

欧洲结合梁

[德] 赫尔墨特·波德 (Helmut Bode) 著

徐海清 吴金池 张汉华 译

中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



欧洲结合梁

[德] 赫尔墨特·波德(Helmut Bode) 著

徐海清 吴金池 张汉华 译

中国铁道出版社

2009年·北京

北京市版权局著作权合同登记: 图字 01-2007-2765 号

图书在版编目(CIP)数据

欧洲结合梁/徐海清, 吴金池, 张汉华译. —北京:
中国铁道出版社, 2009. 8
ISBN 978-7-113-10055-1

I. 欧… II. ①徐…②吴…③张… III. 钢筋混凝土桥-
桥梁结构-结构设计-欧洲 IV. U448. 34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 130997 号

内 容 提 要

本书是赫尔墨特·波德(Helmut Bode)教授在多年的教学实践中逐步完善形成的,是作者在日常教学中的教科书。

书中主要介绍了型钢和混凝土组成的结合结构及其之间通过连接键的相互连接等内容,并介绍了房屋结构中结合结构及其构件的相关知识。具体有:结合板、结合梁、结合柱、连接键、钢与混凝土之间的连接和被动防火措施。计算与论证围绕承载力极限状态(ULS)和正常使用极限状态(SLS)进行,通过算例阐述其设计和建造原理。基本原理(尤其考虑混凝土收缩徐变影响的弹性计算)适合于结合梁桥,并引入了新的图表,给出了一些桥梁尺寸的拟定与建造等参考意见来帮助设计,以简化设计初期的工作。

本教科书可供桥梁及工民建专业学生、结合梁工程师和研究人员使用。

Euro-Verbundbau konstruktion und Berechnung by Prof. Dr.-Ing. Helmut Bode
© 1998 by Werner Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf, ISBN 3-8041-4207-9
All Rights Reserved

书 名: 欧洲结合梁

作 者: [德] 赫尔墨特·波德(Helmut Bode)

译 者: 徐海清 吴金池 张汉华

责任编辑: 张 悦

电话: (010) 51873656

封面设计: 冯龙彬

责任校对: 孙 玫

责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京华正印刷有限公司

版 次: 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

开 本: 850 mm×1 168 mm 1/32 印张: 13.375 字数: 350 千

书 号: ISBN 978-7-113-10055-1/TU·1033

定 价: 46.00 元

版权所有 侵权必究

发行部电话: (010) 51873170; 打击盗版举报电话: (010) 63549504

前 言

本书是在 1995~1997 年的教学实践中逐步完善形成的,是对 1987 年发行第一版的全面改版,主要讲述型钢和混凝土组成的结合结构、型钢和混凝土之间(通过连接键)的相互连接,使它们尽可能全面并持久地起到承载作用。

结合结构的理论和实践将来会改变,因为国际规范应该会被在欧洲范围内使用完好的欧洲规范替代。这就给我以及每一位作者提出了问题:哪些技术规则应作为理论基础?哪些应作为基础规则?哪些应作为应用规则?的确,结合结构的承载行为和破坏行为与规范或建筑说明书上的工程模型无关,但是那些希望熟悉这种结构类型并希望在这方面还能有一些经验的人,无论如何都不应该困惑,而是应该建立系统的概念。未来需要这样的人。

之所以用“欧洲结合梁”为题作为结合结构的教科书,是由于它建立在欧洲规范和以欧洲规范为基础的实际建设项目上。书中着重讲述结合结构的未来,其他的将成为历史。此外,我一直努力从德国的技术状况出发,建立到目前为止为大家所接受的规则基础。

本书中一些章节紧密结合欧洲规范 EC 4 的表达方式,虽然没有文字说明,但如果读者在本领域工作的话,仍然要注意 EC 4 的原文和其他有效的相关规则。

书中还介绍了房屋结构中结合结构及其构件的相关知识,具体有:结合板、结合梁、结合柱、连接键、钢与混凝土之间的连接以及被动防火措施,作为楼层连接的板用连接件与柱子或框架连接在一起。

计算与论证主要围绕承载能力极限状态(ULS)和正常使用极限状态(SLS)下的工作机理与破坏机理来进行,通过精选的结构

算例来阐述结合结构的设计和建造的基本原理。

基本原理(尤其是考虑混凝土收缩徐变影响的弹性计算理论)均适合于结合梁桥。有关桥梁尺寸的拟定与建造等,书中也给出了一些参考意见。

本书可供学生作为教材使用,也可供结合梁的研究人员和设计工程师使用,以帮助他们对结合梁拟定尺寸并设计。在丰富的参考文献中有关于结合梁的理论和实践方面的论文,尤其是那些德语文献均容易查到。至于那些缺失的原联邦德国论文,可以向 Wapenhans 先生求助。

作者不想再汇集新的补充内容、表格或计算实例,尽管书中有些新的详细计算实例,它们主要用以理解欧洲规范的规定。此外,书中引入了新的图表,它们可以简化设计初期的工作。

作者希望本书能有助于大家更好地理解结合结构,并能帮助大家做好桥梁以及房屋结合结构设计前的准备工作。

赫尔墨特·波德
(Helmut Bode)

目 录

1 结合结构	1
1.1 概 述	1
1.2 欧洲规范 EC 4 引用的其他规范	9
1.3 构思、计算和设计的基本原则	11
1.3.1 一般要求及极限状态	11
1.3.2 作用效应及其设计值	13
1.3.3 荷载组合规则	15
1.3.4 结构构件抗力和分项安全系数	16
1.3.5 极限承载力检验	17
1.3.6 正常使用极限状态	17
1.4 建筑材料:混凝土与钢	18
1.5 有关结合梁桥的注意事项说明	21
2 结 合 板	28
2.1 概 述	28
2.2 连接作用	29
2.3 用 $m+k$ 法拟定尺寸	33
2.4 根据部分结合方法拟定尺寸	35
2.4.1 概 述	35
2.4.2 柔性结合板的部分结合	35
2.4.3 计算结合强度设计值 τ_{ud}	37
2.4.4 纵向剪切承载力检算	39
2.4.5 端部锚固	42
2.4.6 辅助筋检算	47
2.5 连续结合板	49
2.6 剪 力	53

2.7	穿 透	54
2.8	挠 度	54
2.9	算例:结合板	55
2.9.1	概 述	55
2.9.2	算例 1:建设与使用状况	56
2.9.2.1	初始数据、系统及荷载	56
2.9.2.2	检算施工状态下作为模板的压型钢板	58
2.9.2.3	简支梁链最终状态检算(图中长度单位为 m)	60
2.9.3	算例 2:端部锚固与超配筋	66
2.9.3.1	引 言	66
2.9.3.2	设计概述	68
2.9.3.3	纵向剪切承载力检算(见 EC 4 附录 E 3)	68
2.9.3.4	端部锚固检算(见 EC 4 附录 E 4)	68
2.9.3.5	超配筋检算(见 EC 4 附录 E 5)	70
3	结合梁连接安全	72
3.1	概 述	72
3.2	连接键类型	74
3.2.1	EC 4 中认可的连接键类型	74
3.2.2	EC 4 中没有认可的连接键类型	77
3.2.3	粘合连接	79
3.3	铆钉连接键	81
3.3.1	连接键焊接	81
3.3.2	透焊技术	85
3.3.3	连接键承载能力概述	87
3.3.4	连接键在混凝土翼缘板中的承载能力	90
3.3.5	压型钢板的影晌	91
3.4	混凝土翼缘板的横向配筋	95
3.4.1	混凝土翼缘板的剪切力	95
3.4.2	要求的横向配筋	96

3.4.3	压型钢板作为横向配筋计算	97
3.4.4	纵向剪切承载力检算	98
3.5	疲 劳	99
3.5.1	概 述	99
3.5.2	承载与破坏机理	100
3.5.3	抗疲劳检算	102
4	结合梁极限承载能力	106
4.1	概 述	106
4.2	横截面的极限承载能力	109
4.2.1	混凝土板的有效宽度	109
4.2.2	截面等级划分	109
4.2.3	塑性状态下的抗弯承载力	112
4.2.4	弹性状态下的极限弯矩	117
4.2.5	极限剪力	118
4.2.6	弯矩和剪力	120
4.3	连续梁剪力	121
4.3.1	概 述	121
4.3.2	塑性铰理论的第一原则	124
4.3.3	弹性状态下的截面内力计算	126
4.4	型钢混凝土结合梁	128
4.5	弯扭失稳	131
4.5.1	概 述	131
4.5.2	足够转动约束检算	132
4.5.3	将受压翼缘作为受压杆检算	134
4.5.4	无需静力计算的检算	135
4.5.5	考虑弯扭失稳的极限弯矩	136
4.5.6	EC 3 折减系数的近似计算	137
4.5.7	理想弯扭失稳弯矩 M_{cr} 的计算	139
4.5.8	根据附录 B 计算弯扭失稳弯矩	143
4.6	拉力跨理论	143

4.7 纵向剪切承载力	143
4.7.1 概 述	143
4.7.2 刚性与延性结合	144
4.7.3 全部与部分结合	145
4.7.4 刚性结合梁与延性结合梁的承载特征	146
4.7.4.1 概 述	146
4.7.4.2 均布荷载与刚性结合	147
4.7.4.3 均布荷载与延性结合	147
4.7.5 连接键的分布产生的影响	149
4.7.6 根据 EC 4 计算的连接键数量与分布	154
4.7.7 完全结合	155
4.7.8 延性连接键的部分结合	156
4.8 高强度精核结构钢 S 420 和 S 460 的应用	163
4.8.1 目前的状况	163
4.8.2 EC 4 的附件 H	163
4.9 算例:结合梁极限承载能力	166
4.9.1 一跨结合梁辅助脚手架浇注混凝土	166
4.9.1.1 体系与荷载	167
4.9.1.2 横截面与材料特征	167
4.9.1.3 极限承载力检算	167
4.9.1.4 纵向剪切承载力与结合	168
4.9.1.5 边缘混凝土板的连接	170
4.9.2 两跨结合梁:根据塑性铰理论设计	172
4.9.2.1 体系与荷载	172
4.9.2.2 横截面与材料特性	172
4.9.2.3 横截面塑性承载能力	173
4.9.2.4 完全结合情况下的承载力检算	173
4.9.2.5 纵向剪切承载力与结合	175
4.9.2.6 部分结合情况下的承受荷载(塑性极限 荷载)	175

4.9.2.7	侧向混凝土板的连接	176
4.9.2.8	支座区域梁的弯扭失稳检算	176
4.9.3	两跨结合梁内力的弹性计算	179
4.9.3.1	体系与荷载	179
4.9.3.2	横截面和材料特性	180
4.9.3.3	弹性内力计算	182
4.9.3.4	完全结合情况下的横截面承载力	184
4.9.3.5	中间支座处横向剪切力检算	186
4.9.3.6	纵向剪切承载力与结合	187
4.9.3.7	支座范围内梁的弯扭失稳检算	188
5	结合梁的正常使用状态	189
5.1	概 述	189
5.2	加载初期的内力分布	192
5.3	混凝土收缩徐变的影响	194
5.3.1	概 述	194
5.3.2	徐变应变	195
5.3.3	内力调整	197
5.3.4	整体截面的收缩徐变计算	201
5.3.5	根据欧洲规范考虑长期作用效应	210
5.4	超静定连续结合梁的强迫弯矩	214
5.5	裂缝的形成	216
5.5.1	钢筋混凝土受拉杆件裂缝的形成	216
5.5.2	裂缝对结合梁计算的影响	223
5.5.3	EC 4 对裂缝的限制	232
5.6	挠 度	236
5.7	柔性连接	238
5.8	振动特性	243
5.9	算例:结合梁正常使用状态	246
5.9.1	变形、应变和振动机理	246
5.9.1.1	截面参数	246

5.9.1.2	跨中挠度计算	248
5.9.1.3	正常使用极限状态下的跨中应力	250
5.9.1.4	振动性能	251
5.9.2	最小配筋和裂缝宽度限制	251
5.9.2.1	计算混凝土板中的最小配筋率	252
5.9.2.2	混凝土翼缘板的裂缝宽度检算	252
5.9.2.3	(外露)型钢混凝土的最小配筋	253
5.9.2.4	关于混凝土翼缘板和(外露)型钢混凝土内 配筋的小结	254
6	结 合 柱	255
6.1	概 述	255
6.2	承载能力极限状态	260
6.2.1	概 述	260
6.2.2	精确计算法	261
6.2.3	局部屈曲	261
6.2.4	结合缝内的剪切	262
6.2.5	力的传递	263
6.3	简化法设计	270
6.3.1	概述与适用范围	270
6.3.2	轴心受压作用下横截面承载能力	272
6.3.3	考虑失稳时轴心受压柱的承载力	274
6.3.4	压弯杆的横截面承载能力	279
6.3.5	单轴受弯压结合柱承载能力	283
6.3.6	双向受弯的压弯组合	287
6.3.7	弯矩计算	288
6.4	剪力影响	289
6.5	算例:结合柱	290
6.5.1	混凝土填充钢管柱中心受压	290
6.5.1.1	体系与荷载(分项安全系数查表 1.2)	290
6.5.1.2	横截面与材料特性	290

6.5.1.3	型钢截面部分的局部屈曲	291
6.5.1.4	根据图 6.19 的图线作预设计	291
6.5.1.5	柱的承载能力检算	291
6.5.2	(外露)型钢混凝土柱承受偏心力	292
6.5.2.1	体系与荷载(分项安全系数查表 1.2)	292
6.5.2.2	横截面与材料特性	293
6.5.2.3	型钢截面部分的局部屈曲	293
6.5.2.4	考虑失稳危险的中心受压柱承载能力	293
6.5.2.5	设计内力	294
6.5.2.6	单轴弯压杆横截面承载力	295
6.5.2.7	单轴弯压结合柱极限承载力	296
6.5.2.8	单轴弯压结合柱极限承载力检算	297
7	结合结构的连接	298
7.1	概 述	298
7.2	建立连接	300
7.3	欧洲规范 EC 4 规则	302
7.4	本章小结	307
8	结合结构构件的防火性能	311
8.1	概 述	311
8.2	DIN 4102 的检算方法	315
8.2.1	概 述	315
8.2.2	结 合 梁	316
8.2.3	结 合 柱	321
8.2.4	连 接	324
8.2.5	压型钢板结合板	327
8.3	EC4. T 1-2	331
8.3.1	概 述	331
8.3.2	按阶段 1 检算	332
8.3.3	按阶段 2 检算	334
8.3.4	按阶段 3 作非线性计算	335

9 结合结构楼板	338
9.1 概 述	338
9.2 压型钢板的應用	339
9.3 使用大尺寸混凝土预制件	344
9.4 概念解释	345
9.5 构思与设计辅助	349
9.5.1 概 述	349
9.5.2 参数研究	349
9.5.3 设计图表	351
9.5.4 尺寸拟定算例	359
9.6 腹板大开口	361
9.7 板内大开口	365
9.8 纤细板结构形式	366
9.9 钢筋混凝土平板支撑于钢或钢结合柱上	372
9.10 盖板结构实例	373
10 其他结合梁形式	375
10.1 预应力混凝土—钢结合梁	375
10.2 桁架梁	379
10.3 埋置式型钢混凝土梁	381
11 总结和概况	383
12 欧洲规范、国际规范、设计原则和特许	387

1 结 合 结 构

1.1 概 述

在结合结构中要用到结合构件,这些构件截面的各组成部分之间通过牢固的剪切联系紧密地结合在一起,并按要求共同作用,主要由下列部分组成:

- 实体型钢(浇筑或焊接成型)、钢管(结合柱用)或者钢桁架;
- 钢筋混凝土部分,其中简单配筋或者设置预应力筋。

通过这种组合,力争使断面内各种材料的特性充分发挥作用,当然,混凝土在受压区,钢在受拉区。图 1.1 示意了房屋建筑与工业建筑中常用的几种结合结构构件的横截面形式,简单描述如下:

- 结合板,用梯形或波浪形压型薄板制成;
- 结合梁,用或者不用(外露)型钢混凝土;
- 结合柱,型钢完全浇筑在混凝土内、型钢内腔填充混凝土、钢管填充混凝土。

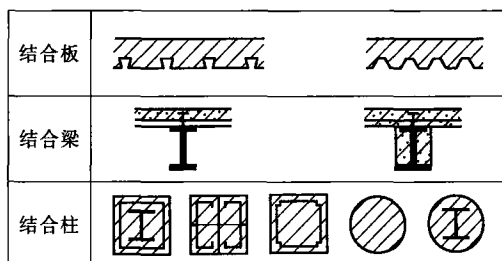


图 1.1 房屋与工业建筑结合结构构件

钢结合结构区别于钢筋混凝土结构和混合结构。在钢筋混凝土

土结构中,混凝土和钢筋黏结在一起共同工作(配筋松软地处在混凝土内,本身无抗弯能力);混合结构如钢框架用混凝土核加劲。

另外,除了要求结构在常温下的静态承载能力外,还要求结构在不采取进一步措施的情况下具有尽可能有利的防火特性。

这种预先设想的共同结合作用可以使结构在重荷载、大跨度下具有相对较小的横截面尺寸,从而使结构构件变得更轻巧、纤细、占地少,而且仍然具有高性能并且较经济。结合结构各组成部分之间的必要的剪切连接,要通过特殊的剪力键来实现,并保证其长期有效,见图 1.2。

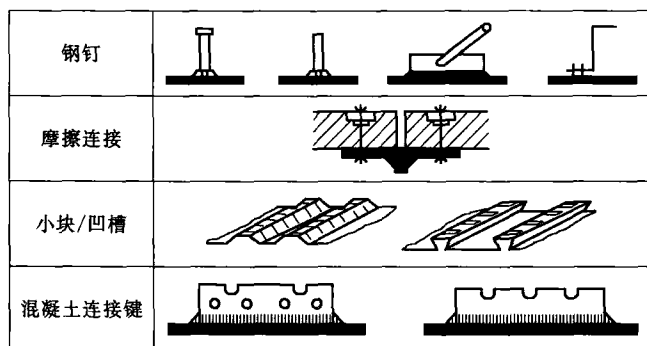


图 1.2 连接键

- 钢钉:可以通过焊接带头铆钉、带锚固环的块状钢钉、Hilti 腿状钢钉或类似的东西来实现;
 - 摩擦连接:通过将预制混凝土构件紧压在钢梁的上翼缘上,也可用高强螺栓连接来获得需要的摩擦连接;
 - 在薄壁压型钢板上压出防滑凸起或凹陷,需要时可同时在端部加一个端锚;
 - 在钢构件上留孔,通过这些孔可以建立钢筋混凝土剪力键,比如 RESO 结合板的孔剪力键或其上的齿状剪力键。
- 结合梁的特殊之处可概括如下:
- 充分利用钢和混凝土材料的特性;

- 通过剪力连接键来实现截面不同部分之间的连接；
- 使用状态下的弹性特征因为建造方式的不同而影响到结构的其他区域；
- 考虑塑性影响来确定构件尺寸；
- 充分利用钢结构的连接技术。

关于不同材料的特性,参见各自的弹性模量和极限强度,而且,混凝土还包括其时间特性。混凝土在干燥的过程中会收缩,在长期荷载的作用下会徐变,这就导致静不定结构横截面应力的重分布,从而导致横截面内力的改变(强迫弯矩)。在具有预应力钢筋或安装预应力的桥梁中,这种横截面应力的重分布和内力的改变,要作非常认真并且尽可能精确的计算,以便能够使应力、稳定和变形检算(倾斜度)满足要求。而在通常的房屋建筑中不一样,一般情况下不需要作应力检算。如果钢梁足够强劲,也就是说,用了壁厚足够厚的型钢,屈曲检算是可以省略的,变形检算也不总要求,计算的时候经常也只是给一个期望的挠度估计值。如果要求控制挠度值,那么应该正确考虑混凝土的时间特征,还可以考虑混凝土中裂缝的影响、裂缝之间混凝土的共同作用以及钢梁的第一个塑性区的出现等。

结合梁的另一个特点是:截面各组成部分之间按照要求设置键销联结。

由于梁和柱直接使用铸造钢梁或者其他表面光滑的型钢梁,它们没有肋、没有防滑的凸起或其他类似的东西,其表面的粗糙度不够。为了使两者有效地联系在一起,需要特别的连接键,并保证相互间的连接长期有效。钢梁与混凝土板之间的剪力随荷载大小及两者接缝在截面上位置的不同而改变:结合梁上大的键销力出现在剪力大的地方和混凝土板与钢梁重心距离较远的地方。此外,结构构件是否在弹性范围内使用还是用到塑性承载力极限状态,影响也很大。相比之下,在整个结合柱(柱双向轴对称,型钢在混凝土的中间,荷载作用在轴线上,见图 1.1)的范围内,除了柱的端部和传力区域外,混凝土与钢之间接缝处的剪力就相对较小。

在计算共同作用时,不考虑两者之间的粘贴作用。带头铆钉作为连接键在房屋结构和桥梁结构中得到进一步的应用,通过这些销钉,可以确保钢梁和混凝土共同作用。但是,较少的“键销度”也是容许的,其结果是产生部分结合和非全面共同作用,见图 1.3。

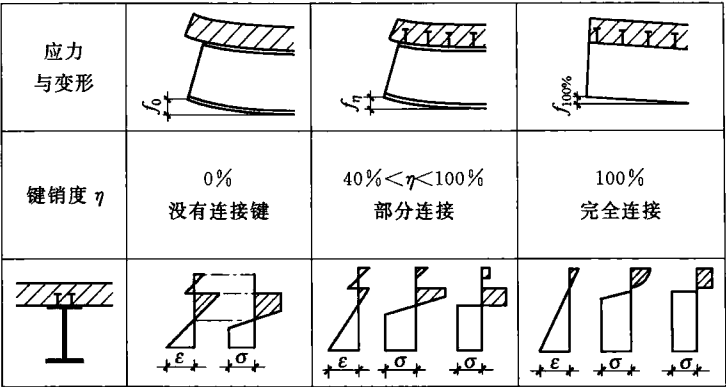


图 1.3 带头铆钉连接的结合作用

结合梁的第三个特点是,结合梁可以通过不同的方式来建造,即:制梁时使用和不使用辅助支撑等。并且,那些结合连接尤其是键销,在建造的时候是纯粹的剪力连接键,而在最终状态,则能承担弯矩。

如果在建造结合梁的时候使用了足够多的辅助支撑,并且在混凝土硬化后拆除,此时人们认为“自重就已经有了结合作用”,也就是“自重结合”。如果在结合梁打混凝土的时候没有使用辅助支撑,钢梁将作为模板起作用,而且承担全部的一期恒载(与之相对的是之后施加的长期起作用的其他荷载,即二期恒载),结合梁的共同作用只承担二期恒载、交通荷载或其他使用荷载(交通荷载结合)。对于混凝土的收缩与徐变、温度变化等,结合梁保持着弹性状态,在使用状态下,也都保持着弹性状态。

图 1.4 从理论上再现了建造程序的影响,以下描述的是一单跨简支梁的情况: