

西部交通建设科技项目(编号:2002 318 223 29)资助

Curved Bridge and High Pier

弯桥与高墩

杨
昀
周列茅
周勇军◎编著



交通科技丛书

西部交通建设科技项目(编号:2002 318 223 29)资助

弯桥与高墩

Curved Bridge and High Pier

杨 昀 周列茅 周勇军 编著

人民交通出版社

前 言

在各种桥梁结构中,弯桥和高墩是特殊的一类,说特殊是因为实际工程中直桥和一般墩高的桥毕竟占大多数。弯桥的特征在于结构平面线形从直线变化到曲线;高墩线形虽然没有变化,但量值增大则引起结构稳定性问题的凸显。弯桥结构力学特性较直桥要复杂,因为直桥是弯桥的特例,只有弯桥才具备普遍的结构力学特性;高墩也是如此,即高墩结构涵盖了桥墩问题的普遍特性。

弯桥和高墩的发展都与高等级公路的发展有关。公路等级越高,桥梁结构线形指标越高。在山岭重丘区,若公路线形指标高,不可避免地会出现弯桥和高墩,尤其是当路线穿过云贵高原的“鸡爪”地形时;在平原微丘区,高墩较少但高速公路进出口匝道上,以及城市立交跨线和匝道上不可避免地会出现小半径弯桥。国家改革开放三十多年的交通基础设施建设,促进了弯桥和高墩结构设计与施工技术的大发展。

本书是在西部交通科技项目“高墩大跨径弯桥设计与施工技术研究”和“山区不对称连续刚构设计关键技术及示范应用研究”基础上,结合多年来弯桥设计及施工控制经验,总结凝练而成。全书共分十二章,前六章介绍弯桥的理论计算、设计及施工控制方法;第七章至第十章介绍高墩结构的理论计算、设计及施工控制方法;第十一章介绍西部交通科技项目“高墩大跨径弯桥设计与施工技术研究”成果之一“高墩大跨径弯桥的设计与施工指南”,第十二章介绍成果之二“三维预应力分析软件 BridgeKF”。

全书主要完成人员:

交通运输部公路科学研究院:杨昀、向学建、王磊、齐铁东、杨飞、胡丹、王晓雷;

长安大学:周勇军、贺拴海、王钧利、宋一凡、赵小星;

温州市交通投资集团有限公司:周列茅,刘钱;

贵州省交通规划勘察设计研究院:吴怀义、杨健、杨万旭;

贵州省公路工程集团有限公司:母进伟、汤怀。

全书由杨昀总策划及审定。限于作者水平,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正(联系电话:杨昀 13501123057, e-mail: y. yang@rioh. cn)。



目 录

第1篇 弯 桥

第1章 弯桥发展概况	3
1.1 概述	3
1.2 总体发展	4
1.3 试验研究	11
1.4 工程实例	23
本章参考文献	32
第2章 弯梁桥结构类型与施工方法	33
2.1 概述	33
2.2 “以直代曲”的小跨径弯桥	34
2.2.1 平面布置形式	34
2.2.2 纵向结构体系	35
2.3 支架现浇的小跨径弯桥	40
2.3.1 现浇弯桥的结构特点	40
2.3.2 支架就地浇筑的弯桥	41
2.3.3 支架逐孔现浇的弯桥	42
2.4 悬臂施工的大跨径弯桥	44
2.4.1 悬臂施工特点	45
2.4.2 悬臂浇筑施工	49
2.4.3 悬臂拼装施工	52
2.5 顶推施工的大跨径弯桥	54
2.5.1 顶推施工的特点	55
2.5.2 顶推施工的临时措施及机具	57
2.5.3 顶推法施工的受力特点	59
本章参考文献	62
第3章 弯桥理论和分析方法	63
3.1 概述	63
3.2 直梁理论	63
3.2.1 剪切中心与扭转中心	64
3.2.2 梁的弯曲与扭转	70
3.3 曲线梁理论	75
3.3.1 一般微分方程	75
3.3.2 曲梁结构变形与支承布置	79



3.4 箱梁理论	86
3.4.1 概述	86
3.4.2 剪力滞效应分析	87
3.4.3 横向效应	96
3.5 曲线梁有限元分析	100
3.5.1 空间梁单元	100
3.5.2 空间梁格单元	101
3.5.3 板壳单元法	102
3.5.4 实体单元法	103
3.5.5 单元预应力模拟	104
本章参考文献	104
第4章 弯连续刚构桥结构设计	105
4.1 总体设计	105
4.1.1 边中跨比	105
4.1.2 不等跨布置	108
4.1.3 超高方式	114
4.2 结构尺寸	116
4.2.1 箱室数	116
4.2.2 腹板	118
4.2.3 顶板	120
4.2.4 底板	120
4.2.5 梗腋	121
4.2.6 横隔板	121
4.2.7 节段划分	124
4.3 合龙段设计	125
4.3.1 体系转换方式	125
4.3.2 边跨合龙方式	129
4.3.3 合龙段构造措施	130
4.4 梁高和底板厚度曲线指数的选取	130
4.5 预应力设计	137
4.5.1 预应力发展简述	137
4.5.2 弯梁桥预应力特点	138
4.5.3 纵向钢束	139
4.5.4 横向钢束	143
4.5.5 竖向预应力	144
4.5.6 防崩钢筋	147
本章参考文献	149
第5章 弯连续刚构桥结构计算	150
5.1 预应力与结构耦合分析	150



5.1.1 有限元分析中预应力的施加方法	150
5.1.2 有限单元法中预应力与结构作用机理	151
5.1.3 数值算例	155
5.2 温度效应分析	156
5.2.1 混凝土箱梁温度场分析	156
5.2.2 混凝土箱梁二维温度梯度分析	163
5.3 徐变效应分析	169
5.3.1 徐变基本概念	169
5.3.2 混凝土徐变效应的产生机理	169
5.3.3 影响混凝土徐变效应的因素	170
5.3.4 徐变效应的计算	171
5.3.5 弯连续刚构桥收缩徐变效应分析	174
5.4 桥面板分析	176
5.4.1 桥面板的受力分析	176
5.4.2 行车道板的内力计算	179
5.4.3 弯板的受力特点	181
5.5 强度与配筋计算	184
5.5.1 纯扭构件强度计算	184
5.5.2 混凝土矩形截面弯剪扭共同作用下的承载力计算	188
5.5.3 箱形截面受扭构件强度计算	191
5.5.4 受扭构件的构造要求及其他限制条件	192
本章参考文献	193
第6章 弯连续刚构桥的几个专题	195
6.1 直弯分析界限	195
6.1.1 直弯分析界限的意义	195
6.1.2 国内外直弯分析界限规定	195
6.1.3 直弯分析界限影响因素	197
6.1.4 直弯桥分析界限算例	198
6.1.5 结论	200
6.2 弯桥效应分析	200
6.3 箱梁0号块空间效应分析	203
6.3.1 模型概述	204
6.3.2 箱梁0号块三向应力分析	205
6.3.3 结论	208
6.4 宽箱效应分析	208
6.5 箱梁底板崩裂现象分析	215
6.6 施工控制方法	223
6.6.1 概述	223
6.6.2 控制目的和内容	223



6.6.3 线形控制方法	224
6.6.4 应力和温度控制方法	227
6.6.5 影响控制的主要因素	229
本章参考文献	230

第2篇 高 墩

第7章 高墩发展概况	233
7.1 概述	233
7.2 总体发展	233
7.2.1 国内高墩发展概况	234
7.2.2 国外高墩发展概况	237
7.2.3 高墩形式	238
7.3 试验研究	239
7.4 工程实例	248
本章参考文献	259
第8章 高墩结构设计与施工	260
8.1 概述	260
8.2 高墩构造与刚度	260
8.2.1 设计原则	260
8.2.2 结构类型	261
8.2.3 系梁	262
8.2.4 纵桥向宽度	264
8.2.5 桥墩刚度	265
8.3 高墩参数设计	266
8.3.1 单双肢设计	266
8.3.2 双肢间距设计	269
8.4 高墩施工方法	270
8.4.1 概述	270
8.4.2 滑模施工	270
8.4.3 爬模施工	271
8.4.4 翻模施工	273
8.4.5 三种高墩施工方法比较	274
本章参考文献	276
第9章 高墩稳定理论与分析	277
9.1 概述	277
9.2 稳定理论	277
9.2.1 稳定问题的临界荷载	278
9.2.2 结构稳定问题分析方法及判别准则	279
9.2.3 高墩的稳定类型	281



9.3 高墩稳定分析	282
9.3.1 高墩稳定的影响因素	282
9.3.2 桥墩计算长度	282
9.3.3 单薄壁桥墩在施工阶段的稳定计算	285
9.3.4 单薄壁墩悬臂阶段施工稳定性分析	287
9.3.5 双薄壁墩高墩施工阶段的稳定性	288
9.3.6 弯桥施工阶段的稳定性	290
9.3.7 高墩弯桥设计参数与结构稳定性关系	293
本章参考文献	300
第10章 高墩刚构桥动力理论与分析	301
10.1 概述	301
10.1.1 大跨径桥梁抗震问题	301
10.1.2 高墩的抗震问题	301
10.1.3 弯桥的抗震问题	303
10.2 高墩刚构桥动力理论	304
10.2.1 空间梁动力方程的有限元法	304
10.2.2 频率与振型计算	309
10.2.3 地震响应时程分析计算	310
10.3 高墩弯刚构桥动力及地震分析	314
10.3.1 “正交试验”法	314
10.3.2 有限元分析模型	314
10.3.3 单双薄壁墩对比	314
10.3.4 双薄壁墩截面形式对比	318
10.3.5 双薄壁墩间距对比	323
10.3.6 双薄壁墩系梁设置对比	327
本章参考文献	333

第3篇 指南与软件

第11章 高墩大跨径弯桥的设计与施工指南	339
11.1 前言	339
11.2 总则	339
11.2.1 目的	339
11.2.2 适用范围	339
11.2.3 技术内容	340
11.3 设计部分(静力)	340
11.3.1 总体设计	340
11.3.2 箱梁构造及措施	340
11.3.3 薄壁墩构造及措施	341
11.3.4 结构分析	342



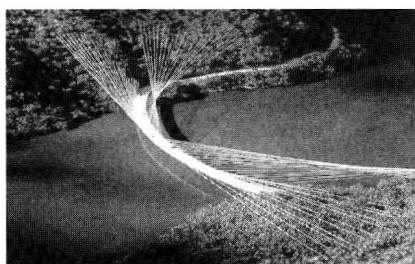
11.3.5	预应力设计	343
11.3.6	附属设施	343
11.4	设计部分(动力)	344
11.4.1	总体设计	344
11.4.2	构造	344
11.5	施工部分	345
11.5.1	高墩施工及控制	345
11.5.2	箱梁悬臂施工及控制	346
第 12 章	三维预应力分析专用程序 BridgeKF 简介	349
12.1	研制背景	349
12.2	系统综述	350
12.2.1	研制过程	350
12.2.2	系统组成及特点	350
12.2.3	系统基本功能	352
12.3	应用实例	354
12.3.1	杭州下沙大桥	354
12.3.2	海南琼州大桥	359

第 1 篇 弯 桥

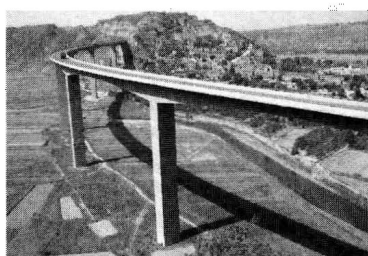
第 1 章 弯桥发展概况

1.1 概 述

弯桥通常指桥面中心线在平面上为曲线的桥梁。在各类桥梁结构中,平面弯桥是特殊的一类,无论梁桥、拱桥、斜拉桥还是悬索桥,都有弯桥工程实例,如图 1-1 所示。在各类弯桥结构中,以梁式弯桥最多,斜拉桥次之,拱桥和悬索桥较少。梁式弯桥多的原因是大多数弯桥跨径都在 100m 以下,这种跨径采用梁式结构无论设计、施工还是经济性都具有优势。超过 100m 跨径的弯桥,斜拉桥则加入竞争。拱式弯桥多见于低等级路线上的小桥或涵洞,以石桥为主。悬索桥则特殊,目前作者仅发现一例。弯桥,目前大致可分为五种情况:①“以直代曲”弯桥;②现浇结构弯桥;③高墩弯桥;④匝道小半径弯桥;⑤钢混结构弯桥。本书主要以混凝土弯桥为研究对象。



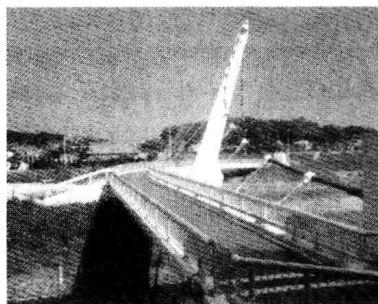
a)弯斜拉桥: Ruck-A-Chucky Bridge(美国)



b)弯梁桥: 陕西黑河桥



c)弯拱桥: 欧洲某桥



d)弯悬索桥: 日本某桥

图 1-1 弯桥结构类型

弯桥的出现大致归为两个原因:①跨越地形地物的需要。山区道路的展线一般要顺应地形,因此路线设计以曲线为主,尤其是高等级公路对线形要求高,不可避免地要出现大量弯坡斜桥。②路线设计的需要。在高速公路或城市立交的出口或转向,会经常出现跨线弯桥或匝



道弯桥。弯桥的出现是桥梁设计发展的必然结果,它一方面给桥梁设计增加了难度,另一方面也使桥梁与自然更为融合,增加了视觉美感。弯桥的发展某种意义上体现一个国家经济及交通的发展。在国外交通发达的国家中,不仅城市出现多层立交枢纽,而且在高速公路、快速干道上,多层立交桥梁比比皆是。目前国内交通基础设施建设也是如此,不但公路上采用弯桥,铁路上同样也采用弯桥。与直桥相比,弯桥的建设并不经济,且在施工工艺方面还有其特殊要求。但就整条路线而言,采用弯桥使线形美观流畅,行车舒适,避免了桥和线路成直角接线,减少了车辆急拐弯造成的行车事故,这种社会效益是不可估量的。

本章主要从弯桥的“总体发展”、“试验研究”和“工程实例”三个方面加以阐述。其中“试验研究”和“工程实例”两节是在大量弯桥试验和弯桥实例中筛选的,“试验研究”一节收录了国内第一座独柱弯梁的模型试验、第一座室内高墩弯连续刚构桥试验,以及部分国外弯桥模型试验;“工程实例”一节收录了国内第一座预应力匝道弯梁桥的设计、第一座顶推预应力弯桥设计,以及部分其他国内外弯桥设计。收录的试验和工程实例虽然不多,但具有代表性,通过这些试验和实例可窥见弯桥的发展历程。

1.2 总体发展

最早的弯桥什么时间建造已无据可查。从国外文献上看,1843年圣维南(Saint Venant)曾发表文章阐述关于弯桥的起源研究,但已找不到原文,该文献上也没有那篇文章的详细介绍。有些文献认为最初的现代弯桥梁是德国的钢桁架铁路桥(1914年)。其实,追溯弯桥的起源最重要的还是需要觅到弯桥有规模建设和研究的年代。由于弯桥的出现主要与高等级公路和城市立交的建设息息相关,所以根据桥梁发展史,很容易将弯桥有规模建设与研究的起源定位于20世纪二三十年代,那时美国和欧洲随着电气、汽车和飞机的相继发明和投入使用,生活方式发生了巨大变化,随之出现兴建高速公路和城市交通基础设施的高潮,但那个时期的弯桥研究文献较少。

人们对弯桥的认识是随着实践逐渐提高的。在最初的弯桥建设过程中,国内外都出现过弯桥事故。1969年,瑞士、德国、美国 and 澳大利亚相继出现弯箱梁桥施工事故,国内以深圳华强立交桥为代表也出现了不少弯桥事故。事故的原因几乎都是源于缺乏对弯桥结构特性的深入理解。无论国内还是国外,桥梁出现共性问题必然引发研究热潮。

最初的弯桥研究以试验为主,计算为辅,无论国外还是国内均是如此。因为20世纪60~80年代计算机不发达,很多简单的空间问题都必须通过试验才能解决。20世纪90年代后,计算机飞速发展,弯桥专用程序不断改进提高。现在对弯桥的一般空间效应采用程序分析已经较为准确,对弯桥的研究以计算为主,试验为辅。弯桥模型的制作材料一般有塑料、有机玻璃、混凝土、钢材和铝合金板。以往的桥梁模型设计以混凝土、钢材为主,以分析力学特性和极限强度为主。

国外弯桥大量研究始于20世纪六七十年代,主要是在发达国家,如美国、德国、日本、挪威和加拿大等国。到1978年,据美国专家Sikes在一篇弯梁分析和设计技术发展水平的报告中记载,有关弯桥的资料文献约有313篇。到1985年左右,在弯桥计算理论和静动力性能方面



的研究已经做了很多工作。在美国土木工程师协会主持下成立了弯箱梁工作委员会,专门探讨和总结弯箱梁的适用理论和试验分析。该委员会曾对美国、欧洲、日本等国家和地区的弯钢箱梁桥作过调查,收集了大量有关设计方面的详细资料。1969~1999年间,美国联邦公路管理局集中研究力量,进行过弯钢箱梁的性能研究,内容包括单肋式多室箱或多肋式单室箱荷载分布、箱形梁动力反应(自由和强迫振动,地震反应,疲劳反应)、箱形梁极限状态(稳定分析,非线性性能分析)等。美国 AASHTO 和加拿大 OMTC 几次关于弯桥荷载的规定修正都是那个时期完成的。国外弯桥建筑材料以钢结构、混凝土结构和钢混结构为主,预应力弯桥的文献较少。弯桥结构体系多为连续结构,跨径较大者一般在 50~60m,曲率半径有小到 30~40m 的工程实例,施工方法多为现场立模现浇,也有采用悬臂施工或顶推施工方法。

图 1-2~图 1-9 为国外几座典型弯桥的工程照片。



图 1-2 洛伊萨赫高架桥



图 1-3 AICH 山谷桥

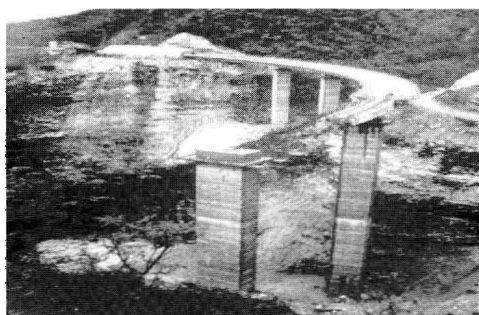


图 1-4 RESTEL 山谷桥



图 1-5 科马提河桥

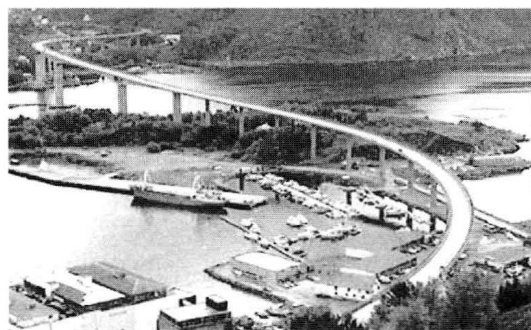


图 1-6 Maløy Bridge



图 1-7 Aursund Bridge



图 1-8 Ruck-A-Chucky Bridge



图 1-9 森尼伯格桥

洛伊萨赫高架桥(德国)是一座公路桥,桥宽 30.5m,结构平面弯曲,共 11 跨,跨径从 41m 到 52m 不等,全长 586m,梁高 3m,为最大跨径的 1/17。1972 年建成。

AICH 山谷桥(德国)为四车道公路桥,桥宽 27m,最高墩高 50m。该桥是当时顶推长度最大的桥,全长 1161m,跨度从 51 到 84m 不等,梁高 3.5m。全桥的固定点在山谷的中部,主跨顶推时使用了辅助缆。1983 年建成。

RESTEL 山谷桥(意大利)是一座公路高架桥,桥宽 9m,总跨度 $10 \times 32 = 320\text{m}$ 。该桥为平面弯桥,弯曲半径 150m,对应圆心角 122° ,梁高 2.5m,细长比 1/13。1972 年建成。

科马提河桥(斯威士兰)为等截面预应力连续梁,位于非洲南部的科马提河,全长 300m,采用顶推施工法。

Maløy Bridge(挪威)是一座悬臂施工的公路桥,全长 1224m,最大跨径 125m,海面最大净空为 42m,这座桥总共有 34 跨。1973 年建成。

Aursund Bridge(挪威)是一座悬臂梁桥,穿越挪威 Møre og Romsdal 县 Ruøya 岛和大陆之间的 Aursundet 海峡,是连接大陆和 Ertvagøya 道路的一部分。全长 486m,于 1995 年开通。

Ruck-A-Chucky Bridge(美国)坐落于 American River 之上,该桥是 1979 年由林同炎和 D. Allan Firmage 共同组织设计,堪称桥梁设计上一个极具创造力的典范。该桥的桥身非常有特色,是一个半径为 457.2m(1500ft)的圆弧段,跨中为一铰接点。

森尼伯格桥(瑞士)位于瑞士阿尔卑斯山区的旅游胜地 Kloster 镇,跨径布置为 $59+128+140+134+65(\text{m})$,全长 526m,位于半径为 500m 的曲线上。主梁为肋板式梁,跨中板高 30cm,塔根部板高 40cm,两个边肋高 80cm。桥梁高跨比只有 1/175,远较日本模式的部分斜拉桥高跨比(一般 1/55~1/70)小。森尼伯格桥的主梁更接近于斜拉桥而不是连续梁。

国内弯桥发展始于 20 世纪 80 年代。1979 年底,国内第一次邀请美国马里兰大学 C. P. Heins 教授来华介绍弯梁桥的设计理论,引起了国内工程界的重视。随后经过一段时间的摸索、实践和研究,于 1987 年在沈阳首次召开了以立交桥工程为中心的学术交流会,会上交流了弯、坡、斜桥建设中的各种学术问题,并编印了论文集。此后在各种学术性的会议上都有一些弯梁桥方面的论文发表。1986 年交通部曾列专题“等截面弯箱梁桥空间分析方法研究”,20 世纪八九十年代,国内不少省交通厅根据建设需要列过弯桥研究课题。邵容光的《混凝土弯梁桥》、孙广华的《曲线梁桥计算》、姚玲森的《曲线梁》等弯桥研究专著先后出版,各研究院校专业研究人员发表过数量可观的论文。2002 年和 2009 年交通部西部交通科技项目列专项“高墩大跨径弯桥设计与施工技术研究”和“山区曲线斜拉桥设计与施工技术研究”。所有这些努力



使我国弯桥建设水平有了长足的进步。

国内弯梁桥发展大致经历了两个阶段：一个是城市立交桥的发展促进了有关小半径匝道弯桥设计、施工和试验技术的发展；另一个是野外高速公路的发展促进了大跨径弯梁桥的设计、施工和试验技术的发展。前者从 20 世纪 80 年代开始，主要在大都市，如北京、上海、广州、深圳、沈阳等地建造了不少立交匝道弯桥，预计随着城市现代化进程的加快，国内各主要大中城市都将面临立交桥的发展；后者从 20 世纪 90 年代末开始，主要在西南五省的山区高速公路上，由于线形上桥梁服从路线，故开始出现高墩大跨径弯梁桥，预计随着高速公路向山区纵深发展，更多的高墩弯桥会涌现出来。

图 1-10～图 1-13 为国内几座典型弯桥的工程照片。



图 1-10 钢混结构弯桥



图 1-11 混凝土结构弯桥



图 1-12 混凝土结构掉头弯桥



图 1-13 连续刚构弯桥

国内弯桥形式主要是梁式桥，个别拱桥、斜拉桥有平曲线，但半径较大，弯曲效应不明显。梁式桥分钢筋混凝土、预应力混凝土和钢混结构三种。目前钢混结构主要应用于城市立交桥，以北京居多。跨径 16m 以下的弯桥多为钢筋混凝土结构，跨径 20m 以上的弯桥多为预应力混凝土或钢混组合结构。

表 1-1 为国内外部分弯桥工程实例。表 1-1 中所列弯桥数量远不是实际弯桥的总数，无论城市立交匝道弯桥还是公路上现浇弯桥、悬臂施工的大跨径弯桥有很多都未收录，原因是很多桥梁只知其名，未见其详，如广州花都机场的掉头弯桥很是壮观，但没有跨径细节；路线上现



浇弯桥就更多了,要想全部统计到几乎不可能。但国内大跨径弯梁桥平曲线半径小于 1 000m 的基本上都收录到了,至少有代表性。

国内外部分弯桥工程实例

表 1-1

桥 名	国家	年份	跨度(m)	截面形式	材料	曲线半径 (m)	施工方法
国外弯桥							
Los Loms Bridge	美国		53.6+71.3+53.6	单箱双室	PC	76	现浇
Cyrville Road Underpass	加拿大	1972	51.2×2	单箱三室	PC	350	现浇
Caillon Bridge	瑞士	1974	23×92	单箱双室	PC	760	悬拼
长谷大桥	日本	1976	50+65+50 (变截面连续梁)	单箱单室	PC	250~直线	悬臂施工
让纳维利埃桥	法国	1976	105+172+74.17+ 172+113	单箱双室	PC	650	悬臂浇筑
Nuel Bridge	法国	1976	曲线跨径 41	II形梁	PC	750	顶推
左坡川桥	日本	1980	37.1+37.5×2+37.1	双箱双室	PC	580	悬臂施工
Bow River Bridge	加拿大	1982	40+50×7+40	单箱单室	PC	130~200	悬臂浇筑
Kelesku Bridge	英国	1987	71.9+132+71.9	单箱双室	PC	143	悬臂施工
青森大桥	日本	1987	128+240+128	双箱双室	PC	40~800	悬臂施工
腾手川桥	日本	1997	59.3+96.5+69.8	波形钢腹板	钢混	1 500	悬臂施工
廿六木大桥	日本	1995	35+50+75+65+45	单箱单室	PC	80	
上姬川桥	日本	1989	15.9+48+15.9	单箱单室	PC	400	悬臂施工
大井沢桥	日本	1995	68+112×3+68	单箱单室	PC	800	悬臂施工
松帆高架桥	日本	1990	80+80+70+70	单箱双室	PC	350,800	悬臂施工
西浦高架桥	日本	1994	43.9+68.5+71×3+ 68.5+43.9	单箱单室	PC	650,1 000	悬臂施工
Linn Cove Viaduct	美国		30+48+55×4+50+30	单箱单室	PC	最小 76	悬臂拼接
横向 1 号桥	日本		24+36+42×6+34(独柱)	单箱单室	PC	250	顶推
择水二桥	日本		75+91+86	单箱单室	PC	部分 300	顶推
Raft Sundet 桥	挪威		86+202+298+125	单箱单室	PC	3 000	悬臂施工
鹿儿岛高架桥	日本		3G125:两跨连续曲线 36.5+30.5; 3G132:两跨连续曲线 33.582+36; 3G125:两跨连续曲线 30.679+27.13; 3G132:两跨连续曲线 38.1+41.9	双箱双室	钢板梁	159 150 150 159	吊装
铃田桥	日本		54.3+75×5+54.3 (梁高按正弦曲线)	单箱单室	PC	1 200	悬臂施工