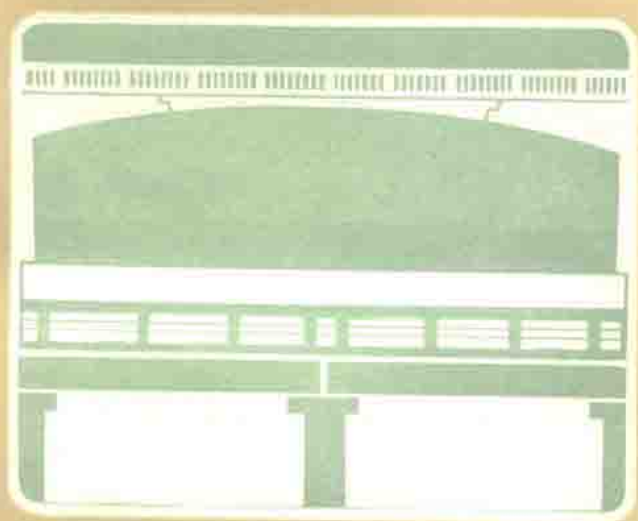


钢筋混凝土梁桥

姚诗森 程翔云 编



23

人 民 交 通 出 版 社

钢筋混凝土梁桥

姚玲森 程翔云 编

人 民 交 通 出 版 社

内 容 介 绍

钢筋混凝土梁桥在中小跨径桥梁中应用很广。本书系统地阐述这种桥梁的构造和计算理论。全书共分七章,包括总论,构造,几种板桥的设计计算,上部结构的设计计算,比拟正交异性板的理论与计算以及支座等等。本书可供大专院校师生以及从事桥梁建设工作的人员学习参考。

2167/58

钢 筋 混 凝 土 梁 桥

姚玲森 程翔云 编

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
江苏省如东县印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 14 字数: 350 千

1982年7月 第1版

1982年7月 第1版 第1次印刷

印数: 0001-6,800册 定价: 2.60元

前 言

钢筋混凝土梁桥是最常见的一种桥梁结构，在中小跨径桥梁中，应用极为广泛。我们结合多年从事钢筋混凝土梁桥教学的体会，编写了本书，系统地阐明这种桥型的构造和计算理论，供有关大专院校师生及从事桥梁建设者学习参考。

本书共分七章。第一章总论部分，一般地叙述桥梁的组成部分、桥梁的类型、桥梁设计的基本原则和方法等，它是从事桥梁设计工作入门的向导。第二章构造部分中，除了介绍一般常见的构造形式以外，还参考国内外最近的建桥实践补充了一些构思新颖合理的结构，此外，还对斜板桥的构造原理作了较详细的叙述。第三、四章分别介绍整体式板桥和装配式铰接板桥的设计计算，对于前者并通过理论分析论证了按弹性力学方法计算与按一般近似法计算的关系。书中并根据国内外的研究资料补充了斜板桥的实用计算方法。第五章中详尽阐述了钢筋混凝土T型梁桥的设计计算原理，在横向分布理论方面，除了介绍常用的“偏心压力法”和“杠杆法”以外，还补充了“修正的偏心压力法”。对于荷载横向影响线和横向分布系数的叙述，力求物理概念明晰，计算方法清楚。为了适应宽桥的设计需要，并使读者对公路桥梁荷载横向分布理论有较深入的了解。在第六章中，还系统详细地介绍了比拟正交异性板法($G-M$ 法)的公式建立、理论推导、实用图表的编制和应用。内容力图由浅入深，公式推演层次分明，便于自学。最后一章是钢筋混凝土梁式桥支座，文中补充了我国近年来已开始逐渐推广使用的盆式橡胶支座。

对于设计计算部分，我们在编写中贯穿了两个宗旨：其一是每章均附以较详细的计算示例，另一是每章均有一个进一步深入的

理论问题，这为工程设计人员在设计理论上作更深入一步研究奠定理论基础。书后还列有设计计算中所必需的资料和图表。

书中第一、二、五和六章由姚玲森编写，第三、四和七章由程翔云编写。在编写第三、四两章的内容中曾得到刘孝平、席振坤、高征铨、陈忆渝的具体帮助，特此致谢。

由于作者的水平所限，挂一漏万和谬误之处在所难免，希望读者批评指正。

编 者

1980 年 5 月

目 录

第一章 总论	1
§ 1. 钢筋混凝土桥梁的发展简史	1
§ 2. 钢筋混凝土桥梁的优缺点	5
§ 3. 钢筋混凝土桥梁今后发展的主要途径	7
§ 4. 桥梁的组成及分类	9
一、桥梁的基本组成部分	9
二、桥梁的主要类型	12
§ 5. 桥梁的总体规划及设计	20
一、设计的基本要求	20
二、设计程序	21
三、合理选择桥位	22
四、桥梁的纵断面和横断面设计	23
第二章 钢筋混凝土梁桥的构造	33
§ 1. 桥面系构造	33
一、桥面铺装	33
二、桥面排水设施	36
三、桥面伸缩缝	39
四、人行道、栏杆	42
§ 2. 板桥的构造	48
一、概述	48
二、装配式简支板桥	49
三、组合式板桥	55
四、整体式简支板桥	56
五、连续板桥	61

六、撑架板桥·····	63
§ 3. 肋梁桥的构造·····	65
一、概述·····	65
二、装配式简支梁桥·····	70
三、组合式简支梁桥·····	85
四、整体式简支梁桥·····	90
五、悬臂梁桥和连续梁桥·····	92
第三章 整体式板桥的设计计算·····	107
§ 1. 整体式正交板桥的设计计算·····	107
一、车辆荷载在板面上的分布·····	107
二、整体式板的荷载有效分布宽度·····	108
三、内力计算·····	111
四、结构构件计算·····	114
§ 2. 整体式钢筋混凝土简支板桥的计算示例·····	115
§ 3. 整体式简支板的精确解及荷载有效分布宽度的 分析·····	122
§ 4. 整体式斜交板桥的设计计算·····	134
一、恒载内力计算·····	135
二、活载内力计算·····	137
三、钢筋的配置·····	144
四、算例·····	145
第四章 装配式铰接板桥的设计计算·····	152
§ 1. 铰接板的荷载横向分布理论·····	152
一、基本假定·····	152
二、荷载的横向分布影响线·····	155
三、铰接力的正则方程·····	156
四、参数 γ 值的确定·····	159
五、等效正弦荷载·····	162
§ 2. 荷载横向分布系数·····	165
§ 3. 钢筋混凝土铰接板桥的计算示例·····	169

§ 4. 铰接斜板桥的实用计算方法	187
一、模型试验的结果	187
二、实用计算方法	187
三、算例	189
第五章 简支肋梁桥上部结构的设计计算	194
§ 1. 拟定截面型式与尺寸	194
一、主梁	195
二、翼缘板	196
三、横隔板	196
§ 2. 行车道板的计算	197
一、概述	197
二、板的有效工作宽度	198
三、行车道板的内力计算	204
§ 3. 荷载的横向分布和横向分布系数的计算	208
一、概述	208
二、偏心受压法	211
三、考虑主梁抗扭刚度的修正偏心受压法	219
四、杠杆原理法	223
五、荷载横向分布系数沿桥跨的变化	225
§ 4. 主梁内力计算	229
一、梁的内力影响线	230
二、恒载内力计算	233
三、活载内力计算	236
四、梁的内力组合及包络图	239
§ 5. 横隔板的内力计算	242
一、横隔板内力影响线的绘制	243
二、作用在横隔板上的计算荷载	245
§ 6. 装配式简支梁桥设计实例	247
一、设计资料	247
二、主梁的计算	248

三、中横隔板的计算	272
四、行车道板计算	283
第六章 比拟正交异性板的理论与计算	289
§ 1. 弹性板的挠曲微分方程	290
一、各向同性板的挠曲微分方程	291
二、比拟正交异性板的挠曲微分方程	299
§ 2. 弹性板挠曲微分方程的求解	303
一、简支桥无荷载区挠度 w_h 的求解	304
二、简支桥在荷载作用下 w_p 的求解	307
三、具有定宽 $2B$ 的简支桥挠曲面普遍公式	311
四、影响系数 K_0 、 K_1 和 K_2	315
五、横向弯矩的计算原理	318
§ 3. 应用图表计算主梁内力	320
一、荷载横向影响线的绘制	320
二、关于 K 值的校核	326
三、关于截面抗弯和抗扭刚度的计算	326
§ 4. 应用图表计算横梁内力	329
一、 γ 值的计算	330
二、 $\Sigma\mu_\alpha$ 值的计算	332
§ 5. 比拟正交异性板法计算实例	334
一、设计资料	334
二、主梁内力计算	335
三、横梁内力计算	344
第七章 钢筋混凝土梁式桥支座	347
§ 1. 支座的构造	347
一、垫层支座	347
二、弧形支座	348
三、摆柱式支座	348
四、橡胶支座	350
五、滑板钢盆橡胶支座	352

§ 2. 弧形支座的设计计算	354
一、确定钢板的平面尺寸	354
二、确定钢板的厚度	355
三、确定弧面半径	356
§ 3. 摆柱式支座的设计计算	357
一、平面钢板的计算	357
二、确定弧面半径及摆柱的高度	358
三、计算钢筋混凝土短柱部分在水平方向的拉力	359
四、摆柱的配筋	360
§ 4. 橡胶支座的设计计算	361
一、支座的平面尺寸	361
二、支座的厚度	361
三、支座的偏转验算	362
四、支座抗滑性能的验算	363
§ 5. 滑板钢盆橡胶支座的设计计算	364
一、确定填充四氟板及橡胶块的尺寸	364
二、确定钢盆环的尺寸	364
三、盆塞的计算	365
四、密封钢环的设计	366
五、橡胶密封圈的设计	366
六、盆环顶面偏转的控制	366
七、钢盆环与顶板之间的焊缝应力验算	367
§ 6. 梁桥支座计算示例	369
§ 7. 弧形铰支座的线接触应力公式——赫尔次公式	379
附录 I 交通部 1981 年颁布的《公路工程技术标准》 摘抄	386
附录 II 车辆标准荷载等代荷载	394
附录 III 铰接板荷载横向分布影响线及斜角折减系数表 ..	399
附录 IV $G-M$ 法 K_0, K_1, μ_0, μ_1 值的计算用表	428

第一章 总 论

§ 1 钢筋混凝土桥梁的发展简史

在古代,人们很早就试图用竹筋或铁筋加固圬工结构,以此提高结构物的承载能力和耐久性。然而,在 18 世纪后期,由于硅酸盐水泥得到发展,钢材质量不断提高以及结构理论日趋完善,真正的钢筋混凝土桥才问世。

法国的约瑟夫莫尼尔首创制成钢筋混凝土的圆管和贮水槽,在 1867 年获得了钢筋混凝土专利,到 1873 年,就建成了世界上第一座钢筋混凝土桥梁(图 1-1)。过了两年,又开始设计并于 1877 年在卡累莱特的城前公园架起了一座跨度为 16.5 米、宽度为 4 米的人行桥。由此可见,迄至目前,钢筋混凝土桥梁已有 100 余年的

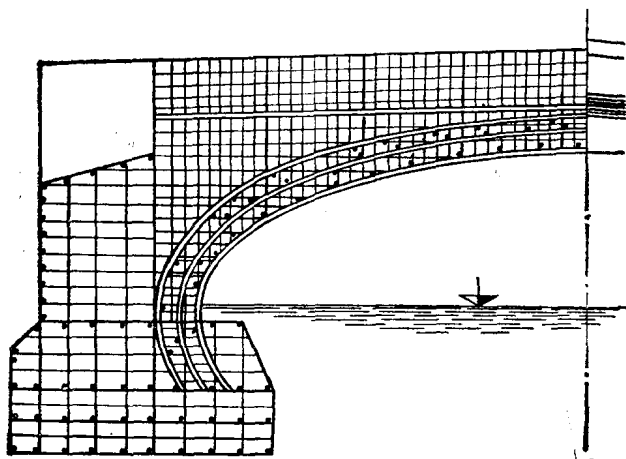


图 1-1 1873 年修建的第一座钢筋混凝土桥梁

历史。

可是,当时对钢筋混凝土桥的力学性能还缺乏认识,以致在不需要设置钢筋的部位(例如在靠近拱轴线处)也配放了相当多的钢筋。

自 1884 年起的一、二十年中,欧洲一些国家的科学工作者们开始对钢筋混凝土的板、梁和拱等结构进行了大量的试验研究和理论分析。其中法国的耿聂比克(1892 年)曾按照主拉应力的轨迹图布置钢筋,并配合弯矩包络图将直筋弯起,此外并用扁铁作箍筋。这样既能缓和裂缝的出现,也稍节约了钢材。1892 年,奥地利的密兰采用型钢作为劲性钢筋建造了一座跨径 42.4 米、矢高 $f/l=1/16$ 的三铰拱桥。

至二十世纪初期,随着科学技术和交通运输事业的发展,对于钢筋混凝土结构的力学性能的日益明确,制定了计算钢筋混凝土构件的“古典方法”,因此在公路与铁路上,以及在城市中建造了很多钢筋混凝土桥梁。

鉴于钢筋混凝土的突出特点是受压性能好,因此,初期修建的多为拱式桥梁。从 1900 年起至 1964 年间钢筋混凝土拱桥已由 3 孔跨径为 50 米的 Vienne 桥(法国)发展到跨径为 304.8 米的 Gladesville 桥(澳大利亚),后者长期来一直保持着同类型桥梁最大跨径的世界纪录。至 1979 年,在南斯拉夫用悬吊装配方法修建的跨度达 390 米的钢筋混凝土拱桥,又重新刷新了世界纪录。

钢筋混凝土的梁式桥,虽然在跨径方面远逊色于拱桥,但由于其对于地质地形等条件的独特的适应性,随着拱桥的发展也得到了广泛的实践。从 1913 年最大跨径达 40 米的 Freiburg 桥(德国,悬臂体系)至 1940 年时在英国伦敦建成的 New Waterloo 桥,跨径达到 77.02 米(连续体系)。这样的跨径迄至目前仍是同类型桥的最大跨径。钢筋混凝土梁式桥在跨径方面演变的幅度不大,这是材料本身的力学性能所限制的。由于这种桥型自重大,本身就耗损大部分承载能力,加之不能容许裂缝开展等缺点,成了修建大跨度梁桥的障碍。

从横截面型式的演变来看,不仅钢筋混凝土拱桥的主拱,而且梁桥的主梁,一般都随着跨径的增大而从简单的板式发展到肋式,甚至做成空心的箱形截面。根据内河航运的要求,还出现了建筑高度受严格限制的下承式钢筋混凝土梁桥。为了减轻自重和节省材料用量,还将实体的主梁充分挖空而建成桁架的形式。但是,普通的钢筋混凝土桁架桥,终因施工复杂,在拉杆与节点处,又难以克服的混凝土开裂,因而没有获得推广。

随着 19 世纪后期理论科学的迅速发展,曾经有人试图将预应力的概念用于混凝土,但由于当时对混凝土发生徐变、收缩等特性缺乏认识,加之该时冶金工业尚不能生产高强度的优质钢材,因此这种设想未能实现。

直到 1928 年,法国的弗莱西奈才使预应力混凝土结构获得成功。1930 年以后,首先在法国和德国采用预应力混凝土来建造桥梁。从此,在钢筋混凝土梁桥中,由于预应力的引入,根本上改善了结构的受力性能,于是,新颖的预应力混凝土桥梁获得了很大发展。至 1962 年时,已在德国的莱因河上建成了一座中跨达 208 米的铰接连续梁桥(Bendorf 桥)。10 年后,日本高知县的浦户大桥以 230 米的最大跨径(铰接连续梁桥)刷新了世界纪录。此桥的跨径相当于第二次世界大战前钢筋混凝土梁桥跨径纪录 78 米的 2.9 倍左右。可以设想在不远的将来,钢筋混凝土拱桥 390 米的纪录,也会被日益发展的预应力混凝土桥梁所打破。

我国从 1924 年起首先在桥梁改建时使用了钢筋混凝土桥梁。当时因系初次尝试,仅作了短跨径的板桥和小跨径拱桥。1930 年在粤汉路株韶段,先后完成了跨径达 30 米的五座拱桥,此后,又相继在一些路线上修建了钢筋混凝土桥,但未得到很大的发展。

1949 年我国解放以后,随着交通运输事业的迅速发展,钢筋混凝土桥的设计、施工水平都得到了很大的提高。目前我国在铁路和公路桥梁方面已编制了一系列装配式钢筋混凝土梁桥的标准设计(跨径达 20 米左右),由于此种桥梁的预制和架设甚为方便,在实践中得到了广泛的使用。为了进一步节约钢材,我国建桥职

工还研究采用钢筋混凝土工字梁与少筋微弯板相组合的公路梁桥,改进了桥面构造。

自 1952 年起,我国公路部门开始兴建过许多跨径较大的(30 米以上)多孔钢筋混凝土悬臂梁桥和少数连续梁桥。1964 年建成了全长 395 米、最大跨径为 55 米的钢筋混凝土箱形薄壁悬臂梁桥。在 50 年代建成的 3 孔钢筋混凝土箱形薄壁连续梁桥,跨径为 $37+53+37$ 米,采用了肋板预制、顶板和底板就地浇筑的施工方法。随着施工工艺的不断发展,近年来我国还修建了不少钢筋混凝土悬臂刚构墩(T 型墩)带挂梁的新型桥梁,最大跨径达 56 米,这为应用预制装配的施工方法来修建较大跨径的普通钢筋混凝土梁桥做出了榜样。

预应力混凝土梁桥的建造在我国也正在不断地发展。在铁路上,32 米的装配式预应力混凝土简支梁桥已采用 130 吨架桥机整片架设。江西九江长江大桥,已成功地预制了 40 米跨径箱形截面的无碴无枕式简支梁桥。在公路上,除了广泛使用 20~40 米预应力混凝土梁桥的标准设计外,1970 年在河南省建成了主孔为 3 孔净跨 50 米的后张自锚式预应力混凝土鱼腹形梁桥,并于 1976 年在洛阳建成了一座跨径 50 米、全长达 3.4 公里的我国最长的公路桥梁。

为完成日益增长的大跨径桥梁的建设任务,公路建桥职工不断采用新技术、新工艺,通过研究和试验,运用预应力混凝土桥悬臂浇筑、悬臂拼装和三向张拉等新的施工方法。从 1965 年以来,已建造了一批大跨径预应力混凝土 T 型刚构桥。1971 年建成的福建乌龙江大桥,跨径为 $58+3\times 144+58$ 米,是我国已建成此类桥型的跨径最大者。最近交付运营的重庆长江大桥最大跨径达 174 米,总长为 1120 米,已成为我国目前规模最大的预应力混凝土 T 型刚构桥。

拱桥的建筑在我国有着悠久的历史,解放以来,在修建石拱桥的传统经验基础上,现代化钢筋混凝土拱桥也有很大的发展。1955~1959 年间建成了三孔跨径 53 米的空腹式拱桥和跨径 88 米

的钢筋混凝土拱桥。还在六十年代初，我国就建成了一座跨度达150米的装配式箱形截面中承式双轨铁路钢筋混凝土拱桥。在公路建设中，钢筋混凝土拱桥在跨越中大跨度的江河深谷障碍中发挥了很大的作用，目前跨径在100米以上的已有6座，其中跨径最大的是1972年在四川省建成的跨径达146米的钢筋混凝土箱形拱桥。

1964年我国建桥职工继承和发扬修建石拱桥的优良传统并吸取现代桥梁预制装配的优点，又创建了一种新型桥梁——双曲拱桥。它是介于混凝土拱桥与钢筋混凝土拱桥之间的一种少筋结构。这种桥梁由于具有结构坚固、造价低、材料省、桥型美观、施工工艺易为群众所掌握等优点，在七十年代已遍地开花，蓬勃发展。

我国幅员辽阔，河流纵横，为了加快社会主义建设事业，就需要迅速发展交通运输事业。可以期待，我国广大桥梁建设界将在已有成就的基础上，不断总结建桥经验，在实践中将会进一步促进钢筋混凝土桥梁的迅速发展。

§ 2 钢筋混凝土桥梁的优缺点

钢筋混凝土是一种具有很多优点的建筑材料，半个多世纪以来的大量实践，使钢筋混凝土结构不但在设计理论方面，而且在施工技术上都发展得比较成熟。在桥梁建筑领域内，由于它取材容易，又可机械化施工，且还具有耐久、经济、节约钢材、噪声小等种种优点，目前在国内外，钢筋混凝土桥梁在近代桥梁建筑上占据着非常重要的地位。中小跨径的永久性桥梁，无论是铁路桥、公路桥或是城市桥，大部分均采用钢筋混凝土或预应力混凝土结构。而且，预制的装配式钢筋混凝土构件已逐渐地代替了脚手架工程浩大的就地浇注的结构。

现把钢筋混凝土桥梁的主要优缺点归纳如下。

(一) 优点

1. 就地取材——混凝土中的大量砂、石材料易于就地取用，

这就避免繁重的远程运输,并能降低造价。

2. 工业化施工——桥梁构件可以在工厂内或在集中生产场地采用机械设备成批生产,不仅能提高构件的施工质量,而且大大减轻了工人操作的劳动强度。

3. 耐久性——通常钢筋由混凝土所保护而不致锈蚀的情况下,钢筋混凝土的强度是与日俱增的。根据试验证明,钢筋混凝土结构在建筑 20 年后,混凝土的强度将比 28 天龄期者增加 3~4 倍。因此,钢筋混凝土桥梁不仅耐久性好,寿命长,养护极为简便,而且还具有能适应日后车辆荷载增长的优点。

4. 适应性——钢筋混凝土可以根据需要浇筑成任意的结构形状。通常能用就地浇注的施工方法建造钢筋混凝土的曲线桥、斜交桥等。

5. 整体性——由钢筋骨架与混凝土浇筑而成的钢筋混凝土构件整体性好,因而它是抵抗地震、车辆动力作用等的良好的抗震结构。

6. 在建造城市桥时,能与周围建筑物相协调,满足建筑艺术的要求。

(二)缺点

1. 钢筋混凝土桥梁最主要的缺点是自重大。通常结构本身的自重占全部设计荷载(包括恒载和活载)的 30% 至 60%。跨度愈大则自重所占的比值也显著增大。

2. 就地浇筑的钢筋混凝土桥施工工期长,桥下交通受到阻塞,特别是在深水大河中修建整体式钢筋混凝土桥梁时,支架和模板耗损木料很多,费用昂贵。

3. 在气候寒冷地区以及在雨季建造整体的钢筋混凝土桥梁时,在施工中会引起不少困难,混凝土质量也不易保证。除非采用蒸气养生以及防雨措施等,但这样会显著增加造价。

显然,上述的优缺点都是在与钢桥、石桥等其它种类桥梁比较而言的。目前,在我国为了节约钢材,在公路上极少修建钢桥,而且修建石拱桥又费工费时,还要受到桥位处地形地质的限制。因

此,在公路建设中,得到最为广泛推广的要算是钢筋混凝土和预应力混凝土结构,特别在公路上遇得最多的是跨越中小河流的情况,就需要建造大量的中小跨径的钢筋混凝土桥梁。

目前,在建造钢筋混凝土桥梁中,正在不断采用轻质和高强材料,并通过对结构的改进来克服自重大的缺点;在施工方面也已广泛采用预制装配式构件和现场安装的方法,这样既能显著节约支架模板材料,保证混凝土质量和缩短工期,又能避免严寒和雨季时对就地灌注大量混凝土所造成的困难。

§ 3 钢筋混凝土桥梁今后发展的主要途径

近年来国内外在钢筋混凝土桥梁建筑中,广泛采用预制装配结构,采用高强轻质材料,改进结构形式,加强理论研究,充分利用材料的力学性能,推广近代的先进施工方法,使钢筋混凝土桥梁的工程技术水平得到了迅速的提高。现将其今后发展的主要途径分述于下:

1. 最广泛地采用装配式桥梁结构,不但可大大加速桥梁的建造速度缩短工期,并且能大量节约支架模板等的材料消耗。特别是对于公路上最大量的中、小跨径桥梁,如采用标准划一的定型设计就可以充分地进行工业化生产,更有利于应用综合机械化施工,以提高工程质量,节约材料和劳动力并显著降低工程造价。在工厂或工场内集中生产装配式构件,可使桥梁建造不受季节影响而达到全年施工。

值得注意的是美国在 1969 年建成的一座规模很大的目前世界上最长的庞恰特莱因二桥,全桥包括 1526 孔跨度为 25.6 米的主孔,15 孔跨度从 12 至 23 米的引桥孔,以及两孔跨度较大的通航孔(桥宽 8.5 米),全长 38.4 公里,由于采用在钢筋混凝土工厂内整孔预制和在现场用大型吊机整孔安装(重 287 t)的施工方法,全桥只用 26 个月就建成通车。

2. 高强、轻质材料的发展,使钢筋混凝土桥梁减轻自重、增大