

钢管混凝土拱桥发展综述

陈宝春*

摘要 钢管混凝土拱桥近几年来在我国发展很快,本文就其结构型式、构造处理、施工方法等方面进行了综述。

关键词 钢管 拱桥 综述

分类号 U 448.22

1 概述

钢管混凝土作为钢-混凝土组合材料的一种,一方面借助内填混凝土提高钢管壁受压时的稳定性,提高钢管的抗腐蚀性和耐久性,另一方面借助管壁对混凝土的套箍作用,提高了混凝土的抗压强度和延性,将钢材和混凝土有机地组合起来;在施工方面,钢管混凝土可利用空心钢管作为劲性骨架甚至模板,施工吊装重量轻,进度快,施工用钢量省。由于在材料和施工方法上的优越性,将这种结构应用于以受力为主的拱桥是十分合理的。在本世纪的30年代,苏联建造了跨越列宁格勒涅瓦河的钢管混凝土拱桥组合体系和位于西伯利亚跨度达140m的桁肋钢管混凝土拱桥^[1]。此后,未见有此类桥梁建造的报道。1990年,我国第一座钢管混凝土拱桥——四川旺苍东河大桥建成,该桥为跨径110m的下承式预应力钢管混凝土系杆拱桥。此后,短短的几年内,据不完全统计,我国已建和在建的钢管混凝土拱桥已近40座(其中已建成和在建的各占一半)^[2~19](见表1、表2),其中有双主跨100m中承式肋拱的广东高明大桥(1991年建成),主跨120m中承式的浙江新安江大桥(1993年建成),主跨200m自锚式的广东南海三山西大桥(1995年建成)。在建的有三峡对外公路上的黄柏河大桥(主跨160m),下牢溪大桥(主跨160m)和莲沱大桥(主跨114m),四川万县长江大桥(主跨420m)等桥梁。四川万县长江大桥,为钢管混凝土劲性骨架箱拱桥,将是世界上跨径最大的钢筋混凝土拱桥。在这些桥梁中,结构形式有板拱、肋拱、桁拱、箱拱、桁架拱、刚架拱。截面形式有单圆形、哑铃形、多肢桁式、横哑铃形桁式和箱肋形等。施工方法有支架法、一般吊装法、缆索吊装和转体施工法等。使用的地方遍及西南、华南、东南、东北和中原等地,发展势头迅猛。

钢管混凝土的出现解决了拱桥材料与施工的两大难题,但在具体应用时,钢管混凝土发挥材料和施工的作用,有所侧重,从而产生两大方向。一种为内包混

土,即钢管表皮外露,与核心混凝土共同作为结构的主要受力组成部分,同时也作为施工时的劲性骨架,设计以前者控制。这类桥梁目前主要有单管和哑铃形肋拱、桁拱以及桁架拱,其含钢率较高,跨径从几十米到200m。另一种是内外包混凝土,钢管表皮不外露,钢管主要作为施工的劲性骨架,先内灌混凝土成钢管混凝土后再挂模板外包混凝土形成断面,钢管材料可以参与建成后的受力,但不是以使用荷载为控制,而是以施工荷载为控制。这类桥梁有板拱、箱拱、工字形肋拱、箱肋拱和刚架拱,除板拱外,其跨越能力较强,一般都在百米以上,最大已达420m。由于钢管混凝土主要起施工过程中的劲性骨架作用,且断面配有较多的普通钢筋,这类桥梁习惯上仍称其为钢筋混凝土结构。本文则把它归入钢管混凝土结构范围一并叙述。

2 主拱结构型式

2.1 板拱

钢管混凝土结构用于板拱中作为劲性骨架。福建连江安海桥,净跨70m,石板拱,施工时因支架设置困难,采用扒杆架设钢管 $4\Phi 550\text{mm} \times 10\text{mm}$,内灌混凝土后在拱顶和两1/4处设立柱作为劲性骨架浇55cm厚混凝土,尔后其上砌筑二层总厚100cm粗料石形成主拱,其断面尺寸见图1。

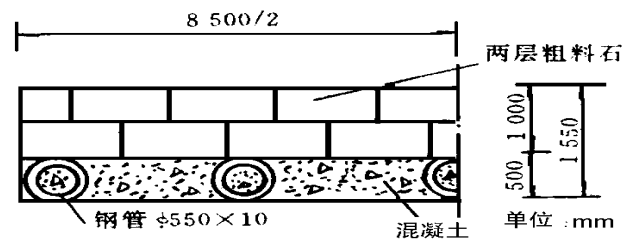


图1 福建连江安海桥1/2断面

2.2 肋拱

钢管混凝土拱桥中,肋拱数量最多,截面有单管和哑铃形。单圆形断面主要用于小跨径(100m以下)的城

* 副教授, 350002, 福州大学土木建筑工程系

市桥梁和人行桥中,截面含钢率较高,一般在8%左右。2),以增大横向抗弯惯矩取消风撑,该桥净跨80m,全宽除常用的圆管外,浙江义乌的篁圆桥采用扁圆管(见图 29m。

表1 钢管混凝土拱桥一览表

序号	桥名	建成年份	跨径(m)	矢跨比	拱轴线型	结构型式	拱圈(肋)截面			桥宽(m)		资料来源	备注
							型式	高度(m)	管径×壁厚(mm)	行车道	总宽		
1	江苏无锡新安北桥	1993	60	1/6	抛物线	下承式系杆拱	单圆	0.8	800×16	9	15	19	
2	江苏泰州引江大桥		70	1/5.38	抛物线	下承式系杆拱	单圆	0.8	800×16	10.75	13	19	两座
3	浙江义乌篁圆桥		80			下承式系杆拱	单圆	0.8	200×80			12	无风撑
4	福建福安群益大桥	在建	46		抛物线	中承式肋拱	单圆	0.8	800×14	12	18		施工图
5	四川旺苍东河大桥	1990	115	1/6	$m = 1.543$	下承式系杆拱	哑铃形	2.0	800×10	7	14.6	2	
6	广东高明大桥	1991	100	1/4	$m = 1.756$	中承式肋拱	哑铃形	2.0	750×10	12		3	
7	浙江新安江望江大桥	1993	120	1/4	抛物线	中承式肋拱	哑铃形	2.0	900×10(12,14)	7	10	4	
8	浙江绍兴河桥	1993	92	1/4		下承式系杆拱	哑铃形	2.2	900×12	13	28.4	4	
9	广东南海佛陈大桥	1994	112.8	1/5	$m = 1.167$	下承式系杆拱	哑铃形	2.5	1000×14	17	25	9	
10	湖南柳州鲤鱼江大桥	1994	80	1/4		中承式肋拱	哑铃形	2.0	900×10(16)	12	17.6	19	
11	福建福清玉融大桥	1995	76	1/4	抛物线	中承式肋拱	哑铃形	1.9	800×10	2×7	28.4	14	三肋
12	福建安溪铭选大桥	1995	90	1/4.5	抛物线	中承式肋拱	哑铃形	1.9	800×10	9	14	15	
13	三峡黄柏河特大桥	在建	160	1/5	$m = 1.543$	上承式肋拱	哑铃形	2.5(2.9)	1000×10(12)	2×8	18.5	10	四肋
14	三峡下牢溪特大桥	在建	160	1/5	$m = 1.543$	上承式肋拱	哑铃形	2.5(2.9)	1000×10(12)	2×8	18.5	11	四肋
15	三峡莲沱特大桥	在建	114	1/5	$m = 1.50$	中承式肋拱	哑铃形	3.0	1200×14	2×8	20	19	
16	广州解放大桥	在建	81.6	1/5	抛物线	下承式系杆拱	亚铃形	2.4	950×14	四车道	25	13	
17	福建福州外沙洲大桥	在建	60	1/3.5	$m = 1.347$	中承式肋拱	哑铃形	1.2	480×10	5	6	17	提篮拱
18	福建仙游兰溪大桥	在建	64	1/3.2	抛物线	中承式肋拱	哑铃形	2.0	750×10	14.5	27.7	16	
19	福建福州解放大桥	在建	80	1/5	抛物线	中承式肋拱	哑铃形	1.8	800×10	9	14		施工图
20	江苏常熟海虞桥	1995	44	1/4	抛物线	下承式系杆拱	哑铃形	1.2	450×10	6	13.5	19	非机动车
21	江苏常熟之和塘桥	在建	39	1/3.79	抛物线	中承式肋拱	哑铃形	1.3	500×9	5.5	11	19	提篮拱
22	射阳河大桥	在建	68.5	1/4	抛物线	下承式系杆拱	哑铃形	1.75	700×10	12	13	19	
23	四川成都青龙场立交桥	在建	132	1/5		下承式系杆拱	哑铃形	2.70	1100×12	2×10.5	20.8	19	三肋
24	四川成都磨子湾大桥	在建	120	1/5.5	$m = 1.543$	中承式肋拱	哑铃形	2.00	800×12	7	7.5	28	
25	四川高谷乌江大桥	在建	150	1/5		中承式桁肋拱	四肢	3.2	600×10	9	12	28	
26	福建闽清石潭溪大桥	在建	136	1/5	$m = 1.167$	中承式桁肋拱	四肢	3.0	550×8	9	12		施工图
27	黑龙江依兰牡丹江大桥	在建	100	1/4	$m = 1.756$	中承式桁肋拱	三支	2.5	600×12			51	无风撑
28	河南安阳文峰路立交桥	1995	135	1/5	$m = 1.05$	下承式系杆拱	横哑铃	3.0	720×12	14	31.4	18	转体施工
29	峨边县大渡河桥	在建	140	1/5	$m = 1.352$	下承式系杆拱	横哑铃	3.0	550×8	9	13.5	28	
30	广东南海三山西大桥	1995	200	1/4.5	$m = 1.3$	中承自锚式	横哑铃	3.5	750×10	15	28	5	缆索吊装
31	江西高安樟树岭桥	1992	70			桁架拱	桁架拱	0.35	350×10	5	5	7	

表2 钢管混凝土劲性骨架拱桥一览表

序号	桥名	建成年份	跨径(m)	矢跨比	拱轴线型	结构型式	拱圈(肋)截面			桥宽(m)		资料来源
							型式	高度(m)	管径×壁厚(mm)	行车道	总宽	
1	福建连江安海桥	在建	70	1/8	$m = 2.24$	石板拱		1.55×8.5	550×10	7	8.5	施工图
2	四川内江新龙坳立交桥	1994	117.8	1/4	$m = 1.167$	中承式箱肋拱		3.0×2.0	299×13	2×9.75	22	28
3	攀枝花果壳金沙江大桥	在建	160	1/4	$m = 1.543$	中承式箱肋拱		3.4×2.0	299×12	12	15	28
4	四川白勉峡大桥	1994	105	1/5	$m = 2.24$	上承式箱肋拱		3.4×2.0	160×4.5	9	11	19
5	盐源金河雅砻江大桥	1996	170	1/6	$m = 1.688$	上承式肋拱		3.9×1.5	900×12	7	9	28
6	广西邕宁邕江大桥	在建	312	1/6	$m = 1.347$	中承式箱肋拱		2.2×2.2	402×12	12	18	19
7	浙江金华婺江大桥		168	1/5		中承式箱肋拱		5.0×3.0	400×10	14	24	4
8	江西德兴太白桥	1993	130	1/9	抛物线	箱肋刚架拱		2.07×2.15	133×4.5	14	24	8
9	四川万县长江大桥	在建	420	1/5	$m = 1.6$	上承式箱形拱		7.0×16	400×16	15	15	6

国外曾建造过一些单圆钢管拱桥,跨径较大,如法国凯泽莱尔桥,下承式,主跨220m,无风撑,主跨肋为二根 $\phi 0m$ 的钢管组成横向哑铃形断面;再如日本的松岛桥,为126m 上承式管拱,管径1.8m^[20]。那么,单圆钢

管混凝土拱在跨径较大时是否具有良好的技术经济指标,这有待于探讨。

肋拱桥中绝大部分为哑铃形断面,见图3。旺苍大桥、高明大桥、新安江望江大桥、福建安溪铭选大桥以及

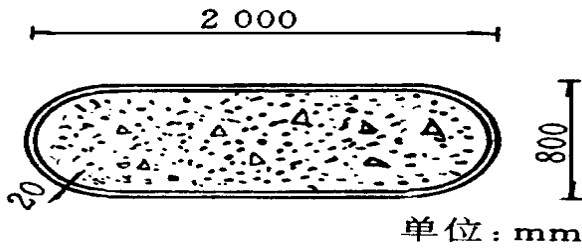


图2 扁圆拱肋断面

新近三峡对外公路修建的三座大桥均为这一类型。跨径从几十米到160m,以100m附近为多。从表1来看,哑铃形钢管混凝土肋拱的钢管直径从45~110cm,以75~90cm最多; D/L 从 $1/78 \sim 1/150$ (L 为净跨径),高度 H 从120~270cm,以180~200cm为多; $H/L = 1/30 \sim 1/60$; $D/H = 1/2 \sim 1/67$,以 $1/2 \sim 1/5$ 居多;钢板厚从8~16mm,10mm最常用(16mm用于变截面的拱脚段)。 D/L 和 H/L 一般随着跨径增大而减少。

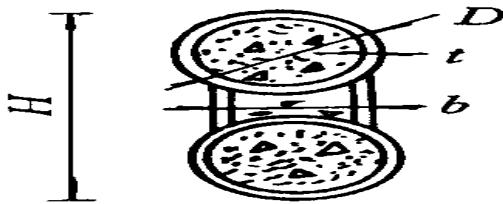


图3 哑铃形断面

当跨径较大时,也有用工字形和箱形肋的。这时,钢管混凝土主要作为施工的劲性骨架,其跨径一般都在100m以上。已建成的箱肋拱有主跨117.8m的四川内江新龙坳立交桥(主拱截面见图4a)和主跨312m的广西邕江大桥。已建的四川盐源金河雅砻江大桥,净跨170m,在双肢 $\phi 100 \times 12$ mm的上下弦和 $\phi 100 \times 8$ mm的腹杆组成的劲性骨架上,现浇混凝土成为工字形肋拱。

由于采用上承式,可以用较多的横向联系以保证其整体性和稳定性。在建和即将修建的还有攀枝花果子金沙江大桥(160m)、重庆高家花园嘉陵江大桥(270m)和广西邕宁邕江大桥(312m)。箱肋拱的劲性骨架有时部分采用钢管混凝土,部分采用型钢,如白勉峡大桥($L = 105$ m),其断面见图4(b)。

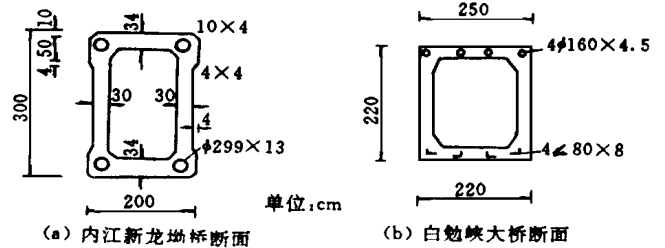


图4 箱肋式断面

2.3 桁拱

桁拱指主拱圈由多根圆钢管混凝土用缀条联系组成,有双肢、三肢和多肢的桁式截面、横哑铃形桁式截面和多肢与横哑铃形混合的桁式截面等多种形式,如图5所示。

这种结构主拱圈自重轻,截面抗弯效率高,跨越能力强,跨径一般在100m以上,钢管多于2根的截面其横向刚度也较大。黑龙江依兰牡丹江大桥为净跨100m中承式拱,采用三肢式,取消风撑,截面尺寸见图5(a)。准备施工的福建闽清石潭溪大桥为主跨136m的中承式拱,采用四肢式,截面尺寸见图5(b)。广东南海三山西大桥,主跨200m,为双哑铃形,断面尺寸见图5(c)。河南安阳文峰路立交桥,净跨135m,采用混合式,断面尺寸见图5(d)。前面提及的苏联30年代建造的140m的钢管混凝土拱桥采用多肢桁式断面(变截面镰刀形2铰拱)。

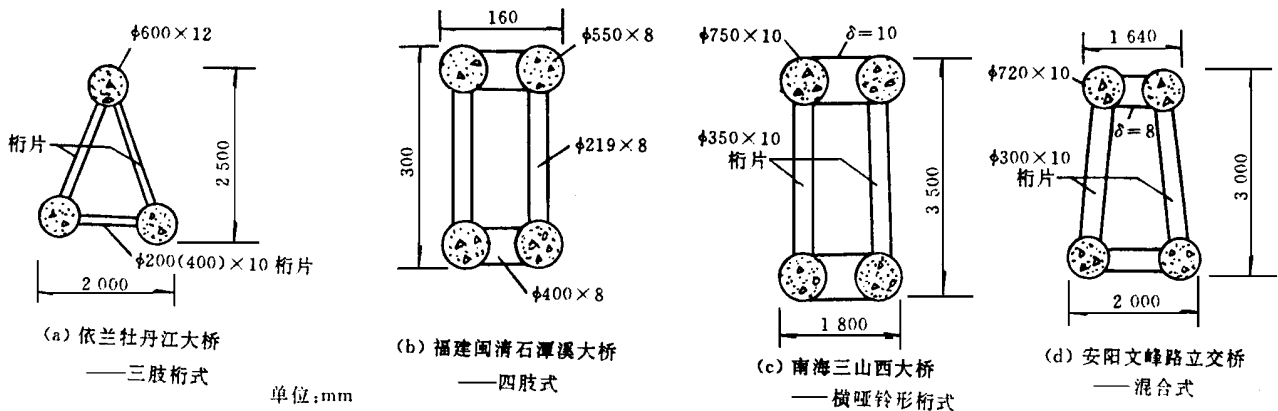


图5 桁式断面

2.4 箱拱

箱拱具有良好的抗弯抗扭性能,是大跨径钢筋混凝土

土拱的主要型式。采用钢管混凝土作为施工的劲性骨架,是突破其跨径的有效途径。我国在建的四川万县长

江大桥,主跨420m,矢跨比1/5,断面尺寸见图6。

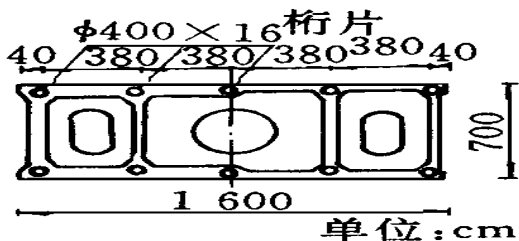


图6 万县长江大桥主拱圈断面

2.5 桁架拱与刚架拱

桁架拱、刚架拱是我国七八十年代发展起来的轻型拱桥,拱上建筑与主拱圈共同受力。1992年建成的江西高安樟树岭大桥,将钢管混凝土应用于桁架拱桥之中,由于各杆件均可焊接,所以施工工艺简单方便,且能充分利用钢管混凝土材料受力强度高的特点。该桥净跨70m,下弦杆采用 $\phi 300\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的钢管混凝土构件,转体法施工。刚架拱近几年在我国得到较广泛的应用,但当跨径超过100m之后,其施工问题较为突出。江西太白桥为净跨130m的刚架拱,采用 $2\phi 68\text{mm} \times 5.0\text{mm}$ 和 $2\phi 33\text{mm} \times 4.5\text{mm}$ 的钢管混凝土上下桁杆和角钢腹杆组成劲性骨架,转体合拢后挂模板现浇混凝土形成钢筋混凝土箱形截面。该桥为目前跨径最大的刚架拱桥。

2.6 主拱几何特性

钢管混凝土拱桥结构轻巧,上承式拱上建筑均采用梁板式,而下承式悬挂部分的恒载变化就更小,所以拱轴线常选用二次抛物线和 m 值比较低的悬链线(m 为1.176~1.756)。文献[10]比较了悬链线与圆弧线的受力情况,认为悬链线性能好。拟建中的广州五羊珠江大桥($L = 380\text{m}$)拱轴线将采用四次抛物线。

钢管混凝土拱的矢跨比,除桁架拱、刚架拱的较小外,一般为 $1/3.795 \sim 1/6$,以 $1/4 \sim 1/5$ 最多。

钢管混凝土拱桥跨径在120m以下时,基本上采用等截面形式,构造简单,当跨径增大以后需要采用变截面形式,此时主要有两种方式。对于哑铃形断面,通过变钢管材料或壁厚来达到目的。比如拱脚段采用16Mn钢,拱顶段采用A3钢,或拱脚段管壁变厚(外径不变),成阶梯形直接相联,但壁厚变化不可太大,每段以2mm左右为宜;对其它的桁肋拱、箱肋拱和箱拱,截面高度可以变化,无铰拱一般是拱脚高度增大,有时也同时配合壁厚的变化。

3 各种承式构造特点

按车道在上部结构的位置,拱桥可分为上承式、下

承式和中承式。这三种形式的适用条件、对水平推力的处理、横向联系以及桥面系均有所不同。在钢管混凝土拱桥中,下承式采用较多,这同钢筋混凝土拱桥以上承式为主是不同的。

上承式拱建筑高度大,对地基要求高,适合于峡谷桥位。上承式钢管混凝土拱桥有助拱、桁拱、箱拱以及刚架拱和桁架拱。哑铃形肋拱,可采用多肋形式(多于三肋),以节省材料,方便施工。上承式构造,横向联系容易布置,桥面系支承于立柱上,整体性、横向稳定性和抗震性均较好。三峡工程中黄柏河和下牢溪大桥均为上承式。

下承式拱一般带拉杆(系杆拱),它主要用在建筑高度受限制和地基条件较差的情况下。下承式拱桥的截面只能是肋式或桁式,以肋式为多,跨径100m左右选哑铃形,再大可采用箱肋。

根据上下部分结构的联接方式,系杆拱又可分为2种,一种是上下部之间刚接,一种是简支,见图7。由于主拱肋为钢管混凝土结构,因而系杆在脚结点处的处理较难。第1种方式由于拉杆直接锚在墩台上,因而处理简单,施工张拉调整方便,且横向稳定性也好,但活载内力和次内力对下部结构影响较大。采用第1种方式的较多,如旺苍大桥、绍兴河桥、南海佛陈大桥等。第2种方式结构受力明确,下部结构受力有利,但节点处理和拉杆张拉调整困难,支座构造复杂,较少采用。

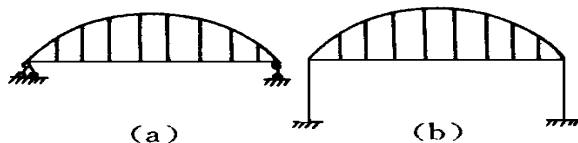


图7 系杆拱型式

下承式拱桥常采用单跨形式。多跨时,边孔一般用梁式结构,多跨拱式结构在造型上和系杆处理难度均较大。广州解放大桥主桥为多跨下承式钢管混凝土拱,采用不等跨布置(55m + 83.6m + 55m),拱与桥墩刚结,系杆三跨连续。

钢管混凝土下承式拱,常采用柔性系杆和柔性吊杆,主要靠风撑将拱肋联成整体,因此横撑间距较密,刚度也较大,甚至用K撑,如南海佛陈大桥。如果要取消风撑,须改用刚性系梁,或加大拱肋刚度。宁波篁园桥和广州解放大桥均为无风撑下承式拱,前者为刚性梁组合结构,后者则采用较大刚度的拱肋。

中承式拱的构造介于上承式和下承式之间,其建筑造型极佳,在城市桥梁中往往受到青睐,但过去用钢筋混凝土建造,则显得过于粗笨。钢管混凝土中承式肋拱桥在城市桥梁的应用近几年来很多,已建和在建的有十

几座。文献[17]介绍的数座应用钢管混凝土结构的桥梁均为中承式拱桥。

中承式拱桥常用在主跨,边跨配上承式,一般不带系杆,其水平推力通过边孔小跨采用小的矢跨比,边跨采用恒载集度比钢管混凝土肋拱大的钢管混凝土板拱、肋拱、刚架拱等来解决。这样处理也较经济,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,显得雄伟壮观,车行其间,又有出入门户的感觉,往往成为城市标志性建筑。有时受建筑高度限制或由于其它原因,边跨也用中承式,如浙江新安江望江大桥和福建仙游兰溪大桥,由于主边跨比例得当,其立面效果很好,但横桥向较难处理,容易产生杂乱的感觉。

中承式拱桥为减小水平推力对墩台的不利影响,可以设计成系杆带悬臂半孔的自锚式(又称飞鸟式或飞燕式),广东南海三山西大桥就采用了这一结构,见图8。

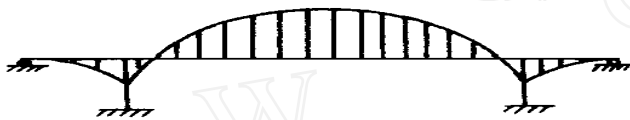


图8 带悬臂自锚式中承式拱

中承式拱桥由于有一部分主孔在桥面系之上,所以其断面型式基本上同下承式,常为肋式或桁式,跨径在120m以下可用哑铃形,再大则可用桁式,也可用箱肋,最大跨径已达200m。

中承式拱桥桥面系下承部分常采用悬吊飘浮体系,即用吊杆吊住横梁,横梁上架T梁或板梁成为桥面。这种桥面系结构不受主拱变形的影响,但其构造的整体性较差,车辆通过时往往会产生明显的振动。设计中应尽可能加长上承形式的桥面系,以抑制悬吊部分的变形,减小悬吊部分的柔度。也可以采用交叉斜吊杆或提篮拱形式,通过吊杆的纵向或横向斜度来提高桥面系纵横向的刚度。对桥面不是很宽时,还可利用吊装主拱圈的设备,将桥面系的纵横梁混在一起,分片吊装,桥面板现浇,联成整体,以提高桥面系的整体性,福州外沙洲大桥就采用了这一措施。

中承式拱的横向稳定问题,可通过设置横撑来解决。一般来说,在桥面以下部分,可采用刚度大的K式横撑(K撑形式有两种,见图9),以缩短拱肋横向稳定计算长度,又不会影响美观,而桥面以上宜设置简洁的横撑。哑铃形断面的横撑可采用与哑铃形单管相同的断面,桁肋式断面,则可根据桥宽采用单片或空间桁架,杆件直径可稍小,构造一定要简洁,避免产生凌乱感和压

抑感。



图9 中承式横撑形式(平面)

横撑内灌注混凝土其刚度提高,但恒载增加的弯矩对横向稳定不利。一般而言,宽桥后者影响大于前者,不宜灌混凝土,前者因桥面较窄,空钢管横撑刚度一般已够,所以大部分横撑都为空钢管。对 B/L 较小的中承式拱桥也可以做成内倾的提篮拱式,它使桥梁的横向稳定性有很大提高,但构造稍复杂,四川成渝路新龙坳立交桥和福州外沙洲大桥均为提篮拱形式。

若要取消风撑,要加强拱肋的横向刚度和吊杆与桥面系的联系,还要加强桥面以下两肋之间的联系,以减少悬臂长度。黑龙江依兰牡丹江桥为净跨100m中承式无风撑钢管混凝土拱桥,采用三肢钢管的桁肋式断面。

中承式拱桥在横向布置方面,还有两个特点:一是拱肋数,对城市桥梁,桥面较宽时,采用三肋还是二肋,要多加比较,一般宜以二肋为好,横梁通过施加预应力来解决。二是拱肋在桥面的位置,一种是拱肋放在人行道内,拱肋与桥面交界处人行道外挑,这种结构横梁为伸臂梁,桥墩台窄,较经济,大部分中承式采用这一结构,但拱肋在桥面上下存在日照温差,立面上拱肋曲线不流畅;另一种做法是桥面系置于拱肋之内,横梁为简支跨径较大,相应的桥墩宽度较大,但拱肋日照温差一致,立面效果也好,浙江新安江大桥采用此构造形式,因其处于风景区,红色的主拱圈倒影在清澈的新安江上,其建筑艺术效果极佳。

4 施工方法

4.1 钢管劲性骨架的安装与架设方法^[22-26]

钢管混凝土拱桥的施工方法本质上是劲性骨架施工方法,但劲性骨架本身的安装也有多种方法。对于100m以下的跨径,一般分3段或5段,吊装重量一般仅十几吨,可根据实际情况用浮吊、汽车吊或人字扒杆。也有用支架施工的,如福建安溪铭选大桥,若在支架上高空焊接一节节钢管,质量没有保证,应该避免。跨径增大以后,劲性骨架的安装常用缆索吊装和转体施工法。

缆索吊装施工方法是修建大跨度拱桥的主要方法之一。四川宜宾马鸣溪金沙江大桥,为净跨150m钢筋混凝土箱拱,分5段吊装,块件重达70t。福建南平

玉屏山大桥,净跨100m 肋拱,分5段吊装,块件重达59.1t。钢管混凝土空钢管比混凝土肋拱的重量轻很多,因而跨径可以增大,广东南海佛陈大桥($L = 112.8\text{m}$)、三山西大桥($L = 200\text{m}$)均采用缆索吊装。在建的四川万县长江大桥($L = 420\text{m}$)也采用缆索吊装,分11段,段长40m,吊重50余吨。

转体施工法近几年在我国发展很快,它也被广泛应用于钢管混凝土拱桥施工中,且有所发展。三峡对外公路上的黄柏河、下牢溪大桥为有平衡重的平转法,转体总重达3500t和3600t,转体重量为目前最大吨位,其转动球铰采用上下两个经过精密压旋加工的半球型钢板。河南安阳文峰路立交桥在桥轴线反方向预制,竖转到要求标高后,再平转180°合拢。江西德兴太白刚架拱桥也采用转体法施工。

4.2 钢管制作与混凝土浇筑

拱桥上用的钢管材料一般为A3钢和16Mn钢,采用钢板卷管成型,直缝焊接管,卷管长度一般在120~130cm左右,钢管对接采用坡口焊,卷管直缝错开。为保证拱轴线型,除认真放样外,还应对半跨的钢管现场试拼调整。钢管制作主要应注意卷制圆顺,接缝饱满,尺寸准确。为保证管缝的稳定性和接头的刚度,构造上还应对接头处和隔一段距离用衬板或钢筋予以加强。

对桁拱、箱形拱和箱肋拱的腹杆,因为其直径较小,可以由无缝钢管裁制,各端口依实际大样打磨成型。

钢管内的混凝土,小跨径可采用吊斗隔仓灌注,大跨径一般采用泵送混凝土,因浇灌孔均较小,和易性要求较高,为减少混凝土收缩,施工时可加入适量的减水剂以控制水灰比,并加入微膨胀剂,并注意振捣密实。在混凝土浇注完毕后,可用小锤敲击检查混凝土是否灌注饱满,对不饱满的仓应进行压浆处理^[27]。

对小跨径拱桥,混凝土浇筑顺序一般从拱脚向拱顶对称进行。对大跨径拱桥,应根据施工加载程序,类似于双曲拱桥的加载原则,分环分段进行。

参 考 文 献

- 1 蔡绍怀 论钢管混凝土在桥梁工程中的应用 中国土木工程学会第五届年会暨第二次全国城市桥梁学术会议论文集 天津:天津大学出版社,1990
- 2 胡玉山,吴清明 预应力系杆钢管混凝土拱桥——旺苍东河大桥 西南公路,1990(3)
- 3 胡玉山等 广东高明大桥设计与施工 四川公路,1990(3)
- 4 王庭英 钢管混凝土在桥梁建筑中的应用 哈尔滨建筑工程学院学报,增刊(26)(中国钢协钢—混凝土组合结构协会第四次年会论文集).1993-11
- 5 赖泉水等 三山西大桥主桥设计简介,桥梁建设,1995(4)

- 6 谢邦珠 简析万县长江大桥420m 钢筋混凝土拱推荐方案的技术可行性、经济合理性、实际可行性 四川省公路学会1992年桥梁学术讨论会论文集 1992
- 7 程懋方 钢管混凝土在桥梁转体施工中的应用 哈尔滨建筑工程学院学报,增刊(中国钢协钢—混凝土组合结构第三次年会论文集).1991
- 8 程懋方,陈俊卿 大跨度刚架拱桥的设计与施工 哈尔滨建筑大学学报,1995(5)
- 9 俞建立,黄道佛 佛陈大桥设计与施工 桥梁建设,1995(1)
- 10 王弘 三峡专用公路上二座跨度160m 的上承式钢管混凝土拱桥的实践 哈尔滨建筑大学学报,1995(5)
- 11 李涛 三峡工程对外公路黄柏河大桥设计 哈尔滨建筑大学学报,1995(5)
- 12 王书庆 无风撑钢管混凝土系杆拱设计. 全国城市桥梁青年技术学术会议论文集 1996-01
- 13 黄道沸 解放大桥设计. 全国城市桥梁青年技术学术会议论文集 1996-01
- 14 郑振 钢管混凝土肋拱桥的设计与静载试验 全国城市桥梁青年科学技术会议论文集 1996-01
- 15 陈宝春等 铭选大桥设计. 福州大学学报(自然科学版),1996(4)
- 16 郑振等 仙游兰溪大桥设计介绍 福州大学学报(自然科学版),1996(4)
- 17 郭金琼等 钢管混凝土结构在城市桥梁中的应用 福州大学学报(自然科学版),1996(4)
- 18 乔景川 钢管混凝土在桥梁转体施工中的应用——安阳文峰路立交主桥 河南交通科技,1996(1)
- 19 孙忠飞 钢管混凝土在桥梁上的应用与发展 铁道部第一勘测设计院科技情报室 1995-08
- 20 弗里茨·莱昂哈特著,徐玉兴等译 桥梁建筑艺术与造型 北京:人民交通出版社,1988
- 21 胡玉山 我国大跨拱桥的发展途径 四川省公路学会1991年桥梁学术讨论会论文集,1991
- 22 冯强林 下承式预应力系杆钢管混凝土拱桥施工 桥梁建设,1992(1)
- 23 黄建跃 高明大桥施工技术 广东省公路工程处,1992-06
- 24 俞建立 佛陈大桥主桥施工的几个技术问题 公路,1995-06
- 25 李志能 钢管混凝土系杆拱桥设计及施工的几点看法 公路,1995(4)
- 26 周汉东等 大跨径钢管混凝土拱肋吊装施工控制 哈尔滨建筑大学学报,1995(5)
- 27 许利耿 钢管混凝土肋拱桥的混凝土施工及质量控制 福州大学学报(自然科学版),1996(4)
- 28 罗世勋,谢邦珠主编 当代四川公路桥梁(续集1987—1995).成都:四川科技出版社,1996

(收稿日期:1996-10-15)

(下转第22页)

Conceptual Design and Construction for Erecting Steel Tube Arch Ribs of Liantuo Bridge with Vertical Rotation Method

Wang Daobin Peng J inan Chen Youxin Xue J ilian

Abstract Liantuo Bridge is one of the key works on the special highway leading the Three Gorges Dam Project to the outside. The main spans of the bridge are of a three-span, half-through, concrete-filled steel tube arch bridge. The conceptual design for erecting the steel tube arch ribs of the bridge with vertical rotation method, and the process flow, key points to the construction techniques to be used in the erection are elaborated in detail.

Key Words Liantuo bridge, steel tube arch rib, erection with vertical rotation method, erection scheme, construction technique

(上接第13页)

A Summarized Account of Developments in Concrete-Filled Steel Tube Arch Bridge

Chen Baochun

Abstract The rapid developments in concrete-filled steel tube arch bridge in China have been achieved in the recent years. The structural types, constructional detail handling and construction methods of the bridge are summarized.

Key Words concrete-filled steel tube, arch bridge, summarized account