

文章编号:1671-2579(2008)04-0095-06

## 钢管混凝土拱桥桥例简介(上)

陈宝春

(福州大学,福建福州 350108)

**摘 要:** 钢管混凝土拱桥自1990年以来在我国应用发展很快。该文简要介绍了《钢管混凝土拱桥实例集(二)》(文献[4])中精选的2000年以来修建的10座各具特色的钢管混凝土拱桥桥例,以供工程应用参考。

**关键词:** 钢管混凝土;拱桥;桥例;设计;施工

### 1 概述

钢管混凝土拱桥近十几年在我国应用发展很快,在2002年出版的《钢管混凝土拱桥实例集(一)》中收录到的钢管混凝土拱桥的桥例有109座,2007年出版的《钢管混凝土拱桥(第二版)》附表列出的跨径大于50m的桥例有202座。根据文献[3]所做的调查,截止到2005年3月,收集到的跨径大于或等于50m的钢管混凝土拱桥有230座,其中跨径达100m及以上的132座,跨径达200m及以上的有33座。

调查结果表明,1995年前较少修建跨径大于100m的钢管混凝土拱桥。此后,随着计算理论的完善和施工技术的进步,钢管混凝土拱桥的跨径和数量随着时间的推移在不断地增大。各个时期具有代表性的桥梁有:1990年建成的四川旺苍东河桥,跨径115m;1995年建成的广东南海三山西大桥,跨径200m;2000年建成的广东丫髻沙大桥,跨径360m;2005年建成的重庆巫山长江大桥,跨径460m。

《钢管混凝土拱桥实例集(一)》选取了10座实桥,对其设计施工和科研进行了详细的介绍。这10座桥例分别是:

(1) 四川旺苍东河大桥:我国第一座钢管混凝土拱桥,1990年建成,采用了下承式刚架系杆拱结构,拱肋采用了哑铃形截面。

(2) 浙江新安江望江大桥:我国较早建成的三跨

有推力的中承式钢管混凝土拱桥,主跨120m,1994年建成,拱肋采用了简易的竖向转体施工方法。

(3) 湖北三峡黄柏河大桥和下牢溪大桥:1996年建成,主跨160m,为当时跨径最大的上承式钢管混凝土拱,作为三峡工程对外专用道路上的桥梁,其活载等级很高,拱肋采用了以千斤顶为动力、当时转体重量最大的水平转体施工方法。

(4) 福建闽清石潭溪大桥:早期全桁式钢管混凝土中承式拱,主跨136m,1997年建成,对施工过程中单肋吊装单肋合龙方案、混凝土灌注顺序、温度等进行了研究。

(5) 天津彩虹桥:主桥为三跨164.7+168+164.7m简支下承式系杆钢管混凝土拱桥,1998年建成,是拱肋采用哑铃形截面中跨径最大的一座。施工采用少支架安装,开展了大管径远距离泵送混凝土施工、钢管涂装体系、低松弛钢绞线系杆拉索、重型C80级铁卵石特种混凝土开发应用等研究工作。

(6) 深圳彩虹(北站)大桥:主跨150m,2000年建成,是当时跨径较大的下承式钢管混凝土刚架系杆拱,桥道系采用了预应力钢-混凝土组合结构。

(7) 广州丫髻沙大桥:主桥为76+360+76m三跨连续中承式钢管混凝土刚架系杆拱桥,跨径居当时同类型桥梁之最,施工采用竖向转体与水平转体相结合的方法,转体重量也是国内之最,2000年建成。该桥在2003年入选全国土木工程学会评选的全国十佳桥梁之一。

收稿日期:2007-10-25

作者简介:陈宝春,男,教授,博士生导师. E-mail:baochunchen@fzu.edu.cn

(8) 广西三岸邕江大桥:为主跨 270 m 的(有推力)中承式钢管混凝土拱桥,1998 年建成,在当时同类桥梁中跨径最大,施工采用斜拉悬臂缆索吊装施工。

(9) 重庆奉节梅溪河大桥:主跨为 288 m 的上承式钢管混凝土拱,在当时同类桥梁中跨径最大,2001 年建成。

(10) 重庆合川嘉陵江大桥:主桥为 58 + 130 + 200 + 130 + 58 m(有推力)的中承式钢管混凝土拱,钢管拱肋采用斜拉悬臂施工,缆索吊机为三跨构造,2002 年通车。

《钢管混凝土拱桥实例集(一)》2002 年出版后的 5 年时间里,我国钢管混凝土拱桥的应用,无论是在桥型、结构与构造、施工技术,还是在桥梁跨径方面,都有了很大的发展。虽然《钢管混凝土拱桥》(第二版)中吸收和反映了这些发展成果,然而受到篇幅所限,无法对体现这些发展的桥例作详细的介绍。因此,作者又编写了《钢管混凝土拱桥实例集(二)》(以下简称实例集(二)),将于 2008 年年内出版。

实例集(二)在选择桥例时仍遵照实例集(一)的原则,尽可能使其具有代表性,同时考虑桥梁的桥型、历史地位、分布区域、不同的设计与施工单位等。最后,入选了 10 座桥例,全部是 2000 年以后修建的。它们是:水柏铁路北盘江大桥、广东东莞水道大桥、连徐路京杭运河大桥、福建福鼎山前大桥、杭州钱江四桥、郑州黄河公路二桥、兰州雁滩黄河大桥、广西南宁永和大桥、湖南益阳茅草街大桥、重庆巫峡长江大桥。以下对这 10 座桥梁进行简要的介绍。

## 2 水柏铁路北盘江大桥

北盘江大桥是我国第一座铁路钢管混凝土拱桥,也是目前世界上跨度最大的单线铁路拱桥,2002 年建成,主桥结构为上承提篮式钢管混凝土拱,拱脚中心跨度 236 m,拱肋横向内倾 6.5°,采用水平转体施工。该桥的建成对推动钢管混凝土拱桥在我国铁路桥梁中的应用具有重大的意义。

大桥位于贵州省水柏铁路上,横跨北盘江“V”形峡谷,桥面距离河床 280 m(图 1)。

主桥钢管桁架拱圈构件在工厂分单元制造,再运至现场组装、焊接。因桥位地处偏僻,交通运输不便,能运进现场的杆件最长仅能达到 8.6 m,故工地组装、焊接等工作量很大。为了保证安全生产,确保拼装线形正确和焊接质量可靠,应尽量减少高空作业。为此,

钢管桁架拱的架设采用转体法施工。桁架杆件运至现场后,分别在两岸依地形搭建的支架上组拼焊接成半拱(扣除合龙段),然后以半拱为一转体单位,六盘水岸平转 135°,柏果岸平转 180°,单边转体质量达 10 400 t。转体结构示意图见图 2,成桥照片见图 3。

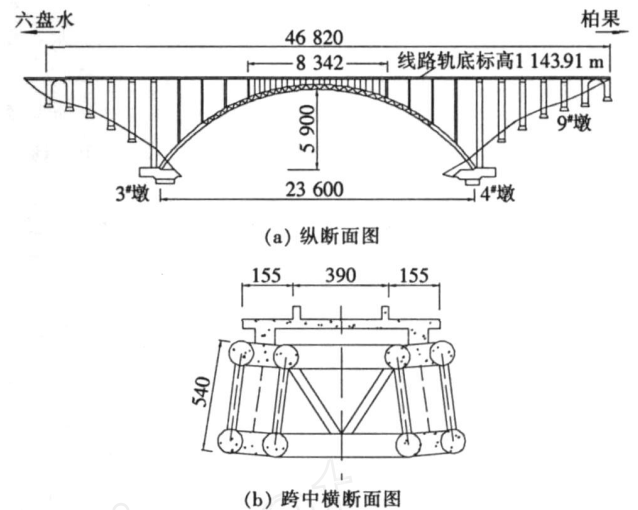


图 1 北盘江大桥总体布置图(单位:cm)

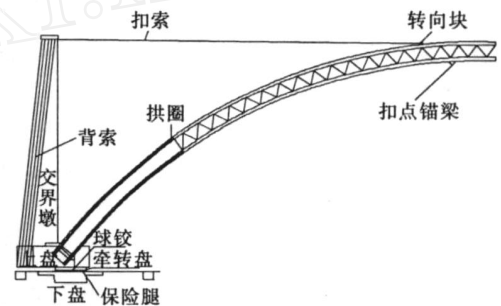


图 2 北盘江大桥转体示意图

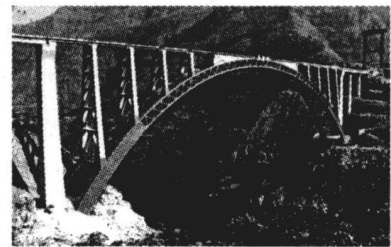


图 3 建成后的北盘江大桥

## 3 广东东莞水道大桥

主桥为三孔中承式钢管混凝土刚架系杆拱桥(又称飞鸟式),2005 年建成。该桥在设计过程中,对飞鸟式桥型与受力特点进行了分析,对钢管混凝土格构柱受力性能进行了试验研究。

东莞水道特大桥位于广东省东莞市五环路,跨越东莞水道,主桥三孔跨径布置为 50 + 280 + 50 m。边主跨之比为 0.178。主跨矢跨比为 1/5,边跨矢跨比为 1/9.82(图 4)。

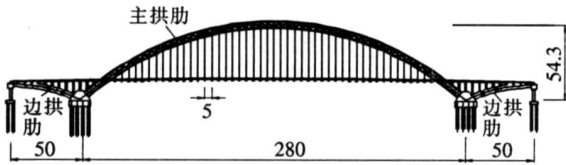


图 4 东莞水道大桥总体布置图(单位:m)

该桥钢管拱肋采用斜拉悬臂施工,钢管拱肋节段

采用缆索吊装,扣塔与索塔分离设置。该桥上下行为两幅桥,拱肋吊装时采用一套缆索吊装设备,一幅桥吊装好后平移吊装设备进行另一幅桥的施工。

#### 4 连徐路京杭运河大桥

京杭运河大桥也是一座飞鸟式拱桥,但其拱肋为提篮式,主孔跨径为 235 m,边孔跨径为 57.5 m,施工时采用了竖向转体施工法,于 2002 年建成。京杭运河大桥由主、引桥组成,主桥主孔跨径为 235 m,边孔跨径为 57.5 m,主桥全长 350 m(图 5)。

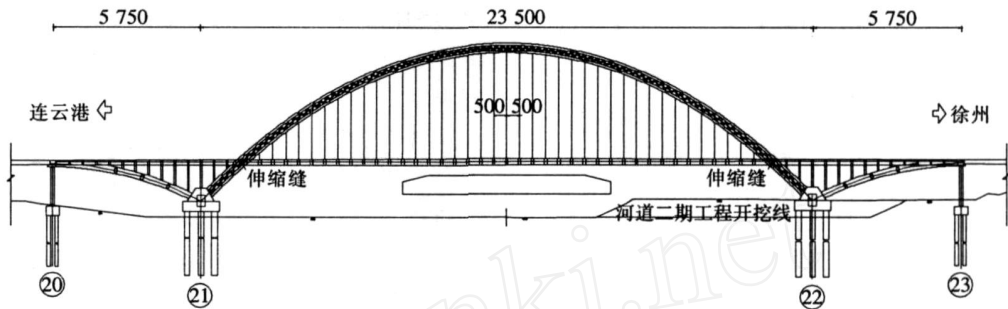


图 5 京杭运河大桥主桥布置立面图(单位:cm)

大桥主拱为提篮拱,施工时采用半跨竖向转体施工。大桥转体示意图 6。

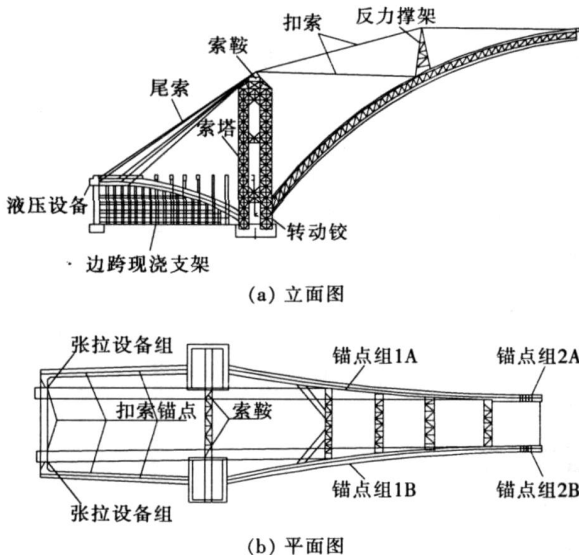


图 6 京杭运河大桥竖转体系示意图

#### 5 福建福鼎山前大桥

该桥为主跨 80 m 的下承式刚架系杆拱,在《钢管

混凝土拱桥实例集(二)》中为跨径最小的一座,建成于 2000 年。该桥的主要特点是拱肋采用了钢管-钢管混凝土的复合结构,即拱肋的拱脚段采用钢管混凝土截面,拱顶段采用空钢管截面。对这种结构进行了试验与理论研究,探讨了管内填充混凝土对结构受力的影响。

福鼎山前大桥主跨矢跨比为 1/5,两拱肋间设置有两道一字横撑。拱肋采用  $\phi 1\ 200$  mm 钢管,空钢管段壁厚为 20 mm,拱脚钢管混凝土段壁厚为 16 mm,空钢管段内设加劲钢筋。大桥总体布置图见图 7。

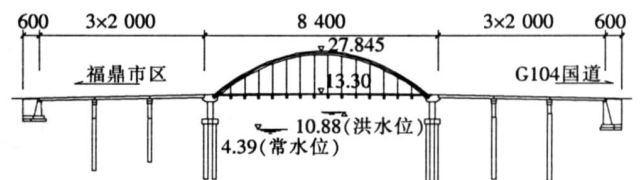


图 7 山前大桥主桥总体布置图(单位:cm)

#### 6 杭州钱江四桥

该桥是一座大型的钢管混凝土拱桥城市桥梁,主桥由 11 跨独立的拱梁组合结构组成,其中 2 跨为 190

m的大跨、另9跨为85 m的小跨。该桥具有双层桥面,因此主桥实际上有上承式、中承式和下承式3种拱的结构。施工采用三塔四跨的缆索吊机吊装,钢管拱肋采用斜拉悬臂施工,2004年建成。

杭州钱江四桥(又名复兴大桥)位于杭州市中心区南部,在钱江一桥下游4.3 km处跨越钱塘江,主桥全长1 376 m。桥型方案为双层双主拱的钢管混凝土组合系杆拱,主桥跨径布置按计算跨径为 $2 \times 85 + 190 + 5 \times 85 + 190 + 2 \times 85$  m,其中边跨为下承式系杆拱桥和上承式拱桥的组合,190 m跨为下承式系杆拱桥和中承式拱桥的组合。上层桥面设置了6条城市机动车快速行车道,下层桥面中间预留杭州地铁1号线双向线整体道床,双侧设置公交专用道与行人非机动车道。上下桥面采用同宽设计,分别为26.4 m(小拱)和32.0 m(大拱)。总体布置图见图8。

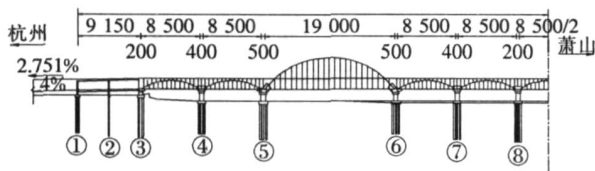


图8 钱江四桥总体布置图(杭州岸1/2跨径)(单位:cm)

桥梁以缆索吊装法施工,采用三塔四跨缆索吊机进行多跨钢管混凝土拱桥的吊装,索跨组合为 $250 + 692.25 + 650.75 + 250$  m(图9)。

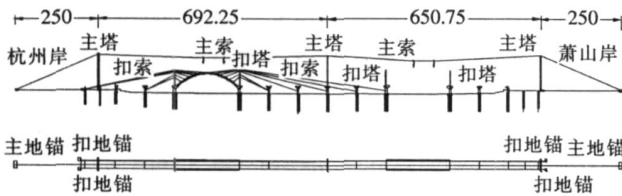


图9 钱江四桥三塔四跨缆索布置图(单位:m)

### 7 郑州黄河公路二桥主桥

郑州黄河公路二桥主桥是我国高速公路上一座大型的钢管混凝土拱桥。主桥由8跨跨径100 m的下承式拱梁组合桥组成,横断面分上下行两座桥,因此共有16跨。拱肋采用腹腔内不填混凝土的新型哑铃形截面,系梁为预应力混凝土梁。施工采用先梁后拱的方法,于2004年建成。

郑州黄河公路二桥是京珠国道主干道跨越黄河的特大桥,全长近10 km,主桥长800 m。桥梁设计荷载:汽车-超20级,挂车-120。总体布置见图10。

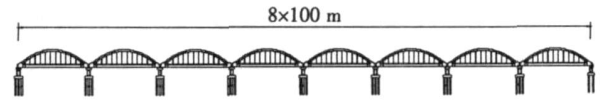


图10 郑州黄河公路二桥主桥总体布置图

主桥每跨两墩中心距100 m,计算跨度95.5 m,矢跨比1/4.5。上部结构上下行为分离式的两座桥。每座桥有两片拱肋,每片由2根 $\phi 1\ 000$  mm $\times$ 16 mm钢管和腹板组成高2.4 m的哑铃形断面。拱肋上、下钢管内浇注C50混凝土;拱脚到第一根吊杆间的腹腔内浇注C50混凝土,其余部分腹腔内不填充混凝土。两拱肋中心距离22.377 m,由三道横撑(中间一道一字形和两边各一道K撑)联系两拱肋,形成空间结构。横撑为 $\phi 1\ 500$  mm $\times$ 16 mm的钢管,管内不填充混凝土。

针对黄河的水文特点,采用“双线施工栈桥加跨墩龙门吊机”的总体施工方案,即在黄河主河槽上架设施工栈桥,在施工栈桥上拼装大型跨墩龙门吊机,利用龙门吊机进行大型构件的吊装作业。端横梁与拱脚结点采用支架现浇,预应力系梁采用预制、少支架安装,然后是钢管拱肋安装和管内混凝土灌注,最后完成中横梁、桥面板及附属设施。

### 8 兰州雁滩黄河大桥

兰州雁滩黄河大桥为三跨连续的下承式刚架系杆拱,中孔拱跨径127.0 m,是连续多跨下承式刚架系杆拱中跨径较大的一座。在桥道系构造方面,采用了钢管桁架作为纵梁来加劲。该桥于2003年建成。

雁滩黄河大桥是连接雁滩地区和盐场堡地区的城市桥梁,也是兰州市8字环形交通的重要组成部分。主桥结构为 $85 + 127 + 85$  m下承式三跨连续钢管混凝土刚架系杆拱桥,中孔矢高25.4 m,边孔矢高17.0 m,矢跨比1/5,拱轴线为二次抛物线。桥面宽31.0 m,双向四车道,设计荷载为:汽车-超20级,验算荷载挂车-120,人群荷载 $3.5$  kN/m<sup>2</sup>。大桥总体布置图见图11。

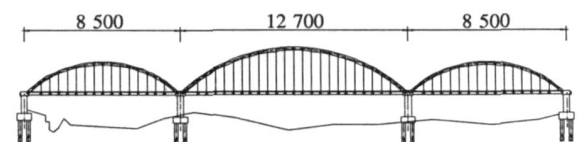


图11 兰州雁滩黄河大桥主桥总体布置图(单位:cm)

### 9 南宁永和大桥

永和大桥主桥为净跨 335.40 m 的中承式钢管混凝土桁拱,混凝土实体桥台、钢筋混凝土重力式沉井基

础。该桥是我国跨径超过 300 m 的几座钢管混凝土拱桥之一,钢管拱肋采用斜拉悬臂法施工,于 2004 年建成通车。

主桥净跨径为 335.40 m,设计净矢高为 76.873 m,净矢跨比为 1/4.363。大桥总体布置图见图 12。

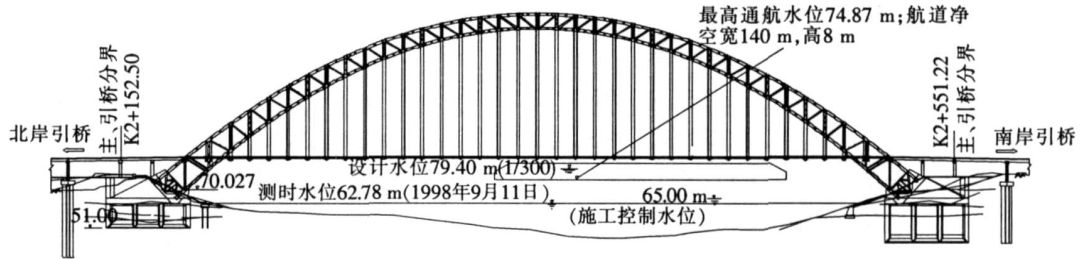


图 12 南宁市永和大桥总体布置图(单位:m)

### 10 湖南益阳茅草街大桥

主桥采用 80 + 368 + 80 m 三跨中承式钢管混凝土刚架系杆拱桥,在同类桥型中超过主跨 360 m 的广州丫髻沙大桥名列第一。作为交通部西部交通建设科技项目《钢管混凝土拱桥设计、施工与养护关键技术研究》的依托工程之一,开展了大量的研究。

茅草街大桥包括跨淞澧洪道、南汉垵高架及藕池河桥、南汉垵匝道桥、南茅运河桥、长春沱江桥及大桥接线,桥梁总长为 2 848.64 m,其中跨淞澧洪道主桥采用 80 + 368 + 80 m 三跨中承式钢管混凝土钢架系杆拱桥,主跨跨度目前为国内同类型桥梁最大跨径,同时宽跨比较小,为 1/18.5。大桥总体布置图见图 13。该桥采用斜拉悬臂法施工。

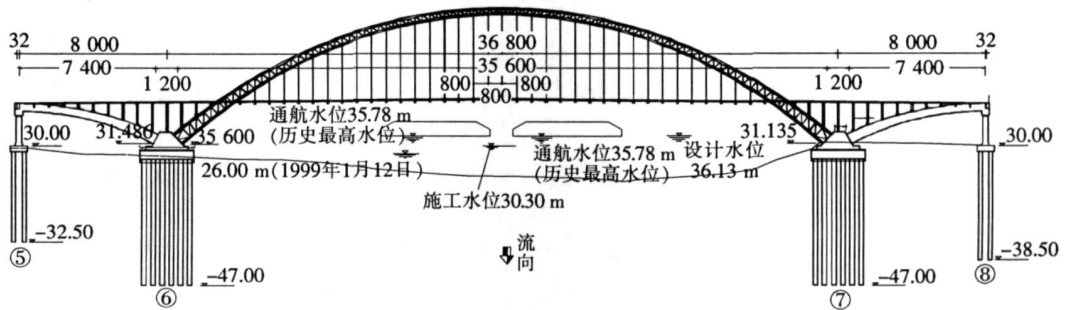


图 13 茅草街大桥桥型总体布置图(单位:除标高、水位为 m 外,其余均为 cm)

### 11 重庆巫峡长江大桥

重庆巫峡长江大桥主孔跨径达 460 m,是目前世界上跨径最大的钢管混凝土拱桥,也是世界上为数不多的跨径大于 400 m 的拱桥之一。该桥为中承式桁拱,采用斜拉悬臂缆索吊装施工,于 2005 建成。无论在结构设计还是施工方面,该桥均有许多创新之处。

20 级,挂车 - 120,人群荷载 3.5 kN/m<sup>2</sup>。总体布置图如图 14 所示。

大桥位于著名的三峡风景区巫峡入口处,桥面布置为净 15 + 2 × 1.5 m 人行道。设计荷载为汽车 - 超

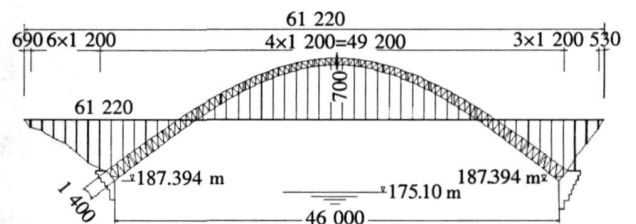


图 14 重庆巫峡长江大桥 (单位:除标高、水位为 m 外,其余均为 cm)

拱肋采用钢管混凝土桁架结构,拱顶截面肋高为7.0 m,拱脚截面肋高为14.0 m,肋宽为4.14 m,每肋上、下各两根 $\phi 1220\text{ mm} \times 22(25)\text{ mm}$ 、内灌C60的钢管混凝土弦杆,弦杆通过 $\phi 11\text{ mm} \times 16\text{ mm}$ 横联钢管和 $\phi 610\text{ mm} \times 12\text{ mm}$ 的竖向钢管连接而构成钢管混凝土桁架。两拱肋间桥面以上设置“K”形横撑,桥面以下的拱脚段设置“米”字形撑,每道横撑均为空钢管桁架。拱肋与桥面交接处,设置一道肋间横撑,全桥共设横撑20道。吊杆采用109 $\phi$  mm的预应力环氧喷涂钢丝,两端采用OVMLZMT-109型冷铸锚具。吊杆横梁和立柱横梁为预应力混凝土组合截面梁,肋间横梁为钢横梁。行车道梁为先简支、后连续的预应力混凝土“”形连续梁。桥面铺装为厚8 cm的钢纤维钢筋混凝土,全桥在两岸桥台处设两道24 cm伸缩缝。

两岸均采用“U”形桥台,两岸桥台台口宽度分别为19.0 m和55.17 m。引桥桥墩设计为明挖扩大基础,现浇钢筋混凝土的双排桩。拱座设计为分离式的钢筋混凝土拱座,横向分别设三道钢管混凝土横撑,拱座基础应置于稳定的、完整的弱风化基岩上,要求地基允许承载力不小于3.0 MPa。

钢管拱肋采用斜拉悬臂法架设。施工中根据索跨大、起吊重量重(索跨576 m,设计吊重128 t)的特点,为减小吊点(吊具)的配重,避免被动式承索器易发生钢丝绳扭角的情况,开发应用了主动式承索器(主动式承索器获得国家专利,专利号:ZL03234487.2)。此外,还开发出“可调索低应力夹片锚固系统”,获国家专利(专利号:ZL03234873.8)。

#### 参考文献:

- [1] 陈宝春主编,郑皆连主审. 钢管混凝土拱桥实例集(一)[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [2] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥(第二版)[M]. 北京:人民交通出版社,2007.
- [3] 陈宝春,杨亚林. 钢管混凝土拱桥调查与分析[J]. 世界桥梁,2006(2).
- [4] 陈宝春主编,郑皆连主审. 钢管混凝土拱桥实例集(二)[M]. 北京:人民交通出版社,2008.
- [5] 何庭国,马庭林,等. 北盘江大桥拱圈单铰转体施工设计[J]. 铁道标准设计,2002(9).
- [6] 陶建山,任旭初,陈国祥. 贵州水柏铁路北盘江大桥钢管拱转体施工设计[J]. 桥梁建设,2001(2).
- [7] 徐波,陈宝春. 东莞水道特大桥设计[J]. 福建交通科技,2003(3).
- [8] 孙潮,郑怀颖,陈宝春. 东莞水道特大桥面内受力双重非线性有限元分析[J]. 福州大学学报(自然科学版),2006(1).
- [9] 何晓辉,彭桂瀚,陈宝春,孙潮. 东莞大汾北水道桥拱肋吊装施工受力分析[J]. 福建交通科技,2004(4).
- [10] 倪顺龙,郭光松. 中承式钢管混凝土系杆拱桥——京杭运河特大桥设计与施工[M]. 北京:人民交通出版社,2006.
- [11] 陈宝春,陈友杰,刘玉擎. 钢管与钢管混凝土复合拱桥[J]. 桥梁建设,2001(1).
- [12] 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).
- [13] 赵林强,祝立君,潘黎明,等. 杭州市钱江四桥190 m跨上部结构设计[J]. 哈尔滨工业大学学报,2003(增刊).
- [14] 祝立君,赵林强,郑宪政. 杭州市钱江四桥190 m跨钢系梁设计[J]. 哈尔滨工业大学学报,2003(增刊).
- [15] Weizhong Zhang, Baochun Chen, Wenjin Huang. Design of the Second Highway Bridge over Yellow River In Zhengzhou[C]. China. Proceedings Of The Fourth International Conference on Arch Bridge, 2004, Barcelona, Spain, 531 ~ 53.
- [16] 汤意. 郑州黄河公路二桥设计[J]. 交通标准化,2006(4).
- [17] 贾军政,王明,马国刚,等. 兰州市雁盐黄河大桥主桥的一些设计特点[J]. 桥梁建设,2003(2).
- [18] 马国刚. 兰州雁滩黄河大桥主桥横梁的设计与试验研究[J]. 城市道桥与防洪,2005(5).
- [19] 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).
- [20] 胡建华,李瑜. 茅草街大桥总体设计[J]. 中国公路,2002(2).
- [21] 李瑜,王甜. 茅草街大桥钢管混凝土拱桥结构设计[C]. 中国土木工程学会桥梁与结构工程学会第十六届年会论文集,2004.
- [22] Mou Tingmin, Fan Bikun and Zheng Xufeng, etc. Wuxia Yangtze River Bridge in Wushan, China[C]. Proceedings of the Fifth International Conference on Arch Bridge, 2007, Madeira, Portugal: 469 ~ 474.
- [23] 陆永军,乔素云,李明泽,等. 钢管混凝土拱肋管内混凝土灌注技术[J]. 中外公路,2007(2).
- [24] 韦立林,谢开仲,秦荣. 钢管混凝土拱桥吊杆索力测试与有限元分析[J]. 中外公路,2007(2).

(未完,待续)