



# 钢管截面的结构应用

## HOLLOW SECTIONS IN STRUCTURAL APPLICATIONS

[荷] J.沃登尼尔 著

张其林 刘大康 译

同济大学出版社



# 钢管截面的结构应用

[荷] J. 沃登尼尔 著

张其林 刘大康 译

同济大学出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

钢管截面的结构应用/(荷)沃登尼尔(Wardenier, J.)著;张其林,刘大康译. —上海:同济大学出版社, 2004. 1

ISBN 7-5608-2745-4

I. 钢... II. ①沃... ②张... ③刘... III. 钢管结构—截面—研究 IV. TU392.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第107887号

Hollow Sections in Structural Applications by  
J. Wardenier, ISBN 90 - 72830 - 39 - 3 © Bouwen  
met Staal 2002

### 钢管截面的结构应用

[荷] J. 沃登尼尔著 张其林 刘大康译

责任编辑 陈全明 责任校对 徐 栩 封面设计 李志云

---

出 版 行 同济大学出版社  
(上海四平路1239号 邮编200092 电话021-65985622)  
经 销 全国各地新华书店  
印 刷 上海市印刷七厂印刷  
开 本 787 mm×1092 mm 1/16  
印 张 12.25  
字 数 314 000  
印 数 1—3 000  
版 次 2004年1月第1版 2004年1月第1次印刷  
书 号 ISBN 7-5608-2745-4/TU·531  
定 价 118.00元

---

# 序 言

J. Wardenier 教授在 20 世纪后期对钢管结构的设计方法一直有着极大的影响。矩形钢管是他的创造,在他的努力下已经成为钢结构的主要截面形式之一。他丰富的研究成果成就了他在矩形钢管领域中的巨人地位。

Wardenier 教授因为在国际上致力于管结构设计准则标准化的领袖角色而蜚声全球,特别是在作为国际焊接协会(IIW)管结构 XV-E 分会主席期间。同样,在过去的 30 年中,无论是作为工作组的主席或成员,还是作为技术委员会的主席或成员,他对 CIDECT 活动始终如一的支持已经成为 CIDECT 成就的重要组成部分。

1982 年,他出版了具有里程碑意义的“管截面节点”一文。在此后的 20 年中,在管截面设计方面出版了很多专著和指南。这些专著和指南几乎都面对工程师这一读者层次,而对初学者而言,要理解那些复杂的公式显然十分困难。值得庆幸的是,Wardenier 教授对这个领域有着全面和透彻的了解,这使他能够为初学者——学生撰写一个缩略版本。本书正是这样一个缩略版本,他的“学生教材”是对钢管结构文献库的一个重要贡献。本书内容和说明总体上面向结构工程专业“研究生水平”的学生或本科 5 年级的学生。除了作为“钢管结构”专业课程外,本书部分内容还可作为钢结构原理及设计的入门课程。本书除了简洁地介绍了管结构性能的重要原则外,还展示了许多彩色图片和照片。本书所包含的材料是世纪之交国际知识库中的组成部分,对于结构设计工程师是一本理想的参考书,也是一本“学生教材”。

Jeffrey A. Packer 教授  
国际焊接协会管结构 XV-E 分会主席

Noel F. Yeomans 先生  
CIDECT 技术委员会主席

2002 年 3 月

# 致 谢

本书致力于为结构和土木工程领域的学生介绍基本知识。

由于不同国家关于钢结构特别是管结构的教学课时各不相同,本书以模块方式编写。为了满足不同国家的需要,成立了一个专门委员会来审核所用材料。虽然材料主要以欧洲规范为依据,但是很容易改变本书构架以将其与各国规范相联系。

感谢审查委员会在本书准备过程中的建设性建议。特别感谢我的同事 Packer 教授、Puthli 教授和 Yeomans 先生对本书所作的非常详细的审阅和建议。Packer 教授愿意仔细检查本书英语文字,在此表示感谢。

也感谢 CIDECT 各个设计指南的编写者们以及 CIDECT 本身为本书提供了这些设计指南的部分内容和基本知识。

感谢 Delft 工业技术大学,特别是 Van der Wouden 女士的打印工作和刘大康博士为本书图片和编排所做的出色工作。

同样要感谢钢结构建筑的 C. H. van Eldik 先生为本书所作的最后编排。

最后,感谢 CIDECT 对于本书编写的提议和支持以及为本书制作 CD 片。

J. Wardenier

Delft, 2002 年 3 月

## 对中文版出版的致谢

本书可作为土木工程专业学生的基本教材。

由于各个国家的钢结构特别是钢管结构的教学学时各不相同,本书以模块方式编写。为了满足不同国家的需要,成立了专门委员会对本书材料进行了审核。尽管本书主要依据欧洲规范编写,但很容易改变教案以将其与其他(国家)规范相联系。

感谢审核委员会在本书准备期间所提供的建设性建议。特别感谢我的同事 Packer 教授、Puthli 教授和 Yeomans 先生为本书作了仔细校核和建议。

感谢 CIDECT 设计指南的编写者们和 CIDECT,他们为本书提供了设计指南的部分内容和背景知识。

还要感谢 CIDECT 提议并赞助了本书的出版,以及从英语版本翻译为法语、德语、意大利语和西班牙语版本。

我感到荣幸的是,同济大学张其林教授愿意将本书翻译成中文。张其林教授曾经作为高级研究员在 Delft 工业技术大学我的小组工作过,在这里,他显示了聪明才智和杰出的研究能力。感谢张其林教授的学生于贵景、杨斌、姜峰、程立新、周骥、秦雅菲、刘洋为中文版所做的工作。

还要感谢 Delft 工业技术大学刘大康博士,他为本书的图表及其中文翻译做了出色的工作。他本人在钢管结构方面的工作和研究是这一领域主要贡献的一部分。

J. Wardenier

Delft, 2003 年 6 月

## 向提供插图和照片者致谢

下列摄影师、机构、公司、学院提供了书稿中使用的插图和照片，作者向他们表示感谢：

- Aeroview, The Netherlands
- Bouwen met Staal, The Netherlands (cover top left)
- Corus Tubes, United Kingdom
- CIDECT
- F. van Dam, The Netherlands
- Delft University of Technology, The Netherlands
- Fleumer Aerophoto, The Netherlands (cover top right)
- R. Grégoire, France
- T. van den Heuvel, The Netherlands
- Instituto para la Construcción Tubular, Spain
- L. Kramer, The Netherlands (cover bottom left)
- R. Kras, The Netherlands
- Kumamoto University, Department of Architecture, Japan
- I. Lambot, United Kingdom (cover bottom right)
- OTUA, France
- Ruhr University, Bochum, Faculty of Civil Engineering, Germany
- P. de Ruig, The Netherlands
- Tubeurop, France
- University of Toronto, Department of Civil Engineering, Canada
- Vallourec & Mannesmann Tubes, Germany

# 目 录

序言

致谢

对中文版出版的致谢

向提供插图和照片者致谢

<b>第一章 绪论</b> .....	1
1.1 历史和发展 .....	2
1.2 术语 .....	5
1.3 管截面的制作 .....	5
<b>第二章 管截面的特性</b> .....	7
2.1 力学性能 .....	7
2.2 结构管截面的尺寸和容许尺寸误差 .....	10
2.3 几何特性 .....	12
2.4 阻力系数 .....	20
2.5 防腐 .....	21
2.6 内部空间的利用 .....	21
2.7 建筑美观性 .....	23
<b>第三章 应用</b> .....	24
3.1 房屋建筑和展厅等 .....	24
3.2 桥梁 .....	27
3.3 堤坝 .....	28
3.4 海洋平台结构 .....	28
3.5 塔和桅杆 .....	29
3.6 特殊应用 .....	30
<b>第四章 组合结构</b> .....	32
4.1 前言 .....	32
4.2 设计方法 .....	32
4.3 轴心受力柱的简化设计方法 .....	33
4.4 截面的弯曲抗力 .....	36
4.5 弯矩和压力作用下的截面抗力 .....	37
4.6 剪力作用下的影响 .....	39



4.7	弯矩和压力作用下的构件抗力	40
4.8	弯矩的确定	41
4.9	荷载的传递	42
<b>第五章</b>	<b>管截面柱的防火</b>	<b>43</b>
5.1	前言	43
5.2	耐火极限	44
5.3	无填充 SHS 柱的防火设计	47
5.4	SHS 钢管混凝土的防火设计	50
5.5	注水 SHS 柱的防火设计	52
5.6	连接和耐火极限	54
<b>第六章</b>	<b>管截面桁架</b>	<b>56</b>
<b>第七章</b>	<b>连接的性能</b>	<b>59</b>
7.1	概述	59
7.2	一般破坏准则	64
7.3	一般破坏模式	64
7.4	节点参数	65
<b>第八章</b>	<b>圆管截面间的焊接连接</b>	<b>67</b>
8.1	前言	67
8.2	破坏模式	69
8.3	分析模型	71
8.4	试验和数值验证	74
8.5	基本节点强度公式	75
8.6	对设计准则的评价	76
8.7	其他节点类型	78
8.8	设计图表	81
8.9	说明	83
<b>第九章</b>	<b>矩形管截面间的焊接连接</b>	<b>84</b>
9.1	前言	84
9.2	破坏模式	85
9.3	分析模型	87
9.4	试验和数值验证	93
9.5	基本节点强度公式	94
9.6	对设计准则的评价	95
9.7	其他节点类型或其他荷载情况	98

9.8	设计图表 .....	100
9.9	说明 .....	101
<b>第十章</b>	<b>管截面和开口截面间的焊接连接 .....</b>	<b>102</b>
10.1	前言 .....	102
10.2	破坏模式 .....	103
10.3	分析模型 .....	106
10.4	试验验证 .....	108
10.5	对设计准则的评价 .....	110
10.6	主要承受弯矩的节点 .....	110
<b>第十一章</b>	<b>工字形梁与 CHS 或 RHS 柱的抗弯焊接节点 .....</b>	<b>111</b>
11.1	前言 .....	111
11.2	破坏模式 .....	112
11.3	模型 .....	113
11.4	试验和数值验证 .....	116
11.5	基本节点强度公式 .....	116
11.6	说明 .....	119
<b>第十二章</b>	<b>螺栓连接节点 .....</b>	<b>120</b>
12.1	法兰板连接 .....	120
12.2	端板连接 .....	122
12.3	加劲板连接 .....	123
12.4	拼接连接 .....	125
12.5	螺栓部件 .....	126
12.6	梁柱连接 .....	128
12.7	托架连接 .....	131
12.8	檩条连接 .....	132
12.9	暗螺栓系统 .....	133
12.10	栓钉连接 .....	134
<b>第十三章</b>	<b>管截面节点的疲劳性能 .....</b>	<b>135</b>
13.1	定义 .....	136
13.2	影响系数 .....	138
13.3	荷载效应 .....	139
13.4	疲劳强度 .....	140
13.5	抗力分项系数 .....	141
13.6	焊接连接的疲劳寿命 .....	142
13.7	螺栓连接的疲劳寿命 .....	149

13.8	疲劳设计 .....	151
<b>第十四章</b>	<b>设计实例 .....</b>	<b>154</b>
14.1	圆管截面平面桁架 .....	154
14.2	方管截面平面桁架 .....	159
14.3	空间三管桁架 .....	159
14.4	方管截面空间桁架 .....	163
14.5	节点的公式验算 .....	163
14.6	钢管混凝土柱 .....	166
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>169</b>
<b>本书符号</b>	<b>.....</b>	<b>179</b>

# 第一章 绪 论

设计是一个综合考虑功能、建筑要求、强度及制作等各方面要求的交互工作过程。在一个高质量的设计中,所有这些方面必须得到平衡和恰当的考虑。由于管截面及其连接节点的特殊性,相对于开口截面钢结构而言,设计的质量显得更为重要。设计者必须了解与管截面相关的各个方面。

自然界中的许多例子显示了圆管形状在受压、受扭以及各个方向受弯下的卓越的结构性能,见图 1.1 和图 1.2。这些结构性能可以与极具魅力的建筑外形相结合(图 1.3 和图 1.4)。圆管没有锐角的闭口形状还减少了需要防护的表面积,延长了防腐年限(图 1.5)。



图 1.1 风中芦苇



图 1.2 雨中翠竹

圆管截面另一个特别有利的特点是在风和水力作用下具有较低的阻力系数。其内部空间可用作多个用途,如填充混凝土以提高承载能力或提供防火保护。此外,取暖和通风有时也利用管截面柱。

尽管管截面的制作成本要高于其他截面,导致较高的材料单价,但在很多领域还是可以达到较好的经济指标。管截面的应用领域包含了所有方面:建筑、土木、海洋结构、机械、化学、航天航空、运输、农业和其他特殊领域。尽管本书主要阐述管截面设计和应用的背景知识,但是一个好的设计不仅要考虑强度要求,还要考虑许多其他方面,如材料选择、制作(包



括焊接和质量检验)、防护、安装、保养和维护等。



图 1.3 西班牙 Seville 机场大厅



图 1.4 荷兰 Delft 可移动桥

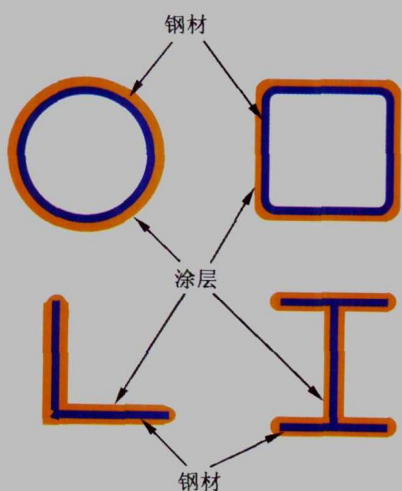


图 1.5 管截面和开口截面的涂层

对管截面应用最本质的制约因素是节点的设计。然而,目前已经有了对于基本节点类型的设计建议,进一步的研究成果也可解决许多特殊节点类型的设计。

在已完成的研究项目基础上,CIDECT(Comité International pour le Développement et l'Etude de la Construction Tubulaire)已经发表了供实际工程设计人员使用的设计指南<sup>[1~8]</sup>。由于这些设计指南对于教学而言篇幅太长,而且没有提供理论基础,所以编写本专著作为结构和土木工程领域学生的背景教学材料。

## 1.1 历史和发展

很久以前人们就认识到了管形状的优越特点,我们知道古代有很好的应用例子。桥梁设计的一个杰出例子是自由跨度 521 m 的苏格兰 Firth of Forth 大桥(1890 年),如图 1.6 所示。这一大桥是由轧制板经铆接制作的圆管构件组装而成的,因为当时没有用于这类尺寸的其他制作方式。



图 1.6 苏格兰 Firth of Forth 大桥

最早的无缝和焊接圆管截面的生产方法是在 19 世纪发展起来的。1886 年，Mannesmann 兄弟创造了斜辊道穿轧生产工艺(Schraegwalzverfahren)，如图 1.7 所示，实现了厚壁短圆管的轧制。

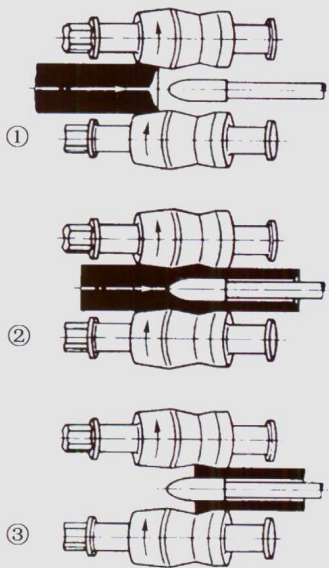


图 1.7 斜辊道穿轧工艺

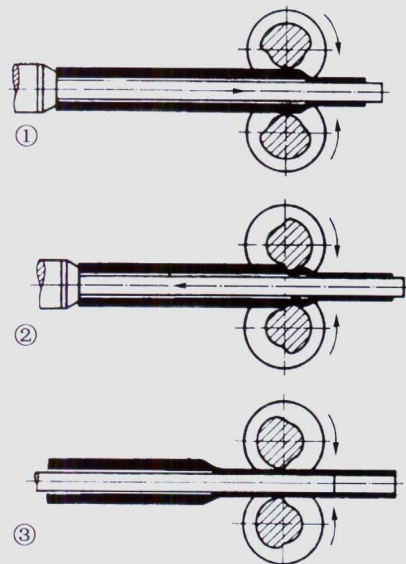


图 1.8 皮尔格无缝轧制工艺



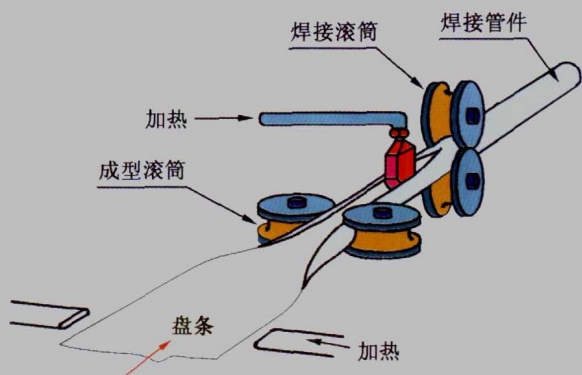


图 1.9 Fretz Moon 工艺

把两个圆管截面装配起来所必需的端面切割工艺由于 Mueller 发明的特制切割设备得到了大大的简化(图 1.10)。

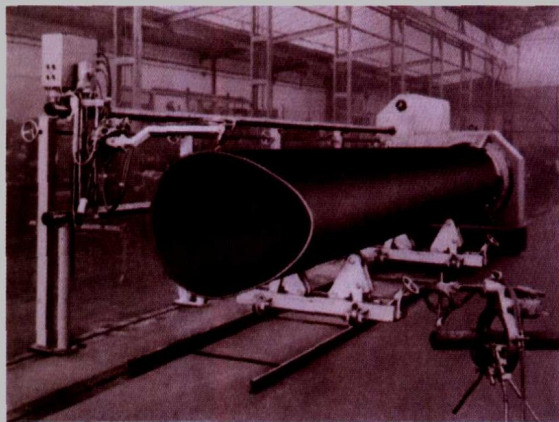


图 1.10 端面切割设备

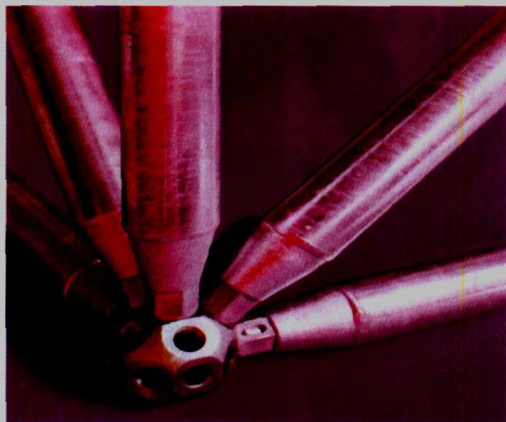


图 1.11 米罗节点

对于没有端面切割设备的制作厂,圆管截面的端面制作仍很困难。

避免连接问题的一个方法是采用预制连接件,例如,1937 年 Mengerhausen 发明了米罗系统。这一系统实现了大跨度结构的工业化预制和拼装(图 1.11)。

1952 年 Stewarts 和 Lloyds(现在为 Corus Tubes)发展了矩形管截面。矩形管截面具有与圆管几乎相同的特性,但其连接的制作只需进行平直的端面切割。

20 世纪 50 年代,制作、端面切割以及焊接的问题已经解决。这一点意味着管结构的成功应用之门已经开启。有待解决的问题是未加劲管节点的强度确定。

第一个关于圆管截面桁架节点的初步设计建议是 1951 年由 Jamm 给出的<sup>[45]</sup>。其后,在日本<sup>[46,47]</sup>、美国<sup>[48,49,50]</sup>以及欧洲<sup>[30,32,33,35,38,39,40,42,44]</sup>进行了若干研究。矩形管截面之间的连接研究 20 世纪 60 年代始于欧洲,其后有许多其他的实验和理论研究。其中许多是由 CIDET 资助的。除了在静力特性方面的这些研究外,最近 25 年又进行了许多疲劳和其他方面的研究,例如钢管混凝土、抗火、防腐蚀以及风荷载作用下的性能研究等。

## 1.2 术语

结构应用中的常用术语是：

——结构管截面 (Structural Hollow Sections, SHS)

——圆管截面 (Circular Hollow Sections, CHS)

——矩形管截面 (Rectangular Hollow Sections, RHS)

在加拿大和美国一般称为管结构截面 (Hollow Structural Sections, HSS), 而不称 SHS。

## 1.3 管截面的制作

如前所述, 管截面有无缝和焊接两种。无缝管截面的制作有两个阶段: 第一阶段是穿透钢锭; 第二阶段是将空心钢锭延伸成圆管截面成品。经这一工艺处理后, 管子再通过一个机床加工到所需的直径。除 Mannesmann 工艺之外, 还有其他工艺, 但大多数都建立在同样的原理基础上<sup>[31,32]</sup>。

现在的直缝焊接管截面大都由电阻焊工艺或感应焊工艺制作, 如图 1.12 所示。一个板条或钢板通过压力辊成型为圆柱形然后进行纵向焊接。板边缘可通过电阻加热。压力辊把板边缘挤压在一起形成压力焊。焊缝的外缘在焊接后立即打平磨光。矩形管截面由圆管通过成型辊加工制作, 如图 1.13。可以采用热成型或冷成型, 可采用无缝或直缝焊接圆管截面。

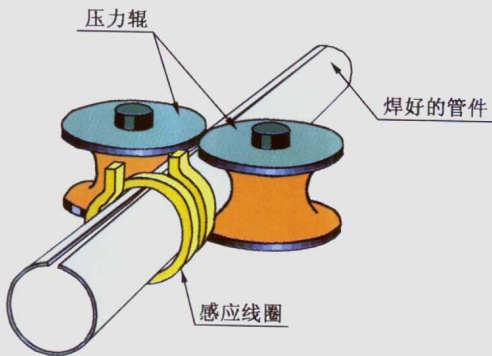


图 1.12 感应焊接工艺

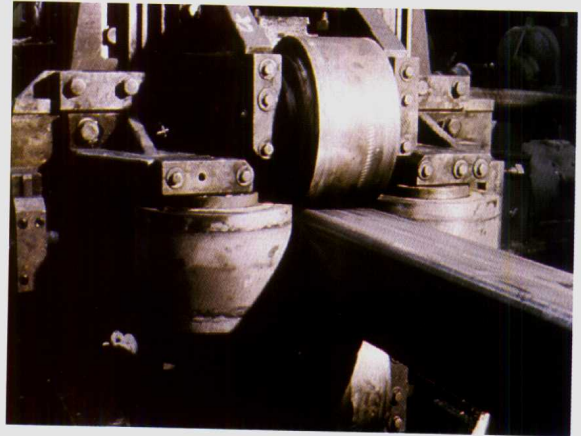


图 1.13 矩形管截面的制作

工程中一般采用直缝焊接管截面。当壁厚较大时, 也可采用无缝截面。

方管或矩形管有时也采用槽形截面制作而成。可以对焊两个槽形截面; 也可由一块钢板成型到适当的形状后通过一条焊缝封闭截面, 应尽量在截面表面的中部焊接。

大尺寸的圆管截面也可采用图 1.14 所示的所谓 U-O 压制工艺制作而成。在板材成型后由埋弧焊工艺进行直缝焊接。





图 1.14 大尺寸 CHS 的成型

加工大尺寸的圆管截面的另一个工艺是使用连续宽板条,宽板条通过成型机以一个角度加工成螺旋形的圆管,见图 1.15。板条边缘通过埋弧焊工艺焊接成所谓的螺旋焊圆管。

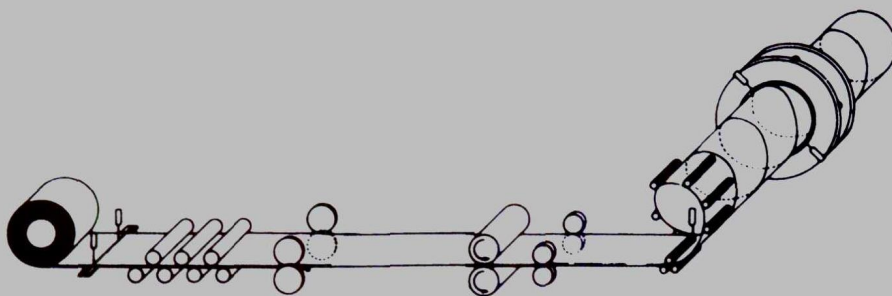


图 1.15 螺旋焊接 CHS

有关加工方面更多的详细资料及其相应的尺寸限制可由文献<sup>[31,32]</sup>得到。