**UDC**

**广东省市政行业协会团体标准** 

**P T/GDSZXH 0xx-202x**

**装配式市政桥梁连接节点质量检测与修补**

**技术规程**

Technical specification for quality detecting and strengthening of connecting nodes of prefabricated municipal bridge

**（公开征求意见稿）**

**2022—××—××发布 2022—××—××实施**

**广东省市政行业协会 发布**

**广东省市政行业协会团体标准**

**装配式市政桥梁连接节点质量检测与修补**

**技术规程**

**Technical specification for quality detecting and strengthening of connecting nodes of prefabricated municipal bridge**

**T/GDSZXH 0xx-202x**

批准部门：……

施行日期：202x年××月××日

**xxx出版社**

202x xx

**广东省市政行业协会关于发布团体标准**

**《装配式市政桥梁连接节点质量检测与修补技术规程》的公告**

**粤市协公告【202X】XX号**

经组织专家委员会审查，现批准《装配式市政桥梁连接节点质量检测与修补技术规程》为广东省市政行业协会团体标准，编号为T/GDSZXH 0xx-202x。本标准自202×年×月×日起施行。

本规程由广东省市政行业协会负责管理，由主编单位广州市市政工程试验检测有限公司负责具体技术内容的解释，并在广东省市政行业协会官网（https://www.gdszxh.com/）公开。

**广东省市政行业协会**

**202×年××月××日**

前 言

根据《广东省市政行业协会2022年团体标准制修订征集的通知》（建市协[2022]31号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，结合我国实际情况，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容包括：总则、术语和定义、基本规定、电阻率法、电容法、压电法、预埋阻尼传感器法、内窥镜法、表面硬度法、套筒灌浆缺陷修补、超声波检测湿接缝、钢结构连接检测方法等。

本规程由广东省市政行业协会归口管理，由广州市市政工程试验检测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，请寄送广州市市政工程试验检测有限公司（地址：广州市天河区天源路1111号育龙居B栋首层市政检测公司，邮政编码：510520）。

|  |  |
| --- | --- |
| 本规程主编单位： | 广州市市政工程试验检测有限公司 |
| 本规程参编单位： |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
| 本规程主要起草人员： |  |
| 本规程主要审查人员： |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

目 次

1　总则 9

2　术语和符号 10

2.1　术语 10

2.2　符号 11

3　基本规定 13

3.1　一般规定 13

3.2　检测方法 14

3.3　检测机构、设备及人员要求 15

3.4　检测报告 16

4　电阻率法 17

4.1　一般规定 17

4.2　检测设备 17

4.3　检测方法 17

4.4　评定 18

5　电容法 19

5.1　一般规定 19

5.2　检测设备 19

5.3　检测方法 19

5.4　评定 20

6　压电法 21

6.1　一般规定 21

6.2　检测设备 21

6.3　检测方法 21

6.4　评定 22

7　预埋阻尼传感器法 23

7.1　一般规定 23

7.2　检测设备 23

7.3　检测方法 23

7.4　评定 24

8　内窥镜法 26

8.1　一般规定 26

8.2　检测设备 26

8.3　检测方法 27

8.4　评定 29

9　表面硬度法 31

9.1　一般规定 31

9.2　检测设备 31

9.3　检测方法 31

9.4　评定 33

10　套筒灌浆缺陷修补 38

10.1　一般规定 38

10.2　修补 38

10.3　复测 38

11　超声波检测湿接缝 39

11.1　一般规定 39

11.2　检测设备 39

11.3　检测方法 40

11.4　评定 43

12　钢结构连接检测方法 44

12.1　一般规定 44

12.2　焊接检测 44

12.3　高强度螺栓和环槽铆钉连接检测 48

附录A　套筒灌浆饱满度电阻率法检测记录表 52

附录B　套筒灌浆饱满度电容法检测记录表 53

附录C　套筒灌浆饱满度压电法检测记录表 54

附录D　套筒灌浆饱满度预埋阻尼传感器法检测记录表 55

附录E　套筒连接质量内窥镜法检测记录表 56

附录F　套筒灌浆料实体强度表面硬度法检测记录表 57

附录G　湿接缝内部不密实区检测方法 58

附录H　湿接缝空洞尺寸估算方法 61

附录I　湿接缝混凝土结合面质量检测方法 63

附录J　预制构件湿接缝连接质量超声波法检测记录表 64

附录K　高强度螺栓连接抗滑移系数试验方法 65

本规程用词说明 67

引用标准名录 68

条文说明 69

**Contents**

1　General provisions 9

2　Terms and symbols 10

2.1　Terms 10

2.2　Symbols 11

3　Basic requirements 13

3.1　General requirements 13

3.2　Detecting methods 14

3.3　Requirements for detecting institutions, equipment, and personnel 15

3.4　Detecting report 16

4　Resistivity method 17

4.1　General requirements 17

4.2　Detecting equipment 17

4.3　Detecting method 17

4.4　Assessment 18

5　Capacitance method 19

5.1　General requirements 19

5.2　Detecting equipment 19

5.3　Detecting method 19

5.4　Assessment 20

6　Piezoelectric method 21

6.1　General requirements 21

6.2　Detecting equipment 21

6.3　Detecting method 21

6.4　Assessment 22

7　Embedded damping sensor method 23

7.1　General requirements 23

7.2　Detecting equipment 23

7.3　Detecting method 23

7.4　Assessment 24

8　Endoscopic method 26

8.1　General requirements 26

8.2　Detecting equipment 26

8.3　Detecting method 27

8.4　Assessment 29

9　Surface hardness method 31

9.1　General requirements 31

9.2　Detecting equipment 31

9.3　Detecting method 31

9.4　Assessment 33

10　Repair of sleeve grouting defects 38

10.1　General requirements 38

10.2　Repair 38

10.3　Retest 38

11　Ultrasonic detection of cast-in-place concrete joint 39

11.1　General requirements 39

11.2　Detecting equipment 39

11.3　Detecting method 40

11.4　Assessment 43

12　Detecting method for joints on steel structure 44

12.1　General requirements 44

12.2　Welded seams detection 44

12.3　Detections of high strength bolted connection and ring groove rivet joint 48

AppendixA　Record form for detecting sleeve grouting fullness by resistivity method 52

AppendixB　Record form for detecting sleeve grouting fullness by capacitance method 53

AppendixC　Record form for detecting sleeve grouting fullness by piezoelectric method 54

AppendixD　Record form for detecting sleeve grouting fullness by embedded damping sensor method 55

AppendixE　Record form for detecting sleeve connection quality by endoscopic method 56

AppendixF　Record form for detecting in-situ strength of sleeve grouting materials by surface hardness method 57

AppendixG　Detecting method on uncompacting zone inside cast-in-place concrete joint 58

AppendixH　Estimation method on hollow size inside cast-in-place concrete joint 61

AppendixI　Quality detecting method on cast-in-place concrete bonding surface 63

AppendixJ　Record form for detecting cast-in-place concrete joint quality of precast components by ultrasonic method 64

AppendixK　Test method on anti-slip coefficient of high strength bolted connection

Explanation of wording in this specification 65

Explanation of wording in this specification 67

List of Quoted Standards 68

Explanation of provisions 69

1　总则

**1.0.1**为规范广东省装配式市政桥梁检测工作程序和检测要求，合理选择装配式市政桥梁连接节点检测方法，保证工程施工质量，制定本规程。

**1.0.2**本标准适用于广东省装配式市政桥梁连接节点质量检测与缺陷修补。

**1.0.3**装配式市政桥梁连接节点施工质量检测除应符合本标准外，尚应符合现行国家、行业及广东省相关标准的规定。

**1.0.4**本规程没有完全给出进行检测时的安全要求，使用本规程的各方有义务在检测前建立适当的安全和健康准则。

2　术语和符号

**2.1**　**术语**

**2.0.1**装配式市政桥梁　　prefabricated municipal bridge

由预制构件或部件通过各种可靠的方式连接组合成整体的市政桥梁。

**2.0.2**工程质量检测　　engineering quality testing

为评定装配式市政桥梁工程质量与设计要求或与施工质量验收规范规定的符合性所实施的检测。

**2.0.3**预制混凝土构件　　precast concrete component

在工厂或现场预先生产制作的混凝土构件。

**2.0.4**非破损检测方法　　method of non-destructive test

在检测过程中，对结构的既有性能没有影响的检测方法。

**2.0.5**钢筋套筒灌浆连接　　 grout sleeve splicing of rebars

在金属套筒中插入单根带肋钢筋并注入灌浆料拌合物，通过拌合物硬化形成整体并实现传力的钢筋对接连接，简称套筒灌浆连接。

**2.0.6**套筒灌浆饱满度　　sleeve grouting plumpness

钢筋套筒灌浆结束并稳定后，套筒内水泥基灌浆料液面到达出浆口的程度。

**2.0.7**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，通过数据采集系统获得的电阻值判断灌浆饱满度的方法。

**2.1.8**　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，通过数据采集系统获得的电容值判断灌浆饱满度的方法。

**2.0.9**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，通过数据采集系统获得的电压值判断灌浆饱满度的方法。

**2.0.10**预埋阻尼传感器法　　embedded damping sensor method

灌浆前在套筒出浆口预埋阻尼传感器，灌浆过程中或灌浆结束一定时间内，通过数据采集系统获得的振动波形判断灌浆饱满度的方法。

**2.0.11**内窥镜法　　endoscopic method

利用带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。

**2.0.12**灌浆接头钢筋锚固长度　　anchorage length of rebar at grouting connecting joint

套筒内连接钢筋与灌浆料的粘结长度。

**2.0.13**表面硬度法　　surface hardness method

通过测试灌浆孔道或出浆孔道内灌浆料外端面的硬度值，根据表面硬度与抗压强度的相关性，来推定灌浆料抗压强度的方法。

**2.0.14**灌浆料实体强度检测　　in-situ strength detection of grouting material

从现场钢筋套筒灌浆连接节点处，通过原位测试推定套筒内灌浆料的抗压强度。

**2.0.15**　检修孔　　entrance for detection and repair

通过在出浆孔道或套筒壁钻孔而成的检测孔道，用于检查套筒灌浆连接质量，灌浆饱满度不满足要求时，用于二次灌浆进行修补。

**2.0.16**超声波检测法　　ultrasonic detection method

采用带波形显示的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，并根据这些参数及其相对变化分析判断混凝土缺陷的方法。

**2.0.17**湿接缝　　cast-in-place concrete 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。

**2.0.18**　钢结构连接　　steel structure connection

预制钢结构构件之间的连接，包括焊接、螺栓连接和环槽铆钉连接。

**2.2**　**符号**

2.2.1　几何参数

*L*0—设计锚固长度（mm）；

*b*1—套筒出浆口中心至套筒中部预制端钢筋限位点的高度（mm）；

*h*1—灌浆料上表面到侧视测量镜头拍摄端面的垂直距离（mm）；

*h*2—侧视测量镜头拍摄端面到套筒出浆口中心的垂直距离（mm）；

—修补材料的体积（mm3）；

—浆料的缺陷高度，即实测灌浆料液面至第一道定位标记水平面的垂直距离，可通过实测数据记录查得（mm）；

—灌浆套筒锚固段的内径（mm）；

$d$—高强度螺栓的公称直径（mm）。

2.2.2　作用与作用效应

*F*—套筒灌浆饱满度（%）；

*Hm*—单个预制构件套筒灌浆料的表面硬度代表值（*HL*）；

*Hi*—单个预制构件第*i*个测点套筒灌浆料的表面硬度值（*HL*）；

—同批预制构件套筒灌浆料抗压强度换算值的平均值（MPa）；

—第*j*个预制构件的套筒灌浆料抗压强度换算值（MPa）；

—灌浆料抗压强度推定值（MPa）；

—同批预制构件套筒灌浆料换算值的最小值（MPa）；

—标准试件灌浆料抗压强度换算值（MPa）；

—第*i*个试件对中灌浆料标准试件抗压强度实测值（MPa）；

*fi*—（第*i*点）第一个周期波的主频（kHz）；

*T*ch—高强度螺栓检查扭矩（N·m）；

$P$—高强度螺栓预拉力设计值（kN）。

2.2.3　其他

—同批预制构件套筒灌浆料抗压强度换算值的变异系数；

—测强公式回归系数（MPa/*HL*）；

—测强公式回归系数（无量纲）；

—回归方程式的强度平均相对误差（%）；

—回归方程式的强度相对标准差（%）；

*n*—制定回归方程式的试件对数量；

—体积放大系数；

*K*—测定的扭矩系数。

3　基本规定

3.1　一般规定

**3.1.1**　本规程适用于装配式市政桥梁连接节点质量检测和缺陷修补，主要包括灌浆套筒连接、湿接缝连接、焊接、螺栓连接、铆钉连接等的检测以及套筒灌浆缺陷修补。

**3.1.2**　当装配式市政桥梁连接节点施工遇到下列情况之一时，应进行连接节点的施工质量检测：

**1**涉及结构工程质量的材料、构件及连接检验数量不足；

**2**　材料、构件的驻厂检验或进场检验缺失，或对其检验结果存在争议；

**3**　对结构连接实体质量的抽测结果达不到设计要求或施工验收规范要求；

**4**　对结构连接实体质量有争议；

**5**　发生工程质量事故，需要分析事故原因；

**6**　相关法规、标准规定进行的工程质量第三方检测；

**7**　相关行政主管部门要求进行的工程质量第三方检测。

**3.1.3**　装配式市政桥梁连接节点检测应为工程质量的评定提供真实、可靠、有效的检测数据和检测结论。

**3.1.4**　装配式市政桥梁连接节点施工质量检测工作程序，宜按图3.1.4进行。

接受委托

初步调查

制定检测方案

确认仪器、人员情况

现场检测

计算分析和结果评价

检测报告

复检、补充检测

**图3.1.4 装配式市政桥梁连接节点检测工作程序框图**

**3.1.5**检测前应进行初步现场调查，制定检测方案。

**3.1.6**初步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**调查被检测装配式桥梁工程结构施工工艺、过程、周边环境条件。

**3.1.7**检测方案宜包括下列内容：

**1**　工程概况、检测目的或委托检测要求；

**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、位置以及检测数量；

**5**检测人员和仪器设备；

**6**需要委托方配合的工作；

**7**安全、文明及环保措施。

**3.1.8**　现场检测宜选用对结构或构件无损伤的检测方法。当选用局部破损检测方法或原位检测方法时，宜选择结构构件受力较小的部位，并尽量降低对结构安全和使用性能的影响。

**3.1.9**　当发现检测数据数量不足或检测数据出现异常情况时，应进行补充检测或复检，补充检测或复检应有必要的说明。

**3.1.10**　装配式市政桥梁连接节点现场检测工作结束后，应按照检测方案提出的修补方法及时对因检测造成的结构或构件局部损伤部位进行修补。

3.2　检测方法

**3.2.1**　装配式市政桥梁连接节点施工质量可选用下列检测方法：

**1**　有相应标准的检测方法；

**2**　有关规范、标准规定或建议的检测方法；

**3**　参照本条第1款的检测标准，扩大其适用范围的检测方法；

**4**　检测单位自行研发或引进的检测方法。

**3.2.2**　采用检测单位自行研发或引进的检测仪器及检测方法时，应符合下列规定：

**1**　通过技术鉴定，并具有一定的工程检测实践经验；

**2**　与成熟的检测方法进行比对试验；

**3**　应有相应的检测细则，并应提供测试误差或测试结果的不确定度；

**4**　在检测方案中予以说明并经委托方同意。

**3.2.3**　装配式市政桥梁预制构件连接节点采用套筒灌浆连接时，灌浆应饱满、密实，其材料及连接质量应符合国家现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355的有关规定。

**3.2.4**　套筒灌浆连接用的灌浆料拌合物强度应符合国家现行有关标准的规定及设计要求。

**3.2.5**　套筒灌浆饱满度检测可采用电阻率法、电容法、压电法、预埋阻尼传感器法、内窥镜法等，并针对不同施工阶段进行检测：

**1**　正式灌浆施工前，可针对工艺检验使用的平行试件，对各类灌浆饱满度检测方法进行对比验证。

**2**　灌浆施工过程中，可根据实际情况采用电阻率法、电容法、压电法、预埋阻尼传感器法进行套筒灌浆饱满度检测。

**3**　灌浆施工完成后，可根据实际情况，采用内窥镜法、局部破损法进行校核。

**3.2.6**套筒灌浆料实体强度的现场检测可采用表面硬度法。

**3.2.7**　设计认为重要的构件或对施工工艺或施工质量有怀疑的构件的所有套筒均应进行灌浆饱满度检测。

**3.2.8**预制构件结合面湿接缝的内部缺陷（不密实区域、空洞）及结合面质量检测可采用超声波检测法。

3.3　检测机构、设备及人员要求

**3.3.1**　检测机构和检测人员应满足下列要求。

**1**　检测机构应满足国家、行业规定的相应检测资质要求；

**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。

**3.3.3**　检测设备仪器应经有资质的检测机构进行校核标定并保证其处于标定有效期内。

**3.3.2**　检测所用的仪器、设备的适用范围和检测精度应满足检测项目的要求，并具有良好的现场显示、记录和存储功能。

**3.3.4**　仪器设备在检测前必须进行检查、调试，确认正常后使用。

**3.3.5**　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。

3.4　检测报告

**3.4.1**　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。

**3.4.2**　施工及验收所需的常规检测报告的要求应按国家或行业现行有关标准执行。

**3.4.3**　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。

**3.4.4**　检测机构应对报告数据的真实性及准确性负责，并对报告的数据、结论做最终解释和说明。

**4　电阻率法**

4.1　一般规定

**4.1.1**电阻率法适用于施工阶段套筒灌浆饱满度检测。

**4.1.2**采用电阻率法进行套筒灌浆饱满度检测时，单个连接节点抽检的套筒数量不少于该连接节点套筒数量的50%。当委托方有扩大检测需求时，可进行全数检测。

4.2　检测设备

**4.2.1**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4.2.1 测试探头与橡胶塞的组合示意**

1—电极探头；2—线缆；3—橡胶塞；4—排气孔

**4.2.2**灌浆饱满度测试仪采用内置电池供电。

**4.2.3**电极探头应具有不粘水和不粘干湿混凝土的特性。电极探头线缆表面包覆憎水性材料。

**4.2.4**电极探头可以和橡胶塞集成设计，橡胶塞上线缆穿过孔的孔径应与线缆直径相同。

4.3　检测方法

**4.3.1**　采用电阻率法检测套筒灌浆饱满度前应进行以下准备工作：

**1**　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，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。

**4.3.2**采用电阻率法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

**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，线缆应与钢筋连接方向保持垂直；

**2**电极探头就位时，橡胶塞自带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，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。

4.4　评定

**4.4.1**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。

**4.4.2**按照表4.4.2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100MΩ。当测量电阻值≤100MΩ时，评定为I类，灌浆饱满；当测量电阻值＞100MΩ时，评定为II类，灌浆不饱满。一般情况下，I类不需处理，II类需要进行补灌。

**表4.4.2 套筒灌浆饱满度等级评定标准**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测量电阻值/MΩ | 饱满度描述 | 评定等级 |
| ≤100 | 灌浆饱满 | I类 |
| ＞100 | 灌浆不饱满 | II类 |

**4.4.3**对评定为灌浆不饱满的套筒应立即进行补灌处理，可从不饱满套筒的灌浆口进行补灌。

**4.4.4**补灌后应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。

**5　电容法**

5.1　一般规定

**5.1.1**　电容法适用于施工阶段套筒灌浆饱满度检验。

**5.1.2**　采用电容法进行套筒灌浆饱满度检测时，单个连接节点抽检的套筒数量不少于该连接节点套筒数量的40%。

5.2　检测设备

**5.2.1**　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5.2.1 测试探头与橡胶塞的组合示意**

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

**5.2.2**　灌浆饱满度测试仪采用内置电池供电。

**5.2.3**　电容极性探头应具有不粘水和不粘干湿混凝土的特性。电容极性探头线缆表面包覆憎水性材料。

**5.2.4**　电容极性探头和电容外壳电极可与橡胶塞集成设计，橡胶塞上线缆穿过孔的孔径应与线缆直径相同。

5.3　检测方法

**5.3.1**　采用电容法检测套筒灌浆饱满度前应进行以下准备工作：

**1**　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，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。

**5.3.2**　采用电容法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

**1**电容极性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，线缆应与钢筋连接方向保持垂直；

**2**　电容外壳电极应安装在套筒出浆口橡胶塞侧面，并与金属套筒壁连通；

**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，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。

5.4　评定

**5.4.1**　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。

**5.4.2**按照表5.4.2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0.5μf。当测量电容值≤0.5μf时，评定为I类，灌浆饱满；当测量电容值＞0.5μf时，评定为II类，灌浆不饱满。一般情况下，I类不需处理，II类需要进行补灌。

**表5.4.2 套筒灌浆饱满度等级评定标准**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测量电容值/μf | 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 |

**5.4.3**　对评定为灌浆不饱满的套筒应立即进行补灌处理，可从不饱满套筒的灌浆口进行补灌。

**5.4.4**　补灌后应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。

**6　压电法**

6.1　一般规定

**6.1.1**压电法适用于施工阶段套筒灌浆饱满度检测。

**6.1.2**采用压电法进行套筒灌浆饱满度检测时，单个连接节点抽检的套筒数量不少于该连接节点套筒数量的40%。

6.2　检测设备

**6.2.1**压电法检测设备应包括灌浆饱满度测试仪、压电传感器探头、橡胶塞等。

****

**图6.2.1 测试探头与橡胶塞的组合示意**

1—压电传感器探头；2—线缆；3—橡胶塞；4—排气孔

**6.2.2**灌浆饱满度测试仪采用内置电池供电。

**6.2.3**压电传感器具有不粘水和不粘干湿混凝土的特性。压电传感器线缆表面包覆憎水性材料。

**6.2.4**压电传感器和橡胶塞应集成设计，橡胶塞上线缆穿过孔的孔径应与线缆直径相同。

6.3　检测方法

**6.3.1**　采用压电法检测套筒灌浆饱满度前应进行以下准备工作：

**1**　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，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。

**6.3.2**采用压电传感器法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

**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，线缆应与钢筋连接方向保持垂直；

**2**压电传感器就位时，橡胶塞自带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，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。

6.4　评定

**6.4.1**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。

**6.4.2**按照表6.4.2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，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，评定为II类，灌浆不饱满。一般情况下，I类不需处理，II类需要进行补灌。

**表6.4.2 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 |

**6.4.3**对评定为灌浆不饱满的套筒应立即进行补灌处理，可从不饱满套筒的灌浆口进行补灌。

**6.4.4**补灌后应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。

**7　预埋阻尼传感器法**

7.1　一般规定

**7.1.1**预埋阻尼传感器法适用于施工阶段套筒灌浆饱满度检测。

**7.1.2**采用预埋阻尼传感器法进行套筒灌浆饱满度检测时，单个连接节点抽检的套筒数量不少于该连接节点套筒数量的20%。

7.2　检测设备

**7.2.1**预埋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7.2.1 传感器与橡胶塞的组合示意**

1—端头核心元件；2—钢丝；3—橡胶塞；4—排气孔

**7.2.2**灌浆饱满度检测仪幅值线性度应满足10dB±1.0dB，频带宽度在10kHz~100kHz之间。

**7.2.3**　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2.0mm ~3.0mm；

**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。

**7.2.4**专用阻尼振动传感器和橡胶塞集成设计，橡胶塞上钢丝直径与穿孔孔径相同，排气孔径不小于3.0mm。

7.3　检测方法

**7.3.1**　采用阻尼传感器法检测套筒灌浆饱满度前应进行以下准备工作：

**1**　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，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。

**7.3.2**采用阻尼传感器法检测套筒灌浆饱满度时，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，正面朝向侧边，橡胶塞排气孔朝向正上方；

**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，可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。

7.4　评定

**7.4.1**套筒灌浆饱满度应根据灌浆饱满度检测仪输出的波形（图7.4.1）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7.4.1 灌浆饱满度检测仪输出波形和振动能量**

**7.4.2**按照表7.4.2进行套筒灌浆饱满度等级评定。当0≤传感器振动能量值≤100时，评定为I类，灌浆饱满；100<传感器振动能量值≤150时，评定为II类，灌浆基本饱满；150<传感器振动能量值<255时，评定为III类，灌浆不饱满。一般情况下，I类、II类不需处理，III类需要进行补灌。

**表7.4.2 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 |

**7.4.3**对评定为灌浆不饱满的套筒应立即进行补灌处理，可从不饱满套筒的灌浆口进行补灌。

**7.4.4**补灌后应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。

8　内窥镜法

8.1　一般规定

**8.1.1**内窥镜法适用于检测套筒内部是否存在异物、套筒内钢筋插入长度和套筒灌浆饱满度。

**8.1.2**内窥镜法检测套筒内钢筋插入长度的时间，应选择在预制构件现场拼接完成后、套筒灌浆施工前。

8.2　检测设备

**8.2.1**检测仪器、辅助工具及材料应符合下列规定：

**1**内窥镜应具备测量镜头，量程不宜小于80.0mm，能够显示测量镜头与被测物表面选定点之间的距离及测量选定点与选定平面之间的距离，测量允许误差为量程的±2%。

**2**内窥镜探头的直径不应大于5mm，平直状态下导向弯曲度不应小于120°。

**3**内窥镜的镜头应包括前视观察镜头、前视测量镜头及侧视测量镜头；前视观察镜头的视角不应小于100°；侧视测量镜头的视角不应小于55°，测量范围应涵盖6mm~60mm；前视测量镜头的视角不应小于55°，测量范围应涵盖10mm~80mm。

**4**内窥镜摄像头电荷藕合元件（CCD）原生像素值不宜低于40万像素单位。

**5**钻孔设备宜配备石工钻头和金工钻头，石工钻头的直径应为6mm~10mm，长度不应小于150mm，金工钻头的直径应为5mm~6mm。

**6**探头定位装置由刚性套管与橡胶塞组成，刚性套管的内径应与内窥镜探头的直径相同，刚性套管的外径应与橡胶塞上刚性套管穿过孔的孔径相等。

**7**预成孔装置由包覆有薄膜的塑料吸管及橡胶塞组成，塑料吸管的外径应为5.5mm~6.5mm，包覆有薄膜的吸管应刚好穿设在橡胶塞的中心孔内。



**图8.2.1 预成孔装置**

1—薄膜；2—吸管；3—橡胶塞

8.3　检测方法

**8.3.1**检测前的准备工作应符合下列规定：

**1**套筒灌浆饱满度检测应保证灌浆龄期不低于3d；

**2**应检查设备状态是否正常；

**3**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。

**8.3.2**采用内窥镜法检测套筒内部异物时应符合下列规定：

**1**根据图纸，确定对应构件编号和套筒的位置；

**2**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；

**3**采用内窥镜法检测套筒内部异物时，宜进行全数检测；

**4**内窥镜的镜头从进浆口缓慢伸入，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。

**8.3.3**预成孔内窥镜法的检测孔道应按如下步骤制作：

**1**将包覆有薄膜的吸管穿设在橡胶塞内形成预成孔装置。

**2**对预制构件中的套筒进行灌浆施工，待预制构件表面出浆口有浆料均匀流出后，将橡胶塞从出浆口塞入出浆孔道进行封堵。

**3**待单个预制构件中所有套筒灌浆完成后，开始调整吸管的位置，将吸管的插入段末端调整至与套筒出浆口下方的套筒内壁齐平。

**4**待灌浆料硬化后，先将橡胶塞拔出，再将吸管拔出，包覆在吸管上的薄膜被留在对应的出浆孔道内并形成检测孔道。

**8.3.4**出浆孔道钻孔内窥镜法的检测孔道应按如下步骤制作：

**1**使用钻孔设备配以石工钻头沿着出浆孔道进行钻孔，首次钻入深度为20mm~30mm，并将出浆孔道全截面的灌浆料击碎并清理，以便检测时能在预制构件出浆口安装探头定位装置中的橡胶塞。

**2**继续钻入，钻孔直径6mm~10mm，每前进20mm~30mm，暂停操作，使用清理设备对检测孔道内的灌浆料碎屑和粉末进行清理。

**3**在距离套筒出浆口小于20mm时，减缓钻进速度，每前进约5mm，暂停操作，使用清理设备对检测通道内的灌浆料碎屑和粉末进行清理，观察钻进情况，直至达到套筒内腔。

**8.3.5**套筒壁钻孔内窥镜法的检测孔道应按如下步骤制作：

**1**结合设计资料，使用钢筋扫描仪精确定位套筒的位置。

**2**将套筒出浆口高度对应位置外侧的混凝土保护层局部剔除，露出套筒外壁。

**3**使用钻孔设备先配以金工钻头在套筒壁上开孔，然后更换为石工钻头继续钻入套筒内腔4mm~6mm。

**8.3.6**采用内窥镜法检测套筒灌浆饱满度时应符合下列规定：

**1**根据套筒出浆孔道的形状及现场实际情况，选用预成孔、出浆孔道钻孔或套筒壁钻孔的方法制作检测孔道；当采用预成孔方法制作检测孔道时，在内窥镜观测前应利用辅助工具伸入检测孔道末端进行破膜工作，若薄膜不能被戳破，则使用钻孔设备配以石工钻头将孔道扩延至套筒内腔。

**2**先将带有前视观察镜头的内窥镜探头伸入检测孔道进行观察（图8.3.6(a)），判断检测孔道末端周边的灌浆料是否密实，若密实则判定灌浆饱满度为100%，若不密实则进行下一步骤。

**3**再将带有侧视测量镜头的内窥镜探头，在探头定位装置的辅助下从预制构件出浆口中心伸入检测孔道，或直接从套筒壁钻孔位置伸入检测孔道，到达套筒内腔后往下观测得到灌浆料上表面到侧视测量镜头拍摄端面之间的垂直距离（图8.3.6(b)），结合套筒尺寸计算灌浆饱满度。



(a) 饱满



(b) 不饱满

**图8.3.6 灌浆饱满度检测示意图**

1—预制构件；2—出浆孔道；3—检测孔道；4—内窥镜；5—连接软管；6—内窥镜探头；7—前视观察镜头；8—侧视测量镜头；9—刚性套管，10—橡胶塞

8.4评定

**8.4.1**采用内窥镜法检测套筒是否存在异物时，应符合下列规定：

**1**对采集到内窥镜照片进行构件和套筒位置的编辑；

**2**查看套筒内钢筋和套筒壁之间是否存在坐浆料的倒灌或者预制梁场预制过程中混入的石子，混凝土块等其他异物；

**3**对内窥镜法检测套筒存在的异物，应进行及时处理，并在处理后使用内窥镜再次检测。

**8.4.2**采用内窥镜法检测灌浆套筒内钢筋插入长度时，应符合下列规定：

**1**将带有前视测量镜头的内窥镜探头直接伸入出浆孔道，在出浆孔道与套筒的交接位置斜向下弯曲，利用预制端连接钢筋与套筒内壁之间的间隙继续向下推进伸入（图8.4.2）。

**2**控制探头导向弯曲寻找成像位置，对套筒中部的限位挡卡以及限位挡卡下方的安装端连接钢筋进行成像，当选择位置的成像清晰时，拍摄得到图像。

**3**选择图像中限位挡卡上表面的三个点，将选择的三个点形成的平面定义为基准平面，接着将第四个点定位在安装端连接钢筋插入段的末端，计算钢筋末端到基准平面的垂直距离，再根据限位挡卡上表面的高度位置计算得到安装端连接钢筋的插入长度。



**图8.4.2 灌浆套筒钢筋插入长度检测示意图**

1—套筒；2—限位挡卡；3—安装端连接钢筋；4—内窥镜；

5—连接软管；6—内窥镜探头；7—前视测量镜头；8—出浆孔道

**8.4.3**采用内窥镜法检测套筒灌浆饱满度时，应按下式计算：

 （8.4.3）

式中：*L*0——设计锚固长度（mm）；

*F*——套筒灌浆饱满度（%），当*F*的计算结果大于100%时按100%计，当*F*的计算结果为负值时按0计，精确至1%；

*b*1——套筒出浆口中心至套筒中部预制端钢筋限位点的高度（mm）；

*h*1——灌浆料上表面到侧视测量镜头拍摄端面的垂直距离（mm），精确至1mm；

*h*2——侧视测量镜头拍摄端面到套筒出浆口中心的垂直距离（mm），精确至1mm。

9　表面硬度法

9.1一般规定

**9.1.1**表面硬度法适用于对套筒灌浆料实体强度进行现场检测。

**9.1.2**采用表面硬度法检测时，灌浆料养护龄期不应小于7d，检测面应为灌浆料原浆面，并应光滑、平整，不应有明显缺陷且为自然风干状态，抗压强度的检测范围为40MPa~120MPa。

9.2检测设备

**9.2.1**表面硬度法检测设备及辅助工具应包括DL型里氏硬度计和带平整塞入端面的橡胶塞。

**9.2.2**DL型里氏硬度计应通过技术鉴定，并应具有产品合格证书和定期计量检定证书，且相关参数应满足下列要求：

**1**冲击能量为11mJ，冲击体质量为7.2g，球头硬度不应低于1500HV，球头直径为3mm，冲击装置直径不宜大于6mm。

**2**测量范围涵盖300HL~700HL，在标准里氏硬度块上的率定值误差不应超过±12HL，分度值不大于1HL，示值误差不大于±12HL，示值重复性不大于±12HL。

**9.2.3**检测前应做好以下工作：

**1**在进行检测前，首先应对DL型里氏硬度计检查和率定，确保设备正常工作，并应做好原始记录。

**2**　在进行检测前，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。

9.3检测方法

**9.3.1**灌浆料抗压强度可按单个预制构件构件或批量进行检测：

**1**按单个预制构件进行检测，应在预制构件上选择不少于4个连续灌浆施工的套筒。

**2**对于采用同一批灌浆料、同一水灰比、同一灌浆工艺、同一养护龄期且连续灌浆施工或灌浆间隔相近的预制构件应采用批量检测。检测时应随机抽取预制构件，抽检数量不宜少于同批构件总数的30%，且不宜少于10个预制构件，每个预制构件上应选择不少于4个套筒。

**9.3.2**灌浆施工时，应采用带平整塞入端面的橡胶塞对灌浆孔道和出浆孔道进行封堵并塞正，以在灌浆料凝结硬化后获得光滑、平整的硬度检测面，如图9.3.2所示。橡胶塞应在灌浆结束1d~2d后取出。



**图9.3.2 灌浆料硬度检测面示意图**

1—套筒；2—安装端连接钢筋；3—座浆料；4—预制端连接钢筋；

5—出浆口橡胶塞；6—灌浆口橡胶塞；7—成型检测面

**9.3.3**自然养护龄期达到7d后，可对灌浆料表面硬度进行检测，应按如下步骤进行：

**1**按9.3.1对单个预制构件或批量预制构件进行随机抽检，并随机选择预制构件上的套筒。

**2**检查所抽检套筒的灌浆孔道和出浆孔道内灌浆料表面外观质量，若浆料饱满，表面光洁、平整且气孔较少，则符合检测面要求，应进行表面硬度测试。若出浆孔道内灌浆料表面外观质量不符合检测面要求，可仅选择灌浆孔道测试；若两个孔道均不满足检测面要求，则应更换选择其他套筒。

**3**采用DL型里氏硬度计对灌浆料检测面进行表面硬度测试，应按以下程序进行：

1）向下推动加载套或用其他方式锁住冲击体。

2）将冲击装置冲击头紧压在灌浆料表面的平整、光滑区域，并应避开气孔，冲击方向应与测试面垂直。

3）平稳的按动冲击装置释放按钮。

4）读取里氏硬度示值。

**4**测点应在检测面内均匀分布，同一测点只能测试1次，任意两压痕中心之间的距离以及任一压痕中心距检测面边缘的距离均不宜小于3mm。每个套筒采集3~6个表面硬度值，每一测点的表面硬度值应精确至1HL，每个预制构件测试16个点，共计16个表面硬度值。

9.4评定

**9.4.1**表面硬度代表值应按如下方法计算：

计算预制构件套筒灌浆料表面硬度平均值，应从该预制构件16个表面硬度值中依次剔除3个最大值和3个最小值，其余的10个表面硬度值按下式计算平均值作为表面硬度代表值：

 （9.4.1）

式中：*Hm*——单个预制构件套筒灌浆料的表面硬度代表值（*HL*），精确至1*HL*；

*Hi*——单个预制构件第*i*个测点套筒灌浆料的表面硬度值（*HL*），精确至1*HL*。

**9.4.2**根据套筒灌浆料抗压强度换算曲线计算得出表面硬度代表值*Hm*所对应抗压强度换算值宜按本规程9.4.6条建立专用测强曲线进行强度换算；当建立专用测强曲线受条件限制时，可采用本规程提供的测强曲线，测强曲线的公式为。使用本规程提供的测强曲线前，应先按本规程9.4.7条对相应套筒灌浆料进行检测误差验证。当检测误差不满足要求时，或当所检灌浆料有以下两种情况之一时，必须建立专用测强曲线进行强度换算：

**1**灌浆料中骨料最大粒径大于2.36mm；

**2**特种工艺制作的灌浆料；

**9.4.3**按批检测时，同批构件套筒灌浆料抗压强度应按下式计算其平均值、标准差和变异系数：

 （9.4.3-1）

 （9.4.3-2）

 （9.4.3-3）

式中：——同批预制构件套筒灌浆料抗压强度换算值的平均值（MPa），精确至0.1MPa；

——第*j*个预制构件的套筒灌浆料抗压强度换算值（MPa），精确至0.1MPa；

——同批预制构件套筒灌浆料抗压强度换算值的标准差（MPa），精确至0.01MPa；

——同批预制构件套筒灌浆料抗压强度换算值的变异系数，精确至0.1。

**9.4.4**套筒灌浆料抗压强度推定值$f\_{2,e}^{c}$，应按下列规定确定：

**1**当按单个预制构件检测时，该构件的套筒灌浆料抗压强度推定值应按下式计算：

 （9.4.4-1）

式中：——灌浆料抗压强度推定值（MPa），精确至0.1MPa；

——第*j*个预制构件套筒灌浆料抗压强度换算值（MPa），精确至0.1MPa。

**2**当按批抽检时，应按下列公式计算，并取和中较小值作为该批预制构件的套筒灌浆料抗压强度推定值：

 （9.4.4-2）

 （9.4.4-3）

式中：——套筒灌浆料抗压强度推定值之一（MPa），精确至0.1MPa；

——套筒灌浆料抗压强度推定值之二（MPa），精确至0.1MPa；

——同批预制构件套筒灌浆料换算值的平均值（MPa），精确至0.1MPa；

——同批预制构件套筒灌浆料换算值的最小值（MPa），精确至0.1MPa。

**9.4.5**对于按批抽检的预制构件，当该批构件套筒灌浆料抗压强度换算值变异系数大于等于0.3时，则该批构件应全部按单个预制构件检测。

**9.4.6**灌浆料表面硬度与抗压强度的测强回归曲线可按如下方法建立：

**1**表面硬度测试的DL型里氏硬度计应符合本规程有关规定。

**2**试验所用的灌浆料除抗压强度外其他指标应符合国家现行标准《钢筋连接用套筒灌浆料》JGT 408等相关规定的要求。

**3**建立测强曲线用灌浆料，不宜少于6个强度等级，每个强度等级不少于6组试验，每组试验包含3个平行试件对，每个试件对按如下步骤进行：

1）制作2块中部穿有2根PVC管的混凝土试件（100mm×100mm×100mm），在PVC管的一端塞入橡胶塞，从PVC管的另一端灌入灌浆料，用同盘灌浆料制作1组灌浆料标准试件（40mm×40mm×160mm），试件示意图如图10.4.6所示。



1—PVC管；2—混凝土立方体100mm×100mm×100mm；3—灌浆料标准试件40mm×40mm×160mm

**图9.4.6 试件示意图**

2）将上述埋入混凝土的PVC 管灌浆料试件和灌浆料标准试件进行同条件自然养护。

3）养护1d~2d后拔出橡胶塞，继续养护达到相应龄期后，将混凝土立方体块置于压力试验机承压板间，并保证PVC管水平且塞入橡胶塞一端朝向试验操作方向，施加压力用于固定混凝土立方体块，然后采用DL型里氏硬度计对PVC管内的灌浆料检测面进行硬度测试，每根PVC管采集4个表面硬度值，共采集16个表面硬度值，依次剔除3个最大值和3个最小值，其余的10个表面硬度值的平均值作为表面硬度代表值。

4）灌浆料标准试件在压力试验机上进行抗压强度试验，3个标准试件抗压强度代表值应按《钢筋连接用套筒灌浆料》JGT 408确定。

**4**测强曲线应按下述步骤建立：

1）将每个试件对的PVC管灌浆料试件硬度代表值和标准试件的抗压强度代表值汇总，采用最小二乘法进行回归分析。

2）回归方程式可按下式计算：

 （9.4.6-1）

式中：——标准试件灌浆料抗压强度换算值（MPa），精确至0.1MPa；

——PVC管灌浆料试件表面硬度代表值（HL），精确至1HL；

——测强公式回归系数（MPa/HL）；

——测强公式回归系数（无量纲）。

**5**回归方程式的强度平均相对误差δ不应大于12%，相对标准差不应大于15%。平均相对误差δ和相对标准差应按如下公式计算：

 （9.4.6-2）

 （9.4.6-3）

式中：——回归方程式的强度平均相对误差（%），精确至0.1%；

——回归方程式的强度相对标准差（%），精确至0.1%；

——第*i*个试件对中灌浆料标准试件抗压强度实测值（MPa），精确至0.1MPa；

——第*i*个试件对中PVC管灌浆料试件按回归方程式计算出的灌浆料抗压强度换算值（MPa），精确至0.1MPa；

*n*—制定回归方程式的试件对数量。

**9.4.7**测强曲线可按如下方法进行验证：

**1** 仪器设备和灌浆料指标参照9.4.6要求。

**2** 所验证灌浆料，不宜少于3个强度等级，每个强度等级不少于2组试验，每组试验包含3个平行试件对，试件对制作方式和试验步骤参照9.4.6要求执行。

**3**灌浆料3个强度等级宜选择所需检测灌浆料的设计强度等级和相邻的高低各1个强度等级。

**4**根据试验所得表面硬度参数，代入测强曲线，进行强度换算。

**5**根据试件实测抗压强度和换算强度，按下式计算相对标准差：

 （9.4.7-1）

式中：—相对标准差（%），精确至0.1%；

——第*i*个试件对中灌浆料标准试件的抗压强度实测值（MPa），精确至0.1MPa；

——第*i*个试件对中PVC管灌浆料试件按测强曲线计算得到的抗压强度换算值（MPa），精确至0.1MPa；

*n*——试件对数量。

**6**当小于等于15%时，可使用本规程测强曲线；当大于15%时，应按本规程9.4.6建立专用测强曲线进行强度换算。

10　套筒灌浆缺陷修补

10.1一般规定

**10.1.1**套筒灌浆缺陷修补方法适用于套筒灌浆饱满度不合格且无法直接补灌等情况下的修补及复测。

**10.1.2**用于灌浆缺陷修补的灌浆料性能应满足现行行业标准《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408的有关规定。

**10.1.3**检修孔钻孔设备可参照第8.2.1条的规定。

**10.1.4**通过检修孔检测套筒灌浆饱满度检测设备参照第8.2.1条的规定。

**10.1.5**修补用灌浆工具应具备足够的转动变形能力，能够通过检修孔进入套筒内部，并能保证完成修补后灌浆工具能够退出检修孔。

10.2**修补**

**10.2.1**采用下式估算套筒所需修补材料的体积：

 （10.2.1）

式中：——修补材料的体积（mm3）；

——体积放大系数，建议取值1.2~1.4；

*h*c——浆料的缺陷高度，即实测灌浆料液面至第一道定位标记水平面的垂直距离，可通过实测数据记录查得（mm）；

——灌浆套筒锚固段的内径（mm）。

**10.2.2**应根据10.2.1条计算所得的体积，选用适宜容量、带有刻度的针筒，配以塑料软管进行精确修补灌浆。

10.3**复测**

**10.3.1**灌浆饱满度不合格的套筒修补后应全数检测。对于复测不合格的套筒再次进行修补，直至复测合格。

11　超声波检测湿接缝

11.1一般规定

**11.1.1**超声波检测法适用于预制构件结合面湿接缝的内部缺陷（不密实区域、空洞）及结合面质量检测。

**11.1.2**采用同一灌浆工艺、同类预制构件的湿接缝抽检数量不应少于3个。

11.2检测设备

**11.2.1**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。

**11.2.2**超声波检测仪可选用下列两类：

**1**模拟式：接收信号为连续模拟量，可由时域波形信号测读声学参数；

**2**数字式：接收信号转化为离散数字量，具有采集、储存数字信号、测读声学参数和对数字信号处理的智能化功能。

**11.2.3**超声波检测仪正常工作条件：

**1**环境温度0℃~40℃；

**2**空气中不含腐蚀性气体，相对湿度小于80%；

**3**不应有较大的震动和冲击。

**11.2.4**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10kHz~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。

**11.2.5**对于模拟式超声波检测仪，还应满足下列要求：

**1**具有手动游标和自动整形两种声时读数功能；

**2**数字显示稳定，声时调节在20μs~30μs范围，连续静置lh，数字变化不超过±0.2μs。

**11.2.6**对于数字式超声波检测仪，还应满足下列要求：

**1**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，lh内每隔5min测读一次声时的差异应不大于±2个采样点；

**2**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；

**3**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；

**4**宜具有幅度谱分析功能（FFT功能）。

**11.2.7**换能器的技术要求：

**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，可根据不同测试需要选用。

**2**厚度振动式换能器的频率宜采用20kHz~250kHz。径向振动式换能器的频率宜采用20kHz~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%。

**11**.3检测方法

**11.3.1**超声法进行检测，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。检测数位应符合本标准第11.3.2条的规定，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1m，湿接缝中部和距离支座附近500mm范围内应布置测点；

**4**每个湿接缝检测区域测点数不应少于9个。

**11.3.2**湿接缝内部缺陷一般都是独立的事件，不具备批量检测的条件，宜对怀疑存在内部缺陷的区域宜进行全数检测，当不具备全数检测条件时，可根据约定抽样原则选择下列部位进行检测：

**1**对结构整体性能和力学性能产生直接影响的重要部位；

**2**外观缺陷严重的部位。

**11.3.3**湿接缝内部缺陷宜采用超声法进行双面对测，当仅有一个可测面时，可采用带自发自收功能的超声波换能器进行检测，对于判别困难的区域应进行钻芯验证或剔凿验证。

**11.3.4**超声法检测湿接缝内部缺陷时，声学参数的测量应符合下列规定：

**1**应根据检测要求和现场操作条件，确定缺陷测试部位（简称测位）；

**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**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；

**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；

**5**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；

**6**应根据测距大小和湿接缝外观质量，设置仪器发射电压、采样频率等参数，检测同一测位时，仪器参数宜保持不变；

**7**应读取并记录声时、波幅和主频值，必要时存取波形；

**8**检测中出现可疑数据时应及时在找原因，必要时应进行复测校核或加密测点补测。

**11.3.5**超声法检测湿接缝内部不密实区和空洞可分别按本标准附录G、附录H的有关规定进行。

**11.3.6**接缝内部缺陷检测应提供有关测位的选择方式、位置、外观质量描述以及缺陷的性质和分布特征等信息。

**11.3.7**采用模拟式超声检测仪测量应按下列方法操作：

**1**检测之前应根据测距大小将仪器的发射电压调在某一档，并以扫描基线不产生明显噪音干扰为前提，将仪器“增益”调至较大位置保持不动；

**2**声时测量。应将发射换能器（简称T换能器）和接收换能器（简称R换能器）分别耦合在测位中的对应测点上。当首波幅度过低时可用“衰减器”调节至便于测读，再调节游标脉冲或扫描延时，使首波前沿基线弯曲的起始点对准游标脉冲前沿，读取声时值*t*1（读至0.1μs）；

**3**波幅测量。应在保持换能器良好耦合状态下采用下列两种方法之一进行读取：

1）刻度法：将衰减器固定在某一衰减位置，在仪器荧光屏上读取首波幅度的格数。

2）衰减值法：采用衰减器将首波调至一定高度，读取衰减器上的dB值。

**4**主频测量。应先将游标脉冲调至首波前半个周期的波谷（或波峰），读取声时值*t*1（μs），再将游标脉冲调至相邻的波谷（或波峰），读取声时值*t*2（μs），按下式计算出该点（第*i*点）第一个周期波的主频*fi*（精确至0.1kHz）。

*fi*=1000/(*t*2-*t*1) （11.3.7）

式中：*fi*——（第*i*点）第一个周期波的主频（kHz），精确至0.1kHz；

*t*1——游标脉冲调至首波前半个周期的波谷（或波峰）时读取的声时值（μs）；

*t*2——游标脉冲调至相邻的波谷（或波峰）时读取声时值（μs）。

**5**在进行声学参数测量的同时，应注意观察接收信号的波形或包络线的形状，必要时进行描绘或拍照。

**11.3.8**采用数字式超声检测仪测量应按下列方法操作：

**1**检测之前根据测距大小和湿接缝外观质量情况，将仪器的发射电压、采样频率等参数设置在某一档并保持不变。换能器与湿接缝测试表面应始终保持良好的耦合状态；

**2**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；

**3**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/*Δt* 即为首波的主频（kHz）；

**4**波形记录：对于有分析价值的波形，应予以存储。

**11.3.9**混凝土湿接缝声时值应按下式计算：

*tci*=*ti*-*t*0或*tci*=*ti*-*t*00 （11.3.9）

式中：*tci* ——第*i*点混凝土声时值（μs）；

*ti* ——第*i*点测读声时值（μs）；

*t*0、*t*00——声时初读数（μs）。

**11.3.10**超声传播距离（简称测距）测量：

**1**当采用厚度振动式换能器对测时，宜用钢卷尺测量T、R换能器辐射面之间的距离；

**2**当采用厚度振动式换能器平测时，宜用钢卷尺测量T、R换能器内边缘之间的距离；

**3**测距的测量误差应不大于±1%。

11.4评定

**11.4.1**超声检测湿接缝内部不密实区数据处理及判断详见附录G.0.5和附录G.0.6。

**11.4.2**超声检测湿接缝内部空洞评定详见附录H。

**11.4.3**超声检测湿接缝结合面质量评定详见附录I.0.3和附录I.0.4。

12　钢结构连接检测方法

12.1一般规定

**12.1.1**本章规定的钢结构连接包括焊接、高强度螺栓连接和高强度环槽铆钉连接。

**12.1.2**厂内制造的钢结构主要零件和组装的节段或构件，其尺寸精度和质量要求应符合现行国家标准的规定。

**12.1.3**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。

12.2焊接检测

**12.2.1**钢结构工地焊接连接前，应进行焊接工艺评定试验，焊接工艺评定试验应包括厂内制造和工地连接在内的焊接工艺试验，并应符合现行国家标准的规定。

**12.2.2**钢结构焊接用材与母材的匹配应根据焊接工艺评定试验确定。焊条、焊丝、焊剂等焊接材料的品种、规格、性能等应符合以下现行国家标准的规定。

**1**焊条应符合现行《热强钢焊条》GB/T 5118、《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117的规定。

**2**气体保护焊用焊丝应符合现行《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 8110、《热强钢药芯焊丝》GB/T 17493和《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T 10045的规定。

**3**埋弧焊所使用的焊丝和焊剂应符合现行《埋弧焊用热强实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470、《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293的规定。

**12.2.3**焊缝检验应包括外观检查、无损检测和产品试板检验。

**12.2.4**焊接完毕且待焊缝冷却至室温后，应对所有焊缝进行外观检查，焊缝不应有裂纹、未熔合、夹渣、未填满弧坑、漏焊以及超出表12.2.4规定的缺陷。

**表12.2.4 焊缝外观质量标准**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 简图 | 质量标准（mm） |
| 气孔 |  | 横向对接焊缝 | 不允许 |
| 纵向对接焊缝、主要角焊缝 | 直径小于1.0 | 每米不多于3个，间距不小于20，但焊缝端部10mm之内不允许 |
| 其他焊缝 | 直径小于1.5 |
| 咬边 | C:\Users\huanghong.SMEDI_GK\AppData\Roaming\feiq\RichOle\89894729.bmp | 受拉构件横向对接焊缝、桥面板与U形肋角焊缝及竖向加劲肋角焊缝（腹板侧受拉区） | 不允许 |
| 受压构件横向对接焊缝及竖向加劲肋角焊缝（腹板侧受压区） | Δ≤0.3 |
| 纵向对接焊缝及主要角焊缝 | Δ≤0.5 |
| 其他焊缝 | Δ≤1.0 |
| 焊脚尺寸 | C:\Users\huanghong.SMEDI_GK\AppData\Roaming\feiq\RichOle\3577909549.bmp | 主要角焊缝，K | +2.0，0 |
| 其他角焊缝，K | +2.0，0（手工焊角焊缝全长10%区段内允许+3.0，-1.0） |
| 焊波 | C:\Users\huanghong.SMEDI_GK\AppData\Roaming\feiq\RichOle\2782635396.bmp | 对接焊缝及角焊缝，h | 任意25mm范围内高低差h≤2.0 |
| 余高 | C:\Users\huanghong.SMEDI_GK\AppData\Roaming\feiq\RichOle\412723038.bmp | 不铲磨余高的对接焊缝 | 焊缝宽b＞20mm时，h≤3.0 |
| 焊缝宽b≤20mm时，h≤2.0 |
| 余高铲磨后表面 | C:\Users\huanghong.SMEDI_GK\AppData\Roaming\feiq\RichOle\2946563811.bmp | 横向对接焊缝 | 不高于母材0.5 |
| 不低于母材0.3 |
| 粗糙度50μm |

**12.2.5**焊缝经外观检查合格后方可进行无损检测，无损检测应在焊接24h后进行。焊缝无损检测的质量分级、检测等级和验收等级应符合下列规定。

**1**焊缝无损检测的质量等级应符合现行《钢的弧焊接头缺陷质量分级指南》GB/T 19418的规定。

**2**超声波检测等级和验收等级应符合现行《焊缝无损检测超声检测技术、检测等级和评定》GB/T 11345和《焊缝无损检测超声检测验收等级》GB/T 29712的规定。

**3**射线检测等级和验收等级应符合现行《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。

**4**磁粉检测等级和验收等级应符合现行《焊缝无损检测磁粉检测》GB/T 26951和《焊缝无损检测焊缝磁粉检测验收等级》GB/T 26952的规定。

**5**弱磁性材料焊缝进行渗透检测时，应符合现行《无损检测渗透检测》GB/T18851和《焊缝无损检测焊缝渗透检测验收等级》GB/T 26953的规定。

**12.2.6**钢箱梁焊缝无损检测的质量分级、检验方法、检验部位和等级应符合表12.2.6的规定。

**表12.2.6 钢箱梁焊缝无损检测质量等级及探伤范围**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 焊缝名称 | 质量等级 | 检测方法 | 检测比例 | 检测等级 | 验收等级 | 检测部位 |
| 横向对接焊缝（顶板、底板、腹板、横隔板等） | B级 | 超声波 | 100% | B级 | 2级 | 焊缝全长 |
| 射线 | 10% | B级 | 1级 | 两端各250mm～300mm，长度大于1200mm中间加探250mm～300mm |
| 纵向对接焊缝（顶板、底板、腹板等） | B级 | 超声波 | 100% | B级 | 2级、3级 | 端部1m范围内为2级，其余部位为3级 |
| 射线 | 10% | B级 | 1级、2级 | 焊缝两端、中间各250mm～300mm，两端1级，中间2级 |
| 横隔板对接焊缝 | B级 | 超声波 | 100% | B级 | 2级 | 焊缝全长 |
| 射线 | 5% | B级 | 2级 | 下部250mm～300mm |
| T形接头和角接接头熔透角焊缝 | B级 | 超声波 | 100% | B级 | 2级 | 焊缝全长 |
| 梁段间对接焊缝 | B级 | 超声波 | 100% | B级 | 2级 | 焊缝全长 |
| 射线 | 顶板、腹板100%，底板30% | B级 | 1级 | 顶、底板十字交叉处焊缝纵、横向各250mm～300mm，腹板两端各250mm～300mm |
| 连接锚箱或吊耳板的熔透角焊缝 | B级 | 超声波 | 100% | B级 | 2级 | 焊缝全长 |
| 磁粉 | 100% | - | 2X级 | 焊缝全长 |
| 部分熔透角焊缝 | B级 | 超声波 | 100% | B级 | 2级 | 焊缝两端各1m |
| 磁粉 | 100% | - | 2X级 | 焊缝全长 |
| 横隔板与顶、底板角焊缝 | C级 | 磁粉 | 100% | - | 2X级 | 行车道范围总长的20% |
| 横隔板与腹板角焊缝 | C级 | 磁粉 | 100% | - | 2X级 | 焊缝全长 |
| 腹板与底板角焊缝 | C级 | 磁粉 | 100% | - | 2X级 | 焊缝两端各1000mm，中间每隔2000mm探1000mm |
| U形肋与顶（底）板角焊缝 | C级 | 磁粉 | 100% | - | 2X级 | 每条焊缝两端各1000mm，其中行车道范围的顶板角焊缝为两端各2000mm |
| U形肋、板肋嵌补段对接焊缝及角焊缝 | C级 | 磁粉 | 100% | - | 2X级 | 焊缝全长 |
| 临时连接（含马板） | C级 | 磁粉 | 100% | - | 2X级 | 拆除临时连接的位 |

**12.2.7**钢盖梁、钢立柱焊缝无损检测的质量分级、检验方法、检验部位和等级应符合表12.2.7的规定。

**表12.2.7 钢立柱、钢盖梁焊缝无损检测质量等级及探伤范围**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 焊缝名称 | 质量等级 | 检测方法 | 检测比例 | 检测等级 | 验收等级 | 检测部位 |
| 盖梁顶、底、腹板及立柱壁板、腹板纵向对接焊缝 | B级 | 超声波 | 100% | B级 | 2级 | 焊缝全长 |
| 盖梁顶、底、腹板及立柱壁板、腹板横向对接焊缝 | B级 | 超声波 | 100% | B级 | 2级 | 焊缝全长 |
| B级 | 射线 | 10% | B级 | 1级 | 两端各250mm～300mm |
| 其他熔透角焊缝 | B级 | 超声波 | 100% | B级 | 2级 | 焊缝全长 |
| 磁粉 | 100% |  | 2X级 | 焊缝全长 |
| 其他部分熔透角焊缝 | B级 | 超声波 | 100% | B级 | 2级 | 焊缝全长 |
| 其他角焊缝 | C级 | 磁粉 | 100% |  | 2X级 | 焊缝全长 |

**12.2.8**产品试板检验应符合下列规定：

**1**焊缝应按表12.2.8规定的焊缝类型确定产品试板数量，接头数量少于表中数量时，应做1组产品试板。产品试板焊缝的外观应符合表12.2.4的规定，并应按Ⅰ级对接焊缝要求进行超声波探伤。经外观和探伤检验合格后应进行接头拉伸、侧弯和焊缝金属低温冲击试验，试样数量和试验结果应符合焊接工艺评定的有关规定。

**2**若试验结果不合格，则应先查明原因，然后对该试板代表的接头进行处理，并重新进行检验。

**表12.2.8 产品试板数量**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 焊缝类型 | 接头数量 | 产品试板数量 |
| 横向对接焊缝 | 30条 | 1组 |
| 桥面板横向对接焊缝 | 10条 | 1组 |
| 桥面板纵向对接焊缝 | 30条 | 1组 |
| 全断面对接焊缝 | 10个断面 | 平、立、仰各1组 |

**12.2.9**进行局部超声波检测、射线检测、磁粉检测或渗透检测的焊缝，当发现裂纹或其他超标缺陷时，应加倍检测，仍不合格时应将该条焊缝的检测范围延至全长。

**12.2.10**采用超声波、射线、磁粉和渗透等多种方法检测的同一条焊缝，应达到各自的质量要求，该焊缝方可认为合格。

**12.2.11**采用超声波、射线、磁粉和渗透等多种方法检测的同一条焊缝，应达到各自的质量要求，该焊缝方可认为合格。

12.3高强度螺栓和环槽铆钉连接检测

**12.3.1**钢结构连接用高强度大六角头螺栓连接副紧固标准件及螺母、垫圈等标准配件的品种、规格、性能等应符合《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230和《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等现行国家标准的规定。

**12.3.2**钢结构连接用高强度环槽铆钉连接副的品种、规格、性能等应符合现行《环槽铆钉连接副技术条件》GB/T 36993的规定。

**12.3.3**钢结构连接用高强度大六角头螺栓连接副应进行扭矩系数复验，并应符合下列规定：

**1**复验用的螺栓应在施工现场待安装的螺栓批中随机抽取，每批应抽取8套连接副进行复验；

**2**检验方法和结果应符合现行国家标准《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。高强度大六角头螺栓的扭矩系数平均值及标准偏差应符合表12.3.3的规定。

**表12.3.3 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 |

**备注：**

1 每套连接副只做一次试验，不得重复使用。

2 试验时垫圈发生转动，试验视为无效。

**12.3.4**钢结构高强度螺栓和高强度环槽铆钉现场连接前应按本规范附录K的规定进行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，其结果应符合设计要求，设计未规定时，工地安装前的复验值不应小于0.45。

**12.3.5**高强度螺栓孔、铆钉孔制孔应符合下列规定：

**1**螺栓孔、铆钉孔应钻制成正圆柱形，孔壁表面的粗糙度不应大于Ra25μm，孔缘应平顺、无损伤、无刺屑。

**2**螺栓孔、铆钉孔的孔径允许偏差应符合表12.3.5-1的规定；孔距允许偏差应符合表12.3.5-2的规定。

**表12.3.5-1 螺栓孔、铆钉孔的孔径允许偏差**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 螺栓、铆钉直径 | 螺栓、铆钉孔径（mm） | 允许偏差（mm） |
| 孔径 | 孔壁垂直度 |
| M16 | 18 | ﹢0.5，0 | 板厚t≤30mm时，不大于0.3；板厚t＞30mm时，不大于0.5 |
| M18 | 20 | ﹢0.5，0 |
| M20 | 22 | ﹢0.7，0 |
| M22 | 24 | ﹢0.7，0 |
| M24 | 26 | ﹢0.7，0 |
| M27 | 29 | ﹢0.7，0 |
| M30 | 33 | ﹢0.7，0 |

**表12.3.5-2 螺栓孔、铆钉孔的孔距允许偏差**

|  |  |
| --- | --- |
| 螺栓、铆钉直径 | 允许偏差（mm） |
| 钢箱梁 | 钢桁梁 | 钢板梁 | 钢立柱 | 钢盖梁 | 其他构件 |
| 两相邻孔孔距 | ±0.4 | ±0.4 | ±0.4 | ±0.4 | ±0.4 | ±0.4 |
| 同一孔群任意两孔孔距 | ±0.8 | ±0.8 | ±0.8 | ±0.8 | ±0.8 | ±0.8 |
| 多组孔群两相邻孔群中心距 | 0.8 | ±0.8 | ±1.5 | ±0.8 | ±0.8 | ±1.0 |
| 两端孔群中心距 | L≤11m | ±1.5 | ±0.8 | ±0.8±4.0a | ±1.5 | ±0.8 | ±1.5 |
| L＞11m | ±2.0 | ±1.0 | ±1.0±8.0a | ±2.0 | ±1.0 | ±2.0 |
| 孔群中心线与构件中心线的横向偏移 | 腹板不拼接 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 腹板拼接 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | — |
| 构件任意两面孔群纵、横向错位 | 1.0 | 1.0 | — | 1.0 | 1.0 | — |

**备注：**a连接支座的孔群中心距允许偏差。

**12.3.6**高强度大六角头螺栓连接副终拧质量检查应符合下列规定：

**1**用小锤（约0.3kg）敲击螺母对高强度螺栓进行普查是否有漏拧。

**2**终拧扭矩应按节点数抽查10%，且不应少于10个节点。对于每个被抽查的节点应按螺栓数抽查10%，且不少于2个螺栓。

**3**检查时先在螺杆端面和螺母上划一直线，然后将螺母拧松60°后，再用扭矩扳手重新拧紧，使两线重合，测得此时的扭矩应在0.9*T*ch～1.1*T*ch范围内，其中*T*ch应按式（12.3.6）计算：

*T*ch=*KPd* （12.3.6）

式中：*T*ch——高强度螺栓检查扭矩（N·m）；

*K*——测定的扭矩系数；

$P$——高强度螺栓预拉力设计值（kN）；

$d$——高强度螺栓的公称直径（mm）。

**4**扭矩检查宜在螺栓终拧1h后、48h之前完成。

**5**如检查扭矩有不合格的，应再扩大一倍检查。如仍有不合格者，则整个节点的高强度螺栓应重新施拧。

**12.3.7**高强度环槽铆钉连接副现场连接施工质量检查应符合下列规定：

**1**对铆接施工完成后的高强度环槽铆钉连接副应进行100%的套环外观检查，确认其是否已产生塑性变形。套环未产生塑性变形时，应重新铆接；或更换新的连接副重新进行铆接。

**2**对高强度环槽铆钉连接副铆接后的成形尺寸，每个节点应随机抽取10%、且不少于2套的铆钉连接副进行检查。成形尺寸不符合规定的，应将该铆钉连接副拆除，更换新的连接副重新进行铆接，并应进行加倍检查；如仍有不合格者，应对该节点所有剩余的铆钉连接副进行检查。

**3**高强度环槽铆钉连接副铆接后的结构形式应符合现行国家标准《环槽铆钉连接副 技术条件》GB/T 36993的规定。

附录A　套筒灌浆饱满度电阻率法检测记录表

**表A.0.1　套筒灌浆饱满度电阻率法检测记录表**

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 | 检测电阻值 | 评定类别 | 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B　套筒灌浆饱满度电容法检测记录表

**表B.0.1 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C　套筒灌浆饱满度压电法检测记录表

**表C.0.1　套筒灌浆饱满度压电法检测记录表**

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 | 灌浆前压电值 | 灌浆后压电值 | 压电比值 | 评定类别 | 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D　套筒灌浆饱满度预埋阻尼传感器法检测记录表

**表D.0.1　套筒灌浆饱满度预埋阻尼传感器法检测记录表**

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 | 灌浆前传感器读数 | 灌浆后传感器读数 | 评定类别 | 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E　套筒连接质量内窥镜法检测记录表

**表E.0.1　套筒连接质量内窥镜法检测记录表**

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 | 是否存在异物/异物描述 | 钢筋插入长度计算值 | 饱满度计算值 | 内窥镜照片编号 | 备注 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 检测： | 复核： | 检测日期： |

附录F　套筒灌浆料实体强度表面硬度法检测记录表

**表F.0.1　套筒灌浆料实体强度表面硬度法检测记录表**

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 | 表面硬度测量值 | 表面硬度代表值 | 灌浆料抗压强度换算值 | 灌浆料抗压强度推定值 | 备注 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
| 检测： | 复核： | 检测日期： |

附录G　湿接缝内部不密实区检测方法

**G.0.1**超声法检测湿接缝内部不密实区时，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。

**G.0.2**检测结合面质量时应根据结合面位置确定测试部位，被测部位应具有使声波垂直或斜穿过结合面的测试条件。

**G.0.3**超声法检测湿接缝内部缺陷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，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G.0.3-1）。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) 平面图 | (b) 立面图 |

**图G.0.3-1 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G.0.3-2）。



**图G.0.3-2 斜测法示意图**

**3**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。

**G.0.4**每一测点的声时、波幅、主频和测距，应按10.3.7~10.3.10进行测量。

**G.0.5**声学参数异常点的判定应符合下列规定：

**1**　将测区内各测点的声速、波幅或主频值由大到小顺序分别排列，记*Xi*为第*i*点的声学参数测量值，*X*1≥*X*2≥…≥*Xn*≥*Xn*+1≥…，将排在后面明显小的数据视为可疑，并按下式计算异常情况的判断值，当被测构件声速异常偏大时，可根据实际情况直接剔除。将判断值*x*0与可疑数据的最大值（假定为*Xn*）相比较，当*Xn*≤*X*0，则*Xn*及排列于其后的各数据均为异常值，并且去掉*Xn*，再用*X*1~*Xn*-1进行计算和判别，直至判不出异常值为止；当*Xn*＞*x*0，应再将*Xn*+1放进去重新进行计算和判别。

*x*0=*mx*-*λ*1*sx* （G.0.5-1）

式中：*x*0——声学参数异常情况的判断值；

*mx*——各测点的声学参数平均值，*mx*=∑*Xi*/*n*，*n*为参与统计的测点数；

*sx*——各测点的声学参数标准差，$s\_{x}=\sqrt{(∑X\_{i}^{2}−n∙m\_{x}^{2})/(n−1)}$；

*λ*1——系数，*λ*1=*Φ*-1(1/*n*)，按表G.0.5取值。

**2**　当测区内某测点声学参数被判为异常时，可按下列公式进一步判别其相邻测点是否异常；若保证不了耦合条件的一致性，则波幅值不能作为统计法的判据：

*x*0=*mx*-*λ*2*sx* （G.0.5-2）

*x*0=*mx*-*λ*3*sx* （G.0.5-3）

式中：*λ*2——当测点网格状布置时所取的系数，*λ*2=*Φ*-1(1/4*n*)，按表G.0.5取值；

*λ*3——当测点单排布置时所取的系数，*λ*3=*Φ*-1(1/2*n*)，按表G.0.5取值。

**表G.0.5 统计数的个数*n*与对应的*λ*1、*λ*2、*λ*3值**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *n* | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 |
| *λ*1 | 1.65 | 1.69 | 1.73 | 1.77 | 1.80 | 1.83 | 1.86 | 1.89 | 1.92 | 1.94 |
| *λ*2 | 1.25 | 1.27 | 1.29 | 1.31 | 1.33 | 1.34 | 1.36 | 1.37 | 1.38 | 1.39 |
| *λ*3 | 1.05 | 1.07 | 1.09 | 1.11 | 1.12 | 1.14 | 1.16 | 1.17 | 1.18 | 1.19 |
| *n* | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 |
| *λ*1 | 1.96 | 1.98 | 2.00 | 2.02 | 2.04 | 2.05 | 2.07 | 2.09 | 2.10 | 2.12 |
| *λ*2 | 1.41 | 1.42 | 1.43 | 1.44 | 1.45 | 1.46 | 1.47 | 1.48 | 1.49 | 1.49 |
| *λ*3 | 1.20 | 1.22 | 1.23 | 1.25 | 1.26 | 1.27 | 1.28 | 1.29 | 1.30 | 1.31 |
| *n* | 60 | 62 | 64 | 66 | 68 | 70 | 72 | 74 | 76 | 78 |
| *λ*1 | 2.13 | 2.14 | 2.15 | 2.17 | 2.18 | 2.19 | 2.20 | 2.21 | 2.22 | 2.23 |
| *λ*2 | 1.50 | 1.51 | 1.52 | 1.53 | 1.53 | 1.54 | 1.55 | 1.56 | 1.56 | 1.57 |
| *λ*3 | 1.31 | 1.32 | 1.33 | 1.34 | 1.35 | 1.36 | 1.36 | 1.37 | 1.38 | 1.39 |
| *n* | 80 | 82 | 84 | 86 | 88 | 90 | 92 | 94 | 96 | 98 |
| *λ*1 | 2.24 | 2.25 | 2.26 | 2.27 | 2.28 | 2.29 | 2.30 | 2.30 | 2.31 | 2.31 |
| *λ*2 | 1.58 | 1.58 | 1.59 | 1.60 | 1.61 | 1.61 | 1.62 | 1.62 | 1.63 | 1.63 |
| *λ*3 | 1.39 | 1.40 | 1.41 | 1.42 | 1.42 | 1.43 | 1.44 | 1.45 | 1.45 | 1.45 |
| *n* | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 | 125 | 130 | 140 | 150 | 160 |
| *λ*1 | 2.32 | 2.35 | 2.36 | 2.38 | 2.40 | 2.41 | 2.43 | 2.45 | 2.48 | 2.50 |
| *λ*2 | 1.64 | 1.65 | 1.66 | 1.67 | 1. 68 | 1.69 | 1.71 | 1.73 | 1.75 | 1.77 |
| *λ*3 | 1.46 | 1.47 | 1.48 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.54 | 1.56 | 1.58 | 1.59 |

**3**　当湿接缝中有怀疑的区域范围较大，不能满足本标准第G.0.1条的要求时，可选择同条件的正常湿接缝进行检测，按其声学参数的均值和标准差以及被测湿接缝的测点数，计算异常数据的判断值，以此判断值对被测湿接缝声学参数进行判断，确定声学参数异常点。

**4**　当湿接缝缺陷的匀质性较好或结合面缺陷区域的厚度较薄，导致计算出的异常数据判断值与经验值相比明显偏低时，可采用声学参数的经验判断值进行判断，确定声学参数异常点。

**5**　当测点数不满足本标准第G.0.1条的要求、无法进行统计法判断时，或当测线的测距或倾斜角度不一致、幅度值不具有可比性时，可将有怀疑测点的声参数与同条件的正常区域测点的声学参数进行比较，当有怀疑测点的声学参数明显低于正常湿接缝测点声学参数，该点可判为声学参数异常点。

**G.0.6**　湿接缝内部缺陷的位置和范围应结合声学参数异常点的分布及波形状况进行综合判定。

附录H　湿接缝空洞尺寸估算方法

**H.0.1**　对湿接缝内部空洞尺寸，应根据*X*、*Y*值，通过表H.0.1查得空洞半径*r*与测距*l*的比值*Z*，再估算空洞的大致半径*r*。

*X=*(*th-mta*)/*mta*×100% （H.0.1-1）

*Y=lh*/*l*  （H.0.1-2）

*Z=r*/*l* （H.0.1-3）

式中：*l*——检测距离（mm）；

*lh*——空洞中心（在另一对测试面上声时最长的测点位置）距一个测试面的垂直距离（mm）；

*mta*——声波在空洞附近无缺陷混凝土中传播的时间平均值（μs）；

*th*——绕空洞传播的时间（空洞处的最大声时）（μs）；

*r*——空洞半径（mm）。



**图H.0.1 空洞尺寸估算示意图**

**表H.0.1 Z取值表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Y X Z | 0.05 | 0.08 | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.18 | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 0.28 | 0.30 |
| 0.10 (0.90) | 1.42 | 3.77 | 6.26 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.15 (0.85) | 1.00 | 2.56 | 4.06 | 5.97 | 8.39 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.20 (0.80) | 0.78 | 2.02 | 3.18 | 4.62 | 6.36 | 8.44 | 10.9 | 13.9 |  |  |  |  |  |
| 0.25 (0.75) | 0.67 | 1.72 | 2.69 | 3.90 | 5.34 | 7.03 | 8.98 | 11.2 | 13.8 | 16.8 |  |  |  |
| 0.30 (0.70) | 0.60 | 1.53 | 2.40 | 3.46 | 4.73 | 6.21 | 7.91 | 9.38 | 12.0 | 14.4 | 17.1 | 20.1 | 23.6 |
| 0.35 (0.65) | 0.55 | 1.41 | 2.21 | 3.19 | 4.35 | 5.70 | 7.25 | 9.00 | 10.9 | 13.1 | 15.5 | 18.1 | 21.0 |
| 0.40 (0.60) | 0.52 | 1.34 | 2.09 | 3.02 | 4.12 | 5.39 | 6.84 | 8.48 | 10.3 | 12.3 | 14.5 | 16.9 | 19.6 |
| 0.45 (0.55) | 0.50 | 1.30 | 2.03 | 2.92 | 3.99 | 5.22 | 6.62 | 8.20 | 9.95 | 11.9 | 14.0 | 16.3 | 18.8 |
| 0.50 | 0.50 | 1.28 | 2.00 | 2.89 | 3.94 | 5.16 | 6.55 | 8.11 | 9.84 | 11.8 | 13.3 | 16.1 | 18.6 |

**H.0.2**　当被测部位只有一对可供测试的表面时，只能按空洞位于测距中心考虑，空洞尺寸可按下式计算：

$r=l/2∙\sqrt{(t\_{ℎ}/m\_{ta})^{2}−1}$ （H.0.2-1）

式中：*r*——空洞半径（mm）；

*l*——T、R换能器之间的距离（mm）；

*th*——缺陷处的最大声时值（μs）；

*mta*——无缺陷区的平均声时值（μs）；

附录I　湿接缝混凝土结合面质量检测方法

**I.0.1**结合面质量检测可采用对测法和斜测法，换能器连线应垂直或斜穿过结合面测量每个测点的声时、波幅、主频和测距，对发生畸变的波形应存储或记录，如图I.0.1所示。布置测点时应注意下列几点：

**1**　使测试范围覆盖全部结合面或有怀疑的部位；

**2**　各对T—R1（声波传播不经过结合面）和T—R2（声波传播经过结合面）换能器连线的倾斜角测距应相等；

**3**　测点的间距视构件尺寸和结合面外观质量情况而定，宜为100mm~300mm。

|  |  |
| --- | --- |
| 电脑屏幕的照片  中度可信度描述已自动生成 |  |
| (a) 斜测法 | (b) 对测法 |

**图I.0.1 结合面质量对测或斜测法示意图**

**I.0.2**按布置好的测点分别测出各点的声时、波幅和主频值。

**I.0.3**数据处理及判断：

**1**　同一测位各测点声速、波幅和主频值按本标准第I.0.5条进行统计和判断。

**2**　当测点数无法满足统计法判断时，可将T—R2的声速、波幅等声学参数与T—R1进行比较，若T—R2的声学参数比T—R1显著低时，则该点可判为异常测点。

**3**　当通过结合面的某些测点的数据被判为异常，并查明无其他因素影响时，可判定混凝土结合面在该部位结合不良。

附录J　预制构件湿接缝连接质量超声波法检测记录表

**表J.0.1　预制构件湿接缝连接质量超声波法检测记录表**

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 | 检测部位 | 测点编号 | 缺陷大小 | 缺陷类型 | 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K　高强度螺栓连接抗滑移系数试验方法

**K.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。

**K.0.2**检验批可按桥梁拼装单位工程所含高强度螺栓用量划分：每10000个高强度螺栓用量的钢结构为一批，不足10000个高强度螺栓用量的钢结构视为一批。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，每批3组试件。

**K.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K.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t1、t2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K.0.3 抗滑移系数拼接时间的形式和尺寸（尺寸单位：mm）**

L—试件总长度；L1—试件机夹紧长度；2t2≥t1

**表K.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 |

**K.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。

**K.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。

**K.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0.95*P*~1.05*P*（*P*为高强度螺栓设计预拉力值）范围内。

**K.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。

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

$μ=\frac{N\_{v}}{n\_{f}·\sum\_{i=1}^{m}P\_{i}}$ （K.0.8）

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**《装配式混凝土结构套筒灌浆质量检测技术规程》T/CECS 683

**2**《装配式混凝土结构检测技术标准》DBJ/T 15-199

**3**《装配式建筑混凝土结构耐久性技术标准》DBJ/T 15-217

**4**《装配式市政桥梁工程技术规范》DBJ/T 15-169

**5**《装配式混凝土结构连接节点构造》G310-1~2

**6**《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1

**7**《装配式混凝土结构工程施工质量验收规程》DB4401/T 16

**8**《装配式结构工程施工质量验收规程》DGJ32/J 184

**9**《装配式混凝土结构工程施工与质量验收规程》DB11/T 1030

**10**《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231

**11**《装配式住宅建筑检测技术标准》JGJT 485

**12**《装配整体式混凝土建筑检测技术标准》DG/TJ 08-2252

**13**《装配整体式混凝土结构检测技术规程》DB32/T 3754

**14**《装配式建筑施工现场安全技术规程》DB42/T 1233

**15**《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS 21

**16**《冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程》JG/T 411

**17**《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448

**18**《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355

**19**《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408

**20**《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107

**21**《钢结构设计标准》GB 50017

**22**《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205

**23**《钢结构焊接规范》GB 50661

**24**《钢筋焊接及验收规程》JG J18

**25**《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107

广东省市政行业协会

**装配式市政桥梁连接节点质量检测与修补技术规程**

XX-20XX

条文说明

编制说明

《装配式市政桥梁连接节点质量检测与修补技术规程》，经广东省市政行业协会20XX年XX月XX日以XX号公告批准、发布。

本规程编制过程中，编制组进行了广泛地调查研究，总结了我国工程建设中的实践经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，通过工程实例，取得了装配式市政桥梁连接节点质量检测技术的重要参数。

为便于广大设计、施工、检测、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《装配式市政桥梁连接节点质量检测与修补技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

3　基本规定 64

3.1　一般规定 64

3.2　检测方法 64

4　电阻率法 65

4.1　一般规定 65

4.3　检测方法 65

4.4　评定 65

5　电容法 66

5.1　一般规定 66

5.3　检测方法 66

5.4　评定 66

6　压电法 66

6.1　一般规定 66

6.3　检测方法 66

6.4　评定 67

7　预埋阻尼传感器法 67

7.1　一般规定 67

7.2　检测设备 67

7.3　检测方法 67

7.4　评定 68

8　内窥镜法 68

8.2　检测设备 68

8.3　检测方法 68

8.4　评定 69

10　套筒灌浆饱满度修补 69

10.1　一般规定 69

10.2　修补 69

11　超声波检测湿接缝 69

11.1　一般规定 70

11.3　检测方法 70

附录G　湿接缝内部不密实区检测方法 70

附录H　湿接缝空洞尺寸估算方法 70

附录I　湿接缝混凝土结合面质量检测方法 70

**3**　**基本规定**

3.1　一般规定

**3.1.1**本条规定了本标准的适用范围。本标准主要适用于新建装配式市政桥梁连接节点在工程施工与竣工验收阶段的现场检测。本标准的适用范围不包括使用阶段。使用阶段如需检测，应执行国家和行业现行有关标准。

3.2　检测方法

**3.2.1**各类方法的优缺点和适用场景如下表3.2.5所示。

**表3.2.1 灌浆料硬度检测面示意图**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 方法 | 适用场景 | 优缺点 |
| 电阻率法 | 套筒灌浆饱满度检测，施工过程检测 | 不需预埋；事中检测；设备轻便；当场补浆；避免了浆液回流对检测结果的误判 |
| 电容法 | 套筒灌浆饱满度检测，施工过程检测 | 事中检测；设备轻便；当场补浆；避免了浆液回流对检测结果的误判；需事前预埋 |
| 压电法 | 套筒灌浆饱满度检测，施工过程检测 | 事中检测；设备轻便；当场补浆；避免了浆液回流对检测结果的误判；需事前预埋 |
| 预埋阻尼传感器法 | 套筒灌浆饱满度检测，施工过程检测 | 可判读灌浆料是否达到传感器位置；传感器成本高昂；需事前预埋；传感器放置方向对读数影响大 |
| 内窥镜法 | 套筒灌浆饱满度检测，灌浆料凝固后检测 | 伸入探头直接观察内部；需破损后将探头伸入检测 |
| 表面硬度法 | 套筒灌浆料实体强度检测，灌浆料凝固后检测 | 事后检测；操作复杂 |
| 超声波检测法 | 预制构件结合面湿接缝的内部缺陷（不密实区域、空洞）及结合面质量检测 | 检测体系成熟，检测结果较准确；操作复杂 |

**3.2.5**本规程推荐的套筒灌浆饱满度检测方法包括电阻率法、电容法、压电法、预埋阻尼传感器法、内窥镜法等，可针对不同施工阶段进行检测。除此之外，预埋钢丝拉拔法和X射线法并未列入其中。预埋钢丝拉拔法是灌浆前在出浆口预埋光圆高强钢丝，待灌浆料灌注并养护一定时间后，对预埋钢丝进行拉拔试验，通过拉拔荷载值来判断灌浆质量。然而该方法难以制定一个统一的标准来判别不同套筒和不同灌浆料的灌浆饱满度，且其检测过程操作复杂，需待灌浆料凝固后再进行检测。X射线法作为一种灌浆后的无损检测手段，具有检测结果直观的优势；但是该方法检测设备过于庞大检测效率低，且放射性非常高，对人体危害大；难以穿透厚度超过300mm的混凝土试件，难以实现大规模工程现场的检测。

灌浆施工完成后，对于检测出有缺陷或疑似缺陷的套筒，可采用内窥镜法、局部破损法进行校核。局部破损法可采用钻芯检测法，通过内窥镜观察缺陷大小。对于局部破损的套筒，对钻心孔进行补浆处理。

**4**　**电阻率法**

4.1　一般规定

**4.1.1**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。

4.3　检测方法

**4.3.3**套筒灌浆饱满度电阻率法现场操作方便，检测费用仅为预埋阻尼传感器法的1/5。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%，抽检比例虽然比预埋阻尼传感器法显著增加，但检测费用仅为预埋阻尼传感器法的二分之一。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预埋阻尼传感器法抽检20%相当。

4.4　评定

**4.4.2**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100MΩ。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100MΩ。因此，电阻率法测试时可将100MΩ作为判断套筒灌浆是否饱满的阈值。

**4.4.4**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。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。

**5　电容法**

5.1　一般规定

**5.1.1**　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。

5.3　检测方法

**5.3.3**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。该方法检测费用为预埋传感器法的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。

5.4　评定

**5.4.2**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10μf，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0.5μf以内，若出现灌浆料液面回落的情况，电容值上升并超出0.5μf。因此，电容法测试时可将0.5μf作为判断套筒灌浆是否饱满的阈值。

**6**　**压电法**

6.1　一般规定

**6.1.1**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。

6.3　检测方法

**6.3.3**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。该方法检测费用为预埋阻尼传感器法的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。

6.4　评定

**6.4.2**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。

**7**　**预埋阻尼传感器法**

7.1　一般规定

**7.1.1**预埋阻尼传感器法是灌浆前在套筒出浆口预埋阻尼传感器，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。

7.2　检测设备

**7.2.3**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。

7.3检测方法

**7.3.2**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阻尼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，也可以对预埋阻尼传感器的套筒实施连续监测。

**7.3.3**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，故本规程将预埋阻尼传感器法的抽检比例定为20%。

7.4评定

**7.4.2**预埋阻尼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。

**7.4.4**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。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构件构件编号，为后期其它方法检测验证及补强提供位置信息。

8　内窥镜法

8.2检测设备

**8.2.1**钻孔设备额定电压宜为220kV，功率不宜小于1000W。当在套筒出浆孔钻孔时，可采用普通螺旋式钻头；当在套筒壁钻孔时，可先采用普通螺旋式钻头钻透混凝土保护层，然后可采用金刚石砂圆柱形钻头钻透套筒壁。

**8.2.2**内窥镜宜选用具有三维空间成像和测量功能的工业视频内窥镜。内窥镜摄像头CCD（Charge-coupled Device，电荷藕合元件）原生像素值是衡量一个设备实际清晰度的重要参数，规定不宜低于40万像素单位，可以有效保证成像的清晰度。

8.3检测方法

**8.3.3**钻孔内窥镜法用于建成结构检测时，应首先排除构件表面装修层的影响。钻孔时，在钻头行进过程中，应至少中断两次，及时进行清孔，防止钻屑落人套筒内部；停止钻孔后，再清孔一次，保持内窥镜观测通道畅通。需要特别指出的是，测量的深度不能超过内窥镜的量程，比如，内窥镜的量程为90.0mm，如果测量读数不超过90.0mm，可按实际读数记录，如果测量读数超过90.0mm，则应按“深度大于90.0mm”记录。

**8.3.4**当套筒出浆孔外接弯管或斜管时，均不具备钻孔条件，此时，可在套筒筒壁合适位置处钻孔形成检测通道。具体操作时，可先用普通螺旋式钻头钻透混凝土保护层至套筒表面，再用金刚石砂圆柱形钻头钻透套筒壁至套筒内钢筋位置。建议钻孔位置尽量靠近出浆孔。

8.4评定

**8.4.1**利用本条进行判定的前提条件是，必须严格按照本规程第8.3.3、8.3.4、8.3.5条的规定进行钻孔和测量。当内窥镜检测结果显示套筒灌浆不饱满时，应同时记录灌浆缺陷深度，然后应由设计单位综合判断灌浆缺陷对接头性能的影响。

**8.4.2**由于套筒灌浆饱满性是基于灌浆料界面相对出浆孔位置作出的规定，因此当选择在套筒筒壁钻孔，所成孔一般位于出浆孔下方，伸人内窥镜观测时，既要向下观测，同时又要向上观测，才能综合判断是否存在灌浆缺陷。建议尽量靠近出浆孔下方钻孔，如果距离出浆孔太远的话，检测钻孔处灌浆饱满，但钻孔处上方靠近出浆孔的位置灌浆不一定饱满，这种情况下就会出现误判，因此应慎重确定钻孔位置。

**8.4.3**钻孔内窥镜法形成的钻孔孔道为后续注射补灌修复灌浆缺陷创造了条件，从而可以实现检测与性能恢复的一体化。

当在套筒出浆孔采用钻孔内窥镜法检测套筒灌浆不饱满时，应在出浆孔钻孔孔道通过注射器外接细管进行注射补灌。补灌时，出浆孔钻孔孔道的内径与注射器外接细管的外径之差不应小于4mm，注射器内灌浆料液面最低位置应高于套筒。

10　套筒灌浆饱满度修补

10.1一般规定

**10.1.1**对于装配式建筑领域，部分试验表明，连接钢筋直径超过28mm时，灌浆饱满度不合格的套筒灌浆经修补后，连接性能不够稳定。对于装配式桥梁领域，通常连接钢筋直径较大。因此，对于待修补的套筒，需要根据实际情况，制定合理的修补方案。

10.2　修补

**10.2.2**　不宜采用“满灌法”进行修补，即灌注灌浆料直至浆液从检修孔流出。该方法容易堵塞检修孔，不利于复测。

11　超声波检测湿接缝

11.1　一般规定

**11.1.1**装配式桥梁工程现浇结合面湿接缝的缺陷检测可采用超声法（超声脉冲法）进行检测，即采用带波形显示功能的超声波检测仪，测量超声脉冲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。

11.3　检测方法

**11.3.4**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。

附录G　湿接缝内部不密实区检测方法

**G.0.1**不密实区，系指因振捣不够、漏浆或石子架空等造成的蜂窝状或因缺少水泥而形成的松散状以及遭受意外损伤所产生的疏松状混凝土区域。依据各测点的声速、波幅和主频的相对变化，寻找异常测点的坐标位置，从而判定缺陷范围。

**G.0.6**一般情况下，湿接缝内部的不密实区并非孤立的一小块，由声学参数测量值反映到测点也不是孤立一个点。因此，可根据异常测点在二维平面或三维空间的分布情况，并结合波形特征综合判断不密实区域的位置和范围。有时因构件整体质量较差，各测点的声速、波幅测量值的标准差较大，按上述方法判断缺陷易产生漏判。此时，可利用另外一个同条件（构件类型、混凝土的龄期、材料品种及用量相同，测试距离一致）正常混凝土声学参数的平均值和标准差进行异常数据判断。

附录H　湿接缝空洞尺寸估算方法

**H.0.1**为便于计算，将混凝土中的空洞理想化为“球形”或者是其轴线垂直于声波传播方向的“圆柱体”，并且视空洞周围为正常混凝土，这与实际情况存在较大差异，所以计算结果只能是大致尺寸。经模拟试验和工程实测表明，用该方法可用于粗略估算空洞尺寸。

附录I　湿接缝混凝土结合面质量检测方法

**I.0.3**如果所测混凝土的结合面结合良好，则超声波穿过有无结合面的混凝土时，声学参数应无明显差异。当结合面局部地方存在硫松、孔隙或填进杂物时，该部分混凝土与邻近正常混凝土相比，其声学参数值存在明显差异。有时因耦合不良、测距发生变化或对应测点错位等因素的影响，导致检测数据异常。因此，对于数据异常的测点，只有在查明无其他非混凝土自身因素影响时，方可判定该部位混凝土结合不良。