

④

17-22

# 水府庙水库大桥主桥设计

徐勇

U 442.5

**【摘要】** 本文介绍了水府庙水库大桥预应力混凝土连续刚构的构造、结构计算特点、深水基础施工方案选择。

**【关键词】** 水府庙水库 | 主桥 | 设计 | 预应力混凝土

## 1. 概况

水府庙水库大桥为80m+126m+80m 预应力混凝土连续刚构，全长295.65m，是上海至瑞丽国道湘潭至邵阳段的一座大型桥梁，位于湘潭市附近。全桥四车道，分为上、下行两座互相独立的两车道桥梁，桥面总宽30m，左右侧设1.75m人行道，桥面铺装为9cm厚沥青混凝土。主桥与两桥台之间设160mm模数式伸缩缝。大桥立面图见图1。

### 1.1 桥位地貌、工程地质

水府庙水库大桥跨越水府庙水库，距水库大坝约4.5km，水面宽约220m，平均水深20m左右。地形为剥蚀丘陵，地表自然坡度20°~30°，植被发育，岸坡陡峭。大桥两主墩处基岩均为微风化泥灰岩，岩面标高最高处为黄基65.31，标高最低处为黄基57.67，高差达8.55m，岩面标高变化很大，基岩基本容许承载力 $[\sigma] =$

850kpa。饱和单轴抗压强度13.81~56.0Mpa 基岩上部覆盖中风化石英砂岩，节理发育，岩层破碎，厚1.0~6.7m。表层为淤泥质亚粘土，厚3.10~6.60m。

### 1.2 水文、气象

水府庙水库属于涟水水系，是湖南省大型水利枢纽。水库百年一遇设计洪水位94.10m，千年一遇校核洪水位95.85m，根据推算300年一遇水位95.41m，施工水位采用多年库平均水位90.72m。通航水位采用正常蓄水位92.22m，按V级航道标准设计，航道净高8m。

桥位处属亚热带暖温季风气候，大陆性强。年平均气温16.8~17.4℃，月平均气温七月最高，历年均值29.4℃，元月最低为4℃，极端最高气温40.2℃，极端最低气温-10.1℃。

### 1.3 方案比选

大桥初步设计进行了双壁墩预应力连续刚

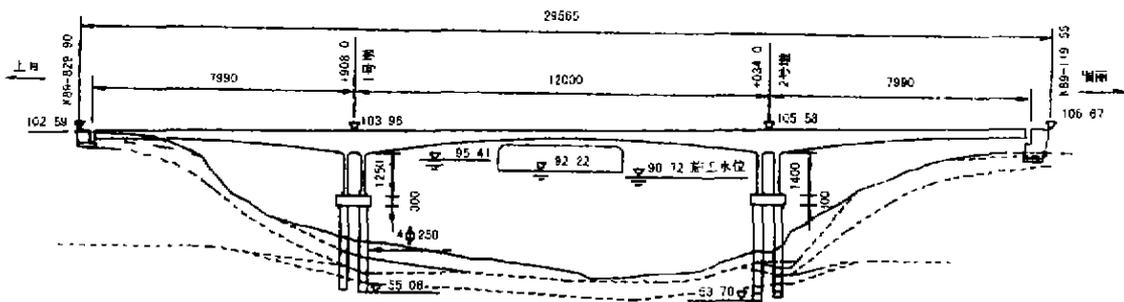


图1 大桥立面图

## 桥梁建设

构,下承式钢管混凝土拱桥两个主桥方案的比较,从工程投资,后期维修养护费用,运营条件,施工难易,施工运输条件及工期等方面综合比较,最后确定双壁墩预应力连续刚构方案。

### 2.主桥结构设计

#### 2.1主要技术指标

设计行车速度:100km/h。

设计洪水频率:特大桥采用1/300。

桥面坡度:全桥位于1.28%纵坡上,横坡:2%。

桥面全宽:2.0m+0.5m+11.99m+0.5m+0.01m+0.01m+0.5m+11.99m+0.5m+2.0m=30.0m。

地震基本烈度:VI度。

设计荷载:恒载:混凝土容量 $26.5\text{kN/m}^3$ 。

活载:汽车—超20级,挂车—120,人群 $3.5\text{kN/m}^2$ 。桥台基础不均匀沉降按1cm计,双壁主墩基础不均匀沉降按2cm计。

结构温度变化,根据当地气候条件,体系温度采用 $\pm 20^\circ\text{C}$ ,温差按桥面板升温 $8^\circ\text{C}$ 计。

### 2.2 全桥构造

#### 2.2.1连续刚构箱梁构造

根据本桥桥址地形及地质条件,经过结构方案的经济技术比较,连续刚构箱梁孔跨布置采用80+126+80m。单箱单室结构。中跨与边跨的跨度比为1:0.635,每座独立的桥箱梁顶板宽(包括翼缘板)14.0m,底板宽7.0m,箱宽为主跨跨度的1/18.0。箱梁各控制截面处梁高分别为:端支座处及边跨直线段2.5m,以壁墩墩顶处6.8m,中跨跨中2.5m,分别为主跨跨度的1/18.53和1/50.4;梁底采用圆曲线过渡,曲线半径 $R=406.917\text{m}$ ,中跨跨中合拢段和边跨托架施工段、合拢段及不平衡悬臂施工段(指中跨合拢后,再悬灌边跨梁段)梁底均为直线。箱梁横截面见图2所示。

箱梁各部板厚如下:顶板厚25cm,底板厚

32cm至70cm,腹板厚40cm至70cm。

箱梁在梁端支座处设置了厚0.8m的端横隔板,中跨跨中合拢段设置了厚0.6m的中横隔板,双壁墩顶位置设置了两片厚1.2m的横隔板与墩身连成整体,其他部位不再设横隔板,以减轻梁的自重并简化施工工艺。双壁墩柱顶梁隔板留 $2.0\text{m}\times 2.5\text{m}$ 进入洞,端横隔板留有 $1.0\text{m}\times 2.0\text{m}$ 施工进入洞中横隔板设有 $1.2\text{m}\times 2.0\text{m}$ 进入洞,此外,还在中跨梁顶适当位置设置一处 $1.0\text{m}\times 1.0\text{m}$ 正方形施工进入洞。

箱梁采用55号混凝土。

#### 2.2.2墩柱与基础构造

墩柱采用双薄壁墩,墩壁中心间距5.2m,截面为 $1.2\text{m}\times 7.0\text{m}$ 的矩形,承台顶至箱梁梁底间墩柱高度1号墩为12.5m,2号墩为14.0m,墩柱顶与箱梁相交部位设 $0.80\text{m}\times 0.80\text{m}$ 梗肋,墩柱底与承台相交部位设 $0.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ 梗肋。双薄壁墩柱采用40号混凝土。

基础为钻孔灌注桩高桩承台结构,每个桥墩采用4根直径2.5m的嵌岩桩。纵、横中心距均为6.0m,承台尺寸 $10.5\times 10.5\times 3.0\text{m}$ ,四角为半径1.75m的圆角结构。由于墩位处岩面标高变化较大,每根桩长根据其桩位处实际地质情况确定。基桩需做超声波检查,所有桩基内均设置3根外径 $\Phi 140\text{mm}$ ,壁厚4.5mm的钢管,在桩身断面呈等边三角形布置。承台与钻孔桩采用30号混凝土。

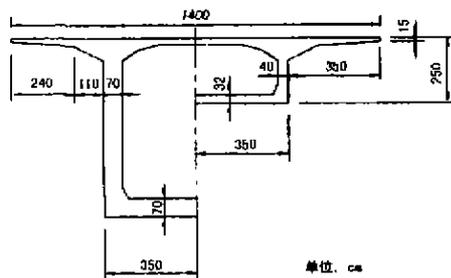


图2 箱梁横截面图

## 桥梁建设

### 2.2.3桥台及基础

大桥两端桥台均采用U形桥台,扩大基础。

### 2.3箱梁节段划分及施工顺序

双壁墩柱处侧轮廓间距为6.4m,结合考虑第一次悬灌所需挂篮长度,取双壁墩顶梁段长度为12m,各合拢段长度为2.0m,边跨满布支架现浇梁段长度为11.9m,1号至8号节段梁长3.0m,9号至17号节段梁长4.0m。其中最重的悬灌节段为1号节段,重量为1254kN。

墩柱顶梁段施工完成后,则以该节段顶面作为悬臂浇筑的起点,向墩柱两侧对称一个接一个节段顺序浇筑混凝土,逐步延伸至合拢位置。合拢中跨中合拢段,形成II形结构,再在边跨两端

悬臂灌注一个不平衡直线节段,并满布支架进行边跨直线节段施工,然后边跨合拢。悬灌一个不平衡直线节段减少了支架现浇段长度并对结构受力有利。全桥施工顺序见图3。

### 2.4预应力体系

预应力混凝土连续刚构箱梁采用三向预应力体系。

为了方便施工,简化梁部构造,顶板悬臂束采用平弯布置,即将各束先平弯至顶板梗肋处再进行张拉锚固。顶板合拢束及底板束不采用平弯布置。纵横向预应力钢束采用符合ASTMA416—90a标准规定的低松弛高强度钢绞线,标准强度 $R^b$ ,=1860Mpa,公称直径为 $\Phi 15.24$ mm,弹性模量E,

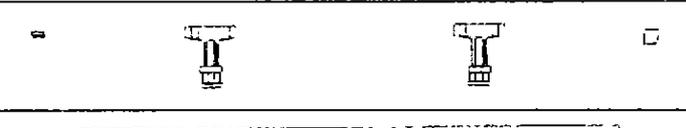
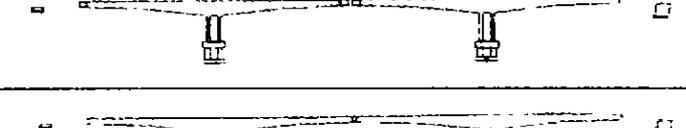
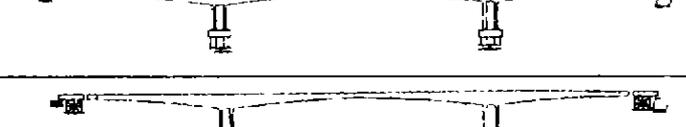
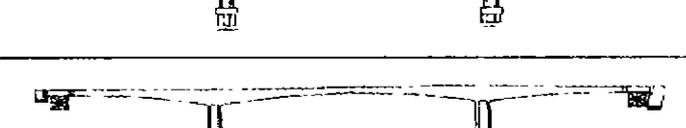
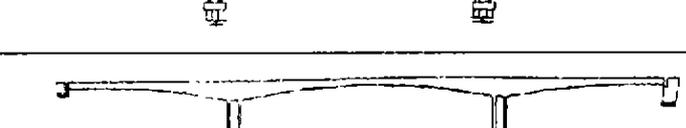
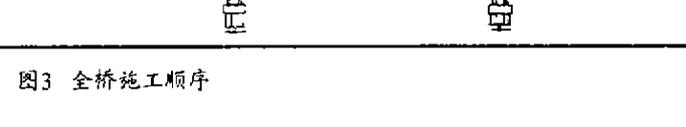
序号	说明	示意图
一	待基础、双壁墩施工完毕后,在1,2号墩两侧搭设支架,立模浇注0号块混凝土	
二	待0号块混凝土达到85%设计强度后,在0号块上拼装架设挂篮并在墩身两侧对称悬浇1号梁段。	
三	挂篮前移就位,墩身两侧对称悬浇2号梁段。	
四~十六	重复上述操作过程,依次完成3号~16号梁段的混凝土浇注。	
十七	中跨合拢,形成一个两端带悬臂的刚构。	
十八	前移边跨挂篮,浇注17号梁段混凝土	
十九	边跨合拢,形成三跨连续刚构,浇注U台台背、侧墙。	
二十	安装伸缩缝,现浇护栏,铺装层,安装人行道板及栏杆等桥面系,完成全桥施工。	

图3 全桥施工顺序

## 桥梁建设

$=1.95 \times 10^5 \text{Mpa}$ 。

纵向：顶板钢束采用19根 $\Phi 15.24\text{mm}$ 、270级钢绞线和OVM15—19型锚具，采用内径100mm的波纹管制孔，选用YCW400型千斤顶，控制张拉应力3497.9kN。底板钢束及顶板合拢索采用12根与顶板束相同的钢绞线和OVM15—12型锚具，锚固于锯齿块上，采用内径90mm的波纹管制孔，选用YCW250型千斤顶，控制张拉应力2274.2kN。

箱梁支点截面布置48索，边跨、跨中截面最大正弯矩区分别布置22、28索。

横向：箱梁顶板横向预应力钢束采用3根同纵向钢索相同的钢绞线，锚下张拉控制应力为1116Mpa，相应张拉力463kN，采用BM15—3扁锚，制孔为内径19mm $\times$ 60mm的扁形金属波纹管，横向预应力钢束沿桥长原则上间距为0.8m，根据具体情况个别地方有所调整，根据受力需要沿箱梁顶板横向成曲线布置，一端张拉，一端固定，张拉端与固定端交错分别设置。

竖向：箱梁腹板内设竖向预应力精轧螺纹钢，直径 $\Phi 25\text{mm}$ ，屈服强度 $R_y^b=550/850\text{Mpa}$ ，采用JLM—32锚具，选用YCW60千斤顶，使用内径 $\Phi 35\text{mm}$ 的金属波纹管制孔，布置于腹板中心线偏内侧5cm处，以提供偏心弯矩，改善腹板受力性能。箱梁下端为非张拉端，上端为张拉端。

### 3. 结构计算

本桥墩位处墩顶至水库底平均29m，按设计施工水位90.72计，施工平均水深21m，墩高与跨度之比为1/10，桥矮，水深是本桥的主要特点，合理确定边跨和中跨之比以及下部结构的刚度是设计中应重点考虑的问题。众所周知，连续刚构的特点是梁部、墩柱、基础共同受力，本桥采用高桩承台钻孔桩基础，钻孔桩自由长度长，箱梁边跨与中跨之比、双壁墩的相对刚度对桩基础及双壁墩本身受力有很大影响，对梁部影响不大。双

壁墩的相对刚度由墩高、纵横向尺寸及双壁墩中心距确定，墩高决定了承台的设置标高、桩的自由长度，即墩越高，承台设置越低，桩的自由长度越短，墩柱、桩基础受力越合理，但受水深的影响，基础施工却相对困难。设计中做了大量的计算分析比较，最后确定1号墩高为12.5m，2号墩为14.0m，两桥墩承台底标高基本一致，钻孔桩自由长度平均为15.4m，承台底至设计施工水位9.3m，吊箱围堰高13m即可，既保证了结构受力相对合理，又最大限度地减少了基础施工的难度，从而达到减少投资的目的。

计算图式考虑墩柱整体结构模式，见图4。根据桥位处地质情况，不计表层淤质亚粘土覆盖层，全桥按嵌岩在石英砂岩层面和微风化泥灰岩层面两种计算图式计算。这样充分考虑了基础刚度对上部结构及桩基础本身的受力影响。整体结构各项检算取其中最不利值作为设计控制情况。



图4 计算图式

在进行使用荷载下的应力组合时，计算如下七种组合：

工况1恒载+支点沉降+汽车

工况2制动力(→)+恒载+支点沉降+汽车  
+升温20°C+顶板升温8°C

工况3制动力(→)+恒载+支点沉降+汽车  
+降温20°C+顶板升温8°C

工况4制动力(→)+恒载+支点沉降+汽车  
+顶板升温8°C

工况5制动力(←)+恒载+支点沉降+汽车  
+升温20°C+顶板升温8°C

工况6制动力(←)+恒载+支点沉降+汽车  
+降温20°C+顶板升温8°C

工况7制动力(←)+恒载+支点沉降+汽车  
+顶板升温8°C

## 桥梁建设

由于大桥位于库区,未考虑满人影响。

为考虑桩基对上部结构的影响,将承台以下的每排桩基按等刚度等面积原则,简化为一根长方形柱。施工阶段计算共计算了44个阶段,施工完成后混凝土收缩徐变计算3个阶段(3年),共计算了47个阶段。全桥共化分147个节点,146个单元。

箱梁分节段施工悬臂灌注,合拢后形成连续结构,按体系转换进行内力分析计算。收缩徐变计算中考虑连续刚构箱梁分阶段逐段悬灌施工、各阶段混凝土龄期不一致等因素的影响,采用老化理论进行分析计算。混凝土徐变特征值计算式中,徐变终极值取2.0,并取2.2对结构受力进行校核,采用控制值进行设计。结合徐变影响,分析各钢索在体系转换不同状态下的作用,确定各类钢索张拉顺序。

连续刚构之双墙式薄壁柔性墩柱相对比较柔,在结构受力过程中必然受到材料非线性和几何非线性等因素影响,要精确分析桥墩的内力及受力过程是相当复杂的,在墩柱内力计算中,考虑上述因素影响,经研究分析墩柱纵向弯矩乘以增大系数1.1。

主梁线形设置考虑混凝土后期收缩徐变的影响,计算表明全桥合拢铺上二期恒载后,箱梁跨中后期徐变挠度为向下4.2cm,因此,预挠度设置原则为铺上二期恒载后,跨中上拱2.0cm,这样箱梁最终线形为跨中下挠2.2cm。影响箱梁挠度的因素很多,主要有弹性模量、混凝土收缩徐变、预应力大小、日照温度变化、施工荷载、施工误差、墩身刚度等,各参数的取值将直接影响挠度的计算结果,施工时应根据现场实际情况确定有关参数,对挠度计算作出调整,以确保主梁线形符合设计要求。

纵向计算中以控制箱梁顶面不出现拉应力、箱梁跨中底面最大拉应力不大于1.2MPa为原

则,另外,在施工和使用阶段箱梁混凝土压应力也不应过大,原因是大吨位群锚锚下局部应力较大和材料收缩徐变的误差以及受其他一些不确定因素的影响。

主桥纵向采用平面梁系分析程序计算。

箱梁横截面按支承于箱梁腹板的闭合框架计算,其框架温度变化图式如图5。

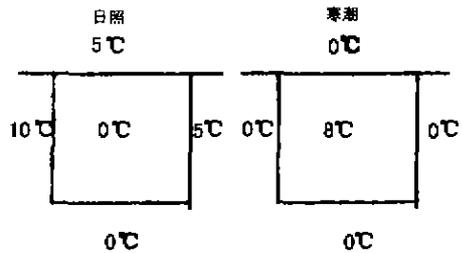


图5 温度变化图式

### 4.基础施工方案简述

大桥桥墩处水深21m左右,覆盖层较薄,岩面倾斜较大,刚构基础的施工方案对刚构的结构设计有较大影响,因此应首先根据大桥的水文及地质情况确定深水中施工桩基础及承台的施工方案。

目前,国内深水基础施工较常采用的施工方法有两种:采用双壁钢围堰施工桩基及承台,另一种是水上平台施工桩基础,采用吊箱围堰施工承台,较少采用沉井及钢板桩围堰,双壁钢围堰有坚强的圆形双壁钢壳,可以承受很大的围堰内外水头差,基本不受水深限制,安全可靠,但大桥墩位处岩面倾斜,持力层石英砂岩面标高高差达8.55m,下沉和稳定巨大的异型刃脚双壁钢围堰,需进行大量的水下爆破作业,还需随时纠正偏位,严格控制扭转,在下沉终结时,异型刃脚需尽可能于岩面相吻合,使围堰刃脚得到均匀而稳定的支撑,施工十分困难,该方案用钢量大,造价高,施工周期长,工期较难把握。相反,采用水上平台施工桩基础,吊箱围堰施工承台,虽然施工方案技术要求高,但施工材料节省,费用

## 桥梁建设

低, 有较为显著的经济效益, 它是深水基础施工方案比选中优先考虑的方案。宜昌夷陵长江大桥、武汉白沙洲长江三桥深水墩基础施工均采用这一方案。施工方案简介如下:

钻孔桩施工方案: 利用钻孔桩钢护筒作为承力体构筑水上平台进行基础施工。用浮箱在岸边组拼成平台, 浮运至墩位处拼成施工定位构架, 准确抛锚定位, 在构架上设置护筒下沉导向架, 精确定位, 用振动打桩锤振动下沉钢护筒。在钻孔桩钢护筒顶部施工平台上进行钻孔桩施工。

承台施工方案: 钻孔桩施工完毕后, 拆除水上平台, 切割顶部钢护筒, 同时在岸边重新组拼浮箱, 浮箱中间预留围堰位置。在浮箱上拼好龙门架, 在预留位置组拼吊箱钢围堰浮运至桩位处起吊吊箱围堰, 挂吊在钢护筒上。吊箱围堰就位后, 灌注水下封底混凝土1.5m, 填砂0.5m, 然后施工承台。

目前, 该桥正在施工中。

## 5. 刚构工程材料指标分析

项目	单位	数量			
		上部	下部	合计	
混凝土	m <sup>3</sup>	7305	4883	12188	
钢材	钢绞线	t	401		401
	精轧螺纹粗钢筋	t	88		88
	普通钢筋	t	914	571	1485
项目	单位	指标 (1m <sup>2</sup> 桥面)			
混凝土	m <sup>3</sup>	0.91	0.61	1.52	
钢材	钢绞线	t	0.05		0.05
	精轧螺纹粗钢筋	t	0.01		0.01
	普通钢筋	t	0.114	0.07	0.186

### 参考文献

1. 范立础主编. 预应力混凝土连续梁桥. 北京: 人民交通出版社, 1998
2. 陈新. 双壁钢围堰大直径钻孔基础. 桥梁建设 1982.5
3. 王文涛. 刚构—连续组合梁桥. 北京: 人民交通出版社, 1995

## 2000年预应力技术研讨会在广州召开

我厂与广东省公路学会桥梁工程分会联合举办的2000年预应力技术研讨会于11月22日在广州珠江宾馆胜利召开。

参加会议的代表共有五十多人, 分别是来自广东省各大设计院、省质量监督站、省长大公路工程公司、省高速公路公司、市高速公路公司等单位的负责人和骨干。

在会上, 中国建筑科学研究院陈中研究员做了《大直径无粘结预应力混凝土管试制试验》的报告, 上海同济大学颜义然教授与各到会代表探讨了预应力工程施工中几个常常遇到的问题, 随后广州市高速公路公司工程部主任尹浩辉给代表们作了《广州丫髻沙大桥桥体转体施工工艺及系杆选型的施工工艺》的报告, 由于该桥采用

OVM系杆和锚具, 随着丫髻沙大桥知名度的提高, 我厂的锚具及缆索又将会掀起一次品牌热潮。最后我厂厂长助理方中予做了《OVM预应力锚固技术在工程应用及新技术研究》的报告, 详细介绍了我厂几大系列产品及新产品的应用和技术, 使代表们对我厂产品有了更深的了解和认识。

通过这次会议的胜利举办, 我们既达到了学习交流的目的, 又给自己的产品在广东地区做了一个很好的宣传。相信经过这次会议和我们日后的努力, 我们一定能为广东地区的路桥工程建设提供更多、更好的产品和优质服务。

(谢芳)