DOI: 10.11883/1001-1455(2017)04-0712-07

盐腐蚀后混凝土的动态本构模型*

聂良学[1,2],许金余[1,3],刘志群[1],罗 鑫[4]
(1.空军工程大学机场建筑工程系,陕西 西安 710038;
2.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;
3.西北工业大学力学与土木建筑学院,陕西 西安 710072;
4.中央军委后勤保障部建筑工程规划设计研究院,北京 100062)

摘要:为探究混凝土受盐腐蚀后的动态力学响应,配置了粉煤灰质量分数为 15%的普通硅酸盐水泥混凝土,将其置于质量分数均为 15%的 NaCl 和 Na_2SO_4 溶液中浸泡腐蚀 60 d 后,利用∅100 mm 分离式霍普金森压杆实验装置,测试其受腐蚀后的动态力学性能,并结合宏观唯象损伤统计理论和 Weibull 分布思想,建立了混凝土受盐腐蚀后的动态统计损伤本构模型。结果表明:受盐腐蚀后,混凝土试件的动态抗压强度均有不同程度的下降,且 NaCl 溶液腐蚀试件的降幅大于 Na_2SO_4 溶液腐蚀试件;模型曲线与实验曲线的拟合度较高,能够较准确地描述混凝土在冲击荷载作用下的动态力学响应规律。

关键词:盐腐蚀;混凝土;动态抗压强度;损伤理论;Weibull 分布;本构模型
中图分类号:O347.3 **国标学科代码**:13015 **文献标志码**:A

混凝土的耐久性直接关系到建筑结构的寿命及安全性和稳定性。在威胁混凝土结构耐久性的诸多因素中,盐腐蚀尤为突出。盐腐蚀多发生于滨海地区和盐渍土地区。地处滨海区域的建筑或直接建于海水中的混凝土结构,常年经受海水的浸泡和冲刷,遭受海水中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的侵蚀;在我国西部盐渍土区域,如新疆、甘肃、青海、宁夏等地,土壤中 SO_4^{2-} 的质量浓度最高可达 4 200 mg/L,高出我国沿海海水中 SO_4^{2-} 约 1 倍,处于该地区的建筑,尤其是地下混凝土结构,受盐离子的侵蚀十分严重。Cl^- 对混凝土保护层的腐蚀较为严重,可致其脱落,引起内部钢筋锈蚀;硫酸盐侵入混凝土内部引发石膏腐蚀和钙矾石腐蚀,导致混凝土内部结构发生膨胀破坏,明显弱化其各项静/动力学性能。虽然目前关于盐对混凝土的腐蚀研究较多,但是大多集中于静态力学性能[1-5]、离子扩散[6-8]及静态损伤模型[9-11]等,对其在高应变率下的性能测试及动态本构模型仍需深入研究。

基于此,本文中利用∅100 mm 分离式霍普金森压杆(split Hopkinson pressure bar, SHPB)实验装置,对受氯盐和硫酸盐腐蚀的混凝土进行动态力学性能研究,结合宏观唯象损伤统计理论和 Weibull 分布思想,建立混凝土受盐腐蚀后的动态统计损伤本构模型,并对模型进行验证。

1 实 验

1.1 材料和试件

制作混凝土试件所用的材料包括:42.5 R 级普通硅酸盐水泥,由硅酸盐水泥熟料、质量分数为 6%~20%的少量氧化物、适量磨细石膏等材料组成;石灰岩碎石,堆积密度为 1.62 kg/L,粒径范围为 5~20 mm;灞河中砂,堆积密度为 1.5 kg/L,细度模数为 2.8;自来水;F 类(低钙)Ⅰ级粉煤灰。混凝土的设计强度为 C30,试件尺寸为∅100 mm×50 mm,配合比如表 1 所示。

* **收稿日期**:2015-12-12;**修回日期**:2016-04-18
基金项目:国家自然科学基金项目(51078350,51208507);
爆炸冲击防灾减灾国家重点实验室开放课题(DPMEIKF201406);
陕西省青年科技新星计划项目(2013KJXX-81)
第一作者:聂良学(1990—),男,博士研究生,nieliangxue_kgd@126.com。

表 1 混凝土配合比

Table 1 Mix proportions of concrete　　kg/m³

水泥	水	灞河中砂	石灰岩碎石	粉煤灰
338	215	643	1 144	60

试件浇筑完毕后在室内静置 24 h 后脱模，然后立即置于养护箱内，进行为期 28 d 的标准养护。

1.2 动态压缩实验

本实验设置两组腐蚀环境：氯盐和硫酸盐。将养护后的试件分别置于质量分数均为 15% 的 NaCl 和 Na_2SO_4 溶液中浸泡，腐蚀 60 d 后，利用∅100 mm 的 SHPB 实验装置测试其在不同应变率下的动态力学性能。同时，设置一组空白对照组，该组试件不浸泡任何溶液，其余外部环境均相同。为便于分析，将浸泡于 NaCl 溶液和 Na_2SO_4 溶液中的试件分别标记为 S1 组、S2 组，对照组标记为 N 组。

2 实验结果

2.1 应力-应变曲线

在不同应变率下，各组试件的动态应力-应变（σ-ε）曲线如图 1 所示。由图 1 可知：随着应变率的升高，峰值应力逐渐增加，具有显著的应变率效应；同时应力-应变曲线的下降段总体上随着应变率的升高而逐渐向高应变方向移动，说明试件的变形程度不断增大。

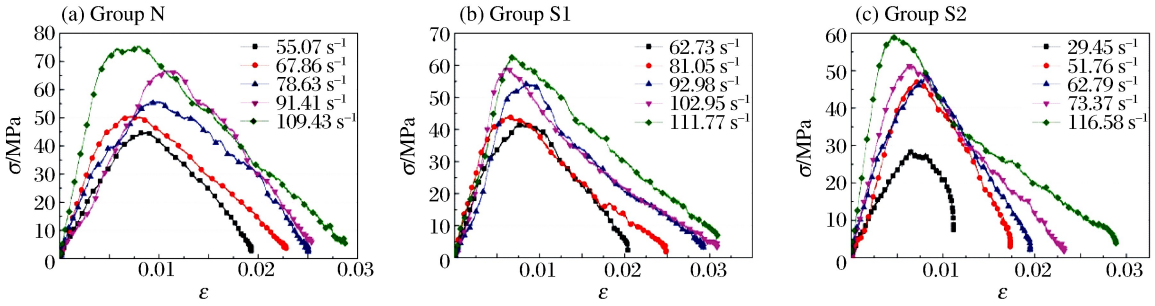

图 1 3 组混凝土试样的动态应力-应变曲线

Fig. 1 Dynamic stress-strain curves of three groups of concrete specimens

2.2 动态抗压强度

动态抗压强度（即峰值应力）为试件破坏时的应力，是衡量材料在动荷载作用下的强度规律的重要力学性能指标，直接反映材料的动力特性。图 2 为各组混凝土试件在不同冲击荷载作用下动态抗压强度 $f_{c,d}$ 与平均应变率 $\dot{\bar{\varepsilon}}$ 的关系图。观察可知，$f_{c,d}$ 与 $\dot{\bar{\varepsilon}}$ 满足线性规律，对其进行线性拟合，可以得到如下关系式：

N 组　　$f_{c,d}=11.7756+0.5849\dot{\bar{\varepsilon}}$，　$R^2=0.9832$　　(1)

S1 组　　$f_{c,d}=11.3548+0.4577\dot{\bar{\varepsilon}}$，　$R^2=0.9066$　　(2)

S2 组　　$f_{c,d}=26.1249+0.3173\dot{\bar{\varepsilon}}$，　$R^2=0.7692$　　(3)

由图 2 以及式(1)～式(3)可知：随着应变率的升高，各组试件的 $f_{c,d}$ 明显增大，且 N 组试件的 $f_{c,d}$ 的增长率（拟合直线斜率）最大，即其应变率敏感性最强，S1 组试件次之，S2 组试件最小；相比于 N 组试件，S1 组和 S2 组试件的 $f_{c,d}$ 均有不同程度的下降，且 S1 组试件的降幅大于 S2 组。

测得 N 组、S1 组和 S2 组混凝土试件的静态抗压强度（$f_{c,s}$）分别为 42.65、32.51 和 35.33 MPa。定义动态强度增长因子 I：动态抗压强度 $f_{c,d}$ 与静态抗压强度 $f_{c,s}$ 的比值，即 $I=f_{c,d}/f_{c,s}$。图 3 为 I 与应变率对数 $\lg\dot{\bar{\varepsilon}}$ 的关系图，对其进行线性拟合，得到：

N 组　　$I=-3.3168+2.4802\lg\dot{\bar{\varepsilon}}$，　$R^2=0.9562$　　(4)

S1 组 $I=-3.6205+2.6917\lg\dot{\bar{\varepsilon}}$, $R^2=0.8615$ (5)

S2 组 $I=-1.2031+1.4261\lg\dot{\bar{\varepsilon}}$, $R^2=0.9424$ (6)

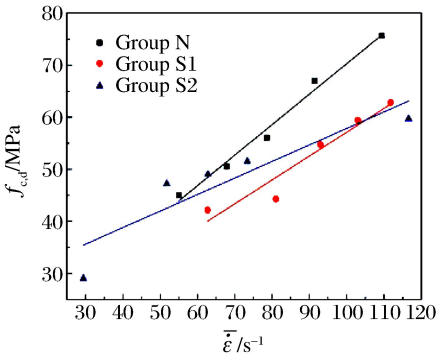

图 2 动态抗压强度-平均应变率曲线

Fig. 2 Dynamic compressive strength vs. average strain rate

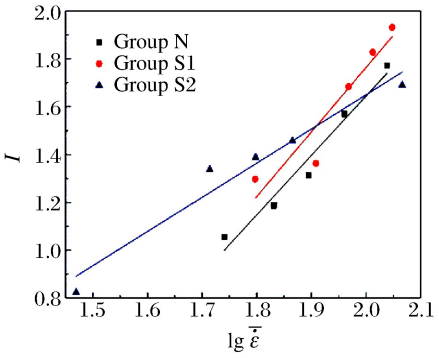

图 3 动态强度增长因子-平均应变率对数曲线

Fig. 3 Dynamic increase factor vs. the logarithm of average strain rate

观察图 3 可知:对于 3 组试件,其动态强度增长因子 I 的线性相关性均较强;N 组试件的 I 最小;S1 组试件的 I 在较低的应变率下略低于 S2 组,而在较高的应变率下高于 S2 组。

试件被 NaCl 溶液腐蚀后,Cl^- 与混凝土内部晶体或胶凝体发生一系列化学反应,破坏混凝土内部物质组成和结构,改变了原有水化产物的性质,导致水化硅酸钙胶凝体与水泥石的黏结性能下降,致使混凝土强度降低。Na_2SO_4 溶液渗入混凝土内部后,同样产生结晶体,填充于混凝土内部孔隙,当结晶体累积到一定量后,对混凝土内部进行挤压,产生内应力;同时,当 SO_4^{2-} 进入混凝土内部后,与氢氧化钙和水化铝酸钙发生反应,生成钙矾石和石膏,反应后体积明显增大,亦产生内应力,严重时引发混凝土产生由内向外的裂缝,破坏骨料与水泥石的黏结,降低混凝土强度。图 4 显示了通过扫描电镜(scanning electron microscope, SEM)观测的各组试件微观形貌。从图 4 可以看出:N 组试件因未受任何腐蚀,随着时间的增长,水化产物 C—S—H 凝胶逐渐增多,致密性较大,微观缺陷和损伤较小,强度持续增加;对于被盐腐蚀的试件(S1 组和 S2 组),其表面的絮状结晶体较多,且排列紧密,形成一层致密的晶体层,使裂缝内部产生一定挤压应力,致使试件的抗压强度较 N 组试件有所下降。

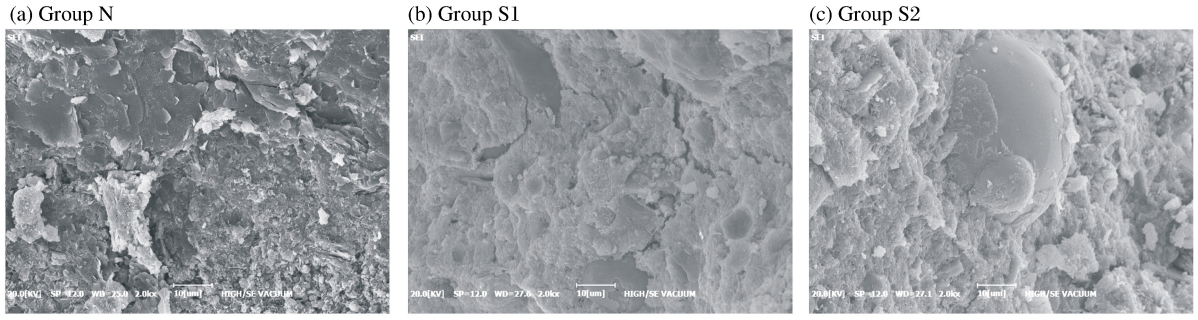

图 4 3 组混凝土试样的扫描电镜图像

Fig. 4 SEM images of three groups of concrete specimens

3 动态统计损伤本构模型

3.1 本构模型的构建

由于混凝土内部存在微裂纹、微孔洞等初始损伤,且裂纹密度和应变均服从 Weibull 分布,因此将混凝土视为连续介质,结合连续损伤力学,基于统计理论,建立统计损伤本构模型,即:

$$\sigma=E\varepsilon(1-D) \tag{7}$$

式中：E 为混凝土无损状态下的弹性模量，D 为损伤变量。

混凝土内部微裂纹密度和应变均服从 Weibull 分布，概率密度函数 $\varphi(\varepsilon)$ 的表达式为[12]：

$$\varphi(\varepsilon)=\frac{m}{a}\left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^{m-1}\exp\left[-\left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^{m}\right] \tag{8}$$

式中：a、m 是与材料物理力学性质相关的系数。

3.2　模型参数的确定

根据连续损伤力学理论[13]，可将混凝土视为多个“微元体”的组合，同时假定每个“微元体”所受的应力和损伤参量连续且均匀分布。设混凝土内部所有“微元体”的数量为 N，受荷载作用后被破坏的“微元体”数为 n，则统计损伤变量 D 定义为：

$$D=n/N \tag{9}$$

因此，在某一应变区间$[\varepsilon,\varepsilon+\mathrm{d}\varepsilon]$内，已破坏的“微元体”数为 $N\varphi(\varepsilon)\mathrm{d}\varepsilon$。当混凝土应变为 ε 时，已破坏的“微元体”数为[14]：

$$n(\varepsilon)=\int_0^{\varepsilon}N\varphi(\varepsilon)\mathrm{d}\varepsilon=\int_0^{\varepsilon}N\frac{m}{a}\left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^{m-1}\exp\left[-\left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^{m}\right]\mathrm{d}\varepsilon=N\left\{1-\exp\left[-\left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^{m}\right]\right\} \tag{10}$$

将式(10)代入式(8)，可得混凝土的统计损伤演化方程：

$$D=1-\exp\left[-\left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^{m}\right] \tag{11}$$

将式(11)代入式(7)，则本构模型变为：

$$\sigma=E\varepsilon(1-D)=E\varepsilon\exp\left[-\left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^{m}\right] \tag{12}$$

在混凝土静态应力-应变曲线的上升段选取两点 A、B，所对应的应力 σ_A、σ_B 分别为峰值强度的 40% 和 60%，则此两点的斜率即为所需的弹性模量：

$$E_{\mathrm{C}}=\frac{\sigma_B-\sigma_A}{\varepsilon_B-\varepsilon_A} \tag{13}$$

式中：ε_A、ε_B 分别表示 A、B 两点的应变。根据式(13)，可确定 N 组、S1 组和 S2 组的弹性模量分别为 43.52、35.79 和 36.62 GPa。

因此，只需再确定材料的物理力学性能参数 a 和 m，即可完全确定该本构模型。由式(12)可得：

$$\frac{\sigma}{E\varepsilon}=\exp\left[-\left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^{m}\right] \tag{14}$$

对式(14)等号两边取两次对数，得：

$$\ln\left[-\ln\left(\frac{\sigma}{E\varepsilon}\right)\right]=m\ln\varepsilon-m\ln a \tag{15}$$

令 $x=\ln\varepsilon$，$y=\ln[-\ln(\sigma/E\varepsilon)]$，则式(15)变为：

$$y=mx-m\ln a \tag{16}$$

基于各组混凝土试件的动态应力-应变曲线，可得本构模型参数 a 和 m，见表 2。对 a 和 m 分别进行非线性拟合，得到其与平均应变率的关系：

N 组
$$\begin{cases}a=-230.9749+9.6460\dot{\bar{\varepsilon}}-0.1308\dot{\bar{\varepsilon}}^{2}+5.7874\times10^{-4}\dot{\bar{\varepsilon}}^{3}, & R^2=0.9968\\ m=-6.5354+0.2746\dot{\bar{\varepsilon}}-0.0036\dot{\bar{\varepsilon}}^{2}+0.1571\times10^{-4}\dot{\bar{\varepsilon}}^{3}, & R^2=0.9708\end{cases} \tag{17}$$

S1 组
$$\begin{cases}a=-367.7624+13.1099\dot{\bar{\varepsilon}}-0.1503\dot{\bar{\varepsilon}}^{2}+5.6978\times10^{-4}\dot{\bar{\varepsilon}}^{3}, & R^2=0.8265\\ m=-10.3671+0.3768\dot{\bar{\varepsilon}}-0.0043\dot{\bar{\varepsilon}}^{2}+0.1620\times10^{-4}\dot{\bar{\varepsilon}}^{3}, & R^2=0.9958\end{cases} \tag{18}$$

S2 组
$$\begin{cases}a=1.0190-0.0572\dot{\bar{\varepsilon}}+0.0009\dot{\bar{\varepsilon}}^{2}-0.0242\times10^{-4}\dot{\bar{\varepsilon}}^{3}, & R^2=0.9945\\ m=0.2623-0.0102\dot{\bar{\varepsilon}}+0.0002\dot{\bar{\varepsilon}}^{2}-0.0089\times10^{-4}\dot{\bar{\varepsilon}}^{3}, & R^2=0.9824\end{cases} \tag{19}$$

将式(17)～式(19)分别代入式(12)，即可得到最终的动态统计损伤本构模型。

表 2 不同应变率下模型参数

Table 2 Model parameters at different strain rates

样品组	$\dot{\varepsilon}/\mathrm{s}^{-1}$	$a/10^{-5}$	m	样品组	$\dot{\varepsilon}/\mathrm{s}^{-1}$	$a/10^{-5}$	m	样品组	$\dot{\varepsilon}/\mathrm{s}^{-1}$	$a/10^{-5}$	m
	55.07	3.68	0.162		62.73	13.01	0.190		29.45	0.04	0.102
	67.86	20.61	0.211		81.05	57.64	0.285		51.76	0.24	0.110
N	78.63	6.72	0.173	S1	92.98	11.05	0.171	S2	62.79	1.19	0.145
	91.41	0.10	0.094		102.95	2.17	0.096		73.37	4.52	0.169
	109.43	171.01	0.431		111.77	12.89	0.146		116.58	20.31	0.212

3.3 应变率效应修正

在 2.2 节中对试件的 I 与 $\lg\dot{\varepsilon}$ 间的关系进行了线性拟合，拟合公式的形式为 $I=\alpha+\beta\lg\dot{\varepsilon}$。但是在实际工程应用中却习惯将其写成 $I=1+C\lg\dot{\varepsilon}$ 的形式，其中 C 为应变率系数，因此需将此前的公式进行转换，如表 3 所示。

表 3 动态强度增长因子与平均应变率对数的关系

Table 3 Relation of dynamic compressive strength increase factor with the logarithm of average strain rate

样品组	拟合公式	转换后的拟合公式	C
N	$I=-3.3168+2.4802\lg\dot{\varepsilon}$	$I=1-0.7478\lg\dot{\varepsilon}$	-0.7478
S1	$I=-3.6205+2.6917\lg\dot{\varepsilon}$	$I=1-0.7435\lg\dot{\varepsilon}$	-0.7435
S2	$I=-1.2031+1.4261\lg\dot{\varepsilon}$	$I=1-1.1854\lg\dot{\varepsilon}$	-1.1854

综上所述，考虑应变率强化效应的动态统计损伤本构模型为：

$$\sigma=E\varepsilon(1-D)K_{\varepsilon} \tag{20}$$

式中：K_{ε} 为应变率强化因子，$K_{\varepsilon}=-C\lg\dot{\varepsilon}$。最终的动态统计损伤本构模型的表达式为：

$$\sigma=E\varepsilon\exp\left[-\left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^{m}\right](-C\lg\dot{\varepsilon}) \tag{21}$$

3.4 模型验证

至此，动态统计损伤本构模型已构建完成，将实际的动态应力-应变曲线（部分）与计算曲线进行对比，如图 5 所示。可以看出，各组试件的应力-应变实验曲线与相应的模型曲线吻合较好，虽然存在一定的偏差，但整体上能够较准确地描述各组混凝土试件在冲击荷载作用下的动态力学响应规律。

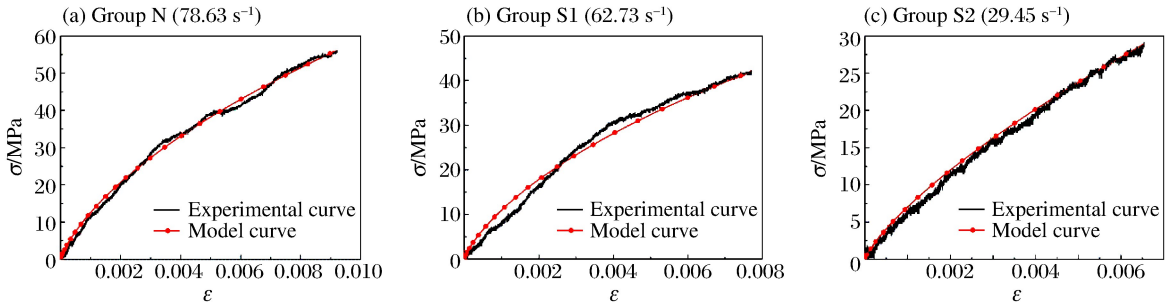

图 5 实验曲线与模型曲线的对比

Fig. 5 Comparison of experimental and model curves

模型中，将用于确定参数 a、m 及 C 值的动态应力-应变曲线记为基准曲线，因此图 5 反映的是基准实验曲线与本构模型曲线的拟合程度。为进一步对模型进行验证，将模型曲线与各组非基准曲线作进一步的对比分析。分别取 N 组、S1 组和 S2 组的非基准曲线，对应的应变率分别为 95.79、67.15 和 82.64 s^{-1}，根据式(17)～式(19)计算得到 a、m 值，分别为：N 组，$a=1.207\times10^{-4}$，$m=0.183$；S1 组，$a=7.367\times10^{-4}$，$m=0.360$；S2 组，$a=0.774\times10^{-4}$，$m=0.198$。再由表 3 及式(21)计算得到各应变率下

的模型曲线，并与实际曲线进行对比，如图 6 所示。由图 6 可知，各组试样的应力-应变实验曲线与模型曲线同样具有较高的吻合度。由于该本构模型是基于统计理论、Weibull 分布函数及部分假定构建而成，而试件的应力-应变行为受试件本身尺寸、内部结构及外界环境等影响，因此模型曲线与实验曲线之间的偏差在可接受范围之内。

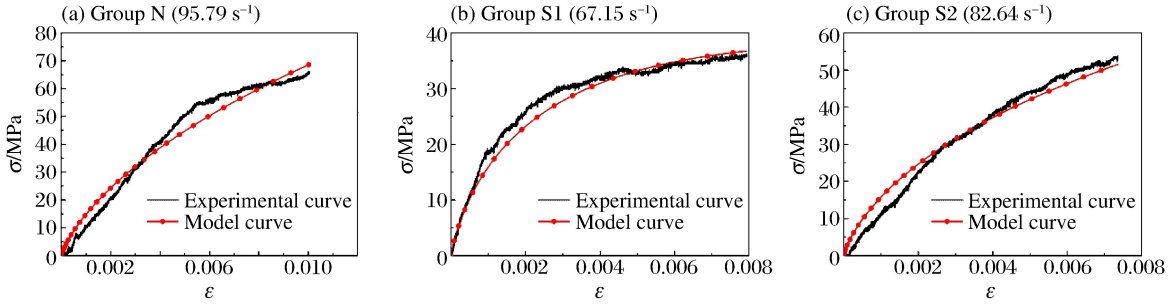

图 6　模型验证

Fig. 6　Model verification

4　结　论

利用∅100 mm SHPB 实验装置，对经质量分数均为 15%的 NaCl 和 Na_2SO_4 溶液浸泡腐蚀的混凝土的动态力学性能进行了研究，建立并验证了混凝土腐蚀后的动态统计损伤本构模型，主要结论如下：

(1) 各组试件的动态抗压强度和动态强度增长因子均具有较强的应变率相关性，而受盐腐蚀后，各组试件的动态抗压强度均有不同程度的下降，且 NaCl 腐蚀试件的降幅大于 Na_2SO_4 腐蚀试件；

(2) 基于宏观唯象损伤统计理论和 Weibull 分布思想，将混凝土视为连续介质，以混凝土内部“微元体”定义损伤，构建动态统计损伤本构模型，各参数的物理意义明确，参数 a 和 m 精确控制着拟合曲线的形状、弯曲度和幅值等，同时计入应变率强化效应修正系数 C；

(3) 动态统计损伤本构模型曲线与实验曲线的拟合度较高，能够较准确地描述各组混凝土试件在冲击荷载作用下的动态力学响应规律，模型曲线与实验曲线之间存在的偏差在可接受范围之内。

参考文献：

[1] Uysal M, Yilmaz K, Ipek M. The effect of mineral admixtures on mechanical properties, chloride ion permeability and impermeability of self-compacting concrete[J]. Construction & Building Materials, 2012,27(1):263-270.

[2] 袁承斌，张德峰，刘荣桂，等. 不同应力状态下混凝土抗氯离子侵蚀的研究[J]. 河海大学学报(自然科学版)，2003，31(1):50-54.
Yuan Chengbin, Zhang Defeng, Liu Ronggui, et al. Diffusivity of chloride in concrete in different stress states[J]. Journal of Hehai University (Natural Sciences), 2003,31(1):50-54.

[3] Hossain K M A, Lachemi M. Performance of volcanic ash and pumice based blended cement concrete in mixed sulfate environment[J]. Cement & Concrete Research, 2006,36(6):1123-1133.

[4] 范颖芳，黄振国，郭乐工，等. 硫酸盐腐蚀后混凝土力学性能研究[J]. 郑州工业大学学报，1999，20(1):91-93.
Fan Yingfang, Huang Zhenguo, Guo Legong, et al. Research on mechanics property of concrete after corrosion of sulphate[J]. Journal of Zhengzhou University of Technology, 1999,20(1):91-93.

[5] Chindaprasirt P, Chalee W. Effect of sodium hydroxide concentration on chloride penetration and steel corrosion of fly ash-based geopolymer concrete under marine site[J]. Construction & Building Materials, 2014,63(8):303-310.

[6] Kwon S J, Na U J, Sang S P, et al. Service life prediction of concrete wharves with early-aged crack: Probabilistic approach for chloride diffusion[J]. Structural Safety, 2009,31(1):75-83.

[7] 史美伦，张雄，吴科如. 混凝土中氯离子渗透性测定的电化学方法[J]. 硅酸盐通报，1998(6):55-59.
Shi Meilun, Zhang Xiong, Wu Keru. Electrochemical methods for the measurement of chloride permeability in con-

crete[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 1998(6):55-59.

[8] Deby F, Carcassès M, Sellier A. Probabilistic approach for durability design of reinforced concrete in marine environment[J]. Cement & Concrete Research, 2009,39(5):466-471.

[9] Sun C, Chen J, Zhu J, et al. A new diffusion model of sulfate ions in concrete[J]. Construction & Building Materials, 2013,39(1):39-45.

[10] Thomas M, Bamforth P B. Modeling chloride diffusion in concrete: Effect of fly ash and slag[J]. Cement & Concrete Research, 1999,29(4):487-495.

[11] 金祖权,孙伟,张云升,等.混凝土在硫酸盐、氯盐溶液中的损伤过程[J].硅酸盐学报,2006,34(5):630-635.
Jin Zuquan, Sun Wei, Zhang Yunsheng, et al. Damage of concrete in sulfate and chloride solution[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2006,34(5):630-635.

[12] 吴政,张承娟.单向荷载作用下岩石损伤模型及其力学特性研究[J].岩石力学与工程学报,1996,15(1):55-61.
Wu Zheng, Zhang Chengjuan. Investigation of rock damage model, and its mechanical behaviour[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1996,15(1):55-61.

[13] 李兆霞.损伤力学及其应用[M].北京:科学出版社,2002.

[14] 徐卫亚,韦立德.岩石损伤统计本构模型的研究[J].岩石力学与工程学报,2002,21(6):787-791.
Xu Weiya, Wei Lide. Study on statistical damage constitutive model of rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002,21(6):787-791.

Dynamic constitutive model of concrete after salt corrosion

Nie Liangxue[1,2], Xu Jinyu[1,3], Liu Zhiqun[1], Luo Xin[4]

(1. *Department of Airfield and Building Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an* 710038, *Shaanxi, China*;
2. *State Key Laboratory of Disaster Prevention & Mitigation of Explosion & Impact, PLA University of Science and Technology, Nanjing* 210007, *Jiangsu, China*;
3. *College of Mechanics and Civil Architecture, Northwest Polytechnic University, Xi'an* 710072, *Shaanxi, China*;
4. *Construction Engineering Planning & Design Institute, Logistic Support Department, Central Military Commission, People's Republic of China, Beijing* 100062, *China*)

Abstract: To explore the dynamic mechanical behaviors of the concrete corroded by salt solution, we fabricated concrete specimens of ordinary Portland cement with fly ash of 15% mass fraction and, having them immersed for 60 d in NaCl and Na_2SO_4 solutions with a 15% mass fraction, studied their dynamic mechanical properties using a ∅100 mm split Hopkinson pressure bar apparatus. Then, based on the macro phase-only statistical damage theory and the Weibull distribution theory, we built a dynamic statistical damage constitutive model for the specimen's mechanical behaviors. The results indicate that the dynamic compressive strength of the corroded specimens experiences a significant decrease, and the declines of the specimens corroded by NaCl are bigger than those corroded by Na_2SO_4. Based on the closely fitted curves of the model and the experiment, this established model can accurately estimate the dynamic mechanical behaviors of concrete under impact loading.

Keywords: salt corrosion; concrete; dynamic compressive strength; damage theory; Weibull distribution; constitutive model

(责任编辑 王 影)