

挑梁计算方法的可靠度分析

张保善 霍 达 *

(土 建 系)

提 要

本文简单地介绍了挑梁的习惯设计方法和新建议的设计方法,并根据挑梁专题组二十八个挑梁的试验结果,参照国家《建筑结构设计统一标准》的设计原则,对设计方法的可靠度水平进行校准分析。结果表明,习惯设计方法既不合理也太保守,新设计方法是经济合理可靠的设计方法。

在砖墙中砌筑的钢筋混凝土挑梁是建筑工程中广泛应用的一类小型构件。其设计方法是根据各地的实际经验而定,在我国砖石结构设计规范中(GBJ3—73)也未列出具体的设计方法,仅提供了抗倾复验算的总安全系数 $K = 1.5$ 。近年来规范组组织了挑梁专题研究组(郑州工学院,核工业部第五设计研究院)专门进行了挑梁设计方法的试验研究和理论分析(包括电算的大量分析),提出了比较合理的设计方法。现根据我国最新制定的“建筑结构设计统一标准”中规定的设计原则和可靠度分析方法,对习惯设计法和最新建议设计方法进行可靠度水平的分析。

一、挑梁的设计方法

设计砌筑在墙体中的钢筋混凝土挑梁时,往往是把挑梁看作为嵌固于墙体中的悬臂梁,在外荷作用下按钢筋混凝土悬臂梁进行梁自身正截面、斜截面强度计算,以保证梁的强度足够。另外,还必须保证梁和墙体的整体稳定性,不能发生梁的倾复破坏(这种现象在工程中时有发生)。有时也可能发生挑梁下砌体的局部承压破坏。在确定挑梁的最大内力(弯矩、剪力)时,必须首先确定挑梁的计算长度,在验算挑梁的稳定性时,必须确定挑梁倾复点的位置及抗倾复荷载的计算模式。习惯设计法计算模式如图1所示,其抗倾复荷载仅考虑挑梁上本层恒载(墙体和楼板等),倾复点取距墙边2cm处,即 $x_0 = 2\text{cm}$,于是:挑梁计算长度 $l = l_0 + x_0$ 。抗倾复力矩: $M_K = Q_K(l_K - x_0)$;倾复力矩: $M_Q = Pl + \frac{1}{2}ql^2$ 。根据现行规范设

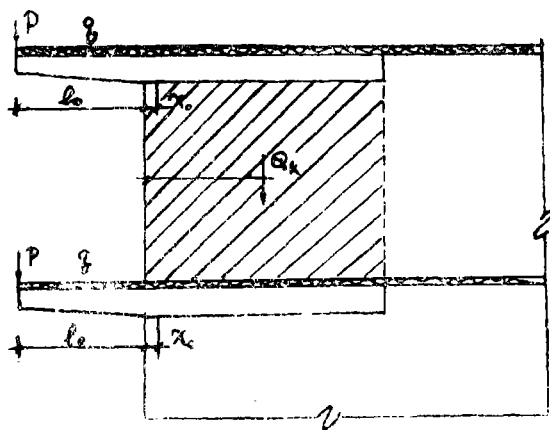


图1 习惯设计法计算简图

* 宋雅涵同志也参加了工作。

计方法,验算挑梁稳定时取:

$$\begin{aligned} K M_Q &\leq M_K \\ \text{设计挑梁时,} \quad M_{\max} &= M_Q. \\ Q_{\max} &= P + q l_0 \end{aligned}$$

根据挑梁专题组28个挑梁的试验研究,认为图1所示计算模式未考虑墙体的整体作用,挑梁倾复前将在挑梁尾部砌体中产生向后上方斜向发展的斜裂缝,其平均夹角(与竖向夹角)为 57° 方差为 9° 左右,另外挑梁倾复点的位置与挑梁的刚度密切相关,也必须反映在计算模式中。因此在试验研究基础上,经过理论分析和大量电算分析后,提出如图2所示计算模式,并确定挑梁倾复点的位置为: $x_0 = 1.254h^{3/4}$ (mm),这样,验算挑梁倾复的基本公式未变,但挑梁抗倾复荷载和倾复力距值都发生了变化。为说明上述计算方法是否合理、可靠,依据专题组28个挑梁试验数据,分析如下。

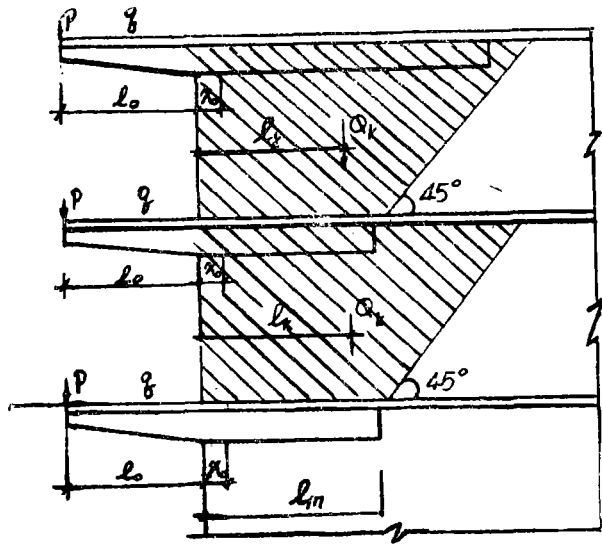


图2 新建议设计方法的计算模式图

二、影响挑梁倾复验算时可靠度的基本因素

根据图1,图2所示计算模式及验算挑梁倾复时的计算公式,在计算抗倾复荷载时主要考虑的是恒载,因此构件的尺寸及材料的容重自然影响到计算结果的准确性。另外,恒载和活载的作用也将影响荷载效应的计算结果,在抗力计算中计算模式确定后,倾复点的取值不确定性将反映在计算公式中,计算模式的不确定性可通过试验数据与计算结果的比较而反映出来。因此,影响挑梁倾复验算时可靠度的基本因素是,容重几何参数、荷载比值、计算模式等。挑梁的抗力可写为如下形式:

$$R = R_K \cdot K_A \cdot K_r \cdot K_p \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

K_A —几何参数的不定性;

K_r —材料容重的不定性;

K_p —计算模式的不定性;

R_K —按规定计算方法得到的构件抗力值。

根据随机变量函数统计参数的运算法则,可以写出抗力 R 的统计参数为:

$$K_R = \frac{R}{R_K} = K_a \cdot K_r \cdot K_p \quad \dots\dots (2)$$

$$\mu_R = R_K \cdot \mu_a \cdot \mu_r \cdot \mu_p \quad \dots\dots (3)$$

$$\mu_{KR} = \frac{\mu_R}{R_K} = \mu_{ka} \cdot \mu_{kr} \cdot \mu_{kp} \quad \dots\dots (4)$$

$$\delta_R = (\delta_a^2 + \delta_r^2 + \delta_p^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots (5)$$

式中: μ 表示平均值, δ 表示变异系数, 下角标表示随机变量。

三、抗力统计参数的确定

1、几何参数不定性:

在计算挑梁抗倾复荷载时,仅考虑本层楼盖及规定的砌体重量、其荷载大小受几何尺寸偏差或误差的影响,一般情况下,几何特征的不定性 K_a 可表达为:

$$K_a = \frac{\text{构件几何特征值 } a}{\text{构件几何特征标准值 } a_k} \quad \dots\dots (6)$$

从而,其平均值 μ_{ka} 和变异系数 δ_{ka} 为:

$$\mu_{ka} = \frac{\mu_a}{a_k}, \quad \delta_{ka} = \delta_a$$

我们参照砖砌体轴心受压情况,取 $\mu_{ka} = 1.0$, $\delta_{ka} = 0.02$ 。

2、材料容重的不定性:

计算的抗倾复荷载是指的材料自重,它受生产工艺,砌筑质量、尺寸误差等因素的影响而产生变异性,这种荷载属恒载。因此,我们参照“建筑设计统一标准”中恒载统计参数的取值,取

$$\mu_{kr} = 1.06, \quad \delta_{kr} = 0.07。$$

3、计算模式不定性

计算模式的不定性,主要是指基本假设的近似性和计算公式的不准确性等引起的对结构构件抗力估计的不定性,一般可通过抗力试验结果与计算结果的比较来确定。即计算模式不定性 K_p 可表达为:

$$K_p = \frac{R^s}{R^i}$$

式中, R^s 和 R^i 分别表示抗力 R 的试验结果和根据计算模式的计算结果。

在计算抗倾复力矩时,我们假定了荷载的取值方法及倾复点的位置,忽略了砌体裂缝末端处拉应力的影响,这都给计算结果带来不确定性,其试验的抗倾复力矩(M_k^s)与计算抗倾复力矩(M_k^i)的比值,即可反映这种不确定性。即:

$$K_p = \frac{M_k^s}{M_k^i} \dots\dots\dots (7)$$

根据图1习惯抗倾复荷载的计算方法,也可得到习惯方法的计算模式不定性统计参数。由我们试验的28根挑梁,得统计参数为:以梁尾砌体开裂作为极限状态时, $\mu_{kp}=2.67$, $\delta_{kp}=0.287$ 。以梁倾复作为极限状态时, $\mu_{kp}=3.51$, $\delta_{kp}=0.25$ 。若以我们建议的新计算方法,可得这两种情况下相应的统计参数分别为 $\mu_{kp}=1.249$, $\delta_{kp}=0.22$, $\mu_{kp}=1.597$, $\delta_{kp}=0.24$ 。

4、抗力的统计参数

(1) 以梁尾砌体开裂作为极限状态时:

按原计算方法:	$\mu_{kR}=2.83$
	$\delta_{kR}=0.296$
按建议方法:	$\mu_{kR}=1.324$
	$\delta_{kR}=0.232$

(2) 以挑梁倾复作为极限状态时:

按原计算方法:	$\mu_{kR}=3.72$
	$\delta_{kR}=0.26$
按建议方法:	$\mu_{kR}=1.693$
	$\delta_{kR}=0.25$

四、可靠度水平校核

可靠度指标 β 的计算和荷载比值 ρ 密切相关,针对挑梁工作的实际情况,我们选取活载与恒载的比值 $\rho = \frac{L}{D} = 0.1, 0.15, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0$ 暂且以恒荷加办公楼楼面活荷载为代表,恒载的统计参数为 $\mu_{SG}=1.06$, $\delta_{SG}=0.07$,办公楼楼面活荷载的统计参数为 $\mu_{SL}=0.7$, $\delta_{SL}=0.29$,在PC-1500计算机上计算各项可靠度指标 β 值的结果如下:

1、 $\mu_{kR}=2.83$, $\delta_{kR}=0.296$ 时, ($K=1.5$)

L/D	R_k	μ_R	μ_{SL}	δ_{SL}	β	$\bar{\beta}$
0.1	1.65	4.67	0.07	0.0203	4.65	4.77
0.15	1.73	4.90	0.105	0.050	4.69	
0.25	1.88	5.32	0.175	0.051	4.74	
0.50	2.25	6.37	0.35	0.102	4.86	
0.75	2.63	7.44	0.525	0.152	4.85	
1.0	3.00	8.49	0.7	0.203	4.81	

$$2、\mu_{KR}=1.324 \quad \delta_R=0.232 (K=1)$$

L/D	R _K	μ_R	μ_{SL}	σ_{SL}	β	$\bar{\beta}$
0.1	1.1	1.456	0.07	0.0203	0.97	1.249
0.15	1.15	1.523	0.105	0.030	1.027	
0.25	1.25	1.650	0.175	0.051	1.139	
0.50	1.50	1.986	0.350	0.102	1.341	
0.75	1.75	2.317	0.525	0.152	1.468	
1.00	2.00	2.648	0.70	0.203	1.550	

$$3、\mu_{KR}=3.72 \quad \delta_R=0.26 (K=1.5)$$

L/D	R _K	μ_R	μ_{SL}	σ_{SL}	β	$\bar{\beta}$
0.1	1.65	6.138	0.07	0.0203	6.302	6.303
0.15	1.73	6.436	0.105	0.030	6.353	
0.25	1.88	6.994	0.175	0.051	6.427	
0.50	2.25	8.37	0.350	0.102	6.389	
0.75	2.63	9.78	0.525	0.152	6.238	
1.00	3.00	11.16	0.70	0.203	6.106	

$$4、K_R=1.693 \quad \delta_{KR}=0.25 (K=1.5)$$

L/D	R _K	μ_R	μ_{SL}	σ_{SL}	β	$\bar{\beta}$
0.1	1.65	2.793	0.07	0.0203	3.27	3.457
0.15	1.73	2.929	0.105	0.030	3.325	
0.25	1.88	3.183	0.175	0.051	3.416	
0.5	2.25	3.809	0.35	0.102	3.546	
0.75	2.63	4.453	0.525	0.152	3.584	
1.00	3.00	5.079	0.70	0.203	3.581	

由上述计算结果可以看出,按原设计方法的可靠度指标 β 很大,也就是说失效概率很小,说明原设计方法在抗倾复荷载取值方面偏予保守,与实际情况差别较大,不合理。按建议方法,若以砌体开裂作为极限状态, $\bar{\beta}=1.249$,符合建筑设计统一标准的要求,若以倾复作为极限状态, $\bar{\beta}=3.457$,与建筑结构统一标准的要求下限相符,也可通过。说明建议设计方法即可靠又合理。(下转44页)

建议当 $Q \leq Q_{\min}$ 时,如采用Ⅰ级钢做纵向受力筋,经济跨高比取15~17;如采用Ⅱ级钢为纵向受力筋,经济跨高比取12~16。当 $Q > Q_{\min}$ 时,梁的经济跨高比取16~17。

3、计算经验表明,就我院原有的设计水平,采用本文提出的优化设计法,梁的造价约下降5%左右。这说明采用优化技术的现代设计法将具有巨大的经济效益。

限于作者理论水平和实际设计经验,不妥之处敬请赐教。同时在此对任军员、张宝善、黄振国、张省吾各位老师的有益讨论和支持帮助表示谢意。

参 考 文 献

- [1] L.L.Friel: "Optimum Singly reinforced concrete Section" .Journal of A.C.I.,Vol.71 No.11 Nov.1974.
- [2] 长尚: "钢筋混凝土矩形梁的优化设计" 土木学会研究论文报告集 No.197, 1976,
- [3] 长尚: "钢筋混凝土T形梁的优化设计" 土木学会研究论文报告集 No.258, 1977-2.
- [4] S.R.Adidam; N.G.R.Iyengar Z.G.V.Narayanan: "Optimum design of T-beam and grid floors" Journal of Structural Engineering, Vol.6, No.3, Oct.1978.
- [5] 锻炼、王文长: "钢筋混凝土矩形及T形梁的最优设计" 《太原工学院专题资料65》 1980年12月
- [6] 钢筋混凝土结构教研室优化科研小组: 《钢筋混凝土结构优化设计文集》西安冶金建筑学院科研处 1980年12月。
- [7] 沈德植: "钢筋混凝土矩形截面梁的最优设计" 辽宁建筑工程学院 1980年10月
- [8] 姚海澄: "钢筋混凝土梁板结构最优设计" 《建筑技术通讯——建筑结构》 1983年第4期。
- [9] 蒋大骅: "钢筋混凝土受弯构件的允许跨高比" 《建筑技术通讯——建筑结构》 1985年第1期。

(上接32页)

五、结 论

通过以上对挑梁稳定性可靠度水平的分析表明:

- 1、原设计方法的抗倾复荷载、倾复点位置取值不合理,特别是抗倾复荷载取值偏小,十分保守,设计不经济,计算模式不合理。
- 2、以试验研究为基础提出的新设计方法,即合理又可靠。
- 3、由于挑梁下砌体局压计算方法未有足够试验数据,未进行可靠度分析。整个挑梁结构的可靠性问题还有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] "砖石结构规范组" 钱义良等 无筋砌体结构抗力不定性和结构可靠度校准
- [2] "砖石规范" 管理组 钱义良等 砌体强度的变异和抗力分项系数
- [3] "建筑结构设计统一标准" (草案) 1983 北京
- [4] 哈尔滨建筑工程学院唐岱新等: 砖砌体局部受压可靠度水平的校准分析