

文章编号:1673-9469(2014)02-0032-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2014.02.008

基于可靠度理论的简支梁配筋选型

陈康,涂兴怀

(西华大学 能源与环境学院,四川 成都 610039)

摘要:针对钢筋和混凝土等材料的性能在空间上的变异性、不均匀性问题,考虑到可靠度理论以不确定因素作为研究对象,能更好地模拟构件的实际受力情况,得到更可取的配筋方案。据此提出了基于可靠度理论的配筋方法,应用于简支梁的优化设计。结果表明:基于可靠度理论的算法比常规算法更节省材料用量,所得配筋方案经规范公式检验满足设计要求。

关键词:可靠度;简支梁;极限状态方程;结构设计

中图分类号:TV314

文献标识码:A

Simply supported beam reinforcement configuration and model selection based on the reliability theory

CHEN Kang, TU Xing-huai

(School of Energy and Environment, Xihua University, Sichuan Chendu 610039, China)

Abstract: For materials such as steel, concrete performance on the spatial variability and non-uniformity problem, considering the reliability theory to uncertain factors as the research object, which can better to simulate the actual stress distribution of components. Getting preferable reinforcement calculation scheme will be useful to put forward the reinforcement method based on reliability theory applied to the optimization of beam design. The results show that the algorithm based on reliability theory is better than conventional algorithm to save the material consumption. The results obtained by the standard formula test meet the design requirements and can provide a reference for practical engineering design.

Key words: reliability; simply supported beam; limit state equation; structure design

近年来以可靠度为基础的优化设计成为结构设计的重要研究方向,可靠度理论在结构设计规范中的应用,使结构设计理论进入到一个新的阶段。针对结构设计中各种不确定因素的影响,我国曾对钢筋混凝土结构设计规范的安全系数取值作过调整^[1]。然而以往人们常常将设计和可靠度理论分离开,仅仅把可靠度分析作为设计完成后的稳定性检验方法,因此要根据可靠度分析结果来定量地调整设计方案是比较困难的^[2]。本文根据可靠度理论与结构设计之间的联系,将两者结合起来,通过建立合理的受力模型,找到效应和抗力的表达式构成功能函数,采用JC法对结构进行配筋设计,从而把可靠度理论应用到结构的设计环节,按照固定可靠指标,适当加强材料型号或加

大材料截面尺寸的迭代方式对检验后不满足设计要求的方案作定量修改。

1 构建结构功能函数

以矩形截面简支梁在受均布荷载作用时的正截面抗弯分析为例。

1.1 效应 S 的表达式

简支梁受均布荷载时的最大弯矩值在中点处,从而以中点处的最大弯矩值^[3] $M = ql^2/8$ 乘以承载安全系数 K 作为功能函数的效应 S ,即 $S = KM$,其中梁的跨度 l 在设计的时候已经确定,看作常量。而 q 根据建筑材料自身的差异性,属于“不稳定”的量——变量,有均值 μ_q 和标准差 σ_q 。

1.2 抗力 R 的表达式

根据水工混凝土结构设计规范^[4]及国外可靠度设计规范^[5]正截面受弯构件承载力表达式为:

$$R = f_c b x (h_0 - \frac{x}{2}) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \quad (1)$$

$$f_c b x = f_y A_s - f'_y A'_s \quad (2)$$

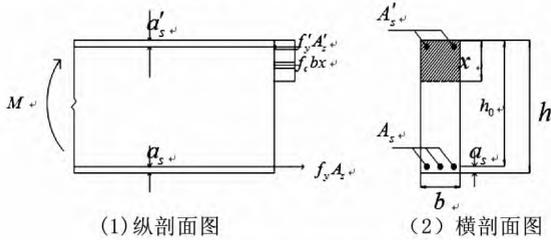


图1 正截面受弯构件的受力示意图

Fig.1 The stress diagram of normal section flexural members

承载力表达式中,与材料性能相关的 f_c, f'_y, f_y , 即便是材料规格型号一样,也会各有差异,所以应该看作变量,均值和标准差分别为 $\mu_{f_c}, \mu_{f'_y}, \mu_{f_y}$ 和 $\sigma_{f_c}, \sigma_{f'_y}, \sigma_{f_y}$, 具体数值由施工前统计的混凝土轴心抗压强度试验和厂家生产的钢筋性能测试说明书来确定。而受压区计算高度 x 是 f'_y 和 f_y 的复合函数。 b, h_0, A_s, A'_s 在梁的截面尺寸、钢筋的布置位置以及钢筋的型号、数量确定以后就定了,所以可看作常量。

1.3 极限状态方程

由(1)、(2)式及简支梁跨中弯矩 M 得极限状态方程:

$$Z = R - S = f_c b x (h_0 - \frac{x}{2}) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) -$$

$$K \frac{q l^2}{8} = 0 \quad (3)$$

将 x 的计算公式代入得:

$$Z = h_0 (f_y A_s - f'_y A'_s) - \frac{(f_y A_s - f'_y A'_s)^2}{2 f_c b} +$$

$$f'_y A'_s (h_0 - a'_s) - K \frac{q l^2}{8} = 0 \quad (4)$$

极限状态方程里待求的 5 个材料参数 $f_c, f_y, A_s, f'_y, A'_s$ 只要任意确定其中的 3 个,则可适当调整其余两个参数来满足极限状态方程(如 f_c, f_y, A_s 确定,那么已知 f'_y 可求 A'_s , 同样已知 A'_s 可求 f'_y), 从而可将配筋(求 f_y, A_s, f'_y, A'_s) 和配置混凝土强度(求 f_c) 灵活组合,得到多种设计方案。

2 算例

材料特性统计参数如表 1。梁跨 $l = 6$ m, 截面尺寸在主梁尺寸已定的情况下预采用 $h \times b = 480$ mm \times 250 mm, 受拉钢筋合力点至受拉区边缘的距离 $a_s = 40$ mm, 受压钢筋合力点至受压区边缘的距离 $a'_s = 40$ mm。为了使可靠指标 $\beta \geq 2.0$, 设计选材方案。

将参数代入(4)式得:

$$Z = 440 f_y A_s - 40 f'_y A'_s - \frac{(f_y A_s - f'_y A'_s)^2}{500 f_c} -$$

$$4\ 500\ 000 q K \quad (5)$$

通过验算点法迭代计算后得到多种方案, 以下举出其中的三种方案(选定 f_c, f_y, f'_y , 调整 A_s, A'_s), 结果见表 2、表 3:

表 1 材料特性统计参数表

Tab. 1 The material properties of statistical parameter table

材料特性 统计参数	$q/\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$	f_c/Mpa		f_y/Mpa		f'_y/Mpa	
		C20	C25	HPB235	HRB335	HPB235	HPB335
均值	8	9.6	11.9	210	300	210	300
标准差	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.015	0.01
分布类型	正态	正态	正态	正态	正态	正态	正态

表 2 混凝土和钢筋配置计算结果(*代表已知条件)

Tab. 2 Concrete and rebar configuration results (* stands for the known conditions)

方 案	混凝土 型号	受压区 钢筋 型号	受压钢 筋面积 A'_s/mm^2	受压钢 筋直径 d/mm	受压钢 筋数量 /根	受拉区 钢筋 型号	受拉钢 筋截面 积 A_s/mm^2	受拉区 钢筋直 径 d/mm	受拉区 钢筋数 量/根	承载力 安全系 数 K	可靠指 标 B
1	C20*	HPB235*	157*	10*	2*	HPB235*	494.287 444 4	14.487 529 51	3	1.2*	2.0*
1	C25*	HPB335*	100.48*	8*	2*	HPB335*	344.022 572 3	12.086 429 24	3	1.2*	2.0*
1	C25*	HPB335*	100.48*	8*	2*	HPB235*	491.461 268 6	14.446 052 64	3	1.2*	2.0*

表3 调整后的混凝土和钢筋配置结果

Tab.3 Concrete and rebar configuration results after the adjustment

方案	混凝土型号	受压区钢筋型号	受压钢筋面积 A's/mm ²	受压钢筋直径 d/mm	受压钢筋数量 /根	受拉区钢筋型号	受拉钢筋截面面积 As/mm ²	受拉区钢筋直径 d/mm	受拉区钢筋数量/根	承载力安全系数 K	可靠指标 B
1	C20	HPB235	157	10	2	HPB235	527.52	16	3	1.2	2.0
1	C25	HPB335	100.48	8	2	HPB335	395.64	14	3	1.2	2.0
1	C25	HPB335	100.48	8	3	HPB235	527.52	16	3	1.2	2.0

表4 按照常规方法计算的钢筋混凝土配置方案(*代表已知条件)

Tab.4 The reinforced concrete scheme calculated by according to the conventional method (* stands for the known conditions)

方案	混凝土型号	受压区钢筋型号	受压钢筋面积 A's/mm ²	受压钢筋直径 d/mm	受压钢筋数量 /根	受拉区钢筋型号	受拉钢筋截面面积 As/mm ²	受拉区钢筋直径 d/mm	受拉区钢筋数量/根	承载力安全系数 K	可靠指标 B
1	C20*	HPB235*	157*	10*	2*	HPB235	514.285 714 3	14.777 697 58	3	1.2	33.798 660 64
1	C25*	HPB335*	100.48*	8*	2*	HPB335*	12.363 908 85	12.086 429 24	3	1.2	38.785 753 19
1	C25*	HPB335*	100.48*	8*	2*	HPB235*	514.285 714 3	14.777 697 58	3	1.2	38.770 414 04

(1) 方案一: C20 混凝土, HPB235 钢筋, 受压区选用 2Φ10, A's = 157 mm²。保证可靠指标 β ≥ 2.0 的前提下, 求得受拉区 A_s = 494.287 444 mm², 调整后采用 3Φ16。

检验: $x = \frac{f_y A_s - f'_y A'_s}{f_c b} = 32.420 5 \text{ mm} < 2a'_s$, 得检验式 $f_y A_s (h_0 - a'_s) - KM = 1.111 68 \text{ kN/m} > 0$ 满足设计要求。

(2) 方案二: C25 混凝土, HRB335 钢筋, 受压区选用 2Φ8, A's = 100.48 mm²。保证可靠指标 β ≥ 2.0 的前提下, 求得受拉区 A_s = 344.022 572 3 mm², 调整后采用 3Φ14。

检验: $x = \frac{f_y A_s - f'_y A'_s}{f_c b} = 29.764 03 < 2a'_s$, 得检验式 $f_y A_s (h_0 - a'_s) - KM = 4.276 8 \text{ kN/m} > 0$ 满足设计要求。

(3) 方案三: C25 混凝土, 受压区 HPB235 钢筋, 受拉区 HRB335 钢筋, 在受拉区 3Φ12, 即 A_s = 339.12 mm²。在保证可靠指标 β ≥ 2.0 的前提下, 求得受压区 A's = 769.432 551 1 mm², 调整后采用 3Φ18。

检验: $x = \frac{f_y A_s - f'_y A'_s}{f_c b} = 24.558 95 \text{ mm} < 2a'_s$, 得检验式 $f_y A_s (h_0 - a'_s) - KM = 1.111 68 \text{ kN/m} > 0$ 满足设计要求。

3 常规算法

按照常规计算式:

$$KM \leq h_0 (f_y A_s - f'_y A'_s) - \frac{(f_y A_s - f'_y A'_s)^2}{2f_c b} +$$

$$f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \tag{6}$$

$$KM \leq f_y A_s (h_0 - a'_s) \tag{7}$$

当 $x \geq 2a'_s$ 按(6)式配筋, 当 $x < 2a'_s$ 按(7)式配筋, 为了同可靠度理论得出的结果做对比, 确定相同的已知条件, 见表4。

从表2, 表4 当中看出, 两种方法得出的配筋结果差别不大, 都能满足设计要求, 常规方法以调整承载力安全系数 K 保证结构稳定性进行配筋, 比较保守, 所以对其作可靠度评价后算出的 β 值偏大。而基于可靠度理论的算法, 预先设定好结构需达到的 β 值, 算出的钢筋使用量比常规的节省约 3% ~ 4%, 对结果采用规范公式检验满足设计要求。两算法具体流程图^[6]对比见图2。

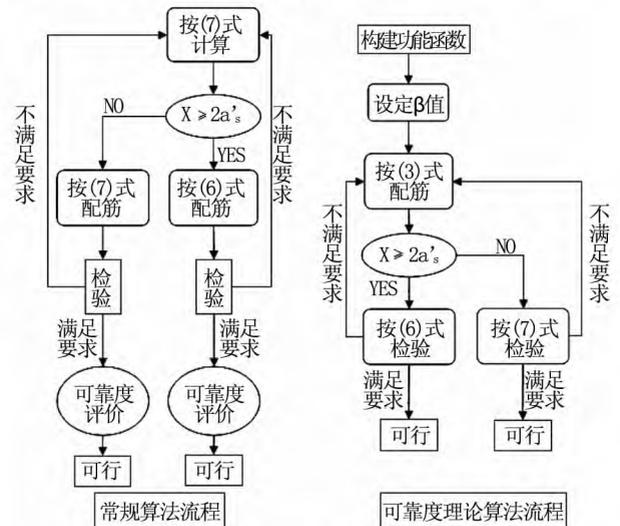


图2 常规算法与基于可靠理论的算法流程对比
Fig.2 The comparison between conventional algorithm and the algorithm based on the theory of reliable process

4 结论

该算法计算时可以灵活调整 β 值和各材料参数,得到多种满足设计要求的方案,然后通过对比得到最合理方案,设计完成后不需要再进行可靠度评价。本文考虑各变量之间独立不相关的情况,得到简支梁选材配筋的三种方案,并同常规算法比较后发现基于可靠度理论的算法在实现结构的经济化设计领域具有重要应用价值。理论上只要能够建立正确的受力模型,准确分析抗力 R 和效应 S 表达式中的变量分布类型及其关系,那么该方法还可应用于更复杂的结构设计。

(上接第23页)

参考文献:

- [1] 陈厚群. 混凝土大坝抗震中的力学问题[J]. 力学与实践, 2006, 28(02): 1-8.
- [2] 楼梦麟,殷琳. 关于高土坝地震反应分析中阻尼模型的讨论[J]. 水力发电学报, 2009, 28(5): 103-107.
- [3] 陶警圆. 阻尼模型对土石坝动力响应的研究[D]. 大连:大连理工大学, 2012.
- [4] 楼梦麟,邵新刚. 深覆盖土层 Rayleigh 阻尼矩阵建模问题的讨论[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(07): 1272-1279.
- [5] 楼梦麟,邵新刚. 土层地震反应显式计算中阻尼矩阵系数的选取[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2013, 41(8): 1126-1132.
- [6] 楼梦麟,潘旦光. 滞后阻尼在土层时域分析中的应用

(上接第31页)

(3)通过引入结构面产状组合对GSI体系取值的影响,能较为准确地进行节理化岩体强度参数及岩体变形模量的求取,考虑扰动时改进的GSI计算结果与建议值较为接近。

参考文献:

- [1] HOEK E. Strength of rock and rock masses[J]. ISRM News Journal, 1994, 2(2): 4-16.
- [2] HOEK E, MARINOS P, BENISSI M. Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses; The case of the Athens schist formation[J]. Bull. Eng. Geol. Environ, 1998, 57(2): 151-160.
- [3] 黄达,黄润秋,张永兴. 基于改进GSI体系确定三峡地下厂房围岩等效变形模量及强度[J]. 中国地质大学学报, 2008, 34(6): 1030-1036.
- [4] SONMEZ H, GOKCEOGLU C, ULUSAY R, et al. Indirect

参考文献:

- [1] 赵国藩,金伟良,贡金鑫. 结构可靠度理论[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [2] 李国强,黄宏伟,郑步全. 工程结构荷载与可靠度设计原理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [3] 龙驭球,包世华. 结构力学教程[M]. 北京:高等教育出版社,1998.
- [4] SL191-2008, 水工混凝土结构设计规范[S].
- [5] ISO/DIS2394, General principles on reliability for structures[S].
- [6] 苏怀智,刘红萍. 高重力坝抗滑稳定安全度分析[J]. 水利水电科技进展, 2011(4): 20-23.

(责任编辑 王利君)

[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2004(03): 281-285.

- [7] 楼梦麟,李遇春,李南生,等. 深覆盖土层地震反应分析中的若干问题[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2006, 34(4): 427-432.
- [8] 杨燕,楼梦麟. 汶川地震中远场深覆盖土层动力反应分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2011, 31(4): 462-468.
- [9] 殷琳. 地下结构振动台模型试验与数值模拟[D]. 上海:同济大学, 2012.
- [10] 谢定义. 土动力学[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1988.
- [11] CLOUGH R W, PENZIEN J. Dynamics of structures [M]. McGraw-Hill New York, 1993.

(责任编辑 王利君)

determination of the modulus of deformation of rock masses based on the GSI system[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 2004(41): 849-857.

- [5] PALMSTROM A. Characterizing rock masses by the RMI for use in practical rock engineering—Part 1: The development of the rock mass index (RMI) [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1996, 11(2): 175-188.
- [6] HOEK E, BROWN E T. Practical estimates of rock mass strength [J]. Int J Rock Mech Min Sci, 1997, 34(8): 1165-1168.
- [7] HOEK E, CARRANZA T C, CORKUM B. Hoek-Brown failure criterion [C]//2002 edition. Proceedings of the fifth North American rock mechanics symposium, 2002: 267-273.

(责任编辑 王利君)