

文章编号:1007-6492(1999)01-0091-03

硫酸盐腐蚀后混凝土力学性能研究

范颖芳¹, 黄振国¹, 郭乐工¹, 李健美², 郑观升³

(1. 郑州工业大学土木建筑工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 郑州工业大学化工学院, 河南 郑州 450002;
3. 河南省建筑安装总公司, 河南 郑州 45003)

摘 要: 采用替换构件的试验方法, 将长期在硫酸盐介质侵蚀作用下的钢筋混凝土构件从工作现场拆卸下来, 进行全面的试验研究. 结合试验, 从理论上分析了腐蚀介质对混凝土的腐蚀作用, 研究了受腐蚀混凝土力学性能. 提出硫酸盐腐蚀后混凝土内部存在膨胀内应力, 腐蚀后混凝土抗压强度较腐蚀前略有提高, 并给出腐蚀后混凝土强度计算模型.

关键词: 腐蚀; 膨胀内应力; 强度

中图分类号: TU 37 **文献标识码:** A

0 引言

钢筋混凝土是一种应用十分广泛的耐久性材料, 然而, 腐蚀却给钢筋混凝土构件带来了十分严重的危害, 尤其在化工厂, 许多构件虽尚未达到设计使用年限, 但由于长期受腐蚀性介质作用, 出现大量裂缝, 危及构件乃至整个结构的安全. 可以看出, 腐蚀环境下钢筋混凝土构件的受力情况是一个重要课题. 而混凝土力学性能又是影响混凝土构件受力情况的重要因素, 因此, 国内外对腐蚀后混凝土力学性能做了很多研究工作(如文献[1]中采用模拟试验法测定腐蚀后混凝土抗压强度), 目前已取得了不少成果. 本文采用国内外少用的替换构件试验方法, 针对硫酸盐腐蚀后混凝土力学性能进行了详细的研究.

1 试验部分

1.1 无破损试验

对长期在腐蚀性环境下工作的钢筋混凝土构件进行替换构件试验, 至今尚无报道, 无规律可循. 在不损坏构件情况下, 首先采用超声一回弹综合法对构件混凝土强度进行初步的评定.

1.2 钻芯法测试混凝土强度

根据文献[2], 从做过承载力试验后的钢筋混凝土试件中用钻芯机钻取混凝土芯样. 试验中采用 ZX 500 型钻芯机, 芯样选取的位置在构件两端

及跨中 3 个截面, 每个截面沿截面高度方向钻取 2~3 个芯样. 本次试验中采用钻头直径为 70 mm, 取出的芯样直径为 65 mm. 将取出的芯样按 1:1 (直径与高度之比) 切成小试样, 将两端磨平. 在 30 kN 万能压力机上进行抗压试验, 匀速加荷.

1.3 介质对腐蚀深度的确定

从硫酸盐腐蚀后的钢筋混凝土构件的不同位置(沿构件长度方向不同截面, 同一截面的上、中、下 3 个部位) 取出混凝土芯样, 研磨成粉末状, 加水配制成溶液, 搁置 24 h, 待充分溶解后, 测试其 pH 值.

2 试验结果与分析

2.1 无破损试验

由于规范中明确规定超声一回弹综合法不适用于经受化学介质侵蚀的构件, 因此, 所得数据仅做下一步试验参考, 不再给出用这种方法测定的各个构件的混凝土强度值.

2.2 钻芯法测试混凝土强度

2.2.1 试验结果

通过取芯法测试混凝土强度, 可以得到芯样的抗压强度, 经换算(考虑了芯样的尺寸效应), 求出芯样轴心抗压强度值. 在此, 仅给出其中两根构件中芯样的轴心抗压强度值, 数据列于表 1, 2 中. 同时, 将腐蚀后混凝土强度较腐蚀前强度的变化率一并列于表中(腐蚀前混凝土标号为 C 20).

收稿日期: 1998-11-02; 修订日期: 1998-12-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(5973838356)

作者简介: 范颖芳(1972-), 女, 河南省开封市人, 郑州工业大学助教, 硕士.

2.2.2 试验结果分析

2.2.2.1 混凝土芯样位置对混凝土强度的影响

从表 1,2 中可以看出,同一构件不同部位混凝土强度较腐蚀前变化情况不同.这主要有两方面原因:第一,同一构件不同部位受腐蚀情况不同,表面较其内部腐蚀严重;第二,硫酸盐与混凝土

土发生复杂的化学反应引起混凝土体积膨胀,产生混凝土膨胀挤压应力,混凝土强度也会因密实度增加而提高.但若体积过度膨胀又会引起混凝土开裂,导致混凝土强度降低.不同部位混凝土腐蚀情况不同,内部存在的膨胀应力情况也不同.

表 1 硫酸盐腐蚀后钢筋混凝土构件Ⅰ中混凝土芯样强度值

芯样编号	1	2	3	4	5	6
轴心抗压强度 f_c /MPa	19.7	22.63	18.24	14.47	7.61	10.95
轴心抗压强度变化率/%	45.93	67.63	35.11	7.18	-43.63	-18.89

表 2 硫酸盐腐蚀后钢筋混凝土构件Ⅱ中混凝土芯样强度值

芯样编号	1	2	3	4	5	6	7
轴心抗压强度 f_c /MPa	24.09	13.14	20.92	10.71	6.08	7.06	11.8
轴心抗压强度变化率/%	78.44	-2.67	54.96	-20.67	-54.96	-47.7	-12.59

说明:1.轴心抗压强度变化率= $\frac{\text{轴心抗压强度实测值}-\text{轴心抗压强度标准值}}{\text{轴心抗压强度标准值}}$
2.C20 混凝土轴心抗压强度标准值 $f_{ck}=13.5\text{ MPa}$

2.2.2.2 构件尺寸对混凝土芯样强度的影响

表 1 中芯样取自构件Ⅰ,其截面尺寸为 170 mm×225 mm.表 2 中芯样取自构件Ⅱ,其截面尺寸为 200 mm×310 mm.可以看出,取自构件Ⅱ的芯样混凝土强度比取自构件Ⅰ的波动范围大.这是因为构件Ⅱ的截面宽度、高度都大于构件Ⅰ,因而其内部混凝土无论腐蚀深度、混凝土膨胀应力都比构件Ⅰ小,这样,其内部混凝土强度较构件Ⅰ内部混凝土强度高.对于表面混凝土芯样,由于构件Ⅱ截面尺寸大,因而积累的膨胀应力较大,裂缝开展也将比构件Ⅰ宽而密,这样构件Ⅱ表面混凝土强度比构件Ⅰ低,故构件Ⅱ的芯样混凝土强度比构件Ⅰ的波动范围大.

3.2 计算模型的建立

3.2.1 膨胀内应力 σ_p 的计算

由于假定混凝土各向同性,其弹性模量与腐蚀前相同,因此,根据文献[4],腐蚀产生的混凝土膨胀内应力在理论上可以通过下式计算

$$\{\sigma_p\}=[D]\{\epsilon\}.$$

3.2.2 硫酸盐腐蚀后混凝土极限应力计算模型

腐蚀后混凝土内部的膨胀内应力如同预应力,拉力作用下,外力首先要抵消膨胀内应力,而后才会使混凝土受拉,这样混凝土抗拉极限应力增加.与其相反,压力作用下混凝土抗压极限应力降低.根据文献[4],可得到腐蚀后混凝土抗压强度计算公式为

$$f'=kf+\eta\sigma_p.$$

其中 f' 为腐蚀后混凝土极限应力; f 为未腐蚀混凝土极限应力; k 为介质的腐蚀对混凝土极限应力的影响系数,它与介质的浓度、腐蚀作用时间等因素有关; η 为混凝土膨胀内应力对腐蚀后混凝土极限应力的影响系数, $-1<\eta<1$.

3 硫酸盐腐蚀后混凝土强度计算模型^[3]

腐蚀初期,混凝土体积发生膨胀,混凝土抗压强度因密实度的提高而增加.随着腐蚀的不断深入,混凝土体积不断膨胀,混凝土开裂,混凝土抗压强度将降低.因此,腐蚀后混凝土如同预应力混凝土,在无外力作用时,内部存在一个由于膨胀作用引起的内应力,即膨胀内应力.外力作用下,膨胀内应力的存在将推迟混凝土开裂.

3.1 计算假定

- 3.1.1 腐蚀后混凝土弹性模量与腐蚀前相同.
- 3.1.2 混凝土处于三向挤压应力状态.
- 3.1.3 近似把混凝土看作各向同性材料.

4 结论

- (1) 由于介质与混凝土发生复杂的物理化学反应,使腐蚀后混凝土内部产生膨胀内应力.膨胀内应力理论上可以通过力学方法计算.
- (2) 在不损坏构件的前提下,通过pH 值的测试,初步评定介质对混凝土的腐蚀深度.

(3) 在硫酸盐腐蚀作用下,混凝土轴心抗压强度将有所提高.

(4) 提出硫酸盐腐蚀后混凝土抗压强度计算模型,适用于硫酸盐腐蚀后混凝土抗压强度的估算.在本文的试验中,该模型已得到了初步验证.

参考文献

[1] 曹双寅.受腐蚀混凝土的损伤机理[J].混凝土,1990

(2):2—5.

[2] 范颖芳.腐蚀环境下钢筋混凝土结构的受力机理 [D] .郑州:郑州工业大学,1996.

[3] 江见鲸.钢筋混凝土结构非线性有限元分析 [M] .西安:陕西科学技术出版社,1994.57—62.

[4] 曹双寅.受腐蚀混凝土的力学性能 [J] .东南大学学报,1991,21(4):89—95.

Research on Mechanics Property of Concrete after Corrosion of Sulphate

FAN Ying —fang¹, HUANG Zhen —guo¹ GUO Le —gong¹, LI Jian —mei², ZHENG Guan —sheng³
(1.College of Civil & Building Engineering,Zhengzhou University of Technology,Zhengzhou 450002,China ; 2.College of Chemical Engineering,Zhengzhou University of Technology,Zhengzhou 450002,China ; 3.Architectural Installing Company of Henan Province,Zhengzhou 450003,China)

Abstract :This paper adopts testing method of replacing R ·C · members . The R ·C · members are dis mount — ed from the worksites , which have been working under corrosive environment (the corrosive medium is sul — phate)for a long time . Then , comprehensive tests are made . Based on these tests , the effect of corrosive medium — sulphate on concrete is analysed and the mechanical property of concrete corroded by sulphate is studied . As a result the existence of internal stress of expansion in the concrete corroded by sulphate is put forward the increase of cor mpression strenght of the corroded concrete is presented the strenght calculation model for the corroded concrete is given .

Key words corrosion ; internal stress of expansion ; strenght

郑州工业大学国家钙镁磷复合肥料技术研究推广中心

国家钙镁磷复合肥料技术研究推广中心是国家科技部首批的 30 个国家级研究推广中心之一,中心集研究开发、成果推广、生产销售、信息服务于一体.现拥有发明专利 5 项、美国专利 1 项、实用新型专利 1 项,待批专利 4 项.现有教授 2 人,副教授 5 人,高工 1 人,讲师、工程师 7 人.承担并完成国家、省、部多项科技攻关计划项目.其中钙镁磷肥改性复合肥料为国家“七五”攻关计划项目,“八五”、“九五”重点科技成果推广项目,并获中国专利优秀奖、“七五”攻关重大成果奖、河南省科技进步二等奖和联合国技术信息促进系统中国国家分部颁发的发明创新科技之星奖;包裹型复合肥料获化工部科技进步三等奖;钙镁磷肥采用玻璃结构因子的配料方法 1983 年获国家发明四等奖;缓释包裹型复合肥料及其制造工艺 1997 年获化工部发明二等奖,1998 年获国家技术发明三等奖.先后完成国家攻关计划项目 6 项,自选项目 7 项.

利用该中心技术制造的包裹肥料 1997 年被河南省科委认定为“高新技术产品”,已批准出口新加坡、马来西亚、澳大利亚、印尼和美国等,并利用该中心技术在国内 16 个省建立了 60 余套装置,取得了较好的经济和社会效益.

目前该中心还正进行“无熟化、不结块过磷酸钙工艺技术开发研究、生物肥料及其技术研究”等,均已取得较大突破.