

630629

5573

5/1012

钢筋混凝土构件抗剪强度

П.И.瓦西利耶夫 著
〔苏联〕 О.А.罗奇尼亚克
李 鸿 猷 译



3

012

人民交通出版社

钢筋混凝土构件抗剪强度

П.И.瓦西利耶夫
〔苏联〕 O.A.罗奇尼亚克 著

李 鸿 猷 译

人 民 交 通 出 版 社

钢筋混凝土构件抗剪强度

П.И.ВАСИЛЬЕВ, О.А.РОЧНЯК
СОПРОТИВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ПОПЕРЕЧНЫМ СИЛАМ
МИНСК «НАУКА И ТЕХНИКА» 1978

本书根据苏联明斯克科学技术出版社1978年俄文版本译出

李鸿猷 译

人民交通出版社出版
(北京市安定门外和平里)
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
大兴县印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 3.125 字数: 66 千

1981年11月 第1版

1981年11月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—9,400 册 定价: 0.52元

内 容 简 介

在钢筋混凝土构件设计中，剪力作用下的计算是基本内容之一。

正确估计钢筋混凝土构件斜截面强度，可在很大程度上决定结构的经济性和最小的钢材用量。但是，国内外迄今还没有一种“剪切区”计算方法能给出接近于实际的结果。本书首次系统地整理和总结了阐明此课题的最有代表性的试验研究资料。阐述了钢筋混凝土构件沿斜截面破坏的形式和耗尽“剪切区”承载力的机理。分析了斜截面强度计算基本方法及各种因素对“剪切区”承载力的影响。

本书可供建筑、水利、公路、城建等各方面从事工程建设的技术人员及科学工作者采用，也可供高等院校有关专业的师生参考。

译 序

钢筋混凝土构件的抗剪强度是工程设计中尚未完善解决的问题。本书较系统地总结和评述了近代国外若干富有代表性的有关试验研究资料和计算方法，得出了一些新的结论，分析了腹筋各种配置方案的效果，讨论了纵向钢筋和混凝土间的粘结力、斜裂缝的咬合力等对“剪切区”承载力的影响，是一本有实用参考价值的书。

书中也讨论了自五十年代以来受到国内外极大重视的“剪跨比”（对于均布荷载情况为 M/Qh_0 ；对于集中荷载情况为 a/h_0 ）问题。但是本书并未指出其定义方面的不明确之处，例如，均布荷载作用下的简支梁，支座处截面的 $M/Qh_0 = 0$ ，跨中截面处的 $M/Qh_0 = \infty$ ，剪跨比显然应是斜裂缝端点处截面的 M 和 Qh_0 的比值。本书对于在移动荷载作用下的梁之最不利剪跨比问题，可惜尚未介绍什么研究成果。这些问题亟待研究。

原书书末开列了一长串参考文献，由于这些文献能查索到的不多，为节省篇幅，本书未予列入。

为了充实本书引用的资料，尽可能多提供国外有关研究成果，便于读者参考，本书列入了南非 E.J. 凡登堡、英国 R. 泰勒、美国 B. 布雷斯勒、K.G. 莫笛、苏联 M.C. 鲍里申斯基等学者的试验结果和其它有关资料，作为附录 1～6。

由于水平有限，译误处在所难免，望读者多多指正。

译 者

1981.1.

目 录

译序

绪论	1
第一章 基本因素对“剪切区”承载力的影响	4
第 1.1 节 “剪切区”混凝土的应力状态	4
第 1.2 节 承载力与“剪跨比”的关系	7
第 1.3 节 纵向钢筋的抗剪作用	11
第 1.4 节 比例系数对“剪切区”相对承载力的影响	16
第 1.5 节 混凝土与纵向受力钢筋间的粘结力对“剪切区”承载力的影响	19
第 1.6 节 斜裂缝的“咬合”力	24
第二章 横向配筋效果	24
第三章 “剪切区”强度计算方法	32
第 3.1 节 《经典》法	32
E.莫尔斯桁架比拟法	38
欧洲混凝土委员会的建议	44
第 3.2 节 R.瓦尔特法	46
第 3.3 节 G.凯尼法	53
第 3.4 节 H.巴伊法	58
第 3.5 节 Z.维苏法	63
第 3.6 节 苏联规范 (СНП II-21-75) 方法	67
苏联混凝土与钢筋混凝土科学研究所 (НИИЖБ) 的建议	75

结束语.....	78
附录.....	82
1.南非 E.J.凡登堡 的 试 验 结 果.....	82
2.英国 R.泰勒的 试 验 结 果.....	86
3.美国 B.布雷斯勒等的 试 验 结 果.....	88
4.美国 K.G.莫笛等的 试 验 结 果.....	89
5.苏联 M.C.鲍里申斯基的变高度梁试验结果.....	91
6.关于“咬合”力的 试 验 结 果.....	92

绪 论

钢筋混凝土结构抗剪强度问题是钢筋混凝土结构研究的基本课题之一。尽管现在已经有了大量的试验和理论研究，但这个问题还是远远没有得到解决。

苏联混凝土与钢筋混凝土科学研究所 А.А. 格沃兹捷夫 (Гвоздев) 和 М.С. 鲍里申斯基 (Боришанский)，在 30~40 年代期间拟制的钢筋混凝土构件在剪力作用下按斜截面计算的方法 (即后来的 НГТУ123-55 法)，曾经促进了苏联和其它国家对这问题的研究。在该《经典》法里，若将剪力视为假定应力，则按斜截面内外极限内力平衡而提出的方法之理论前提，就能更真实地反映出结构的实际工作。

А.С. 扎列索夫 (Залесов) 在苏联混凝土与钢筋混凝土科学研究所进行的全部研究，使他拟制出了新的实用计算方法，斜截面内外力平衡的三方程组 (即纵向力、横向力和弯矩平衡方程)，是以这一方法为基础的。按本书著者掌握的资料，А.С. 扎列索夫法的 $Q_{\text{实测}}/Q_{\text{计算}}$ 平均值为 1.1~1.2，有 90% 的结果没有超出平均 $\pm 20\%$ 的误差范围。

维杰涅叶娃 (Веденеева) 在全苏水利工程科学研究院完成的试验和理论研究，已成为制定苏联水工结构物设计规范 (СНиП11-56-77) 中混凝土与钢筋混凝土结构斜截面强度计算方法的基础。水工结构物的构造具有体形庞大、配筋率不高等特点。

现已有了纵向受拉钢筋预应力对钢筋混凝土构件承载力的影响的资料。В.В. 米哈依洛夫 (Михайлов) 曾详细地研

究过这个问题①А.П.库德齐斯 (Кудзис) 完成了预应力钢筋混凝土构件斜截面强度和抗裂度的多因素分析。Я.И.德罗兹特 (Дрозд)、Ю.А.布拉 (Була)、К.В.泽林斯基 (Зелинский) 和А.Т.洛巴诺夫 (Лобанов) 等对预应力轻质混凝土受弯构件在剪力作用下的研究具有重要意义, 他们的研究成果已被用作编制苏联《公路桥梁多孔烧结料混凝土结构设计和施工规范》的基础。Ю.Л.伊佐托夫 (Изотов) 的著作, 包括对横向力作用下的预应力梁的研究, 已引起了应用科学界的重视。

但是在预应力对斜截面承载力的影响问题上, 现有的所有文献还只是给出含义相同的解答, 即认为斜截面承载力随预应力 σ_0 程度的提高 (借助于受压区高度的增大) 而提高。在А.С.扎列索夫的实用计算方法里, 这种情况反映在斜裂缝终端以上的混凝土区高度 x 及垂直斜裂缝终端以上的混凝土区高度 x_0 之表达式上。А.С.扎列索夫曾强调指出: “高度 x_0 随预应力 σ_0 的提高而增大, 高度 x 却随预应力 σ_0 的提高而减小, 因而导致构件承载力的提高”。

从М.С.鲍里申斯基和Ю.К.尼科拉耶夫 (Николаев) 的研究中可以得出如下的结论: 如果用预压力来抵销斜截面的破坏力矩, 则预压力不会影响到构件的承载力。

本书表明: “剪跨比”、纵向钢筋、比例系数、混凝土与纵向受力钢筋间的粘结力、斜裂缝的咬合力等, 都是影响普通钢筋混凝土构件“剪切区”承载力的基本因素。本书批判地研究了像J.卡尼 (Karn) 和Z.维苏 (Visy) 等学者很有实验根据和理论价值的非同一般的论著 (虽然它没有提出强度实用计算方法的建议), 分析了苏联学者的研究成果及

①见B.Б.米哈依洛夫著《预应力梁在弯矩作用下的抗剪强度》, 莫斯科, 1957年版。

国外学者取得的最有代表性的试验资料^①。各国学者对钢筋混凝土“剪切”问题所持的不同观点，现在已经有了一定程度的明显的接近。例如，欧洲混凝土委员会（ЕКБ）编制的《钢筋混凝土结构计算和施工的统一规范及其使用说明》，苏联的建筑规范和规程，它们对横向力作用下钢筋混凝土构件的计算和构造意见的分析，就已证实了这点。

著者希望在解决钢筋混凝土构件抗剪强度方面的问题时，本书能起到某种程度的促进作用。

^①波兰学者T·高季茨柯-茨维尔科(Годипкого-Цвирко)所著的《钢筋混凝土墙梁按第二阶段(考虑破坏前形成裂缝的应力)的计算》(华沙, 1963年版)及《钢筋混凝土中的剪力》(华沙, 1968年版)两书, 都系统地介绍过国外的试验成果。

第一章 基本因素对“剪切区” 承载力的影响

第1.1节 “剪切区”混凝土 的应力状态

钢筋混凝土结构在使用期间内表现有两个工作阶段，一是裂缝出现以前的阶段，一是裂缝出现以后的阶段。确定无裂缝的钢筋混凝土构件的应力-应变状态并没有多大困难，因为它的主应力迹线分布大体和均质材料梁相同。裂缝的出现使应变状态起了根本变化，在这样情况下，分析它是一个复杂的问题。钢筋混凝土构件垂直裂缝和斜裂缝的形成，具有不少有别于一般脆性材料的特点。

研究钢筋混凝土构件的“剪切区”时，首先得研究以下两个问题：

1. 斜裂缝形成区内混凝土的应力状态；
2. 在非均匀复合应力状态下剪切区混凝土所有的极限强度。

大多数学者都是以平面应力状态观点研究钢筋混凝土构件的“剪切”问题。他们提出的计算公式，其中包括的混凝土强度指标和形变特征，都是在单轴拉-压试验情况下测出来的。

有的文献表明：混凝土双轴受压时的强度要大于单轴受压时的强度，这是压力机压板与试件表面摩擦影响的结果，

其道理与混凝土立方体强度比棱柱强度高的道理相同。在消除了上述摩擦时，混凝土双轴受压时的强度就等于单轴受压时的强度。

但是，根据其他许多学者的试验结果可以看出：混凝土双轴受压时强度的提高，毕竟还是受应力 σ_2 的影响。

C·贝拉米 (Bellami) 在两类试件 (实心圆柱和管柱) 上进行的试验却否定了这样的结论，他认为这样的结论可能是一般试验方法带来的错误结果，他自己试验用的试件高度不大，仅30.5厘米。他最后的结论认为：混凝土强度的提高是由于试件端部刚性固定的影响。目前出现了一些有充分论据的理论-实验资料，它们证实了应力 σ_2 对材料强度的影响。德意志民主共和国 (ГДР) 的马利佐夫 (Мальцов)、帕克 (Пак)、奥皮茨 (Опиц)，捷克斯洛伐克人民共和国 (ЧССР) 的格鲁班 (Грубан) 和维捷克 (Витек)，德意志联邦共和国 (ФРГ) 的库普费尔 (Купфер)，他们的试验所采用的试件虽然各不相同，减小沿支承面的摩擦为最小值所采用的方法也不一样，但结果看来还是类同的。上述学者在试验中按比例分级加载时，均记录下了各级荷载作用下的压应力 σ_1 值和 σ_2 值 ($\sigma_2 \leq \sigma_1$)。试验表明，混凝土双轴受压强度比单轴受压强度有所提高：当主应力比值 $\sigma_2 : \sigma_1 = 0.4 \sim 0.5$ 时，大约提高 25%；当主应力比值 $\sigma_2 : \sigma_1 = 1$ 时，却只提高 10~15%。这种数据不符合摩尔强度理论，目前暂时还没有找到令人满意的解释。

现在我们来研究一下有代表性的试验研究结果。在这些试验中，研究了混凝土一类材料在平面复合应力状态下的强度问题。

B·布雷斯勒 (Bresler) 和 K·皮斯特 (Pister) 在作试验时，用混凝土管作试件，试件同时承受着压力和扭力的作

用，该试验可以测出主应力 $\sigma_2 : \sigma_1$ 的各种比值。试验者专注在压应力影响极限拉应力值的问题上，他们发现：当压应力 σ_2 值不大时，它对极限拉应力的影响不显著；而当 $\sigma_2 \geq 0.8R$ 时^①，极限拉应力就急剧增大。К.К.什克尔别利斯 (Шкер-белис) 也得出过类似的试验结果。

✿ D. 麦克亨利 (McHenry) 和 J. 卡尼的试验是让试件 (混凝土管) 承受着纵轴压力和内压力，他们的试验结果证实了 σ_2 在开始具有不大的值时就对 σ_1 极限值有负的影响。

К.П.维里金 (Веригин) 曾在尺寸为 $12 \times 12 \times 60$ 厘米的混凝土棱柱试件上进行试验 (试件中部的截面面积减少了 8 厘米^2)，他得出了接近上述两类试验的结果。

麦尔什 (Мерш) 的试验，并未发现压应力在 $\sigma_2 < 0.3R$ 时对极限拉应力值的影响。М.С.鲍里申斯基和Ю.К.尼科拉耶夫也指出：未达到混凝土立方体强度之半的主压应力实际上不会影响混凝土的受拉强度。

✿ 应当同意А.С.扎列索夫、О.Ф.伊利扬 (Ильин)、Л.К.鲁勒 (Руллэ) 三人的下述合理意见：“主压应力小于或等于混凝土标准棱柱强度之半时 (即 $\sigma_{1.0} \leq 0.5R_{1p}^H$ 时)，可不考虑它对主应力场内的混凝土受拉强度的影响，可采取混凝土标准轴心受拉强度作为主应力场内混凝土的受拉强度。在 $\sigma_{1.0} > 0.5R_{1p}^H$ 的情况下，主应力场内混凝土的受拉强度则按线性规律减小，当主压应力 $\sigma_{1.0}$ 增大到 R_{1p}^H 时，混凝土受拉强度则减为零”。

按照摩尔强度理论，构件的破坏取决于沿破坏面作用的 τ 是否超过极限剪应力值。极限剪应力值根据作用于破坏面上的法向应力而定，破坏面的倾斜角度 φ 不可能大于 45° 。按文献提供的资料，混凝土的 $\varphi = 10^\circ \sim 25^\circ$ 。伴随法向应力

① 此处 R 系混凝土标号。——译注

●的增大，摩尔极限圆包迹的纵坐标——剪应力 τ ，应随摩尔极限圆直径的减小而减小。这种情况表明：在原有应力上加大各向压应力，不会改变混凝土强度。随着各向压应力集度的增大，构件的破坏具有越来越大的塑性性质。当加大各向拉应力时，摩尔极限圆在其极点处被切触，即 $\varphi = 0$ 及 $\tau = 0$ ，符合脆性破坏。根据摩尔强度理论，所述复合应力状态的拉应力，不可能超出混凝土抗拉计算强度 R_p 的范围，因为极限应力圆的直径，只有在逆 σ 轴方向移动该圆与 σ 轴的交点之条件下才能增大。

因此，“剪切区混凝土的应力-应变状态，未必能用数学方法去分析，因为不可避免地出现裂缝，这是改变受压区混凝土应力-应变状态的主要原因之一。下面研究“剪切区”的计算方法和建议，主要是以裂缝形成机理和破坏机理的试验研究成果为基础。

第1.2节 承载力与“剪跨比”的关系

在钢筋混凝土构件抗剪强度问题中，极限承载力与比值 M/Qh_0 的关系占有重要的地位。本书称 M/Qh_0 为“剪跨比”，而按某些国外学者的术语，称为相对“剪切跨度”①。

为了建立承载力与“剪跨比”的关系式，F·莱翁哈脱（Leonhardt）和R·瓦尔特（Walther）曾提出集中荷载作用时和均布荷载作用时的足够广泛的 M/Qh_0 值变化范围。他们在没有配置腹筋的矩形截面梁上进行研究，试验用的各梁，跨度不同，纵向配筋相同（两根直径为26毫米的钢筋，

①我国习惯称 M/Qh_0 为“剪跨比”，为了便于阅读，故此段按我国惯用术语顺译，以后也将相对剪切跨度酌情译作“剪跨比”。——译注

$\sigma_{c2} = 4,740$ 公斤/厘米²)。试验用的试件受着两个集中荷载的作用, 该两集中荷载间的距离, 对于所有的试验梁实际上都没有变化, 即都是36厘米。试件混凝土的抗压强度是355~382 公斤/厘米², 抗拉强度是30 公斤/厘米²。试验结果如表1所示。

由表1可见: 斜截面最大承载力出现在“剪跨比”值最小的第1号试验梁上。 $Q_{破坏}$ 值随比值 M/Qh_0 的增大而减小 ($\tau_{破坏}$ 值同样如此)。 $M_{破坏}$ 值随梁跨度的增大而增大, “剪跨比”值为2.5~3.0时得出破坏弯矩 $M_{破坏}$ 的最小值。

梁在集中荷载作用下的基本研究结果 表1

梁编号	l (厘米)	a	R (公斤/厘米 ²)	$M/Qh_0 = \frac{a}{h_0}$	$M_{开裂}$ (吨·米)	$Q_{破坏}$ (吨)	$M_{破坏}$ (吨·米)	① $\tau_{破坏} = \tau_{最大}$ (公斤/厘米 ²)
1	90	27	355	1.0	1.78	39.6	10.75	94.2
2	115	40	355	1.5	2.50	26.7	10.60	62.8
3	145	54	355	2.0	1.88	15.0	8.10	35.5
4	170	67	355	2.5	2.48	8.87	5.90	21.0
5	195	81	355	3.0	2.18	7.80	6.27	18.6
6	294	110	355	4.0	2.44	6.95	7.42	16.4
7	310	135	372	5.0	1.48	6.95	9.22	16.0
8/1	360	162	373	6.0	1.57	6.70	10.61	15.4
9/1	580	189	382	7.0	2.16	6.00	11.14	14.0
10	470	216	361	8.0	2.06	7.60	12.67	13.2

①原书误为 τ_p 。——译注

F·莱翁哈脱和 R·瓦尔特在研究均布荷载作用下的矩形截面梁 (混凝土强度更高一些的) 时, 采用了两根跨度6米、 $l/h_0 = 22$ 的试验梁, 其中一根梁属于弯曲破坏, 另一根梁属于“剪切”破坏 (见表2)。他们的试验能够证实比值 $l/h_0 = 20$ 是区别弯曲破坏和“剪切”破坏这两种破坏形式的分界线。 $l/h_0 > 20$ 者属于弯曲破坏, $l/h_0 \leq 20$ 者属于“剪

表 2

均布荷载作用下的梁的基本研究结果

梁 编 号	l (厘米)	$\frac{l}{h_0}$	R (公斤/厘米 ²)	最 大 值					斜裂缝区内的值			
				M 开裂 (吨·米)	P 破坏 (吨/米)	Q 破坏 (吨)	τ 最大 (公斤/厘米 ²)	M 破坏 (吨·米)	$\frac{M}{Qh_0}$	M 破坏 (吨·米)	Q 破坏 (吨)	τ (公斤/厘米 ²)
11/1	150	5.17	418	1.41	36.73	27.55	60.6	10.34	6.21	9.91	5.51	12.1
12/1	200	7.32	403	1.13	20.25	20.25	46.5	10.12	4.94	9.03	9.69	15.6
13/1	250	5.19	409	1.19	11.12	13.90	32.5	8.62	7.55	8.03	3.90	9.1
14/1	300	11.00	397	1.91	7.13	10.70	25.0	8.02	6.49	6.95	3.92	9.1
15/1	400	14.71	420	2.85	4.77	9.55	22.5	8.55	4.28	6.39	5.49	12.9
16/1	500	18.32	414	2.60	3.85	9.63	22.6	12.04	3.92	6.78	6.35	14.9
17/1	600	22.00	389	2.18	2.92	8.75	20.6	13.12	3.04	5.51	6.62	15.5

切”破坏。

对应于最小承载力的“剪跨比”临界值，可按F·莱翁哈脱和R·瓦尔特根据试验得出的下列公式计算：

$$\frac{M}{Qh_0} = 0.9 - 0.27 \frac{l}{h_0}$$

有些文献给出的研究结果是：对于集中荷载作用下的梁，“剪跨比”临界值是 $a/h_0 \approx 3$ ($\tau_p/R_p = 0.6$ 时)；对于均布荷载作用下的梁，“剪跨比”临界值是 $M/Qh_0 \textcircled{1} \approx 10 \sim 12$ ($\tau_p/R_p = 1.0$ 时)。

另据一些资料，集中荷载作用位置在离支座的距离为 $a > 2.5h$ 处是最不利的。极限剪应力随荷载作用位置接近支座而迅速增大。这特别可以说明：剪应力 Q/bz 值（或主拉应力值）不能当作抗剪强度标准。

考察比值 M/Qh_0 对斜裂缝以上混凝土受压区“剪切”强度的影响（即考察M.C.鲍里申斯基公式中的系数 k 值）表明：“弯矩值不影响 $Q_0 \text{ctg} \alpha / bh_0 R_u$ 值。不过，这种现象可能是偶然的，因为 M/Qh_0 值的变化范围比较小”。

当 $M/Qh_0 < 3$ 时， k 值将是由混凝土受压区相对高度确定的变量；当 $M/Qh_0 > 3$ 时，“临界”斜裂缝的倾斜角度及沿斜截面作用的剪力 Q_0 实际上不发生变化。因此，比值 $M/Qh_0 = a/h_0$ 能够描述构件的破坏形式。当“剪跨比”值不大时 ($M/Qh_0 < 1.0 \sim 1.5$ 时)，弯矩的影响很小，而承载力由剪应力 τ 和法向压应力 σ_y 的作用确定。随着“剪跨比”的增大 ($M/Qh_0 > 1.5$)，就肯定会出现剪力和弯矩共同作用的破坏情况，此时由混凝土受拉区的法向应力和剪应力引起的斜裂缝，开始在结构的受拉边缘出现。当 $M/Qh_0 > 2.5 \sim 3.0$ 时，随着斜裂缝形成的同时，发生完全的破坏。当“剪

^①此处的 M/Qh_0 。原书为 l/h 。——译注