 **T/CECS 1×××－202×**

中国工程建设标准化协会标准

铁路混凝土抗冲击性能试验标准

Standard test method for dynamic impact performance of railway concrete

（征求意见稿）

中国××出版社

中国工程建设标准化协会标准

铁路混凝土抗冲击性能试验标准

Standard test method for dynamic impact performance of railway concrete

**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××出版社

202× 北京

前 言

《铁路混凝土抗冲击性能试验标准》（以下简称规程）是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号文件）的要求，规程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，制订本规程。

本规程共包括5章和1个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、试件、仪器与设备、动态冲击试验等。

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

本规程由中国工程建设标准化协会归口管理，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，邮箱：scyzqiang@163.com）。

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

参编单位： 北京工业大学、中铁工程设计咨询集团有限公司、中铁四局集团有限公司、东南大学、中国铁路经济规划研究院有限公司、深圳三思纵横科技股份有限公司、中铁十二局集团有限公司、四川升拓检测有限责任公司

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 主要起草人： | 李化建 | 李 悦 | 易忠来 | 温家馨 | 杨志强 |
|  | 蒋金洋 | 黄法礼 | 王凯林 | 王 振 | 谭盐宾 |
|  | 章国辉 | 余学鹏 | 刘志勇 | 梁廷峰 | 徐 旸 |
|  | 袁政成 | 董昊良 | 石贺男 | 孙德易 | 王凤娟 |
|  | 冯滔滔 | 王立国 | 赵年全 | 吴佳晔 | 李良顺 |
|  | 王家赫 | 仲新华 | 温 浩 | 刘 竞 | 杨 鲁 |
|  | 蒋 睿 | 李团结 | 王月华 |  |  |
| 主要审查人： |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

目 次

[1 总则 1](#_Toc170553885)

[2 术语和符号 2](#_Toc170553886)

[2.1 术语 2](#_Toc170553887)

[2.2 符号 2](#_Toc170553888)

[3 试件 3](#_Toc170553889)

[4 仪器与设备 6](#_Toc170553890)

[4.1 一般规定 6](#_Toc170553891)

[4.2 混凝土动态冲击试验机 6](#_Toc170553892)

[4.3 其他仪器设备 8](#_Toc170553893)

[5 动态冲击试验 9](#_Toc170553894)

[5.1 一般规定 9](#_Toc170553895)

[5.2 动态冲击性能试验 9](#_Toc170553896)

[5.3 动态冲击韧性评价 11](#_Toc170553897)

[5.4 数据处理 11](#_Toc170553898)

[附录A 试验报告样表 13](#_Toc170553899)

[用词说明 17](#_Toc170553900)

[引用标准名录 18](#_Toc170553901)

附：[条 文 说 明 19](#_Toc170553902)

**Contents**

1 General provisions （1）

2 Terms and symbols （2）

2.1 Terms （2）

2.2 Symbols （2）

3 Specimen （3）

4 Instructment and equipment （6）

4.1 General requirements （6）

4.2 Concrete dynamic impact testing machine （6）

4.3 Other equipment （8）

5 Dynamic impact test （9）

5.1 General requirements （9）

5.2 Compressive strength test （9）

5.3 Dynamic impact performance test （9）

5.4 Dynamic impact toughness evaluation （11）

5.5 Data processing （11）

Appendix A Style sheet of test report （13）

Explanation of wording （17）

List of quoted standards （18）

Addition: Explanation of provisions （19）

## 1 总则

#### 1.0.1为规范和统一铁路混凝土抗冲击性能试验方法，提高铁路混凝土动态冲击性能试验水平，制定本规程。

#### 1.0.2本规程适用于普速铁路、高速铁路和重载铁路等中承受列车动态冲击荷载结构混凝土的动态冲击性能试验。

#### 1.0.3铁路混凝土动态冲击性能试验除应符合本规程的规定外，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。

## 2 术语和符号

### 术语

#### 2.1.1 混凝土动态冲击concrete dynamic impact

动态冲击作用下混凝土内部产生裂纹以及由冲击荷载导致的损伤形式。

#### 2.1.2 动态冲击寿命 dynamic impact life

冲击荷载作用下混凝土破坏时冲击循环作用次数。

#### 2.1.3 落锤高度drop hammer height

落锤冲击过程中锤体到试件表面的高度。

#### 2.1.4 落锤质量 drop hammer weight

落锤冲击过程中锤体的质量。

#### 2.1.5 最大冲击Circumferential deformation

循环冲击直至试件发生破坏的过程中通过传感器所采集的最大冲击荷载。

#### 2.1.6 环向变形circumferential deformation

由于落锤冲击而导致的圆柱形试件的环向尺寸增大。

### 符号

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *h* | —— | 动态冲击试验中混凝土圆柱形试件高度； |
| *φ* | —— | 动态冲击试验中混凝土圆柱形试件直径； |
| *m* | —— | 落锤试验设计质量； |
| *H* | —— | 落锤高度； |
| *N* | —— | 动态冲击寿命； |
| *m*实 | —— | 考虑不同服役情况下的实际落锤质量； |
| *F*max | —— | 最大冲击荷载； |
| *F*n | —— | 第n次冲击荷载； |
| *a* | —— | 混凝土荷载衰减指数； |
| *E*n | —— | *N*次落锤冲击后混凝土试件吸收的总能量； |
| *g* | —— | 重力加速度； |
| *t*1 | —— | 冲击荷载作用开始时间； |
| *t*2 | —— | 冲击荷载作用结束时间； |
| *T*1 | —— | 冲击荷载-位移曲线中峰值荷载时间； |
| *T*2 | —— | 冲击荷载-位移曲线中冲击作用结束时间； |
| *C* | —— | 冲击韧性指数。 |

## 3 试件

#### 3.0.1 混凝土冲击动态性能试验试件可通过试模成型或现场钻芯方法获得，试模成型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。

#### 3.0.2 试模成型动态冲击性能的标准试件，应采用圆柱形试件；现场钻芯、锯切的动态冲击性能试验的试件，宜采用圆柱形试件。

#### 3.0.3 混凝土动态冲击性能试验试件的尺寸应根据粗骨料的最大粒径按表3.0.3的规定选定。

**表3.0.3 混凝土冲击动态性能试验试件的尺寸要求 （mm）**

|  |  |
| --- | --- |
| 粗骨料最大粒径 | 混凝土试件的尺寸 |
| 20 | *φ*150 × 75 |
| 40 | *φ*200 ×100 |

#### 3.0.4 混凝土冲击动态性能试验试件尺寸的测量应符合下列规定：

##### 圆柱形试件尺寸测量应符合下列规定：

1）试件承压面的平面度可采用钢板尺和塞尺进行测量；

2）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，取测量的算术平均值作为圆柱体试件的直径，结果应精确至0.1 mm；

3）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，结果应精确至0.1°。

##### 试件冲击面和底面的平面度可采用钢板尺和塞尺进行测量，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0.10 mm。

#### 3.0.5 试模成型混凝土冲击动态性能试验标准试件的公差应符合下列规定：

1试件各直径、高度的尺寸公差不得超过0.50 mm；

2试件冲击面和底面的平面度公差不得超过0.10 mm；

3试件冲击面与侧面的夹角应为90o，公差不得超过0.5o。

#### 3.0.6 现场钻芯混凝土冲击动态性能试验取芯试件的公差应符合下列规定：

1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1.5 mm；

2动态冲击性能试件测量公差前，应对试件的表面和底面进行处理，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2 mm；抗压强度低于30 MPa的芯样试件，不宜采用磨平的处理方法；抗压强度高于60 MPa的芯样试件，不宜采用环氧胶泥补平的处理方法。当表面出现较大孔洞时应采用环氧胶泥补平。

3 动态冲击性能试验试件冲击面与轴线的垂直度不应超过1°；

4 动态冲击性能试验试冲击面的平面度公差不应超过0.10 mm，试件表面不应出现直径超过3 mm的孔洞。

#### 3.0.7 混凝土每组试件不应少于9个，其中包括3个立方体或圆柱体试件用于测试试件的抗压强度，不少于6个圆柱形试件用于测试混凝土动态冲击性能。

#### 3.0.8 混凝土动态冲击性能试验标准试件的制作应符合下列规定：

##### 混凝土试件应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081的有关规定；

##### 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；

##### 混凝土成型从加水开始计算时间不宜超过15 min；

##### 试件的制作报告可按本规程附录A规定的格式记录。

#### 3.0.9 铁路混凝土动态冲击性能试验的试模成型标准试件的养护应符合下列规定：

##### 混凝土试件拆模后，应立即放入温度为20 ℃±2 ℃、相对湿度大于95%的标准养护室中养护，或在温度为20 ℃±2 ℃的不流动饱和氢氧化钙溶液中养护。

##### 对于采用蒸汽养护的构件，宜先将混凝土试件随试模进行蒸汽养护；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28 d龄期后可进行试验；当进行长龄期试验时，将养护至28 d的混凝土试件从标准养护室或饱和氢氧化钙溶液中取出，置于温度为20℃±5℃的室内环境使混凝土表面干燥后开展冲击试验。

#### 3.0.10 铁路混凝土动态冲击性能试验的现场钻芯取样的试件的制作应符合下列规定：

##### 钻芯取样不应对结构产生不利影响，不应在靠近混凝土构件的接缝或边缘处钻取，试件不应带有钢筋；

##### 当现场难以取得满足本规程表3.0.4要求的芯样尺寸，芯样最小截面直径不得小于150 mm±10 mm；

##### 钻芯后每个芯样应及时标记，并记录芯样在实体结构中的位置。

#### 3.0.11 采用钻芯法确定单个构件或单个构件局部区域的混凝土强度推定值时，应符合现行标准《铁路工程结构混凝土强度检测规程》TB 10426的有关规定。钻芯法确定混凝土强度推定值时下列规定：

##### 当芯样试件混凝土抗压强度最小值大于或等于设计混凝土抗压强度标准值的85%时，取平均值作为混凝土强度推定值。

##### 当芯样试件混凝土抗压强度最小值小于设计混凝土抗压强度标准值的85%时，取最小值作为混凝土强度推定值。

#### 3.0.12 铁路混凝土动态冲击性能试验现场取芯混凝土试件的处理应符合下列规定：

##### 取芯后进行端面处理，然后将试件置于不超过50 ℃的烘箱中烘干至试件每隔24 h测量质量差小于0.2 g；

##### 应检查芯样的外观，每个芯样应详细描述，并记录骨料的最大粒径、形状及种类，粗、细骨料的比例与级配，检查并记录存在的气孔、麻面的位置、尺寸与分布情况，必要时应拍照留存；

##### 现场钻芯试件制作报告可按本规程附录A规定的格式记录。

#### 3.0.12 委托试验可按本规程附录A规定的格式记录。

## 4 仪器与设备

### 一般规定

#### 4.1.1 动态冲击试验的试验室环境相对湿度宜在50%~75%之间，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试验室温度保持一致。

#### 4.1.2 铁路混凝土动态冲击性能检测可采用冲击荷载与环向变形。

### 混凝土动态冲击试验机

#### 4.2.1 混凝土动态冲击试验机应具有产品合格证、检定或校准证书，并应在动态冲击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。

#### 4.2.2 混凝土动态冲击试验机如图4.2.2所示，其性能应符合下列规定：

|  |
| --- |
|  |
| 1—主机框架；2—落锤系统；3—中控系统；4—监测系统；5—防护系统 |
| **图4.2.2 动态冲击性能试验装置示意图** |

##### 动态冲击试验机准确度应为I级，动态冲击设备主要包括提升与落锤系统，中控系统，监测系统和防护系统，各系统应保证处于主机框架中。

##### 混凝土动态冲击性能试验设备主机框架应符合下列规定：

1. 主机框架主要由刚性底座、刚性立柱、全封闭铝合金框架以及上顶板构成；
2. 刚性底座、刚性立柱选用45#优质钢材质，刚性底座、刚性立柱通过螺栓与框架整体相连；
3. 提升部位框架高度不应小于1500 mm，操作区域净空间高度（不含夹具和刚性底座）不应小于500 mm。

##### 混凝土动态冲击性能试验设备落锤系统应符合下列规定：

1. 提升系统主要由提升电机、移动横梁、夹持装置、链轮、链条、光电编码器、锤头半球形、抓钩等部分组成；
2. 该机选用带刹车的电机作为提升电机，保证突然断电时锤体不会意外落下，采用链条提升锤体，提升速度超过5 m/min，提锤高度误差不应超过1 mm；
3. 移动横梁选用45#优质钢材质制成，通过链轮与链条实现水平对中与垂直位置调整，调整误差不超过1 mm；
4. 夹持装置选用45#优质钢材质制成，通过螺栓固定于移动横梁；夹持装置通过导槽夹紧混凝土试件，冲击荷载作用下保证混凝土试件横向位移不超过0.5 mm，竖向位移不超过1 mm；
5. 锤头直径应不小于40 mm，可通过加减砝码满足不同质量的试验需求，锤体总质量误差不应超过1%，最大锤体质量不应小于10 kg，最大冲击能量不应小于150 J。
6. 锤体通过钢制抓钩控制夹持与松开，抓钩装置由为光电编码器控制，反应时间不超过0.1 s；
7. 锤体通过两端钢制限位器在光滑丝杠上运动，丝杠表面硬度不应小于55 HRC，表面应光滑、平整，表面粗糙度不应大于0.8 μm。

##### 混凝土动态冲击性能试验设备中控系统应符合下列规定：

1. 中控系统由光电测位器、电路系统、电控箱和中控计算机组成；
2. 电路系统通过保护罩封闭于机箱内；
3. 光电测微器由红外测距传感器组成，A/D采样分辨力不低于16 bits，保证混凝土试件位置误差不超过1 mm；
4. 电控箱可通过旋钮控制调试与试验两种状态对设备各部件进行操作，调试状态包括移动横梁移动、锤体移动，试验状态包括自动对中、参数输入、提锤与落锤。
5. 中控计算机可实现试验数据收集与冲击试验方案编程功能，控制频率应至少达到10 kHz，保证设备具有单次冲击和循环冲击两种加载模式。

##### 混凝土动态冲击性能试验设备检测系统应符合下列规定：

1. 监测系统由压电动态力传感器、引伸计组成；
2. 压电动态力传感器固定在锤头内，能监测每次冲击时混凝土试件的冲击荷载变化情况，荷载量程应不小于100 kN，测量精度不应大于0.01 kN，最大采样频率不应小于2 MHz；
3. 引伸计固定在移动横梁上，能监测每次冲击时混凝土试件的环向变形情况，测量精度不应大于0.02 mm，最大采样频率不应小于500 kHz。

##### 混凝土动态冲击性能试验设备防护系统由铝制框架与亚克力玻璃构成，且防护门设有门限位开关，保证试验过程中处于设备全封闭状态，防止冲击造成的混凝土试件碎块飞溅。

#### 4.2.3 混凝土动态冲击试验机的检定、校准和保养应符合下列规定：

##### 有下列情况之一时，动态冲击试验机应进行检定或校准：

1. 动态冲击试验机首次启用前；
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。

##### 动态冲击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。

### 其他仪器设备

#### 4.3.1 混凝土动态冲击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。

#### 4.3.2 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。

#### 4.3.3 其他量具及器具应符合《混凝土结构试验方法标准》GB/T 50152的规定。

## 5 动态冲击试验

### 一般规定

#### 5.1.1 进行动态冲击性能试验时，应先参照《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081测试混凝土的抗压极限荷载（*F*c），然后根据混凝土强度等级确定落锤质量与落锤高度。

#### 5.1.2 混凝土动态冲击试验报告可按本规程附录A的规定格式记录。

### 动态冲击性能试验

#### 5.2.1 混凝土动态冲击性能试验应按下列步骤进行：

##### 开启动态冲击性能试验机，在电控箱上进行设备调试，设置移动横梁上移下降50 mm，锤体上升下降1500 mm，循环操作3次。

##### 将混凝土试件从存放地点取出，检查试件尺寸及其表面状态。

##### 在混凝土试件表面标记出圆心，缠绕布置引伸计于圆柱形冲击试件中部，引伸计拉紧后通过螺钉将引伸计固定于移动横梁上，之后通过夹持装置固定试件。

##### 通过中控系统对混凝土进行自动对中，当显示对中完成后放下锤头与试件接触进行二次对中。对中时，试件圆心应与锤头重合，否则应调整试件位置，直至符合对中要求。

##### 为避免落锤冲击造成的表面粉化影响试验结果，规定每冲击5次对试件表面进行清洁并观察其损伤情况。

##### 根据混凝土试件的尺寸与强度等级设置动态冲击性能试验参数，包括冲击次数、落锤高度、锤体质量等，参数值宜按表5.3.1的规定进行选择；

表5.3.1混凝土动态冲击性能试验参数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 强度等级 | 试件尺寸/mm | 落锤高度*h*/mm | 落锤质量*m*/kg |
| ＜C40 | *φ*150 × 75 | 500 | 5 |
| *Φ*200 × 100 | 6 |
| C40~C60 | *φ*150 × 75 | 5 |
| *Φ*200 × 100 | 6 |
| ＞C60 | *φ*150 × 75 | 5 |
| *Φ*200 × 100 | 6 |

##### 在针对不同线路类型的混凝土时，混凝土动态冲击性能试验参数应有所区别。针对重载线路，所采用落锤质量应比表5.3.1中增加1 kg，或将落锤高度升高100 mm。针对普速铁路或不直接承受列车荷载的高速铁路混凝土时，所采用落锤质量应比表5.3.1中减少1 kg，或将落锤高度降低100 mm。有特殊要求的可根据要求设置试验参数。

##### 开启动态冲击性能试验设备，采集冲击试验参数；当采用单次冲击模式时，观察试件表面情况，当表面有混凝土碎屑时采用吸尘器进行清洁；当采用循环冲击模式时，加载到规定次数后采用吸尘器进行清洁。清洁结束后按本条第6款的规定继续进行动态冲击性能试验。

#### 5.2.2 当动态冲击性能试验出现下列情况之一时可停止试验，并以混凝土经历的动态冲击次数来表示铁路混凝土的动态冲击寿命：

##### 试件发生明显开裂、掉块时；

##### 试件所承受的荷载衰减达到0.4倍峰值荷载（0.4*F*max）时，*F*max峰值荷载是由中控系统采集的所有冲击过程中的最大荷载；

##### 试件环向变形*δ*达到预设值时，*δ*由缠绕在圆柱形试件侧边中部的引伸计测量所得。

#### 5.2.3 混凝土动态冲击性能的峰值荷载衰减检测应按照下列步骤进行：

##### 通过中控计算机收集试验过程中的荷载情况，取最大冲击荷载为*F*max；

##### 混凝土动态冲击荷载衰减应按照下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | ( 0 ) |

式中：*a*——混凝土荷载衰减指数；

*F*n——第n次冲击荷载最大值（kN）；

*F*max——最大冲击荷载（kN）。

#### 5.2.4 混凝土动态冲击性能的环向变形检测应按照下列步骤进行：

##### 通过中控计算机收集试验过程中的环向变形情况，两组引伸计测量结果的平均值为混凝土的环向变形*δ*；

##### 混凝土动态冲击破坏时的环向变形值宜按表5.2.4的规定进行选择；有特殊要求的可根据要求设置试验参数。

表5.2.4冲击破坏时的环向变形值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 强度等级 | 试件尺寸 | 破坏时的环向变形*δ*/mm |
| ＜C40 | *φ*150 × 75 | 0.8 |
| *Φ*200 × 100 | 1.0 |
| C40~C60 | *φ*150 × 75 | 1.0 |
| *Φ*200 × 100 | 1.2 |
| ＞C60 | *φ*150 × 75 | 1.2 |
| *Φ*200 × 100 | 1.4 |

### 动态冲击韧性评价

#### 5.3.1 进行动态冲击性能试验时，应先采集试验过程中荷载变化情况以及位移变化从而得出能量变化规律，依据能量对混凝土动态冲击韧性进行分析。

#### 5.3.2 混凝土吸收的冲击性能总能量应按照下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
| $$E=N×m×g×H$$ | ( 0 ) |

式中：*N*——动态冲击寿命；

*E*——*N*次落锤冲击后混凝土试件吸收的总能量（J）；

*M*——落锤质量（kg）；

*g*——重力加速度（m/s2），取值为9.8 m/s2；

*H*——落锤高度（m）。

##### 单次冲击荷载位移及能量可根据下式计算：

 （5.3.2-2）

 （5.3.2-3）

式中：*v——*锤头的下落速度（m/s）；

*t——*落锤开始后的时间（s）；

*s——*冲击过程中位移（mm）*；*

*E*n*——*冲击过程中能量（J）；

*t*1，*t*2*——*冲击荷载作用开始、结束时间（μs）。

##### 动态冲击过程中冲击韧性指数可根据下式计算：增加图

 （5.4.2-4）

式中：*C*——冲击韧性指数；

*Ent*——冲击过程中韧性耗能（J）；

*E*n——冲击过程的总能量（J）；

*T*1，*T*2——冲击荷载-位移曲线中峰值荷载时间与冲击作用结束时间（μs）。

#### 5.3.3 混凝土冲击韧性指数C为小于1的小数，其值越小混凝土冲击韧性越差，其值越接近1说明冲击韧性越好。

### 数据处理

#### 5.4.1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：

##### 当试件表面出现粉化且粉化深度超过5 mm情况时，此次试验数据无效。

##### 当6个试件冲击寿命的最大值或最小值与平均值的差超过30%时，以剩余5个结果的算术平均值为结果，精确至0.1次；若剩余结果中仍有测定值大于5个结果的算术平均值的±30%时，则继续剔除这个测定值，以剩余4个结果的算术平均值为结果；每组试验的有效试验数据不应少于4组，当4个测定值中再有超过该组算术平均值的±30%时，则此组结果作废。

## 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 混凝土动态冲击试验报告可按表A.0.4的格式记录。

**A.0.4 混凝土动态冲击试验报告表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 委托单位 |  | 工程名称及部位 |  | 铁路线路类型 | □高速铁路□其他铁路 |
| 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： % | 动态冲击损伤评价方法 | □试件开裂、掉块□荷载衰减达到0.4 *F*max□*δ*达到预设值 |
| 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） | 干燥放置时间（d） | 样品直径（mm） | 极限荷载（kN） | 极限荷载均值（kN） |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 样品编号 | 落锤质量（kg） | 落锤高度（mm） | 循环次数 | 动态冲击寿命（次） | 动态冲击寿命均值（次） | 动态冲击韧性 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

校核： 记录： 检验（试验）：

## 用词说明

##### 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：

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”；

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”；

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”；

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

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

《试验机通用技术要求》GB/T 2611

《电液伺服万能试验机》GB/T 16826

《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120

《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

《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

《铁路混凝土》TB 3275

《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB10424

《纤维混凝土试验方法标准》CECS 13

**中国工程建设协会标准**

**铁路混凝土动态冲击试验规程**

T/CECS1XXX—202X

## 条 文 说 明

## 制定说明

本规程制定过程中，编制组进行了铁路混凝土材料及结构动态冲击性能及动态冲击作用关键参数调研，总结了我国工程建设铁路混凝土动态冲击性能试验相关实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过研究铁路混凝土抗压与抗折试验参数对动态冲击性能的影响。本规程的编制遵循了可操作性强、与现行相关标准相协调、安全可靠、技术先进的总体原则。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《铁路混凝土冲击动态性能试验规程》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。

目 次

[1. 总则 22](#_Toc170244292)

[3. 试件 23](#_Toc170244293)

[4. 仪器与设备 26](#_Toc170244294)

[4.1 一般规定 26](#_Toc170244295)

[4.2 混凝土动态冲击试验机 26](#_Toc170244296)

[5. 冲击动态试验 28](#_Toc170244297)

[5.1 一般规定 28](#_Toc170244298)

[5.2 极限荷载 **错误!未定义书签。**](#_Toc170244299)

[5.3 动态冲击性能 28](#_Toc170244300)

## 1 总则

#### 1.0.1铁路工程混凝土结构除承受抗压、抗弯等静荷载外，在轨道结构出现不平顺或列车处于加、减速阶段，混凝土还要承受动态冲击荷载作用。在列车动态荷载长期作用下，混凝土内部损伤逐渐累积，宏观性能逐渐退化，混凝土结构出现开裂、掉块等显著缺陷。然而，目前铁路行业还缺少统一的混凝土动态冲击性能试验方法，参考国家标准或行业标准对铁路混凝土动态冲击性能检测有很大的局限性。

#### 1.0.2编制本规程的目的在于为设计、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动态冲击试验标准，使铁路混凝土的动态冲击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动态冲击性能检测，并有利于铁路混凝土的工程质量控制，以保障铁路混凝土的长期服役性能。

#### 1.0.3铁路混凝土在服役过程中，可能会受到动态冲击荷载作用，对于高速铁路、普速铁路、重载铁路等类型铁路，其动态冲击荷载大小有所不同。

#### 1.0.4铁路混凝土动态冲击性能试验试验方法，除本规程的规定的内容外，凡涉及现行国家有关标准或现行中国工程建设标准化协会有关标准的内容，均按有关的规定执行。

## 3 试件

#### 3.0.1铁路混凝土的动态冲击性能试验的混凝土试件，既可来源于试模成型的标准试件，也可来源于实体结构通过钻芯方法获得的混凝土样品。

#### 3.0.2本条规定了铁路混凝土动态冲击性能试验所用试件的外观特征。用于铁路混凝土动态冲击性能检测的试模成型试件为具有标准尺寸的圆柱体试件。

#### 3.0.3本条主要规定了动态冲击性能试验的试件尺寸。参考现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081的有关规定，试件最小截面尺寸需大于粗骨料最大粒径的3倍。因此，当粗骨料最大粒径为20 mm时，铁路混凝土动态冲击性能试件最小直径为150 mm；当粗骨料最大粒径为40 mm时，铁路混凝土动态冲击性能试件最小截面尺寸为200 mm。本规程采用高径比为0.5的圆柱形试件，现行标准《纤维混凝土试验方法标准》CECS 13、美国ACI标准《Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete》ACI 544.2R均规定圆柱体的试件采用直径为150 mm、厚度为63 mm±3 mm的圆饼形试件。现行标准主要针对纤维混凝土，采用小高径比的圆饼形试件有助于分析在冲击荷载下纤维起到的抗裂作用。经过试验对比，发现本规程所采用尺寸的试件寿命略长，具有更高的稳定性，且同样适用于不含纤维的普通混凝土。

#### 3.0.4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，对其落锤次数影响较大。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，本条参考现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081的有关规定，规定了圆柱体混凝土试件尺寸及形位测量的方法。

#### 3.0.5对于试模成型的标准试件，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。为保证铁路混凝土动态冲击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0.05 mm，相邻面夹角公差不得超过0.5o。

#### 3.0.6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感觉较小，但实际上可能并不符合试验要求。本条规定正棱柱体试件相邻面的夹角为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超过1.5 mm。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，本规程参考现行行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384的有关规定，规定补平层厚度不大于2 mm。

#### 3.0.7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。落锤质量越大，落锤高度越高，其结果离散性越大。研究表明在本规程推荐的落锤高度与落锤质量下，混凝土动态冲击寿命变异系数可达到50％以上。现行标准《纤维混凝土试验方法标准》CECS 13规定至少6个试件用于测试试件抗冲击性能。混凝土试件的极限荷载直接决定了动态冲击性能，本规程参考《纤维混凝土试验方法标准》CECS 13规定，建议每组试件中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动态冲击性能。

#### 3.0.8本条对铁路混凝土动态冲击性能试验标准试件的制作做出规定。

##### 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。本款规定按现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081的有关规定成型混凝土。

##### 当混凝土动态冲击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，混凝土搅拌均匀后尽快成型，本款规定混凝土拌制均匀至成型时间不超过15 min。

#### 3.0.9本条对铁路混凝土动态冲击性能试验试模成型标准试件的养护做出规定。

##### 本款规定了铁路混凝土动态冲击性能试验时混凝土的养护条件。由于铁路混凝土动态冲击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动态冲击性能时，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。

#### 3.0.10除本规程第**错误!未找到引用源。**条外，本条对铁路混凝土动态冲击性能试验钻芯取样试件的制作做出规定。

##### 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动态冲击性能影响显著，因此芯样内不得含有钢筋。

##### 为避免尺寸效应对混凝土动态冲击性能的影响，要求芯样的尺寸需符合本规程第0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100 mm±10 mm。

##### 取芯后试件进行编号，并记录相关信息。

#### 3.0.11本条对铁路混凝土动态冲击性能试验钻芯取样试件的处理做出规定。

##### 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动态冲击性能的不利影响，本款将试件置于室内环境或不超过50℃的烘箱中烘干至恒重。控制烘干温度不超过50℃，防止混凝土内部不稳定水化产物的分解。

##### 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。

#### 3.0.12为规范试验报告，按国际试验标准惯例，列出按本规程试验方法所做的试验，其试验或检测报告所包括的内容。

## 4 仪器与设备

### 4.1 一般规定

#### 4.1.1试验室的温、湿度条件会对铁路混凝土的动态冲击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，所用原材料的温度与施工现场保持一致。

#### 4.1.2本条规定了铁路混凝土的动态冲击韧性的评价方法。目前常用的韧性评价主要通过静态试验与试验中的应力-应变曲线进行分析，但动态荷载下的抗裂能力与抗冲击性能与静态荷载作用下有显著区别。因此，本规程提出有条件时设备应具有能够收集冲击荷载与变形参数的传感设备，从而实现动态冲击韧性的评价

### 4.2 混凝土动态冲击试验机

#### 4.2.1铁路混凝土动态冲击性能试验机直接影响了动态冲击性能试验结果的准确程度，因此动态冲击试验机必须有产品合格证并满足相应的要求，本条规定了对动态冲击试验机的基本要求。

#### 4.2.2本条对用于动态冲击试验机需满足的技术要求作出规定。

##### 动态冲击试验机量程不能过大或过小。为保证动态冲击荷载的准确性，本款规定动态冲击荷载在动态冲击试验机传感器量程的3%~80%范围之内；

##### 为保证动态冲击试验结果的准确性，规定动态冲击试验机准确度为I级；

##### 要求动态冲击试验机能显示冲击荷载和变形，且能够按设定程序稳定地进行单次冲击加载或连续冲击加载。本款还规定了控制系统的采样频率和控制频率；

##### 为避免锤头形状在冲击过程中对试验结果的影响，采用半球形锤头；

##### 为便于试验操作，规定了净空间高度、框架高度，且横梁与落锤高度均可升降调整。

#### 4.2.3本条规定了除本规程第0条与第**错误!未找到引用源。**条外，用于铁路混凝土动态冲击试验的动态冲击试验机及动态冲击试验装置还需具有的技术指标如下：

##### 在动态冲击试验中，落锤高度与落锤质量影响最明显，本规程要求作动器行程精度达到1 mm保证试验准确性。

##### 为了更好的对中，横梁应能自动对中。

##### 动态冲击试验机使用多年后，承压横梁会有磨损现象，其公差影响了混凝土抗压极限荷载及混凝土抗压动态冲击性能测试结果的精度，为提高试验精度、降低试验误差，本条规定了移动横梁的材料、平面度公差、平行度公差、表面硬度及表面粗糙度。

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

#### 4.2.4本条规定了除本规程第0条与第**错误!未找到引用源。**条外，用于铁路混凝土动态冲击试验的动态冲击试验机及动态冲击试验装置还需具有的技术指标如下：

##### 本规程除根据试件损伤情况判定试验终止情况外，还可根据荷载下降与环向变形进行试验终止判定，同时本规程采用荷载与位移计算动态韧性指数，因此设备应具能够测量荷载与变形的传感设备。

## 5 冲击动态试验

### 一般规定

#### 5.1.1进行混凝土动态冲击性能试验时，先测试混凝土的抗压极限荷载，再按照普速铁路、高速铁路和重载铁路的服役情况，制定动态冲击循环的落锤高度、落锤质量等试验参数。

### 动态冲击性能试验

#### 5.3.1本条对混凝土动态冲击性能试验的操作步骤做出规定。

##### 在正式开始试验前，需对动态冲击试验机进行预热，本款规定了动态冲击试验机的预热方法；

##### 本规程使用冲击荷载和环向变形评价铁路混凝土的动态冲击性能，因此，在正式加载前，需测试采集系统情况；

##### 混凝土动态冲击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。本款参考现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081，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。本款规定了高速铁路与其他铁路线路铁路混凝土动态冲击性能试验的落锤高度、落锤质量。参考标准《铁路列车荷载图示(TB/T 3466)》试验制度可知，重载铁路轴重比普速或高速铁路有显著增加，因此需增加落锤质量或提高落锤高度；针对普速铁路或没有冲击荷载服役需求的混凝土结构时，需减少落锤质量或降低落锤高度。有特殊需求时，可根据需求确定动态冲击试验制度。

#### 5.3.2铁路混凝土在动态冲击荷载作用下宏观性能逐渐退化，针对这一特点对混凝土动态冲击荷载下的损伤进行分析，并提出混凝土的动态冲击失效的判据，当满足任何一个条件后，即可停止试验。

##### 在冲击过程中，试件通常产生明显的表面粉化与开裂，且在最终动态冲击失效前，裂缝会发生连通并伴随着掉块现象，因此将试件表面产生的明显破损情况作为动态冲击失效的一个判据。

##### 冲击过程中，混凝土的承载能力会因损伤的发展出现下降，试验后也验证了荷载呈现下降的趋势。当混凝土的冲击荷载衰减到峰值荷载0.4*F*max后，混凝土试件基本都发生了明显裂缝，此时承载能力基本丧失。因此将荷载衰减达到0.4*F*max作为动态冲击失效的一个判据。

##### 冲击过程中试件会发生环向的变形且最大膨胀发生在试件中部，当变形达到临界值后试件上下表面的裂缝会发生连通。最大环向变形与冲击制度与混凝土自身强度相关，试验后得出环向变形的临界值如表5.2.4所示， 将环向变形达到临界值作为动态冲击失效的一个判据。

### 动态冲击韧性评价

#### 5.3.1本条对混凝土动态冲击韧性的评价方法做出规定。

##### 冲击过程中，不同的试验参数混凝土动态冲击性能有显著影响，但其能量特征受影响较小。因此基于能量传递与耗散的规律，参考《纤维混凝土试验方法标准》CECS 13规定，提出了基于能量的混凝土动态冲击韧性评价方法。

##### 结合现有研究成果表明，落锤冲击过程中的应力-应变曲线除了具有典型的先上升后下降的趋势外，还具有明显的波动特点，如图5.3.1所示。



##### 在冲击过程中图5.3.1中所示峰前段为弹性变形阶段，材料主要发生弹性变形，峰后段为塑形变形阶段，材料主要发生塑形变形。结合材料韧性的定义（材料在塑性变形及破裂过程中吸收能量的能力），选择多次冲击过程中峰后段的积分面积/总输入能量计算动态冲击韧性。