

项目 1 铁路桥梁工程认知

【项目描述】

本项目对桥梁的发展概况、铁路桥梁的建设发展、桥梁的组成和分类、桥梁的设计荷载等知识进行详细阐述，使学生了解铁路桥梁相关基础知识，为进一步学习做好准备。

【教学目标】

1. 能力目标

- (1) 能够说出我国铁路桥梁的发展情况；
- (2) 能够说明我国铁路桥梁的设计荷载；
- (3) 能够描述桥梁的施工准备工作。

2. 知识目标

- (1) 知道桥梁的组成与分类；
- (2) 能说出各桥梁形式特点；
- (3) 知道桥梁施工调查和技术准备工作内容。

3. 素质目标

- (1) 培养学生细致严谨的作风、积极向上的学习态度；
- (2) 培养学生分析问题、解决问题、积极思考和勇于创新的能力；
- (3) 培养学生的知识收集、分析总结等信息处理能力。

相关案例——郑州黄河铁路桥百年变迁

在中国河南省郑州市以北约 30 km 处跨越黄河的铁路桥，是京广铁路线上的重要桥梁之一。1903 年至 2013 年，郑州黄河铁路桥的百年建设历史，见证了我国铁路桥梁的发展。

郑州“黄河第一铁路桥”(见图 1-1)原名平汉铁路郑州黄河大桥，是黄河上修建的第一座铁路桥，修建于 1903 年 9 月(清光绪二十九年)，1906 年 4 月 1 日通车，全长 3 015 m，是中国第一座横跨黄河南北的钢结构铁路大桥，也是新中国成立以前最长的桥。这座桥由比利时的一家工程公司承建，是京汉铁路关键工程。旧桥建成时共有 102 孔，深槽部分有跨长 31.5 m 的半穿式钢桁梁 50 孔，其中 26 孔位于北端，24 孔位于南端，中间浅滩部分有跨长 21.5 m 的上承钢板梁 52 孔。桥梁基础用内径 30 cm、外径 35 cm、下端带有直径 120 cm 螺旋翼的铸钢管桩，但入土较浅，桥墩受冲刷甚剧，依靠抛投大量片石防护，勉强维持行车。这座桥在战争中屡遭破坏，位于桥南北两端的第 1 个桥孔在修复时填塞，桥孔变为 100 个，桥全长也变为 2 951 m。1958 年 7 月，黄河中下游发生特大洪水，黄河铁路桥不堪冲击，遭受重创，导致

京广线断线。1960年新桥建成通车后，这座旧桥即转为备用，1969年10月在旧桥桥面上加铺钢筋混凝土板，定时单向放行汽车方便公路交通。1987年，102孔的旧桥只留下5孔桥墩作为文物保存在原址上，郑州“黄河第一铁路桥”最终完成了它的历史使命。

京广铁路郑州黄河大桥新桥（见图1-2）于1958年5月14日开工，1960年4月20日竣工通车，全长为2889.8m，有71孔，每孔跨度为40.7m，当时设计最高时速80km。双线共用142孔上承钢板梁，从两岸用悬臂式架桥机整孔吊装架设。桥梁墩台基础均采用两根直径为3.6m的钢筋混凝土管柱，入土深度约30m。墩台直接建筑在管柱上，顶部有横梁相连，形成门式刚构。全桥钢梁总重达12943t，混凝土用量为60730m³。这座桥南端原有16孔钢梁位于2.5‰的坡道上，其余为平坡。运营以后，发现河床因淤积而水面逐年升高。为了改善桥下净空，1976年将坡道上的钢梁抬平。2014年，已运行54年的京广铁路郑州黄河大桥（双线）正式“退役”。



图 1-1 郑州“黄河第一铁路桥”平汉铁路郑州黄河大桥



图 1-2 京广铁路郑州黄河大桥

郑州至焦作城际铁路黄河特大桥（见图1-3），桥梁全长11.28km，其中主桥全长2200m，为11-（2×100m）下承式连续钢桁梁，两孔一联共11联，为郑焦线、京广改线共建。大桥郑焦城际线部分全长9.63km，设计时速为250km；京广线部分全长11.28km，设计时速为160km。全桥计混凝土92万m³、钢筋7万t、钢梁7.5万t。大桥自2010年10月15日开工建设，2013年4月9日主桥顺利贯通，2014年5月16日通车，由中铁大桥局集团承建。郑焦城际黄河桥是黄河上第一座，也是目前唯一的四线铁路桥梁，其中跨黄河主河槽的11-（2×100m）下承式钢桁梁为控制性工程。中铁大桥局采用具有我国自主知识产权的“单点单联无导梁连续顶推法”施工，将单联重达6668.4t的钢梁，一联结一联顶推完成。最远顶推距离达到1000m，累计顶推距离3000m。



图 1-3 郑焦城际铁路黄河特大桥

横跨黄河南北两岸的铁路桥，是中国铁路大动脉京广线上重要的桥梁之一。从清末到新中国成立，从单轨到双轨，从不断增加运量到全线提速，从步入高铁时代到与城际铁路“联姻”，无论是建造技术水平的提高，还是速度、运载能力的提升，百余年间，黄河铁路桥梁的变迁见证了我国铁路桥梁建设的发展历程。

任务 1.1 中国铁路桥梁概况

桥梁是铁路、公路、城市和农村道路交通工程建设中的重要组成部分，为了跨越各种障碍（如河流、沟谷或其他线路等），必须修建各种类型的桥梁。在铁路、道路交通的建设中，桥梁是保证全线早日通车的关键；在国防上，桥梁是交通运输的咽喉。因此，桥梁工程具有非常重要的地位，它不仅体现了一个国家或地区的经济实力、科学技术和生产力发展的综合水平，还反映了一个国家或地区历史、文化和文明等社会发展方面的进步程度。

科技的进步、工业技术的提高和社会生产力的高速发展，对桥梁建筑提出了更高的要求。现代高速铁路、公路上的立交桥、高架桥、数十千米的海湾和海峡大桥，城际高速铁路桥与轻轨高架桥等，这些新型桥梁不但是规模巨大的工程实体，而且工程雄伟的大桥常被当作城市的标志与骄傲。桥梁建筑已不再单纯作为交通线上的重要工程，而作为一种城市空间艺术结构，成为城市的风景。

中国铁路桥梁的发展经历了近代和现代 130 多年的历程。桥梁是铁路线路的重要组成部分，从 1876 年修建第一条营业铁路（上海吴淞铁路）至 2013 年，中国铁路总延展里程 198 106.0 km，共修建铁路桥梁 63 952 座，12 223 141 延长米，桥梁密度（即桥梁长度占线路总长的百分比，简称桥线比）为 6.17%。全长 10 万 m 以上的特大桥 3 座，分别为京沪高铁丹昆特大桥（163 785 m）、京沪高铁天津特大桥（113 694 m）、京沪高铁沧德特大桥（100 967 m）。一个多世纪以来，中国已建起跨越长江铁路桥梁 17 座，跨越黄河铁路桥梁 31 座。中国已成为世界铁路桥梁大国。

1.1.1 中国近代铁路桥梁

18 世纪西方工业革命推动了经济社会发展和科学技术进步,使欧美各国相继进入了近代桥梁新时期。水泥的生产,铁的铸造,为桥梁提供了新的建筑材料。19 世纪初,西方开始修建铁路,建造铁路桥梁时在混凝土中开始配用钢筋,产生了钢筋混凝土桥。清朝末期(19 世纪后期),我国也进入了修建铁路桥梁时代。1876 年吴淞铁路投入运营,1881 年自办唐胥铁路建成,铁路桥梁的修筑不断发展,促进了桥梁科学理论的发展。

我国铁路修建始于英国人在上海修建的第一条铁路吴淞铁路(长 14.5 km,轨距 0.762 m),投入运营不到一年,被清政府赎回拆除。吴淞铁路建有中小桥梁 10 余座,其中最大的一座是长 50 m 左右的吴淞蕴藻滨桥,我国铁路桥梁史即以此为开端。此后,因开发开平煤矿的需要,建成了唐(山)胥(各庄)铁路。唐胥铁路长约 10 km,采用 1 435 mm 标准轨距。1886 年起,因煤运需要,唐胥铁路由胥各庄向大沽、天津展筑。1887 年(光绪十三年),唐胥铁路向东展筑,在茶淀汉沽间动工修建了蓟运河桥(今京山下行线桥)。蓟运河桥长 173.72 m,共 4 孔,自津端起为 1 孔 27.43 m 半穿式钢桁梁、1 孔 62 m 下承钢桁梁、1 孔 62 m 开启式钢桁梁、1 孔 14.72 m 上承钢板梁。墩台基础采用木桩,墩台为浆砌料石。该桥由英人金达(C. W. Kinder)主持设计,比利时国公司承包施工,于 1888 年建成。这是我国第一座具有近代建筑水平的铁路钢桥,也是我国第一座开启式铁路桥梁。

近代中国铁路桥梁发展,处于清朝末期(简称清末)和民国时期。这一时期由于外国入侵和连年战乱,兵连祸结,民不聊生,经济、技术落后,铁路桥梁建设发展缓慢。从 1876 年至 1949 年,全国共修建铁路 26 916 km,不仅铁路少,而且长期遭受战争破坏,1949 年全国能维持通车的铁路只有 21 810 km。这一时期共修建铁路桥梁 13 980 座,总延长 347.5 km,桥梁密度为 0.01%。这一时期随着外国列强在中国修筑铁路,国外铁路桥梁的修筑技术传入我国。当时入侵我国的列强有俄国、英国、法国、德国和日本等。俄国在我国东北修建中东铁路(现滨洲、滨绥铁路)和南满支线(现哈大铁路),建造了一大批铁路桥梁,如哈尔滨松花江桥(图 1.1.1-1)(长 1 027.2 m)、陶赖昭第二松花江桥(长 781.5 m)、太子河桥(长 587.5 m)、浑河桥(长 794.73 m)等,这也是我国首次修建多座特大桥,基本上是按照当时俄国的建筑标准修建的,钢桁梁由俄国工厂制造。俄国国内于 1837 年修建第一条铁路,至在中国时修建中东铁路已有 50 多年修建铁路桥梁的经验,设计和施工方法都是按照其国内修筑铁路桥梁的方法进行的,建桥速度很快。滨洲铁路哈尔滨松花江桥全长 1 027.2 m,共 19 孔钢桁梁,20 个墩台,只用 1 年零 3 个月的时间就建成了(1900 年 5 月开工,1901 年 8 月竣工)。



图 1.1.1-1 滨洲铁路哈尔滨松花江铁路桥



图 1.1.1-2 滇越铁路保姑人字桥

法国修建滇越铁路中国段，长 464.6 km，有桥梁 225 座，总延长 2 688 m，是一条桥梁密度较大的铁路（桥线比 0.5%）。其中特别是保姑人字桥（图 1.1.1-2）建于悬崖绝壁上，工程艰巨，设计精巧，技术水平较高。这条铁路的桥梁建设采用了法国的活载标准和建筑方法。

京张铁路由北京至张家口，线路要穿过燕山山脉关沟地段，地形极其险恶，外国人预言修建这条铁路的工程师还没有出生。詹天佑带领当时留学回国的工程技术人员，经过艰苦努力，终于建成了这条铁路，使外国人为之震惊。这条铁路长 201 km，桥隧工程很艰巨，共有桥梁 160 余座，大多为钢（铁）桥，完全由中国人自己设计、建造，使用山海关桥梁厂制造的钢梁和中国自制的水泥。其中最长的怀来河桥，采用 7 孔跨度 30.4 m 上承钢板梁，木桩基础，全长 213.3 m。民国时期，以孙中山、凌鸿勋、茅以升、罗英、梅旸春等人为代表，大力倡导建造铁路桥梁。特别是茅以升主持修建的浙赣铁路钱塘江大桥（图 1.1.1-3），是中国人自行设计建造取得的又一成功，是中国近代铁路桥梁史上的重要成就。



图 1.1.1-3 浙赣铁路钱塘江大桥

清末和民国时期建成的唐榆铁路(今京山铁路)涿县滦河桥(图 1.1.1-4),它是中国首座采用气压沉箱基础的铁路桥梁,全长 670.6 m,詹天佑参与建设,并提出采用气压沉箱基础取得成功,于 1897 年建成。京汉铁路郑州黄河桥是中国近代建成最长的铁路桥梁,全长 3 015 m,共 102 孔,自京端起为 26 孔 31.5 m 下承钢桁梁,52 孔 21.5 m 上承板梁,24 孔 31.5 m 下承钢桁梁,管桩基础,于 1905 年 11 月建成,也是中国第一座跨越黄河的铁路桥。



图 1.1.1-4 滦河铁路大桥

清末和民国时期共 73 年铁路建设,为中国铁路桥梁发展打下了基础。中国铁路桥梁建设从主要依靠外国技术力量和进口材料,发展到逐步培养并训练自己的技术人员和建立桥梁生产基地,逐步积累经验并有所前进。

1.1.2 中国现代铁路桥梁

现代预应力混凝土和高强度钢材等新型建筑材料的出现,建筑材料塑性理论和极限理论的研究,桥梁振动和空气动力学以及土力学的研究和计算机技术的应用,促进了现代桥梁建设快速发展和建桥技术的创新。自 20 世纪 50 年代建成长江第一桥武汉长江大桥(图 1.1.2-1),到南京、九江、芜湖长江大桥的建成,是新中国铁路桥梁建设的四个里程碑。21 世纪前后,大跨度桥梁得到大力发展,中国铁路桥梁不仅在大江、大河、海湾具有精湛高深的建桥技术,而且在险峻山区高深河谷修建高墩桥(最高墩已在 100 m 以上)和斜拉桥、悬索桥等方面,也有许多独创和建树。在大规模的铁路建设中,铁路桥梁建设迅速发展,努力迈向世界先进水平。

20 世纪 50 年代,我国首先对战争中遭受破坏的铁路桥梁进行了修复、加固和改造,恢复通车。新建成渝、天兰、湘桂、宝成、兰新、丰沙、包兰、鹰厦夏等铁路,修建了数千座桥梁。1957 年,具有世界水平的武汉长江大桥建成,是中国现代桥梁建造技术发展的第一座里程碑。50 年代,桥梁基础以扩大基础、沉井基础为主。武汉长江大桥成功以管柱钻孔基础代替了气压沉箱基础,并使这一基础形式随后得到推广运用。钢筋混凝土管桩基础也被广泛采用。吊箱围堰基础施工法也首次被采用。桥梁上部结构多采用钢筋混凝土梁、拱桥、钢板梁、钢桁梁、结合梁等多种形式。国内开始逐步形成具有设计、科研、施工、制造等综合能力的桥梁建造专业队伍。

20 世纪 60 年代,我国独立自主建成了南京长江大桥(图 1.1.2-2),其深水基础工程技术达到了国际先进水平,这是中国现代建桥技术发展的第二个里程碑。其在深水位采用重型混凝土沉井基础、钢沉井加管柱基础、浮式钢筋混凝土沉井基础、钢板桩围堰管柱钻孔基础,都做出开拓性贡献。工程浩大的成昆铁路建设,使中国在地质条件极为复杂、河道沟渠纵横、位于高地震区又有泥石流、大漂石存在等艰巨条件下仍建成数百座桥梁。该工程建设在基础

工程中大量采用钻、挖孔桩基础和沉井基础；在上部结构方面，建成了中国第一座 56 m 预应力钢筋混凝土刚性梁柔性拱桥，54 m 跨度空腹式石拱桥，150 m 跨度中承式钢筋混凝土拱桥，112 m 跨度栓焊刚性梁柔性拱钢桥，192 m 跨度简支铆接钢桁梁；采用悬臂灌注法施工的预应力悬臂梁桥主跨达 64 m。在长江上建造的第四座长江大桥枝城长江大桥，采用了高低刃脚沉井基础及斜拉索伸臂架设连续钢桁梁等新的施工技术。



图 1.1.2-1 武汉长江大桥



图 1.1.2-2 南京长江大桥

20 世纪 70 年代，中国铁路桥梁着重于新结构、新技术、新材料、新设备的研究开发和应用，取得了一系列成果。发展栓焊钢梁高强度钢材，试用高强 15 锰钒氮新钢种建造钢桁梁；兴建主跨达 96 m 预应力混凝土斜拉桥，建造 82 m 跨度预应力混凝土斜腿刚构桥，兴建主跨达 176 m 斜腿刚构薄壁箱形钢梁桥。预应力混凝土梁开始采用高强度预应力筋、无砟 π 形梁等，采用 40 m 跨无砟无枕预应力混凝土箱形梁，从而在中小跨度梁孔梁型选择上，预应力混凝土梁成为主要梁型。铁路桥梁技术的发展，加快了工程进度，也为以后的铁路建设发展提供了技术支持。

这一时期突破了在大江大河上建桥的技术，改变了中华人民共和国成立前铁路“遇江即断”局面。建成武汉长江大桥和南京长江大桥，使京广铁路和京沪铁路贯通；建成湘潭湘江大桥，使粤汉与湘黔铁路贯通；建成衡阳湘江桥和柳江桥，使湘桂铁路贯通；建成广州珠江大桥和南昌赣江大桥，使粤汉铁路与广三铁路和浙赣铁路与南寻铁路得以贯通。

从 1981 年至 2005 年，铁路桥梁建设进入了快速发展和加速创新时期。其间 25 年共修建铁路 22 100 km，建成的铁路桥梁与前一阶段（1949—1980 年）比，桥梁座数增长 59.2%，总延长增长 143.2%，建成的桥梁数量超过了 1980 年以前建成的铁路桥梁总和。

20 世纪 90 年代，建成新中国第一座在强涌潮河段、公路铁路桥并列分建的钱塘江第二大桥（图 1.1.2-3），其正桥为 18 孔一联长 1 340 m 预应力混凝土连续梁，连续长度为国内之首，在当时亦名列世界前茅。其铁路引桥采用单点顶推法施工，顶推距离 800 m，重 3 700 t，居国内第一。27 000 kN 级大型盆式橡胶支座、国产大吨位群锚体系、大伸缩量伸缩装置等均为国内首次使用。在桥梁施工中，在其半数工期为强涌潮中、在抗台风等特殊自然灾害中，我国采用了许多有效措施，积累了丰富的施工经验。

京九铁路是我国“八五”铁路建设的重点工程，采用了许多建桥先进技术，如孙口黄河大桥 4 联 4×108 m 双线栓焊钢桁梁，全部采用整体焊接节点新技术。在九江长江大桥（图 1.1.2-4）

施工中，中国建成当时最大跨度 216 m 的三跨（180 m + 216 m + 180 m）刚性梁柔性拱连续栓焊钢桁梁，研制出满足应用要求的 412 MPa、最大板厚 56 mm 的 15MnVNq 新钢种。钢梁架设采用“双层塔架法”全伸臂架设 180 m。在正桥三拱的吊杆上采用抑制振动的阻尼器（TMD），设备微型化，其性能达到国际先进水平。在其深水基础，首创双壁钢围堰大直径钻孔桩基础设计、施工新技术。



图 1.1.2-3 钱塘江第二大桥



图 1.1.2-4 九江长江大桥

在焦枝复线洛阳黄河大桥建造中，我国首次使用 50 m 简支预应力混凝土 T 梁。石长铁路常德沅江大桥主跨为（62.3 m + 5×96 m + 62.3 m）7 孔一联部分预应力混凝土连续箱梁，其 96 m 跨度为当时国内同类铁路桥梁之首。石长铁路长沙湘江大桥，其主跨为（62 m + 7×96 m + 62 m）预应力连续箱梁，采用大跨度造桥机悬臂拼装法制梁，具有节段箱梁工厂化生产、拼装成桥快、减少高空作业、节省水上机械设备、减少主体结构配筋量等优点。浙赣复线弋阳葛水河桥，其上部结构为中国第一座（25 m + 40 m + 25 m）三向预应力连续槽形梁，具有降低桥梁高度、减少噪声、净化市容等特点。在南昆铁路建设中，我国建造了中国铁路最高的清水河大桥，最大墩高 100 m，桥下谷深 183 m；建造了中国第一座铁路平弯梁桥——板其二号大桥，结构平面曲线半径为 450 m；建成了首座采用“V”形支撑的连续刚构桥——八渡南盘江大桥和首次采用双薄壁横联高墩连续刚构桥——喜旧溪大桥。

合芜铁路芜湖长江大桥（图 1.1.2-5）是继武汉、南京、九江长江大桥之后，中国现代铁路桥梁建设技术发展的第四座里程碑，其主跨为（180 m + 312 m + 180 m）低塔连续钢桁梁斜拉桥。其 312 m 低塔斜拉桥钢桁梁跨度，为中国当时公铁两用大桥跨度之最，并成功开发出强度高、塑韧性优、可焊性好的 14MnNbq 钢。在国内成功设计建造出板桁结合钢桁梁新型结构，解决了大跨、矮塔、重载的结构难题。

20 世纪 90 年代，我国利用自主开发的计算机软件进行结构分析、绘图，使桥梁勘测设计技术水平和速度上了一个新台阶。大跨度造桥机制架梁技术的发展，是原铁道部“八五”科技发展规划重点项目之一，90 年代试制出 96 m 双悬臂节段拼装式造桥机，应用于石长铁路长沙湘江大桥 796 m 正桥预应力混凝土梁拼装施工。其后通过改造，成为 64 m 整跨节段拼装造桥机，成功应用于株六铁路南山河大桥和响琴峡大桥施工。之后又发展出 109.5 m 双悬臂预制节段造桥机等各种类型。

21 世纪初，随着既有线提速和客运专线建设，铁路预应力简支梁梁型发展到双线单箱，

跨度达到 40 m 及以上, 梁重每孔为 750~900 t。为适应以上变化, 在秦沈客运专线小凌河大桥 (图 1.1.2-6), 我国采用国内研制出的首座 MZ32 型移动模架造桥机, 进行 32 m 双线单箱梁整孔原位灌注施工, 并能逐孔自行前移。其后改进研制出 MZ50/1500 型、ZQM1300 型等移动模架造桥机, 可逐孔原位灌注 40 m 预应力箱梁, 并在温福铁路建设中使用。在株六复线南山河大桥首次采用 64 m 预应力混凝土梁, 梁部施工采用移动模架造桥机成梁。



图 1.1.2-5 合芜铁路芜湖长江大桥



图 1.1.2-6 秦沈客运专线小凌河大桥

贵州水柏铁路北盘江大桥 (图 1.1.2-7), 位于大峡谷上, 桥面离江面高达 280 m, 其主跨采用中国铁路第一座 236 m 上承钢管混凝土拱, 拱桥采用转体施工, 转体总质量达 10 400 t, 居世界转体施工首位, 236 m 跨度为世界同类型桥梁最大跨度。



图 1.1.2-7 贵州水柏铁路北盘江大桥

渝怀铁路长寿长江大桥主跨为 (144 m + 2×192 m + 144 m) 整体节点连续钢桁梁, 中跨 192 m 采用全伸臂安装, 为国内最大悬臂跨度。宜万铁路万州长江大桥主跨为 (168.7 m + 360 m + 168.7 m) 连续钢桁拱, 360 m 跨刚性拱柔性梁钢桁拱桥结构体系为国内首次采用。青藏铁路格拉段全长 1 110 km, 有桥梁 675 座, 总延长 159 km, 其中, 特大桥 6 座, 如拉萨河大桥、长江源大桥、清水河大桥、一岔河大桥等, 在高原严寒、缺氧和多年冻土地区进行如此浩大的桥梁工程, 取得令人瞩目的成就。京广客运专线武汉天兴洲长江大桥 (图 1.1.2-8), 其主桥为 5 跨斜拉连续栓焊钢桁梁桥。其最大跨度达 504 m, 桥梁下层为四线铁路, 上层为公路 6 车道, 其桥型、跨度、载重等都为当时中国桥梁之最。还有京沪高速铁路南京大胜关长江大桥 (图 1.1.2-9) 等, 均为中国现代铁路桥梁建设新的里程碑工程。



图 1.1.2-8 武汉天兴洲长江大桥



图 1.1.2-9 南京大胜关大桥