



T/CECS 879—2021

中国工程建设标准化协会标准

桥梁预应力孔道注浆密实度 无损检测技术规程

Technical specification for nondestructive testing of
grouting density in prestressed channels of bridges



中国计划出版社

中国工程建设标准化协会标准

**桥梁预应力孔道注浆密实度
无损检测技术规程**

Technical specification for nondestructive testing of
grouting density in prestressed channels of bridges

T/CECS 879—2021

主编单位：中冶建筑研究总院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2 0 2 1 年 1 1 月 1 日

中国计划出版社

2021 北 京

中国工程建设标准化协会标准
桥梁预应力孔道注浆密实度
无损检测技术规程

T/CECS 879—2021



中国计划出版社出版发行

网址: www.jhpress.com

地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码:100038 电话:(010)63906433(发行部)

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 1.5 印张 36 千字

2021 年 11 月第 1 版 2021 年 11 月第 1 次印刷

印数 1—1030 册



统一书号:155182·0998

定价:21.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话:(010)63906404

如有印装质量问题,请寄本社出版部调换

中国工程建设标准化协会公告

第 886 号

关于发布《桥梁预应力孔道注浆密实度 无损检测技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2017 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〔2017〕031 号)的要求,由中冶建筑研究总院有限公司等单位编制的《桥梁预应力孔道注浆密实度无损检测技术规程》,经协会冶金分会组织审查,现批准发布,编号为 T/CECS 879—2021,自 2021 年 11 月 1 日起施行。

中国工程建设标准化协会
二〇二一年六月二十五日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2017 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〔2017〕031 号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本规程。

本规程共分 8 章和 2 个附录,主要技术内容包括:总则、术语和符号、基本规定、冲击弹性波法、X 射线法、内窥镜法、相控阵超声法、检测报告等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利,本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会冶金分会归口管理,由中冶建筑研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送解释单位(地址:北京市海淀区西土城路 33 号,邮编:100088)。

主 编 单 位: 中冶建筑研究总院有限公司

参 编 单 位: 检测检验认证有限公司

中冶(贵州)建设投资发展有限公司

四川升拓检测技术股份有限公司

北京科技大学

北京智博联科技股份有限公司

福建福清核电有限公司

主要起草人: 张 伟 吴佳晔 张际斌 刘建磊 宿 健
陈卫红 张科超 黄正均 李晓东 代 松
冯长中 张远军 张电杰 范 飞 张 新

	李季阳	李 杰	王英子	李佳兴	王玉敏
	商宗亮	曾蓉均	任朝阳	邵建峰	贺 东
	张 栋	王 思	郑德旭	董志刚	马谷剑
	张建红	张敬磊			
主要审查人：	石大为	宋建永	王元清	刘立渠	姜 勇
	王 智	赵建铎			

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	基本规定	(5)
4	冲击弹性波法	(8)
4.1	适用范围	(8)
4.2	检测仪器与设备	(8)
4.3	冲击弹性波法定性检测	(9)
4.4	冲击回波定位检测	(10)
5	X 射线法	(14)
6	内窥镜法	(16)
7	相控阵超声法	(17)
8	检测报告	(20)
附录 A	线性标定	(21)
附录 B	定位检测孔道注浆密实度判定	(22)
	本规程用词说明	(24)
附:	条文说明	(25)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(5)
4	Impact elasticity wave detection method	(8)
4.1	Scope of application	(8)
4.2	Testing instruments and equipment	(8)
4.3	Impact elasticity wave qualitative detection	(9)
4.4	Impact echo location detection	(10)
5	X-ray radiography method	(14)
6	Endoscope method	(16)
7	Phased array ultrasonic method	(17)
8	Testing report	(20)
	Appendix A Linear calibration	(21)
	Appendix B Hole grouting density reference swatches of location detection	(22)
	Explanation of wording in this specification	(24)
	Addition: Explanation of provisions	(25)

1 总 则

1.0.1 为规范桥梁预应力孔道注浆密实度检测行为,确保检测技术可靠,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于桥梁预应力孔道注浆密实度的无损检测。

1.0.3 桥梁预应力孔道注浆密实度无损检测除应符合本规程的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 冲击弹性波定性检测法 impact elasticity wave qualitative detection method

采用激振工具对外露的预应力钢束两端分别激振和接收信号,通过分析信号传播过程中能量、波速及频率等参数的变化,定性判定预应力孔道整体注浆密实度的方法。

2.1.2 冲击回波法 impact echo method

采用瞬态冲击产生冲击弹性波并接收冲击弹性波多次反射信号,通过分析冲击弹性波及其回波的波速、传播时间和主频频率等参数的变化,判定混凝土构件的厚度或内部缺陷的方法。

2.1.3 冲击回波定位检测法 impact echo location detection method

在被测构件表面沿预应力孔道方向等间距布置测点,利用冲击回波法逐个在测点上进行激振和接收信号,并对接收信号进行成像分析,根据成像判定预应力孔道注浆密实度的方法。

2.1.4 线性标定 linear calibration

在注浆密实孔道或无孔道混凝土位置,布置一条与密实度测试线长度和方向一致的测线,利用标准测线的数据作为孔道密实度测试的判定基准。

2.1.5 等效波速法 impact echo equivalent velocity method

采用冲击回波法进行孔道注浆密实度检测时的一种分析方法。该方法根据冲击弹性波的反射和绕射特征判定孔道注浆密实度及其缺陷类型。

2.1.6 X射线法 X-ray radiography method

利用 X 射线透射性能,对预应力孔道进行扫描成像,根据影像判定注浆密实度的方法。

2.1.7 内窥镜法 endoscope method

对预应力孔道开孔,或借助既有通道,利用光学仪器内窥镜,对预应力孔道内部进行拍照或摄像,根据影像判定注浆密实度的方法。

2.1.8 黑度 blackness

X 射线法得到的用于反映被检测构件密实度对应的色度。

2.1.9 最大注浆缺陷长度 maximum grouting defect length

预应力孔道内单个注浆缺陷的最大长度。

2.1.10 相控阵超声法 phased array ultrasonic method

采用多个独立换能器组成的阵列式超声探头和分析系统,对预应力孔道进行扫描成像,通过对反射波形特征和成像的分析,判定预应力孔道注浆密实度或混凝土内部缺陷的方法。

2.2 符 号

N ——定位检测的点数;

N_J ——健全测点数;

N_x ——小规模缺陷测点数;

N_D ——大规模缺陷测点数;

β ——测点注浆缺陷类型分级取值;

L_d ——检测区间长度;

$L_{\max}$ ——最大注浆缺陷长度;

L ——孔道全长;

D ——注浆密实度指数;

D_e ——修正注浆密实度指数;

D_k ——单条孔道各检测区段中注浆质量较好的连续区段的密实度指数;

F_r ——受信频率;

F_r/F_s ——受信与激振频率比；
 I_f ——定性检测综合注浆指数；
 I_{PV} ——波速分项注浆指数；
 I_{EA} ——振幅分项注浆指数；
 I_{TF} ——频率分项注浆指数；
 S ——反射波顶点出现位置；
 v ——混凝土整体超声波波速；
 t ——反射波信号顶点出现时间；
 t_0 ——相控阵超声检测设备系统延迟时间；
 b ——构件厚度。

3 基本规定

3.0.1 桥梁预应力孔道注浆密实度检测方法应根据构件类型、检测环境、适用条件等综合确定,应采用成熟、先进、专业程度高的技术。

3.0.2 桥梁预应力孔道注浆密实度检测方法宜以冲击弹性波法为主,可以两种及以上方法联合使用,相互对比验证。

3.0.3 检测宜在注浆材料强度达到设计强度的 70%后进行。

3.0.4 检测设备应在检校有效期内使用。

3.0.5 检测人员需经过相关技术培训,具备相应检测能力。

3.0.6 密实度检测时应符合有关安全规定,根据检测方法、检测环境等配备安全防护人员及设备。

3.0.7 桥梁预应力孔道注浆密实度检测流程宜按图 3.0.7 进行。

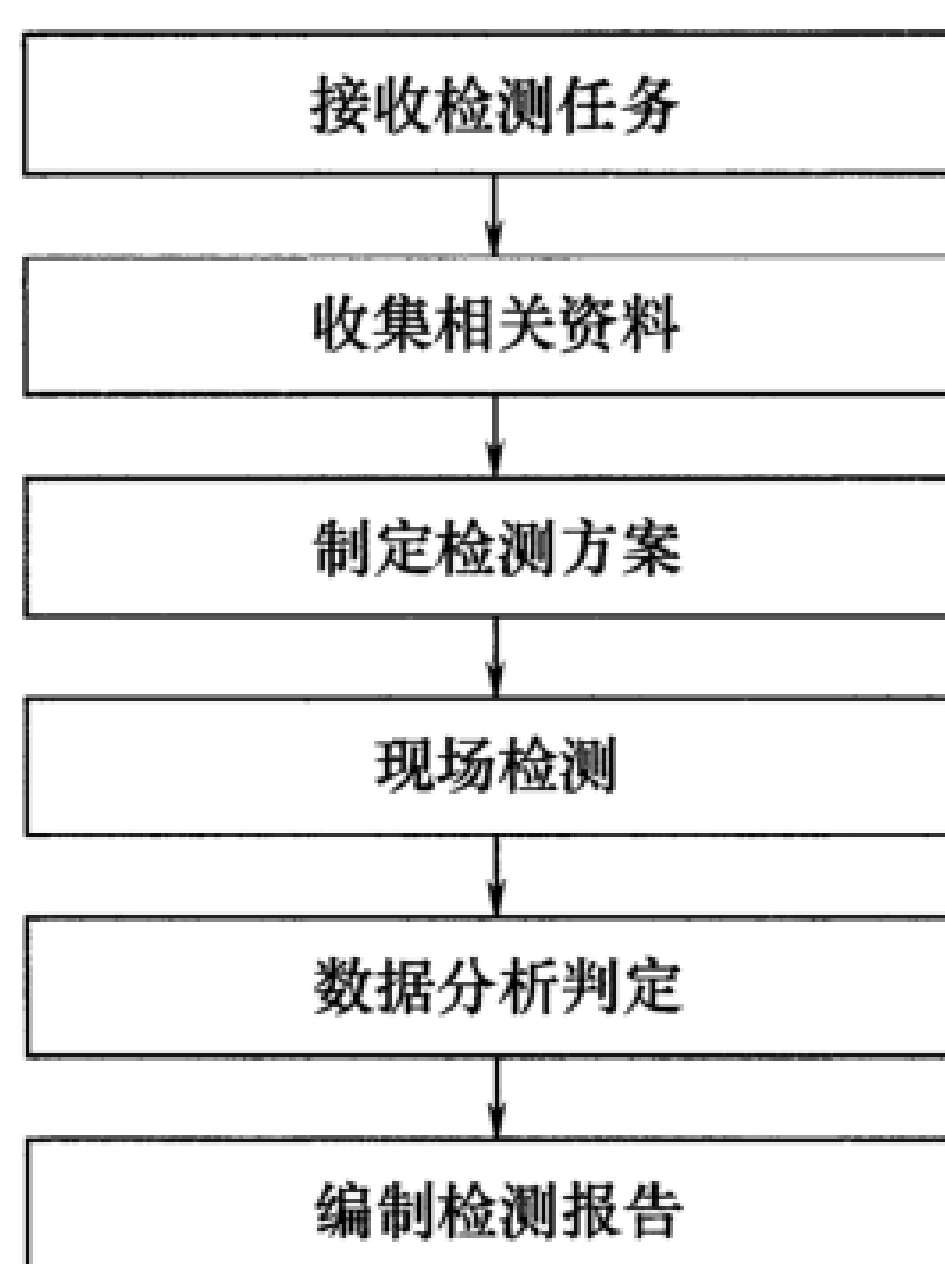


图 3.0.7 桥梁预应力孔道注浆密实度检测流程图

3.0.8 资料收集宜包括下列内容:

- 1 委托方和相关单位的具体要求；
- 2 设计资料、施工资料等；
- 3 结构运行状态、管理养护资料、相应检测条件信息等。

3.0.9 检测方案应包括下列主要内容：

- 1 工程概况；
- 2 检测目的及委托方的检测要求，包括检测范围、检测数量等；
- 3 检测依据，包括检测标准、相关技术文件等；
- 4 检测方法及其判定标准；
- 5 检测人员和仪器设备情况；
- 6 检测工作进度计划；
- 7 检测中的安全与环保措施。

3.0.10 当定位检测判定结果与验证存在差异时，应及时分析原因，并进行复测。

3.0.11 本规程所涉及的检测方法包括冲击弹性波定性检测法、冲击回波定位检测法、X 射线法、内窥镜法、相控阵超声法。应按表 3.0.11 的规定，根据检测内容选择相应的检测方法。

表 3.0.11 检测方法一览表

检测方法		检测内容
冲击弹性波法	冲击弹性波定性检测法	定性判定预应力孔道整体注浆密实度
	冲击回波定位检测法	定量判定预应力孔道各位置处注浆密实度
X 射线法		验证判定预应力孔道各位置处注浆密实度
内窥镜法		验证判定预应力孔道各位置处注浆密实度
相控阵超声法		一定条件下对比判定预应力孔道各位置处 注浆密实度

3.0.12 桥梁预应力孔道注浆密实度检测方法应符合下列规定：

- 1 宜优先采用冲击弹性波法；
- 2 采用冲击弹性波法检测时，宜采用定位检测；当仅需定性排查注浆质量时，可采用定性检测；

3 X射线、内窥镜、相控阵超声法适用于冲击弹性波法的补充或验证。

3.0.13 抽样应具有代表性和随机性。

3.0.14 当预应力孔道有下列情况之一时,应抽检:

- 1 注浆过程中注浆机出现故障或注浆材料发生异常初凝;
- 2 注浆过程中发生堵塞;
- 3 其他认为有必要检测的情况。

3.0.15 对于现浇预应力结构,应按下列要求抽检:

1 对各种梁型,首次施工、改变施工工艺、更换注浆材料或注浆设备时,最初注浆的5个孔道应进行注浆密实度检测;

2 注浆密实度抽检比例不应少于孔道总数的5%,且每座桥梁同类型孔道抽检总数不应少于10个,不足10个时应全数检测。

3.0.16 对于预制梁板,应按下列要求抽检:

1 每个梁场的各种梁型,首次注浆、改变注浆工艺、更换注浆材料或注浆设备时,最初注浆的3片梁(板)的全部孔道应进行注浆密实度检测;

2 注浆密实度抽检比例不应少于孔道总数的3%,且每座桥梁同类型孔道抽检总数不应少于10个,不足10个时应全数检测。

4 冲击弹性波法

4.1 适用范围

4.1.1 冲击弹性波法检测桥梁预应力孔道注浆密实度包括定性检测和定位检测,应根据检测目的、检测条件等合理选用定性检测或定位检测。

4.1.2 冲击弹性波定性检测法适用于孔道两端裸露出预应力锚具和钢束端部的预应力孔道,不适用于检测小范围缺陷和确定缺陷位置,预应力束长度不宜大于 60m。

4.1.3 冲击回波定位检测法适用于判定孔道注浆缺陷的范围及类型,应满足下列条件:

1 孔道中心间距宜大于孔道埋置深度的 0.8 倍,且孔道内径与波纹管埋置深度之比宜大于 0.3;

2 孔道走向及位置能够确定,且在冲击回波传播方向只有一束预应力孔道,其厚度不宜超过 80cm;

3 测试表面规则平整。

4.2 检测仪器与设备

4.2.1 检测仪器应具备冲击弹性波信号采集与数据分析功能,信号采集包括信号激发、信号拾取、信号调理、模数转换等装置;数据分析包括数字信号显示、存储、分析、成像等功能。

4.2.2 检测仪器应具备冲击弹性波波速、幅值、频率等特征分析的功能,并能数字化成像。

4.2.3 检测仪应满足在 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的温度、 $0\sim 70\%$ 的湿度环境条件下正常工作,检测环境应无机械振动和强振幅电噪声。

4.2.4 信号采集及处理仪应符合下列规定:

1 信号增益宜采用电荷放大器,且增益倍率宜为 1 倍~100 倍,放大器频响范围大于传感器的有效频响范围;

2 模数转换(A/D)卡宜采用多通道,其分辨率不低于 12bit,最大采样频率不应小于 500kHz。

4.2.5 拾振装置宜采用加速度传感器,频带宽度宜为 100Hz~20kHz,可以采用符合频谱特性要求的非接触式动信号采集方式。

4.2.6 激振器应符合下列规定:

1 激振器应能产生低频率高能量的弹性波;

2 激振应采用瞬态激振方式;

3 冲击回波法检测应根据构件厚度、激振频率特性等,选择适宜的激振锤。

4.2.7 检测仪标定幅值非线性误差应在 $\pm 5.0\%$ 以内;电信号测量相对误差应在 $\pm 1.0\%$ 以内。

4.3 冲击弹性波法定性检测

4.3.1 定性检测设备安装应符合下列规定:

1 根据现场实际情况选择合适的放大器、传感器及激振器,连接检测设备并进行设备自检,确认整个检测系统处于正常工作状态;

2 正确设置相关参数,输入被检对象的信息;

3 传感器采用强磁或机械方式固定,传感器轴线、激振方向与预应力钢束外露走向一致。

4.3.2 检测工作应符合下列规定:

1 定性检测应在预应力孔道两端分别激振检测;

2 外露钢束应清洁、干净,长度宜为 3cm~5cm;

3 应保存起振明显的激振波形,每端保存有效波形不应少于 3 个,且一致性较好;

4 有效采集信号信噪比应大于 20dB,否则应分析原因,排除人为和检测仪器等干扰因素,重新进行检测;

5 条件允许时应应对同梁场、同类型梁混凝土和钢绞线波速进行标定,对预应力孔道注浆前后振幅特征和频率特征进行标定;如现场无法标定,可按表 4.3.2 取基准值。

表 4.3.2 注浆指数的基准值

分项指数	方法	项目	全注浆时值	无注浆时值
波速分项 注浆指数	I_{PV} 全长波速法 (FLPV)	波速(km/s)	混凝土实测波速	5.01
振幅分项 注浆指数	I_{EA} 全长衰减法 (FLEA)	能量比	0.02	0.20
频率分项 注浆指数	I_{TF} 传递函数法 (PFTF)	频率比(F_r/F_s)	1.00	3.00
		受信频率 F_r (kHz)	2.0	4.0

4.3.3 检测数据分析及评价指数应按下列规定确定：

1 冲击弹性波定性检测采用综合注浆指数 I_f 作为定性检测的评定指标,当注浆饱满时 $I_f=1$,完全未注浆时 $I_f=0$ ；

2 采用本规程表 4.3.2 或标定的基准值,分别量化波速分项注浆指数 I_{PV} 、振幅分项注浆指数 I_{EA} 、频率分项注浆指数 I_{TF} ；

3 当测试预应力孔道长度大于 60m 时,宜采用 I_{PV} 作为 I_f ；

4 当测试预应力孔道长度不大于 60m 时,若测试条件不利激振或测试频率异常,宜采用 I_{PV} 和 I_{EA} 的几何平均数作为 I_f ；若测试条件和测试频率正常,应采用 I_{PV} 、 I_{EA} 和 I_{TF} 的几何平均数作为 I_f 。

4.3.4 冲击弹性波法定性检测结果采用综合注浆指数 I_f 按表 4.3.4 进行判定。

表 4.3.4 注浆密实度定性判定

综合注浆指数 I_f	注浆密实度定性判定	处理
$I_f \geq 0.95$	注浆密实	不需处理
$0.80 \leq I_f < 0.95$	注浆基本密实或存在缺陷的可能性较小	宜选择重点部位定位检测
$I_f < 0.80$	存在注浆缺陷或存在缺陷的可能性较大	应做定位检测

4.4 冲击回波定位检测

4.4.1 现场检测设备安装与选用应符合下列规定：

- 1 应确保测点上安装的传感器与构件表面密贴；
- 2 激振方向与被测构件表面垂直,测试方向竖直时激振点应在孔道中心线的投影线上,测试方向水平时激振点应在孔道中心线的投影线上方 1cm~2cm,激振点与传感器距离不应大于被测构件厚度 1/4；
- 3 应根据被检结构尺寸特征按表 4.4.1 选择合适的激振锤进行激振。

表 4.4.1 冲击回波定位检测激振锤的选择

构件厚度	$b \leq 20\text{cm}$	$20\text{cm} < b \leq 60\text{cm}$	$b > 60\text{cm}$
锤头直径(mm)	10.0~20.0	15.0~30.0	25.0~50.0

4.4.2 定位检测现场检测应符合下列规定：

- 1 检测前应对检测仪器设备进行检查；
- 2 对梁体腹板、负弯矩区等预应力孔道进行冲击回波定位检测时,应优先选择孔道高程相对较高的锚头两端、负弯矩区、起弯点等不少于 2m 范围的位置；
- 3 应确认测试环境无强磁场、振动等影响测试的噪声源；应确认检测部位混凝土无表观缺陷,且表面平整、无浮浆等；
- 4 依据设计、施工资料或采用孔道定位设备,描绘出被测预应力孔道走向,并标识出孔道中心线的投影线；应在标识的孔道中心线的投影线上布置测点,测点间距宜为 10cm~20cm；
- 5 采样时间间隔宜为 $2\mu\text{s}$,采样点数宜为 4096 或 8192；
- 6 有效采集信号信噪比应大于 20dB,否则应分析原因,排除人为和检测仪器等干扰因素,重新进行检测；
- 7 冲击回波定位检测时,应进行线性标定,同类型孔道标定宜不少于 3 条；线性标定方法可按本规程附录 A 执行。

4.4.3 定位检测数据分析应符合下列规定：

- 1 检测数据分析应以频域分析为主。
- 2 分析线性标定数据得到的时域频谱主峰,采用频谱等值线图表示,并以此作为判定孔道注浆密实度的基准。

3 结合预应力孔道位置混凝土结构尺寸、管道布设、预埋件位置等参数综合分析检测孔道的注浆缺陷位置及范围。

4 孔道注浆密实度定位检测具体判定方法可按本规程附录 B 执行,并根据被检构件回波延迟比值及注浆连续缺陷长度等按表 4.4.3 对注浆缺陷类型进行分级。

表 4.4.3 注浆缺陷类型的判定分级

检测方向	等效波速	连续缺陷长度(m)	缺陷类型
水平	降低 5%	—	无缺陷
	降低 5%~10%	≤ 0.4	小规模
	降低 5%~10%	> 0.4	大规模
	降低 10%以上	—	大规模
竖直	降低 10%	—	无缺陷
	降低 10%~15%	≤ 0.4	小规模缺陷
	降低 10%~15%	> 0.4	大规模
	降低 15%以上	—	大规模

5 检测区间采用注浆密实度指数 D 作为定位检测的评定指标,注浆密实度指数 D 按式(4.4.3-1)或式(4.4.3-2)计算:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i \times 100\% \quad (4.4.3-1)$$

$$D = \frac{N_J \times 1 + N_X \times 0.5 + N_D \times 0}{N} \times 100\% \quad (4.4.3-2)$$

式中: N ——定位检测的点数;

N_J ——无缺陷测点数;

N_X ——小规模缺陷测点数;

N_D ——大规模缺陷测点数;

β ——测点的注浆状态,按表 4.4.3 分级取值:无缺陷取值 1,小规模取值 0.5,大规模取值 0。

6 当定位检测仅为孔道的局部时,用修正注浆密实度指数 D_e 来判定孔道的注浆密实度,修正注浆密实度指数 D_e 按下式计

算：

$$D_e = \frac{DL_d + D_k(L - L_d)}{L} \quad (4.4.3-3)$$

式中： L_d ——检测区间长度(m)；

L ——孔道全长(m)；

D_k ——单条孔道各检测区段中，注浆质量较好的连续区段的注浆密实度指数，按式(4.4.3-2)计算。该连续区段的长度取检测区段的1/2。

4.4.4 预应力孔道注浆密实度应按表4.4.4判定等级，当分项判定结果出现两个以上等级时，按照较低等级进行总体等级判定。

表 4.4.4 注浆密实度等级判定

孔道注浆密实度等级	最大注浆缺陷长度 $L_{\max}$ (m)	修正注浆密实度指数 D_e
I类	$L_{\max} \leq 0.4$	$D_e \geq 95\%$
II类	$0.4 < L_{\max} \leq 2.0$	$90\% \leq D_e < 95\%$
III类	$L_{\max} > 2.0$	$D_e < 90\%$

4.4.5 根据检测对象的孔道数量计算，若检测对象中超过20%的孔道判定为III类时，宜增加一倍复检数量。

5 X 射线法

5.0.1 X 射线法一般作为验证方法,用于对预应力孔道注浆密实度的验证判定。应满足下列条件:

- 1 具有两个相对检测面的预应力孔道;
- 2 厚度不超过 80cm 构件内的预应力孔道。

5.0.2 检测系统应包括 X 射线机、感光胶片、增感屏和专用附件等,且应满足在 $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的温度、 $0\sim 70\%$ 的湿度环境条件下正常工作。

5.0.3 X 射线机应符合下列规定:

- 1 最大管电压不应小于 250kV;
- 2 最大管电流不应小于 5mA;
- 3 工作压力宜为 $0.35\text{MPa}\sim 0.50\text{MPa}$ 。

5.0.4 感光胶片应符合下列规定:

- 1 感光性能达标;
- 2 面积不应小于 $40\text{cm}\times 20\text{cm}$ 。

5.0.5 拍摄时应符合下列规定:

- 1 X 射线束应处于水平方向;
- 2 焦距应根据几何不清晰度及透照区大小按实际情况确定,宜采用 60cm;

- 3 曝光时间不应少于 10min;

- 4 感光胶片应布设增感屏;

- 5 检测时应疏散现场人员,远离放射源,遵循 X 射线使用时的规定与要求。

5.0.6 依据预应力孔道区域黑度与周围实体混凝土区域黑度的比对结果进行检测结果判定:

1 若预应力孔道区域黑度明显高于周围实体混凝土区域黑度,判定该区域注浆密实度较差;

2 若预应力孔道区域黑度接近或低于周围实体混凝土区域黑度,判定该区域注浆密实度较好。

6 内窥镜法

6.0.1 内窥镜法用于对预应力孔道注浆密实度的验证判定,适用于可钻孔的预应力孔道。

6.0.2 检测系统包括内窥镜探头、蛇形软管、显示及存储设备。

6.0.3 检测系统应满足在 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 的温度、 $0 \sim 70\%$ 的湿度环境条件下正常工作。

6.0.4 内窥镜探头应符合下列规定:

- 1 图像分辨率不低于 720×756 像素;
- 2 探头直径不大于 6mm 。

6.0.5 蛇形软管应符合下列规定:

- 1 应柔软可弯且不易被折断;
- 2 软管长度不应小于 2m 。

6.0.6 拍摄时应符合下列规定:

- 1 对缺陷区域两端及中部分别进行拍摄;
- 2 从不同角度进行拍摄,以全面反映注浆缺陷情况。

6.0.7 检测工作应符合下列规定:

- 1 应在检测部位对应的预应力孔道上半部分位置钻孔,且钻孔过程中不得损伤预应力钢束;
- 2 钻孔过程中应避开构件内的普通钢筋。

6.0.8 直接采用拍摄图像进行判定。

7 相控阵超声法

7.0.1 相控阵超声法用于综合判定预应力孔道注浆密实度,适用于缺陷深度不大于 2500mm,且最小缺陷尺寸不小于 10mm 的预应力孔道。

7.0.2 对于波纹管,本方法适用于金属波纹管的注浆密实度检测,不适合单独用于塑料波纹管的注浆密实度检测。对塑料波纹管,可在增加阵列探头数量(不少于 48 个)后,联合雷达法、冲击回波法等其他方法综合测定。

7.0.3 检测系统应包括相控阵探头、超声波探测主机、供电电池、连接电缆和专用软件等,满足在温度 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于 70% 的环境中正常运行。

7.0.4 系统应具备以下功能或满足下列要求:

- 1 可对被测物体内部二维或三维成像;
- 2 可定位内部缺陷位置,并具备缺陷尺寸测量功能;
- 3 混凝土厚度测量范围宜在 100mm~2000mm,且允许范围内最大绝对误差值不高于 $\pm(0.1X+10)\text{mm}$, X 为测量厚度值;
- 4 声时最小分度 $0.1\mu\text{s}$,探头(换能器)最大工作频率不应小于 200kHz;
- 5 阵列式探头组不宜少于 16 个探头,可采用干点式或耦合剂接触,且每个探头均应具有收发信号功能。

7.0.5 检测工作应符合下列规定:

- 1 测位混凝土表面应清洁、平整,必要时可采用砂轮、砂纸磨平,或用高强度的快凝砂浆抹平,抹平砂浆应与混凝土黏结紧密。
- 2 在满足首波幅度测读精度的条件下,应选用较高频率的

换能器。

3 探头应通过耦合剂或干耦合技术,与混凝土测试表面充分、紧密结合;若采用耦合剂,耦合层中不得夹杂泥沙等杂质或含有气孔。

4 检测前应对被测混凝土表面按照仪器内部网格参数要求进行网格划分,网格间距为 100mm~300mm,检测时以等距螺旋方式沿标记线(列)连续扫描测量。

5 检测时应避免超声传播路径与附近钢筋轴线平行,宜选用对钢筋影响具有修正功能的检测系统;若无法避免,则应使探头组连接线与钢筋最短距离不小于超声测距的 1/6。

6 检测中当出现可疑数据时应及时查找原因并修正,可进行复测校核。

7 检测时采用单面连续扫描检测,操作时需保证探头每次移动位置定位精确,可采用标尺或激光发射装置等进行现场定位。

8 检测时推荐采用脉冲回波法、成像法两种模式进行对比校核测量。

7.0.6 相控阵超声法需结合同条件下正常混凝土波速、波形等特征,对比判定预应力孔道注浆密实度。判定应符合下列规定:

1 采用脉冲回波法模式定性判定时,检测区域波场出现强反射信号,并同相轴呈绕射弧形,则该区域为注浆不密实区域;当反射信号较弱甚至无反射,则该区域为注浆密实区域。

缺陷位置的确定:根据波场记录中强反射波信号顶点出现时间(或波形中反射波异常处时间),结合混凝土整体超声波速,按式(7.0.6)计算得出反射波顶点出现位置,即不密实区域(缺陷)位置:

$$S=v \cdot \frac{t-t_0}{2} \times 10^{-3} \quad (7.0.6)$$

式中:S——反射波顶点出现位置(缺陷位置,垂直测面位移),
mm;

v ——混凝土超声波波速(m/s)；

t ——反射波信号顶点出现时间(μs)；

t_0 ——设备系统延迟时间(μs)。

2 采用成像法模式对缺陷区域进行定量判定时,直接从检测图像量测缺陷区域三维尺寸并定位定量判定。

8 检测 报 告

8.0.1 检测报告应包括下列内容：

- 1 工程概况,包括建设单位、工程名称、结构形式、规模及现状等;
- 2 委托单位、设计单位、施工单位及监理单位名称;
- 3 检测单位名称、检测依据、设备型号等;
- 4 检测原因、检测目的、检测项目、检测方法、检测位置、检测数量等;
- 5 检测数据、检测结果、评判结论,如检测结论判定为存在缺陷,应给出相关检测或处理建议;
- 6 检测日期、报告完成日期;
- 7 主检、编写、审核和批准人员的签名;
- 8 异常情况说明等附件。

8.0.2 检测报告应结果明确、用词规范、文字简练,对容易混淆的术语和概念应以文字解释或图例、图像说明。

附录 A 线性标定

A. 0. 1 在使用冲击回波定位法前,应首先使用检测设备在已确认注浆密实的孔道或无孔道混凝土的位置上进行标定,该检测标定部位混凝土应无表观缺陷、表面平整、无浮浆。

A. 0. 2 信号采集方式可采用逐点式,测点间距宜为 10cm ~ 20cm。

A. 0. 3 数据分析应以频域分析为主,并辅以其他信号处理方法。

A. 0. 4 采用频谱等值线图表示时,注浆密实的桥梁孔道的等值线图可作为判定孔道注浆密实度的基准。

A. 0. 5 在进行线性标定之后,可采用同样的方式对其他桥梁预应力孔道密实度进行检测。

附录 B 定位检测孔道注浆密实度判定

B.1 密实部位的检测结果

- B.1.1** 当混凝土密实部位材质均匀、混凝土板厚度一致时,色板板底之前无明显反射信号,对应的板底部反射信号平直。
- B.1.2** 当密实部位混凝土板的厚度有变化时,色板板底之前无明显反射信号,对应的板底部反射信号倾斜,但基本平直。

B.2 不密实部位的检测结果

- B.2.1** 当混凝土板不密实,存在松散型/小空洞型缺陷时,色板板底之前无明显反射信号,局部的板底部反射信号延迟。
- B.2.2** 当混凝土板不密实,存在空洞型缺陷(塑料波纹管)时,色板管壁附近有连续反射信号,对应的板底部反射信号延迟。
- B.2.3** 当混凝土板不密实,存在空洞型缺陷(铁皮波纹管),色板板底之前无明显反射信号,对应的板底部反射信号延迟。

B.3 缺陷判定

- B.3.1** 采用等效波速法分析时,预应力混凝土梁顶板和底板,宜采用从上表面激振、拾振的方式;腹板宜采用从侧面激振和拾振的方式。
- B.3.2** 根据 B.3.1 条采用不同检测方向的方式检测出的缺陷应按表 B.3.2 判定。

表 B.3.2 不同检测方向的缺陷判定

情况	竖直方向(顶、底板)	水平方向(腹板)
B.1.1	密实	密实
B.1.2	密实	密实

续表 B. 3. 2

情况	竖直方向(顶、底板)	水平方向(腹板)
B. 2. 1	松散型	松散型/小规模空洞
B. 2. 2	空洞	空洞
B. 2. 3	空洞	空洞

本规程用词说明

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”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中国工程建设标准化协会标准

桥梁预应力孔道注浆密实度
无损检测技术规程

T/CECS 879—2021

条文说明

目 次

1	总 则	(29)
2	术语和符号	(30)
2.1	术语	(30)
3	基本规定	(31)
4	冲击弹性波法	(32)
4.1	适用范围	(32)
4.2	检测仪器与设备	(32)
4.3	冲击弹性波法定性检测	(33)
4.4	冲击回波定位检测	(34)
6	内窥镜法	(37)
7	相控阵超声法	(38)

1 总 则

1.0.1 本条对制定本规程的目的进行了说明。

1.0.2 本条规定了本规程适用范围。房屋建筑物或构筑物中预应力构件孔道注浆密实度无损检测可参照使用。

1.0.3 本条阐述了本规程与现行国家标准、行业标准的关系,应遵守协调一致、互相补充的原则使用本规程和其他相关标准。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 由于空洞等缺陷通常发生在孔道的上方,因此通常只需测试最上方的钢绞线即可。在一次测试过程中,可同时完成三种分项指数的测试。为了提高检测精度,需要在钢绞线的两端分别激振和受信。一般情况下,完成一个孔道的测试时间在 5min 左右,定性检测示意可参照图 1。

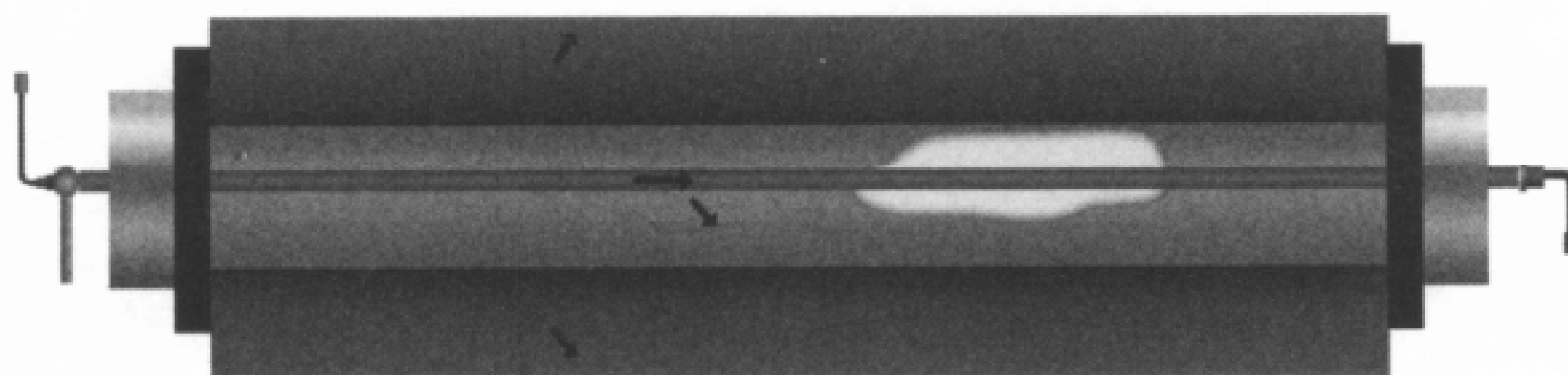


图 1 定性检测示意

2.1.3 沿着管道的上方或侧方,以扫描的形式连续测试(激振和受信),通过反射信号的特性判定测试管道内注浆的状况。

3 基本规定

3.0.3 注浆材料龄期对其固化程度有很大的影响。当注浆料固化程度不足时,其在检测时的表象就类似于注浆缺陷。因此,从理论上讲,应当在注浆料的刚性接近乃至超过构件混凝土的刚性时进行检测。但这样所需的龄期往往很长,为检测、施工作业带来不便。为此,本规程在检测经验的基础上,规定注浆材料强度至少达到混凝土强度的 70% 以上,可以通过注浆材料试块试验获取注浆材料强度,也可以通过试验数据数理统计后,采用注浆时间来控制推测注浆材料强度。

3.0.4 设备检校周期一般为 1 年,但若使用过程中出现问题时,需经过维修或更换 AD 卡、放大器、传感器等进行检定/校准。

3.0.8 为了保障检测顺利,资料收集至少包括以下内容:工程名称及设计、施工、监理、建设和委托单位名称等;了解结构所处环境条件、建设或使用情况、外观质量或加固情况等;收集被检测工程的注浆材料品种和规格、施工原始记录、工程检查记录、施工工艺等。检测过程中需记录测试对象编号、孔道编号、锚头编号、桩号等能说明测试对象准确位置的信息。

3.0.11 质量抽查以定位为主。

3.0.14 原则上主要针对于施工桥梁,在用桥梁可根据实际条件参照使用。定位检测优先对梁体的锚头两端、起弯点等位置进行检测,每处检测的范围不应小于 2m,当测试范围较小时应适当加密,测点数应满足要求,即不少于 15 个。

3.0.15、3.0.16 抽检需要保证覆盖率和代表性,同类型孔道都要抽检到,如对于预制梁同座桥梁需要覆盖正弯矩和负弯矩,且两种类型孔道抽检满足抽检要求;对于现浇连续梁各向(横向、竖向、纵向)预应力孔道抽检满足抽检要求。

4 冲击弹性波法

4.1 适用范围

4.1.1 现场检测优先使用定位检测,定位检测能够确定缺陷位置、范围大小和缺陷类型等。但定位检测需要满足一定的条件,如管道位置明确、厚度不太厚、单排管道、管道直径与埋深不宜太小等,当不能采用定位检测时采用定性检测,若定位检测和定性检测都不能进行时,需要考虑其他破坏性检测。定性检测普查后,若存在问题需要采用定位检测确定。总之,采用冲击弹性波检测注浆密实度以定位检测为主、定性检测为辅;两者检测结果存在差异时以定位检测为准。

4.1.3 对冲击回波定位检测法适用于判定孔道注浆缺陷的范围及类型进行了要求,应根据实际对象选择合适的检测方法。由于定位检测采用频域分析,所需的数据时长较长,如果测试表面形状不规则时,周围边界的反射信号就可能会对测试结果产生不利影响。

4.2 检测仪器与设备

4.2.1 冲击弹性波检测设备构成分两大部分即硬件和软件。信号采集强调硬件构成:信号激发装置为冲击弹性波产生的器具,可以通过改变锤头直径或材质来产生不同频率的弹性波,以适应不同检测参数需要;信号拾取装置为加速度传感器,用于拾取激发产生的振动信号;信号调理装置冲击弹性波仪一般采用电荷放大器,将电荷信号转为电信号,并对信号进行增益处理;模数转换装置即将电信号转化为计算机可以识别的数字信号。数据分析强调软件,数字信号需要显示、存储、分析,通过软件分析出波的速度、频率、时间、相位等特征,这些特征与检测对象某方面特征相关,如频

率反映混凝土缺陷等,可以通过成像等予以展现。

4.2.3~4.2.7 对设备的硬件要求进行了规定,包括测试对象结构尺寸范围、测试信号频率范围、测试结果精度要求。为达到最好的测试效果,对仪器及注浆密实度检测做了技术要求,不仅包括硬件性能参数还包括了软件分析方法等相关技术指标。

4.2.5 当采集信号的噪声较大时,宜确认噪声源,对噪声源采取规避措施;当噪声源无法确定或无法规避时,应采用信号增强技术重新进行检测,提高信噪比;当噪声严重影响到信号品质时,应停止数据采集。

4.3 冲击弹性波法定性检测

4.3.1 双方向激振对提高全长衰减法(FLEA)的精度非常有必要。FLEA 涉及能量的衰减变化对比,因此,放大器的相关设置和传感器灵敏度应明确记录,一般数据采集软件中可以同步记录相关信息。

4.3.2 定性检测涉及三种基于不同原理的分析方法,三种分析方法各有特点及其适用条件范围,形成互补。全长波速法(FLPV)仅对注浆密实度很低的工况有效,而全长衰减法(FLEA)对注浆密实度较高的孔道较为适宜,两者形成互补,同时提高了定性检测的适用范围。传递函数法(PFTF)适用于检测孔道两端的注浆质量,但其检测条件受人为影响较大,必要时可以不考虑。

综合注浆指数是一个相对指标,本身没有物理意义。为了提高综合注浆指数对注浆缺陷的灵敏度,对三个分项指标采用了乘积的形式。也就是,如果一个指标较低,则整个指标也会较低。

注浆指数是根据基准值自动计算的,因此,基准值的选定非常重要。不同形式的锚具、梁的形式以及孔道的位置都会对基准值产生影响,所以在条件许可时,进行相应的标定或通过大量的测试并结合数理统计的方法确定基准值是比较理想的。

注浆指数各基准值受测试对象和条件影响,一般需要标定获

取,在没有标定条件时,参照本条。其中混凝土 P 波波速受混凝土配比、骨料影响较大,以 C50 为例,一般波速为 4.2km/s ~ 4.5km/s,而实际检测中由于一些地区的骨料特殊的原因,经常出现波速范围为 3.7km/s ~ 4.9km/s 的情况,甚至极端情况超出这个范围,因而此处混凝土波速未给定具体参考值,需要做标定,且现场混凝土标定条件一般都能满足。而钢绞线试验统计波速为 5.01km/s,且金属波速浮动较小,此处给定参考波速,一般不需要再标定。能量比受梁长影响较大,宜标定获取,此处给出了梁长为 10m 时的基准值,在没有标定的情况下能量比 x 按公式(1)计算:

$$x = \frac{A_r L}{A_s L_0} \quad (1)$$

式中: A_r 、 A_s ——接收端和激振端信号的振幅(m/s^2);

L ——孔道全长(m);

L_0 ——孔道长度基准值(m)。

频率比(F_r/F_s)受测试条件及人为影响较大,此处给出了参考基准,测试频率比或受信频率明显高于该区间时,当测试条件优化后继续测试,若仍然存在异常,传递函数法可以不采用。

4.3.4 定性检测的综合注浆指数是一个相对指标,指标越高出现注浆缺陷的可能性越小,反之越大。在对定性结果处理时,对存在缺陷可能性小的孔道根据地方质量管理要求,可以选择重点部位进行定位检测,也可以采用其他的检测方法如内窥镜、超声相控阵、X 射线等进行选择性检测;对存在缺陷可能性大的孔道,首先选择容易出问题的部位定位检测,若定位检测段存在缺陷,要扩大该孔道的检测范围直至整孔道全部定位检测。

4.4 冲击回波定位检测

4.4.1 测试系统的频响范围不仅取决于传感器的频响范围,而且与传感器的固定方法有密切的关系。采用人工或机械方式将传感器压在测试对象表面(压着式)的方法,测试效率最高。为达到既

快速又可靠的测试,需要传感器既要与梁体表面牢固接触,又能够方便移动。手按压力度的大小,会导致频谱发生变化,其对测试信号的影响较大。因此,可以采用能提供稳定可靠的耦合力度和阻尼的专用支座套,使得测试信号更为稳定。

4.4.2 根据设计资料描画出预应力孔道中心位置的轴向走向,并在该走向按照一定间隔标注测点。测点间隔可根据精度要求确定,测点间隔一般选择 10cm~20cm。激振方向与被测构件表面垂直,当测试方向竖直时,激振点在孔道中心线的投影线上,激振点与传感器距离不大于被测对象厚度的 1/4,可参照图 2;当测试方向水平时,激振点在孔道中心线的投影线上方 1cm~2cm,激振点与传感器距离不大于被测对象厚度的 1/4,可参照图 3。

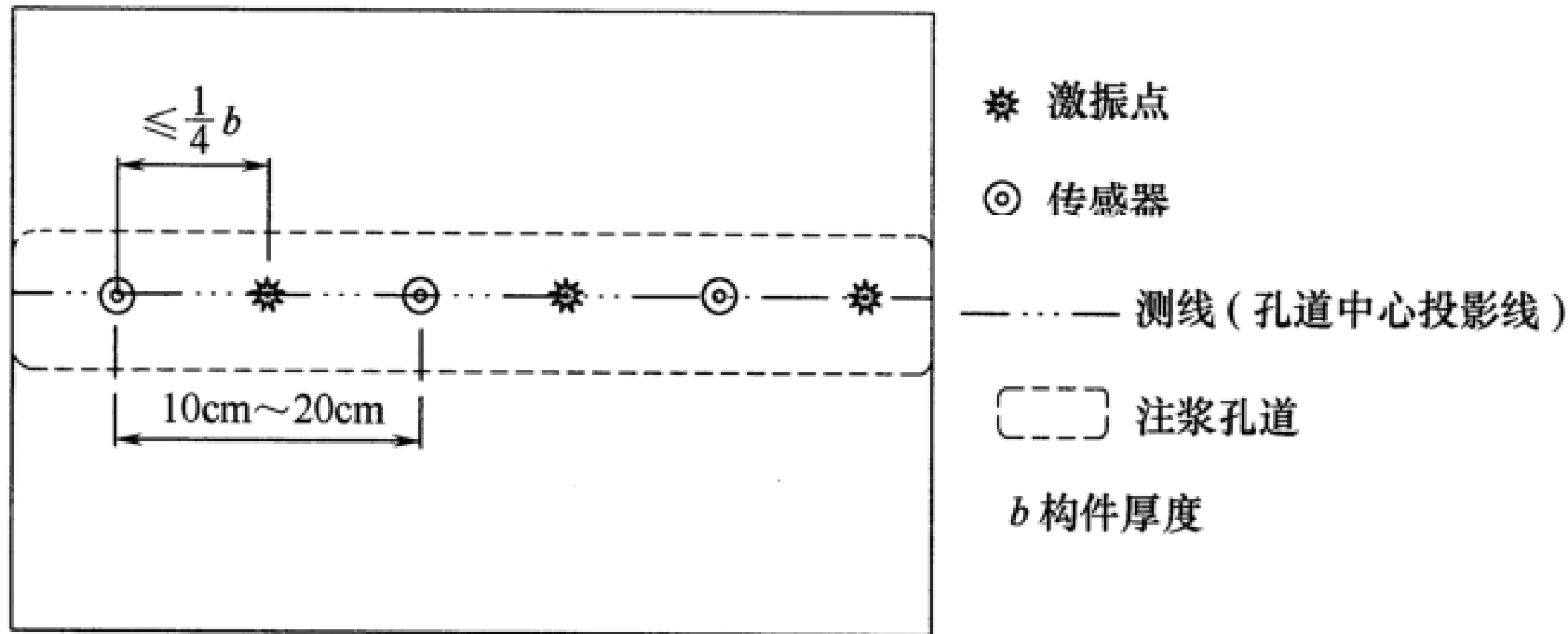


图 2 注浆密实度的定位测试(竖向测试)

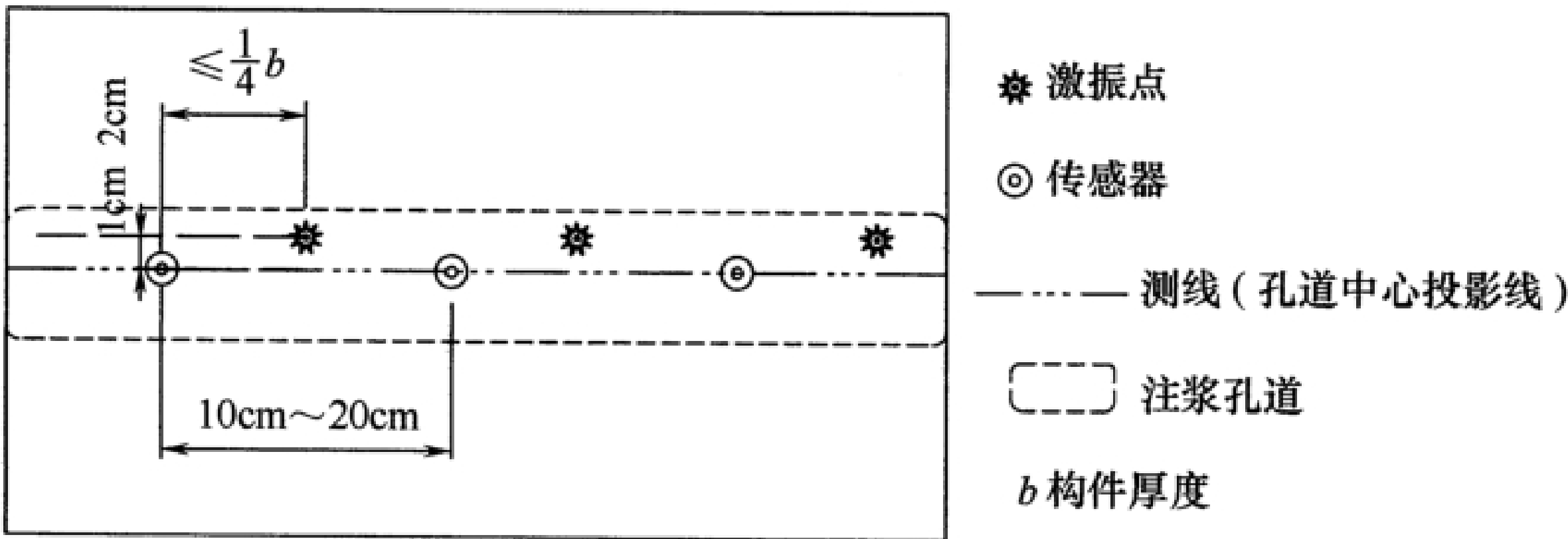


图 3 注浆密实度的定位测试(水平测试)

4.4.3 根据测试区间的定位检测结果来推定孔道的注浆质量。 D_k 取值需要有前提条件,满足本规程第 4.4.2 条第 2 款要求。即测试时由最容易出问题的位置向最不容易出问题的位置测试,当测到某个位置质量较好,那么没有测的就可以推定其质量较好。若测试位置采用随机抽取,或测试位置是不容易出问题的位置时,不能用不容易出问题的位置质量状况去推定容易出问题的位置的质量好,但可以用不容易出问题的位置质量状况推定容易出问题的位置的质量不好。

6 内窥镜法

6.0.1 存在疑问位置考虑到无损检测和钻孔验证各自均有一定的误差,每个疑问点的钻孔数量宜不少于 3 个;钻孔直径不宜太小,宜大于 2cm;打孔后应做修补处理。钻孔的位置应尽量位于管道的上部,且注意避开钢筋、钢绞线;条件允许时,应从上向下钻孔,避免从下向上钻孔;钻孔后用内窥镜观察,可辅以挂钩法、穿丝法;当钻孔后未发现波纹管时,表明波纹管位置与设计位置偏差过大,应按相关规定处理。

7 相控阵超声法

7.0.1 相控阵超声法是指采用多个独立的压电晶片(换能器)组成阵列,并按一定的规则和时序用电子系统控制激发,调节焦点位置和聚焦方向,在一定空间范围内组合形成超声波反射波信号区域,通过分析波形反射情况和穿透时间的能量变化,判断预应力孔道注浆密实度或混凝土内部缺陷的方法。该方法可以通过分析反射波形、波场特征或二维、三维图像对孔道注浆不密实区域或混凝土缺陷区域进行定性和定量判定。

对于最小缺陷尺寸小于 10mm 的预应力孔道,根据国内外相关学者的研究成果,实际上采用部分改进方法,也可有效检测出缺陷位置(如中南大学朱自强等采用虚拟动态聚焦成像法)。但综合考虑,其准确性和有效性尚存不足,故在标准中对于本方法的检测适用范围给予限定。

7.0.2 由于塑料波纹管对超声波的反射较大,根据反射波特征无法确定其强反射信号是空洞引起还是波纹管本身的反射波,不利于内部缺陷的判断。因此,本方法主要适用于金属波管的预应力孔道注浆密实度和混凝土内部缺陷检测。

对于塑料波纹管内的注浆不密实度和缺陷检测,经过研究验证,本方法也具有一定的识别效果,但需增加阵列探头中的换能器数量(不少于 48 个),同时需结合相控阵雷达法、冲击回波法等其他方法综合检测判定。

7.0.6 相控阵超声法可对预应力孔道注浆不密实缺陷或混凝土内部缺陷进行定性、定量判定,但需结合同条件下正常混凝土特征对比。当遇到注浆不密实区域时,超声波在与波纹管和空洞接触时产生强反射信号,并同相轴呈绕射弧形,且会出现叠加现象;注

浆密实时,反射波信号较弱甚至没有反射信号。具体检测判定方法通常有两种,分别为:

(1)脉冲回波法模式下可结合异常点分布及波场特征定性判定缺陷位置:通过接收的波场记录中强反射波信号顶点出现时间(或波形出现明显异常处时间),结合混凝土整体超声波速,计算得出反射波顶点出现位置(垂直测面方向位移),即不密实区域(缺陷)位置。

(2)成像法模式可对缺陷区域进行定量判定:图像处理方法一般采用合成孔径聚焦成像法(SAFT)或基于傅里叶变换的合成孔径聚焦成像法(FT-SAFT)对检测数据进行成像处理,检测时可直接从检测图像量测缺陷区域三维尺寸,并给出定位和定量判定。

需本标准可按如下地址索购：

地址：北京百万庄建设部 中国工程建设标准化协会

邮政编码：**100835** 电话：**(010) 88375610**

不得私自翻印。

S/N:155182 • 0998



统一书号:155182 • 0998

定价:21.00 元