

杭州市跨运河桥主桥设计

徐永利 罗红枝

摘要 杭州跨运河桥主桥为预应力混凝土V形刚构。该桥首次将钢管混凝土应用于V形刚构结构中,有其特色和优点。

关键词 钢管混凝土 刚构 桥梁 设计

1 概况

湖州路跨运河桥位于杭州市西北郊的拱宸桥附近,南面靠近杭州高新技术开发区,距拱宸桥500米左右,区域内地形平坦。湖州路为城市I级主干道,道路红线宽度36米。

运河杭州段位于杭嘉湖平原的南部,属太湖流域平原河网水系。由南向北以大运河为主干,东西两岸有众多支流汇入,形成水网地区,直接汇入面积607km²,汇入运河的支流有余杭塘河、古新河、西塘河、中河等。相邻水系有东苕溪、西湖、钱塘江等。这些水系通过闸、坝与运河水系相连。

运河杭州段水系的基本流向是干流自南向北,支流自西向东形成顺流。由于水面坡降很小(常水位时平均坡降1/15万,高水位时平均坡降为1/10万),平时流速缓慢。水资源不够丰富,且年内分配不均匀,一年中多数月份平均流量小于1m³/s,枯水季节流量接近于零。当水量不足时,依靠太湖水系补给。

京杭大运河通航等级为300t,通航净空为5.5m,航道净宽为45m,运河最高通航水位为2.38m。航道中心线与桥梁中心线基本正交。本段内运河的支流为姚家坝河,在湖州路北侧汇入运河。

主桥为一联(40+64+52)m预应力混凝土V形刚构,桥面宽36m,全长156m,建筑面积5616m²。V形斜腿采用钢管混凝土结构(见图1)。

2 主要技术标准和工程区域自然条件

2.1 主要技术标准

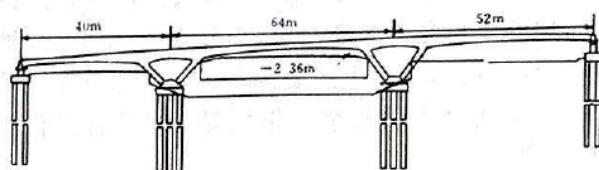


图1 主桥V形刚构立面图

- 1)道路等级:城市主干道I级。
- 2)计算行车速度:50km/h。
- 3)设计荷载:汽车—20级,人群荷载:3.5 kN/m²;验算荷载:挂车—100。
- 4)最大纵坡:2.46%
- 5)桥下净空:跨运河净空≥5.5m;运河通航水位:2.38m;跨丽水路净空≥5.0m。通航等级:300t,航道净宽:45m;丽水路与湖州桥交叉点高程:5.10m。
- 6)防震设防标准:本地区地震基本烈度:6度,按提高一度采取抗震构造措施。
- 7)桥梁横断面布置:
3.7m(人行道)+4.5m(非机动车道)+1.5m(绿化分隔带)+16.6m(机动车道)+1.5m(绿化分隔带)+4.5m(非机动车道)+3.7m(人行道),总宽为36.0m。

2.2 工程区域自然条件

1)气象、地震:

杭州市地处亚热带季风气候区,气候温暖湿润、四季分明。年平均气温15.3℃—17.8℃,最冷月(1月份)平均气温3℃—5℃,最热月(7月份)

平均气温 27.4°C — 29.7°C 。绝对最低、最高气温分别为 -10.5°C 和 42.1°C ，无霜期约 250 天。

年平均降水量 1100—1600mm。降雨量集中在 5 月至 7 月的梅雨期和 8 月至 10 月的台风季节，最大、最小年降水量为 2356.1mm 和 954.6mm。

多年平均日照 1899.9 小时，多年平均蒸发量 1235.3mm。

主导风向夏季东风最多，东南、东北风次之，冬季为西北风。

地震基本烈度为 6 度。

2) 工程地质概况：

拟建道路工作沿线勘察深度 54.50m 范围内，地基土可分为 8 个土层，细分为 20 个亚层。地层岩性特征自上而下主要为：人工填土、淤泥质粘土层、粉质粘土层和全风化沉凝灰岩及强风化沉凝灰岩。

3 主桥上部结构设计

主桥上部结构为一联 (40+64+52)m 预应力混凝土 V 形刚构，计算跨径为：39.15+64+51.15m。

3.1 结构尺寸及构造

(1) V 形刚构梁体为双箱双室变截面变高度结构。主梁与斜腿固结处梁高 2.6m (外侧悬臂顶点至底板底面，下同)，中跨跨中及边跨端部等高段梁高 1.4m。箱梁顶面与线路竖曲线线形一致，梁体下端除中跨跨中 2.0m 长合拢段及边跨两端长 8.64m、20.64m 为等高段外，其余部位梁体曲线线形为 $R=193.204\text{m}$ 的圆曲线；V 形刚构顶梁梁高为 2.0m~2.6m，梁底曲线线形为 $R=35.508\text{m}$ 的圆曲线。

箱梁横截面：为双箱双室结构，顶宽 36.0m；单箱底宽 11.0m，外侧悬臂长 3.70m，内侧悬臂长 2.90m，中部现浇湿接缝宽 0.8m (见图 2)。

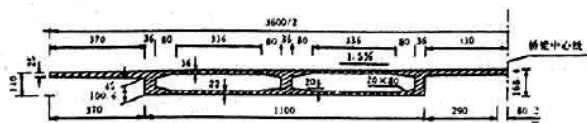


图2 主桥箱梁构造图

箱梁顶板厚度：V 型刚构顶部 24m 长梁段及

边跨端支点处厚 36cm，其它部位厚度均为 25cm。

箱梁腹板厚度：除 V 形刚构斜腿与箱梁固结处 4m 长梁段为实体段 (设通风孔) 外，其它部位腹板厚度均为 36cm。

箱梁底板厚度：除 V 形刚构斜腿与箱梁固结处 4m 长梁段为实体段外，顶梁及边跨端支点处厚 36cm，其它部位均为 22~49.3cm。

箱梁内顶、底板处各设 $20 \times 80\text{cm}$ 梗肋；两端支点处设厚 1.64m 横隔板，与 V 形斜腿固结处设实体段长 4.0m。实体段设 $120 \times 88\text{cm}$ 通风孔。箱梁腹板设 $\phi 10\text{cm}$ 通风孔。

(2) V 形斜腿采用钢管混凝土结构。钢管外径 $\phi 130\text{cm}$ ，壁厚 14mm，材质采用 16Mn 钢；钢管内充填 50 号微膨胀混凝土；外包厚 12cm 纤维网增强钢丝网防水混凝土，抗渗标号 S6。

斜腿夹角：7 号墩为 $94^{\circ}28'24''$ ；8 号墩为 $88^{\circ}53'51''$ (见图 3)。

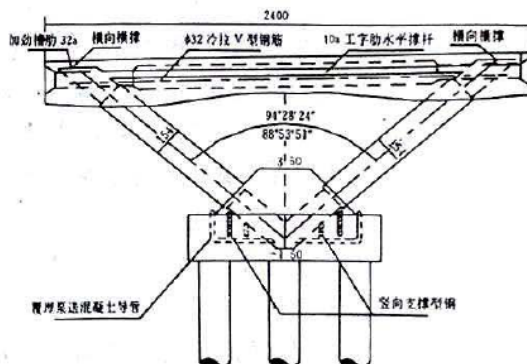


图3 V撑构造图

3.2 主要材料及设备

(1) 混凝土：

1) 主桥箱梁梁体混凝土：50 号混凝土。

2) V 形斜腿钢管内充填混凝土：50 号微膨胀混凝土。

3) V 形斜腿钢管外包混凝土：50 号纤维网加强防水混凝土，抗渗标号采用 P6。

4) V 形斜腿钢管外包钢丝网： $\Phi 8\text{mm}$ 冷拉 II 级钢筋。

(2) 预应力体系：

主桥梁部结构设纵向、横向双向预应力。

1) 纵向预应力体系

纵向预应力钢筋是为了满足在施工和运营状况下强度及受力的要求而设，采用符合 ASTM A416 标准的 $\phi 15.24\text{mm}$ 低松弛钢绞线，

$R_y^b = 1860\text{MPa}$, 钢束规格为 $12\phi 15.24\text{mm}$, 预埋内径 $\phi 90\text{mm}$ 金属波纹管成孔, 采用 YM15—12 锚具锚固, 张拉设备采用 YCW250 型千斤顶。

2) 横向预应力体系

横向预应力钢筋主要是用于抵抗横向正弯矩, 根据受力分析, 每 50cm 设一束 $4\phi 15.24\text{mm}$ 钢绞线, 技术指标同纵向预应力。预埋内径为 $70 \times 20\text{mm}$ 金属扁波纹管成孔, 双端采用 YMB15—4 锚具锚固, 张拉设备采用 YDC240 型千斤顶。

(3) 斜腿钢管: 16Mn 钢, $\phi 1300\text{mm}$, 壁厚 14mm。

(4) 斜腿与箱梁及底座锚固设施: 采用在斜腿端部 1.2m 范围内, 设间距为 $0.4 \times 0.4\text{m}$ 、长为 15cm 的 8 号普通热轧角钢锚固。

(5) 斜腿顶部施工时固定设施: 采用 40a 型普通工字钢作为顶部水平撑杆, 每对斜腿顶部设一根; 同时用 N 级 $\phi 32\text{mm}$ 冷拉钢筋作为水平拉杆, 用 YGM32L 连接器接长; 斜腿钢管顶部横向采用 32b 型普通工字钢作为横向支撑。

(6) 普通钢筋: 主筋采用 $\phi 16$ 和 $\phi 12$ 的 I 级钢筋, 蹬筋及架立筋采用 $\phi 8$ II 级钢筋。

(7) 支座: 主桥两端部采用 GPZ 系列盆式橡胶支座, 每端各设 6 套, 分 DX 及 SX 型。

4 施工方法

4.1 顶梁施工

V 型斜腿顶部长 24m 顶梁施工系以联结成整体的 V 形斜腿为依托, 配以落地支架分三段现浇施工。

4.2 中跨及边跨梁段施工

中跨及边跨梁段采用分段施工。其中, 中跨采用挂篮分五段悬灌, 边跨采用与中跨相对应分段于支架上现浇。

4.3 主桥分成左右两幅桥分别施工。

两幅桥中部留宽度为 80cm 湿接缝, 待两幅桥均合拢后现浇湿接缝混凝土, 张拉横向预应力钢筋形成全桥整体断面。

4.4 V 形斜腿施工

空钢管在工厂内卷制: 按照设计在组装前焊接钢管内加劲钢板、斜腿与顶梁及底座的锚固角钢, 在拉杆相应位置预先打好穿束孔。就位后先测各部位尺寸、角度、高程, 在确保准确无误后, 方可安装各种撑杆, 以确保 V 撑结构准确、稳定、牢固, 然后灌注承台上半部分混凝土。外包防水混凝土

的施工方法: 在工地组拼完成后, 分两段用模板现浇施工。待外包混凝土施工完成后, 向钢管内顶升泵送 50 号微膨胀混凝土。

5 结构计算和设计

5.1 荷载

(1) 结构自重: 混凝土容重按 26.0kN/m^3 计。

(2) 施工荷载: 悬臂挂篮每套重 750kN, 其中包括了施工机具及人员荷载。中跨跨中合拢段托架及机具、人群等重按 750kN 计。

(3) 桥面二期恒载: 主桥 4.42kN/m^2 。

(4) 混凝土收缩、徐变: 混凝土收缩影响按降温 10°C 考虑; 徐变系数 $\Phi_\infty = 2.0$, $\beta = 1.5$, 相对的湿度按 85% 考虑。

(5) 温度影响: 合拢温度按 20°C 考虑。最冷月平均温度按 3°C 计, 最热月平均温度按 30°C 计。桥面温升按 5°C 计。

(6) 基础不均匀沉降值取 2cm, 考虑混凝土徐变的有利影响, 本项内力按 50% 折减。

(7) 汽车荷载: 汽车—20 级 (四列车队)。

(8) 非机动车荷载: 按汽车—10 级 (二列)。

(9) 人群荷载: 3.5kN/m^2 。

5.2 计算图式

主桥考虑 V 形刚构一桩基础共同作用, 按平面杆系有限元法进行受力分析, 共划分为 146 个结点, 147 个计算单元。

5.3 结构设计

(1) 箱梁设计:

1) 箱梁纵向按全预应力理论设计。

2) 检算阶段: 各施工阶段及运营阶段。

3) 检算内容:

施工阶段: 箱梁上、下翼缘正应力;

运营阶段: 承载能力极限状态及正常使用极限状态。其中, 正常使用极限状态检算内容包括正应力及主应力。其控制截面检算结果见表一。

(2) V 形刚构斜腿设计:

V 形刚构斜腿为偏心受压构件。本次设计, 按《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS28: 90) 中相应检算内容, 按照设计的截面尺寸验算其承载能力做了检算, 满足相应规程要求。具体计算结果见表二。

6 下部工程的设计

6.1 桥墩及盖梁设计

表一 主桥箱梁控制截面内力及检算结果

截面位置		小边跨 跨中	V撑顶梁 跨中	中跨跨中	大边跨 跨中
截面内力	弯矩 (t-m)	2086.6	-6502.6	10340.5	9074.9
	轴力 (t)	0	4543.3	1714.8	0
检算结果 (MPa)	Max	10.76	14.73	11.90	12.64
	Min	3.44	3.77	0.35	1.75

V撑相应不利截面和荷载组合时

表二 计算参数和结果

截面位置		偏心折减 系数 Φ_e	长细比折 减系数 Φ_l	承载力 设计值 $N_d(kN)$	荷载效应 $N(kN)$
与梁固结处	a	0.9785	0.7840	54271.68	18168.65
	b	0.8239	0.7996	46606.20	9932.29
与承台固结处	a	0.6603	0.8269	38624.05	18513.53
	b	0.4561	0.8420	27168.36	10206.01

(1)桥墩均为钢筋混凝土柱式桥墩,横桥向4根。

(2)主桥桥墩每柱截面尺寸为 $1.2 \times 1.5\text{m}$,各墩柱均设半径 $R=15\text{cm}$ 圆弧切角。

(3)各桥墩墩柱混凝土强度级别均为30号。

主桥桥墩顶部设大悬臂倒T形盖梁,混凝土强度级别为40号,并设横向预应力钢筋;预应力体系同梁部纵向预应力钢束。

6.2 基础设计

采用钻孔灌注桩基础形式。桩身混凝土强度

为25号。桩底持力层位均要求置于强风化沉凝灰岩地层,要求桩底沉渣厚度不得大于 10cm 。

主桥V撑部分每墩均采用20根 $\phi 150\text{cm}$ 钻孔桩,纵向三排,呈梅花形布置,每根桩长均为 45m ;主桥边墩每墩均采用16根 100cm 钻孔桩,纵向双排、横向8排布置,每根桩长均为 45m 。

V形刚构底座均为钢筋混凝土实体结构,采用30号混凝土,厚度 5.0m ,顶面高程 3.5m 。

7 结语

杭州市湖州路跨运河桥主桥为 $(40+64+52)\text{m}$ 预应力混凝土V形刚构,桥面宽 36m 。首次将钢管混凝土应用于V形刚构结构中,充分发挥了钢管混凝土结构强度高、重量轻、塑性好、耐疲劳、耐冲击等优点。同时,钢管本身作为耐侧压的模板和劲性承重骨架,在施工中可简化安装工艺、节省脚手架、缩短施工工期,减少施工用地。总之,钢管混凝土在V形刚构桥梁中的应用对桥梁结构的发展有很大的影响。该桥已于2000年8月开工,预计于2001年10月竣工。她的建成将给美丽的杭州又增添一道亮丽的风景。

参考文献

- [1]《钢管混凝土结构设计与施工规程》:中国计划出版社,1992。
- [2]陈宝春:《钢管混凝土拱桥设计与施工》,人民交通出版社,1999。
- [3]韩林海、钟善桐:《钢管混凝土力学》,大连理工大学出版社,1998。

HVM 信息

CXA 型传感器

CXA系列长效振弦式传感器由柳州海威姆建筑机械有限公司研制生产,主要用于大吨位预应力索力的长期监测,其精度达 $1\%\text{FS}$ 。GSJ-2A型检测仪是与CXA系列振弦式传感器配套使用的检测仪器。它以单片机为核心,配有高性能钢弦激发电路和高精度快速测频电路,用电池供电,液晶LCD数码显示器显示,性能优良,使用简便。其技术参数见表1。

CXA型传感器已在全国首条磁悬浮铁路——上海磁悬浮高速列车预应力轨道梁工程和广西黎塘—南宁铁路复线预应力弗氏锚轨道梁张拉

工程中成功应用,获得了用户的好评。

传感体主要参数

表1

规格参数	CXA1000	CXA2000	CXA3000	CXA4000	CXA5000
测量范围 kN	300~1000	600~2000	900~3000	1200~4000	1500~5000
系统误差	1%FS	1%FS	1%FS	1%FS	1%FS
安全过载	20%	20%	20%	20%	20%
穿心孔径 mm	80	128	160	182	182
最大外径 mm	210	265	315	370	402
高度 mm	85	105	120	140	155
质量 kg	16.8	30.3	46.7	74.3	101.5

(郑晓龙 朱万旭 周红梅)