

文章编号: 0451—0712(2006)12—0038—04

中图分类号: U448. 22

文献标识码: B

钢管混凝土拱梁组合桥桥型分析

陈昀明, 杨亚林, 陈宝春

(福州大学土木建筑工程学院 福州市 350002)

摘 要: 在收集大量资料的基础上, 简要介绍了钢管混凝土下承式拱梁组合体系桥梁的发展概况, 对已建和在建实桥的结构与构造、施工方法等进行了统计分析, 为此类桥梁的设计与施工提供参考。

关键词: 拱梁组合桥梁; 钢管混凝土; 下承式; 分析; 设计; 施工

拱桥按照结构体系可以分为简单体系拱桥和拱梁组合体系桥。拱梁组合体系桥过去常用于钢拱桥之中, 对于钢筋混凝土拱桥由于拱肋自重较大, 无论是结构上还是施工上都存在着不小的困难, 所以采用较少。随着钢管混凝土在拱桥中的应用, 拱梁组合桥在我国得到了大量的应用, 尤其是在城市、平原和软弱地基桥位的中小跨径桥梁。本文在对这一桥型应用情况资料收集的基础上, 对其结构参数、主要构造等进行分析, 以供工程应用参考。

1 结构特点

在简单体系的拱桥中, 行车道系不参与主拱承受荷载, 只有主拱肋是全桥受力结构。拱梁组合桥是将行车道系与主拱按照不同的构造方式组合成整体, 共同承受荷载。系杆拱桥是最常见的一种拱梁组合桥, 当桥面高程受到严格限制而桥下又要求保证较大的净空, 或当墩台基础地质条件不良易发生沉降, 但又要保证较大跨径时, 系杆拱桥具有相对的优越性。根据拱肋和系杆相对刚度的大小, 系杆拱桥可分为柔性系杆刚性拱、刚性系杆柔性拱和刚性系杆刚性拱 3 种体系。对于后 2 种桥型, 由于在荷载作用下系杆还要承担一定的弯矩, 它又可称为系梁。在系杆拱桥中, 拱肋产生的推力全部或大部分由系杆承担, 系杆承受较大的轴向拉力^[1]。

钢管混凝土拱梁组合桥主要是刚(系)梁刚拱的组合体系^[2]。拱肋为钢管混凝土结构, 系梁为预应力混凝土结构。在拱脚处和端横梁固结, 结构不仅具有较大的竖向刚度, 而且存在更为强大的侧向刚度, 因

此能显著增强拱肋的空间稳定性^[4]。由于外部为静定结构, 下部结构类似梁桥受力, 可应用于软弱地基桥位处。当需采用多孔结构时, 它不存在连拱作用问题。但拱梁组合桥是内部超静定结构, 吊杆内力的大小直接影响着成桥时结构各部位特别是纵梁的线形和内力分布^[5]。吊杆的设计与施工、拱脚节点的处理、系梁预应力束的张拉调整以及支座的构造均是拱梁组合体系拱桥成桥技术的关键。

钢管混凝土在拱梁组合体系拱桥的应用, 不仅充分发挥了钢管混凝土抗压性能好的优点, 而且减轻了桥梁上部结构的自重, 大大提高了拱梁组合桥的跨越能力。同时, 拱肋采用钢管混凝土结构, 空钢管拱肋架设自重轻, 易于实现无支架施工或少支架施工。钢管混凝土拱梁组合梁以其结构轻盈、线形美观、造价经济等优点而在我国得到了蓬勃地发展, 尤其是在江南水网地带。

2 发展概况

本文共收集到跨径等于和大于 50 m 以上的钢管混凝土拱梁组合体系桥梁 59 座, 在具体分析时以已知该参数的桥梁为分析对象, 限于篇幅本文未将收集资料过程中所参考的文献一一列出。表 1 列出了我国已建和在建的 13 座跨径等于和大于 100 m 的钢管混凝土拱梁组合体系桥梁的简要情况。各桥例的具体情况可参见文献[6]~文献[14]。

图 1 表示出了钢管混凝土梁拱组合桥在我国的发展简况。从图中可以看出, 这种桥型的常用跨径范围在 50~150 m 之间。这主要是因为, 与相同跨径的

预应力混凝土梁桥相比,钢管混凝土梁拱组合体系桥梁不仅具有较大的跨越能力,而且上部结构施工方便,下部结构工程量较低^[4]。

表 1 跨径大于和等于 100 m 的钢管混凝土拱梁组合体系桥梁

序号	桥名	建成年份	跨径/m	矢跨比	拱轴线型	施工特点
1	河南郑州黄河二桥	2004 年	100	1/4.5	$m=1.347$ 悬链线	先梁后拱少支架
2	江苏宿豫运河项王大桥	2005 年	100			
3	陕西汉中桥闸工程大桥		100		悬链线	
4	江苏苏州斜港桥	1995 年	100.5	1/7	二次抛物线	先梁后拱少支架
5	海南琼州大桥	2003 年	108	1/4.5	抛物线	先梁后拱少支架
6	宣杭铁路东苕溪大桥	2005 年	112	1/5	$m=1.347$ 悬链线	先拱后梁缆索吊装
7	浙江宁波琴桥	2001 年	120	1/5	二次抛物线	先梁后拱少支架
8	浙江临海市灵湖大桥		120	1/5	二次抛物线	
9	宁杭高速溧阳南河大桥	2003 年	130	1/5	二次抛物线	先梁后拱少支架
10	无锡市南郊华清大桥	2005 年	132	1/4		
11	浙江嵊州市曹娥江大桥	2004 年	136	1/5	二次抛物线	先梁后拱少支架
12	杭州钱江复兴大桥	2004 年	190	1/4	二次抛物线	先拱后梁缆索吊装
13	辽宁丹东月亮岛大桥	2003 年	202	1/5.46	二次抛物线	先拱后梁三段拼装

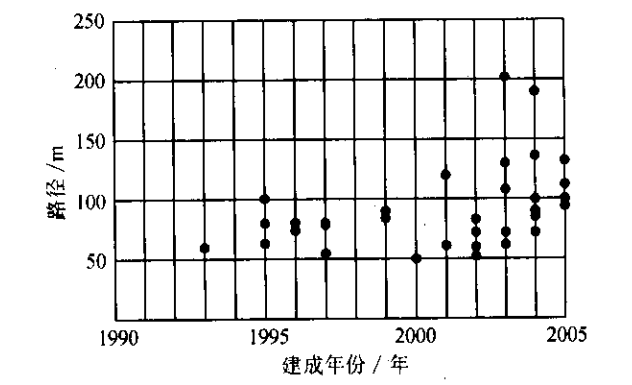


图 1 钢管混凝土拱梁组合体系桥梁的发展

3 施工特点

根据受力特性,钢管混凝土拱梁组合体系桥梁上部结构的施工主要有“先梁后拱”、“先拱后梁”和整体架设等。

“先梁后拱”主要应用于跨径不是很大的桥梁。据统计,在 40 座已知施工方法的钢管混凝土拱梁组合体系桥梁中,有 18 座采用了“先梁后拱”的施工方法。这种施工方法的关键是预应力系梁。系梁的施工与其他梁式桥相似,可采用有支架现浇或少支架拼装。有时系梁先架设肋性骨架,然后挂模板现浇混凝土。之后在系梁上架设空钢管拱肋,灌注管内混凝土和进行桥道系及其他施工。应该指出的是,采用肋性骨架施工系梁时会使结构的用钢量上升,箱形系

梁的壁厚增大,自重增大,且施工过程系梁的线型控制较为困难。

对于跨径较大、通行条件较高的桥梁,“先梁后拱”的施工方法中,系梁施工的难度增大,因此更多地采用“先拱后梁”的施工方法。杭州复兴大桥、辽宁丹东月亮岛大桥的上部结构施工就采用了“先拱后梁”的施工方法。这种施工方法先安装主拱肋,再利用主拱肋及柔性吊杆分段安装系梁。拱肋安装时要临时固定在墩台上,在系梁形成后再转换成永久支座。同时,在系梁发挥作用之前,拱所产生的水平推力要由下部结构承受,所以要求下部结构及基础的刚度较大,或要采用临时系杆。“先拱后梁”要求拱肋本身具有较大的刚度和较强的稳定性,系梁的高度相对较小。

桥梁施工方法的选择还必需考虑桥位的施工条件、施工的技术水平和施工设备等因素^[4]。对于钢管混凝土拱梁组合桥梁,当桥梁需跨越已建成高等级公路、水上交通繁忙的航道时,采用整体拖拉就位的无支架施工方法就可以大大降低对桥下通行、通航的影响^[16]。这种施工方法先将空钢管、系梁、临时横撑在桥梁的两岸形成空间骨架,然后再利用浮船等运输设备将结构整体安装在下部支承上。

我国的江南一带,河网众多,具有较好的浮运条件,因此有一些桥梁采用了这种施工方法,如江苏宿

迁泗阳二号桥、江苏京杭运河高邮二桥等。

4 结构与构造

4.1 拱轴线与矢跨比

钢管混凝土拱梁组合体系桥梁,由于具有较大刚度的系梁,桥面上荷载通过系梁均匀地分布到各吊杆再传递到拱肋,因此拱肋轴线一般设计为二次抛物线,使拱的受力状态达到最佳。在本文统计的已知拱轴线型的 40 座钢管混凝土拱梁组合体系桥梁中,有 33 座桥梁拱肋轴线采用了二次抛物线,比例超过了 80%。

钢管混凝土拱梁组合体系桥梁的矢跨比不宜取得过小。矢跨比越小,系梁配置的预应力束就越多,其截面尺寸也越大,桥面的建筑高度就越大,并且由活载引起的附加内力也越大。对于需布置横撑的桥梁,采用较大的矢跨比还对横撑的布置有利,不至于使过往的车辆和行人产生压抑感。根据本文的统计资料,钢管混凝土拱梁组合体系桥梁的矢跨比大都为 $1/5$,只有 7 座桥梁的矢跨比小于 $1/5$,其比例仅占已知矢跨比桥梁的 16%。

4.2 拱肋、系梁的截面设计

钢管混凝土拱梁组合体系桥梁的拱肋和系梁均承受弯矩和纵向力。荷载产生的弯矩是按拱肋和系梁两者刚度比进行分配的,因此拱肋、系梁截面设计的合理,不仅使拱肋、系梁受力均匀,用材经济,而且可以使全桥外形协调美观。系梁、拱肋截面一般设计成等宽;在靠近拱脚处,有些桥梁的系梁高度、宽度均变大,这样有利于两者的连接。图 2、图 3 是本文统计的双肋钢管混凝土拱梁组合体系桥梁跨径与拱肋、系梁的截面高度之比分布图。从中可以看出,钢管混凝土拱梁组合体系桥梁的拱肋高度与跨径之比一般在 $1/80 \sim 1/40$ 之间,而系梁的截面高度与跨径之比一般在 $1/60 \sim 1/30$ 之间。

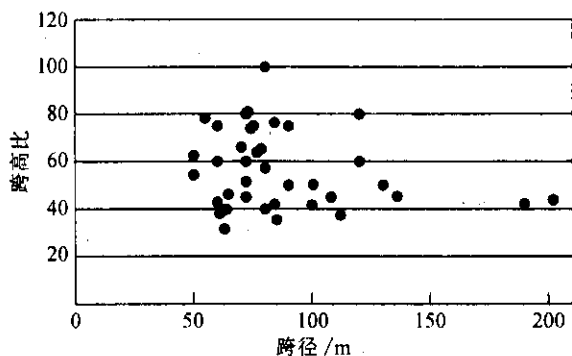


图2 跨径与拱肋高度比值分布

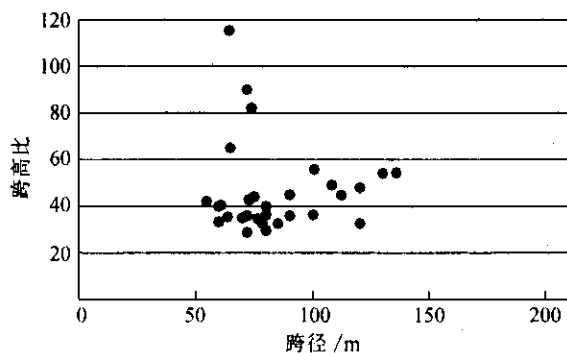


图3 跨径与系梁高度比值分布

4.3 吊杆的布置形式

拱梁组合体系桥梁是一种结构形式极富变化的桥式,拱肋、系梁、吊杆等主要受力构件均有多种布置形式。吊杆的布置形式一般有竖直吊杆、斜吊杆(尼尔森体系)、网状吊杆 3 种形式。钢管混凝土拱梁组合体系桥梁的吊杆一般竖直布置,斜吊杆、网状吊杆由于构造和施工均比较复杂,在我国应用很少,目前只有宣杭铁路东苕溪大桥采用了尼尔森吊杆体系。这种吊杆布置形式大大减小了拱肋和系梁的弯矩,能充分发挥拱梁组合体系拱肋受压的特点,缩小拱肋尺寸,节省材料^[1]。同时斜吊杆拱梁组合体系桥梁的刚度也较大,因此吊杆布置形式的优化是提高拱梁组合体系桥梁跨径的可能途径之一。

4.4 拱肋的横向布置^[4]

钢管混凝土拱梁组合体系桥梁拱肋与加劲纵梁的位置是相对应的,可以是单肋、双肋及多肋。拱肋的布置取决于道路横断面的布置,以及建筑高度的限制。单肋拱适用于道路有中央分隔带的情况,系梁一般采用具有较大抗扭刚度的箱梁,以消除活载偏载时的不利影响,如浙江义乌宾王大桥、浙江宁波琴桥。当道路横断面有人行道、机动车道、非机动车道总宽在 20 m 左右时,可采用双肋,将人行道外挑,这是钢管混凝土拱梁组合体系桥梁拱肋最常采用的布置方式。多肋式桥梁主要是为了压低拱肋、系梁及横梁的建筑高度,当横断面有中间隔离带,桥梁宽度较宽时,可以采取 3 肋,拱肋可以不设风撑,中肋可置于分隔带内,一般其截面尺寸要比边肋大;当道路横断面机动车、非机动车车道分离时,可采取 4 根拱肋,非机动车道设风撑,机动车道敞开,如嘉兴菜花泾桥。但是多肋钢管混凝土拱梁组合体系桥梁内力计算及吊杆的张拉均比较麻烦,因此较少采用。在特宽桥中,不少桥梁将横梁在中间断开,相当于 2 座独立的桥,如宁杭高速溧阳南河大桥、河南郑州黄河二桥等。

4.5 拱肋的横向联系^[2]

对于一般的钢管混凝土拱梁组合体系桥梁,合理布置拱肋间的横撑是保证拱肋横向稳定最可行的方法之一。此外,钢管混凝土拱梁组合体系桥梁的桥面系刚度较大,吊杆的非保向力作用可以大大提高结构的横向稳定性,因此在桥面较宽而跨径又不大时,出于经济和美观考虑,有部分桥梁取消了拱肋之间的横撑,成为敞口拱桥,如浙江义乌篁园桥、杭州新塘桥、温州南塘河桥等。无风撑拱桥一般通过提高拱肋截面自身的横向抗弯刚度来保证结构的面外稳定性。横向圆端形截面(浙江义乌篁园桥、杭州新塘桥、陕西宝鸡广元路渭河大桥)、横哑铃形截面(内蒙古呼和浩特金川大桥)等都是为提高拱肋自身横向抗弯能力而采取的截面形式。

结构体系的选择也是拱桥提高面外稳定性的重要途径。提篮拱桥不仅大大提高了拱的横向稳定,而且具有优美的建筑造型。与钢筋混凝土提篮拱桥相比,钢管混凝土提篮拱桥的施工更便捷,因此在中下承式钢管混凝土拱桥中出现了不少提篮拱桥。在钢管混凝土拱梁组合体的桥梁中,也有采用提篮式拱肋的桥梁,如宣杭铁路东苕溪大桥、无锡市南郊华清大桥,这 2 座桥拱肋内倾角度分别为 13° 和 14° 。

5 结语

钢管混凝土在桥梁上的应用,使拱梁组合体系桥梁在我国得到了长足的发展,钢管混凝土拱梁组合体系桥梁在结构体系和施工方法上都具备了较大的跨越能力。据不完全统计,钢管混凝土拱梁组合体系桥梁在钢管混凝土拱桥的比例已超过了 $1/4$,最大跨径已达 202 m ^[17]。本文在搜集资料的基础上,对这类桥型的结构受力特点、发展概况、施工方法和结构与构造等方面进行了分析,希望为其今后的应用与

发展提供参考。

参考文献:

- [1] 顾安邦. 桥梁工程(下册)[M]. 北京:人民交通出版社,2000.
- [2] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥设计与施工[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [3] 孟杰. 系杆拱桥结构体系研究[D]. 湖南大学,2002.
- [4] 金成棣. 预应力混凝土梁拱组合桥梁—设计研究与实践[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
- [5] 童林. 悬索线钢管混凝土拱梁组合体系及其吊杆张拉力计算研究[D]. 长沙理工大学,2003.
- [6] 杜英. 钢管混凝土系杆拱桥的设计与施工[J]. 桥梁建设,2005,(1).
- [7] 金晓思,金成棣. 跨径 100.5 m 简支梁拱组合桥梁的设计与研究[J]. 重庆交通学院学报,1998,17(2).
- [8] 容国开,云天炼,吴九懿,施耀忠. 海南琼州大桥总体设计[A]. 2002 年全国桥梁学术会议论文集[C]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [9] 张石波,康小英,周天喜. 宣杭铁路尼尔森体系提篮式系杆拱桥的设计[J]. 桥梁建设,2004,(1).
- [10] 袁方,龚仁明. 宁波大沙泥桥工程介绍[J]. 结构工程师,2000,(4).
- [11] 戴捷,王立新. 南河大桥设计与施工[J]. 公路,2005,(3).
- [12] 宋宏坤. 大跨度下承式钢管混凝土拱桥刚性系梁综合施工技术[J]. 铁道标准设计,2005,(5).
- [13] 赵林强,许荣华,郑宪政. 杭州市钱江四桥总体设计[J]. 桥梁建设,2004,(1).
- [14] 高明春. 丹东月亮岛大桥的施工技术[J]. 北华大学学报,2005,6(4).
- [15] 邓思民,过震文. 乌镇路桥上部结构施工方案比较及施工实践[J]. 辽宁交通科技,2002,25(5).
- [16] 蒋正国,向彤,杨耀铨. 泗阳二号桥设计[J]. 桥梁建设,2001,(4).
- [17] 陈宝春,杨亚林. 钢管混凝土拱桥应用概况分析[A]. 中国公路学会桥梁和结构工程学会 2005 年全国桥梁学术会议论文集[C]. 北京:人民交通出版社,2005.

Analysis of Arch-Girder Combination Bridges with Concrete-Filled Steel Pipe

CHEN Yun-ming, YANG Ya-lin, CHEN Bao-chun,

(College of Civil Engineering and Architecture, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: On the basis of collecting a lot of informations, the development of arch-girder combination bridges with concrete-filled steel pipe is briefly introduced. The structures and construction methods of completed bridges and bridges under construction are statistically analyzed, they can provide the reference for design and construction of this kind of bridges.

Key words: arch-girder combination bridge; concrete-filled steel pipe; through; analysis; design; construction