

微波照射后钢纤维混凝土强度劣化研究

戴俊¹, 吴涛¹, 曹东², 高玉柱¹, 武宇¹

(1.西安科技大学建筑与土木工程学院, 陕西 西安 710054; 2.四川省地质工程勘察院, 四川 成都 610032)

摘要:以抗拉强度为指标,研究微波照射后钢纤维混凝土强度的劣化规律,分别分析功率、照射时间微波作用下,钢纤维混凝土的强度劣化机理。研究表明:微波功率一定时,照射时间的延长钢纤维混凝土的强度逐渐下降,并且强度劣化速率呈降低趋势,最终钢纤维混凝土完全丧失抗拉强度,微波照射后,喷水冷却有助于钢纤维混凝土强度劣化;当微波照射时间不变时,微波功率对钢纤维混凝土的强度影响与增长照射时间有相同的影响规律。微波照射引起钢纤维混凝土的强度劣化原于混凝土中水泥胶体与钢纤维表面的化学胶着力的下降;钢纤维与混凝土接触表面上的摩擦力的弱化和钢纤维表面粗糙不平产生的机械咬合力减弱。

关键词:微波;微波加热;钢纤维混凝土;强度劣化

中图分类号: TU 25

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)01-0006-04

现阶段,由于钢纤维混凝土突出的抗拉和韧性优点,其工程建设中的使用量越来越多。同时,由于工程用途的改变等,需要拆除钢纤维混凝土的事例也在逐渐增多。实现废旧钢纤维混凝土的高效拆除,以及拆除后钢纤维混凝土骨料的再生使用,既有助于提高工程建设的经济效益,也将十分有助于优化资源结构,促进环境保护,具有重要的社会意义和价值。

当前,拆除破碎混凝土及钢纤维混凝土主要采用机械破碎法,有时也采用爆破法。机械破碎法主要是用磨削工具切割混凝土,另外利用风动工具或水能破坏混凝土。磨削和风动工具用于小型工程破坏是可行的,但其生产率低、噪音和粉尘大。爆破法的最大优点是效率高,成本低,但因其产生振动、噪音、粉尘等污染,在城市中采用受到许多限制。近年来,国外学者在微波辅助破岩方面做了大量研究^[1-3],研究显示微波在破岩方面具有很大的优势。混凝土与岩石在力学性能上有一定的相似性,因此本文将参照相关微波照射引起岩石力学性能劣化方面的研究成果^[4-7],以钢纤维混凝土为对象,对微波加热^[8]后钢纤维混凝土的抗拉特性进行试验研究,分析在不同微波功率、微波加热时间、水冷却等多种因素对微波照射后钢纤维混凝土强度劣化的机理。

1 微波加热弱化钢纤维混凝土强度的机理

钢纤维混凝土由许多一端带正电、另一端带负电的偶极子组成,排列无序,并做杂乱无章的运动。在微波照射下,内部的偶极子将重新排列,变成有一定的方向规则排列,在交流电磁场下反复极化,使物体内部产生剧烈的摩擦作用,温度升高。由于钢纤维混凝土中,不同组分材料的介电常数不同,对微波能量的吸收能力不同,从而在被照射钢纤维混凝土中产生非均匀的温度内应力,进而产生内部微裂纹;另一方面,钢纤维混凝土在水分蒸发、膨胀作用下,裂隙扩展、贯通导致宏观破坏,最终弱化钢纤维混凝土的强度。不仅有利于钢纤维混凝土的机械破碎,而且有助于破碎钢纤维、粗骨料等钢纤维混凝土组分材料的分离。因此,微波加热将有望作为前期辅助破碎混凝土的工具。为实现这一目标,通过试验方法开展微波照射引起钢纤维混凝土强度弱化的机理是必要的和重要的。

2 试验概况

2.1 试验设备

试验采用了家用微波炉和专用的工业微波炉进行发生器。家用微波炉为美的 EV923KF6—NA 微波炉。其额定工作电压为 220 V,额定输入功率为 1 450 W,微波输出功率为 900 W。额定微波的频率 2 450 Hz,

收稿日期: 2013-08-12

修改稿日期: 2014-02-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51174159)

作者简介: 戴俊(1964-),男,教授,博导,主要从事岩土爆破动力学、隧道工程和微波破岩等方面的教学和科研工作。E-mail: rockblast@126.com

内腔尺寸为 325 mm×202 mm×337 mm, 专用工业微波炉由南京澳润微波设备厂生产, 其输出功率 0~10 kW 无级可调. 抗拉试验的压力机采用 WAW-600 微机控制式电液伺服万能试验机. 抗拉试验时, 加载速率控制为 0.3 kN/s.

2.2 试样与试验方法

试样所用 C50 钢纤维混凝土制作, 其成分主体是普通硅酸盐水泥、石子、砂子和钢纤维, 制作过程加入少量减水剂. 混凝土经养护 28d 后, 加工成 Φ 50mm×25 mm 的标准试件. 试样共 39 个, 分别在一定功率 (900 W) 不同时间 (0 min、2 min、4 min、6 min、8 min、) 情况下和时间一定(3 min)功率不同 (0 kW、2 kW、5 kW、8 kW) 情况下, 对钢纤维混凝土进行微波照射. 利用照射后的钢纤维混凝土抗拉强度与未经照射钢纤维混凝土的抗拉强度进行对比, 判定微波照射弱化钢纤维混凝土强度的效应. 在一定功率不同时间下还进行了喷水冷却与自然冷却的结果对比.

2.3 试验过程

(1) 功率不变, 微波照射不同时长混凝土的劣化试验

设定微波功率为 0.9 kW, 照射时间分别为 0 min、2 min、4 min、6 min、8 min, 每个试验参数进行 3 次, 照射后冷却后用劈裂试验法测定试件的抗拉强度, 取 3 次试验强度的平均值作为该组试件经微波照射后的抗拉强度. 未照射钢纤维混凝土的抗拉强度采用同样方法测定.

为消除混凝土含水量对试验结果的影响, 钢纤维混凝土试件加工完成后经数天室内静置, 再做微波照射处理, 以保证所有试件具有相同的含水量. 对于自然冷却, 取出试件将其置于常温中冷却; 对于喷水冷却, 取出试件后立即进行喷水冷却, 喷水时间 1min, 冷却后进行强度试验.

(2) 不同功率微波照射相同时间后的混凝土劣化试验

微波照射功率按组别分别设定为 0 kW、2 kW、5 kW、8 kW, 照射时间均为 3 min. 微波照射后的钢纤维混凝土抗拉强度测试方法同上功率不变, 改变照射时长的试验. 此外, 两类试验中, 还观测了微波照射过程中的温度变化和劈裂破坏后的破坏现象.

3 试验结果与机理分析

3.1 试验结果

(1) 微波照射引起混凝土中钢纤维形态的改变

钢纤维混凝土试件受 0.9 kW 微波照射不同时长引起混凝土物理状态不同程度的变化, 照射不同时间钢纤维混凝土的表面特征见表 1、图 1 及图 2. 可以看出, 随微波照射时间的增加, 混凝土中的温度越高 (发红程度越明显), 微裂纹数量越多, 尺寸越大, 混凝土疏松程度越明显.

表 1 不同时长微波照射后钢纤维混凝土试件物理状态变化
Tab.1 The physical state change of the steel fiber reinforced concrete after different times by microwave irradiation

微波功率/kW	照射时间/min	颜 色	裂 缝	疏松状况
0.9	2	同常温	极少、极细	轻度
	4	少量发红	较多、较宽	较明显
	6	较多发红	多、较宽	明显
	8	剧烈发红	很多、宽	很明显



图 1 钢纤维混凝土经微波照射 6 min 时状态图
Fig.1 Steel fiber reinforced concrete under microwave irradiation at 6 min state



图 2 钢纤维混凝土经微波照射 6 min 冷却后截面图
Fig.2 A cross-sectional view of steel fiber reinforced concrete by microwave irradiation after 6 min cooling

当照射时间不变时,随微波功率的增加,混凝土物理形态呈现出类似的现象.见表 2.

表 2 不同功率微波照射后钢纤维混凝土试件物理状态变化

Tab. 2 The physical state change of the steel fiber reinforced concrete after different power by microwave irradiation

照射时间/min	照射功率/kW	颜色	裂缝	疏松状况
3	2	同常温	极少、极细	轻度
	5	少量发红	较多、较宽	较明显
	8	较多发红	多、较宽	明显

(2) 微波照射后钢纤维混凝土的抗拉强度弱化

微波照射引起的钢纤维混凝土强度弱化如图 3、图 4 所示.可以看出,微波功率和照射时间增加的增加,均具有降低钢纤维混凝土强度,加强钢纤维混凝土强度弱化的功效.此外,经相同功率微波照射相同时间后,喷水冷却较自然冷却导致的钢纤维混凝土强度弱化程度高,喷水冷却具有增加微波照射弱化钢纤维混凝土强度的作用.

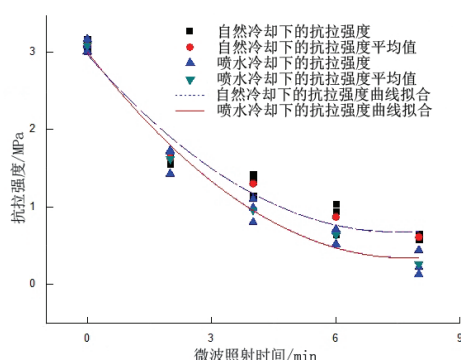


图 3 钢纤维混凝土在一定功率下的强度劣化图 (0.9 kW)
Fig. 3 The strength deterioration diagram of steel fiber reinforced concrete under a certain power by microwave irradiation (0.9 kW)

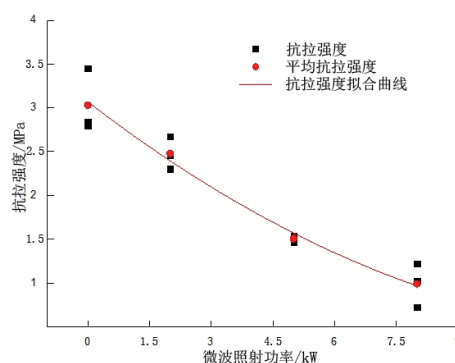


图 4 钢纤维混凝土在一定时间下的强度劣化图 (3 min)
Fig. 4 The strength deterioration diagram of steel fiber reinforced concrete under a certain time by microwave irradiation (3 min)

3.2 机理分析

微波照射引起钢纤维混凝土抗拉强度降低, 弱化强度的机理可归纳如下:

(1) 混凝土中含水汽化

微波照射后钢纤维混凝土的强度弱化, 原于钢纤维混凝土中自由水气化, 使原有裂隙节理扩张、贯通、发展, 砂浆变得更加疏松, 使砂浆与钢纤维的粘结变弱, 抗拉强度降低. 当微波功率为 0.9 kW 时, 照射 2~4 min 时间段内抗拉强度下降变得缓慢, 照射到 4 min 后抗拉强度继续明显下降, 这是由于混凝土经微波照射后局部区域钢纤维的融化产生的高温而达到红热状态, 如图 1 所示, 这时, 有区域的温度已经超过 500 °C, 当温度超过 500 °C 后, 混凝土的化学组分在高温作用下分解变化, C-S-H 凝胶网状结构破碎, 大量氢氧化钙分解, 并且包裹水泥颗粒的结合水逐渐散失, 因此钢纤维混凝土在照射 4 min 后抗拉强度继续下降. 经微波照射 6 min 后, 钢纤维混凝土红热区域更大, 如图 1 所示, 混凝土组分分解更加严重, 如图 2 所示, 因此大大降低了其强度.

(2) 温度不均匀产生的温度应力作用

随微波照射时间的增加, 混凝土表面裂纹逐渐增多、增宽, 并且经 0.9 kW 微波照射 2 min 后, 喷水冷却比自然冷却方式下的混凝土的裂纹更多、更宽. 这是因为经微波照射 2 min 前主要是混凝土内大量的自由水气化, 温度上升不太明显, 而 2 min 以后, 自由水气化基本完毕, 钢纤维混凝土的组成部分——包裹水泥颗粒的自由水, 也随着温度的上升而逐渐丧失, 内部结构发生破坏, 从而混凝土温度上升较快, 喷水冷却条件下混凝土试件表面与内部形成较大的温度应力, 因此强度比自然冷却下的混凝土更低.

(3) 钢纤维与混凝土之间结合的弱化

钢纤维与混凝土的粘结力有三部分组成: 1) 混凝土中水泥胶体与钢纤维表面的化学胶着力; 2) 钢纤维与混凝土接触表面上的摩擦力; 3) 钢纤维表面粗糙不平产生的机械咬合力。粘结力主要为摩阻力和咬合力提供。常温下, 化学胶着力并不大, 钢纤维混凝土温度升至 100 °C 左右时即失去自由水, 到 300 °C 时 C-S-H 层间水开始析出, 造成水泥胶体的收缩和破坏, 化学胶着力已丧失殆尽。摩阻力的削弱, 在于钢纤维与混凝土的介电属性不同, 因此对微波能量的吸收率也不同, 而且钢纤维与混凝土的热膨胀系数也不同, 从而导致混凝土产生裂缝以及钢纤维与混凝土之间界面的破坏, 钢纤维与混凝土的机械咬合力受混凝土强度影响较大。在混凝土内部结构中, 钢纤维与混凝土的界面上的结晶化合物(如氢氧化钙钙矾石)含量比较高, 此类物质最易在高温下变化。高温后界面强度远低于混凝土本身强度, 使机械咬合有不同程度的下降。

因此, 钢纤维的加入虽然可以提高混凝土的多种性能, 但钢纤维混凝土经微波照射后, 钢纤维与混凝土的粘结力将大大削弱, 并且钢纤维的存在, 使得微波照射后混凝土内部产生更多裂纹, 破碎变得容易。

钢纤维混凝土抗拉强度下降的原因还在于砂浆与天然骨料的不同介电特性, 导致混凝土内部产生较大温度应力而产生初始裂纹, 混凝土内部水分的汽化膨胀促使裂纹发展, 大大降低混凝土强度, 此外经微波照射后混凝土变得疏松, 降低了钢纤维与混凝土的粘结力, 从而降低其抗拉强度。

4 结论

(1) 通过试验得出了钢纤维混凝土在微波功率一定的情况下, 随着照射时间的延长钢纤维混凝土的劈裂抗拉强度逐渐下降, 并且在微波照射短时间内, 强度劣化迅速, 在一定时间以后, 强度劣化趋于稳定, 几乎完全丧失抗拉强度; 在微波照射时间一定的情况下, 其抗拉强度劣化规律同功率一定照射时间不同情况接近。

(2) 试验结果中还发现微波照射对水的敏感性, 水是吸收微波能量极强的介质, 喷水冷却相比自然冷却, 更加有助于钢纤维混凝土强度劣化。

(3) 微波加热钢纤维混凝土引起强度弱化, 原因在其介质内部温度不均匀而产生的温度应力, 介质受热膨胀不均匀, 产生的应力, 是导致钢纤维混凝土破坏的主要因素。其次, 混凝土内部含水的汽化, 做成内部微裂隙, 由于热膨胀差, 在钢纤维与混凝土之间的粘结受到削弱, 也导致钢纤维混凝土强度的降低。

参考文献 References

- [1] KINGMAN S W, JACKSON K, CUNBANE A, et al. Recent developments in microwave-assisted comminution[J]. Int. J of Mineral Processing. 2004(74):71-83.
- [2] OLUBAMBI P A. Influence of microwave pretreatment on the bioleaching behaviour of low-grade complex sulphide ores[J]. Hydrometallurgy. 2009(95):159-165.
- [3] HARTLIEB P, LEINDL M, KUCHAR F. Damage of basalt induced by microwave irradiation[J]. Int. J of Minerals Engineering. 2012(31):82-89.
- [4] DAI Jun, CAO Dong. Experimental research on tensile strength reduction of concrete caused by microwave irradiation[C]//Proceedings of 2013 2th international conference on civil, architectural engineering. Zhuhai: 2013
- [5] DAI Jun. Experimental research on reduction of granite strength induced by microwave irradiation[C]. Montreal, Canada : World Mining Congress, 2013.
- [6] 戴俊, 孟振, 吴丙权. 微波照射对岩石强度的影响研究[J]. 有色金属 (选矿部分), 2014(3):112-117.
DAI Jun, MENG Zhen, WU Bingquan. Study on impact of rock strength by microwave irradiation[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2014(3):112-117.
- [7] 曹东. 微波照射下混凝土强度弱化规律的试验研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2013.
CAO Dong. Research on reduction of concrete strength caused by microwave irradiation[D]. Xi'an :Xi'an University of Science and Technology, 2013.
- [8] 王家万, 王亚夫. 微波加热原理及应用[J]. 吉林师范大学学报:自然科学版, 2012,11(4): 142-144.
WANG Jiawan, WANG Yafu. Microwave heating principle and application [J]. Jilin Normal University :Natural Science, 2012,11 (4) :142-144.

(下转 55 页)

- [4] YANG Jianrong, ZHENG Zuoxiong, SU Hexian, et al. Static load test and modal analysis of Qingshui River bridge[J]. Advanced Materials Research, 2012(588-589):166-169.
- [5] ZENG Yan. Bridge structure performance evaluation based on dynamic load test[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012(238):694-696.
- [6] LIU Yun, YAN Donghuang. Study of load test of pedestrian suspension bridge.[J] Advanced Materials Research, 2011 (163-167): 2670-2673.
- [7] 曾凡奎, 张雅维. 基于荷载试验的桥梁残余承载力评价[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版, 2013, 30(2): 142-147.
ZENG Fankui, ZHANG Yawei. Evaluation of residual bearing capacity of bridge on load test[J]. Journal of Qingdao Agricultural University: Natural Science, 2013, 30(2): 142-146.
- [8] 曾凡奎, 张雅维. 在役空腹式混凝土板拱荷载试验[J]. 西安工业大学学报, 2013, 33(10): 818-824.
ZENG Fankui, ZHANG Yawei. Load test of existing hollow concrete slab arch[J]. Journal of Xi'an Technological University: Natural Science, 2013, 33(10): 818-824.

Evaluation on the technical condition and reinforcement of uniform-section circular hingeless arch plate

ZENG Fankui, HE Hui

(Xi'an Technological University, Civil & Architecture Engineering, Xi'an 710032, China)

Abstract: This paper aims to research the technical condition evaluation method of uniform-section circular hingeless plate arch bridge in use and explore the strengthening method to tackle the diseases that have appeared. Based on Xi'an Rosefinch Street gate bridge, this paper chose bridge static and dynamic load test to carry out bridge technical condition evaluation. Results showed that strain calibration coefficient of Xi'an Rosefinch Street gate bridge is between 0.50 ~ 0.86 while its deflection calibration coefficient is between 0.53 ~ 0.75 and both of them is less than 1. The first-order natural frequency of the bridges 17.27 Hz, greater than the theoretical calculation of 17.21 Hz, and the measured vibration curve of whole structure is consistent with the theoretical calculation value. All these results showed that the bridge technology is in good condition. For diseases that have appeared, this article put forward suggestions for strengthening. Results show that the technical condition of uniform-section circular hingeless arch plate bridge is good, but for diseases that have appeared such as cracks it needs specific reinforce maintenance.

Key words: uniform-section circular hingeless arch plate; technical condition; bridge load test; strain; deflection

(本文编辑: 沈波)

(上接第 9 页)

Study on the strength weakening rule of steel fiber reinforced concrete after microwave irradiation

DAI Jun¹, WU Tao¹, CAO Dong², GAO Yuzhu¹, WU Yu¹

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science & Technology, Xi'an 710054, China

2. Sichuan Geological Engineering Investigation Institute, Chengdu 610032, China)

Abstract: Based on tensile strength index, this paper studies the law of steel-fiber reinforced concrete strength degradation after microwave irradiation. The relations between the strength reduction and the microwave exposure time and microwave power level are analyzed. The experimental research shows that the longer the steel-fiber reinforced concrete is irradiated, the more its strength reduces under the equal power microwave, and meanwhile the speed of strength degradation is reduced, finally the steel-fiber reinforced concrete lose its tensile strength entirely. The cooling by spraying water after microwave irradiation leads to larger strength reduction of concrete. For the fixed irradiation time, the same result is found. The reason for steel-fiber reinforced concrete degradation induced by microwave irradiation is the decline of chemical bonding force between the surface of steel-fiber and the cement gel in concrete, the weakening of friction on the contact surface of steel fiber and the concrete, and reduction of mechanical interaction of steel fiber by its rough surface.

Key words: microwaves; microwave heating; steel fiber reinforced concrete; strength deterioration

(本文编辑: 沈波)