

Small and Medium Span
Concrete Beam Bridge



中小跨径混凝土梁桥

杨虎根 陈 晶 杨志军 严允中 编著
向中富 主审



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

中小跨径混凝土梁桥

杨虎根 陈 晶 杨志军 严允中 编 著
向中富 主 审



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

内 容 提 要

本书针对国内常用的中小跨径混凝土梁式桥,分别就结构体系、使用情况及改进措施、预应力技术、结构设计、结构分析计算、新结构新技术、桥梁拓宽以及下部结构等结合工程实例进行专题分析探讨,并提出相应的建议。

本书可供桥梁工程基层设计、施工、监理和管养技术人员参考。也可供国内院校桥梁工程专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

中小跨径混凝土梁桥 / 杨虎根等编著. —北京:

人民交通出版社股份有限公司, 2018. 8

ISBN 978-7-114-14825-5

I. ①中… II. ①杨… III. ①跨径—钢管混凝土桥

IV. ①U448.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 135304 号

书 名: 中小跨径混凝土梁桥

著 作 者: 杨虎根 陈 晶 杨志军 严允中

责任编辑: 李 喆

责任校对: 宿秀英

责任印制: 张 凯

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.cpress.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: 北京印匠彩色印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 33

字 数: 790 千

版 次: 2018 年 8 月 第 1 版

印 次: 2018 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14825-5

定 价: 132.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

1978年12月召开的中共十一届三中全会,作出了具有里程碑意义的重大决议。从此,中国进入了改革开放的重要历史阶段。20世纪80年代初期,改革开放使我国社会生产力得到极大解放,经济开始迅速发展,“以经济建设为中心”的方针政策,对公路交通运输提出了紧迫要求。当时,中国的公路现状是很落后的:从1949年至1976年,修建了80万km公路,其中41.3%是等外路,而等级公路中的三、四级公路又占了97.5%;全国公路桥梁仅有12.8万座;公路的平均时速不到30km。从20世纪80年代后期开始,在国民经济高速发展的推动下,我国公路基础设施建设发生了历史性的突破。1988年,中国有了第一条高速路,这一年也因此被称为“中国高速元年”。此后,第一个10年,高速公路建设以每年858km的增长速度推进;第二个10年则以每年5000km的高速度持续发展;到2010年年底,我国高速公路总里程达到7.4万km,跃居世界第二位。以高速公路为主体的“五纵七横”12条国道主干线路网建设比原计划提前了13年,于2007年年底全面贯通。高速公路网已经成为运输体系中的大动脉。2010年,公路运输在全社会运输总量中承担货运量的75.5%和客运量的93.37%。截至2017年末,全国公路桥梁有83.25万座(总长度为5225.62万m),其中特大桥4646座(总长度826.72万m);大桥91777座(总长度2424.37万m);中小桥73.6077万座(总长度1974.53万m)。中小桥座数占总座数的88.42%,长度占总长度的37.78%。在中小桥中,90%以上是混凝土梁桥,且大部分在40m以下。这是因为中小桥适用范围广,适应性强,工程造价较低,施工工期较短,设计施工较为成熟。这几十万座中小桥遍布全国城乡,为国家公路交通网及经济社会建设提供了支撑,为社会主义的运输业发挥着重要作用。

我国改革开放至今已有40年,在公路桥梁建设方面积累了十分丰富的设计、施工、科研、管养和维修加固的经验,这是我国桥梁建设中的宝贵财富。同时也有一些问题和教训值得进一步探讨和总结。

本书根据国内中小混凝土梁桥的设计、施工经验,结合作者长期从事桥梁设计与施工的体经验就中小混凝土梁桥的部分内容进行专题分析探讨,并以工程实例配合论述。全书共计14章,主要内容包括:

中小混凝土梁桥结构体系与工程应用;

常规装配式梁板桥使用情况、存在问题与改进建议;

装配式混凝土梁桥伸缩缝、桥面连续、简支连续梁单双排支座和简支转连续刚构等专题讨论;

中小混凝土梁桥几项新结构、新技术;

中小混凝土梁桥预应力体系;

中小混凝土弯桥与斜桥结构设计与计算;

中小混凝土连续箱梁桥侧倾稳定性分析与工程实例;

中小混凝土梁桥下部结构设计与工程应用;

中小混凝土梁桥结构分析问题专题讨论;

现役混凝土梁桥拓宽改造;

混凝土梁桥几项新技术进展简况等。

在桥梁建设的各个环节,由于特大桥和大桥占有重要地位,属于道路中的关键咽喉,因此占用较多资源是必需的。而中小桥因量大面广,难免存在管理粗放和被重视不够的情况。在基层,设计部门和施工一线技术相对较弱,资金、设备、人员等投入不够充分,一般多将其视为技术含量较低的常规任务,大多是套用标准图或通用图,或凭经验设计,往往缺乏深入的考虑和认真的分析计算。在桥梁科研方面,也有观点认为中小桥的设计理论和分析方法较为成熟,没有多少需要进一步研究的内容。针对中小跨径混凝土梁桥使用情况,笔者通过深入思考,深感中小跨径混凝土梁桥所涉及的技术问题、技术难点其实还不少,有相当一部分至今尚未获得较圆满的解决,在实际工程中还存在过于保守或偏于不安全等不合理情况,有的设计者可能还没有意识到。在中小混凝土梁桥方面,我国与国际先进水平还有差距。因此,桥梁人还要继续努力,将我国中小混凝土梁桥的总体水平推进到一个新的高度。在全面贯彻安全、实用、经济、耐久、环保、节能、创新、美观和可持续发展的总任务中,与我国公路建设齐头并进,不掉队。

中小混凝土梁桥具有数量特别大、建设质量易被忽视、运营影响特别广等特点,在工程建设中应该引起关注。

山区公路,包括高速公路和一般公路,中小混凝土梁桥、弯坡斜桥与高桥墩时有出现,具有普遍性。有时在一座多跨梁桥中,多个桥墩高度相差较大,甚至还包含平曲线与大纵坡上部结构。

城市桥梁、互通式立交桥或风景区公路桥等,跨径不大,桥面较宽,因为宽跨比较大,受力情况具有特殊性。

在一些公路上,重载交通在一定时期内难以杜绝,这已为多年的经验所证实。重载货车对桥梁的危害,中小桥比大桥严重得多。

中小混凝土梁桥的桥面铺装、桥面排水、伸缩缝、支座以及湿接缝等病害较多。而中小桥因量多面广、管养维护难度大,对行车影响较大。目前还没有较为广泛适用的措施,或者虽有好的措施,因为属于中小桥而未得到重视和及时应用。

全国各地区的地震烈度有较大差异,但对于中小桥往往未根据具体情况采取不同的减震、防震措施。

目前缺少中小混凝土梁桥的下部结构行业通用图,有的具体设计较为粗放,难以达到经济合理的要求。

交通行业通用图(以下简称“通用网”)主要包括空心板(及实体板)、T梁和小箱梁三种基本形式。国内外经验启示,除以上三种形式外还有一些结构形式或具体构造也不错,有必要进行比较和优化。

中小混凝土梁桥拓宽改造是今后相当长一段时期内在结构设计、施工工艺以及相关规范方面应予关注的一个重要课题。

目前国内已有一些较为成熟和实用的中小混凝土梁桥新结构、新工艺、新材料,应重视其推广应用。

上述中小混凝土梁桥的部分特点,在本书有关章节中作了简要论述,还涉及国内的一些看

法和建议,供读者参考。

附录 A、B、C 分别为通用图(2008 年版)主要技术参数、中小跨径混凝土板、梁桥桥墩常用尺寸及配筋和梁式桥混凝土 U 形桥台基本构造尺寸。

中小混凝土梁桥在设计、施工、科学研究和管养、改造等方面涉及的技术问题很多,有些问题较为复杂,本书仅就少数内容进行分析讨论。在介绍国内一些经验和成果的同时,也提出了我们的看法或补充建议,供读者参考。

书中如有差错或补充意见,请直接发至编著者的电子信箱:379772868@qq.com,以便随后进行修正或补充完善。

在本书编写过程中,我们参阅了大量论文、专著和技术资料,并引用了一些研究成果和工程设计资料(详见各章“参考文献”,分别列于各章正文之后),在此向有关作者深表谢意。

本书的出版,非常感谢贵阳建筑勘察设计有限公司执行董事袁志英、总经理敬亚平等各位领导的大力支持(公司详情可参阅网站 <http://www.jzkcsj.com>)!同时,本书的出版还得到了贵阳建筑勘察设计有限公司市政院姜明坤、涂洪华的帮助,特向他们表示感谢!最后,在此向给予帮助与支持的众多朋友及同事一并表示由衷的谢意!



2018 年 3 月于贵阳

目 录

第1章 中小跨径混凝土梁式桥结构体系与工程应用概述	1
1.1 简支梁桥体系	1
1.2 悬臂梁桥体系	3
1.3 连续梁桥体系	6
1.4 刚构桥体系	11
1.5 刚构—连续梁桥组合体系	27
1.6 无梁板桥体系	29
1.7 脊骨梁桥体系	31
本章参考文献	34
第2章 常用装配式混凝土板、梁桥使用情况与改进建议	36
2.1 装配式空心板桥病害情况与铰缝、锚下混凝土受力分析	36
2.2 装配式空心板铰缝设计改进建议	43
2.3 装配式后张法预应力混凝土空心板锚下设计的改进	52
2.4 装配式预应力混凝土 T 梁桥病害和原因分析	55
2.5 装配式预应力混凝土 T 梁桥设计、施工改进建议	59
2.6 装配式 T 梁横隔板受力性能研究进展	66
2.7 装配式预应力混凝土组合箱梁桥施工及运营中出现的问题和原因分析	68
2.8 装配式预应力混凝土组合小箱梁桥设计施工改进建议	72
2.9 装配式预应力混凝土组合箱梁桥结构分析的两个问题	74
2.10 装配式预应力混凝土 T 梁桥与装配式预应力混凝土组合箱梁桥比较	77
本章参考文献	79
第3章 装配式混凝土梁桥有关专题分析探讨	82
3.1 简支梁桥伸缩装置存在问题及改进措施	82
3.2 简支梁桥面连续存在问题及改进措施	95
3.3 简支连续梁桥单、双排支座特点分析与工程应用	106
3.4 简支连续刚构桥与简支刚构—连续梁桥特点分析和工程应用	112
本章参考文献	117
第4章 中小跨径混凝土梁桥新结构新技术	119
4.1 概述	119
4.2 混凝土槽形梁桥及组合式 U 形梁桥	120
4.3 低高度混凝土梁桥	127

4.4	装配式预应力混凝土简支工字梁桥	132
4.5	简支连续梁桥墩顶连续段改革方案	133
4.6	节段拼装预应力混凝土连续梁桥	136
4.7	快速施工桥梁技术简介	149
	本章参考文献	150
第5章	中小跨径混凝土梁桥预应力体系	152
5.1	概述	152
5.2	预应力分类提纲	154
5.3	体内有黏结预应力的特点与工程应用	155
5.4	体外预应力的特点与工程应用	156
5.5	体内无黏结预应力的特点与工程应用	161
5.6	体内缓黏结预应力技术要点	164
5.7	体内预弯有黏结预应力的特点与工程应用	169
5.8	预弯预应力钢筋的特点与工程应用	172
5.9	横张预应力的特点与工程应用	174
5.10	预应力混凝土几项新技术	177
	本章参考文献	187
第6章	中等跨径 PC 整体式箱梁桥预应力专题分析讨论	190
6.1	概述	190
6.2	整体式 PC 箱梁病害情况	190
6.3	整体式 PC 箱梁避免病害的措施	196
6.4	整体式 PC 连续箱梁纵向钢束布置特点	203
6.5	变截面预应力混凝土连续刚构(连续梁)桥不同布束方式分析比较	208
6.6	预应力混凝土箱梁的几个特殊问题	213
	本章参考文献	224
第7章	中小跨径混凝土弯梁桥结构设计	227
7.1	概述	227
7.2	混凝土弯梁桥分类与结构体系	230
7.3	混凝土弯梁桥受力特点	232
7.4	混凝土弯梁桥总体设计要点	238
7.5	混凝土弯梁桥支座布置实例	243
7.6	混凝土弯梁桥构造设计要点	245
7.7	PC 弯梁桥预应力设计要点	248
7.8	混凝土弯箱梁桥普通钢筋配置	251
7.9	混凝土弯箱梁桥实例	253
	本章参考文献	256

第 8 章 中小跨径混凝土斜梁桥结构设计	258
8.1 概述	258
8.2 规则斜梁桥的支座布置	259
8.3 混凝土斜梁桥受力特点	261
8.4 单跨整体式斜交板桥结构设计要点	262
8.5 斜梁桥结构设计要点	265
8.6 PC 斜梁桥预应力特点	268
8.7 混凝土斜梁桥工程实例	269
8.8 其他有关斜梁桥的资料	273
本章参考文献	276
第 9 章 混凝土弯、斜梁桥结构分析计算方法及实例	277
9.1 混凝土弯梁桥结构分析计算方法综述	277
9.2 梁格法	282
9.3 梁格法与单梁法用于混凝土弯、斜梁桥实例	293
9.4 弯、斜梁桥近似计算	300
9.5 我国桥梁结构分析计算部分软件简介	314
本章参考文献	323
第 10 章 连续箱梁桥侧倾稳定性分析与工程实例	325
10.1 概述	325
10.2 连续箱梁桥侧倾与倒塌实例	326
10.3 关于重载交通路段桥梁荷载效应的讨论	328
10.4 有关规范对桥梁侧倾稳定性的规定	334
10.5 桥梁侧倾稳定性风险源分析	336
10.6 连续箱梁桥侧倾稳定性的临界状态	339
10.7 连续箱梁桥按刚体侧倾稳定性进行验算的方法	341
10.8 连续箱梁桥按弹性体侧倾稳定性进行验算的方法	346
10.9 提高连续梁桥侧倾稳定性的主要措施	348
本章参考文献	351
第 11 章 中小跨径混凝土梁桥下部结构设计与工程应用	353
11.1 桥墩常用结构形式与工程应用	353
11.2 桥台分类、特点及适用范围	357
11.3 桩基设计有关问题分析讨论	376
11.4 与地基承载力有关的几个术语	384
本章参考文献	386

第 12 章 中小跨径混凝土梁桥有关专题分析讨论	388
12.1 柱式桥墩的计算长度	388
12.2 整体式箱形梁桥横梁结构分析讨论	402
12.3 柱式桥墩的集成刚度	413
12.4 桩基计算模型与等代结构	421
12.5 箱梁腹板厚度有关问题讨论	427
本章参考文献	429
第 13 章 现役混凝土梁桥拓宽改造	432
13.1 混凝土梁桥拓宽改造总体方案	432
13.2 常用混凝土梁桥拓宽改造上部结构拼接示例	439
13.3 新旧桥基础沉降差对拓宽拼接的影响	447
13.4 现役混凝土梁桥拓宽改造的几个问题	451
本章参考文献	458
第 14 章 混凝土梁桥几项新技术进展简况	459
14.1 大悬臂混凝土梁桥	459
14.2 全无缝梁桥接线路面裂缝宽度计算与延性性能试验研究	466
14.3 PBL 剪力键用于简支梁桥面连续	468
14.4 新旧混凝土界面性能研究及处置措施	469
14.5 波形钢腹板预应力混凝土梁桥	474
本章参考文献	484
附录 A 交通行业公路桥梁通用图(2008 年版)主要技术参数	487
附录 B 中小跨径混凝土板、梁桥桥墩常用尺寸及配筋	504
附录 C 梁式桥混凝土 U 形桥台基本构造尺寸	510
规范索引	515

第1章 中小跨径混凝土梁式桥结构体系与工程应用概述

根据受力特点及外部约束状态,中小跨径混凝土梁式桥分为简支梁体系、悬臂梁体系、连续梁体系、刚构体系和刚构—连续组合结构体系五类。本章对各类结构体系的特点及工程应用概况进行简要分析。以后各章将对五类体系中的常用结构与工程应用进行专题讨论。

1.1 简支梁桥体系

简支梁桥是梁式桥中使用最早、应用范围最广泛的一种结构体系,是受力和构造最简单的桥型,容易设计成为各种标准跨径和装配式结构,施工工艺较简单、工序较少,易于标准化施工。图 1-1 为简支梁桥结构体系示意图。



图 1-1 简支梁桥结构体系

注:图中 Δ 表示固定支座, $\circ$ 表示活动支座(下同)。

简支梁桥属于静定结构,梁的内力不受地基变形的影响,能够适应地基较差的情况。多跨简支梁桥各孔单独受力,中间桥墩上需设置双排支座,结构设计和施工容易处理。年际均匀温度变化、混凝土徐变收缩不会引起简支梁桥的次内力。其设计主要受跨中正弯矩控制。当跨径增大时,跨中弯矩迅速增大,恒载弯矩占很大比例,故其合理的最大跨径受到限制。20 世纪 60~70 年代修建的简支梁桥,多为钢筋混凝土结构,跨径通常不超过 20m。后来随着预应力技术的推广应用,简支梁桥的跨径大幅提升。1988 年建成的浙江瑞安飞云江大桥,为多跨预应力混凝土简支梁桥,其跨径组合为 $18 \times 51\text{m} + 6 \times 62\text{m} + 14 \times 35\text{m}$,是中国最著名的简支梁桥之一。洛阳黄河大桥、郑州黄河大桥和开封黄河大桥,都是跨径 50m 左右的预应力混凝土简支 T 梁桥。上海市虹桥综合交通枢纽高架桥,为最大跨径 55m 的装配式预应力混凝土简支 T 梁桥。昆明市南过境干道高架桥主孔为单跨 63m 预应力混凝土简支现浇箱梁桥。浙江甬台温高速公路雪坑山大桥,其中 54m 简支梁为支架上现浇的预应力混凝土 T 梁。目前,国内最大跨径预应力混凝土 T 梁桥跨径已达 67m。

桥梁建设的实践经验表明:钢筋混凝土简支梁桥的经济合理跨径不宜超过 25m,预应力混凝土简支梁桥的经济合理跨径不宜超过 55m。所以,中小跨径混凝土梁式桥中,大量采用 RC 和 PC 简支体系。不论板式或梁式均为等高度结构。

钢筋混凝土简支板桥,跨径一般不大于 10m,板的厚度为跨径的 $1/16 \sim 1/22$,随跨径的增大采用较小值。在某些情况下,钢筋混凝土简支板的标准跨径可采用 16m。例如,1990 年贵

州交通规划勘察设计院编制的内部使用定型设计图,跨径 8m、10m、13m、16m 装配式与整体式简支空心板厚度分别为 45cm、55cm、70cm 和 85cm,板厚与计算跨径的比值在 $1/16.9 \sim 1/18.8$ 之间。计算荷载为汽车—超 20 级,挂车—120。

预应力混凝土简支空心板桥,常用跨径在 10~20m 之间,板的厚度为跨径的 $1/18 \sim 1/23$,随跨径的增大采用较小值。2008 年交通行业通用图中装配式预应力混凝土简支空心板标准跨径为 10m、13m、16m、20m 的预制板厚度分别为 60cm、70cm、80cm 和 95cm。详细技术参数见本书附录 A。

钢筋混凝土简支梁桥的常用跨径为 8~20m,梁高与跨径的比值在 $1/11 \sim 1/15$ 之间,随跨径的增大取较小值。《公路桥涵设计图装配式钢筋混凝土 T 形梁》(JT/GQS 025—1984)规定,标准跨径为 10m、13m、16m、20m,相应预制 T 梁高度分别为 90cm、110cm、130cm、150cm。计算荷载为汽车—超 20 级,挂车—120。现已采用预应力混凝土 T 梁或空心板,不再使用钢筋混凝土 T 梁。

预应力混凝土简支梁是中小跨径的常用桥型。其主梁的高度与截面形式、活载标准、主梁片数、施工工艺以及对建筑高度的要求等因素有关,故梁高与跨径之比的变化范围较大,在 $1/15 \sim 1/20$ 之间。其中装配式预应力混凝土 T 梁桥,是国内广泛应用的一种结构形式。2008 年交通行业公路桥梁通用图中包含装配式预应力混凝土简支 T 梁桥,标准跨径有 20m、25m、30m、35m 和 40m 五种,预制 T 梁高度与跨径的比值在 $1/13.3 \sim 1/16$ 之间。详细技术参数见附录 A。

2008 年交通行业公路桥梁通用图中没有装配式预应力混凝土简支组合小箱梁桥的相应图纸。中交第一公路勘察设计院 2009 年编制的杭州至瑞丽高速公路贵州境大兴至思南段桥梁设计通用图“装配式预应力混凝土箱形简支梁桥上部构造”有五种标准跨径,即 20m、25m、30m、35m、40m,预制小箱梁高度分别为 120cm、140cm、160cm、180cm、200cm,高度与跨径的比值在 $1/16.7 \sim 1/20$ 之间。同是装配式预应力混凝土简支梁,预制 T 梁高度大于小箱梁高度。装配式预应力混凝土简支小箱梁较详细技术参数见附录 A。

1993 年交通部颁发过三本装配式后张法预应力混凝土工形组合简支梁桥标准图,图号分别是 JT/GQB 005—1993、JT/GQB 006—1993 和 JT/GQB 007—1993。主要技术指标如下:

标准跨径:20m、30m、40m;荷载标准:汽车—20 级、挂车—100 和汽车—超 20 级、挂车—120;桥面净宽:11.5m+2×0.5m、9m+2×0.5m、9m+2×1.5m、9m+2×1m、7m+2×1m;斜交角:0°、15°、30°、45°。

1999 年 7 月交通部对桥涵标准图进行了清理和复审,上述三本标准图仍可继续使用,并提出了使用中应注意的几个问题。

工形组合梁施工时先安装预制好的预应力混凝土工形梁,再现浇普通钢筋混凝土,形成预制 PC 梁与现浇 RC 的叠合梁,这是一种合理的做法,特别适用于中小跨径的斜桥和弯桥。其主要优点有:

(1) 可充分发挥预应力混凝土和普通钢筋混凝土各自的抗拉和抗压能力。

(2) 预制安装重量较现在广泛使用的 T 梁和小箱梁轻,对架梁设备要求较低。

(3) 在主梁截面中,预制构件所占比重较小,容易进行斜桥和弯桥初安装,为后浇混凝土形成支撑;还可以在某个平面为异形的小梁桥上应用。

这种桥型目前已较少采用,一是由于预制工形梁截面较小,施工过程应力较大;二是因为装配式 T 梁和小箱梁的预制构件在主梁全断面中所占比例很大,吊装就位后,湿接头等现浇工作量很小,施工工期短,更能适应工厂化、标准化的施工工艺。关于预应力混凝土工形组合梁的改进和优化问题将在本书 4.4 节进行讨论。

1.2 悬臂梁桥体系

将简支梁梁体加长,并越过支点就成为悬臂梁桥,仅向一端伸出时称单悬臂梁,两端均伸出时称双悬臂梁。悬臂梁桥一般有三孔,也可以多于三孔。悬臂梁在桥墩支点处产生负弯矩,使主跨(也称为锚跨)跨中正弯矩较同跨径简支梁的正弯矩有较大幅度的下降。悬臂梁桥的基本体系如图 1-2 所示。其中图 a)、b)、c)均为带悬臂的简支梁;图 d)为墩梁固结形成的 T 构与简支挂梁组合,均为静定结构;图 e)为中跨跨中设剪力铰的悬臂梁,为一次超静定结构。图 d)也称为 T 形刚构。悬臂梁桥一般做成变高度梁,设桥墩支点处负弯矩峰值相应的主梁高度为 H ,跨中与悬臂端部的梁高为 h ,由本章参考文献[1]、[2]等,可得 H/h 等参数的经验数据见表 1-1 ~ 表 1-4。

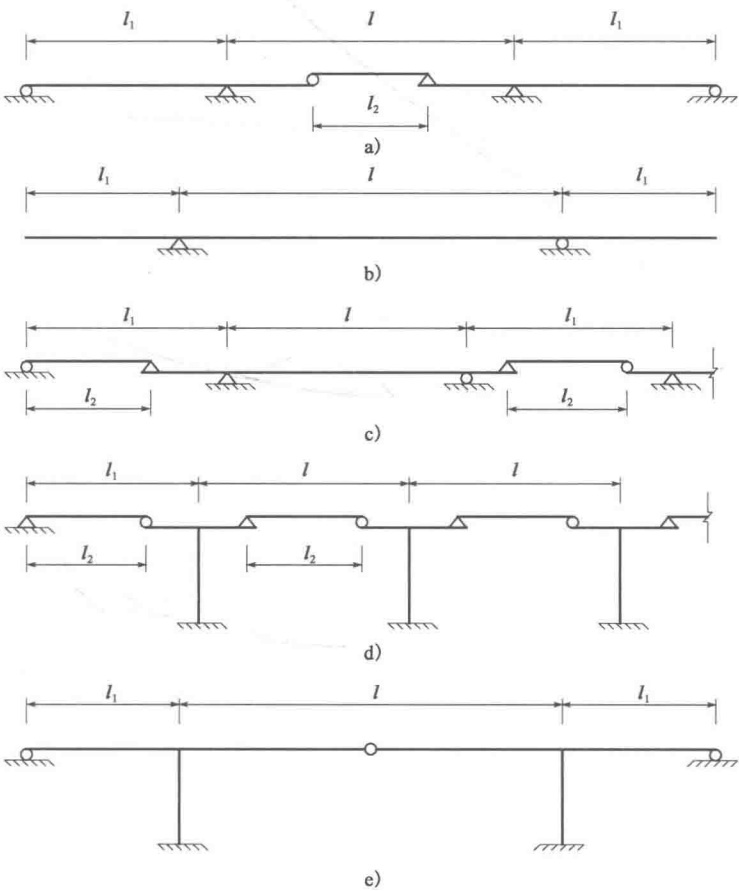


图 1-2 悬臂梁桥结构体系

(1) 中跨有挂梁的单悬臂梁桥, 参见图 1-2a)。

中跨有挂梁的单悬臂梁桥(三孔) 表 1-1

桥 型	跨 径	跨径与梁高关系		
钢筋混凝土单悬臂梁桥	$l_1 = (0.6 \sim 0.8)l$ $l_2 = (0.4 \sim 0.6)l$	T 形截面	$h = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{20} \right)l$	$H = (1.5 \sim 1.8)h$
		箱形截面	$h = \left(\frac{1}{15} \sim \frac{1}{25} \right)l$	$H = (2.0 \sim 2.5)h$
预应力混凝土单悬臂梁桥	$l_1 = (0.6 \sim 0.8)l$ $l_2 = (0.2 \sim 0.4)l$	T 形截面	$h = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{25} \right)l$	$H = (1.5 \sim 2.0)h$
		箱形截面	$h = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{30} \right)l$	$H = (2.0 \sim 2.5)h$

(2) 无挂梁的双悬臂梁桥, 参见图 1-2b)。

无挂梁的双悬臂梁桥(三孔) 表 1-2

桥 型	跨 径	跨径与梁高关系		
钢筋混凝土双悬臂梁桥	$l_1 = (0.3 \sim 0.4)l$	T 形截面	$h = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{20} \right)l$	$H = (1.0 \sim 1.5)h$
		箱形截面	$h = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{30} \right)l$	$H = (2.0 \sim 2.5)h$
预应力混凝土双悬臂梁桥	$l_1 = (0.3 \sim 0.5)l$	T 形截面	$h = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{25} \right)l$	$H = (1.5 \sim 2.0)h$
		箱形截面	$h = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{35} \right)l$	$H = (2.0 \sim 2.5)h$

(3) 多跨双悬臂梁桥, 参见图 1-2c)。

多跨双悬臂梁桥(有挂梁) 表 1-3

桥 型	跨 径	跨径与梁高关系		
钢筋混凝土多跨双悬臂梁桥	$l_1 = (0.75 \sim 0.8)l$ $l_2 = (0.5 \sim 0.6)l$	T 形截面	$h = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{20} \right)l$	$H = (1.5 \sim 1.8)h$
		箱形截面	$h = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{30} \right)l$	$H = (2.0 \sim 2.5)h$
预应力混凝土多跨双悬臂梁桥	$l_1 = (0.75 \sim 0.8)l$ $l_2 = (0.5 \sim 0.7)l$	T 形截面	$h = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{25} \right)l$	$H = (2.0 \sim 2.5)h$
		箱形截面	$h = \left(\frac{1}{25} \sim \frac{1}{35} \right)l$	$H = (2.0 \sim 2.5)h$

(4)带挂梁 T 形刚构桥,参见图 1-2d)。

带挂梁 T 形刚构桥 表 1-4

桥 型	跨 径	跨径与梁高关系	
钢筋混凝土箱梁桥	$l_1 = (0.75 \sim 0.8)l$ $l_2 = (0.5 \sim 0.7)l$	$h = \left(\frac{1}{16} \sim \frac{1}{18}\right)l$	$H = (1.8 \sim 2.0)h$
预应力混凝土箱梁桥	$l_1 = (0.75 \sim 0.8)l$ $l_2 = (0.2 \sim 0.5)l$	$h = \left(\frac{1}{40} \sim \frac{1}{50}\right)l$	$H = \left(\frac{1}{16} \sim \frac{1}{20}\right)h$

注:根据本章参考文献[2],PC T 构 $l_2 = (0.25 \sim 0.5)L$; $h = (0.2 \sim 0.4)H$ 。

(5)带剪力铰 T 形刚构桥,参见图 1-2e)。

桥型结构为预应力混凝土箱形梁时, $l < 100\text{m}$, $H = \left(\frac{1}{14} \sim \frac{1}{22}\right)l$; $h = (0.2 \sim 0.4)H$,且不小于 2.0m。

根据理论分析与工程实践,悬臂梁桥的主要优缺点如下。

(1)悬臂梁桥的主要优点

①悬臂梁中墩支点截面产生负弯矩对锚跨(指主跨)跨中正弯矩产生有利的卸载作用。悬臂梁与跨径和荷载均相同的简支梁比较,不论恒载、活载的最大正弯矩均大幅度降低,主梁高度与材料用量也相应减少,是较为经济的。

②图 1-2 中除图 e)为一次超静定结构外,其余悬臂体系均为静定结构,均匀温度变化、地基不均匀沉降及混凝土收缩徐变不会引起结构产生二次内力。一般可以在地基较差的情况下采用这种桥型。

③桥墩上仅有一排支座,有利于减小墩身尺寸,也节省了基础工程量。

④悬臂梁桥将伸缩缝移至跨内,其变形曲线的转折角较简支梁变形曲线在支点处的转折角小,对行车的不利影响相对较小。

⑤静定结构悬臂梁桥施工过程中无体系转换,施工工艺较简单。

⑥无挂梁的双悬臂梁桥[图 1-2b)],两侧悬臂直接与桥头搭板连接,当路堤不高时,可以省去桥台。

(2)悬臂梁桥的主要缺点

①悬臂端牛腿(或剪力铰)构造较为复杂,局部应力集中,在长期使用过程中容易出现裂缝,并引起过大的挠度,这是这种桥型最主要的薄弱环节。

②桥面上的接缝较多,对结构耐久性和行车舒适性均有较大的不利影响。

③悬臂梁桥的总体受力性能以及结构的整体性均不及连续梁桥和连续刚构桥。

④中墩支点处为单排支座,施工时须设置临时支座。连续梁桥虽也存在这个问题,但连续梁桥没有跨中挂梁、剪力铰、牛腿等复杂构造带来的问题。

⑤与预应力混凝土连续梁桥、连续刚构桥比较,后者特别有利于悬臂施工法、顶推法、逐跨施工法的应用,符合施工设备机械化、生产工厂化、构件标准化的现代桥梁施工工艺。

《公路桥涵标准图 装配式后张法部分预应力混凝土单悬臂梁桥上部构造》(JT/GQB 010—1996),荷载为汽车—超 20 级、挂车—120,汽车—20 级、挂车—100;为三跨布置;中跨跨径有三种:25m、35m、40m。与本章图 1-2a)的结构图式相同。1999 年 5 月 24 日交通部发文指

出,此标准图仍可继续使用。现在如参考应用该标准图,应按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)(以下简称“现行桥规”)进行验算,并进行必要的加强和调整。

如图 1-2d)和图 1-2e)所示,主梁为悬臂梁,但中墩与主梁固结,实质上是 T 形刚构,有的文献称为悬臂梁桥,有的文献则称为 T 形刚构桥。本书将在 1.4 节对刚构体系有关问题作进一步讨论。

由于悬臂梁体系存在上述缺点,我国仅在 20 世纪 90 年代以前修建了少数中小跨径悬臂梁桥(不含 T 形刚构桥)。以下是两个实例。

(1) 江苏芦墟桥

主桥为 30m+46m+30m 三跨悬臂梁桥,结构图式与图 1-2a)相同, $l=46\text{m}$, $l_1=30\text{m}$, $l_2=20\text{m}$,中跨悬臂长度为 $2\times 13\text{m}$ 。主梁根部高度为 3m,挂梁高度为 1.0m,主梁为预应力混凝土,少支架现浇施工。桥面净宽为净 7m+ $2\times 1.5\text{m}$ 人行道,设计荷载为汽车—15 级,挂车—80。

(2) 天津市北安桥

主桥为 24m+45m+24m 三跨悬臂梁桥,结构图式与图 1-2a)相同, $l=45\text{m}$, $l_1=24\text{m}$, $l_2=8\text{m}$,中跨悬臂长度为 $2\times 18.5\text{m}$,主梁根部高度为 3m,挂梁高度为 0.76m,主梁为预应力混凝土,横向分段悬臂拼装。桥面净宽为净 18m+ $2\times 3\text{m}$ 人行道。

中小跨径悬臂梁桥(不含 T 形刚构)现已很少采用,在某些特殊情况下,如有可取之处,也可以将悬臂梁桥作为比较方案。国内已建成的预应力混凝土悬臂梁桥中跨最大跨径达到 80m [为三跨布置,与图 1-2a)相同],采用平转法施工。

T 形刚构桥,主要是带挂梁的 T 形刚构桥,较其他形式的悬臂梁桥实际应用更多一些,适用的跨径范围也更宽,在 50~200m 之间。20 世纪 90 年代以后,主跨超过 100m 的大跨径 T 形刚构桥逐渐被预应力混凝土连续梁桥和连续刚构桥所取代。这是由于连续梁与连续刚构的受力性能与整体刚度更好,结构构造也更简单,行车舒适性优于 T 形刚构。但中等跨径(主跨在 100m 以下)的预应力 T 形刚构桥,在某些情况下仍被采用。

1.3 连续梁桥体系

连续梁桥在一联内结构连续,在恒载作用下,中间支点附近产生负弯矩,各跨跨中附近产生正弯矩。由于支点负弯矩的卸载作用,较同跨径简支梁的正弯矩大幅度下降。当边中跨跨径的比例合适时,一联中的弯矩绝对值的变化范围与数值显著小于相同跨径简支梁正弯矩的分布及数值。在活载作用下,由于连续梁边跨的刚度贡献,对中跨弯矩效应同样有卸载作用。连续梁桥结构体系如图 1-3 所示。其中图 a)、b)、c)为传统的连续梁桥结构体系,图 1-3d)为双支座连续梁桥结构体系。在中间桥墩上布置双排支座,结构受力状态在某些方面会发生变化,对施工工艺也有一定影响。20 世纪 60 年代初期,国外工程师首先提出在连续梁桥中间桥墩上设置纵向双排支座的观念设计,随后修建了数座双支座连续梁桥。1990 年建成的湖北宜城汉江大桥为我国首座双支座连续梁桥,跨径为 55m+ $4\times 100\text{m}$ +55m。近年在中小跨径混凝土梁桥中,也有双支座连续梁桥的应用实例。双支座连续梁桥涉及问题较多,在本书 3.3 节中,将中等跨径双支座连续梁桥作为专题进行了较详细的讨论。

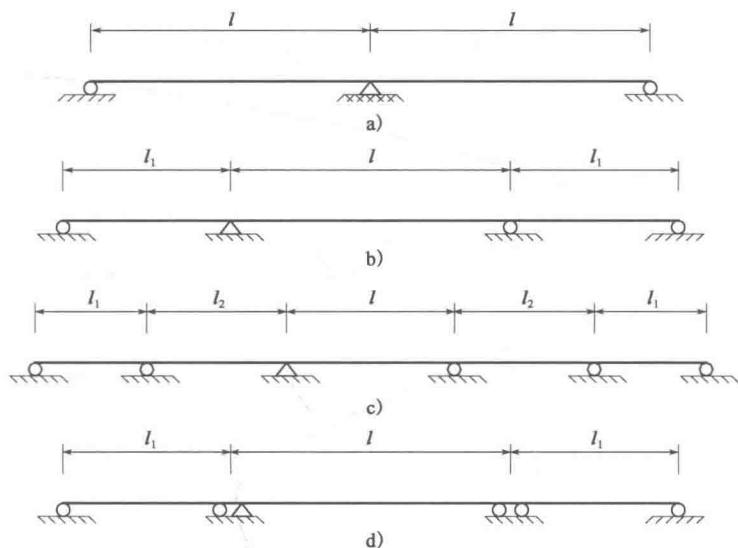


图 1-3 连续梁桥结构体系

连续梁是超静定结构,其主梁截面上的梯度温度、混凝土收缩徐变、基础不均匀沉降都会在结构中产生次内力。

最常见的连续梁桥为三跨一联,也有四跨、五跨甚至更多跨为一联的布置,少数情况下,有两跨一联的。一联超过三跨,且边、中跨比例在合理范围内时,最大正弯矩虽有所减小,但减小的幅度并不显著。三跨一联时,梁体总伸缩量不大,对伸缩装置的设计、安装和使用均有利。所以,实际工程中,三跨或四跨一联为采用较多的形式。当一联超过三跨时,从结构设计和内力均衡考虑,中间各跨跨径宜相等。对于中小跨径连续梁,有时为使结构设计和施工工艺标准化,加快施工进度,采用等跨径布置的连续梁桥。例如目前广泛采用的跨径在 40m 以下的装配式 T 梁和小箱梁均为等跨的简支转连续梁。

连续梁桥由于结构刚度大、变形小、动力性能好,主梁变形挠曲线平缓,接缝少,有利于高速行驶,成为跨径 200m 以下的主流桥型之一。

连续梁边、中跨的比例,从受力合理角度考虑,一般取 0.60 ~ 0.65,并以接近 0.618(黄金分割)为宜。边、中跨的比例还与施工方法有关,满布支架上整体现浇施工时,边、中跨比为 0.6 ~ 0.8;悬臂施工变高度连续梁,边、中跨比为 0.52 ~ 0.60;顶推施工的等高度连续梁,边、中跨比为 0.7 ~ 1.0。一般情况下,边、中跨比不宜小于 0.5,否则边跨端支座处会出现拉力,需采取设置拉压支座或压重等措施。

1) 钢筋混凝土连续板梁桥

(1) 钢筋混凝土连续板桥

连续板的跨径一般在 8 ~ 25m 之间,多采用整体现浇板。等跨布置时采用的等厚度板,板厚为跨径的 1/20 ~ 1/23。跨径较小时采用实体矩形板,跨径较大时采用空心板。

我国交通部于 1996 年颁发的《公路桥涵标准图 整体式钢筋混凝土连续板桥上部构造》(JT/GQB 008—1996)规定了 4 种跨径:8m、10m、13m、16m,每联 3 跨或 4 跨,均为等跨布置。