

钢管混凝土有推力中承式拱桥桥型分析

彭桂瀚, 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, 简要介绍了有推力钢管混凝土中承式拱桥的发展概况, 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, 可为此类桥梁的设计与施工提供参考。
关键词: 中承式钢管混凝土拱桥; 有推力; 分析; 设计; 施工

拱桥按车承形式可分为上承式、中承式和下承式。中承式和下承式拱桥过去常出现在钢拱桥中, 钢筋混凝土拱桥以上承式为主, 中下承式应用较少。钢管混凝土拱桥在城市、平原和软弱地基桥位应用较多, 因此采用中下承式的较多。钢管混凝土中承式拱又可分为有推力拱和无推力拱(飞鸟式), 而以有推力拱为主。据不完全统计, 在所有跨径大于或等于100 m 的钢管混凝土拱桥中, 有推力中承式拱桥的比例达到了47%。在我国33座跨径大于或等于200 m 的钢管混凝土拱桥中, 有16座采用了中承式有推力拱^[1], 其中跨径最大的巫山长江大桥, 跨径为460 m, 也是钢管混凝土拱桥中跨径最大的一座。因此, 无论从数量上还是从跨径上, 有推力的中承式

拱都是钢管混凝土拱桥中最重要的桥型。为此, 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 发展概况

本文共收集到跨径等于或大于50 m 以上的有推力钢管混凝土中承式拱桥72座, 在具体分析时, 以已知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16座跨径等于或大于200 m 的有推力钢管混凝土中承式拱桥的简要情况。各桥例的具体情况可参见文献[3]~文献[14]。

表1 跨径大于或等于200 m 的有推力钢管混凝土中承式拱桥

序号	桥名	建成年份/年	跨径/m	矢跨比	拱轴线	施工方法
1	湖北秭归龙潭河大桥	1999	200	1/4. 935	三次样条函数	斜拉悬臂拼装
2	重庆合川嘉陵江大桥	2002	200	1/4	$m=1.6$ 悬链线	斜拉悬臂拼装
3	张家界王村西水河大桥	2003	200	1/5	$m=1.543$ 悬链线	斜拉悬臂拼装
4	广西六景郁江大桥	1999	220	1/5	$m=1.543$ 悬链线	斜拉悬臂拼装
5	浙江铜瓦门大桥	2001	238	1/4. 823	修正二次抛物线	斜拉悬臂拼装
6	贵州落脚河大桥	1998	240	1/4		
7	浙江三门健跳大桥	2001	245	1/5	二次抛物线	斜拉悬臂拼装
8	湖北秭归青干河大桥	2002	256	1/4. 945	三次样条函数	斜拉悬臂拼装
9	宜宾市金沙江戎州大桥	2004	260	1/4. 5	$m=1.4$ 悬链线	斜拉悬臂拼装
10	广西三岸邕江大桥	1998	270	1/5	$m=1.167$ 悬链线	斜拉悬臂拼装
11	浙江象山三门口北门大桥	2006	270	1/5	$m=1.543$ 悬链线	斜拉悬臂拼装
12	浙江象山三门口中门大桥	2006	270	1/5	$m=1.543$ 悬链线	斜拉悬臂拼装
13	浙江淳安县南浦大桥	2003	308	1/5. 5	$m=1.167$ 悬链线	斜拉悬臂拼装
14	广西南宁永和大桥	2004	335. 4	1/4. 5	四次抛物线	斜拉悬臂拼装
15	安徽黄山太平湖大桥	在建	336	1/4. 94	$m=1.55$ 悬链线	斜拉悬臂拼装
16	四川巫峡长江大桥	2005	460	1/3. 8	$m=1.55$ 悬链线	斜拉悬臂拼装

拱圈的轻型化和极佳的建筑造型, 使有推力的钢管混凝土中承式拱桥在我国得到了广泛的应用。图 1 表示出了这种桥型的发展概况。从图中可以看出, 随着钢管混凝土拱桥研究的不断发展, 有推力钢管混凝土中承式拱桥无论在数量还是跨径上都有了明显的增长。具有代表性的桥梁主要有: 1991 年建成的广东高明大桥, 跨径为 100 m; 1994 年建成的浙江省新安江望江大桥, 跨径为 120 m; 1999 年建成的广西六景郁江大桥, 跨径为 220 m; 2004 年建成的南宁永和大桥, 跨径为 335.4 m; 2005 年建成的四川巫峡长江大桥, 跨径为 460 m。其中, 巫峡长江大桥跨径在所有钢管混凝土拱桥之中列第一位。

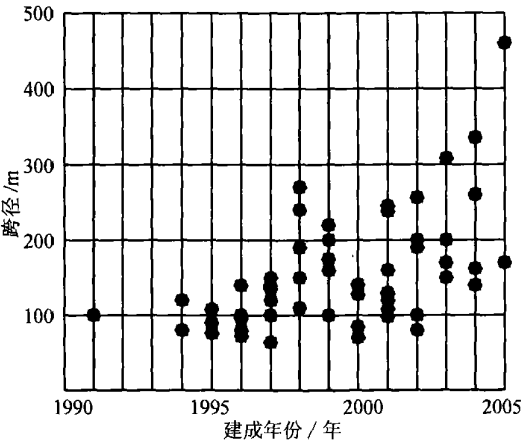


图 1 钢管混凝土中承式拱桥的发展

2 结构与构造

2.1 主拱结构

钢管混凝土中承式拱桥, 作用在拱肋上的荷载比较均匀, 因此, 拱轴线大都采用抛物线和低拱轴系数的悬链线。在本文统计的钢管混凝土中承式拱桥中, 拱轴线均为抛物线或悬链线(包括悬索线^[15])。其中, 拱轴线采用抛物线的桥梁有 23 座; 采用悬链线的桥梁有 33 座, 图 2 是这 33 座桥梁拱轴系数与跨径的关系图, 这些桥梁的拱轴系数分布在 1.167 ~ 1.752 之间, 大部分桥梁的拱轴系数在 1.347 ~ 1.543 之间。

钢管混凝土中承式拱桥拱轴线无论是采用抛物线还是悬链线, 其拱脚负弯矩一般比较大。对这一问题的处理, 在设计中主要有如下 4 种处理方法: (1) 加厚拱脚段的钢管壁厚; (2) 拱脚段全截面填充混凝土; (3) 拱脚段外包混凝土; (4) 增大拱脚截面高度。

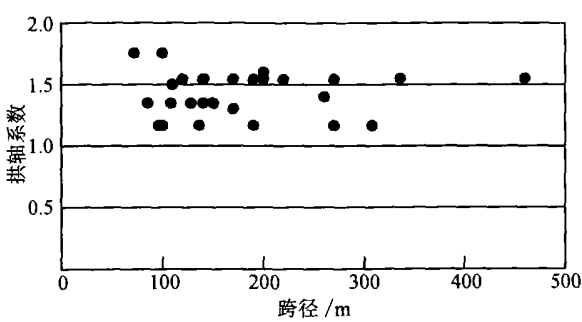


图 2 跨径与拱轴系数的关系

第 1 种处理方法施工方便易行, 如淳安南浦大桥、黄山太平湖大桥; 第 2 种方法在钢管混凝土中承式拱桥中应用得不多, 在本文统计的 72 座桥梁中仅有青海公伯峡大桥、吉林松原公铁立交桥、延吉延河大桥的拱脚段采用了这种处理方法; 采用第 3 种处理方法可对拱脚段的钢管起到防腐作用, 如宜宾金沙江戎州大桥、浙江三门健跳大桥等; 第 4 种方法施工比较麻烦, 但是在大跨径桥梁中, 不少桥梁采用了这种处理方法, 巫峡长江大桥、南宁永和桥等桥梁就采用了变高度拱肋截面。

矢跨比是拱桥的重要参数之一。钢管混凝土中承式拱桥选择合适的矢跨比不仅可以使桥面系与拱肋的相对位置合理, 造型美观, 而且有利于横撑的布置。图 3 是矢跨比的分布图, 从中可以发现有不少的桥梁矢跨比是在 0.25 ~ 0.2 之间。

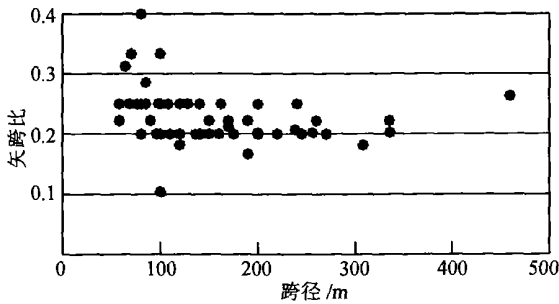


图 3 跨径与矢跨比的关系

2.2 墩台与基础

钢管混凝土中承式拱桥的墩台除要承受竖向压力和弯矩外, 还要抵抗拱产生的水平推力, 故其墩台的尺寸一般较大。当桥位处于库区、峡(河)谷时, 两岸往往具有比较好的天然地基, 很多桥梁直接将桥台或拱座置于基岩上, 如巫峡长江大桥、石潭溪大桥、青海公伯峡黄河大桥等; 当桥位处于城市平原地区时, 钢管混凝土中承式拱桥的桥台大都采用重力

式桥台或组合式桥台,基础采用扩大基础,如宜春袁州大桥、柳州文惠大桥等;部分桥梁基础采用了钻孔灌注桩,如黑石铺湘江大桥、湖南益阳资江三桥;个别桥梁还采用了部分斜桩和竖直桩结合的基础来抵抗拱产生的水平推力,如秭归青干河大桥、四川德昌安宁河大桥。

墩台基础的设计应综合考虑实际的地质条件、通航等因素,使桥梁的下部结构既满足受力要求,又能使造价最经济。对多孔钢管混凝土中承式拱桥墩台,如果相邻孔恒载推力基本平衡,设计时一般只考虑施工荷载和单边最不利活载。有一些桥地基较好且桥墩不高,则不考虑连拱作用或仅考虑很小的连拱作用,将下部结构和基础设计得刚度比较大,如重庆合川嘉陵江大桥、依兰牡丹江大桥等。

2.3 多跨桥的主边跨设计

钢管混凝土在拱桥中的应用,使多跨连拱的长拱桥在我国得到了比较大的发展,其中以多跨中承式拱桥应用最多。在本文统计的钢管混凝土中承式拱桥中,有 19 座桥梁采用了多孔拱桥体系,其比例超过了 1/4。其中,重庆合川嘉陵江大桥的跨径最大,主跨达到了 200 m。在这 19 座桥梁中,有一部分桥梁是中承式拱桥用在主跨,边跨配上承式,跨径小,边孔小跨采用小的矢跨比和较大的恒载集度来解决不等跨的不平衡推力问题,如柳州文惠大桥、安溪铭选大桥等,结构型式如图 4(1)所示。这样处理比较经济,且总体造型上主孔中承式位于广阔的江中,视野开阔,不会造成与沿江建筑物相拥挤的感觉,又由于边孔的衬托,显得主孔雄伟壮观,车行其间,有出入门户的感觉,往往成为城市标志性建筑。

另一部分桥梁的边跨也采用中承式,多采用比主跨小的跨径,如浙江新安江大桥、江山城中大桥等,结构型式见图 4(2)。这类桥梁的主边跨必需选择合适的比例,才能产生比较好的立面效果,而且横桥向拱肋、横撑较难处理,容易产生杂乱的感觉^[3]。也有中间两个主跨采用相同跨径的中承式,其余边跨为上承式,如依兰牡丹江大桥。此外,还有一些多跨拱桥,中间几跨为中承式钢管混凝土拱,边跨为上承式钢筋混凝土拱,如黑石铺湘江大桥、湖南益阳资江三桥等。

2.4 拱肋桥面相交处设计

为避免桥面板参与拱肋作用而受到拉力作用,钢管混凝土中承式拱桥一般在桥面系与拱肋的相交处设有固定横梁,固定横梁处承受桥面板自重及由

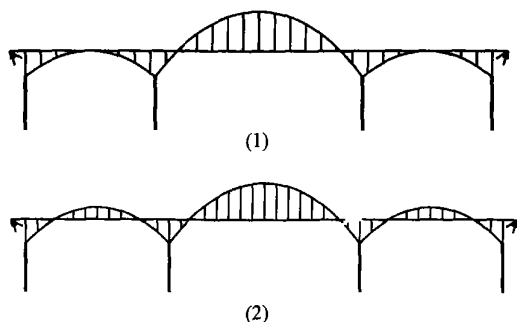


图 4 中承式拱

桥面板传来的竖向荷载外,还起到拱肋间的横向联系作用,受力和几何构造均较为复杂。两端的桥面板通过支座搁置在固定横梁上,拱肋与桥面的相交处设置一道伸缩缝。这种设计方法在钢管混凝土中承式拱桥应用得最多。

部分桥梁为保持拱跨的桥面连续,不设固定横梁,桥面板一端放在吊杆横梁上,一端放在立柱横梁上,桥跨在立柱横梁处设伸缩缝。青海公伯峡大桥、江西瓷都大桥的拱肋与桥面相交处均采用这种处理方式。

3 施工方法

施工工艺是影响钢管混凝土拱桥超大跨化的关键因素之一。钢管混凝土拱桥主要的施工方法有支架施工、转体施工、斜拉悬臂拼装施工。支架施工法通常在拱肋离地面不高、桥下无水或水位不深的施工条件较好的情况下采用。平面转体施工适用于单跨施工,竖向转体施工要求桥下具有一定的拼装场地。斜拉悬臂拼装法特别适合于跨越峡谷或水深较深的大跨径拱桥施工^[17]。由于要考虑上承部分的施工,钢管混凝土中承式拱桥的拱肋架设,很多采用缆索吊装、斜拉悬臂拼装的施工方法。对多孔长拱桥,斜拉悬臂拼装方案的竞争力优于转体施工和支架施工方案。在已知施工方法的 55 座桥梁中,有 44 座桥梁采用了斜拉悬臂拼装架设拱肋,5 座桥梁的拱肋架设采用了转体施工,采用支架施工和其他施工方法架设拱肋的桥梁各有 2 座。施工方法的多样性也表明施工方法的选择应根据实际的桥梁布置和施工条件确定。

4 结语

钢管混凝土中承式拱桥已成为我国大跨径桥梁设计方案优先考虑的桥型之一。在山区地区,它能以

较大的跨径一孔跨越河道峡谷, 充分利用两岸良好的地质条件, 降低工程造价。在城市平原地区, 它又能充分发挥造型美观, 与周围环境协调, 降低桥面标高等优势。本文在搜集资料的基础上, 对这类桥型的发展概况、结构与构造和施工方法等方面进行了分析, 希望为其在今后的应用与发展提供参考。

参考文献:

- [1] 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]. 2005.
- [2] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥发展综述[J]. 桥梁建设, 1997, (2).
- [3] 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.
- [4] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥实例集(一)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [5] 何雨微, 刘三元, 张开银. 龙潭河大桥缆索吊装塔架扣架一体化施工技术[J]. 长沙交通学院学报, 2000, 16(4).
- [6] 彭跃飞, 康丹. 王村大桥缆索吊装方案选择[J]. 中南公路工程, 2003, 28(1).

- [7] 蔡清香. 广西六景郁江大桥—钢管混凝土中承式拱桥设计[A]. 1999 年全国桥梁学术会议论文集[C]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [8] 张哲, 颜娟, 黄才良. 象山铜瓦门大桥设计构思[J]. 华东公路, 2002, (1).
- [9] 彭卫. 健跳大桥技术设计[J]. 桥梁建设, 2000, (3).
- [10] 李亚东, 李元兵, 耿德云. 宜宾金沙江戎州大桥施工稳定性分析[J]. 桥梁建设, 2004, (5).
- [11] 徐建达, 孙炳南, 吴明. 浙江淳安南浦大桥稳定试验的探讨[J]. 浙江交通职业技术学院学报, 2002, 3(4).
- [12] 孙敦华. 太平湖大桥初步设计[J]. 公路交通科技, 2004, (8).
- [13] 毛志坚, 谭立心, 郑全跃. 南宁永和大桥钢管拱安装方案比选[J]. 桥梁建设, 2004, (3).
- [14] 肖军良. 大跨度钢管混凝土拱桥施工方法的研究[D]. 2003.
- [15] 童林, 周兴国, 上官兴. 拱轴线的新型式—悬索线[J]. 城市道桥与防洪, 2004, (1).
- [16] 彭卫, 陈云峰, 杜时贵. 中承式钢管混凝土拱桥的优化设计[J]. 中国公路学报, 1999, (S1).
- [17] 王道斌, 李华, 武兰河. 钢管混凝土拱桥施工技术综述[J]. 国外桥梁, 2001, (1).

Analysis of Thrust Half-Through Arch Bridges with Concrete-Filled Steel Pipe

PENG Gui-han, 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 thrust half-through arch bridge 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: half-through arch bridge with concrete-filled still pipe; thrust; analysis; design; construction