

高等职业教育高速铁路规划教材

高速铁路 桥涵施工与养护

主编 王军龙

GAOSU TIELU
QIAOHAN SHIGONG YU YANGHU



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等职业教育高速铁路规划教材

高速铁路桥涵施工与养护

主 编 王军龙

副主编 冷 鑫 徐金锋

主 审 赵兴寨



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书根据我国高速铁路、客运专线桥涵相关的技术规范和规程编写而成,作为21世纪高等职业技术教育的规划教材,将高速铁路桥涵基本构造、施工与养护知识结合在一起,全面、系统地介绍了高速铁路桥梁、涵洞的基本构造,重点阐述了高速铁路桥涵常用施工方法及养护维修的技术要求。全书共分12章,主要内容包括高速铁路桥涵施工预备知识,预应力混凝土工程施工,高铁桥涵基础施工、墩台施工,高速铁路梁桥、拱桥、刚构桥、斜拉桥等桥型的常用施工方法,以及高速铁路桥梁结构养护维修的技术要求等内容。

本书可作为高职高专院校大土木工程专业高速铁路技术、铁道工程技术、城市轨道交通工程技术、道路桥梁工程技术、建筑工程技术及相近专业的教材,也适用于在职职工的岗位培训,还可以作为广大相关专业技术人员的自学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路桥涵施工与养护 / 王军龙主编. — 成都:
西南交通大学出版社, 2012.3
高等职业教育高速铁路规划教材
ISBN 978-7-5643-1657-0

I. ①高… II. ①王… III. ①高速铁路—铁路桥—桥梁施工—高等职业教育—教材②高速铁路—铁路桥—保养—高等职业教育—教材 IV. ①U448.13

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第010065号

高等职业教育高速铁路规划教材

高速铁路桥涵施工与养护

王军龙 主编

*

责任编辑 杨 勇

特邀编辑 曾荣兵

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 29.875

字数: 744 千字

2012年3月第1版 2012年3月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-1657-0

定价: 49.50 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

根据高职高专院校土木工程专业指导委员会编制的教学大纲以及 21 世纪高等职业技术教育规划教材的编写要求,结合新的设计规范及编写人员多年的教学经验,在以必需、够用为原则的情况下,确定了本书的结构和内容,目的是为学生提供高速铁路桥涵施工与养护方面的基本知识和实用技能,同时满足工程建设对应用型人才的需要。本书充分汲取了高职高专院校在探索和培养技术应用型人才方面的成功经验,并将实用性和创新型结合在一起,体现了高职高专教育的应用特色和能力定位,突出对人才的创新素质和创新能力的培养。

为了适应我国高速铁路、客运专线快速发展的国情,本书结合高职高专学生的特点,将高速铁路桥涵施工与养护维修知识结合在一起,全面、系统地介绍高速铁路桥梁、涵洞的基本构造,重点介绍高速铁路桥梁、涵洞的常用施工方法与养护维修的技术要求。书中各部分都附有翔实的工程案例,每章末还有一定的思考题,内容丰富,实用性强,便于学生自我考核和练习。另外,建议教师在授课时,根据学生具体情况,结合各专业的特点选择讲授重点和自学章节。

本书由西安铁路职业技术学院相关专业的老师编写而成,其中,王军龙担任主编,西安铁路职业技术学院冷鑫、徐金锋任副主编。全书共分 12 章,其中,第 1、5 章由王军龙编写,第 2 章由冷鑫编写,第 3 章由周斌编写,第 4 章由邓洁编写,第 6 章由杨琳编写,第 7、8、9、10 章由徐金锋编写,第 11 章由王瑛编写,第 12 章由侯晓晶编写。全书由西安铁路职业技术学院赵兴寨担任主审。

本书适用于各类开设高职高专课程教育的院校,也可供专业培训人员参考。本书编写过程中引用了相关资料和部分内容,谨此向作者表示衷心的感谢,同时对参编者所在院校的领导及组织者的关心和支持、出版社对本书的编辑和校对所做的大量工作在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,敬请读者和专家批评指正,并提出宝贵的意见和建议,以便再版时及时更正。

编 者

2011 年 12 月

目 录

1 高速铁路桥涵施工概论	1
1.1 国内外高速铁路桥梁及其施工技术发展概况	1
1.2 高速铁路桥梁的特点	3
1.3 桥梁的组成与分类	5
1.4 高速铁路桥梁的设计荷载	8
1.5 桥涵的施工方法及其分类	10
思考题	16
2 高速铁路桥涵施工预备知识	17
2.1 钢筋工程	17
2.2 模板工程	24
2.3 混凝土工程	28
2.4 桥梁施工准备	39
2.5 桥梁施工常用机械设备	45
思考题	61
3 预应力混凝土工程	62
3.1 预应力混凝土	62
3.2 预应力混凝土桥	63
3.3 先张法	65
3.4 后张法	74
思考题	84
4 高速铁路桥梁基础施工	85
4.1 概 述	85
4.2 明挖基础施工	86
4.3 桩基础施工	100
4.4 沉井基础施工	109
思考题	116
5 高速铁路桥梁墩台施工	117
5.1 高速铁路墩台类型及构造	117
5.2 普通钢筋混凝土墩台施工	133
5.3 钢筋混凝土高墩施工	151
思考题	165

6 高速铁路梁式桥施工	166
6.1 固定支架整体浇筑施工	166
6.2 预制拼装施工	171
6.3 高速铁路梁式桥悬臂施工	179
6.4 高速铁路梁式桥逐孔施工	196
6.5 高速铁路梁式桥顶推施工	200
思考题	209
7 高速铁路拱桥施工	210
7.1 高速铁路大跨度桥梁	210
7.2 高速铁路钢系杆拱桥的发展	215
7.3 钢系杆拱桥结构形式及受力特点分析	226
7.4 钢系杆拱桥施工	245
7.5 南京大胜关特大桥施工实例	254
思考题	261
8 高速铁路刚构桥施工	262
8.1 概 述	262
8.2 结构类型	266
8.3 构造特点	267
8.4 刚构桥内力计算	269
8.5 高速铁路连续刚构桥施工	273
思考题	275
9 高速铁路斜拉桥施工	276
9.1 概 述	277
9.2 索塔及基础施工	284
9.3 主梁施工	302
9.4 拉索施工	310
9.5 桥面系施工	320
9.6 施工控制	325
9.7 斜拉桥施工常用机械、设备	329
9.8 武汉天兴洲大桥施工实例	330
思考题	345
10 高速铁路钢桥梁施工	346
10.1 概 述	346
10.2 高速铁路钢桁梁桥分类	352
10.3 下承式简支栓焊钢桁架桥	354
10.4 连续钢桁架桥	360

10.5 钢桥梁的制造与安装技术	367
10.6 钢桥的施工控制与质量检验	384
思考题	392
11 涵 洞	393
11.1 涵洞的构造	393
11.2 涵洞的施工	405
思考题	431
12 高速铁路桥梁结构的养护与维修	432
12.1 概 述	432
12.2 桥梁维修加固的性质与特点	434
12.3 桥梁结构的养护与维修	437
思考题	469
参考文献	470

1 高速铁路桥涵施工概论

1.1 国内外高速铁路桥梁及其施工技术发展概况

桥梁作为跨越障碍物的大型结构工程及运输通道,是铁路、公路和城市交通体系的重要组成部分,它在国家的政治、经济和社会等各方面都起着非常重要的作用。不仅如此,一座功能完备、设计优良的桥梁也是一个城市的象征与骄傲,如我国的南京长江大桥和美国的旧金山金门大桥等。

桥梁建设的历史悠久,最早可以追溯到 3 000 年前出现的粗石桥。经过几千年的历史沉淀,桥梁的结构形式从以木桥、石板桥、石拱桥为主发展到现在的多种材料建造而成的大跨度拱桥、斜拉桥和悬索桥。随着人类进步与社会经济的发展,人们对于桥梁的设计要求不仅仅局限于其交通功能,更是提出了桥梁的造型艺术美观、与周围环境相协调等人文理念,进而使得现代桥梁的发展越来越具有人性化 and 美学价值。

随着科技的进步和发展,桥梁的施工机具、设备以及建筑材料的更新与发展,对于桥梁施工技术的要求也就越来越高。以桥梁下部结构为例,自钢筋混凝土推广使用以来,桥梁墩台的结构形式趋于多样化。除了传统的重力墩台外,还发展了空心墩、桩柱式墩台、构架式墩台、框架式墩台、双柱式墩、拼装墩台及预应力钢筋薄壁墩等新型墩台,并日趋轻型、柔性化。与此同时,桥梁的其他组成部分也得以发展迅速。20 世纪 50 年代以后,跨江、跨海湾、跨海峡大桥的兴建以中国、日本为首大力发展了深水基础技术。如 20 世纪 50 年代在武汉长江大桥的建设中首创了管柱基础,60 年代在南京长江大桥的建设中发展了重型沉井、深水钢筋混凝土沉井和钢沉井,70 年代在九江长江大桥的建设中创造了双壁钢围堰钻孔桩基础,80 年代后又进一步发展了复合基础。进入 21 世纪以来,钢吊箱围堰加钻孔灌注桩高桩承台式结构在特大型桥梁基础工程中逐渐得到推广应用,相应地出现了我国原创的深水区大型群桩基础施工技术。在日本,由于本四联络线工程的建设,近 20 年来,其深水基础技术发展很快,以地下连续墙、设置沉井和无人沉箱技术最为突出。

由此可见,桥梁结构形式众多,相应地对应着多种不同的施工方法、施工设备和施工技术,这些就决定了桥梁施工技术相对复杂、控制难度相对加大。桥梁工程施工的特点主要体现在以下几个方面:

- (1) 施工生产的流动性和地区性。
- (2) 施工周期长、占用流动资金多。
- (3) 露天作业、水中作业及高空作业多。
- (4) 工程具有单一性。
- (5) 施工生产组织复杂性。

总而言之,对于桥梁结构而言,除了正确、合理的设计之外,选择合适的桥梁施工技术,将施工方法与施工过程相结合,并贯穿于桥梁结构的设计中也尤为重要。

我国桥梁的施工技术有着非常辉煌的历史,早在距今约 3 000 年的周文王时期,我国就已在宽阔的渭河上架设过大型浮桥。后陆续涌现出了一大批以石料、铁构筑物等为建材的桥梁建筑,其中以被称为国宝桥的河北“赵州桥”为代表。

18 世纪以后,欧洲率先进入工业革命时期,从根本上改变了西方的历史,从而也促进了大规模的铁路、桥梁建设。迄今,以英国不列颠尼亚箱梁桥、美国布鲁克林悬索桥及英国福斯悬臂桁架桥为标志的桥梁建筑仍散发着西方工业文明的气息。

20 世纪初期,西方工业社会获得空前发展。美国率先出现了兴建高速公路和城市交通基础设施的热潮,从而促进了中小跨度的钢筋混凝土桥和大跨度钢桁架桥、钢拱桥和钢悬索桥的大量兴建。由于养护方便,在 100 m 以内的中小跨度桥梁范围内,钢筋混凝土简支梁桥、带挂孔的悬臂梁桥以及拱桥逐步代替了小跨度钢桥,成为 20 世纪上半叶中小跨度桥梁的主流桥型。石拱桥施工过去都采用满堂支架,在水流湍急的山谷中和有洪汛的大河上建造拱桥,常常会因支架被冲毁而造成事故。20 世纪 30 年代,欧洲的一座拱桥施工中首创一种不用支架的钢筋混凝土拱肋分段悬拼施工技术并获得成功,这种被称为“米兰法”的无支架施工工艺是桥梁史上一次重要的技术创新,也改变了过去在支架上施工、最后落架的传统方式。20 世纪 30 年代的另一个重要成就是大跨度悬索桥和拱桥的发展和创新,以美国纽约华盛顿桥、旧金山金门大桥为代表显示了其在桥梁领域的垄断实力。

20 世纪 50 年代起,德国经济的复苏推动了德国桥梁工程的发展,斜拉桥结构得以初露锋芒,并很快影响世界桥梁工程界。1953 年,德国工程师 FinsterWald 在建造跨越莱茵河的 Worms 桥时,首创了预应力混凝土悬臂梁桥挂篮悬浇的节段施工新技术并取得成功,这一新技术使预应力混凝土梁式桥突破了 100 m 跨度。1958 年建造的 SC 莱茵河桥,全长 1 281.6 m,主跨 205 m,主跨采用悬臂施工,边跨施工时采用辅助墩,使预应力混凝土梁式桥第一次突破了 200 m。

20 世纪 60 年代,欧美各国在兴建高速公路的热潮中建造了许多桥梁,进入桥梁建设的黄金时代。随着预应力夹片锚及抗疲劳的高应力幅冷铸镦头锚的问世,出现了许多新的生产工艺,比如预应力混凝土的节段施工采用挂篮悬浇法,紧接着又出现了预制节段悬拼工艺,以及在移动托架上或用架桥机悬挂的拼装等工艺,总的来说这段时期是预应力技术发展的高峰期。高强度螺栓的摩擦型连接取代了传统的铆钉连接,从此栓焊结构成为大跨度钢桥的新形式。从钢桥面发展到预应力混凝土桥面以及两种材料结合(竖向、横向和纵向)的多种形式,使斜拉桥在很大的跨度范围内都成为最有竞争力的桥梁类型,正因如此这段时期也是斜拉桥发展的第一个高峰期。另外,还有一些始创于 20 世纪 50 年代,在 60 年代趋于成熟的先进施工技术,如预应力混凝土悬臂梁桥的挂篮现浇施工、上层移动支架进行预制构件节段的悬拼施工等。

20 世纪 70 年代是预应力技术发展的成熟期,与此同时,斜拉桥已开始由德国向欧洲各国以及加拿大、美国、日本等国推广。尤其是在法国,斜拉桥和预应力技术的结合,从而出现了采用预应力混凝土桥塔和桥面的 P.C 斜拉桥。一种创新的顶推法施工工艺在这一时期获得了成功——将节段预制工厂设置在桥头,在前端钢鼻梁的帮助下,逐段向前顶推,直至完

成全部多跨连续梁的浇筑和架设。所有工作都在桥头的工厂中完成,在运输和安装条件比较困难的山谷地区是一种经济、合理的工法。此方法之后又发展到曲线长桥的顶推施工上,效果良好。

20 世纪 80 年代,日本、丹麦开辟了兴建跨海工程的先河。日本在建造本四联络桥中的悬索桥时,首创预制平行钢丝索股的施工技术,将排成正六边形的 127 根钢丝索股一次牵拉就位,大大提高了主缆施工效率。20 世纪 80 年代初,我国迎来了改革开放的新时期,率先在广东省掀起了桥梁建设的热潮,但基本上是一种跟踪性的发展和提高。

20 世纪 90 年代,世界桥梁工程进入了一个崭新阶段,一批高水平的大桥相继建成,如法国诺曼底大桥、中国万县长江大桥、日本明石海峡大桥等。这一时期的技术创新主要表现在实施上述大跨度桥梁的建设中所采用的一些新材料和新工艺上,如法国诺曼底大桥的平行钢绞线拉索和施工控制技术、中国万县长江大桥的钢管混凝土劲性拱架及其悬拼悬浇控制技术、日本明石海峡大桥塔墩深水基础和钢桥塔减振技术等。

经过 20 多年的发展,我国经济突飞猛进,国力显著增强。同时,我国也加快了基础建设的步伐,一大批桥梁建设工程如雨后春笋,层出不穷。特别是近十年来建成的代表当今世界桥梁最高发展水平的一大批斜拉桥、悬索桥,更是确定了中国桥梁的世界地位。如苏通长江公路大桥,是我国建桥史上工程规模最大、综合建设条件最复杂的特大型桥梁工程,全长 32.4 km,主桥采用双塔双索面钢箱梁斜拉桥。苏通长江公路大桥的斜拉桥主孔跨度 1 088 m,列世界第一;主塔高度 306 m,列世界第一;斜拉索的长度 580 m,列世界第一;群桩基础平面尺寸 113.75m×48.1 m,列世界第一。其专用航道桥采用 140 m+268 m+140 m=548 m 的 T 形刚构梁桥,位列同类桥梁工程世界第二。苏通长江公路大桥工程规模之大,建设标准和科技含量之高,施工技术和条件之复杂,代表了当今世界桥梁建设的最高水平。

伴随着跨海工程的建设以及桥梁施工机具设备向着大功能、高效率 and 自动控制的方向发展,预制安装施工方法也焕发了活力,沙特阿拉伯一巴林道堤工程,采用 14 000 t 的浮吊架设 60 余米长的大型预制构件。加拿大联邦大桥(Confederation bridge)则是将 8 700 t 的浮吊运用到基础、桥墩和上部结构的构件运输、安装施工中。通过这些大型桥梁的建造,极大地提高了当今桥梁施工的技术水平。

未来的桥梁建设将更注重新技术、新工艺、新材料、新设备等方面的广泛应用。与之相关的桥梁施工技术,将在各种施工方法和施工工艺方面得到不断创新,以适应桥梁结构在体系、跨径、材料和结构性能等方面的发展要求。

1.2 高速铁路桥梁的特点

(1) 所占比例大、高架长桥多。

高速铁路由于采用全封闭行车模式,线路平、纵面参数限制严格以及要求轨道具有高平顺性,导致桥梁比例明显增大。尤其在人口稠密地区和地质不良地段,为了跨越既有交通路网、节省农田,避免高大路基阻挡视线和路基发生不均匀沉降,故大量采用高架线路。例如,

日本近 2 000 km 的高速铁路中，高架桥占线路总长的 36%，全部桥梁占线路总长的 47%。而我国普通铁路桥梁占线路全长的比例平均仅为 4%。可见，高架桥且长桥多已是高速铁路桥梁的主要特征，桥梁已成为高速铁路土建工程主要组成部分。见表 1.1。

表 1.1 我国内陆高速铁路桥梁占线路比例统计

新建线路名称	正线长度/km	桥梁总延长/km	桥梁所占线路比例/%
石太	189.93	39.2	20.6
京津	115.2	100.2	87.7
合宁	187.07	31.25	16.7
郑西	486.9	283.5	58.0
武广	968.2	465.24	48.1
京沪	1 318	1 060.9	80.5
甬台温	282.4	91.4	32.4
温福	298.4	77.1	25.8
合武	359.4	115.9	32.2
福厦	274.9	84.8	30.8
广深港	104.4	59.2	56.7
广珠	142.3	134.1	94.2
厦深	502.4	204.16	40.6
胶济四线	169.91	30.93	40.6
哈大	903.9	663.3	73.7
海南东环	308.11	102.95	33.4
长吉	96.26	30.3	31.5
昌九	91.58	31.96	34.9
合计	6 801	3 607	53.0

- (2) 以中小跨度为主。
- 由于高速铁路对线路、桥梁、隧道等土建工程的刚度要求严格，因此高速铁路桥梁的跨度不宜过大，应以中小跨度为主。例如，法国高速铁路直到修建地中海线时才首次采用 100 m 以上跨度的桥梁。
- (3) 刚度大、整体性好。
- 列车高速、舒适、安全的行驶要求高速铁路桥梁必须具有足够大的刚度和良好的整体性，以防桥梁出现较大的挠度和振幅；同时，必须限制桥梁的预应力徐变度上拱和不均匀温差引起的结构变形量，以保证轨道的高平顺性。一般来说，高速铁路桥梁设计主要由刚度控制，强度对其基本没有影响。尽管高速铁路活载小于普通铁路，但实际应用的高速铁路桥梁在梁高、梁重上均超过普通铁路。

(4) 限制纵向力作用下结构产生的位移, 避免桥上无缝线路钢轨的受力出现过大的附加应力。

高速铁路要求一次性铺设跨区间无缝线路, 而桥上无缝线路钢轨的受力状态不同于路基, 其结构的温度变化、列车制动、桥梁挠曲等会使桥梁纵向产生一定的位移, 引起桥上钢轨产生附加应力。过大的附加应力会造成桥上无缝线路失稳, 影响行车安全。因此, 墩台基础要有足够的纵向刚度, 以尽量减少钢轨附加应力和梁轨间的相对位移。

(5) 重视改善结构耐久性, 便于检查、维修。

高速铁路是极其重要的交通运输设施, 任何中断行车的可能都会造成很大的经济损失和社会影响。为此, 桥梁结构物应尽量做到少维修或免维修。这就需要在设计时将改善结构物的耐久性作为主要设计原则, 统一考虑构造细节并在施工中严格控制质量。另外, 由于高速铁路运营繁忙、列车速度高, 造成桥梁维修、养护难度大、费用高, 因此, 桥梁结构构造应易于检查与维修。

(6) 桥梁上部结构多采用混凝土材料。

尽管各国对高速铁路的建桥材料未做限制, 但 90% 以上的桥梁都选用混凝土结构, 主要是因为混凝土梁具有刚度大、噪声低、养护工作量少及造价较为经济等优点。当桥下交通繁忙, 需要快速施工、减少干扰时, 还经常选用钢混结合梁桥。

(7) 强调结构与环境的协调。

高速铁路作为重要的现代交通运输线, 应强调结构与环境的协调, 重视生态环境的保护。这主要指桥梁造型要与环境相一致并注重结构外观和色彩、在居民点附近的桥梁应有降噪措施、避免桥面污水损害生态环境等。

(8) 结构动力效应大。

高速铁路运营速度达到 350 km/h, 列车产生的振动加速度和振动频率很大, 从而使得桥梁结构本身产生的动力效应很大, 如果振动频率和桥梁的频率相近, 发生共振, 将直接危及列车和桥梁安全。

此外, 虽然目前大部分国家的高速铁路仍采用有砟轨道, 但随着日本四十多年来在高速铁路上广泛应用板式无砟轨道以及经数十种刚性道床的试铺、改进后, 德国近年也在新建高速铁路上全面推广桥上无砟轨道。桥上采用无砟轨道已被认为是高速铁路桥梁的发展趋势。

1.3 桥梁的组成与分类

1.3.1 桥梁的组成

桥梁通常由上部结构、下部结构以及附属结构组成。其中, 桥梁上部结构为桥跨结构, 而下部结构包括桥墩、桥台及其基础, 附属结构包括桥头路堤护坡、护岸等。桥梁都建造在一定的地层上, 桥梁结构的全部荷载都由下部地层来承担。受桥梁结构影响的那一部分地层称为地基, 桥梁下部结构与地基接触的部分称为基础。桥墩、桥台不仅可以支承上部结构的荷载作用, 而且还可以将该荷载传递给地基。

1.3.2 桥梁的分类

按桥梁使用的性质可以分为公路桥、铁路桥、公铁两用桥、人行桥、机耕桥及过水桥等。按跨径大小和多跨总长分为特大桥、大桥、中桥及小桥。分类标准见表 1.2。

表 1.2 按照总长和单跨径长分类

桥梁分类	多孔跨径总长 L/m	单孔跨径 L_0/m
特大桥	$L \geq 500$	$L_0 \geq 100$
大桥	$L \geq 100$	$L_0 \geq 40$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_0 < 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 < L_0 < 20$
涵洞	$L < 8$	$L_0 \leq 5$

按行车道位置的不同，可以分为上承式桥、中承式桥和下承式桥。

按使用年限可以分为永久性桥、半永久性桥及临时桥。

按材料类型可以分为木桥、圬工桥、钢筋混凝土桥、预应力桥及钢桥等。

按受力特点的不同，桥梁结构可以分为五大类：梁式桥、拱式桥、悬索桥、斜拉桥和刚构桥。此外，还有一种梁式与拱式相结合的组合形式。前三者是较古老的桥梁结构形式，而后两者及组合式桥梁则是近现代特别是 20 世纪 50 年代以后发展较快的一类结构形式。

1. 梁式桥

梁式桥是一种使用最广泛的桥梁类型，是桥梁家族中最古老、最基本的成员，它是其他桥梁结构以及建设的基础。其他桥型结构组成部分也少不了梁或以梁作为结构的重要组成部分，如斜拉桥和悬索桥，可以认为是由悬吊起来的梁组成。

早期的梁式桥构造简单、施工方便，但是建筑高度小、不经济，一般只适用于跨径为 5 ~ 15 m 的桥梁。但随着近代高强钢材和水泥的出现以及钢梁桥、钢筋混凝土梁桥和预应力混凝土梁桥的迅速发展，从而使得桥梁的结构形式也随着材料和技术的进步而不断演进，由简支梁发展到悬臂梁和连续梁，由实腹板梁发展到桁梁和箱梁，由单一材料和单一结构体系的梁桥发展到结合梁或组合梁。在施工方法上除采用现场浇筑外，大量采用预制的装配式桥梁，实现制造安装工业化和设计标准化。

2. 拱式桥

拱式桥的形式多种多样，构造各异，但一般多为弧形结构桥——在竖向荷载作用下产生水平推力的一种结构物。按其所使用的建筑材料可分为石拱桥、钢筋混凝土拱桥、木拱桥及钢拱桥等。按拱上建筑形式可分为实腹式拱桥和空腹式拱桥，前者构造简单、施工方便，但重力大，适合中、小跨径；后者圬工体积较小，桥形美观，但施工复杂，一般适用于大、中跨径。按主拱轴线的线形可分为圆弧拱、抛物线拱及悬链线拱等。按桥面位置可分为上承式

拱桥、下承式拱桥和中承式拱桥。将拱脚用系杆连接或与行车道系组合来共同受力,就可以形成系杆拱桥。

另外,按照我国工程界习惯,还可将拱桥按材料和结构形式分为石拱桥(包括混凝土拱桥)、双曲拱桥、钢筋混凝土箱形拱桥、钢筋混凝土肋拱桥、钢筋混凝土桁架拱桥、钢筋混凝土刚架拱桥、钢管混凝土拱桥、劲性骨架混凝土拱桥和钢拱桥等。1997年建成的万县长江大桥主跨 420 m,为世界最大跨径的混凝土拱桥。2000年建成的广州丫髻沙珠江大桥,主跨 360 m,为世界第一钢管混凝土拱桥。2002年合龙的上海卢浦大桥主跨 550 m,被誉为“世界第一拱”,为全焊接钢结构拱桥。目前,我国在建设大跨径拱桥技术方面居世界领先地位。

3. 悬索桥

悬索桥是特大跨径桥梁的主要形式之一,被公认为桥梁领域中最优美的桥型,人们常将其称为“桥梁皇后”。它一般由主缆和加劲梁成一体的桥面、用以连接加劲梁和主缆的吊杆、变换拉索角度的塔和锚固拉索的锚碇构成。现在主缆一般用许多根高强钢丝做成,按 AS 法(空中编丝法)或 PPWS 法(预制束股法)制造。主缆两端由锚碇固定,锚碇由大体积混凝土做成,也有的是在山体中开挖隧道,然后再浇筑混凝土形成。

按结构形式的不同,悬索桥可以分为地锚式悬索桥、自锚式悬索桥和双链式悬索桥。绝大部分大跨度悬索桥是地锚式悬索桥,施工简单,安全度高;自锚式悬索桥适用于两岸地基承载力较差的软土;双链式悬索桥荷载均匀,但构件数量相对较多,使用时并不经济。

主缆的几何形状是由包括恒载和活载等外力作用下的平衡条件决定的。如果恒载相当大,则由恒载确定的几何形状就不会因较小的活载而引起多大变化。而桥面线形是通过吊杆由主缆决定的,桥面的线形不因桥面上活载发生变化而变化,于是对活载来讲,桥面就有了刚度,这就是“重力刚度”的概念。

4. 斜拉桥

斜拉桥的构思起于吊索桥,从塔架上悬挂斜拉索来支承梁,经过历史的沉淀,演变成为一种用斜拉索(或斜拉杆)悬吊桥面的桥梁。斜拉桥由斜拉索、塔柱和主梁三部分组成。高强度钢材制成的斜拉索将主梁多点吊起,并将主梁的恒载和活载传给塔柱,再由塔柱传给基础。斜拉桥在可达到的跨度内较悬索桥经济、刚度大、空气动力性能好。

斜拉索常布置成单索面和双索面,主要形式有辐射形、竖琴形、扇形等;塔柱有柱式、门式、A 形、钻石形、倒 Y 形等,按数量分为独塔、双塔或多塔;主梁有混凝土梁、钢箱梁、组合梁和混合梁等。斜拉桥的结构体系可选择范围较广,按斜拉索、塔柱和主梁三者的不同结合方式可分为漂浮体系、支承体系、塔梁固结体系、刚构体系和协作体系等。正是由于其斜拉索、塔柱和主梁的不同变化和组合,可以构成不同结构性能、力学特点和美学效果的斜拉桥,给工程师提供了广阔的想象和创造空间。

5. 刚构桥

将主梁与墩台刚性固结,连接成整体,则主梁的弯矩可以传递给墩台,使其同时弯曲又受压力作用,这种桥型称为刚构桥。刚构桥是非静定结构,受力情况比较复杂,除恒载与活载外,土压力、温度变化、混凝土收缩徐变、不均匀沉降等均会引起结构内力。刚构桥按支承方式的不同可以分为无铰刚构桥和有铰刚构桥。工程上习惯将刚构桥分为单跨刚构桥、多

跨刚构桥、斜腿刚构桥、预应力混凝土（PC）T形刚构桥、PC连续刚构桥等。

预应力混凝土 T 形刚构桥是由悬臂施工法的衍生而成的一种新桥型，施工时主梁自桥墩向两侧平衡悬伸，一般分段悬臂浇筑或悬臂拼装，逐段施加预应力以支承自身结构及施工荷载。T 形刚构在施工阶段与运营阶段的受力状态基本相同，能充分发挥材料的性能，故可增大跨度。但因在主梁跨中设铰，跨中挠度较大，且铰也不易制造、安装和养护，因此，近年来较少采用。PC 连续刚构桥适用于高桥墩、大跨度的情况，主梁与桥墩固结，跨中不设铰，行车平稳。PC 连续钢构桥桥墩一般采用柔性薄壁墩，作用如同摆柱，利用其柔性以适应各种外力所引起的纵向位移。其墩身柔度大（刚度小）、对梁的嵌固作用小，梁的受力接近于连续梁桥。柔性墩需考虑主梁的纵向变形与转动方向的影响以及墩身偏心受压时的稳定性。

1.3.3 高速铁路常用结构形式

高速铁路桥梁常用跨度桥梁选择时所考虑因素有刚度大、变形小，能够满足各种使用要求，品种、规格简洁，便于快速施工和保证质量，力求经济与美观的统一。

1. 预应力混凝土简支箱梁桥
- 常用跨度桥梁以等跨布置的 32 m 双线整孔预应力简支箱梁为主型结构，少量配跨采用 24 m 简支箱梁。我国新建铁路桥梁中 90% 以上为 32 m 预应力混凝土简支箱梁结构。
2. 预应力混凝土连续箱梁桥
- 跨越公路、站场、河流等跨度较大的桥梁主要采用预应力混凝土连续箱梁。预应力混凝土连续箱梁常用跨径如表 1.3 所示。

表 1.3 预应力混凝土连续箱梁常见跨径

桥梁类型	跨 径/m	施 工 工 艺
预应力混凝土连续梁	32 + 48 + 32	① 多采用现场灌注，部分使用造桥机制造； ② 等跨连续梁部分采用先简支后连续或造桥机施工
	40 + 56 + 40	
	40 + 60 + 40	
	40 + 64 + 40	
	48 + 80 + 48	
	60 + 100 + 60	
	80 + 128 + 80	

1.4 高速铁路桥梁的设计荷载

高速铁路的荷载设计图式是高速铁路桥梁设计的基础，为最重要的参数之一，尤其是活载标准的制定历来为各国所重视。活载标准应满足运输能力与机车车辆发展的需要，并保证据此确定的承重结构具有足够的可靠度，能确保运输安全。对于高速铁路，还要考虑较高的旅客乘坐舒适度的要求。

桥梁是铁路路线上的主要承重结构,高速铁路桥梁长度占全线很大比例,活载图式制定得合理与否,直接影响到行车安全和工程造价。选定的活载图式标准偏低,则会危及行车安全或影响运输能力,标准过高则会造成浪费。所以说,活载设计图式的选定不单单是技术问题,更是一个经济、政策的问题;同时,也反映了一个国家的技术发展水平和综合国力。

影响设计活载图式的因素很多,活载的图式和大小与线路上运行的机车车辆本身的参数,如列车类型、轴距、轴重、编组以及车辆的发展有密切的关系,还与运输模式(是单一的客运还是客货混运)、速度指标、不同结构体系的加载方式等密切相关。所以说,实际运行的机车车辆本身的参数,并不等于活载图式。这牵涉到“设计活载”和“运营活载”的概念差别。简言之,在考虑了以上诸多因素后确定的设计活载图式在桥梁上产生的静、动效应,应大于各类实际运行的机车车辆所产生的静、动效应,并考虑其发展以及其他难以预见的因素,同时还应留有适当的强度储备。

我国采用 0.8UIC 作为我国高速铁路桥梁设计活载——ZK 标准活载,其图式如图 1.1(a)所示。对于桥跨结构,相应的动力系数如下:

计算剪力时:

$$\varphi_1 = \frac{0.996}{\sqrt{L_\varphi - 0.2}} + 0.913 \quad (1.1)$$

计算弯矩时:

$$\varphi_2 = \frac{1.494}{\sqrt{L_\varphi - 0.2}} + 0.851 \quad (1.2)$$

式中 L_φ ——加载长度, m。

对于跨度或影响线加载长度等于或小于 6.0 m 的结构,需要采用 UIC 标准活载才能满足特殊情况下运营货物列车的要求,故将 UIC 标准活载中的集中力部分作为跨度或影响线加载长度等于或小于 6.0 m 的结构的设计荷载——ZK 特种活载,其图式如图 1.1(b)所示。

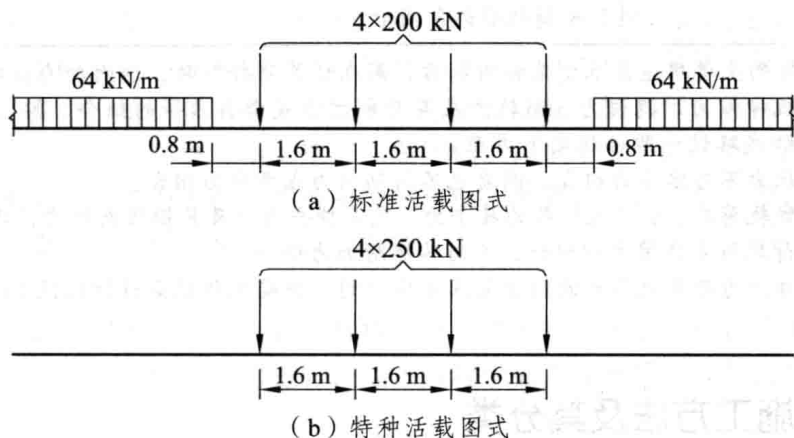


图 1.1 ZK 活载图式

高速铁路桥梁设计荷载可分为主要荷载、附加荷载及特殊荷载三种。桥梁结构设计应根据结构的特性和检算内容,按表 1.4 所列荷载,以其最不利组合情况进行设计。具体计算参见相关规范。

表 1.4 桥涵荷载

荷载分类		荷载名称
主 力	恒 载	结构构件及附属设备自重 预加应力 混凝土收缩和徐变的影响 静水压力及水浮力 基础变位的影响
	活 载	列车竖向静活载 公路竖向静活载（需要时） 列车竖向动力作用 长钢轨伸缩力、挠曲力 向心力 横向摇摆力 列车活载所产生的土压力 人行道及栏杆的荷载 气动力
附 加 力		制动力或牵引力 风力 流水压力 冰压力 温度变化的影响 冻胀力
特 殊 荷 载		列车脱轨荷载 船只或排筏的撞击作用 汽车撞击作用 施工荷载 地震作用力 长钢轨断轨作用力

注：① 如杆件的主要用途为承受某种附加力，则在计算此杆件时，该附加力应按主力考虑。

② 长钢轨伸缩力、挠曲力、断轨力及其与制动力或牵引力等的组合，按《新建铁路桥上无缝线路设计暂行规定》办理。

③ 流水压力不与冰压力组合，两者也不与制动力或牵引力组合。

④ 列车脱轨荷载、船只或排筏的撞击力、汽车撞击力以及长钢轨断轨力，只计算其中的一种荷载与主作用力相组合，不与其他附加力组合。

⑤ 地震作用力与其他荷载的组合见国家现行的《铁路工程抗震设计规范》（GBJ111）。

1.5 桥涵的施工方法及其分类

桥梁施工的技术水平是与同时代的生产力发展水平密不可分的。桥梁的建设一般要经过规划、工程可行性研究、勘察设计及施工等几个阶段。施工是具体实现桥梁设计思想的过程，高水平的桥梁设计需要配合高水平的施工技术。因此，桥梁施工技术的发展，也为实现桥梁