



www.okok.org

中华钢结构论坛精华集系列丛书 (4)

# 钢结构连接与节点 (下)

上海市徐汇区钢结构学会 中国汽车工业工程有限公司 编著



万叶青 齐煜 袁鑫 主编



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.



www.okok.org

中华钢结构论坛精华集系列丛书 (4)

# 钢结构连接与节点 (下)

上海市徐汇区钢结构学会 中国汽车工业工程有限公司 编著



万叶青 齐煜 袁鑫 主编

TU391  
66 V2



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

## 内 容 提 要

本书是按照工程设计的习惯,依据《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)和《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102:2002),参考《钢结构连接节点设计手册》和《钢结构设计手册》等资料,将中华钢结构论坛(www.okok.org)上的相关内容精选归类,并深入整理提升后编写而成。汇集了大量钢结构连接节点的实例及其设计中的常见问题,涉及基本概念、荷载条件、计算分析、连接节点、构造做法、设计图例等方面,涵盖了钢结构连接节点中绝大多数问题。书中内容注重理论与实践的结合,力求实用、系统与深入。

全书共七个部分,四十九章,分为上、下两册。下册包括五个部分,三十三章。

本书适用于建筑结构设计、施工和管理人员,亦可供相关专业的教师和学生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

钢结构连接与节点.下/上海市徐汇区钢结构学会,中国汽车工业工程有限公司编著. —北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.8

ISBN 978-7-114-11534-9

I. ①钢… II. ①上… ②中… III. ①钢结构—连接技术 ②钢结构—结点(结构) IV. ①TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 151522 号

书 名: 钢结构连接与节点(下)

著 者: 上海市徐汇区钢结构学会 中国汽车工业工程有限公司

责任编辑: 杜 琛 卢 珊

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 30.5

字 数: 728 千

版 次: 2014 年 8 月 第 1 版

印 次: 2014 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11534-9

印 数: 0001—3000 册

定 价: 70.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

## 本书主编单位

上海市徐汇区钢结构学会 中国汽车工业工程有限公司

## 本书组织委员会

主任 杨 俭  
副主任 袁 鑫  
委员 张伟欣 栗海合

## 本书编辑委员会

主 编 万叶青 齐 煜 袁 鑫

# 前 言

## Qianyan

中华钢结构论坛([www.okok.org](http://www.okok.org))自创立之日起,一直秉承坚持公益、追求专业、服务会员的宗旨,受到了结构领域各方人士的广泛关注,已经发展成为我国乃至全球颇具影响的结构专业论坛之一。至2014年,论坛的注册会员数超过33万,现存帖子数超过98万。

学分先后,术有专攻。论坛会员来源广泛,话题涉及方方面面,但大都是从各自不同的角度提出的具体问题。既有入门的知识,也多见有难度和深度的话题,常产生激烈的讨论并形成大量理论与实践紧密结合的案例。对各层次工程技术人员都具有阅读性和参考性。

为了充分发掘此宝贵资源,更好地服务于社会,推动结构专业领域的技术发展,2004年论坛组织编写了第一本精华集《结构理论与工程实践》,然而由于篇幅有限,许多重要内容未能收录,使得读者感到意犹未尽。出于存广求专的目的,我们针对具体栏目,根据不同的结构类型和技术门类,编辑整理成更加细化了的精华集系列丛书。2007年基于论坛的“普钢厂房结构”专栏,整理编写了论坛精华集系列丛书的第一本《普钢厂房结构设计》。2008年,又基于“轻钢厂房结构”专栏,整理出版了论坛精华集系列丛书的第二本《轻钢结构设计》。精华集的出版受到广大专业读者的欢迎和喜爱。

为了便于读者在中华钢结构论坛上查找相应的话题,我们在话题内容的整理过程中保留了每个话题的id号和首帖发布日期。

“连接与节点”专栏,共有两千多个话题,超过一万个帖子,是钢结构设计话题讨论最多的专栏之一。应广大会员与专业读者的需要,围绕该专栏的话题,我们编辑整理了《钢结构连接与节点》精华集。本书侧重于钢结构连接节点设计中的实际工程问题和处理方法。全书分上、下两册,上册包括两个部分,十六章;下册

包括五个部分,三十三章。

《钢结构连接与节点(上)》已于2012年1月出版,给读者带来了专门针对钢结构连接节点方面的讨论,其中包括大量工程实例、经验和知识,有益于拓展工程视角,拓宽知识视野。根据读者建议,我们继续整理出版《钢结构连接与节点(下)》,将钢结构连接与节点的讨论话题加以完善,完成该栏目话题整理出版的阶段性工作。

中华钢结构论坛自创立至今已经有16年的历史,现存的话题所涉及的工程技术和设计规范都有较大发展,会员发帖讨论的内容可能会显得有些过时,或与现行规范不对应。我们在整理过程中,考虑到有关话题对一些工程案例讨论过程的全面性,依然保留发帖当时引用规范版本号,未作调整。这样的处理方式,也是为了方便人们能够在此探寻到结构工程技术发展过程的一些印记。

本精华集尽量在每个话题后增加导读性质的编者点评,并将各话题下的重点帖子用★号标记,以示推荐。

《中国图书商报》对中华钢结构论坛的会员有过这样的评论:“他们是聚集在中华钢结构论坛上的‘草根’高手。”可能有些人不同意这样的提法,因为其中不乏大师、教授等真正的专家。不管怎样,这也许能反映出大家对他们的一种敬仰之情。

我们在此感谢所有积极参与专业讨论的会员。

本书由上海市徐汇区钢结构学会组织编写。我们努力确保内容的专业性和准确性,但限于水平必定存在不足之处,欢迎读者指正。

中华钢结构论坛

2014.6

# 开 篇

什么是轻钢结构?

随着建筑工程技术的不断进步,在近几十年时间里,建筑领域在钢结构方面的技术取得了飞速发展,出现了越来越多的“轻钢结构”建筑物,该项技术得到了较快发展,其技术水平也日趋成熟。

因为轻钢结构自重轻、承载能力相对较小,在发展的初始阶段多用于荷载较小、跨度不大的简易建筑中。到了 20 世纪 80 年代后期,逐步扩大应用的范围,以至仓库、办公楼、民用住宅、工业建筑和体育公用设施等中都有应用。

这类“轻钢结构”的出现,给结构体系、建筑材料、造型色彩、加工运输、安装施工、防腐、防火等方面带来了许多变革。这些变革无疑是对传统的建筑结构设计的一个挑战,设计人员需要突破一些常规的设计理念、分析方法和构造做法等的约束。综合来看,无论是结构体系、荷载条件、分析方法,乃至连接构造等方面都与普通钢结构的要求和做法有所不同。因此,为了确保建筑物的安全适用,在设计之前,设计人员首先要明确或假定结构的类型或属性,建筑物是否为轻钢结构。可以说,现今的理论水平、计算技术、制作加工和运输安装等条件的发展为“轻钢结构”实施提供了良好的技术保障。

“轻钢结构”只是一种较为宽泛的概念,没有较为具体的定义,也没有非常严格的界限,再加上有些建筑结构的类型较为复杂,结构设计人员有时很难判断结构的类型属性。这就给设计人员,特别是刚开始学习结构设计的人带来许多困难,在面对这样的结构形式时,经常会感到无从下手。为了解决这个问题,有必要将涉及轻钢结构和普钢结构的设计要素和技术条件进行分类比较。

一般而言,钢结构的类型大致可以分为轻型钢结构房屋、普通钢结构厂房、高层钢结构等。结构类型涉及因素较多,例如,选用材料、结构形式、风荷载、设备荷载、结构自重、地震作用等。轻钢结构的结构体系主要是门式刚架结构,而普钢结构包括刚架、排架、框架,以及大跨度空间结构等。

为了便于广大工程设计研究人员学习和应用,我们把一些结构类型和规定简单汇总于下表,结合中华钢结构论坛中帖子的讨论和点评,期望能给大家一些启示。

钢结构设计常用的规范包括以下几个:

- (1)《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102:2002);
- (2)《钢结构设计规范》(GB 50017—2003);
- (3)《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010);

- (4)《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99—98);  
 (5)《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002);  
 (6)《钢结构工程施工规范》(GB 50755—2012)。

轻钢与普钢比较

序号	项目	名称	轻钢	普钢
1	材料	屋面围护	彩钢板	普通建材
2	吊车	悬挂吊	≤3t	不限
3		桥吊	≤20t	不限
4		工作制	中、轻级	不限
5	结构尺寸	高度	≤9.0m	—
6		跨度	≤36m	—
7		柱距	6~9m	—
8	温度缝间距	横向	150m	100~150m
9		纵向	300m	120~220m
10	柱脚节点	连接形式	刚接或铰接	刚接

结构的类型不同,考虑的设计条件也不一样,例如,荷载条件、结构体系、支撑设置、计算方法、构造要求,以及节点做法等都有不同的规范和规程要求。

钢结构的连接节点设计与钢结构类型密切相关。在轻型门式刚架钢结构中,大量采用了端板连接的形式。这种节点便于制作安装,大大缩短了建设周期。

由于轻钢结构自重轻,抗震性能和抵御变形能力都比较好,但对风荷载和雪荷载作用比较敏感。在实际工程中可以看到有一些轻钢结构建筑物被大雪压垮、被大风破坏的例子。对于地震作用,轻钢结构房屋往往具有一定优势。而普钢结构厂房需要考虑抗震要求,其结构体系和连接节点应符合《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)的规定。

因此,在轻钢结构设计中,需要注意以下两点:

(1)轻钢结构对风荷载比较敏感,要注意结构的抗风能力,体形系数的取值要合适。重点关注部位:雨篷结构和檩条连接等。

(2)轻钢结构往往荷载较小,外部荷载的变化对结构体系会有影响。设计中应当考虑雪荷载的分布系数。重点关注部位:女儿墙或高低跨处的刚架和檩条。



# 目 录

## Mulu

### 第 3 部分 门式刚架轻钢结构

第一章	概念问题	3
第二章	连接设置	25
第三章	端板螺栓	35
第四章	端板厚度计算	45
第五章	节点域计算	49
第六章	抗风柱及柱上节点	56
第七章	刚架中柱连接	63
第八章	主次梁连接	68
第九章	系杆连接	73
第十章	交叉支撑	82
第十一章	柱脚锚栓	91
第十二章	柱脚抗剪键	100
第十三章	铰接柱脚	114
第十四章	刚接柱脚	120
第十五章	其他柱脚连接问题	125
第十六章	加工与安装	134
第十七章	围护结构	139

### 第 4 部分 多高层钢结构

第一章	综合讨论	153
第二章	柱上节点	161

<b>第三章 梁与柱连接</b> .....	164
一、概念问题 .....	164
二、节点计算 .....	172
三、梁柱连接悬臂段 .....	179
四、箱形截面连接 .....	181
五、梁柱斜交及梁上柱 .....	195
六、其他梁柱连接 .....	201
<b>第四章 梁与梁的连接</b> .....	212
一、主次梁连接 .....	212
二、梁的拼接 .....	219
三、次梁斜交及偏心 .....	222
四、梁的其他连接 .....	231
<b>第五章 柱脚节点</b> .....	241
<b>第六章 支撑连接</b> .....	249

## 第 5 部分 桁架及网架

<b>第一章 钢屋架</b> .....	257
一、概念问题 .....	257
二、连接节点 .....	265
<b>第二章 钢桁架</b> .....	273
一、概念问题 .....	273
二、计算设计 .....	286
三、节点板要求 .....	290
<b>第三章 空间网架结构</b> .....	295
<b>第四章 管桁架</b> .....	303
一、概念问题 .....	303
二、连接计算 .....	309
三、节点设计 .....	316
四、试验研究 .....	323

## 第 6 部分 吊车梁节点

<b>第一章 吊车梁</b> .....	341
一、一般概念 .....	341
二、连接设计 .....	355
三、其他连接 .....	362

第二章 牛腿节点.....	371
一、设计计算 .....	371
二、特殊牛腿 .....	379
第三章 吊车梁与牛腿连接.....	392
一、连接设计 .....	392
二、连接方式 .....	400

## 第7部分 钢与其他材料连接

第一章 钢与混凝土连接.....	415
一、钢梁与混凝土柱 .....	415
二、钢柱与混凝土连接 .....	425
三、组合结构连接 .....	434
四、植筋与埋件 .....	440
五、其他连接问题 .....	450
第二章 钢与砌体及木结构连接.....	456
第三章 支座节点.....	459
一、支座类型 .....	459
二、钢梁与天桥等支座 .....	463
三、其他问题 .....	469

## 第3部分

## 门式刚架轻钢结构

- 整理 万叶青
- 审核 袁 鑫



---

# 第一章 概念问题

---

## 1 规范理解:轻钢结构如何定义? (tid=69368 2004-9-7)

**【garfield】:**请教,在钢结构连接与节点设计中,对于轻钢结构往往有专门要求。这里的“轻钢结构”如何定义?

**【战场狼】:**在《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102:2002)里,对轻钢结构的适用范围有规定。

**【doubt】:**引用蔡老师的说法,用钢量在  $30\text{kg}/\text{m}^2$  以下,可以作为轻钢来考虑;以上则为普钢。其实轻钢结构狭义的说法,就是采用轻型材料的钢结构。

点评:在下册开篇中给出了轻钢结构的一些概念和区分的简单方法。本话题中“doubt”引用了按照用钢量指标作为轻钢结构定义的说法,是一种经验判断的简便方法,设计中还是应以规范条文规定为准。

## 2 《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102:2002)中端板厚度取值的讨论

(tid=88928 2005-3-28)

**【njgyangwei】:**《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102:2002)中,端板厚度取值是按屈服线准则设计的。而条文说明中说:“这种端板厚度的计算方法大体相当于塑性分析和弹性设计得出的板厚。”

何谓塑性分析和弹性设计?两者怎么能并列?

蔡益燕老师说:“端板连接厚度要大于  $16\text{mm}$ ,且平齐端板连接是半刚性连接。”该说法是否正确?

★**【freebirdy】:**端板的优点是安装方便。超过设计承载力时为半刚性连接。

端板的两种布置形式:外伸式和齐平式。后者是半刚性连接。

端板连接不得采用普通螺栓代替高强度螺栓。

端板厚度应由计算确定,但不应小于  $16\text{mm}$ 。

构件与端板的连接焊缝为直接承受动力荷载作用的对接焊缝,受拉横向焊缝应为一級;不需要做疲劳验算的结构中,对接焊缝受拉不应低于二級。角焊缝只能达到三級,不能要求一級或二級。

“超过设计承载力时为半刚性连接”这个说法是否正确,请大家讨论!

**【liukaicai】:**“超过设计承载力时为半刚性连接”这个说法是正确的。因为节点荷载超过设计承载力时,节点连接的受力方式改变,端板连接面之间的摩擦力失效,取而代之的是高强

螺栓抗拉及抗剪来维持该节点的存在,但这种结构是不稳定的。

**【wanyeqing2003】**:有观点认为端板连接为半刚接。有兴趣的朋友可以看看郭兵、陈爱国编写的《半刚接刚架的有限元分析及性能探讨》,发表于《建筑结构学报》,2001年第22卷第5期。

我认为端板处的受力状态与梁其他部位的受力有很大的不同。受弯时,在梁截面处翼缘受拉,而在端板处通过螺栓的拉力转为端板平面上受弯。由此就会产生所谓的半刚接现象。

此外,对于端板连接处螺栓的受力状况各国的规定也不同。国外多数是按非线性拉力分布计算的。而我国则以线性即三角形分布计算螺栓拉力。应该指出我国的规定是偏于安全的。

**【yzhg2002】**:我做过门式刚架端板连接的有限元分析,当所用端板尺寸满足《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102:2002)中规定时,连接可当作刚接。

★**【DYGANGJIEGOU】**:门式刚架梁与柱连接的常见节点形式属于半刚性连接节点。

门式刚架梁端板无外乎三种连接形式:端板竖放、端板斜放和端板平放。看成刚接节点的前提是:当门式刚架梁端板的厚度足够厚且螺栓布置合理、数量足够时,端板连接可以作为刚性连接。

在实际工程中,理想的刚性连接是很少存在的。通常,按梁端弯矩与梁柱曲线相对转角之间的关系,确定梁与柱连接节点的类型。

★**【轻钢结构】**:“njgyangwei”提出:“何谓塑性分析和弹性设计?两者怎么能并列?”

在多遇地震作用下进行弹性设计,罕遇地震作用下进行塑性分析。二者不矛盾,可并列。

具体讲:目前设计门式刚架构件都用变截面,梁截面变化适应于弯矩图变化,没有必要采用塑性设计,大都进行弹性设计。但位于地震区的结构需要具有吸能能力,如果要求在连接截面通过塑性变形吸能,则端板应设计得较薄,这和连接的刚性要求有一定矛盾。合理的办法是把连接承受弯矩的能力提高到梁塑性弯矩的1.2倍,这样在罕遇的强烈地震作用下,即使梁截面出现塑性并发挥其吸能能力,也不会导致连接受到破坏。

以上论证依据为下面的论文,全文内容见附件3-1-1。

#### 附件3-1-1

#### 门式刚架端板螺栓连接的强度和刚度

陈绍蕃

(西安建筑科技大学 西安 710055)

**摘要** 论述门式刚架梁和柱的端板螺栓连接的设计问题,包括连接应满足的要求、构造形式、螺栓计算、端板厚度和节点刚度,还结合实验资料论证,按文内推荐的方法进行设计,在取得必要的强度的同时连接刚度也符合要求。

**关键词** 螺栓连接 端板 门式刚架 强度 刚度

## The Strength and Stiffness of Bolted End-plate Connection in Portal Frames

Chen Shaofan

(Xi'an University of Architecture and Technology Xi'an 710055)

**Abstract** This article discusses design problems of bolted end-plate connection of portal frames in all respects such as requirements to be fulfilled by the connection, type of detailing, calculation of bolt, thickness of end-plate and stiffness consideration. Basing on test evidence, it is shown that the design procedure presented herein can provide adequate stiffness together with necessary strength.

**Key words** bolted connection end-plate portal frame strength stiffness

### 1 刚性连接应满足的要求

轻型门式刚架的梁柱连接一般都做成刚性的。刚性连接的构成应不仅能够承受刚架分析得出的内力，还应保证所连构件之间的夹角基本不变。当然，实际的构造不可能是绝对刚性而毫无变形的。那么，变形应该限制在什么范围之内就值得设计者关注了。近年来随同半刚性连接的研究，不断有论文加以探讨<sup>[1-3]</sup>。但在设计规范中作出规定的，只见于欧洲规范 EC3<sup>[4]</sup>。这本规范对区分刚性和半刚性的规定见图 3-1-1。此图适用于无支撑框架，梁和柱的线刚度比不小于 1/10 者。分界线分为 3 段，分别对应于弹性、弹塑性和塑性阶段。图中横坐标  $\varphi = \theta EI / (l M_p)$ ，纵坐标  $m = M / M_p$ 。I、l 和  $M_p$  分别为梁的截面惯性矩、跨长和塑性弯矩；M 和  $\theta$  分别为连接截面的弯矩和在弯矩作用下的转角。这个分界准则将在第 5 节中用来考察端板螺栓连接的刚性。

目前设计轻型门式刚架，构件都用变截面的。梁截面变化适应于弯矩图的变化。没有必要采用塑性设计。但是，如果构件都做成等截面的并采用塑性设计而且塑性铰出现在梁端截面，则对连接还有一个转动能力要求。鉴于这种设计很少采用。这里不作进一步讨论。

位于地震区的结构需要具有吸能能力。如果要求在连接截面通过塑性变形吸能，则端板应该设计得较薄，这和连接的刚性要求有一定矛盾。合理的办法是把连接承受弯矩的能力提高到梁塑性弯矩的 1.2 倍。这样，在罕遇的强烈地震作用下梁截面出现塑性并发挥其吸能能力，而连接不致受到破坏。

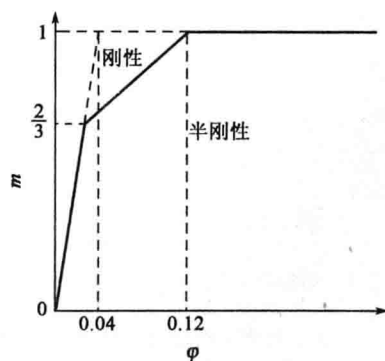


图 3-1-1 刚性和半刚性连接分界

### 2 端板螺栓连接的形式和构造

端板螺栓连接有外伸式(图 3-1-2a、b)和平齐式(图 3-1-2c)之别。后者只适用于半刚性连接的框架。与柱半刚性连接的梁，端部弯矩较小，在梁高度范围内设置螺栓足以承受此项弯矩。刚性连接的梁则情况相反，必须借助设在梁高度以外的螺栓方能胜任。外伸式端板可以只在上翼缘外(图 3-1-2a)或同时在两翼缘外(图 3-1-2b)加设螺栓，取决于弯矩是否反向。不加设螺栓的一边也需外伸少许以满足传递压力的需要。当在斜截面设置端板时(图 3-1-2d)，螺栓力臂有所增大，则端板不外伸也能满足要求。连接中其他螺栓根据抗剪需要和最大间距要求确定。

为了保证连接的刚度，柱应在梁翼缘处设置加劲肋。如果省去加劲肋，虽然可以通过柱腹板和翼缘的受力情况核实它们的强度和稳定性，但柱在连接范围内的局部变形会使梁端转角增大。图 3-1-3 给出柱设置和不设加劲肋时梁端弯矩和转角关系曲线对比的一个例子<sup>[5]</sup>，可以充分说明设置加劲肋的必要性。



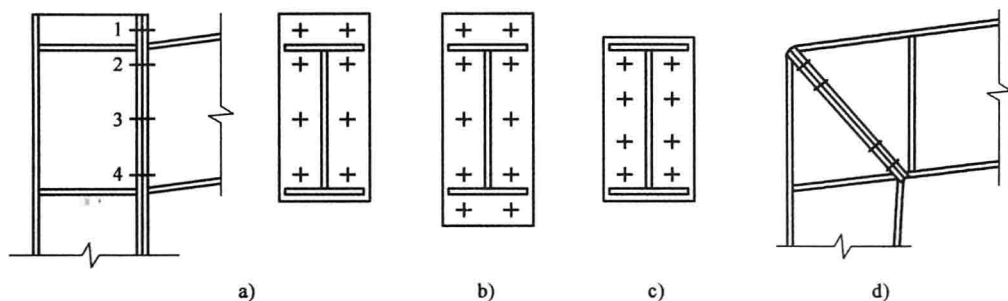


图 3-1-2 端板螺栓连接的形式

螺栓一般用高强度的 8.8 级或 10.9 级,安置时应施加预拉力。除因传递剪力的需要外,预拉力也对连接刚度有增强作用。图 3-1-4 给出弯矩转角关系的试验曲线对比<sup>[6]</sup>。图中实曲线代表预拉螺栓,虚曲线则代表未预拉者。虽然两者承受弯矩的能力随转角增大而逐渐接近,但未施加预拉力的连接转动刚度明显偏低。

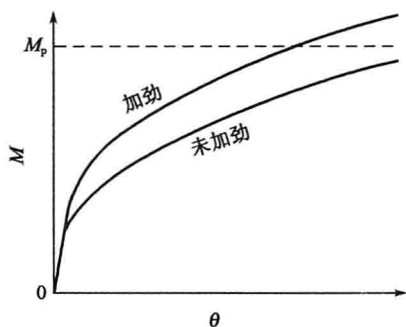


图 3-1-3 加劲肋对连接刚度的影响

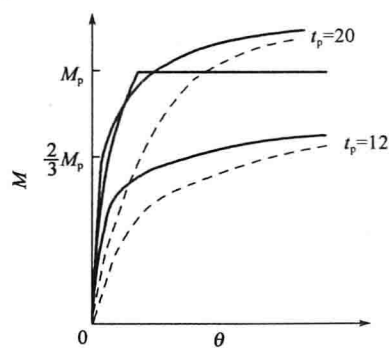


图 3-1-4 螺栓预拉力对连接刚度的影响

### 3 螺栓计算

在弯矩作用下各螺栓拉力的分布情况和端板的柔性有密切关系。端板很厚的连接受弯后变形很小,螺栓拉力呈线性分布。旋转中心可以认为位于梁受压翼缘的厚度中央处(图 3-1-5b)。当端板较薄时,外伸部分没有梁腹板的扶持,柔度较大,该处螺栓的内力将小于梁翼缘内侧的一行螺栓(图 3-1-5c)。试验表明:当螺栓有预拉力时,内外螺栓的拉力差别不大,见图 3-1-6<sup>[6]</sup>。此图螺栓直径和端板厚度都是 20mm。我国对高强螺栓都施加预拉力,且端板厚度一般大于螺栓直径,可以把内外螺栓看作受力相同(图 3-1-5d),同时把梁受拉翼缘和端板作为独立的 T 形连接件看待,即忽略腹板的扶持作用。这样处理,算得的结果显然安全可靠。为了简化计算,还可以认为弯矩的拉伸作用完全由 1、2 两行 4 个螺栓承担,即每个螺栓承受拉力:

$$N_1 = \frac{M}{4h_1} \quad (3-1-1)$$

式中: $h_1$ ——梁上下翼缘中至中距离。

把弯矩化为作用在上下翼缘中心的力偶,符合弯矩主要由翼缘承担的现实。力的传递路径直接,可以保证节点性能良好。如果梁还受有轴力,则用受拉翼缘的拉力代替式中的  $M/h_1$ 。旋转中心位于受压翼缘中线上,意味着压力分布在此线两侧。因此,端板应从该中线伸出宽度: