

文章编号:1671—6833(2005) 02—0085—04

腐蚀对钢筋力学性能影响的研究

杨淑慧¹, 曾 力²

(1. 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002; 2. 郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 为准确掌握钢筋腐蚀后性能的变化规律及其影响, 通过对新乡某电厂一冷却塔筒壁外表面 19 根已腐蚀钢筋的试验研究分析, 探讨了钢筋的腐蚀机理及腐蚀对钢筋力学性能的影响, 认为该批受腐蚀钢筋性能的降低是试样平均截面积的减小, 腐蚀坑存在造成的应力集中和材质改变 3 种因素共同作用的结果, 同时分析了钢筋各项力学性能指标与钢筋腐蚀程度的变化规律, 建立了腐蚀钢筋最薄弱截面损失率和重量损失率的关系式, 并用以衡量钢筋的腐蚀程度, 为结构的残余承载力、寿命及耐久性评估提供依据.

关键词: 腐蚀; 钢筋; 力学性能

中图分类号: TU 375 **文献标识码:** A

0 引言

由于材料的老化、不良使用环境(工业环境、海洋环境等)、环境污染(酸雨频繁、CO₂ 浓度增高 等)、不当使用方法(高速公路和桥梁桥面撒盐除冰等) 等的影响, 常常会造成结构中钢筋的腐蚀, 大大降低了结构的使用性和耐久性, 甚至导致结构失效不可用. 调查分析表明, 钢筋腐蚀会严重威胁钢筋混凝土结构的耐久性, 由此造成的直接损失和间接损失之大, 远远超出人们的意料. 因而, 研究钢筋腐蚀问题并加以解决, 有着非常普遍和重要的工程意义, 并具有广泛的应用前景^[1].

要掌握钢筋腐蚀对结构性能的影响, 并由此评估结构及其构件承载能力的下降程度, 就必须充分认识钢筋腐蚀后其各项物理力学性能的变化规律, 以利于鉴定和判断.

1 试验概况

钢筋试样母材为 HPB 235 级光圆钢筋, 直径 φ

=14 mm, 取自新乡某电厂一双曲线型冷却塔. 该塔始建于 60 年代, 冷却塔筒壁外表面大部分混凝土尚属完好, 但局部区域内钢筋腐蚀膨胀, 混凝土开裂脱落, 混凝土脱落面积小于筒壁外表面面积的 10%; 内壁未见混凝土脱落、钢筋外露现象, 仅部分区域的防腐涂层老化起皮.

试验在冷却塔通风筒外壁表面钢筋腐蚀膨胀、混凝土开裂脱落较严重的区域取出有代表性的钢筋试样 19 根, 量测它们的长度、重量及最薄弱处的截面积(即最小截面积), 在小吨位(100 kN) 万能试验机上进行拉伸试验, 确定已腐蚀钢筋试样的屈服强度 f_y 、抗拉强度 σ_b 、断后伸长率 δ_5 和均匀伸长率 δ_g ^[1], 并计算其强屈比 σ_b/f_y .

2 试验数据统计

钢筋试样力学性能指标具体数值见表 1.

表 1 腐蚀钢筋力学性能表

Tab . 1 The mechanical properties of the corrosion reinforcing bars

编号	重量损失率/%	最薄弱截面损失率/%	f_y /MPa	f_y'	σ_b /MPa	σ_b'	σ_b/f_y	δ_5 /%	δ_5'	δ_g /%
1	5.611	22.11	261.87	1.114 3	386.97	1.045 9	1.478	—	—	8.518
2	8.781	27.52	243.23	1.035 0	369.12	0.997 6	1.518	—	—	0.018

续表 1

编号	重量损失率/%	最薄弱截面损失率/%	f_y/MPa	f_y'	σ_b/MPa	σ_b'	σ_b/f_y	$\delta_5/\%$	δ_5'	$\delta_g/\%$
3	10.562	41.478	251.12	1.068 6	370.81	1.002 2	1.477	24.30	0.972 0	8.016
4	14.460	36.855	340.84	1.450 4	340.84	0.921 2	1.000	—	—	12.510
5	15.851	43.961	273.39	1.163 4	341.85	0.923 9	1.250	24.30	0.972 0	8.516
6	15.936	41.505	278.75	1.186 2	324.13	0.876 0	1.163	—	—	0.015
7	16.731	41.443	356.68	1.517 8	359.95	0.972 8	1.009	27.10	1.084 0	9.517
8	22.583	47.691	276.04	1.174 6	276.04	0.746 1	1.000	27.10	1.084 0	6.513
9	25.023	31.963	275.16	1.170 9	275.16	0.743 7	1.000	16.40	0.656 0	4.013
10	25.804	33.168	231.89	0.986 8	336.29	0.908 9	1.450	22.86	0.914 4	11.516
11	25.942	36.531	277.52	1.180 9	297.32	0.803 6	1.071	24.30	0.972 0	12.514
12	30.923	34.197	247.38	1.052 7	365.15	0.986 9	1.476	19.30	0.772 0	10.017
13	35.518	63.088	176.87	0.752 6	176.87	0.478 0	1.000	14.30	0.572 0	0.008
14	35.544	40.554	309.20	1.315 7	309.20	0.835 7	1.000	17.86	0.714 4	11.015
15	35.792	44.038	261.29	1.111 2	261.29	0.706 2	1.000	—	—	0.012
16	40.731	42.132	274.53	1.168 2	279.78	0.756 2	1.019	—	—	5.013
17	44.857	60.803	208.24	0.886 1	208.24	0.562 8	1.000	12.90	0.516 0	6.510
18	50.100	63.195	157.57	0.670 5	159.92	0.432 2	1.015	13.57	0.542 8	0.008
19	51.043	75.281	95.41	0.406 0	95.41	0.257 9	1.000	8.57	0.342 8	4.005

说明:1. 试验中某些钢筋试样断在夹具内,无法量测标距 L_5 的实际伸长,故 δ_5 空缺.

2. 表中相对值为试验测定值与规范值之比.

3. 表中 f_y' , σ_b' , δ_5' 为相对值.

3 试验结果的分析

3.1 腐蚀影响因素分析

腐蚀会对钢筋的性能产生影响^[2,3],主要受 3 个因素作用:①腐蚀造成钢筋平均截面积的减小;②不均匀腐蚀形成的腐蚀坑处容易产生应力集中;③由于钢筋内应力的存在,腐蚀将会改变其内部的晶格结构,从而使钢筋性能发生变化.一般腐蚀过程可能是这 3 个因素中的某一个或某两个因素起作用,也可能是这 3 个因素共同作用的结果.我们以腐蚀后钢筋试样的强度变化进行分析,如果腐蚀后钢筋强度的降低,完全是由重量的损失(即平均截面积的减小)造成的,而没有其他因素存在,那么钢筋强度的降低应与重量的损失成正比,即满足关系曲线 $y=1-x$. 由图 1 可以看出,代表钢筋抗拉强度的试验点同时在直线 $y=1-x$ 上方下方均有分布,这说明试验钢筋抗拉强度的降低是由腐蚀引起的平均面积减小、腐蚀坑存在造成的应力集中和材质改变 3 个因素共同作用的结果.

3.2 钢筋最薄弱截面损失率与重量损失率间的关系

由表 1 数值可见,试样的最薄弱截面损失率均大于其重量损失率,这是因为钢筋的断裂常常

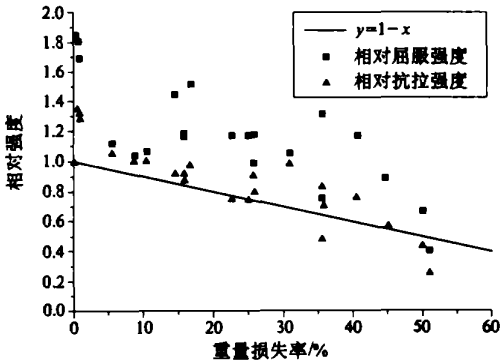


图 1 腐蚀钢筋相对强度与重量损失率的关系

Fig.1 Relationship of relative strength and weight loss rate

发生在其最薄弱的部位,最薄弱截面损失率反映的正是试样最薄弱处截面的削弱,是腐蚀对钢筋截面面积损害最大程度的体现,而重量损失率反映了腐蚀对钢筋平均截面积的削弱,是一个整体性的、平均性的指标,它不能体现不均匀腐蚀造成的局部应力集中对钢筋强度带来的严重影响,因此钢筋的最薄弱截面损失率能够比较真实地体现钢筋的真正腐蚀程度,体现腐蚀对钢筋强度所造成的影响.但由于腐蚀后钢筋的重量损失率较最薄弱截面损失率容易量测,且更为精确,通过对试验数据的分析,可以给出最薄弱截面损失率与重量损失率之间的关系曲线和换算公式,这样通过

腐蚀钢筋的重量损失率,就可以很方便地推算出它的最薄弱截面损失率^[4~9].由图 2 可以看出,两者基本服从线性规律,其关系式如下式所示

$$\gamma = 0.737 \delta_x + 23.684.$$

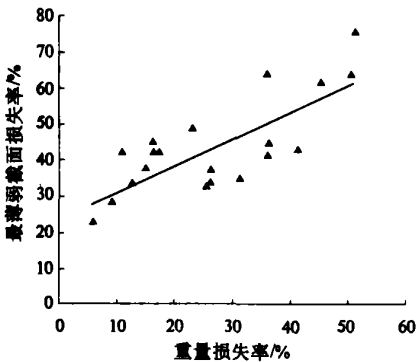


图 2 腐蚀钢筋最薄弱截面损失率与重量损失率关系
Fig. 2 Relationship of the weakest area loss rate and weight loss rate

3.3 腐蚀对钢筋应力—应变曲线的影响

图 3 为不同腐蚀程度钢筋试样应力—应变曲线图.由图 3 及试验过程中的现象可以看出,钢筋的腐蚀程度较小时,其应力—应变曲线形状与低碳钢拉伸时的典型应力—应变曲线形状相似,有较明显的屈服台阶,破坏时也有颈缩现象发生,断口呈杯状,但随着腐蚀程度的逐渐加深,钢筋的重量损失率相应增大,应力—应变曲线降低,屈服点下降,屈服台阶变短,抗拉强度与屈服强度非常接近,强屈比减小,甚至出现试样刚达到屈服就立即破坏的现象,破坏时没有颈缩,断口平齐,完全呈现无预兆的脆性破坏特征.

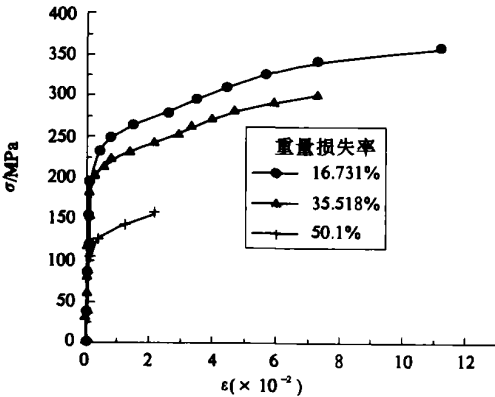


图 3 腐蚀钢筋应力—应变曲线变化规律
Fig. 3 Stress-strain relation curve

3.4 腐蚀对钢筋强度的影响

图 4 为腐蚀钢筋的相对屈服强度和相对抗拉强度与重量损失率之间的关系曲线,图中直线 $y=1$

$=1$ 表示钢筋未腐蚀时的相对强度为 1.由表 1 和图 4 可以看出,腐蚀钢筋的相对屈服强度和相对抗拉强度的回归曲线近似平行,具有相同的变化规律,但腐蚀对钢筋抗拉强度的影响较大,而对屈服强度的影响较小.腐蚀钢筋的重量损失率超过 10%时,抗拉强度已小于 370 MPa,达不到规范规定的最小限值;而当重量损失率超过 30%时,屈服强度才开始小于 235 MPa,不能满足要求.因此建议,当受腐蚀钢筋的重量损失率大于 10%时,就应该考虑腐蚀对钢筋性能的影响,对抗拉强度进行折减;而当重量损失率超过 30%时,才考虑对钢筋屈服强度的折减.

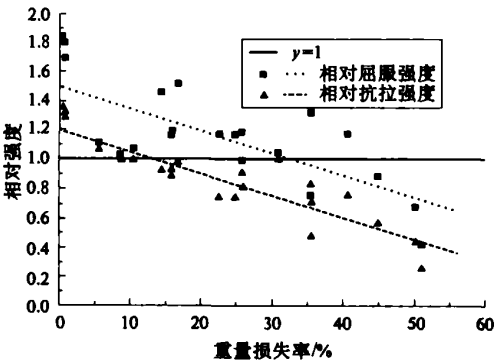


图 4 腐蚀钢筋相对强度变化规律
Fig. 4 Change law of relative strength

钢筋的强屈比体现的是构件的安全储备,强屈比适当,可以保证构件在破坏时有明显预兆,表现为塑性破坏.由表 1 可见,只有重量损失率小于 10%的钢筋的强屈比大于 1.25,其余钢筋的强屈比均介于 1.0 和 1.2 之间,因此试验中绝大部分钢筋破坏时颈缩现象变弱,甚至没有颈缩,表现为无预兆的脆性破坏.

3.5 腐蚀对钢筋延性的影响

钢筋均匀伸长率 δ_g 包括弹性变形和残余变形两部分.从试验过程中的腐蚀现象来看,腐蚀对 δ_g 的影响是较明显的.由于受腐蚀的影响,在试验拉伸过程中,部分钢筋试样刚进入屈服就被拉断,呈脆性破坏特征.由表 1 数据可以看出,虽然 δ_g 的规律性不明显,但总的趋势是随腐蚀程度加深而减小的.图 5 为腐蚀钢筋的相对断后伸长率 δ_5 与重量损失率之间的关系曲线,图中直线 $y=1$ 表示钢筋未受腐蚀时的相对伸长率,可以看出,当腐蚀钢筋的重量损失率大于 10%时,就应考虑腐蚀对钢筋延性的影响,进行一定程度的折减.

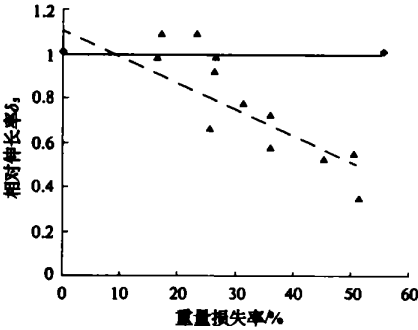


图 5 腐蚀钢筋相对伸长率 δ_s 变化规律
Fig.5 Change law of relative δ_s

4 结论

本试验钢筋试样取自使用四五十年的实际结构, 腐蚀比较严重, 且呈不均匀性特征. 腐蚀后钢筋会发生强度降低和延性减弱的现象, 通过对腐蚀机理的分析, 认为该批腐蚀钢筋的强度(尤其是抗拉强度)的降低是试样平均截面积的减小, 不均匀腐蚀形成的腐蚀坑处的应力集中和腐蚀对钢筋内部晶格结构的影响造成材质改变 3 种因素共同作用的结果.

本文依据试验结果, 总结出腐蚀钢筋最薄弱截面损失率和重量损失率之间的关系式, 这样可以用钢筋的重量损失率或者最薄弱截面损失率来衡量其腐蚀程度, 进而估计腐蚀对钢筋强度和延性带来的影响, 给结构耐久性评估提供依据. 同时, 应当注意的是, 受腐蚀钢筋的重量损失率大于 10% 时就应该考虑腐蚀对钢筋性能的影响, 对材料的极限承载力(即抗拉强度)和延性进行一定程度的折减, 而当重量损失率超过 30% 时应考虑对钢筋屈服强度的折减.

参考文献:

[1] 杨淑慧. 腐蚀对钢筋力学性能影响的研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2002.
[2] 刘晓敏, 宋光铃, 林海朝, 等. 混凝土中钢筋腐蚀破坏的研究概况[J]. 材料保护, 1996, 29(6): 16~18.
[3] 江见鲸. 混凝土结构工程学[M]. 中国建筑工业出版社, 1998. 232~279.
[4] 惠云玲, 林志伸, 李 荣. 锈蚀钢筋性能研究分析[J]. 工业建筑, 1997, 27(6): 10~13.
[5] 张平生, 卢 梅, 李晓燕. 锈损钢筋的力学性能[J]. 工业建筑, 1995, 25(9): 41~44.
[6] 王采玉. 钢筋锈蚀评定标准方法的研究[J]. 混凝土, 1995, (4): 20~24.

Research of the Influence of Corrosion for Mechanical Property of Reinforcing Bars

YANG Shu -hui ¹, ZENG Li ²

(1.School of Enviromental & Hydraulic Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002, China ; 2.School of Civil Engineering , Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002, China)

Abstract : The corrosion of reinforcing bar in reinforced concrete structure can weaken its strength and ductility , thus causing structural bearing capacity and endurance to decrease . To accurately grasp the influence and the change law of the property , with the experient on a group of corrosion reinforcing bars , the testing results are analyzed . It concludes that the influence of the property of corrosion reinforcing bars is formed by the combining action of three kind factors such as average section reduction ,stress concentration caused by corrosion hollows and material quality change . By summarizing the change law of every mechanical property index and the corrosion level of reinforcing bars , it establishes the relation ship between the weakest area loss rate and weight loss rate to evaluate the corrosion level of reinforcing bar , and to make appraisal for the remnant bearing capacity , life and durability of the structure .

Key words : reinforcing bar ;corrosion ;mechanical property