



T/CECS XXX—2023

中国工程建设标准化协会标准

装配式桥梁工程构件连接检测与评估技术标准

Technical Standard for Detecting and Evaluating Connections between
Components of Prefabricated Bridge Engineering

(征求意见稿)

中国***出版社

中国工程建设标准化协会标准

装配式桥梁工程构件连接检测与评估技术标准

Technical standard for detecting and evaluating on connections between
components on prefabricated bridge engineering

T/CECS ×××-2023

主编单位：广州市市政集团有限公司

广州市市政公路协会

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：202×年××月××日

中国****出版社

2023 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2022〕13 号）的要求，规程编制组经过深入调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外现行标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分 18 章和 15 个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、内窥镜法、阻尼传感器法、芯片法、电阻率法、电容法、压电法、压力传感器法、预埋钢丝拉拔法、阵列超声成像法、非金属超声波检测法、冲击回波法、反拉法、射钉法、图像识别法、钢结构连接检测的方法等。

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

本标准由中国工程建设标准化协会城市交通专业委员会归口管理，由广州市市政集团有限公司负责具体技术内容的解释。本规程在执行过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：广州市环市东路 338 号银政大厦，邮政编码：510060），以供修订时参考。

主编单位： 广州市市政集团有限公司

广州市市政公路协会

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号与缩略语	4
3	基本规定	7
3.1	检测分类与检测方法	7
3.2	检测要求	9
3.3	检测报告	11
4	内窥镜法	12
4.1	一般规定	12
4.2	检测设备	12
4.3	检测方法	13
4.4	评定	14
5	阻尼传感器法	16
5.1	一般规定	16
5.2	检测设备	16
5.3	检测方法	17
5.4	评定	17
6	芯片法	20
6.1	一般规定	20
6.2	检测设备	20
6.3	检测方法	20
6.4	评定	21
7	电阻率法	22
7.1	一般规定	22
7.2	检测设备	22
7.3	检测方法	22
7.4	评定	23

8	电容法	25
8.1	一般规定	25
8.2	检测设备	25
8.3	检测方法	25
8.4	评定	26
9	压电法	28
9.1	一般规定	28
9.2	检测设备	28
9.3	检测方法	28
9.4	评定	29
10	压力传感器法	31
10.1	一般规定	31
10.2	检测设备	31
10.3	检测方法	31
10.4	评定	32
11	预埋钢丝拉拔法	33
11.1	一般规定	33
11.2	检测设备	33
11.3	检测方法	34
11.4	评定	35
12	阵列式超声成像法	36
12.1	一般规定	36
12.2	检测设备	36
12.3	检测方法	36
13	非金属超声波检测法	38
13.1	一般规定	38
13.2	检测设备	38
13.3	检测方法	40
13.4	评定	44
14	冲击回波法	45
14.1	一般规定	45

14.2	检测设备	45
14.3	检测方法	46
14.4	评定	48
15	反拉法	52
15.1	一般规定	52
15.2	检测设备	52
15.3	检测方法	53
15.4	评定	54
16	射钉法	57
16.1	一般规定	57
16.2	检测设备	57
16.3	检测方法	57
16.4	评定	60
17	图像识别法	62
17.1	一般规定	62
17.2	检测设备	62
17.3	检测方法	62
17.4	评定	63
18	钢结构连接检测的方法	65
18.1	一般规定	65
18.2	超声波法	65
18.3	射线法	66
18.4	磁粉法	67
18.5	渗透法	67
18.6	相控阵法	68
18.7	抗滑移系数法	69
18.8	扭矩系数法	70
附录 A	套筒灌浆饱满度内窥镜法记录表	71
附录 B	套筒灌浆饱满度阻尼传感器法记录表	72
附录 C	套筒灌浆饱满度芯片法记录表	73
附录 D	套筒灌浆饱满度电阻率法记录表	74

附录 E 套筒灌浆饱满度电容法检测记录表	75
附录 F 套筒灌浆饱满度压电法记录表	76
附录 G 套筒灌浆饱满度压力传感器法记录表	77
附录 H 套筒灌浆饱满度预埋钢丝拉拔法记录表	78
附录 J 非金属超声波检测记录表	80
附录 K 冲击回波法检测记录表	81
附录 L 反拉法检测记录表	82
附录 M 射钉法原始记录表	83
附录 N 射钉法装置标定记录表	84
附录 P 图像识别法原始记录表	85
附录 Q 高强度螺栓连接抗滑移系数试验方法	86
本规程用词说明	88
引用标准名录	89
制定说明	91
条文说明	92

Contents

- 1 General provisions
- 2 Terms and symbols
 - 2.1 Terms
 - 2.2 Symbols
- 3 Basic requirements
 - 3.1 Detection classification and methods
 - 3.2 Detection requirement
 - 3.3 Detection report
- 4 Endoscopy method
 - 4.1 General requirements
 - 4.2 Detecting equipment
 - 4.3 Detecting process and method
 - 4.4 Decision Criteria
- 5 Damping sensor method
 - 5.1 General requirements
 - 5.2 Detecting equipment
 - 5.3 Detecting technology on site
 - 5.4 Detection result discrimination and processing
- 6 Microchip method
 - 6.1 General requirements
 - 6.2 Detecting equipment
 - 6.3 Detecting process and method
 - 6.4 Decision Criteria
- 7 Resistivity method
 - 7.1 General requirements
 - 7.2 Detecting equipment
 - 7.3 Detecting technology on site
 - 7.5 Detection result discrimination
- 8 Capacitance method
 - 8.1 General requirements

- 8.2 Detecting equipment
 - 8.3 Detecting technology on site
 - 8.4 Detection result discrimination
- 9 Piezoelectric method
 - 9.1 General requirements
 - 9.2 Detecting equipment
 - 9.3 Detecting process and method
 - 9.4 Decision Criteria
- 10 Pressure sensor method
 - 10.1 General requirements
 - 10.2 Detecting equipment
 - 10.3 Detecting method
 - 10.4 Assessment
- 11 Embedded steel wire drawing method
 - 11.1 General requirements
 - 11.2 Detecting equipment
 - 11.3 Detecting method
 - 11.4 Assessment
- 12 Array ultrasonic imaging method
 - 12.1 General requirements
 - 12.2 Detecting equipment
 - 12.3 Detecting method
 - 12.4 Assessment
- 13 Ultrasonic testing of non-metals
 - 13.1 General requirements
 - 13.2 Detecting equipment
 - 13.3 Detecting method
 - 13.4 Assessment
- 14 Impact echo method
 - 14.1 General requirements
 - 14.2 Detecting equipment

- 14.3 Detecting method
- 14.4 Detecting assessment
- 15 Back-tensioning method
 - 15.1 General requirements
 - 15.2 Detecting equipment
 - 15.3 Detecting process and method
 - 15.4 Decision Criteria
- 16 Nail shooting method
 - 16.1 General requirements
 - 16.2 Detecting equipment
 - 16.3 Detecting process and method
 - 16.4 Decision Criteria
- 17 Image recognition method
 - 17.1 General requirements
 - 17.2 Welded seams
 - 17.3 High strength bolt connection and high strength ring groove rivet joint
- 18 Method of connection inspection of steel structure
 - 18.1 General requirements
 - 18.2 ultrasonic method
 - 18.3 ray method
 - 18.4 magnetic particle method
 - 18.5 infiltration method
 - 18.6 phased array method
 - 18.7 anti-slip coefficient method
 - 18.8 torque coefficient method

Appendix A Sleeve filling filling endoscopic record sheet

Appendix B Sleeve grout filling damping sensor method record sheet

Appendix C Sleeve grout filling chip record sheet

Appendix D Sleeve filling resistivity recording sheet

Appendix E Sleeve filling capacity test record sheet

Appendix F Piezoelectric record of filling degree of sleeve grouting

Appendix G Sleeve filling pressure sensor method record sheet

Appendix H Sleeve filling degree embedded wire drawing record sheet

Appendix J Non-metal ultrasonic test record sheet

Appendix K Impact echo detection record table

Appendix L Anti-rafting test record table

Appendix M Nailing original record sheet

Appendix N Nailing device calibration record table

Appendix P Image recognition method original record sheet

Appendix Q Test method for anti-slip coefficient of high strength bolted connection

Explanation of wording in this specification

List of quoted standards

Addition: Explanation of provisions

1 总 则

1.0.1 为规范装配式桥梁工程构件连接检测与评估技术,保障检测质量,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于装配式桥梁工程构件连接的检测与评估。

条文说明: 1.0.2 装配式桥梁工程构件连接点是保证结构安全的重要节点,因此对灌浆套筒连接、湿接缝连接、焊接、螺栓连接、铆钉连接等节点进行检测是十分重要的。对此,本标准对用于装配式桥梁工程构件连接检测的内窥镜法、阻尼传感器法、芯片法、电阻率法、电容法、压电法、压力传感器法、预埋钢丝拉拔法、阵列超声成像法、非金属超声波检测法、冲击回波法、反拉法、射钉法、图像识别法、钢结构连接检测的方法等方法进行了相关规定。

1.0.3 装配式桥梁工程构件连接检测与评估除应符合本标准的规定外,尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

条文说明: 1.0.3 装装配式桥梁工程构件连接涉及到的现行标准主要有:《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢筋焊接及验收规程》JG J18、《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107、《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107、《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355、《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T408、《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345、《焊缝无损检测 射线检测第1部分:X和伽玛射线的胶片技术》GB/T 3323.1、《焊缝无损检测 磁粉检测》GB/T 26951、《焊缝无损检测 焊缝渗透检测 验收等级》GB/T 26953等。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 装配式桥梁 prefabricated bridge

由预制构件或部件通过各种可靠的连接方式组合成整体的桥梁。

2.1.2 内窥镜法 endoscopy method

利用具有尺寸测量功能的内窥镜，在灌浆前和灌浆后对套筒内部进行观测，根据观测结果判断套筒内钢筋插入长度及灌浆饱满度的方法。

2.1.3 阻尼传感器法 damping sensor method

灌浆前在套筒出浆口预埋传感器，灌浆过程中或灌浆结束一定时间内，依据数据采集系统获得阻尼相关的波形判断灌浆饱满度的方法。

2.1.4 芯片法 microchip method

灌浆前在套筒出浆口预埋芯片装置，灌浆过程中或灌浆结束一定时间内，通过在出浆口区域扫查有无芯片信号来判断灌浆饱满度的方法。

2.1.5 电阻率法 resistivity method

灌浆前在套筒出浆口预埋电极探头，灌浆过程中或灌浆结束一定时间内，依据数据采集系统获得的电阻值判断灌浆饱满度的方法。

2.1.6 电容法 capacitance method

灌浆前在套筒出浆口预埋电容探头，灌浆过程中或灌浆结束一定时间内，依据数据采集系统获得的电容值判断灌浆饱满度的方法。

2.1.7 压电法 piezoelectric method

灌浆前在套筒出浆口预埋压电传感器，灌浆过程中或灌浆结束一定时间内，依据数据采集系统获得的电压值判断灌浆饱满度的方法。

2.1.8 压力传感器法 pressure sensor method

利用传感装置获取浆料上升后的压力变化，依据采集到的压力变化数据曲线判断灌浆饱满度的方法。

2.1.9 阵列超声成像法 array ultrasonic imaging method

通过超声阵列探头实现超声波的发射与接收，并采用合成孔径聚焦等特定算法完成超声成像，根据二维成像图，判定灌浆饱满度的方法。

2.1.10 预埋钢丝拉拔法 embedded steel wire drawing method

灌浆前在套筒出浆口预埋钢丝，灌浆后 72h 对预埋钢丝进行拉拔，依据拉拔力值判断灌浆饱满度的方法。

2.1.11 超声波法 ultrasonic method

采用带波形显示的低频超声波检测仪和频率为 20kHz~250kHz 的声波换能器，测量混凝土的声速、波幅和主频等声学参数，并依据这些参数及其相对变化分析判断混凝土缺陷的方法。

2.1.11 冲击回波法 impact echo method

通过瞬时力学冲击产生瞬态应力波并由设置在冲击点附近的宽频传感器接收应力波信号，经过频谱分析后获得结构响应冲击的主频率，以此判断混凝土结构的厚度或内部缺陷的方法。

2.1.12 冲击回波等效波速法 impact echo equivalent velocity method

对激振弹性波信号进行时域分析的方法。

2.1.13 冲击回波共振偏移法 impact echo resonance method

对激振弹性波信号分析孔道检测面的自振周期与标定位置混凝土自振周期差异性的方法。

2.1.14 反拉法 back-tensioning method

通过千斤顶对结构已张拉（后张法）的预应力筋再次施加载荷，以检测锚下有效预应力的方法。

2.1.15 射钉法 nail shooting method

通过精确控制的动力将一支特制的钢钉射入混凝土中，根据贯入深度值来推定混凝土强度的方法。

2.1.16 图像识别法 image recognition method

通过光学图像原理，获取不同超高性能混凝土试样在切割断面不同方向的纤维分布特性的方法。

2.1.17 射线法 ray method

采用 X 或 γ 射线透视摄片法和工业电视实时成像，从胶片和成像上显出材料、零部件及焊缝的内部缺陷的方法。

2.1.18 磁粉法 magnetic particle method

将钢铁等磁性材料制作的工件予以磁化,利用其缺陷部位的漏磁能吸附磁粉的特征,依磁粉分布显示被探测物件表面缺陷和近表面缺陷的探伤方法。

2.1.19 渗透法 infiltration method

利用毛细现象检查材料表面缺陷的一种无损检验方法。

2.1.20 相控阵法 phased array method

以电子方式改变由装有多个独立晶片的探头生成的超声声束,实现检测声束的移动、偏转和聚焦等功能,在接收声波回波后进行信号处理并以图像显示焊缝内部缺陷的超声检测成像技术。

2.1.21 抗滑移系数法 anti-slip coefficient method

按要求制作高强度螺栓或环槽铆钉抗剪连接试件,通过拉力试验测定被连接板件摩擦面抗滑移系数的试验方法。

2.1.22 扭矩系数法 torque coefficient method

采用轴力计、扭矩扳手等设备,施拧螺栓使其预拉力处于规定范围,测定螺栓预拉力值及相应的施拧扭矩值,并计算得到扭矩系数的试验方法。

2.1.23 胶接缝 epoxy joint

混凝土构件预制节段的结合面采用涂抹环氧基树脂材料的接缝。

2.1.24 湿接缝 wet joint

混凝土构件的预制节段之间采用现浇混凝土连接的接缝。

2.1.25 换能器 transducers

具有电能、声能相互转换功能的电子元器件。

2.2 符号与缩略语

2.2.1 符号

1 几何尺寸

A_i —试件第 i 个切割面的面积;

A_{pk} —预应力筋的公称截面面积;

L —孔道全长;

l —复验时平均外露值;

Ld —检测区间长度；

L_0 —标准外露值；

a_i —为模具现浇试件第 i 个切割面的面积。

2 作用与作用效应

F_e —单根锚下有效预应力实测值；

$F_{e_{\max}}$ —同束中单根预应力筋锚下有效预应力最大检测值；

$F_{e_{\min}}$ —同束中单根预应力筋锚下有效预应力最小检测值；

$F'_{e_{\max}}$ —同断面中各孔道束实测锚下有效预应力平均值最大值；

$F'_{e_{\min}}$ —同断面中各孔道束实测锚下有效预应力平均值最小值；

$\bar{F}$ —断面锚下有效预应力平均值；

$\bar{F}_j$ —第 j 束实测锚下有效预应力平均值；

F_s —锚下有效预应力标准值。

3 系数及其他

A —系数一般取值为1570.5；

B —系数一般取值为-0.1493；

D_e —修正压浆密实度指数；

Dk —单条孔道各检测区段中，压浆质量较好的连续区段的压浆密实度指数；

K_{global} —为整体纤维取向系数；

K_{local} —为局部纤维取向系数；

N —定位检测的点数；

$\bar{N}_i$ ——为实际结构取芯试件 i 个切割面上单位面积的纤维数量；

$\bar{n}_i$ —为模具现浇试件第 i 个切割面上单位面积的纤维数量；

T_K ——被测空气的温度；

t_{ci} ——第 i 点混凝土声时值；

t_i ——第 i 点测读声时值；

t_0 、 t_{00} ——声时初读数；

V^c ——温度为 T_K 度的空气声速；

x ——表示射钉贯入深度；

y ——表示UHPC的抗压强度推定值；
 β_i ——为测点 i 的压浆状态系数；
 θ ——锚下有效预应力同束不均匀度；
 γ ——同断面不均匀度；
 τ_i ——第 i 单根锚下有效预应力偏差；
 $\tilde{\tau}$ ——断面锚下有效预应力平均力值偏差；
 σ_{con} ——设计张拉控制应力；
 σ_{11} ——预应力筋与管道壁之间摩擦引起的应力损失；
 σ_{12} ——锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩损失；
 σ_{13} ——混凝土的弹性压缩损失。

2.2.2 缩略语

IEEV——impact echo equivalent velocity method 冲击回波等效波速法；
IERS——impact echo resonance method 冲击回波共振偏移法；
UHPC——university historic photograph collection 超高性能混凝土。

3 基本规定

3.1 检测分类与检测方法

3.1.1 装配式桥梁工程构件连接的现场检测包括灌浆套筒连接、混凝土构件、湿接缝连接、胶接缝连接、钢结构焊接、螺栓连接、铆钉连接等检测。

3.1.2 装配式桥梁工程构件连接的现场检测分为施工、验收与管养等所需的常规检测和专项检测。

条文说明 3.1.2: 工程质量检测机构应具有独立法人资格与相应的资质；检测机构资质按照其承担的检测业务内容分为专项检测机构资质和见证取样检测机构资质。

3.1.3 当出现下列情况之一，应进行装配式桥梁工程构件的第三方检测。

- 1 涉及主体结构工程质量的构件连接的检测数量不足；
- 2 材料与部品部件的驻厂检测或进场检测缺失，或对其检测结果存在争议；
- 3 对工程实体质量的抽样检测结果达不到设计要求或施工验收规范要求；
- 4 对工程实体质量有争议；
- 5 发生工程质量事故，需要分析事故原因；
- 6 相关法规、标准等要求进行的第三方检测。

3.1.5 装配式桥梁工程构件连接的现场检测方法可采取全数检测或抽样检测。

3.1.6 检测结果出现异常时，应按要求增大检测频率，必要时，可采取多种方法验证。

条文说明 3.1.6: 检测结果出现异常时，查明原因（生产、取样、样品保存和检验），并采取合适的无损检测方法进行检测验证。

3.1.7 各类检测方法的适用范围和检测频率可按表 3.1.7 选取。

表 3.1.7 检测方法适用范围和检测频率

检测方法	适用范围	检测频率
内窥镜法	灌浆前套筒内部的检测 或灌浆后套筒内部灌浆 检测	单个连接节点的套筒数量不少 于该连接部位套筒数量的 5%， 且不少于 3 个

阻尼传感器法	套筒灌浆饱满度检验	单个连接的套筒数量不少于该连接部位套筒数量的 20%
芯片法	套筒灌浆饱满度检验	单个连接的套筒数量不少于该连接部位套筒数量的 30%，且不应少于 15 个
电阻率法	套筒灌浆饱满度检验	单个连接的套筒数量不少于该连接部位套筒数量的 50%
电容法	施工阶段套筒灌浆饱满度检验	灌浆套筒数量不宜少于该连接部位套筒数量的 40%
压电法	套筒灌浆饱满度检验	单个连接的套筒数量不少于该连接部位套筒数量的 40%
压力传感器法	盖梁套筒灌浆饱满度检验	单个连接的套筒数量不少于该连接部位套筒数量的 50%，且不宜少于 15 个
预埋钢丝拉拔法	套筒灌浆饱满度检验	单个连接的套筒数量不少于该连接部位套筒数量的 5%，且不少于 3 个
阵列式超声成像法	套筒灌浆饱满度检验	单个连接的套筒数量不少于该连接部位套筒数量的 30%，不应少于 15 个
非金属超声波检测法	湿接缝内部的缺陷及结合面质量检测	同一灌浆工艺、同类预制构件的湿接缝抽检不少于湿接缝总数的 10%，且不少于 3 个
冲击回波检测法	后张预应力钢绞线孔道的压浆密实度检测	每种构件类型应不少于构件总数的 5%且不少于 3 个构件。

反拉法	后张法预应力施工构件 锚下有效预应力检测	构件宜按 3%的比例且不少于 3 个
射钉法	80MPa~160MPa 超高性 能混凝土抗压强度现场 检测	构件总数的 10%，且不少于 6 个
图像识别法	超高性能混凝土纤维分 布的检测	每种类型的试件数量为 1 个
超声波	焊缝内部缺陷检测	按照现行国家标准《钢结构工 程施工质量验收标准》GB 50205、《焊缝无损检测 超声 检测 技术、检测等级和评定》 GB/T 11345、《焊缝无损检测 射 线检测第 1 部分:X 和伽玛射线 的胶片技术》GB/T 3323.1、《焊 缝无损检测 磁粉检测》GB/T 26951、《焊缝无损检测 焊缝 渗透检测 验收等级》GB/T 26953、《钢筋机械连接技术规 程》JGJ 107 等标准执行
射线法		
磁粉法	焊缝表面缺欠的检测	
渗透法		
抗滑移系数试验法	高强度螺栓连接的摩擦 面抗滑移系数	
扭矩系数试验法	高强度螺栓连接副的扭 矩系数	

条文说明 3.1.7： 现行《装配式混凝土结构套筒灌浆质量检测技术规程》T/CECS 683-2020 规定，采用预埋阻尼传感器法的检测总数不宜少于灌浆套筒总数的 10%，装配首层检测数量不宜少于该层灌浆套筒总数的 20%。装配式桥梁套筒灌浆连接节点为重要传力部位，一旦出现问题将导致严重后果，故本标准将阻尼传感器法的抽检比例定为 20%。

3.2 检测要求

3.2.1 检测前应进行现场调查，制定检测方案。

3.2.2 现场调查应包括下列工作内容：

- 1.收集被检测装配式桥梁工程结构的设计文件、施工记录等资料；
- 2.装配式桥梁工程结构施工质量现状、周边环境条件。

3.2.3 检测方案宜包括下列内容：

- 1.工程概况、检测目的；
- 2.检测依据；
- 3.检测工作进度计划；
- 4.检测项目、检测方法、步骤、部位以及检测数量；
- 5.检测人员和仪器设备；
- 6.委托方配合的工作；
- 7.安全、文明及环保措施。

3.2.4 检测方法确定应综合考虑检测目的、检测项目、工程实际状况和现场具体条件等因素。

3.2.5 检测所用仪器、设备的适用范围和检测精度应满足检测项目的要求。

3.2.6 仪器应送国家认可计量检定机构进行检定或校准，且检定或校准结果合格方可进行检测工作。

3.2.7 检测机构和检测人员应满足下列要求：

- 1.检测机构应具有国家、行业颁发的相关资质；
- 2.检测机构应具备健全的质量管理体系和相应的技术能力；
- 3.现场检测工作应由至少两名检测人员承担，检测人员应经过培训并取得上岗资格。
- 4.自检制度要求下的检测人员除外。

3.2.8 现场检测获取的数据或信息应符合下列规定：

- 1.人工记录时，宜用专用表格，并应做到数据准确、字迹清晰、信息完整，不应追记、涂改；
- 2.仪器自动记录的数据应妥善保存，宜打印输出后经现场检测人员校对确认；
- 3.图像信息应标明获取信息的时间和位置；
- 4.原始记录应由检测人员和记录人员签字。

3.2.9 装配式桥梁工程构件连接现场检测工作结束后,应按照检测方案提出的修补方法对因检测造成的结构或构件局部损伤部位进行修补。

3.3 检测报告

3.3.1 检测报告应结论明确、用词规范、文字简练,对于容易混淆的术语和概念应以文字解释或图例、图像说明。

3.3.2 施工、验收与维护所需的检测报告要求应按国家或行业现行有关标准执行。

3.3.3 检测报告宜包括下列内容:

- 1.委托方名称;
- 2.工程概况,包括工程名称、地址、装配式桥梁工程结构类型、规模、检测部位、施工日期及现状等;
- 3.建设单位、勘察单位、设计单位(深化设计单位)、预制构件制作单位、施工单位及监理单位名称;
- 4.检测原因和检测目的;
- 5.检测项目、检测方法及依据的标准;
- 6.检测项目的主要检测数据、检测结果、检测结论、检测日期、报告完成日期;
- 7.检测人员、审核和批准人的签名;
- 8.检测机构的有效印章。

3.3.4 检测机构应对报告的数据、结论做最终解释和说明。

4 内窥镜法

4.1 一般规定

4.1.1 内窥镜法适用于灌浆前套筒内部的检测。

4.1.2 灌浆套筒灌浆后可采用内窥法通过出浆口水平钻孔方式对套筒内部灌浆检测进行验证。

4.2 检测设备

4.2.1 采用内窥镜法检测时，内窥镜应包括内窥镜主机和内窥镜镜头。



图 1 内窥镜构成示意图

1- 内窥镜主机；2- 内窥镜镜头

4.2.2 内窥镜镜头应符合下列规定：

- 1 内窥镜头应具备自主方向调节和自动聚焦功能；
- 2 内窥镜头应具备自动补光功能和光源可调，最大光源的照度不低于 8000lx；

4.2.3 内窥镜主机应符合下列规定：

- 1 内窥镜应具备录视频和照片拍摄功能；
- 2 拍摄像素不应低于 100 万。

4.3 检测方法

4.3.2 内窥镜检测前应进行下列准备工作：

- 1 检查设备和相关检测系统是否正常使用，仪器设备是否正常；
- 2 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，修整或返工的结构构件部位应有实施施工前后的文字及图像记录资料。

4.3.3 套筒灌浆前采用内窥镜检测时应符合下列规定：

- 1 灌浆前内窥镜法检测，沿构件四周进行查看，根据外侧的目视检测情况确定抽检的套筒位置；
- 2 内窥镜开机后，根据现场情况选择内窥镜镜头补光的光源；
- 3 内窥镜的镜头从套筒进浆口缓慢伸入，直到内部钢筋位置，然后调整镜头向上和向下进行查看套筒和钢筋之间是否通畅，并拍摄对应的照片；

4.3.4 套筒灌浆后钻孔内窥镜法检测时应符合下列规定：

- 1 根据委托方要求并结合检测项目特点、现场状况确定检测位置；
- 2 选用不小于 $\Phi 10$ 的钻头，从套筒出浆口中心位置水平钻孔至套筒内部与主钢筋之间；
- 3 现场采用机械清理方式对水平钻孔进行清灰，若孔道内有积水应及时进行清理；
- 4 内窥镜从套筒出浆口孔道水平伸入，调整内窥镜镜头查看主筋周边空洞等缺陷；

4.3.5 套筒灌浆后抽检数量不宜少于该连接部位套筒数量的 30%，且不宜少于 6 个，抽样应具有代表性。

4.3.6 内窥镜检测应按附录 A 记录。

4.4 评定

4.4.1 应对采集到的内窥镜照片进行构件和套筒位置的编号。

4.4.2 套筒灌浆前内窥镜法检测评定应符合下列规定：

1 套筒内钢筋和套筒壁之间是否存在坐浆料的倒灌或石子，混凝土块等其他异物。

2 对内窥镜法检测套筒存在的异物，应进行处理，并在处理后使用内窥镜再次检测。

3 异物尺寸占灌浆套筒进浆口的面积比例小于 25%且不影响正常灌浆，可不进行处理；若占灌浆套筒进浆口的面积比例大于 25%，应进行疏通保证正常灌浆。

条文说明4.4.2：坐浆层现场过厚，导致吊装完成后坐浆料倒灌至套筒进浆口；预制厂进行预制过程中，出现套筒进出浆口封堵不严，导致预制振捣混凝土进入到套筒进出浆口。

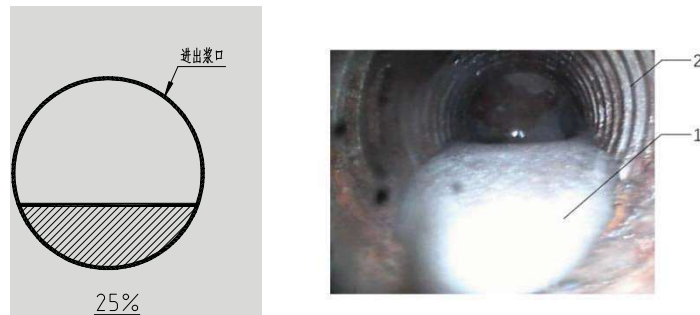


图4.4.2-1 坐浆层倒灌超过25%

1- 倒灌的坐浆料，2- 套筒进浆口

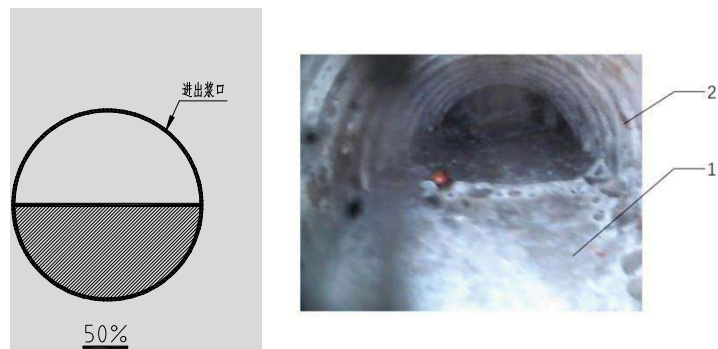


图4.4.2-2 混凝土等异物占套筒进浆口50%

1- 混凝土异物，2- 套筒进浆口

4.4.3 套筒灌浆后钻孔内窥镜法检测评定应符合下列规定：

1 套筒顶部主筋与套筒内壁之间是否存在空洞、积水导致的灌浆料变质等缺陷；

2 内窥镜法检测套筒顶部存在空洞，则应及时进行补灌；

3 检测套筒顶部存在离析等其他影响结构安全缺陷，应采取特殊处理方案；

4 内窥镜法检测完成后且无缺陷应及时修补水平钻孔的孔道；

条文说明4.4.3：套筒顶部典型缺陷参考图4.4.3，灌浆料凝固后，出浆口钻孔至套筒内，空洞为主钢筋周边没有灌浆料；离析情况为套筒内灌浆料一直未能正常凝固。

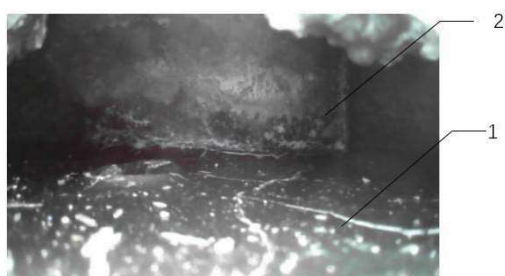


图4.4.3-1 空洞

1 -套筒内浆液顶面，2-套筒内主筋

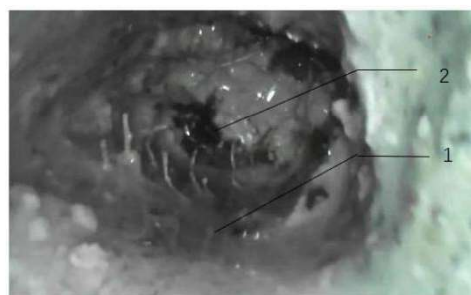


图4.4.3-2 离析

1-离析(泌水)灌浆料，2-套筒内主筋

5 阻尼传感器法

5.1 一般规定

5.1.1 阻尼传感器法适用于施工阶段套筒灌浆饱满度检验。

条文说明 5.1.1: 阻尼传感器法是灌浆前在套筒出浆口预埋阻尼振动传感器，灌浆过程中及灌浆结束 5min 后通过传感器数据采集系统获取振动能量值，进而判定灌浆饱满度的方法。

5.1.2 阻尼传感器法检测结果存在疑义时，应采用内窥镜法进行验证。

5.2 检测设备

5.2.1 阻尼传感器法检测设备应包括灌浆饱满度检测仪、专用阻尼振动传感器、橡胶塞等（图 5.2.1）。

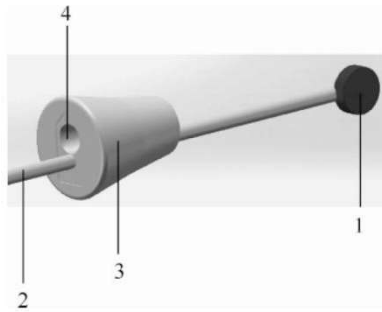


图 5.2.1 传感器示意图

1——端头核心元件；2——钢丝；3——橡胶塞；4——排气孔

5.2.2 灌浆饱满度检测仪幅值线性度应满足 $10\text{dB}\pm 1.0\text{dB}$ ，频带宽度应为 $10\text{kHz}\sim 100\text{kHz}$ 。

5.2.3 专用阻尼振动传感器应符合下列规定：

1 专用阻尼振动传感器端头核心元件直径不大于 10.0mm ，与端头核心元件相连的钢丝直径为 $2.0\text{mm}\sim 3.0\text{mm}$ ；

2 专用阻尼振动传感器在工作状态下的初读数不应小于 225。

条文说明 5.2.3: 传感器在工作状态下的初读数是指传感器按要求在套筒出浆孔就位后的读数。传感器初读数一般为 225，如果检测人员将传感器端头核心元件紧紧抵到套筒内钢筋上，端头核心元件受到较大压力作用，初读数会有所降低，但不应小于 225。如果初读数小于 225，需调整传感器相对钢筋的位置并重

新检测初读数；如果调整后仍不满足要求，需更换传感器并重新检测初读数。

5.2.4 专用阻尼振动传感器应与橡胶塞集成设计，橡胶塞上线缆穿孔孔径应与线缆直径相同，排气孔径不应小于 3.0mm。

5.3 检测方法

5.3.1 采用阻尼传感器法检测套筒灌浆饱满度前应准备下列工作：

- 1 检查设备是否正常。
- 2 记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，经检测后需补灌浆的结构构件部位应有补浆前后的检测结果。

5.3.2 阻尼传感器法检测套筒灌浆饱满度应符合下列规定：

- 1 传感器应设置于套筒的出浆口，传感器线缆应与钢筋连接方向保持垂直；端头核心元件应伸至套筒内靠近出浆口一侧的钢筋表面位置；
- 2 传感器就位时，正面应朝向侧边，橡胶塞排气孔应朝向正上方；
- 3 橡胶塞应紧固到位，保证排浆时不因灌浆压力而被冲出；
- 4 橡胶塞排气孔应畅通，灌满时浆体能够从排气孔流出并及时用细木棒封堵。
- 5 灌浆过程中，应将灌浆饱满度检测仪与传感器相连，实时监测传感器的波形和振动能量值；灌浆结束 5min 后，再通过灌浆饱满度检测仪检测传感器的波形和振动能量值，并做好记录。
- 6 灌浆结束后至灌浆料初凝前，每间隔 5min 记录传感器的振动能量值。

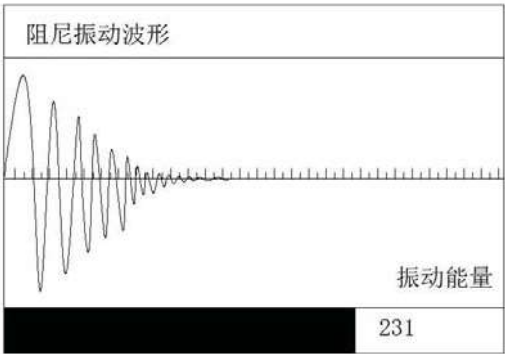
条文说明 5.3.2：为保证灌浆料浆体能够充分填充各类孔隙，从而达到充分稳定，要求必须在灌浆结束后 5min 进行检测。规定不要延后检测，一方面是为了确保检测不饱满时能及时得到补灌，另一方面则是因为预埋传感器法对于灌浆料凝固后的情形不适用，容易引起误判。另外，在灌浆过程中，也可以对预埋传感器的套筒实施连续监测。

5.3.3 阻尼传感器的检测应按附录 B 记录。

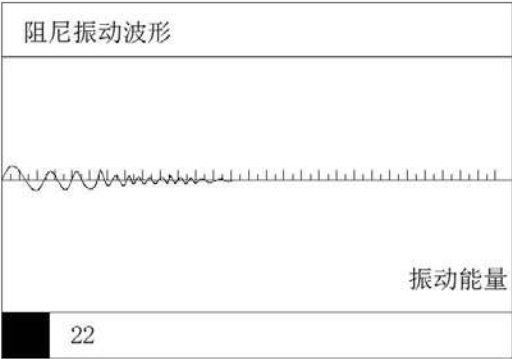
5.4 评定

5.4.1 套筒灌浆饱满度应根据灌浆饱满度检测仪输出的波形（图 5.4.1）和振动能量值进行评定，灌浆饱满判断的阈值宜根据平行试件模拟漏浆后测得的能量值

确定。



(a) 灌浆不饱满情况



(b) 灌浆饱满情况

图 5.4.1 灌浆饱满度检测仪输出波形和振动能量

5.4.2 应按表 5.4.2 进行套筒灌浆饱满度等级评定。当 $0 \leq \text{传感器振动能量值} \leq 100$ 时，应评定为 I 类，灌浆饱满；当 $100 < \text{传感器振动能量值} \leq 150$ 时，应评定为 II 类，灌浆基本饱满；当 $150 < \text{传感器振动能量值} < 255$ 时，应评定为 III 类，灌浆不饱满，并应补灌。

表 5.4.2 套筒灌浆饱满度等级评定标准

传感器振动能量值	饱满度描述	评定等级
[0, 100]	灌浆饱满	I 类
(100, 150]	灌浆基本饱满	II 类
>150	灌浆不饱满	III 类

条文说明 5.4.2：预埋传感器法检测结果的判定准则充分考虑了灌浆套筒内

部的构造特征、钢筋的锚固要求等因素，此判定阈值的设置是经过大量实验室试验和工程实践验证而得出的。

对于评定为灌浆不饱满的套筒，应及时进行补灌以实现套筒灌浆施工过程中的质量控制。补灌时，可从不饱满套筒的灌浆口进行补灌。补灌后应对其灌浆饱满度进行复测，直至灌浆饱满。若检测时灌浆料已凝固，现场应及时记录灌浆不饱满的套筒位置及相应预制墩柱构件编号，为后期其它方法检测验证及补强提供位置信息。

6 芯片法

6.1 一般规定

- 6.1.1 芯片法可用于施工阶段检测套筒灌浆饱满度。
- 6.1.2 芯片法检测结果存在疑义时，应采用内窥镜法进行验证。

6.2 检测设备

- 6.2.1 采用芯片法检测时，检测设备应包括封装芯片和芯片检测仪。

条文说明 6.2.1：封装芯片见图 1，芯片检测仪见图 2。



图 1 封装芯片

图 2 芯片检测仪

- 6.2.2 芯片应符合下列规定：

- 1 封装芯片应具有独立可识别性的唯一编码，并应具有无源的独立接收和发射信号功能；
- 2 芯片需要根据现场套筒抽检位置进行统一编号；

- 6.2.3 芯片检测仪应符合下列规定：

- 1 芯片检测仪发射功率不应低于 30dBm，发射天线不应小于 4dBi，使用环境温度：-5℃~60℃；
- 2 芯片检测仪应定期进行计量检定或校准，应具有产品合格证书。
- 3 芯片检测仪应具备足够强的发射能量，保证芯片能及时接受信号；
- 4 芯片检测仪的发射与接收应具有方向性；

6.3 检测方法

- 6.3.1 采用芯片法检测套筒灌浆饱满度前应准备下列工作：

- 1 应检查设备是否正常。
- 2 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，经检测后需补灌浆的结构构件部位应有补浆前后的检测结果。

6.3.2 采用芯片法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

- 1 芯片的安装装置预先进行组装，并检查是否有异常。
- 2 待现场吊装完成，采用镊子等专用工具通过套筒的出浆口位置将芯片装置安装至钢筋与套筒之间。
- 3 将芯片装置固定在出浆口易产生空洞的区域，保证芯片侧向外，灌浆时不被浆液冲出。

条文说明6.3.2：灌浆结束15-30min后，通过检测设备检测各芯片的信号能量值，并做好记录。

6.3.3 芯片法的检测应按附录 C 记录。

6.4 评定

6.4.1 采用芯片法检测套筒灌浆饱满度的判定准则应符合下列规定：

- 1 当在出浆口区域能够扫查到芯片信号，则判定该测点灌浆饱满度不合格；
- 2 当在出浆口区域扫查不到芯片信号，则判定该测点灌浆饱满度合格。

6.4.2 灌浆结束后 15min 后，芯片检测仪检测到芯片信号强度大于 10dBm，则需要进行二次补浆。补灌后需对原灌浆不饱满套筒的灌浆饱满度进行复测，直至灌浆饱满，并在原始记录表备注栏中做好复测记录。

7 电阻率法

7.1 一般规定

7.1.1 电阻率法适用于施工阶段套筒灌浆饱满度检验。

条文说明7.1.1: 电阻率法的工作原理为通过专用设备测量套筒与探头两电极间的灌浆料电阻值,通过电阻值变化是否超过设定阈值判断套筒灌浆饱满度。测试元件采用特殊工艺进行憎水处理,相比其它预埋传感器检测方法,其表面粘附浆料少,套筒灌浆饱满度误判概率显著降低。

7.1.2 电阻率法检测结果存在疑义时,应采用内窥镜法进行验证。

7.2 检测设备

7.2.1 电阻率法检测设备应包括灌浆饱满度检测仪、电极探头、橡胶塞等图(图7.2.1)。

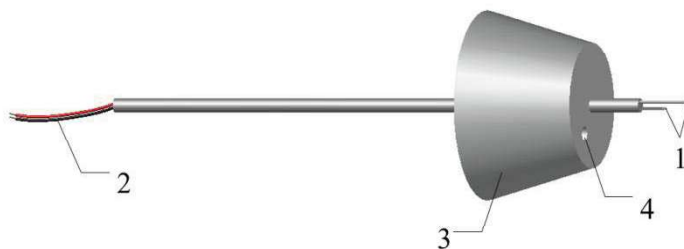


图 7.2.1 传感器示意

1——电极探头; 2——线缆; 3——橡胶塞; 4——排气孔

7.2.2 灌浆饱满度测试仪应采用内置电池供电。

7.2.3 电极探头应具有不粘浆液的特性。电极探头线缆表面应包覆憎水性材料。

7.2.4 电极探头应与橡胶塞集成设计,橡胶塞上线缆穿孔孔径应与线缆直径相同。

7.3 检测方法

7.3.1 采用电阻率法检测套筒灌浆饱满度前应准备下列工作:

1 应检查设备是否正常。

2 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等,经检测后需补灌浆的结构构件部位应有补浆前后的检测结果。

7.3.2 电阻率法检测套筒灌浆饱满度应符合下列规定：

1 电极探头设置于套筒的出浆口，调节连接线缆长度，探头端部电极不应接触套筒内部钢筋；

2 电极探头就位时，自带橡胶塞的排气孔应位于正上方；橡胶塞应在出浆口紧固到位，出浆时不应被冲出；橡胶塞上的排气孔应保持畅通；

3 灌浆前，应将灌浆饱满度测试仪与电极探头相连，测试仪启动自检；灌浆过程中，实时监测探头的电阻值，并做好记录。

7.3.3 灌浆套筒抽检数量不宜少于该连接部位套筒数量的 50%，抽样应具有代表性。当委托方有要求时，可选择全数检测方式。

条文说明7.3.3：套筒灌浆饱满度电阻率法现场操作方便，满足套筒灌浆施工过程实时、快速检测要求。为更好地保证装配式桥梁套筒灌浆连接节点的施工质量，本规程将电阻率法的抽检比例选为50%，抽检比例虽然比阻尼传感器法显著增加，但检测费用仅为阻尼传感器法的1/5。对于装配式桥梁节点工程质量有严格要求的工程项目，本规程建议采用电阻率法对装配式桥梁节点的所有套筒灌浆质量进行全数检测，该方法实施全数检测的费用与阻尼传感器法抽检20%相当。

7.3.4 电阻率法的检测应按附录 D 记录。

7.4 评定

7.4.1 套筒灌浆饱满度应根据灌浆饱满度测试仪输出的电阻值和监测时程曲线判断。

7.4.2 应按照表 7.4.2 进行套筒灌浆饱满度等级评定。灌浆饱满判断的电阻阈值设置为 $100\text{M}\Omega$ 。当测量电阻值不大于 $100\text{M}\Omega$ 时，应评定为 I 类，灌浆饱满；当测量电阻值大于 $100\text{M}\Omega$ 时，应评定为 II 类，灌浆不饱满，并应补灌。

表 7.4.2 套筒灌浆饱满度等级评定标准

测量电阻值/ $\text{M}\Omega$	饱满度描述	评定等级
≤ 100	灌浆饱满	I 类
> 100	灌浆不饱满	II 类

条文说明7.4.2：大量套筒灌浆模拟试验和现场测试结果表明，灌浆前两电极探头处于断路状态，灌浆过程中随着灌浆料液面上升并与内埋探头接触，电极探头连通产生电阻，测试仪测量电阻值逐渐上升，但通常小于 $100\text{M}\Omega$ 。若出现灌

浆料液面回落的情况，电阻值上升速率明显增大且电阻值迅速超出 $100\text{M}\Omega$ 。因此，电阻率法测试时可将 $100\text{M}\Omega$ 作为判断套筒灌浆是否饱满的阈值。

对于评定为灌浆不饱满的套筒，应及时进行补灌以实现套筒灌浆施工过程中的质量控制。补灌时，可从不饱满套筒的灌浆口进行补灌。补灌后应对其灌浆饱满度进行复测，直至灌浆饱满。若检测时灌浆料已凝固，现场应及时记录灌浆不饱满的套筒位置及相应预制墩柱构件编号，为后期其它方法检测验证及补强提供位置信息。

8 电容法

8.1 一般规定

8.1.1 电容法适用于施工阶段套筒灌浆饱满度检验。

条文说明8.1.1: 电容法的工作原理是通过专用检测设备测量套筒内部灌浆材料的电容信号，根据电容值在灌浆施工过程中的变化情况判断套筒灌浆饱满度。

8.1.2 电容法检测结果存在疑义时，应采用内窥镜法进行验证。

8.2 检测设备

8.2.1 电容法检测设备应包括灌浆饱满度检测仪、电容极性探头、电容外壳电极、橡胶塞等（图 8.2.1）。

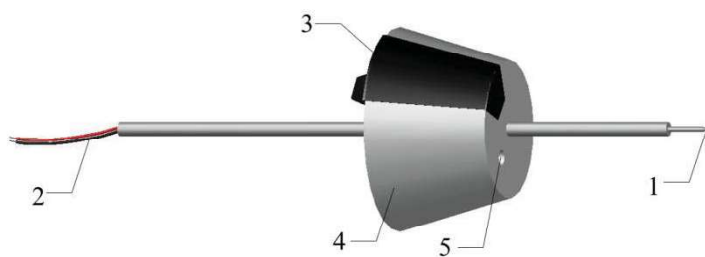


图 8.2.1 传感器示意图

1——电容极性探头；2——线缆；3——电容外壳电极；4——橡胶塞；
5——排气孔

8.2.2 灌浆饱满度测试仪应采用内置电池供电。

8.2.3 电容极性探头应具有不粘浆液的特性。电容极性探头线缆表面应包覆憎水性材料。

8.2.4 电容极性探头和电容外壳电极应与橡胶塞集成设计，橡胶塞上线缆穿孔孔径应与线缆直径相同。

8.3 检测方法

8.3.1 采用电容法检测套筒灌浆饱满度前应准备下列工作：

- 1 应检查设备是否正常。
- 2 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，

经检测后需补灌浆的结构构件部位应有补浆前后的检测结果。

8.3.2 电容法检测套筒灌浆饱满度应符合下列规定：

1 电容极性探头应设置于套筒的出浆口，调节连接线缆长度，探头端部电极不应接触套筒内部钢筋；

2 电容外壳电极应安装在套筒出浆口橡胶塞侧面，应与金属套筒壁接触；

3 电容极性探头和电容外壳电极就位时，自带橡胶塞的排气孔应位于正上方；橡胶塞应在出浆口紧固到位，出浆时不应被冲出；橡胶塞上的排气孔应保持畅通；

4 灌浆前，应将灌浆饱满度测试仪与电容极性探头、电容外壳电极相连，测试仪启动自检；灌浆过程中，实时监测探头的电容值，并做好记录。

8.3.3 灌浆套筒抽检数量不宜少于该连接部位套筒数量的 40%，抽样应具有代表性。

条文说明8.3.3：电容法传感器对套筒内部灌浆料液面变化情况反应灵敏，满足套筒灌浆施工过程实时、快速检测要求。该方法检测费用为阻尼传感器法的1/2，在保证检测总费用不变的情况下，电容法抽检比例可提高到40%，从而能够进一步加强装配式桥梁套筒灌浆饱满度的施工质量控制。

8.3.4 电容法的检测应按附录 E 记录。

8.4 评定

8.4.1 套筒灌浆饱满度应根据灌浆饱满度测试仪输出的电容值和监测时程曲线判断。

8.4.2 应按照表 8.4.2 进行套筒灌浆饱满度等级评定。灌浆饱满判断的电容阈值为 0.5 μ f。当测量电容值不大于 0.5 μ f 时，应评定为 I 类，灌浆饱满；当测量电容值大于 0.5 μ f 时，应评定为 II 类，灌浆不饱满，并应补灌。

表 8.4.2 套筒灌浆饱满度等级评定标准

测量电容值/ μ f	饱满度描述	评定等级
≤ 0.5	灌浆饱满	I 类
> 0.5	灌浆不饱满	II 类

条文说明8.4.2：套筒灌浆模拟试验和现场测试结果表明，灌浆前两电容探头间初始测试电容值通常大于10 μ f，当灌浆料液面增加并连通电容极性探头和电容

外壳电极后，电容值将下降到 $0.5\mu\text{f}$ 以内，若出现灌浆料液面回落的情况，电容值上升并超出 $0.5\mu\text{f}$ 。因此，电容法测试时可将 $0.5\mu\text{f}$ 作为判断套筒灌浆是否饱满的阈值。

对于评定为灌浆不饱满的套筒，应及时进行补灌以实现套筒灌浆施工过程中的质量控制。补灌时，可从不饱满套筒的灌浆口进行补灌。补灌后应对其灌浆饱满度进行复测，直至灌浆饱满。若检测时灌浆料已凝固，现场应及时记录灌浆不饱满的套筒位置及相应预制墩柱构件编号，为后期其它方法检测验证及补强提供位置信息。

9 压电法

9.1 一般规定

9.1.1 压电法适用于施工阶段套筒灌浆饱满度检验。

条文说明 9.1.1：压电法的工作原理是通过专用设备向压电传感器输入一脉冲激励，获取压电传感器在接收脉冲激励后的振动频率和反馈压电信号。通过分析压电传感器测量电压值相对初始电压值的变化情况，判断套筒灌浆是否饱满。

9.1.2 压电法检测结果存在疑义时，应采用内窥镜法进行验证。

9.2 检测设备

9.2.1 压电法检测设备应包括灌浆饱满度测试仪、压电传感器、橡胶塞等（图 9.2.1）。

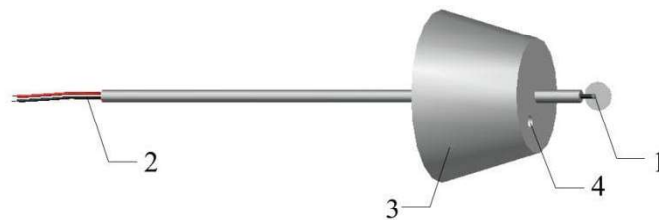


图 9.2.1 传感器示意图

1——压电传感器探头；2——线缆；3——橡胶塞；4——排气孔

9.2.2 灌浆饱满度测试仪应采用内置电池供电。

9.2.3 压电传感器应具有不粘浆液的特性。压电传感器线缆表面应包覆憎水性材料。

9.2.4 压电传感器应与橡胶塞应集成设计，橡胶塞上线缆穿孔孔径应与线缆直径相同。

9.3 检测方法

9.3.1 采用压电法检测套筒灌浆饱满度前应准备下列工作：

- 1 应检查设备是否正常。
- 2 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，

经检测后需补灌浆的结构构件部位应有补浆前后的检测结果。

9.3.2 压电法检测套筒灌浆饱满度应符合下列规定：

1 压电传感器设置于套筒的出浆口，调整连接线缆长度，传感器不应接触套筒内部钢筋；

2 压电传感器就位时，自带橡胶塞的排气孔应位于正上方；橡胶塞应在出浆口紧固到位，出浆时不应被冲出；橡胶塞上的排气孔应保持畅通；

3 灌浆前，应将灌浆饱满度测试仪与压电传感器相连，测试仪测量初始电压值；灌浆过程中，实时监测电压值，并做好记录。

9.3.3 灌浆套筒抽检数量不宜少于该连接部位套筒数量的 40%，抽样应具有代表性。

条文说明 9.3.3：压电法传感器对套筒内部灌浆料液面变化情况反应灵敏，满足套筒灌浆施工过程实时、快速检测要求。该方法检测费用为阻尼传感器法的 1/2，在保证检测总费用不变的情况下，压电法抽检比例可提高到 40%，从而能够进一步加强装配式桥梁套筒灌浆饱满度的施工质量控制。

9.3.4 压电法的检测应按附录 F 记录。

9.4 评定

9.4.1 套筒灌浆饱满度应根据灌浆饱满度测试仪输出的电压值和监测时程曲线综合判断。

9.4.2 应按照表 9.4.2 进行套筒灌浆饱满度等级评定。灌浆结束后，当测量电压与初始电压的比值低于 0.4 时，应评定为 I 类，灌浆饱满；当测量电压与初始电压的比值不低于 0.4 时，应评定为 II 类，灌浆不饱满，并应补灌。

表 9.4.2 套筒灌浆饱满度等级评定标准

测量电压与初始电压的比值	饱满度描述	评定等级
<0.4	灌浆饱满	I 类
≥0.4	灌浆不饱满	II 类

条文说明 9.4.2：现场检测时，灌浆前需在套筒出浆口预埋压电传感器，预先测量并记录初始电压值，灌浆过程中通过测量压电传感器电压值对灌浆饱满度进行实时监测。大量套筒灌浆模型试验与现场测试结果表明，灌浆前传感器测量

电压值相对稳定，当套筒灌浆完成后，测量电压将明显下降。若出现灌浆料液面回落（漏浆）的情况，测试电压再次增大且通常超过初始电压的 0.4 倍。因此，将灌浆后测得电压与灌浆前初始电压的比值取 0.4 作为判断套筒灌浆是否饱满的阈值。

对于评定为灌浆不饱满的套筒，应及时进行补灌以实现套筒灌浆施工过程中的质量控制。补灌时，可从不饱满套筒的灌浆口进行补灌。补灌后应对其灌浆饱满度进行复测，直至灌浆饱满。若检测时灌浆料已凝固，现场应及时记录灌浆不饱满的套筒位置及相应预制墩柱构件编号，为后期其它方法检测验证及补强提供位置信息。

10 压力传感器法

10.1 一般规定

10.1.1 压力传感器法可用于施工阶段检测盖梁套筒灌浆饱满度。

条文说明 10.1.1 压力传感器法的原理，利用预先放置在灌浆套筒内的传感器，随着套筒内灌浆料的液面上升，压力传感器监测到的压力变化，依据压力-时间曲线，可判定内部灌浆的饱满度。

10.1.2 压力传感器法检测结果存在疑义时，应采用事后检测方法进行验证。

10.2 检测设备

10.2.1 压力传感器检测范围宜为 $50\text{kPa}\sim 150\text{kPa}$ ，测量准确度不宜低于 0.2% ，使用的环境温度为 $-5^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。

10.2.2 压力传感器检测仪应定期进行计量检定或校准，专用压力传感器应具有相关的技术认证。

条文说明 10.2.2：压力传感器检测仪见图 8。



图 8 压力传感器检测仪示意图

10.3 检测方法

10.3.1 采用压力传感器法检测套筒灌浆饱满度前应进行下列准备工作：

- 1 检查设备和相关检测系统是否正常使用，仪器设备密封性是否正常；
- 2 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，经检测后需补灌浆的结构构件部位应有补浆前后的检测结果。

10.3.2 采用内置压力传感器法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

（1）采用专用工具通过套筒的出浆口位置将传感器装置安装至套筒底部内壁与钢筋之间。

（2）现场安装压力计和导管，并测试其完备性。

（3）现场通过进浆口缓慢灌浆，压力计随着浆液液面上升其压力值逐渐增加，压力计记录连续的信号变化，形成压力-时间变化曲线。

（4）现场对压力-时间曲线进行记录，并进行及时判断。

10.3.2 采用外置压力传感器法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

（1）现场安装压力计和导管，并测试其完备性。

（2）现场通过进浆口缓慢灌浆，待出浆口流出浆液后，采用外置传感器封堵进浆口，形成压力-时间变化曲线。

（3）现场对压力-时间曲线进行记录，并进行及时判断。

10.3.3 压力传感器法，单个连接抽检的套筒数量不少于该连接部位套筒数量的50%，且不宜少于15个，抽样应具有代表性。

10.3.4 压力传感器法的检测应按附录G记录

10.4 评定

10.4.1 采用压力传感器法检测套筒灌浆饱满度的判定准则应符合下列规定：

对同一构件且灌浆高度相同的压力值取平均值，若低于平均值的90%，则判定测点灌浆饱满度不合格。

10.4.2 对判断灌浆不饱满的套筒需立即进行补灌处理，对不饱满套筒的进浆口进行补灌。

10.4.3 补灌后需对原灌浆不饱满套筒的灌浆饱满度进行复测，直至灌浆饱满，并在原始记录表备注栏中做好“复测”记录。

11 预埋钢丝拉拔法

11.1 一般规定

11.1.1 预埋钢丝拉拔法可用于施工及验收阶段检测套筒灌浆饱满度。

11.1.2 预埋钢丝拉拔法检测结果存在疑义时，应采用事后检测方法进行验证。

11.2 检测设备

11.2.1 采用预埋钢丝拉拔法检测时，检测设备应包括拉拔仪、钢丝及相关配件。

条文说明 11.2.1：检测设备仪器见图 9。

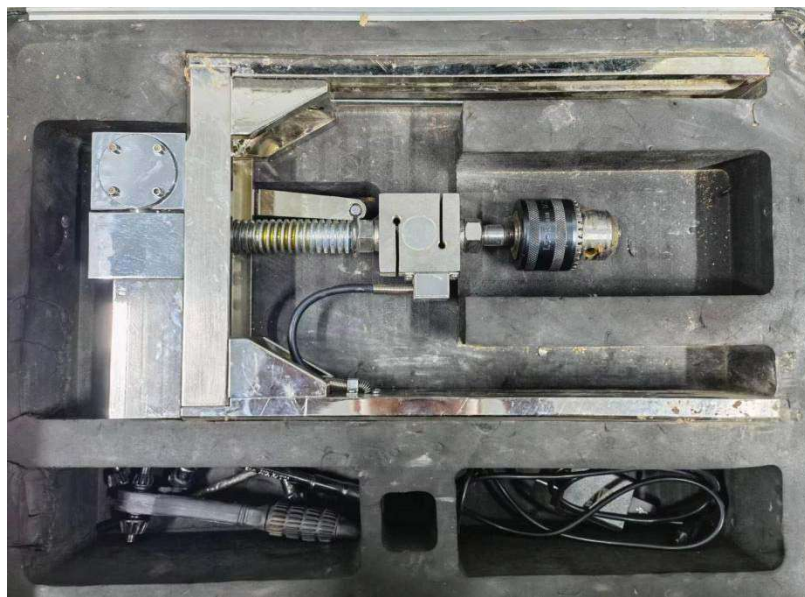


图 9 检查设备仪器示意图

11.2.2 拉拔仪应符合下列规定：

- 1 拉拔仪量程不宜小于 5kN，且不宜大于 15kN，最小分辨率不应低于 0.1kN；
- 2 拉拔仪每年应至少校准一次。

11.2.3 钢丝及相关配件应符合下列规定：

- 1 钢丝应采用光圆高强不锈钢钢丝，抗拉强度不应低于 600MPa，直径应为 $5.0\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ ，钢丝应包括锚固段、隔离段和拉拔段；
- 2 钢丝锚固段长度应为 $30.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ；
- 3 钢丝隔离段应与灌浆料浆体有效隔离；
- 4 钢丝拉拔段长度应满足拉拔仪要求。

条文说明 11.2.3：专用的钢丝拉拔配件见图 10。

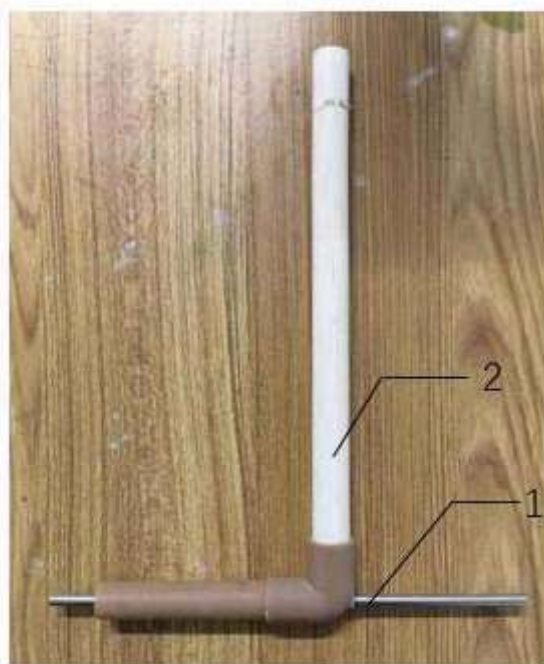


图 11.2.3 钢丝拉拔配件示意图

1- 预埋钢丝 2-预埋钢丝夹持装置

11.3 检测方法

11.3.1 采用预埋钢丝拉拔法检测套筒灌浆饱满度前的准备工作应符合下列规定：

- 1 应保证检测设备正常；
- 2 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，经检测后需补灌浆的结构构件部位应有补浆前后的检测结果。

11.3.2 采用预埋钢丝拉拔法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

- 1 应根据预制构件表面的出浆口到套筒内靠近出浆孔一侧的钢筋表面的垂直距离，以及钢丝锚固段的长度，确定钢丝隔离段的长度和位置；
- 2 将钢丝配件沿套筒出浆孔插入并固定，应确保钢丝锚固长度符合要求；
- 3 灌浆结束时应及时检查钢丝锚固长度和是否处于水平状态；
- 4 灌浆结束后预埋钢丝的灌浆节点采用自然养护方式进行，养护期间应做好现场防护工作，确保钢丝不被损坏。
- 5 灌浆构件养护 3d 且不低于 $60^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 后，采用预埋钢丝拉拔法进行灌浆套筒饱满度检测；

7 拉拔时,拉拔仪应与预埋钢丝对中连接,加载方向应与钢丝轴线方向重合,加载速度应控制在 $0.15\text{kN/s}\sim 0.50\text{kN/s}$,应连续均匀施加荷载直至钢丝被完全拔出,并记录极限拉拔荷载值,精确至 0.1kN 。

11.3.3 预埋钢丝拉拔法,单个连接抽检的套筒数量不少于该连接部位套筒数量的 5%,且不少于 3 个,抽样应具有代表性。

11.3.4 预埋钢丝拉拔法的检测应按附录 H 记录。

11.4 评定

11.4.1 采用预埋钢丝拉拔法检测套筒灌浆饱满度的的评定准则应符合下列规定:

1 取同一批测点极限拉拔荷载值中 3 个最大值的平均值,该平均值的 60% 记为 a ,该平均值的 40% 记为 b ;当测点极限拉拔荷载值大于 a 且不小于 1.5kN 时,应判定测点对应套筒灌浆饱满;当测点数据在 $a\sim b$ 之间时,需进一步用其他检测方法进行校核;当测点极限拉拔荷载值小于 b 或小于 1.0kN 时,应判定测点对应套筒灌浆不饱满。

2 其他情况应进一步结合内窥镜校核结果进行判定。

11.4.2 对预埋钢丝拉拔法检测灌浆不饱满的套筒,应进行注射补灌。

12 阵列式超声成像法

12.1 一般规定

12.1.1 阵列式超声成像法适用于灌浆料固化后的套筒灌浆饱满度检测。

条文说明 12.1.1: 阵列式超声成像法的原理，多通道超声仪采用多个探头的通道信息，采用合成孔径成像方式获取了声场图像。

12.1.2 阵列式超声成像法检测结果存在疑义时，应采用局部破损法进行验证。

12.2 检测设备

12.2.1 采用阵列超声成像法检测时，检测设备应为阵列超声成像仪。

条文说明 12.2.1: 阵列超声成像仪如图 11。



图 11 阵列式超声成像仪示意图

12.2.2 阵列超声成像仪应符合下列规定：

- 1 应具备 A-scan、B-scan 及三维成像功能；
- 2 B-scan 成像深度应不小于 200 mm，三维成像的分辨率应不小于 40 mm；
- 3 仪器宜采用 40 kHz~100 kHz 的横波作为激发信号。

12.3 检测方法

12.3.1 采用阵列式超声成像法检测套筒灌浆饱满度前的准备工作应符合下列规定：

- 1 应保证检测设备正常；
- 2 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，经检测后需补灌浆的结构构件部位应有补浆前后的检测结果。

12.3.2 采用阵列式超声成像法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

1 灌浆节点应采用自然养护方式进行，灌浆结束 7d 后，先清理检测区域表面，检测时使传感器承受适当压力耦合于混凝土表面，施加力方向与混凝土表面保持垂直，应保证各通道传感器与表面耦合完好，调整好仪器的检测区域，采用 B-scan 检测时，成像截面宜与灌浆套筒竖向截面垂直；

2 整个灌浆套筒区域的超声三维成像应保证每次检测的区域重叠率不小于 10%；

3 检测时，应先采集该混凝土构件本体区域确定其声速参考值。灌浆套筒灌浆密实时，界面反射的声信号幅值较低且声时较长。灌浆套筒灌浆存在空洞时，灌浆套筒与空气界面存在较大的反射幅值且反射声时集中于界面深度位置；

12.3.3 抽检的套筒数量不少于该连接部位套筒数量的 30%，且不少于 15 个，抽样应具有代表性。

12.3.4 阵列式超声成像法的检测应按附录 I 记录。

13 非金属超声波检测法

13.1 一般规定

13.1.1 本非金属超声波检测法适用于湿接缝内部缺陷及结合面质量检测。

13.1.2 装配式桥梁工程构件连接湿接缝的检测，应根据检测类别、检测目的、检测项目、结合工程实际和现场具体条件选择适用的检测方法。

条文说明：13.1.2 湿接缝主要包含盖梁分节预制拼装湿接缝、预制箱梁湿接缝。

13.1.3 超声波检测法检测结果存在疑义时，宜采用多种检测方法相互印证，综合判定。

13.2 检测设备

13.2.1 采用超声波法进行检测时，检测设备应包括主机、发射换能器（简称 T 换能器）和接收换能器（简称 R 换能器）。

条文说明：13.2.1 非金属超声检测仪如图 12 所示，测量超声波在湿接缝中的传播速度（简称声速）、首波幅度（简称波幅）和接收信号主频率（简称主频）等声学参数，并根据这些参数及其相对变化，判定湿接缝中的缺陷情况。



图 13.2.1 非金属超声检测仪

13.2.2 超声波检测仪应符合国家现行有关标准的要求，应通过技术鉴定，必须具有产品合格证和检定证，并在计量检定有效期限内使用。

13.2.3 超声波检测仪应满足下列要求：

- 1 具有波形清晰、显示稳定的示波装置；

- 2 声时最小分度为0.1μs;
- 3 具有最小分度为1dB的衰减系统;
- 4 接收放大器频响范围10~500kHz, 总增益不小于80dB, 接收灵敏度(在信噪比为3:1时)不大于50μv;
- 5 电源电压波动范围在标称值±10%的情况下能正常工作;
- 6 连续正常工作时间应不少于4h;
- 7 具有手动游标测读和自动测读方式。当自动测读时,在同一测试条件下,1h内每隔5min测读一次声时的差异应不大于±2个采样点;
- 8 波形显示幅度分辨率应不低于1/256,并具有可显示、存储和输出打印数字化波形的功能,波形最大存储长度不宜小于4k Bytes;
- 9 自动测读方式下,在显示的波形上应有光标指示声时、波幅的测读位置;
- 10 具有幅度谱分析功能;
- 11 具有数据分析且显示异常数据点的功能。

条文说明 13.2.3: 手动游标测读是手动调节示波屏上的游标信号,使其前沿对准接收波的初至点,此时的声时读数即为手动游标读数;自动整形测读是仪器内部对接收波进行放大、整形,使其成方波,以方波的前沿去关闭计时器,仪器上即显示出时间读数。

13.2.4 换能器应满足下列要求:

- 1 常用换能器具有厚度振动方式和径向振动方式两种类型,在平面测试中采用厚度振动式换能器,钻孔测试中采用径向振动式换能器;
- 2 厚度振动式换能器的频率宜采用20~250kHz。径向振动式换能器的频率宜采用20~60kHz,直径不宜大于32mm。当接收信号较弱时,宜选用带前置放大器的接收换能器;
- 3 换能器的实测主频与标称频率相差应不大于±10%。

13.2.5 超声波检测仪的检定应满足下列要求:

- 1 超声波检测仪声时计量检验应按“时—距”法测量空气声速的实测值 V^s ,并与按公式(13.2.5)计算的空气声速标准值 V^c 相比较,二者的相对误差应小于±0.5%;

$$V^c = 331.4\sqrt{1 + 0.00367 \cdot T_K} \quad (13.2.5)$$

式中： V^c —温度为 T_K °C的空气声速（m/s）；

T_K —被测空气的温度（°C）。

2 超声波检测仪波幅计量检验应将屏幕显示的首波幅度调至仪器规定的波幅界限范围内，然后把仪器衰减系统的衰减量增加或减少6dB，此时屏幕波幅高度应降低一半或升高一倍。

条文说明：13.2.5 在超声检测中，仪器的计时系统是否正常，操作者的测读方法是否正确，都直接影响声时读数的可靠性。由于空气的声速除受温度影响外，受其它因素的影响很小，因此用测量空气声速的办法来检验仪器的计时性能和操作者的测度方法是行之有效的。实践证明，只要仪器正常，操作人员测读正确，空气声速的测量值就十分接近标准值，其相对误差小于±0.5%。如果相对误差较大，应首先检查测距和声时的测量是否有误，然后再检查仪器有关电路。公式（13.2.5）中331.4表示0°C时空气的声速（m/s）。

13.2.6 超声波检测仪应定期保养。

13.3 检测方法

13.3.1 采用超声波法检测湿接缝前应进行以下准备工作：

- 1 应根据检测要求和现场操作条件，确定缺陷测试部位，宜对怀疑存在内部缺陷的区域宜进行全数检测；
- 2 测位表面应清洁、平整，必要时可用砂轮磨平或用高强度快凝砂浆抹平；抹平砂浆应与待测面良好粘结；
- 3 根据测距大小和湿接缝外观质量情况，设置超声检测仪的发射电压、采样频率等参数，检测同一测位时，仪器参数宜保持不变；
- 4 换能器应通过耦合剂与测位表面紧密结合，耦合层内不应夹杂泥沙或空气。

条文说明：13.3.1 湿接缝内部缺陷或结合面质量不佳一般都是独立的事件，不具备批量检测的条件，宜对怀疑存在缺陷的区域进行全数检测，当不具备全数检测条件时，可根据约定抽样原则选择下列部位进行检测：

- 1 重要部位；
- 2 外观缺陷严重的部位。

13.3.2 采用超声波法检测,应符合现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的规定。测点布置应符合下列规定:

- 1 测点在湿接缝上应均匀布置;
- 2 测点上应有清晰的编号;
- 3 测点间距不应大于1 m,湿接缝中部应布置测点;
- 4 每个湿接缝检测区域测点数不应少于9个。

13.3.3 超声波检测仪正常工作条件应满足下列要求:

- 1 环境温度-20℃~80℃;
- 2 不应有较大的振动和冲击。

13.3.4 非金属超声波法检测湿接缝时,被测部位应满足下列要求:

- 1 被测部位应具有可进行检测的测试面,即应具有一对(或两对)相互平行的测试面,并保证测线能穿过被检测区域;
- 2 测试范围应大于有怀疑的区域,使测试范围内具有同条件的正常混凝土湿接缝;
- 3 总测点数不应少于30个,且其中同条件的正常混凝土的对比用测点数不应少于总测点数的60%,且不少于20个。

13.3.5 非金属超声波法检测湿接缝时测点布置应符合下列规定:

- 1 当湿接缝具有两对相互平行的测试面时,宜采用对测法(图13.3.5-1),应在测试部位两对相互平行的测试面上分别画出等间距的网格,网格间距可为100mm~300mm,大型湿接缝可适当放宽,编号确定对应的测点位置。

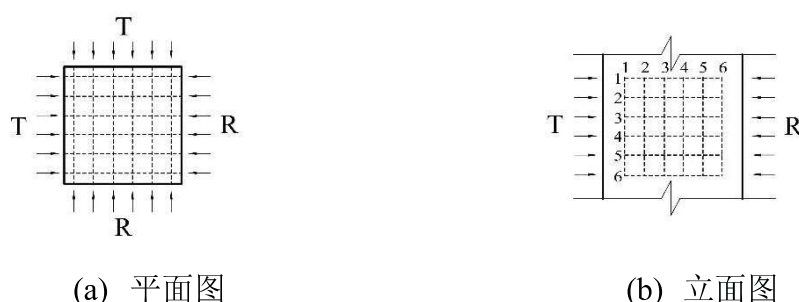


图13.3.5-1 对测法示意图

- 2 当湿接缝具有一对相互平行的测试面时,宜采用对测和斜测相结合的方法,应在测试部位相互平行的测试面上分别画出等间距的网格,网格间距可为100mm~300mm,大型湿接缝可适当放宽,在对测的基础上进行交叉斜测(图

13.3.5-2)。

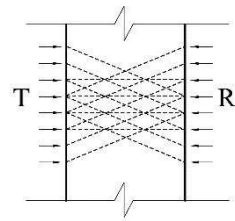
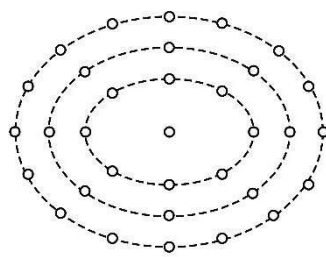
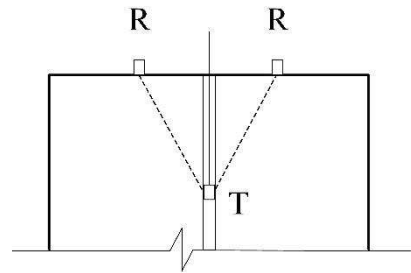


图13.3.5-2 斜测法示意图

3 当湿接缝只具有一个测试面时,宜采用钻孔和表面测试相结合的方法(图13.3.5-3), 应在测试面中心钻孔, 孔中放置径向振动式换能器作为发射点, 以钻孔为中心不同半径的圆周上布置平面换能器的接收测点, 同一圆周上测点间距宜为100mm~300mm, 不同圆周的半径相差100mm~300mm, 大型湿接缝可适当放宽, 同一圆周上的测点作为同一个湿接缝数据进行分析。



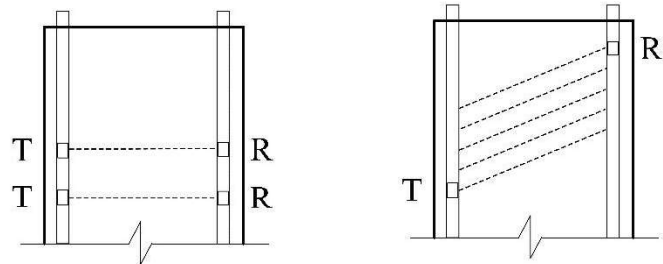
(a) 平面图



(b) 立面图

图13.3.5-3 钻孔与表面测试结合法

4 当测距较大时,可采用钻孔或预埋声测管法,在测位预埋声测管或钻出竖向测试孔,预埋管内径或钻孔直径宜比换能器直径大5mm~10mm,预埋管或钻孔间距宜为2m~3m,其深度可根据测试需要确定。检测时应用两个径向振动式换能器分别置于平行的测孔或声测管中进行测试,可采用双孔平测、双孔斜测、扇形扫测的检测方式(图13.3.5-4)。



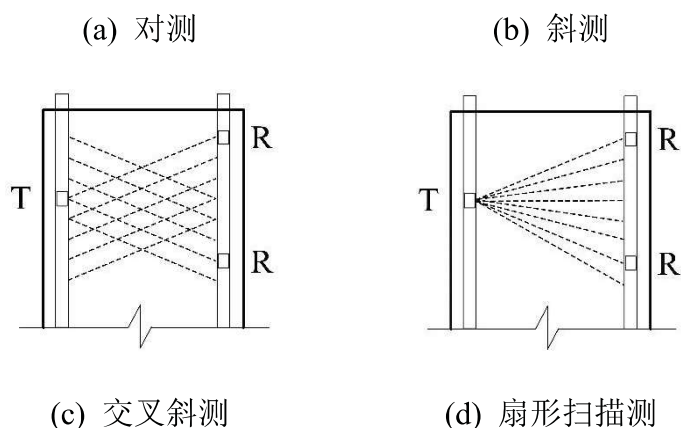


图13.3.5-4 钻孔与预埋声测管法示意图

5 当测距较大时，也可采用钻孔与湿接缝表面对测相结合的方法，钻孔中径向振动式换能器发射，构件表面的平面换能器接收。可采用对测、斜测、扇形扫描的检测方式（图 13.3.5-5）。

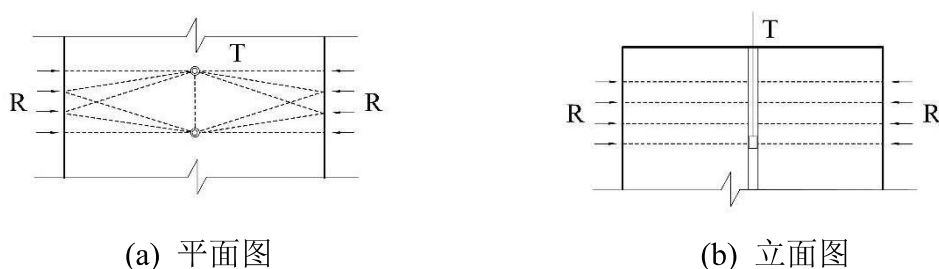


图13.3.5-5 钻孔法与表面对测结合法示意图

6 对同一测试区域在测试时应保证测试系统以及工作参数的一致性，并尽可能保证测距和测线倾斜角度的一致性。应读取并记录声时、波幅和主频值，必要时存取波形；

13.3.6 采用超声波法检测湿接缝时应符合下列规定：

- 1 在满足首波幅度测读精度的条件下，应选择较高频率的换能器；
- 2 检测时应避免超声传播路径与内部钢筋轴线平行，当无法避免时，应使测线与该钢筋的最小距离不小于超声测距的1/6；
- 3 应读取并记录声时、波幅和主频值，必要时存取波形；
- 4 测量后将非金属超声仪界面切换至分析界面，当某测点显示为异常数据点时，应及时找原因，并应进行复测校核或加密测点补测。

条文说明： 13.3.6 超声在介质中传播会出现衰减现象，衰减不仅与测距有关，也与频率有关；超声传播路径中的缺陷会导致声波产生反射、散射、绕射等现象，从而改变接收波的声时、波幅、主频，引起波形变化。本条对声学参数的

测量提出要求，目的是为了排除干扰，保证检测的精确度。声学参数测读可按下列方法操作：

1 声学参数自动测读：停止采样后即可自动读取声时、波幅、主频值。当声时自动测读光标所对应的位置与首波前沿基线弯曲的起始点有差异或者波幅自动测读光标所对应的位置与首波峰顶（或谷底）有差异时，应重新采样或改为手动游标读数；

2 声学参数手动测量：先将仪器设置为手动判读状态，停止采样后调节手动声时游标至首波前沿基线弯曲的起始位置，同时调节幅度游标使其与首波峰顶（或谷底）相切，读取声时和波幅值；再将声时光标分别调至首波及其相邻波的波谷（或波峰），读取声时差值 Δt (μs)，取 $1000/\Delta t$ 即为首波的主频 (kHz)；

3 波形记录：对于有分析价值的波形，应予以存储。

13.3.7 非金属超声波检测法，同一灌浆工艺、同类预制构件的湿接缝抽检不少于湿接缝总数的 10%，且不少于 3 个。

13.3.8 非金属超声波检测法的检测应按附录 J 记录

13.4 评定

13.4.1 湿接缝经复测校核或加密测点补测后仍存在数据异常点，则判定该湿接缝存在内部缺陷或结合面质量不佳。

13.4.2 当超声检测结果异常时，该湿接缝评定为不合格，应立即凿除重做或采取加固措施。

13.4.3 对凿除重做的湿接缝进行复测，直至无缺陷，并在检测记录表备注栏中做好复测记录。

14 冲击回波法

14.1 一般规定

14.1.1 冲击回波检测法适用于装配式桥梁构件后张预应力钢绞线孔道的压浆密实度检测。

14.1.2 检测结果存在疑义时，可采用开孔内窥的方式进行验证。

14.2 检测设备

14.2.1 检测设备应适合于冲击弹性波信号采集与分析，主要包括激振装置、拾振装置、信号采集系统、采集软件、分析软件等。

条文说明 14.2.1：检测设备图如图 15 所示。



图 15 孔道压浆密实度冲击回波法仪器设备图

14.2.2 检测设备应由计量技术机构定期校准，校准周期间隔应不大于 6 个月。

14.2.3 检测设备应能在 $0^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ 的温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。

14.2.4 激振装置应满足下列要求：

- 1 激振装置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 定位检测应根据构件厚度、激振频率特性等条件按表 14.2.4 选择激振锤。

表 14.2.4 定位检测激振锤的选取参考表

构件厚度(mm)	<200	200-400	400-600	>600
首选激振锤	D10	D17	D17	D30
次选激振锤	D17	D10	D30	D50

注：DXX 中，D 为激振锤名称代号，XX 为激振锤直径，单位 mm。

14.2.5 拾振装置应符合下列规定：

- 1 加速度传感器频带宽度宜为 100Hz~20kHz。
- 2 耦合装置宜采用带侧壁阻尼的磁性卡座或机械装置，阻尼比宜为 0.2~0.5。

14.2.6 信号采集系统应具备下列要求：

1 信号增益宜采用电荷放大器，且增益倍率宜为 1~100 倍，放大器频带应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 16bit，最大采样频率应不小于 500kHz。

14.2.7 软件应具备下列功能：

- 1 采集软件包括滤波降噪、频响补偿、图像处理、图像输出等。
- 2 分析软件包括离散傅立叶变换快速算法、最大熵算法等。

14.2.8 检测设备标定幅值非线性误差应在 $\pm 5\%$ 以内；声信号测量相对误差应在 $\pm 1\%$ 以内。

14.3 检测方法

14.3.1 采用冲击回波法检测孔道压浆密实度的准备工作应符合下列规定：

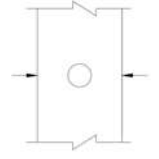
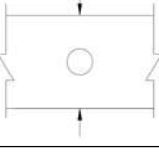
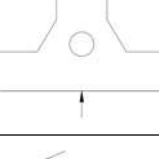
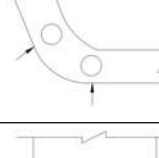
- 1 复核压浆孔道龄期及浆体强度是否满足要求，且未进行封锚。
- 2 保证测试面干燥、清洁、平整。
- 3 依据设计、施工资料或采用孔道定位设备，标识出孔道轴线；在标识的孔道轴线上布置测点，测点间距宜为 100mm~200mm。

14.3.2 冲击回波检测法应满足下列要求：

- 1 压浆已完成，压浆施工龄期达到 7d 且浆体强度达到设计强度的 80%以上；
- 2 测试环境无强磁场、大型设备施工等干扰。
- 3 受检孔道属于多排（2 个及以上）预应力孔道的仅能检测出距离测试面最近的孔道是否存在缺陷。
- 4 构件两端的锚头部位、管道最低点和最高点位置应重点检测。

14.3.3 孔道所在结构类型、布置方式以及适用的分析方法等应满足表 14.3.3 中要求。

表 14.3.3 定位测试适用的构件类型及分析方法

常见构件类型	适用分析方法	检测效果	适用结构
	IEEV/IERS	可检测出缺陷的大致类型、尺寸	箱梁腹板或其他类似的单排波纹管结构
	IEEV/IERS	可检测出缺陷的大致类型、尺寸	箱梁顶板或其他类似的单排波纹管结构
	IERS	可检测出该处是否存在缺陷	单箱多室横隔板位置或其他类似结构
	IERS	可检测出该处是否存在缺陷	箱梁底部拐角或其他类似结构
	IERS	可检测出该处是否存在缺陷	墩柱侧面或其他类似结构

备注：箭头所指方向，为可测试面方向。

条文说明：14.3.3 表中 IEEV 为冲击回波等效波速法，是根据激振弹性波信号判断孔道压浆缺陷的一种方法，用于确定缺陷具体位置和判断缺陷大致类型。适用于厚度不大于 80cm 的单排孔道结构且信号反射明显的构件。IERS 为冲击回波共振偏移法，是根据激振弹性波信号分析孔道检测面的自振周期与标定位置混凝土自振周期的差异性，来判断厚度大于 80cm 或多孔道并排的构件缺陷的定位检测分析方法。

14.3.4 现场检测应符合下列规定：

- 1 现场检测应采用逐点式进行采集，并应根据被检梁板厚度按本标准表 14.2.4 选择适宜的激振锤。
- 2 测点传感器受信面应与构件表面密切接触，激振方向应与被测构件表面垂直，激振点宜布置在孔道轴线上。

14.3.5 检测频率应符合下列规定：

1 各种构件类型，首次施工、施工工艺改变、压浆材料或设备更换时，应对最初施工的 2 个构件进行压浆密实度检测。

2 压浆密实度抽检比例，每种构件类型应不少于构件总数的 5%且不少于 3 个构件。

3 抽查的构件应对所有可检测的预应力孔道进行检测。

4 当检测的孔道不合格数超过抽检孔道总数的 10%时，应双倍抽检，并开孔复查。

14.3.6 冲击回波法的检测应按附录 K 记录。

14.4 评定

14.4.1 桥梁构件预应力孔道压浆质量评定应采用修正压浆密实度指数 D_e 和最长压浆缺陷长度（ L_{max} ）两项指标综合判定。

条文说明：14.4.1 修正压浆密实度指数 D_e 为压浆无缺陷孔道长度占检测孔道总长度的比例；最长压浆缺陷长度 L_{max} 为预应力孔道内单个压浆缺陷的最大连续长度。

14.4.2 压浆缺陷分为轻度缺陷和重度缺陷，可根据等效波速法的等效波速或缺陷长度按表 14.4.2 确定。

表 14.4.2 压浆状态缺陷分级标准

孔道材质	检测方向	等效波速	缺陷长度(m)	缺陷分级	压浆状态系数 (β_i)
金属	水平	降低 5%以下	--	良好	1
		降低 5%~10%	≤ 0.4	轻度	0.5
		降低 10%以上	--	重度	0
	竖直	降低 10%以下	--	良好	1
		降低 10%~15%	≤ 0.4	轻度	0.5
		降低 15%以上	> 0.4	重度	0
塑料	水平	降低 5%以下	--	良好	1
		降低 5%~10%	≤ 0.4	轻度	0.5
		降低 10%以上	--	重度	0
	竖直	降低 10%以下	--	良好	1

		降低 10%~15%	≤ 0.4	轻度	0.5
		降低 15%以上	> 0.4	重度	0
		降低 20%以上	--	重度	0

条文说明：表 14.4.2 中水平是指沿结构纵向或横向；竖直是指沿结构竖向。

14.4.3 检测区段压浆密实度指数 D 按下式计算。

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i \times 100\%; \quad (14.4.3)$$

式中：N—定位检测的点数；

β_i —为测点 i 的压浆状态系数（良好：1；轻度：0.5；重度：0。）

14.4.4 当定位检测仅为孔道的局部时，应采用修正压浆密实度指数 D_e 评价，并按下列计算公式（14.4.4）。

$$D_e = \frac{DL_d + D_k(L - L_d)}{L} \quad (14.4.4)$$

式中： L_d —检测区间长度；

L —孔道全长；

D_k —单条孔道各检测区段中，压浆质量较好的连续区段的压浆密实度指数，该连续区段的长度取检测区段的 1/2，按本标准公式（14.4.4）计算。

14.4.5 压浆质量等级应根据最长压浆缺陷长度（ $L_{\max}$ ）与修正压浆密实度指数 D_e 最不利状况按表 14.4.5 评定。

表 14.4.5 压浆质量等级评定标准

评定等级	最长压浆缺陷长度 $L_{\max}$	修正压浆密实度指数 D_e
I 类（优良）	$L_{\max} \leq 0.4\text{m}$	[0.95, 1.00]
II 类（合格）	$0.4\text{m} < L_{\max} < 1.5\text{m}$	[0.90, 0.95)
III 类（不合格）	$L_{\max} \geq 1.5$	[0, 0.90)

14.4.6 压浆质量出现不合格情况时，应按下列规定处理：

1 应停止预应力孔道压浆施工，并对同批次构件孔道压浆质量进行加倍检测，对最长压浆缺陷长度大于 0.4m 的区域进行补浆处理。

- 2 应重新检定压浆设备，验证其精度和可靠性；
- 3 应核查压浆材料、配比等；
- 4 应排查施工过程中存在问题，严格落实规范要求及过程监控。
- 5 应经检测确认其效果后方可继续施工。

14.4.7 压浆密实度检测参考云图，可参照以下图例：

- 1 混凝土材质均匀、板厚度一致情况下，压浆密实部位的云图可参考下图。

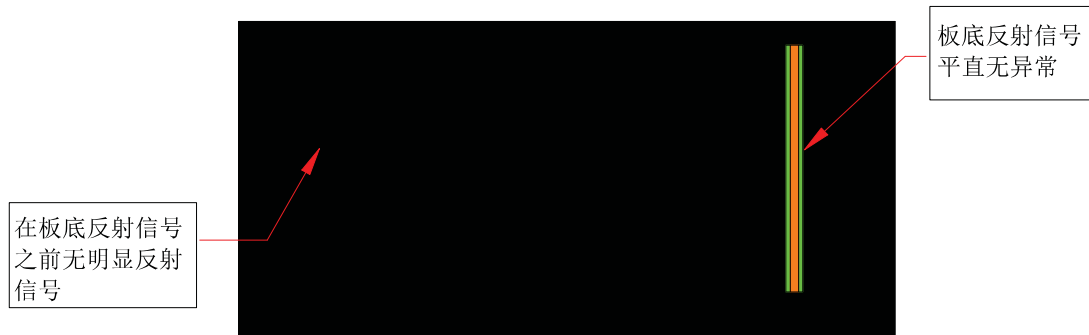


图14.4.7-1 压浆密实部位的云图示例1

- 2 混凝土板的厚度变化情况下，压浆密实部位的云图可参考下图。



图14.4.7-2 压浆密实部位的云图示例2

- 3 混凝土板的厚度一致情况下，压浆存在松散或小空洞型缺陷部位的云图可参考下图。



图14.4.7-3 压浆存在松散或小空洞型缺陷的云图示例3

4 混凝土板的厚度一致情况下，压浆存在空洞型缺陷部位的云图可参考下图。



图14.4.7-4 压浆存在空洞型缺陷的云图示例4

15 反拉法

15.1 一般规定

15.1.1 反拉法适用于后张法预应力施工装配式构件的锚下有效预应力检测。

15.1.2 反拉法宜在装配式构件后张预应力张拉施工完成后，注浆及切割预应力筋前进行。

15.2 检测设备

15.2.1 反拉法检测设备应包括反拉加载设备、力值与位移量测仪器、数据采集分析系统。

条文说明：15.2.1 检测设备图检测如下图 15.2.1 所示。

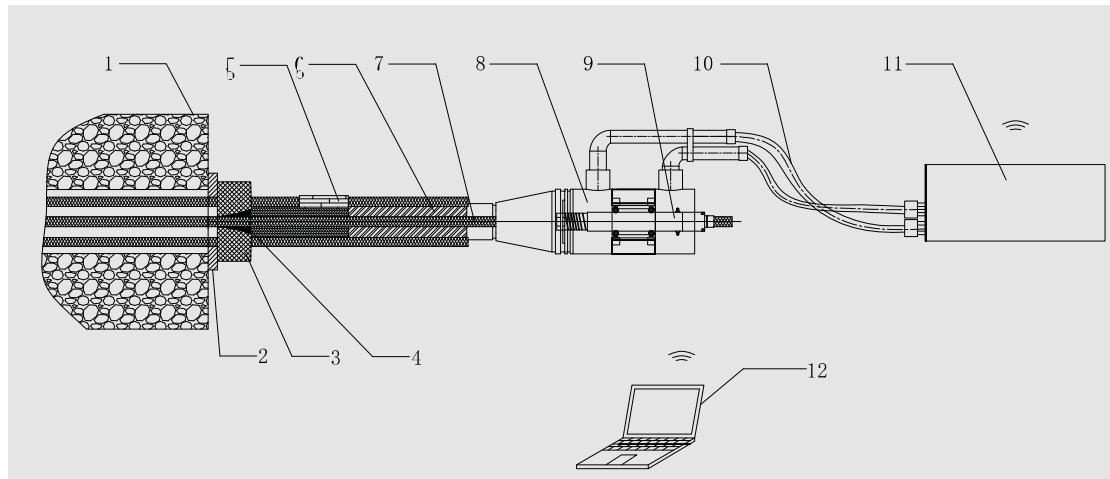


图 15.2.1 反拉法检测示意图

1—构件、2—锚垫板、3—锚具、4—夹片、5—限位器、6—套筒、7—钢绞线、8—千斤顶、9—位移传感器、10—油管、11—检测仪、12—计算机

15.2.2 反拉加载设备应符合下列规定：

1 反拉加载设备公称张拉力不小于最大加载力值的 1.3 倍，且不大于最大加载力值的 2 倍。

2 反拉加载设备具备均匀加、卸载与稳压补偿等性能。

15.2.3 量测仪器应符合下列规定：

1 测力仪器量程应为最大加载力值的 1.5~2.0 倍，示值精度 $\pm 1\%FS$ ，示值重复性不大于 1%，稳定工作温度范围为 $-10\sim+45^{\circ}C$ 。

- 2 位移测量仪器示值精度不得大于 0.1%FS, 分度值应优于或等于 0.01mm。

15.2.4 反拉加载设备和量测仪器宜采用一体化智能检测设备, 具有自动记录和保存测力值、位移量等功能。

15.2.5 检测设备的校准应符合下列规定:

- 1 校准周期宜不超过 6 个月。
- 2 经维修或期间核查结果显示力值示值误差大于 $\pm 2\%FS$ 等异常情况时, 应重新进行校准。
- 3 经校准的预应力检测仪, 在使用期间由检测人员参考校准方法对常用力值示值误差在测量点进行期间核查, 以确认其校准状态的有效性, 期间核查的周期最长不得超过 2 个月。

15.3 检测方法

15.3.1 试验检测前, 应进行安全技术交底, 做好各种危险源辨识、评估及其安全环保措施。

15.3.2 采用反拉法应符合下列规定:

- 1 张拉施工完成后 24h 内。
- 2 未切割张拉预应力筋。
- 3 孔道未压浆。

15.3.3 按顺序安装限位装置、千斤顶, 连接控制网络, 启动检测设备。

15.3.4 检测过程中, 不得改变夹片与钢束的原有咬合关系和位置, 不得出现错位。

15.3.5 现场检测加卸载及数据采集应符合下列规定:

- 1 加、卸载程序宜为: $0 \rightarrow$ 初拉应力 $\rightarrow$ 反拉峰值应力 $\rightarrow$ 有效预应力检测值 $F_e \rightarrow 0$, 初拉应力宜为 $0.1\sigma_{con} \sim 0.2\sigma_{con}$ 。
- 2 加载速率不宜大于 $0.2\sigma_{con}/\text{min}$, 卸载速率不宜大于 $0.5\sigma_{con}/\text{min}$ 。
- 3 初拉应力稳定时间不少于 5min, 当位移量稳定后, 测量并记录初始应力值及初始位移量; 否则应停止加载, 找出原因并重新试验。
- 4 反拉过程应匀速稳定, 进行实时采集数据和分析, 同时利用软件显示 F-S 曲线, 监控曲线的斜率变化。
- 5 当曲线出现拐点, 斜率发生明显变化, 据此推算出有效预应力检测值 F_e ,

同时发出警报停止加压反拉，稳压不宜少于 5min，当位移变化量小于 0.1mm/min 后，方可进行卸载。

15.3.6 检测频率应符合下列规定：

1 针对不同类型（结构形式、施工工艺和材料）最初施工的 2 个构件必检，后续生产的构件宜按 3%的比例抽检且不少于 3 个，抽查的构件应对所有纵向预应力筋的有效预应力进行检测。

2 当发现有效预应力判定类别不满足 I 类要求时，应对同类结构加倍抽检，并按规定进行处理。

15.3.7 锚下有效预应力反拉法检测记录可按附录 L 记录。

15.4 评定

15.4.1 预应力构件质量评定指标包括单根锚下有效预应力偏差、整束锚下有效预应力平均力值偏差、断面锚下有效预应力平均力值偏差、同束不均匀度和同断面不均匀度等。

15.4.2 单根锚下有效预应力偏差应按下式计算：

$$\tau_i = \frac{F_e - F_s}{F_s} \times 100 (\%) \quad (15.4.2)$$

式中： τ_i —第 i 单根锚下有效预应力偏差（%）；

F_e —单根锚下有效预应力实测值（kN）；

F_s —锚下有效预应力标准值（kN）。

15.4.3 整束锚下有效预应力平均力值偏差应按下式计算：

$$\tilde{\tau} = \frac{\overline{F_j} - F_s}{F_s} \times 100 (\%) \quad (15.4.3)$$

式中： $\tilde{\tau}$ —整束锚下有效预应力平均力值偏差（%）；

$\overline{F_j}$ —第 j 束实测锚下有效预应力平均值（kN）；

15.4.4 断面锚下有效预应力平均力值偏差应按下式计算：

$$\overline{\tau} = \frac{\overline{F} - F_s}{F_s} \times 100 (\%) \quad (15.4.4)$$

式中： $\overline{\tau}$ —断面锚下有效预应力平均力值偏差（%）；

$\overline{F}$ —断面锚下有效预应力平均值（kN）；

15.4.5 同束不均匀度应按下式计算：

$$\theta = \frac{F_{e_{\max}} - F_{e_{\min}}}{F_{e_{\max}} + F_{e_{\min}}} \times 100 (\%) \quad (15.4.5)$$

式中： θ —锚下有效预应力同束不均匀度（%）；

$Fe_{\max}$ —同束中单根预应力筋锚下有效预应力最大检测值（kN）；

$Fe_{\min}$ —同束中单根预应力筋锚下有效预应力最小检测值（kN）。

15.4.6 同断面不均匀度应按下式计算：

$$\gamma = \frac{F'e_{\max} - F'e_{\min}}{F'e_{\max} + F'e_{\min}} \times 100 (\%) \quad (15.4.6)$$

式中： γ —同断面不均匀度；

$F'e_{\max}$ —同断面中各孔道束实测锚下有效预应力平均值最大值（kN）；

$F'e_{\min}$ —同断面中各孔道束实测锚下有效预应力平均值最小值（kN）。

15.4.7 锚下有效预应力标准值应由设计单位给出。当无设计锚下有效预应力标准值时，宜采用标准试验检测得出试验值确定，或通过理论计算得出计算值。

15.4.8 锚下有效预应力标准值的试验值确定应符合下列规定：

- 1 标准试验梁应按设计图纸制作。
- 2 锚下有效预应力值可在预应力筋锚下安装测力传感器，通过标准张拉试验读取。
- 3 标准试验不少于 3 组，标准试验得出的最大试验值、最小试验值与算术平均值偏差应不大于 1%。
- 4 锚下有效预应力标准值应取标准试验的锚下有效预应力算术平均值。

15.4.9 锚下有效预应力标准值的理论计算值可采用式（15.4.9-1）计算得到：

$$F_s = [\sigma_{con} - (\sigma_{11} + \sigma_{12} + \sigma_{13})] A_{pk} / 1000 \quad (15.4.9-1)$$

式中： F_s —锚下有效预应力标准值（kN）；

σ_{con} —设计张拉控制应力（MPa）；

σ_{11} —预应力筋与管道壁之间摩擦引起的应力损失（MPa）；

σ_{12} —锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩损失（MPa）；

σ_{13} —混凝土的弹性压缩损失（MPa）；

A_{pk} —预应力筋的公称截面面积（mm²）。

15.4.10 张拉后的锚下有效预应力应满足表 15.4.10 的要求。

表 15.4.10 锚下有效预应力大小控制要求

有效预应力偏差 (%)			不均匀度 (%)		单点极值偏差 (%)
单根 (τ_i)	整束 ($\bar{\tau}$)	断面 ($\bar{\tau}$)	同束 (θ)	断面 (γ)	
± 6	± 5	± 4	5	2	± 9

15.4.11 检测结果对照表 15.4.11 进行判定，确定判定类别。

表 15.4.11 后张预应力张拉质量判定标准

判定类别	检测结果
I 类	各指标均满足控制要求。
II 类	不均匀度不满足，其余指标均满足。
III 类	力值结果出现下列 4 种不满足控制要求之一的： ①单根力值合格率低于 90%； ②单根力值超出极值要求； ③整束平均力值超出控制要求； ④断面平均力值超出控制要求。
IV 类	力值结果不满足控制要求（同 III 类）且同断面不均匀度都不满足控制要求。

15.4.12 当判定类别不满足 I 类要求时，应采取措施进行处理，处理措施应符合下列规定：

1 预应力张拉质量评定为 II 类：应核查穿束、张拉、装配工艺等是否符合设计要求，组织相关技术人员与班组再次进行技术培训交底，以便保证规范施工。

2 预应力张拉质量评定为 III 类：由设计确认，在保证结构安全的前提下，在 24h 内对涉及的整束力筋作退索处理，重新穿束张拉。

3 预应力张拉质量评定为 IV 类：应停止张拉施工，核查张拉工艺并重新检定张拉设备，验证其精度和可靠性；整改后，后续采用相同施工工艺生产的前 2 个构件必须进行检测，通过检测确认其效果后方可继续施工。

15.4.13 退索处理中退出的钢绞线和夹片应报废处理，严禁重复使用。

16 射钉法

16.1 一般规定

16.1.1 射钉法适用于 80MPa~160MPa 超高性能混凝土现场检测抗压强度。

16.1.2 射钉法检测结果存在疑问，可采用局部破损法进行验证，破损部位、破损大小需要评估后，方可采用。

16.2 检测设备

16.2.1 采用射钉法检测时，检测设备包括射钉和射钉枪。

16.2.2 射钉应符合下列规定：

- 1 射钉为专用射钉，长度 27mm，直径 3mm，且同一批次射钉长度和直径偏差应不大于 0.2%；
- 2 高强度 65#钢，表面应进行热处理硬化。

16.2.3 射钉枪应符合下列规定：

- 1 采用专用射钉枪，射钉枪的能量宜为 80J~100J；
- 2 射钉枪应定期进行校准，校准周期应为一年；

16.3 检测方法

16.3.1 采用射钉法现场检测超高性能混凝土抗压强度应进行下列准备工作：

- 1 检查设备和相关检测系统是否正常使用；
- 2 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，经检测后需补灌浆的结构构件部位应有补浆前后的检测结果。

16.3.2 当首次启动射钉装置时，应按下列方式确定标准状态：

- 1 将一块 250mm×250mm×30mm 铝合金板平稳置于坚实的地面上。铝合金板面积不小于 0.05 m²，厚度 30mm 以上且不小于射钉的最大射入深度。
- 2 随机选取 6 枚射钉，在铝合金板上射钉 6 次，射钉间距不小于 30mm，射钉距铝合金板边界不得小于 20mm。
- 3 量取各射钉外露长度 L_i （准确至 0.1mm）

4 按下列公式计算平均外露长度 L_0 、外露长度标准差 S 及变异系数 C_v ：

$$L_0 = \frac{\sum_{i=1}^6 L_i}{6} \quad (16.3.2-1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (L_i - L_0)^2}{6}} \quad (16.3.2-2)$$

$$C_v = \frac{S}{L_0} \quad (16.3.2-3)$$

式中： L_0 ——平均外露长度（mm）；

S ——外露长度标准差（mm）；

C_v ——变异系数。

5 计算出变异系数 C_v 不大于 0.02 时，表示该射钉装置的重复性能合格，将所获得的外露长度平均值 L_0 定为该装置的标准外露值；变异系数 C_v 大于 0.02 时，表示射钉装置的重复性能不合格。

16.3.3 属于以下情况之一者均应复验射钉装置的标准外露值。

- 1 启用新购的同型号射钉。
- 2 进行工程检测或试验前。
- 3 累计射钉达 100 次时。

16.3.4 复验射钉装置的标准外露值应符合下列规定：

- 1 每次在铝合金板上复核标准外露长度时，射钉数应不小于 3 次。
- 2 当该次射钉外露长度平均值 L 满足公式（16.3.2-4）时可认为该装置处于标准状态。

$$\left| \frac{L_0 - L}{L_0} \right| \leq 4\% \quad (16.3.2-4)$$

式中： L_0 ——标准外露值（mm）；

L ——复验时平均外露值（mm）。

- 3 若不满足公式（16.3.2-4），则应更换相关设备或配件，再重新检验。

16.3.5 超高性能混凝土强度与射钉外露长度关系的标定应按下列步骤进行：

1 制作一批同条件的试块，尺寸为边长 100mm 的立方体，采用同条件养护；

2 选取同一试块的顶、底面和两个侧面 4 个测点作为一试验组，将试块固定，将射钉枪对准超高性能混凝土测试面射击点，射钉枪紧压在测试面上击发，把射钉射入超高性能混凝土。嵌人不牢固的射钉不得作为试验结果，应在附近补充射钉。

3 在射钉上套入测量基准板，以高度游标卡尺测量射钉外露尾端至基准板面的垂直距离，并作记录。计算外露长度值时应加上基准板厚度。如果射钉周围有局部产生鼓起，应处理平整后再测量。

4 检查每一试验组的 4 个射钉外露长度值的极差是否满足容许极差，超出规定时，应将 4 个测值平均，剔除离平均值最远的那个测值，若所剩测值仍不满足，再按以上方法进行剔除。所剩测值满足极差的要求且不少于 3 个；以满足极差要求测值的平均值作为该试验组的外露长度值 L_i ，求的该试验组射钉的贯入深度；采用最小二乘法原理回归出曲线的方程式，回归线的精度应不大于两倍的剩余标准差。

5 建立的关系曲线仅限于标定所使用的射钉装置，即一台射钉枪、一种型号射钉对应一条标定曲线。当被测构件与建立测强曲线的超高性能混凝土强度、钢纤维和干湿状态等因素有较大差异时，应另建立条件相同的测强曲线，或采用在测点处钻取芯样进行强度试验的方法进行修正。

16.3.5 测试应遵循下列安全规定：

1 被测超高性能混凝土龄期不宜小于 7d，所测结构的厚度不得小于 60mm。

2 被测构件的测区数量及布置按测试目的和构件情况而定，但测区数不得少于 3 个。每个测区布置 3 个测点，测点位置宜布置在边长为 200mm 的等边三角形内。射钉之间距离不得小于 100mm，射钉点与构件边缘相距不得小于 100mm，测点表面必须平整。

3 如果每个测区 3 个测值的极差超出 2mm，应当补射第四个射钉，剔除离 4 个测值平均值最大的那个数据，若其余 3 个测值仍不能满足要求；再发射第五个

射钉按上述方法进行处理。如果仍不满足要求，应重新选择测区进行测试。

16.3.6 检测过程的安全应符合下列规定：

- 1 操作人员应经过专门上岗培训；
- 2 操作前应首先检查射钉枪是否有保险装置；
- 3 发射时必须安装保护罩；
- 4 不得将射钉枪管口朝向人体，以防意外；
- 5 构件表面不平整，保持罩不能贴紧表面时，不得匆忙发射，应当将表面处理平整，再发射；
- 6 发射时，非操作人员不得靠近射击点。

16.3.7 抽检的构件数量不少于 10%，且不少于 6 个，抽样应具有代表性。

16.3.8 射钉法的检测应按附录 M 记录。

16.4 评定

16.4.1 采用射钉法检测超高性能混凝土抗压强度时，判定准则应符合下列规定：

- 1 将满足极差规定的贯入深度平均值作为该测区的试验结果，按下式计算出各测区的超高性能混凝土强度值（图 16.4.1）。

$$y = ae^{bx} \quad (16.4.1)$$

式中：

y ——超高性能混凝土的抗压强度推定值（MPa），精确至 0.1MPa；

a ——系数取值，宜为 1570.5；

b ——系数取值，宜为-0.1493；

x ——表示射钉贯入深度，精确至 0.02mm；

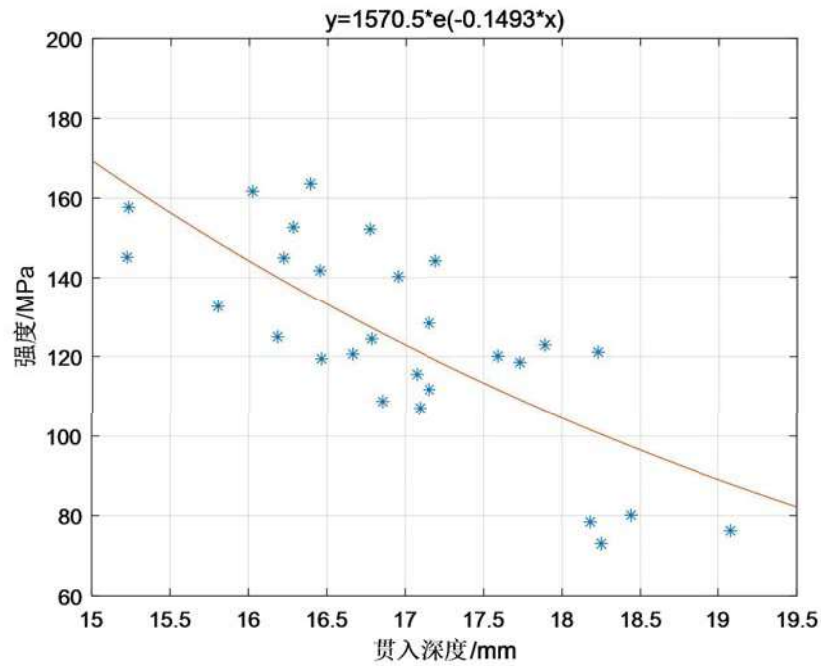


图 16.4.1 超高性能混凝土抗压强度与贯入深度的关系图

2 统计计算被测构件的平均强度，用以推定该构件现有强度。当测区数量较多时，可计算强度标准差和变异系数，以此评估构件强度均匀性。

16.4.2 现场检测超高性能混凝土强度低于设计强度，应判定为不合格；

17 图像识别法

17.1 一般规定

17.1.1 图像识别法适用于超高性能混凝土纤维分布的检测。

17.1.2 为了考虑纤维分布对超高性能混凝土抗拉性能的影响，引入纤维取向系数 K 的检测。

17.2 检测设备

17.2.1 试验采用光学图像识别原理，通过软件识别对比不同试件不同方向的纤维数量来确定纤维取向系数 K 。

17.2.2 试验所需仪器设备应符合下列规定：

- 1 拍摄宜选用工业级摄像头；
- 2 拍摄宜用补光灯辅助拍摄；
- 3 试验宜采用固定摄像头和补光灯；
- 4 试件切割面应与摄像成像平面平行；
- 5 摄像区域应包含完整试件剖面；
- 6 识别软件对试件切割面图像中的纤维数量识别准确率不应小于 95%。
- 7 摄像头像素不宜低于 500 万。

17.3 检测方法

17.3.1 采用图像识别法检测超高性能混凝土纤维数量，应进行下列准备工作：

- 1 检测设备是否正常。
- 2 应记录工程名称、套筒所在构件编号、套筒具体位置、检测人员信息等，经检测后需补灌浆的结构构件部位应有补浆前后的检测结果。

17.3.2 检测试样准备应符合下列规定：

1 从实际结构中进行取芯，标准取芯形状为直径 50mm 的圆柱体。切割后获得具有 6 个切割面的边长 35mm 的立方体试件。薄板结构可切割为对面为边长 35mm 正方形的具有 4 个切割面的长方体。实际结构取芯试件的切割面总数量记为 m ；

2 采用与结构浇筑同批次的材料制作的立方体试件，模具现浇试件为边长 70mm 的立方体。切割后获得具有 6 个切割面的边长 35mm 的立方体试件。每种

类型的试件数量为 1 个。

17.3.3 确定纤维取向系数 K 应按下列步骤进行：

- 1 对每个试件所有切割面进行摄像，获得各切割面的图像；
- 2 对切割面图像进行纤维识别处理。确定各切割面纤维的数量，分别记为实际结构取芯试件各切割面的纤维数量 $N_1, N_2, N_3, \dots, N_m$ 和模具现浇试件各切割面的纤维数量 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_6$ 。

3 纤维取向系数 K 的计算公式为：

$$\bar{N}_i = \frac{N_i}{A_i} (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (17.3.3-1)$$

$$\bar{n}_i = \frac{n_i}{a_i} (i = 1, 2, 3, \dots, 6) \quad (17.3.3-2)$$

$$K_{global} = \frac{\sum_{i=1}^6 \bar{n}_i / 6}{\sum_{i=1}^m \bar{N}_i / m} \quad (17.3.3-3)$$

$$K_{local} = \frac{\sum_{i=1}^6 \bar{n}_i / 6}{\min(N_1, N_2, N_3, \dots, N_m)} \quad (17.3.3-4)$$

式中： $\bar{N}_i$ ——实际结构取芯试件 i 个切割面上单位面积的纤维数量；

A_i ——实际结构取芯试件第 i 个切割面的面积；

$\bar{n}_i$ ——模具现浇试件第 i 个切割面上单位面积的纤维数量；

a_i ——模具现浇试件第 i 个切割面的面积；

K_{global} ——整体纤维取向系数；

K_{local} ——局部纤维取向系数。

17.3.4 抽检的每种类型的试件数量不少于 1 个，并应具有代表性。

17.3.5 图像识别法的检测应按附录 P 记录。

17.4 评定

17.4.1 图像识别法应测试两个面，测试过程中，将试件转动 90°后再次拍摄，可视为独立试验。

1 本检测应进行两次试验，两次试验值的偏差应小于两次试验平均值的 5%，否则结果无效，应重新检测；

2 取两次纤维取向系数试验值的平均值作为最终检测结果。

17.4.2 当整体纤维取向系数不大于 1.25，且局部纤维取向系数不大于 1.75，判定为合格，否则，判定为不合格。

条文说明 17.4.2: 若设计资料有相关规则，则以设计资料为准。

18 钢结构连接检测的方法

18.1 一般规定

18.1.1 钢结构连接方式包括焊接、栓接和铆接，连接检测可分为超声波、射线、磁粉、渗透、相控阵、抗滑移系数、扭矩系数等方法

18.1.2 钢结构连接检测时，应使用有效计量器具，施工单位和监理单位应统一计量标准。检测设备和器材应附有产品质量合格证明文件，并应符合钢结构焊接检测方法标准的规定。

18.1.3 钢结构焊接无损检测人员应符合《无损检测人员资格鉴定与认证》GB/T9445 的要求。

18.1.4 在钢箱梁等狭小空间内检测时，应采取有害气体检测及通风换气的安全措施。

条文说明 18.1.4: 检测人员在进入封闭空间前，应通风并进行可燃气体、有害气体和氧气含量等测试，确认空气符合要求后方可进入检测。在钢箱梁等狭小空间内检测时，应保持通风、防止可燃、有害气体超标。

18.2 超声波法

18.2.1 超声波法适用于焊缝内部缺陷检测。

条文说明 18.2.1: 超声波检测（Ultrasonic Testing, UT），可用于检测焊缝内部埋藏缺陷和焊缝内表面裂纹、夹渣、未熔合、未焊透等缺陷及厚度测定。该方法具有灵敏度高、指向性好、穿透力强、检测速度快、成本低等优点，且超声波探伤仪体积小、重量轻，便于携带和操作，对人体没有危害。该方法无法检测表面和近表面的延伸方向平行于表面的缺陷。

18.2.2 超声波检测采用的超声检测仪、探头、试块应符合现行《焊缝无损检测 超声检测技术、检测等级和评定》GB/T 11345 的规定。

18.2.3 超声波检测方法、检测等级和检测范围应符合现行《焊缝无损检测 超声检测技术、检测等级和评定》GB/T 11345、《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651-2022 第 7.3.6 条～7.3.12 条或《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211-2015 第 4.9.14 条的规定。声束扫查应覆盖检测范围内焊缝和焊缝两侧至少 10mm 宽母材或热影响区宽度（取二者较大值）的内部区域。

18.2.4 超声波检测的质量等级和验收等级应符合现行《钢的弧焊接头缺陷质量分级指南》GB/T 19418 和《焊缝无损检测 超声检测验收等级》GB/T 29712 的规定，同时应符合《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651-2022 第 7.3.6 条～7.3.12 条和《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211-2015 第 4.9.14 条的规定。

18.3 射线法

18.3.1 射线法适用于焊缝内部缺陷检测。

条文说明 18.3.1: 射线检测（Radiology Testing, RT），宜用于检测焊缝和铸件中存在的气孔、密集气孔、夹渣和未熔合、未焊透等缺陷。射线检测结果有直观纪录，可长期保存。该方法对体积型缺陷检出率高，对面积型缺陷，如果照相角度不适当，容易漏检。另外，该方法不适宜检测较厚的工件，且检测成本高、速度慢，同时对人体有害，需做特殊防护。

18.3.2 射线检测采用的设备应符合现行《焊缝无损检测 射线检测第 1 部分：X 和伽玛射线的胶片技术》GB/T 3323.1 的规定。

18.3.3 射线检测方法、检测等级和检测范围应符合现行《焊缝无损检测 射线检测第 1 部分：X 和伽玛射线的胶片技术》GB/T 3323.1、《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651-2022 第 7.3.6 条～7.3.12 条或《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211-2015 第 4.9.14 条的规定。

18.3.4 射线检测的质量等级和验收等级应符合现行《钢的弧焊接头缺陷质量分级指南》GB/T 19418 和《焊缝无损检测 射线检测验收等级第 1 部分：钢、镍、钛及其合金》GB/T 37910.1 的规定，同时应符合《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651-2022 第 7.3.6 条～7.3.12 条和《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211-2015 第 4.9.14 条的规定。

18.4 磁粉法

18.4.1 磁粉法适用于焊缝（包括热影响区）表面及近表面缺欠的检测。

条文说明 18.4.1：磁粉检测（Magnetic Testing, MT），是基于缺陷处漏磁场与磁粉相互作用而显示铁磁性材料表面和近表面缺陷的无损检测方法，用于检测铁磁性材料表面及近表面裂纹、折叠、夹层、夹渣等缺陷。该方法具有检测成本低、速度快、检测灵敏度高等优点。该方法只适用于铁磁性材料，工件的形状和尺寸会影响探伤效果。

18.4.2 磁粉检测采用的设备应符合现行《焊缝无损检测 磁粉检测》GB/T 26951的规定。检测设备宜采用电磁轭、带触头的通电设备、电磁感应设备（近体导体或穿过导体或线圈）等交流磁化设备，磁化设备应符合现行《无损检测 磁粉检测 第3部分：设备》GB/T 15822.3的规定。检测介质可采用干粉或磁悬液，并应符合现行《无损检测 磁粉检测 第2部分：检测介质》GB/T 15822.2的规定。

18.4.3 磁粉检测方法和检测范围应符合现行《焊缝无损检测 磁粉检测》GB/T 26951、《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651-2022 第7.3.6条～7.3.12条或《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211-2015 第4.9.14条的规定。磁粉检测前应进行系统灵敏度综合性能测试，宜选用高、中灵敏度试片。焊缝应在最大偏差角为 30° 的两个近似互相垂直的方向上进行磁化。有效检测区域应覆盖检测范围内焊缝及其热影响区。

18.4.4 磁粉检测的质量等级和验收等级应符合现行《钢的弧焊接头缺陷质量分级指南》GB/T 19418和《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测验收等级》GB/T 26952的规定，同时应符合《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651-2022 第7.3.6条～7.3.12条和《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211-2015 第4.9.14条的规定。

18.5 渗透法

18.5.1 渗透法适用于焊缝（包括热影响区）表面缺欠的检测。

条文说明 18.5.1：渗透检测（Penetrant Test, PT），可有效用于除疏松多孔性材料外的任何种类的材料，如钢铁、有色金属、陶瓷和塑料等材料的表面开口缺陷。该方法操作简单、成本低，缺陷显示直观，检测灵敏度高，可检测的材料

和缺陷范围广。

18.5.2 渗透检测设备包括现场检测设备和固定设备，所选用的设备应符合现行《无损检测 渗透检测 第四部分：设备》GB/T 18851.4 的规定。

18.5.3 渗透检测方法应符合现行《无损检测 渗透检测》GB/T 18851 的规定。

18.5.4 渗透检测的验收等级应符合现行《焊缝无损检测 焊缝渗透检测验收等级》GB/T 26953 的规定，验收等级不应低于 2X 级。

18.6 相控阵法

18.6.1 相控阵法适用于钢结构 U 肋与面板 T 型接头单面非熔透焊、双面非熔透焊焊缝熔深和内部非熔深缺陷的相控阵超声检测。

条文说明 18.6.1: 随着计算机技术的发展，应用计算机辅助超声波成像技术，可直观地了解缺陷在工作中的存在状态。相控阵超声检测技术容易检出各种走向、不同位置的缺陷，缺陷检出率高，定量、定位精度高，主要应用于对接焊缝、T 型对接焊缝、异型构件的焊缝。相控阵超声检测与超声波检测方法对比具有以下特点；①采用电子方法控制声束聚焦和扫描，检测速度成倍提高；②具有良好的声束可达性，能对复杂几何形状的工件进行探查；③通过优化控制焦点尺寸、焦区深度和声束方向，可使检测分辨力、信噪 灵敏度等性能得到提高；④检测过程可同步显示 A、B、S、C、D、P、3D 扫描数据，数据以电子文件格式存储，操作灵活简便。

18.6.2 相控阵超声检测设备相控阵超声仪、相控阵探头、软件及仪器校准要求应符合现行国家标准《无损检测超声检测相控阵超声检测方法》GB/T 32563 的规定。相控阵探头尚应符合下列规定：

- 1 线阵探头中心频率范围可采用 4MHz~10MHz，阵元数不少于 16 个。
- 2 使用折射楔块辅助声束调向，楔块自然入射角的选定范围宜为 0° ~60° 。
- 3 超声波相控阵探头应在首次使用前进行有效晶片评估。灵敏度校准过程增

益异常或检测过程中扇形扫描异常时，应进行有效晶片评估。当晶片失效数量达到所使用晶片数量的 10%或相邻两个晶片同时失效时，应更换探头。相控阵探头有效晶片评估方法应符合《无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验》GB/T29302 的规定。

18.6.3 相控阵超声检测方法应符合现行《无损检测超声检测相控阵超声检测方法》GB/T 32563 的规定。检测技术等级不应低于 B 级。检测前应编制相控阵超声检测工艺规程，并进行工艺验证试验，以验证拟采用检测工艺的有效性。工艺验证试验结果应确保能够清楚地显示和测量模拟试块中的缺陷或反射体。

18.6.4 相控阵超声检测的验收等级不应低于相对应焊缝超声波检测验收等级。

条文说明 18.6.4: 由于目前相控阵超声检测无相应的国家和行业验收标准，为促进相控阵超声检测方法在钢结构检测中的发展，可以将其作为一种辅助的技术手段进行无损检测，验收标准可参照相关行业的标准和相对应超声波检测验收标准。

18.7 抗滑移系数法

18.7.1 抗滑移系数法适用于检测高强度螺栓连接的摩擦面抗滑移系数，高强度环槽铆钉连接的摩擦面抗滑移系数检测可参考执行。

条文说明 18.7.1: 钢结构桥梁制作和安装单位应分别进行高强度螺栓连接摩擦面（含涂层摩擦面）的抗滑移系数试验和复验，现场处理的构件摩擦面应单独进行摩擦面抗滑移系数试验。

18.7.2 试验用的试验机误差应在 1%以内。试验用的贴有电阻片的高强度螺栓、压力传感器和电阻应变仪应在试验前采用试验机进行标定，其误差定在 2%以内。

18.7.3 抗滑移系数试验应按本标准附录 Q 的规定执行。

条文说明 18.7.3: 本标准附录 Q 规定高强度螺栓抗滑移系数试验方法主要参考《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205-2020 附录 B.0.7 和《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651-2022 附录 G。

18.7.4 试验所得每批试件的抗滑移系数最小值不应小于设计规定值。

18.8 扭矩系数法

18.8.1 扭矩系数法适用于检测高强度螺栓连接副的扭矩系数。

条文说明 18.8.1: 施工现场应在待安装的螺栓批中随机抽取连接副进行扭矩系数复验。

18.8.2 螺栓预拉力应采用轴力计测定，轴力计误差不得大于测定螺栓预拉力的 2%，轴力计的最小示值应在 1kN 以下。施拧扭矩应采用扭矩扳手，其准确度级别不应低于 JJG707-2003 中规定的 2 级。

18.8.3 扭矩系数检测应符合现行《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 的规定。

18.8.4 检测结果应符合现行《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 的规定。扭矩系数平均值及标准偏差应符合表 18.8.4 的规定。

表 18.8.4 高强度大六角头螺栓连接副扭矩系数平均值和标准偏差

连接副表面状态	扭矩系数平均值	扭矩系数标准偏差
符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 的规定	0.11~0.15	≤0.0100

附录 B 套筒灌浆饱满度阻尼传感器法记录表

委托编号：共 页 第 页

工程名称								
执行标准								
仪器设备/型号								
序号	构件类型/编号	构件位置	套筒编号	灌浆前 传感器读数	灌浆后 传感器读数	评定 等级	检测 结果	备注
检测：			复核：			检测日期：		

附录 C 套筒灌浆饱满度芯片法记录表

工程名称				
执行标准		仪器型号/编号		
浇筑日期		检测日期		
序号	构件编号	套筒编号	信号强度(dBm)	备注

检测人员：

审核人员：

检测日期：

附录 D 套筒灌浆饱满度电阻率法记录表

委托编号：共 页 第 页

工程名称							
执行标准							
仪器设备/型号							
序号	构件类型/编号	构件位置	套筒编号	检测电阻值	评定等级	检测结果	备注
检测：			复核：		检测日期：		

附录 E 套筒灌浆饱满度电容法检测记录表

委托编号：共 页 第 页

工程名称							
执行标准							
仪器设备/型号							
序号	构件类型/编号	构件位置	套筒编号	检测电容值	评定等级	检测结果	备注
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
检测：			复核：		检测日期：		

附录 F 套筒灌浆饱满度压电法记录表

委托编号：共 页 第 页

工程名称									
执行标准									
仪器设备/型号									
序号	构件类型 /编号	构件位置	套筒编号	灌浆 前 电压 值	灌浆后 电压值	电压比 值	评定等级	检测结 果	备注
检测：			复核：			检测日期：			

附录 I 套筒灌浆饱满度阵列式超声成像法记录表

工程名称				工程地点			
执行标准				仪器型号/编号			
浇筑日期				检测日期			
序号	构件编号		套筒编号		检测数据结果		备注

检测人员：

审核人员：

检测日期：

附录 J 非金属超声波检测记录表

委托编号： 共 页 / 第 页

工程名称						检测时间			
检测方法						执行标准			
仪器型号						换能器规格			
检测频率						检测环境			
序号	构件 编号	测点 编号	声时 (μs)	波幅 (dB)	主频 (kHz)	测距 (mm)	声速 (m/s)	是否 异常	备注
1									
2									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
检测 结论	(应包含测位位置、外观质量描述以及缺陷信息)								
编制： 年 月 日					审核： 年 月 日				

附录 K 冲击回波法检测记录表

检测单位名称：

记录编号：

建设项目					
桥名/部件/构件号					
样品信息		结构类型			
张拉时间		检测时间		检测条件	
检测方法		张拉系数		标定波速	
检测方向		检测依据		判定依据	
仪器设备及编号					
注浆时间		波纹管类型/尺寸			
孔道编号	起始测点距端部 距离 (m)	终止测点距端部 距离 (m)	检测长度 (m)	存储文件名	备注
孔道位置 示意图					
备注：					

检测： 记录： 复核： 日期： 年 月 日

附录 L 反拉法检测记录表

检测单位名称：记录编号：

建设项目											
桥名/部件/构件号											
样品信息		结构类型						锚具夹片型号			
张拉时间		检测时间						检测条件			
检测依据						判定依据					
仪器设备及编号						锚口摩阻					
设计张拉控制系数						单根允许偏差（kN）					
锚外张拉控制力值（kN）						单根锚下预应力标准值（kN）					
孔号		检测结果（kN）									
	索号										
	实测值										
	索号										
	实测值										
	索号										
	实测值										
	索号										
	实测值										
	索号										
	实测值										
	索号										
	实测值										
	索号										
	实测值										
备注：											

检测：记录：复核：日期：年 月 日

附录 M 射钉法原始记录表

委托编号：共 页 / 第 页

工程名称				
执行标准		仪器型号/编号		
浇筑日期		检测日期		
构件编号				
测区	贯入深度值/mm	贯入深度平均值/mm	抗压强度值/MPa	抗压强度平均值/MPa
测区 1				
测区 2				
测区 3				
构件编号				
测区	贯入深度值/mm	贯入深度平均值/mm	抗压强度值/MPa	抗压强度平均值/MPa
测区 1				
测区 2				
测区 3				

检测人员：审核人员：

附录 N 射钉法装置标定记录表

设备名称/编号				检测日期	
铝板尺寸/mm				标定原因	
序号	射钉外露长度 /mm	平均外露长度 /mm	外露长度标 准差/mm	变异系数	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
备注：首次启用射钉装置时测试 6 个射钉；启用新购同型号射钉、工程试验检测前和累计射钉 100 次均采用 3 个射钉验证。					

检测人员：

审核人员：

附录 P 图像识别法原始记录表

委托编号：共 页 / 第 页

工程名称					
执行标准			仪器型号/编号		
浇筑日期			检测日期		
构件编号					
试件	序号	单位面积的 纤维数量	切割面的面积	整体纤维取向系数 K _{global}	局部纤维取向系数 K _{local}
现浇模具 切割	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
结构取芯 切割	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				

检测人员：审核人员：

附录 Q 高强度螺栓连接抗滑移系数试验方法

Q.0.1 本方法适用于采用高强度螺栓连接的摩擦面抗滑移系数试验，采用高强度环槽铆钉连接的摩擦面抗滑移系数试验可参考执行。

Q.0.2 制造厂和安装单位应分别以钢结构制造批为单位进行抗滑移系数试验。制造批可按单位工程划分规定的工程量每 2000t 为一批，不足 2000t 的可视为一批；分节段安装的构件应以每 10 各节段为一批，不足 10 个节段时视为一批。选用两种及两种以上表面处理工艺时，每种处理工艺应单独检验。每一批应制作 6 组试件，其中 3 组用于出厂试验，3 组用于工地复验。

Q.0.3 试件应符合下列规定：

- 1 抗滑移系数试验应采用双摩擦面的两栓拼接的拉力试件（图 Q.0.3）。
- 2 试件应由钢结构制造厂加工，试件与所代表的拼接桥梁钢结构应为统一材质、同批制作、采用同一摩擦面处理工艺和具有相同的表面状态（含有涂层），在同一环境条件下存放，并应用同批同一性能等级的高强度螺栓连接副。
- 3 试件的钢板厚度 t_1 、 t_2 应为所代表的拼接桥梁钢结构中有代表性部件的钢板厚度，同时应考虑在摩擦面滑移之前，试件钢板的净截面始终处于弹性状态；试件的宽度 b 应按表 K.0.3 确定。
- 4 试件板面应平整、无油污，孔和板的边缘无飞边、毛刺。

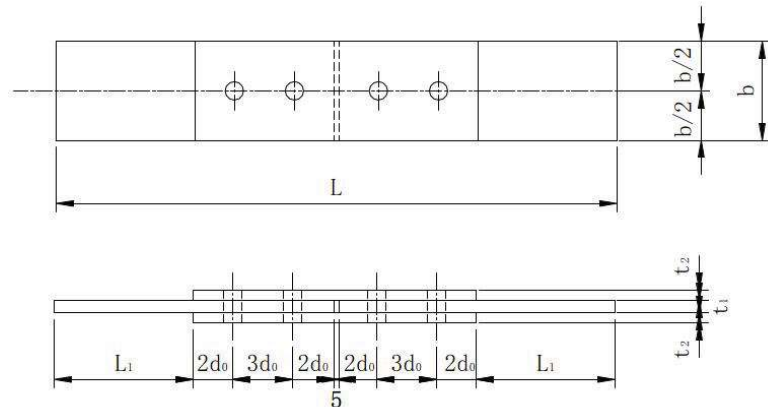


图 Q.0.3 抗滑移系数拼接时间的形式和尺寸（尺寸单位：mm）

L 为试件总长度； L_1 为试件机夹紧长度； $2t_2 \geq t_1$

表 Q.0.3 试件宽度

螺栓直径（mm）	16	20	22	24	27	30
----------	----	----	----	----	----	----

板宽 b (mm)	100	100	105	110	120	120
-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Q.0.4 试验用的试验机误差应在 1%以内。试验用的贴有电阻片的高强度螺栓、压力传感器和电阻应变仪应在试验前采用试验机进行标定,其误差定在 2%以内。

Q.0.5 试件安装在试验机上,应使试件的轴线与试验机夹具中心线对中。

Q.0.6 紧固高强度螺栓应分初拧、终拧。初拧应达到螺栓预拉力标准值的 50%左右。终拧后,每个螺栓的预拉力值应在 0.95P~1.05P (P 为高强度螺栓设计预拉力值) 范围内。

Q.0.7 加荷时,应先加 10%的抗滑移设计荷载值,停 1min 后,再平稳加荷,加荷速度为 3kN/s~3kN/s,直至滑动破坏,测得滑动荷载。在试验中发生以下情况之一时,认为达到滑动荷载:

- 1 试验机发生回针现象;
- 2 X-Y 记录仪中变形发生突变;
- 3 试件侧面划线发生错动。

Q.0.8 试验抗滑移系数 μ 应按式 (Q.0.7) 计算,取 2 位有效数字:

$$\mu = \frac{N_v}{n_f \cdot \sum_{i=1}^m P_i} \quad (\text{Q.0.7})$$

式中: N_v ——由试验测得的滑动荷载 (kN, 取 3 位有效数字);

n_f ——摩擦面面数,取 $n_f=2$;

$\sum_{i=1}^m P_i$ ——试件滑移一侧高强度螺栓预拉力实测值之和 (kN, 取 3 位有效数字)。

m ——试件一侧螺栓数量,取 $m=2$ 。

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”或“可”，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”。

引用标准名录

- 1 《钢结构设计标准》GB 50017
- 2 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
- 3 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 4 《钢结构用高强大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231
- 5 《焊缝无损检测 射线检测第 1 部分: X 和伽玛射线的胶片技术》GB/T 3323.1
- 6 《无损检测人员资格鉴定与认证》GB/T 9445
- 7 《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345
- 8 《无损检测 磁粉检测 第 2 部分: 检测介质》GB/T 15822.2
- 9 《无损检测 磁粉检测 第 3 部分: 设备》GB/T 15822.3
- 10 《无损检测 渗透检测》GB/T 18851
- 11 《无损检测 渗透检测 第四部分: 设备》GB/T 18851.4
- 12 《钢的弧焊接头缺陷质量分级指南》GB/T 19418
- 13 《焊缝无损检测 磁粉检测》GB/T 26951
- 14 《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测验收等级》GB/T 26952
- 15 《焊缝无损检测 焊缝渗透检测 验收等级》GB/T 26953
- 16 《无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验》GB/T 29302
- 17 《焊缝无损检测 超声检测验收等级》GB/T 29712
- 18 《无损检测超声检测相控阵超声检测方法》GB/T 32563
- 19 《焊缝无损检测 射线检测验收等级第 1 部分: 钢、镍、钛及其合金》GB/T 37910.1
- 20 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 21 《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784
- 22 《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18
- 23 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107
- 24 《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355
- 25 《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408
- 26 《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651
- 27 《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211

28 《装配式混凝土结构套筒灌浆质量检测技术规程》T/CECS 683

制定说明

本标准制定过程中，编制组针对装配式桥梁构件连接检测与评估的方法进行了广泛深入的调查研究，总结了我国配式桥梁构件连接检测领域的实践经验，同时参考了国内外相关标准，界定了每种检测手段的检测设备、检测方法，涵盖了每种检测方法对应的评定内容，进一步系统性地完善了装配式桥梁检测手段，本标准的编制对我国装配式桥梁的检测与评估具有重要指导意义。

为便于广大技术和管理人员在使用本标准时，能正确理解和执行条款规定，《装配式桥梁工程构件连接检测与评估技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。

本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

中国工程建设标准化协会标准

装配式桥梁工程构件连接检测与评估技术标准

T/CECS ×××-202×

条文说明

（暂时现将条文说明的内容与正文内容放在一起，形成报批稿之后，
集中将条文说明的内容移至后边）