

文章编号 :1007-649X(2000)02-0075-04

关于钢筋均匀伸长率限值的探讨

魏 星¹,王仁义¹,黄 诚²,刘立新¹

(1. 郑州工业大学土木建筑工程学院,河南 郑州 450002;2. 河南省息县城建局设计所,河南 息县 464300)

摘 要:由于均匀伸长率 δ_{gt} 能够更好地反映混凝土构件中钢筋的工作状态,国际上已经开始采用 δ_{gt} 来评价钢筋延性的好坏,但我国尚未对应用于混凝土构件中钢筋的均匀延伸率作出具体规定.基于混凝土受弯构件的平截面假定和《混凝土结构设计规范》GBJ 10-89,通过理论分析,给出混凝土受弯构件用钢筋的均匀伸长率最小限值.钢筋的延性只要满足该值的要求,构件就不会发生钢筋拉断的破坏形式.计算结果对规范建筑用钢筋的性能具有一定的参考价值.

关键词:均匀伸长率;受弯构件;延性
中图分类号:TU 365 文献标识码:A

0 引言

钢筋混凝土受弯构件是建筑工程中普遍的构件形式,钢筋的材料性能对构件的破坏形态影响显著,强度和延性(伸长率和冷弯性能)是钢筋最重要的性能指标.过去,由于我国物质匮乏、钢材短缺,只是片面追求钢筋的强度而忽视了钢筋的延性,于是对钢筋进行冷加工来提高强度,结果是钢筋的延性大大降低.这类钢筋应用于建筑工程中留下了可能发生工程事故的隐患.因此,必需把钢筋的延性和强度放到同等重要的位置来看待.对于钢筋的延性,世界各国都有不同的规定(见表 1),但它们对钢筋延性的要求均高于我国规范的规定($\epsilon_s \geq 0.01$),而且在逐渐接受和采纳将均匀伸长率 δ_{gt} (最大力处钢筋的伸长率)作为衡量延性的指标.

表 1 各国规范对钢筋延伸率的要求

国家标准	延伸率/%
英国 BS4461	$\delta_5 \geq 12$
德国 DIN488 1986	$\delta_{10} \geq 8$
国际标准化组织 ISO105544 199X(E)	$\delta_{gt} \geq 2$
欧钢联 ONORM4200/7	$\delta_5 \geq 12$

1 均匀伸长率简介

均匀伸长率 δ_{gt} 考虑了包括塑性变形和弹性

变形的钢筋伸长,因此能更好地反映钢筋在实际工作中的应变状况,且对各类钢筋而言,其值更为稳定^[1]. δ_{gt} 量测方法为^[1,2]:在钢筋颈缩区 $2d$ 以外取标志长度为 l_0 进行量测,然后在塑性应变的基础上加入弹性变形部分,即采用以下公式计算:

$$\delta_{gt} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} + \frac{\sigma_b}{E_s} \quad (1)$$

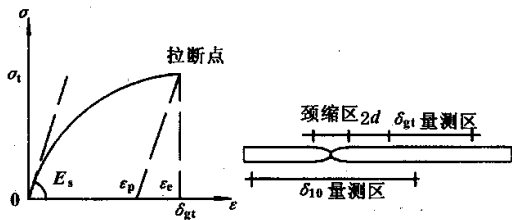
其中: l_0, l_1 为均匀伸长率量测区的原始长度及试验后长度; σ_b, E_s 为钢筋的极限强度及弹性模量.

δ_5, δ_{10} 和 δ_{100} 是我国一直采用的伸长率的量测指标,但仅能表示钢筋颈缩区范围内的残余变形的大小(见图 1),而颈缩区与钢筋的直径有很大的关系,从而导致 δ_5, δ_{10} 等指标受钢筋直径影响较大.而均匀伸长率 δ_{gt} 在量测时将钢筋颈缩区排除在外(见图 1),表示包含钢筋弹性变形和塑性变形的总和,可以更好地反映高强钢丝强度较高、弹性变形较大的特点.而且与钢筋在构件中的实际变形情况一致,因此采用 δ_{gt} 作为钢筋的延性指标,可以更好地反映高强钢筋在实际工作中的变形特点.

表 2 为各种试验钢筋伸长率量测指标的比较^[1],可见均匀伸长率由于避免了钢筋直径影响,量测结果稳定,变异系数较小.

由于均匀伸长率能够更好地反映钢筋的工作

状态,便于量测且量测误差较小,国内已有不少部门开始用均匀伸长率来衡量钢筋延性的优劣.但对应用于工程中的钢筋,并没有具体的均匀伸长率指标规定.本文正是基于此目的,通过受弯构件的平截面假定,对应用于混凝土受弯构件钢筋的最小均匀伸长率进行分析,得出了均匀伸长率限值的计算表达式,同时对不同强度等级的钢筋,通过数值计算,给出可供工程应用参考的最小限值.



(a) 钢筋应力应变曲线 (b) 伸长率量测图

图 1 均匀伸长率的量测方法及钢筋应力应变曲线

表 2 钢筋伸长率的比较 %

钢筋	δ ₅		δ ₁₀		δ ₁₀₀		δ _{gt}	
	μ	δ	μ	δ	μ	δ	μ	δ
热轧 I、II 级钢筋	35.01	0.183	26.57	0.241	30.21	0.125	20.51	0.150
热轧 II 级钢筋	33.90	0.062	26.72	0.074	30.71	0.075	18.35	0.056
冷拉 I 级钢筋	31.08	0.150	23.69	0.136	20.15	0.165	15.61	0.109
冷拉扭钢筋	9.11	0.183	5.89	0.263	3.98	0.153	1.43	0.141
冷拔低碳钢丝	9.83	0.093	5.33	0.098	2.60	0.113	1.17	0.086
冷轧带肋钢筋	12.23	0.105	6.82	0.121	4.01	0.174	1.59	0.103

说明:μ为平均值,%;δ为变异系数.

2 理论分析^{3~5]}

2.1 普通混凝土受弯构件

根据受弯构件截面承载力计算的平截面假定(见图 2)可知

ε_s / ε_c = (h₀ - x) / x, (2)

ε_s = ((h₀ / x) - 1) ε_c, (3)

由内力平衡可得

A_sf_y = 0.8xf_{cm}. (4)

将 A_s = ρbh₀ 及式(4)代入式(3),可得

ε_s = ((0.8f_{cm} / (ρf_y) - 1) ε_c. (5)

式中:ε_s、ε_c为钢筋拉应变和混凝土压应变;b、h₀为构件截面宽度和计算高度;x为混凝土受压区高度;A_s为钢筋截面积;ρ为截面配筋率.

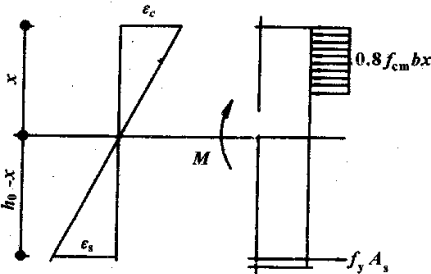


图 2 普通混凝土受弯构件截面应力及应变分布

当结构达到极限荷载时,钢筋的应力还未达到其抗拉强度(对应于应力应变曲线的最高点),也就是

说,只要钢筋应变小于钢筋的均匀伸长率 δ_{gt},则该构件的破坏形式就不可能把钢筋拉断.而此时,截面上受压区混凝土应变只要达到 0.002,由于混凝土已达到其强度极限,应变进入“流幅”压缩,变形剧增,因此,这时即使混凝土不压坏,受拉区也会由于截面转角的迅速增大而使裂缝宽度猛增(W_{max}达到 1.5 mm),构件的挠度更会由于截面刚度的大幅度下降而迅速增大(f_{max}达到跨度的 1/50)因此,从理论上讲,对于某一普通混凝土构件,只要满足

δ_{gt} ≥ ((0.8f_{cm} / (ρf_y) - 1) ε_c, (6)

则构件发生延性较好的破坏.式(6)即为普通混凝土受弯构件均匀伸长率的下限值.

由式(6)知,δ_{gt}的下限值与混凝土强度、钢筋强度及配筋率等因素有关,因此不同材料对于钢筋的均伸长率要求不同,表 3 为不同混凝土等级及不同钢筋强度钢筋均匀伸长率 δ_{gt}的最小限值.这里 ε_c取 0.002,配筋率取最小值配筋率 ρ_{min}(当混凝土等级为 C 35 及以下时,ρ_{min} = 0.15%;为 C 40~C 60 时,ρ_{min} = 0.2%)^{3]}.

表 3 普通混凝土构件钢筋均匀伸长率的最小限值 %

钢筋强度/MPa	混凝土等级				
	C 20	C 30	C 40	C 50	C 60
335	4.58	6.80	6.84	8.16	9.23
550	2.71	4.07	4.09	4.89	5.55

说明:在均匀伸长率的计算中,材料强度均取标准值.

当然,表中所给数值均按配筋率为最小配筋率的情况下进行计算,当配筋率较大时,对钢筋的延性的要求就较小,按表中数值来要求钢筋的延性有一定的延性储备。

2.2 预应力混凝土受弯构件

预应力混凝土构件不同于普通的混凝土构件,由于预应力钢筋大多为无明显屈服台阶的钢筋,而且有初始张拉应力的存在,因此预应力钢筋应对延伸率有更严格的要求。图 3 为预应力混凝土构件截面应变分布图,同样,由平截面假定可得

$$\frac{\epsilon_s^z}{\epsilon_c^z} = \frac{h_0 - x}{x} \quad (7)$$

其中: ϵ_c^z 和 ϵ_s^z 分别代表极限状态相对于初始状态混凝土和钢筋的总应变。

$$\epsilon_c^z = \epsilon_c + \epsilon_c^0, \quad (8)$$

$$\epsilon_s^z = \epsilon_s^u + \epsilon_s^0, \quad (9)$$

式中: ϵ_c^z 及 ϵ_s^u 分别代表钢筋达到极限应变时混凝土和钢筋的应变; $\epsilon_s^u = \delta_{gt}$, $\epsilon_c = 0.002$; ϵ_c^0 及 ϵ_s^0 代表初始状态混凝土和钢筋的应变,见图 3。

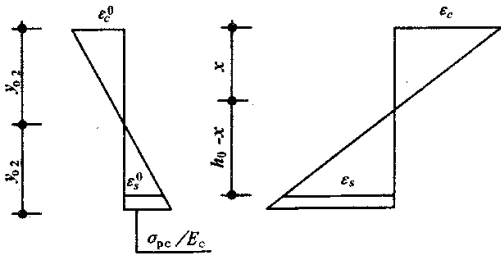


图 3 预应力混凝土受弯构件截面应变分布
由规范 GBJ 10-89 得到

$$\epsilon_c^0 = \frac{\sigma_{pc} y_{o2}}{E_c y_{o1}}; \quad (10)$$

$$\epsilon_s^0 = \frac{\sigma_{con} - \sigma_L - \alpha_E \sigma_{pc}}{E_s}, \quad (11)$$

同样,由内力平衡得到

$$h_0/x = 0.8 f_{cm} / (\rho f_y). \quad (12)$$

联合以上几式并整理可得

$$\delta_{gt} = \left(\frac{0.8 f_{cm}}{\rho f_y} - 1 \right) \epsilon_c + \frac{\sigma_{pc} y_{o2}}{E_c y_{o1}} + \frac{\sigma_{con} - \sigma_L}{E_s} - \frac{\sigma_{pc}}{E_c}, \quad (13)$$

若配筋率取 ρ_{min} (800 级及其以上取 $\rho_{min} = 0.2\%$, 650 级取 $\rho_{min} = 0.25\%$)^[5], 则 σ_{pc}/E_c 可忽略不计, 则式 (13) 化为:

$$\delta_{gt} = \left(\frac{0.8 f_{cm}}{\rho f_y} - 1 \right) \epsilon_c + \frac{\sigma_{con} - \sigma_L}{E_s} \quad (14)$$

式中: σ_{pc} 为扣除全部预应力损失后在抗裂边缘混凝土的预压应力; y_{o1} , y_{o2} 为换算截面重心轴至截

面上下边缘的距离; E_c , E_s 为混凝土和钢筋的弹性模量; $\sigma_{con} - \sigma_L$ 为预应力钢筋的有效应力。

按照普通混凝土构件的计算方法, 同样由式 (14) 可得不同钢筋强度及不同混凝土等级的钢筋均匀伸长率的限值(预应力损失 σ_L 取最小值 100 N/mm^2 , 张拉控制应力系数取最大值 0.7), 见表 4。

表 4 预应力钢筋均匀伸长率的限值 %

钢筋强度/MPa	混凝土等级			
	C 30	C 40	C 50	C 60
650	1.84	2.44	2.88	3.24
800	2.28	3.03	3.58	4.03
1470	2.51	3.26	3.81	4.26
1860	2.65	3.40	3.95	4.40

2.3 塑性内力重分布的受弯构件

对于钢筋混凝土材料来说, 在结构的某一截面达到极限后, 并不导致结构的破坏, 结构仍有一定的安全储备, 该截面形成塑性铰后, 随着荷载的增加, 塑性铰还会在其他截面陆续出现, 直到结构的整体或局部形成破坏机构为止。因此, 在结构出现塑性铰以后的加载过程中, 结构的内力经历了一个重分布的过程。

由于钢筋混凝土截面的塑性变形是有限度的, 塑性铰的转动能力也是有限度的, 其限度与截面的配筋率有关, 截面的配筋率愈大, 截面的塑性铰转动能力或塑性铰的转角就愈小, 因此, 对于考虑塑性内力重分布的构件, 应对配筋率(或含钢特征 ξ) 和对应的内力重分布的幅度加以限制。但塑性铰的转动能力与钢筋的延性有很大的关系, 钢筋的延性较差时, 塑性铰的转动也较小, 达不到理想的效果。因为某一截面形成塑性铰后, 结构的变形主要集中在塑性铰区, 致使截面的曲率增大。由于混凝土极限压应变一般取定值, 不会再增大, 这就意味着必须有很大的钢筋拉应变。因此, 对于考虑内力重分布的结构或构件, 钢筋必须要有更严格的延性限制。

考虑塑性内力重分布的连续梁(板)结构, 其均匀延伸率的最小值仍用式 (6) 确定, 但混凝土的压应变 ϵ_c 取 0.0033, 计算结果见表 5。

表 5 塑性内力重分布钢筋均匀伸长率最小限值 %

钢筋强度/MPa	混凝土等级				
	C 20	C 30	C 40	C 50	C 60
335	7.56	11.22	11.29	13.46	15.23
550	4.47	6.72	6.75	8.07	9.16

3 结束语

本文所给出的均匀伸长率最小限值的计算公式(6)及式(14)适用于混凝土受弯构件用钢筋延性要求的计算,只要钢筋的均匀伸长率满足两式要求,则构件就不会发生钢筋拉断的破坏形式。而用两式计算均匀伸长率的限值又较为烦琐,利用对公式中相关变量取极值的方法,得到了均匀伸长率的极限值,便于工程人员查阅。本文提出的钢筋最小均匀伸长率的建议对规范建筑用钢筋的

性能具有较好的参考价值。

参考文献:

- [1] 张达勇.我国混凝土结构用钢筋(丝)基本性能的比较[D].郑州:郑州工业大学,2000.
- [2] GB/T 5223-1995,预应力混凝土用钢丝[S].
- [3] GBJ 10-89,混凝土结构设计规范[S].
- [4] 王传智,滕志明.钢筋混凝土结构理论[M].北京:中国建筑工业出版社,1985.
- [5] 魏 星.中强(800 MPa)螺旋肋钢筋预应力空心板结构性能的研究[D].郑州:郑州工业大学,2000.

Discuss of Least Even Percentage Elongation for Steel Bars

WEI Xing¹, WANG Ren-yi¹, HUANG Cheng², LIU Li-xin¹

(1. College of Civil & Building Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. Design Department of Xixian Urban Construction Bureau, Xixian 464300, China)

Abstract Even percentage elongation δ_{gt} can reflect the working state of steel bars used in concrete members, which has already used to appraise stand or fall of steel bar's ductility in international countries. But any specific rules about even percentage elongation of steel bars have not appeared in codes of our country. In this article, least even percentage elongation for steel bars used in bending members are given through the theory's analysis which bases on horizon section presumption of bending members and *Design Code of Concrete Structure* GBJ 10-89. If steel bars' even percentage elongation is met, the bending members do not cause destruction of the bar's rip and the result of calculating has great value of reference about standardizing bars used in architecture.

Key words 万方数据 even percentage elongation; bending member; ductility