

# 煤矸石砼梁抗剪强度讨论\*

陈 本 沛

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

**摘要** 在试验基础上对煤矸石砼梁抗剪强度的特点和主要参数进行讨论, 并提出相应计算公式。

**关键词** 煤矸石, 砼梁, 抗剪强度, 应变梯度, 塑性影响系数

**分类号** TU 528.202

文[1]指出钢筋煤矸石砼梁的抗剪强度, 比普通骨料的钢筋砼梁偏低的试验结果。随着梁截面高度增大, 试验值比计算值低得更多。国外许多试验也都得出轻骨料砼梁的抗剪强度明显低于普通砼这一结果, 对此有些学者认为这是由于轻骨料砼的抗拉强度低所造成的。但是, 国外的劈拉试验证明在多数情况下轻骨料砼的抗拉强度同普通砼的一样高<sup>[2]</sup>。另外, 只考虑抗拉强度的影响, 不能解释随梁截面高度增大抗剪强度降低这一现象。本文将对影响煤矸石砼梁抗剪强度的因素进行较全面的讨论, 对某些计算参数提出建议。

## 1 煤矸石钢筋砼梁抗剪强度的主要影响因素及计算参数的选择

以我们试验的三分点对称集中荷载为例。当无弯起钢筋时, 文[3]的计算公式为

$$V = \frac{0.2}{\lambda + 1.5} b h_0 f_c + 1.25 \frac{A_{sv}}{s} h_0 f_{yv} + 0.05 N_{p0}, \quad (1)$$

式中各符号的意义同文[3]。其中, 第一项表示砼剪压区抗剪强度, 其参数形式表示该抗剪强度与砼单轴抗压强度  $f_c$  成线性正比关系, 在历次修订规范中都沿用了这一个参数形式。近年来, 一些试验结果指出钢筋砼梁抗剪强度不与  $f_c$  的一次方成正比, 并以  $f_t$  代替  $f_c$  作为计算参数。采用  $f_c$  或  $f_t$  作为计算参数对计算结果并无显著影响, 因为在一般情况下  $f_t \approx 0.1 f_c$ , 而且公式前面的系数又是由试验结果经统计计算得出。但其概念已有所不同。对剪压区砼, 实际上是受剪又受压的一种复杂应力状态, 而不是单轴受压, 其破坏标志是砼主拉应力达到其抗拉强度(或主压应力达到抗压强度)。由于砼抗拉强度远低于抗压强度, 当剪力较大时一般为主拉应力破坏, 而梁斜截面破坏又发生在剪力较大处, 所以用抗拉强度要比用抗压强度作为计算参数合理。当然, 复杂应力状态下的抗拉强度又不同于单轴受拉, 如用强度理论精确分析因问题比较复杂, 目前尚难解决。但是, 可定性判定砼复杂应力状态下的抗拉强度, 会随单轴抗拉强度的提高而提高。梁抗剪能力与  $f_t$  成线性关系的试验结果, 也间接地证明了这一点。如前

\* 本文 1994-03-13 收到, 福建省自然科学基金资助项目

所述,这个结论并不能直接用于轻骨料砼,因为轻骨料砼梁在抗拉强度与普通砼相同的情况下,抗剪能力却低于普通砼梁.其原因显然与轻骨料砼的材料性能有关.

我们曾在文[1]中指出,煤矸石砼梁斜裂缝出现较早,开展较快,使剪压区高度减少,从而抗剪强度下降.这里需注意的是,梁中砼的拉应力不是均匀的,梁内某点应力达到砼抗拉强度时,梁不会立即开裂或破坏.此时,梁中将产生应力重分布,且其能力决定于砼的塑性性能,通常以塑性影响系数 $\gamma$ 值表示. $\gamma$ 值越大,砼塑性性能越好,抗剪强度越高.关于 $\gamma$ 值,我们在文[4]中给出表达式为 $\gamma = \xi_1 \xi_2 \xi_3 \gamma_0$ ,式中各符号意义同文[4]. $\gamma$ 值与构件截面的应变梯度有关,应变梯度随截面高度增大而减小,从而使 $\gamma$ 值变小.应变梯度还与构件受力特性有关(即 $\gamma_{\text{轴压}} > \gamma_{\text{弯}} > \gamma_{\text{拉}}$ ).此外, $\gamma$ 值还随砼强度等级提高而下降,反映了高强砼塑性差的特点.由以上分析可见, $\gamma$ 值即反映了不同骨料、不同受力构件和砼强度对梁抗剪强度的影响,还使抗剪强度随截面高度增大而下降这一现象得到合理解释.可见, $\gamma$ 值对梁抗剪强度计算是一个重要的参数,因此建议用 $\gamma_t$ 代替 $f_c$ 作为计算参数.

通常取 $f_t = 0.1f_c$ ,文[2]取 $\gamma$ 为常数( $\gamma = 1.75$ ),于是式(1)的第一项可改为 $\frac{2\gamma}{1.75(\lambda+1.5)}$   
 $bh_0f_t = \frac{1.14\gamma}{\lambda+1.5}bh_0f_t$ .对常用的砼等级(C20,C25)及常用的梁高(400~600 mm),可粗略取煤矸石砼的 $\gamma$ 值为1.34<sup>[4]</sup>,则上式变为 $\frac{1.5}{\lambda+1.5}bh_0f_t$ .于是式(1)变为

$$\frac{1.14\gamma}{\lambda+1.5}bh_0f_t + 1.25 \frac{A_{sv}}{s}bh_0f_{yv} + 0.05N_{p0}, \quad (2)$$

$$\frac{1.5}{\lambda+1.5}bh_0f_t + 1.25 \frac{A_{sv}}{s}bh_0f_{yv} + 0.05N_{p0}. \quad (3)$$

用式(2)计算试验的17根梁,抗剪强度试验值与计算值之比的平均值 $\bar{x} = 1.17$ , $C_v = 0.19$ (附表),试验梁的有关参数见文[1].计算结果相对式(1)较为安全,尤其是 $C_v$ 值大大减小,这说明选用 $\gamma$ 这个参数是比较恰当的.与普通砼相比, $\bar{x}$ 仍有些偏小,这说明煤矸石砼梁抗剪强度低还有另外原因.

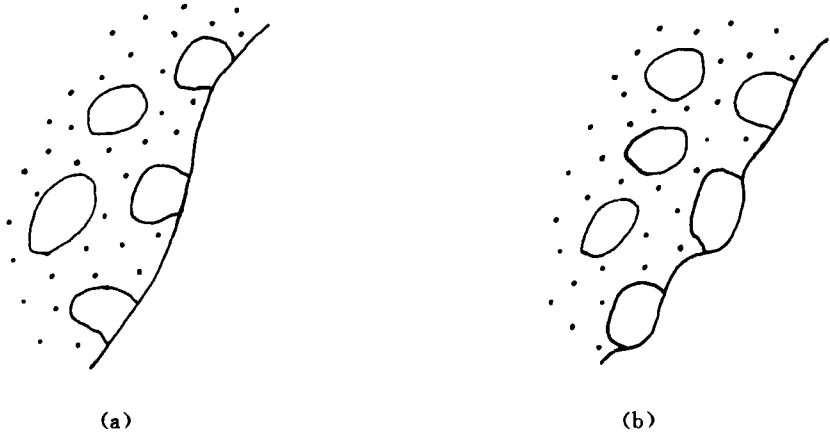
附表 抗剪强度试验结果计算值比较

梁号	$\lambda$	$V_t^*/\text{kN}$	$V_{t1}/\text{kN}$	$V_t^*/V_{t1}$	$V_{t2}/\text{kN}$	$V_t^*/V_{t2}$	$V_{t4}/\text{kN}$	$V_t^*/V_{t4}$
M <sub>2-1</sub>	2.99	117.41	85.12	1.38	70.20	1.67	65.85	1.78
M <sub>2-2</sub>	2.96	120.91	87.68	1.38	71.68	1.69	67.44	1.79
M <sub>5-2</sub>	2.96	90.91	86.50	1.05	72.46	1.25	67.17	1.35
M <sub>6-1</sub>	2.86	98.93	90.42	1.09	75.82	1.30	70.18	1.41
M <sub>6-2</sub>	2.86	100.90	99.93	1.01	79.09	1.27	73.45	1.37
M <sub>8-1</sub>	2.55	104.96	113.15	0.93	91.75	1.14	85.45	1.23
M <sub>8-2</sub>	2.67	118.40	107.51	1.10	86.67	1.37	80.63	1.47
M <sub>10-1</sub>	2.60	96.95	113.00	0.86	92.00	1.05	85.78	1.13
M <sub>10-2</sub>	2.65	98.93	111.83	0.88	90.33	1.10	84.26	1.17
M <sub>11-1</sub>	2.61	90.92	111.73	0.81	90.53	1.00	84.36	1.08
M <sub>11-2</sub>	2.67	85.89	99.56	0.86	83.84	1.02	77.80	1.18
M <sub>12-1</sub>	2.69	82.89	114.28	0.73	89.11	0.93	83.13	1.00

续附表

梁号	$\lambda$	$V_f^*/\text{kN}$	$V_{f_1}/\text{kN}$	$V_f^*/V_{f_1}$	$V_{f_2}/\text{kN}$	$V_f^*/V_{f_2}$	$V_{f_4}/\text{kN}$	$V_f^*/V_{f_4}$
$M_{12-2}$	2.58	90.92	126.93	0.72	96.17	0.95	89.92	1.01
$M_{14}$	2.91	102.40	139.60	0.73	104.91	0.98	97.53	1.05
$M_{15}$	2.46	128.60	177.40	0.72	129.58	0.99	120.86	1.06
$M_{16}$	2.67	137.30	182.89	0.75	129.34	1.06	121.80	1.13
$M_{17}$	2.35	159.60	222.14	0.72	153.35	1.04	144.80	1.10
$\bar{x}$			$\bar{x}=0.92$		$\bar{x}=1.17$		$\bar{x}=1.25$	
$C_v$			$C_v=0.24$		$C_v=0.09$		$C_v=0.18$	

式(1)的第二项主要是箍筋的抗剪能力,但 1.25 这个系数中则包括了纵筋销栓力、骨料咬合力、斜裂缝倾角等影响. 其中,箍筋承担的剪力约占总剪力的 50%~65%,骨料间咬合力承担的剪力约占总剪力的 4%<sup>[5]</sup>,咬合力对式(1)第二项的贡献约为 10%~30%,可见咬合力的影响是不容忽视的. 对咬合力的专门研究,国内几乎没有进行,国外虽有些研究,也很不深入. 文[5]提出,咬合力之合力作用在纵向钢筋与斜裂缝的交点处,并采用把咬合力与纵向钢筋销栓力合在一起,通过斜裂缝顶点以上和以下截面的平衡条件建立方程组,再由计算机求解. 所得结果并没有把咬合力和纵筋销栓力分开,而且计算复杂、不便应用,因此在实用上还是以规范的形式,采用综合性系数较方便. 对于煤矸石砼,其咬合力的机理与普通砼有本质不同. 如采用相同的表达方式,综合系数则不再是 1.25. 对于普通砼,骨料强度远大于砂浆的强度,在斜裂缝表面处骨料可突出于表面(附图 a). 突出的骨料将阻止斜裂缝两侧相对滑移,此即所谓咬合力,其机理类似于变形钢筋与砼间的粘结强度. 轻骨料的颗粒强度低于砂浆强度,斜裂缝将穿过骨料,在斜裂缝表面无骨料突出表面(附图 b),这点已为各种轻骨料砼的试验所证实. 在这种情况下,咬合力的大小取决于裂缝面间的摩擦力,其机理类似于光圆钢筋与砂浆的粘结. 两种情况下的粘结强度相差很大,前者最大可达  $0.4f_{cu}$ ,后者仅为  $0.14f_{cu}$ <sup>[6]</sup>.



附图 骨料咬合示意图

目前,对于咬合力尚无直接的试验方法. 参照上述两种钢筋与砼的粘结强度,轻骨料砼的咬合力约占普通砼的 35%,即降低 65%,引起系数 1.25 降低约 7%~20%,属偏安全可取上

限计算,则综合系数降为 1.0. 于是式(2),(3)分别变为

$$\frac{1.14\gamma}{\lambda+1.5}bh_0f_1 + \frac{A_{sv}}{s}h_0f_{yv} + 0.05N_{p_0}, \quad (4)$$

$$\frac{1.5}{\lambda+1.5}bh_0f_1 + \frac{A_{sv}}{s}h_0f_{yv} + 0.05N_{p_0}. \quad (5)$$

试验值与式(4)计算值之比的平均值为  $\bar{x}=1.25$ ,  $C_v=0.18$ . 这个结果是令人满意的.

关于预应力的影响,普遍认为预应力可以推迟斜裂缝的形成和扩展,以及加大剪压区高度,从而提高抗剪强度. 但预应力对轻骨料砼构件的影响又不同于普通砼构件,如前所述,轻骨料砼的咬合力是以摩擦力形式出现的,预应力可以加大斜裂缝面上的正压力,使摩擦力大大提高,从而使咬合力的贡献加大. 普通砼的咬合力不是靠摩擦力,而是靠骨料的机械咬合,预应力的影响则不如轻骨料砼构件显著. 由于定量分析较困难,建议暂不考虑这一有利因素,而采用式(4)或式(5)作为轻骨料砼梁抗剪强度计算公式.

## 2 结论

轻骨料砼由于塑性较差导致抗剪强度降低,用  $\gamma f_1$  作为抗剪强度计算参数比  $f_c$  较为合理. 轻骨料砼的咬合力低于普通砼,抗剪强度计算公式中的综合系数建议取 1.0.

## 参 考 文 献

- 1 陈本沛,赵国藩. 煤矸石部分预应力砼梁试验研究. 结构工程学报,1991,(3-4),438~443
- 2 中国建筑科学研究院. 国外轻骨料砼应用. 北京:中国建筑工业出版社,1982. 25~125
- 3 中国建筑科学研究院. GBJ 10-89 砼结构设计规范. 北京:中国建筑工业出版社,1989. 57~61
- 4 陈本沛. 钢筋轻骨料砼及预应力钢筋轻骨料砼抗裂度计算公式. 建筑结构,1986,(1):26~26
- 5 格沃兹捷夫 A A 著. 钢筋砼强度问题新论. 张祖先译. 北京:中国建筑工业出版社,1982. 84~84
- 6 王传志,滕志明. 钢筋砼结构理论. 北京:中国建筑工业出版社,1985. 257~260

## The Shear Strength of a Coal Gangue Concrete Beam

Chen Benpei

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** In relation to the shear strength of a coal gangue concrete beam, the characteristic and primary parameters are discussed on the basis of test results, and a computing formula is presented.

**Keywords** shear strength, coal gangue, concrete beam, strain gradient, plastic influence coefficient