

文章编号: 1001-4888(2011)04-0471-07

锈蚀钢筋混凝土双筋矩形梁抗弯承载力分析^{*}

吕毅刚, 张建仁, 彭晖, 张克波

(长沙理工大学 土木与建筑学院, 湖南 410004)

摘要: 钢筋锈蚀是钢筋混凝土桥梁的主要病害之一。在锈蚀钢筋混凝土双筋矩形截面梁中, 钢筋锈蚀易造成结构性能退化, 并引起钢筋和混凝土相对滑移, 导致结构的承载力降低, 受拉区的钢筋与混凝土变形不协调。通过构造新的几何条件, 推导了锈蚀钢筋混凝土双筋矩形梁正截面极限抗弯承载力计算公式。对室内快速锈蚀双筋矩形梁进行正截面抗弯承载力实验, 结果表明推导的锈后双筋矩形梁正截面抗弯承载力公式的计算值与实验值吻合较好。上述工作为进一步进行工程实践奠定了基础。

关键词: 钢筋混凝土梁; 锈蚀率; 承载力; 双筋矩形截面

中图分类号: U445.73 **文献标识码:** A

0 引言

桥梁是公路交通的咽喉要道, 随着我国经济的发展, 桥梁建设取得了巨大成就, 在国民经济与生活中担负着重要的角色。但桥梁结构在长期使用过程中, 由于不良的环境、不当的养护以及日益增长的交通量等因素, 导致构件发生材料老化与结构损伤, 这种累积损伤必然造成结构性能的逐渐退化及承载力下降。随着时间的增长, 桥梁损伤的数量和程度都在递增, 影响桥梁的使用性能^[1,2]。

在既有钢筋混凝土桥梁结构中, 钢筋锈蚀是引发混凝土结构耐久性问题的最主要因素^[3], 锈蚀使钢筋截面削弱及力学性能改变, 并由于锈蚀膨胀导致构件产生裂缝、降低钢筋与混凝土之间的粘结性能, 都会对构件或结构的承载力产生影响。对于锈蚀钢筋混凝土梁, 通过破坏性试验获得锈蚀后梁的真实承载力是不现实的。如何建立锈蚀后梁的承载力评估方法, 准确预测剩余承载力, 是混凝土结构耐久性 & 承载能力评估的关键问题^[4]。

Miller、Aktan^[5]等对美国俄亥俄州一座服役多年的 RC 板桥进行了破坏性试验研究, 结果表明该桥的实际极限承载力低于理论计算结果。包龙生、于玲和黄海等^[6]基于混凝土桥梁主要构件损伤, 建立了桥梁结构承载力计算方法。周枚、贺拴海和宋一凡等^[7]提出了以承载力储备因子评价桥梁结构承载力的方法。沈德建、吴胜兴等^[8]基于锈蚀混凝土梁钢筋强度利用系数, 建立了一种锈蚀钢筋混凝土梁抗弯承载力计算方法。

在土木建筑结构中, 钢筋混凝土双筋矩形截面梁是桥梁与水上建筑物等结构的基本构件。由于承载力下降, 锈蚀后的钢筋混凝土双筋矩形梁会对结构的安全运营留下隐患。因此, 开展锈蚀后的钢筋混凝土双筋矩形梁的正截面抗弯承载能力研究, 具有重要意义。

^{*} 收稿日期: 2010-11-15; 修回日期: 2011-04-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(50878031); 交通部西部交通建设科技项目[2006 318 223 02_08]; 湖南省科技计划项目(2010FJ3172)

通讯作者: 彭晖(1976—), 男, 博士, 副教授。主要研究领域: 混凝土结构耐久性能, 先进复合材料土木工程应用, 新型加固材料与技术。E-mail: anchor1210@126.com

1 钢筋锈蚀退化性能研究

钢筋锈蚀是钢筋混凝土梁受力性能退化的主要因素。它不仅引起钢筋本身力学性能改变,也会影响周围混凝土材料性能改变。随着钢筋腐蚀程度的加深,钢筋有效截面削弱,导致保护层的表面混凝土剥落,引起钢筋与混凝土之间的粘结力降低,增大了钢筋和混凝土之间的相对滑移^[9-11],从而钢筋和钢筋处混凝土应变产生较大差异。因此,在进行锈蚀构件正截面抗弯承载能力分析时,应充分考虑钢筋和混凝土的粘结滑移引起的应变差异,从而建立锈蚀构件的承载力计算模型。

钢筋锈蚀程度可用截面减小或质量损失衡量,本文采用质量损失率^[12]。钢筋锈蚀引起质量损失,对应钢筋质量锈蚀率。钢筋质量锈蚀率反应锈蚀对钢筋截面的平均削弱,质量锈蚀率为:

$$\mu = \left| \frac{m_0 - m_c}{m_0} \right| \times 100\% \quad (1)$$

式中, μ 为质量锈蚀率; m_0 为单位长钢筋锈蚀前质量; m_c 为单位长钢筋锈蚀后质量。

为获得锈蚀后钢筋的屈服强度与钢筋锈蚀率之间的关系式,通过快速锈蚀及旧桥拆除^[13],获得了 335 根锈蚀钢筋作为样本,用天平对锈后钢筋样本进行称重,并用游标卡尺量测样本的直径,然后进行拉伸试验。为简化计算,假定钢筋发生为均匀锈蚀。对这批样本屈服强度的测试结果进行回归分析及数值拟合,得到钢筋的屈服强度与质量锈蚀率的关系:

$$\omega_u = (1 - 1.07\mu) / (1 - \mu) \quad (2)$$

式中, ω_u 为锈后钢筋的屈服强度与初始屈服强度比; μ 为质量锈蚀率。

为了表示钢筋和混凝土之间的应变关系,定义受拉区钢筋与混凝土的应变协调函数:

$$\phi(\mu) = \frac{\epsilon_{cs}}{\epsilon_s} \quad (3)$$

式中, ϵ_s 为受拉区钢筋的应变; ϵ_{cs} 为受拉区钢筋位置处混凝土的应变。

为获得应变协调函数 $\phi(\mu)$ 的表达式,在实验室内制作了一批钢筋混凝土梁试件^[13]。在极限弯矩作用下,试验得到了不同锈蚀率 μ 的螺纹和光圆钢筋梁的跨中截面处的协调函数 $\phi(u)$ 。通过回归曲线与散点的相关系数的比较,最终确定采用一阶指数增长模式。螺纹和光圆钢筋梁的应变协调函数 $\phi(\mu)$ 与质量锈蚀率 μ 的关系:

$$\phi(\mu) = \begin{cases} 0.474 + 0.924 e^{\mu/9.679} & \text{螺纹钢} \\ 0.486 + 0.49 e^{\mu/4.488} & \text{光圆钢筋} \end{cases} \quad (4)$$

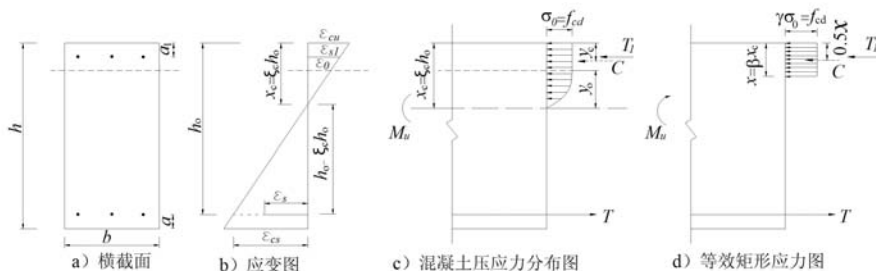


图 1 双筋矩形截面计算图式

Fig. 1 Calculation schematic for double reinforced rectangular section

2 锈蚀钢筋混凝土双筋矩形梁正截面抗弯承载力计算

为进行锈蚀钢筋混凝土双筋矩形梁正截面抗弯承载力研究,建立如图 1 所示的计算图式。矩形截面高度为 h , 宽度为 b , 上、下缘的钢筋保护层厚度分别为 a_1 、 a_2 , 截面有效高度 $h_0 = h - a_1$ 。混凝土受压区选用二次抛物线加直线的应力—应变关系曲线^[14], 引入无量纲参数 β 、 γ , 用等效矩形的混凝土压力图来代替实际的混凝土压力分布图形, 其中 $\beta = x/x_c$, β 取值见表 1^[15]。 γ 为矩形压力图的应力与受压区混凝土最大应力 σ_0 的比值, 即 $\gamma\sigma_0 = f_{cd}$, f_{cd} 为混凝土轴心抗压强度值。混凝土峰值压应变 ϵ_0 取 0.002,

极限压应变 ϵ_{cu} 取 0.0033^[16]。

表1 系数 β 值Tab. 1 Value of coefficient β

混凝土强度等级	C50 及以下	C55	C60	C65	C70	C75	C80
β	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74

2.1 受压区高度计算

混凝土等效矩形压应力图形的合力 C 为:

$$C = \gamma \sigma_0 b x = f_{cd} b x \quad (5)$$

锈后受拉区钢筋的截面积约为:

$$A'_s = (1 - \mu) A_s \quad (6)$$

式中, μ 为纵向受拉钢筋质量锈蚀率; A_s 为纵向受拉钢筋锈蚀前的截面面积。

受拉区钢筋拉力 T 为:

$$T = A'_s E_s \epsilon_s = (1 - \mu) A_s E_s \epsilon_s \quad (7)$$

式中, E_s 为纵向受拉钢筋弹性模量。

锈后受压区钢筋的截面积约为:

$$A'_{sl} = (1 - \mu_1) A_{sl} \quad (8)$$

式中, μ_1 为纵向受压钢筋质量锈蚀率; A_{sl} 为纵向受压钢筋锈蚀前的截面面积。

受压区钢筋压力 T_1 为:

$$T_1 = A'_{sl} E_{sl} \epsilon_{sl} = (1 - \mu_1) A_{sl} E_{sl} \epsilon_{sl} \quad (9)$$

式中, E_{sl} 为纵向受压钢筋弹性模量。

可以得到:

$$\begin{cases} \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cs}} = \frac{x_c}{h_0 - x_c} = \frac{\epsilon_{cu}}{\phi(\mu) \epsilon_s} \\ \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{sl}} = \frac{x_c}{x_c - a_1} \end{cases} \quad (10)$$

在式(10)中,假设受压区混凝土压碎,即 ϵ_{cu} 取 0.0033。根据受拉区钢筋与混凝土的应变协调函数 $\phi(\mu)$ 可确定 ϵ_s 、 ϵ_{sl} 。将 ϵ_s 、 ϵ_{sl} 代入钢筋拉力 T 及钢筋压力 T_1 , 据 $\beta = x/x_c$, $C + T_1 = T$, 可得计算受压区高度 x 的表达式:

$$f_{cd} b \phi(\mu) x^2 + [(1 - \mu) A_s E_s \epsilon_{cu} + (1 - \mu_1) A_{sl} E_{sl} \epsilon_{cu} \phi(\mu)] x - (1 - \mu_1) A_{sl} E_{sl} \phi(\mu) \beta \epsilon_{cu} a_1 - (1 - \mu) A_s E_s \beta \epsilon_{cu} h_0 = 0 \quad (11)$$

2.2 正截面抗弯承载计算

据式(11)可得计算受压区高度 x , 结合式(10), 可计算出极限弯矩状态下受拉区钢筋的应变值 ϵ_s , 将 ϵ_s 与式(2)确定的锈蚀钢筋屈服时的应变 f_y/E_s 进行比较, $\epsilon_s \geq f_y/E_s$ 为适筋梁破坏, 反之为“超筋梁”破坏。其中, f_y 为受拉区钢筋的屈服强度。

若为适筋梁破坏, 通过计算出来的钢筋应变值 ϵ_s 判断钢筋是否屈服, 如果混凝土压碎时钢筋已屈服, 则需将钢筋屈服强度提供的合拉力代入:

$$f_{cd} b x + (1 - \mu_1) A_{sl} E_{sl} \frac{\epsilon_{cu}(x - \beta a_1)}{x} = (1 - \mu) A_s f_y \quad (12)$$

重新计算受压区高度 x 。则截面抗弯承载力 M_u :

(1) 当 $2a_1 \leq x \leq \xi_b h_0$ 时:

$$M_u = (1 - \mu) A_s f_y (h_0 - a_1) - f_{cd} b x (x/2 - a_1) \quad (13)$$

(2) 当 $x \leq \xi_b h_0$ 且 $x < 2a_1$ 时:

$$\begin{cases} M_{ul} = (1 - \mu) A_s f_y (h_0 - a_1) \\ M_{ie} = (1 - \mu) A_s f_y (h_0 - x/2) \end{cases} \quad (14)$$

截面抗弯承载力 M_u 取两者中的最大值,即:

$$M_u = \text{Max}(M_{ul}, M_{i2}) \quad (15)$$

式(13)、(14)中, ξ_b 为相对界限受压区高度。

若为“锈蚀超筋梁”破坏,则根据由第一次计算得到的受压区高度对受拉钢筋合力 T 取力矩(发生“超筋梁”破坏时不可对压区混凝土合力 C 作用点取力矩,因为此时钢筋拉力 T 未知)计算 M_u :

$$M_u = f_{al} b x \left[h_0 - \frac{x}{2} \right] + (1 - \mu_l) A_{sl} E_{sl} \frac{\epsilon_{cu}(x - \beta a_1)}{x} (h_0 - a_1) \quad (16)$$

3 试验研究

3.1 试件设计

在理论分析基础上,本文进行了 3 片锈蚀钢筋混凝土梁的抗弯力学性能试验,以验证理论公式的正确性。均为 2.4m 的钢筋混凝土梁,横截面采用 240mm×300mm 的双筋矩形截面,在梁的下缘配置 2Φ18 钢筋,上缘配置 2Φ12 钢筋,尺寸及配筋见图 2。混凝土强度按照 C30 混凝土设计,水泥采用 42.5# 普通硅酸盐水泥;粗骨料为卵石,最大粒径为 25mm;细骨料为河砂,细度模数为 2.75;采用华能 III 级掺合料及 TJ-III 型外加剂。混凝土的配合比为:水泥:卵石:砂:水:掺合料:外加剂=346:1143:731:129:45:6.25。1~3 号梁的下缘钢筋保护层厚度分别为 25mm、30mm 和 35mm;上缘钢筋保护层厚度都为 30mm。

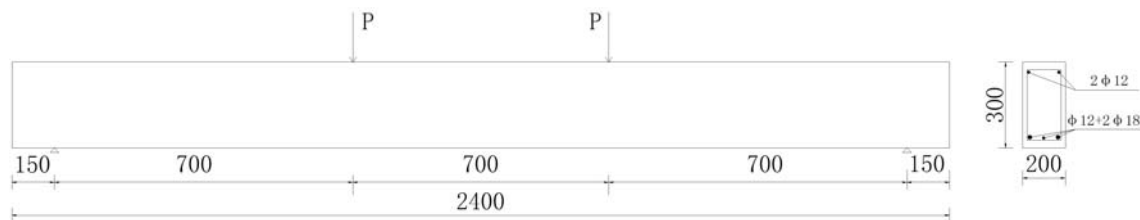


图 2 梁细部尺寸(单位:mm)

Fig. 2 The detail dimensions of beams(unit:mm)



图 3 快速锈蚀

Fig. 3 Rapid corrosion

3.2 快速锈蚀

试件锈蚀采用电化学快速锈蚀方法:每片梁试件浇注后在自然环境中养护 28 天,然后放入质量浓度为 5% 的氯化钠溶液中浸泡。将连接钢筋的导线与恒定直流电源阳极相连接,电源的阴极与溶液中的不锈钢相连接,通过 NaCl 溶液形成回路,在电流作用下,阳极钢筋释放电子被氧化,发生锈蚀,如图 3 所示。为保证主筋与箍筋之间绝缘,防止通入电流被箍筋分散,从而确保主筋的锈蚀率。在每根主筋的一端焊螺丝,接电线后用绝缘胶包裹,并涂环氧树脂进行保护。

3.3 试验结果

各片梁通电快速锈蚀至规定的时间后,进行三分点加载的承载力试验。在梁两端支座、加载点以及跨中截面处,分别布置振弦式位移传感器,测量试件在荷载作用下的竖向变形。在梁跨中截面的顶部受压区及底面受拉区的混凝土表面,分别粘贴 2 片电阻应变片以测量混凝土应变;在跨中截面下缘的 3 根受拉钢筋表面,各粘贴 1 片钢筋应变片,测试钢筋应变。采用最大量程为 500kN 的千斤顶进行承载试验,通过分配梁进行加载,荷载大小通过压力传感器控制。

加载方式为分级加载。正式试验前,要先进行预加载测试各个仪器的工作状况,预加载后,卸载至零,待仪器稳定后,开始正式加载。在混凝土开裂前,每级荷载间距控制在理论开裂荷载的 5%以内,开裂后,加载分级控制在钢筋屈服荷载的 6%~8%之间。每加一级荷载,都要采集该级荷载下的跨中和支座处的挠度以及跨中受拉钢筋的应变、试验梁顶部和底面的混凝土应变。

(1) 挠度测试及破坏形态

加载完后各片梁的荷载随跨中竖向挠度的曲线,见图 4。

据图 4 知,在各级荷载作用下,1~3 号梁的跨中竖向挠度测试结果一致性较好。在试验最后阶段,各片梁的破坏形态均为混凝土压碎破坏,见图 5。

(2) 正截面抗弯承载力结果分析

实验完毕后,从各片梁的上下缘各取出一段主筋,见图 6。对取得的钢筋试样进行除锈处理,并对除锈完成的各钢筋试件进行重量测试,记录各试件的锈蚀形态。用万能试验机对钢筋试样进行拉伸试验,获得钢筋的力学性能,并对混凝土的立方体试块进行抗压强度测试,测试结果如表 2 所示。

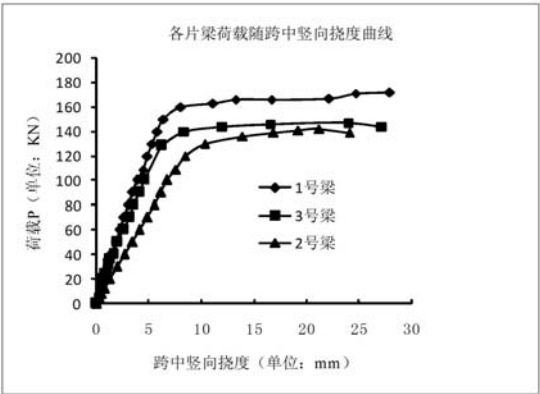


图 4 各片梁荷载随竖向挠度变化图

Fig. 4 Load and Vertical deflection for each beam



图 5 梁破坏

Fig. 5 Failure of beam



图 6 锈蚀钢筋样品

Fig. 6 The samples of corroded steels

表 2 桥梁材质检测

Tab. 2 Inspection of materials

梁号	混凝土极限抗压强度 (MPa)	钢筋屈服强度 (MPa)	钢筋极限强度 (MPa)	钢筋质量锈蚀率 μ (或 μ_1)/%	
				上缘	下缘
1 号梁	34.55	$\Phi 12$: 359.5 $\Phi 18$: 366.7	$\Phi 12$: 562.3 $\Phi 18$: 552.0	1.14	4.15
2 号梁				1.07	12.97
3 号梁				0.85	6.12

试验完毕后,采用上述公式进行理论分析计算。各片双筋矩形截面梁的总极限荷载实测值及理论值见表 3。

表 3 双筋矩形梁极限荷载

Tab. 3 Ultimate load of each beam with double reinforced rectangular section

梁 号	实测值 $2P$ (kN)	公式推导值 $2P'$ (kN)	误差 (%)
1 号梁	172.0	159.8	7.09
2 号梁	139.0	142.6	2.59
3 号梁	144.0	150.5	4.51

根据表 3 可知,各片梁的总极限荷载实测值与理论值最大误差为 7.09%,实验结果与理论计算结果吻合较好。

4 结 论

(1) 在锈蚀钢筋混凝土双筋矩形截面梁中,钢筋锈蚀引起正截面抗弯承载力降低,受拉区的钢筋与混凝土之间的变形不协调。在变形不协调条件下,通过公式推导,获得了锈蚀钢筋混凝土双筋矩形截面梁的正截面抗弯承载力计算公式。

(2) 通过快速锈蚀,制作了 3 片不同锈蚀率的双筋矩形截面梁,并对各片梁进行了正截面抗弯承载力试验。试验数据表明,推导的承载力计算公式结果与试验结果误差较小,推导的双筋矩形梁正截面极限抗弯承载力计算方法正确有效,可应用于指导工程实践。

参考文献:

- [1] 张建仁,彭晖,张克波 等. 锈蚀钢筋混凝土旧桥超限及极限荷载作用的现场破坏试验研究[J]. 工程力学, 2009, 26(2): 213—224 (ZHANG Jian-ren, PENG Hui, ZHANG Ke-bo, et al. Test study on overload and ultimate behavior of old reinforced concrete bridge through destructive test of corroded bridge[J]. Engineering Mechanics, 2009, 26(2): 213—224(in Chinese))
- [2] 金伟良,夏晋,王伟力. 锈蚀钢筋混凝土桥梁力学性能研究综述(I)[J]. 长沙理工大学学报, 2007, 4(2): 1—12 (JIN Wei-liang, XIA Jin, WANG Wei-li. State-of-art of the mechanical behaviour of the corrosion reinforced concrete bridges(I)[J]. Journal of Changsha University of Science & Technology, 2007, 4(2): 1—12(in Chinese))
- [3] Miller R A, Aktan A E, Shahrooz B M. Destructive Testing of Decommissioned Concrete Slab Bridge[J]. Journal of Structural Engineering, 1994, 120(7): 2176—2198.
- [4] Eyre J R, Nokhasteh M A. Strength of corrosion damaged reinforced concrete slabs and beams[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures and Building, 1992, 94(2): 197—203.
- [5] Miller R A, Aktan A E, Shahrooz B M. Destructive Testing of Decommissioned Concrete Slab Bridge [J]. Journal of Structural Engineering, 1994, 120(7): 2176—2198.
- [6] 包龙生,于玲,黄海 等. 混凝土桥梁损伤诊断及承载力评估述评[J]. 东北公路, 2003, 26(4): 113—115 (BAO Long-sheng, YU Ling, HUANG Hai, et al. Damage diagnosis and strength evaluation for existing concrete bridges [J]. East North Highway, 2003, 26(4): 113—115(in Chinese))
- [7] 周枚,贺拴海,宋一凡. 基于挠度试验的梁式结构评估[J]. 长安大学学报, 2004, 24(5): 40—47 (ZHOU Mei, HE Shuan-hai, SONG Yi-fan. Structural evaluation for beams based on deflection testing. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(5): 40—47(in Chinese))
- [8] 沈德建,吴胜兴. 大气环境下严重锈蚀钢筋混凝土梁力学性能试验研究[J]. 桥梁建设, 2008, 41(11): 1—6 (SHENG De-jian, WU Sheng-xing. Experimental Study of mechanical properties of severely corroded reinforced concrete beams in atmospheric environment[J]. Bridge Construction, 2008, 41(11): 1—6(in Chinese))
- [9] 王青,徐港,黄淳莹. 锈蚀钢筋混凝土梁正截面承载力计算探讨[J]. 四川建筑科学研究, 2008, 34(2): 101—103 (WANG Qing, XU Gang, HUANG Chun-ying. Exploration on computing of normal section bearing capacity of corroded RC beams[J]. Sichuan Building Science, 2008, 34(2): 101—103(in Chinese))
- [10] 郑立霞,宋显辉,李卓球. 利用 CFRC 压敏性监测钢筋锈蚀的模拟实验研究[J]. 实验力学, 2004, 19(2): 206—210 (ZHENG Li-xia, SONG Xian-hui, LI Zhuo-qiu. Corrosion monitoring of rebar by compression sensitivity of CFRC[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2004, 19(2): 206—210(in Chinese))

- [11] 蔡传国. 高龄混凝土表面碳化与应力腐蚀关系的研究[J]. 实验力学, 2007, 22(5): 495—499 (ZHENG Li-xia, SONG Xian-hui, LI Zhuo-qiu. Corrosion monitoring of rebar by compression sensitivity of CFRC[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2007, 22(5): 495—499(in Chinese))
- [12] 金伟良, 夏晋, 蒋遨宇 等. 锈蚀钢筋混凝土梁受弯承载力计算模型[J]. 土木工程学报, 2009, 42(11): 64—70 (JIN Wei-liang, XIA Jin, JIANG Ao-yu. Flexural capacity of corrosion-damaged RC beams[J]. China Civil Engineering Journal, 2009, 42(11): 64—70(in Chinese))
- [13] 张克波. 锈蚀 RC 构件力学性能与整桥破坏性试验研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2009: 64—87 (ZHANG Ke-bo. Mechanical Behavior of corroded RC Element and Destructive Testing for Whole Bridge[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2009: 64—87(in Chinese))
- [14] 叶见曙, 李国平. 结构设计原理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005: 4—73 (YE Jian-shu, LI Guo-ping. Design Principle[M]. Beijing: China Communications Press, 2005: 4—73(in Chinese))
- [15] JTG D62-2004. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S], 2004 (JTG D62-2004. Code for Design of highway Reinforced Concrete and Prestressed Concrete Bridges and Culverts[S], 2004(in Chinese))
- [16] 董建华, 程传辉, 薛学涛 等. 锈蚀钢筋混凝土梁抗弯承载力分析研究[J]. 河南科学, 2008, 26(8): 940—942 (DONG Jian-hua, CHEN Chuan-hui, XUE Xue-tao, et al. Bending moment capacity of RC beams under corrosion [J]. Henan Science, 2008, 26(8): 940—942(in Chinese))

Analysis of the Flexural Bearing Capacity of Corroded Reinforced Concrete Beams with Double Reinforced Rectangular Section

LV Yi-gang, ZHANG Jian-ren, PENG Hui, ZHANG Ke-bo

(School of Civil Engineering and Architecture, Changsha University of Science & Technology, Hunan 410004, China)

Abstract: Corrosion of steel bar is one of the main disease forms of reinforced concrete beams. In a corroded reinforced concrete beam with double reinforced rectangular section, the structure performance is degraded, the amount of the relative bond-slip between concrete and reinforcement increases and the bearing capacity is affected by steel bar corrosion. By constructing a new geometrical condition, formulas of ultimate bending capacity of normal section for corroded reinforced concrete beam with double reinforced rectangular section were derived when the steel deformation is not accordance with the concrete in the tensile region. Combined with the flexural bearing capacity experiments of beam with double reinforced rectangular section in lab by rapid corrosion, results show that the computational value of calculation formula is in good agreement with the experimental value. Above analysis may lay a foundation for further application in engineering practice.

Keywords: reinforced concrete beam; corrosion ratio; bearing capacity; double reinforced rectangular section