参数与 T-R1, 进行比较,若 T-R2 声学参数比 T-R1 显著低时,则该点可判为异常测点。
- 3 当通过结合面的某些测点的数据被列为异常,并查明无其他因素影响时,可判定混凝土结合面在该部位结合不良。
- 4 不同时间浇筑的混凝土结合面的质量检测结果,应绘制缺陷展开图。

10.4.5 混凝土表面损伤层厚度检测数据处理要求:

- 1 当采用单面平测时,将各测点的声时测值 t_i 的相应的测距值 l_i 绘制“时—距”坐标图。如图 10.4.5-1 所示,由图可求得声速改变所形成的转折点,该点前、后分别表示损伤和未损伤混凝土的 l 与 t 相关直线用回归分析方法分别求出损伤、未损伤混凝土 l 与 t 的回归直线方程:

损伤混凝土

$$l_f = a_1 + b_1 t_f \quad (10.4.4-1)$$

未损伤混凝土

$$l_a = a_2 + b_2 t_a \quad (10.4.4-2)$$

式中 l_f —损伤前各测点的测距 (mm), 对应于图 10.4.5-1 中的 l_1 、 l_2 、和 l_3 ;

t_f —对应于图 1-10-11 中的 l_1 、 l_2 、和 l_3 的声时 t_1 、 t_2 、 t_3 (μs);

l_a —损伤后各测点的测距 (mm), 对应于图 10.4.5-1 中 l_4 、 l_5 、 l_6 和 l_7 ;

t_a —对应于测距 l_4 、 l_5 、 l_6 和 l_7 的声时 t_4 、 t_5 、 t_6 和 t_7 (μs);

a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 ——直线的回归系数，分别为图 10.4.5-1 中损伤和未损伤混凝土直线的截距和斜率。

2 采用单面平测法检测的损伤层厚度 h_f (mm)可按式进行计算：

$$l_0 = (a_1 b_2 - a_2 b_1) / (b_2 - b_1) \quad (10.4.4-3)$$

$$h_f = l_0 / 2 \cdot (\sqrt{b_2} - \sqrt{b_1}) / (b_2 + b_1) \quad (10.4.4-4)$$

3 当采用逐层穿透法检测时，可将每次测量的声速值(v_i)和测孔深度值(h_i)绘制“v-h”曲线，如图 10.4.5-2 所示，当声速趋于基本稳定的测孔深度，便是混凝土上损伤层的厚度 h_f 。

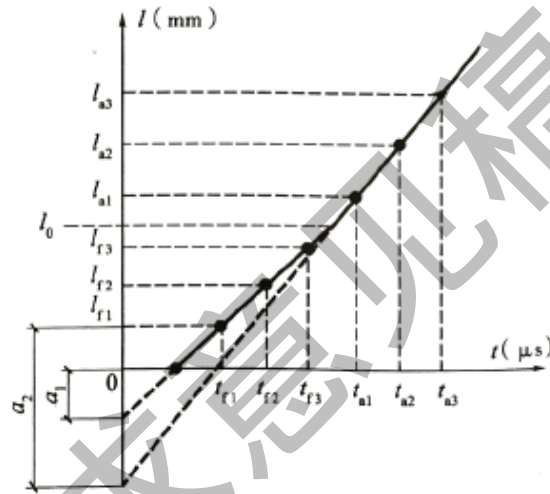


图 10.4.5-1 采用平测法检测损伤层厚度的“时—距”图

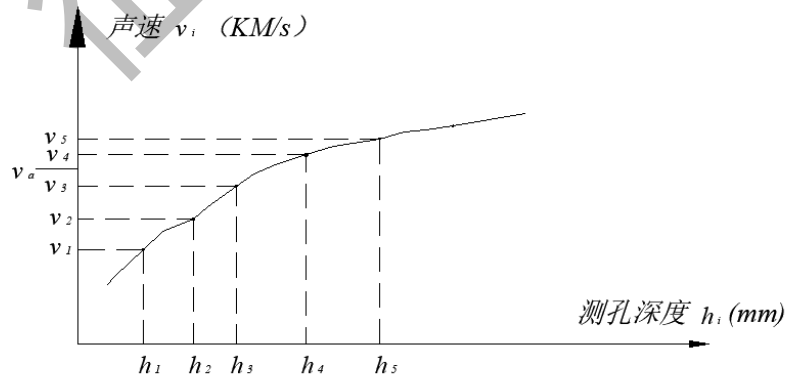


图 10.4.5-2 采用逐层穿透法检测损伤层厚度的 v—h 曲线

10.4.6 混凝土裂缝深度及内部缺陷无损检测结果，宜采取剔凿或钻芯验证。

1 局部取芯破检验证时，对普通钢筋和预应力筋应准确定位，避免损伤普通

钢筋和预应力筋。

2 对经剔凿或钻芯位置的混凝土内部缺陷，应标记并采集影像记录，并对无损检测结果进行修正。

3 混凝土内部缺陷检测结果，应绘制缺陷展开图。

征求意见稿

11 预应力管道注浆密实度检测

11.1 一般规定

11.1.1 本章适用于混凝土桥梁结构预应力管道注浆密实度检测。

11.1.2 新建桥梁结构预应力体系检测除管道注浆密实度检测外，还应包括有效预应力的检测。

11.1.3 混凝土桥梁结构预应力管道注浆密实度检测数量应符合下列规定：

1 对于新建混凝土桥梁结构，应满足如下要求：

(1) 预制梁（板），抽检梁（板）数不应少于预制梁（板）总数的 10%，且每座桥梁不应少于 3 片；每片受检梁（板）的所有预应力管道均应进行检测。

(2) 现浇预应力梁（板）桥，抽检预应力管道数不应少于管道总数的 5%，且不应少于 5 孔。

(3) 若存在注浆密实度为 III、IV 类的情况，应加大抽检比例，直至全检。

2 对于已建成桥梁，应根据实际情况确定。

11.1.4 对于新建混凝土桥梁结构，应在预应力管道注浆完成 48h 后再进行注浆密实度检测。

11.1.5 混凝土桥梁结构预应力管道注浆密实度等级应按表 11.1.5 划分。

表 11.1.5 预应力管道注浆密实度等级分类表

密实度等级	主要特征
I 类	注浆密实，可正常使用
II 类	注浆基本密实，有轻度缺陷，不影响正常使用
III 类	注浆存在明显缺陷，应进行局部处治
IV 类	注浆存在严重缺陷，应进行整体处治

11.2 方法选择

11.2.1 本标准所涉及的检测方法包括全长普查法和侧面扫查法两类。检测方法应根据检测目的、检测条件和工程需要按表 11.2.1 确定。

表 11.2.1 预应力管道注浆密实度无损检测方法

检测方法		检测内容	适用条件
全长普查 类方法	声波透射法	注浆密实度	两端均未封锚
	声波反射法	注浆密实度、缺陷定位	至少一端未封锚
侧面扫查 类方法	声波剖面法	缺陷定位	至少一端未封锚
	冲击回波法	缺陷定位	/
	地质雷达法	注浆密实度、缺陷定位	非金属预应力孔道

11.2.2 对于新建桥梁，应先采用全长普查法快速检测预应力管道注浆密实度，评价管道注浆密实度等级。当密实度等级为Ⅰ类或Ⅱ类时，可直接出具检测报告；当注浆密实度等级为Ⅲ类或Ⅳ类时，应采用侧面扫查法进行缺陷定位检测，便于开孔验证及后期处治。

11.2.3 对于已建成桥梁，非金属波纹管宜选用地质雷达法检测；金属波纹管宜选用冲击回波法进行检测。

11.2.4 可根据需要选择适当部位对注浆密实度检测结果作破损检查验证。

11.3 检测要求

11.3.1 仪器设备要求

1 声波类仪器设备要求：

(1) 激振设备可选用线性调频震源、超磁致伸缩震源、击振锥或击振锤；宜优先选用可控震源。

(2) 接收传感器频率响应范围宜在 10Hz～25kHz，宜选用加速度型传感器或速度型传感器，可通过强力磁座方式耦合。

(3) 信号采集器应具有现场显示、输入检测参数、保存实测波形信号的功能，宜有对现场检测信号进行分析处理、与计算机进行无线数据通信的功能；

(4) A/D 转换位数应不低于 16 位，最小采样间隔应不大于 10μs，采集器应不少于 2 个通道。

2 地质雷达仪器要求：

(1) A/D 转换位数应不低于 16 位；应具有信号叠加、实时滤波、点测和连续测量、位置标记等功能；

(2) 宜采用 900MHz 以上的高频天线。

11.3.2 全长普查法检测应按如下规定进行：

1 受检预应力构件和检测现场应符合下列规定：

(1) 锚头外露预应力筋长度不应超过 100mm，且外露预应力筋截面平整、外表清洁；

(2) 对于锚头已封锚的，检测前应先凿开封堵混凝土，清洁预应力筋和锚具端头；

(3) 检测现场附近不应有机械振动、电焊作业等对检测数据有明显干扰的施工作业。

2 声波透射法检测应符合下列规定：

(1) 应按图 11.3.2-1 所示，一端激发，另一端接收；在两端均布置传感器，每次激振可获取两组波形数据；

(2) 传感器宜布置在锚具表面的中心部位；激发装置宜布置在钢绞线端头；

(3) 应保持激发传感器、接收传感器与锚头耦合良好。

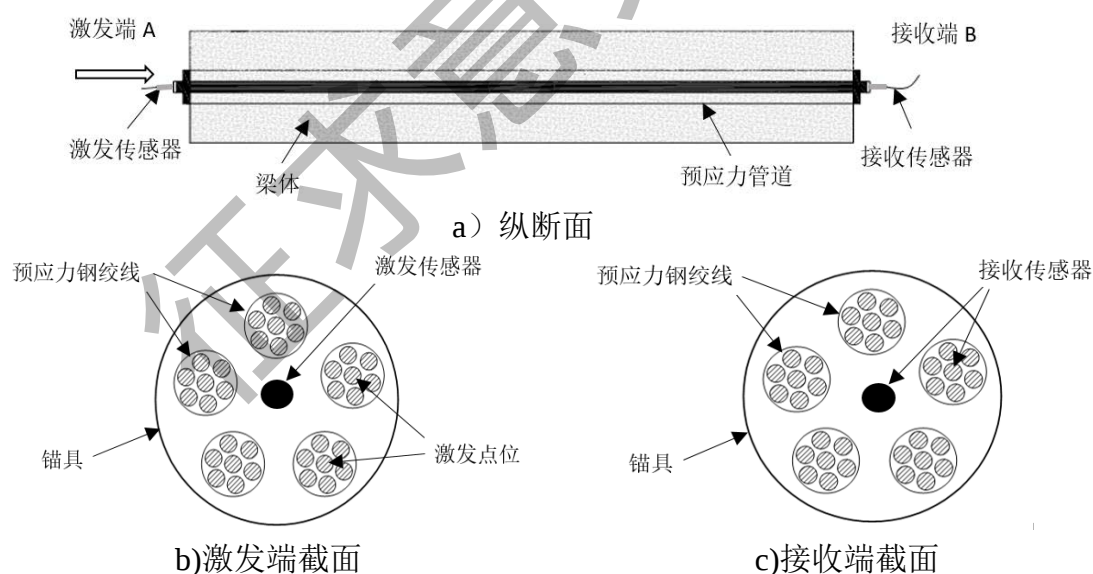


图 11.3.2-1 声波透射法检测工作布置示意图

3 声波反射法现场检测应符合下列规定：应按图 11.3.2-2 所示，在同一端激发、接收；只需在激振一端布置传感器，每次激振可获取一组波形数据。

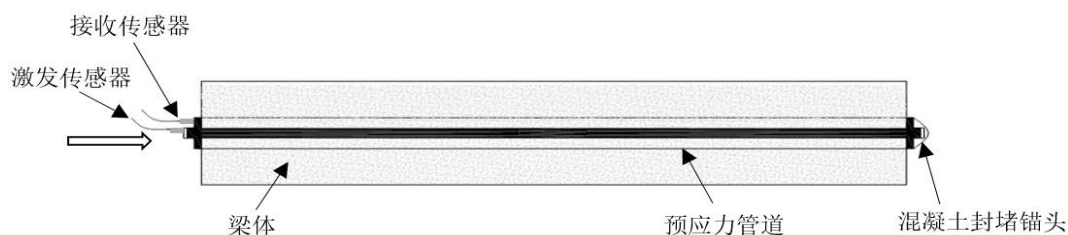


图 11.3.2-2 声波反射法检测工作布置示意图

5 全长普查检测法数据采集和记录，应符合下列规定：

(1) 信号记录长度应根据预应力管道长度合理选用，声波透射法信号记录长度不宜小于 $2L/V$ ，声波反射法信号记录长度不宜小于 $3L/V$ ；

(2) 检测前应调试检测仪器设备，检查传感器与锚具耦合情况；正式采集前，应先试采集，确保仪器工作正常、参数设置正确；

(2) 对检测数据进行预判，如发现实测数据不正常，应重新采集；

(3) 同一激发点宜采集不少于 3 组一致性较好的实测数据；多次实测数据一致性较差时应分析原因、排除干扰，并增加检测次数；

(4) 填写《预应力管道注浆密实度检测记录表》（附录 P）。

11.3.3 侧面扫查法检测应按如下规定进行：

1 受检预应力构件和检测现场应符合下列规定：

(1) 根据设计和实际施工情况，在预应力构件侧面准确标出波纹管的投影位置，并沿测线等间距标出测点位置；

(2) 采用声波剖面法检测前应清理预应力锚具端头、钢绞线，保持其清洁、平整。

2 声波剖面法现场检测应符合下列规定：

(1) 应按图 11.3.3-1 所示，在端头激发，侧面接收。

(2) 侧面测点间距不宜大于 20cm；传感器应紧贴构件，可在传感器底座涂抹凡士林或黄油耦合。

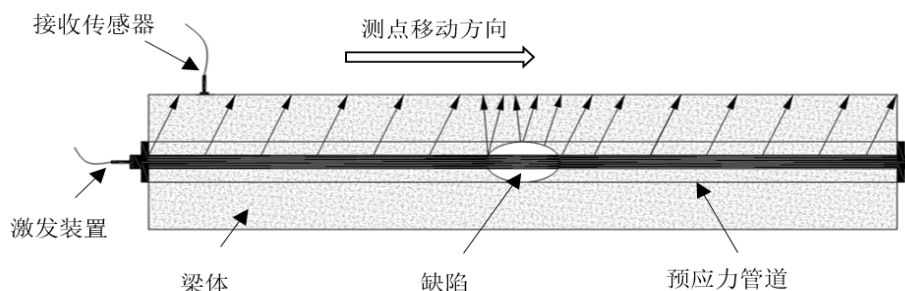


图 11.3.3-1 声波剖面法工作布置示意图

2 冲击回波法现场检测应符合下列规定：

- (1) 应按图 11.3.3-2 所示，在预应力构件侧面单点激发、单点接收；
- (2) 测点间距不宜大于 20cm，激发接收距离不宜大于 10cm；传感器应紧贴构件，可在传感器底座涂抹凡士林或黄油耦合。

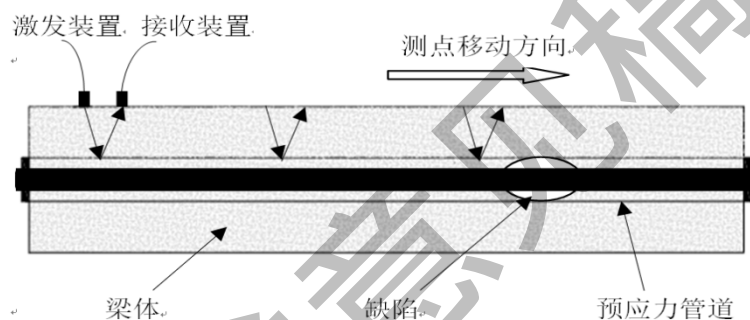


图 11.3.3-2 冲击回波法工作布置示意图

3 地质雷达法现场检测应符合下列规定：

- (1) 应按图 11.3.3-3 所示，地质雷达天线在侧面沿波纹管投影位置扫描检测；对异常段可采用垂直测线的方式详细检测。
- (2) 检测前应标定检测对象的介电常数；
- (3) 采集过程中观察信号是否正常，若周围存在较强的电磁干扰，应尽量排除，无法排除时要记录干扰源的位置和性质；
- (4) 检测过程中天线要严格按照测线移动，保持天线与混凝土表面耦合良好；
- (5) 回放地质雷达数据记录，检查标记是否齐全、准确，记录质量是否满足要求；数据不满足要求时应重新采集。

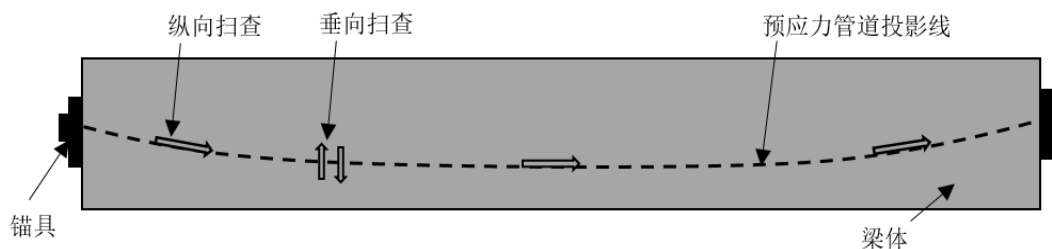


图 11.3.3-3 地质雷达法工作布置示意图

11.4 检测数据处理

11.4.1 全长普查法检测预应力管道注浆密实度宜按如下规定进行：

1 声波透射法检测数据处理

(1) 根据波形数据和波纹管长度计算波速、能量衰减、频率变化等参数；

(2) 选用单参数或多参数计算得出注浆密实度，宜优先选用人工智能神经网络分析方法；

(3) 按照表 11.4.3 评价注浆密实度等级。

2 声波反射法检测数据处理

(1) 通过波形分析、时频分析、谱能比分析等，圈定缺陷位置和长度；

(2) 统计缺陷累计长度，通过式 (11.4.3-2) 计算注浆密实度 D ；

(3) 按照表 11.4.3 评价注浆密实度等级。

11.4.2 侧面扫查法检测预应力孔道注浆密实度应按如下规定进行：

1 声波剖面法检测数据处理

(1) 宜先对采集数据进行滤波、频谱分析等处理；

(2) 沿预应力孔道绘制能量衰减曲线和频移曲线；

(3) 在曲线上圈定缺陷程度和范围，并绘制缺陷分布成果图；

(4) 统计缺陷累计长度，根据式 (11.4.3-2) 计算注浆密实度 D ；

(5) 按照表 11.4.3 评价注浆密实度等级。

2 冲击回波法检测数据处理

(1) 通过时频分析、小波分析等手段，圈定缺陷位置和长度；

(2) 统计缺陷累计长度，通过式 (11.4.3-2) 计算注浆密实度 D ；

(3) 按照表 11.4.3 评价注浆密实度等级。

3 地质雷达法检测数据处理

- (1) 根据检测记录表,对原始数据进行预处理;
- (2) 根据测线标记信息,按测线方向做归一化处理;
- (3) 对数据进行带通滤波、瞬态谱分析、偏移成像处理;
- (4) 分析地质雷达图像的同相轴特征、振幅特征、频率特征和相位特征等,判别和圈定缺陷;
- (5) 统计缺陷累计长度,根据式(11.4.3-2)计算注浆密实度 D ;
- (6) 按照表 11.4.3 评价注浆密实度等级。

11.4.3 注浆密实度评价

1 对于声波透射法,桥梁预应力管道注浆密实度宜通过建立多参数(或单参数)经验公式、人工智能神经网络的方法计算获取,见式(11.4.3-1)。

$$D = f(V, \eta, df, \dots) \quad (11.4.3-1)$$

式中:

- D ——注浆密实度;
- V ——波速 (km/s);
- η ——发射波与透射波能量衰减比例;
- df ——发射波与透射波主频频差 (Hz)。

2 对于除声波透射法外的本标准规定的其他方法,桥梁预应力孔道注浆密实度按式(11.4.3-2)计算:

$$D = \frac{L_d}{L} \times 100\% = \frac{L - L_u}{L} \times 100\% \quad (11.4.3-2)$$

式中:

- D ——注浆密实度;
- L ——预应力孔道长度 (m);
- L_d ——注浆密实段累计长度 (m);
- L_u ——注浆不密实段累计长度 (m)。

3 桥梁预应力管道注浆密实度等级按表 11.4.3 判定。

表 11.4.3 桥梁预应力管道注浆密实度等级判定表

密实度等级	特征	注浆密实度 D (%)	波速 V 参考范围 (m/s)
I 类	注浆密实, 可正常使用	$D \geq 95\%$	$V \leq 4400$
II 类	注浆基本密实, 有轻度缺陷, 不影响正常使用	$85\% \leq D < 95\%$	$4400 \leq V < 4500$
III 类	注浆存在明显缺陷, 应进行局部处治	$75\% \leq D < 85\%$	$4500 \leq V < 4600$
IV 类	注浆存在严重缺陷, 应进行整体处治	$D < 75\%$	$V > 4600$

附录 A 混凝土强度检测仪器使用要求

A.1 回弹仪

A.1.1 技术要求：

- 1 测定回弹值的仪器，可采用数字式的，也可采用指针直读式的。
- 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具制造许可证标志 CMC 及许可证证号等。
- 3 回弹仪应符合下列标准状态的要求：
 - （1）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；
 - （2）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；
 - （3）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）数字式回弹仪应带有指针直读示值系统；数字显示的回弹值与指针直读示值相差不应超过 1。
- 4 回弹仪使用时的环境温度应为 $-4\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

A.1.2 检定：

- 1 回弹仪具有下列情况之一时应送检定单位检定：
 - （1）新回弹仪启用前；
 - （2）超过检定有效期限（有效期为半年）；
 - （3）经常规保养后钢砧率定值不合格；
 - （4）数字式回弹仪数字显示的回弹值与指针直读示值相差大于 1；
 - （5）遭受严重撞击或其他损害。
- 2 回弹仪应由法定部门并按照国家现行标准《回弹仪》JJG817 对回弹仪进行检定。
- 3 回弹仪在工程检测前后，应在钢砧上作率定试验，回弹仪率定所用钢砧应每 2 年送授权计量检定机构检定或校准。
- 4 回弹仪率定试验宜在干燥、室温为 $5\sim 35^{\circ}\text{C}$ 的条件下进行。率定时，钢砧应稳固地平放在刚度大的物体上。测定回弹值时，取连续向下弹击三次的稳定回

弹平均值。弹击杆应分四次旋转，每次旋转宜为 90° 。弹击杆旋转一次的率定平均值应为 80 ± 2 。

A.1.3 回弹仪的保养：

1 回弹仪具有下列情况之一时，应进行常规保养：

- (1) 弹击超过 2000 次；
- (2) 对检测值有怀疑时；
- (3) 在钢钻上的率定值不合格。

2 常规保养应符合下列规定：

- (1) 使弹击锤脱钩后取出机芯，然后卸下弹击杆，取出里面的缓冲压簧，并取出弹击锤、弹击拉簧和拉簧座；
- (2) 机芯各零部件应进行清洗，重点清洗中心导杆、弹击锤和弹击杆的内孔和冲击面。清洗后应在中心导杆上薄薄涂抹钟表油，其他零部件均不得抹油；
- (3) 应清理机壳内壁，牌子下刻度尺，并应检查指针，其磨擦力应为 $0.5 \sim 0.8\text{N}$ ；
- (4) 不得旋转尾盖上已定位紧固的调零螺丝，不得自制或更换零部件；
- (5) 对于数字式回弹仪，还应按产品要求的维护程序进行维护；
- (6) 保养后应按本规程 A1.2 条 4 的要求进行率定试验。

3 回弹仪使用完毕后应使弹击杆伸出机壳，清除弹击杆、杆前端球面、以及刻度尺表面和外壳上的污垢、尘土。回弹仪不用时，应将弹击杆压入仪器内，经弹击后方可按下按钮锁住机芯，将回弹仪装入仪器箱，平放在干燥阴凉处。

A.2 超声波检测仪器

A.2.1 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，1 小时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 $10 \sim 200\text{kHz}$ ， $200 \sim 500\text{kHz}$ 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 1 米。
- 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 4 小时正常工作。

A.2.2 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 $50\sim 100\text{kHz}$ 范围以内。
- 3 换能器实测频率与标称频率相差应不大于 $\pm 10\%$ 。

A.2.3 超声波检测仪器检验和操作

1 超声仪器检验时应满足下列要求：① 缓慢调节延时旋钮，数字显示满足十进位递变的要求；② 调节聚焦、辉度和扫描延时旋钮，扫描基线清晰稳定；③ 换能器与标准棒耦合良好，衰减器及发射电压正常；④ 超声波在空气中传播的计算声速与实测声速值相比，相差不大于 $\pm 0.5\%$ 。

2 超声仪器应按下列步骤进行操作：① 操作前应仔细阅读仪器使用说明书；② 仪器在接通电源前，应检查电源电压，接上电源后，仪器宜预热 10 分钟；③ 换能器与标准棒应耦合良好，调节首波幅度至 $30\sim 40\text{mm}$ 后测读声时值。有调零装置的仪器，应调节调零电位器以扣除初读数；④ 在实测时，接收信号的首波幅度均应调至 $30\sim 40\text{mm}$ 后，才能测读每个测点的声时值。

A.2.4 检测仪器维护

1 超声仪应按下列规定进行维护：① 如仪器在较长时间内停用、每月应通电一次，每次不小于 1 小时；② 仪器需存放在通风、阴凉、干燥处，无论存放或工作，均需防尘；③ 在搬运过程中须防止碰撞和剧烈振动。

2 换能器应避免摔损和撞击，工作完毕应擦拭干净，单独存放。换能器的耦合面应避免磨损。

附录 B 专用测强曲线的制定方法

B.1 回弹法检测混凝土抗压强度专用测强曲线的制定

B.1.1 制定专用测强曲线的试件应与欲测结构或构件在原材料 (含品种、规格)的成型工艺与养护方法等方面条件相同。

B.1.2 试件的制作、养护应符合下列规定:

1 按最佳配合比设计 5 个强度等级,每一强度等级每一龄期制作 6 个 150mm 立方体试件,同一龄期试件宜在同一天内成型完毕。

2 在成型 24 小时后,应将试件移至与被测结构或构件相同的条件下养护,试件拆模日期宜与结构或构件的拆模日期相同。

B.1.3 试件的测试应符合下列规定:

1 到达龄期的试件表面应擦净,以浇筑侧面的两个相对面置于压力机的上下承压板之间,加压 60~100kN(低强度试件取低值加压)。

2 在试件保持 60~100kN 的压力下,用符合附录 A 规定的标准状态的回弹仪进行弹击操作,在试件的另外两个相对侧面上分别选择均匀分布的 8 个点;测量回弹值时,回弹仪轴线应始终垂直于混凝土检测面,并缓慢施压、准确读数、快速复位。

3 从每一试件的 16 个回弹值分别剔除其中 3 个最大值和 3 个最小值,然后再求余下的 10 个回弹值的平均值 (计算精确至 0.1),作为该试件的平均回弹值 R_m 。

4 将试件加荷直至破坏,然后计算试件的抗压强度值 f_{cu} (MPa),精确至 0.1Mpa。

5 按本规程第 9.3 节的规定在破坏后的试块边缘测量该试块的平均碳化深度值。

B.1.4 专用测强曲线的计算应符合下列规定:

1 专用测强曲线的回归方程式,应按每一试件求得的 R_m 、 d_m 和 f_{cu} 数据,采用最小二乘法原理计算。

2 回归方程宜采用下式:

$$f_{cu}^c = aR_m^b \cdot 10^{cd_m} \quad (\text{B.1-1})$$

3 用下式计算回归方程式的强度平均相对误差 δ 和强度相对标准差 e_r ，当 δ 和 e_r 均符合平均相对误差(δ)不应大于 $\pm 12.0\%$ ，相对标准差(e_r) 不应大于 $\pm 14.0\%$ 的规定时，即可报请上级主管部门审批。

$$\delta = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{f_{cu,i}^c}{f_{cu,i}} - 1 \right| \times 100\% \quad (\text{B.1-2})$$

$$e_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{cu,i}^c}{f_{cu,i}} - 1 \right)^2}{n-1}} \times 100\% \quad (\text{B.1-3})$$

式中 δ —回归方程式的强度平均相对误差(%), 精确至 0.1;

e_r —回归方程式的强度相对标准差(%), 精确至 0.1;

$f_{cu,i}$ —由第 i 个试件抗压试验得出的混凝土抗压强度值, 精确至 0.1MPa;

$f_{cu,i}^c$ —由同一试件的平均回弹值 R_m 及平均碳化深度值 d_m 按回归方程式算出的混凝土的强度换算值, 精确至 0.1MPa ;

n —制定回归方程式的试件数。

B.1.5 当需制定具有较宽龄期范围的专用测强曲线时，应在试验及回归分析时引入碳化深度变量，并求得碳化深度修正系数。

B.2 超声回弹综合法检测混凝土抗压强度专用测强曲线的制定

B.2.1 建立专用或地区混凝土强度曲线的基本要求

- 1 采用中型回弹仪，并应符合附录 A 的各项要求。
- 2 采用低频超声波检测仪和换能器，并应符合附录 A 的各项要求。

3 混凝土用水泥应符合现行国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》和《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥》和《复合硅酸盐水泥》的要求，混凝土用砂、石应符合现行部标准《普通混凝土用砂石质量标准及检验方法》的要求。

4 选用本地区常用水泥、粗骨料、细骨料,按最佳配合比制作混凝土强度等级为 C10~C50 的边长为 150mm 立方体试块。

B.2.2 试块试验应按下列步骤进行:

- 1 试模应采用符合相关标准要求的钢模；
- 2 每种混凝土强度等级的试件数宜为 21 块，采用同一盘混凝土均匀装模振动成型。
- 3 试件拆模后如系自然养护，宜先放置在水池或湿砂堆中养护 7d，然后按品字形堆放在不受日晒雨淋处，备在各龄期测试用；如用蒸汽养护，则试块静停时间和养护条件应与构件预期的相同。
- 4 试件的测试龄期宜分为 7d、14d、28d、60d、90d、180d 和 365d。
- 5 对同一强度等级的混凝土，每一龄期的每组由 3 个试件组成。

B.2.3 试块声时值测试，应按下列规定进行：

- 1 试块声时测量，应取试块浇筑方向的侧面为测试面，宜采用黄油为耦合剂。
- 2 声时测量应采用对测法，在一个相对测试面上测 3 点（测点布置见图 B.2），发射和接收换能器轴线应在一轴线上，试块声时值 t_m 为 3 点平均值，保留小数点后一位数字。试块边长测量精确至 1mm，测量误差不大于 1%。

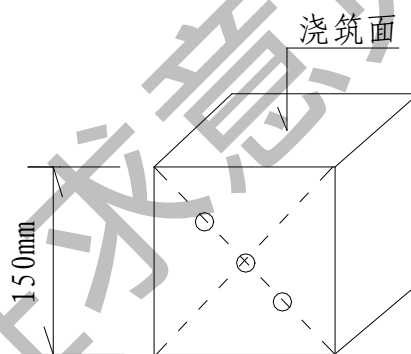


图 B.2 声时测量测点布置示意

- 3 试块的声速值应按下列式计算：

$$v_a = l / t_m \quad (\text{B.2-1})$$

式中 v_a — 试块声速值 (km/s)；

l — 超声测距 (mm)；

t_m — 试块平均声时值 μs 。

B.2.4 试块回弹值应按下列规定进行测试：

- 1 回弹值测量应选用不同于声时测量的另一相对侧面。将试块油污擦净放置在压力机上下承压板之间，加压至 30~50kN，并在此压力下，在试块相对测试面上按标准 4.3.2 的有关规定各测 8 点回弹值，剔除 3 个最大和最小值，将余下 10

个回弹值的平均值作为该试块的回弹值 R_a ，计算精确至 0.10。

2 回弹值测试完毕后卸荷，将回弹面放置在压力承压板间，以每秒 $6 \pm 4 \text{ kN}$ 的速度连续均匀加荷至破坏。试块抗压强度值 f_{cu} ，精确至 0.1MPa。

B.2.5 测强曲线应按下述步骤进行计算：

1 将各试块测试所得的声速值 v_a 、回弹值 R_a 及试块抗压强度值 f_{cu} 汇总，进行多元回归分析和误差分析。

2 回归分析时，可采用下列回归方程式：

$$f_{cu} = a \cdot (v_a)^b \cdot (R_a)^c \quad (\text{B.2-2})$$

式中 f_{cu} —混凝土强度换算值，MPa；

a —常数项系数；

b 、 c —回归系数。

相对标准差 e_r 可按下式计算：

$$e_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{cu,i}}{f_{cu,i}^c} - 1 \right)^2}{n-1}} \times 100\% \quad (\text{B.2-3})$$

式中： e_r —相对标准差；

$f_{cu,i}$ —第 i 个立方体试块抗压强度，MPa；

$f_{cu,i}^c$ —对应于 i 个立方体试块按 B.2-2 式计算的强度换算值，MPa；

B2.6 经上述计算，如回归方程式的误差符合：专用测强曲线，相对标准差 $e_r \leq \pm 12\%$ ；地区测强曲线，相对标准差 $e_r \leq \pm 14\%$ 。则可报请有关部门批准，作为专用或地区测强曲线。

附录 C 用回弹—取芯综合法检测桥梁结构混凝土强度的方法

C.1 对已使用多年的混凝土桥梁结构，宜采用回弹—取芯综合法检测其混凝土强度。

C.2 检测时，应先按本标准有关的要求，在结构或构件或关键控制部位布置测区，用回弹法检测各测区的混凝土换算强度值，然后根据本附录要求进行钻芯修正。

C.3 钻取的芯样数量应符合下列规定：

C.3.1 直径 100mm 芯样试件的数量不应少于 6 个，小直径芯样试件的数量不应少于 9 个；

C.3.2 钻取芯样的位置应与回弹测区重合，当确有困难时，可布置在相应测区附近；如果用在桥梁结构次要构件上钻取芯样进行代替时，应对拟钻芯部位布置测区，用回弹法检测各测区的混凝土换算强度值。

C.4 芯样应在结构或构件的下列部位钻取：

C.4.1 结构或构件受力较小的部位；

C.4.2 混凝土强度质量具有代表性的部位；

C.4.3 便于钻芯机安放与操作的部位；

C.4.4 避开主筋、预埋件和管线的位置，并尽量避开其它钢筋。

C.5 抗压芯样试件宜使用直径为 100mm 的芯样，且其直径不宜小于骨料最大粒径的 3 倍；也可采用小直径芯样，但其直径不应小于 70mm 且不得小于骨料最大粒径的 2 倍。

C.6 钻取芯样的主要设备及其技术要求：

C.6.1 钻取芯样及芯样加工的主要设备、仪器、均应具有产品合格证。

C.6.2 钻芯机应具有足够的刚度、操作灵活、固定和移动方便，并应有水冷却系统。钻芯机主轴的径向跳动不应超过 0.1mm，工作时噪音不应大于 90dB。

C.6.3 钻取芯样时宜采用内径 100mm 或 150mm 的金刚石或人造金刚石薄壁钻头。钻头胎体不得有肉眼可见的裂缝、缺边、少角、倾斜及喇叭口变形。钻头胎体对钢体的同心度偏差不得大于 0.3mm，钻头的径向跳动不得大于 1.5mm。

C.6.4 锯切芯样用的锯切机，应具有冷却系统和牢固夹紧芯样的装置，配套使用的人造金刚石圆锯片应有足够的刚度。

C.6.5 芯样宜采用补平装置(或研磨机)进行端面加工。补平装置除保证芯样的端面平整外，尚应保证端面与轴线垂直。

C.6.6 探测钢筋位置的磁感仪，应适用于现场操作，其最大探测深度不应小于 60mm，探测位置偏差不宜大于 $\pm 5\text{mm}$ 。

C.7 芯样钻取，应按下述规定进行：

C.7.1 钻芯机就位并安放平稳后，应将钻机固定，以便工作时不致产生位置偏移。固定的方法应根据钻芯机构造和施工现场的具体情况，分别采用顶杆支撑、配重、真空吸附或膨胀螺栓等方法。

C.7.2 钻芯机在未安装钻头之前，应先通电检查主轴旋转方向(三相电动机)。当旋转方向为顺时针时，方可安装钻头。钻芯机主轴的旋转轴线，应调整到与被钻取芯样的混凝土表面相垂直。

C.7.3 钻芯机接通水源、电源后，拨动变速钮调到所需转速。正向转动操作手柄使钻头慢慢接触混凝土表面，待钻头刃部入槽稳定后方可加压。进钻到预定深度后，反向转动操作手柄，将钻头提升到接近混凝土表面，然后停电停水。

C.7.4 钻芯时用于冷却钻头和排除混凝土料屑的冷却水流量宜为 3~5L/min，出口水温不宜超过 30℃。

C.7.5 从钻孔中取出的芯样在稍微晾干后，应标上清晰的标记。若所取芯样的高度及质量不能满足本附录第 C.8.6 条的要求，则应重新钻取芯样。芯样在运送前应仔细包装，避免损坏。

C.7.6 结构或构件钻芯后所留下的孔洞应及时进行修补，以保证其正常工作。

C.7.7 工作完毕后，应及时对钻芯机和芯样加工设备进行维修保养。

C.8 芯样加工及技术要求

C.8.1 芯样抗压试件的高度和直径之比宜为 1。

C.8.2 采用锯切机加工芯样试件时，应将芯样固定，并使锯切平面垂直于芯样轴线。锯切过程中应冷却人造金刚石圆锯片和芯样。

C.8.3 芯样试件内不宜含有钢筋，也可有一根直径不大于 10mm 的钢筋，且钢筋应与芯样的轴线垂直并离开端面 10mm 以上。

C.8.4 锯切后的芯样，宜采用以下方法进行端面处理。

抗压芯样试件的端面处理，可采取在磨平机上磨平端面的处理方法，也可采用硫磺胶泥或环氧胶泥补平，补平层厚度不宜大于 2mm，抗压强度低于 30MPa 的芯样试件，不宜采用磨平端面的处理方法；抗压强度高于 60MPa 的芯样试件，不宜采用硫磺胶泥或环氧胶泥补平的处理方法。

C.8.5 试验前应对芯样的几何尺寸作如下测量：

- 1 平均直径：用游标卡尺在芯样试件上部、中部和下部相互垂直的两个位置上共测量六次，取测量的算术平均值作为芯样试件的直径，精确至 0.5mm；
- 2 芯样高度：用钢卷尺或钢板尺进行测量，精确至 1.0 mm。
- 3 垂直度：用游标量角器测量芯样试件两个端面与母线的夹角，取最大值作为芯样试件的垂直度，精确至 0.1°。
- 4 平整度：用钢板尺或角尺紧靠在芯样试件承压面（线）上，一面转动钢板尺，一面用塞尺测量钢板尺与芯样试件承压面（线）之间的缝隙，取最大缝隙为芯样试件的平整度；也可采用其它专用设备测量。

C.8.6 芯样尺寸偏差及外观质量超过下列数值时，不得用作抗压强度试验：

- 1 抗压芯样试件的实际高径比（ H/d ）小于要求高径比的 0.95 或大于 1.05；
- 2 沿芯样试件高度任一直径与平均直径相差超过 1.5mm；
- 3 抗压芯样试件端面的不平整度在每 100mm 长度内超过 0.1mm 时；
- 4 抗压芯样试件端面与轴线的不垂直度超过 1° 时；
- 5 芯样有较大缺陷。

C.9 芯样抗压强度试验

C.9.1 芯样试件的抗压试验应按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 中对立方体试块抗压试验的规定进行。

C.9.2 芯样试件宜在与被检测结构或构件混凝土湿度基本一致的条件下进行抗压试验。如结构工作条件比较干燥，芯样试件应以自然干燥状态进行试验，如结构工作条件比较潮湿，芯样试件应以潮湿状态进行试验。

C.9.3 按自然干燥状态进行试验时，芯样试件在受压前应在室内自然干燥 3 天，按潮湿状态进行试验时，芯样试件应在 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的清水中浸泡 40~48 小时，从水中取出后去除表面水渍，并立即进行抗压试验。

C.10 芯样混凝土强度的计算

C.10.1 芯样试件的混凝土换算强度值，应按下列公式计算：

$$f_{cu,cor} = \beta_c F_c / A_c \quad (\text{C.10-1})$$

式中 $f_{cu,cor}$ — 芯样试件抗压强度值 (MPa)，精确至 0.1MPa；

A_c — 芯样试件抗压截面面积 (mm^2)；

β_c — 芯样试件混凝土强度换算系数，取 1.0。

C.10.2 当有可靠试验依据时，芯样试件强度换算系数 β_c 也可根据混凝土原材料和施工工艺情况通过试验确定。

C.11 混凝土强度的推定

C.11.1 钻芯修正后的混凝土换算强度可按 C.11-1 计算，修正量 Δf 可按 C.11-2 计算：

$$f_{cu,i0}^c = f_{cu,i}^c + \Delta f \quad (\text{C.11-1})$$

$$\Delta f = f_{cu,cor,m} - f_{cu,mi}^c \quad (\text{C.11-2})$$

式中 $f_{cu,i0}^c$ — 修正后的换算强度 (MPa)，精确至 0.1 MPa；

$f_{cu,i}^c$ — 修正前的换算强度 (MPa)，精确至 0.1 MPa；

Δf —修正量 (MPa), 精确至 0.1 MPa;

$f_{cu,cor,m}$ —芯样试件抗压强度平均值 (MPa), 精确至 0.1 MPa;

$f_{cu,mi}^c$ —所用间接测量方法对应芯样测区的换算强度的算术平均值 (MPa), 精确至 0.1 MPa。

征求意见稿

附录 D 用超声回弹综合法结合取芯检测桥梁结构混凝土强度的方法

D.1 检测时，应先按本规范有关章节的要求，在结构或构件或关键控制部位布置测区，用超声回弹综合法检测各测区的混凝土换算强度值。然后根据本附录要求进行钻芯修正。

D.2 钻取的芯样数量及取芯位置应符合下列规定：

D.2.1 直径 100mm 芯样试件的数量不应少于 6 个，小直径芯样试件的数量不应少于 9 个；

D.2.2 钻取芯样的位置应与回弹测区重合，当确有困难时，可布置在相应测区附近；如果用在桥梁结构次要构件上钻取芯样进行代替时，应对拟钻芯部位布置测区，用超声回弹综合法检测各测区的混凝土换算强度值。

D.3 芯样的抗压试验，芯样混凝土换算强度值计算，应按附录 C 的有关规定进行。

D.4 混凝土强度的推定

D.5.1 钻芯修正后的混凝土换算强度可按 D.4-1 计算，修正量 Δf 可按 D.4-2 计算：

$$f_{cu,i0}^c = f_{cu,i}^c + \Delta f \quad (\text{D.4-1})$$

$$\Delta f = f_{cu,cor,m} - f_{cu,mi}^c \quad (\text{D.4-2})$$

式中 $f_{cu,i0}^c$ —修正后的换算强度 (MPa)，精确至 0.1 MPa；

$f_{cu,i}^c$ —修正前的换算强度 (MPa)，精确至 0.1 MPa；

Δf —修正量 (MPa)，精确至 0.1 MPa；

$f_{cu,cor,m}$ —芯样试件抗压强度平均值 (MPa)，精确至 0.1 MPa；

$f_{cu,mi}^c$ —所用间接测量方法对应芯样测区的换算强度的算术平均值 (MPa)，精确至 0.1 MPa。

附录 E 钢筋保护层测试仪核查方法及钢筋保护层厚度现场检测记录表

E.1 核查试件的制作

E.1.1 制作核查试件的材料不得对钢筋探测仪产生电磁干扰，应采用无磁性材料。

E.1.2 制作核查试件时，宜将钢筋预埋件在核查试件中，钢筋埋置时两端应露出试件，长度宜为 50mm 以上。试件表面应平整，钢筋轴线应平行于试件表面，从试件 4 个侧面量测其钢筋的埋置深度应不同，并且同一钢筋两外露端轴线至试件同一表面的垂直距离差应在 0.5mm 之内。

E.1.3 核查试件尺寸、钢筋公称直径和钢筋保护层厚度可根据钢筋探测仪的量程进行设置，并应与工程中被检钢筋的实际参数基本相同。

E.2 核查项目及指标要求

E.2.1 应对钢筋间距、保护层厚度和公称直径 3 个检测项目进行核查。

E.2.2 核查项目的指标应满足 5.3.1 中第 2 条的要求。

E.3 核查步骤

E.3.1 应在核查试件各测试表面标记出钢筋的实际轴线位置，用游标卡尺量测两外露钢筋在各测试面上的实际保护层厚度值，取其平均值，精确至 0.1mm。

E.3.2 应采用游标卡尺量测钢筋直径，精确值 0.1mm，并通过相关的钢筋产品标准查出其对应的公称直径。

E.3.3 核查时，钢筋探测仪探头应在核查试件上进行扫描，并标记出仪器所指定的钢筋轴线，应采用直尺量测试件表面钢筋探测仪所测定的钢筋轴线与实际钢筋轴线之间的最大偏差。记录钢筋探测仪指示的保护层厚度检测值。对于具有钢筋公称直径检测功能的钢筋探测仪，应进行钢筋公称直径检测。

E.3.4 钢筋探测仪检测值和实际量测值的对比结果符合 5.3.1 中第 2 条的要求时，应判定钢筋探测仪合格。当部分项目指标以及一定量程范围内符合 5.3.1

中第 2 条要求时，应判定其相应部分合格，但应限定钢筋检测仪的使用范围，并应指明其符合的项目和量程范围以及不符合的项目和量测范围。

钢筋保护层厚度检测记录表

检测机构名称：

记录编号：

工程名称				委托编号								
构件名称				检测日期								
检测依据												
检测条件												
仪器设备及编号												
保护层厚度 (mm)												
测区	设计值	测点编号	1	2	3	4	5	6	7	8	...	n
		实测值 1										
		实测值 2										
测区	设计值	测点编号	1	2	3	4	5	6	7	8	...	n
		实测值 1										
		实测值 2										
测区	设计值	测点编号	1	2	3	4	5	6	7	8	...	n
		实测值 1										
		实测值 2										
示意图												
备注：												

检测：

复核：

日期：

年

月

日

附录 F 钢筋锈蚀电位现场检测记录表

钢筋锈蚀电位检测记录表

检测机构名称：

记录编号：

工程名称				委托编号		
工程地点				检测日期		
构件名称				构件描述		
环境条件				环境温度		
检测依据						
仪器名称及编号						
检测部位	测点 编号	电位值 (mV)	测点 编号	电位值 (mV)	测点 编号	电位值 (mV)
检测部位示意图						
备注						

检测：

复核：

日期：

年

月

日

附录 G 混凝土电阻率现场检测记录表

混凝土电阻率检测记录表

检测机构名称：

记录编号：

工程名称		委托编号		
构件名称		检测依据		
环境条件		检测日期		
仪器设备及编号		电极间距		
检测部位	测点电阻率实测值 ($\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$)			
	1	2	3	4
	5	6	7	8
	9	10	11	12
测区示意图：				
备注：				

检测：

复核：

日期： 年 月 日

附录 H 二次微商法计算硬化混凝土中氯离子百分含量实例及混凝土中氯离子含量现场检测记录表

H.1 硝酸银浓度的标定

硝酸银浓度标定记录格式见表 H.1。

表 H.1 硝酸银浓度记录格式

加入 20ml 0.0141mol/L 氯化钠溶液				加入 20ml 蒸馏水 (空白试验)			
滴加硝酸 银体积 V_{01}/mL	电势 E/mV	一级微商 $\Delta E/\Delta V$ (mV/mL)	二级微商	滴加硝酸 银体积 V_{02}/mL	电势 E/mV	一级微商 $\Delta E/\Delta V$ (mV/mL)	二级微商
20.20	240			0.10	238		
20.30	251	110		0.20	248	100	
20.40	264	130	200	0.30	261	130	300
20.50	276	120	-100	0.40	273	80	-500

计算：

$$V_{01} = 20.30 + 0.10 \times \frac{200}{200 + 100} = 20.37(\text{mL})$$

$$V_{02} = 0.20 + 0.10 \times \frac{300}{300 + 500} = 0.24(\text{mL})$$

$$C_{\text{AgNO}_3} = \frac{20.00 \times 0.0141}{20.37 - 0.24} = 0.0140(\text{mol/L})$$

H.2 硬化混凝土样品的试验

滴定样品试验记录格式见表 H.2。

以酸溶性氯离子含量试验为例：已知该批次混凝土每立方米质量为 2350kg/m³,水泥用量为 360kg/m³，检测中称取样品质量为 20.0345g

表 H.2 滴定样品记录格式

加入 20mL 待测溶液				加入 20mL (1+7) 硝酸溶液 (检测水溶性氯离子为 20mL 蒸馏水)			
滴加硝酸 银体积 V_1/mL	电势 E/mV	一级微商 $\Delta E/\Delta V$ (mV/mL)	二级微商	滴加硝酸 银体积 V_2/mL	电势 E/mV	一级微商 $\Delta E/\Delta V$ (mV/mL)	二级微商
5.60	213			0.10	144		
5.70	219	60		0.20	156	120	
5.80	228	90	300	0.30	170	140	200
5.90	235	70	-200	0.40	183	130	-100

计算:

$$V_2 = 0.20 + 0.10 \times \frac{200}{200 + 100} = 0.27(\text{mL})$$

$$V_1 = 5.70 + 0.10 \times \frac{300}{300 + 200} = 5.76(\text{mL})$$

$$W_{\text{cl}^-}^A = \frac{0.0140 \times (5.76 - 0.27) \times 0.03545 \times 2350 \times 5}{20.0345 \times 360} \times 100 = 0.444\%$$

征求意见稿

混凝土中氯离子含量检测记录表

检测机构名称:

记录编号:

工程名称				检测时间			
检测依据				检测环境			
检测仪器				检测部位			
硝酸银标准溶液浓度标定							
加入 20ml 0.0141mol/L 氯化钠溶液				空白试验			
滴加硝酸银体积	电势 E/mV	一级微商 $\Delta E/\Delta V$ (mV/mL)	二级微商	滴加硝酸银体积	电势 E/mV	一级微商 $\Delta E/\Delta V$ (mV/mL)	二级微商
消耗溶液质量 V_{01}/mL				消耗溶液质量 V_{02}/mL			
硝酸银标准溶液的浓度 C_{AgNO_3} (mol/L)							
混凝土氯离子含量的测定							
样品质量 (g)				测定氯离子种类		☐ 酸溶性氯离子含量 ☐ 酸溶性氯离子含量	
加入 20mL 待测溶液				空白试验			
滴加硝酸银体积	电势 E/mV	一级微商 $\Delta E/\Delta V$ (mV/mL)	二级微商	滴加硝酸银体积	电势 E/mV	一级微商 $\Delta E/\Delta V$ (mV/mL)	二级微商
V_1/mL				V_2/mL			
氯离子占混凝土用量的百分比 $W_{\text{cl}^-}^B$ (%)							
每立方米混凝土质量 W_B (kg)				每立方米混凝土水泥用量 W_S (kg)			
氯离子占水泥用量的百分比 $W_{\text{cl}^-}^A$ (%)							
备注:							

检测:

复核:

日期:

年

月

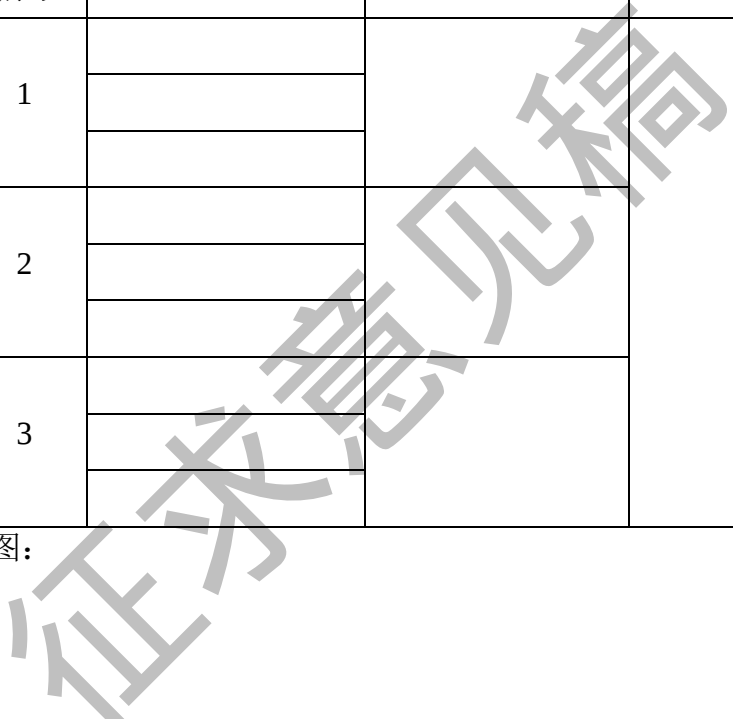
日

附录 I 混凝土碳化深度现场检测记录表

混凝土碳化深度检测记录表

检测机构名称：

记录编号：

工程名称			检测时间		
检测依据			检测环境		
检测仪器			检测部位		
检测数据					
测区编号	测孔 编号	碳化深度 (mm)	测点平均值 (mm)	测区平均值 (mm)	
	1				
	2				
	3				
测区布置示意图：					
					
备注：					

检测：

复核：

日期：

年

月

日

附录 J 超声单面平测法检测混凝土裂缝深度

J.1 当结构的裂缝部位只有一个可测表面，裂缝的估计深度不大于 500mm 且比被测构件厚度至少小 100mm 以上时，可采用单面平测法检测混凝土裂缝深度。

J.2 单面平测法检测混凝土裂缝深度时，裂缝受检部位的两侧均应具有清洁、平整且无裂缝的检测面，裂缝两侧的检测面宽度均不宜小于估计的缝深。被测裂缝表面应清洁、平整，缝中不得有积水或泥浆等。

J.3 平测时应在裂缝的被测部位，以不同的测距，按跨缝和不跨缝布置测点（布置测点时应避开钢筋的影响）进行测量。

J.4 单面平测法检测应按下列步骤进行：

J.4.1 不跨缝的声时测量：

将 T 和 R 换能器置于裂缝附近同一侧，以两个换能器内边缘间距 (l'_i) 等于 100 mm、150 mm、200mm、250mm.....分别读取 4 个以上的声时值(t_i)，绘制“时-距”坐标图（见图 J.4-1）或用回归分析的方法求出声时与测距之间的回归直线方程：

$$l_i = a + bt_i \quad (\text{J.4-1})$$

每测点超声实际传播的距离 l_i 为：

$$l_i = l'_i + |a| \quad (\text{J.4-2})$$

式中： l_i —第 i 点的超声实际传播距离(mm)；

l'_i —R、T 换能器内边缘间距(mm)；

t_i —与测距 l_i 对应的声时值 (μs)；

a —回归直线方程的常数项(mm)；

b —回归系数即平测法声速 V (km/s)。

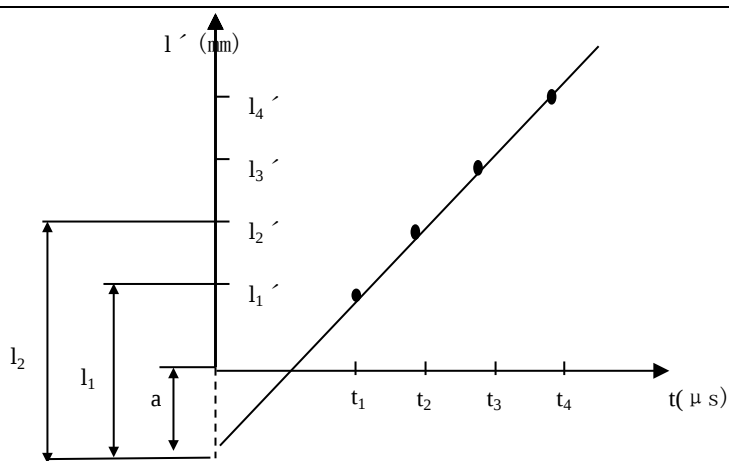


图 J.4-1 平测“时-距”

不跨缝平测的混凝土声速值为：

$$v = (l'_n - l'_1) / (t_n - t_1) \quad (\text{km/s}) \quad (\text{J.4-3})$$

$$\text{或 } v = b \quad (\text{km/s})$$

式中 l'_n, l'_1 --- 第 n 点和第 1 点的测距 (mm)；

t_n, t_1 --- 第 n 点和第 1 点读取的声时值 (μs)；

b --- 回归系数。

J.4.2 跨缝的声时测量：

如图 J.4-2 所示，将 T、R 换能器分别置于以裂缝为对称的两侧，以 $l' = 100、150、200、250、300\text{mm} \dots$ 分别测读声时值 t_i^0 ，同时观察首波相位的变化。

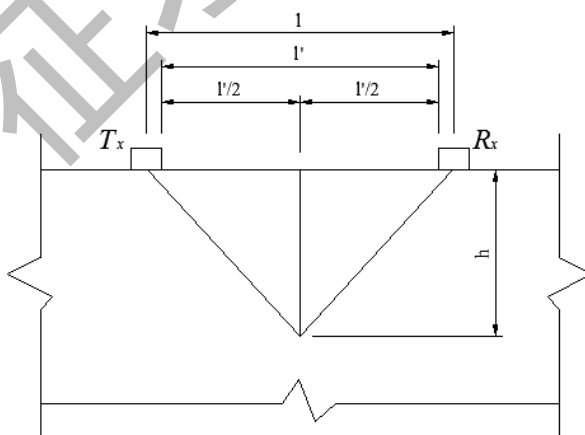


图 J.4-2 跨缝测试示意图

按式 (J.4-4) 分别计算对应不同测距 l_i 的裂缝深度 h_i ：

$$h_i = \frac{l_i}{2} \sqrt{\left(\frac{t_i^0 v}{l_i} \right)^2 - 1} \quad (\text{J.4-4})$$

$$h_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \quad (\text{J.4-5})$$

式中： h_i —第 i 点计算的裂缝深度值(mm)；

l_i —不跨缝平测时第 i 点的超声波实际传播距离(mm)；

t_i^0 —第 i 点跨缝平测的声时值(μs)；

v —裂缝区域的混凝土声速(km/s)；

h_m —各测点计算裂缝深度的平均值(mm)；

n —测点数。

J.5 按下列方法确定受检裂缝的深度：

1 跨缝测量中，当在某测距发现首波反相时，可用该测距及两个相邻测距的测量值按 (J.4-4) 式计算 h_{ci} 值，取此三点 h_{ci} 的平均值作为该裂缝的深度值(d_c)；

2 跨缝测量中，如难于发现首波反相，则以不同测距按 (J.4-4) 式、(J.4-5) 式计算 h_i 及其平均值 (h_m)。将各测距 l_i 与 h_i 相比较，凡测距 l_i 小于 h_i 和大于 $3h_i$ ，应剔除该组数据，然后取余下 h_i 的平均值，作为该裂缝的深度值(h)。

J.5.1 h_i 的极差应满足下列规定：

当 $h_i \leq 30\text{mm}$ 时，绝对极差 $\Delta_h \leq 10\text{mm}$ ；

当 $30\text{mm} < h_i < 300\text{mm}$ 时，相对极差 $\delta_{\Delta h} \leq 30\%$ ；

当 $h_i \geq 300\text{mm}$ 时，绝对极差 $\Delta_h \leq 90\text{mm}$ 。

$$\Delta_h = h_{\max} - h_{\min} \quad (\text{J.5-1})$$

$$\delta_{\Delta h} = \frac{\Delta}{h_i} \times \% \quad (\text{J.5-2})$$

$$m_h = \frac{h_{\max} + h_{\min}}{2} \quad (\text{J.5-3})$$

式中 $h_{\max}$ —最大裂缝深度计算值；

$h_{\min}$ —最小裂缝深度计算值。

J.5.2 当 h_i 不满足允许极差的要求, 在 $h_{\max}$ 和 $h_{\min}$ 二者中, 将偏离 h_m 较大的一个删除, 重新计算剩余 h_i 的极差, 直至满足允许极差的要求。

$$h_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \quad (\text{J. 5-4})$$

式中 h_m —各测点裂缝深度计算值的平均值 (mm);

n —测点数。

J.5.3 当剩余总测点数少于 2 个, 需要补充测点。

J.5.4 裂缝深度按式 (J.5-5) 计算:

$$h = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m h_i \quad (\text{J.5-5})$$

式中 m — h_i 极差满足要求的测点数。

附录 K 超声双面对测法检测混凝土裂缝深度

K.1 开口垂直裂缝，构件断面不大，在平行于裂缝的两侧面上用双面对测法检测裂缝深度。

K.2 双面对测法检测裂缝深度的具体检测方法和步骤如下：

- 1 在两个侧面上等距布置测点，并逐点测出声时值，见图 K-1a)。
- 2 绘制测点声时与距离的关系曲线见图 K-1b)。曲线 A 段的末端与 B 段的首端之距即为裂缝深度所在的区域。对这一区域再采用加密测点的方法，即可准确地确定裂缝深度 H_L 。
- 3 当两探头连线与裂缝平面相交时。随探头的移动，声时逐渐由长变短，未相交后声时不变。实际测量时只要有三个不变声点时点，即认为声时稳定。
- 4 由于裂缝中或多或少会有一些积水或其他能传播声波的夹杂物，采用这一方法所测得的裂缝深度往往小于实际深度。为了提高判断的准确性，一般需利用波高法作为辅助判据。当接收信号的波高明显下降，而且越来越低，不再上升时，即使声时没有明显增大，波高开始下降的点应判作裂缝深度。

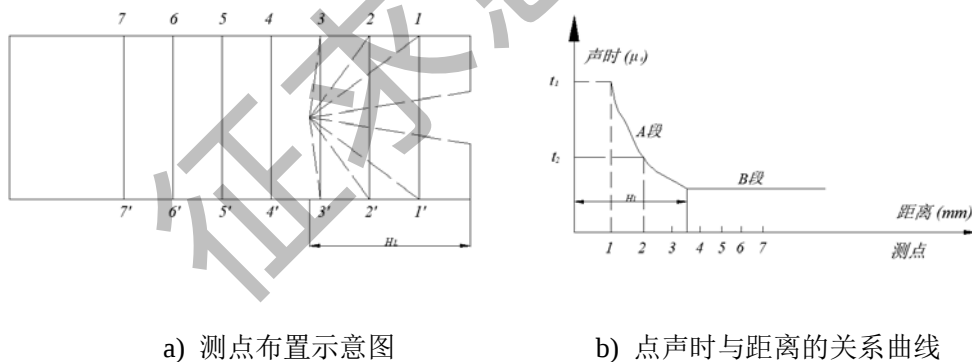


图 K-1 双面对测法检测开口垂直裂缝的深度示意图

附录 L 超声双面斜测法检测混凝土裂缝深度

L.1 当结构的裂缝部位具有两个相互平行的测试表面时，可按图 L-1 的方法采用双面穿透斜测法检测。

L.2 测点布置如图 L-1 所示，首先在保持 T、R 换能器的连线通过缝和不通过缝的测试距离相等、倾斜角一致的条件下，将 T、R 换能器分别置于两测试表面对应测点 1、2、3.....的位置，读取相应的声时 t_i 、波幅值 A_i 及主频率 f_i 。

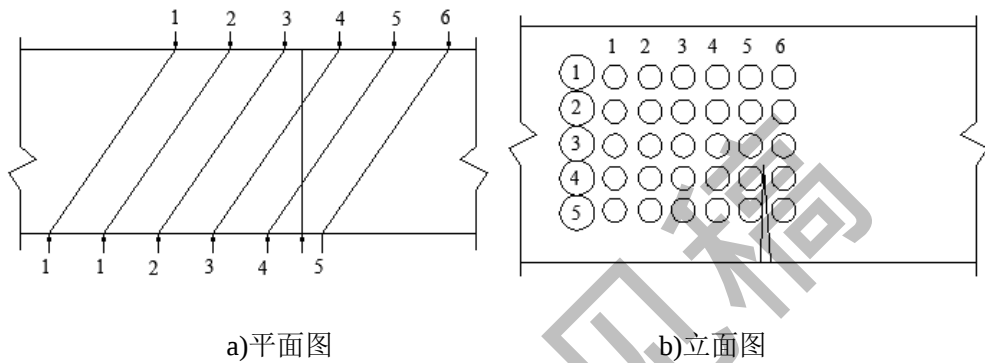


图 L-1 斜测裂缝测点布置示意图

L.3 裂缝深度判定：当 T、R 换能器的连线通过裂缝时，由于混凝土失去了连续性能而在裂缝界面上产生很大衰减，接收到的首波信号很微弱，其波幅和频率与不过缝的测点相比较，存在显著差异。根据波幅、声时和主频的突变，便可判定裂缝的深度及是否在所处断面内贯通。

附录 M 超声钻孔对测法检测混凝土裂缝深度

M.1 钻孔对测法适用于大体积混凝土，预计深度在 500mm 以上的裂缝检测。

M.2 被测混凝土应允许在裂缝两侧钻测试孔，如图 M-1 所示。

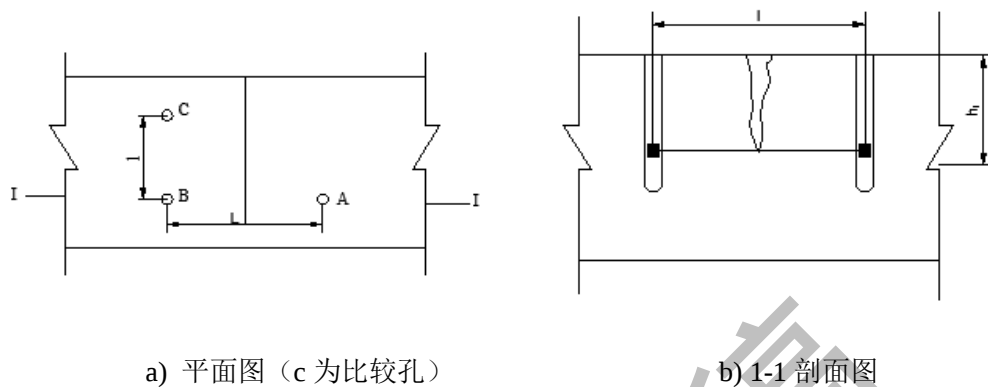


图 M-1 钻孔测裂缝深度示意图

M.3 所钻测试孔应满足下列要求：

- 1 孔径应比所用换能器直径大 5~10mm；
- 2 孔深应比被测裂缝的预计深度深 70mm，经测试如浅于裂缝深度，则应加深钻孔。
- 3 对应的两个测试孔(A、B)，必须始终位于裂缝两侧，其轴线应保持平行；
- 4 两个对应测试孔的间距宜为 2000mm，同一检测对象各对测孔间距应保持相同；
- 5 孔中粉末碎屑应清理干净；
- 6 如图 M-1 a)所示，宜在裂缝一侧多钻一个孔距相同但较浅的孔(C)，通过 B、C 两孔测试无裂缝混凝土的声学参数。
- 7 横向测孔的轴线应具有一定倾斜角。

M.4 裂缝深度检测应选用频率为 20~60kHz 的径向振动式换能器。

M.5 测试前应先向测试孔中注满清水，并检查是否有漏水。如果漏水较快，说明该测孔与裂缝相交，此孔不能用于测试。经检查测孔不漏水，可将 T、R 换能器分别置于裂缝同侧的 B、C 孔中，以相同高度等间距地同步向下移动，并读取相应的声时和波幅值。再将两个换能器分别置于裂缝两侧对应的 A、B 测孔中，以同样方法同步移动两个换能器，逐点读取声时、波幅和换能器所处的深度。换

能器每次移动的间距一般为 100~300mm。当初步查明裂缝的大致深度时，为便于准确判定裂缝深度，当换能器位于裂缝末端附近，移动的间距应减小，如图 M-1 b)所示。

M.6 以换能器所处深度(h)与对应的波幅值(A)绘制 h — A 坐标图(如图 M-3 所示)。随换能器位置的下移，波幅逐渐增大，当换能器下移至某一位置后，波幅达到最大并基本稳定，该位置所对应的深度便是裂缝深度值 h_c 。

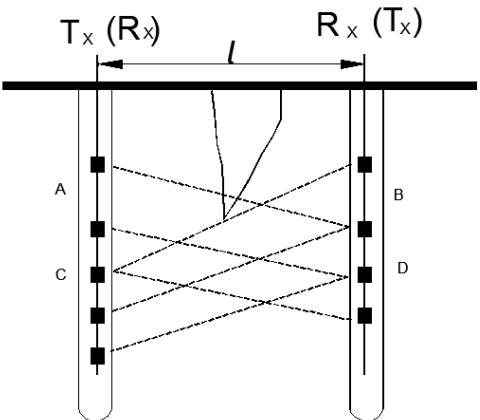


图 M-2 孔中交叉斜侧示意图

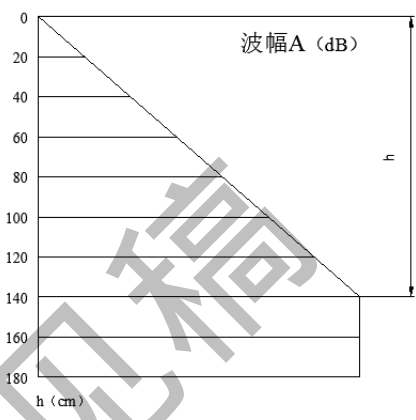


图 M-3 h — A 坐标图

M.7 若需确定裂缝末端的具体位置，可按图 M-2 所示的方法，将 T 、 R 换能器相差一个固定高度，然后上下同步移动，在保持每一个测点的测距相等、测线的倾角一致的条件下，读取相应的声时的波幅值及两个换能器的位置。

M.8 裂缝深度及末端位置判定

1 裂缝深度判定主要以波幅测值作为依据。具体对测孔所测得的波幅值和相应的孔深作图进行判别。其方法如下：换能器所处深度 h 为纵坐标，对应的波幅值 A 为横坐标，绘制 h — A 坐标图，如图 M-3 所示，随着换能器位置的下移，波幅逐渐增大，当换能器下移至某一位置后，波幅达到最大并基本保持稳定，该位置对应的深度，便是该裂缝的深度值 h 。

2 裂缝末端位置判定，如图 M-3 所示。当两个换能器的连线（测线）超过裂缝末端后，波幅测值将保持最大值，根据这种情况可以确定达到裂缝末端的两条测线 AB 和 CD 的位置，该两测线的交点便是裂缝末端的位置。

M.9 采用钻孔对测值时，应注意混凝土不均匀性的影响、温度和外力的影响和钢筋的影响。

附录 N 超声法检测混凝土内部密实性

N.1 超声法检测混凝土内部密实性时被测部位应满足下列要求:

N.1.1 被测部位应具有可进行检测的测试面,并保证测线能穿过被检测区域。

N.1.2 测试范围应大于有怀疑的区域,使测试范围内具有同条件的正常混凝土以便进行对比。

N.1.3 总测点数不应少于 30 个,且其中同条件的正常混凝土的对比用测点数不应少于总测点数的 60%,且不少于 20 个。

N.2 检测结合面质量时应根据结合面位置确定测试部位,被测部位应具有使声波垂直或斜穿过结合面的测试条件。

N.3 检测时应根据构件的实际情况选择测试方法和布置测点。

N.3.1 当构件具有两对相互平行的测试面时,宜采用对测法,如图 N.3-1 所示,在测试部位两对相互平行的测试面上分别画出等间距的网格,网格间距一般为 100 mm~300mm,大型构件可适当放宽,编号确定测点位置。

N.3.2 当构件具有一对相互平行的测试面时,宜采用对测和斜测相结合的方法,如图 N.3-2 所示,在测试部位相互平行的测试面上分别画出等间距的网格,网格间距一般为 100 mm~300mm,大型构件可适当放宽,在对测的基础上进行交叉斜测。

N.3.3 当构件只具有一个测试面时,宜采用钻孔和表面测试相结合的方法,如图 N.3-3 所示,在测试面中心钻孔,孔中放置径向振动式换能器作为发射点,以钻孔为中心不同半径的圆周上布置平面换能器的接收测点,同一圆周上测点间距一般为 100~300mm,不同圆周的半径相差 100mm~300mm,大型构件可适当放宽,同一圆周上的测点作为同一个构件数据进行分析。

N.3.4 当测距较大时,可采用钻孔或预埋声测管法,如图 N.3-4 所示,用两个径向振动式换能器分别置于平行的测孔或声测管中进行测试,可采用双孔平测、双孔斜测、扇形扫测的检测方式。

N.3.5 当测距较大时,也可采用钻孔与构件表面对测相结合的方法 N.3-5 所

示，钻孔中径向振动式换能器发射，构件表面的平面换能器接收。可采用对测、斜测、扇形扫描的检测方式。

N.3.6 当构件测试面不平行而是具有一对相互垂直或有一定夹角的测试面时，在一对测试面上分别画上等间距的网格，网格间距一般为 100 mm~300mm，测线应尽可能与测试面垂直且尽可能均匀分布地穿过被测部位，如图 N.3-6 所示。

N.3.7 混凝土结合面质量检测时换能器连线应垂直或斜穿过结合面，如图 N.3-7 所示，测量每个测点的声时、波幅、主频和测距，对发生畸变的波形应存储或记录。

N.3.8 为保证测试声学参数的可比性，对同一构件或同一批次的构件在测试时应保证测试系统以及工作参数的一致性，并尽可能保证测距和测线倾斜角度的一致性。

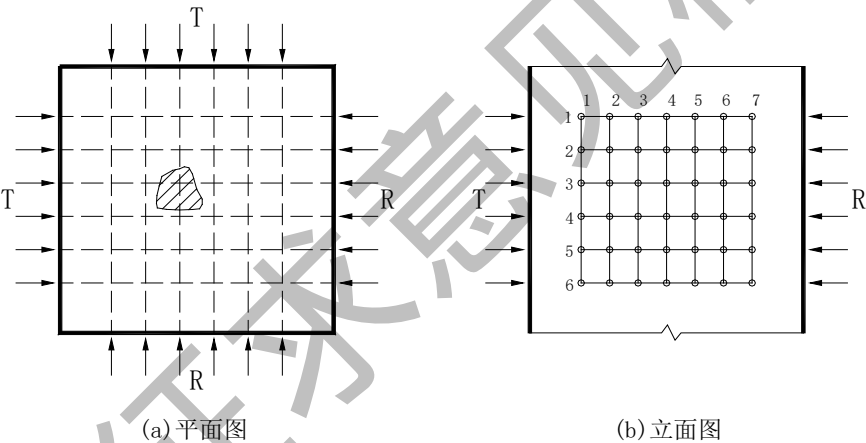


图 N.3-1 二对平行测试面对测法示意图

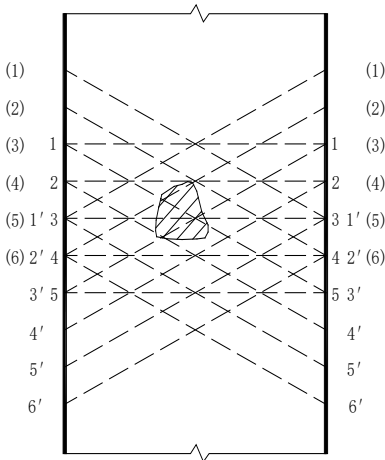


图 N.3-2 一对平行测试面斜测法示意图

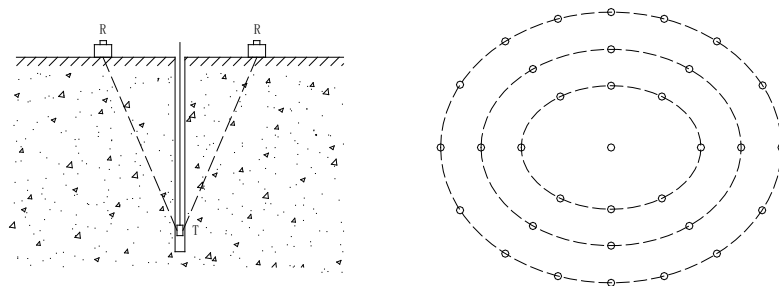


图 N.3-3 钻孔法与平面测试相结合示意图

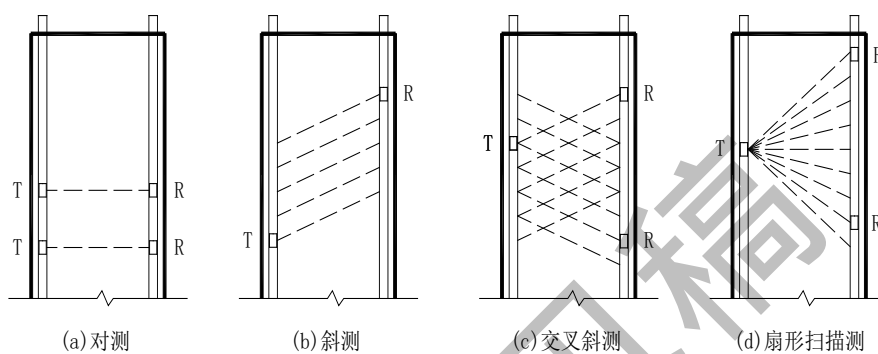


图 N.3-4 钻孔法示意图

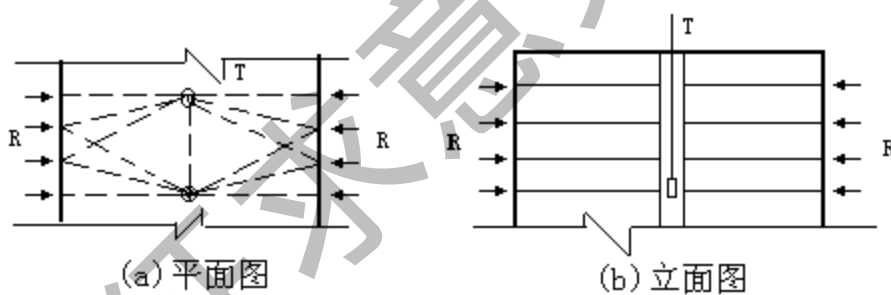


图 N.3-5 钻孔法与表面对测结合示意图

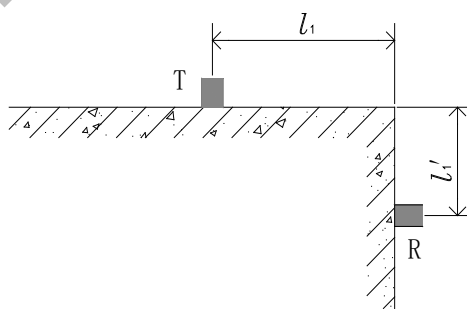


图 N.3-6 一对不平行测试面斜测法示意图

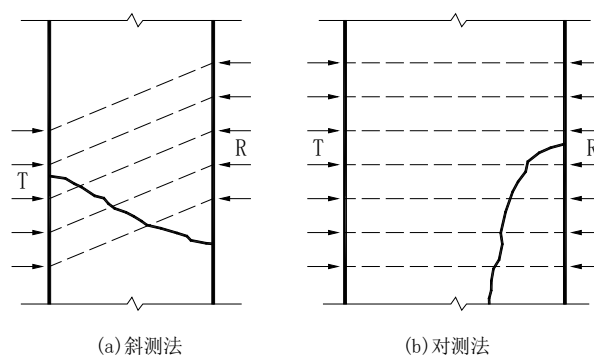


图 N.3-7 结合面质量对测或斜测法示意图

N.4 概率法判定声学参数的异常点可按《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS02 有关规定进行判别。

N.4.1 当被测构件上有怀疑区域较大,在同一构件中不能满足 N.1 的要求时,可选择同条件的正常构件进行检测,按照正常构件声参数的均值和标准差以及被测构件的测点数,计算异常数据的判断值,以此判断值对被测构件声学参数进行判断,确定声学参数异常点。

N.4.2 当被测构件缺陷的匀质性较好或缺陷区域的厚度较薄(结合面),声学参数值的标准差较小,导致计算出的异常数据判断值与经验值相比明显偏高,可采用声学参数的经验判断值进行判断,确定声学参数异常点。

N.4.3 当被测构件声速异常偏大时,可根据实际情况直接剔除。

N.5 同条件对比法判定声学参数的异常点

当被测构件测点数不满足 N.1 的要求时,无法进行统计法判断,或当测线的测距或倾斜角度不一致时,幅度值不具有可比性,可将有怀疑测点的声参数与同条件的正常混凝土区域测点的声参数进行比较,当有怀疑测点的声参数明显低于正常混凝土测点声参数,该点可判为声学参数异常点。

N.6 不密实区域或不良结合面的判定

声参数异常点为缺陷可疑点,综合分析缺陷可疑点为单一声参数异常或多种声参数异常、声参数低于判断值的异常程度以及波形是否畸变等因素,并结合缺陷可疑点的分布,判断缺陷可疑点是否为有缺陷测点。如果出现多种声参数同时异常、声参数明显低于声参数判断值、波形明显畸变或者缺陷可疑点相邻成片等

现象，则将缺陷可疑点判定为不密实区域或不良结合面区域，并以此确定构件不密实区域或不良结合面区域的位置和范围。

征求意见稿

附录 O 冲击回波法检测混凝土缺陷

O.1 本方法适用于冲击回波测试系统检测强度不小于 10MPa 混凝土结构或构件，且界面声阻抗应有明显的差别，混凝土结构或构件至少具备一个形状规则且平整的可测面。不适用于有覆盖物的结构，也不适用于存在机械振动和高振幅噪音的结构。

O.2 应用冲击回波法检测前宜取得下列有关资料：

O.2.1 被测结构的设计图纸、设计变更、施工记录、施工验收、混凝土设计强度等级、混凝土试块抗压强度试验报告等资料；

O.2.2 检测原因或结构、构件存在的质量问题等。

O.3 冲击回波法检测仪器应满足如下技术要求：

O.3.1 检测混凝土结构厚度和内部缺陷的仪器，可以采用逐点式冲击回波检测系统或扫描式冲击回波检测系统。

O.3.2 冲击回波检测系统宜具有制造厂的产品合格证，可经过法定计量检定机构的校准或检测单位内部校准，并应在仪器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、出厂日期等。

O.3.3 冲击回波检测系统应符合如下要求：

1 冲击装置：根据检测构件的设计厚度配备产生不同频率的冲击器或电磁激振器。

2 接收传感器：采用加速度型传感器，工作频率带宽 10Hz-100kHz；扫描式冲击回波检测系统应在滚动轮上均布接收传感元件。

3 检测分析仪：采用配有单通道或多通道数据采集卡，能与瞬态冲击振源匹配工作，A/D 采样位数不低于 16 位，采样频率精度在 0.01% 内，通道增益是 0 dB -70dB。

4 分析软件：具有数字滤波、计算缺陷位置与构件厚度功能，具备时域分析、频率幅度谱分析，宜具有三维图形等分析功能。

5 检测环境要求：冲击回波检测系统宜在温度为 0℃～50℃ 范围内工作使用。

O.4 冲击回波法现场检测应按如下规定进行：

O.4.1 检测时，检测部位混凝土表面应干燥，清洁、平整。必要时可用砂轮磨平或用高强度快凝砂浆抹平；抹平砂浆应与待测混凝土良好粘结。

O.4.2 若构件存在对判定混凝土内部缺陷有影响的钢筋，在冲击回波检测前应采用钢筋扫描仪或工程雷达检测钢筋的分布和保护层厚度并在构件上标明钢筋的分布状况。

O.4.3 采用逐点式冲击回波检测系统进行检测时，构件的测点应标明编号和位置；采用扫描式冲击回波进行检测时，构件的测区应标明扫描线的间距和扫描方向。检测部位记录应与结构设计图纸编号一致。测点或测区中的测线距构件边缘应不小于 $0.3H$ 。

O.4.4 为获得准确的构件厚度，测试前应进行波速标定，在已知厚度部位，采集频谱图频率峰值，通过以下公式进行计算：

$$C_p = 2hf \quad (\text{O.4-1})$$

式中

h —混凝土结构构件的厚度或缺陷估计位置 (mm)，精确至 1 mm；

C_p —混凝土波速度 (m/s)，精确至 1m/s；

f —主频率峰对应的频率值 (Hz)，精确至 0.1 Hz。

O.4.5 采用逐点式冲击回波进行检测时应按如下步骤进行：

1 在构件顶面位置，沿平行于孔道的方向依次设置测点，连接各测点形成测线，对每个测点进行不同频率的激振，采集数据，获得冲击回波的反射卓越周期时刻。各试块所有管道测线均以管道一端为起点。

2 逐点式冲击回波检测系统采用钢珠撞击混凝土表面产生瞬时应力脉冲，通过改变钢珠直径以获得不同的冲击接触时间。逐点式冲击回波检测系统冲击力参数的选择可参照表 O.4-1。

表 O.4-1 钢珠直径选用表

结构厚度 (cm)	10-20	20-30	30-50	50-100	>100
钢珠直径 (mm)	5	6-8	8-9.5	9.5-20	>20

3 采用逐点冲击回波测试系统检测时，根据传感器与混凝土表面紧贴情况可以采用耦合剂粘结；

O.4.6 采用扫描式冲击回波检测系统进行检测应按如下步骤进行：

1 在测试面关键部位划分测试区域，关键部位一般每 10cm 间隔设置一条测线。对于预应力管道的测量，测线方向应尽量与预应力管道方向垂直。检测中出现可疑区域或测点时应及时查找原因，必要时进行复测校核或缩小测试范围且加

密检测。

2 扫描式冲击回波检测系统采用电驱动螺线管,在电驱动下瞬间射出,冲击混凝土表面,通过采用不同大小的激振器结合调节螺线管的冲击能量,达到改变冲击持续时间的目的,扫描式冲击回波检测系统冲击力参数的选择可参照表 O.4-2。

表 O.4-2 扫描式冲击回波冲击器参数设置表

结构厚度 (cm)	9-20	20-30	30-50	>50
激振器	高频	高频、低频	低频	低频
螺线管能量等级	A/B	C/D、B/C	C/D	D

3 采用扫描式冲击回波测试系统检测时,扫描器应紧贴混凝土表面,移动扫描器应均匀滚动。

O.4.7 为了尽量消除测量中的干扰波,采样时应设置滤波,滤波形式为高通、低通或者带通。采样时,应设置高通,从而滤掉低频干扰波。如有需要,也可设置低通滤波。通常,根据所测结构厚度推测其最低频率值,设置高通滤波。数据采集时的滤波参数可参照表 O.4-3。

表 O.4-3 混凝土结构高通滤波频率

结构厚度 (cm)	10	20	30	40	50	>60
高通 (Hz)	9000	6000	4000	3000	2000	1500-0

O.4.8 检测中出现可疑区域或测点时应及时查找原因,必要时进行复测校核或缩小测试范围且加密检测。

O.5 冲击回波法数据处理应按如下规定进行:

1 冲击回波法测量数据应经过数字滤波处理,并通过时域分析、频率幅度谱分析,计算缺陷位置与构件厚度。

2 结构构件厚度或缺陷估计位置应按下列公式计算:

$$h = \frac{C_p}{2f'} \quad \text{O.5-1}$$

式中 h —混凝土结构构件的厚度或缺陷估计位置 (mm),精确至 1 mm;

C_p —混凝土波速度 (m/s),精确至 1m/s;

f' —振幅谱中构件厚或缺陷对应的频率值 (Hz),精确至 0.1 Hz。

计算出厚度所对应的主频率峰估算值是判定构件是否有缺陷的参照值,但还需结合结构构件形状、钢筋直径、保护层厚度、管线布设情况、预埋件位置、地质等影响因素综合分析判断,确定出构件厚度和内部缺陷位置。扫描式冲击回波测试系统具备三维图、厚度-距离图分析功能,可以直观地判断缺陷的位置和情况。而逐点式冲击回波检测系统也可通过检测数据利用其他分析软件来做出厚度—距离图。

O.6 冲击回波法检测结果符合应力波在固体中的传播和反射规律声学,可参照以下要点进行判断:

- 1 混凝土无缺陷正常情况下的频谱图,频域曲线光滑,有单峰,频域峰值符合机械波在混凝土中传播规律。
- 2 混凝土浇筑的质量较好,中间略有小的空洞、离析等缺陷时,频谱图呈现曲线光滑,有单峰,但是频率峰值小于机械波在混凝土中传播应有的频率值 $f_1 < f$ 。
- 3 混凝土中有大的缺陷、如大的空洞,在缺陷部位频域曲线向低频偏移,频域图出现多峰。
- 4 预应力管道灌浆饱满时,由于管壁的影响,频域曲线有可能略微偏移。
- 5 混凝土中有缺陷,存在两个反射面,此时会出现两个明显的峰值,根据次峰位置可以判断混凝土中缺陷的位置。

附录 P 预应力管道注浆密实度检测记录表

预应力管道注浆密实度检测记录表

检测机构名称:

记录编号:

工程名称			施工单位		
工程部位			梁板位置/编号		
检测方式	全长普查方法: ☐ 声波透射法 ☐ 声波反射法 侧面扫查方法: ☐ 声波剖面法 ☐ 冲击回波法 ☐ 地质雷达法				
检测依据			注浆日期		
仪器设备					
波纹管/测点编号	波纹管长度(m)	钢绞线数量	文件名	备注	
波纹管/测线分布图					
备 注					

检测:

复核:

日期: 年 月 日

本规程用词说明

执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

1、表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2、表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3、表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

附件

《混凝土桥梁结构无损检测技术标准》

(CECSXXX: 201X)

条文说明

征求意见稿

3 基本要求

3.1 检测工作程序与基本要求

3.1.1 混凝土桥梁结构无损检测工作程序描述了常规情况下对混凝土桥梁结构进行无损检测工作的全过程所包含的各个阶段的工作。特殊情况下对混凝土桥梁结构进行无损检测工作时,则应根据其检测目的确定其无损检测的工作程序及所包含的相应内容。

3.1.2 桥梁调查应以确认检测要求和制定有针对性的检测方案为目的。桥梁调查可采取踏勘现场、搜集和分析资料以及问询相关人员等方法。

了解结构的状况和收集有关资料,不仅有利于较好地制定检测方案,而且有助于确定检测的内容和重点。现场调查主要是了解被检测结构的现状缺陷或使用期间的加固维修及用途和荷载等变更情况,同时应与委托方商定检测的目的、范围、内容和重点。

有关的资料主要是指结构的设计图、设计变更、施工记录和验收资料、加固图和维修记录以及环境条件等。当缺乏有关资料时,应向有关人员进行调查。

3.1.6 现场检测的测区和测点应有明晰标注和编号,不仅方便检测机构内部的检查,也有利于相关方对检测工作的监督,同时,便于对异常数据进行追踪和复查。保留时间可根据工程具体情况确定。

3.1.7 本条对现场检测获取的数据或信息提出要求。

仪器自动记录时,将自动记录的数据转换成专用记录格式打印输出,是为了便于对原始记录长期保存;图像信息应标明获取信息的位置和时间是为了保证原始记录的可追溯性。

3.1.8 混凝土桥梁结构检测工作不应受检结构或构件造成安全隐患,因此混凝土桥梁结构现场检测工作结束后,应及时对因检测造成的结构或构件的局部损伤进行修补和维护。

3.1.10 对承担混凝土桥梁结构检测工作的检测单位提出了资质要求,实施混凝土桥梁结构的检测单位应经过国家或行业行政主管部门批准,并通过国家或行业技术监督部门的计量认证。

3.2 检测项目和检测方法

3.2.2 当同一个检测参数存在多种检测方法时，应尽量选择直观、经济的检测方法。

3.2.3 为了促进无损检测技术的发展，鼓励检测单位开发或引进检测仪器及检测方法。本条对采用检测单位自行开发或引进的检测仪器及检测方法应遵守的规定提出要求。

3.3 检测方式和抽样方法

3.3.2 本条提出了混凝土桥梁结构检测抽样方案选择的原则要求。对于比较简单易行，又以数量多少评判的检测项目，如外部缺陷等宜选用全数检测方案；而对于如按检测批评定的结构构件材料强度等，应进行随机抽样。

3.3.3 检测数量与检测对象的确定可以有两类，一类指定检测对象和范围，另一类是抽样的方法。对于混凝土桥梁结构的检测两类情况都可能遇到。当指定检测对象和范围时，其检测结果不能反映其他构件的情况，因此检测结果的适用范围不能随意扩大。

3.4 检测范围

3.4.4 混凝土外观质量缺陷主要包括：（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、表面侵蚀等。

混凝土内部缺陷主要包括：（1）混凝土内部空洞和不密实区的位置与范围；（2）裂缝深度；（3）不同时间浇筑的混凝土结合面的质量。

4 混凝土强度检测

4.1 一般规定

4.1.2 本条规定了在检测混凝土强度前应该搜集的资料。必须对被检构件有全面、系统的了解。此外，必须了解水泥的安定性，如水泥安定性不合格，则不能用回弹法检测，如不能确切提供水泥安定性合格与否则应在检测报告上说明，以免产生由于后期混凝土强度因水泥安定性不合格而降低或丧失所引起的事故责任不清的问题。也应了解清楚混凝土的成型日期，这样可以推算出检测时构件混凝土的龄期。

4.1.4 本条规定了桥梁混凝土按构件检测时测区的布置要求。抽样时应严格遵守“随机”的原则，并宜由建设单位、监理单位、施工单位会同检测单位共同商定抽样的范围、数量和方法。

4.1.6 检测面应为混凝土原浆面，已经粉刷的构件应将粉刷层清除干净，不可将粉刷层当作混凝土原浆面进行检测。混凝土表面的稀松层、浮浆、油垢、涂层以及蜂窝、麻面应清除，否则会造成误判。对于薄壁小型构件，如果约束力不足，回弹时产生颤动，会造成回弹能量损失，使检测结果偏低，因此必须加以固定。

4.1.7 在记录纸上描述测区在构件上的位置和外观质量，目的是以备推定和分析处理构件混凝土强度时参考。

4.2 方法选择

4.2.5 我国地域辽阔，气候差别很大，混凝土材料种类繁多，工程分散，施工和管理水平参差不齐。在全国工程中检测混凝土强度，除应统一仪器标准，统一测试技术，统一数据处理，统一强度推定方法外，还应尽力提高检测曲线的精度，发挥各地区的技术作用。各地区使用统一测强曲线外，也可以根据各地的气候和原材料特点，因地制宜地制定和采用专用测强曲线和地区测强曲线。

4.2.6 对于有条件的地区如能建立本地区的测强曲线或专用测强曲线，则可以提高该地区的检测精度。地区和专用测强曲线须经地方建设行政主管部门组织

的审查和批准，方能实施。各地可以根据专用测强曲线、地区测强曲线、统一测强曲线的次序选用。

地区和专用测强曲线使用中应注意其使用范围，只能在制定曲线时的试件条件范围内，例如龄期、原材料、外加剂、强度区间等，不允许超出该使用范围。这些测强曲线均为经验公式制定，因此绝不能根据测强公式而任意外推，以免得出错误的计算结果。此外，应经常抽取一定数量的同条件试块进行校核，如发现误差较大时，应停止使用并及时查找原因。

4.2.9 粗骨料最大粒径大于 60mm，已超出实验时试块及试件粗骨料的最大粒径，泵送混凝土粗骨料最大公称粒径大于 31.5mm 时已不能满足泵送的要求；构件生产中采用特殊成型工艺的混凝土，超出了该测强曲线的使用范围；对于非平面的构件上测得的回弹值与在平面上测得的回弹值关系，国内目前尚无试验资料，现参照国外资料，规定凡测试部位的曲率半径小于 250mm 的构件一律不能采用该测强曲线；混凝土表面湿度对回弹法测强影响很大，应等待混凝土表面干燥后再进行检测。

4.3 检测要求

4.3.1 本条规定了桥梁结构构件、部位的划分，及构件、部位检测时测区布置的要求。当混凝土桥梁结构有不同的可测面时，测区布设宜划分不同测试面分别布设测区，不同测试面测试数据不宜混用。此处规定不同测试面的测试数据不得混用，如板梁回弹法检测强度时，板梁侧面和底面的数据不得统计在一起计算混凝土的推定强度。

在不利因素下桥梁混凝土构件，如潮汐区、干湿交替区等条件下，测区的布置应包含该区域。对于分段（层）浇筑的混凝土构件，如果质量相当，应分区进行检测。

4.3.2 本条规定了用回弹法和超声-回弹综合法现场测量桥梁结构混凝土强度的基本要求：

1 规定了回弹仪测试时的一般规定。每一测区记取 16 点回弹值，它不包括弹击隐藏在薄薄一层水泥浆下的气孔或石子上的数值，这两种数值与该测区的正常回弹值偏差很大，很好判断。同一测点只允许弹击一次，若重复弹击则后者回

弹值高于前者，这是因为经弹击后该局部位置较密实，在弹击时吸收的能量较小从而使回弹值偏高。

2 规定了超声回弹法测试时的一般规定。3 个超声测点应布置在回弹测试的同一测区内。超声测试应采用对测或角测，当被测构件不具备对测或角测条件时，可采用单面平测法。

使用耦合剂是为了保证换能器辐射面与混凝土测试面达到完全面接触，排除期间的空气和杂质。同时，每一测点均应使耦合层达到最薄，以保持耦合状态一致，这样才能保证声时测量条件的一致性。

4.4 检测数据处理

4.4.1 本条规定了回弹法检测混凝土强度的计算方法。

当检测时回弹仪为非水平方向且测试面为非混凝土的浇筑面时，应先对回弹值进行角度修正，然后用上述按角度修正后的回弹值进行浇筑面修正。这种先后修正的顺序不能颠倒，更不允许分别修正后的值直接与原始回弹值相加减。

对于泵送混凝土测强曲线，参照现行行业标准 JGJ/T23《回弹法检测混凝土抗压强度规程》。

4.4.2 试验表明，由于卵石和碎石的表面状态完全不同，混凝土内部界面的粘结状况也不相同。在相同的配合比时，碎石因表面粗糙，与砂浆界面粘结较好，因而混凝土的强度较高；卵石因表面光滑影响粘结，混凝土强度低。不同石子品种中超声波声速不相同，即使是同一石子品种而产地不同声速也有差别。许多科研单位进行了大量的试验结果表面，当石子品种不同时，应分别建立测强曲线。

超声测试平测时两个换能器的连线应与附近钢筋的轴线保持 $40^\circ \sim 50^\circ$ 夹角，以避免钢筋的影响。大量实践证明，平测时测距宜采用 $350\text{mm} \sim 450\text{mm}$ ，以使接受信号首波清晰易辨认。

4.4.3 计算标准差时，强度平均值应精确到 0.01MPa ，否则会因二次数据修约而增大计算误差。

4.4.4 对于回弹法检测混凝土强度，当测区数量 ≥ 10 个时，为了保证构件的混凝土强度满足 95% 的保证率，采用数理统计的公式计算强度推定值；当构件测区数 < 10 个时，因样本数太少，取最小值作为强度推定值。此外，当构件出现

$f_{cu}^c < 10.0\text{MPa}$ 或 $f_{cu}^c > 60.0\text{MPa}$ 时,因无法计算平均值和标准差,也只能以最小值作为该强度推定值。

对于超声回弹综合法检测混凝土强度,如测区换算值小于 10.0MPa 或大于 70.0MPa ,因超出了强度换算方法的适用范围,故该测区的混凝土抗压强度应表述为“ $<10.0\text{MPa}$ ”或“ $>70.0\text{MPa}$ ”。如构件测区中有小于 10.0MPa 的测区,因不能计算构件混凝土的强度标准差,则该构件混凝土的推定强度应表述为“ $<10.0\text{MPa}$ ”;如构件测区中有大于 70.0MPa 的测区,也不能计算构件混凝土的强度标准差,此时,构件混凝土抗压强度的推定值取该构件各测区中最小的测区混凝土抗压强度换算值。

4.4.5 当测区间的标准差过大时,说明已有某些系统误差因素起作用,例如构件不是同一强度等级,龄期差异较大等,不属于同一母体,因此不能按批进行推定。

4.4.6 本条参照现行标准 CECS:02《超声回弹综合法检测混凝土强度规程》。对按批量检测的构件,如该批构件的混凝土质量不均匀,测区混凝土强度标准差大于规定的范围,则该批构件应全部按单个构件进行强度推定。

4.4.7 当检测条件与测强曲线的使用条件有较大差异时,例如龄期、成型工艺、养护条件等有差异时,可以采用钻取混凝土芯样或同条件试块进行修正。

混凝土龄期已超过 1000d ,且由于结构构造等原因无法采用取芯法对回弹检测结果进行修正,且满足本条规定时,混凝土抗压强度换算值可乘以表 4.4.1 的修正系数 α_n 予以修正。

5 钢筋保护层检测

5.1 一般规定

5.1.2 钢筋在混凝土结构中主要承受拉力，而混凝土主要承受压力并保护内部钢筋不发生锈蚀，钢筋保护层厚度涉及混凝土结构耐久性，其已成为工程质量鉴定和验收必检指标。对于缺失资料的桥梁，有必要检测其主要受力钢筋位置及公称直径至关重要。

5.1.3 钢筋在混凝土结构中属于隐蔽工程，检测前应充分了解设计资料，有助于检测人员制订较为妥善的检测方案，得到准确的检测结果。

5.1.4 具有装饰面的桥梁日益增多，对于验收需要检测的是钢筋混凝土保护层厚度，不清除装饰面难以得到准确的检测值。

5.2 方法选择

5.2.2 大量试验证明，性能好的钢筋探测仪在钢筋净间距与保护层厚度比小于 2:1 时、或钢筋净间距小于 4cm 时，探测的钢筋保护层厚度值与真值偏差较大。

5.2.3 混凝土中钢筋锈蚀严重时，铁锈会影响电磁感应法的测试精度。同时钢筋锈蚀严重危及结构安全，应开孔准确测出钢筋锈蚀后的实际直径。

5.2.4 混凝土中铁磁性物质、埋设铁件、金属管，对电磁感应法测试结果有较大影响，检测时应避开。

5.2.6 大量试验证明，保护层厚度大于 60mm 时，电磁感应法探测的钢筋公称直径误差较大。

5.3 检测要求

5.3.2 预热可以使钢筋探测仪达到稳定的工作状态。对于电子仪器，使用中难免受到各种干扰导致读数漂移，为保证钢筋探测仪读数准确，应时常检查钢筋探测仪是否偏离调零时的零点状态。

大量试验证明，在垂直钢筋间距（小于 10cm）不大情况下，电磁感应法准确测试混凝土结构第一层以下钢筋的保护层厚度比较困难。

5.3.3 本条规定了钢筋保护层厚度测区布置的原则，混凝土桥梁主要及次要部件的选择参考本标准第3章3.4节中表3.4.1~3.4.3的规定。桥梁上部结构测区：混凝土梁式桥测区宜布置在主梁（板）跨中截面、L/4截面、支点截面；混凝土拱式桥测区宜布置在主拱肋（圈）拱顶截面、L/4截面、拱脚截面；刚架拱上弦杆跨中截面、斜腿根部截面；混凝土悬臂梁桥测区宜布置在悬臂端截面、支点截面；混凝土斜拉桥与悬索桥测区宜布置在主梁跨中截面、L/4截面、支点截面、主塔根部截面，检测条件许可时还应包括塔顶截面。桥梁下部结构测区：宜布置在盖梁中部截面、端部截面；墩台底部截面、顶部截面。

5.3.4 对于钢筋检测仪，其基本原理是根据钢筋对仪器探头所发出的电磁场的感应强度来判定钢筋的大小和深度，而钢筋公称直径和深度是相互关联的，对于同样强度的感应信号，当钢筋公称直径大时，其混凝土保护层厚度较深；因此，为了准确得到保护层厚度值，应按照钢筋实际公称直径进行设定。应根据设计图纸或结构知识，了解结构中钢筋规格及排列形式，然后用钢筋检测仪探头在构件上预先扫描检测，了解其大概位置，以便在进一步检测中尽可能避开钢筋间的相互干扰。之后可根据钢筋检测仪显示的最小保护层厚度来判断钢筋轴线，便完成了钢筋定位。

5.3.5 当2次检测的误差超过允许值时，应检查零点是否出现漂移并采取相应的处理措施。

5.3.6 钢筋直径对桥梁结构安全至关重要，当前技术手段还不能完全满足对钢筋公称直径进行非破损检测的要求，采用局部剔凿实测相结合的办法是必要的。

一般桥梁构件常用的钢筋公称直径最小也是以2mm递增的，因此钢筋公称直径的检测，如果误差超过2mm则失去了检查意义。

电磁感应法测试钢筋直径应尽量避免干扰，降低影响因素。为了保证检测精度，对检测数据的重复性要求较高，也是为了避免错判。

5.4 检测数据处理

5.4.2 影响钢筋保护层厚度测试准确度的因素很多，如测试位置周围外加磁场、钢筋混凝土材料本身磁性、钢筋品种及钢筋部筋状况等，故检测人员认为测试结果异常，应对测试结果进行修正。

当混凝土保护层厚度值过小时，有些钢筋探测仪无法进行检测或示值偏差较大，可采用在探头下附加垫块来人为增大保护层厚度的检测值。

标准垫块修正一般适用实测混凝土保护层厚度值偏小时。

校准孔修正一般适用实测混凝土保护层厚度值偏大时。

征求意见稿

6 钢筋锈蚀电位检测

6.1 一般规定

6.1.1 本条规定了本标准钢筋锈蚀状况检测的适用范围。混凝土含水率对钢筋锈蚀电位量测值有明显影响，量测时构件应为自然状态。

6.2 方法选择

6.2.1 目前国内外混凝土中钢筋锈蚀状况的检测主要采用半电池电位法。半电池电位法是利用混凝土中钢筋锈蚀的电化学反应引起的电位变化来测定钢筋锈蚀状况的一种方法。通过测定钢筋/混凝土作为一个电极与在混凝土表面的铜/硫酸铜参考电极之间的电位差，评定钢筋的锈蚀状态。

6.3 检测要求

6.3.1 半电池电位法检测需要在适当位置剔凿出钢筋，使用钢筋探测仪可以快速准确的定位钢筋位置，便于检测的实施。

当有多余的未溶解硫酸铜晶体积于溶液底部时，可认为该溶液是饱和的。将预先浸湿的电连接垫安装在刚性管底端，以使多孔塞和混凝土构件表面形成电通路，从而在混凝土表面和半电池之间提供一个低电阻的液体桥路。

6.3.2 本条规定了钢筋锈蚀状况测区布置的原则，混凝土桥梁主要及次要部件的选择参考本标准第3章3.4节中表3.4.1~3.4.3的规定。混凝土梁式桥测区宜布置在主梁（板）跨中截面、L/4截面、支点截面；混凝土拱式桥测区宜布置在主拱肋（圈）拱顶截面、L/4截面、拱脚截面；刚架拱上弦杆跨中截面、斜腿根部截面；混凝土悬臂梁桥测区宜布置在悬臂端截面、支点截面；混凝土斜拉桥与悬索桥测区宜布置在主梁跨中截面、L/4截面、支点截面、主塔根部截面，检测条件许可时还应包括塔顶截面。桥梁下部结构钢筋锈蚀状况测区宜布置在盖梁中部截面、端部截面；墩台顶部截面、底部截面。

潮湿环境、雨水侵蚀环境、腐蚀介质环境、滨海环境及除冰盐环境等不利工作环境均可影响混凝土桥梁构件的钢筋锈蚀状况。混凝土构件表面的裂缝分布及宽度也可影响钢筋的锈蚀程度。因此选择测区时宜综合考虑构件的受力状况、工作环境条件及质量状况的差异。

6.3.3 若在远离钢筋连接点的测区进行测量，必须用万用表检查内部钢筋的连续性，如不连续，应重新进行钢筋的连接。

6.4 检测数据处理

6.4.1 铜/硫酸铜电极受环境温度的影响，电极的温度系数一般为 $0.9\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 。测试时要测量环境温度，环境温度在 $22\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围之外时，应对铜/硫酸铜电极做温度修正。

6.4.3 采用电位等值线图后，可以较直观地反映不同锈蚀状况的钢筋分布情况。宜按合适比例在结构及构件图上标出各测点的半电池电位值，可通过数值相等的各点或内插等值的各点绘出电位等值线。电位等值线的最大间隔宜为 100mV 。

征求意见稿

7 混凝土电阻率检测

7.1 一般规定

7.1.2 混凝土电阻率测量方法可分为接触式和非接触式两类。接触式方法是一种传统的测试方法，非接触式方法是近年来开始使用的新方法，但目前主要采用接触式方法。

7.1.3 影响混凝土电阻率的因素主要包括三个方面：材料影响因素（水泥类型、水泥用量、矿物掺合料类型和用量、水灰比等）、施工工艺影响因素（养护条件、龄期等）、结构工作环境因素（环境温度、湿度、氯盐侵蚀、混凝土碳化、冻融等）。

7.2 方法选择

7.2.1 本条规定了混凝土电阻率的检测方法为四电极法。即在混凝土表面等间距接触四支电极，两外侧电极作为电流电极，两内侧电极作为电压电极，通过检测两电压电极间的混凝土电阻率，即可获得混凝土电阻率。

本条规定了混凝土电阻率的检测方法为四电极法。即在混凝土表面等间距接触四支电极，两外侧电极作为电流电极，两内侧电极作为电压电极，通过检测两电压电极间的混凝土电阻，即可获得混凝土电阻率。

四电极法测量混凝土电阻率示意图如图 7.2.1 所示。该方法是通过内侧 BC 两电极间连接测电压 V ，外侧 AD 两电极间连接测电流 I ，由欧姆定律得到 BC

段的电阻值为： $R = \frac{V}{I}$ ，由 BC 段距离 L 和极板与混凝土接触面积 A ，由电阻率

计算公式，计算混凝土材料的电阻率值为： $\rho = R \frac{A}{L}$ 。

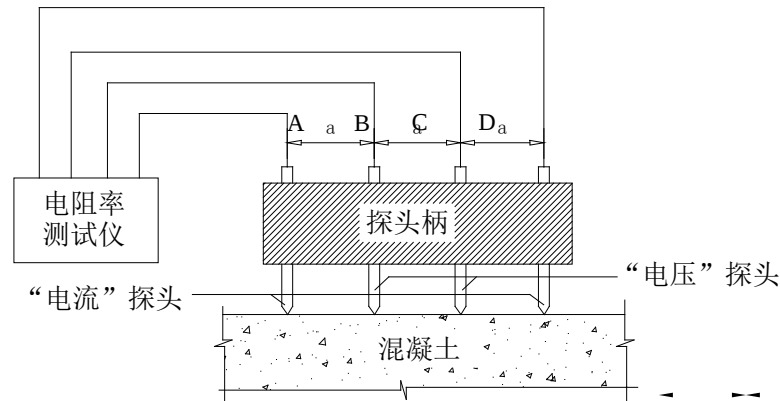


图 7.2.1 混凝土电阻率测试技术示意图

7.2.3 本条规定了混凝土电阻率仪表对使用环境的要求。

温度对混凝土电阻率的影响主要是由于温度对混凝土孔隙溶液的粘度有很大的影响。温度越高，孔隙溶液中各种导电离子活性增强，混凝土的导电性增强，混凝土的电阻率减小。

湿度对混凝土电阻率的影响是最大的。环境湿度越高，混凝土孔隙的饱水率越高，混凝土的电阻率越低。

7.3 检测要求

7.3.1 本条规定了混凝土电阻率测区布置的原则，混凝土桥梁主要及次要部件的选择参考本标准第 3 章 3.4 节中表 3.4.1~3.4.3 的规定。混凝土梁式桥测区宜布置在主梁（板）跨中截面、L/4 截面、支点截面；混凝土拱式桥测区宜布置在主拱肋（圈）拱顶截面、L/4 截面、拱脚截面；刚架拱上弦杆跨中截面、斜腿根部截面；混凝土悬臂梁桥测区宜布置在悬臂端截面、支点截面；混凝土斜拉桥与悬索桥测区宜布置在主梁跨中截面、L/4 截面、支点截面、主塔根部截面，检测条件许可时还应包括塔顶截面。桥梁下部结构钢筋锈蚀状况测区宜布置在盖梁中部截面、端部截面；墩台顶部截面、底部截面。桥面系结构混凝土电阻率测区宜均匀布置在桥面板上。

8 混凝土氯离子含量检测

8.1 一般规定

8.1.3 混凝土各原材料中所含氯离子大多数为游离态的氯离子，硬化混凝土中所含氯离子除部分游离态的氯离子以外，还存在着与水泥水化物结合的氯离子。因此硬化混凝土的氯离子含量与原材料中的氯离子含量测试结果存在一定差异，故规定在执行本标准进行氯离子含量检测和评定时，不得采用将混凝土中各原材料氯离子含量相加求和的方法进行替代。

8.2 方法选择

8.2.2 电位滴定法，以银电极或氯电极为指示电极，甘汞电极为参比电极，用电位计或酸度计测定两电极在溶液中组成原电池的电势，其电势随银离子浓度的变化而变化。在化学计量点前，滴入硝酸银生成氯化银沉淀，两电极间电势变化缓慢；达到化学计量点时，氯离子全部生成氯化银沉淀，这时滴入少量的硝酸银即可引起电势急剧变化，指示出滴定终点。

检测混凝土中氯离子含量的方法主要有以下三种：以铬酸钾为指示剂的硝酸银滴定法、以硫氰酸钾为指示剂的硝酸银滴定法和硝酸银电位滴定法。对三种方法的测试比较发现，两种采用指示剂的滴定方法存在溶液颜色及滴定终点判定受人为影响较大等缺陷。而电位滴定法通过电势的变化来判定滴定终点比较明显，滴定结果更准确。

经调研，目前普遍采用的混凝土氯离子快速测定仪具有测定硬化混凝土中水溶性氯离子含量的功能，但因设备种类较多，不同厂家对设备的使用要求有所不同，故试验方法需参考各自设备使用说明书。

混凝土氯离子快速测定仪的设备使用原理为直接电位法，而溶液的 pH 值对直接测定电位值有较大的影响，检测酸溶性混凝土氯离子含量因在样品处理过程中需加入硝酸进行溶解，导致待测样品溶液与标准溶液 pH 值不一致，故不适用于酸溶性氯离子含量的检测。

本标准仅对电位滴定法测定硬化混凝土氯离子含量作出规定。

8.3 检测要求

8.3.1 在役混凝土桥梁结构中混凝土中氯离子含量的测定，用来评价混凝土结构的耐久性，应考虑尽量减小对结构物本身的损伤，并选取有氯离子侵蚀倾向和易受环境侵蚀影响的主要构件或主要受力部位。有可能时，氯离子含量检测取样部位可直接选择钢筋锈蚀电位检测测区，综合考虑电位水平、工作环境条件、质量状况的差异。

本条规定了混凝土电阻率测区布置的原则，混凝土桥梁主要及次要部件的选择参考本标准第3章3.4节中表3.4.1~3.4.3的规定。混凝土梁式桥测区宜布置在主梁（板）跨中截面、L/4截面、支点截面；混凝土拱式桥测区宜布置在主拱肋（圈）拱顶截面、L/4截面、拱脚截面；刚架拱上弦杆跨中截面、斜腿根部截面；混凝土悬臂梁桥测区宜布置在悬臂端截面、支点截面；混凝土斜拉桥与悬索桥测区宜布置在主梁跨中截面、L/4截面、支点截面、主塔根部截面，检测条件许可时还应包括塔顶截面。桥梁下部结构测区宜布置在盖梁中部截面、端部截面；墩台顶部截面、底部截面。

测区的数量可根据钢筋锈蚀电位检测结果以及结构所处环境条件确定，为了查明氯离子的分布情况，不宜少于3个。

8.3.2 氯离子对混凝土结构的侵蚀主要是对钢筋的锈蚀，因此取样主要针对主筋处混凝土。

氯离子是极强的去钝化剂，当其进入混凝土到达主筋表面吸附于钝化膜处时，可使钢筋表面PH值降低到4以下，从而破坏主筋表面的钝化膜，我们主要关心混凝土结构主筋表面的氯离子水平，因此选择设计主筋位置表层前20mm位置开始取样。由于施工水平导致的钢筋保护层厚度的偏差在钢筋保护层厚度检测指标中评定，本方法选择设计钢筋保护层厚度，保证了取样深度的一致性。

8.3.3 分别采用0.01mol/L、0.0141mol/L和0.02mol/L三种浓度硝酸银标准溶液对已知氯离子浓度的溶液进行电位滴定发现：随着所用硝酸银浓度的增加，最大电势变化量依次增加，高浓度的硝酸银接近滴定终点时电势变化最为明显，而低浓度的硝酸银略显平缓，不易判断滴定终点；但是浓度较高的溶液其所得的结果偏差也较大。综合考虑滴定终点判断和试验结果的准确性，本规程选择0.0141mol/L的硝酸银溶液作为标准溶液。

在不同环境温度下电位滴定法试验发现，环境温度越低其电位的“突变”越大，

而环境温度越高，其电位的“突变”越小。在常温状态下，电位“突变”足够明显。可以判定滴定终点，因此试验环境选择常温环境。

根据对同一硬化混凝土试样，分别通过筛孔公称直径为 0.63mm、0.315mm、0.16mm 和 0.08mm 的筛，对过筛后的粉末试样进行酸溶性氯离子含量比对试验，结果表明通过筛孔直径为 0.08mm 的粉末试样氯离子含量最高，且通过筛孔直径 0.08mm 和 0.16mm 的两种粉末试样氯离子含量接近，综合考虑试验结果可靠性与试验操作的便利性，采用筛孔公称直径为 0.16mm 的筛。

8.4 检测数据处理

8.4.3 按照本技术标准所列的检测方法，由 3 名不同人员对同一组样品进行试验，试验共设 4 个氯离子含量水平，每个水平每位试验人员报告 4 个检测结果。依据《测量方法与结果的准确度（正确与精密度） 第 2 部分：确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法》（GB/T6379.2-2004/ISO 5725-2:1994）对试验测试结果进行分析，所得的重复性标准差为 0.040%。

9 混凝土碳化状况检测

9.1 一般规定

9.1.2 碳化检测前宜收集桥梁结构信息、影响混凝土桥梁结构碳化的因素以及混凝土结构碳化模型中对碳化剩余使用年限推定所需要的技术资料等。

9.1.3 混凝土碳化深度检测仪器有刻度式和数显式混凝土碳化深度测试仪，对于刻度式要求最小分辨率为 0.25mm，数显式最小精度为 0.1mm。

9.2 检测方法

9.2.1 混凝土碳化深度测试的方法有：酸碱指示剂呈色法（酚酞试液测试法、彩虹指示剂法、茜素黄 R 试剂法）、热分析法、X 射线物相分析法、红外光谱法、岩相分析法等。其中酚酞试液测试法为混凝土桥梁结构碳化检测的推荐方法。

目前国内标准中对于酚酞试液浓度规定有 1%和 1%~2%两种，英国标准中规定浓度为 1%，规定的酚酞酒精溶液浓度存在一定差异，为了验证不同浓度的酚酞酒精溶液对混凝土构件的碳化深度的影响，标准编制组采用 1%和 2%浓度的酚酞酒精溶液对实桥混凝土构件进行了多次试验比对，检测结果表明 1%的酚酞酒精溶液和 2%的酚酞酒精溶液对检测结果的影响不大，因此本标准规定采用 1%~2%浓度的酚酞酒精溶液。

9.2.2 酚酞试液测试法不适用于采用铝酸钙水泥混凝土的碳化检测。在测试桥梁构件混凝土中含有或采用疏水性材料如硅烷、硅氧烷、聚合物添加剂或抗水性掺和料时，这些材料会抑制混凝土未碳化区的变色。在这种条件下会延迟几分钟变色，而且颜色同普通混凝土的颜色相比也不完整，使测试结果出现异常。酚酞试液检测出现部分碳化区影响测试精度时可以采用岩相法检测，岩相法对检测人员的技术和经验要求较高，本标准对岩相法检测不做说明。

9.3 检测要求

9.3.1 本条文根据桥梁构件特点规定了测区抽检的选取，条文在拟定时考虑与《公路桥梁承载能力检测评定规程》中碳化评定标准的衔接，并对碳化检测测区的选取进行了规定。在使用碳化检测用于火灾损伤、环境损伤和偶然损伤等损

伤评定时，测区选取的位置和数量参照《混凝土结构现场检测技术标准》中有关规定选取。

9.3.4 由于在实际碳化深度检测时碳化界面的分布可能会是不规则的，所以为了更真实的反应混凝土的碳化深度，规定对每个测孔进行碳化深度测量时不少于 3 个测点。

征求意见稿

10 混凝土外观质量及内部缺陷检测

10.1 一般规定

10.1.1 本条规定了本章的适用范围，外观质量是《混凝土结构工程施工质量验收规范》和《公路工程质量检验评定标准》规定的术语，规定了外观质量及内部缺陷的类型。

10.1.2 本条规定了技术资料调查的内容。调查的目的主要是使检测人员深入了解待检混凝土桥梁结构的设计、施工、运营养护等情况，有助于检测人员制订较为妥善的检测方案，判断病害成因，得到准确的检测结果。

10.2 方法选择

10.2.1 目力检查属于直观检查法，是指主要依靠检测人员进行彻底的视觉检查，并判定是否为外观质量缺陷。简单设备主要是指激光测距仪、裂缝宽度测量设备、钢卷尺、照相机等设备，激光测距仪用于测量缺陷在构件上的位置，钢卷尺测量病害的长度、范围或间距，裂缝宽度测量设备用于测量裂缝的宽度。

10.2.2 局部破损检测会对结构造成一定的损伤，应选择结构安全影响较小的部位，即结构或构件受力较小的部位进行检测。应尽量避免在主梁、柱式桥墩等主要受力构件进行局部破损检测，如必须对主要受力构件进行局部破损检测，则不宜在受拉区布置测区，否则应进行安全性评估，确保结构安全。受拉区如主梁跨中及附近位置中性轴以下梁体、支点至跨中方向一倍梁高距离范围内的梁体、盖梁正负弯矩区、应力集中区等。

10.2.3 超声波法检测混凝土裂缝的深度有单面平测法、双面斜测法和钻孔对测法。当结构的裂缝部位只有一个可测表面，裂缝的估计深度不大于 500mm 且比被测构件厚度至少小 100mm 以上时，可采用单面平测法检测混凝土裂缝深度。

10.2.4 对于大体积混凝土结构，由于其断面尺寸较大，如直接进行平面对测，接收到的脉冲信号微弱，甚至无法识别首波的起始位置，不利于声学参数的读取和分析，采用钻孔或预埋管测法是为了缩短测试距离，提高检测灵敏度。

10.3 检测要求

10.3.1 本条规定了混凝土桥梁外观质量缺陷现场标识及记录要求。外观质量缺陷检测必须接近各部件进行检测,如使用桥梁检测车、搭设临时支架靠近进行检测,或采用专用设备如采用爬索机器人对拉索进行检测,水下机器人对水下结构进行检测。

《公路桥涵养护规范》在等级评定时考虑了缺损程度、缺损对结构使用功能的影响程度和缺损发展变化状况三个方面,因此,缺损或病害发展变化状况对评价桥梁技术状况等级、判断缺损对结构使用功能的影响程度至关重要。对混凝土结构外观质量检查的现场标识提出明确要求主要是为了后期的病害处置、监督检查或下次检测时方便现场找寻病害,也有利于保证各次检测数据的连续性,有利于判断病害的发展趋势。

10.3.2 本条规定了混凝土桥梁结构裂缝检测现场标识及检测相关要求。为了便于判断裂缝的发展变化状况,宜在构件上采用与裂缝走向垂直的短线标识裂缝的起止点,采用带箭头的引伸线标记裂缝宽度测试位置,并在引伸线上注明裂缝长度、宽度、检测时间等信息。

按裂缝走向可分为横向裂缝、纵向裂缝、竖向裂缝、斜向裂缝、L形裂缝、U形裂缝等。

裂缝宽度沿裂缝走向的分布规律,对竖向裂缝,一般表现为上宽下窄、或下宽上窄、或枣核形;对纵向裂缝和横向裂缝,裂缝宽度一般是中间部分宽,两侧窄。对斜向裂缝,一般表现为下部宽,上部窄,也有的裂缝表现为下部窄上部宽。

裂缝的严重程度、对结构的影响程度及发展变化趋势对分析判断对结构安全的影响至关重要,应对处于变化中或快速发展中裂缝进行长期观测,掌握裂缝的发展变化趋势。

混凝土裂缝产生的原因非常复杂,与材料、施工、使用与环境、结构与荷载等因素有关。应根据检测结果,并结合历史检测及养护资料,判断裂缝的活动性、分析产生原因,评估裂缝对混凝土结构耐久性和结构安全的影响程度。当裂缝对结构的安全和耐久性有显著影响时,宜进行专题研究。

10.3.4 检测混凝土内部的不密实区或空洞一般采用穿透法,依据各测点的声速、波幅和主频的相对变化,寻找异常测点的坐标位置,从而判定缺陷范围。因此,测试部位最好具有两对相互平行的测试面,如受条件限制,至少也应有一对

相互平行的测试面。怀疑混凝土内部是否存在空洞和不密实，一般是根据施工记录和外观质量情况，或者结构在使用过程中局部发生质量问题，其位置都是大致的。因此，为了避免缺陷漏检，测试范围除应大于所怀疑的区域外，还应确保在正常混凝土上有足够测试数据，以满足统计分析的需要。

10.3.5 在检测时，应首先查明结合面的位置及走向，以保证所布置的测点能使声波垂直或斜穿结合面。若结合面走向与声波传播方向平行或近似平行，则声波传播将不会穿过结合面，所测数据不能反映结合面的质量情况。

利用超声波检测两次浇筑的混凝土结合面质量，主要是采用对比的方法。因此，测点的布置应包括有结合面和无结合面的两部分混凝土，为保证各测点具有一定的可比性，每一对测点都应保持倾斜角度一致，测距相等。测点间距应根据结构尺寸和结合面质量情况确定，但一般不宜大于 300mm，因间距过大，可能使缺陷漏检。

10.3.6 选取有代表性的部位进行检测，既可减少测试工作量，又使测试结果更符合混凝土实际情况。

由于水的声速比空气的声速大 4 倍多，如果受损伤而较疏松的表层混凝土很潮湿，则其声速测值偏高，与未损伤的内部混凝土声速差异减小，使检测结果产生较大误差。测试部位表面有接缝或饰面层，也会使声速测值不能反映损伤层混凝土实际情况。

10.3.7 本条规定了雷达法检测结构内部缺陷检测的适用条件。

当被怀疑的缺陷上方仅有单层钢筋网（垂直于测线方向的钢筋层数）干扰时，或被怀疑的缺陷上方虽有两层钢筋（垂直于测线方向的钢筋层数）干扰，但是两层钢筋间距大于 200mm 时，可选用单通道雷达系统；当被怀疑的缺陷有两层及两层以上的钢筋网（垂直于测线方向的钢筋层数）干扰时，宜选用天线阵雷达系统。

10.3.8 冲击回波法测试结构或构件内部缺陷是基于阻抗变化测试的。影响冲击回波法可探测缺陷限值的主要因素有：缺陷的类型和方位，被测缺陷的深度，冲击的接触时间（有效冲击弹性波的频率）等。

10.4 检测数据处理

10.4.4 如果所测混凝土的结合面结合良好,则超声波穿过有无结合面的混凝土时,声学参数应无明显差异。当结合面局部地方存在疏松、孔隙或填进杂物时,该部分混凝土与邻近正常混凝土相比,其声学参数值存在明显差异。但有时因耦合不良、测距发生变化或对应测点错位等因素的影响,导致检测数据异常。因此,对于数据异常的测点,只有在查明无其他非混凝土自身因素影响时,方可判定该部位混凝土结合不良。

征求意见稿

11 预应力管道注浆密实度检测

11.1 一般规定

11.1.4 管道注浆完成后测试与 48h 后测试，波速会有显著变化，影响检测结果。48h 后波速基本稳定，故检测时段定在注浆完成 48h 后。

11.2 方法选择

11.2.3 由于封闭的金属波纹管对电磁波是屏蔽的，故不能用地质雷达等电磁波类方法检测金属预应力管道。

11.4 检测数据处理

11.4.1 波速、能量衰减、频率变化，这三者与预应力管道注浆密实度有相关性，波速越低，能量衰减越大，主频频率变化越大，预应力管道注浆越密实，反之注浆不密实。这是因为，当波纹管注浆密实时，弹性波传播速度降低（更接近水泥浆波速），能量衰减加快，高频成分迅速衰减，主频频差大；当注浆不密实或未注浆时，弹性波传播速度升高（更接近钢绞线波速），能量衰减慢，频率变化小。

采用人工智能神经网络法方法，可具体如下操作：（1）通过试验、应用实践，建立单参数或多参数样本库，如可以建立波速、能量衰减比、主频频差参数与注浆密实度之间的关系样本库，样本库数据可不断增补；（2）对实测数据分析，求取波速、能量衰减比、主频频差；（3）采用 BP 神经网络法，智能评定、反演出实测孔道的注浆密实度。

11.4.3 采用人工智能法计算注浆密实度前，应建立已知注浆密实度的预应力孔道样本模型，测取获得足够多的已知样本模型数据库，样本模型数据不应少于 10 组。

在波速、能量、频率等参数中，波速与注浆密实度关联性最好，表 11.4.3 中注浆饱满度 D 与波速 V 的对应关系参照了云南省地方标准 DB53/T 811《桥梁预应力管道注浆密实度检测技术规程》，该经验公式如下：

$$D = -0.1V + 535, \quad (4350 \leq V \leq 5050)$$