

钢筋混凝土挑梁倾覆计算方法探讨

土建系 宋雅涵 执笔*

在一般混合结构建筑物中,常常要用到钢筋混凝土挑梁。如做住宅的阳台、外走廊的承重构件等。这种构件一部分砌入墙内,一部分外挑出来,挑出部分放上楼板即可使用,如图1所示。

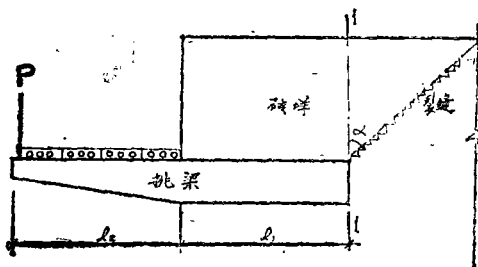


图1

虽然钢筋混凝土挑梁在建筑中用途十分广泛,但在“砖石结构设计规范(GBJ3-73)”及其设计手册中,对这种构件倾覆的计算方法,没有明确规定。由于编制通用图的需要,前几年,我们和二机部第五设计院等单位合作,前后进行了18根钢筋混凝土挑梁倾覆破坏试验,取得了一些成果,现就挑梁倾覆计算中一些问题,提几点看法:

一、关于挑梁倾覆时的破坏角度

在挑梁设计中,挑梁上部砌体,有多大面积自重参加抗倾覆工作,即抗倾覆荷载如何取值问题,国内外资料很少有明确论述,有些设计人员取垂直挑梁以上(即1-1截面左侧 $\alpha=0$)的砌体重量作为抗倾覆荷载。这样显然是偏于保守的。大多数同志认为:挑梁倾覆破坏,是在梁端沿与垂直线成某一个角度 α 发生的(如图1)通过大量的挑梁倾覆破坏试验,我们得到了挑梁倾覆破坏角 α 的定量数值。挑梁试件的破坏角 α 值详见表1。

从表1中我们看出:砌体的倾覆破坏角 α ,一般均大于 45° ,16根梁中,只有用4号砂浆(TL1-1)砌体 α 值,小于 45° 。因此我们认为:钢筋混凝土挑梁,其抗倾覆荷载值,可取梁端与沿垂线成 45° 以上的砌体自重,以及此范围内的一层楼板自重。

从表1中还可以看出:

(1)砂浆标号对倾覆 α 角有影响,在其他条件相同的情况下,砂浆标号愈高, α 角也愈大,即抗倾覆能力愈大。

(2)梁上砌体高度对 α 也有较大影响,梁上砌体愈高, α 值随着增大,以上这些规律可以为我们改善挑梁抗倾覆能力,提供条件。

二、关于挑梁的倾覆点位置

在挑梁倾覆计算中,取哪一个点为力的平衡点(严格说应是一个截面),这也是挑梁倾覆计算中的一个重要问题。这个问题,规范和手册也没有规定,有的资料认为,倾覆点在墙里边2~4cm。有的设计单位,就取墙边为倾覆点。通过试验,我们认为以上看法与实际

* 参加挑梁试验并整理资料的有:冯天然、张金岭、龚绍熙等

挑梁试件的破坏角 α 定量数值表

表 1

挑梁编号	挑梁断面 (b×h)cm ²	伸入墙长 (M)	挑出长度 (M)	梁上墙高 (M)	砂浆标号 (kg/cm ²)	初见裂缝荷载 (kg)	破坏荷载 (kg)	破坏角度 (α)	备 注
TL0-1	20×35	2.62	1.88	1.5	30	2250	3375	53°37'	1976年试验
TL0-2	20×35	2.62	1.88	2.0	53	2600	3350	52°	
TL0-3	24×40	2.12	1.88	2.0	60	3100	4100	52°	
TL0-4	24×40	2.12	1.88	2.0	100	4100	4850	57°23'	
TL1-1	24×35	2.0	2.0	2.0	4	1300	2350	41°38'	砂浆标号不同因基 础沉陷过大未测出 α 角
TL1-2	24×35	2.0	2.0	2.0	10	1600	2200	/	
TL1-3	24×35	2.0	2.0	2.0	25	2800	3100	62°10'	
TL2-1	24×35	2.0	2.0	1.5	58	2200	2800	45°	梁上墙高不同
TL2-2	24×35	2.0	2.0	2.5	45	2800	4460	62°51'	
TL3-1	24×30	2.0	2.0	2.0	50	2500	3100	45°	挑梁断面不同
TL3-2	24×50	2.0	2.0	2.0	32	3200	3500	48°07'	
TL4-1	24×35	1.0	2.0	2.0	50	1000	1150	55°	伸入墙内长度不同
TL4-2	24×35	3.0	2.0	2.0	65	2800	3980	54°51'	
TL5-1	24×35	2.0	2.0	2.0	30	3400	3850	49°17'	楼板上砌墙
TL5-2	24×35	2.0	2.0	2.0	27	3400	4000	50°36'	
TL5-3	24×35	2.0	2.0	/	/	/	1450	/	梁上只有楼板
TL6-1	24×35	2.0	2.0	2.0	65	2500	3100	50°39'	梁下砖墙为T形
TL6-2	24×35	2.0	2.0	2.0	65	2500	3100	45°	

平均 $\alpha = 52°07'$

情况有一些出入，而且是偏于不安全方面。现在我们通过试验资料，对挑梁应力应变状态作一些分析。我们同样假定砌体的变形（沉降）与应力之间成线性关系。当外荷载较小时，上下界面场有异号应力，如图2所示。

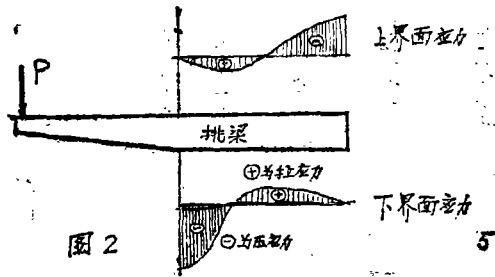


图2

外荷载增加，拉应力也随之增大，当拉应力超过砌体抗拉强度时，梁上下界面即出现裂缝，砌体受拉区退出工作，砌体只有压应力。如图3b所示，为了简化计算，我们以直线应力图形来代替曲线应力图形。这时我们即认为，倾覆点就在挑梁下界面合力 N 的作用点 O 上，通过对一些试件实测数据整理，我们得到梁下压应力分布长度 S ，及 $S/3$ 一些数据，兹列表如下：

表2 挑梁下界面应力分布长度

试件编号	百分表测定 mm	手持应变仪测定 (S) mm	倾覆点位置 (S/3) mm
TL3-1	380	390	130
TL3-2	450	365	120
TL4-1	700	500	170
TL4-2	940	660	220
TL5-1	510	480	160
TL5-2	675	630	210
TL6-1	500	460	150
TL6-2	460	390	130

注：因百分表测得长度未扣除砌体沉降，故以手持应变仪所测定数据为准。

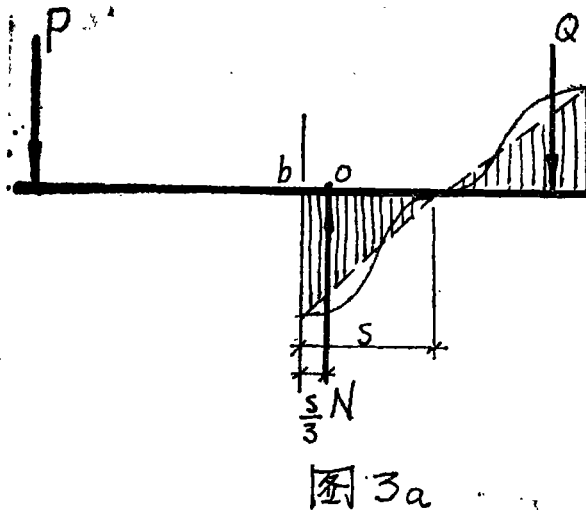


图3a

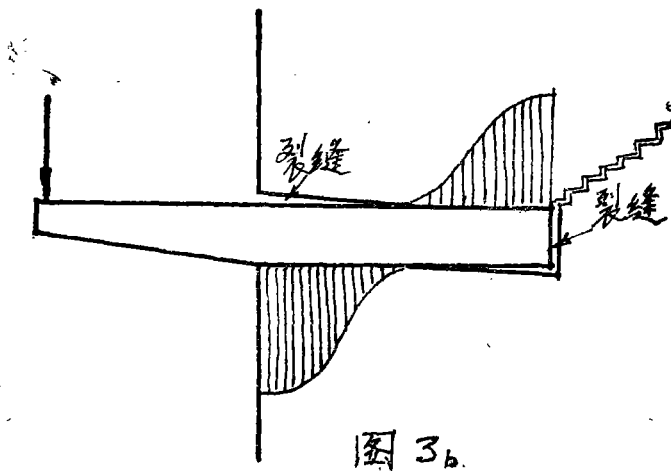


图3b

表2所列数据，仅是一部分试件数据。从18根试件测试数据统计，挑梁倾覆点距墙边长度约为10~25cm。试验表明：倾覆点的位置与梁的刚度和砌体强度有关。我们假定倾覆点的位置取 $S/3$ ，与实际情况是否符合呢？让我们用试验来验证，例如试件TL4-2，当荷载 P 加到3980Kg时，试件恰好处于平衡状态，斜裂缝开展较大，但尚未倾覆，如图4所示。

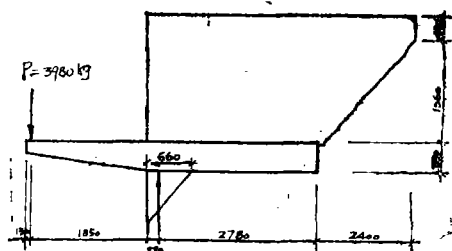


图 4

从图 4 中可以看出, 应力分布长度 $S = 660\text{mm}$, $S/3 = 220\text{mm}$, 为了节约篇幅, 不再详列式子, 计算倾覆力矩与抗倾覆力矩数值, 其计算结果为: 倾覆力矩 $M_Q = 8.57\text{t-m}$, 抗倾覆力矩 $M_k = 8.61\text{t-m}$, 二者基本相等。说明以上假定与试验基本符合。

三、砌体抗拉强度（即灰缝）在抗倾覆中的作用

过去我们认为: 砌体的抗拉强度在抗倾覆构件中有相当大的作用, 但是经过我们对试件测定, 证明砌体抗拉强度（即灰缝作用）对挑梁的抗倾覆能力, 没有明显的提高, 通过计算也表明, 构件倾覆时, 砌体的抗拉应力, 只有砌体抗拉强度 R_t 的十分之一左右, 如果假定挑梁倾覆时, 砌体应力达到抗拉强度 R_t , 则灰缝应力分布长度仅在 $10 \sim 20\text{cm}$ 之间。详细计算可参阅“钢筋混凝土挑梁倾覆试验研究报告一、二”。因此, 为了简化挑梁计算, 建议挑梁倾覆计算中不考虑灰缝拉应力的作用, 这样对设计是偏于安全的。

四、挑梁倾覆计算两点建议

1) 倾覆计算, 通过挑梁倾覆试验, 我们得到了挑梁压应力分布长度的大致范围, 从而可以找到倾覆点距墙边的距离。为了计算方便, 将计算公式作如下推导, 令:

M_Q^o 为外荷载对倾覆点 O 的力矩（倾覆力矩） M_Q^b 为外荷载对墙边 b 的力矩。

M_k^o 为抗倾覆荷载（砖墙楼板的自重等）对 O 点的力矩（抗倾覆力矩）

M_k^b 为抗倾覆荷载对墙边 b 的力矩。（ O 点及 b 点位置详见图 3）

力 矩 比 较 表

表 3

试件编号	$\frac{S}{3}$ mm	M_Q^o t-M	M_Q^b t-M	$\frac{M_Q^o}{M_Q^b}$	M_k^o t-M	M_k^b t-M	$\frac{M_k^o}{M_k^b}$
TL3-1	130	6.40	5.97	1.07	4.00	4.39	0.91
TL3-2	120	7.20	6.79	1.06	5.36	5.86	0.92
TL5-1	160	8.06	7.39	1.09	6.49	7.28	0.89
TL5-2	210	8.57	7.66	1.12	7.42	8.46	0.88
TL6-1	150	6.51	5.99	1.09	4.84	5.33	0.91
TL6-2	130	6.44	5.99	1.08	3.97	4.35	0.91
TL4-2	220	8.57	7.62	1.12	8.61	9.57	0.91

平均 1.09

平均 0.90₄

现将 TL3-1 等七根挑梁 $M_Q^o, M_Q^b, M_k^o, M_k^b$ 的计算结果及其比值列于表 4。从表 4 中, 我们看出 M_Q^o 与 M_Q^b 的比值在 1.06~1.12 之间, M_k^o 与 M_k^b 的比值在 0.08~0.92 之间, 我们取:

$$\frac{M_Q^o}{M_Q^b} = 1.1, \quad \frac{M_k^o}{M_k^b} = 0.90 \quad \text{挑梁倾覆计算应满足下式:} \quad M_k^o \geq K M_Q^o$$

K 为倾覆安全系数, 规范规定 $K=1.5$

将 $M_k^o = 0.9 M_k^b$ 及 $M_Q^o = 1.1 M_Q^b$ 代入上式得,

$$0.9 M_k^b \geq 1.5 \times 1.1 M_Q^b$$

我们建议挑梁倾覆计算按下式进行

$$M_k^b \geq K_{T1} M_Q^b \quad (1)$$

式中: K_{T1} 为挑梁倾覆计算时的安全系数

其值为 $K_{T1} = \frac{1.5 \times 1.1}{0.9} = 1.833$ 取 $K_{T1} = 2.0$

M_k^b 为抗倾覆荷载对墙的力矩。

M_Q^b 为外荷载对墙边的力矩。

公式 (1) 提高了挑梁倾覆计算的安全度、又照顾到对墙边取矩的习惯作法。使计算既方便又可靠。

2) 局部承压验算

在挑梁设计中, 局部承压强度验算也是一项重要内容, 设计中不仅要保证挑梁倾覆的安全度, 而且要保证砌体局压强度。在试验中, 挑梁倾覆时, 有一些试件局部承压也已破坏, 通过试验, 我们发现, 破坏荷载 P 与砖墙支承力 N 存在一定关系, 如表 4 所示。

破坏荷载部与砖墙支承力 N 关系表

表 4

试件编号	P (kg)	Q (kg)	梁 自 重 (kg)	$N = P + Q + G$ (kg)	$\frac{N}{P}$
TL3-1	3100	2595	630	6325	2.04
TL3-2	3500	3970	990	8460	2.42
TL4-2	3980	3765	720	8465	2.13
TL5-1	3850	3990	720	8560	2.22
TL5-2	4000	4715	720	9435	2.36
TL6-1	3100	2880	720	6700	2.16
TL6-2	3100	2250	720	6070	1.96

平均 $\frac{N}{P} = 2.184$

从表4中, 我们看出, 这几个试件的N值, 都在破坏荷载P值的两倍以上, 我们取:

$$N = 2.2P$$

挑梁局部承压应满足下式:

$$K \cdot N \leq \mu_c \cdot A_c \cdot R \quad (\text{GBJ 3-73式(5)})$$

将 $N = 2.2P$ 代入得

$$K \times 2.2 \cdot P \leq \mu_c \cdot A_c \cdot R$$

$$\text{令 } K_{T_2} = K \times 2.2 = 2.3 \times 2.2 \approx 5.0$$

则得:

$$K_{T_2} P \leq \mu_c \cdot A_c \cdot R \quad (2)$$

式中:

R为砌体抗压强度。

P为挑梁设计荷载(纵向力)

K_{T_2} 为挑梁局部承压安全系数。 $K_{T_2} = 5.0$

μ_c 为砌体局部抗压强度修正系数 μ_c 可采用0.75

$A_c = S \times d$ ——局部承压面积

d为砌体厚度, 以厘米计算。

S为挑梁下应力分布长度, 从试验结果看S一般为40~70cm

通过试验, 我们认为, 应力分布长度 $S = L_1/s$ 时, (L_1 为挑梁伸入墙内长度)若(2)式得到满足, 则梁下局部承压是没有问题的。

限于笔者水平, 文中不妥之处, 请同志们批评指正。

1980.6.30日于郑州

参 考 资 料

“钢筋混凝土挑梁倾覆试验研究报告(一)、(二)”二机部五院、市建二公司、
郑州工学院土建系。

砖石结构设计规范、 砖石结构设计手册