**中国工程建设标准化协会标准**

**铁路混凝土疲劳性能试验方法标准**Experimental specification for fatigue of railway concrete

（征求意见稿）

**T/CECS XXX:202X**

**主编单位：****中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所**

**批准单位：中国工程建设标准化协会**

**施行日期：202X年X月X日**

**中国XX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<2021年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2021〕20号文件）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国内先进标准，并在广泛征求意见基础上，制订本标准。

本标准共包括6章和1个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、仪器与设备、抗压疲劳试验和抗折疲劳试验。

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归口管理，由中国铁道科学研究院集团有限公司负责技术内容的解释。在使用过程中如有意见或建议，请将意见和资料寄送到解释单位（地址：北京市海淀区大柳树路2号中国铁道科学研究院集团有限公司，邮编：100081）。

主编单位：

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

# 目 次

[1 总则 1](#_Toc121492007)

[2 术语和符号 2](#_Toc121492008)

[2.1 术语 2](#_Toc121492009)

[2.2 符号 2](#_Toc121492010)

[3 基本规定 4](#_Toc121492011)

[3.1 一般规定 4](#_Toc121492012)

[3.2 试件的尺寸与公差 4](#_Toc121492013)

[3.3 试件的制作与养护 5](#_Toc121492014)

[3.4 试验报告 6](#_Toc121492015)

[4 仪器与设备 8](#_Toc121492016)

[4.1 混凝土疲劳试验机 8](#_Toc121492017)

[4.2 疲劳性能评价设备 10](#_Toc121492018)

[4.3 其他仪器设备 11](#_Toc121492019)

[5 抗压疲劳试验 12](#_Toc121492020)

[5.1 一般规定 12](#_Toc121492021)

[5.2 极限荷载与静力受压弹性模量测试 12](#_Toc121492022)

[5.3 疲劳性能测试 12](#_Toc121492023)

[6 抗折疲劳试验 16](#_Toc121492024)

[6.1 一般规定 16](#_Toc121492025)

[6.2 极限荷载测试 16](#_Toc121492026)

[6.3 疲劳性能测试 16](#_Toc121492027)

[附录A 试验报告样表 18](#_Toc121492028)

[本标准用词说明 23](#_Toc121492029)

[引用标准名录 24](#_Toc121492030)

[条 文 说 明 25](#_Toc121492031)

Contents

[1 General Provisions 1](#_Toc121492007)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc121492008)

[2.1 Terms 2](#_Toc121492009)

[2.2 Symbols 2](#_Toc121492010)

[3 Basic Requirements 4](#_Toc121492011)

[3.1 General Requirements 4](#_Toc121492012)

[3.2 Size and Tolerance of Specimen 4](#_Toc121492013)

[3.3 Preparation and Curing of Specimen 5](#_Toc121492014)

[3.4 Test Report 6](#_Toc121492015)

[4 Instructment and Equipment 8](#_Toc121492016)

[4.1 Concrete Fatigue Test Machine 8](#_Toc121492017)

[4.2 Fatigue Evaluate Equipment 10](#_Toc121492018)

[4.3 Other Equipments 11](#_Toc121492019)

[5 Test of Compressive Fatigue Properties 12](#_Toc121492020)

[5.1 General Requirements 12](#_Toc121492021)

[5.2 Test of Ultimate Load and Elastic Modulus under Static Compressive Stress 12](#_Toc121492022)

[5.3 Test of Fatigue Properties 12](#_Toc121492023)

[6 Test of Flexural Fatigue Properties 16](#_Toc121492024)

[6.1 General Requirements 16](#_Toc121492025)

[6.2 Test of Ultimate Load 16](#_Toc121492026)

[6.3 Test of Fatigue Properties 16](#_Toc121492027)

[Appendix A Style Sheet of Test Report 18](#_Toc121492028)

[Explanation of Wording in This Specification 23](#_Toc121492029)

[List of Quoted Standards 24](#_Toc121492030)

[Addition: Explanation of Provisions 25](#_Toc121492031)

## 总则

#### 为规范和统一铁路混凝土疲劳性能试验方法，提高铁路混凝土疲劳性能试验准确度和试验水平，制定本标准。

#### 本标准适用于高速铁路、普速铁路、重载铁路等承受列车周期性荷载作用的混凝土抗压疲劳性能与抗折疲劳性能试验。

#### 铁路混凝土疲劳性能试验除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 术语和符号

### 术语

#### 疲劳fatigue

循环荷载作用下混凝土内部产生裂纹以及由裂纹扩 展导致的损伤形式。

#### 疲劳荷载 fatigue load

连续重复作用的荷载。

#### 极限疲劳状态 ultimate fatigue state

由疲劳损伤所造成混凝土断裂前的特定状态。

#### 疲劳寿命 fatigue life

疲劳荷载作用下混凝土达到极限疲劳状态时应力循环作用次数。

#### 极限荷载 ultimate load

静载试验中混凝土破坏时承受的荷载。

#### 荷载上限 upper load

疲劳试验中荷载最大值。

#### 应力水平 stress level

疲劳荷载最大值与极限荷载的比值。

#### 应力比 stress ratio

疲劳荷载最小值与疲劳荷载最大值的比值。

#### 荷载频率 loading frequency

单位时间内外加荷载周期性变化的次数。

#### 荷载波形 loading waveform

疲劳荷载随时间的变化形式。

#### 冲击弹性波 impact elastic wave

冲击作用下的质点以波动形式传播在弹性范围内产生的运动，亦称应力波。

### 符号

#### *f*——疲劳荷载频率（Hz）；

#### *σ*max——疲劳荷载上限（kN）；

*R*a——抗压疲劳试验机承压板表面粗糙度（μm）；

#### *b*——抗折疲劳试验中混凝土试件截面宽度（mm）；

#### *h*——抗折疲劳试验中混凝土试件截面高度（mm）；

#### *L*——抗折疲劳试验中混凝土试件长度（mm）；

#### *l*——抗折疲劳试验中支座间跨距（mm）；

#### *F*c——抗压疲劳试验中混凝土破坏时极限荷载（kN）；

*f*c——混凝土轴心抗压强度（MPa）；

*E*c——混凝土静力受压弹性模量（GPa）；

#### *F*f——抗折疲劳试验中混凝土破坏时极限荷载（kN）；

#### *S*——疲劳试验应力水平；

#### *R*——疲劳试验应力比；

#### *σ*min——疲劳荷载下限（kN）；

*D*un——n次疲劳循环后混凝土基于超声波波速的疲劳损伤变量；

#### *V*u0——疲劳试验前混凝土试件的初始超声波波速（km/s）；

#### *V*un——n次疲劳加载后混凝土试件的超声波波速（km/s）；

*D*in——n次疲劳循环后混凝土基于冲击弹性波波速的疲劳损伤变量；

#### *V*i0——疲劳试验前混凝土试件的初始弹性波波速（km/s）；

#### *V*in——n次疲劳加载后混凝土试件的弹性波波速（km/s）；

*t*c——超声脉冲法测试混凝土超声波波速试验中耦合剂厚度（mm）。

## 基本规定

### 一般规定

#### 疲劳试验的实验室环境相对湿度不宜小于50%，温度应保持在20 ℃ ± 5 ℃；所用材料、试验设备、容器和辅助设备的温度宜与实验室温度保持一致。

#### 试验仪器设备应具有有效期内的计量检定或校准证书。

#### 混凝土疲劳性能试验试件可通过室内成型或现场钻芯方法获得，室内试件所用的拌合物应从同一盘混凝土或同一车混凝土中取样，现场钻芯应在有代表性的结构部位进行取样。

#### 铁路混凝土疲劳性能评价可采用超声脉冲法和冲击回波法。对于铁路混凝土的抗压疲劳性能试验，还可采用变形试验方法。

### 试件的尺寸与公差

#### 室内成型抗压及抗折疲劳性能试验的标准试件，应采用棱柱体试件；现场钻芯、锯切的抗压及抗折疲劳性能试验的试件，宜采用棱柱体试件，当现场条件难以满足时，混凝土抗压疲劳性能试验可采用圆柱体试件。

#### 混凝土疲劳性能试验试件的尺寸应根据粗骨料的最大粒径按表 3.2.1选定。

表 3.2.1 混凝土疲劳性能试验试件的尺寸要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 粗骨料最大粒径  （mm） | 混凝土试件的尺寸 | |
| 抗压疲劳 | 抗折疲劳 |
| 20 | 100mm×100mm×300mm  或*φ*100mm×300mm | 100mm×100mm×400mm |
| 40 | 150mm×150mm×450mm  或*φ*150mm×450mm | 150mm×150mm×600mm |

#### 混凝土疲劳性能试验试件尺寸的测量应符合下列规定：

##### 棱柱体试件

1. 边长与高度宜采用游标卡尺进行测量，精确至0.1mm。
2. 相邻面间的夹角应采用游标卡量角器进行测量，精确至0.1o。

##### 圆柱体试件

1. 应采用游标卡尺分别在试件的上部、中部和下部相互垂直的两个位置上共测量6次，取测量的算数平均值作为圆柱体试件的直径，应精确至0.1mm。
2. 对于现场钻芯方法获得试件，垂直度应用游标量角器测量芯样试件两个端面与母线的夹角，取最大值为芯样试件的垂直度，精确至0.1o。

##### 试件承压面的平面度可采用钢尺板和塞尺进行测量，测量时，应将钢尺板立起横放在试件承压面上，慢慢旋转360o，用塞尺测量其最大间隙作为平面度值，也可采用其他专用设备测量，结果应精确至0.01mm。

#### 室内成型混凝土疲劳性能试验标准试件的公差应符合下列规定：

##### 试件各边长、高度的尺寸公差不得超过1mm。

##### 试件承压面的平面度公差不得超过0.05mm。

##### 试件相邻面的夹角应为90o，其公差不得超过0.5o。

##### 试件制作时应采用符合标准要求的试模，保证试件的尺寸公差满足要求。

#### 现场钻芯混凝土疲劳性能试验取芯试件的公差应符合下列规定：

##### 棱柱体试件相邻面的夹角应为90o，其公差不得超过0.5o。

##### 圆柱体试件沿芯样试件高度的任一直径与平均直径相差不应超过1.5mm。

##### 抗压疲劳试件测量公差前，应对试件的端面进行处理，宜采取在磨平机上磨平端面的处理方法，也可采用聚合物水泥砂浆或环氧胶泥补平，补平层厚度不宜大于2mm。抗压强度低于30MPa的芯样试件，不宜采用磨平端面的处理方法；抗压强度高于60MPa的芯样试件，不宜采用环氧胶泥补平的处理方法。

##### 抗压疲劳试验试件端面与轴线的垂直度不应超过1o。

##### 抗压疲劳试验试件端面的平面度公差不应超过0.10mm，抗折疲劳试验试件承压线的直线度公差不应超过0.25mm。

### 试件的制作与养护

#### 混凝土疲劳性能试验的混凝土试件制作应符合下列规定：

##### 抗压疲劳试验

每组试件宜为9个，其中3个用于测试试件的抗压极限荷载，6个用于测试混凝土抗压疲劳性能。采用变形性能评价铁路混凝土抗压疲劳性能时，还需要至少3个试件用于测试混凝土的静力受压弹性模量。

##### 抗折疲劳试验

每组试件宜为9个，其中3个用于测试试件的抗折极限荷载，6个用于测试混凝土抗折疲劳性能。

#### 混凝土疲劳性能试验标准试件的制作还应符合下列规定：

##### 按照国标《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081成型混凝土试件。

##### 用以检验或控制工程质量的试件，其成型方法宜与实际施工采用的方法相同。

##### 混凝土应在拌制后尽快成型，不宜超过15min。

#### 铁路混凝土疲劳性能试验的现场钻芯取样的试件的制作应符合下列规定：

##### 在钻取前应考虑由于钻芯可能导致对结构产生不利影响，应尽可能避免在靠近混凝土构件的接缝或边缘处钻取，且不得带有钢筋。

##### 当现场难以取得满足本标准表 3.2.1要求的芯样尺寸，要求芯样最小截面尺寸不得小于100mm ± 10mm。

##### 钻芯后每个芯样应立即清楚地编号，并记录芯样在实体结构中的位置。

#### 铁路混凝土疲劳性能试验的室内成型标准试件的养护应符合下列规定：

##### 混凝土拆模后，立即放入温度为20 ℃ ± 5℃、相对湿度大于95%的标准养护室中养护，或在温度为20 ℃ ± 2℃的不流动氢氧化钙饱和溶液中养护。

##### 对于采用蒸汽养护的构件，宜先将其混凝土试件随构件进行蒸汽养护；蒸汽养护结束后拆模，再将混凝土试件置入标准养护条件下继续养护，混凝土试件的养护龄期为两段养护时间之和。

##### 养护至28d龄期时，将混凝土试件从标准养护室或氢氧化钙饱和溶液中取出，置于温度20 ℃ ± 5℃、相对湿度60% ± 5%的室内环境下继续养护至少28d。试件的标准养护龄期、干燥养护龄期也可根据要求确定，但不得少于28d，龄期从加水搅拌开始计时，养护龄期的允许偏差宜符合表 3.3.1的规定。

表 3.3.1 养护龄期允许偏差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 养护龄期 | 28d | 56d | ≥84d |
| 允许偏差 | ±20h | ±24h | ±28h |

#### 铁路混凝土疲劳性能试验的现场取样的混凝土试件的养护应符合下列规定：

##### 取芯后进行端面处理，然后将试件置于温度20 ℃ ± 5℃、相对湿度60% ± 5%的室内环境下放置28d，或将试件置于不超过50℃的烘箱中烘干至试件每隔24h测量质量差小于0.1g。试件的养护龄期偏差符合第3.3.4条第3款的规定。

##### 养护结束后，应检查芯样的外观，每个芯样应详细描述，并记录下列事项：

1. 骨料情况：记录骨料的最大粒径、形状及种类，粗、细骨料的比例与级配。
2. 密实性：检查并记录存在的气孔、麻面的位置、尺寸与分布情况，必要时应拍下照片。

### 试验报告

#### 委托单位宜记录下列内容并写入试验报告：

##### 委托单位名称；

##### 工程名称及施工部位；

##### 检测项目名称；

##### 检测要求；

##### 要说明的其他内容。

#### 试件制作单位宜记录下列内容并写入试验报告：

##### 试件编号；

##### 原材料品种、规格和产地及混凝土配合比、混凝土强度等级；

##### 试件制作日期；

##### 试件的形状与尺寸；

##### 成型方法；

##### 养护条件及试验龄期；

##### 混凝土的极限荷载；

##### 疲劳试验参数

##### 试验结果

##### 需要说明的其他内容。

#### 试验或检测单位宜记录下列内容并写入试验报告：

##### 收到试件的日期；

##### 试件的形状及尺寸；

##### 试件编号；

##### 试验日期；

##### 仪器设备的名称、型号及编号；

##### 实验室温度和相对湿度；

##### 养护条件及试验龄期；

##### 混凝土的极限荷载；

##### 疲劳试验参数；

##### 试验结果；

##### 需要说明的其他内容。

#### 试验报告样本可参照本标准附录A 试验报告样表。

## 仪器与设备

### 混凝土疲劳试验机

#### 混凝土疲劳试验机应具有产品合格证、检定或校准证书，并应在疲劳试验机明显位置上有名称、型号、制造商、出厂编号、出厂日期等标识。

#### 混凝土疲劳性能试验机的性能应符合下列规定：

##### 荷载量程应满足疲劳试验的上限和下限荷载要求，疲劳试验的荷载下限不应小于试验机最大动荷载的3%，荷载上限不应大于最大动荷载的80%。

##### 疲劳试验机准确度应为I级。

##### 试验机应具有位移控制和荷载控制两种模式，且应具有加荷速度指示装置或加荷速度控制装置，并应能根据程序稳定地加荷。

##### 作动器行程应不小于±100mm。

##### 疲劳试验机可提供的荷载波形至少应包括等幅正弦波、等幅三角波、等幅方波。

##### 试验净空间（不含夹具）不宜低于600mm，横梁可升降调节。

#### 除第4.1.1条、第4.1.2条外，用于铁路混凝土抗压疲劳性能试验的疲劳试验机及抗压疲劳试验装置（图 4.1.1所示）还应符合下列规定：

##### 作动器位移达到1mm时，疲劳试验机提供的荷载频率*f*不小于20Hz。

##### 荷载上限*σ*max < 500 kN时，所加荷载当前偏差不得超过*σ*max的1.0%；当500kN ≤ *σ*max < 1500kN时，所加荷载当前偏差不得超过*σ*max的0.5%。

##### 球座应转动灵活，球座宜置于试件顶面，并凸面朝上。

##### 试验时试验机上、下承压板的平面度公差不应大于0.04mm；平行度公差不应大于0.05mm；表面硬度不应小于55HRC；板面应光滑、平整，表面粗糙度*R*a不应大于0.80μm。

##### 当压力试验机的上、下承压板的平面度、表面硬度和粗糙度不符合本条第4款的要求时，上、下承压板与试件之间应各垫一钢垫板。钢垫板应符合下列规定：

1. 钢垫板的平面尺寸不应小于试件的承压面积，厚度不应小于25mm；
2. 钢垫板应机械加工，承压面的平面度、平行度、表面硬度和粗糙度应符合本条第4款的要求。

|  |
| --- |
| 图示, 工程绘图  描述已自动生成 |
| 图 4.1.1 抗压疲劳试验装置 |

#### 除第4.1.1条、第4.1.2条外，用于铁路混凝土抗折疲劳性能试验的疲劳试验机及抗折疲劳试验装置（图 4.1.2所示）还应符合下列规定：

##### 试件跨中挠度达到1mm时，疲劳试验机可施加荷载频率不应小于20Hz。

##### 疲劳试验机荷载达到设定应力上限与应力下限时，所加荷载当前偏差不得超过应力上限的1.5%。

##### 试验机支座头与加荷头平行度公差不应大于0.05mm。钢制加荷头应使荷载垂直作用于试件跨中位置。

##### 接触的两个支座头和加荷头应采用直径为20mm ~ 40mm、长度不小于*b*+10mm的硬钢圆柱，支座立脚点应为固定铰支，其他2个应为滑动支点。

|  |
| --- |
| 图示, 工程绘图  描述已自动生成 |
| 图 4.1.2 抗折疲劳试验装置 |

其中：*b*为棱柱体试件截面宽度（mm），*h*为试件截面高度（mm），*l*为支座间跨距（mm），*L*为试件长度（mm），*F*为疲劳荷载。

#### 混凝土疲劳试验机的检定、校准和保养应符合下列规定：

##### 有下列情况之一时，疲劳试验机应进行检定或校准：

1. 疲劳试验机首次启用前；
2. 超过检定或校准有效期；
3. 仪器修理或更换主要测量配件、作动器后；
4. 仪器遭受严重撞击或其他损害。

##### 疲劳试验机的保养应符合下列规定：

1. 若设备较长时间内停用，每月应通电1次，每次不宜少于1h；
2. 设备使用完毕，应擦拭干净设备表面，无论存放或工作时，均应防尘；
3. 在搬运过程中应防止碰撞和剧烈振动；
4. 设备使用中应避免摔损和撞击；
5. 采用液压驱动的疲劳试验机，要定期检测液压油并及时更换。
6. 定期检查冷却设备的冷却介质，当余量不足时及时补充。

### 疲劳性能评价设备

#### 设备的总体要求

##### 设备应具有产品合格证、检定或校准证书，明显位置上应有名称、型号、制造商、出厂编号、出厂日期等标识。

##### 设备能在环境温度为 0℃ ~ 40℃、空气相对湿度不大于80%、电源电压波动范围在标称值±10%内正常工作。

#### 设备的性能指标

##### 微变形测量装置

1. 标距应为150mm（试件截面尺寸为150mm时标距为200mm），可在试件两侧相对的位置上同时测量。
2. 承受等幅疲劳荷载时，在连续测量的情况下，微变形测量装置的精度不得低于0.001mm。

##### 超声波检测仪

1. 应符合现行行业标准《混凝土超声波检测仪》JG/T 5004 的有关规定。
2. 声时测量范围宜为0.11μs ~ 999.9μs，声时分辨力应为0.1μs，实测空气声速的相对测量允许误差应为±0.5%；在1h内每5min测读一次的声时允许误差应为±0.24μs。
3. 幅度测量范围不宜小于80dB；幅度分辨力应为1dB。

##### 冲击回波仪

1. 应符合现行行业标准《冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程》JGJ/T 411中对冲击回波仪的有关规定。
2. 冲击回波仪应配置钢球型冲击器或电磁激振的圆柱型冲击器，钢球型冲击器直径应不小于15mm。
3. 冲击回波仪应配制测量表面振动的宽频带接收传感器，可为位移传感器或加速传感器，带宽宜为10kHz ~ 500kHz。

#### 设备的检定、校准和保养

1. 有下列情况之一时，设备应进行检定或校准：
2. 新设备启用前；
3. 超过检定或校准有效期，检定周期不宜超过1年；
4. 仪器修理或更换配件后；
5. 对测试结果有怀疑时；
6. 仪器遭受严重撞击或其他损害。
7. 设备的保养应符合下列规定：
8. 若仪器在较长时间内停用，每月应通电1次，每次不宜少于1h。
9. 仪器检测完毕，应擦干仪器表面的灰尘，放入机箱内，并应存放在通风、阴凉、干燥处，无论存放或工作时，均应防尘。
10. 在搬运过程中应防止碰撞和剧烈振动。
11. 应避免摔损和撞击，使用完毕应单独存放。

### 其他仪器设备

#### 混凝土疲劳性能试验标准试件成型宜采用符合现行行业标准《混凝土试模》JG 3019规定的铸铁或铸钢试模。

#### 振动台、钢垫板等设备应符合《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081的规定。

## 

## 抗压疲劳试验

### 一般规定

#### 本方法适用于测定混凝土的抗压疲劳性能。

#### 抗压疲劳性能试验时，应先测试混凝土的抗压极限荷载*F*c，然后根据疲劳应力水平*S*与应力比*R*确定疲劳荷载上、下限值。

### 极限荷载与静力受压弹性模量测试

#### 试件达到本标准第3.3节规定的龄期后，将试件从养护室取出，检查其尺寸及形状，尺寸及公差应满足本标准第3.2的规定。

#### 参照《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081的规定测试试件的抗压极限荷载*F*c，并计算试件的轴心抗压强度*f*c。混凝土抗压极限荷载的确定应符合下列规定：

##### 取3个试件测试结果的算术平均值作为该组试件的极限荷载，应精确至0.1kN。

##### 当3个测值中的最大值或最小值中有一个与中间值的差值超过中间值的15%时，则应把最大及最小值剔除，取中间值作为该组试件的极限荷载值。

##### 当最大值和最小值与中间值的差值均超过中间值的15%时，该组试件的试验结果无效，应重新进行混凝土极限荷载测试。

#### 参照《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081的规定测试试件的静力受压弹性模量*E*c。混凝土静力受压弹性模量的确定应符合下列规定：

##### 取3个试件测试结果的算术平均值作为该组试件的弹性模量值，应精确至100MPa。

##### 当其中有一个试件在测定弹性模量后的轴心抗压强度值与用以确定检验控制荷载的轴心抗压强度值相差超过后者的20%时，弹性模量值应按另两个试件测值的算术平均值计算。

##### 当有两个试件在测定弹性模量后的轴心抗压强度值与用以确定检验控制荷载的轴心抗压强度值相差超过后者的20%时，此次试验结果无效，应重新进行混凝土静力受压弹性模量测试。

### 疲劳性能测试

#### 混凝土抗压疲劳试验应按照下列步骤进行：

##### 开启疲劳试验机，对设备进行预热。采用位移控制模式，设置位移上限为50mm，位移下限为0，荷载频率为0.1Hz，循环次数为50次。

##### 将试件从养护室取出，将试件表面擦拭干净，测试试件纵向的初始超声波波速*V*u0，或冲击弹性波波速*V*i0。

##### 将置于承压板上进行静压变形对中，对中时应采取两次对中的方式。首次对中的荷载宜取抗压极限荷载*F*c的20%，第二次对中宜取抗压极限荷载*F*c的40%。对中时，试件两侧变形之差应小于平均值的5%，否则应调整试件位置，直至符合对中要求。

##### 设置疲劳循环应力上限、应力下限、荷载频率、荷载波形、最大疲劳循环次数等参数，其值宜按表 5.3.1进行选择。荷载波形为等幅正弦波。有特殊要求的，可根据要求设置试验参数。

表 5.3.1 铁路混凝土抗压疲劳性能试验应力大小与荷载频率

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 高速铁路 | 普速铁路 | 重载铁路 |
| 荷载上限*σ*max | 0.6×*F*c | 0.6×*F*c | 0.7×*F*c |
| 荷载下限*σ*min | 0.06×*F*c | 0.06×*F*c | 0.07×*F*c |
| 荷载频率*f* | 20Hz | 10Hz | 5Hz |

##### 开启疲劳试验，每加载5×105次后，停机测量混凝土试件的变形。测量宜在疲劳试验机停机后15s内完成。然后将试件取下，置于平整的垫板上，测量试件纵向超声波波速*V*un（按本节第5.3.2条）或冲击弹性波波速*V*in（按本节第5.3.3条）。测量结束后，按照本条第2款 ~ 第4款的规定继续进行疲劳加载试验。

##### 当疲劳试验出现以下情况之一时，可停止试验，并以混凝土经历的疲劳循环次数来表示铁路混凝土的抗疲劳性能：

##### 试件发生明显开裂、掉块时；

##### 试件变形达到0.4×*f*c/*E*c时；

##### 疲劳循环次数达到2×106次时。

#### 混凝土抗压疲劳性能试验试件的纵向超声波波速测试（图 5.3.1）应按照下列步骤进行：

##### 将混凝土试件置于平整的桌面或有机玻璃板上。

##### 在超声波传感器与试件端面中部涂抹一层厚度约1mm的耦合剂，将超声波传感器的探头置于混凝土试件两端，探头中心线与试件侧面之间的距离应为0.5*h*。初次测量时可细微调整探头位置，使测量的传播时间最小，以此确定试件的最终测量位置，标记并在后续试验中使用该位置。

##### 开启超声波检测仪，输入耦合剂厚度*t*c与试件长度*h*，超声波检测仪自动计算超声波在混凝土中传输速度*V*u。

##### 超声波波速测试应在3分钟之内完成。

|  |
| --- |
| 图示  描述已自动生成 |
| 图 5.3.1 混凝土抗压疲劳超声波波速测试示意图 |

1—试件；2—超声波传感器；3—耦合剂；4—垫板；5—超声传播轴

#### 混凝土抗压疲劳性能试验试件的纵向冲击弹性波波速测试（图 5.3.2）应按照下列步骤进行：

##### 将混凝土试件置于平整的桌面或有机玻璃板上。

##### 将冲击弹性波传感器紧密贴于试件底部中间位置，冲击回波进行调零设置。

##### 保持传感器位置不变，使用冲击锤在混凝土端面合适位置处，以约2m/s的速度各均匀敲击5次，两次敲击的时间间隔宜为1s。

##### 手动删除测试过程中因敲击位置不准造成的明显异常波形。

##### 输入试件的高度和预计冲击弹性波波速。疲劳试验前，冲击弹性波波速*V*i0预估范围设置为3km/s ~ 5km/s，加载一定次数后预估冲击弹性波波速范围设置为（*V*i0-0.5）km/s ~ （*V*i0+0.5）km/s。冲击回波仪自动解析冲击弹性波波速。

##### 冲击弹性波波速测试应在3分钟之内完成。

|  |
| --- |
| 图示  描述已自动生成 |
| 图 5.3.2 混凝土抗压疲劳试验冲击弹性波测试示意图 |

1—试件；2—垫板；3—冲击弹性波传播轴；4—冲击弹性波传感器；5—敲击锤敲击位置

#### 混凝土的疲劳损伤变量的计算方法如下：

1. 基于超声波波速的混凝土损伤变量按照下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( ‑ ) |

式中：*D*un——n次疲劳循环后混凝土试件的疲劳损伤变量，精确至0.01；

*V*un——n次疲劳循环后混凝土试件超声波波速（km/s）；

*V*u0——疲劳加载前混凝土试件超声波波速（km/s）。

1. 基于冲击弹性波波速的混凝土损伤变量按照下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( ‑ ) |

式中：*D*in——n次疲劳循环后混凝土试件的疲劳损伤变量，精确至0.01；

*V*in——n次疲劳循环后混凝土试件超声波波速（km/s）；

*V*i0——疲劳加载前混凝土试件超声波波速（km/s）

#### 铁路混凝土抗压疲劳寿命的确定按照下列方法进行：

##### 加载2×106次时试件仍未破坏，则以2×106次作为该混凝土试件的疲劳寿命。

##### 以6个试件疲劳寿命的平均值作为该组混凝土的疲劳寿命，应精确至0.1万次。

##### 当一组试件某个测定值与平均值之差大于标准差的*k*倍时，该试验数据应予以舍弃，试件数为*s*时的*k*值见表 5.3.2。以剩余试件的疲劳寿命算术平均值作为该组混凝土的疲劳寿命。

表 5.3.2 疲劳试验试件数为*s*时的*k*值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 试件数*s* | 临界值*k* | 试件数*s* | 临界值*k* |
| 3 | 1.15 | 5 | 1.60 |
| 4 | 1.43 | 6 | 1.73 |

##### 应保证每组疲劳试验的有效试件数不少于3个。当无法满足时，该组试验无效。

## 抗折疲劳试验

### 一般规定

#### 本方法适用于测定混凝土的抗折疲劳性能。

#### 抗折疲劳性能试验时，应先测试混凝土的抗折极限荷载*F*f，然后根据疲劳应力水平*S*与应力比*R*确定疲劳荷载大小。

### 极限荷载测试

#### 试件达到本标准第3.3节规定的龄期后，将试件取出，检查其尺寸及形状，尺寸及公差应满足本标准第3.2节的规定。

#### 参照《混凝土物理力学性能试验方法标准》）GB/T 50081的规定测试试件的抗折极限荷载*F*f，其中加载方式为三点弯曲加载。混凝土抗折极限荷载的确定应符合下列规定：

##### 取3个试件测试结果的算术平均值作为该组试件的极限荷载，应精确至0.1kN。

##### 当3个测值中的最大值或最小值中有一个与中间值的差值超过中间值的15%时，则应把最大及最小值剔除，取中间值作为该组试件的极限荷载值。

##### 当最大值和最小值与中间值的差值均超过中间值的15%时，该组试件的试验结果无效，应重新进行混凝土极限荷载测试。

### 疲劳性能测试

#### 混凝土抗压疲劳试验应按照下列步骤进行：

##### 参考本标准第5.3.1条第1款，对设备进行预热。

* + - 1. 参考本标准第5.3.1条第2款，测试试件纵向的初始超声波波速*V*u0，或冲击弹性波波速*V*i0。

##### 采用程序控制模式或手动调节，给试件施加500N ~ 1000N的荷载将试件固定。

##### 设置疲劳循环应力上限、应力下限、荷载频率、荷载波形、最大疲劳循环次数等参数，其值宜按表 6.3.1进行选择。荷载波形为等幅正弦波。有特殊要求的，可根据要求设置试验参数。

表 6.3.1 铁路混凝土抗折疲劳性能试验应力大小与荷载频率

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 高速铁路 | 普速铁路 | 重载铁路 |
| 荷载上限*σ*max | 0.6*F*f | 0.6*F*f | 0.7*F*f |
| 荷载下限*σ*min | 0.06*F*f | 0.06*F*f | 0.07*F*f |
| 荷载频率*f* | 20Hz | 10Hz | 5Hz |

##### 开启疲劳试验，进行疲劳加载。当疲劳试验出现以下情况之一时，可停止试验，并以混凝土经历的疲劳循环次数表示铁路混凝土的抗疲劳性能：

##### 试件发生断裂破坏时；

##### 疲劳循环次数达到2×106次时。

##### 当疲劳循环次数达到2×106次而试件仍未断裂时，停机测量测量试件纵向超声波波速*V*un（本节第6.3.2条）或冲击弹性波波速*V*in（本节第6.3.3条），计算混凝土的疲劳损伤变量。

#### 混凝土抗折疲劳性能试验试件的超声波波速测试如图 6.3.1所示，具体操作可参考本标准第5.3.2条的内容进行。

|  |
| --- |
| 图示  描述已自动生成 |
| 图 6.3.1 混凝土抗折疲劳试验超声波波速测试示意图 |

1—试件；2—超声波传感器；3—耦合剂；4—垫板；5—超声传播轴

#### 混凝土抗折疲劳性能试验试件的冲击弹性波波速测试如图 6.3.2所示，具体操作可参考本标准第5.3.3条的内容进行。

|  |
| --- |
| 图示  描述已自动生成 |
| 图 6.3.2 混凝土抗折疲劳试验冲击弹性波测试示意图 |

1—试件；2—垫板；3—冲击弹性波传播轴；4—冲击弹性波传感器；5—敲击锤敲击位置

#### 混凝土的疲劳损伤变量的计算方法参照本标准第5.3.4条的规定进行。

#### 铁路混凝土抗折疲劳寿命的确定按照下列方法进行：

##### 若加载至2×106次时试件仍未破坏，则以2×106次作为该混凝土试件的疲劳寿命。

* + - 1. 以6个试件疲劳寿命的平均值作为该组混凝土的疲劳寿命，应精确至0.1万次。

##### 试验结果按试验数据的离散程度应进行弃差处理，弃差标准为参考本标准第5.3.5条第3款。以有效试件的疲劳寿命算术平均值作为该组混凝土的疲劳寿命。

##### 应保证每组疲劳试验的有效试件数不少于3个。当无法满足时，该组试验无效。

## 附录A 试验报告样表

#### A.0.1 委托单位记录表可采用表A.0.1的格式。

表A.0.1 委托单位记录样表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 委托单位 |  | 联系电话 |  |
| 样品名称 |  | 试件尺寸 |  |
| 生产单位 |  | 出厂编号及日期 |  |
| 样品数量 |  | 强度等级 |  |
| 使用工程名称及部位 |  | 检验类别 |  |
| 检测项目及检测依据 |  | 检验后样品处理  要求 | □取回  □破坏  □检测（试验）单位处理 |
| 样品资料 |  | | |
| 样品状态 | 外观：□正常 □不正常 描述 | | |
| 尺寸：□符合 □不符合 描述 | | |
| 其他 | | |
| 备注 |  | | |
| 委托单位 | | 检测（试验）单位 | |
| 经手人 |  | 业务受理人 |  |
| 联系电话 |  | 受理人电话 |  |
| 传真 |  | 业务部电话/传真 |  |
| 通信地址 |  | 通信地址 |  |
| 邮政编码 |  | 邮政编码 |  |
| 说明：委托单位和样品的有关信息由委托方填写给对其真实性负责；样品状态由检测（试验）单位业务受理人填写；其他信息由双方商定。样品资料（如说明书、见证资料、抽样单等）委托方须在委托时即时提供。 | | | |

#### A.0.2 试件制作单位记录表可采用表A.0.2的格式（室内成型标准试件）。

表A.0.2 试件制作单位记录样表（室内成型标准试件）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土配合比 | | | | 工程名称及部位 |  |
| 原材料 | 规格/  种类 | 产地 | 单方用量（kg） |
| 水泥 |  |  |  | 委托单位 |  |
| 砂 |  |  |  | 设计强度等级 |  |
|  |  |  | 试件编号 |  |
| 石 |  |  |  | 成型日期 |  |
|  |  |  | 试件形状与尺寸 |  |
| 外加剂 |  |  |  | 成型方法 |  |
|  |  |  | 养护条件 |  |
|  |  |  | 要求试验龄期 |  |
|  |  |  | 试件制作人 |  |
| 矿物掺合料 |  |  |  | 实测坍落度、  扩展度、含气量 |  |
|  |  |  |
|  |  |  | 混凝土生产企业  名称 |  |
|  |  |  |
| 其他 |  |  |  | 检测（试验）  委托人 |  |
|  |  |  |

#### A.0.3 试件制作单位记录表可采用表A.0.3的格式（现场钻芯试件）。

表A.0.3 试件制作单位记录样表（现场钻芯试件）

|  |  |
| --- | --- |
| 工程名称及部位 |  |
| 委托单位 |  |
| 设计强度等级 |  |
| 试件编号 |  |
| 试件形状与尺寸 |  |
| 试件外观 |  |
| 取样日期 |  |
| 制作方法 |  |
| 要求试验龄期 |  |
| 试件制作人 |  |
| 检测（试验）委托人 |  |

#### A.0.4 铁路混凝土抗压试验或检测单位记录表可采用表A.0.4的格式

A.0.4 试验（检测）单位记录样表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 委托单位 | | | |  | | | | 工程名称及部位 | | | |  | | | | 铁路线路类型 | | | | □高速铁路  □普速铁路  □重载铁路 | | | |
| 来样日期 | | | |  | | | | 样品数量 | | | |  | | | | 试验（检测）编号 | | | |  | | | |
| 试验（检测）依据 | | | |  | | | | 试验（检测）环境条件 | | | | 温度： ℃  湿度： % | | | | 疲劳损伤评价方法 | | | | □变形法  □超声波波速法  □冲击弹性波波速法 | | | |
| 试验（检测）设备名称 | | | |  | | | | 试验（检测）前设备状态 | | | |  | | | | 试验（检测）后设备状态 | | | |  | | | |
| 样品编号 | | 成型（钻芯）日期 | | | | 试验（检测）日期 | | | 标准养护龄期（d） | | | 干燥养护龄期（d） | | | 样品尺寸（mm） | | | 极限荷载（kN） | | | | 极限荷载均值（kN） | |
|  | |  | | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | | |  | |
|  | |  | | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | | |  | |
|  | |  | | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | | |  | |
| 样品编号 | 荷载上限（kN） | | 荷载下限（kN） | | 荷载频率（Hz） | | 初始超声波波速（km/s） | | | 初始冲击弹性波波速（km/s） | 超声波波速（km/s） | | 初始冲击弹性波波速（km/s） | 损伤程度（超声脉冲法） | | | 损伤程度（冲击回波法） | | 变形  （ε） | | 疲劳寿命（次） | | 疲劳作用等级 |
|  |  | |  | |  | |  | | |  |  | |  |  | | |  | |  | |  | |  |
|  |  | | |  |  | |  |  | | |  | |  | |  | |  |
|  |  | | |  |  | |  |  | | |  | |  | |  | |  |
|  |  | | |  |  | |  |  | | |  | |  | |  | |  |
|  |  | | |  |  | |  |  | | |  | |  | |  | |  |
|  |  | | |  |  | |  |  | | |  | |  | |  | |  |

校核： 记录： 检验（试验）：

#### A.0.5 铁路混凝土抗折试验或检测单位记录表可采用表A.0.5的格式

A.0.5 试验（检测）单位记录样表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 委托单位 | | |  | | 工程名称及部位 | | |  | | | 铁路线路类型 | | □高速铁路  □普速铁路  □重载铁路 | | |
| 来样日期 | | |  | | 样品数量 | | |  | | | 试验（检测）编号 | |  | | |
| 试验（检测）依据 | | |  | | 试验（检测）环境条件 | | | 温度： ℃  湿度： % | | | 疲劳损伤评价方法 | | □超声波波速法  □冲击弹性波波速法 | | |
| 试验（检测）设备名称 | | |  | | 试验（检测）前设备状态 | | |  | | | 试验（检测）后设备状态 | |  | | |
| 样品编号 | | 成型（钻芯）日期 | | 试验（检测）日期 | | 标准养护龄期（d） | | 干燥养护龄期（d） | | 样品尺寸（mm） | | 极限荷载（kN） | | 极限荷载均值（kN） | |
|  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| 样品编号 | 荷载上限（kN） | | 荷载下限（kN） | 荷载频率（Hz） | 初始超声波波速（km/s） | | 初始冲击弹性波波速（km/s） | 超声波波速（km/s） | 初始冲击弹性波波速（km/s） | | 损伤程度（超声脉冲法） | 损伤程度（冲击回波法） | 疲劳寿命（次） | | 疲劳作用等级 |
|  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |
|  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |
|  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |
|  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |
|  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |
|  |  | |  |  |  | |  |  |  | |  |

校核： 记录： 检验（试验）：

## 本标准用词说明

##### 为便于在执行本标准条文时区别对待，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：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

1. 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”；

1. 表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

1. 表示有选择，在一定的条件下可以这样做的，采用“可”。

##### 条文中指定应按照其他有关标准执行的写法为“应按……执行”或“应符合……规定”。

## 引用标准名录

《混凝土试模》JG 3019

《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081

《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082

《冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程》JGJ/T 411

《电液伺服万能试验机》GB/T 16826

《试验机通用技术要求》GB/T 2611

《拉压疲劳试验机技术条件》JB/T 9397

《高频疲劳试验机》JB/T 5488

《混凝土超声波检测仪》JG/T 5004

《超声回弹综合法检测混凝土抗压强度技术规程》T/CECS 02

《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384

《高速铁路有砟轨道预应力混凝土轨枕》TB/T 3300-2013

**中国工程建设协会标准**

**铁路混凝土疲劳性能试验方法标准**

XX

## 条 文 说 明

本条文说明系对重点条文的编写依据、存在的问题以及在执行过程中应注意的事项等予以说明。为减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

目 次

[1总则 27](#_Toc121507231)

[3基本规定 28](#_Toc121507232)

[3.1 一般规定 28](#_Toc121507233)

[3.2 试件的尺寸与公差 28](#_Toc121507234)

[3.3 试件的制作与养护 29](#_Toc121507235)

[3.4 试验测报告 31](#_Toc121507236)

[4仪器设备 32](#_Toc121507237)

[4.1 疲劳试验机 32](#_Toc121507238)

[4.2 疲劳性能评价设备 33](#_Toc121507239)

[4.3 其他相关设备 33](#_Toc121507240)

[5抗压疲劳试验 35](#_Toc121507241)

[5.1 一般规定 35](#_Toc121507242)

[5.2 极限荷载与静力受压弹性模量测试 35](#_Toc121507243)

[5.3 疲劳性能测试 35](#_Toc121507244)

[6抗折疲劳试验 39](#_Toc121507245)

[6.1 一般规定 39](#_Toc121507246)

[6.2 极限荷载测试 39](#_Toc121507247)

[6.3 疲劳性能测试 39](#_Toc121507248)

## 总则

#### 铁路工程混凝土结构除承受静荷载外，还承受列车运行带来的周期性荷载作用，疲劳损伤是铁路混凝土典型特征。在列车动态荷载长期作用下，混凝土内部损伤逐渐累计，宏观性能逐渐退化，当达到极限疲劳状态时无明显先兆就突然破坏。然而，铁路混凝土疲劳性能试验一直没有统一的方法，参考国家标准或行业标准对铁路混凝土抗疲劳性能评价有很大的局限性。

编制本标准的目的在于为设计、施工、监理、质检和科研等单位的有关人员提供一个统一和规范的铁路混凝土疲劳试验标准，使铁路混凝土的抗疲劳性能试验方法和试验结果具有一致性和可比性，有助于铁路混凝土的疲劳性能评价，并有利于铁路混凝土的工程质量控制，保障铁路混凝土的长期服役性能。

#### 铁路混凝土在服役过程中，可能会受到抗压疲劳荷载和抗折疲劳荷载作用，对于高速铁路、普速铁路、重载铁路，其疲劳荷载应力大小和荷载频率不同。本标准给出了不同线路类型的铁路混凝土抗压与抗折疲劳试验方法，通过测试铁路混凝土的疲劳寿命或达到设定疲劳循环次数时的损伤程度来综合评价混凝土的抗疲劳作用等级，适用于铁路混凝土的疲劳性能评价与施工质量验收。

#### 铁路混凝土疲劳性能试验试验方法，除本标准的规定的内容外，凡涉及现行国家有关标准的内容，均应按有关的规定执行。

## 基本规定

### 一般规定

#### 实验室的温、湿度条件会对铁路混凝土的疲劳性能实验结果产生影响，因此本条对实验室温、湿度条件及原材料、试验设备、容器和辅助设备的温度要求进行了规定；需要模拟施工条件下所用的铁路混凝土时，所用原材料的温度宜于施工现场保持一致。

#### 为保证试验结果的客观科学，以及试验结果准确，试验设备使用前应经过校准，处于正常工作状态，确保满足试验要求。

#### 铁路混凝土的疲劳性能试验的混凝土试件，既可来源于室内成型的标准试件，也可来源于实体结构通过钻芯方法获得的混凝土样品。

#### 本条规定了铁路混凝土的疲劳损伤程度评价方法。常用于混凝土疲劳程度评价方法有应变、残余应变、耗散能量、弹性模量、剩余强度、声发射计数法等十余种，但上述试验方法通常具有操作复杂、结果离散性大、破坏性试验难以连续监测的限制。研究指出超声脉冲法和冲击弹性波法两种无损测试方法可用于评价混凝土的疲劳损伤程度，具有结果准确可靠、重复性好、可连续测试的优势，因此，本标准建议优先采用超声脉冲法，有条件时可以采用冲击回波法评价铁路混凝土的疲劳损伤程度。对于铁路混凝土的抗压疲劳性能试验，还可以采用变形试验的方法。

### 试件的尺寸与公差

#### 本条规定了铁路混凝土疲劳性能试验试件的外观形貌。用于铁路混凝土抗压与抗折疲劳性能评价的室内成型试件为具有标准尺寸的棱柱体试件，当现场钻芯试件难以满足要求时，铁路混凝土抗压疲劳性能试验可采用满足要求的圆柱体试件。

#### 本条主要规定了铁路混凝土抗压疲劳与抗折疲劳的试件尺寸。参考《混凝土物理力学性能试验方法标准》（GB/T 50081—2019），试件最小截面尺寸大于粗骨料最大粒径的3倍。铁路混凝土用粗骨料公称粒径最大为40mm，因此，当粗骨料最大粒径为20mm时，铁路混凝土疲劳性能试件最小截面尺寸为100mm，当粗骨料最大粒径为40mm时，铁路混凝土疲劳性能试件最小截面尺寸为150mm。

#### 试件的公差包括尺寸公差和形位公差。试件的形位公差是否符合要求，对其极限荷载及疲劳寿命影响较大。要保证试件尺寸公差和形位公差符合要求，必须有统一的测试方法，本条参考《混凝土物理力学性能试验方法标准》（GB/T 50081—2019），规定了棱柱体和圆柱体混凝土试件尺寸及形位测量的方法。

#### 对于室内成型的标准试件，承压面的平面度公差主要依靠试模内表面的平面度来控制，而试件相邻面夹角公差不但靠试模相邻面夹角控制，还取决于试模安装的精度。本条规定了试件承压面的尺寸公差和形位公差大小。为保证铁路混凝土疲劳性能试验结果的准确可靠，本条规定无论试件尺寸，其承压面平面度公差均不得大于0.05mm，相邻面夹角不得超过0.5o。

#### 对于现场钻芯获得的混凝土试件，难以避免设备精度、钻芯过程中设备振动、钻头偏摆等因素的影响，获得芯样试件的尺寸公差及形位公差感官上较小，但实际上可能并不符合试验要求。本条规定棱柱体试件相邻面的夹角应为90o，其公差不得超过0.5o。为保证试件的公差符合试验要求，本条规定件沿芯样试件高度的任一直径与平均直径相差不应超过1.5mm。研究表明锯切试件的抗压强度要低于端面加工后芯样的抗压强度，因此需要对端面进行处理，并选择适宜的端面处理方法，本标准参考《钻芯法检测混凝土强度技术规程》（JGJ/T 384—2016），规定补平层厚度不宜大于2mm。同时，本条还规定抗压疲劳试验试件端面与轴线的垂直度不应超过1o，抗压疲劳试验试件端面的平面度公差不应超过0.10mm，而抗折疲劳试验试件承压线的直线度公差不应超过0.25mm。

### 试件的制作与养护

#### 本条规定了对于铁路混凝土疲劳性能试验试件的基本要求：

每组试验需要多少样品比较合适，要视样品的均匀性、分析方法的精度与要求而定。疲劳循环应力水平越高，其结果离散性越大。研究表明在本标准推荐的0.6 ~ 0.7的应力水平下，混凝土疲劳寿命变异系数可达到50％以上。大连理工大学建议混凝土疲劳试验样品数应在5个以上；普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082—2009）规定至少3个试件用于测试试件的抗压强度，其余3个用于测试试件的抗压疲劳变形。混凝土试件破坏时的极限荷载直接决定了疲劳荷载应力大小，固本标准建议每组试件中至少3个试件用于测试混凝土的极限荷载，至少6个试件用于测试铁路混凝土的疲劳性能。因此，本标准建议抗压疲劳性能试验每组试件为9个（采用变形试验评价铁路混凝土抗压疲劳性能时还需要3个试件用于测试混凝土的静力受压弹性模量），抗折疲劳性能试验每组试件为9个。

#### 用于铁路混凝土疲劳性能试验室内成型的标准试件，除本标准第3.3.1条外，还应符合下列规定：

##### 为保证混凝土试件破坏时极限荷载测试结果的稳定，在混凝土成型过程中需特别注意成型时新拌混凝土的均匀性和振捣程度。本款规定按照《混凝土物理力学性能试验方法标准》（GB/T 50081—2019）的要求成型混凝土。

##### 当混凝土疲劳性能试验的目的是用于检验或控制工程质量时，为保证试验结果能尽可能的反应实际情况，混凝土的成型宜采用与实际工程施工相同的成型方法。

##### 铁路混凝土特别是蒸养混凝土构件对早期强度要求高，混凝土搅拌均匀后应尽快成型，本款规定混凝土拌制后应尽快成型，一般不宜超过15min。

#### 用于铁路混凝土疲劳性能试验现场钻芯取样的试件，除本标准第3.3.1条外，还应符合下列规定：

##### 钻取芯样时，需要避免对结构产生不利影响，以免影响服役状态下混凝土结构的使用性能。混凝土内部含有钢筋时，对混凝土破坏时的极限荷载及疲劳性能影响显著，因此芯样内不得含有钢筋。

##### 为避免尺寸效应对混凝土疲劳性能的影响，要求芯样的尺寸应符合本标准第3.2.1条的规定。然而，由于现场混凝土结构的限制，有时候芯样尺寸难以满足要求，因此本条规定对于现场钻芯取样的混凝土试件最小截面尺寸不得小于100mm ± 10mm。

##### 取芯后试件应编号，并记录相关信息。

#### 本条规定了对于铁路混凝土疲劳性能试验室内成型标准试件的养护的要求：

##### 本款规定了铁路混凝土疲劳性能试验时混凝土的养护条件。由于铁路混凝土疲劳性能试验试件尺寸较大，为保证养护室中湿空气能够渗透到试件内部，要求养护室的相对湿度需达到95％以上，或者在氢氧化钙饱和溶液中养护。

##### 对于蒸汽养护的混凝土构件，考虑到蒸汽养护会促进混凝土早期强度的发展，规定在评价蒸汽养护构件的疲劳性能时，混凝土试件要先随构件同条件养护，然后置入标准养护室继续养护，混凝土试件的养护龄期为蒸汽养护时间与标准养护时间之和。

##### 一方面，由于疲劳试验周期较长，同一组试验第一个进行试验的试件与最后一个进行试验的试件开始试验时的龄期相差较大，为降低试验因龄期不同而带来的误差，规定试件在标准养护28d后继续养护一段时间。另一方面，研究表明试件的含水率对其疲劳寿命影响显著，混凝土内部湿度越高，其疲劳寿命就越短。为了避免混凝土试件含水率不同对其疲劳性能的影响，本标准规定试件在标准条件下养护28d后，还需在温度20 ℃ ± 5℃、相对湿度60% ± 5%的室内继续干燥养护28d。国标《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082—2009）中，规定标准养护完成后还需要在20 ℃ ± 5℃的环境中继续存放3个月才开始试验，然而，很多单位反馈干燥养护时间太久，不利于开展试验。我们对比了干燥养护1个月和干燥养护3个月时间对混凝土疲劳寿命的影响，发现两者寿命差距并不大，因此，为了减少试验周期，本标准规定标准养护28d后在干燥环境继续养护至少28d，有条件的可以干燥养护3个月，然后开展疲劳性能测试。同时，应该重视混凝土龄期的偏差，本标准参考《混凝土物理力学性能试验方法标准》（GB/T 50081—2019），对混凝土养护龄期的允许偏差作出规定，对表 3.3.1中没有列出的龄期可采用插值法计算允许偏差。

#### 本条规定了对于铁路混凝土疲劳性能试验现场钻芯取样的混凝土试件应符合下列规定：

##### 由于在钻芯时不可避免的用水冷却设备，导致试件的含水率较高。为降低试件含水率对其疲劳性能的不利影响，本款规定了取芯试件需在温度20 ℃ ± 5℃、相对湿度60% ± 5%的室内环境下放置28d，或将试件置于不超过50℃的烘箱中烘干至恒重。之所以控制烘干温度不超过50℃，是为了防止混凝土内部不稳定水化产物的分解。试件的养护龄期偏差参考第3.3.4条第3款的规定。

##### 本款规定了对于钻芯取得的混凝土试件外观检查及记录的方法与内容。

### 试验报告

为规范试验报告，按国际试验标准惯例，列出按本标准试验方法所做的试验，其试验或检测报告所包括的内容。

## 仪器设备

### 疲劳试验机

#### 铁路混凝土疲劳性能试验机直接影响了疲劳性能试验结果的精度，因此疲劳试验机应有产品合格证并满足相应的要求，本条规定了对疲劳试验机的基本要求。

#### 本条对用于铁路混凝土抗压及抗折疲劳性能试验的疲劳试验机均应满足的技术要求作出规定：

##### 疲劳试验机量程不应过大或过小。随着疲劳试验机生产制造技术的提高，当试件的破坏荷载在量程的3% ~ 80%范围之外时，只要疲劳试验机的示值相对误差、加荷速率、当前偏差满足要求，可使用的最小荷载和最大荷载可根据压力试验机测量传感器计量检定或校准结果确定；

##### 为保证疲劳试验结果的准确，规定疲劳试验机准确度应为I级。

##### 要求疲劳试验机能显示加荷速度或控制加荷速度，且能够按照设定程序稳定地进行加载。

##### 为便于试验操作，规定作动器行程至少为±100mm。

##### 混凝土疲劳试验机可提供的荷载波形至少包括等幅正弦波、等幅三角波、等幅方波。

##### 疲劳试验机静空间不低于600mm，横梁可升降调整。

#### 本条规定了除本标准第4.1.1条与第4.1.2条外，用于铁路混凝土抗压疲劳试验的疲劳试验机及疲劳试验装置还应具有的技术指标如下：

##### 在抗压疲劳试验中，疲劳试验机所能提供的最大荷载频率与试件极限荷载、弹性模量等参数有关，同时也受疲劳试验机功率的影响。本标准要求，作动器形成达到1mm时，疲劳试验机可提供的最大荷载频率不应小于20Hz。

##### 在疲劳加载过程中，因疲劳试验机电压不稳定等原因，所加荷载达到应力上限或应力下限时，荷载谱可能呈现“锯齿状”，为保证疲劳试验结果的精度，本标准要求所加荷载上限*σ*max < 500 kN时，所加荷载当前偏差不得超过*σ*max的1.0%；当500kN ≤ *σ*max < 1500kN时，所加荷载当前偏差不得超过*σ*max的0.5%。

##### 为了更好的对中，疲劳试验机球座应可以灵活转动。

##### 疲劳试验机使用多年后，上、下承压板会有磨损现象，其公差影响了混凝土抗压极限荷载及混凝土抗压疲劳性能测试结果的精度，为提高试验精度、降低试验误差，本条规定了上、下承压板的平面度公差、平行度公差、表面硬度及表面粗糙度。

##### 当压力试验机上、下承压板的平面度、表面硬度和粗糙度不符合要求时，可使用钢垫板，其平面尺寸不应小于试件承压面积，厚度不应小于25mm，承压面的平面度、平行度、表面硬度与粗糙度应与采用承压板时一致。

#### 本条规定了除本标准第4.1.1条与第4.1.2条外，用于铁路混凝土抗折疲劳试验的疲劳试验机及疲劳试验装置还应具有的技术指标如下：

##### 本标准要求，混凝土试件跨中位移达到1mm时，疲劳试验机可提供的最大荷载频率不应小于20Hz。

##### 为保证疲劳试验结果的精度，本款规定在抗折疲劳试验中，疲劳试验机荷载达到设定应力上限时，所加荷载当前偏差不得超过应力上限的1.5%。

##### 为保证荷载能均匀地施加于试件上，本款规定了支座头与加荷头平行度公差不应大于0.05mm，同时需保证加荷头使荷载垂直作用于试件跨度的中间部位。

##### 本款规定了支座头及加荷头的尺寸，为保证荷载的垂直传递，规定支座立脚点固定铰支，其他2个应为滚动支点。

#### 本条规定了疲劳试验机的检定、校准和保养要求。

### 疲劳性能评价设备

本标准规定用于铁路混凝土疲劳性能评价设备为超声波检测仪与冲击回波仪。为保障混凝土疲劳损伤程度测试结果的准确可靠，本节详细规定了疲劳性能评价设备的总体要求、性能指标及设备的检定、校准和保养有关要求。

### 其他相关设备

#### 由于塑料试模长期使用时产生老化变形等原因，容易导致室内成型的混凝土标准试件公差超标。试验结果也表明试模材质对高强混凝土的强度影响较大，一般情况下，用铁质试模制备的混凝土试件抗压强度要高于塑料试模。因此，本标准推荐使用铸铁或铸钢试模，并严格控制模具的安装精度，以保证试件的公差符合本标准的要求。为方便使用，本标准列出了试模的主要技术要求，如表格 4‑1所示。

表格 4‑1 试模的主要技术要求

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 技术要求 |
| 试模内表面和上口面粗糙度*R*a | 不应大于3.2μm |
| 内部尺寸误差 | 不应大于公称尺寸的0.2%，且不大于1mm |
| 夹角 | 90o±0.2o |
| 平面度 | 100mm不应大于0.04mm |
| 缝隙 | 不应大于0.1mm |
| 耐用性 | 在正常情况下，试模应至少正常使用50次或当使用少于50次时，使用期至少为6个月 |

同时，试模定期检查应根据试模的使用频率来决定，至少每3个月应检查一次。

#### 本条规定了振动台、钢垫板、其他量具及器具的技术要求，按照《混凝土物理力学性能试验方法标准》（GB/T 50081-2019）的规定执行，本标准不再详细列出。

## 抗压疲劳试验

### 一般规定

#### 本条规定了本方法的使用范围，适用于铁路混凝土抗压疲劳性能试验，也称受压疲劳性能。

#### 进行混凝土抗压疲劳性能试验时，应先测试混凝土的抗压极限荷载，再根据疲劳循环的应力水平、应力比确定疲劳荷载。

### 极限荷载与静力受压弹性模量测试

#### 本条规定在进行混凝土极限荷载及静力受压弹性模量测试前，应按照本标准第3.2节的要求测试试件的尺寸及公差，满足要求方可进行试验。

#### 为了保证混凝土抗压极限荷载测试结果的精度，疲劳试验机在加载时应均匀、连续的加载，同时避免加载过程中冲击作用对混凝土极限荷载测试结果的不利影响。本条参考国标《混凝土物理力学性能试验方法标准》（GB/T 50081—2019），规定了混凝土抗压极限荷载的取值依据。

#### 采用变形性能评价铁路混凝土抗压疲劳性能时，需用到混凝土的静力受压弹性模量。本条规定铁路混凝土静力受压弹性模量应参考《混凝土物理力学性能试验方法标准》（GB/T 50081—2019）进行，并规定了结果的取值依据。

### 疲劳性能测试

#### 本条规定了混凝土抗压疲劳性能试验的操作步骤：

##### 为提高疲劳试验机所加荷载的稳定性，在正式开始试验前，需对疲劳试验机进行预热，本款规定了疲劳试验机的预热方法。

##### 本标准建议使用超声脉冲法和冲击回波法评价铁路混凝土的疲劳性能，因此，在正式加载前，需测试试件的初始超声波波速或冲击弹性波波速。

##### 混凝土抗压疲劳性能试验要求试件必须对中，否则影响疲劳试验机输出荷载的稳定性。本款参考《混凝土物理力学性能试验方法标准》（GB/T 50081-2019），规定了混凝土试件的对中步骤及要求。

##### 铁路混凝土承受的频率荷载作用特征与铁路线路类型有关。本款详细规定了高速铁路、普速铁路及重载铁路混凝土抗压疲劳性能试验的应力上限、应力下限、荷载频率与荷载波形。有特殊需求时，可根据需求确定疲劳试验制度。

铁路混凝土的抗压疲劳性能与应力水平、应力比、荷载频率、荷载波形等关键参数密切相关。国标《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082—2009）混凝土抗压疲劳变形试验条文说明中详细列举了铁道科学研究院、美国ACI 215委员会、前苏联及相关文献中对于应力上限的推荐值，可知各规范和标准提出的应力上限差别并不大，集中在0.55 ~ 0.81区间内。在实际的疲劳试验中，应力水平过高时，混凝土疲劳寿命较低，试验结果离散性变大，不能准确评价铁路混凝土的抗压疲劳性能；应力水平过低时，混凝土极限疲劳循环次数过高，甚至可能出现不发生疲劳断裂的情况，不利于开展试验，因此，结合不同铁路线路类型混凝土承受的疲劳荷载情况，确定用于高速铁路与普速铁路的混凝土抗压疲劳应力水平为0.6，而用于重载铁路的混凝土抗压疲劳应力水平为0.7。

除应力水平外，应力比是决定混凝土疲劳性能的关键因素之一。早在上世纪70年代，就有国外学者发现应力水平相同时荷载应力比越大，混凝土疲劳寿命越长。《CRTS II型板式无砟轨道混凝土轨道板》（TB/T 3399—2015）规定CRTS II型轨道板疲劳试验应力比为0.14，《高速铁路有砟轨道预应力混凝土轨枕》（TB/T 3300-2013）规定预应力混凝土轨枕应力比0.2。国标《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082—2009）中列出的相关规范和标准规定疲劳荷载的应力下限在0 ~ 0.5区间内。通过试验我们发现，应力比过小时，疲劳加载中混凝土试件可能会出现移动，影响试验结果的精度，而应力比过大时，混凝土疲劳寿命过长，且不利于完整地反应铁路混凝土的抗疲劳性能，因此，本标准规定不论线路类型，铁路混凝土抗压疲劳的应力比均为0.1。

铁路混凝土承受的周期性荷载作用与列车运行速度有关，列车运行速度越大，转向架固定轴距越小，铁路混凝土疲劳荷载作用频率越高。研究指出，当荷载应力水平小于0.75时，荷载频率在1Hz ~ 15Hz之间对混凝土疲劳寿命影响不大，而应力水平大于0.75时，疲劳寿命随着荷载频率的增加而增加。《CRTS II型板式无砟轨道混凝土轨道板》（TB/T 3399—2015）规定CRTS II型轨道板加载振动频率须小于10Hz。本标准根据不同线路铁路混凝土疲劳荷载作用特点，确定高速铁路、普速铁路、重载铁路的列车荷载作用频率分别为20Hz、10Hz、5Hz。

研究结果表明在变幅疲劳荷载作用下，高应力水平疲劳作用导致的轨道板损伤程度更大，本款规定了混凝土抗压疲劳性能试验荷载波形为等幅正弦波。

##### 为了测试铁路混凝土的抗压疲劳性能，本款规定每加载5×105次后停机测试混凝土试件的变形和超声波波速（冲击弹性波波速）。测试完毕后，将试件安装至疲劳试验机上，继续进行疲劳性能测试。

##### 铁路混凝土在抗压疲劳荷载作用下宏观性能逐渐退化，在最终疲劳失效前，试件侧面通常产生明显的倒八字连通裂纹，同时伴随着掉块现象，因此表面产生明显裂纹或掉块时可作为铁路混凝土抗压疲劳失效的判据。同时，铁道科学研究院提出以试件变形作为铁路混凝土疲劳失效的判据，即混凝土疲劳变形增量达到0.4×*f*c/*E*c时，混凝土产生疲劳破坏。关于混凝土疲劳试验停止时的加载次数，《预应力混凝土轨枕疲劳试验方法》（TB/T 1878—2002）规定经过2×106疲劳循环后卸载，《普通混凝土长期性能与耐久性能试验方法标准》（GB 50082—2009）规定加载2×106次后停止试验。本标准参考TB/T 1878—2002和GB/T 50082—2009，规定铁路混凝土抗压疲劳性能试验的最大疲劳循环次数为2×106次。因此，本款规定了铁路混凝土疲劳性能试验停止的条件：试件产生明显的开裂或掉块；变形达到0.4×*f*c/*E*c时；疲劳循环次数达到2×106次。满足三个条件中的任何一个，即可停止试验。

#### 本条规定了采用超声脉冲法评价混凝土疲劳损伤程度的操作步骤和注意事项：

在超声波传感器探头与试件之间涂抹耦合剂，是为了使超声波能够有效进入试件，推荐采用医用凡士林作为耦合剂。

由于混凝土的疲劳损伤在荷载卸载后有一定的“恢复效应”，为了更准确的测试混凝土的超声波波速，规定疲劳加载后混凝土超声波波速测试时要在3分钟内完成。

#### 本条规定了采用冲击回波法评价混凝土疲劳损伤程度的操作步骤和注意事项：

冲击弹性波波速测试前，将冲击弹性波传感器紧贴于混凝土试件端面中心位置，然后进行调零设置。

以正常的速度在试件端面合适位置用冲击锤敲击混凝土试件，每个位置敲击5次左右。敲击速度不宜过大或过小，速度过大时，连续敲击可能会造成试件的凹陷，影响试件端面的平整；速度过小时，冲击弹性波能量较小，在混凝土试件内传输时耗散较大，影响测试结果的准确性。两次敲击的时间间隔宜不宜过大，以1s为宜。

由于试验操作误差，进行数据处理分析处理前，需手动删除异常波形。

在解析冲击弹性波波速速度时，需要设置一个预计波速区间。我们测试了100余组不同强度等级的混凝土疲劳加载前的冲击弹性波波速，发现冲击弹性波波速整体上随着抗压强度的增加而增加，一般在4km/s ~ 4.8km/s范围内，因此，在疲劳试验前混凝土试件冲击弹性波波速未知时，可设置预计波速区间为4km/s ~ 4.8km/s。加载至一定疲劳循环次数时，混凝土冲击弹性波波速逐渐降低，加载至一定疲劳循环次数后混凝土冲击弹性波波速解析前预计波速区间设置为（*V*i0-0.5）km/s ~（*V*i0+0.5）km/s。根据接收器接收到的信息，转化为频域数据后，冲击回波仪自带程序解析冲击弹性波波速。

疲劳循环后混凝土冲击弹性波波速测试同样需要在3分钟内完成。

#### 本条规定了基于超声脉冲法和冲击弹性波法的损伤变量计算方法。

#### 本条规定了铁路混凝土抗压疲劳寿命的取值方法：

##### 本标准规定最大疲劳加载次数为2×106次，因此当加载至2×106次试件仍未破坏时，以2×106次作为铁路混凝土的抗压疲劳寿命。

##### 本标准规定以6个试件疲劳寿命的平均值作为该组混凝土的疲劳寿命。然而，混凝土的疲劳寿命离散性较大，当某个测试值与平均值偏差大于一定范围时，应将该值作为异常数据进行舍弃。异常数据的判断参考表 5.3.2。

##### 为了保证试验结果的可靠性，本标准规定进行弃差处理后有效试件数不小于3个。当无法满足时，该组试验结果无效。

#### 在实际工程应用中，有时并不需要用到铁路混凝土的疲劳循环次数，仅需要知道混凝土的抗疲劳作用等级。除疲劳作用下变形外，我们采用超声脉冲法、冲击回波法研究了超20组不同强度等级混凝土在抗压疲劳荷载作用下损伤变量的发展规律，发现三种损伤变量随着疲劳循环次数的增加均呈现出“三阶段”发展规律，其中在第一阶段结束、第二阶段刚开始时，损伤变量*D*u、*D*i大部分在0.05 ~ 0.10范围内，加载临近疲劳失效时，混凝土损伤变量*D*u、*D*i约为0.25。因此，为评价铁路混凝土的抗疲劳性能，根据铁路混凝土在抗压疲劳荷载作用下的疲劳寿命，结合加载至最大疲劳循环次数时仍未破坏混凝土试件的变形或损伤变量，将铁路混凝土的抗压疲劳性能分为I、II、III、IV四个等级，具体要求如下：

##### 若6个试件中有超过3个试件的疲劳寿命不足2×106次，则该混凝土的抗压疲劳性能等级为I级。

##### 若6个试件中有3或4个试件的疲劳寿命大于2×106次，则该混凝土的抗压疲劳等级为II级。

##### 若6个试件中有5个及以上试件加载至2×106次时仍未破坏，且采用超声脉冲法测得的所有疲劳寿命大于2×106次的混凝土试件损伤变量均值小于0.20（或采用冲击弹性波法方法测得的混凝土试件损伤变量均值小于0.20，或混凝土累计变形量均值小于0.4×*f*c/*E*c），规定铁路混凝土的抗压疲劳等级为III级。

##### 若6个试件加载至2×106次时均未破坏，且采用超声脉冲法测得的混凝土试件损伤变量均值小于0.10（或采用冲击弹性波法方法测得的混凝土试件损伤变量均值小于0.10，或混凝土试件累计变形量均值小于0.3×*f*c/*E*c），则规定铁路混凝土的抗压疲劳等级为IV级。

##### 当铁路混凝土的抗压疲劳等级不满足本级的要求时，则该组混凝土抗压疲劳等级划入上一级。

## 抗折疲劳试验

### 一般规定

#### 本条规定了本方法的使用范围，适用于铁路混凝土抗折疲劳性能试验，也称抗弯拉疲劳性能。

#### 进行混凝土抗折疲劳性能试验时，应先测试混凝土的抗折极限荷载，再根据疲劳循环的应力水平、应力比确定疲劳荷载，以便开展疲劳性能试验。

### 极限荷载测试

#### 本条规定在进行混凝土抗折破坏极限荷载测试前，应按照本标准第3.2节的要求测试试件的尺寸及公差，满足要求方可进行试验。

#### 铁路混凝土承受的弯曲荷载有纯弯和弯剪两种形式，本标准为统一铁路混凝土的抗弯疲劳性能试验方法，确定了三点弯曲的疲劳加载方式。因此，本条规定混凝土的抗折破坏极限荷载除加载方式为三点弯曲加载外，其余试验步骤参照《混凝土物理力学性能试验方法标准》（GB/T 50081—2019）进行。同时，本条还规定了铁路混凝土抗折破坏极限荷载的取值依据。

### 疲劳性能测试

#### 本条规定了铁路混凝土抗折疲劳性能试验的操作步骤：

##### 参考本标准第5.3.1条第1款对疲劳试验机进行预测。

##### 在疲劳试验前，参考本标准第5.3.1条第2款，测试混凝土试件的初始超声波波速*V*u0、冲击弹性波波速*V*i0。

##### 给试件施加一个初始较小的力，其目的是为了防止疲劳试验启动时试件位置发生移动，导致抗折疲劳试验结果不准。

##### 本款规定了铁路混凝土抗折疲劳性能试验的关键参数，包括高速铁路、普速铁路及重载铁路混凝土抗压疲劳性能试验的应力上限、应力下限、荷载频率与荷载波形。有特殊需求时，可根据需求确定疲劳试验制度。

铁路混凝土的抗折疲劳寿命随着应力水平的增加而增加。结合高速铁路、普速铁路及重载铁路列车荷载作用频谱，确定用于高速铁路与普速铁路的混凝土抗折疲劳性能试验应力水平为0.6，而用于重载铁路的混凝土抗折疲劳应力水平为0.7。不论线路类型，铁路混凝土抗折疲劳循环的力比皆为0.1，确定高速铁路、普速铁路、重载铁路的列车荷载作用频率分别为20Hz、10Hz、5Hz。疲劳荷载荷载波形为等幅正弦波。有特殊需求的，可根据要求设置疲劳试验参数。

##### 本款规定了疲劳试验开始及停止/终止相关操作。开始进行疲劳试验，记录铁路混凝土疲劳破坏时的加载次数，若加载至设定的最大疲劳循环次数时，混凝土仍未发生明显的破坏，则自动停止试验。

##### 当铁路混凝土抗折疲劳加载至2×106次时试件仍未断裂，则停机测试试件的超声波波速和冲击弹性波波速。

#### 混凝土抗折疲劳试件超声波波速测试可参考本标准第5.3.2条的内容进行，在抗折疲劳试验中，受拉区混凝土损伤程度要高于受压区，为更加准确的评价混凝土的疲劳损伤程度，抗折疲劳试件超声波波速测试时超声波传播轴线位于试件受拉区。本款具体规定了铁路混凝土抗折疲劳试验中超声波传感器的位置。

#### 混凝土抗折疲劳试件冲击弹性波波速测试可参考本标准第5.3.3条的内容进行，抗折疲劳试件冲击弹性波波速测试时冲击弹性波传播轴线位于试件受拉区。本款具体规定了冲击弹性波测试传感器与敲击锤敲击位置。

#### 本条规定了铁路混凝土超声波波速损伤变量和冲击弹性波波速损伤变量的计算方法按本标准第5.3.4条进行。

#### 本条详细规定了铁路混凝土抗折疲劳寿命的取值方法。

#### 根据混凝土抗折疲劳寿命，结合加载至最大疲劳循环次数时的损伤程度，将铁路混凝土的抗折疲劳作用等级划分为I、II、III、IV四个等级，具体如下：

##### 若6个试件中有超过3个试件的疲劳寿命不足2×106次，该混凝土的抗折疲劳性能等级为I级。

##### 若6个试件中有3或4个试件的疲劳寿命大于2×106次，该混凝土的抗折疲劳等级为II级。

##### 若6个试件中有5个及以上试件加载至2×106次时仍未破坏，且采用超声脉冲法测得的所有疲劳寿命大于2×106次的混凝土试件损伤变量均值小于0.20（或采用冲击弹性波法方法测得的混凝土损伤变量均值小于0.20），该铁路混凝土的抗折疲劳等级为III级。

##### 若6个试件加载至2×106次时均未破坏，且采用超声脉冲法测得的混凝土试件损伤变量均值小于0.10（或采用冲击弹性波法测得混凝土试件损伤变量均值小于0.10）时，该铁路混凝土的抗折疲劳等级为IV级。

#### 当铁路混凝土的抗压疲劳等级不满足本级的要求时，则改组混凝土抗折疲劳等级划入上一级。