

中华人民共和国行业标准  
港口工程混凝土非破损检测技术规程

J T J / T 2 7 2 — 9 9

主编单位：天津港湾工程研究所

批准部门：中华人民共和国交通部

施行日期：2 0 0 0 年 5 月 1 日

人民交通出版社

2 0 0 0 年 · 北京

中华人民共和国行业标准  
港口工程混凝土非破损检测技术规程  
J T J / T 2 7 2 — 9 9  
天津港湾工程研究所编  
正文设计：王秋红责任校对：梁秀青责任印制：  
人民交通出版社出版发行  
( 1 0 0 0 1 3 北京和平里东街 1 0 号 )  
各地新华书店经销  
印刷厂印刷  
开本： 8 5 0 × 1 1 6 8  
1 / 3 2  
印张： 字数： 千  
2 0 0 0 年月第 1 版  
2 0 0 0 年月第 1 版第 1 次印刷总第 1 次印刷  
印数： 册定价： 元  
I S B N 7 / 1 1 4 / /

## 关于发布《港口工程混凝土非破损检测技术规程》的通知

交水发（1999）729号

各省、自治区、直辖市交通厅（局、委、办）及有关单位：由我部组织天津港湾工程研究所等单位制定的《港口工程混凝土非破损检测技术规程》，已经审查，现批准为推荐性标准，编号为J T J/T 272—99，自2000年5月1日起施行。

本规程的管理工作由部水运司负责，具体解释工作由天津港湾工程研究所负责。本规程由人民交通出版社出版发行。

中华人民共和国交通部

一九九九年十二月二十九日

### 前 言

《港口工程混凝土非破损检测技术规程》（以下简称《规程》）是一本专门用于港口工程混凝土质量检测和评定的行业标准。本《规程》是由天津港湾工程研究所会同武汉港湾工程设计研究院、中港第三航务工程局科研所、中港第四航务工程局科研所和河海大学等五个单位共同编写而成的。

编制组自1995年成立以来，开展了大量的研究和调查工作。为摸清混凝土的施工质量水平和结构中混凝土强度的分布规律，进行了广泛的统计调查和系统的试验工作，特别是结构中混凝土强度的评定和混凝土均匀性的判定标准和混凝土缺陷的判定方法，以及C50以上混凝土强度等级的检测等，进行了较为深入的研究，这些研究成果先后于1990年和1995年通过交通部和天津市组织的成果鉴定会鉴定。鉴定意见确认了“该项研究成果所作的各条结论”，并认为“此项研究成果在应用概率分析方法的深度已达到国际先进水平”。在编制条文过程中，亦吸收了国际标准中经工程实践证实是行之有效的规定。因此这本《规程》的规定做到了既科学合理，又符合港口工程目前混凝土质量的实际，必将起到确保混凝土工程质量的作用。

本《规程》共分5章96条和7个附录，主要内容包括总则、术语和符号、一般规定、混凝土缺陷的检测和混凝土强度检测等。

本《规程》由交通部水运司负责管理，具体解释工作由天津港湾工程研究所负责。本《规程》推荐给港口工程各单位使用，在使用过程中，请将意见和有关资料及时函告天津港湾工程研究所，以便今后修订时参考。

本《规程》如进行局部修订或补充，其修订或补充内容将在《水运工程标准与造价管理信息》上刊登。

# 目 次

1 总则 .....	6
2 术语、符号 .....	6
2.1 术语 .....	6
4 混凝土缺陷的检测 .....	9
4.1 一般规定 .....	9
4.2 检测仪器设备 .....	10
4.3 均匀性检测 .....	10
4.4 缺陷鉴别 .....	11
4.5 空洞或不密实区域检测 .....	12
4.6 表面损伤层厚度检测 .....	14
4.7 混凝土结合面质量检测 .....	16
4.8 灌注桩缺陷检测 .....	17
4.9 裂缝检测 .....	19
5 混凝土强度的检测 .....	23
5.1 一般规定 .....	23
5.2 回弹法推定混凝土强度 .....	24
5.3 超声一回弹综合法推定混凝土强度 .....	27
5.4 取芯法推定混凝土强度 .....	29
5.5 混凝土强度的合格判定 .....	32
附录A 超声波检测仪的校验和维护 .....	33
附录B 测试数据的统计分析 .....	35
附录C 混凝土强度曲线的建立 .....	38
附录D 回弹仪的检定和保养 .....	46
E.1 校验附录E 取芯机的操作和保养 .....	47
附录F 结构中混凝土强度检测报告及检测表格格式 .....	49

附录G 本规程用词用语说明 .....	56
附加说明 .....	56

## 1 总则

1.0.1 为统一港口工程混凝土结构和构件的现场检测技术标准，做到技术先进、经济合理、安全适用，确保混凝土质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于港口工程混凝土结构和构件的质量检测和评定。修造船水工建筑物中混凝土结构和构件的质量检测与评定可参照执行。

1.0.3 在混凝土工程施工过程中出现下列情况时，可按本规程规定的方法和标准对实际建筑物混凝土进行检测和评定：

- (1) 当试件的试验结果不能满足设计要求时；
- (2) 当混凝土试件强度缺乏代表性或试件数量不足时；
- (3) 对试件的试验结果有怀疑或争议时；
- (4) 发生混凝土工程质量事故，或对施工质量有争议时；
- (5) 监控混凝土工程建造过程中的施工质量。

1.0.4 对已建成的或将进行维修的混凝土工程为达到下述目的时，亦可按本规程规定的方法检测和评定混凝土结构或构件的质量：

- (1) 日常技术管理；
- (2) 大、中、小修或抢修工程；
- (3) 改变使用条件、改建或扩建等工程；
- (4) 确定遭受事故或灾害后的损伤程度，制定修复或加固方案时。

1.0.5 混凝土质量检测人员，应持有相应的资格证书。

1.0.6 在检测混凝土质量时，除应遵守本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语、符号

### 2.1 术语

2.1.1 混凝土标准立方体试件强度按标准方法制作边长为150mm的混凝土立方体试件，经 $20 \pm 3$ ℃的水中养护28d，用标准试验方法测得的抗压强度。

2.1.2 混凝土立方体试件抗压强度标准值在混凝土标准立方体试件抗压强度测定的总体分布中，强度低于该强度的概率不大于5.0%。

2.1.3 结构中混凝土强度结构中局部区域不受约束状态下的混凝土抗压强度，它以现场钻取芯样试件强度来代表。

2.1.4 换算强度用非破损方法在混凝土结构或构件上测得的物理特征值，通过事先建立的混凝土强度曲线转化成混凝土强度值。

2.1.5 推定强度

用非破损方法求得的换算强度或用取芯法求得的混凝土强度值，经过换算成相当于边长150mm立方体标准混凝土试件强度。

2.1.6 标准芯样试件强度从混凝土结构或构件上钻取的芯样试件，制备成直

径与高度均为 1 0 0 mm 的试件, 用标准试验方法测得的混凝土抗压强度, 等于边长为 1 5 0 mm 混凝土立方体试件的抗压强度。

2. 1. 7 小芯样试件强度芯样直径小于 1 0 0 mm 的试件抗压强度。

2. 1. 8 验收批划分混凝土强度合格评定的基本单元。一个验收批应由混凝土强度等级相同、龄期相同以及生产工艺条件和配合比基本相同的混凝土结构或构件组成。

2. 1. 9 测区判定一个结构或构件的结构中混凝土强度的最小测量单元。

2. 1. 1 0 测点测区中的基本测试单位。

2. 2 符号

$T_0$ ——混凝土声时初读数 (s)

$T$ ——混凝土测读声时值 (s)

$T_s$ ——标准棒声时值 (s)

$V$ ——混凝土声速值 (m/s)

$L$ ——两个换能器之间距离 (m)

$m_v$ ——混凝土声速平均值 (m/s)

$\delta_v$ ——混凝土声速变异系数 (%)

$V_{min}$ ——混凝土结构或构件上的声速最小值 (m/s)

$\eta_1$ 、 $\eta_2$ ——修正系数

$S_v$ ——混凝土声速标准差 (m/s)

$D$ ——混凝土空洞直径 (m); 声测管外径 (m)

$T_{max}$ ——混凝土最大声时值 (s)

$m_T$ ——混凝土声时平均值 (s)

$d_L$ ——混凝土损伤层厚度 (mm)

$d_h$ ——裂缝深度 (m)

$d$ ——声测管内径 (mm)

$V_s$ ——钢管声速 (m/s)

$d'$ ——换能器的外径 (mm)

$V_w$ ——水的声速值 (m/s)

$S_T$ ——声时相对标准差

$S_A$ ——振幅相对标准差

$m_R$ ——测区回弹平均值

$m_{R\alpha}$ ——回弹仪与水平方向成  $\alpha$  角测试的测区回弹平均值

$\Delta R_\alpha$ ——不同测区测试角度  $\alpha$  的回弹值的修正值

$f_{cu}$ ——混凝土标准立方体试件强度

$f_{cuRo}$ ——回弹值的混凝土换算强度值 (MPa)

$f_{cuRom}$ ——经碳化修正后回弹值的混凝土强度值 (MPa)

$\eta_m$ ——碳化深度修正值

$t$ ——正态分布概率度

$f_{cuRe}$ ——回弹法推定的混凝土强度值 (MPa)

$\delta_e$ ——剩余变异系数

$f_{cu v Ro}$ ——超声一回弹测区混凝土换算强度值 (MPa)

$f_{cu v Re}$ ——超声一回弹测区推定混凝土强度值 (MPa)

$N$ ——极限抗压荷载 (N)

——芯样直径 (mm)

$\eta_A$ ——不同高径比芯样试件强度换算系数  
 $K_o$ 、 $\eta_k$ ——换算系数  
 $f_{curo}$ ——芯样试件抗压强度测试值 (MPa)  
 $m f'_{cure}$ ——剔除最小值或最大值后剩余芯样强度代表值的平均值 (MPa)  
 $f_{cure}$ ——边长 150 mm 立方体试件的抗压强度推定值 (MPa)  
 $f_{cur}$ ——芯样试件抗压强度代表值 (MPa)  
 $m f_{cue}$ ——验收批或单个构件内用芯样强度推定的立方体强度平均值 (MPa)  
 $S f_{cue}$ ——同一验收批按测区强度或芯样强度推定值统计的标准差 (MPa)  
 $f_{cu, k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值 (MPa)  
 $f_{cumein}$ ——同一验收批内测区混凝土强度推定值中的最小值 (MPa)  
 $[\sigma_o]$ ——混凝土立方体强度的标准差平均水平 (MPa)  
 $\eta_c$ 、 $\eta_o$ ——系数  
 $m f_{cuvR}$ ——验收批或单个构件内用非破损方法推定的立方体强度平均值 (MPa)  
 $\psi$ ——强度校核系数  
 $f_{cue}$ ——样本混凝土合格判定强度代表值 (MPa)

### 3 一般规定

3.0.1 混凝土工程检测应有委托书，委托书应包括检测目的、内容和范围。

3.0.2 检测工作应按下列步骤进行。

3.0.2.1 工程质量调查应包括下列内容：

- (1) 工程名称、建设、设计、监理和施工单位名称；
- (2) 设计要求、施工记录和施工验收报告；
- (3) 建筑物用途、环境条件、使用期间变更情况等；
- (4) 原材料品质的检测报告和混凝土性能的检测报告。

3.0.2.2 检测方案应包括检测目的、技术依据、检测方法、检测项目、内容和判定方法。

3.0.2.3 测试前应保证仪器设备正常，计量鉴定应在有效期内。

3.0.2.4 在计算分析过程中，当出现测试数据有矛盾或有异常情况时，应及时补充测试。

3.0.2.5 检测报告应包括下列内容：

- (1) 结构或构件的概况；
- (2) 使用的仪器设备型号；
- (3) 需要说明的事项及必要的简图；
- (4) 测试的技术依据、检验结果；
- (5) 结论。

3.0.3 混凝土质量检测应采用抽样检验方法，并应符合下列规定。

3.0.3.1 批量检测，从验收批中，应随机抽取构件总数或结构面积的 30%，且不宜少于 3 个构件组成样本，以此判定验收批的结构或构件混凝土质量。当抽检的结构或构件，经检验出现不合格批时，应从剩余的构件中，再抽取构件总数的 30% 组成新的样本，进行检测。当检验结果中仍出现不合格批时，则应检测剩余的全部构件。非受力结构，且构件数量较多，抽检的构件数量和其代表性可与有关方面协商确定。

3.0.3.2 单个检测，适用于单独结构或构件的检测。当批量检测出现不合

格批时应按单个检测对构件逐个判定，每个构件测区数不宜少于 5 个。

3.0.4 对抽检的结构或构件应按下列规定进行检测。

3.0.4.1 随机布置测区和测点。每个测区和测点应符合下列规定：

(1) 应标有明晰标志和编号；

(2) 应清除表面残留的浮浆和油垢等杂物。

3.0.4.2 应按设计图纸绘制简图，并标出测区编号、测点编号、质量可疑部位和表观缺陷位置。

3.0.5 检测数据应记录于检测表格内。当检测中出现可疑现象时，应填绘于简图中。

## 4 混凝土缺陷的检测

### 4.1 一般规定

4.1.1 混凝土缺陷应包括结构和构件中的孔洞、低强度区域、不密实区域、表面损伤层、不同时浇筑的混凝土结合面质量和裂缝。

4.1.2 混凝土缺陷的检测应采用超声波法，必要时应钻取少量芯样试件验证。

4.1.3 判定混凝土缺陷应根据混凝土中的传播速度，首波幅度和接收讯号波形等声学参数，运用数理统计分析综合推断。

4.1.4 测试前应按附录 A 规定的方法对超声仪进行标准状态校验。

4.1.5 测量时应首先测量声时初读数，并应符合下列规定。

4.1.5.1 当采用厚度式换能器测量时，应将“发射”和“接收”两个换能器的辐射面上涂抹耦合剂，耦合在标准棒的两端，将“发射”电压旋钮调至所需电压位置，调节“增益”旋钮至合适位置，读出声时值，并按下式计算声时初读数：

$$T_0 = (T - T_s) / s \quad (4.1.5 / 1)$$

式中  $T_0$  ——声时初读数 (s)；

$T_s$  ——标准棒声时值 (s)；

$T$  ——声时值 (s)。

4.1.5.2 当采用柱状径向换能器测量时，可按下式计算声时初读数：

$$T_0 = (D + d) / V_s + (d - d') / V_w \quad (4.1.5 / 2)$$

式中  $T_0$  ——声时初读数 (s)；

$D$  ——声测管外径 (m)；

$d$  ——声测管内径 (m)；

$d'$  ——换能器外径 (m)；

$V_s$  ——钢管声速 (约 5500 m/s)；

$V_w$  ——水的声速 (m/s)。

## 4.2 检测仪器设备

4.2.1 仪器设备应采用低频超声仪测试，并应符合下列规定。

4.2.1.1 应具有显示稳定和清晰的示屏装置及手动游标测读装置，或经鉴定认可的自动检测、数据采集、记录存储、结果分析、显示打印于一体的智能化超声检测分析仪。

4.2.1.2 超声波检测仪应满足下列技术要求：

(1) 计时器的最小读数应为  $0.1 \mu\text{s}$ ，计时范围应为  $0.5 \sim 5000 \mu\text{s}$ ；

(2) 声时调节范围应在  $20 \sim 30 \mu\text{s}$ ，2 h 内数字变化不宜大于  $\pm 0.2 \mu\text{s}$ ；

(3) 衰减器的最小分度应为  $1 \text{ dB}$ ；

(4) 接收放大器的频率范围为  $10 \sim 500 \text{ kHz}$ ，总增益不应小于  $100 \text{ dB}$ ；

(5) 当温度为  $-10 \sim +40 \text{ }^\circ\text{C}$  时，相对湿度应小于或等于  $90\%$ ，电源电压应在  $200 \text{ V} \pm 10\%$  的环境条件下能正常工作。

4.2.2 换能器应符合下列规定。

4.2.2.1 频率范围应在  $20 \sim 250 \text{ kHz}$ 。

4.2.2.2 实测频率与标称频率相差不宜大于  $\pm 10\%$ 。

4.2.2.3 测量裂缝宽度可用塞尺和目测放大镜。

4.2.2.4 测量裂缝长度及走向可用钢卷尺。

4.2.2.5 钻取芯样可采用取芯机。

## 4.3 均匀性检测

4.3.1 均匀性检测应在结构或构件上布置超声波测点，测点数不宜少于  $30$  个，测点间距不宜大于  $0.5 \text{ m}$ ，并应进行编号。

4.3.2 测点布置应避免与声波传播方向相一致的主钢筋。

4.3.3 检测步骤应符合下列规定。

4.3.3.1 应修整表面有缺陷的测点并在测点上涂抹耦合剂。

4.3.3.2 测量结构或构件的厚度，以下简称测距，应精确至  $1.0\%$ 。

4.3.3.3 应根据测试对象和测距选择换能器的类型和频率。

4.3.3.4 应按 4.1.5.1 规定的方法测定声时初读数  $T_0$ 。

4.3.3.5 应将“发射”和“接收”两个换能器分别耦合在同一测距两端对应的测点上，用力将耦合剂挤出。调节超声波检测仪上的功能旋钮至合适位置后固定。在下一个测试中不得随意调节功能旋钮。

4.3.3.6 测得的声时值  $T$  应记录于测试表格内。

4.3.3.7 在测试过程中，当出现下列情况之一时，应重复测量  $3$  次：

(1) 两个测点声时值的相对误差大于  $15.0\%$ ；

(2) 首波振幅  $A_0$  值小于  $3 \text{ mm}$ ；

(3) 接收讯号的波形不规则。

当数值和前测数值无变化时，应将该数据记录于测试表格内，并标记于简图中，按可疑值参予混凝土缺陷的分析。

4.3.3.8 混凝土声速值可按下式计算：

$$V = L (T \pm T_0) \quad (4.3.3)$$

式中V——混凝土声速值 (m/s)；

L——两个换能器之间的距离 (m)；

T<sub>0</sub>——声时初读数 (s)。

4.3.4 混凝土均匀性判定应按下列步骤进行。

4.3.4.1 从混凝土结构或构件上测得的声速值，按附录B所示的方法计算混凝土声速平均值、声速标准差和变异系数。

4.3.4.2 当计算所得的混凝土声速平均值和变异系数能同时满足下式要求时，可判定混凝土均匀性合格，反之则判定为不合格：

$$m_v \geq 3500 \quad (4.3.4/1)$$

$$\delta_v \leq 5.0 \quad (4.3.4/2)$$

式中m<sub>v</sub>——混凝土声速平均值 (m/s)；

δ<sub>v</sub>——混凝土声速变异系数 (%)。

## 4.4 缺陷鉴别

4.4.1 根据混凝土均匀性测试结果中的声速最小值，可按附录B规定的方法判定混凝土缺陷可疑点和混凝土缺陷警告点。

4.4.1.1 可疑值可按下式确定：

$$V_{min} \leq m_v - \eta_1 / S_v \quad (4.4.1/1)$$

式中V<sub>min</sub>——混凝土结构或构件中的声速最小值 (m/s)；

η<sub>1</sub>——修正系数，可在表4.4.1/1中查得；

测点(个)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
η <sub>1</sub>	1.28	1.64	1.83	1.96	2.05	2.13	2.19	2.24	2.29	2.32

S<sub>v</sub>——混凝土声速标准差 (m/s)。

4.4.1.2 警告值可按下式确定：

$$V_{min} \leq m_v - \eta_2 / S_v \quad (4.4.1/2)$$

式中η<sub>2</sub>——修正系数，可在表4.4.1/2中查得。

测点(个)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
η <sub>2</sub>	2.18	2.56	2.74	2.87	2.96	3.00	3.04	3.09	3.13	3.17

4.4.2 对判定为可疑和警告的测点，应分析原因，按测点编号描绘于简图中，并按下列方法进行核实。

4.4.2.1 当可疑的测点是孤立测点时，应在其附近补加测点确定其范围。

4.4.2.2 当相邻测点均为可疑点，或单个测点是警告点，则可判定混凝土该部位有缺陷。

## 4.5 空洞或不密实区域检测

4.5.1 当出现下列情况时，应进行混凝土空洞和不密实区域检测：

- (1) 在混凝土均匀性检测中，被判定为可疑的区域或警告的测点；
- (2) 表观质量较差的区域；
- (3) 对施工质量有怀疑的结构或构件。

4.5.2 测试应符合下列规定。

4.5.2.1 应根据结构或构件的测试条件，采用下列不同测试方法：

- (1) 当结构或构件具有两个相互平行的测试面时，可采用对测法、斜测法和汇交法，如图4.5.2/1所示；

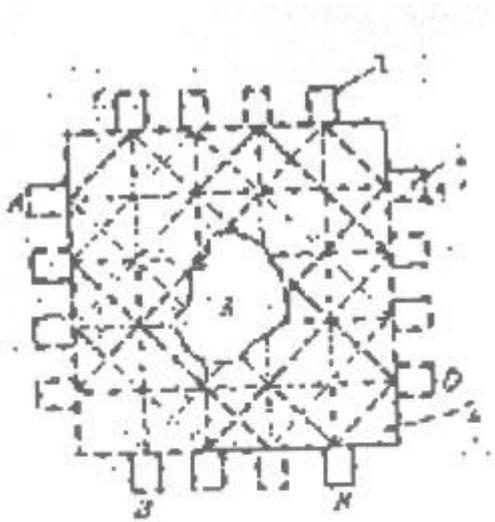


图 4.5.2-1 对测法(A-A')、斜测法(A-B)和汇交法(A'-B')与(C-D)示意图

1-换能器；2-混凝土；3-空洞

(2) 当测距较大时，可在测试面的适当位置钻取直径40~50mm测试孔，其深度应根据构件厚度而定；在测试孔中注水，悬放径向振动式换能器。用厚度振动式换能器安放于测试面的测点上，用耦合剂耦合，如图4.5.2/2所示。

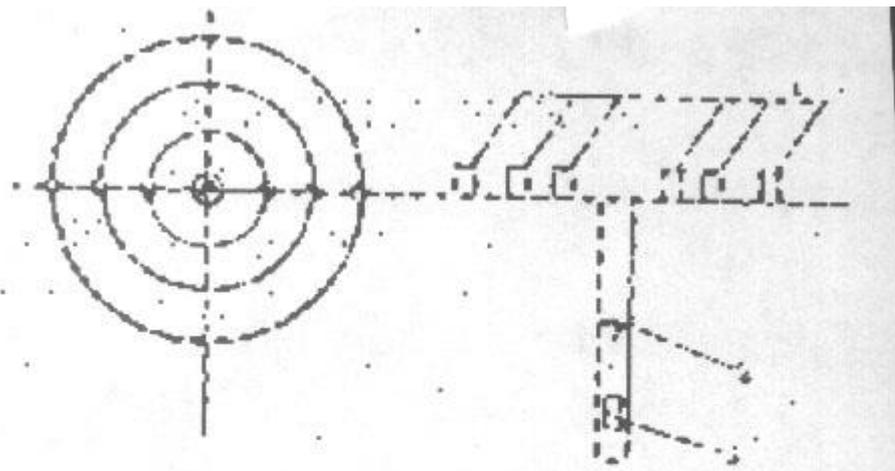


图 4.5.2-2 厚度振动式换能器和径向换能器联合使用示意图

1-厚度振动式换能器；2-混凝土；3-径向振动式换能器

4.5.2.2 混凝土空洞和不密实区域的检测应符合下列规定：

- (1) 布置测试区域应大于可疑区域 2~3 倍；
- (2) 测点间距不宜大于 100 mm；
- (3) 测点连线（声通路）不宜与主钢筋平行。

4.5.3 不密实区域和空洞的判定应符合下列规定。

4.5.3.1 判定不密实区域和空洞的声学参数应包括声时值、首波振幅值和接收信号的波形。

4.5.3.2 不密实区域和空洞应按下列方法进行判定：

- (1) 图示法，将测试的数值描绘成简图，如图 4.5.3 所示，估算混凝土不密实区域的范围和空洞的位置；

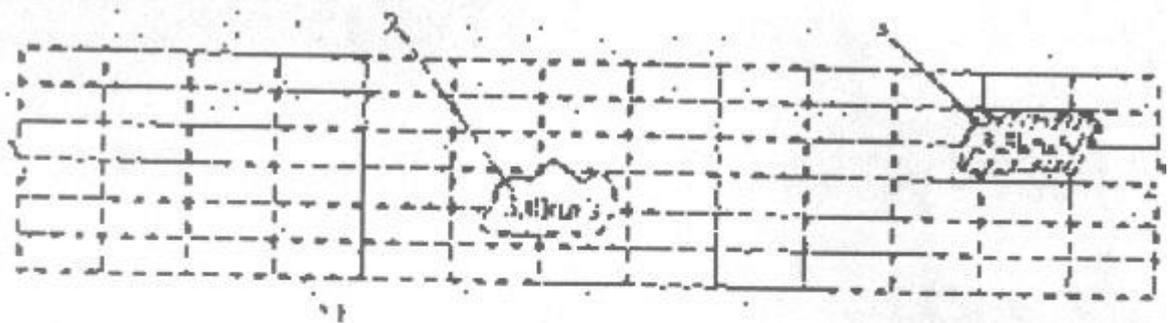


图 4.5.3 不密实区域的范围和空洞的位置

1-混凝土；2-空洞；3-不密实区域

- (2) 算法，用测得的数据按下式估算混凝土空洞直径：

$$D = \frac{L}{2} \sqrt{\left(\frac{T_{\max}}{m_T}\right)^2 - 1} \quad (4.5.3)$$

式中  $T_{\max}$  ——最大声时值 (s)；

$m_T$  ——混凝土声时平均值

$D$  ——混凝土空洞直径 (m)。

4.5.4 对被判定为混凝土不密实的区域或空洞，必要时应钻取芯样验证。

## 4.6 表面损伤层厚度检测

4.6.1 混凝土表面损伤层厚度的检测应按下列步骤进行。

4.6.1.1 根据结构或构件的损伤程度，结合表观质量状况，选取有代表性的部位布置测区进行检测，其数量不宜少于3个。

4.6.1.2 测区内的测点不宜少于10个。

4.6.1.3 布置测点时，应符合下列规定：

- (1) 测试面应处于干燥状态；
- (2) 测点的接触面应平整、无缝和无饰面层；
- (3) 两个测点的连线，不宜与主钢筋平行。

4.6.1.4 测试应按下列方法进行：

- (1) 测试时，应将“发射”和“接收”两个换能器耦合在同一测试面上，间距0.1m；
- (2) 固定“发射”换能器应保持不动，“接收”换能器应按0.1m的等距离直线方向移动，如图4.6.1所示，读取相应的声时值，记录于测试表格；

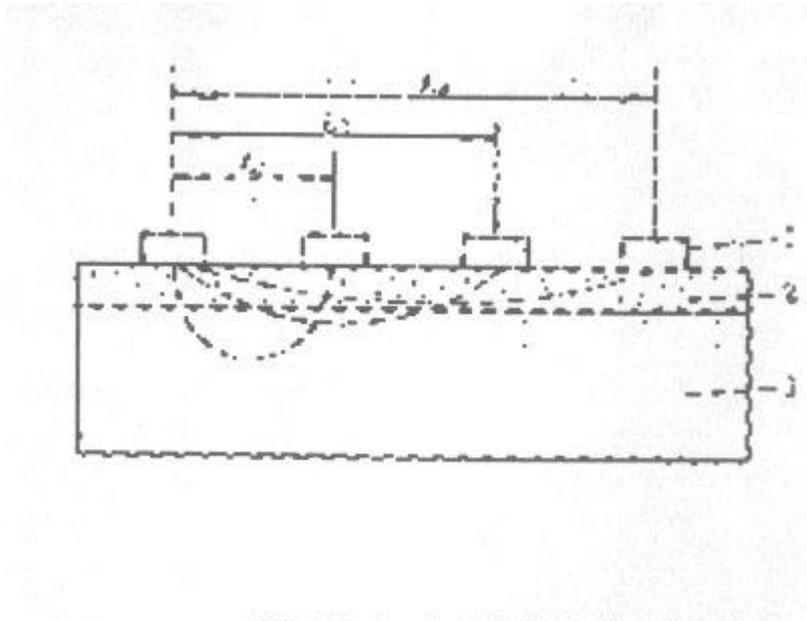


图 4.6.1 表面损伤厚度测试示意图

1-换能器;2-损伤层;3-混凝土

(3) 当测定的损伤层厚度不均匀时,可适当增加测试区域。

4.6.2 混凝土损伤层厚度应按下列方法判定。

4.6.2.1 将测试区域中各测点的声时值和相应的测距值,绘制“时—距”坐标图。如图 4.6.2 所示。

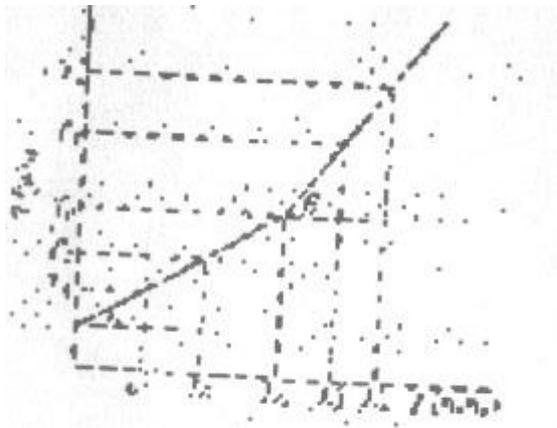


图 4.6.2 时—距坐标图

4.6.2.2 根据图 4.6.2 所示的声时值所形成的拐点,按下列公式计算损伤层厚度混凝土声速值和未损伤层混凝土的声速值:

$$V_i = \operatorname{ctg} \alpha = \frac{L_{i+1} - L_i}{T_{i+1} - T_i} \quad (4.6.2-1)$$

$$V'_i = \operatorname{ctg} \beta = \frac{L'_{i+1} - L'_i}{T'_{i+1} - T'_i} \quad (4.6.2-2)$$

式中  $L_i$ 、 $L_{i+1}$ 、 $L'_i$ 、 $L'_{i+1}$ ——分别为拐点前后各测点的测 (m)；  
 $T_i$ 、 $T_{i+1}$ 、 $T'_i$ 、 $T'_{i+1}$ ——相应于测距  $L_i$ 、 $L_{i+1}$ 、 $L'_i$ 、 $L'_{i+1}$  的声时值 (s)。

4.6.2.3 损伤层厚度可按下式计算：

$$d_L = \frac{L_a}{2} \sqrt{\frac{V_i - V'_i}{V'_i + V_i}} \quad (4.6.2-3)$$

式中  $d_L$ ——损伤层厚度 (m)；  
 $L_a$ ——声速产生突变时的测距 (m)。

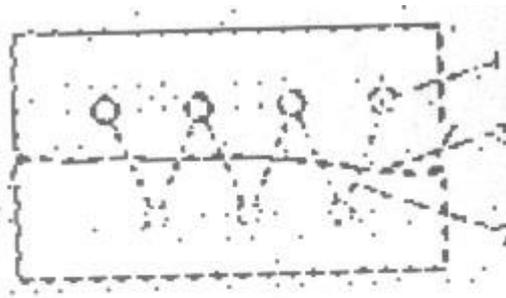
## 4.7 混凝土结合面质量检测

4.7.1 检测混凝土结合面质量前，应查明结合面位置、走向及表观质量，填绘于简图。

4.7.2 应根据混凝土结合面的测试条件，分别采用下列测试方法。

4.7.2.1 当结合面具有一对相对测试面时，应按下列方法进行测定：

(1) 超声波测点应跨越结合面的两个相对面布置，测点边线的夹角相等，如图 4.7.2/1 所示；



4.7.2-1 双面斜测法示意图

1-换能器；2-结合面缝；3-声通路

(2) 声通路方向应避开与构件主钢筋平行和预埋铁件；

(3) 测点间的间距可根据结构或构件的尺寸而定，宜控制在 0.1 m ~ 0.25 m。

4.7.2.2 当结合面只具有单个测试面时，可按下列方法进行测试：

(1) 在距结合面  $0.05 \sim 0.10$  m 位置的平面上, 钻取一个直径  $50$  mm 芯样, 其深度为构件厚度的  $2/3$ ;

(2) 在芯样的孔穴内, 置放一个柱状换能器, 在跨越距结合面  $0.05 \sim 0.10$  m 的平面上安放一个换能器, 如图 4.7.2 / 2 所示;

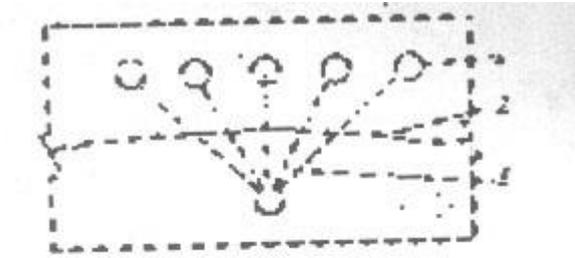


图 4.7.2-2 单面斜测法示意图  
1-换能器;2-结合面缝;3-声通路

(3) 移动平面换能器应与结合面成平行, 其间距应根据结构或构件的尺寸及换能器的效率而定, 宜控制在  $0.10 \sim 0.25$  m。

4.7.3 结合面的缺陷可疑点和警告点可按本规程第 4.4.1 条规定的方法进行判定, 并填绘于简图。

4.7.4 对混凝土结合面被判定有缺陷的区域, 必要时应通过钻取芯样或采用压水法进行验证。

## 4.8 灌注桩缺陷检测

4.8.1 超声波法检测混凝土灌注桩质量, 系指对桩径大于  $0.6$  m 混凝土灌注桩的桩身完整性的检测。检测所得的混凝土声速值不得直接推定桩中混凝土强度。

4.8.2 声波检测管(声测管)应满足下列要求。

4.8.2.1 声测管应选用钢质管, 其内径应大于径向换能器直径的  $1.5$  倍。声测管的质量可用压水法检验。

4.8.2.2 声测管的上端应加盖帽, 末端应封闭, 管与管间可用螺纹连接或焊接连接。

4.8.3 声测管的预埋应符合下列规定。

4.8.3.1 桩径在  $0.6 \sim 2.0$  m 时应埋设 3 根声测管; 桩径大于  $2.0$  m 时应埋设 4 根声测管。埋设位置如图 4.8.3 所示。

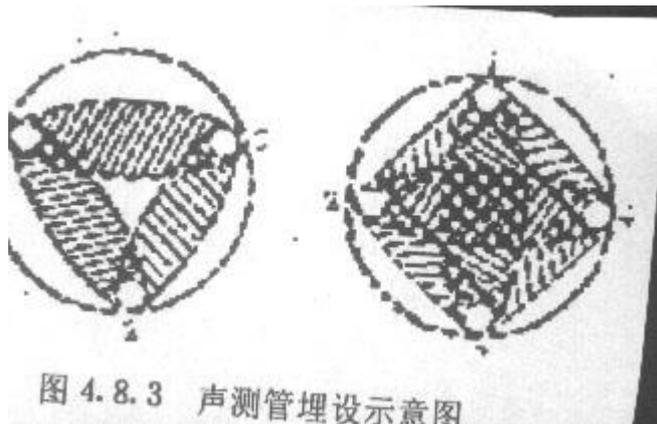


图 4.8.3 声测管埋设示意图

- 4.8.3.2 声测管应焊接在钢筋笼的内侧，声测管之间应保持平行。
- 4.8.4 换能器应采用柱状径向换能器，并符合下列规定。
  - 4.8.4.1 频率宜为 25~50 kHz，长度不宜大于 0.2 m。
  - 4.8.4.2 水密性应满足在 1.0 MPa 水压下不漏水。
  - 4.8.4.3 当测试深度大于 30 m 时，或桩径大于 1.5 m 时，可选用装有前置放大器的换能器检测，其频率宽度宜为 5~50 kHz。
  - 4.8.4.4 换能器电缆线应有清晰的测距标志。
- 4.8.5 缺陷检测应按下列步骤进行。
  - 4.8.5.1 旋开声测管上端的盖帽，在声测管内注满清水，用一个与换能器相同直径的钢锥，测量声测管的长度，并清除管壁上的杂质，保持其通畅。
  - 4.8.5.2 当声测管内有泥浆堵塞时，可采用高压水冲洗，或用抽真空的方法将泥浆排除干净。
  - 4.8.5.3 接收和发射换能器应安装扶正器。
  - 4.8.5.4 应将 2 根声测管编为一组，分组进行测试。
  - 4.8.5.5 根据测试要求可采用下列方法进行测试：
    - (1) 对测法，将发射和接收换能器置于同一标高；
    - (2) 斜测法，将发射和接收换能器置于不同标高，声通路与水平方向成  $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。
  - 4.8.5.6 测点间的间距应根据桩的浇筑质量而定，宜控制在 0.25~0.50 m。
  - 4.8.5.7 检测宜从声测管顶部开始，发射和接收换能器应同步下降，读取各测点的声时值和首波振幅值，记录于测试表格内。当发射和接收换能器抵达声测管底部后，仍应保持同步上升至顶部，记录各测点的声时值和首波振幅值。
  - 4.8.5.8 检测完毕后，每组声测管有两次测读数据，可按下列公式分别计算声时相对标准差和振幅相对标准差：

$$S_T = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{T_i - T_{\bar{i}}}{m_T} \right) / 2n \right]^2} \quad (4.8.5-1)$$

$$S_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{A_i - A_{\bar{i}}}{m_A} \right) / 2n \right]^2} \quad (4.8.5-2)$$

$$m_T = \frac{T_i + T_{\bar{i}}}{2} \quad (4.8.5-3)$$

$$m_A = \frac{A_i + A_{\bar{i}}}{2} \quad (4.8.5-4)$$

式中  $S_T$ ——声时相对标准差 (%)；

$T_i$ ——第  $i$  个测点声时测试值 (s)；

$T_{j i}$ ——第  $i$  个测点第  $j$  次声时值 (s)；

$S_A$ ——振幅相对标准差 (%)；

$A_i$ ——第  $i$  个测点振幅值 (mm 或 dB)；

$A_{j i}$ ——第  $i$  个测点第  $j$  次振幅值 (mm 或 dB)。

4.8.6 当检测过程中出现下列情况之一时，应进行复测。

4.8.6.1 当声时相对标准差大于 5% 或振幅相对标准差大于 10%，应查明原因，并进行复测。

4.8.6.2 当在测试过程中发现声时值异常或振幅值异常时，应测量 3 次，当证实测试无误时，将该异常值记录于表格内，并填绘于简图。

4.8.6.3 复测时，应在异常值周围加密测点，确定缺陷的范围及性质。

4.8.7 检测数据的整理和桩身完整性的判定应符合下列规定。

4.8.7.1 检测数据整理计算方法应符合附录 C 的规定。

4.8.7.2 应根据计算结果，按本章第 4.4.1 条规定的方法判定混凝土缺陷可疑区域。

4.8.8 当判定桩身有缺陷可疑区域时，应采用多种测试方法综合判定混凝土缺陷的性质，必要时可钻取芯样验证。

## 4.9 裂缝检测

4.9.1 混凝土裂缝检测应符合下列规定。

4.9.1.1 调查应包括下列内容：

- (1) 裂缝周围混凝土质量、裂缝的长度及走向；
- (2) 使用材料的品质、混凝土配合比、浇筑和养护方法；
- (3) 缝隙内有无异物和积水；
- (4) 荷载条件及周围环境条件，包括温度和湿度变化；
- (5) 开裂时间及开裂过程中变化；
- (6) 设计图纸和计算书必要的校核。

4.9.1.2 测试区布置应符合下列规定：

- (1) 每条裂缝的测试区不宜少于 3 个；
- (2) 测试区内的测点不宜少于 4 个，测点间的间距应通过试验确定；

(3) 测试区内的测点应避开钢筋。

4.9.2 裂缝宽度的测量可采用下列方法。

4.9.2.1 塞尺测量，将塞尺插于裂缝缝隙间，读取塞尺上所标量值，记录于测试表格。

4.9.2.2 目测放大镜测量，将目测放大镜跨越于缝隙的两个边缘，读取测试值，记录于测试表格。

4.9.2.3 测得的裂缝宽度、长度及走向应填绘于简图。

4.9.3 在同一条裂缝上测得的最大测试值应为裂缝宽度代表值。

4.9.4 检测混凝土裂缝深度应根据测试条件确定下列测试方法。

4.9.4.1 当混凝土结构或构件上的裂缝具有一个可测试面时，预估裂缝深度小于或等于 500 mm，可采用单面平测法测量。测试步骤如下：

(1) 不跨缝测量，将“接收”和“发射”两个换能器置于裂缝邻近的同一侧面，以两个换能器边缘间距  $L'_i = 100\text{ mm}$ 、 $150\text{ mm}$ 、 $200\text{ mm}$ 、 $250\text{ mm}$ 、……距离移动，分别读取声时值  $T_i$ ，绘制时—距坐标图，如图 4.9.4 / 1 所示。

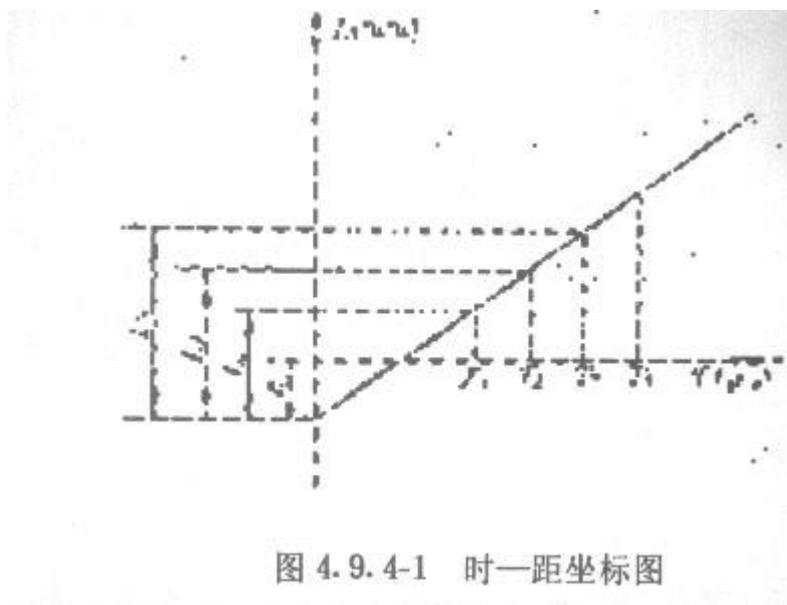


图 4.9.4-1 时—距坐标图

亦可用回归分析方法，求出下列关系式：

$$L_i = L'_i - a \quad (4.9.4 / 1)$$

式中  $L_i$  ——第  $i$  点的超声实际传播距离 (m)；

$L'_i$  ——第  $i$  点的“接收”和“发射”两个换能器的边缘间距 (m)；

$a$  ——回归系数。

(2) 跨缝测量，将“接收”和“发射”两个换能器分别置于裂缝为轴线的对称两侧，其中心连线垂直于裂缝走向，以  $L' = 100\text{ mm}$ 、 $150\text{ mm}$ 、 $200\text{ mm}$ 、 $250\text{ mm}$ 、……距离移动，分别读取相应的声时值  $T_{oi}$ ，如图 4.9.4 / 2 所示。

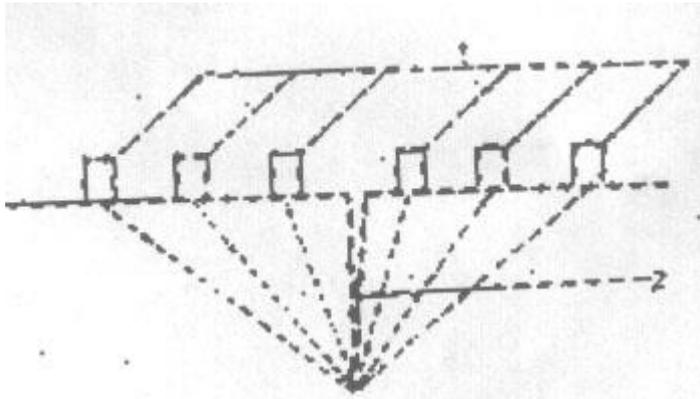


图 4.9.4-2 跨缝声时测量示意图  
1-换能器;2-裂缝

(3) 裂缝深度可按下式进行计算:

$$d_h = \frac{L_i}{2} \sqrt{\left[\frac{T_{di}}{T_i}\right]^2 - 1} \quad (4.9.4-2)$$

式中  $d_h$  —— 裂缝深度 (m);

$T_{di}$  —— 跨越裂缝时第  $i$  点声时测试值 (s);

$T_i$  —— 不跨越裂缝时第  $i$  点声时测试值 (s);

$L_i$  —— 第  $i$  测点两个换能器内边缘间距 (m)。

4.9.4.2 当混凝土结构或构件的裂缝部位具有多个相互平行的测试表面时,可采用双面斜测法测试。其测试方法是“接收”和“发射”两个换能器置于对应测点 1、2、3、……的位置,如图 4.9.4/3 (a)、(b) 所示。

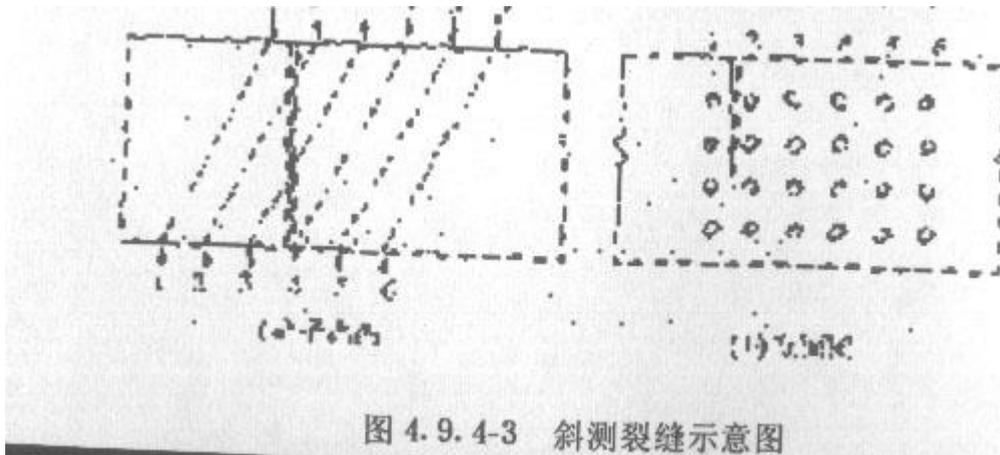


图 4.9.4-3 斜测裂缝示意图

4.9.4.3 裂缝深度应根据声时、首波振幅和波形等数据综合判定。

4.9.5 检测大体积混凝土结构中的裂缝或构件厚度大于 50 cm 的混凝土裂缝深度可采用钻孔法,钻取测试孔应符合下列要求。

4.9.5.1 应在裂缝部位附近钻测试孔3个，其间距不宜小于1.0m。其布置如图4.9.5所示。

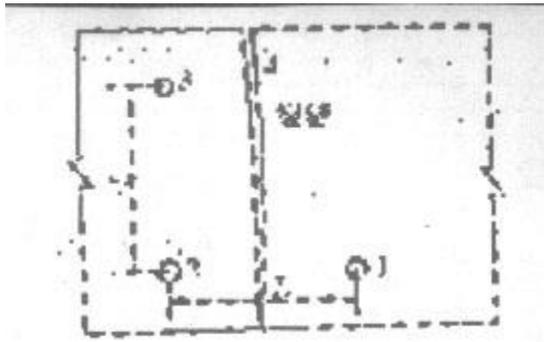


图 4.9.5 钻孔法测试孔位置示意图  
1、2-测试孔；3-校准孔；4-裂缝

4.9.5.2 跨越于裂缝两侧的检测孔，其深度应大于裂缝深度，并与混凝土表面相垂直。

4.9.5.3 不跨越裂缝的检测孔为校准孔，其深度约500mm

4.9.5.4 孔径应比换能器直径大5~10mm。

4.9.5.5 测试孔内不应存有泥浆等杂质。

4.9.6 裂缝深度检测应按下列方法进行测试。

4.9.6.1 应选用频率为20~36kHz径向振动式换能器；在换能器的电缆线上标出等距离标志，宜为0.1~0.5m；

4.9.6.2 测试孔中应注满清水，将“接收”和“发射”换能器分别置于裂缝两侧的对测孔中，以同一高程等间距从上至下同步移动，读取声时、首波波幅换能器所处的深度，如图4.9.6所示。

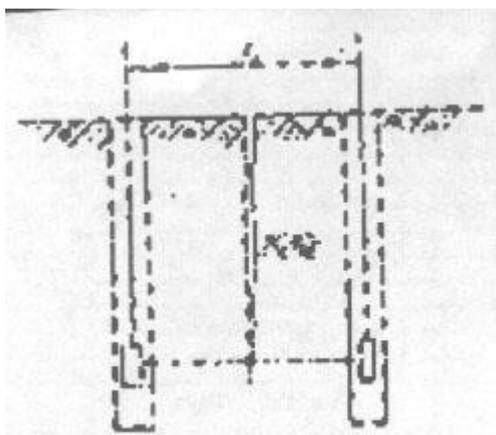


图 4.9.6 测试示意图

4.9.7 裂缝深度判定应符合下列规定。

4.9.7.1 绘制换能器深度与相应的首波波幅值的  $A_i - d/h$  时值的  $T_i - d/h_i$  的坐标图，见图4.9.7。

4.9.7.2 根据4.9.7坐标图上趋于稳定的最小声时值和最大值对应于该点的深度应为裂缝深度测试值。

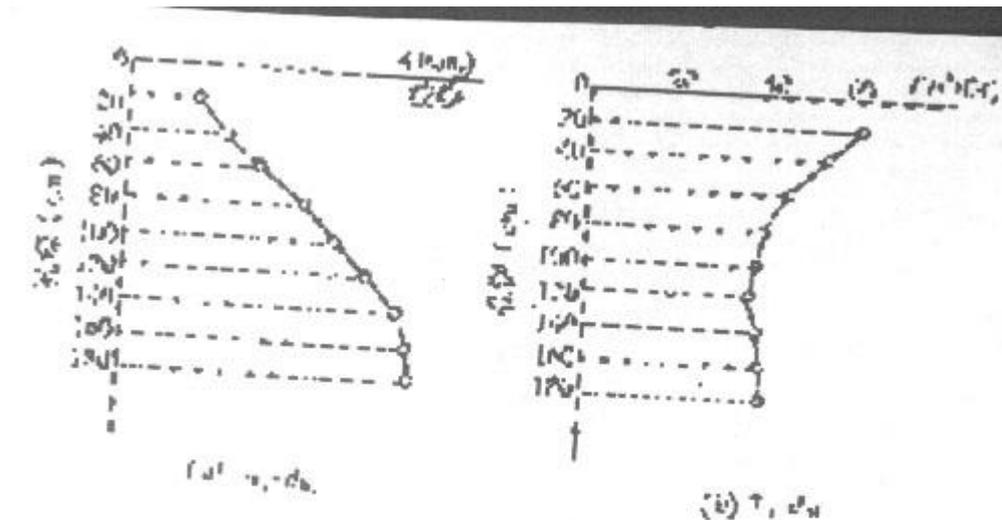


图 4.9.7 声时波幅值坐标图

- 4.9.8 裂缝测试结果处理应满足下列要求。
- 4.9.8.1 应将裂缝宽度和深度的代表值以及长度及走向结构简图。
- 4.9.8.2 应选取有代表性部位，5 mm × 30 mm 石膏楔子，观察裂缝裂状态的变化。

## 5 混凝土强度的检测

### 5.1 一般规定

5.1.1 检测结构或构件中混凝土强度，宜采用回弹法、超声一回弹综合法等非破损方法或钻取芯样的微破损方法，其检测结果可作为评定混凝土强度的依据。

5.1.2 用回弹法和超声一回弹综合法等检测结构或构件中混凝土强度，应按附录 C 规定的方法预先建立混凝土强度与回弹值的相关关系或混凝土强度与回弹值混凝土声速之间的相关关系，作为换算结构中混凝土强度的依据。

5.1.3 用非破损方法检测的结构中混凝土强度，适用于 C10 ~ C60 的强度，推定的强度值相当于边长为 150 mm 立方体试件抗压强度。

5.1.4 用取芯法钻取的混凝土芯样试件，制备成高度与直径均为 100 mm 的芯样抗压强度试件，按《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270) 规定方法测得抗压强度值，其尺寸效应相当于边长 150 mm 立方体试件的抗压强度。

5.1.5 对采用非破损方法推定的混凝土强度结果有怀疑时，可钻取少量芯样试件进行校核修正。

## 5. 2 回弹法推定混凝土强度

5. 2. 1 回弹仪检测混凝土强度不得用于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和构件。

5. 2. 2 测定混凝土回弹值的仪器，宜采用示值系统为指针的直读式混凝土回弹仪，亦可采用经鉴定认可的回弹仪。

5. 2. 3 回弹仪按标称动能及用途可分为下列类型：

- (1) 中型回弹仪，适用于C 1 0 ~ C 4 5 的混凝土；
- (2) 重型回弹仪，适用于大体积混凝土或骨料最大粒径大于5 0 mm的混凝土；
- (3) 高强度回弹仪，适用于C 5 0 ~ C 6 0 的混凝土。

5. 2. 4 回弹仪的维修和保养可按附录D的规定执行。

5. 2. 5 测试步骤应符合下列规定。

5. 2. 5. 1 检查回弹仪的弹击拉簧处于自由状态，弹击锤与弹击杆碰撞瞬间，弹击锤起跳点应相应于指针指示刻度尺上“0”处。

5. 2. 5. 2 作率定值“RN”测试，其结果应符合表5. 2. 5 的标准。

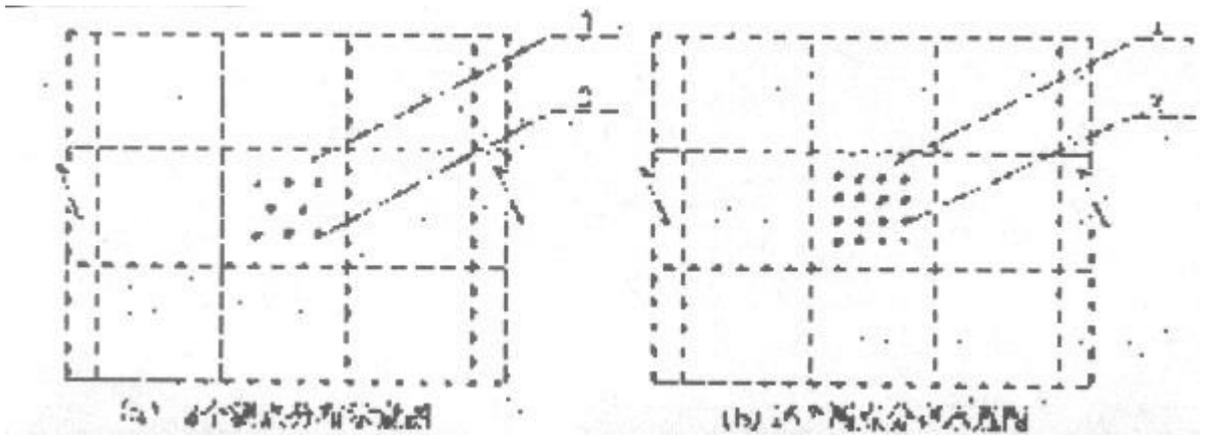
回弹仪型号	中 型	重 型	高 强 度 型
率定值 $R_N$	80±2	63±1	80±2

5. 2. 5. 3 检验结果不符合标准状态的回弹仪不得在工程中使用。

5. 2. 6 测区、测点应满足下列要求。

5. 2. 6. 1 测区数不应少于3个，相邻两侧区的间距不宜大于2. 0 m。

5. 2. 6. 2 测区应均匀分布，并应避开钢筋和铁制预埋件。5. 2. 6. 测区面积应能容纳8个或16个回弹测点，如图5. 2. 6 (a)、(b)所示。



5. 2. 6. 4 测区表面应清洁，平整、干燥，不应有接缝、饰面层、粉刷层、浮浆、油垢、蜂窝和麻面等表观缺陷。

5. 2. 6. 5 测区应标有清晰编号，并标于简图中。

5. 2. 7 测定回弹值应符合下列规定。

5. 2. 7. 1 回弹仪宜处于水平方向测试混凝土浇筑的侧面，当不能满足这一要求时，亦可按非水平方向测试。

5. 2. 7. 2 每个测区应弹击16个测点。当测区具有两个侧面时，每个侧面

可弹击 8 个测点；当不具有两个侧面时，可在一个侧面上弹击 16 个测点。

5.2.7.3 弹击回弹值测点时，应避开气孔或外露石子。一个回弹值测点只允许弹击一次，回弹值测点间的间距不宜小于 30 mm。

5.2.7.4 回弹仪的轴线垂直于结构或构件的混凝土表面，缓慢均匀施压，不宜用力过猛或冲击。

5.2.7.5 一个回弹测点测试完毕，可将回弹仪的弹击杆压在混凝土表面，读取回弹测点值，亦可按下回弹仪上的按钮，锁住机芯读数。

5.2.7.6 读数完毕后，应使回弹仪的弹击杆自机壳内伸出，挂钩挂上弹击锤，待测定下一个回弹测点。

5.2.8 碳化深度测定应符合下列规定。

5.2.8.1 应采用电动冲击锤在回弹值的测区内，钻一个直径为 20 mm，深约 80 mm 的孔洞。

5.2.8.2 应清除孔洞内混凝土粉末，用 1% 酚酞溶液滴在孔洞内壁的边缘处，用 0.5 mm 精度的钢直尺测量混凝土表面至不变色交界处的垂直距离 2~3 次，计算其碳化深度平均值，即为混凝土碳化深度。

5.2.8.3 当测定的碳化深度值小于 1.0 mm 时，可按无碳化处理。

5.2.9 测试数据整理应符合下列规定。

5.2.9.1 测区回弹值应以回弹仪水平方向测试混凝土浇筑侧面的测值为基准。

5.2.9.2 测区回弹平均值的计算，应在 16 个回弹测点值中，剔除 3 个最大值和 3 个最小值后，剩余 10 个回弹值，计算测区平均回弹值。

5.2.9.3 当回弹仪在非水平方向测试时（图 5.2.9），应按下式换算成水平方向回弹平均值：

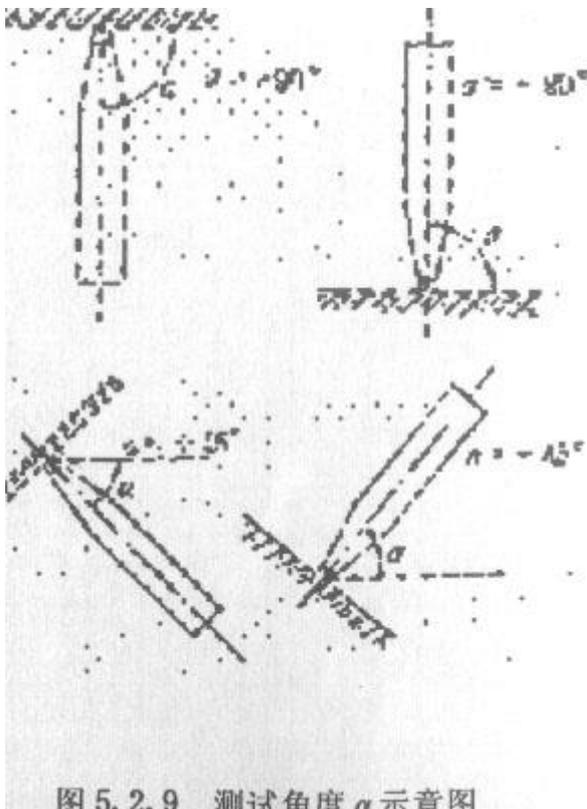


图 5.2.9 测试角度  $\alpha$  示意图

$$m R = m R_{\alpha} + \Delta R_{\alpha}$$

(5.2.9)

式中  $m_{R\alpha}$  ——回弹仪与水平方向成  $\alpha$  角测试的测区平均回弹值；

$\Delta R_{\alpha}$  ——按表 5.2.9 查出不同测区角度  $\alpha$  的回弹值修正值，计算至 0.1。

修正值  $\Delta R_{\alpha}$

表 5.2.9

$m_{R\alpha}$	测试角度 $\alpha$							
	+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

注：表中未列入的相应于  $m_{R\alpha}$  的修正值  $\Delta R_{\alpha}$ ，可用内插法求得，计算精确至 0.1

5.2.10 混凝土强度推定值的确定应符合下列规定。

碳化深度修正值  $\eta_m$

表 5.2.10

测区强度 (MPa)	碳化深度 (mm)					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	$\geq 6.0$
10.0 ~ 19.9	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
20.0 ~ 29.9	0.94	0.88	0.82	0.75	0.73	0.65
30.0 ~ 39.9	0.93	0.86	0.80	0.73	0.68	0.60
40.0 ~ 50.0	0.92	0.84	0.78	0.71	0.65	0.58

5.2.10.1 用测定的回弹值换算混凝土强度时，宜优先采用专用测强曲线。当无专用测强曲线时，可根据回弹仪型号，按下列混凝土强度相关关系式进行换算：

(1) 中型回弹仪：

$$\text{普通混凝土强度 } f_{cuRo} = 0.02497m_R^{2.016} \quad (5.2.10-1)$$

$$\text{引气混凝土强度 } f_{cuRo} = 15m_R - 152 \quad (5.2.10-2)$$

(2) 重型回弹仪：

$$\text{混凝土强度 } f_{cuRo} = 77e^{0.04m_R} \quad (5.2.10-3)$$

(3) 高强度回弹仪：

$$\text{混凝土强度 } f_{cuRo} = f(R_{Ni}) \quad (5.2.10-4)$$

5.2.10.2 当混凝土的碳化深度大于或等于 1.0 mm 时，应将换算的混凝土强度值按下式进行修正：

$$f_{cuRom} = \eta_m \cdot f_{cuRo} \quad (5.2.10/5)$$

式中  $f_{cuRom}$ ——经碳化深度修正后回弹法的混凝土换算强度值 (MPa)；  
 $\eta_m$ ——碳化深度修正值，查表 5.2.10。

测区强度 (MPa)	碳 化 深 度 (mm)					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	$\geq 6.0$
10.0~19.9	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
20.0~29.9	0.94	0.88	0.82	0.75	0.73	0.65
30.0~39.9	0.93	0.86	0.80	0.73	0.68	0.60
40.0~50.0	0.92	0.84	0.78	0.71	0.65	0.58

5.2.1.1 经碳化修正后的混凝土强度换算值，按下式推定混凝土强度：

$$f_{cuRe} = f_{cuRom}(1 - t\delta_e) \quad (5.2.11)$$

式中  $f_{cuRe}$ ——回弹法的混凝土强度推定值；

$t$ ——正态分布概率度。对于专用测强相关关系式， $t = 0.5$ ；对于通用测强相关关系式， $t = 1.0$ ；

$\delta_e$ ——剩余变异系数。对于专用测强相关关系式， $\delta_e$ 可自行求得；对于通用测强相关关系式，取  $\delta_e = 0.14$ 。

### 5.3 超声—回弹综合法推定混凝土强度

5.3.1 超声—回弹综合法系指用超声波检测仪和回弹仪，在混凝土结构或构件的同一测区内，测得的混凝土声速平均值和回弹平均值，并以此推定混凝土强度。

5.3.2 超声—回弹综合法不宜用于遭受冻害、化学腐蚀、火灾损伤、埋有块石的混凝土以及经超声波法检测判定混凝土均匀性不合格的结构或构件。

5.3.3 超声回弹综合法采用的超声波检测仪和换能器应符合本规程第 4.2.1 条和第 4.2.2 条的规定。回弹仪应符合本规程第 5.2.2 条的规定。

5.3.4 测试步骤应符合下列规定。

5.3.4.1 根据混凝土均匀性的检测结果，选取测区。

5.3.4.2 测区应符合下列要求：

(1) 每个构件不应少于 3 个测区；

(2) 一个测区应是一个矩形网格或正方形网格，网格面积约  $225 \sim 2500 \text{ cm}^2$ ；

(3) 一个测区上由 4 个超声波测点和 16 个回弹值测点组成，如图 5.3.4 所示。

5.3.4.3 计算测区声速平均值。测区回弹平均值可按第 5.2.9 条规定

的方法求得。

5.3.5 混凝土强度推定值的确定应采用下列方法。

5.3.5.1 测定的测区声速平均值和测区回弹平均值换算测区混凝土强度时，应优先采用专用混凝土强度相关关系式；当无专用混凝土强度相关关系式时，可采用下列通用混凝土强度相关关系式：

(1) 中型回弹仪：

$$\textcircled{1} \text{ 普通混凝土强度 } f_{\text{cu}vR_0} = 0.008m_v^{1.72}m_R^{1.57} \quad (5.3.5-1)$$



图 5.3.4 测点示意图  
1-超声波测点；2-回弹测点；3-测区

$$\textcircled{2} \text{ 引气混凝土强度 } f_{\text{cu}vR_0} = 0.04m_v^{1.54}m_R^{1.30} \quad (5.3.5-2)$$

(2) 重型回弹仪：

$$\text{混凝土强度 } f_{\text{cu}vR_0} = 0.022m_v^{1.99}m_R^{1.19} \quad (5.3.5-3)$$

(3) 高强度回弹仪：

$$\text{混凝土强度 } f_{\text{cu}vR_0} = f(V_i \cdot R_{Ni}) \quad (5.3.5-4)$$

5.3.5.2 混凝土强度换算值确定后，应按下式计算混凝土推定强度值：

$$f_{\text{cu}vR_e} = f_{\text{cu}vR_0}(1 - t\delta_e) \quad (5.3.5-5)$$

式中  $f_{\text{cu}vR_e}$  ——混凝土推定强度值；

$t$  ——正态分布概率度，对专用混凝土强度相关关系式，

$t = 0.5$ ；对通用混凝土强度相关关系式， $t = 1.0$ ；

$\delta_e$  ——剩余变异系数，对专用混凝土强度相关关系式，可自行求得；对通用混凝土强度相关关系式，即  $\delta_e = 0.14$ 。

## 5.4 取芯法推定混凝土强度

5.4.1 取芯法系指在混凝土结构或构件上钻取混凝土芯样试件，直接测定混凝土强度。

5.4.2 混凝土强度低于 $10\text{MPa}$ 时，不宜采用取芯法。

5.4.3 取芯法采用的设备应符合下列规定。

5.4.3.1 混凝土取芯机宜采用轻便型取芯机，并应满足下列要求：

(1) 取芯机主轴空载转速宜具有 $850\text{r/min}$ 和 $480\text{r/min}$ 两档，径向跳动不宜超过 $0.1\text{mm}$ ；

(2) 具有水冷却系统。

5.4.3.2 钻取混凝土芯样宜选用人造金刚石薄壁钻头，并应满足下列要求：

(1) 切口宽度可控制在 $2.0\sim 4.0\text{mm}$ ；

(2) 钻头胎体不得有肉眼可见的裂缝、少角、缺边、倾斜和喇叭口变形；

(3) 钻头胎体对刚体的同心度偏差不得大于 $0.3\text{mm}$ ，钻头的径向跳动不宜大于 $1.5\text{mm}$ 。

5.4.3.3 切割机可选用手动或自动两种型式的岩石切割机，并应满足下列要求：

(1) 线速度可控制在 $0.7\sim 0.8\text{m/min}$ ；

(2) 进刀速度可控制在 $8\sim 12\text{m/min}$ ；

(3) 水冷却系统，水压可保持在 $0.01\text{MPa}$ 。

5.4.3.4 探测钢筋位置的磁感仪，探测深度不应小于 $60\text{mm}$ ，探测位置的偏差不应大于 $\pm 5\text{mm}$ 。

5.4.3.5 芯样试件端面磨平机，应能保证处理芯样试件端面的平整。

5.4.4 测试步骤应满足下列要求。

5.4.4.1 应按附录E规定的操作程序检查取芯机的工作状态。

5.4.4.2 选取钻头直径不应小于粗骨料最大粒径的2倍。

5.4.4.3 钻取芯样试件的位置应符合下列原则：

(1) 应在混凝土质量具有代表性的部位；

(2) 应在受力较小部位；

(3) 应避开主筋，不得在预埋铁件和管线等位置；

(4) 当用于修正非破损检测结果时，应在非破损方法计算所得的混凝土强度推定值的平均值邻近测区钻取；

(5) 芯样试件钻取完毕后，应取出芯样试件，编号；

(6) 钻取芯样试件留下的空穴，应及时修补。

5.4.5 抗压强度试验应符合下列规定。

5.4.5.1 混凝土芯样抗压强度试件（抗压试件）的高径比宜以

$1.0$ 为基准，亦可采用高径比 $0.8\sim 1.2$ 的试件。

5.4.5.2 从每个钻孔中钻取的芯样，应按表5.4.5的规定制备试件数量。

芯样直径 (mm)	≥100	75~65	60~50
抗压试件数量(个)	1	3	5

5.4.5.3 抗压试件不得在蜂窝、麻面、孔洞、掉石和裂缝等缺陷部位制取。

5.4.5.4 钢筋允许含量应满足下列要求：

(1) 芯样直径 ≥ 100 mm 的试件，可含一根直径 ≤ 2.2 mm 的钢筋，且与试件受压面平行；

(2) 芯样直径 < 100 mm 的试件，可含一根直径 ≤ 6.0 mm 的钢筋，且与试件受压面平行。

5.4.5.5 进行抗压强度试验前，应对试件进行下列几何尺寸的测量：

(1) 直径，用游标卡尺测量试件中部，在相互垂直的两个位置上，测量两次，计算其算术平均值，精确至 0.5 mm；

(2) 高度，用钢板尺在芯样由面至底的两个相互垂直位置上，测量两次，计算其算术平均值，精确至 1.0 mm；

(3) 垂直度，用游标量角器测量两个端面与母线的夹角，精确至 0.1°；

(4) 平整度，用钢板尺或角尺紧靠在试件端面上，用塞尺测量与试件端面的间隙。

5.4.5.6 芯样试件的两个端面宜用高强砂浆、硫磺砂浆或 107 胶和水泥混合成胶液修整，其厚度不宜超过 1.5 mm。

5.4.5.7 修整完毕的芯样试件应静置 24 h，移至标准养护室内或 20 ± 3℃ 的水中养护 48 h，取出作抗压强度试验。

5.4.5.8 抗压强度试验应按《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270) 规定的方法进行。

5.4.5.9 检查破碎后的抗压强度试件，当出现下列情况之一时，应剔除该试件的试验结果：

(1) 含有大于芯样直径 0.5 倍粒径的粗骨料；

(2) 含有蜂窝和孔洞等缺陷；

(3) 端面出现裂缝或抹平层分离；

(4) 试件侧面出现斜向裂缝。

5.4.6 应按下式计算抗压强度测试值：

$$f_{\text{curo}} = 1.273 \frac{N}{\phi^2} \times \eta_A \times \eta_k \quad (5.4.6)$$

式中  $f_{\text{curo}}$ ——混凝土抗压强度测试值 (MPa)；

$N$ ——极限抗压荷载 (N)；

$\phi$ ——芯样直径 (mm)；

$\eta_A$ ——不同高径比芯样试件强度换算系数，可按表 5.4.6 中选取；

高径比	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
$\eta_A$	0.90	0.95	1.00	1.04	1.07

$\eta_k$ ——换算系数,当芯样直径 $< 100\text{ mm}$ 的抗压强度试件的抗压强度值乘以 $\eta_k$ ,换算成直径与高度均为 $100\text{ mm}$ 的抗压强度值, $\eta_k = 1.12$ 。  
5.4.7按表5.4.5规定制取的芯样试件数量,其抗压强度代表值应按下列方法确定。

5.4.7.1制备1个抗压试件的芯样,其测试值应为抗压强度代表值。

5.4.7.2制备3个抗压试件的芯样,其抗压强度代表值应按下列方法确定:

(1)以3个试件抗压强度测试值的算术平均值为钻孔芯样的强度代表值;

(2)当3个试件抗压强度测试值中出现的最大值或最小值与中间值相差超过15%时,取中间值为芯样试件强度代表值;

(3)当3个试件抗压强度中出现的最大值和最小值与中间值相差均超过15%时,该钻孔芯样无强度代表值。

5.4.7.3制备5个抗压试件的芯样,其抗压强度代表值应按下列步骤确定:

(1)剔除芯样试件强度最小值或最大值,按下式计算剩余芯样抗压试件强度平均值:

$$m_{f'_{\text{curo}}} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n f_{\text{curo}i} (i = 1, 2, 3, 4) \quad (5.4.7-1)$$

(2)计算 $t$ 值:

$$t = \frac{m_{f'_{\text{curo}}} - f_{\text{curo}min}}{\frac{m_{f'_{\text{curo}}} \times 6}{100} \sqrt{1 + \frac{1}{n_o - 1}}} \quad (5.4.7-2)$$

式中 $m_{f'_{\text{curo}}}$ ——剔除最小值或最大值后剩余芯样的强度平均值(MPa);

$n_o$ ——剩余芯样数。

(1)抗压强度代表值的确定:

(2)①当 $t \leq 2.4$ 时,以5个芯样试件强度的算平均值为芯样强度代表值;

②当 $t > 2.4$ 时,对剩余4个芯样强度值再按上述方法进行检验,当检验结果 $t \leq 2.9$ 时,则以4个芯样试件强度的算术平均值为强度代表值;

③当 $t > 2.9$ 时,则该钻孔芯样无强度代表值。

5.4.7.4当判定钻孔钻取的芯样无强度代表值时,应在原结构或构件上补充钻取芯样试件,再作抗压强度试验。

5.4.8混凝土芯样试件强度代表值应按下列式计算试件抗压强度推定值:

$$f_{\text{curo}} = 1.273 N \times \eta_A \times \eta_k / \Phi^2 \quad (5.4.8)$$

式中 $f_{\text{curo}}$ ——相当于边长 $150\text{ mm}$ 立方体试件的抗压强度推定值(MPa);

$f_{\text{curo}}$ ——芯样试件抗压强度代表值(MPa);

$K_o$ ——换算系数,按表5.4.8中选取。

K <sub>0</sub> 值				表 5.4.8
强度等级	≤C20	C25~C30	C35~C45	C50~C60
K <sub>0</sub>	0.82	0.85	0.88	0.90

5.4.9 当单独采用芯样试件强度判定单个结构中混凝土强度时，钻取的芯样试件不宜少于3个。

### 5.5 混凝土强度的合格判定

5.5.1 混凝土强度的合格判定，宜采用超声一回弹综合法，当不具备条件时，也可采用回弹法。

5.5.2 混凝土强度的初步判定应符合下列规定。

5.5.2.1 验收批判定，当测区数  $n \geq 5$  时，能同时满足式(5.5.2/1)和式(5.5.2/2)，可判为合格，反之，则初步判为不合格。

$$m_{f_{c_{ue}}} - S_{f_{c_{ue}}} \geq f_{c_{u,k}} \quad (5.5.2-1)$$

$$f_{c_{ue\min}} \geq f_{c_{u,k}} - \eta_c [\sigma_o] \quad (5.5.2-2)$$

式中  $m_{f_{c_{ue}}}$  ——同一验收批的，按测区强度或芯样强度推定值统计的混凝土抗压强度平均值 (MPa)；

$S_{f_{c_{ue}}}$  ——同一验收批内，按测区强度或芯样强度推定值统计的标准差 (MPa)；

$f_{c_{u,k}}$  ——混凝土立方体抗压强度标准值 (MPa)；

$f_{c_{ue\min}}$  ——同一验收批内测区混凝土强度推定值中的最小值 (MPa)；

$[\sigma_o]$  ——混凝土立方体强度的标准差平均水平 (MPa)，可按表 5.5.2/1 选取；

$\eta_c$  ——系数，按表 5.5.2/2 选取。

5.5.2.2 单个构件判定，当构件内的测区数或芯样数  $n = 3 \sim 4$  个时，同时满足式(5.5.2/3)和式(5.5.2/4)，可判为合格，反之，则判为不合格。

$$m_{f_{c_{ue}}} \geq f_{c_{u,k}} + \eta_D \quad (5.5.2-3)$$

$$f_{c_{ue\min}} \geq f_{c_{u,k}} - 0.5\eta_D \quad (5.5.2-4)$$

式中  $\eta_D$  ——系数，取值与表 5.5.2/1  $[\sigma_o]$  值相同。

5.5.3 混凝土强度合格判定的复验应符合下列规定。

5.5.3.1 采用非破损检测方法时，当验收批或单个构件被判定为不合格时，可用取芯法进行复验，即在非破损方法推定的测区强度平均值的邻近测区内钻取

芯样抗压试件，钻取芯样数量不宜少于 5 个。

5.5.3.2 应按 5.4 节规定方法作芯样抗压强度试验，并换算成

[ $\sigma_0$ ] 值			
强度等级	$\leq C20$	C25~C40	$\geq C45$
[ $\sigma_0$ ](MPa)	3.5	4.5	5.5

$\eta_c$ 值			
测区数量(个)	5~9	10~19	$\geq 20$
$\eta_c$	0.7	0.9	1.0

立方体强度推定值。

5.5.3.3 应按下列式计算校核系数：

$$\psi = m_{f_{cure}} / m_{f_{cuvR}} \quad (5.5.3 / 1)$$

式中  $\psi$  —— 校准系数；

$m_{f_{cure}}$  —— 验收批或单个构件内用芯样强度推定的立方强度平均值 (MPa)；

$m_{f_{cuvR}}$  —— 验收批或单个构件内用非破损方法推定的立方强度平均值 (MPa)。

5.5.3.4 应按下列式逐个修正非破损方法推定的测区强度推定值  $f_{cuvR}$ ：

$$f_{cure} = f_{cuvR} \times \psi \quad (5.5.3 / 2)$$

5.5.4 应以修正后的非破损方法强度推定值作为验收批或单个构件中的样本强度代表值，再按第 5.5.2 条进行混凝土强度合格判定的复验。

5.5.5 当复验结果仍判该验收批为不合格时，应按下列规定进行再检验。

5.5.5.1 应在其未抽检部分的构件组成新的验收批，随机抽取 30% 的构件，并按第 5.5.2 条进行混凝土强度合格判定。

5.5.5.2 当再抽取的构件中仍出现不合格构件时，则应检测剩余的全部构件，并对全部检测的构件，按单个构件逐个进行合格判定。

5.5.6 混凝土强度的检测结果应形成检测报告。结构中混凝土强度检测报告及表格格式见附录 F。

## 附录 A 超声波检测仪的校验和维护

### A.1 校验

A.1.1 操作人员应熟悉仪器使用说明书，掌握其操作方法。

A.1.2 通电前应检查下列内容：

- (1) 电源电压是否符合要求;
- (2) “接收”和“发射”两个换能器电缆线的高频插头与仪器连接有无错误;
- (3) 电源开关是否位于“关”的位置。

A. 1. 3 仪器的调试应按下列步骤进行:

- (1) 将电源开关拨至开的位置, 仪器预热 10 min;
- (2) 调节“辉度”、“聚焦”和“扫延”等旋钮, 使示波屏上扫描基线清晰稳定;
- (3) 调节基线上下和左右等旋钮, 将基线移至适于观察位置;
- (4) 缓慢调节“扫延”旋钮, 或“游标”脉冲, 显示的数字应符合十进制。

A. 1. 4 仪器标准状态的校验应按下列步骤进行:

- (1) 连接于超声波检测仪的换能器悬挂于如图 A. 1. 4 / 1 所示的校验装置;

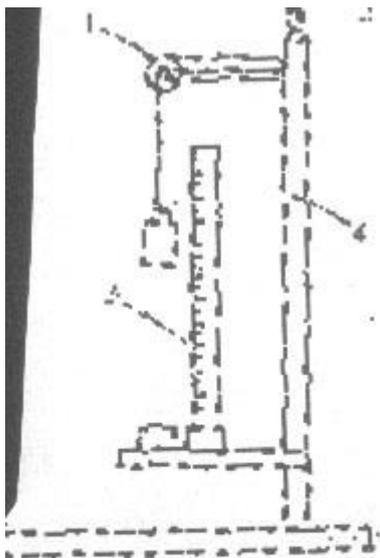


图 A. 1. 4-1 超声仪检验  
1-定滑轮; 2-螺栓; 3-刻度尺; 4-支架

- (2) 将二个换能器的辅射面相互对准, 轻拉上挂于定滑轮中的电缆线, 使其间距为 25 cm、50 cm、100 cm、150 cm、……, 读取相应声时值  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、……, 同时测量空气温度  $T$ ;

- (3) 按下式计算空气声速测量值:

$$V_c = L / T_c \quad (\text{A. 1. 4 / 1})$$

式中  $V_c$  —— 空气声速测量值 (m/s);

$L$  —— 测距 (m);

$T_c$  —— 声时 (s);

- (4) 按下式计算空气声速计算值  $V_o$ :

$$V_o = 331.41 + 0.00367 T^\circ \quad (\text{A. 1. 4 / 2})$$

式中  $T^\circ$  —— 大气温度 ( $^\circ\text{C}$ );

- (5) 按下式计算空气声速测量值  $V_c$  与空气声速计算值  $V_o$  间的误差值  $\varepsilon_r$ :

$$\varepsilon_r = (V_o - V_c) / V_o \times 100 \quad (\text{A. 1. 4 / 3})$$

- (6) 判定标准:

$$\varepsilon_r \leq \pm 0.5 \quad (\text{A. 1. 4 / 4})$$

可认为合格，反之则认为不合格。

A. 2 维护

A. 2. 1 在测试中发现仪器工作不正常时，关闭仪器。

A. 2. 2 根据故障现象，结合电路工作原理，分析故障所在部位，进行维修。

A. 2. 3 仪器工作完毕后，应放于通风和干燥环境，每隔3个月通电2h。

A. 2. 4 在搬运过程中应防止强烈振动。

## 附录B 测试数据的统计分析

B. 1 统计特征值

B. 1. 1 在一个验收批中，取得一批测试数据  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、……、 $x_n$ ，当进行汇总整理时，可采用下列方法：

(1) 用平均值  $m_x$  观察这个验收批的平均水平；平均值  $m_x$  可按下式计算：

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

式中  $m_x$  —— 平均值；

$n$  —— 测试数据总量 (个)；

$\Sigma$  —— 和的符号；

$x_i$  —— 第  $i$  个测试数据 ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ )。

(2) 用标准差  $S_x$  观察验收批中的数据波动，标准差  $S_x$  可按下式计算：

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2} \quad (\text{B. 1. 1-2})$$

(3) 用变异系数  $\delta_x$  观察测试数据的相对波动，变异系数  $\delta_x$  可按下式计算：

$$\delta_x = S_x / m_x \quad (\text{B. 1. 1 / 3})$$

B. 1. 2 平均值  $m_x$ 、标准差  $S_x$  和变异系数  $\delta_x$ ，统称为统计特征值。

B. 2 异常数据判别

B. 2. 1 在检测过程中含有粗大误差的测量数据称为异常数据，通常应从测量列中剔除。在非破损方法测量过程中，这种异常数据也可能正是混凝土缺陷的重要信息，此时应在其周围加密测点，以确定缺陷范围。

B. 2. 2 异常数据的判别可采用下列方法：

(1) 将测量列中的数据按大小顺序排列为  $x(1) \leq x(2) \leq \dots \leq x(n)$ ；

(2) 计算剩余误差  $v$ ，为测量列中最小值或最大值与平均值之差的绝对值，即：  
 $v = \{ x - m_x \}$  或  $v = \{ x(n) - m_x \}$  (B. 2. 2 / 1)

(3) 异常数据的判别：

(B. 2. 2 / 2)

式中  $Z_a$  —— 鉴别值。

B. 2. 3 常用鉴别值  $Z_a$  可采用下列方法确定：

(1)  $3\sigma$  准则，即：

$$Z_a = 3\sigma \quad (\text{B. 2. 3 / 1})$$

判别式：

$$v > 3\sigma \quad (\text{B. 2. 3 / 2})$$

式中  $\sigma$  —— 测量值的总体标准差，通常须通过大样本才能算得。对于服从正态分布的偶然误差，其误差值落在  $\pm 3\sigma$  以外的概率只有 0.0027，因此在测量列中发现有大于  $3\sigma$  的误差值，可认为该测点为异常数据。

(2) 肖维勒准则，即：

在  $n$  次重复测量中，每一正常的含有粗大误差的测量值，其出现频率理论上应为  $1/n$ 。异常数据的出现频率应小于  $1/n$ 。用超声波法判别混凝土缺陷时，由于有缺陷的混凝土声速降低，所以只检查最小值。参考现行中国工程建设标准化协会标准《超声波检测混凝土缺陷技术规程》(CECS 21: 90)，定可疑值出现频率小于  $1/n$ ，即有：

$$p = 1/n \quad (\text{B. 2. 3 / 3})$$

$$\eta_1 = \Phi^{-1} 1/n \quad (\text{B. 2. 3 / 4})$$

式中  $p$  —— 声速最小值的出现概率；

$\Phi^{-1}$  —— 标准正态分布的反函数符号；

$\eta_1$  —— 标准正态分布中，概率为  $1/n$  的反函数。

因此，鉴别值：

$$(\text{B. 2. 3 / 5})$$

判别式：

$$(\text{B. 2. 3 / 6})$$

或将判别式改写为：

$$(\text{B. 2. 3 / 7})$$

$$(\text{B. 2. 3 / 8})$$

对应于不同的样本容量  $n$ ，将  $\eta_1$  值列于表 B. 2. 3 / 1。

		$\eta_1$ 值								
$n$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$p = 1/n$	0.100	0.050	0.033	0.025	0.020	0.017	0.014	0.013	0.011	0.010
$\eta_1 = \Phi^{-1} 1/n$	1.28	1.64	1.83	1.96	2.05	2.13	2.19	2.24	2.29	2.32

(3) 格罗布斯准则，即：

鉴别值：

$$(\text{B. 2. 3 / 9})$$

判别式：

$$(\text{B. 2. 3 / 10})$$

式中  $\eta_2$  —— 修正系数。

当判别混凝土缺陷时，警告值的判别式可改写为：

$$(\text{B. 2. 3 / 11})$$

$$(\text{B. 2. 3 / 12})$$

取置信水平  $\alpha = 0.05$ ，式中的  $\eta_2$  可从表 B. 2. 3 / 2 中查得。

n	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
η <sub>2</sub>	2.18	2.56	2.74	2.87	2.96	3.00	3.04	3.09	3.13	3.17

B. 2. 4 t 检验法, 即:

在 n 个测量值中, 当怀疑其中的最小值或最大值 x<sub>k</sub> 是人为粗大误差构成的测值, 考虑其剔除时, 可通过 t 检验来判断 x<sub>k</sub> 和余下的 (n - 1) 个测值是否是来自同一正态母体的两个子样。

设子样: 1: x<sub>k</sub>, 其母体均值和标准差为 m<sub>x1</sub>、S<sub>x1</sub>; 设子样 2: (n - 1) 个剩余测值, 其母体均值和标准差为 m<sub>x2</sub>、S<sub>x2</sub>, 且有 S<sub>x1</sub> = S<sub>x2</sub>。当两个子样来自同一个正态母体时, 则应有假设 H<sub>0</sub>: S<sub>x1</sub> = S<sub>x2</sub> 成立, 此时由两个子样信息构成的统计量 t 为:

$$t = \frac{m_{x1} - m_{x2}}{\sqrt{(n_1 - 1)S_{x1}^2 + (n_2 - 1)S_{x2}^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (\text{B. 2. 4-1})$$

式中 m<sub>x1</sub>、m<sub>x2</sub> —— 分别为子样 1、2 的样本均值;

S<sub>x1</sub>、S<sub>x2</sub> —— 分别为子样 1、2 的样本标准差;

n<sub>1</sub>、n<sub>2</sub> —— 分别为子样 1、2 的样本容量。

应服从自由度 v = n<sub>1</sub> + n<sub>2</sub> - 2 的学生 t 分布, 从学生 t 分布表中可查得置信水平为 α 时的临界值 t<sub>α</sub>。

当 |t| > t<sub>α</sub> 时, 原假设 H<sub>0</sub> 被否定, m<sub>x1</sub> ≠ m<sub>x2</sub>。即可认为 x<sub>k</sub> 与余下 (n - 1) 个测值是来自两个不同正态母体的子样, 最小值或最大值 x<sub>k</sub> 系人为粗大误差构成的测值, 应予剔除。

英国混凝土协会技术报告中, 根据 t 检验法提出一个芯样强度的剔除原则, 当一组芯样个数 n ≥ 4 时, 可按下式计算 t 值:

$$t = \frac{\text{余数平均值} - \text{最小值(或最大值)}}{\frac{\text{余数平均值} \times 6}{100} \times \sqrt{1 + \frac{1}{n-1}}} \quad (\text{B. 2. 4-2})$$

按表 B. 2. 4 / 1 查 A 或 B 作为临界值。规定当 |t| > A 或 B 时, 剔除该最小值或最大值, 用余数平均值作为该组芯样强度的代表值。此方法是将最小值或最大值 x<sub>k</sub> 和余下的 (n - 1) 个测值视为两个子样, 其样本信息分别为:

$$\text{子样 1: } n_1 = 1; m_{x1} = x_k; S_{x1} = 0$$

$$\text{子样 2: } n_2 = n - 1; m_{x2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i \neq k}^n x_i$$

设正常情况下芯样强度的变异系数为 6%，则有  $S_x \times 2 = m_x \times 2 \times 6\%$ ，据此即从式 (B. 2. 4 / 1) 中可推导出式 (B. 2. 4 / 2)。临界值 A、B 则分别为  $\alpha = 0.10$  和  $\alpha = 0.05$  时的  $t_\alpha$ 。

芯样数量 n		4	5	6	7	8
临界值	A	2.9	2.4	2.1	2.0	1.9
	B	4.3	3.2	2.8	2.6	2.5

本规程参考采用了英国混凝土协会技术报告中的芯样强度剔除原则，规定当芯样数量  $n = 5$  时采用此方法，临界值仅采用  $\alpha = 0.10$  时的  $t_\alpha$ ，即临界值 A。

### 附录 C 混凝土强度曲线的建立

#### C. 1 仪器设备

C. 1. 1 超声波检测仪和换能器应符合第 4. 1 节中规定的标准状态。

C. 1. 2 回弹仪应符合第 5. 1 节中规定的标准状态。

#### C. 2 试件的制作和测试

C. 2. 1 试件制作应按下列规定进行。

C. 2. 1. 1 根据最佳配合比的原则，可参照下列规定设计不同混凝土强度等级的配合比：

(1) 当采用 6 2 5 号水泥时，混凝土强度等级为 C 3 0、C 4 0、C 5 0、C 6 0 和 C 7 0；

(2) 当采用 5 2 5 号水泥时，混凝土强度等级为 C 2 5、C 3 5、C 4 5 和 C 5 0；

(3) 当采用 4 2 5 号水泥时，混凝土强度等级为 C 1 0、C 1 5、C 2 0、C 3 0 和 C 3 5。

C. 2. 1. 2 每一混凝土强度等级可制作边长 1 5 0 mm 的立方体试件 n 组，每组 3 块。龄期可为 3 d、7 d、1 4 d、2 8 d、6 0 d、9 0 d、1 8 0 d 和 3 6 0 d，每个龄期不宜少于 2 组。

C. 2. 2 试件测试应符合下列规定。

C. 2. 2. 1 声时值测量应满足下列要求：

(1) 声时值测量应采用对测法，测试面应选于浇灌方向的侧面；

(2) 在一对相对测试面上，应布置 5 个声测点，如图 C. 2. 2 所示，“发射”和“接收”换能器的轴线应在同一直线上；

(3) 测点声速平均值  $m_v$  可按下式计算：

$$m_v = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 V_i$$

(C. 2. 2-1)

式中  $V_i$  ——第  $i$  个测点声速值 (m/s)。

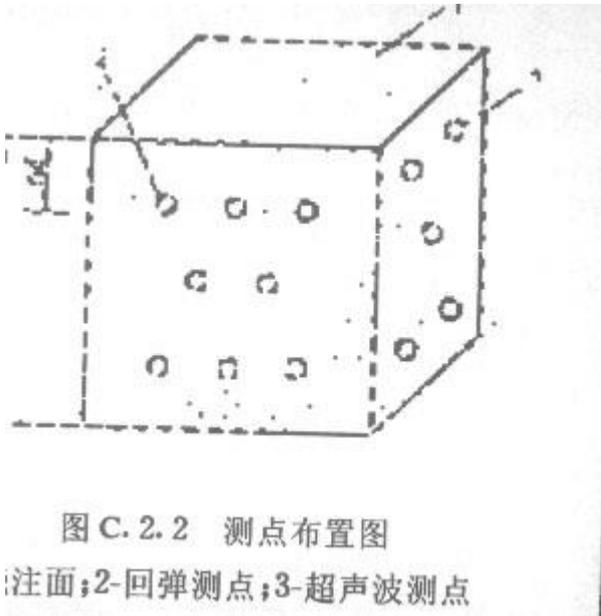


图 C. 2. 2 测点布置图

注: 1-注面; 2-回弹测点; 3-超声波测点

C. 2. 2. 2 回弹值  $m_R$  的测试应按下列方法进行:

(1) 回弹值测试面应选用声时测量的另一对测试面, 将声时测试面上的耦合剂擦拭干净;

(2) 将试件置放于压力机上下承压板中央, 加压至 30 ~ 50 kN, 作回弹值测试;

(3) 回弹测点布置见图 C. 2. 2;

(4) 回弹值测试完毕后, 启动压力机, 以每秒 4 ~ 6 kN 的速度连续均匀加荷至破坏, 记下抗压强度  $f_{cu}$ ;

(5) 将试件上测得的回弹推定值  $m_R$  和对应的强度  $f_{cu}$ , 按表 C. 2. 2 所示的格式填写。

序号 $i$	1	2	3	-----	$n$
回弹值	$m_{R1}$	$m_{R2}$	$m_{R3}$	-----	$m_{Rn}$
抗压强度 (MPa)	$f_{cu1}$	$f_{cu2}$	$f_{cu3}$	-----	$f_{cun}$

C. 2. 3 回弹法专用测强相关关系的建立应按下列方法进行。

C. 2. 3. 1 按一元线性回归方程:  $y = a + b x$  进行计算。

C. 2. 3. 2 在选择相关关系式时, 可优先采用:

(1) 直线型:  $f_{cu} = a + bm_R$  (C. 2. 3-1)

(2) 幂函数型:  $f_{cu} = am_R^b$  (C. 2. 3-2)

(3) 指数函数型:  $f_{cu} = ae^{bm_R}$  (C. 2. 3-3)

C. 2. 3. 3 计算方法:

**C. 2. 3. 3 计算方法:**

(1) 对直线型:

令:  $y = f_{cu}; a' = a; m_R = x$

化为:  $y = a' + bx$

(2) 对幂函数型:

将  $f_{cu} = am_R^b$  等式两边取对数:  $\log f_{cu} = \log a + b \log m_R$

令:  $\log f_{cu} = y; \log a = a'; \log m_R = x$

化为:  $y = a' + bx$

(3) 对指数函数型:

将  $f_{cu} = ae^{bm_R}$  等式两边取自然对数:  $\ln f_{cu} = \ln a + bm_R$

令:  $\ln f_{cu} = y; \ln a = a'; m_R = x$

化为:  $y = a' + bx$

(4) 将表 C. 2. 2 中实测数据按表 C. 2. 3 / 1 形式进行初步整理:

序号(i)	x	y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	xy	说 明
1	x <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	x <sub>1</sub> <sup>2</sup>	y <sub>1</sub> <sup>2</sup>	x <sub>1</sub> y <sub>1</sub>	注意不同函数形式, 填入 x、y 栏的内容不同。
2	x <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>	x <sub>2</sub> <sup>2</sup>	y <sub>2</sub> <sup>2</sup>	x <sub>2</sub> y <sub>2</sub>	
n	x <sub>n</sub>	y <sub>n</sub>	x <sub>n</sub> <sup>2</sup>	y <sub>n</sub> <sup>2</sup>	x <sub>n</sub> y <sub>n</sub>	
总 和	$\sum_{i=1}^n x_i$	$\sum_{i=1}^n y_i$	$\sum_{i=1}^n x_i^2$	$\sum_{i=1}^n y_i^2$	$\sum_{i=1}^n x_i y_i$	

(5) 将表 C. 2. 3 / 1 中初步整理结果, 填入表 C. 2. 3 / 2 进行计算:

(6) 根据已确定的 a'、b 和第 C. 2. 3. 3 款中的计算方法, 将回归方程

一元线性回归的综合计算结果

表 C. 2. 3-2

$n =$	$\Sigma y =$	$m_y = \Sigma y / n$	$\Sigma x =$	$m_x = \Sigma x / n$
$\Sigma y^2 =$	$(\Sigma y)^2 / n =$	$\Sigma x^2 =$	$(\Sigma x)^2 / n =$	$\Sigma x \Sigma y / n =$
$L_{yy} = \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2 / n =$		$L_{xx} = \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n =$		$\Sigma xy =$
$L_{xy} = \Sigma xy - \Sigma x \Sigma y / n =$		$b = \frac{L_{xy}}{L_{xx}}$		$a' = m_y - b m_x$

表达式复原成 C. 2. 3. 2 的函数形式, 即:

对直线型: 令  $a = a'$ , 复原得:  $f_{cu} = a + b m_R$

对幂函数型: 令  $a = \log^{-1} a'$ , 复原得:  $f_{cu} = a m_R^b$

对指数函数型: 令  $a = \ln^{-1} a'$ , 复原得:  $f_{cu} = a e^{b m_R}$

(7) 相关系数  $\gamma$  和剩余标准差  $S_e$  的计算: 将实测数据填入表 C. 2. 3 / 3。

相关系数和剩余标准差的演算过程

表 C. 2. 3-3

序号 $i$	回弹值 $m_R$	抗压强度 $f_{cu}(\text{MPa})$	函数式 $f_{\Delta} = f(m_R)$	$(f_{cu} - f_{\Delta})^2$	说 明
1	$m_{R1}$	$f_{cu1}$	$f_{\Delta 1} = f(m_{R1})$	$(f_{cu1} - f_{\Delta 1})^2$	函数式应为原来选定的一元线性或非线性函数式, 将 $m_R$ 逐个代入以求得 $f_{\Delta}$
2	$m_{R2}$	$f_{cu2}$	$f_{\Delta 2} = f(m_{R2})$	$(f_{cu2} - f_{\Delta 2})^2$	
$n$	$m_{Rn}$	$f_{cun}$	$f_{\Delta n} = f(m_{Rn})$	$(f_{cun} - f_{\Delta n})^2$	
总和				$\sum_{i=1}^n (f_{cui} - f_{\Delta i})^2$	

$$\gamma = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (f_{cui} - f_{\Delta i})^2}{L_{yy}}} \quad (\text{C. 2. 3-4})$$

对一元线性回归方程, 其相关系数  $\gamma$  的计算, 可写作:

$$\gamma = \sqrt{\frac{bL_{xy}}{L_{yy}}} \quad (\text{C. 2. 3-5})$$

$$\gamma = \frac{L_{xy}}{\sqrt{L_{xx}L_{yy}}} \quad (\text{C. 2. 3-6})$$

剩余标准差  $S_e$  的计算:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{\text{cui}} - f_{\text{cui}}^{\wedge})^2}{n - k - 1}} \quad (\text{C. 2. 3-7})$$

式中  $k$  —— 自变量个数, 对一元回归方程  $k = 1$ 。剩余标准差还可用相对值来表示, 称为剩余变异系数  $\delta_e$ :

$$\delta_e = \frac{S_e}{\frac{\sum_{i=1}^n f_{\text{cui}}}{n}} \quad (\text{C. 2. 3-8})$$

(8) 回归方程误差分析的其他形式有:  
平均相对误差  $e$  的计算:

$$e = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{f_{\text{cui}}}{f_{\text{cui}}^{\wedge}} - 1 \right| \times 100\% \quad (\text{C. 2. 3-9})$$

相对标准误差  $e_r$  的计算:

$$e_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{f_{\text{cui}}}{f_{\text{cui}}^{\wedge}} - 1 \right)^2} \times 100\% \quad (\text{C. 2. 3-10})$$

C. 2. 4 超声—回弹专用测强曲线的建立应按下列方法进行。

C. 2. 4. 1 按二元线性回归方程:  $y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$  进行计算。

C. 2. 4. 2 强度公式的计算步骤:

(1) 试件上测得的回弹值  $m_R$ 、声速  $m_v$  和相应立方体试件混凝土抗压强度值  $f_{cu}$ , 可按表 C. 2. 4 / 1 所示的格式填写;

实测记录

表 C. 2. 4-1

序号 $i$	1	2	3	-----	$n$
超声声速(m/s)	$m_{v1}$	$m_{v2}$	$m_{v3}$	-----	$m_{vn}$
回弹值	$m_{R1}$	$m_{R2}$	$m_{R3}$	-----	$m_{Rn}$
抗压强度(MPa)	$f_{cu1}$	$f_{cu2}$	$f_{cu3}$	-----	$f_{cun}$

(2) 推荐采用相关关系式:

$$f_{cu} = a m_R^{b_1} m_v^{b_2} \quad (C. 2. 4-1)$$

进行计算: 将式 (C. 2. 4 / 1) 两边取对数:

$$\log f_{cu} = \log a + b_1 \log m_R + b_2 \log m_v$$

令:  $\log f_{cu} = y, b_0 = \log a, x_1 = \log m_R, x_2 = \log m_v$

化为二元一次线性方程:  $y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \quad (C. 2. 4-2)$

(3) 将实测数据按上述规则进行转换, 并按表 C. 2. 4 / 2 的形式进行初步整理;

实测数据初步整理

表 C. 2. 4-2

序号 ( $i$ )	$x_1 =$ $\log m_R$	$x_2 =$ $\log m_v$	$y =$ $\log f_{cu}$	$x_1^2$	$x_2^2$	$y^2$	$x_1 y$	$x_2 y$
1	$x_{11}$	$x_{21}$	$y_1$	$x_{11}^2$	$x_{21}^2$	$y_1^2$	$x_{11} y_1$	$x_{21} y_1$
2	$x_{12}$	$x_{22}$	$y_2$	$x_{12}^2$	$x_{22}^2$	$y_2^2$	$x_{12} y_2$	$x_{22} y_2$
$n$	$x_{1n}$	$x_{2n}$	$y_n$	$x_{1n}^2$	$x_{2n}^2$	$y_n^2$	$x_{1n} y_n$	$x_{2n} y_n$
总和	$\sum_{i=1}^n x_{1i}$	$\sum_{i=1}^n x_{2i}$	$\sum_{i=1}^n y_i$	$\sum_{i=1}^n (x_{1i})^2$	$\sum_{i=1}^n (x_{2i})^2$	$\sum_{i=1}^n (y_i)^2$	$\sum_{i=1}^n x_{1i} y_i$	$\sum_{i=1}^n x_{2i} y_i$

(4) 将表 C. 2. 4 / 2 中的初步整理结果, 填入表 C. 2. 4 / 3 进行综合计算;

(5) 建联立方程, 求解  $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ :

(5) 建立方程, 求解  $b_0, b_1, b_2$ :

$$L_{11} + L_{12}b_2 = L_{1y}$$

$$L_{21}b_1 + L_{22}b_2 = L_{2y}$$

$$b_0 = m_y - b_1m_{x1} - b_2m_{x2}$$

二元线性回归综合计算

表 C. 2. 4-3

$n$	$\Sigma y$		
$m_{x1} = \Sigma x_1 / n$	$\Sigma x_2 =$	$m_y = \Sigma y / n =$	$\Sigma x_1 =$
$L_{yy} = \Sigma (y - m_y)^2 = \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2 / n$		$m_{x2} = \Sigma x_2 / n =$	
		$L_{12} = L_{21} = \Sigma (x_1 - m_{x1})(x_2 - m_{x2}) = \Sigma x_1 x_2 -$	
$L_{11} = \Sigma (x_1 - m_{x1})^2 = \Sigma x_1^2 -$		$\Sigma x_1 \Sigma x_2 / n$	
$(\Sigma x_1)^2 / n$		$L_{1y} = \Sigma (x_1 - m_{x1})(y - m_y) = \Sigma x_1 y - \Sigma x_1 \Sigma y / n$	
$L_{22} = \Sigma (x_2 - m_{x2})^2 = \Sigma x_2^2 -$		$L_{2y} = \Sigma (x_2 - m_{x2})(y - m_y) = \Sigma x_2 y - \Sigma x_2 \Sigma y / n$	

(6) 根据已确定的  $b_0, b_1, b_2$  复原成式 (C. 2. 4 / 1) 中的函数形式, 即令:

(6) 根据已确定的  $b_0, b_1, b_2$  复原成式 (C. 2. 4-1) 中的函数形式, 即令:

$$a = \log^{-1} b_0$$

复原得:

$$f_{cu} = a m_{R1}^{b_1} m_{V2}^{b_2}$$

将表 C. 2. 4 / 1 的实测数值填入表 C. 2. 4 / 4 进行复相关系数和剩余标准差的演算。

复相关系数和剩余标准差演算表

表 C. 2. 4-4

序号 $i$	回弹值 $m_R$	超声声速 $m_v(\text{m/s})$	抗压强度 $f_{cu}(\text{MPa})$	$f_{cu}^2$	函数式 $f_{\Delta} = amR^k m_v^b$	$(f_{cu} - f_{\Delta})^2$
1	$m_{R1}$	$m_{v1}$	$f_{cu1}$	$f_{cu1}^2$	$f_{\Delta 1}$	$(f_{cu1} - f_{\Delta 1})^2$
2	$m_{R2}$	$m_{v2}$	$f_{cu2}$	$f_{cu2}^2$	$f_{\Delta 2}$	$(f_{cu2} - f_{\Delta 2})^2$
$n$	$m_{Rn}$	$m_{vn}$	$f_{cun}$	$f_{cun}^2$	$f_{\Delta n}$	$(f_{cun} - f_{\Delta n})^2$
总和				$\sum_{i=1}^n f_{cui}^2$		$\sum_{i=1}^n (f_{cui} - f_{\Delta i})^2$

复相关系数  $R$  的计算:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (f_{cui} - f_{\Delta i})^2}{\sum_{i=1}^n f_{cui}^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n f_{\Delta i} \right)^2}} \quad (\text{C. 2. 4-3})$$

剩余标准差  $S_e$  的计算:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cui} - f_{\Delta i})^2}{n - k - 1}} \quad (\text{C. 2. 4-4})$$

式中  $k$  —— 自变量个数, 对二元回归方程而言,  $k = 2$ 。

剩余标准差也可以表达成相对值的形式, 称剩余变异系数  $\delta_e$ :

$$\delta_e = \frac{S_e}{m_{f_{cu}}} \quad (\text{C. 2. 4-5})$$

(8) 回归方程误差分析的其它表达形式:

平均相对误差:

$$e = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{f_{cui}}{f_{\Delta i}} - 1 \right| \times 100\% \quad (\text{C. 2. 4-6})$$

相对标准误差:

$$e_r = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{f_{cui}}{f_{cui}^{\Delta}} - 1 \right)^2} \times 100\% \quad (\text{C. 2. 4-7})$$

## 附录D 回弹仪的检定和保养

### D. 1 回弹仪的检定

D. 1. 1 回弹仪出现下列情况之一时，应送主管部门认可的单位检定：

- (1) 新回弹仪启用前；
- (2) 超过检定有效期限；
- (3) 累计弹击次数超过6000次；
- (4) 按常规保养后钢砧率定值不合格；
- (5) 遭受严重撞击或其他损害。

D. 1. 2 回弹仪的检验可按下列步骤进行：

- (1) 卸下尾盖，以机壳内取出压簧，轻压挂钩，使弹击锤脱钩；
- (2) 轻轻地从机壳内取出机芯，测量弹击拉簧的拉伸长度L，工作长L<sub>0</sub>及刚性系数K等技术参数，并符合表D. 1. 2中标准。

回弹仪	L <sub>0</sub> (mm)	L(mm)	K(kg/cm)	f(g)
中型	61.5±0.5	750±0.5	0.8±5%	50~80
重型	175.0±0.5	200±0.5	1.6±5%	100~150

(3) 卸下刻度尺，检查指针滑块与指针轴间的摩擦力f，其参数亦应符合表D. 1. 2中标准。

D. 1. 3 率定值R<sub>N</sub>的检验应采用下列方法：

- (1) 将钢砧稳固地平放于刚度大的混凝土地坪上；
- (2) 回弹位置放于钢砧中，弹击杆端部球面与砧芯接触，向下弹击；
- (3) 分4次旋转弹击杆，每次转90°，弹击6次，共计24次，每次率定值R<sub>N</sub>应符合表D. 1. 3的标准。

回弹仪	中 型	重 型
率定值R <sub>N</sub>	80±2	63±1

### D. 2 回弹仪的保养

D. 2. 1 当回弹仪出现下列情况之一时，应进行常规保养：

- (1) 弹击次数超过3000次；

(2) 对检测值有怀疑时;

(3) 率定值  $R_N$  不合格。

D. 2. 2 常规保养应采取下列步骤:

(1) 从机壳内取出机芯, 卸下弹击杆, 从弹击杆中取出缓冲压簧;

(2) 清洗机芯各零部件, 清洗后在中心导杆上薄薄地抹上一层 20 号机油, 其他零部件均不得抹油;

(3) 清理机壳内壁和外壳的尘垢。

D. 2. 3 进行常规保养时, 应注意下列事项:

(1) 不得旋转尾盖上的紧固调整螺母;

(2) 不得更换自制的零部件。

D. 2. 4 回弹仪工作完毕后, 将弹击杆弹击, 压入机壳内, 压下按钮, 锁住机芯, 装入回弹仪套管内, 平放于干燥阴凉处。

## E. 1 校验附录 E 取芯机的操作和保养

E. 1. 1 操作人员应熟悉仪器使用说明书, 掌握其操作要领及仪器的构造 (图 E. 1. 1)。

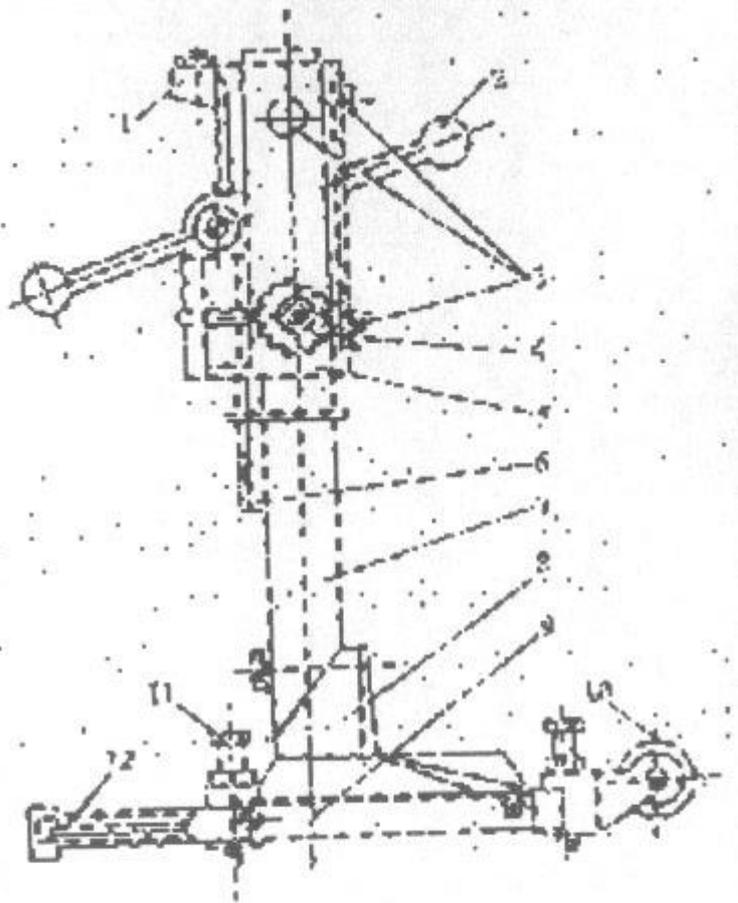


图 E. 1. 1 仪器构造图

1-水准器;2-进给水柄;3-顶垫螺钉;4-销紧花手柄;5-进给滑架;6-齿条;7-立方柱;8-底座;9-支腿;10-脚轮;11-地脚螺栓;12-指针

E. 1. 2 仪器通电前应检查下列内容:

- (1) 电源电压;
- (2) 冷却水的水温。

E. 1. 3 将电源开关拨向“ON”的位置,应检查下列内容:

- (1) 钻头摆动不得大于 1.5 mm;
- (2) 取芯机主轴的径向跳动不宜超过 0.1 mm。

E. 2 操作

E. 2. 1 用电动冲击锤钻取膨胀螺栓孔穴,固定膨胀螺栓。

E. 2. 2 将取芯机安放于膨胀螺栓上,用丝母固定取芯机。

E. 2. 3 调整取芯机的主轴线,使旋转时的轴线与被钻芯样的混凝土表面相垂直。

E. 2. 4 接通电源及冷却水,将电机电源开关拨向“ON”的位置,手持进给

手柄，微微松开锁紧花手柄，使钻头缓慢地与混凝土表面接触。当混凝土表面出现圆槽后，方可施加压力，钻取芯样试件。

E. 2. 5 芯样试件钻取完毕后，缓慢地将手持进给手柄旋转，使钻头提升距混凝土表面约 50 mm。断电、断水、紧固锁紧花手柄。

E. 2. 6 卸下固定钻机上的膨胀螺母，从膨胀螺栓上取下钻机，轻放于地面。

E. 3 注意事项

E. 3. 1 在钻取芯样过程中，出现卡钻时，应关闭电源。用扳手按钻头旋转方向转动至钻头能自由转动后，启动电机电源，继续钻取芯样试件。

E. 3. 2 当发现电机输入电流增大，转速降低，排出的冷却水呈清水，含有银白色粉末等情况，应降低给进速度，待钢筋切割完毕后，恢复原来的进给进度。

E. 3. 3 应经常检查碳刷和换向器的磨损，保持碳刷与换向器具有良好的接触。

E. 3. 4 钻头钝化后，可用砂轮磨其钻头端面。

E. 4 保养

E. 4. 1 取芯机的进给滑架，立方柱和齿条应经常保持洁净，减少磨损。

E. 4. 2 在水套外壳泄漏孔内，应经常加少许机油，减少橡胶油封对主轴的摩擦力。

E. 4. 3 取芯机工作时，当发现冷却水从水套外壳的泄漏孔中溢出时，应更水套外壳内的橡胶油封。

E. 4. 4 工作完毕后，取芯机应放于干燥、清洁和无腐蚀性气体的环境中。

E. 4. 5 长期不用的取芯机，使用前应作绝缘电阻检查。

## 附录 F 结构中混凝土强度检测报告及检测表格格式

F. 1 检测报告的格式

F. 1. 1 结构中混凝土强度检测报告。

(1) 封面格式：

(1)封面格式:

结构中混凝土强度检测报告			
(×××法)			
工程项目名称:			
检测地点:			
检测日期:	年	月	日至
	年	月	日
检测单位:			
	19	年	月 日

(2)封二格式:

委托单位：

设计单位：

施工单位：

建设单位：

主要负责人：

报告编写人：

报告审核人：

单位负责人：

检测单位地址：

邮政编码：

电话：

F. 1. 2 检测报告封面尺寸宜为 1 8 6 mm × 2 5 8 mm。

F. 2 检测表格格式

F. 2. 1 回弹仪测强记录表，见表 F. 2. 1。

F. 2. 2 超声一回弹记录表，见表 F. 2. 2。

F. 2. 3 超声波测试记录表，见表 F. 2. 3。

F. 2. 4 芯样试件强度记录表，见表 F. 2. 4。

构件名称:

同条件养护试件

表 1.0.1

年 月 日

测区	回 弹 值 ( $R_N$ )									碳 化 (mm)	推定强度 (MPa)
	1	2	3	4	5	6	7	8	平均值		
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											

试验:

记录:

校核:

检测单位:

超声——回弹记录表

表 F. 2. 2

构件名称:

年 月 日

测区	回 弹 值 (N)						声 时 ( $\mu\text{s}$ )		推定强度 (MPa)
	单 个 值			平均值			单个值	平均值	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									

测试:

记录:

校核:

检测单位:



芯样试件强度记录表

表 F. 2. 4

年 月 日

工程名称					
芯样部位		长度		数量(个)	
测量试件尺寸记录表					
试件编号	试件尺寸 (mm)				说 明
	直 径	高 度	垂直度	不平整度	
1					
2					
3					
4					
5					

外观描述:

试件编号	1	2	3	4	5	均 值
极限荷载(kN)						
抗压强度(MPa)						
强度代表值						

测试者:

记录:

校核:

检测单位:

## 附录G 本规程用词用语说明

G. 0. 1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

（1）表示很严格，非这样做不可的：

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：

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：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

G. 0. 2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 附加说明

本规程主编单位、参加单位和主要起草人名单

主编单位：天津港湾工程研究所

参加单位：河海大学

中港第四航务工程局科研所

武汉港湾工程设计研究院

中港第三航务工程局科学研究所

主要起草人：龚景齐

（以下按姓氏笔画为序）

卢瑞珍 李红 刘清芹 洪帆 董爱华

中华人民共和国行业标准  
港口工程混凝土非破损检测技术规程  
J T J / T 2 7 2 — 9 9

条文说明

制定说明

本规程根据交通部基建司交基发 [ 1 9 9 4 ] 1 2 6 9 号文的要求，由天津港湾工程研究所会同武汉港湾工程设计研究院、中港第三航务工程局科研所、中港第四航务工程局科研所和河海大学等单位共同编制。

本规程是在总结航务系统 4 0 多年来混凝土非破损检测技术的工程实践经验的基础上，并参照国外有关标准编写而成。

为便于广大设计、施工、科研、学校等有关人员在使用本规程时，能正确理解和执行本规程，编写组在编写条文的同时，还编写了条文说明。

本规程各章、节、附录的编写人员如下：

第 1 章：龚景齐、卢瑞珍、刘清芹

第 2 章：董爱华、龚景齐、卢瑞珍

第 3 章：龚景齐、卢瑞珍

第 4 章：龚景齐、卢瑞珍、李红

第 5 章：龚景齐、卢瑞珍、刘清芹、洪帆

附录 A：卢瑞珍

附录 B：龚景齐、李红

附录 C：龚景齐、刘清芹

附录 D：卢瑞珍、龚景齐

附录 E：龚景齐、洪帆

附录 F：龚景齐

附录 G：洪帆

本规程于 1 9 9 9 年 6 月 1 9 日通过部审，于 1 9 9 9 年 1 2 月 2 9 日

发布，2000年5月1日起实施。

## 目 次

1 总则.....	59
2 术语、符号 .....	59
2.1 术语 .....	59
3 一般规定 .....	61
4 混凝土缺陷的检测.....	61
4.1 一般规定 .....	62
4.2 检测仪器设备.....	63
4.3 均匀性检测 .....	63
4.4 缺陷鉴别 .....	67
4.5 空洞或不密实区域检测.....	68
4.6 表面损伤层厚度检测.....	68
4.7 混凝土结合面质量检测.....	69
4.8 灌注桩缺陷检测 .....	69
4.9 裂缝检测 .....	70
5 混凝土强度的检测.....	70
5.1 一般规定 .....	70
5.2 回弹法推定混凝土强度.....	71
5.3 超声一回弹综合法推定混凝土强度.....	74

5.4 取芯法推定混凝土强度.....	74
5.5 混凝土强度的合格判定.....	77

## 1 总则

1.0.1~1.0.2 是阐述本规程的编制目的与适用范围。由于《港口工程结构可靠度设计统一标准》(简称《标准》)的颁布,标志着我国港口工程设计由定值设计向概率设计过渡。结构的可靠性由结构的可靠度或失效概率来衡量。结构设计可靠性是以正常设计、正常施工及正常使用为前提条件的。仅当这三个条件中出现有不正常时,就需分析结构可靠性。这时首先考虑混凝土质量,因为混凝土质量是影响结构可靠性的重要因素。显然,为能提供正确分析混凝土质量能否达到设计可靠度的信息,就需编制一本与设计规范相配套的检测结构中混凝土质量的《规程》。编制这本规程必须做到技术先进、经济合理、安全适用和确保测试精度,达到保证工程质量。

本规程是为处理施工过程中出现不正常情况时,或对使用过程中建筑物维修或改变建筑物使用条件时,可按本规程规定的方法对混凝土质量的检测和评定,其结果可供设计验算可靠性的依据。

1.0.3 本条参照了各国混凝土非破损检测技术规程中对从事混凝土非破损检测技术人员的要求,结合港口工程混凝土的特点,规定了从事非破损检测人员,必须经专业培训并持有资格证书,方可对工程质量进行检测。

## 2 术语、符号

### 2.1 术语

本节的术语和符号,采用了我国有关标准并参照采用有关国外标准的规定。

(1) 采用了国家标准:《混凝土强度检验评定标准》(GBJ 107)和国家行业标准:《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268),对混凝土标准立方体试件强度和混凝土立方体试件抗压强度标准值这两个术语涵义,编写了第2.1.1条和第2.1.2条的术语。

(2) 参照了国际标准化组织(ISO)第71委员会编制的国际标准:《结构中混凝土强度检测方法(草案)》(简称《国际标准(草案)》)中编写的条文有:

2.1.3~2.1.4 主要依据:

(1) 结构中混凝土强度用参考强度(Reference Strength)来表示,并以从构件中钻取的芯样强度为代表。

(2) 参考强度定义为混凝土局部地区不受约束状态下的抗压强度, 它既不同于用试件测得的标准强度, 又不完全等同于处在结构物内部的混凝土强度。

(3) 用非破损方法测得的混凝土强度, 称为评估参考强度 (Evaluation Reference Strength)。

2.1.5 主要依据:

用芯样取得的结构中混凝土强度, 应换算成相应的标准立方体试件强度, 才能作出合格判断结论。因此, 我们将这种标准强度值称为推定强度。

2.1.6~2.1.7 主要依据:

用芯样试件强度换算成混凝土标准试件强度的换算作了下列规定:

(1) 芯样试件所得到的混凝土强度应相应于同样尺寸的模制圆柱体试件;

(2) 高度与直径均等于 100 mm 的芯样强度应与边长 150 mm 的模制试件强度相等;

(3) 其它尺寸芯样强度可采用乘换算系数的方法求得参考强度。

根据上述三条对结构中强度的定义, 结合我国混凝土规范将标准试件强度是以边长 150 mm 立方体试件强度为基准, 因此将结构中混凝土强度的标准芯样强度定为高度与直径均为 100 mm 的芯样强度。小于 100 mm 的芯样试件, 称为小芯样试件。

2.1.8 术语验收批的涵义, 主要依据数理统计中抽样检验理论, 参照了《混凝土强度检验评定标准》和《港口工程质量检验评定标准》有关验收批的规定编写而成。

2.1.9 测区和 2.1.10 条测点是根据在工程中测试用的专用语言, 编写为技术术语。

2.2 符号

本节符号主要依据国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》(GBJ 137-90) 对通用符号的规定编写。

(1) 通用符号:

①  $f_{cu}$

②  $f_{cu, k}$

③  $S_{f_{cu}}$

④  $m_{f_{cu}}$

⑤  $f_{cu, min}$

上述符号采用《混凝土强度检验评定标准》。以此相应的专业符号用于回弹值换算的混凝土强度值符号:

⑥  $f_{cuR}$  用于超声回弹综合法换算的混凝土强度值符号:

⑦  $f_{cuV R}$  用于芯样取得的混凝土强度值符号:

⑧  $f_{cu r}$  将  $f_{cuR}$ 、 $f_{cuV R}$  和  $f_{cu r}$  换算成标准立方体试件强度值后, 在下标再加上  $e$ , 为混凝土强度推定值  $f_{cuR e}$ 、 $f_{cuV R e}$  和  $f_{cu r e}$ 。

用平均值表示, 主体符号用  $m$ , 下标为混凝土强度值:  $m_{f_{cuR}}$ 、 $m_{f_{cuV R}}$  和  $m_{f_{cu r}}$ , 即为混凝土强度平均值。

用标准差表示, 主体符号用  $S$ , 下标为混凝土强度值:  $S_{f_{cuR}}$ 、 $S_{f_{cuV R}}$  和  $S_{f_{cu r}}$ , 即为混凝土强度标准差。

(2) 易混淆的符号:

① 首波波幅  $A$  和试件截面积  $A$ , 为防止混淆在首波波幅的主体符号  $A$  加下标  $O$  为

A o ;

②声时  $t$  和概率度  $t$  , 将声时  $t$  一律用  $T$  表示;

(3) 用物理意义给予的符号:

①混凝土声速用  $v$  符号, 混凝土平均声速用  $m v$  符号, 混凝土声速标准差用  $S v$  符号, 混凝土声速变异系数用  $\delta v$  符号;

②混凝土回弹值用  $R$  符号, 平均回弹值用  $m R$  符号, 回弹仪的率定值用  $R N$  符号, 非水平方向混凝土回弹值用  $R \alpha$  符号, 非水平方向平均回弹值用  $m R \alpha$  符号, 不同测试角度  $\alpha$  的回弹值的修正值用  $\Delta R \alpha$  符号;

③频率用  $f$  符号;

④波长用  $\lambda$  符号。

(4) 根据专业用词用第一个英文字母表示的符号如碳化深度用  $C h$  表示, 裂缝深度用  $d h$  表示, 损伤层厚度用  $d L$  表示。

(3) 其它不易用符号表示说明主体的符号, 在规程中说明。

### 3 一般规定

本章主要总结了我国港口工程现场混凝土质量的常规检测程序和检测技术, 并在参照了日本、前苏联、美国等国的有关混凝土工程检测程序的基础上编写而成的。主要目的是将混凝土过程中的一些共性部分编成一章, 称为一般规定。一般规定的内容包括检测步骤和检测技术两部分。

(1) 检测工作可分为下列三个步骤:

①检测前的准备工作;

②检测过程中对数据的分析和逐步完善检测内容;

③检测完毕后编写检测报告。

(2) 检测技术主要是指如下内容:

①抽样检验中对样品容量限值的规定;

②随机布置测区和测点;

③检测数据的处理。

检测者遵循一般规定的原则进行检测, 是能防止在检测过程中出现失误, 能为设计提供精确的测试数据, 进行结构可靠性和验算。

### 4 混凝土缺陷的检测

编写本章的技术依据:

(1) 总结了航务系统 40 多年来混凝土缺陷检测技术的室内研究成果和工程检测经验;

(2) 根据近 20 多年来天津港湾工程研究所参与原国家建委制定的《混凝土非破损检测技术研究》课题的研究成果;

(3) 结合青岛红星大坞、山海关大坞和葛州坝等混凝土工程, 验证 1969 年

由琼斯 (R. J o n s e) 和格瓦洛 (I. F c o r u) 应国际材料结构试验室协会无损试验委员会 (R I L E M / N D T I) 的要求而编写的《超声波法进行混凝土检验 (建议)》(简称《建议》), 证实行之有效的方法。

(4) 归纳了国际混凝土非破损检测技术协会召开的历届国际混凝土非破损检测会议论文中争议的问题, 通过研究取得的科研成果。

## 4. 1 一般规定

4. 1. 1 本条混凝土缺陷是指结构和构件中常见的缺陷, 按其实质而言, 就是混凝土的隐患。

4. 1. 2 本条规定了探测混凝土缺陷采用超声波法和钻取芯样验证的综合测试方法。其理由是:

(1) 混凝土是一种多相混合物, 各相之间的声学特性阻抗差异较大, 且有气泡和微裂缝等固有缺陷。所以声波在各相界面上产生散射和吸收, 致使声衰减较大, 只能用低频率超声波探测。

(2) 混凝土是非均质材料, 声波散射和低频发射余振较长, 接收信号的音响间很长, 有时缺陷反射讯号迭加在发射讯号余振之中, 不易分辨;

(3) 混凝土表面粗糙, 容易造成耦合不好, 增加声波衰减, 影响测量精度。基于上述诸因素, 就以目前而论, 用超声波法检测混凝土缺陷还处于定性或半定性阶段。

4. 1. 3 本条总结了工程实测经验, 结合声学理论, 应用下述三个声学参数综合判定混凝土缺陷。

(1) 混凝土传播速度  $V$ ;

(2) 首波幅度  $A_0$  (声衰减);

(3) 接收讯号频率  $f$ 。

4. 1. 4 本条规定测试前校验超声波检测仪之目的, 是为了在测试过程保证仪器正常运行和仪器处于标准状态, 达到测得的数据可进行相对比较。

4. 1. 5 当用纵波方法测量混凝土中的传播时间  $T$  时, 测得  $T$  总是比声波在长度  $L$  中的传播时间长, 称为初读数。初读数的检测方法是根据换能器类型来选择。

(1) 厚度式换能器声时初读数的数学表达式:

$$T_0 = T - T_s \quad (4. 1. 5)$$

式中  $T_0$  ——初读数 (s);

$T$  ——测得声时 (s);

$T_s$  ——延时 (s)。

目前对初读数的修正采用下列两种方法:

①标准棒法: 有的仪器厂专门制作标准棒, 将标准棒上的声时测读出来, 标于标准棒上, 称为  $T_s$ 。

测量时, 先将测量用的电缆联接在仪器和换能器上, 然后将换能器按放在标准棒上, 测出标准棒上的声时值  $T_s$  按 (4. 1. 5) 式计算出初读数  $T_0$ 。

②算法: 用均质材料制一根棱柱体试件。

设: 长方向的长度为  $L_1$ , 测得  $L_1$  的声时值为  $T_1$ 。

短方向 (侧面) 的长度为  $L_2$ , 测得  $L_2$  的声时值为  $T_2$ 。

因 为 材 料 是 均 质 体 , 可 得

$$\frac{L_1}{T_1 - T_i} = \frac{L_2}{T_2 - T_i}$$

化为：
$$L_1(T_2 - T_i) = L_2(T_1 - T_i)$$

整理：
$$T_i = \frac{L_1 T_2 - L_2 T_1}{L_1 - L_2}$$

按此法计算时，除  $T_1$ 、 $T_2$  要准确外，长度  $L_1$ 、 $L_2$  亦应准确，否则给测试带来较大误差（特别是测距  $< 40 \text{ cm}$ ）。这两种方法在实测中进行了比较，标准棒法简单易行、测试误差小，故推荐标准棒法。

（2）柱状换能器初读数采用国家行业标准：《基桩低应变检测规程》规定的条文。

## 4. 2 检测仪器设备

4. 2. 1 本条根据工程实测经验，推荐采用带有示屏系统的超声波检测仪。鉴于随着电子工业的发展，智能化的超声检测仪已在工程中应用，这种仪器有很多的优点，所以只要经过鉴定认可的仪器，亦可作为测定混凝土缺陷的仪器。

超声波检测仪的技术指标，摘自汕头仪器厂生产的 S C T - 2 5 型超声仪说明书中的技术指标。

4. 2. 2 本条对换能器频率的选择是根据构件的厚度来确定，一般的说，可参照表 4. 2. 2 所示的厚度换能器频率表选择。

测距(cm)	<30	30~320	>500
频率(kHz)	100~250	45~100	20~30

换能器的实测频率与标称频率之间差异不宜过大，过大会使信号鉴别和数据对比造成混乱。

关于换能器的实测频率与标称频率之间差异的控制值  $\pm 10\%$  是通过实验确定的，因为过大会使信号鉴别和数据对比造成混乱。

第 4. 2. 3 条、第 4. 2. 4 条和第 4. 2. 5 条是测量裂缝常用的测量工具。

## 4. 3 均匀性检测

4. 3. 1 混凝土均匀性是衡量混凝土施工质量的一种方法，亦是检测混凝土缺陷的基础。测试方法是采用抽样检验，就是将混凝土视为一个母体，在其上布置超声波测点，即为样本的容量。

样本容量的大小对推断混凝土质量有着密切的关系，容量过小易产生误判，过大增加检测量。

确定样本容量，是以一定的概率来保证抽样误差不超过给定的某一抽样误差范围。从实测经验和参照数理统计方法，将混凝土结构或构件上的测点数（样本容量），限于不少于 30 个测点数。由于超声波在混凝土中的检测，采用低频超声波，经估算声波在混凝土中传播时的波长约为  $10 \text{ cm}$ 。因此将测点间的间距

规定为不宜大于 0.5 m。

4.3.2 钢筋的声速大于混凝土的声速，当钢筋与声波传播方向一致时，按波前理论就会增加声速值，影响混凝土声速的变异系数  $\delta v$ ，易造成误判。

4.3.3 本条是根据实测中归纳成的操作程序，是保证检测数据可比性的有效措施。

4.3.4 本条所列混凝土均匀性判定方法的技术依据：

(1) 混凝土构件上的各测点声速是波动的，是离散的，这种波动和离散可视为服从正态分布的。

(2) 约在 1945 年由加拿大的 Leslie 和 Cheesman 提出了一个混凝土声速与混凝土质量的关系表，如表 4.3.4/1。

混凝土声速与质量的关系 表 4.3.4-1

混凝土质量等级	优	良	合格	劣	低劣
混凝土声速(m/s)	>4575	4575~3660	3659~3050	3049~2135	<2135

始时，我们亦用该表中的标准来判定混凝土质量的优劣。从实测经验中证实，用表 4.3.4/1 中的标准来衡量港工混凝土的质量是不适宜的。因为：

① 港工混凝土有耐久性的要求，对混凝土质量要求较严，当混凝土声速 < 3500 m/s 时，不宜用于港口工程；

② 单一用平均声速值衡量，难以反映混凝土质量的离散程度。

(3) 1969 年英国的 R. Jones 和罗马尼亚的 I. F. Coru 对混凝土均匀性提出了要求：

① 建筑物中混凝土均匀性不良时会使超声传播速度有所不同，这是和强度变化有关系的；

② 工程建筑物混凝土强度离差系数  $\delta f_{cu}$  可写成：

(4.3.4/1)

式中  $m_{fcu}$  —— 由测量超声波速度推定的混凝土强度平均值 (MPa)。

通过超声波传播速度直接可得  $\delta v$  的有效近似值：

(4.3.4/2)

式中  $\delta v$  —— 由超声波速推定的混凝土强度的变异系数 (%)。

分析 R. 琼斯所列式 (4.3.4/1) 和式 (4.3.4/2) 中推断，对单独用表 4.3.4/1 所示的混凝土质量与声速的关系来判定混凝土质量的优劣，有其一定的局限性。所以在《建议》中提出用变异系数来描述混凝土声速的离散程度，并换算成混凝土强度变异系数。遗憾的是，当这本《建议》在 1968 年被国际无损检测会议审定批准时，R. 琼斯已离开了人世，变异系数的判定标准，未能继续深入研究。

(4) 1970 年，天津港湾工程研究所主持大沽灯塔混凝土质量的检测中，有一节灯塔混凝土声速平均值符合表 4.3.4/1 的合格标准，而声速变异系数为 31%，最终判为不合格，不能应用于工程。基于这个工程实例，天津港湾工程研究所着手研究混凝土声速平均值  $m_v$  和变异系数  $\delta v$  两个统计参数与混凝土质量间的关系。研究方法的基本思路是：

① 参照 R. 琼斯和美国混凝土施工规范中规定的变异系数值，作为混凝土质量控制值。并进行下列研究工作：

A. 统计了港工、水工和工业民用建筑等不同结构和构件的混凝土声速平均值  $m_v$  和变异系数  $\delta_v$  之间关系。

B. 在鲅鱼圈、山海关船厂、石臼港等工程中，从现场随机抽取混凝土试件共计 859 组，按批计算混凝土试件声速平均值  $m_v$  和变异系数  $\delta_v$ ，以此计算相应的混凝土试件强度平均值  $m_{fcu}$  和变异系数  $\delta_{fcu}$ 。

从这些研究结果中证实：

a. 声速平均值  $m_v$  与混凝土强度平均值  $m_{fcu}$  相关性不甚显著；

b. 声速变异系数  $\delta_v$  与混凝土强度变异系数  $\delta_{fcu}$  不呈比例。

②混凝土结构和构件的检验：

A. 天津市肿瘤医院放射加速区混凝土工程，因冬季施工混凝土受冻。经用超声波法检验混凝土质量。从检验结果中得到：混凝土声速平均值

$m_v = 4050 \text{ m/s}$ ；声速变异系数  $\delta_v = 6.8\%$ 。声速最小值在  $3200 \sim 3000 \text{ m/s}$  的测点，约 20 多个。这些测点经用压力灌浆修补，进入水泥浆量累计约  $1.2 \text{ m}^3$  之多。由此证实了这些测点的混凝土内部有缺陷。压浆完毕后，用超声波法检测压浆质量，20 多个测点的声速值增高至  $4000 \text{ m/s}$  以上，变异系数由  $6.8\%$  下降至  $4.8\%$ 。经中国科学院高能物理研究所用同位素复核，所得结论与超声法检测结论一致，混凝土内部密实。

B. 天津有色金属轧延厂铜熔车间，用超声波法检测了 19 根柱。检测方法是：用超声波法检测混凝土的均匀性；检测混凝土缺陷，用取芯法验证检测结果。检测结果和验证结果列于表 4.3.4 / 2。

构件破损检验

表 4.3.4-2

混凝土柱编号	测点 (个)	声 速 (m/s)			$\delta_v$ (%)	检 验 方 法
		$m_v$	$S_v$	min		
Z <sub>A</sub> -1	44	4782	167	4380	3.5	表观检查,质量良好。
Z <sub>A</sub> -2	46	4232	368	3100	8.7	凿取试块,混凝土酥松。
Z <sub>A</sub> -3	36	4659	196	4380	4.2	经荷载试验,符合设计要求。
Z <sub>A</sub> -4	37	4360	356	3100	8.2	混凝土表层冻酥约 3cm。
Z <sub>A</sub> -5	35	4450	277	3200	6.2	经压浆修补后,质量合格。
Z <sub>A</sub> -6	35	4671	202	4400	4.3	表观检查,质量良好。
Z <sub>B</sub> -1	67	4550	162	4200	3.6	表观检查,质量良好。
Z <sub>B</sub> -2	51	4442	232	4100	5.2	表观检查,质量良好。
Z <sub>B</sub> -3	51	3062	943	1570	80.0	经荷载试验,冻酥。
Z <sub>B</sub> -4	35	4568	253	4310	5.5	表观检查,质量良好。
Z <sub>B</sub> -5	30	4450	277	3200	6.2	压浆修补缺陷后,质量良好。
Z <sub>B</sub> -6	32	4509	246	4260	5.5	表观检查,质量良好。
Z <sub>B</sub> -7	34	4544	182	4310	4.0	表观检查,质量良好。
Z <sub>C</sub> -1	70	4584	235	4310	5.1	经荷载试验,符合设计要求。
Z <sub>C</sub> -2	66	4662	129	4400	2.3	表观检查,质量良好。
Z <sub>C</sub> -3	33	4381	267	3920	6.1	凿取试块,表层约 3cm 酥松。
Z <sub>C</sub> -4	33	4584	191	4410	4.1	表观检查,质量良好。
Z <sub>C</sub> -5	26	4326	106	4100	2.2	表观检查,质量良好。
Z <sub>C</sub> -6	30	4402	249	4000	5.7	表观检查,质量良好。

C. 秦皇岛煤港 3 号沉井混凝土, 由于停电发生混凝土质量事故。经用超声波法检测。得到:

a. 混凝土声速平均值  $m_v = 4230 \text{ m/s}$ ;

b. 混凝土声速变异系数  $\delta_v = 7.2\%$ ;

c. 拣出声速最小值在  $3000 \sim 2800 \text{ m/s}$  约 30 多处。在声速最小值的测点部位, 用压浆法修补, 修补完毕后用超声波法复测, 这些测点的声速值均在  $4000 \text{ m/s}$  以上, 声速变异系数  $\delta_v$  由  $7.2\%$  下降至  $4.0\%$ 。

(5) 小结:

通过上述混凝土结构和构件的验证结果中可得:

①混凝土声速在混凝土构件上的分布, 属于正态分布;

②混凝土声速值受诸多因素的影响, 单用声速平均值  $m_v$  的大小来划分混凝土质

量等级是不适宜的；

③声速变异系数  $\delta_v$  确能反映混凝土质量的波动，并引起变异系数  $\delta_v$  变化的原因，基本来自混凝土内部缺陷的测点声速值与混凝土强度的相关性不显著。

基于上述试验和统计结果，本条制定的混凝土均匀性判定指标，采用了平均声速值  $m_v$  和变异系数  $\delta_v$  两个统计量综合判定混凝土均匀性的合格标准。

A.  $m_v \geq 3500 \text{ m/s}$

B.  $\delta_v \leq 5.0\%$

## 4. 4 缺陷鉴别

4. 4. 1 条是鉴别混凝土缺陷的标准，因为混凝土缺陷的存在，有别于正常浇筑的密实混凝土。缺陷部位的声速值比密实部位的声速值有较显著的降低。所以，缺陷的判别，可对超声声速的测试值以异常数据判别的原则来处理。较好的判别方法有肖维勒准则和格罗布斯准则（具体判别方法见附录 B）。表 4. 4. 1 / 1 中的  $\eta_1$  值，即按肖维勒准则取异常数据出现概率为  $1/n$  时推算得到的判别界限值。表 4. 4. 2 / 2 中的  $\eta_2$  值，即按格罗布斯准则取置信水平  $\alpha = 0.05$  时查得的判别界限值。

对可疑界限值和警告值的界限值可靠性，结合工程的可疑值用取芯法进行了验证试验，现简叙如下：

①在国际大厦工程的检测中，用对测法测量了 7440 个测点中，按肖维勒准则拣出缺陷可疑点有 304 个，占总测点数约 4.1%。按格罗布斯准则拣出的缺陷警告值 53 个，占总测点数约 0.7%，占缺陷可疑点数的 17.4%。这 53 个警告值中有：

A. 振捣不实成蜂窝状有 13 个，占警告值数的 24.5%；

B. 空洞大于 10 cm 的有 3 个（用压浆量估算）占警告值的 5.6%；

C. 有微裂缝 5 个，占警告值数的 9.4%；

D. 钻出纯水泥砂浆 2 个，占警告值数的 3.8%；

E. 芯样强度为 35.1 MPa 和 38.0 MPa（基本符合设计要求）各 1 个，共计 2 个，占警告值数 3.8%；

F. 芯样强度在 45 MPa 以上的有 28 个，从芯样表观检查，无缺陷之痕迹，占警告值数的 52.8%。

②在天津日报大厦的检测中，按肖维勒准则拣出约 0.4 cm<sup>2</sup> 面积有 2 处，钻取芯样检测证实无缺陷。但芯样强度为 23.4 MPa 和 25.0 MPa，与设计所需的强度 30.0 MPa，降低了 16.7%~22.0%。

鉴于缺陷的判别直接关系到工程质量的评估和善后处理，所以必须十分慎重。本规程给出可疑值和警告值两个不同层次的判别界限值，是为了既确保有缺陷存在时，不致因遗漏而给结构留下隐患。又不致过严，给工程增加不必要的负担。

4. 4. 2 本条对判定缺陷可疑值和警告值的测点，持有慎重态度，所以规定要通过增补测点或钻取芯样来严加核实。

## 4. 5 空洞或不密实区域检测

4. 5. 1 本条规定了检测混凝土缺陷的基本技术依据。

4. 5. 2 本条规定了检测混凝土缺陷的测试方法和操作程序。

4. 5. 3 本条规定了不密实区和空洞的判定方法：

(1) 技术依据相同于 4. 1. 1 条说明；

(2) 判定采用：

① 图示法相同于 4. 5. 3 条说明；

② 计算法之计算式，参照了：

A. R. J o n e s 和 I. F c o a r u 提出的计算式：

$$d = D + L \sqrt{\left[\frac{t_d}{t_m}\right]^2 - 1} \quad (4. 5. 3-1)$$

式中  $d$  —— 空洞的尺寸 (m)；

$D$  —— 换能器直径 (m)；

$L$  —— 测距 (m)；

$t_d$  —— 缺陷处的最大传播时间 ( $\mu s$ )；

$t_m$  —— 均匀区域中的平均传播时间 ( $\mu s$ )。

显然，当直径  $d$  小于或等于换能器直径  $D$  时，这种缺陷是不能反映的。

B. 中国工程建设标准化协会标准：《超声波法检测混凝土缺陷技术规程》(C E C S 2 1 : 9 0) 附录 3 提出的计算式：

$$d = \frac{L}{2} \sqrt{\left[\frac{t_d}{t_m}\right]^2 - 1} \quad (4. 5. 3-2)$$

上述两式相比，采用了式 (4. 5. 3 / 2)。

## 4. 6 表面损伤层厚度检测

4. 6. 1 本条规定了检测混凝土表面损伤层的测试方法和操作程序。

4. 6. 2 本条规定的表面损伤层计算方法，采用了中国工程建设标准化协会标准：《超声法检测混凝土缺陷技术规程》(C E C S 2 1 : 9 0) 提出的计算式。这个计算式与 R. J o n e s 等提出的计算式相同。结合天津国际大厦 1 ~ 5 层工程采用了滑模施工工艺，使表面出现了损伤，用超声波和钻芯法相结合的检测方法，检测了混凝土表面损伤层厚度。检测结果列于表 4. 6. 2。从检测结果中证实，用损伤层厚度的计算式能估算损伤层的厚度。

损伤层的验证结果

表 4.6.2

墙 体			测点 (个)	声 速 (m/s)			损伤层厚度(mm) $d_m = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{V_1 - V_1'}{V_1 + V_1'}}$	芯 样	
编 号	高 度 (m)	部 位		$m_v$	$S_v$	$\delta_v$		数 量 (个)	平 均 值 (mm)
J-4-5-6	0~3.0	内壁	538	3627	784	0.22	4.70	10	4.0
K-4-6	0~3.0	内壁	294	3700	796	0.21	4.70	10	4.2
	0~3.0	外壁	282	4139	820	0.20	2.8	10	2.0

### 4. 7 混凝土结合面质量检测

- 4. 7. 1 ~ 4. 7. 2 规定了混凝土结合面质量的操作程序及测试方法。
- 4. 7. 3 混凝土结合面质量的判定相同于 4. 4. 1 的条文说明。
- 4. 7. 4 相同于 4. 4. 2 条的条文说明。

### 4. 8 灌注桩缺陷检测

4. 8. 1 混凝土灌注桩是桩基础结构之一。由于它是地下隐蔽结构物，在施工过程中易于出现各类缺陷，且不易发现，造成隐患存于桩中。从国内外统计资料表明：

- (1) 国外，现场灌注桩施工中，桩身出现缺陷的概率约 15% ~ 20%；
- (2) 国内，出现这一类缺陷的概率约为 20%。故对灌注桩进行全面质量监督是十分必要的。监督混凝土灌注桩桩身完整性的检测方法，要算是超声波法它较能准确地判断缺陷的位置和范围，以及它的性质。但用超声波法检测桩身混凝土质量，须埋设声测管，就要增加经济成本。同时亦会引起施工人员的注意，在浇筑过程中会加倍小心，缺乏其代表性。

在检测灌注桩质量时，将桩径限于大于 0.6 m，主要考虑声测管与换能器的声耦合会引起较大的相对误差，影响测试精度。用混凝土声速去推断混凝土强度受诸多因素的影响，误差较大，不宜推荐。

4. 8. 2 声测管的材质、埋设数量和固定方法，这些都是保证超声波法检测混凝土灌注桩质量的重要环节。为此，天津港湾工程研究所结合工程进行了研究，从他们的研究结果中认为：

- (1) 硬质塑料管存在下列两个问题：
  - ① 硬质塑料管与混凝土的线性膨胀不一致，易造成局部粘结不良，易误判；
  - ② 在吊运过程中，钢筋笼变形，易错位，不易连接。
- (2) 声测管的绑扎，采用焊接方法优于铁丝绑扎。
- (3) 声测管埋设 2 根管的主要问题是：
  - ① 易误判；

②不易确定缺陷的面积和性质；

③若1根管堵塞，该桩就不能测试。

基于上述研究结果，所以本条不推荐硬质塑料管、铁丝绑扎法和2根声测管的测试方法。

4.8.3~4.8.4 摘自我国行业标准：《基桩低应变动力检测规程》第7.2节仪器设备。但对换能器宜装有前置放大器，据我们的实测经验：桩深 $\leq 30\text{ m}$ ，桩径 $\leq 1.5\text{ m}$ 就不必装有前置放大器的换能器，一般的换能器就可以了。检测步骤基本上按照本规程第4章中规定的步骤。但声时值 $T_i$ 和声时相对标准误差 $T_e$ 和振幅相对标准误差 $A_e$ ，引自《基桩低应变动力检测规程》的条文。

4.8.5~4.8.6 按本规程第4章中规定的方法检出可疑值和警告值及验证方法。

## 4.9 裂缝检测

4.9.1 是总结航务系统检测裂缝的程序编写而成的，经实践证实，确能保证检测裂缝的精度。

4.9.2 是应设计要求编写的，因为检测裂缝宽度已超出超声检测范围，裂缝深度对设计者而言，只是一个参考值，不是验算值。裂缝宽度是验算可靠性的依据，因此在本条文中规定了测量裂缝宽度的检测设备，统一了检测方法，提高测试精度。

4.9.3~4.9.6 对测量裂缝深度应根据测试条件和测试对象确定测试方法及操作和判定深度。

4.9.7 对测试结果的处理作了规定。

## 5 混凝土强度的检测

### 5.1 一般规定

5.1.1 本条根据国内外检测结构中混凝土强度的标准或规程，结合航务系统的研究成果。以目前而论，混凝土非破损检测技术中较为成熟的要算是回弹法、超声回弹法及微破损检测技术中的取芯法。因此将这三种方法列入本规程中作为处理混凝土质量之依据。

5.1.2 根据非破损方法测定混凝土强度的一般原理，需事先在混凝土试件上测得混凝土某一物理特性值 $x_i$ ，或两个以上的物理特性值 $x_i$ 、 $y_i$ ，……， $z_i$ ，与混凝土试件上的抗压强度 $f_{cu_i}$ ，用回归分析方法建立混凝土强度 $f_{cu}$ 的相关关系：

前者称为一元相关关系，后者称为多元相关关系，亦称综合法。测试时，在混凝土结构或构件上测出 $x_i$ 、 $y_i$ 和 $z_i$ 等物理特性值，在已建立的混凝土强度相

关系  $f_{cu} = \psi(x_i)$ 、 $f_{cu} = \psi(x_i, y_i)$  中推定构件或结构中的混凝土强度  $f_{cu}$ ，作为处理混凝土强度的依据。

5.1.3~5.1.5 主要参照：

(1) 《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268—96) 中的规定，混凝土工程质量的验收是以边长 150 mm 立方体试件的标准强度为依据；

(2) 国际标准《结构中混凝土强度检验方法》(草案) 中规定，结构中混凝土强度：①从结构中钻取的芯样强度为代表，并定义为参考强度 (Reference strength)。参考强度是指混凝土局部地区不受约束状态下的抗压强度，既不同于试件测得的标准强度 (Standard strength)，也不同于结构混凝土强度。

②用非破损法测得的混凝土强度，未经芯样试件校核的结构中混凝土强度定义为评估参考强度 (Estimation reference strength)。

参考强度和评估参考强度，又称为现场混凝土强度 (In situ strength)。

(3) 回弹法和超声回弹综合法等非破损方法经航务系统 30 多年的研究与实践，基本上弄清了影响这些测定方法对测定混凝土强度的主要因素，相应地制定了保证这些测定方法测定混凝土强度精度的措施和方法，如仪器的标准状态、操作程序、建立混凝土强度曲线方法及评定混凝土强度方法等，将测试误差限在 1.4% 范围以内，基本上满足了测定混凝土强度的要求。

如上所述，目前国际标准中对结构中混凝土强度是以钻取芯样得到的混凝土强度为代表。同条件试件强度、芯样试件强度与非破损方法推定的混凝土强度，三者之间的换算关系，尚在研究之中，无确切定论。为直观起见，将非破损方法推定的混凝土强度，芯样试件上取得的混凝土强度，沿用习惯所说的“相当于”同条件试件混凝土强度。

5.1.5 本条按国际标准规定，不宜单独用非破损方法推定结构中混凝土强度，但从我们的研究结果中证实，用非破损方法推定的混凝土强度只要严格遵照《规程》中规定的方法推定的混凝土强度能符合设计规范之要求，仅当对非破损方法推定的强度存有怀疑时，可用钻取芯样试件校核。

## 5.2 回弹法推定混凝土强度

5.2.1 本条主要依据：

回弹法是通过回弹仪测定混凝土表面硬度来推定结构中混凝土强度，因此要求被测结构或构件混凝土内部质量基本一致，推定的混凝土强度称为结构中混凝土强度。所以，当混凝土表面与内部质量有明显差异时，就不宜使用回弹仪法。

5.2.2 本条依据市场上销售的回弹仪而制定的。

5.2.3 制定本条主要依据：

(1) 根据港口工程中常用的回弹仪有中型回弹仪 (冲击能量为 2.2 J)、重型回弹仪 (冲击能量为 2.9.4 J) 和高强度回弹仪 (冲击能量为 9.8 J)。

(2) 重型回弹仪是根据天津港湾工程研究所和水利部葛洲坝工程局质检处，结合葛洲坝工程进行了重型回弹仪检测混凝土抗压强度的研究，其主要研究成果是：

①用钢砧率定重型回弹仪的率定值，取代了瑞士说明书中用老混凝土和铸铁的率

定设备，提高了测试精度；

②用回归分析方法建立了重型回弹仪混凝土强度的相关关系式。并经试件和结构中钻取的芯样试件验证，测试误差小于14.0%；

③研究证实，重型回弹仪测定混凝土的深度约为100mm；

④重型回弹仪的检测结果正式列为葛洲坝现场混凝土强度验收依据之一。

(3)高强度回弹仪是根据天津港湾工程研究所和天津建筑仪器厂结合混凝土强度的发展而研究成功的一种检测高强度混凝土回弹仪，已应用于金皇大厦C60混凝土强度检测，经用钻取芯样验证，符合测定C60强度等级之要求。

5.2.4本条是摘抄回弹仪说明书。

5.2.5~5.2.7是概括了航务系统几十年来，用回弹法测定混凝土强度的实践经验，制订的操作步骤和规定。

5.2.8~5.2.11之依据

(1)根据回弹值“R”的定义是一定拉力的拉簧所连接的弹击锤距离L，冲击弹击杆后的距离L'之比，用下式表示：

$$R = L' / L \times 100 \quad (5.2.8 / 1)$$

回弹值的大小，取决于与冲击能量与耗损的回弹能量，而耗损回弹能量主要取决于被测混凝土的塑性性能。

(2)回弹仪冲击时的能量与混凝土表面硬度(弹塑性能)的关系，按英国高莱克在水平方向时推导的关系式：

$$H_B = \frac{8DKL^2}{\mu\pi d^4} \quad (5.2.8-2)$$

鉴于式中D、K和L是混凝土回弹仪机械零件技术参数，可视为常数C1，μ、π亦可视为常数C2。C1和C2总和为常数C，d是印痕深度。式(5.2.8/2)可改为：

$$H_B = cd^{-4} \quad (5.2.8-3)$$

由于混凝土表面硬度 $H_B$ 就是混凝土回弹值“R”。亦可写为：

$$R = cd^{-4} \quad (5.2.8-3')$$

因此，在一定条件下混凝土抗压强度 $f_{cuR}$ 与回弹值“R”之间的相关关系，可用下式表达：

$$f_{cuR} = f(R) = cd^{-4}$$

由此式中可得：

①该式是在水平方向推导而得；

②含有一定的物理概念。

(3)非水平方向的修正，根据功能原理可按此式修正：

$$R_i = R_{ci} \sqrt{\frac{1 - 0.124 \sin \alpha \frac{100}{R_{ci}}}{1 - 0.124 \sin \alpha}} \quad (5.2.8-4)$$

规

程中所列表 5.2.8 / 1 的修正值  $\Delta R_{ci}$  是式 (5.2.8 / 4) 计算值, 并经浙江省建筑科学研究所验证。一般来说, 港口工程规模较大, 工期较长, 使用原材料较稳定, 具有制定专用测强曲线的条件。建立的专用测强曲线。其适用性和强度推定误差均优于通用曲线。当无条件制订专用测强曲线时, 方可使用本规程中通用测强公式。

关于碳化深度的修正值问题, 我们注意了:

(1) 混凝土强度  $f_{cu} = f(R)$

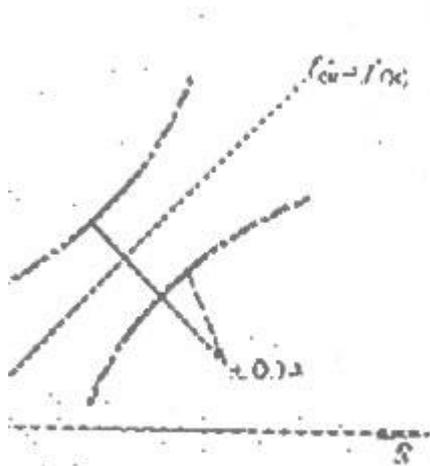
含有一定的物理概念, 采用修正系数法较妥;

(2) 《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23-92) 的后半部分碳化深度的修正系数亦采用了浙江省建筑科学研究所提出的碳化深度修正系数。所以本规程采用修正系数法, 并列入表 5.2.10。

关于回弹法推定强度之理论依据:

(1) 回弹法用于混凝土强度的推定, 是以出现对常规混凝土立方体试块强度或施工质量有怀疑或争议为前提的, 推定的混凝土强度作为处理混凝土质量的依据。因此, 为了确保工程的安全, 混凝土强度的推定应建立在严谨、郑重和可靠的基础上;

(2) 混凝土立方强度  $f_{cu}$  与回弹值  $R$  的相关关系是由大量离散的实测数据统计得来的。相关关系曲线按最小二乘法准则通过大量的实测点计算而得。因此, 根据结构物上测得的  $R$  值来推算混凝土立方体强度时, 必须考虑因实测点离散而构成的剩余标准差  $\delta_e$  的存在 (见图 5.2.8);



5.2.8  $f_{cu} = f(R)$  的示意图

(3)  $f_{cu} = \psi(R)$  相关关系曲线中的回归系数, 受原材料配合比诸多因素的影响。特别是粗骨料品种和用量的影响, 有可能对混凝土立方体强度推算构成相当程度的干扰, 所以本规程除推荐优先采用专用测强曲线外, 还规定取某一下限值来推定混凝土强度。这样有利于综合包罗众多无法详尽考虑的变异因素, 是

必要的，也是偏于安全的；

(4) 由于测点的随混凝土强度增高而离散增大的特点，在实际应用时，采用剩余系数  $\delta_e = S_e / \mu$  来作出修正。因此有了本规程中的下限线修正式：

$$f_{cuRe} = f_{cuRom} (1 - t \delta_e)$$

对于专用测强相关关系式，取  $t = 0.5$ ，下限线以上测试数据出现的概率为 70%。对于通用测强曲线取  $t = 1.0$ ，下限线以上的测试数据出现概率为 85%。两者的区别主要是考虑到：

① 采用专用测强曲线时，率定时用的混凝土配合比与实际结构是一致的，测强曲线是比较准确的，只有测试带来的离散，所以下限线定得略高一些，强度推定值已有足够的储备；

② 采用通用测强曲线时，混凝土配合比与实际结构不一致，测强曲线本身就不太准确，再加上测试带来的离散，下限线要定得更低一些，才能确保强度推定值的可靠性。

### 5.3 超声一回弹综合法推定混凝土强度

5.3.1 条文说明见 5.1.1 条的条文说明。

5.3.2 由于遭受冻害、化学腐蚀、火灾损伤及埋有块石的混凝土均会使混凝土声速发生变化，不能采用超声回弹法测试。

5.3.3 条文说明见 4.2.1 条、4.2.2 条和 5.2.2 条的条文说明。

5.3.4 ~ 5.3.5 见第 5.2.8 条的条文说明。

其中关于超声一回弹综合法的测区是一个基本测量单元。布置测区的数量是根据：

(1) 《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268-96) 对试件组数的规定 2 ~ 4 组；

(2) 被测结构或构件的尺寸大小来选定的。

测区的布置原则，是根据混凝土均匀性的检测结果，提出检测重点和范围，便于集中精力，保证检测质量，以利分析。

测区的超声波测点各国各有各的规定，如原苏联采用呈梅花形的 5 个测点，英美等国为 3 个测点。我国建设部标准《CECS 02: 1988》亦采用 3 个测点。

根据港工混凝土除有强度要求之外，尚有耐久性要求的特点，为此充分发挥超声波测定混凝土密实性之功能，先进行混凝土均匀性的测定，合理地选择测区部位。

### 5.4 取芯法推定混凝土强度

5.4.1 取芯法检测混凝土强度，是一种直观准确的测试方法。钻取芯样试件的构件，系指素混凝土结构和钢筋混凝土结构，对于预应力混凝土结构，考虑到结构安全问题，一般不允许钻取混凝土芯样试件。

当用回弹法、超声一回弹综合法推定的混凝土强度有怀疑时，或在老建筑物上测定的混凝土强度，对其换算的强度曲线与实测建筑物的混凝土技术条件有较大差异时，可在这些测试结果的基础上钻取芯样试件强度来校核非破损测试强

度。这样可避免了钻取大量芯样，又提高了非破损测试精度。

5.4.2 本条规定取芯法不宜在混凝土强度低于 10.0 MPa 钻取芯样试件，主要考虑钻芯过程中扰动砂浆与粗骨料之间的粘结力，影响检测结果的准确性。

5.4.3 取芯机、钻头、切割机和探测钢筋位置的磁感仪，是钻取芯样试件的主要设备。

取芯机的技术条件，摘自天津建筑仪器厂生产的 HZQ-100 型钻机的技术参数。该机之主要特点：重量轻（重量为 23 kg）、易携带，电源电压为 220 V，用膨胀螺栓固定，可在构件的任何部位钻取芯样。该机之缺点：主轴空载转速只有 850 r/min 一档，对芯样不易定位。

金钢石薄壁钻头之技术参数，摘自《人造金钢石薄壁钻头》（GB 400-85）之标准。切割机可选用岩石切割机，切割时必须夹紧芯样。探测钢筋位置的磁感仪，在多排钢筋情况下，不易测准。为了达到不切割钢筋的简易方法：

- (1) 熟悉配筋图；
- (2) 碰到钢筋移动钻机，避开钢筋。

5.4.4 本条是根据实测经验编写而成的。关于粗骨料粒径，美、日、英等国家和国际取芯法标准，都规定取芯的芯样直径为混凝土粗骨料粒径的 3 倍，在特殊情况下不少于 2 倍。这个规定与《水运工程混凝土施工规范》（JTJ 268-96）中对立方体试块允许的最小边长相吻合。在水运工程中的梁、桩、板及沉箱等混凝土构件，采用的粗骨料粒径一般在 32 mm 或 40 mm，所以采用内径 100 mm 或 150 mm 的钻头是能满足这一要求的。经我们的实验结果证实，当芯样直径与粗骨料粒径之比值小于 2 倍时，芯样强度离散，变异系数增大。所以本《规程》规定了芯样直径与粗骨料最大粒径之比值不宜小于 2 倍的下限值。

5.4.5 本条之依据：

- (1) 芯样抗压试件的尺寸参照英国 1983 年标准《BS 1881-120 部分测定混凝土芯样试件抗压强度方法》中规定，从结构或构件上钻取的混凝土芯样，经按标准方法制作芯样抗压试件，并按标准试验方法试验取得的混凝土抗压强度值，可按下式推定其混凝土立方体试件强度  $f_{cu}$ ：

$$f_{cu} = \frac{D}{1.5 + 1/\lambda} \cdot f_{cor} \quad (5.4.5-1)$$

式中 D——修正系数。垂直钻取时， $D = 2.3$ ；水平钻取时， $D = 2.5$ ；

$f_{cor}$ ——芯样试件抗压强度（MPa）；

$\lambda$ ——高度与直径之比值。

所以，凡经水平钻取高径比为 1 的芯样试件，用以测得的芯样试件强度  $f_{cor}$  就相当于立方体试件强度  $f_{cu}$ 。并经美国、日本、原民主德国、前苏联的验证试验，确认换算系数为 1。中国建筑科学研究院、中国冶金建筑科学研究院、交通部天津港湾工程研究所和交通部第四航务局科学研究所等单位也曾就高度与直径之比值为 1 的芯样试件，与边长 150 mm 立方体试件进行了抗压强度比较试验，强度值是稳定的，两种试件的强度比值是趋近于 1。

因此，对于芯样抗压强度试件的尺寸，规定为直径与高度之比值为 1。

- (2) 芯样试件数量：

①当直径  $\geq 100$  mm 的芯样试件，一个芯样试件的抗压强度值，相当于一组立方体试件强度。

②当直径  $< 100$  mm 时，称之为小芯样试件。从一些研究资料中证实，小芯样

试件的试验结果离散性大，影射测量精度。为避免其强度的离散性，需要更多的芯样试件。例如，英国 B u n g r y 通过他的实验结果指出：“克服小芯样试件试验结果的离散性，需要钻取较多的芯样试件，至少多于 3 倍‘标准芯样试件（1 0 0 mm×h 1 0 0 mm）’的数量，才有可能达到相似的精度”。南斯拉夫的规程中规定：“钻取小芯样试件数量至少为 1 0 个”。

在构件上钻取这么多的小芯样试件，设计者是不允许的。因此，天津港湾工程研究所对小芯样试件在工程中的应用进行了研究，从研究结果中得到：

A. 在每个钻孔中钻取的芯样试件，根据芯样的直径制备了不同数量的抗压强度试件，用统计方法确定抗压强度代表值，以此克服小芯样试件的离散性；

B. 检查出现抗压强度异常值的破碎试件，剔除不正常试件的试验结果。

关于芯样试件误差值自身的界限值，主要是参照中国工程建设标准化协会标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》（C E C S 0 3：8 8）所给予的标准。同时给出了不同高径比的强度换算系数表，这样超出误差界限值的芯样试件，可处理至符合标准。

### （3）钢筋的影响：

芯样试件内含有钢筋残段，对芯样试件的抗压强度是有影响的。英国 B u n g e y 对芯样试件内含有钢筋有下列建议：

①含有 1 根与芯样轴线垂直的钢筋的芯样，可用下式对芯样强度进行修正：

$$k = 1.0 + 1.5 \left( \frac{\phi_F}{\phi} \cdot \frac{h}{L} \right) \quad (5.4.5-2)$$

式中 F——钢筋直径（mm）；

——芯样试件直径（mm）；

h——钢筋轴线与芯样最近端面的距离（mm）；

L——芯样试件长度（mm）。

②芯样内含有多根钢筋时，按以下公式进行修正：

$$k = 1.0 + 1.5 \frac{\sum(\phi_F \cdot h)}{\phi \cdot L} \quad (5.4.5-3)$$

若二根钢筋的间距小于其中较大的一根钢筋的直径时，必须考虑其中较大一根钢筋 F · h 的乘积。

上述建议已被英国标准《B S 1 8 8 1 / 1 2 0 部分测定混凝土芯样强度方法》采纳，编入规程。

③我国冶金部建筑科学研究院通过他们的试验结果认为，芯样试件内含有钢筋，不论钢筋的直径大小和钢筋离开芯样端面的距离多少，看不出这两种因素对抗压强度影响的规律性。

④基于上述两种不同的论点，天津港湾工程研究所主持了钢筋对芯样强度影响因素的研究。根据研究结果认为：芯样试件内含有钢筋时对其强度是有影响的。因此在转化为正常的芯样试件混凝土强度时则应注意以下几点：

A. 芯样试件内含有 2 根以上的钢筋。若有，宜在构件上重新钻取芯样试件；

B. 对于含有 1 根钢筋的芯样试件的强度：

a. 当芯样直径 ≥ 1 0 0 mm 抗压试件，可含有一根直径 ≤ 2 2 mm 钢筋，且

与试件受压面成平行；

b. 当芯样直径 $< 100\text{ mm}$ 抗压试件，可含有一根直径 $\leq 6.0\text{ mm}$ 钢筋，且与试件受压面成平行。

(4) 芯样试件偏差值的限值是参照冶金部的标准制订的。

(5) 芯样试件的静置时间参照各国标准和天津港湾工程研究所的验证结果制订的。

5.4.6 本条是根据各国标准中的规定制订的。小芯样试件的换算系数是根据天津港湾工程研究所和二航局科研所的研究结果制订的。

5.4.7 本条主要为《水运工程混凝土施工规范》(JTJ 268-96)相配套，所以采用混凝土强度代表值。其确定原则是：

(1) 当芯样试件直径 $\geq 100\text{ mm}$ 时，一个芯样试件强度相当于一组试件强度的代表值。

(2) 当芯样试件直径 $< 100\text{ mm}$ 时(简称小芯样试件)，经天津港湾工程研究所对小芯样强度离散性的研究。从研究结果中得到：

①芯样直径 $75\sim 65\text{ mm}$ 时，从构件上钻取芯样长度应大于 $250\text{ mm}$ ，并在这芯样试件上可制取3个直径与高度之比为1的抗压试件3个，试件强度的取舍可按《水运工程混凝土施工规范》中对留置试件取舍的方法；

②芯样直径 $60\sim 50\text{ mm}$ ，从构件上钻取的芯样长度应大于 $300\text{ mm}$ ，并在这芯样试件上制取5个直径与高度之比为1的抗压试件。芯样试件强度的取舍原则，采用了英国混凝土协会技术报告中提出的方法，用t检验法剔除异常数据后，再用剩余数据的平均值作为强度代表值。式(5.4.7/2)和t临界值的来源见附录A.2.3。

5.4.8 芯样强度与标准立方体试件强度的比值 $K_o$ ，各国标准取值不同。美国ACI 318-92和德国DIN 1085标准中取 $K_o = 0.85$ ，丹麦和挪威的国家标准分别取 $K_o$ 为0.90和0.70。我国标准《混凝土结构设计规范》(GBJ 10-89)中取 $K_o = 0.88$ 。本规程编写过程中，经天津国际大厦工程和金皇大厦工程及模拟构件进行了芯样强度和标准立方体试块强度的平行试验，在1250个芯样强度数据的基础上，统计分析得出：

“ $K_o$ 值随混凝土强度的增高而增高”。

对不同强度等级的港工混凝土，建议按规程中表5.4.8中选取：

强度等级	$\leq C20$	C25~C30	C35~C45	C50~C60
$K_o$	0.82	0.85	0.88	0.90

因此，当从结构中钻取芯样时，实测芯样强度代表值后，可根据本规程给定的 $K_o$ 值，推算出混凝土立方体试块强度。

5.4.9 本条的依据用单个构件的强度判定须用3个强度代表值。

## 5.5 混凝土强度的合格判定

5.5.1~5.5.5 基本思路是：

(1) 以测区超声声速V和回弹值R的综合或回弹值R推定的混凝土立方强度作

为样本信息，采用与标准立方体试块破损强度完全相同的验收条文作合格判定，以保证判定尺度的宽严一致。

(2) 非破损检测手段的优点是可廉价地大量获得结构中混凝土质量的信息，但在推定混凝土强度上总不如破损（或微破损）试验来得确切。本规程采用相关关系式下限线来推定混凝土强度，是偏于安全的。用此偏于安全的信息来作合格判定，如判定合格应该是可以放心的了。但是，也有可能因过份安全而低估了实际结构中混凝土的强度。所以当判定不合格时，还应辅以实测芯样强度来校核修正，此时钻取芯样的工作量已被限制在一个相当小的范围内。

(3) 实测芯样强度通过  $K_0$  可以推定出混凝土立方体强度。实测超声声速  $V$  和回弹值  $R$  或回弹值  $R$  通过相关关系式的下限线也可以推定出混凝土立方体强度。两者的比值就是芯样校核系数  $\psi$ 。

在实际工程应用中，要确定此校核系数  $\psi$  并不是很容易的事。因为在单个测区内，实测芯样强度与实测超声声速和回弹值都是随机变量，其一一对应的比值，也仍然是一个具有相当离散性的量，而以一个离散的量来作为举足轻重的校核系数，显然是不妥当的。二者之间可靠的比值应是整批混凝土内全部测区大量实测数据的总体平均值之比，即：

$$\psi = \frac{m_{f_{cure}}}{m_{f_{cuRe}}} \quad \text{或} \quad \psi = \frac{m_{t_{cure}}}{m_{t_{cuRe}}}$$

由于非破损检测有大量实测数据，上式中的分母是很容易计算得到的。但是钻取芯样费时、费事、费钱，且对结构有一定损伤，要获得大量实测数据是不可行的。为此，规程中规定将芯样的钻取位置限制在超声一回弹综合法或回弹法推定得到的强度均值邻近部位，且芯样数量规定  $n \geq 5$ ，以期获得二者之间尽可能可靠的比值。

(4) I S O 第 7 1 委员会提出的《结构中混凝土强度检验标准（草案）》中指出：“结构中混凝土强度要以芯样强度为基础”。所以将由非破损检测方法推定的混凝土强度，逐个乘以芯样校核系数  $\psi$  后，就可获得更为准确可靠的样本信息，再次进行混凝土强度的合格判定。

在实际应用中，由于随机变量乘以常数后，新的随机变量的均值和标准差分别为原来随机变量的均值和标准差乘以该常数，所以运算时可以直接对验收条文不等式左侧的验收函数乘以校核系数  $\psi$ ，再与不等式右侧的验收界限值相比较，重新作出混凝土强度的合格判定。

(5) 对已建成的构筑物，无法用非破损方法检测时，也可直接用取芯法来推定混凝土强度并进行合格性判定。判定的方法按单个构件进行判定，钻取芯样数量不宜少于 3 个。