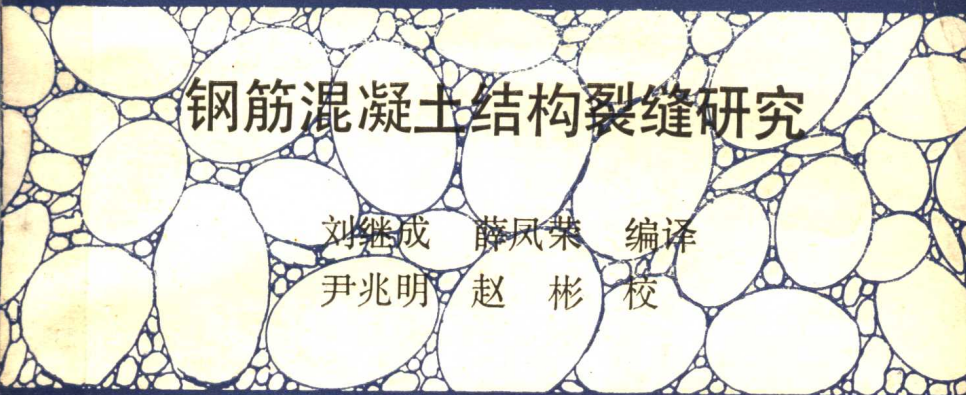




钢筋混凝土结构裂缝研究

刘继成 薛凤荣 编译
尹兆明 赵 彬 校

山东科学技术出版社

鋼筋混凝土結構設計詳解

第二版

高等教育出版社

钢筋混凝土结构裂缝研究

刘薛尹赵	继凤兆	成荣明彬	编译
			校

山东科学技术出版社

内 容 简 介

本书为苏联钢筋混凝土结构裂缝理论研究及潜在性开发技术。该技术在世界建筑事业上属领先地位。本书选编之各项研究成果，无疑将会解决我国建筑物和构筑物的结构失效，旧房更新改造、翻修加固，以及确保工程质量等方面做出有益贡献。

本书可供从事混凝土和钢筋混凝土结构理论研究、工程结构设计与施工的专家学者参考，也可供高等院校土木系广大师生借鉴。

钢筋混凝土结构裂缝研究

刘继成 薛风荣 编译
尹兆明 赵彬 校

*

山东科学技术出版社出版发行
(济南市玉函路) 邮政编码250002
山东济南新华印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 8印张 62千字
1990年12月第1版 1990年12月第1次印刷
印数：1—2000
ISBN 7—5331—0837—X/TU·53
定价 3.00元

序

脆性断裂的概念是Griffith在玻璃的断裂研究中提出来的,但后却广泛应用于金属结构中。然而混凝土要比大多数金属脆得多,可是,在混凝土设计中断裂力学却没有被广泛采用。钢筋混凝土工程的结构(构件)裂缝的存在已不鲜见。而裂缝的发生与发展就意味着结构失效的可能,这对国民经济建设的百年大计的建筑工程是一严重的危害。因此,已引起国内外广大学者和专家的高度重视。混凝土构件出现裂缝并非一个简单的问题,将Griffith概念直接应用于混凝土遇到了极大困难。Griffith是以均质各向同性材料为研究基础的。就钢筋混凝土来说,不均质和复合性质已使研究者们感到困难。

断裂力学是一门尚未完全成熟的学科。但是它已存在很久了,它与别的学科相互渗透在理论上和应用上也正在迅速的发展着。为了促进基本建设工程的顺利进行和结构(构件)的质量的提高,译者在多年的实践基础上翻译、编译了不少有关提高钢筋混凝土质量与研究结构(构件)裂缝的文章。这些文章或已在《建筑结构》等有关刊物上登载,或曾在学术研讨会上宣读、交流,都得到了广大读者的好评。在这次发表之前,译者又在原版本的基础上做了精心的修改,最后锤炼铸成这本综述论文集。希望并相信这本论文集将对防止结构(构件)事故、旧房更新改造及提高工程质量诸方面起到有益的作用,能为专家学者提供一些有实用价值的信息资料,并

也祝愿它能为国民经济建设的顺利发展做出应有的贡献。

译者长期从事实际工作，同时又能持续地在学术上开展研究，是难能可贵的。“坚韧不拔，再立新篇”，谨寄此殷切期望于本书的译者。

山东力学学会理事长

白 详

1990.2于济南

前 言

苏联混凝土与钢筋混凝土结构研究院、中央标准住宅试验设计科学研究所和莫斯科建筑工程学院，都是从事混凝土与钢筋混凝土试验设计研究的专业机构。这些单位人才济济，多年来在钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土结构(构件)裂缝研究工作中，成果累累，蜚声国内外。

本书汇编了近几年来上述单位有关最新研究成果及优秀论文。

第一部分：《三边支承多孔楼板的研究》等两篇译文、一篇综述文。这些文章侧重介绍了大型板式结构裂缝呈“半封套”式的破坏规律，建立了按弹塑性极限平衡理论推导出结构(构件)强度、裂缝和变形的计算公式；证实了大型预应力混凝土多孔板的共同受力等各理论公式的可靠性。

第二部分：《构件截面形状对强度、抗裂度和变形的影响》等数篇译文。它们的共同特点是针对建筑法规(СНИП)中的疑难问题，分门别类逐一进行试(实)验分析研究，在此基础上，又有了新的理论突破，主要表现在对梁式结构斜裂缝生成与发展规律，及其啮合区段的投影长度、啮合力……对这些极其复杂的难题，作了比以往更为精湛的全面剖析。苏联理工科博士扎列索夫(А.С.Залесов)等人所著《预应力对构件斜截面强度的影响》一文，就是通过对各种试验资料的综合分析，从而得出了前人从未有过的斜裂缝啮合区段投影长度的理论计算公式。

第三部分：《设置钢筋嵌固件的装配式构件之新型接头》等文章，详尽介绍了大板建筑链环钢筋接头构造方案的制作装配工艺，其设计受力合理、施工操作简便，还可大大节省钢材耗用量。

第四部分：《水对混凝土的破坏力》等几篇技术专著的实质问题是水力对混凝土的切割工艺。阐述了水力破坏混凝土的物理化学机理；利用高压高速射流切割混凝土的基本原理，以及研制成功的一种新方法——采用联合喷射机实施水力切割混凝土；还介绍了有钻孔、切割、楔劈和水力联合并用的液压机械装置，对混凝土和钢筋混凝土进行块体成型裂解，并二次重复用于建筑工程上的成功经验。这些问题，目前在西德、瑞典和日本等国也开始进行研究。

本书收集的译文，只是曾在《建筑结构》等专业刊物上发表的一部分；还有的是在专业学科学术会议上进行发表交流的；其中有些新的技术理论已在旧房改造维修加固中应用。这些文献、成果在我国建筑设计、施工和建材部门已经引起了极大反响，获得了理论界的极大关注和好评。

随着我国社会主义建设事业的蓬勃发展，高层建筑的大量兴建，本书文献，无疑将会在解决我国建筑物和构筑物的结构失效、对现存旧房更新改造、翻修加固，以及确保工程质量等方面做出有益贡献。

由于译者水平所限，谬误之处在所难免，恳请同行专家学者赐教。

译 者

1989年12月18日

目 录

三边支承多孔楼板的研究.....	1
预应力多孔楼板之共同受力.....	9
苏联大型多孔楼板发展情况简介.....	17
预应力对构件斜截面强度的影响.....	25
构件截面形状对强度、抗裂性和变形的影响.....	31
在横向力作用下构件的强度计算.....	36
纵向压力对受压——弯曲构件斜截面强度的影响.....	44
矩形截面构件受扭的强度.....	51
工业建筑钢筋混凝土楼板构件的预应力接头.....	55
设置钢筋嵌固件的装配式构件之新型接头.....	61
苏联抗震大板结构的最佳接头方案.....	67
水对混凝土的破坏力.....	74
利用高压水流清除或切割混凝土.....	78
建筑物及构筑物改建中混凝土及钢筋混凝土结 构的破除.....	81

三边支承多孔楼板的研究

大板建筑中,楼板通常沿三边或四边支承在纵、横承重墙上。中央标准住宅试验设计科学研究院、莫斯科住宅试验设计科学研究院以及莫斯科建筑工程学院的试验研究,使混凝土楼板按其实际支承状况进行设计和计算的方法能够日趋完善。

除实心楼板结构外,在大板建筑中还采用了长 $6\sim 6.4\text{m}$,宽 $2.4\sim 3.6\text{m}$ 的多孔楼板。尽管这些楼板的两个短边和一个长边支承于承重墙上,但设计和计算仍按梁式板进行。这是由于:一方面,对三边支承多孔楼板的研究还不够充分;另一方面,广泛采用的孔径为 159mm ,混凝土折算厚度约为 120mm 的标准板,其孔间肋甚薄,不足以抵抗所产生的剪力。研究了混凝土折算厚度为 160mm ,孔间肋的宽度为 40mm 或更大些的多孔楼板后,设计时就有可能考虑它们按三边支承情况来进行了。

中央标准住宅试验设计科学研究院对A·A·雅库谢夫钢筋混凝土设计局的尺寸为 $6.37\times 2.37\text{m}$ 的两组足尺试件进行了实验。试件是在加里宁市农业联合播种机厂生产的板厚为 220mm ,孔径为 127mm ,混凝土折算厚度为 155mm 。两组试件仅配筋不同。I组[板II—1和II—3]楼板只配有A—V级钢,直径为 $\phi 14$ 的纵向受力预应力钢筋;II组[II—2和II—4]试件于纵、横双向均配有受力筋。此外,除预应力钢筋之外,还在板的下部角区配置了5/3/200/300B—I级线材组成的具

有短向受力筋的焊接网片。钢筋施加预应力采用了电热法。

楼板沿两短边及一长边支承于固定在千斤顶的角钢上的滚动铰支座。试验时，楼板承受均布荷载，逐级施加荷载为 1kN/m^2 。

试验表明：双向配筋的板与无横向受力筋的板，其工作特性及其破坏规律是截然不同的。

在弹性工作阶段，所有试件的共同特点是挠度与荷载呈直线关系（图1）。当荷载加至 $14\sim 15\text{kN/m}^2$ （未计入楼板自重）时，在试件Ⅱ—1和Ⅱ—3下表面板角区首先发生斜裂缝，

侯后，其挠度急剧增加，第一批裂缝与板短边形成的倾斜角约为 60° 。

当楼板Ⅱ—1上的荷载加到 16kN/m^2 ，Ⅱ—3加到 17kN/m^2 时，沿孔的方向出现了引起试件脆性破坏的纵向裂缝。荷载持续5~10分钟，纵向裂缝同板角区的斜裂缝互相连接贯通，纵向裂缝开展宽度达3~5mm，斜裂缝5~7mm（图2）。同时，板的端部又产生了1~1.5mm宽斜裂缝，楼板丧失了承载能力。此时，挠度总值分别达到： 14.5mm 〔Ⅱ—1〕和 29.1mm 〔Ⅱ—3〕。

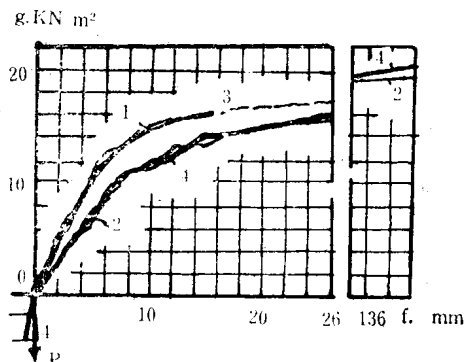


图1 荷载—挠度试验曲线

当加荷载至 14kN/m^2 试件II—2和II—4也是首先发生斜裂缝,其倾斜角为 58° 。继续施加荷载之后,产生了一系列的裂缝,在最初的裂缝处开展最大的斜裂缝。加荷载至 16kN/m^2 (即与II—1和II—3试件荷载等同)的情况下发生了纵向裂缝,但最大裂缝只有 $0.5\sim 0.7\text{mm}$ (见图2),它没有引起楼板破坏,而在以后的加载阶段里,急剧裂开的也只有斜裂缝,当荷载

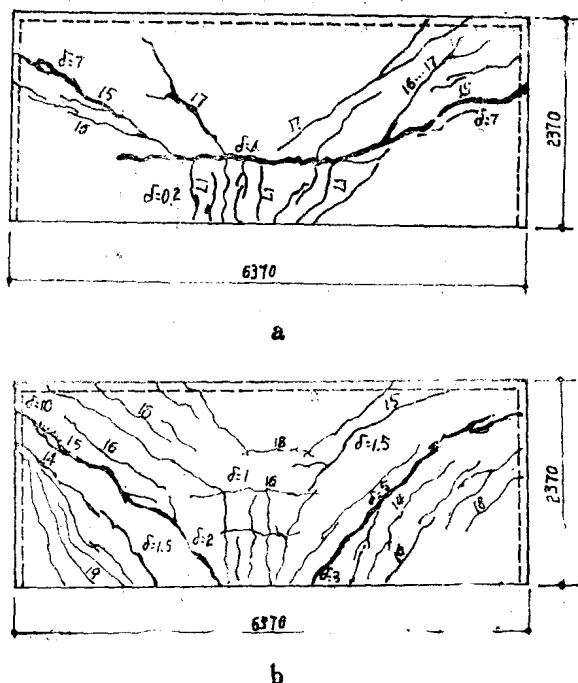
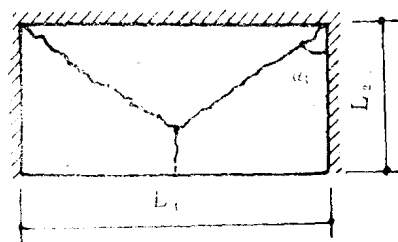


图2 试件下表面的裂缝成形

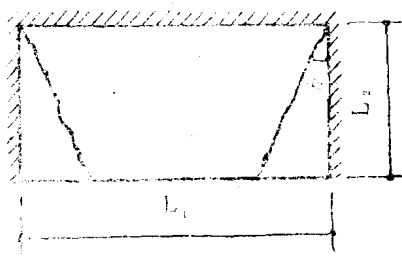
楼板: a, II—1; b, II—2图中所标数字系该裂缝发生初时的荷载值, δ 值为破坏时裂缝开展宽度

加到 20kN/m^2 〔II—2〕和 21kN/m^2 〔II—4〕, 楼板承载力丧失, 其破坏是由于“塑性铰线”中钢筋的屈服而造成的, 最大挠度值竟达 155mm 。由图1可见: 第II组与第I组试件相比, 前者有较大的塑性变形区, II—2、II—4楼板中加上横向受力筋, 防止了楼板的脆性破坏, 加强了混凝土塑性工作特性, 从而使其承载力提高了20%。

考虑到两种可能的折损图(图3), 双向配筋板的承载力按由极限平衡法求得的下列公式进行计算。



a



b

图3 三边(二短边和一长边)支承楼板理论折损图

a. I型折损图, b. II型折损图

在 I 型折损图的情况下:

$$P \leq \frac{24m_1}{L_1^2} \cdot \frac{v + \Psi\gamma}{v(3 - v\gamma)} \quad (1)$$

式中:

$$\gamma = L_1/2L_2;$$

$$\Psi = m_2/m_1;$$

m_1 、 m_2 —相当于极限状态,板沿跨度 L_1 和 L_2 的受力筋承受的单位长度上的弯矩值

$$v = \operatorname{ctg} \alpha_1 = \sqrt{\gamma^2\Psi + 3\Psi} - \gamma\Psi \quad (2)$$

在 II 型折损图的情况下:

$$P \leq \frac{24m_1}{L_1^2} \cdot \frac{\gamma^2(v^2 + \Psi)}{3\gamma v - 1} \quad (3)$$

式中:

$$v = \operatorname{ctg} \alpha_2 = \frac{1 + \sqrt{1 + 9\gamma^2\Psi}}{3\gamma} \quad (4)$$

按公式(1)、(3)求得两个 P 值,取其较小的作为楼板计算承载力。

当计算仅在纵向配置钢筋的三边支承多孔楼板的强度时,首先要检查其混凝土纵截面的抗裂性。因为纵向裂缝的形成有可能导致楼板的脆性破坏。在此情况下,楼板的强度建议按下式验算:

$$P_p \leq \frac{R_{bt} h_0}{k_1 L_2 \left(\frac{3.5d}{4h_0} + \frac{L_2}{h+d} \right)} \quad (5)$$

式中:

P_p —由翼缘的抗裂条件所容许的最大荷载值;

R_{bt} —混凝土截面的抗拉计算强度；

b —计算纵截面单位长度上的宽度；

d —孔径；

h_0 —距离孔中心 $1/4d$ 危险截面处板的下层面板之厚度；

h —楼板之厚度；

$$K_1 = \frac{1}{\Pi(1 + \gamma_1)}$$

$$\gamma_1 = \frac{\Pi^2}{4} \cdot \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^2 \cdot \frac{EI}{GI_{tor}}$$

式中：

I 、 I_{tor} —受弯、受扭时横截面的惯性矩。

公式(5)可由被视为偏心受拉构件的混凝土截面下层面板的抗裂条件而得出。此时，板中的应力(纵向支承反力，横向和局部弯矩)由弹性阶段确定。

如果满足了公式(5)的条件，则三边支承的预应力板容许仅在纵向配筋。在此情况下，受拉钢筋所需截面可按极限平衡方法计算，并在(1)、(3)式中取 $\Psi = 0$ ，而数值 v 按公式(2)、(4)确定。于是

$$\Psi = m_{cyc2} / m_{cyc1}$$

式中：

m_{cyc1} 、 m_{cyc2} —横、纵截面的裂缝弯矩。

如果满足不了公式(5)的条件，则必须采用双向配筋。计算表明：居住建筑多孔楼板，在三边支承情况下，其宽度等于或超过 $1.8m$ 时，必须采取双向配置受力筋。

保证混凝土孔间肋抗剪强度是多孔楼板允许作为三边受力进行计算的基本条件。已知最大剪力产生在靠近纵向支座

处孔肋部位。为检验支座处和最接近支座孔间肋部位的抗剪强度，建议采用如下公式：

$$P_o \leq \frac{1.2R_b b b_o (h - h_p)}{K_1 a (L_2 - a_1)} \quad (6)$$

$$P_m \leq \frac{0.6R_b b b_m (h - h_p)}{K_1 a (L_2 - a_1)} \quad (6a)$$

式中：

P_o 、 P_m —相应于支座处或接近支座处孔间肋部位的强度条件确定板的最大容许荷载；

b_o 、 b_m —支座或接近支座孔间肋的厚度；

h_p —翼缘厚度；

a —孔中心间的距离；

a_1 —自板的纵向边缘至第2根肋中心之距离。

居住建筑在受荷载作用并采用B₁₅~B₂₅级混凝土的条件下，宽度在2.4~3.6m的三边支承的多孔楼板孔间肋厚度应当不小于40mm。因而作为试验构件选用了换算厚度为155mm，肋厚为58mm的混凝土板。

荐用各公式的可靠性已为试(实)验所证实。理论与实验结果比较表明(见下表)：I组试件，按公式(5)确定的纵向裂缝形成时的弯矩相应的承载力与实验恰好相符，均等于16kN/m²。

试件 编号	$q_{cvc, obs}$	$q_{cvc, col}$	$q_{cvc, \%}$	q_u, obs	q_u, col	$q_u, \%$	$\alpha_{cb, s}$	α_{col}	$\Delta \alpha, \%$	$f_{cb, s}$	f_{col}	$\Delta f, \%$
II-1	18,0	18,20	-1,1	20,0	20,00	0	60	54	10,0	14,5	4,50	68,9
II-2	16,0	18,16	-13	24,0	24,94	-3,9	55	61	10,9	145,0	89,20	38,5
II-3	19,0	18,15	+4,5	22,0	19,90	+5,2	58	54	6,9	29,1	4,95	83,0
II-4	18,0	19,31	-7,3	25,0	24,90	+0,4	55	61	10,9	145,0	89,40	38,3

注：表中实际和理论荷载值包括楼板自重4kN/m²。

当为 I 型折损图时, II 组试件理论的承载力, 应用极限平衡的方法按公式(1)确定。“塑性铰”的理论倾斜角等于 61° 。然而, II—2 和 II—4 楼板的实际裂缝极其符合于“半封闭”图, 实际裂缝的倾斜角约为 55° 。II 组试件承载力与实验平均值相差 2.2%。

试件变形研究证明: 目前还没有能够确定三边支承多孔予应力板挠度值的理论资料。目前确定三边支承实心板挠度所采用的公式计算多孔楼板的挠度是不行的, 因其计算所得挠度与实验所得挠度相差达 60~80%, 必须拟定考虑到横向多孔截面产生剪切变形的计算方法。

结 论

如能确保楼板孔间肋的抗剪强度, 大板建筑中的多孔楼板, 就可按三边支承进行设计。

已经确认: 仅在纵向或双向配筋的三边支承多孔楼板, 其工作性质及破坏规律是截然不同的。为了防止脆性破坏, 在大板建筑中, 采用宽度为 2.4~3.6m 的板, 当有三边支承的沿 6~6.4 米的纵跨一边为自由边时, 必须配置双向受力钢筋。在这种特定条件下, 纵向裂缝并不影响板的折损图的成形, 折损图的形式不仅与各支承边的比例关系有关, 而且与受力钢筋的分布也有关。折裂线的倾斜角可能不是 45° 。因此, 建议在强度计算时, 考虑实际角度值按极限平衡方法进行。

使用三边支承多孔楼板的经济效果与梁式板相比(按生产 135 批楼板计算), 实际耗用钢材可节约 20~25% 其费用可节约 15~20%。

译自〔苏〕《Бетон и железобетон》 1986 年, № 11