

预应力混凝土桁式组合拱桥的再应用

蔡亚玲, 杜斌

(贵州大学土木工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘 要:我国自创的桁式组合拱桥受到修建时代技术和材料的限制,使用到今天在构造上出现了许多问题,面临被拆的困境;UHPC 具有超高的力学性能,已在桥梁中得到初步应用。本文通过调研统计的方法,以时间线为主轴,从材料和结构方面入手,回顾了我国自古代到现代拱桥的发展历史,并在此基础上提出将 UHPC 应用至预应力混凝土桁式组合拱桥的建议,为预应力混凝土桁式组合拱桥的重新应用提供一种思路。

关键词:拱桥发展;UHPC;预应力桁式组合拱桥

中图分类号: U448.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 08—0158—03

中国拱桥的发展史是一部建筑材料的进步史。预应力混凝土桁式组合拱桥是我国自创的桥型,它有许多构造上的优越性。但由于当时建设预应力桁式组合拱时,为了追求经济性,将构件尺寸做得较小,再者受限于当时的施工水平及材料质量,导致现存的预应力桁式组合拱桥出现了许多病害。本文将在研究中国拱桥发展历史的基础上思考桁式组合拱桥的再利用问题,使桁式组合拱桥在现代材料的支持下重新焕发光彩。

1 中国拱桥的发展历程

中国拱桥发展到今天,已经从原始时期的自然倒下的树木、河流中凸起的石块、岸边生长的树藤演变成如今高大宏伟的混凝土拱桥、劲性骨架拱桥、钢拱桥等多种拱桥形式。笔者对我国各时间段具有代表性的拱桥进行了统计,得出了拱桥类型随时间演变的结果见图 1。

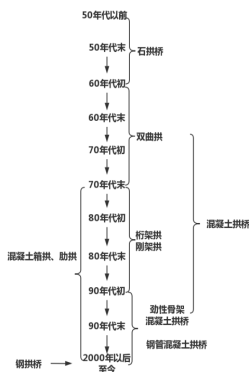


图 1 中国拱桥发展

1.1 石拱桥时代

在 20 世纪 50 年代以前至 60 年代,拱桥的主要修建材料是石料,其优点是取材方便,相对木桥更为耐久。据考证,中国最早的石拱桥出现在东汉时期(公元 25~220 年)。中国古代拱桥的桥墩和拱圈均建得比较

轻薄,有利于减轻结构自重,稳定墩基础。目前世界上历史最悠久且保存最完好的是我国河北的赵州桥,如图 2。



图 2 赵州桥

从 1952 年至 2002 年,我国相继建成了宝成铁路松树坡拱桥、小关沟拱桥,湖南黄虎港桥、武夷湖南凤凰河大桥等数十座具有跨径冲刺意义的石拱桥,具体见表 1。直到 2002 年,丹河新桥建成,全长 146 米,成为了中国跨度最大的石拱桥,自此,丹河新桥也成了世界上最大跨径的石拱桥^[2]。表 1 为具有代表性的石拱桥。

表 1 具有代表性的石拱桥

桥梁类型	桥梁名称	跨径 /m	建成年份
石拱桥	赵州桥	37.02	公元 605-615
	宝成铁路(松树坡和小关沟)	38	1952 年-1956 年
	湖南黄虎港桥	50	1959 年
	云南长虹桥	112.5	1961 年
	丰都九溪沟大桥	116	1972 年
	湖南凤凰乌巢河大桥	120	1991 年
	丹河新桥	146	2002 年

1.2 混凝土拱桥时代

1.2.1 探索期

20 世纪 50 年代末 60 年代初,钢材炼制技术逐渐发展,钢材成为重要建筑材料。但当时的中国正处于大动荡时期,国民经济紧张,钢材数量紧缺,大量建设钢筋混凝土梁式桥在我国是行不通的,我国由此进入了混凝土拱桥的探索时期。为了满足节省钢材及大规模进行社会主义建设的需求,1964 年,施工方便,造价低廉,节约工期的双曲拱被无锡的农村桥队发明出来,如图 3。

不过,双曲拱的结构有缺陷:主拱圈由构件拼接而成,整体性差,且截面受力复杂,联结水平低,容易产生病害,施工时间的长短因双曲拱部位的不同而有所不同,混凝土的龄期也有很大差异,如此会对结构产生不良附加应力。为了克服双曲拱构造上的缺点,同济大学于1970年创造了一种适合软土地基的桁架拱桥型,并于1981年在普通桁架拱桥基础上创新出了桁式组合拱结构。20世纪70年代后期,交通运输部科学研究院创造出了刚架拱桥这种新桥型。在20世纪70年代后期,我国还大量修建了预应力混凝土箱拱和肋拱。以1985—1998年期间最为迅速,后期增长趋势放缓。



图3 双曲拱桥

1.2.2 成熟期

20世纪90年代开始,随着我国社会主义建设成果初步显现,钢材数量及质量都得到了显著提升,自此我国开始修建劲性骨架混凝土拱桥。劲性骨架施工拱桥是指在事先形成的桁式拱骨架外分环分段浇筑混凝土,最终形成钢筋混凝土箱板拱或箱肋拱。

总的来说,20世纪60年代至90年代初,我国拱桥的主打桥型就是混凝土拱桥。其中60年代初至70年代末的主要桥型是双曲拱。桁架拱和刚架拱是70年代末到90年代初期的主要桥型。同时,从70年代开始,我国的预应力混凝土箱拱和肋拱也得到了长足发展。

1.3 钢材时代

与此同时,我国在90年代开始修建钢管混凝土拱桥。钢管混凝土拱桥的建设大概可以分为3个阶段:第一阶段是1990年到1994年的摸索阶段(9座),第二阶段是1995年到1999年的推广阶段(69座),第三阶段是2000年以后至今的全面应用阶段(346座)^[4]。自1991年我国首座钢管混凝土拱桥——四川旺苍东河大桥建成后,我国共修建了400多座钢管混凝土拱桥,跨径超过400米的有7座。中国钢拱桥的修建以2000年为界,2000年以前很少,2000年以后数量增多,但总数上还是远远不及钢筋混凝土拱桥和钢管混凝土拱桥。

1.4 新材料时代

目前除了钢材的应用,值得一提的就是超高性能混

凝土(UHPC)的应用,UHPC具有超高的力学性能,主要体现在超高抗拉强度和超高韧性,这依靠加入短纤维来实现。UHPC还具有高弹模、低徐变等突出优点。实验结果表明,UHPC经热养,后收缩基本为零,抗压强度通常在150MPa以上,非常适用于拱桥建设。

2 预应力桁式组合拱桥

2.1 预应力桁式组合拱桥的产生

预应力桁式组合拱是在连续桁架拱、一般桁架拱及桁式T构的基础上发展而来的新桥型。

连续桁架拱桥的本质是桁式刚构桥,内部超静定次数较高,温变内力太大,温变引起的上弦拉应力为恒载轴力的107%,引起的拱顶弯矩、轴力分别为恒载的45%和31%,所以受力上不可取,必须将上弦在某点断开;如果将上弦从墩台处断开,即为一般桁架拱,它的缺点是全部荷载交由拱脚承担,拱脚负担太重,除弯矩很大外,轴力也较其他桥型大;如果将上弦在跨中位置断开,即为桁式T构,又称拱桁梁。它在营运阶段仍保持两个半跨悬臂体系,活载和温变使上弦根部产生更大拉力,需要设置更多的永存预应力筋,而且,由于悬臂端部的竖向变位较大,会影响桥面的平顺进而影响行车的舒适性。

为了改善以上桥型的缺点,出于对桥型结构受力的合理性和施工阶段与营运阶段材料使用的协调性两个方面考虑,贵州省交通厅在1979年首次提出了一种新桥型的构想,既不像一般桁架拱在墩台处断开,也不像桁式T构在跨中断开,而是在墩台和跨中的一个合理位置断开,使由桥墩伸出的悬臂桁架和跨径中部的桁架拱串联起来,成为拱梁组合体系新桥型,即桁式组合拱,如图4。



图4 桁架拱之桁式组合拱(江界河大桥)

2.2 预应力桁式组合拱桥的优越性

相对于其他拱桥桥型,预应力桁式组合拱桥有着独特的优越性。

首先是受力性能上,较之箱型拱桥,拱上建筑与主拱圈联合受力,整体性好,纵横向刚度大,稳定性好。较之一般桁架拱,拱脚受力状况大为改善,恒载引起的

拱脚推力可减少 10% 左右, 弯矩可减少 40% 左右, 拱顶轴力可减小 20% 左右。且断缝处桁片高度较小, 对横向稳定较有利; 较之拱桁梁桥, 恒载引起的上弦根部拉力可减小 90% 左右, 可以大幅减小预应力筋用量^[6]。综上, 桁式组合拱桥的上弦根部、拱顶、拱脚等特征截面没有一处是处于最不利状况的, 桥梁荷载被均匀分布到上弦、斜杆、拱顶、拱脚等各个部位, 以上便是桁式组合拱桥力学性能上的主要优点^[7]。

其次是桁式组合拱桥的经济性。桁式组合拱桥由于拱上建筑联合作用较好, 且受力均匀, 所以各杆件的截面尺寸可以做得较小, 从而可以减小工程数量和结构自重^[8]。以 150 米跨径的桥梁为例, 国内外已建成的钢筋混凝土箱型拱的主拱圈高度一般在 2~3 米之间, 而桁式组合拱桥的下弦高度仅 1.5 米左右。同时, 上部构造的工程数量较同跨径的箱型拱桥可减少 30% 左右。

再就是桁式组合拱桥材料使用上的协调性。桁式桥梁在用桁架伸臂法施工时, 施工中稳定构件所需的上弦和斜拉杆即为结构永久性杆件, 能够显示出更大的优越性^[9]。另外, 桁式组合拱桥施工阶段和使用阶段杆件保持一致, 预应力钢筋用量也相近, 故施工阶段和使用阶段在杆件和材料的使用上能够保持很好的协调性。

最后是桁式组合拱桥的施工工艺, 目前所建成的桁式组合拱桥几乎都采用人字桅杆吊机进行施工。人字桅杆吊机具有结构简单、操作方便、起重量大、运转安全可靠等优点。人字桅杆的吊装设备较省, 以 150 米跨径的桥梁为例, 据统计, 人字桅杆吊机比缆索吊机减少施工用钢 80% 以上。

2.3 桁式组合拱桥消失的原因

近年来, 我国桁式组合拱桥新建数目寥寥无几, 甚至由于结构开裂等原因, 许多桁式组合拱桥都被拆除, 桁式组合拱桥在当今社会快要消失的原因如下: 首先, 此种桥型的修建是为了加快建设我国工业化水平而提出的, 我国当时工业水平低, 没有先进的生产技术, 桥梁建设所需钢筋、建筑材料以及施工设备等严重缺乏, 使修建的桥梁布筋少, 材料质量低, 致使该类桥梁出现了许多病害; 其次, 当时的设计交通量、桥面承载能力、桥面宽度均已无法满足现在的交通要求; 最后, 由于当时缺乏成熟的理论与技术支持, 缺乏设计经验, 而且该桥型是我国首创的桥型, 没有可供参考的已建桥梁, 也没有计算机辅助设计, 导致桥梁结构的部分位置设计受力与实际不符。

3 结论与展望

3.1 结论

总的来说, 我国拱桥从材料上经历了从石拱桥到钢筋混凝土拱桥再到钢管混凝土拱桥和钢拱桥的进步; 从结构上说, 在 20 世纪 60 年代初到 80 年代末, 受限於建筑材料的品质不高及产量不足, 智慧的中国人民自创发明了双曲拱桥、桁式组合拱桥及钢架拱桥这类既节省材料, 又能满足当时交通要求的新桥型。

桁式组合拱桥有着优越的受力性能及经济效益, 但受限於当时施工工艺及施工材料的限制, 导致许多桁式组合拱桥出现裂缝等病害, 面临被拆除的风险。

3.2 展望

我国桥梁实现跨径上的突破, 一般从结构和材料入手。在材料层面, 随着我国经济的高速健康发展, 目前建筑材料的质量已经大幅度提升。在结构层面, 曾经的预应力桁式组合拱具有优越的受力性能。如果能把今天的建筑材料应用到预应力桁式组合拱这种结构上, 例如将 UHPC 应用至预应力桁式组合拱的湿接缝和负弯矩区等特殊位置, 使其克服构造上的缺陷, 就能让预应力桁式组合拱焕发新的活力。这将为大跨径拱桥的建设提供新的思路。

参考文献:

- [1] 彭梦泽. 圬工拱桥计算方法研究 [D]. 武汉理工大学, 2008.
- [2] 沈昕. 温岭市跃进桥方案设计与结构优化分析研究 [D]. 浙江工业大学, 2014.
- [3] 陈方. 双曲拱桥加固 [J]. 公路与汽运, 2010(02):130-133.
- [4] 陈宝春, 韦建刚, 周俊, 刘君平. 我国钢管混凝土拱桥应用现状与展望 [J]. 土木工程学报, 2017, 50(06):50-61.
- [5] 郑皆连. 我国大跨径混凝土拱桥的发展新趋势 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2016, 35(S1):8-11.
- [6] 刘晓东. 目前桁式组合拱桥加固方法存在的误区剖析及加固方法探讨 [D]. 重庆交通大学, 2010.
- [7] 代璞. 既有桁式组合拱桥承载能力与损伤分析研究 [D]. 西南交通大学, 2005.
- [8] 何大学. 桁式组合拱桥受力特点及施工工艺浅析 [J]. 城市道桥与防洪, 2002(02):77-78+0.
- [9] 艾国志. 海儿洼预应力混凝土组合桁架拱桥介绍 [A]. 中国公路学会. 第二届全国公路科技创新高层论坛论文集 (上卷) [C]. 中国公路学会: 中国公路学会, 2004:4.

基金项目: 拱桥原桥位拆除重建综合解决方案研究 (2020-123-018)。