

寒区道路工程技术丛书

桥梁工程

Qiaoliang Gongcheng

余诗泉 编著



人民交通出版社

China Communications Press

寒区道路工程技术丛书

Qiaoliang Gongcheng

桥梁工程

余诗泉 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书阐述了桥梁工程复杂结构分析、设计和施工的原理与方法。主要内容包括桥梁复杂结构的构造与设计,桥梁结构荷载内力计算特点,桥梁结构施工,大跨度桥梁施工控制的方法,公路桥梁监测智能化与健康评定,旧桥加固与改造等。

本书可供公路桥梁工程专业人员参考,也可供公路桥梁专业教学、研究和设计人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程/余诗泉编著. —北京:人民交通出版社,
2005.2

(寒区道路工程技术丛书)

ISBN 7-114-05397-5

I. 桥... II. 余... III. 桥梁工程 IV. U44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 008622 号

寒区道路工程技术丛书

书 名: 桥梁工程

著 作 者: 余诗泉

责任编辑: 师 云

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×980 1/16

印 张: 12.25

字 数: 187 千

版 次: 2005 年 3 月第 1 版

印 次: 2005 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05397-5

印 数: 0001—3000 册

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

寒区道路工程技术丛书

编 审 委 员 会

主 任 委 员：戴彤宇

副主任委员：白海莹

委 员：王哲人 张宝生 邴文山 余诗泉
鲍明伟 谭忆秋 葛 勇 寇晓波
唐林鹏 王延河

序

经过编写人员历时一年的精心编撰,《寒区道路工程技术丛书》终于与读者见面了。丛书囊括了公路路基、路面,桥梁设计与施工等方面的内容,广泛地吸收了我国已建高速公路的先进技术和经验,并吸取了国外有关的先进技术,是一套结合我国国情、理论联系实际,具有较高实际应用价值的科技丛书。

丛书共分五册,第一册《道路建筑材料》,第二册《路基工程》,第三册《沥青路面工程》,第四册《水泥混凝土路面工程》,第五册《桥梁工程》。该丛书既可作为在职道路桥梁方面技术干部的培训教材,又可供从事高速公路建设的科研、设计、施工和管理方面的人员学习、借鉴,也可供大专院校的师生参考,是一套难得的工具书。

随着人类社会文明的进步和人民生活水平的提高,人们对交通事业的发展要求愈来愈高,对道路交通工程技术、工程质量的要求也不断提高。因此,不断地总结前期高等级公路的修筑技术和经验教训,大力推广先进技术成果,加强对相关技术的科学研究工作,就历史性地落在我们这一代人肩上。

黑龙江省自“九五”期间提出实施“科教兴交通”战略以来,已培养和引进了一批高学历、高层次的科技人才,但仍与交通事业的飞速发展不相适应。因此,培养和提高广大在职技术干部的素质和技术理论水平,是我省交通系统实施人才战略的重要措施。这套丛书的出版对加快我省交通人才的培养,为今后公路交通科技事业和整个交通事业的可持续发展提供了强有力的智力支持和保障。

愿这套丛书对传播新技术,培养高、尖人才,加快科技成果转

化,推动科技进步起到积极的作用。

戴时宇

2004年12月20日

前 言

改革开放以来,我国公路建设取得了长足发展,实现了历史性飞跃。公路交通对国民经济的适应能力和服务水平不断提高。到2004年底,我国的公路通车总里程已达到185.6万公里,其中代表现代交通发展水平的高速公路近3.42万公里,仍保持世界第二位。我国用10年的时间,走过了发达国家一般需40年走完的历程,公路设计、施工工艺以及整套技术都跨入了世界先进行列。

随着经济和社会的发展,科学技术的进步与创新,黑龙江省公路交通产业正处于基础设施建设任务繁重,急需加快发展的阶段。为适应需要,推动行业技术进步,培养高水平的科技人才,全面提高交通科技人员的素质,我们编写了这套《寒区道路工程技术丛书》,供广大科技人员学习专业技能,提高自身素质之用。我们鼓励广大科技人员为发展黑龙江省交通事业更加刻苦、努力地学习,以全新的理念和意识迎接新世纪交通基础设施建设任务的挑战。

在撰写本套丛书时,我们采取了理论与实践相结合的方法。丛书不仅包括了公路路基、路面、桥梁的设计与施工,而且还包括了道路建筑材料有关规范、相关技术理论与实践方面的内容。

本套丛书既有理论性又有实践性,以培养现有技术人员的素质,提高专业技能为目标,既便于科研人员理论研究,又便于设计和施工人员借鉴参考。

《寒区道路工程技术丛书》共分五册:第一册《道路建筑材料》由葛勇、谭忆秋、袁杰编著;第二册《路基工程》由鲍明伟编著;第三册《沥青路面工程》由王哲人编著;第四册《水泥混凝土路面工程》由邴文山编著;第五册《桥梁工程》由余诗泉编著。

本套丛书不求全面,力争为从事寒区公路桥梁设计、施工、科研的工程技术人员提供一套实用的教材和参考资料。同时力争以新的视角分析、总结归纳出一个针对发展中所提出的系统认识和现实可操作性的处理方法,以便提高交通系统广大在职工程技术人员的专业技能,以适应发展需要。

黑龙江省交通厅一直十分重视本套丛书的编写工作,省交通系统及哈尔滨工业大学、东北林业大学的有关专家和业内技术人员积极参与本套丛书的编写工作,并为丛书的编写及出版提出了具体指导性意见。在此,谨向所有关心、支持本丛书编写和出版的有关领导、专家、学者表示衷心感谢。

本套丛书由黑龙江省交通厅科技教育处白海莹处长策划并组织编写,张景致和沈家焯两位教授级高级工程师担任本丛书的主审。

本书由东北林业大学余诗泉编著。参加本书编写分工为:余诗泉编写第一章、第二章和第五章;黑龙江省交通厅科教处白海莹编写第三章和第四章;哈尔滨市公路勘察设计院高力编写第六章和第七章。

由于作者水平有限,书中疏漏及不足在所难免,恳请读者和同行批评指正。

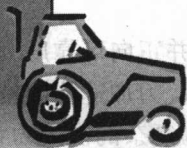
编 者

2004年12月20日

目 录

第一章 总论	1
第一节 概述	1
第二节 桥梁结构体系	3
第二章 桥跨结构构造与设计	14
第一节 预应力混凝土连续梁桥	14
第二节 混凝土刚架桥	19
第三节 斜拉桥	21
第四节 悬索桥	36
第五节 斜桥	47
第六节 曲线梁分析	51
第七节 预弯复合梁	60
第八节 双预应力法预应力混凝土梁	63
第九节 伸缩装置形式的选择	65
第三章 桥梁结构荷载内力计算特点	72
第一节 桥梁荷载横向分布计算	72
第二节 按影响面法计算活载内力	78
第四章 桥梁结构施工	81
第一节 悬臂浇筑法施工	81
第二节 斜拉桥的施工	93
第三节 悬索桥施工	98
第四节 钢管混凝土拱桥施工	104
第五节 桥梁冬季施工	109
第六节 预应力管道真空辅助压浆	114
第五章 大跨度桥梁施工控制的内容和方法	119
第一节 大跨度桥梁施工控制内容	119

第二节	大跨度桥梁施工控制方法	124
第三节	各种桥型施工控制特点	125
第四节	大跨度桥梁施工控制影响因素	126
第五节	斜拉桥施工控制	129
第六章	公路桥梁监测智能化与健康评定	133
第一节	智能化监测的目的和意义	133
第二节	智能化监测的依据	134
第三节	智能化监测的准备	135
第四节	智能化监测系统构成	146
第七章	旧桥加固与改造	157
第一节	概述	157
第二节	锚喷混凝土加固拱式桥梁	163
第三节	体外预应力加固梁式桥	165
第四节	贴钢法加固机理	167
第五节	外包混凝土加固桥梁	169
第六节	碳纤维布加固梁式桥	171
第七节	旧桥加固、改造的化学灌浆修补法施工要点	176
第八节	下部构造加固	180
参考文献		182



第一章 总 论

第一节 概 述

为了适应社会生产力的发展,需要建造大量的能承受更大荷载,需跨越海湾、大江等跨径和总长更大的桥梁,这促使桥梁结构向高强、轻型、大跨度的方向发展。为了充分发挥结构潜在的承载力,充分利用建筑材料的强度,力求工程结构的安全度更为科学和可靠,同时也给结构理论提出了更高要求,使得大跨度桥梁在设计上,愈来愈重视空气动力学、振动、稳定、疲劳、非线性等理论的应用,并广泛应用计算机辅助设计;在施工上,力求高度机械化、工厂化、自动化;在工程管理上,则力争高度科学化、自动化。

展望未来,我国发展预应力混凝土桥梁势在必行。我国预应力混凝土桥梁的建设至今只有 40 余年的历程,虽桥型或跨长的发展非常迅速,但仍未达到国际先进水平,其主要问题在于建筑材料工业水平和施工工艺水平的落后。

今后不但要加强对混凝土高效能掺合剂的研究,研制各种类型的高强、超高强混凝土;要加强对预应力钢材的研究,发展高强、大直径($\phi 7\text{mm}$ 以上)的钢丝、 $\phi 19 \sim \phi 50\text{mm}$ 的粗钢筋、低松弛的预应力钢材的生产;要研究高吨位的预应力锚具与张拉设备,目前国内最大锚固力仅有 2 000kN 左右,国际上已达 8 000 ~ 10 000kN;要发展高强的桥用钢材的生产;要改进钢结构的制造工艺,要采用新型结构形式;要改革落后的施工技术,发展高度机械化、自动化的施工技术和方法;要加强科学管理,这对一个工程的经济效益



与工期有重要影响;基础工程依然是研究的重要课题,尤其要应用现代科学技术进行工程勘察,对工程地质、地基构造要有正确的判断,使工程具有更安全可靠和合理的基础;要加强桥梁科学领域中有关的理论研究工作;要加强计算机在桥梁工程设计、施工中的应用;同时,我国城市立交、高速公路、铁路和轻轨运输等高架桥的建造将会日益增加,应结合我国的混合交通,对箱梁桥的空间利用应特别加以研究。

目前桥梁设计理论已进展到极限状态设计方法,并正向可靠度理论方向发展。对中小跨常用桥型广泛编制了标准设计图纸,为加速我国桥梁建设做出了巨大贡献。在桥梁设计中,对空间分析、结构复杂的次内力计算、稳定、振动与地震响应等方面进行的研究,又为我国发展长大桥梁提供了科学依据。近年来,电子计算机的应用也已经逐渐普及。在引进并应用国外各种结构分析程序的同时,我国自己也编制了公路桥梁计算的大型综合程序以及大量专用程序。应用微型机的软件开发工作,亦已取得很大的进展。目前,在计算机辅助设计(CAD)方面也正在积极开发之中。

一座桥梁,从满足功能要求而言,是工程结构物;从观赏要求而言,应是一件建筑艺术品。尤其是大桥,常常从她的雄伟壮观、千姿百态中显示出一个国家的先进技术与生产工艺水平,更反映出时代精神与当代人的创造力,往往成为一个国家、一个地区、一个城市的标志。近年来,我国桥梁建设发展异常迅猛,已取得了很多建造现代的、各种不同桥梁结构体系的设计、施工经验,并且已形成了一支强大的设计与施工力量。我们已有能力从桥型选择、合理布局、材料和色彩的运用,体、面、线的配合和环境协调等方面来考虑桥梁的美学要求。

桥梁美学属于美学专门学科的范畴,它带有一定的哲理性,下列美学思想,可供借鉴与进一步探索。

(1)在满足功能要求的前提下,要选用最佳的结构形式——纯正、清爽、稳定。

(2)美,主要表现在结构选型和谐与良好的比例,并且有秩序感和韵律感。过多的重复会导致形式单调。

(3)重视与环境协调。对于此,设计中材料的选择、表面的质感、特别色彩的运用等都起着重要作用。

(4)美丽的桥梁应以其个性对人们产生积极的影响。美和伦理本是相通的,美的环境将直接陶冶人们的情操,大自然的美、人为环境的美,对人们

身心健康都是必需的。

现在,桥梁工作者应从单纯的结构观点中解脱出来,设计与建造更多的主客体和谐与造型雅致的桥梁,为我们壮丽的山川和城镇建设锦上添花。

第二节 桥梁结构体系

桥梁结构体系包括梁、拱、刚架、吊桥与组合体系。

一、梁式体系

梁式体系是古老的结构体系。作为承重结构,梁以其抗弯能力来承受荷载。梁分简支梁、悬臂梁、固端梁和连续梁等。悬臂梁、固端梁和连续梁都是利用支座上的卸载弯矩来减少跨中弯矩,使梁跨内的内力分配更合理。若以同等抗弯能力的构件断面就可建成更大跨径的桥梁。预应力混凝土梁式体系的桥梁应用甚广,简支梁的最大跨径已达 76m,连续梁的最大跨径已达 200m。

二、拱式体系

拱式体系的主要承重结构是拱肋(或拱箱),以承压为主,可采用抗压能力强的圬工材料(石、混凝土与钢筋混凝土)来修建。拱分单铰拱、双铰拱、三铰拱和无铰拱。拱是有推力的结构,对地基要求较高,一般常建于地基良好的地区。混凝土拱桥因其铰的构造不易制作,故一般采用无铰拱体系。因无铰拱结构的外部增加超静定次数,将引起更大的附加内力,故为了获得结构合理的受力状态,在拱桥设计中,必须寻求合理的拱轴线型。20 世纪 50 年代以后,预应力混凝土桥梁的发展使拱桥常因施工费工费料费时而失去竞争能力;20 世纪 60 年代后,拱桥施工采用了悬臂施工法,遂又获得了新的发展,现其最大跨径已达 420m。

三、刚架桥

刚架桥是介于梁与拱之间的一种结构体系,它是由受弯的上部梁(或板)结构与承压的下部柱(或墩)整体结合在一起的结构,即梁与柱刚性连接。刚架分直腿刚架与斜腿刚架。刚架桥的桥下净空比拱桥大,在同样净空要求下可修建较大的跨径。刚架桥施工较复杂,一般用于跨径不大的城



市或公路的高架桥和立交桥。近年来,刚架桥采用预应力混凝土结构和悬臂施工法,在城市跨河桥上也是一个有竞争力的方案。

四、组合体系

(一) T形刚架

连续—刚构,是由梁和刚架相结合的体系,是预应力混凝土结构采用悬臂施工法而发展起来的一种新体系。结构的上部梁在墩上向两边采用平衡悬臂施工,首先形成一个 T 字形的悬臂结构。相邻的两个 T 形悬臂在跨中可用剪力铰或跨径较小的挂梁联成一体,即称为带铰或带挂梁的 T 形刚构(图 1-1h)。如结构在跨中采用预应力筋和现浇混凝土区段联成整体,即为连续—刚构(图 1-1f)。它们又可派生出不同的组合形式,如采用双薄壁墩或边墩上采用连养梁组合等。不管体系如何组合,它们的上部梁是主要的承弯构件。由于采用悬臂施工法,施工机具简便、施工快速;又因结构在悬臂施工时的受力状态与使用状态下的受力状态基本一致,所以省料、省工、省时,这就使结构的应用范围得到了迅猛发展。据统计,在预应力混凝土桥梁中,这类结构体系(包括连续梁)占 50% 以上。

(二) 梁、拱组合体系

这类体系中有系杆拱、桁架拱、多跨拱梁结构等。它们利用梁的受弯与拱的承压特点组成联合结构。在预应力混凝土结构中,因梁体内可储备巨大的压力来承受拱的水平推力,使这类结构既具有拱的特点,而又非推力结构,对地基要求不高。这种结构施工比较复杂,一般用于城市跨河桥上,最大跨径已突破 150m。

(三) 斜拉桥

斜拉桥是由承压的塔、受拉的索与承弯的梁体组合起来的一种结构体系。20 世纪 50 年代初,前联邦德国首先修建了钢斜拉桥。其梁体用拉索多点拉住,好似多跨弹性支承连续梁,从而使梁体内弯矩减小,降低了建筑高度;又因栓焊连接与正交异性板的箱形断面构造的应用,使结构充分利用材料的受力特性,从而减轻了结构重力,节省了材料。以上优点使这种体系发展很快,各国竞相采用,目前最大跨径已达 465m。预应力混凝土斜拉桥

是在近 20 年中发展起来的,至今其最大跨径的结构体系已达 440m,见图 (1-1i)。

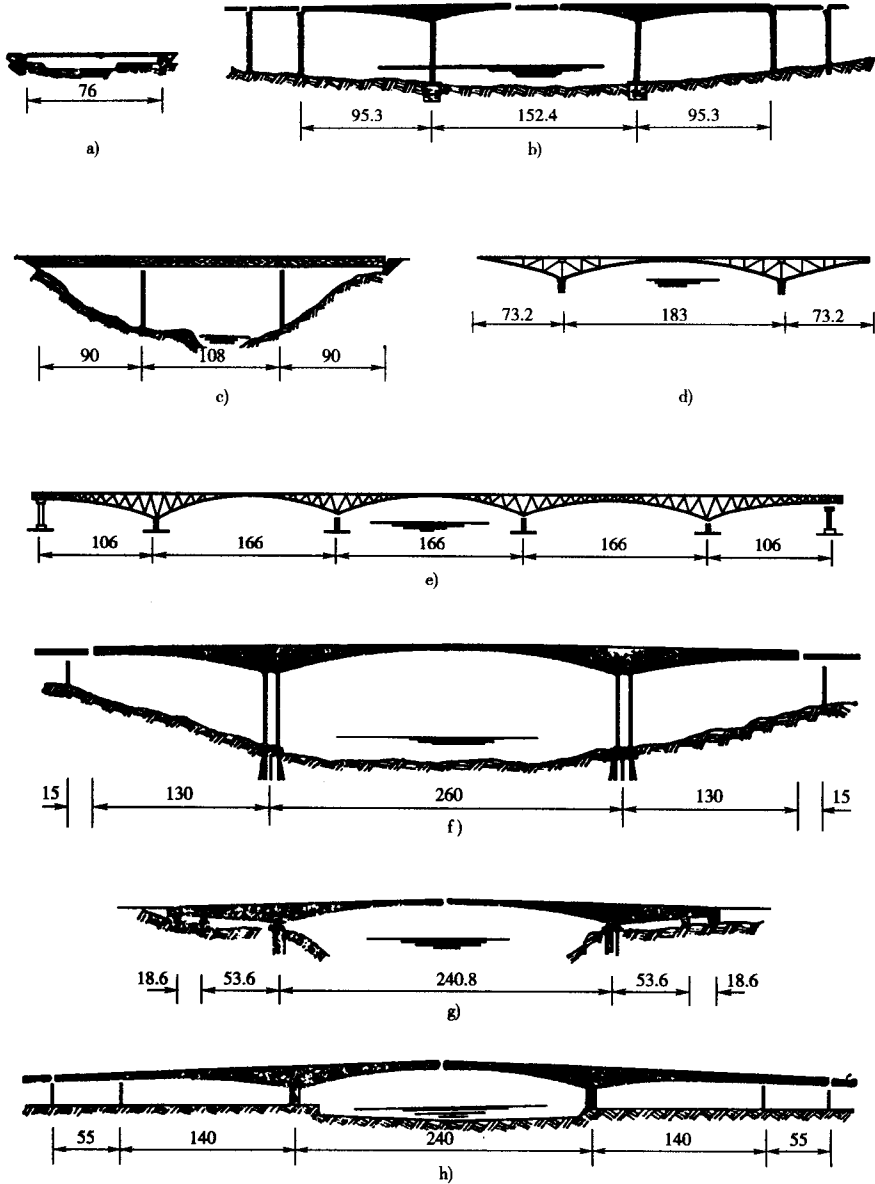


图 1-1

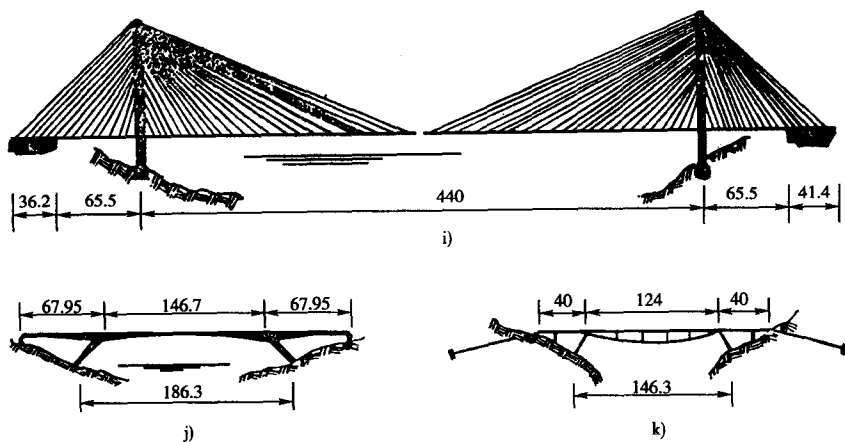


图 1-1 各种体系的预应力混凝土桥(尺寸单位:m)

目前,随着中国乃至世界桥梁建设的飞速发展,大跨径桥梁的设计和建造已经越来越得到结构工程师的关注和重视。但是,在大力发展大跨径桥梁建设的同时,我们非常有必要进一步加强中小跨径桥梁结构体系、施工工艺等技术的开发和研究,从而推广一批更经济、更安全和实用的桥梁结构。

主梁和立柱是刚性固接的或柔性固接的(这里不包括梁端的支承)超静定桥梁结构体系,区别于简支的静定体系和有铰接的连续体系桥梁结构,这种桥梁称无铰桥梁。因此无铰桥梁又可简单的定义为:连续的无铰接支承的超静定桥梁结构。

1. 无铰桥梁的特点

(1) 强劲性

首先,无铰桥梁是高次超静定结构,因此结构内力很大时可以在各构件内重新进行分配,从而保证个别构件内力超过其极限承载能力时,构件仅出现塑性铰接,并使结构的整体稳定性得以保证。其次,无铰桥梁的延性和适应变形能力都较强,因此具有很强的抵御突然荷载(如地震荷载)的能力。最后,这种结构体系承受反复荷载的能力也较强,并有一定的强度储备,同时由于减少了构件间的接缝和铰等容易破坏的构件,因此结构的使用寿命长,后期养护费用低。

(2) 刚度大、稳定性好

无铰桥梁由于构件间的刚性连接,从而缩短了构件承受弯矩时的自由

长度,约束了构件节点的转动,使各构件在外力作用下的挠度大大降低,从而提高了结构的刚度和稳定性。

(3) 受力合理、施工简便、经济效益显著

无铰桥梁结构最大的受力特点是各构件在外力尤其是在外部活载(如车载、地震荷载)的作用下共同受力,从而可以大幅度降低各构件局部区域的应力强度。因而,与承受相同荷载的有铰结构相比可以减小构件的截面尺寸,降低材料的用量。另外,无铰结构由于没有复杂铰构造,使施工工艺大大简化,因而经济效益显著。

(4) 造型美观

无铰桥梁结构轻盈,线条简单,受力明确;另外这类桥梁外形尺寸小,桥下净空大,视野开阔;并且,设计中还可根据具体的情况和需要采用造型优美的组合结构体系。

2. 无铰桥梁的基本结构形式

(1) 无铰拱桥

无铰拱桥系指拱桥的主拱圈拱脚与基础固接的拱桥形式,系三次超静定结构体系。其主要结构形式有上承式空腹拱、中承式空腹拱、无铰刚架拱等,如图 1-2a)所示。

(2) 连续板梁结构

系指上部主梁与下部桥墩固接的连续结构体系,体系的中下部桥墩多为柔性墩。其主要形式如图 1-2b)所示的梁式结构的连续刚构和板式结构的无梁板桥。

(3) 刚架桥

刚架桥主要是指上部主梁与桥墩以及桥墩与基础均为刚性连接,且桥墩多为刚性的桥梁结构。这种桥梁形式主要有门形刚构、Π形刚构、斜腿刚构、拉杆刚构和 V 形刚构等,如图 1-2c)所示。

(4) 组合体系桥梁

根据各类体系桥梁的受力特点将他们有效的组合形成组合体系桥梁,主要有以下几种:

① 拱梁组合体系:其中包括有推力的拱梁组合体系(如中承式系杆拱、桁架拱)和无推力的拱梁组合体系(中承式系杆拱和连续桁架拱)等,见图 1-2d)。

② 索梁组合体系:有板带桥、悬索梁桥、部分斜拉桥等,见图 1-2e)。

③ 刚构与拱桥组合体系:主要有连续刚构—系杆拱和斜腿刚构—系杆