

文章编号: 0451-0712(2006)04-0099-05

中图分类号: U448.53

文献标识码: B

钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥型分析

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: 简要介绍了钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥的发展概况,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,为此类桥梁的设计与施工提供参考。

关键词: 钢管混凝土; 下承式; 刚架系杆拱; 设计; 施工; 分析

钢管混凝土拱桥最早出现在前苏联,从 20 世纪 90 年代起在我国得到了迅速发展。钢管混凝土拱桥以中下承式为主,有推力拱和无推力拱均占相当比重。无推力拱又分拱梁组合体系和刚架系杆拱,但以刚架系杆拱为主。刚架系杆拱由于系杆的存在,降低了对下部结构和基础的要求,使拱桥的应用范围从山区扩大到了平原和城市。在地基条件和建筑标高受限制的桥位,钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥以其造型美观、构造简洁、施工快捷、桥面建筑高度小和对不良地质条件的良好适应性而在我国得到大量

推广应用。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

刚架系杆拱是在钢管混凝土拱桥中出现的新桥型。与拱梁组合体系不同,刚架系杆拱中拱肋与桥墩固结,不设支座,采用预应力钢绞线作为拉杆来平衡拱的推力,拉杆独立于桥面系之外,不参与桥面系受力,而桥面系为局部受力构件不参与结构整体受力。

收稿日期:2005-09-23

(3)原浆 1 000 g+纯碱(Na_2CO_3) 1 g+膨润土 10 g+CMC 0.4 g。
搅拌 10 min 后测得泥浆指标如表 6。

表 6 调整后 62 号墩 C 桩泥浆性能指标

原浆	比重 g/cm ³	粘度 Pa·s	含砂率 %	pH 值	胶体率 %
1 000 g	1.2	19.5	4	9	96

注:胶体率隔 24 h 后测定。

从上述实验得知:利用第 3 种试配的方案效果比较理想。

3.2 分析结论

第 1 种试配加 Na_2CO_3 会增加 pH 值,增加护壁张力,但没有增加泥浆中本身的胶体颗粒,故粘度增加不大。

第 2 种试配在先加 Na_2CO_3 基础上,添加膨润土主要是增加造浆材料,使泥浆中泥浆颗粒增加,胶体率从原先的 60%增加到 85%。从实验中看到膨润土

颗粒还没有完全溶于原浆体中。

第 3 种试配在第 2 种配合比的基础上再添加 CMC,它不仅使泥浆粘度增加,还使胶体率也增加到 96%,效果相当理想。在常温的水中分散性好,并且有较好的稳定性、流变性,所形成的胶体稳定性好,粘度不易降低。

4 结语

泥浆是大桩径或深桩在钻孔过程中,必须控制的关键点,若控制不好,会出现塌孔、漏浆、沉淀过快、沉渣过厚等等。A 桥在完成的桩基础中,通过无破损检测的桩共有 80 根,其中 I 类桩比例占 82%,II 类桩占 18%,合格率为 100%,达到预期的效果。

参考文献:

[1] JTJ 041-2000,公路桥涵施工技术规范[S].
[2] 交通部第一公路工程总公司.桥涵[M].

这种结构由于拱和墩连接处为刚结点,属刚架结构,又带有系杆,故称之为刚架系杆拱。

刚架系杆拱为超静定结构,桥梁上部、下部以及基础甚至地基连成一体,结构的超静定次数较多,受力复杂。由于其系杆刚度与拱梁组合体系中的系杆梁刚度相比小很多,特别对于大跨径桥梁,系杆拉力增量将产生很大的变形,而拱肋、系杆和墩柱固结在一起,根据位移变形协调条件,拱的水平推力的增量主要由桥墩和拱肋自身承受,因而考虑系杆变形后它是有推力的结构。系杆的作用是对拱施加预应力以抵消拱的大部分水平推力(主要是恒载产生的水平推力),因此通常把系杆看成预应力体外索。除去系杆承受的水平推力后余下的拱的水平推力一般来

说不大,还可以通过适当的超张拉给予最大限度地减小,从这个角度可以看成无推力拱。

下承式刚架系杆拱是一种自平衡的桥梁,与连续梁、连续刚构和斜拉桥相比,它无需副跨,又能有较大的跨越能力,因此在跨越铁路、公路和运河桥中,具有很强的竞争力。河南安阳文峰路立交桥、锡宜高速跨京沪铁路大桥、济南东立交桥、深圳北站大桥等均选用了这种桥型。

钢管混凝土下承式刚架系杆拱一般为单跨,但也有两跨或三跨连续的,如东莞鸿福路大桥为两跨式,而兰州雁盐黄河大桥和深圳芙蓉大桥为三跨式。各种结构型式见图1所示。

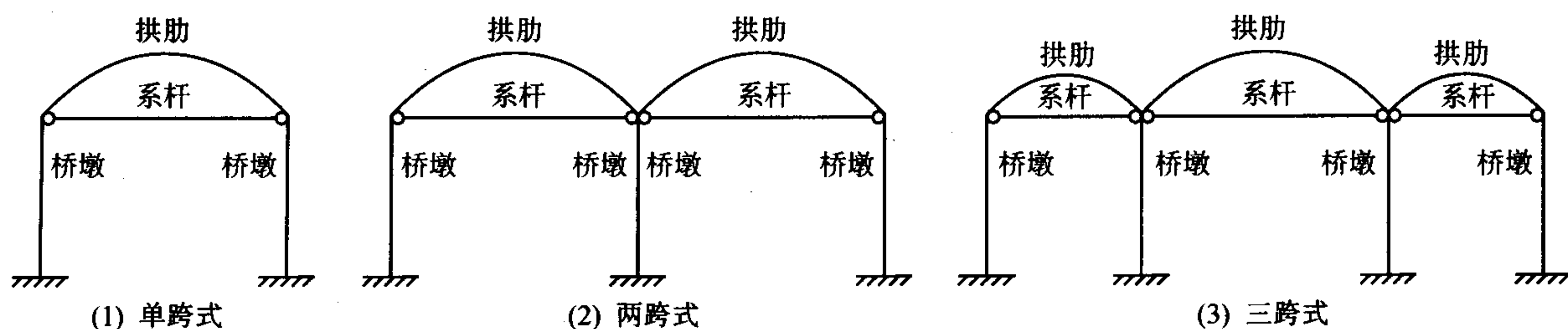


图1 钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥结构型式

2 发展概况

我国建成的第一座钢管混凝土拱桥——四川旺苍东河大桥也是第一座下承式刚架系杆拱。本文所收集到的27座已建、在建跨径等于或大于50 m的钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥的简要情况见表1,各桥的具体情况详见参考文献[4]~文献[17]。

图2反映了钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥的发展情况。随着对钢管混凝土结构、预应力技术应用研究的不断深入,这种桥型在我国桥梁工程中的应用也越来越广泛。据统计,钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥占有钢管混凝土拱桥的13%,它已成为我国钢管混凝土拱桥的主要桥型之一。

在跨径方面,最早建成的四川旺苍东河桥,跨径为115 m;2000年建成的武汉汉江三桥的跨径达280 m,是这类桥梁中跨径最大的一座。尽管最大跨径有了很大的提高,然而从图2可以看出,下承式刚架系杆拱常见的跨径是在80~150 m之间,它们在表1统计的27座桥梁中占有23座,占85%。

3 施工方法

钢管混凝土拱桥属自架设体系,先架设空钢管

拱,再灌注管内混凝土,然后上横梁、纵梁等桥面系构造,最后进行桥面铺装和人行道、栏杆等附属物施工。刚架系杆拱在系杆张拉前的水平推力由拱和下部结构承担。因水平位移对拱的受力的不利影响很大,通常要求下部结构有较大的抗推刚度、承受大部分的水平推力。钢管混凝土拱先期架设的空钢管拱的自重较轻,通常情况下其恒载水平推力较小,可以由下部结构承受。但此后加上的恒载,如横梁、纵梁、桥面铺装等自重,应由系杆承受。也就是说系杆应随着上部结构的施工逐步张拉^[2]。在实际的施工过程中,系杆的张拉以控制墩顶的水平位移为主,并参考设计提供的系杆张拉力和伸长量,随着恒载的不断增加逐步张拉。

钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥的施工可以像固定拱一样采用无支架施工,因而桥梁的跨越能力也较大,更能发挥钢管混凝土拱桥无支架施工的优势。表1的统计桥梁中,有15座桥梁的拱肋架设采用了缆索吊装,拱肋架设采用转体施工和支架施工的桥梁各有3座。拱肋施工方法应根据桥位的实际条件进行选择,如广东广州解放大桥、锡宜高速跨京杭运河大桥采用浮船整体吊装拱肋;莆田的阔口大桥采用水上浮托架设拱肋。

表 1 钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥

序号	桥 名	建成年份/年	跨径/m	矢跨比	拱轴线型	施工方法
1	锡宜高速跨京沪铁路大桥	2002	75	1/5	二次抛物线	缆索吊装
2	福建福鼎桐山大桥	2003	51+75+51	1/5	二次抛物线	缆索吊装
3	深圳芙蓉大桥	2000	55+80+55	1/5	二次抛物线	支架施工
4	广东广州解放大桥	1997	55+83.6+55	1/5	二次抛物线	浮船整体吊装
5	福建安溪兰溪大桥	1999	80	1/5	二次抛物线	缆索吊装
6	福建福鼎山前大桥	2000	80	1/5	二次抛物线	缆索吊装
7	青银高速青岛城阳立交桥	2001	80	1/5	二次抛物线	
8	福建泉州百琦湖大桥	2007	51+80+51	1/5	$m=1.167$ 悬链线	缆索吊装
9	济南东站立交桥	1998	90	1/5	$m=1.167$ 悬链线	转体施工
10	锡宜高速跨京杭运河大桥	2002	90	1/5	二次抛物线	浮船整体吊装
11	浙江绍兴柯桥	1994	92	1/4	二次抛物线	
12	福建莆田阔口大桥	2004	99	1/5	二次抛物线	浮船整体浮托
13	温州永嘉县楠溪江三桥	1999	105	1/5	$m=1.1$ 悬链线	缆索吊装
14	广东南海佛陈大桥	1994	112.8	1/5	$m=1.167$ 悬链线	缆索吊装
15	四川旺苍东河大桥	1990	115	1/6	$m=1.347$ 悬链线	缆索吊装
16	南昌市墨山立交桥		120	1/5	$m=1.186$ 悬链线	转体施工
17	湖北鄂州武昌鱼桥	2003	120	1/6	悬链线	
18	东莞鸿福路大桥	2003	125+125	1/5	$m=1.1$ 悬链线	支架施工
19	兰州雁盐黄河大桥	2003	85+127+85	1/5	二次抛物线	缆索吊装
20	东莞大汾北水道桥	2005	128	1/5	$m=1.167$ 悬链线	缆索吊装
21	四川成都青龙场立交桥	1997	132	1/5	$m=1.347$ 悬链线	支架施工
22	河南安阳文峰路立交桥	1995	138	1/5	$m=1.05$ 悬链线	转体施工
23	四川峨边大渡河桥	1995	140	1/5	$m=1.352$ 悬链线	缆索吊装
24	广东深圳北站大桥	2000	150	1/4.5	$m=1.167$ 悬链线	缆索吊装
25	四川乐山沙湾名城大桥	1998	150	1/5		缆索吊装
26	湖南衡阳衡酃路跨火车站桥		168	1/4.5	$m=1.05$ 悬链线	缆索吊装
27	湖北武汉汉江三桥	2000	280	1/5	$m=1.543$ 悬链线	缆索吊装

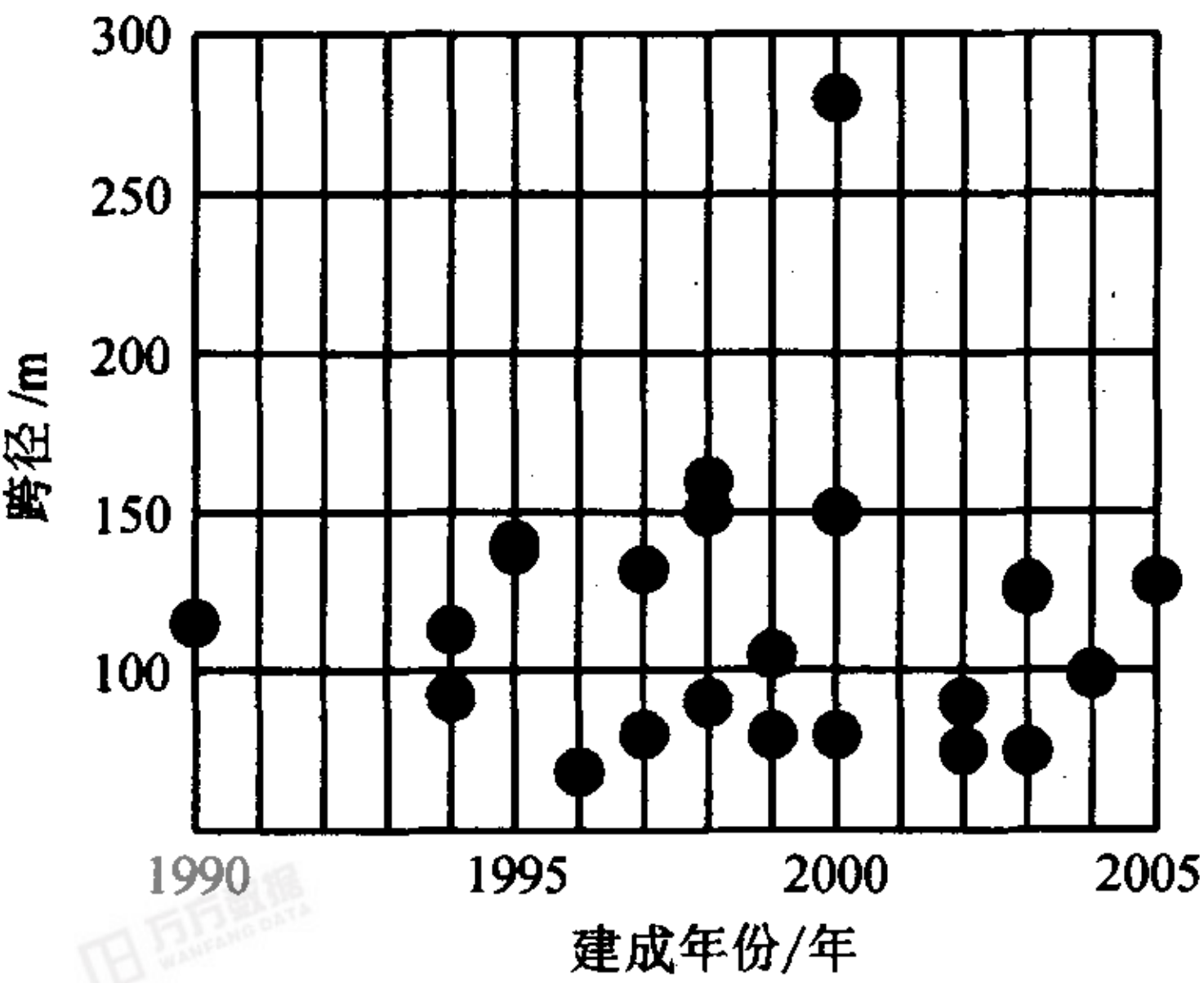


图 2 钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥的发展

施工技术是影响大跨径钢管混凝土拱桥发展的重要因素,对钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥而言,拱肋的架设和系杆的张拉是成桥技术的关键。对多跨连续的钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥,系杆的张拉过程更是复杂。

此外,近期出现的一些大跨宽桥,由于桥面纵坡的存在,使得系杆较难在横梁架设之前安装,因而在横梁架设之前的恒载水平推力要靠桥墩来抵抗。对于宽桥,横梁的自重桥梁恒载中所占比重很大,尤其是混凝土横梁,这就使得桥梁基础工程量急增,未能充分发挥这类桥型对下部结构和基础要求低的优势。因此如何解决这一问题,是这一桥型应用与发展

的关键之一^[2]。

4 结构与构造

4.1 主拱结构

拱轴线形状直接影响拱肋截面内力的分布和大小。表1统计的桥梁中有11座桥梁的拱轴线为二次抛物线,拱轴线采用悬链线的桥梁有15座。这15座采用悬链线拱轴线的桥梁中,有2/3桥梁的拱轴系数在1.05~1.2之间,最大的拱轴系数为1.543。拱圈采用抛物线拱,拱的受力均匀,但拱脚的恒载负弯矩偏大,这在设计、施工上可以采取相关措施解决;拱圈采用悬链线拱,随着拱轴系数的增大,拱脚恒载负弯矩减小,但拱顶恒载正弯矩增大,且拱肋受力不均,设计与施工上比较难以处理^[18]。钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥,桥面系重量全部通过均匀分布的吊杆传递给拱肋,拱肋承受着沿跨径方向近似均布的荷载,因此其拱轴线的线型选择应该是二次抛物线或拱轴系数较低的悬链线。

矢跨比对结构整体受力与拱肋截面设计影响很大。在本文统计的钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥中,矢跨比采用最多的是1/5,有22座;矢跨比采用1/4的桥梁有1座;矢跨比采用1/4.5、1/6的桥梁各有2座。钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥由于受桥面净空高度所限,不能布置太多的横撑,选择合适的矢跨比将对全桥的整体稳定、经济性能带来益处。

4.2 系杆

系杆是承担这类拱桥在荷载作用下产生的大部分推力的重要结构,直接影响桥梁的使用性能。系杆一般置于横梁之上,桥面系表层之下,锚固在两端的墩帽上。系杆按体外索设计,并考虑一定的安全系数。

在计算系杆张拉力时,通常是将系杆的抗拉刚度 EA 趋于无穷大,抗弯刚度 EI 趋于无穷小,计算出在各级荷载下的系杆力。然后,再将系杆张拉力作为外力,将系杆抗拉刚度取实际刚度,计算拱肋的内力和系杆的附加力^[4]。图3表示的是钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥主拱每片拱肋下系杆 $\phi 15.24$ 钢绞线股数与主跨径的关系曲线,显然系杆的用量与跨径成正比。

系杆是下承式刚架系杆拱的重要构件,但由于腐蚀等易引起破坏,已成为这类桥梁的主要病害,目前已有多座桥梁出现了施工过程和使用过程中系杆破断的问题,因此系杆的安全问题已引起工程界的

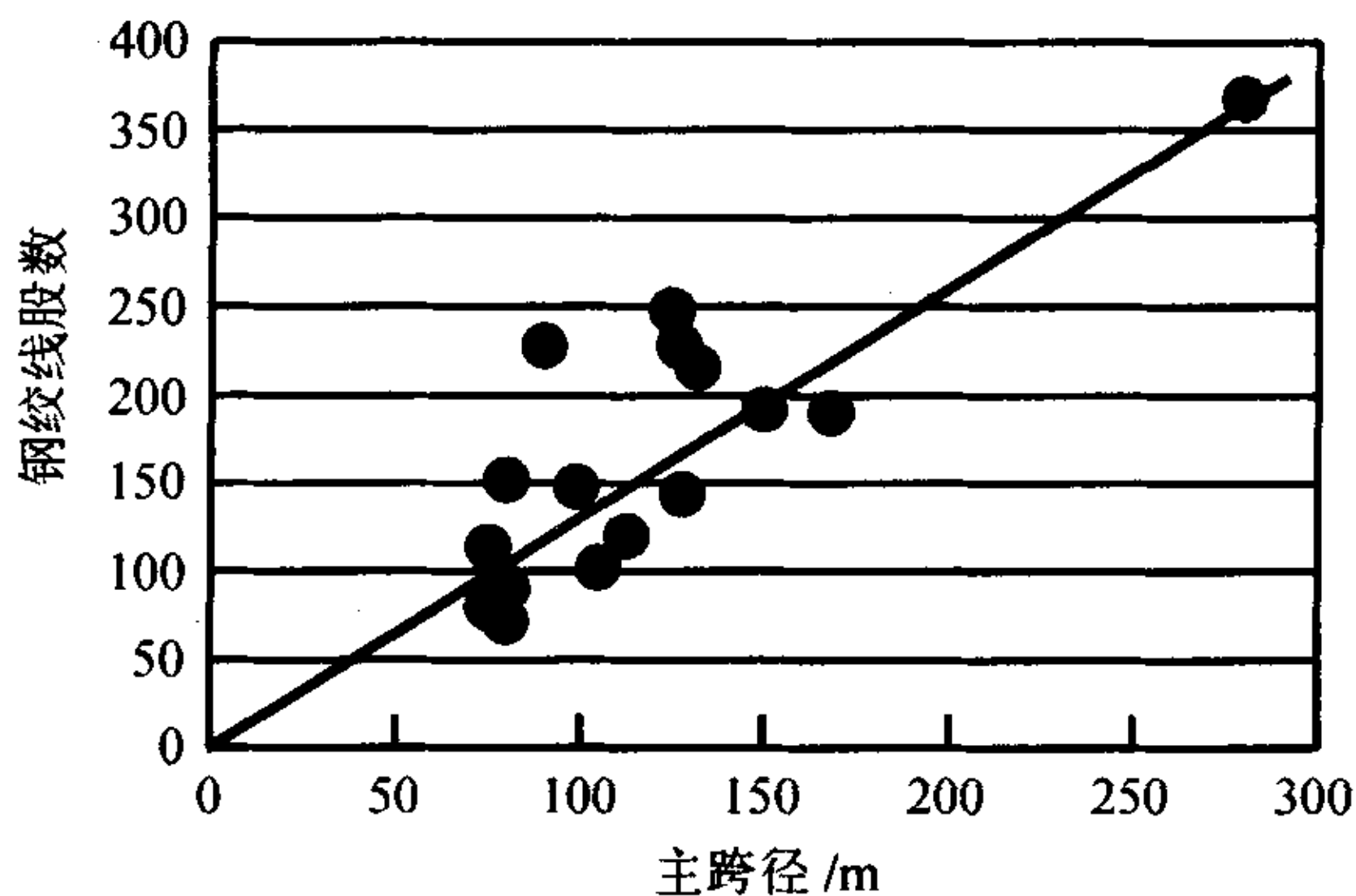


图3 主跨径—单片拱肋系杆钢绞线股数曲线

广泛关注。为提高桥梁的使用寿命,近年来设计中提倡系杆的设计应考虑其可检查、可更换,并强调使用过程的养护。

4.3 桥墩与基础

钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥大多采用单柱式桥墩,但也有个别桥梁采用了空心薄壁式门式桥墩,如河南安阳文峰路立交桥、泉州百崎湖大桥。单柱式桥墩构造简洁,有利施工;空心薄壁式门式桥墩比较适宜拱肋中心间距不大的桥梁,但是体积大,占地宽,拱脚易开裂。

钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥拱肋、系杆、端横梁、桥墩汇聚在一起,因此桥墩固结点受力复杂,容易在主拉应力方向开裂。为此,深圳北站大桥、成都青龙场立交桥等许多桥梁均进行了固结点的模型试验和有限元分析。此外,拱墩固结点将产生与系杆方向大致垂直的主拉应力,在墩柱中背离主跨的一侧也将可能产生较大的拉应力^[1]。针对这种情况,兰州雁盐黄河大桥、深圳北站大桥采用了钢管套箍混凝土桥墩;广州解放大桥、深圳芙蓉大桥等在桥墩内配置了竖向预应力束。

下承式刚架系杆拱由于主要应用于平原地质不良地区,基础大部分为钻孔灌注桩。在施工过程和桥梁使用期间,桥墩与基础均要承受一定的水平推力,且为避免系杆破断而产生严重事故,这类桥梁的基础抗推刚度一般较大,桩的数量也相对较多。

4.4 多跨桥的主边跨设计

钢管混凝土下承式刚架系杆拱可以是单跨,也可以是多跨,但以单跨为主。表1统计的27座桥梁中,有21座为单跨的,只有6座为多跨的。这6座多跨的桥梁中,5座为三跨,只有东莞鸿福路桥为两孔等跨。5座三跨桥梁的边跨与中跨跨径比值均在0.65附近,边跨、主跨矢高的比值约在0.65~0.75

之间。

多跨连续的钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥,由于各跨自有平衡本跨推力的系杆,拱的连拱作用大大减小,因此,这种桥型边拱、主拱可以选择适当的跨径与矢高,使边跨、中跨的比值在黄金分割率附近,使全桥的造型协调美观。

5 结语

自从1990年四川旺苍东河桥建成以来,钢管混凝土下承式刚架系杆拱桥在我国城市和平原的桥梁中得到广泛的应用。这种桥型有其自身特有的优势,但也出现了系杆破断等问题。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] 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.
- [2] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥结构设计探讨[A]. 中国土木工程学会桥梁与结构工程学会第十四届年会论文集[C]. 上海:同济大学出版社,2000.
- [3] 陈宝春,杨亚林. 钢管混凝土拱桥应用概况分析[A]. 中国公路学会桥梁与结构工程学会2005年学术会议论文集[C]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [4] 陈宝春. 钢管混凝土刚架系杆拱设计[A]. 中国公路学会桥梁与结构工程学会1998年学术会议论文集[C]. 北京:人民交通出版社,1998.
- [5] 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.
- [6] 席典胜. 跨度75 m 系杆拱桥钢管拱内混凝土的压注施工工艺研究[J]. 上海铁道科技,2004,(1).
- [7] 黄道沸. 广州市解放大桥设计[J]. 城市道桥与防洪,1996,(1).
- [8] 孔祥福,姜斌,邱加宁. 钢管混凝土系杆拱桥拱肋施工要点[J]. 山东交通科技,2002,(2).
- [9] 刘祖祥. 钢管混凝土拱桥拱轴线线型的探讨[J]. 交通标准化,2003,(10).
- [10] 苗文怀,杜越. 京杭运河特大桥1—90 m 刚架系杆拱施工[J]. 筑路机械与施工机械化,2004,(2).
- [11] 李志能. 佛陈大桥设计施工及施工过程的监测[J]. 中南公路工程,1994,(4).
- [12] 彭德清. 墨山立交桥主桥设计[J]. 华东公路,1999,(5).
- [13] 惠斌,冯燕宁. 东莞鸿福路钢管拱大桥[A]. 中国土木工程学会桥梁及结构工程分会2004年全国桥梁学术会议论文集[C]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [14] 贾军政. 兰州雁盐黄河大桥设计研究[J]. 城市道桥与防洪,2004,(4).
- [15] 彭桂瀚,陈宝春. 东莞大汾北水道钢管混凝土拱桥受力分析[J]. 福建建筑,2003,(4).
- [16] 侯勇. 成都青龙场立交桥结构设计[J]. 四川建筑,1997,(2).
- [17] 杨齐海,夏万军. 武汉江汉三桥钢管拱桁架吊装方案的比选[J]. 施工技术,2000,(6).
- [18] 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).

Analysis of Rigid-framed Tied Through Arch Bridges with Concrete-filled Steel Tubular

PENG Gui-han, YANG Ya-lin, CHEN Bao-chun

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

Abstract: The general situation of development of rigid-framed tied through arch bridges with concrete-filled steel tubular is brief introduced. The structure and construction method of completed bridges and bridges under construction are statistically analyzed. It can provide a reference to design and construction of this type bridge.

Key words: concrete-filled steel tubular; through; rigid-framed tied arch bridges; design; construction; analysis