DOI: 10.11883/1001-1455(2017)03-0405-10

高温后钢管活性粉末混凝土的动态力学性能*

姜 猛,郭志昆,陈万祥,邹慧辉,梁文光
(解放军理工大学爆炸冲击防灾减灾国家重点实验室,江苏 南京 210007)

摘要: 采用霍普金森压杆装置对高温后钢管活性粉末混凝土(reactive powder concrete-filled steel tube, RPC-FST)进行冲击压缩实验,分析了应变率效应及温度效应对试件动态力学性能的影响。结果表明:高温(200、300 ℃)后 RPC-FST 仍具有较好的抗冲击能力、延性和完整性;冲击荷载作用下,RPC-FST 的应变率效应明显弱于 RPC 的应变率效应;随着过火温度的提高,RPC-FST 的峰值应力逐渐增大,变形能力增强,抗冲击能力提高。动力提高系数随过火温度的提高而增大,说明高温后 RPC-FST 的应变率效应更显著。

关键词: 钢管活性粉末混凝土;霍普金森杆;动态力学性能;破坏形态
中图分类号: O381;TU398 **国标学科代码**: 13035 **文献标志码**: A

钢管活性粉末混凝土(reactive powder concrete-filled steel tube,RPC-FST)具有承载力高、刚度大、塑性和韧性好等优点,是钢管混凝土(concrete-filled steel tube,C-FST)中极具开发潜质和应用前景的新型抗火抗爆组合结构,常用作重大工程的承重构件[1]。

对高温后 RPC-FST 的研究主要集中于静力性能方面,对冲击或爆炸产生的应变率 $10^0 \sim 10^4\ \mathrm{s}^{-1}$ 范围内的动态行为及极限强度缺乏深入研究。近年来,对常温下 C-FST 构件在横向冲击荷载作用下的承载力和破坏形态进行了实验和数值模拟研究[2-6]。高温下抗冲击方面,何远明等[7]采用霍普金森压杆(split Hopkinson pressure bar,SHPB)研究了温度(200~800 ℃)和冲击速度(11.8~18.6 m/s)对 C-FST 动态力学性能的影响,发现高温下 C-FST 仍具有良好的抗冲击能力、延性和耗能能力。霍静思等[8]采用落锤冲击试验机进行了火灾作用下 C-FST 短柱抗冲击能力实验研究,考察受火时间、冲击速度、冲击能量和含钢率对其冲击性能的影响,得到的结论与何远明等[7]得到的结论类似。高温后抗冲击方面,霍静思等[9]采用 SHPB 实验装置对常温和高温(100~700 ℃)后 C-FST 进行多次冲击性能实验研究,发现高温后 C-FST 经历多次冲击后无明显强度劣化,具有良好的抗多次冲击力学性能和变形能力。本文中,采用 SHPB 实验装置研究高温后 RPC-FST 在 90~130 s^{-1} 应变率范围内的动态力学性能,与文献[7-9]不同之处是着重研究高温后 RPC-FST 的动态应力-应变关系及破坏特征,并给出动力提高系数(dynamic increase factor,DIF)的计算方法。

1 实验概况

1.1 实验设计

考察不同应变率(90~130 s^{-1})和过火温度(20~300 ℃)对 RPC-FST 动态力学性能及破坏形态的影响。RPC-FST 试样的套箍系数:

$$\xi = \frac{f_y A_s}{f_c A_c}$$

式中:f_y 为钢管的屈服强度,A_s 为钢管的面积,f_c 为 RPC 轴心抗压强度,A_c 为 RPC 面积。本文中:

$$\xi = \frac{350\ \mathrm{MPa} \times 401.92\ \mathrm{mm}^2}{120\ \mathrm{MPa} \times 0.87 \times 3\,017.54\ \mathrm{mm}^2} \approx 0.45$$

* **收稿日期**: 2015-10-12; **修回日期**: 2016-01-08
基金项目: 国家自然科学基金项目(51378498,51578541);江苏省自然科学基金项目(BK20141066)
第一作者: 姜 猛(1989—),男,硕士研究生; **通信作者**: 陈万祥,cwx_0806@sohu.com。

可充分发挥钢管的约束作用[10]。此外,因试件尺寸[7]和摩擦效应[11]对 SHPB 实验结果有显著影响,根据 E. D. H. Davies 等[12]的建议,本文中试件的长径比 L/D 控制在 0.50～0.53 之间。

1.2 原材料和配合比

RPC 中水和硅胶的质量之比 m(水):m(胶体)=0.19:1.00;胶体由水泥和硅灰组成,且 m(水泥):m(硅灰)=1.00:0.28;RPC 中 m(粗石):m(水泥)=0.75:1.00;m(细石):m(水泥)=0.37:1.00;m(石英粉):m(水泥)=0.39:1.00;减水剂在减水剂的水溶液中的质量分数为 2.2%。按照上述配合比制作了 6 块 100 mm×100 mm×100 mm 的 RPC 立方块,同时采用壁厚 2 mm 的 Q345 钢管制作 3 个标准拉伸试件。根据文献[13-14]中的方法分别测得 RPC 的抗压强度为 120 MPa,弹性模量为 34.2 GPa,泊松比为 0.19;钢管的屈服强度为 350 MPa,弹性模量为 206 GPa,泊松比为 0.28。

1.3 实验装置与实验方法

冲击压缩实验在∅75 mm SHPB 装置上进行。压杆和子弹的材料均为高强度弹簧钢,子弹、入射杆和透射杆直径均为 75 mm,子弹长 400 mm,入射杆总长 3 500 mm,透射杆总长 2 000 mm,见图 1。

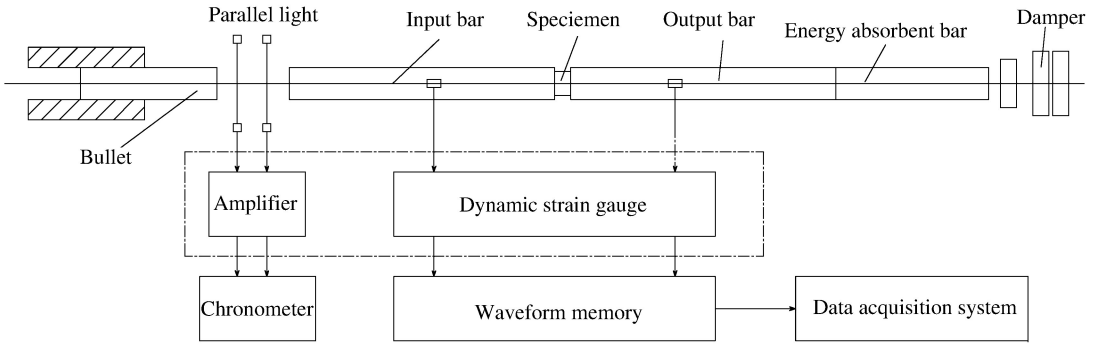

图 1 SHPB 实验装置

Fig. 1 SHPB test setup

制作了 6 组共 18 个∅70 mm×35 mm 的 RPC-FST 试件(钢管外径为 70 mm,壁厚 4 mm)和 6 组共 18 个∅70 mm×35 mm 的 RPC 试件。RPC-FST 试件标准养护 28 d 后在车床上加工成壁厚 2 mm 的 RPC-FST 试件,然后在电阻丝炉内进行升温实验,待试件冷却后再进行 SHPB 实验。为防止核心 RPC 高温爆裂,过火温度范围为 20～300 ℃。

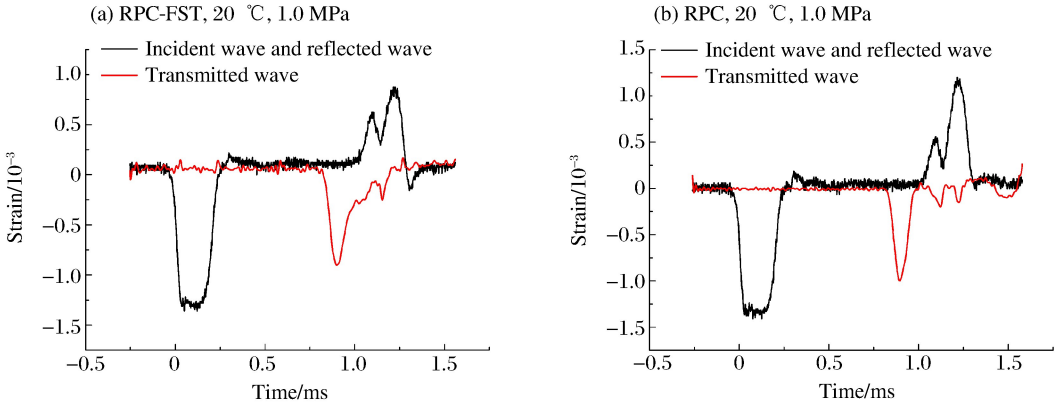

图 2 应变信号波形曲线

Fig. 2 Strain signals

图 2 为最高温为 20 ℃、发射气压为 1.0 MPa 的条件下，由应变片采集到的 RPC-FST 和 RPC 试件的应变信号波形。由三波法[15]可得试样的应变率：

$$\dot{\varepsilon}_s(t)=\frac{2c_0}{l_s}\left[\varepsilon_i(X_{G_1},t)-\varepsilon_t(X_{G_2},t)\right]$$

式中：c_0为波速，l_s 为试件长度，$\varepsilon_i(X_{G_1},t)$为入射应变信号，$\varepsilon_t(X_{G_2},t)$为透射应变信号。

平均应变率取应变率时程曲线上升段拐点至曲线下降段与上升段拐点值相同的点这一段应变率的平均值[16]，即图 3 所示曲线 AB 段和 CD 段的平均值。由图 4 可以看出透射波曲线和(入射波＋反射波)曲线有较好的吻合性，说明试件在加载过程中满足动态应力平衡。

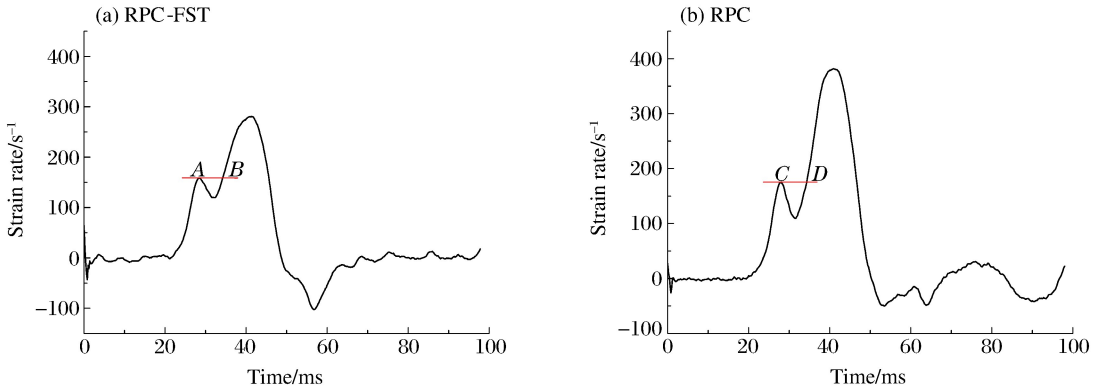

图 3　平均应变率取值

Fig. 3　Determination of average strain rate

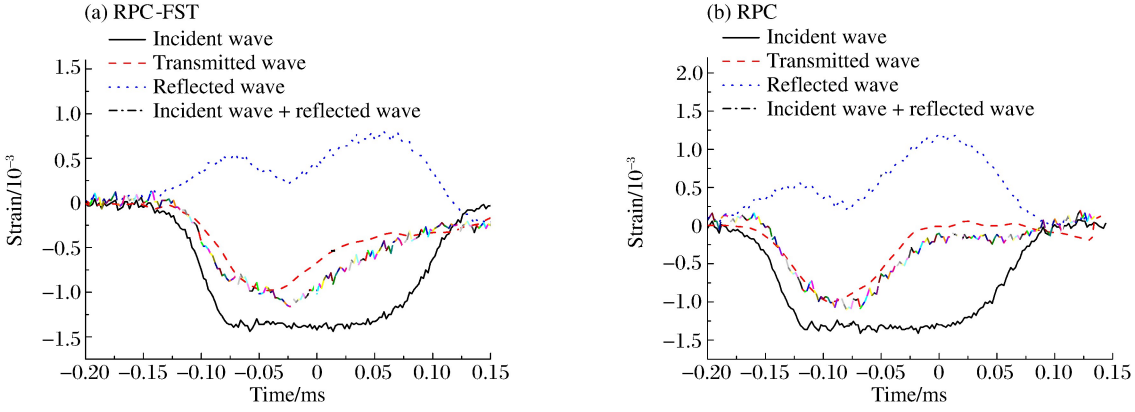

图 4　动态应力平衡

Fig. 4　Dynamic stress balance

2　实验结果与分析

2.1　静态强度估算

受火过程中 C-FST 存在明显的温度梯度，且高温后混凝土极限强度只与最高过火温度有关[17]。对于 RPC-FST 求解时可以把混凝土划分成有一定厚度的 n 个圆环单元，钢材取整个钢管圆环截面。根据加权平均法可以将高温后核心混凝土的平均轴心抗压强度表示为：

$$\bar{f}_c=\frac{\sum_{i=1}^{n}f_{ci}(\theta_{\max})A_{ci}}{A_c}\tag{1}$$

式中：$f_{ci}(\theta)$和 A_{ci}分别为核心混凝土第 i 个圆环截面经历高温后的轴心抗压强度和圆环截面面积。

高温实验的升温曲线及拟合曲线如图 5 所示，拟合公式为：

$$\theta=\begin{cases}199.53-\dfrac{166.37}{1+(t/19.14)^{4.56}} & \theta_{\max}=200\ ℃\\ 300.41-\dfrac{264.61}{1+(t/25.58)^{3.49}} & \theta_{\max}=300\ ℃\end{cases}$$

利用 ANSYS 软件可以得到混凝土经历最高温度后的温度场如图 6 所示。高温后第 i 环混凝土轴心抗压强度可以由下式[17]确定：

$$f_{ci}(\theta_{\max})=\frac{0.79f_{cu}}{1+2.4\ (\theta_{\max}-20)^{6}\times10^{-17}} \tag{2}$$

式中：f_{cu}为混凝土立方块的抗压强度，MPa；$\theta_{\max}$为混凝土最高过火温度，℃。

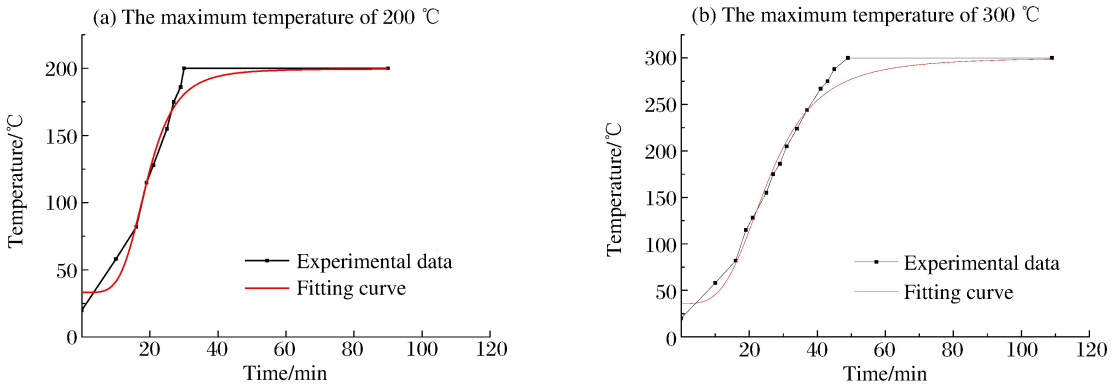

图 5 试件升温拟合曲线

Fig. 5 Fitting curves for elevated temperature

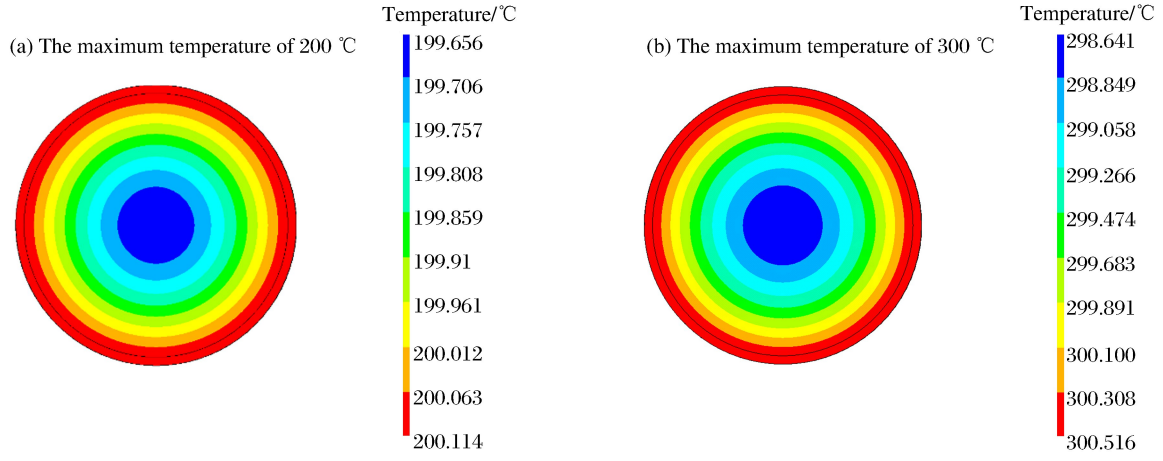

图 6 试件温度分布

Fig. 6 Temperature fields for RPC-FST specimens

根据公式(1)～(2)可以得到 200、300 ℃高温后核心 RPC 平均轴心抗压强度分别为 95、94 MPa。参考文献[18]，高温后 RPC-FST 静态极限强度按下式进行估算：

$$f_{sc,u}=\left[1.14+\left(0.820\ 1-1.233\ \ln\frac{\bar{f}_c}{100}\right)\xi\right]\bar{f}_c \tag{3}$$

得到 20、200、300 ℃过热后 RPC-FST 的静力强度分别为 170、152、151 MPa。

2.2 实验结果分析

对编号为 s0b～s2c 的 6 组 RPC-FST 试件和编号为 r0b～r2c 的 6 组 RPC 试件进行 SHPB 冲击压缩实验，结果如表 1、2 所示，表中 p_0 为发射气压，v_0 为子弹速度，σ_p 为峰值应力，$\bar{\sigma}_p$ 为平均峰值应力，$\dot{\bar{\varepsilon}}$ 为平均应变率，λ_{di}为动力增大系数。

表 1　RPC-FST 冲击实验结果

Table 1　Experimental results of RPC-FST specimens under impact loading

编号	θ_{max}/℃	p_0/MPa	v_0/(m·s^{-1})	σ_p/MPa	$\bar{\sigma}_p$/MPa	$\dot{\bar{\varepsilon}}$/s^{-1}	λ_{di}
s0b	20	0.8	12.1	218～227	223	95	1.31
s0c	20	1.0	14.3	242～250	247	122	1.45
s1b	200	0.8	12.3	235～240	237	100	1.56
s1c	200	1.0	14.0	249～255	252	122	1.66
s2b	300	0.8	12.2	245～250	247	100	1.64
s2c	300	1.0	14.1	265～272	268	121	1.77

表 2　RPC 冲击实验结果

Table 2　Experimental results of RPC specimens under impact loading

编号	θ_{max}/℃	p_0/MPa	v_0/(m·s^{-1})	σ_p/MPa	$\bar{\sigma}_p$/MPa	$\dot{\bar{\varepsilon}}$/s^{-1}	λ_{di}
s0b	20	0.8	12.0	192～200	195	107	1.63
s0c	20	1.0	14.1	211～220	215	116	1.79
s1b	200	0.8	12.1	204～207	206	100	2.17
s1c	200	1.0	14.2	219～224	221	125	2.33
s2b	300	0.8	12.0	205～214	209	90	2.22
s2c	300	1.0	14.2	231～241	237	120	2.52

2.2.1　应变率的影响

由图 2 可以看出，试件中峰值应力对应的入射波荷载明显高于透射波幅值，说明在冲击荷载下试件破坏，因此峰值应力可以代表试件的承载能力。由表 1～2 和图 7～8 可以看出：应变率为 100 和 120 s^{-1}的冲击荷载下 RPC-FST 和 RPC 的峰值应力较静态抗压强度分别提高了 31%和 63%以上，且提高幅度随应变率的增大而增大，表现出明显的应变率效应；相同应变率下，RPC-FST 的 DIF 值比 RPC 的小 24%以上，说明 RPC-FST 的应变率效应明显弱于 RPC 的应变率效应。

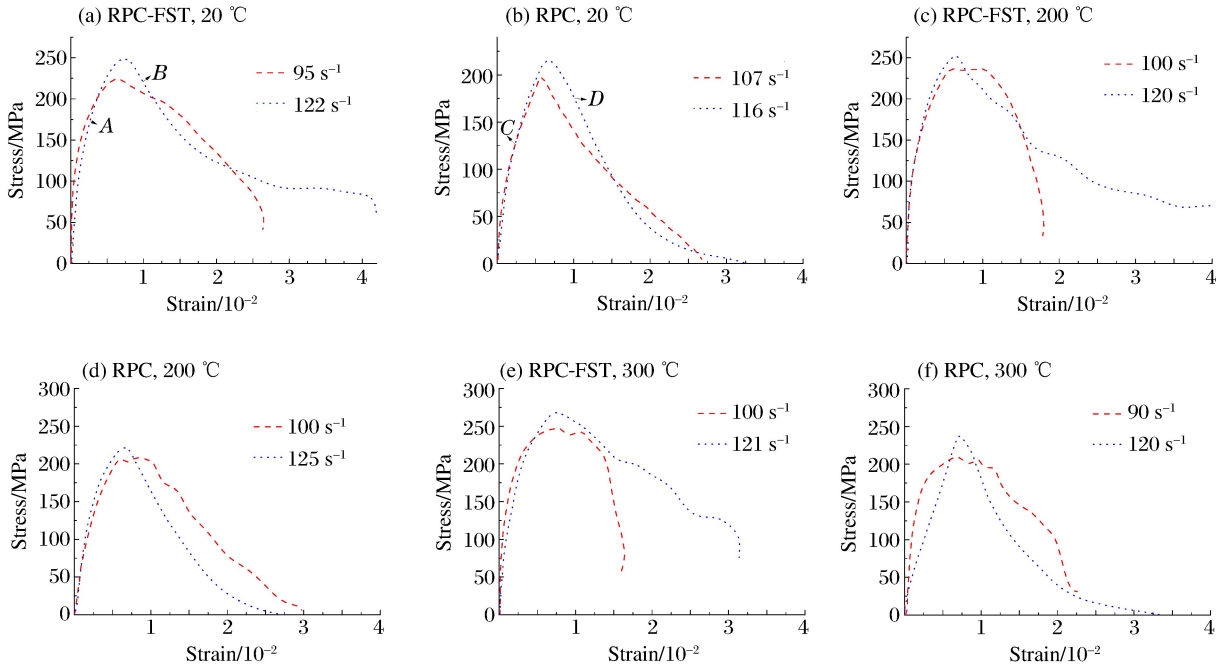

图 7　不同应变率下应力-应变曲线

Fig. 7　Stress-strain curves at different strain rates

由图 7、9～10 可见，当应变率由 100 s^{-1} 增大至 120 s^{-1} 时，RPC-FST 和 RPC 的应力-应变曲线下降段均呈上凹型，RPC 发生粉碎性破坏，而 RPC-FST 出现较明显的裂缝，钢管出现鼓胀，但未发生破碎现象，说明 RPC-FST 发生塑性变形，呈延性破坏。这是由于冲击荷载作用下核心 RPC 内部裂纹开展引起横向膨胀，钢管的约束作用逐渐发挥，核心 RPC 处于 3 向受压状态，RPC-FST 的组合极限承载力大大提高，钢管有效抑制了 RPC 芯柱内部微裂缝的发生和发展，降低了裂缝扩展的速度，提高了 RPC-FST 的强度和变形能力。

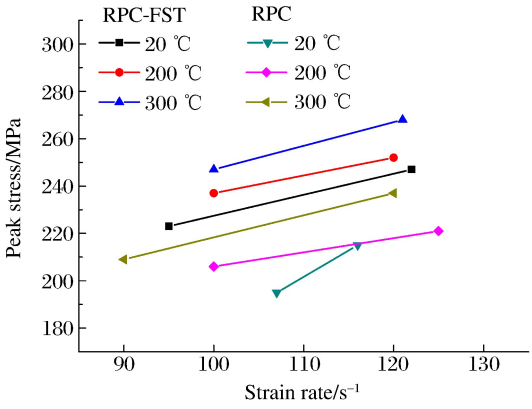

图 8 峰值应力-应变率关系

Fig. 8 Peak stress-strain rate curves

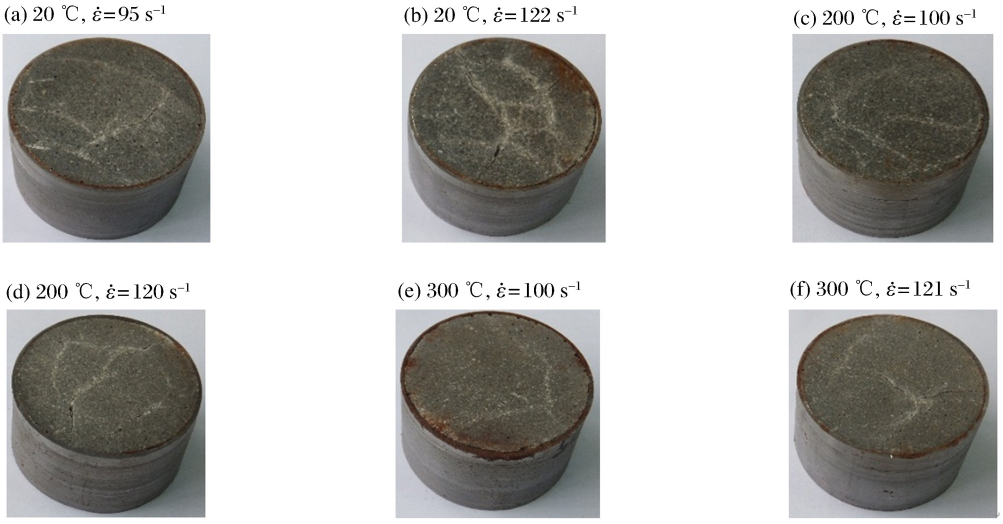

图 9 RPC-FST 破坏形态

Fig. 9 Failure modes of RPC-FST under impact loading

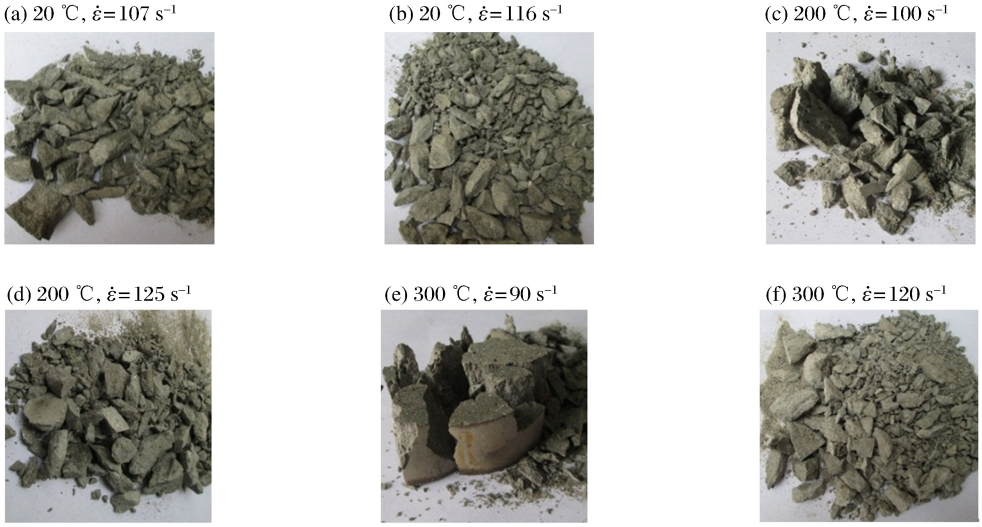

图 10 RPC 破坏形态

Fig. 10 Failure modes of RPC under impact loading

2.2.2　温度的影响

由图 11 可知，RPC-FST 峰值应力随过火温度的提高而增大，这是由于经历高温作用后，RPC 内部毛细水蒸发，相当于经历了“自蒸”，水泥水化和火山灰反应相互促进，消耗了更多对强度有不利影响的 $Ca(OH)_2$，并生成了更多的 C-S-H 凝胶，使得内部结构更密实；RPC 经历温度不高于 300 ℃时，相当于经历了“高温养护”，使得二次水化反应更充分，强度较常温时相应提高[19]。以高温 300 ℃为例（见表 1），应变率 100 s^{-1} 和 120 s^{-1} 下的 RPC-FST 峰值应力较常温下分别提高 11% 和 8.5%，DIF 分别提高 25% 和 22%，说明温度对应变率效应有显著影响。由图 12 可知，随着过火温度的提高，RPC-FST 和 RPC 的应力-应变曲线与横坐标轴的包络面积逐步增大，说明高温后 RPC-FST 和 RPC 的变形能力增强。

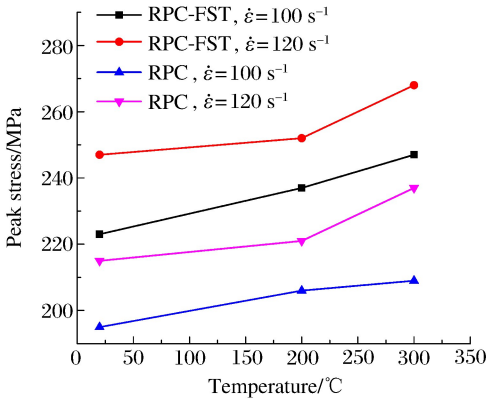

图 11　峰值应力-温度曲线

Fig. 11　Peak stress-temperature curves

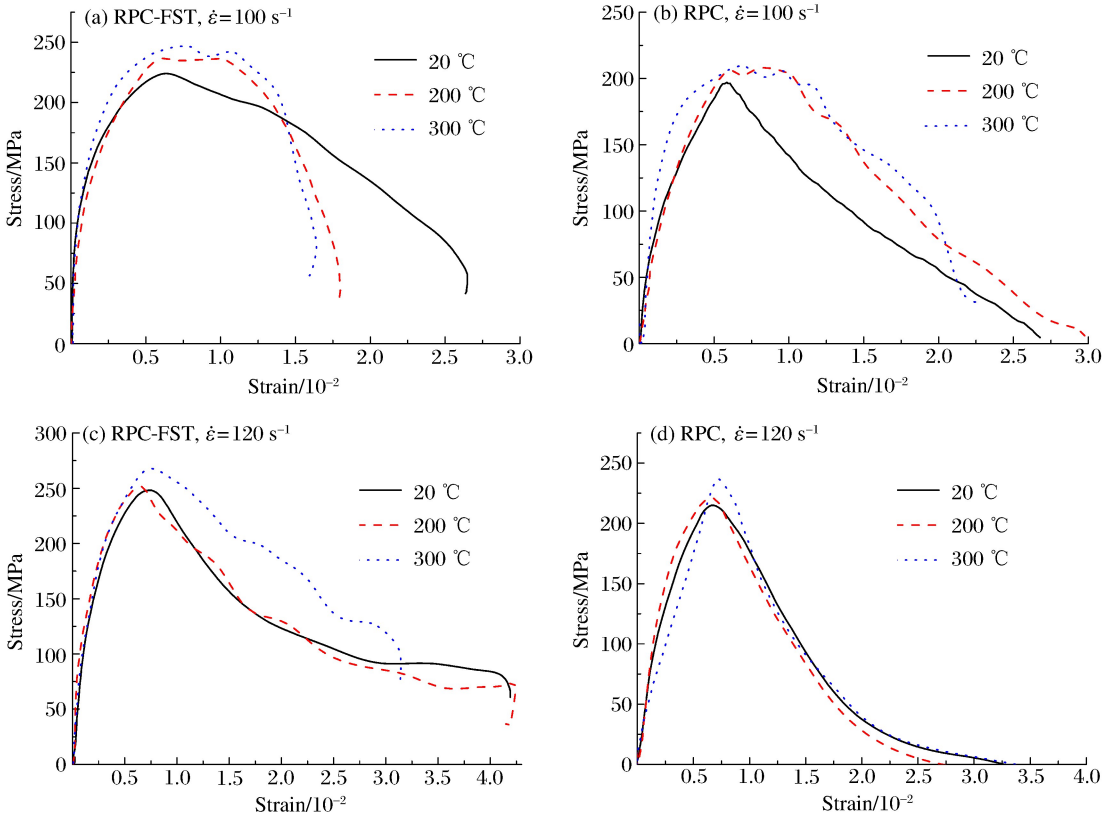

图 12　不同温度下应力-应变曲线

Fig. 12　Stress-strain curves at different temperatures

2.2.3　动力增大系数

动力增大系数 λ_{di}（动态强度与准静态强度的比值）是衡量材料应变率效应的重要指标。图 13 给出了不同温度后 DIF 与应变率的关系，其中图 13(b)给出了 Committee Euro-International du Beton Lausanne (CEB)[20]的 DIF 计算结果，CEB 公式中考虑了混凝土强度和应变率对 DIF 值的影响，被广泛用于预测混凝土动态抗压强度。可以看出，常温下实验得到的 DIF 与 CEB 预测的 DIF 基本吻合，但高温后实验得到的 DIF 偏大，因此采用 CEB 方法将低估高温后 RPC 的动力提高系数 19%～26%。相同应变率下 DIF 值随过火温度提高而增大，说明 RPC-FST 的应变率效应随过火温度的提高而增强。

任晓虎等[21]在文献[22]给出的 DIF 计算方法的基础上，提出了高温后 C-FST 动力提高系数的计算方法：

$$\lambda_{\mathrm{di}}=\frac{\sum_{i=1}^{n} f_{\mathrm{cd}i}\left(\theta_{\max}\right) A_{ci}+f_{\mathrm{yd}}\left(\theta_{\max}\right) A_{\mathrm{s}}}{\sum_{i=1}^{n} f_{ci}\left(\theta_{\max}\right) A_{ci}+f_{\mathrm{y}}\left(\theta_{\max}\right) A_{\mathrm{s}}} \tag{4}$$

高温后钢管的屈服强度可以由下式计算：

$$f_{\mathrm{y}}\left(\theta_{\max}\right)=\begin{cases} f_{\mathrm{y}} & \theta_{\max}\leqslant 400\ ℃ \\ f_{\mathrm{y}}\left[1+2.23\times10^{-4}\left(\theta_{\max}-20\right)-5.88\times10^{-7}\left(\theta_{\max}-20\right)^{2}\right] & \theta_{\max}>400\ ℃ \end{cases} \tag{5}$$

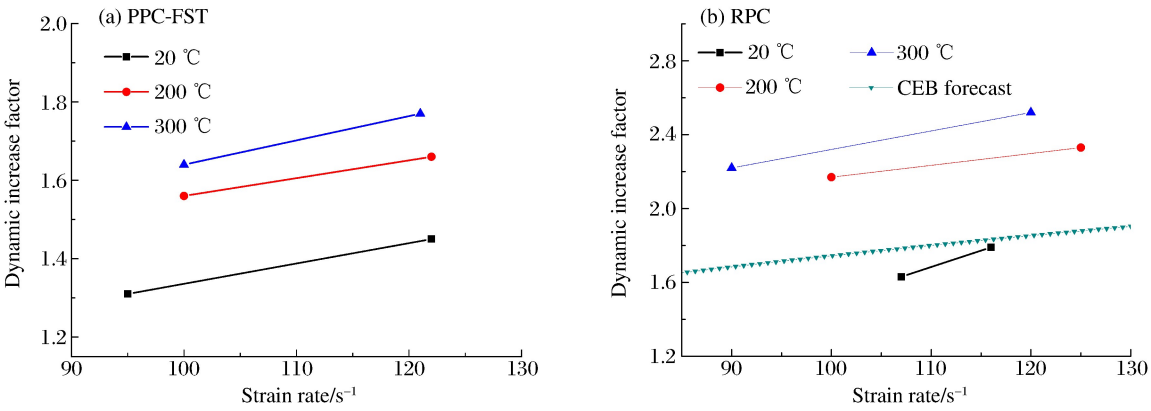

图 13 不同温度后动力增大系数与应变率的关系

Fig. 13 Variations of dynamic increase factors versus strain rates

目前尚无高温后混凝土以及钢材的动力增大系数的计算方法，但何远明等[7]和霍静思等[9]研究发现高温后 C-FST 具有与常温下 C-FST 相类似的应变率效应，因此本文中高温后混凝土以及钢材的动力提高系数与常温下的一致，即分别通过 CEB[20]提出的公式：

$$\lambda_{\mathrm{di,con}}=\begin{cases}\left(\dfrac{\dot{\varepsilon}_{\mathrm{c}}}{30\times10^{-6}}\right)^{1.206\alpha} & \dot{\varepsilon}_{\mathrm{c}}\leqslant 30\ \mathrm{s}^{-1} \\ \gamma\dot{\varepsilon}_{\mathrm{c}}^{\,1/3} & \dot{\varepsilon}_{\mathrm{c}}>30\ \mathrm{s}^{-1}\end{cases} \tag{6}$$

和 Cowpere-Symonds[23]提出的应变率模型：

$$\lambda_{\mathrm{di,st}}=1+\left(\dot{\varepsilon}_{\mathrm{s}}/D\right)^{1/q} \tag{7}$$

进行描述，式中：$\dot{\varepsilon}_{\mathrm{c}}$为混凝土在动荷载作用下的响应应变率；$\dot{\varepsilon}_{\mathrm{s}}$为钢材在动荷载作用下的响应应变率；$\alpha=1/(5.0+3\ f_{\mathrm{cu}}/4)$，$\gamma=10^{6.156\alpha-0.49}$，其中$f_{\mathrm{cu}}$为高温后混凝土立方块的静态抗压强度；$D$ 和 q 为材料常数，对于钢材可以分别取 $D=40.0$，$q=5.0$[23]。

由式(1)～(7)可以得到常温、高温 200 和 300 ℃后 RPC-FST 动力提高系数的理论值如表 3 所示。

表 3 动力提高系数的理论值与实验值的对比

Table 3 Comparisons of experimental and analytical dynamic increase factors

编号	$\theta_{\max}$/℃	p_0/MPa	平均应变率/s^{-1}	动力提高系数		
				实验值	理论值	相对误差/%
s0b	20	0.8	95	1.31	1.30	−0.9
s0c	20	1.0	122	1.45	1.36	−6.1
s1b	200	0.8	100	1.56	1.74	11.4
s1c	200	1.0	120	1.66	1.80	8.3
s2b	300	0.8	100	1.64	1.75	6.9
s2c	300	1.0	121	1.77	1.81	1.9

由表 3 可以看出，常温下 RPC-FST 的 DIF 实验值与理论值吻合较好。相同高温后，DIF 的理论值与实验值的相对误差随应变率的提高而逐渐减小；相同应变率下，DIF 的理论值与实验值的相对误差随过火温度的提高而总体减小。高温后的 DIF 理论值与实验值的相对误差在 12%以内，说明本文的理论方法可以合理预测高温后 RPC-FST 的极限强度，但由于高温后 RPC-FST 的抗冲击特性与受火方式、受火温度、套箍系数等因素有关，更精确的 DIF 计算尚需进一步研究。

3　结　论

通过常温、高温 200 和 300 ℃后 RPC-FST 和 RPC 的 SHPB 冲击性能实验，得到如下结论：

(1)RPC-FST 发生塑性变形，呈延性破坏；与 RPC 相比，RPC-FST 具有更好的抗冲击能力。

(2)RPC-FST 和 RPC 均呈现明显的应变率效应，但 RPC-FST 的应变率效应明显弱于 RPC。

(3)本实验条件(高温 200 和 300 ℃后)下，随着温度的提高，RPC-FST 的峰值应力逐渐增大，变形能力增强，抗冲击能力提高，这是由于高温使得 RPC-FST 内部结构更致密和机械变形能力增强所致。

(4)相同应变率下的 DIF 随过火温度的提高而增大，说明温度对应变率效应有显著影响。高温后 RPC-FST 的 DIF 理论值与实验值吻合较好，但更精确的 DIF 尚需进一步研究。

参考文献：

[1] Tian Zhimin, Wu Ping'an, Jia Jianwei. Dynamic response of RPC-filled steel tubular columns with high load carrying capacity under axial impact loading[J]. Transactions of Tianjin University, 2008,14(6):441-449.

[2] Bambach M R. Design of hollow and concrete filled steel and stainless steel tubular columns for transverse impact loads[J]. Thin-Walled Structures, 2011,49(10):1251-1260.

[3] Remennikov A M, Kong S Y, Uy B. Response of foam- and concrete-filled square steel tubes under low-velocity impact loading[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2011,25(5):373-381.

[4] Yousuf M, Uy B, Tao Z, et al. Transverse impact resistance of hollow and concrete filled stainless steel columns [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2013,82:177-189.

[5] Han Linhai, Hou Chuanchuan, Zhao Xiaoling, et al. Behaviour of high-strength concrete filled steel tubes under transverse impact loading[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2014,92(1):25-39.

[6] Wang Rui, Han Linhai, Hou Chuanchuan. Behavior of concrete filled steel tubular (CFST) members under lateral impact: Experiment and FEA model[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2013,80(1):188-201.

[7] 何远明，霍静思，陈柏生. 高温下钢管混凝土 SHPB 动态力学性能试验研究[J]. 工程力学，2013,30(1):52-58.
He Yuanming, Huo Jingsi, Chen Baisheng. Impact tests on dynamic behavior of concrete-filled steel tube at elevated temperatures[J]. Engineering Mechanics, 2013,30(1):52-58.

[8] 霍静思，任晓虎，肖岩. 标准火灾作用下钢管混凝土短柱落锤动态冲击试验研究[J]. 土木工程学报，2012,45(4):9-20.
Huo Jingsi, Ren Xiaohu, Xiao Yan. Impact behavior of concrete-filled steel tubular stub columns under ISO-834 standard fire[J]. China Civil Engineering Journal, 2012,45(4):9-20.

[9] 霍静思，何远明，肖莉平，等. 高温后钢管混凝土抗多次冲击力学性能试验研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版)，2012,39(9):6-10.
Huo Jingsi, He Yuanmin, Xiao Liping, et al. Experimental study on the dynamic behavior of concrete-filled steel tube after exposure to high temperatures under multiple impact loadings[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2012,39(9):6-10.

[10] 钟善桐. 钢管混凝土结构[M]. 3 版. 北京：清华大学出版社，2003:231-268.

[11] Bischoff P H, Perry S H. Compressive behaviour of concrete at high strain rates[J]. Materials & Structures, 1991,24(6):425-450.

[12] Davies E D H, Hunter S C. The dynamic compression testing of solids by the method of split Hopkinson pressure bar[J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1963,11(3):155-179.

[13] 混凝土结构设计规范：GB50010-2002[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2002:13-15.

[14] 金属材料室温拉伸试验方法:GB/T228-2002[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002:10-12.
[15] 王礼立. 应力波基础[M]. 北京:国防工业出版社,2010:5-35.
[16] 李志武,许金余,白二雷,等. 高温后混凝土 SHPB 试验研究[J]. 振动与冲击,2012,31(8):143-147.
Li Zhiwu, Xu Jinyu, Bai Erlei, et al. SHPB test for post-high-temperature concrete[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012,31(8):143-147.
[17] Song T Y. Concrete filled steel tube stub columns under combined temperature and loading[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2010,66(3):369-384.
[18] 林震宇,吴炎海,沈祖炎. 圆钢管活性粉末混凝土轴压力学性能研究[J]. 建筑结构学报,2005,26(4):52-56.
Lin Zhenyu, Wu Yanhai, Shen Zuyan. Research on behavior of RPC filled circular steel tube column subjected to axial compression[J]. Journal of Building Structures, 2005,26(4):52-56.
[19] 李海艳. 活性粉末混凝土高温爆裂及高温后力学性能研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012:60,96-97.
[20] Comité Euro-International du Béton. Concrete structure under impact and impulsive loading: CEB Bulletin No. 187 [R]. Lausanne Switzerland, 1988.
[21] 任晓虎,霍静思,陈柏生. 高温后钢管混凝土短柱落锤动态冲击试验研究[J]. 振动与冲击,2011,30(11):67-73.
Ren Xiaohu, Huo Jingsi, Chen Baisheng. Dynamic behaviors of concrete-filled steel stub columns after exposure to high temperature[J]. Journal of Vibration and Shock, 2011,30(11):67-73.
[22] Xiao Yan, Shan Jianhua, Zheng Qiu, et al. Experimental studies on concrete filled steel tubes under high strain rate loading[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2009,21(10):569-577.
[23] Jones N. Structural impact[M]. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 1988:100-150.

Mechanical properties of reactive powder concrete-filled steel tube after exposure to high temperature under impact loading

Jiang Meng, Guo Zhikun, Chen Wanxiang, Zou Huihui, Liang Wenguang
(*State Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation of Explosion and Impact, PLA University of Science and Technology, Nanjing* 210007, *Jiangsu, China*)

Abstract: Experiments on reactive powder concrete-filled steel tube (RPC-FST) specimens after exposure to high temperature were performed by using a split Hopkinson pressure bar (SHPB) apparatus, and the influences of strain rate effects and temperature effects on the dynamic behaviors of RPC-FST were investigated. Test results show that the RPC-FST specimens after exposure to high temperature have excellent impact-resistance, ductility and integrity. The strain rate effects of the RPC-FST specimens are weaker than those of the RPC specimens under impact loading. The peak stress of the RPC-FST specimens increases as the temperature increases, and the deformation capability and impact-resistance increase. The dynamic increase factor (DIF) increases as the temperature increases. It means that the strain rate effects of RPC-FST become more obvious after exposure to high temperature.

Keywords: reactive powder concrete-filled steel tube (RPC-FST); Hopkinson pressure bar; dynamic behavior; failure mode

(责任编辑 张凌云)