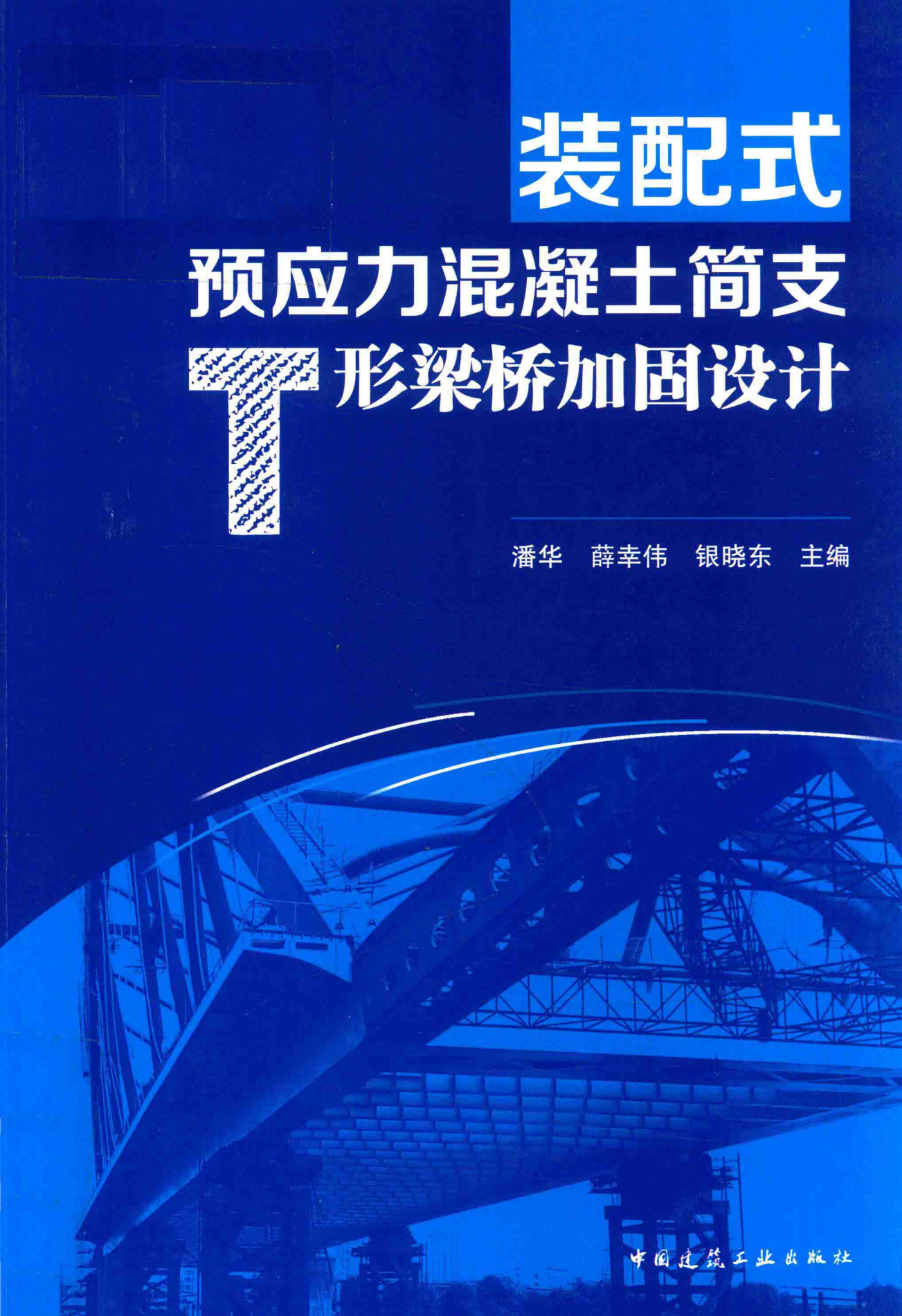




# 装配式

# 预应力混凝土简支 T形梁桥加固设计

潘华 薛幸伟 银晓东 主编

中国建筑工业出版社

# 装配式预应力混凝土简支 T 形梁桥加固设计

潘 华 薛幸伟 银晓东 主编



中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

装配式预应力混凝土简支 T 形梁桥加固设计/潘华, 薛幸伟, 银晓东主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018.7

ISBN 978-7-112-22365-7

I. ①装… II. ①潘… ②薛… ③银… III. ①预应力混凝土桥-T形梁桥-加固-设计 IV. ①U448.215.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 131604 号

本书通过采用病害调查、原因分析、有限元模型计算、荷载试验、加固设计计算、施工及加固效果评价等相结合的研究方法, 围绕装配式预应力混凝土简支 T 形梁桥加固设计这一课题开展研究, 系统介绍了 T 形梁的受力特点和发展现状, 病害调查分类、成因分析及承载能力评价, T 形梁不同加固方法的设计计算及方案比选、加固施工工艺及方法、加固效果评价等。

本书引用了工程实例, 包含桥梁病害检测、承载能力评价、加固设计、施工、加固效果评价等诸多领域, 可供桥梁专业的科研人员、工程技术人员、高校学生等参考使用。

责任编辑: 王 磊 田启铭

责任校对: 张 颖

## 装配式预应力混凝土简支 T 形梁桥加固设计

潘 华 薛幸伟 银晓东 主编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 7½ 字数: 186 千字

2018 年 8 月第一版 2018 年 8 月第一次印刷

定价: 28.00 元

ISBN 978-7-112-22365-7

(32239)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 本书编委会

主 任：梁全富

副 主 任：孙红宇 仪志平 梁柯峰 刘皓楠 祝孝成

编 委：王 强 孙 博 苏 凯 李时华 苏玉章 苗礼战

陈 军 何 华 焦 斌 平瑞锋 王 雪 康 健

唐国斌 李立青 韩永明 耿丙炎 李志华 高 健

郝军红 秦云鹤 白成毅 赵 明 程 坤 梁九凯

王 奥 李传启

主 编：潘 华 薛幸伟 银晓东

副 主 编：赵 华 李传明 李 庆 申 磊

编写人员：朱晓军 张永生 岳军委 祝孝成 吕小永 刘晋华

张 理 李二兵 吕勤雷 尹晓凡 王 涛 印振华

杜丽鹏 范广宇 刘 晨 乔华龙 王 叶 梁婧媛

拓宁博 李 青 王 飞 吴 昊 杨丽丽 陈传广

杨宇翔

# 前 言

随着预应力混凝土技术的出现,并由于它具有许多优点,使其在土木工程得到了广泛的应用,尤其是在大跨度或重荷载结构,以及不允许开裂的结构中应用更为普遍,各种桥型也不断涌现。预应力混凝土 T 形梁因具有就地取材、工业化施工、外形简单、制造方便、耐久性好、适应性强、整体性好以及美观等优点,以异乎寻常的速度发展起来。目前预应力混凝土 T 形梁桥在国内外桥梁建筑上占有重要的地位,在公路、铁路、城市桥梁建筑上应用非常广泛。

随着交通运输的发展,交通量越来越大,车辆荷载不断增加,以及随着运营年限的增加,桥梁承载能力逐年降低,特别是以前修建的桥梁,设计标准低,承载力已不能适应交通发展的需要;而且桥梁随着使用年限的增长,加之养护的不及时,自然就会出现混凝土的表面碳化、裂缝加大、表面破损、雨水侵入、钢筋锈蚀等一系列问题,最终都会导致桥梁的承载力下降,出现病害,成为病桥、危桥,严重者甚至造成桥梁垮塌,一定程度上制约了国民经济的发展,因此开展装配式预应力混凝土简支 T 形梁桥加固设计这一课题研究,已成为国内外学者普遍关注的问题。

本书第 1 章概述了 T 形梁的受力特点、截面形式和发展现状。第 2 章介绍了 T 形梁梁体、横隔板、桥面铺装病害检测方法和内容,并结合工程实例介绍了 T 形梁桥病害成因分析,对原桥承载能力复核、考虑承载能力折减的复核、进行了荷载试验,对结构承载能力进行了评价。第 3 章介绍了 T 形梁不同的加固方法,并概述了不同加固方案的设计方法。第 4 章介绍了 T 形梁桥加固设计的计算方法和步骤,从斜截面、正截面承载能力、体外预应力索锚固装置、横隔板承载能力等几方面进行研究,并结合工程实例说明。第 5 章介绍了 T 形梁桥加固施工工艺及方法。第 6 章介绍了 T 形梁桥加固后效果评价,概述了加固工程的抽查项目、检测频率、质量检验、外观检查、内业资料审查及质量评定等。

全书分为 6 章,第 1 章由潘华、赵华、朱晓军、岳军委、张永生编写,第 2 章由薛幸伟、李传明、刘晋华、祝孝成、吕小永编写,第 3 章由银晓东、李庆、张理、李二兵、吕勤雷编写,第 4 章由申磊、尹晓凡、王涛、印振华、杜丽鹏编写,第 5 章由范广宇、刘晨、乔华龙、王叶、梁婧媛、李青编写,第 6 章由拓宁博、王飞、吴昊、杨丽丽、陈传广、杨宇翔编写,全书由潘华、薛幸伟负责统稿。

在本书的撰写过程中,苗礼战、管品武、苏沛东、付立军、邵景干给予了大力支持和帮助,并予以鼓励,在此表示衷心感谢。

在本书完稿之际,侯志峰、宋云祥、吕西方、张黎明对本书提出了宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

参与本书相关项目研究工作的主要人员有梁柯峰、张永生、申磊、李庆、祝孝成、刘晋华、仪志平、刘皓楠等,在此表示感谢。

装配式预应力混凝土简支 T 形梁桥加固设计是一项很复杂的课题,涉及诸多知识领域,有许多基础工作尚需进一步解决。限于作者的研究水平,本书在很多方面还存在着不足及疏忽之处,恳请各位读者批评指正。

# 目 录

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 第 1 章 绪论 .....                       | 1   |
| 1.1 T 形梁的受力特点及发展概述 .....             | 1   |
| 1.2 T 形梁截面形式 .....                   | 3   |
| 1.3 T 形梁在我国的发展 .....                 | 4   |
| 第 2 章 T 形梁病害调查分类、病害原因分析及承载能力评价 ..... | 7   |
| 2.1 T 形梁病害调查分类 .....                 | 7   |
| 2.2 病害原因分析 .....                     | 11  |
| 2.3 结构承载能力评价 .....                   | 12  |
| 第 3 章 T 形梁加固方法及设计方法概述 .....          | 53  |
| 3.1 加固方法概述 .....                     | 53  |
| 3.2 粘贴钢板加固设计方法 .....                 | 56  |
| 3.3 粘贴纤维材料加固设计方法 .....               | 62  |
| 3.4 增大截面加固设计方法 .....                 | 66  |
| 3.5 体外预应力加固设计方法 .....                | 77  |
| 3.6 锚固块设计计算方法 .....                  | 78  |
| 第 4 章 T 形梁桥加固设计计算方法步骤及工程实例 .....     | 80  |
| 4.1 对斜截面承载能力的加固设计计算方法 .....          | 80  |
| 4.2 对正截面承载能力的加固设计计算方法 .....          | 83  |
| 4.3 体外预应力索锚固装置计算方法 .....             | 87  |
| 4.4 对横隔板承载能力的加固设计计算方法 .....          | 90  |
| 4.5 工程实例 .....                       | 92  |
| 第 5 章 T 形梁桥加固施工工艺及方法 .....           | 96  |
| 5.1 粘贴钢板加固 .....                     | 96  |
| 5.2 体外预应力加固技术 .....                  | 97  |
| 5.3 预应力碳纤维板加固 .....                  | 99  |
| 5.4 支座更换技术 .....                     | 100 |
| 第 6 章 T 形梁桥加固效果评价 .....              | 103 |
| 6.1 检测依据 .....                       | 103 |
| 6.2 加固工程抽查项目、检测频率及质量检验 .....         | 103 |
| 6.3 加固工程外观检查 .....                   | 109 |
| 6.4 内业资料审查 .....                     | 110 |
| 6.5 加固工程质量评定 .....                   | 111 |
| 参考文献 .....                           | 113 |

# 第1章 绪 论

预应力混凝土的现代发展应归功于法国工程师弗莱西奈 (Freyssinet)。1928 年弗莱西奈在总结了前人经验的基础上,提出了预应力混凝土必须采用高强钢材和高强混凝土。在此之后,预应力混凝土才步入了实用阶段,之后又得到了不断的改进。

随着预应力混凝土技术的出现,并由于它具有许多优点,使其在土木工程得到了广泛的应用,尤其是在大跨度或重荷载结构,以及不允许开裂的结构中应用更为普遍,各种桥型也不断涌现,预应力 T 形梁的应用以异乎寻常的速度发展起来。当前我国预应力 T 形梁的应用已非常普及,施工技术已经趋于成熟,20 世纪八九十年代 25m、30m 等小跨径 T 形梁应用已经非常普遍,到了 21 世纪初期,50m 大跨径 T 形梁的应用技术已经成熟并广泛应用,而 50m T 形梁在预制和吊装方面与 25m、30m T 形梁相比,无论从预制场地,还是预制工艺、吊装设备上要更系统、更复杂。

## 1.1 T 形梁的受力特点及发展概述

T 形梁因主梁的截面形状如英文字母 T 而得名,梁体两侧挑出部分称为翼缘,其中间部分称为梁肋。由于其相当于是将矩形梁中对抗弯强度不起作用的受拉区混凝土挖去后形成的。这种处理后除与原有矩形抗弯强度完全相同外,又可以节约混凝土,减轻构件的自重,从而提高了跨越能力。T 形梁桥,如图 1-1 所示。

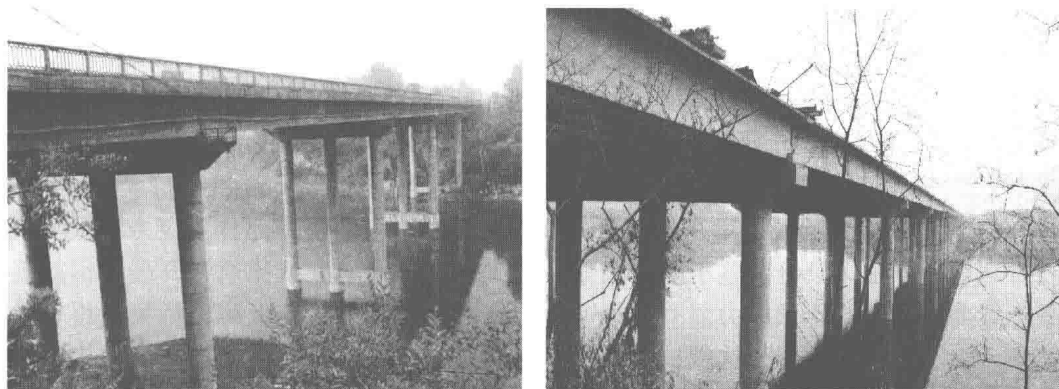


图 1-1 T 形梁桥

相对空心板桥梁而言,如考虑经济性,T 形梁较空心板结构有更大的跨越性能。一般空心板结构经济跨径不超过 20m,而 T 形梁的跨越能力可以达到 50m。

相对箱梁而言,T 形截面在承受弯矩及剪力方面承载能力相差不大,但是由于截面形式限制,对于承受正负弯矩变化的梁体,T 形梁并不太适用。同时由于 T 形梁开口截面的特性,抗扭性能较箱形梁差,且横向稳定性能也不好。

对于中、小跨径的梁式桥,混凝土 T 形梁是现代工程中使用非常广泛的结构形

式之一。T 形梁的上翼缘板既是主梁的受压翼缘，同时又是行车道板，在预应力混凝土 T 形梁中，梁肋的下部通常要加宽做成马蹄形，以便于预应力钢丝束的布置和满足承受预压力的需要。它具有就地取材、工业化施工、外形简单、制造方便、耐久性好、适应性强、整体性好以及造型美观等优点。

预应力混凝土 T 形梁是采用抗压性能好的混凝土和抗拉能力强的钢筋结合在一起建成的。根据混凝土受预压程度的不同，预应力混凝土结构又可分为全预应力和部分预应力两种。全预应力是在最大使用荷载下混凝土不出现任何拉应力，部分预应力是容许产生不超过规定的拉应力值或裂缝宽度，以此改善使用性能并获得更好的经济效益。在钢筋混凝土梁内部分地施加少量预应力以提高梁的裂缝安全度的结构称为预应力钢筋混凝土结构。目前钢筋混凝土 T 形梁桥在国内外桥梁建筑中占有重要的地位，在公路、铁路、城市桥梁建筑中应用非常广泛。

预应力混凝土 T 形梁桥在施工方法上又可分为装配式梁桥和整体式梁桥，目前已大量采用预制的装配式 T 形梁桥，预制 T 形梁桥与整体式梁桥相比，具有以下主要优点：

(1) 桥梁构件的形式和尺寸趋于标准化，有利于大规模工业化制造。

(2) 在工厂或预制场内集中管理进行工业化预制生产，可充分采用先进的半自动或自动化、机械化的施工技术，以节省劳动力和降低劳动强度，提高工程质量和劳动生产率，从而显著降低工程造价。

(3) 构件的制造不受季节性影响，并且上下部构造也可同时施工，大大加快桥梁的建造速度，缩短工期。

(4) 能节省大量支架模板等的材料消耗。

预应力混凝土 T 形梁除了这些优点外，还具有以下特点：

(1) 能最有效地利用现代的高强度材料（高强混凝土、高强钢材），减小构件截面，显著降低自重所占全部设计荷载的比例，增大跨越能力，并扩大混凝土结构的适用范围。

(2) 与钢筋混凝土梁桥相比，一般可以节省钢材 30% ~ 40%，跨径愈大，节省愈多。

(3) 全预应力混凝土梁在使用荷载下不出现裂缝，即使是部分预应力混凝土梁在常遇荷载下也无裂缝，鉴于能全截面参与工作，梁的刚度就比通常开裂的钢筋混凝土梁要大。因此，预应力混凝土梁可显著减小建筑高度，使大跨径桥梁做得轻柔美观。由于能消除裂缝，这就扩大了对多种桥型的适应性，并更加提高了结构的耐久性。

(4) 预应力技术的采用，为现代装配式结构提供了最有效的接头和拼装手段。根据需要，可在纵横向和竖向等施加预应力，使装配式结构组合成理想的整体，这就扩大了装配式桥梁的适用范围，提高了运营质量。

综观以上所述预应力混凝土 T 形梁的种种优异性能，特别是从 20 世纪 50 年代以来，由于材料性能不断改进，设计理论日趋完善，施工工艺的革新创造，使得用这种新颖桥型修建的桥梁获得了很大发展，预应力混凝土 T 形梁在桥梁工程中占有非常重要的地位。目前，我国预应力 T 形梁的跨径已达 51.5m。

虽然现在预应力混凝土 T 形梁的建设已经有较快的发展,但大跨径的施工规范还基本上是空白,我国的桥涵施工技术规范中最大跨径的预应力混凝土梁也只有 50m,而预应力混凝土 T 形梁的设计标准图也只有 10m、13m、16m 和 20m 四种公路梁桥标准设计。而在设计时套用其他桥型设计的事情也是屡见不鲜,施工中更是没有成套的施工技术规范,各种施工工法并没有做很好的研究,这就增加了施工中随意性和危险性,给大跨径 T 形梁施工带来很多麻烦。这种设计方法在很多方面是不经济的。

T 形梁有结构简单、受力明确、节省材料、架设安装方便等优点,T 形梁为主要承重结构的梁式桥,在桥上荷载作用产生正弯矩时,梁作成这样上大下小的 T 形并在下缘配筋便充分利用了混凝土的抗压强度大和钢筋的高抗拉强度,进而比矩形梁桥节省了材料,减轻了自重。预应力体系采用钢绞线群锚,在工地预制,吊装架设。其发展趋势为:采用高强、低松弛钢绞线群锚;混凝土强度等级 C40~C60;T 形梁的翼缘板加宽;吊装重量增加;为了减少接缝,改善行车,采用工形梁,现浇梁端横梁湿接头和桥面,在桥面现浇混凝土中布置负弯矩钢束,形成比桥面连续更进一步的“准连续”结构。T 形梁桥最大跨径以不超过 50m 为宜,再加大跨径不论从受力、构造、经济上都不合理了。大于 50m 跨径以选择箱形截面为宜。

目前我国的中小跨径桥梁中装配式简支 T 形梁桥占很大比例。T 形梁不适于荷载作用会产生较大负弯矩的情况且抗扭刚度稳定性皆较箱形梁桥低。随着交通运输的发展,交通量越来越大,车辆荷载不断增加,以及随着运营年限的增加,桥梁承载能力逐年降低,特别是以前修建的桥梁,设计标准低,承载力已不能适应交通发展的需要;而且桥梁随着使用年限的增长,加之养护的不及时,自然就会出现混凝土的表面碳化、裂缝加大、表面破损、雨水侵入、钢筋锈蚀等一系列问题,最终都会导致桥梁的承载力下降,出现病害,成为病桥、危桥,严重者甚至造成桥梁垮塌,一定程度上制约了国民经济的发展。由于对旧危桥加固理论研究不很完善,加上桥梁加固行业的不规范,一部分桥梁甚至在几年的时间内就进行几次加固,加固效果和耐久性无法得到保证,这样的后果是每年都有大量的钢筋混凝土 T 形梁旧危桥需要加固。

## 1.2 T 形梁截面形式

从施工方法上分,简支 T 形梁桥可采用整体现浇和预制装配两种不同的方式进行施工。

整体式梁桥在城市立交桥中应用较广泛,具有整体性好、刚度大、易于做成复杂形状等优点,多数在桥孔支架模板上现场浇筑,个别也有整体预制、整孔架设的情况。

常用的整体式简支 T 形梁桥。在保证抗剪、稳定的条件下,主梁的肋宽约为梁高的  $1/6 \sim 1/7$ ,但不宜小于 16cm,以利于浇筑混凝土;当肋宽有变化时,其过渡段长度不小于 12 倍肋宽差。主梁高度通常为跨径的  $1/8 \sim 1/16$ 。为了减少桥面板的跨

径（一般限制在 2~3m 之内），还可以在两根主梁之间设置次纵梁。为了合理布置主钢筋，梁肋底部可做成马蹄形。整体式简支梁桥桥面板的跨中板厚不应小于 10cm。桥面板与梁肋衔接处一般都设置承托结构，承托长高比一般不大于 3。

装配式简支梁桥具有建桥速度快、工期短、模板支架少等优点而应用广泛。但在施工过程中，装配式 T 形梁需特别注意横向各个梁体之间的横向联系。当预制 T 形主梁吊装就位后，当设有横隔梁时，必须借助横隔梁和翼缘板的接头将所有主梁连接成整体。对于少横隔梁的主梁，应在翼缘板上加设接头和加强桥面铺装将所有主梁连接成整体。对于少横隔梁的主梁，应在翼缘板上加设接头和加强桥面铺装，使横向连成整体。因此接头应有足够的强度以保证结构的整体性，并使在营运过程中安全承受荷载的反复作用和冲击作用而不发生松动。

常用的桥面（翼缘板）横向接头有焊接接头和湿接接头两种：

（1）焊接接头：翼板间用钢板连接，接缝处铺装混凝土内放置上下两层钢筋网。

（2）湿接接头：通过一定措施将翼缘伸缩钢筋连成整体，在接缝铺装混凝土内再增补适量加强钢筋。

常用的横隔梁横向接头有焊接接头和湿接接头两种：

（1）焊接接头：横隔梁间用钢板焊接连接，横隔梁接缝处端头埋置钢接头，接头采用对焊或搭接钢板焊接。

（2）湿接接头：通过一定措施将相对横隔梁横向钢筋连成整体，在接缝混凝土内再增补适量加强钢筋。

## 1.3 T 形梁在我国的发展

### 1.3.1 简支结构

T 形梁桥在我国公路上修建最多，早在 20 世纪五六十年代，我国就建造了许多 T 形梁桥，这种桥型对改善我国公路交通起到了重要作用。

20 世纪 80 年代以来，我国公路上修建了几座具有代表性的预应力混凝土简支 T 形梁桥（或桥面连续），如河南的郑州黄河公路大桥、开封黄河公路大桥，山东东明黄河大引桥部分、浙江省瑞安飞云江大桥（其跨径达到 62m，吊装重 220t）等。

近年来 T 形梁采用钢筋混凝土结构的已经很少了，从 16m 到 50m 跨径，都是采用预制拼装后张法预应力混凝土 T 形梁，预应力体系采用钢绞线群锚，在工地预制，吊装架设。装配式预应力混凝土 T 形梁具有如下特点：

（1）结构简单，受力明确、技术成熟、施工比较安全。

（2）采用预制拼装，可工厂化施工，工期短，质量可靠，较空心板桥，更为轻便，可用于较大跨径，克服多跨对美观影响的缺点。

（3）吊装时采用小截面，之后浇筑湿接缝连接桥面板钢筋成为整体，使得吊装重量减轻，架设安装方便。

- (4) 制造简单，肋内配筋可做成刚劲的钢筋骨架，整体性好，接头也较方便。
- (5) 多用于跨径为 20 ~ 50m 的桥梁。

1.3.2 先简支后连续结构

先简支后连续 T 形梁是国内外高速公路上常用的一种桥梁结构新形式，具有施工简易、行车条件好且经济合理，并兼备简支梁与连续梁的优点。先简支后连续施工方法在 20 世纪 80 年代兴起，含义不断发展，从早期的桥面连续、桥面板连续、普通钢筋实现结构自身连续，发展到利用预制混凝土梁作为简支构件，在现浇混凝土梁内利用预应力实现结构连续的后连续方案。典型的先简支后连续桥梁的施工程序：简支安装、梁端接头浇筑、体系转换。随着施工工艺的改进，特别是吊装能力的提高，先简支后连续体系梁桥采用的截面形式由简单到复杂、受力性能逐步优化。先简支后连续预应力 T 形梁桥拥有以下优点：

- (1) 采用标准预制构件，更有利于技术操作、提高预制速度、节省模板费用。
- (2) 下部结构施工的同时便可进行上部构件的预制，因而节省了施工时间，加快了施工速度，有利于提高经济效益。
- (3) 整片梁的吊装就位仅需要吊装设备，简支梁的预应力筋张拉可在工厂进行，而负弯矩区钢筋的布置或张拉可在梁上或挂篮上进行，减少了施工设备，又可避免造成地面障碍，在拥挤的市区或风景区以及城市立交桥等一些要求施工中不能中断交通的工程中特别适用。
- (4) 同其他方法施工连续梁一样，这种方法施工形成的连续梁同样具有刚度大、收缩缝少、变形小的优点，可提高车速以及行车的舒适性。
- (5) 由于是在工厂预制，从早期预应力的张拉到浇筑接缝、后连续预应力的张拉，混凝土已有相当的龄期，因而减少了收缩、徐变对结构体系的影响，另外简支梁的预应力筋对结构不产生次力矩，可使结构设计简便。
- (6) 由于这种结构体系是梁的恒载按简支受力，仅仅活载和二期恒载（桥面铺装、栏杆、安全带）按连续梁结构受力，基础沉降对结构的影响较小。

表 1-1 列出了《公路桥涵设计图装装配式预应力混凝土简支梁》JT/GQS 024—1983。

装配式预应力混凝土 T 形梁的标准图截面参数表 表 1-1

| 标准跨径<br>(cm) | 梁高<br>(cm) | 高跨比    | 肋厚<br>(cm) | 上翼缘板 (cm)  |             | 马蹄    | 横隔板数 |
|--------------|------------|--------|------------|------------|-------------|-------|------|
|              |            |        |            | 预制宽/<br>全宽 | 根部厚/<br>边缘厚 | 全宽/全高 |      |
| 20           | 150        | 1/13.3 | 20         | 140/200    | 21/15       | 42/40 | 5    |
| 25           | 175        | 1/14.3 | 20         | 140/200    | 21/15       | 42/40 | 6    |
| 30           | 200        | 1/15   | 20         | 140/200    | 21/15       | 42/40 | 7    |
| 35           | 225        | 1/15.6 | 20         | 140/200    | 21/15       | 42/40 | 8    |
| 40           | 250        | 1/16   | 20         | 140/200    | 21/15       | 42/40 | 9    |

表 1-2 列出了郑州黄河公路大桥及开封黄河公路大桥的 T 形截面梁数据：

郑州黄河公路大桥及开封黄河公路大桥 T 形截面参数表 表 1-2

| 桥梁名称         | 标准跨径<br>(m) | 梁高<br>(cm) | 高跨比    | 肋厚<br>(cm) | 上翼缘板 (cm)  |             | 马蹄        | 横隔板数 |
|--------------|-------------|------------|--------|------------|------------|-------------|-----------|------|
|              |             |            |        |            | 预制宽/<br>全宽 | 根部厚/<br>边缘厚 | 全宽/<br>全高 |      |
| 郑州黄河<br>公路大桥 | 20          | /          | /      | /          | /          | /           | /         | /    |
|              | 40          | 230        | 1/17.4 | 17         | 248/248    | 21/8        | 248/230   | 7    |
|              | 50          | /          | /      | /          | /          | /           | /         | /    |
| 开封黄河<br>公路大桥 | 20          | 145        | 1/13.8 | 16         | 247/247    | 21/8        | 247/145   | 5    |
|              | 50          | 260        | 1/19.2 | 18         | 247/247    | 21/8        | 247/260   | 8    |

## 第2章 T形梁病害调查分类、病害原因分析及承载能力评价

T形梁病害调查主要从梁体、横隔板和桥面铺装三方面开展调查分析。结合工程实例介绍了T形梁桥病害成因分析,对原桥承载能力复核、考虑承载能力折减的复核、进行了荷载试验,对结构承载能力进行了评价。

### 2.1 T形梁病害调查分类

#### 2.1.1 梁体病害调查

##### 1. 正截面受弯裂缝

正截面受弯裂缝是目前梁体较为容易出现的一种裂缝,具体表现为沿着梁高方向的竖向裂缝或在T形梁底面的横向开裂。裂缝形态如图2-1所示。

##### 2. 弯剪型斜裂缝

因弯矩的作用首先在梁下产生竖向裂缝,导致截面应力的重分布,其结果是劈尖的剪应力和正应力显著增大,裂缝在由剪应力和正应力所构成的主拉应力作用下斜向发展而形成的弯剪裂缝。它出现的区域一般在 $1/4L \sim 3/4L$ 梁体之间,如图2-2所示。

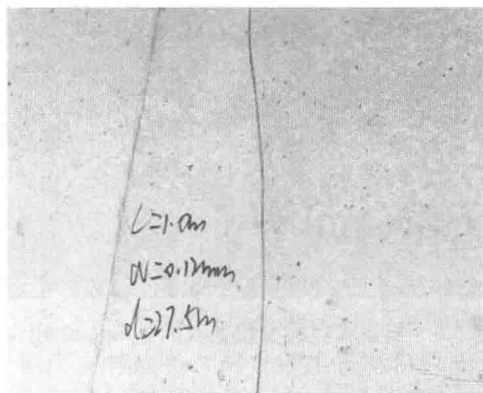


图2-1 竖向裂缝示意图



图2-2 弯剪型斜裂缝示意图

##### 3. 腹剪型斜裂缝

在剪力较大,弯矩较小的梁段腹部,由剪应力构成的主拉应力超过混凝土在此应力状态下的抗拉强度时,混凝土即在与主拉应力垂直方向开裂并斜向发展。常见于支点附近腹板上的斜向裂缝,裂缝形态如图2-3所示。

##### 4. 粘结裂缝

斜裂缝的发展导致与斜裂缝相交的纵筋应力显著增大,而支座截面处的纵筋应

力为零，使纵筋产生很大的拉力差，由纵筋与混凝土粘结力来平衡，当粘结力超过其粘结强度时即产生粘结裂缝。若纵筋端部的锚固力不足，可能产生纵筋被破坏的粘结裂缝。

5. 撕裂裂缝

随着斜裂缝的发展，斜裂缝抗剪能力逐步削弱，斜裂缝两侧混凝土梁体在剪力作用下沿斜裂缝面的错动趋于明显，梁端纵筋下部的混凝土受到纵筋向下的崩力，对无箍筋或箍筋配置较少的梁，在此崩力作用下将产生沿纵筋的撕裂裂缝。

6. 梁腹板上的竖向裂缝

多位于薄腹板的中部，中间宽两头细，未向上、向下延伸，多系混凝土养护差、或温度变化、或腹板上的水平筋太小等原因所导致的收缩裂缝，主要影响结构的耐久性。

7. 沿预应力钢束的纵向裂缝

产生的原因为预应力钢束保护层过薄，钢束处局部应力过大产生劈裂或是混凝土保护层碳化后预应力筋生锈所致。

8. 预应力锚具锚下纵向裂缝

长度一般不超过梁高，主要为锚下局部应力集中产生的劈裂拉力所致。

9. 翼缘板腹板交接处斜向裂缝

产生的原因可能是由于梁端头被混凝土堵死，在热胀的作用下翼缘混凝土局部开裂，如图 2-4 所示。

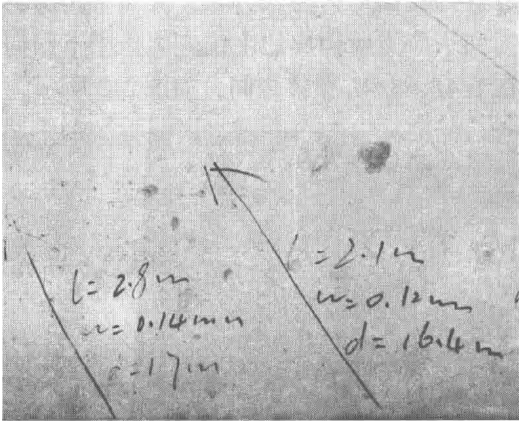


图 2-3 腹剪型斜裂缝示意图



图 2-4 翼缘板腹板交接处斜向裂缝示意图

一般 T 形梁的翼板厚度远小于梁高，当按铰接考虑梁的横向连接时，由于翼板相接处的结构高度与梁高相差太大，其铰接作用很难实现，且未设置足够的横向连系，从而在翼板连接处造成损坏；按刚接考虑梁的横向连接时，如果横梁数量设置不够，也形不成横向刚性连接，实际受力状态与理论不符，会形成单梁受力过大而损坏，当横梁本身抗力较弱时，也极易由于承受较大的横向弯曲力的作用而损坏。对于装配式 T 形梁，应设置数量和抗力足够的横梁，并按梁格体系进行结构分析，对主梁及横梁分别进行结构设计，以保证结构实际受力状态与理论受力模式相符。

### 2.1.2 横隔板病害调查

T形梁横隔板如采用铰接的方式,横隔板产生的病害主要有以下几种:

#### 1. 接缝处开焊

在桥梁实际运营过程中,横隔板相交的位置计算假定为铰接,在两片梁之间不传递弯矩的作用,但是会产生相对转角,如相对转角过大就会导致焊接焊缝开裂,接头处水泥砂浆保护层脱落等病害,如图2-5所示。

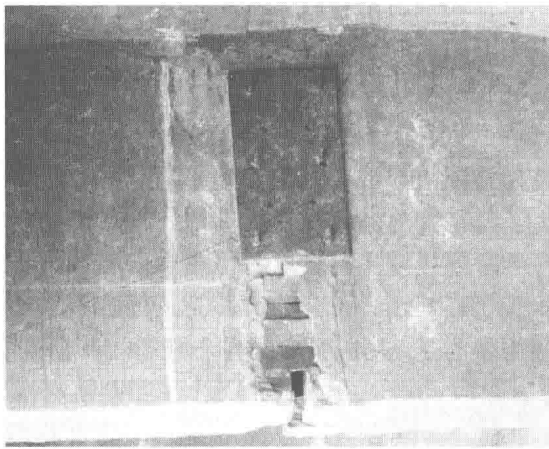


图2-5 横隔板接缝处开焊示意图

#### 2. 预埋钢板处混凝土开裂

在预埋钢板处,常会出现钢板与混凝土之间的锚固出现破坏而反映到混凝土外侧的裂缝上。

#### 3. 斜裂缝

在横隔板上常常会出现由于根部附近剪力较大而出现的斜向裂缝。

#### 4. 横隔板与梁体连接处的裂缝

在横隔板与梁体接触位置,如果横隔板中的钢筋伸入梁体中数量较少的话,会出现沿梁体高度方向的竖向裂缝。

### 2.1.3 桥面铺装病害调查

桥面铺装的主要病害为沿翼缘接缝处的纵向裂缝,较多发生在预制装配T形梁桥翼缘采用铰接或横向联系受损较大的装配式简支梁桥。此种病害会造成恶性循环,加重单片梁的其他病害程度。另外较容易出现病害的就是桥面连续位置处横向裂缝,发展严重的会形成破碎带,然而此种病害与所采用的简支体系有关,只需简易处理即可。

T形梁桥面铺装的损坏主要是因为:

- (1) 铺装层结构不合理或材料性能较差,在剪应力的作用下产生剪切破坏;
- (2) 铺装层与桥面板间以及桥面铺装层之间的粘结质量较差,抗水平剪切能力较弱,在水平方向上产生相对位移而发生剪切破坏,从而产生推移、拥包等病害;
- (3) 因温度变化并伴随桥面板或梁结构的大挠度而产生的裂缝,在车辆荷载及渗入的水的作用下产生面层松散和坑槽破坏。

T形梁桥面铺装损坏的防治措施,防治桥面铺装损坏的关键除了合理的桥面铺装结构设计、桥面铺装材料的质量和施工质量外,最主要的是要保证桥面铺装层与桥面板间以及桥面铺装层之间的粘结质量。对于设找平层的装配式桥梁,必须严格控制施工质量,梁板顶面凿毛露出骨料,并用高压水枪将桥面板清洗干净。为使桥面铺装与梁板结合紧密,使桥面铺装共同参与受力,同时固定桥面铺装钢筋的位置。

### 2.1.4 郑州黄河公路大桥病害综述

郑州黄河公路大桥于 1984 年开始建设, 1986 年 10 月 1 日通车。它南起郑州市花园口, 北抵河南省新乡市原阳县马庄, 为河南省内跨越黄河的重要快速通道, 也是 107 国道上的重要桥梁。该桥主桥全长 5549.86m, 共 137 跨。桥宽 1.0m (人行道) + 16m (行车道) + 1.0m (人行道); 南引桥面宽 19.5m, 行车道宽 16m, 两侧人行道宽各 1.5m。设计荷载为汽 - 超 20 级、挂 - 120, 人群  $3.5\text{kN/m}^2$ 。该桥上部结构为预应力混凝土简支 T 形梁, 桥面每 140 ~ 250 米设一道伸缩缝, 全桥共 25 联。下部结构为钻孔灌注桩基础, 桩式桥台, 双柱式桥墩。

大桥连接线上有三座桥, 基本情况如下: (1) 老庄桥为  $6 \times 16\text{m}$  预应力空心板桥梁, 桥长 100m, 桥宽 1.5m (人行道) + 23m (行车道) + 1.5m (人行道); (2) 幸福渠桥为  $2 \times 16\text{m}$  预应力空心板桥梁, 桥长 32.40m, 桥宽 0.5m (人行道) + 23m (行车道) + 0.5m (人行道); (3) 索须河桥为  $12 \times 16\text{m}$  预应力空心板桥梁, 桥长 196.20m, 桥宽 1.5m (人行道) + 23m (行车道) + 1.5m (人行道)。

该桥于 2009 年 11 月发现部分横隔板出现开裂、混凝土脱落等病害。2010 年 3 月份对该桥进行了详细的病害调查。调查发现该桥主要以部分 T 形梁横隔板 (包括 20m、40m、50m) 断裂、混凝土脱落; 桥梁桥面纵缝、横缝、网裂等病害为主, 特别是西幅病害更加严重。随后针对不同病害给出了相应加固方法并通过专家评审, 针对该加固工程已经完全结束。

2010 年 6 月份开始对该桥横隔板等病害进行加固。9 月份在加固 20mT 形梁横隔板过程中, 发现部分梁体有多条竖向裂缝, 严重的已开裂至翼缘下缘。大桥管理公司及主管领导极其重视, 迅速组织检测、设计、监理、施工等单位制定抢修方案, 并多次召开专家会对抢修方案进行评审, 现在抢修方案也已经完全实施完毕。

2010 年 10 月底, 在 40mT 形梁横隔板加固过程中又发现 91 ~ 137 跨 (40m 跨径) 西半幅 T 形梁 (从东向西第 4、5、6、7 号梁) 特别是 6、7 号梁出现多条横向裂缝。受大桥管理公司委托, 我公司迅速对发现病害处主梁横向裂缝进行了调查, 并对其他跨包括 50m 跨 T 形梁进行详细调查, 成果汇编在《郑州黄河公路大桥外观特别检查报告》。由于资金等方面的原因, 从 2011 年 1 月起对 40 米 T 形梁病害最为严重处进行加固。

2010 年 11 月 1 日至 2011 年 2 月 5 日对郑州黄河公路大桥进行了特别外观检查, 桥梁主要病害为:

#### 1. 桥面系

桥面存在严重纵向开裂、并伴有坑槽及网裂, 开裂严重处形成一条约 50cm 宽的开裂带, 该裂缝与主梁翼缘板接缝对应。

#### 2. 上部结构

(1) 主梁: 除 50m T 形梁处于较好的状态之外, 20m 及 40m 梁体病害严重, 具体表现为裂缝数量较多、裂缝分布区域较广且裂缝延伸高度较高。

从现场检查来看, 梁体的主要病害为在汽车荷载作用下的受力裂缝, 20m 及 40m T 形梁病害为跨中附近的正截面竖向裂缝、跨中到四分点之间的弯剪型斜裂缝

和支座附近的腹剪型斜裂缝。

(2) 横隔板: 目前新发现的 20m T 形梁横隔板损坏以斜向裂缝为主; 40m 及 50m T 形梁部分严重的横隔板已经完全断裂, 完全起不到横向联系的作用。

(3) 支座: 支座病害的类型主要为剪切变形、橡胶老化、以及滑动支座处的钢板锈蚀、防尘罩破损、橡胶老化。

## 2.2 病害原因分析

(1) 桥面纵向裂缝主要发生在两块板交接处, 且西幅病害严重, 因为西幅重车较多, 横隔板出现开裂混凝土脱落病害, 严重的已经形成单梁受力, 在强大的剪力和重车冲击压力作用下, 桥面出现沿翼板接缝位置的纵向裂缝。另外旧的桥面铺装层较薄且配筋为  $\phi 8$  圆钢, 本身强度及整体性也较低。

(2) 梁体的主要病害为在汽车荷载作用下的受力裂缝, 产生原因为跨中正截面拉应力超过混凝土容许拉应力、四分点及支座附近主拉应力超过混凝土抗拉应力而产生的斜裂缝。该种裂缝形成的原因: ①车辆超载超限情况比较严重, 使桥梁承受的荷载较以前设计标准有较大的提高, 降低了桥梁的安全储备。②由于桥梁修建年代较早, 依据当时的桥梁设计理念, 本着节约材料与资金的原则, 桥梁的截面尺寸包括梁高及腹板厚度均较小、支座附近变截面长度不满足目前规范要求, 这些原因都会造成桥梁安全储备和整体刚度不足, 易引起梁体开裂等病害。③由于之前横隔板破坏较严重, 横隔板在上部结构荷载横向分配中起重要的作用, 如果横隔板损坏严重, 会引起横向上各个梁传力不顺畅, 单片梁承受荷载变大, 从而造成梁体加速损坏。

(3) 横隔板的开裂属于剪切和弯拉破坏。最近几年本桥交通量的急剧增大及重车的增多, 原有横隔板横向联系不足以抵抗重载交通下的横向弯矩和剪力作用, 是造成横隔板破坏的主要原因。

横隔板在起到联系各个梁体的作用的同时, 也要承担桥梁结构在横向上汽车产生的效应。从受力模式上讲, 横隔板是一个横向受弯构件, 也要承受弯矩跟剪力的作用, 因此亦容易在弯矩跟剪力共同作用下产生斜裂缝。

横隔板破损程度较 20m 横隔板严重得多, 50m 横隔板在汽车荷载作用下的受力模式同 20m T 形梁横隔板类似, 也是承受弯剪共同作用, 但是由于 50m 跨度较大, 承受的荷载必定更大, 同时, 受过去减少自重以及荷载水平较低的影响, 在设计当中采用了将横隔板中心挖去一个六边形的方法。虽然这种方式减轻了自重, 但是在目前超载如此严重的情况下, 不能适应这种荷载水平, 出现了大量损坏。而且, 在过去的横隔板设计中, 两个横隔板的连接采取的是将接头处进行焊接的方法。目前来看, 这种方式强度严重不足, 许多横隔板在此部位纷纷断裂。横隔板破坏之后, 会造成桥梁横向联系变弱, 使单片梁承受的荷载迅速增加, 加速梁体的损伤。同时梁体损伤之后, 会使梁体刚度下降, 在超载车辆作用下变形加大, 这也会造成两块横隔板之间剪切变形加大, 使横隔板加速破坏, 在梁体破坏跟横隔板破坏之间形成一个恶性循环。