DOI:10.12170/20190923001
王思瑶, 胡少伟. 内部裂缝缺陷对混凝土断裂性能的影响 [J]. 水利水运工程学报, 2020(5): 96-102. (WANG Siyao, HU Shaowei. Effect of internal crack defects on fracture properties of concrete[J]. Hydro-Science and Engineering, 2020(5): 96-102. (in Chinese))

内部裂缝缺陷对混凝土断裂性能的影响

王思瑶[1,2], 胡少伟[1]
(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 武汉大学 水利水电学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 为研究混凝土梁内部贯穿裂缝缺陷对其断裂性能的影响, 设计了含不同裂缝缺陷混凝土梁的三点弯曲断裂试验, 研究不同长度、位置及数量的水平裂缝缺陷对混凝土断裂性能的影响。通过试验测得的 P-D_m 曲线以及相关试验数据计算得到含不同裂缝缺陷的混凝土断裂参数与断裂能。对比结果可知: 混凝土三点弯曲梁的起裂荷载和起裂韧度受水平裂缝缺陷参数变化的影响较小, 而失稳荷载和失稳韧度受水平裂缝缺陷的影响较大; 水平裂缝越长, 试验测得其失稳荷载越小, 计算得到的失稳韧度和断裂能也越小。水平裂缝距离试件的底部越近, 试验测得其失稳荷载越小, 计算得到的失稳韧度和断裂能也越小。水平裂缝数量越多, 试验测得其失稳荷载越小, 计算得到的失稳韧度越小, 断裂能也越小。该现象表明混凝土试件中含线性缺陷导致材料的缺失量越大, 其完全断裂所消耗的能量越小, 且测得的断裂参数值也越小。

关 键 词: 混凝土试件; 水平裂缝缺陷; 三点弯曲断裂试验; 断裂参数; 断裂能
中图分类号: TV331 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2020)05-0096-07

混凝土是现代土木工程中主要的建筑用材, 因其自身特性及其各种因素引起的缺陷, 对混凝土结构的安全性能有着重要影响[1-2]。裂缝作为混凝土结构内部最常见的缺陷会影响结构的力学承载性能。因此, 研究混凝土材料中裂缝缺陷对断裂特性的影响具有重要意义。

断裂力学应用于分析混凝土材料断裂过程以来, 带裂缝的混凝土试件包括中央带缺口的三点弯曲梁[3-4]、带初始裂缝的楔入劈拉试件[5-7] 以及紧凑拉伸试件[8] 随即成为主要的混凝土材料断裂力学性能测试试件。20 世纪 80 年代, 徐世烺与 Reinhardt 等提出了双 K 断裂模型[9-11], 模型通过引入混凝土材料的起裂和失稳韧度描述裂缝在混凝土材料中断裂的全过程, 并提出测试水工混凝土断裂韧度的一般方法[12]。该测试方法被广泛用于工程中混凝土材料断裂力学行为的测试。

近年来, 一些学者对缺陷影响材料断裂力学行为进行了研究。胡少伟等[13] 利用内部预制孔洞缺陷的楔入劈拉试件分析了混凝土断裂力学测试试验中试件内部缺陷对其断裂力学测试结果的影响, 认为当裂缝经过缺陷时会降低相关参数, 当其远离缺陷区域时, 则影响较小。胡少伟等[14] 对含多条预置裂缝的混凝土三点弯曲试验梁的断裂过程进行了测试, 试验结果得到次缝对试件测试中的结果具有重大影响。孙国有等[15] 将细观空洞的扩张与 I-II 复合型裂缝相结合并推导出其相应的断裂参数。

本文基于混凝土梁的三点弯曲断裂试验, 在试件内部构建不同参数的贯穿裂缝缺陷, 通过试验获得的断裂特征曲线结合双 K 断裂模型计算获得其断裂参数与断裂能, 并对计算结果进行对比分析, 从而得到混凝土试件内部含裂缝缺陷及缺陷参数对断裂测试结果的影响。

收稿日期: 2019-09-23
基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (51739008); 国家重大科研仪器研制项目 (51527811)
作者简介: 王思瑶 (1993—), 女, 江苏南通人, 博士研究生, 主要从事混凝土断裂力学研究。
E-mail: 2011301580175@whu.edu.cn 通信作者: 胡少伟 (E-mail: hushaowei@nhri.cn)

1　试验概况

试验设计了 10 组共 30 个标准三点弯曲梁试件(S/H=4), 试件尺寸均为 $L\times H\times B$=1 000 mm×200 mm×120 mm, 其中含有 n 个水平裂缝缺陷, 试件形式如图 1 所示。图中 h_1 为边缘裂缝尖端至第 1 个内部裂缝缺陷中心的距离, h_2 为两相邻内部裂缝缺陷的距离, 其中内部裂缝缺陷中心均在边缘裂缝延长线上, w 为内部裂缝缺陷的长度, a_0 为边缘缝高度(本试验中设为 40 mm), 混凝土三点弯曲梁试件的裂缝设计参数见表 1。

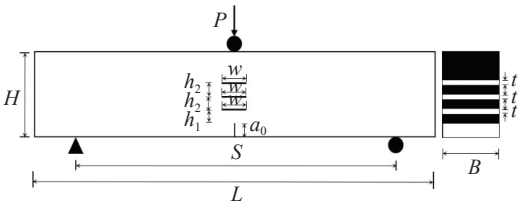


图 1　试件尺寸

Fig. 1　Dimension of specimen

表 1　试件设计参数

Tab. 1　Design parameters of specimens

试件编号	w/mm	n	h_1/mm	h_2/mm
TPB-W1-x	60	1	40	-
TPB-W2-x	80	1	40	-
TPB-W3-x	100	1	40	-
TPB-W4-x	120	1	40	-
TPB-H1-x	60	1	20	-
TPB-H2-x	60	1	40	-
TPB-H3-x	60	1	60	-
TPB-H4-x	60	1	80	-
TPB-N1-x	60	0	-	-
TPB-N2-x	60	1	40	-
TPB-N3-x	60	2	40	20
TPB-N4-x	60	3	20	20

注: 试件编号中, TPB代表三点弯曲梁试验; W, H, N分别代表含不同长度w、间距h_1和h_2以及数量n的水平裂缝缺陷的试件; x = 1, 2, 3, 代表相同参数的试件各有3个。

试件采用的混凝土由 42.5 普通硅酸盐水泥、最大粒径为 20 mm 的石灰岩碎石和天然河砂配制而成, 配合比为水泥：砂：石：水=1：1.225：2.485：0.440。混凝土混合料在振动下浇注到木模中, 试件边缘预制缝以及内部裂缝缺陷分别采用厚 3 mm、一端为 30°V 型和两端均为 30°V 型的不锈钢板预埋, 钢板在初凝后终凝前拔出。混凝土标准立方体试件 28 d 龄期抗压强度、抗拉强度、杨氏模量和泊松比分别为: f_c=46.7 MPa, f_t=3.46 MPa, e=33.0 GPa 和 μ=0.2。

混凝土三点弯曲梁试件的断裂测试试验在 20 t 电子伺服万能压力机上进行, 试验现场装置如图 2 所示, 试验中压力机的垂直加载速率小于 10 N/s, 试验加载前进行预加载以确保仪器及测试传感装置的准确连接。试验中所有试验数据采用 DH5902 动态数据采集仪采集, 采集的试验数据包括: 由压力传感器获取的外加垂直荷载、由竖向位移计获取的试件中心竖向位移、由夹式引伸计获取的竖缝口张口位移、由应变片获取的竖缝裂尖应变和横缝上端应变(图 3)。

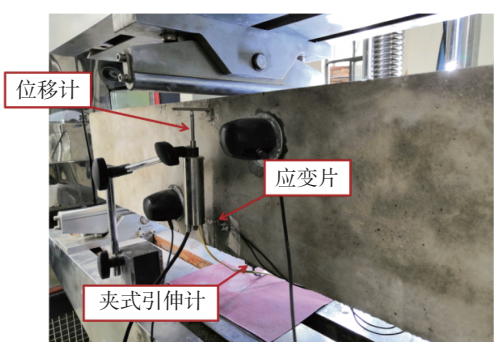


图 2　试验装置

Fig. 2　Test device

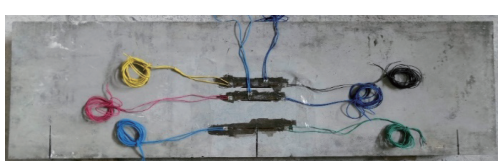
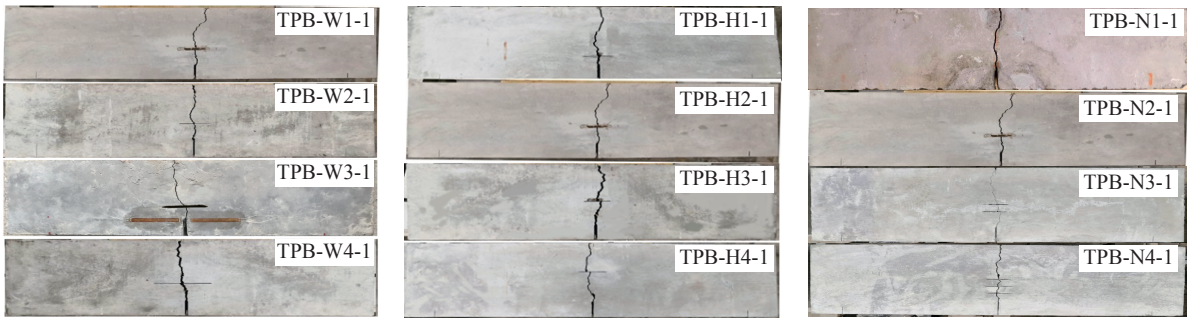


图 3　应变片分布

Fig. 3　Distribution of strain gauges

试件的破坏形态和断裂路径如图 4 所示。可见水平裂缝缺陷在裂缝扩展路径上, 且裂缝穿过水平裂缝缺陷后仍保持 I 型的断裂模式扩展路径。



(a) 不同水平裂缝长度 (b) 不同水平裂缝位置 (c) 不同水平裂缝数量

图 4 试件断裂路径

Fig. 4 Fracture path of specimens

2 混凝土三点弯曲梁断裂性能参数计算方法

2.1 断裂参数计算方法

根据文献 [9-11], 并结合《水工混凝土断裂试验规程》(DL/T 5332—2005)计算三点弯曲梁试件的断裂韧度。

$$K_I(P,a)=\frac{3\left(P+\frac{W}{2}\right)S\sqrt{a}}{2H^2B}F\left(\frac{a}{H}\right) \tag{1}$$

$$F\left(\frac{a}{H}\right)=\frac{1.99-a/H(1-a/H)\left[2.15-3.93a/H+2.7(a/H)^2\right]}{(1+2a/H)(1-a/H)^{3/2}} \tag{2}$$

式中: P 为外加荷载值; W 为试件支座间梁的自重, 由试件总重量乘以 S/L 计算得到; S 为试件两支座间的跨度; a 为裂缝长度; H, B 和 L 分别为试件的高度、厚度和长度。

根据双 K 断裂准则[11], 计算混凝土起裂韧度 K_{ini} 时, 仅需将起裂荷载 P_{ini} 和边缘预制缝长度 a_0 代入上述公式即可; 计算混凝土失稳韧度 K_{un} 时, 将失稳荷载 P_{un} 和临界有效裂缝长度 a_{c} 代入上述公式即可。其中, a_{c} 按下式计算:

$$a_{\mathrm{c}}=\frac{2}{\pi}(H+h_0)\arctan\left(\frac{BED_{\mathrm{mc}}}{32.6P_{\max}}-0.113\,5\right)^{1/2}-h_0 \tag{3}$$

式中: h_0 为钢片刀口厚度; E 为计算弹性模量; D_{mc} 为临界裂缝张口位移, 即试件 P-D_{m} 曲线中峰值荷载 $P_{\max}$ 所对应的值。其中, E 按下式计算:

$$E=\frac{1}{Bc_{\mathrm{i}}}\left[3.70+32.6\tan^2\left(\frac{\pi}{2}\frac{a_0+h_0}{H+h_0}\right)\right] \tag{4}$$

式中: c_{i} 为试件初始 D_{m}/P 值, 由 P- D_{m} 曲线上升直线段上任一点的 D_{m} 和 P 计算可得。

2.2 断裂能计算方法

根据三点弯曲梁试验测得的荷载-位移全过程曲线, 采用 RILEM(国际材料和结构试验室联合会) 推荐的公式[16] 计算混凝土的断裂能。

$$G_{\mathrm{f}}=(W_0+mg\delta_0)/A_{\mathrm{lig}} \tag{5}$$

式中: W_0 为荷载-位移(P-δ)曲线下所围图形的面积(图 5); δ_0 为梁完全断裂时的加载点位移; m 为支座间梁的质量; g 为重力加速度, 取为 9.81 m/s^2; A_{lig} 为混凝土梁断裂带在垂直于梁轴平面上的投影面积。A_{lig} 按下式计算:

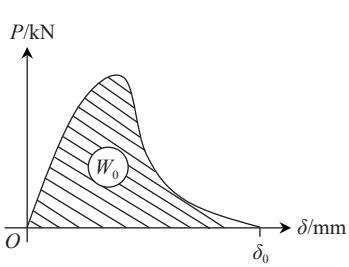


图 5 P-δ 曲线

Fig. 5 P-δ curves

$$A_{\mathrm{lig}} = (H - a_0 - nt)B \tag{6}$$

式中: H 和 B 分别为梁的高度和厚度; a_0 为边缘缝高度; n 为水平裂缝缺陷数量; t 为水平缺陷厚度。

3　水平裂缝缺陷对混凝土断裂性能的影响

3.1　水平裂缝缺陷长度对混凝土断裂性能的影响

图 6 给出了混凝土梁内部含不同长度水平裂缝缺陷的 P-D_{m} 曲线。可见, 各组试件的 P-D_{m} 曲线规律相似, 并且与无缺陷梁的曲线相似, 即试件的断裂过程依然呈现出典型的三阶段式, 分别为线弹性阶段、稳定扩展阶段和失稳扩展阶段。第 1 阶段, 混凝土梁中未出现裂纹, 荷载与裂缝口张开位移呈线性关系; 第 2 阶段, 随着荷载的增大, 混凝土梁开始出现微裂纹并且形成断裂过程区, 裂缝的张口位移增加速度加快, 裂缝稳定扩展, P-D_{m} 曲线呈非线性增长; 第 3 阶段, 混凝土梁达到极限承载能力, 试件中裂缝迅速扩展最终导致其完全断裂失效, 在 P-D_{m} 曲线上表现为荷载突然降低同时张口位移迅速增加。由测得的 P-D_{m} 曲线, 曲线峰值前的线性段至非线性段的拐点对应的荷载为起裂荷载 P_{ini}(同时也是预制缝尖端 P-ε 曲线上应变最大值对应的荷载值), 峰值对应的荷载以及裂缝口张开位移分别为失稳荷载 $P_{\max}$ 和临界张口位移 D_{mc}, 同时根据式 (1)~ (6) 计算可得起裂韧度、失稳韧度以及断裂能。图 7 给出了计算所得的断裂参数随水平裂缝长度的变化。随着水平裂缝缺陷长度从 60 mm 增至 120 mm, 测试的混凝土梁起裂荷载 P_{ini} 保持约为 6 kN 不变, 起裂韧度 $K_{\mathrm{Ic}}^{\mathrm{ini}}$ 约为 1 MPa·m$^{1/2}$ 保持不变, 而试件的失稳荷载 $P_{\max}$ 从 8.39 kN 减到 6.87 kN, 减小了 18.1%, 失稳韧度 $K_{\mathrm{Ic}}^{\mathrm{un}}$ 从 2.08 MPa·m$^{1/2}$ 降至 1.65 MPa·m$^{1/2}$, 降低约 20%; 断裂能 G_{f} 从 85.29 N/m 降至 70.43 N/m, 降低了 17.4%。计算结果表明, 试件内部的水平裂缝缺陷对混凝土三点弯曲梁试件的起裂荷载和起裂韧度影响较小, 但会加速试件失稳, 并且水平裂缝的长度越长, 裂缝扩展过程进入失稳破坏阶段越早。由试验测得的 $P_{\mathrm{ini}}/P_{\max}$ 从 0.72 增大到 0.88 可知, 水平裂缝缺陷的存在及其长度的增大使得断裂测试中试件断裂过程中的脆性也进一步增大。

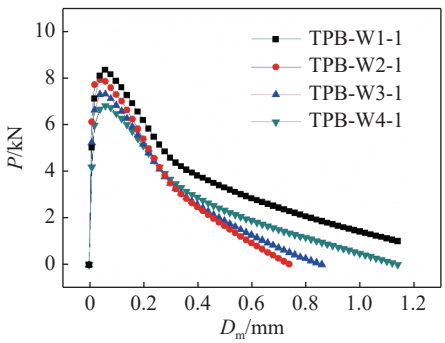
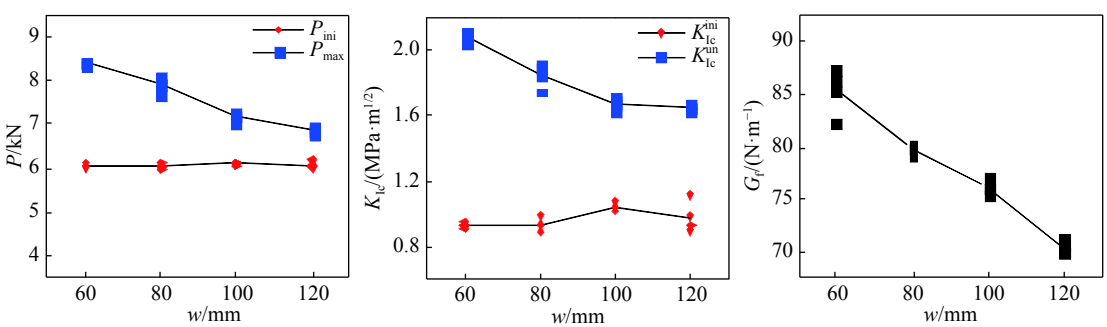


图 6　不同水平裂缝长度 P- D_{m} 曲线

Fig. 6　P- D_{m} curves of different horizontal crack lengths



(a) 起裂荷载和失稳荷载　(b) 起裂韧度和失稳韧度　(c) 断裂能

图 7　断裂参数随水平裂缝长度变化曲线

Fig. 7　Fracture parameters versus horizontal crack lengths

3.2　水平裂缝缺陷位置对混凝土断裂性能的影响

图 8 给出了含不同位置水平裂缝试件的 P-D_{m} 曲线。由图 8 可知, 各组试件的 P-D_{m} 曲线呈相似规律, 也与无水平裂缝缺陷试样的结果相似, 各组试件的断裂过程表征出线弹性、裂缝稳定扩展和裂缝失稳扩展阶段。图 9 给出了计算所得的断裂参数随水平裂缝位置的变化。由图 9 可知, 由于水平裂缝位置不同, 断裂参数有所差异, 具体表现为: 水平裂缝缺陷位置 h_1 从 80 mm 降至 20 mm, 试件的起裂荷载 P_{ini} 保持在

6.05~6.11 kN, 计算获得的起裂韧度K_{Ic}^{ini}保持在 0.93~1.06 MPa·m$^{1/2}$, 而测得的失稳荷载 P_{max} 从 9.04 kN 降至 7.45 kN, 减少约 17.6%, 失稳韧度K_{Ic}^{un}从 2.09 MPa·m$^{1/2}$ 减小到 1.71 MPa·m$^{1/2}$, 约减小 18.2%, 试验测得断裂能 G_f 从 86.59 N/m 降至 66.26 N/m, 减小约 23.5%。试验结果表明水平裂缝缺陷与边缘预制缝尖距离 h_1 越小, P_{max} 和K_{Ic}^{un}越小, 试件中裂缝进入失稳扩展阶段越快。又由 P_{ini}/P_{max} 从 0.67 增大到 0.82 可知, 水平裂缝缺陷的存在及其距离 h_1 的减小, 试件的脆性不断增大, 测得的断裂参数也越小。

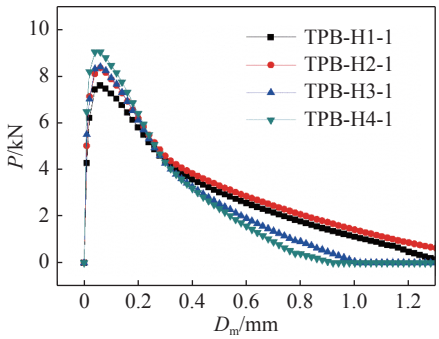
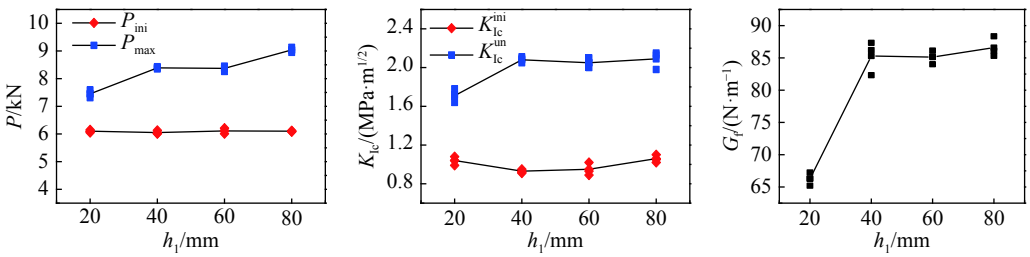


图 8 不同裂缝位置 P-D_m 曲线

Fig. 8 P-D_m curves of different horizontal crack locations



(a) 起裂荷载和失稳荷载 (b) 起裂韧度和失稳韧度 (c) 断裂能

图 9 断裂参数随水平裂缝位置变化曲线

Fig. 9 Fracture parameters versus horizontal crack locations

3.3 水平裂缝缺陷数量对混凝土断裂性能的影响

图 10 给出了含不同水平裂缝缺陷数量的试件的 P-D_m 曲线。由图可知各组试件的 P-D_m 曲线呈相似规律, 各组试件的断裂过程仍分为 3 个阶段。图 11 给出了计算所得的断裂参数随水平裂缝数量的变化。随着水平裂缝缺陷数量由 0 增加至 3, 试件的起裂荷载 P_{ini} 为 5.94~6.05 kN, 起裂韧度K_{Ic}^{ini}为 0.93~1.09 MPa·m$^{1/2}$, 而试件的失稳荷载 P_{max} 从 9.11 kN 减到 6.39 kN, 失稳韧度 K_{Ic}^{un}从 2.15 MPa·m$^{1/2}$ 降至 1.68 MPa·m$^{1/2}$, 降低了 21.9%, 断裂能 G_f 从 88.5 N/m 降至 70.45 N/m, 降低 20.4%。试验结果表明, 由于水平裂缝缺陷的存在及其数量的增多, P_{max} 和K_{Ic}^{un}均减小, P_{ini}/P_{max} 从 0.66 增大到 0.93, 试件更早进入失稳断裂过程, 混凝土试件的脆性也不断增大。

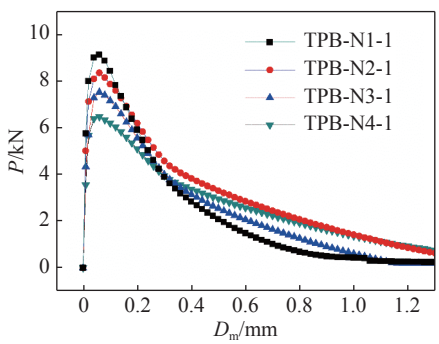
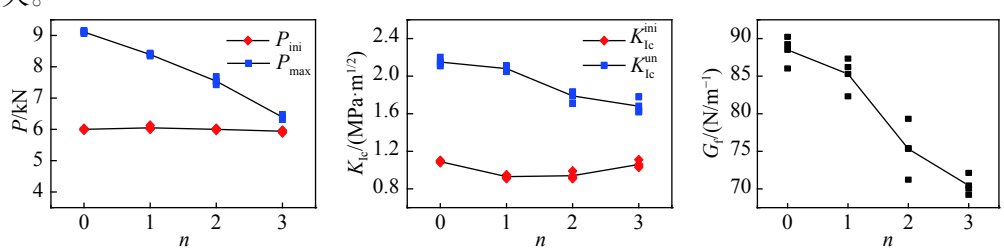


图 10 不同裂缝数量 P-D_m 曲线

Fig. 10 P-D_m curves of different numbers of cracks



(a) 起裂荷载和失稳荷载 (b) 起裂韧度和失稳韧度 (c) 断裂能

图 11 断裂参数随水平裂缝数量变化曲线

Fig. 11 Fracture parameters versus number of horizontal cracks

4　结　语

试验设计了含不同类型水平裂缝缺陷的混凝土梁的三点弯曲断裂试验, 主要研究不同长度、位置及数量的水平裂缝缺陷对混凝土断裂性能的影响。依据试验中测得的 P-D_m 曲线以及相关试验数据计算得到含不同裂缝缺陷混凝土断裂参数与断裂能, 对比分析不同参量试件的测试结果, 得到以下主要结论:

(1)混凝土内部的水平裂缝缺陷对三点弯曲梁试件的起裂荷载和起裂韧度测试结果影响较小, 但是对失稳荷载和失稳韧度的测试结果影响较大。

(2)对含 60, 80, 100 和 120 mm 长度的水平裂缝缺陷的混凝土三点弯曲梁试件进行测试, 结果表明断裂韧度和断裂能随裂缝缺陷长度的增加而降低, 且裂缝长度由 60 mm 增至 120 mm 时, 失稳韧度降低约 20%, 断裂能降低约 17.4%。

(3)对距边缘预置缝缝尖 20, 40, 60 和 80 mm 水平裂缝缺陷的混凝土三点弯曲梁试件进行测试, 结果表明断裂韧度和断裂能随裂缝缺陷距离的降低而降低, 且距离位置由 80 mm 减至 20 mm 时, 失稳韧度降低约 18.2%, 断裂能降低约 23.5%。

(4)对含不同数量水平裂缝缺陷的混凝土三点弯曲梁试件进行测试, 结果表明断裂韧度和断裂能随着裂缝缺陷数量的增加而降低, 且裂缝数量由 0 增加至 3 时, 失稳韧度降低约 21.9%, 断裂能降低约 20.4%。

(5)裂缝缺陷长度、位置和数量对混凝土断裂测试结果具有显著影响, 后续研究还需对裂缝缺陷的宽度、角度等参数作进一步分析。同时, 针对含裂缝缺陷的楔入劈裂试件和紧凑拉伸试件的断裂测试结果需进一步进行试验研究分析。

参　考　文　献:

[1] 吴中如, 徐波, 顾冲时, 等. 大坝服役状态的合评判方法[J]. 中国科学: 技术科学, 2012, 55(8): 2300-2312. (WU Zhongru, XU Bo, GU Chongshi, et al. Comprehensive evaluation methods for dam service status[J]. Science China Technological Sciences, 2012, 55(8): 2300-2312. (in Chinese))

[2] KAPLAN M F. Crack propagation and the fracture of concrete[J]. Journal Proceedings, 1961, 58(11): 591-610.

[3] 尹阳阳, 胡少伟, 王宇航. 自重对混凝土三点弯曲梁断裂性能的影响[J]. 工程力学, 2019, 36(7): 48-56, 108. (YIN Yangyang, HU Shaowei, WANG Yuhang. Influence of self-weight on the fracture properties of three-point bending concrete beams[J]. Engineering Mechanics, 2019, 36(7): 48-56, 108. (in Chinese))

[4] LI T, XIAO J Z, ZHANG Y M, et al. Fracture behavior of recycled aggregate concrete under three-point bending[J]. Cement and Concrete Composites, 2019, 104: 103353.

[5] XIAO J Z, SCHNEIDER H, DÖNNECKE C, et al. Wedge splitting test on fracture behaviour of ultra high strength concrete[J]. Construction and Building Materials, 2004, 18(6): 359-365.

[6] 胡少伟, 胡鑫, 范冰. 混凝土缺陷形状对楔入劈拉断裂性能的影响[J]. 水电能源科学, 2019, 37(8): 110-113. (HU Shaowei, HU Xin, FAN Bing. Effect of defect shape on fracture characteristics of concrete wedge splitting[J]. Water Resources and Power, 2019, 37(8): 110-113. (in Chinese))

[7] 胡少伟, 徐爱卿. 非标准混凝土楔入劈拉试件高宽比影响分析[J]. 硅酸盐学报, 2015, 43(10): 1492-1499. (HU Shaowei, XU Aiqing. Effect analysis on fracture morphology of non-standard concrete wedge splitting tests by different height to width ratio[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2015, 43(10): 1492-1499. (in Chinese))

[8] 李庆华, 种法澄, 张麒, 等. 改进的圆形紧凑拉伸法研究混凝土双G断裂参数[J]. 水利学报, 2018, 49(4): 474-482. (LI Qinghua, CHONG Facheng, ZHANG Qi, et al. Study of double-G fracture parameters using modified round compact tension method[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018, 49(4): 474-482. (in Chinese))

[9] XU S L, REINHARDT H W. A simplified method for determining double-K fracture parameters for three-point bending tests[J]. International Journal of Fracture, 2000, 104(2): 181-209.

[10] XU S L, REINHARDT H W. Determination of double-K criterion for crack propagation in quasi-brittle fracture part I:

experimental investigation of crack propagation[J]. International Journal of Fracture, 1999, 98(2): 111-149.

[11] 徐世烺, 赵国藩. 混凝土结构裂缝扩展的双*K*断裂准则[J]. 土木工程学报, 1992, 25(2): 32-38.（XU Shilang, ZHAO Guofan. A double-*K* fracture criterion for the crack propagation in concrete structures[J]. China Civil Engineering Journal, 1992, 25(2): 32-38.（in Chinese））

[12] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 水工混凝土断裂试验规程: DL/T 5332—2005[S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.（National Development and Reform Commission. Norm for fracture test of hydraulic concrete: DL/T 5332—2005[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.（in Chinese））

[13] 胡少伟, 胡鑫. 含空洞缺陷混凝土试件楔入劈拉性能分析[J]. 水利水运工程学报, 2017(1): 1-9.（HU Shaowei, HU Xin. Experimental studies and performance analysis of wedge splitting for concrete specimens with cavity defects[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(1): 1-9.（in Chinese））

[14] 胡少伟, 尹阳阳, 王强. 双缝混凝土三点弯曲梁断裂性能试验[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2019, 47(3): 265-270.（HU Shaowei, YIN Yangyang, WANG Qiang. Experimental study on the fracture properties of three-point bending concrete beam with double cracks[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2019, 47(3): 265-270.（in Chinese））

[15] 孙国有, 薛继良, 兰清生, 等. 空洞扩张与I-II复合型裂纹的断裂参量[J]. 浙江大学学报(自然科学版), 1994, 28(1): 1-8.（SUN Guoyou, XUE Jiliang, LAN Qingsheng, et al. Void growth and fracture criteria of cracks of mixed I and II modes[J]. Journal of Zhejiang University (Natural Science), 1994, 28(1): 1-8.（in Chinese））

[16] RILEM Technical Committee (50-FMC). Determination of the fracture energy of mortar and concrete by means of three-point bend tests on notched beams[J]. Materials and Structures, 1985, 18(4): 287-290.

Effect of internal crack defects on fracture properties of concrete

WANG Siyao[1, 2], HU Shaowei[1]

(1. *Nanjing Hydraulic Research Institute*, *Nanjing* 210029, *China*; 2. *School of Water Resources and Hydropower Engineering*, *Wuhan University*, *Wuhan* 430072, *China*)

Abstract: Concrete beams with different types of horizontal crack defect were designed and tested through the three-point bending test to investigate the influence of internal crack defect on the fracture behavior of concrete. The effects of different lengths, locations, and numbers of horizontal crack defects on the fracture performance of concrete were analyzed. The fracture parameters and fracture energy of the concrete within different crack defects were calculated and compared on the basis of P-D_{m} and related test data. Results show that the initial cracking load and initiation fracture toughness of the concrete beams were slightly affected by the internal horizontal crack defects, whereas unstable load and fracture toughness were seriously affected by the additional horizontal crack defects. A large horizontal crack length and a small distance between the horizontal crack and the bottom of the beam corresponded to a small carrying capacity of the beam and a small unstable fracture toughness and fracture energy. The more the horizontal cracks in the concrete beams were, the smaller the unstable load and the unstable fracture toughness were and the smaller the fracture energy was. This phenomenon shows that the larger the material loss caused by crack defects in the concrete beams, the smaller the energy consumed by complete fracture and the smaller the fracture parameters measured.

Key words: concrete specimen; internal crack defect; three-point bending test; fracture parameters; fracture energy