

中国土木工程学会
中国建筑学会

结构物裂缝问题学术会议 论文选集

第 1 册

(鋼筋混凝土結構)

• 内部发行 •

中国工业出版社

中国土木工程学会
中国建筑学会

结构物裂缝问题学术会议 论文选集

第 1 册

(鋼筋混凝土結構)

中国土木工程学会
中国建筑学会 編

中国工业出版社

本选集是根据中国土木工程学会、中国建筑学会于1963年6月召开的
结构物裂缝问题学术会议所征集到的论文编成的，现分钢筋混凝土结构及
混合结构两册出版。

本册属于钢筋混凝土结构。内容包括梁式结构、桁架式结构以及掺氮
盐的钢筋混凝土结构等裂缝问题的论文23篇。这些论文大多是我国近年来
工程实践的經驗总结和科学研究成果；论文分别从设计、施工、材料等各
个不同角度来论述上述结构物中所产生的几种主要裂缝的成因、特征、危
害性及其预防处理和加固措施。

本选集可供从事土建设计、施工和科研的工程技术人员和高等院校土
建专业的师生参考。

中国土木工程学会
中国建筑学会
结构物裂缝问题学术会议论文选集
第 1 册
(钢筋混凝土结构)
中国土木工程学会編
中国建筑学会編

建筑工程部图书编辑部編輯(北京西郊百万庄)
中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)
北京市书刊出版业营业许可证出字第110号
中国工业出版社第一印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张21·字数408,000
1965年6月北京第一版·1965年6月北京第一次印刷
印数0001—2,440·定价(科六)2.60元

統一书号: 15165·3618(建工-426)

前 言

本选集共收集了有关结构物裂缝问题的学术论文和专题讨论综合发言三十九篇。这些论文是中国土木工程学会和中国建筑学会1963年6月22日至7月1日在上海召开的“结构物裂缝问题学术会议”上交流的资料，内容包括调查总结、裂缝原因分析和理论探讨等。专题综合发言则是这次会议对一些裂缝问题讨论意见的归纳。专题综合发言曾发表于土木工程学报等刊物上，为了便于参考，也收集在本选集内。

本选集的大部分论文，在会后曾经原作者或编写单位作了必要的补充和修改，这样，在论文的质量上比原来已有所提高，但是仍难免有不妥之处，希读者批评指正。

本选集分两册出版，第一册收集了有关钢筋混凝土结构方面的文章二十三篇，第二册收集了有关砖石结构方面的文章十六篇。

中国土木工程学会 结构物裂缝问题学术会议论文编辑委员会
中国 建筑 学会

1964年3月

目 录

一、梁式结构組专题討論綜合发言	(1)
二、桁架式屋盖結構及摻氯盐的鋼筋混凝土結構組专题討論的綜合发言	(8)
三、工字形薄腹屋面梁的裂縫問題	建筑工程部北京工业建筑設計院 (26)
四、鋼筋混凝土 T 形薄腹梁在长期荷載下的斜裂縫計算	同济大学 朱伯龙 (38)
五、屋面梁及托梁的裂縫問題	第一机械工业部第一設計院 徐文江 (48)
六、薄腹梁在負溫条件下試驗报告	
..... 哈尔滨建筑工程学院 朱聘儒 王仲秋 黑龙江省建設厅 朱頌林 刘鴻緒	
..... 哈尔滨市設計院 于国风 哈尔滨市工程公司 张而复 (72)	
七、关于桥梁鋼筋混凝土結構中裂縫問題的探討	武汉桥梁工程学院 华有恒 (85)
八、鋼筋混凝土鉄路桥梁中的裂紋問題	鉄道部鉄路专业設計院 邵厚坤 (100)
九、桁架式屋盖結構的裂縫問題	第一机械工业部第一設計院 殷芝霖 吳育才 (117)
十、鋼筋混凝土屋架裂縫及节点应力分析	
..... 建筑工程部西北建筑科学研究所 安崑 謝志国 张百槐 傅耀杰 黃仁孝等 (145)	
十一、24米預应力鋼筋混凝土拱形屋架裂縫調查报告	
..... 交通部第三航务工程局 南京水利科学研究所 (171)	
十二、摻氯盐的鋼筋混凝土构件产生裂縫的探討	
..... 第一机械工业部第一設計院 陈民三 胡連文 (191)	
十三、摻盐混凝土中鋼筋銹蝕和混凝土裂紋的調查分析	
..... 辽宁省第一建筑工程公司 辽宁省建筑科学研究所 (202)	
十四、摻氯盐鋼筋混凝土构件生銹裂縫問題	顾圭章 (210)
十五、某工程鋼筋混凝土柱纵向裂縫情况介紹	建筑工程部华东工业建筑設計院 (215)
十六、单层工业厂房鋼筋混凝土柱子横向裂縫的探討	
..... 建筑工程部华东工业建筑設計院 (220)	
十七、某多层鋼筋混凝土結構的裂縫情况介紹	西安煤矿設計研究院 汪乃振 (231)
十八、薄壳結構裂縫調查分析	建筑工程部西北工业建筑設計院 刘家荣 (239)
十九、对于鋼筋混凝土及預应力混凝土构件裂縫問題的探討	
..... 第一机械工业部第一設計院 殷芝霖 (250)	
二十、关于裂縫計算的几点意見	
..... 建筑工程部建筑科学研究院 杜拱辰 刘永頤 陆竹卿 (288)	
二十一、鋼筋混凝土的收縮裂縫与收縮应力計算	
..... 建筑工程部建筑科学研究院 陈惠玲 李振长 夏靖华 (300)	
二十二、配置輕型預应力蕊棒混凝土結構裂縫理論的試驗研究	
..... 杭州市规划設計处 王立德 (311)	
二十三、关于鋼絞綫預应力鋼筋混凝土屋架的裂縫問題	
..... 水利电力部东北电力設計院 梁凤岐 湯德忠 (324)	

一、梁式結構組專題討論綜合发言

梁式結構組（包括桥梁組）对梁式結構（主要是薄腹梁）中所出現的裂縫种类、产生原因、計算理論，对裂縫有影响的各種因素，施工中应注意事項以及今后处理办法等方面的問題进行了充分的討論。桥梁方面的代表曾对受动荷載作用下的預应力鋼筋混凝土梁所发生的各种裂縫，如預应力端部的裂縫、水平裂縫和收縮裂縫等問題，进行了单独的討論。这里，只着重談薄腹梁的裂縫問題。

薄腹梁有很多优点，几年来在国家建設中得到了广泛的应用，但对它的裂縫問題以前研究得不多，也缺乏經驗，一般是沿用苏联的計算方法，而对其中存在什么問題，摸得不深不透。通过會議，交流經驗，吸取教訓，改进工作，是十分必要的。在开会以前很多单位对此进行了充分的調查研究和試制試驗。据不完全统计，各单位已完成的实物試驗共有60余樑，模拟的小梁或錨头試驗达200多件。有的还在繼續进行。因此大家对裂縫产生的原因和防止措施不仅提出理論分析，而且还提出了試驗数据。理論和实践相結合，使有些問題明确了，認識也統一了。有些問題有待于今后繼續研究提高。現在將討論的各項問題分述如下。

一 梁式結構中产生的几种主要裂縫

梁式結構中發現的主要裂縫有以下几种：斜裂縫；豎向裂縫；水平裂縫；收縮裂縫，其他有如預应力錨具应力集中、施工原因及构造原因造成的裂縫。

現將几种主要裂縫的討論意見，分別說明如下：

（一）斜裂縫問題

1. 情况和特征

在T形薄腹梁的两端普遍出現斜裂縫，这种裂縫出現很早，一般在設計荷重的50%时即出現第一条斜裂縫。这种斜裂縫的特征可以归納为如下几点：

（1）斜裂縫一般在离梁端 $1.5 \sim 2.0h$ （ h 为梁端高度）范围内出現，其角度为 $40^\circ \sim 60^\circ$ ，呈枣核形，即中間大两头小；

（2）斜裂縫一般均首先出現在腹板，开始时裂縫很小，但一經出現再加荷載后裂縫的长度及寬度即迅速发展，其发展速度比豎向裂縫为快，但一般开展到一定程度即不再发展；

（3）在所有斜裂縫中往往只有一条特別大；

（4）在长期荷載作用下，斜裂縫可能成倍地增长，其增长的速度及幅度都比豎向裂縫为快；

(5) 混凝土标号对斜裂缝特别敏感, 一般混凝土标号低时, 斜裂缝也特别严重, 发展过程也快。

2. 产生斜裂缝的主要原因及其危害性

产生斜裂缝的原因大致可以归纳为以下几点:

(1) 梁端的腹板太薄, 主拉应力 $\tau = \frac{Q}{bh_0}$ 值太大;

(2) 主筋锚固不良, 一些试验表明, 到设计荷载的60%主筋即出现滑动, 致使斜裂缝扩大;

(3) 下部主筋在跨中切断, 在切断处往往引起斜裂缝出现;

(4) 施工质量不好, 特别是混凝土标号不足, 抗拉强度低, 因此裂缝就比较多, 而且也比较宽。

斜裂缝发展到一定阶段, 可能引起下列四种类型的破坏, 故对斜裂缝的危害性应有足够的认识:

(1) “短柱式”破坏, 见图1-1;

(2) 剪拉破坏, 见图1-2;

(3) 剪压破坏, 见图1-3;

(4) 脆性破坏, 见图1-4。

脆性破坏比较少见, 只有在某种特殊条件下才发生, 并不是在所有梁中都会产生。根据国内外的试验研究资料, 薄腹梁中产生这种突然性破坏的可能性不大, 只是当斜裂缝向上发展得较高, 而裂缝宽度较大或者裂缝还在继续发展才比较危险。在桥梁中斜裂缝的危害性则是比较严重的。但是在任何一种梁中对剪拉型破坏都是比较危险的, 因此, 当有斜裂缝, 同时在支座附近沿主筋处尚有水平裂缝时, 不论裂缝大小, 都有随时破坏的可能, 应引起注意。

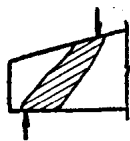


图 1-1

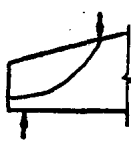


图 1-2

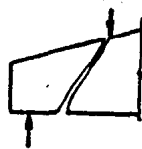


图 1-3



图 1-4

3. 对斜裂缝有影响的主要因素

(1) 梁端腹板厚薄问题: 实际上斜裂缝多少, 不仅取决于梁端腹板的厚薄, 还与梁端高度有关, 有些端部腹板虽然比较薄, 但由于梁端高度较大, 腹板中也并不产生斜裂缝, 而在有些腹板较厚的梁中, 由于梁高较小或混凝土强度不足也同样产生斜裂缝。因此, 薄腹梁的抗裂性能, 不单是由梁端的腹板厚度所决定, 还与其他因素有关。根据目前资料看, 控制腹板中的允许主拉应力, 对于提高梁端的抗裂性是有一定作用, 但斜裂缝开展宽度还与弯起钢筋及箍筋的配置方法等因素有很大关系。

(2) 混凝土强度問題：混凝土的强度对斜裂縫的影响較大。混凝土强度高，它的密实性大，抗拉能力也强；反之，則它的抗拉强度也低。从調查中可以看出一般斜裂縫发展比較严重的，大多都是由于混凝土标号严重不足所引起的。混凝土标号不足，降低了其抗拉强度，迅速地降低了梁的抗剪承载能力，提前了斜裂縫的出現時間，而且混凝土的徐变也将大大增加，所有这些都将影响到斜裂縫的出現和发展。

(3) 箍筋和弯筋的作用問題：大部分代表都认为箍筋及弯筋对防止斜裂縫开展有較好的效果，但对于推迟裂縫出現的效果不大。但也有的代表认为如果弯起的鋼筋数量不多，两排弯筋的間距較远时，弯筋的有效范围是有一定限制的。有些代表建議在屋面大梁中应尽量設置弯筋，但也有部分代表认为不一定需要。

很多代表指出，配置斜向箍筋是防止斜裂縫开展的較好形式，也有代表认为在較高的梁中，除掉配置横向箍筋外，还应配置較密的水平鋼筋，使腹板中成为双向受力的鋼筋网，这也能有效地限制斜裂縫的开展，同时还指出應該注意斜向箍筋在上下翼緣中的錨固問題。

(4) 主筋的錨固問題：主筋錨固不良是斜裂縫加速开展的主要原因之一。如在哈尔滨建筑工程学院的試驗中，就发现 T 形薄腹梁的主筋有滑动現象，这可能主要是由于端部錨固角鋼的刚度不够所致。

(5) 长期荷載的影响：在长期荷載作用下斜裂縫发展問題是值得注意的。据同济大学及其他单位調查資料說明，这种裂縫的产生主要原因是混凝土强度不足，有的只有設計标号之半，混凝土徐变增长使斜裂縫有較大的开展。所以对混凝土标号較低的梁，更应注意斜裂縫随時間的变化。

(二) 豎向裂縫問題

1. 情况与特征

在 T 形薄腹梁中出現的豎向裂縫数量較多，裂縫寬度超出計算值也較大，而且还有以下一些特征：

(1) 一般是在靠近主筋处或下翼緣的腹板处首先出現裂縫。

(2) 腹板中裂縫稀而寬，主筋处密而細，一般主筋处有 2~4 条，腹板中才有一条。

(3) 最大豎向裂縫位置均在腹板部位，腹板中的裂縫寬度一般超出主筋处 1.5~2.5 倍，形状呈枣核形，中間大两头小。

2. 豎向裂縫的危害性

受弯构件中受拉区出現一些裂縫是可以允許的。根据一些試驗資料看，即使在受拉区裂縫寬度大到 1 毫米左右也并不意味着这根梁接近破坏，因此，可以认为一般在梁中出現一些裂縫是不会有过大危险性的。但由于防止鋼筋腐蝕的要求，應該将梁中裂縫寬度限制在一定限度內。

3. 对豎向裂縫有影响的主要因素

(1) 梁截面形式：在 T 形薄腹梁中由于主筋用焊接排筋形式，非但削弱了主筋与混

凝土的粘着力，而且施工困难，在排筋施焊过程中容易引起主筋变形，应该避免采用。当采用T形薄腹梁时，主筋最好是分散配置。当主筋数量多，而且梁截面较高时，则宜采用工字形截面。

(2) 腹板内水平钢筋的配筋率问题：由调查和试验资料中可以看出，腹板中的裂缝数量和宽度与腹板中的水平钢筋的直径和间距有关。腹板中水平钢筋配得多而密，则可大大减少腹板中裂缝宽度。因此大家一致认为增加腹板中的水平配筋是有必要的。特别是应该增加在主筋以上的 $0.5h$ 区域内的水平钢筋的数量，它对于限制竖向裂缝宽度更为有效。有些代表指出，在水平钢筋数量不变时，适当减少腹板的厚度可以增加腹板中的含钢率，因而对减少竖向裂缝宽度有一定好处。但腹板厚度还应取决于施工条件，不能减得过小。

(3) 钢筋截面形式：裂缝的宽度非但取决于主筋应力的大小，同样与钢筋的截面形状有关。根据国外资料报导，国外在研究一种截面形状为星形的钢筋，这种钢筋与混凝土间的粘着力极好，其应力虽高达4,000公斤/平方厘米，而仍能保证结构物中的裂缝宽度小于0.15毫米。由此可以看出，钢筋的截面形状是很值得有关单位进一步研究的。一般在屋面大梁中应尽量采用变形钢筋，施工时也不能任意用光圆钢筋来代替变形钢筋。很多代表建议冶金部生产一些小直径的变形钢筋。

(4) 长期荷载及重复荷载作用下的影响：在长期荷载作用下，竖向裂缝将有所发展，但其发展程度不如斜裂缝那样严重。而且配筋率较高的梁，在长期荷载作用下，裂缝发展的程度也比配筋率低的梁要小。在屋面大梁中一般配筋率较高，因此裂缝一般发展并不严重。根据苏联1962年规范的方法计算，在配筋率较高时，往往在长期荷载作用下裂缝的宽度并无增长，这与实际情况尚有一定出入，有待进一步研究。

在重复荷载作用下，由于钢筋与混凝土之间的粘着力降低，裂缝也将有所发展，因此，在有动荷载的梁中最好采用变形钢筋。

至于在屋面大梁及桥梁中的水平裂缝，一般是由于掺用氯盐引起钢筋锈蚀而产生的。关于掺氯盐问题，大会另有专门小组讨论。收缩裂缝一般是由于混凝土配合比或蒸汽养护不当引起的，这里不多加论述。

关于引起裂缝的因素很多，例如高温的影响，重复荷载的影响等等，这次会议未予详细讨论，有待以后作进一步研究。

二 施工质量問題

代表们一致指出结构物是否出现裂缝非但取决于设计，而更重要的往往是取决于施工质量，故应给予足够的重视。大家对施工中可能发生的問題及今后应注意的事项，尤其是对薄腹梁施工中应注意事项，进行了充分的讨论。

保证混凝土的浇筑质量是保证施工质量的关键问题，因此，对于混凝土的水泥用量及水灰比应该严格控制。在薄腹梁中，水灰比应不大于0.5，而水泥用量要控制在350公斤/立方米以内。有的代表指出，对保证混凝土质量的检验方法值得进一步探讨。目前工地中的试块是否有代表性还值得怀疑。因此建议增加混凝土的均匀度及密实度的指标，来切实保证混凝土的质量。有的代表指出，目前有些水泥抗压强度能达到指标，而抗拉强度达不

到要求，特別值得我們注意。因此，建議增加混凝土抗拉標號的要求。

鋼筋調直和外形對裂縫影響很大，因此建議鋼筋應經過冷拉調直。在工地上不能任意地以等強觀點來代換變形鋼筋，必須同時注意滿足抗裂要求。

代表們對薄腹梁澆搗方式問題，進行了熱烈的討論，比較了平臥澆搗和垂直澆搗方式的優缺點，一般講來，平臥澆搗有如下幾個優點：（1）澆搗時比較方便；（2）比較節省木模，但底模周轉較慢；（3）梁腹板可以做得較薄。

但也有以下幾個缺點：（1）當底模不實時，梁本身容易產生平面撓曲；（2）佔地面積大，施工現場布置較困難；（3）增加了梁的扶直工序，有時容易在梁的一面產生裂縫。

垂直澆搗時有下列優點：（1）腹板兩面混凝土質量一致，不易出現平面裂縫；（2）可避免梁身向一面翹曲；（3）振搗得較好的梁混凝土密實性高，在條件允許時還可採取底模振搗，混凝土的密實性就可以更好；（4）沒有扶直的過程，減少程序。缺點是：（1）模板用得多一些；（2）澆灌時比較麻煩，振搗得不好容易產生蜂窩麻面。

最後，代表們一致認為不能硬性規定要採用那一種澆搗方式，而應該根據具體施工及構件條件來定。

有的代表指出，有些工地澆搗一根梁的時間往往很長，遠遠超過混凝土的初凝時間，梁中部分混凝土已初凝，而另一部分還在振搗，振搗時又很難免碰到鋼筋骨架。這樣很可能影響到鋼筋與混凝土的粘着力。因此建議應將澆搗一根梁的時間控制在初凝時間以內。

採用平臥澆搗的構件，在扶直過程中，常常發現在吊鉤附近引起裂縫，當梁和底模結合過牢時，則還可能发生其他裂縫。因此，扶直方法值得進一步研究。有的代表介紹，有的施工單位將底模同時扶起然後再拆模，也有的施工單位取消吊鉤，這些都取得了良好的效果。事實證明只要採取了適當的措施，由於扶直而引起的裂縫是可以避免的。

三 對梁式結構的改進意見

1. 對於是否允許出現裂縫的看法

消滅梁式結構中的有危害性的裂縫非但是必須的而且也是完全可能的，甚至要完全消滅一般肉眼所能看見的裂縫也是可能的。但問題還應該結合是否經濟來考慮。化費大量材料去消除一些沒有危害的裂縫，則是沒有必要的。

允許豎向裂縫出現，但必須限制其寬度，這一點大家都是同意的。而對究竟是否允許斜裂縫出現，則有不同看法。大部分代表認為，是否允許斜裂縫出現應根據具體情況來定，在屋面大梁中，不大的斜裂縫並沒有特殊的危害性，而要絕對不允許梁端出現斜裂縫，勢必引起構件重量和材料用量的增加，因此還是應該設法限制出現過大及過多的斜裂縫，而不是根本不允許斜裂縫出現。但在橋梁中，由於它受動荷載的沖擊，且經常處於室外或在水面上濕度較大，斜裂縫容易擴大，也影響到鋼筋的銹蝕，所以應該設法避免。

2. 對裂縫寬度計算方法的意見

裂縫寬度的計算問題，在國際上還沒有全部解決，目前我國新規範草案中採用的豎向裂縫計算方法，雖然比較合理，但仍不能完全適用於薄腹梁中，主要原因是它還不能很好

的反映出腹板中的裂縫寬度，這還有待於進一步研究解決。

對斜裂縫寬度的計算問題，目前國際上也尚未解決。從這次會議中可以看到，我國在這方面的研究工作已被有關單位所重視，並取得了初步的成果。但由於目前資料較少，離開實用階段還有一定距離，因此，尚不能完全採取理論計算的辦法來解決，只能採取半經驗半理論的辦法來限制產生過大的斜裂縫。根據目前的資料看，認為在屋面大梁及托梁中，可以將它的主拉應力限制在 $(1.5 \sim 2.0) R_p$ 左右。對受集中力及剪跨比較大者應限制得嚴一些，取其上限，在一般屋面梁中可稍放鬆些，取其下限。

3. 對裂縫寬度限值的意見

在討論裂縫寬度的限值中，認為對最大裂縫寬度的位置應加以肯定，否則沒有共同語言。大部分代表都認為，豎向裂縫應該是指在主筋部位的裂縫寬度，因為只有這裡的裂縫最能反映構件是否危險，而且目前的計算方法中，也只能反映這個部位的裂縫寬度。而關於斜裂縫則應該以腹板中的最大裂縫寬度為準。

4. 對屋面大梁的选型和改進意見

通過討論，大家一致認為，只要在屋面大梁的选型及構造上採取一定的措施，是完全可以消除在屋面大梁中有危害性的裂縫，建議在屋面大梁中應採取下列措施：

(1) 對於跨度較大，梁高度較大的屋面梁宜採用工字形截面；

(2) 離梁端 $(1.5 \sim 2.0h)$ 範圍內，適當地加厚梁的腹板，應使腹板中的主拉應力

$$\tau = \frac{Q}{bh_0} \leq (1.5 \sim 2.0) R_p,$$

(3) 適當增加主筋以上 $0.5h$ 區域內腹板的水平鋼筋配筋率。鋼筋直徑不宜小於 $\phi 8$ ，間距不宜大於 10 厘米；

(4) 適當配置彎筋，適當地加強端部的箍筋，並應配置水平箍筋。同時要注意箍筋在上下翼緣中的錨固問題；

(5) 主筋不要在跨中切斷。

四 T形薄腹梁的加固界限問題

對已建成的薄腹梁是否要加固，應抱有正確的態度，應該提高警惕，對不安全的要堅決進行加固，又不能無原則的擴大加固面，造成人力物力上的浪費。對已建成薄腹梁的質量要求，應區別於新設計的梁。

梁是否需要加固，應根據梁的使用條件、受荷情況、裂縫開展情況以及原材料來確定。一般來講，梁的強度不足時，應進行加固；而對裂縫寬度過大，不能滿足防腐蝕要求時，則可僅作防腐蝕處理，不一定要進行加固。因此，所謂加固，主要是指強度不足，須要加固而言。

究竟哪一類裂縫算是有危害性的，必須進行加固，哪一類裂縫沒有問題，各個單位的認識還不一致，因此，各單位的加固界限也不一致。根據目前得到的資料，加固界限如表 1 所示。

很多同志指出，根據國內外的許多試驗資料證明，在 T 形薄腹梁、薄腹板中即使產生

表 1

	北京土木 建筑学会	一 机 部 一 院	同济大学	五 院	哈尔滨建工学院	苏 联
斜裂缝	$\geq 0.2 \sim 0.3$	① ≥ 0.5 与高度无关 ② ≥ 0.4 而高度为 ($\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}$) h 者	≥ 0.5	≥ 0.3	主筋处 $\geq 0.3 \sim 0.4$ 腹板处 ≥ 0.5 (斜裂缝) $\sim$ 0.8 (竖裂缝)	≥ 0.5 (建委) 0.5 $\sim$ 0.8 与承载力 影响不大 (Ми-зерню) 的意见
竖向裂缝	0.3 $\sim$ 0.4	① ≥ 0.6 与高度无关 ② ≥ 0.5 而高度为 ($\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}$) h 者		≥ 0.4		
裂缝高度			—	—	—	—
斜裂缝角度		① $> \frac{3}{4} h$ 与宽度无关	$< 60^\circ$ 观察三 年以上	—	—	—

大达0.5~0.8毫米的裂缝，也并不会使梁的承载能力有所降低。因此认为以前北京土木建筑学会所定的加固界限偏严，经过讨论，认为在一般情况下，加固界限可以大致如下：

(1) 主筋处最大裂缝宽度大于0.4毫米；或腹板中最大斜裂缝宽度大于0.5毫米者不论裂缝发展的高度如何，宜考虑加固。



(2) 腹板中斜裂缝高度超过 $3/4h$ 者，不论裂缝多宽，应考虑加固（见图1-5）。

图 1-5

(3) 除斜裂缝外，同时在梁端部主筋处尚有水平裂缝者，不论其宽度如何，均应加固。

但如前所说，加固界限不可能用以上几条简单的界限加以概括，因此还应根据具体情况区别对待。如果梁处在有害气体或湿度较大的介质中，上述界限还应适当降低。

五 尚待解决和继续研究的问题

在讨论会中许多代表指出，还有许多问题尚待进一步研究解决，代表们建议有关单位进行下列问题的研究：

1. 建议科研单位及高等院校研究

- (1) 钢筋混凝土梁的抗剪强度及斜裂缝的理论 and 实用计算方法问题；
- (2) 更有效的防止裂缝的钢筋截面形式问题；
- (3) 提高混凝土抗拉强度问题；
- (4) 钢筋混凝土构件中裂缝的检查方法和检查标准问题；
- (5) 钢筋混凝土构件的冷脆问题。

2. 建议施工单位研究

(1) 提高混凝土制作振捣工艺问题，对如何减少水泥用量同时还要增加其抗拉强度的施工方法，如底模振动方法等；

(2) 保证混凝土均匀性及密实性的措施及其检查方法。

发言人 张士鐸

二、桁架式屋盖结构及掺氯盐的钢筋混凝土

结构组专题讨论的综合发言

桁架式屋盖结构及掺氯盐的钢筋混凝土结构组，为了更好地讨论有关问题，我们根据代表们的专长，划分为两个小组：一个小组重点讨论桁架结构；一个小组重点讨论掺氯盐的钢筋混凝土结构。最后再将两个小组汇合起来进行综合讨论。下面分别按桁架式屋盖结构裂缝问题及掺氯盐的钢筋混凝土构件产生裂缝问题叙述于后。

桁架式屋盖结构裂缝问题

桁架式屋盖结构的种类很多，几何图形如图 1 所示。在钢筋混凝土结构方面，有多边形屋架、梯形屋架和托架，拉杆有分散配筋的，也有配置排筋的；在型钢和混凝土混合结构方面，有用角钢作下弦的钢筋混凝土拱形屋架；在预应力钢筋混凝土结构方面，有拱形屋架、梯形屋架和托架，拉杆预应力筋有用变形钢筋的，也有用钢绞线的。通过调查、试验说明，这些结构在使用过程中曾发现有程度不同的裂缝。其中预应力钢筋混凝土屋架和托架，除节点裂缝较为普遍外，其他裂缝一般较少；而钢筋混凝土屋架和托架的裂缝就较普遍，裂缝的宽度也相当大，有的甚至必须采取加固措施；用角钢作下弦的钢筋混凝土拱形屋架的裂缝，主要集中在屋架端节点。结构中裂缝的类型，有垂直于杆件轴线的横向裂缝，倾斜于杆件轴线的裂缝，以及平行于杆件轴线的纵向裂缝等。就其产生的部位来说，有杆件上的裂缝、节点处的裂缝以及块体拼接处的裂缝等。下面按裂缝产生的部位分别加以说明。

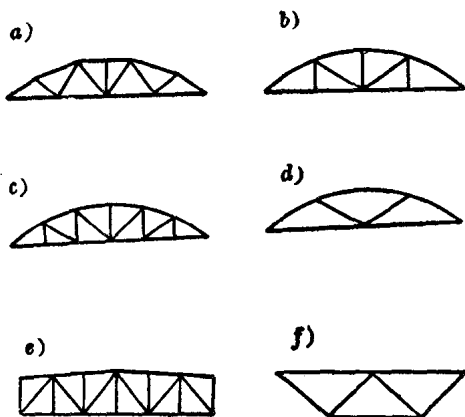


图 2-1 桁架式屋盖结构的形式

a—多边形屋架；b—预应力拱形屋架；c—预应力多腹杆拱形屋架；d—用角钢作下弦的拱形屋架；e—梯形屋架；f—托架

验说明，这些结构在使用过程中曾发现有程度不同的裂缝。其中预应力钢筋混凝土屋架和托架，除节点裂缝较为普遍外，其他裂缝一般较少；而钢筋混凝土屋架和托架的裂缝就较普遍，裂缝的宽度也相当大，有的甚至必须采取加固措施；用角钢作下弦的钢筋混凝土拱形屋架的裂缝，主要集中在屋架端节点。结构中裂缝的类型，有垂直于杆件轴线的横向裂缝，倾斜于杆件轴线的裂缝，以及平行于杆件轴线的纵向裂缝等。就其产生的部位来说，有杆件上的裂缝、节点处的裂缝以及块体拼接处的裂缝等。下面按裂缝产生的部位分别加以说明。

一 各种裂缝的调查试验情况及其产生的原因分析

(一) 杆件上的裂缝

1. 垂直于杆件轴线的拉杆裂缝

(1) 各种桁架使用情况的调查

在承受使用荷載的情況下，橫向裂縫主要產生在鋼筋混凝土桁架的受拉弦杆和腹杆上，而預應力鋼筋混凝土桁架的拉杆產生橫向裂縫的現象就非常少。從有關單位的調查資料說明，橫向裂縫的特點為：

①鋼筋混凝土水平弦杆上的橫向裂縫一般分布較為均勻，裂縫是下口大上口小。對於採用排筋的多邊形屋架下弦，根據建築工程西北建築科學研究所的調查，絕大多數的裂縫是沿杆件四周裂通的；根據一機部第一設計院的調查，裂縫的分布情況是下弦兩側面裂縫最多，約占裂縫總數的66%~87.41%，底面裂縫次之，約占裂縫總數的20.28%~34%，頂面裂縫最少，約占裂縫總數的1.16~5.98%。

②根據一機部第一設計院的調查，鋼筋混凝土托架斜拉杆上的橫向裂縫，主要集中在靠下面節點的1/3~1/2節間範圍內；有40%左右的斜拉杆靠上面節點的範圍內也有裂縫，但裂縫間距大得多，裂縫寬度也較小。

③根據一機部第一設計院的調查試驗資料，平均裂縫間距的實測值，與按規範 HnTY 123-55 和蘇聯1962年規範算得的數值的比較，如表 1 所示。

表 1

類 別	杆 件	數 量	實測平均裂縫間距 L_T 按 HnTY123-55 算得的間距 L_{T1}	實測平均裂縫間距 L_T 按 СНиП 算得的間距 L_{T2}
多邊形桁架試驗	18m跨下弦	2	2.30~4.26	2.30~3.04
	24m跨下弦	1	5.50	5.50
多邊形桁架的實地調查	18m跨下弦	5	7.15~10.3	7.12~7.37
	24m跨下弦	9	6.32~10.8	6.32~7.70
24m梯形桁架的實地調查	下 弦	3	1.86~3.01	1.86~3.01
	腹 杆		2.27~4.54	2.27~4.54
12m托架的實地調查	水平下弦	7	3.15~4.09	2.25~2.92
	斜 拉 杆		1.10~2.23	0.98~1.59

根據建築工程西北建築科學研究所的調查，按現行規範計算的裂縫間距為2.73cm，而實測值為14.5~30cm。

④根據一機部第一設計院的調查試驗資料：實測裂縫寬度的平均值與按規範 HnTY 123-55 和蘇聯1962年規範算得的數值的比較，如表 2 所示。

根據西北建築科學研究所對下弦配置排筋的多邊形屋架的調查，按現行規範算得的裂縫寬度為0.03mm，而實測值為0.18~0.40mm。

從上面的資料可以看出：裂縫寬度的實測值與理論計算值的比值，變化幅度較大；構件配置排筋的實測裂縫寬度與理論計算值的比值，比分散配筋的構件要大很多。

⑤裂縫寬度的最大平均值與平均值的關係，如表 3 所示。

(2) 建築工程建築科學研究院對 7 個鋼筋混凝土拉杆試驗的情況

①當配筋率為 3~5% 時，按現行規範算得的裂縫間距比試驗測得的平均裂縫間距小 33%，當配筋率增大時，相差更大。

表 2

类 别	杆 件	$\frac{a_{T3}}{a_{Tp1}}$	$\frac{a_{T5}}{a_{Tp1}}$	$\frac{a_{T3}}{a_{Tp2}}$	$\frac{a_{T5}}{a_{Tp2}}$
多边形桁架試驗(排筋)	18m跨下弦	10.23~16.4	9.86~14.47	10.88~12.6	10.49~11.12
	24m跨下弦	11.04	10.24	11.30	10.49
多边形桁架的实地調查(排筋)	18m跨下弦	25.5~29.7	22.7~26.6	22~26.4	19.7~23.4
	24m跨下弦	14.5~19.7	13.0~17.6	14.4~14.8	12.9~13.3
24m梯形桁架的实地調查 (分散配筋)	下 弦	1.15~2.58	1.08~2.36	1.08~2.67	1.01~2.45
	腹 杆	1.21~2.12	1.10~2.04	1.18~2.24	1.17~2.16
12m托架的实地調查(分散配筋)	水 平 下 弦	2.96~5.79	2.92~5.54	2.16~4.25	2.13~4.08
	斜 拉 杆	2.07~2.78	1.92~2.74	1.47~1.98	1.36~1.94

表中: a_{T3} ——占总数3%的最大裂缝实测宽度平均值;

a_{T5} ——占总数5%的最大裂缝实测宽度平均值;

a_{Tp1} ——按规范ННТУ123-55算得的裂缝宽度;

a_{Tp2} ——按苏联1962年规范算得的裂缝宽度。

表 3

杆 件	占总数3%的最大裂缝宽度 平均值 a_{T3} 平均裂缝宽度 a_T	占总数5%的最大裂缝宽度 平均值 a_{T5} 平均裂缝宽度 a_T
多边形桁架試驗	2.24~2.62	2.14~2.53
12m托架的实地調查	1.33~2.60	1.30~2.33

②当配筋率为3~5%时,

$$\frac{\text{实测平均裂缝宽度}}{\text{按现行规范算得的裂缝宽度}} = 1.21 \sim 1.37$$

③相对最大裂缝宽度(超过这个裂缝宽度的概率为5%),与平均裂缝宽度的比值约为2.5。

④5根拉杆經160天的长期荷载作用后,裂缝宽度比短期荷载时增加25~63%。

(3)苏联和丹麦262个钢筋混凝土拉杆試驗的情况

①試驗时实测的平均裂缝宽度比按现行规范算得的裂缝宽度约大50%左右,比苏联1962年规范按短期荷载算得的裂缝宽度约大20%左右。

②最大裂缝宽度与平均裂缝宽度之比值约2.5~4.0。

(4)裂缝宽度的实测值与理論計算值相差較大的原因

①规范ННТУ123-55和苏联1962年规范算得的裂缝宽度都是軸心受拉时的平均裂缝宽度。对于桁架下弦,除承受軸向拉力外,尚須承受杆件自重产生的弯矩;如施工时杆件内的钢筋重心与杆件軸綫有偏差,則又会由于軸向力的偏心而产生相应的弯矩;所以一般,桁架拉杆往往处于小偏心受拉的应力状态。

②施工时混凝土的浇捣质量和养护条件,往往不及試驗室的情况,混凝土质量的离散性和受收缩的影响可能較大。施工中屋架歪扭,模板变形,臥捣时的地基不均匀沉陷,鋼

筋在节点处锚固较差等等，也会对裂缝有不同程度的影响。

③施工时钢筋可能不直而造成钢筋应力不匀现象。

④钢筋实际截面面积可能偏小，造成钢筋实际应力高于计算应力。钢筋弹性模量 E_a 值偏低，造成钢筋拉应变大于计算应变。

⑤采用排筋的下弦，裂缝宽度的调查试验值与理论计算值相差更大的原因，主要是钢筋与混凝土的粘结应力比分散配筋的情况要差，在浇筑混凝土时，更不易保证钢筋的位置准确，容易造成排筋重心偏离弦杆轴线。

⑥托架斜拉杆横向裂缝，集中在靠下面节点 $1/3 \sim 1/2$ 节间范围内的原因，主要是由于下面节点次应力的影响而造成。

(5) 预应力钢筋混凝土拉杆产生裂缝的原因，主要是张拉的预应力值不足和预应力损失较设计偏大而造成的。

2. 垂直于杆件轴线的收缩裂缝

建筑科学研究院介绍某单位试制的后张法预应力桁架，在张拉预应力筋前，上弦出现了裂缝，裂缝宽度约在 $0.05 \sim 0.10mm$ 范围内，裂缝形状是两头小、中间大，说明配筋对收缩的约束有一定的作用范围。裂缝间距一般为 $15cm$ 左右，约与箍筋的位置相当，这是因为箍筋削弱了构件的混凝土截面，并使截面在收缩时产生应力集中现象。

裂缝的分布是跨中密、两端少，这与收缩应力跨中大、两边小的分布情况也相适应。桁架腹杆与下弦杆的裂缝较小，因为这些杆件的配筋率较低（下弦杆此时不包括预应力钢筋）对收缩的约束较小。

3. 垂直于杆件轴线的上弦裂缝

建筑工程部西南工程管理局某公司介绍，有一个工程的预应力拱形屋架上弦产生横向裂缝，宽度在 $0.1mm$ 左右，大部分在上弦的上部，有裂开一段的，有裂通表面的，严重时裂缝沿两个侧面向下伸展，有时在第二个节点处较多。分析其原因为：

(1) 下弦预应力筋张拉应力过大，拱形屋架向上拱起较多，使上弦受拉而产生裂缝。

(2) 混凝土未达到设计规定的强度，即行张拉起吊而产生裂缝。

(3) 拱形屋架几何图形不准确，张拉后节点处产生附加应力而引起裂缝的开展。

(4) 因张拉后节点处的次应力较大而促使裂缝的产生，尤以第二节点为甚。

(5) 起吊时未按图设置吊点，致使上弦受到设计时未考虑的应力而产生裂缝。

上述裂缝一般在吊装屋面板压上后，都会减轻，但如其裂缝开展较多、较严重时，则必须研究鉴定。

4. 平行于杆件轴线的纵向裂缝

在钢筋混凝土拱架下弦和后张法预应力混凝土拱架下弦，有的出现纵向裂缝，裂缝宽度为 $0.1 \sim 0.5mm$ 。冬季施工的桁架出现这种裂缝的情况较为普遍。裂缝是沿着钢筋在水平方向发展的。下面按钢筋混凝土桁架和后张法预应力钢筋混凝土桁架分别加以说明。

(1) 钢筋混凝土桁架下弦产生纵向裂缝的原因为：

①混凝土中掺加氯盐过多，钢筋锈蚀膨胀引起混凝土开裂。

②施工时受力钢筋不直，屋架下弦受拉后，钢筋对下弦混凝土产生横向压力如图2-2。

③由于施工时钢筋位置偏差过大，混凝土保护层太薄，加上混凝土中使用了火山灰水泥，水泥用量过多，浇捣养护不良而引起表面收缩。



图 2-2

(2) 后张法预应力混凝土桁架下弦产生纵向裂缝的原因：

①制作预应力筋管槽用的钢管不直或管槽外壁设计过薄，抽管时对混凝土产生张力而开裂。

②抽管过程中不注意，混凝土已接近终凝阶段时管子尚未抽出，以及抽管前管子转动时管壁混凝土发生拉力。

③预应力筋管槽不直，张拉预应力筋时对管槽产生压力。

④管槽直径较大，灌浆时压力过高。

⑤冬季施工，预应力筋管槽中水泥浆的水灰比较高，其中未与水泥起水化作用的自由水与析出水受冻，体积膨胀。

⑥屋架下弦杆件温度较高，使混凝土产生温度及干缩应力，从而在孔壁最薄弱处开裂。

(二) 节点处的裂缝

节点处的裂缝类型是多而复杂的。用角钢作下弦的钢筋混凝土拱形屋架，根据建筑工程部华东工业设计院对某厂两个车间的调查，端节点出现裂缝的屋架约占总数的63~83%；根据一机部第二设计院对28个车间的屋架的调查，端节点出现裂缝严重者占2.1%，一般裂缝者占14.2%，良好者占83.7%，目前的裂缝基本上已趋向稳定。

多边形钢筋混凝土屋架和预应力钢筋混凝土拱形屋架，端节点出现豁口裂缝的情况较为普遍。但是梯形屋架出现豁口裂缝的情况就要少得多。

对于中间节点，一般说来在钢筋混凝土屋架下弦中间节点出现裂缝较多，但是在预应力钢筋混凝土屋架下弦中间节点出现裂缝的情况就较少。为了便于分析各种节点裂缝产生的原因，下面按节点部位分别加以说明。

1. 用角钢作下弦的钢筋混凝土拱形屋架端节点的裂缝

(1) 端节点的裂缝可归纳为以下三种：

①变截面处“×”形裂缝如图2-3(a)所示。

②混凝土起壳开裂如图2-3(b)所示。外

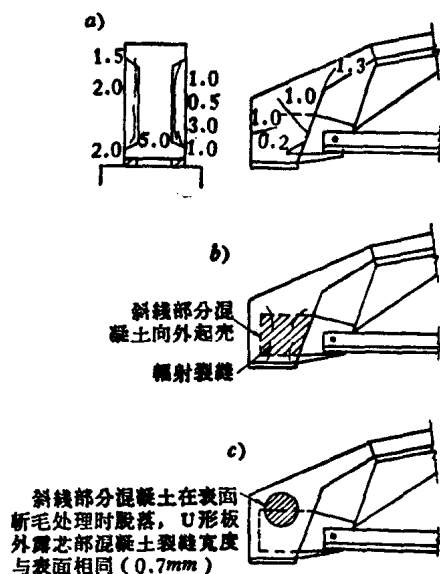


图 2-3 用角钢作下弦的钢筋混凝土拱形屋架端节点范围的裂缝图

(a) 变截面处“×”形裂缝；(b) 混凝土起壳开裂；
(c) 外表裂缝裂入芯部混凝土