

文章编号: 0451-0712(2006)12-0046-05

中图分类号: U448. 211

文献标识码: B

三峡库区卡子湾大桥的设计与施工

金文成, 邱 峰

(华中科技大学土木工程与力学学院 武汉市 430074)

摘 要: 三峡库区秭归县卡子湾大桥为预应力混凝土斜拉式桁架连续刚构桥, 跨径为 79.45 m+140 m+79.45 m, 桥梁全长 344.3 m, 采用悬臂拼装法施工。介绍该桥的总体布置、结构设计、施工及施工监控的要点。

关键词: 预应力混凝土斜拉式桁架桥; 设计; 施工

1 工程概况

三峡库区卡子湾大桥位于秭归县归州镇境内, 是秭归县归水公路渡水河大桥的复建工程。该桥的兴建将大大地改善当地的交通状况, 服务库区人民, 促进当地的经济发展, 并将成为三峡库区一道靓丽的风景。

1.1 桥型

主桥桥跨布置为 79.45 m+140 m+79.45 m, 为预应力混凝土斜拉式桁架连续刚构桥, 见图 1、图 2 所示。桥面设有 8~13.25 cm 厚的 C30 防水混凝土和 4 cm 厚的沥青混凝土桥面铺装。归州岸侧引桥跨径为 31 m 的曲线箱梁, 水田坝侧跨径为 8 m 的空心板。

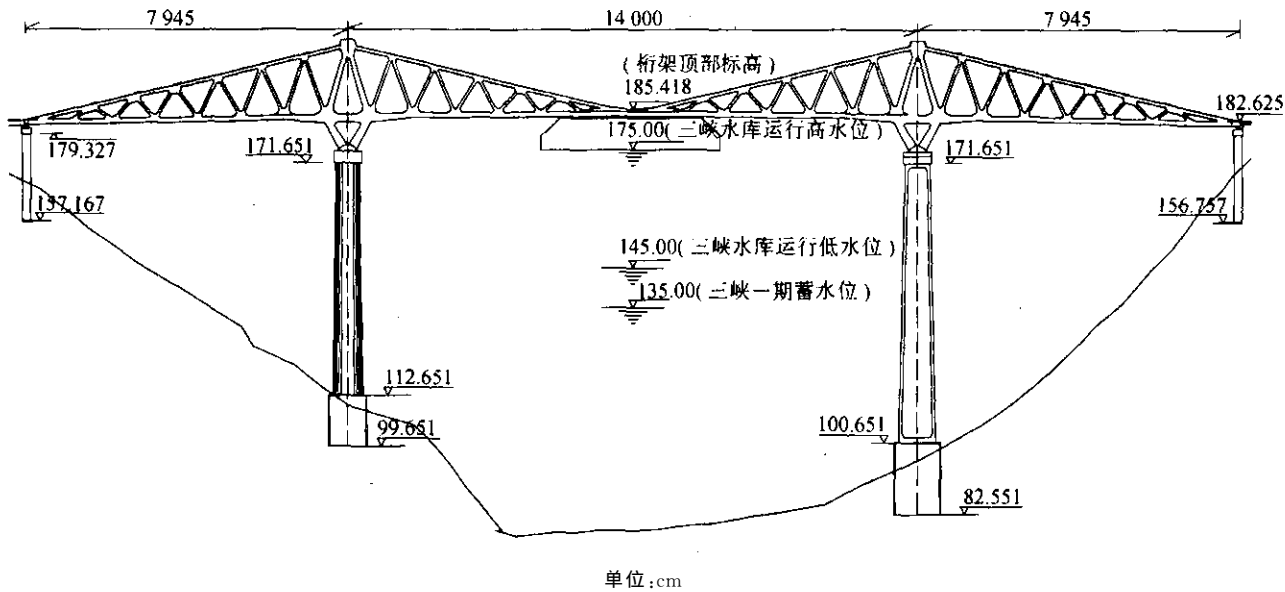
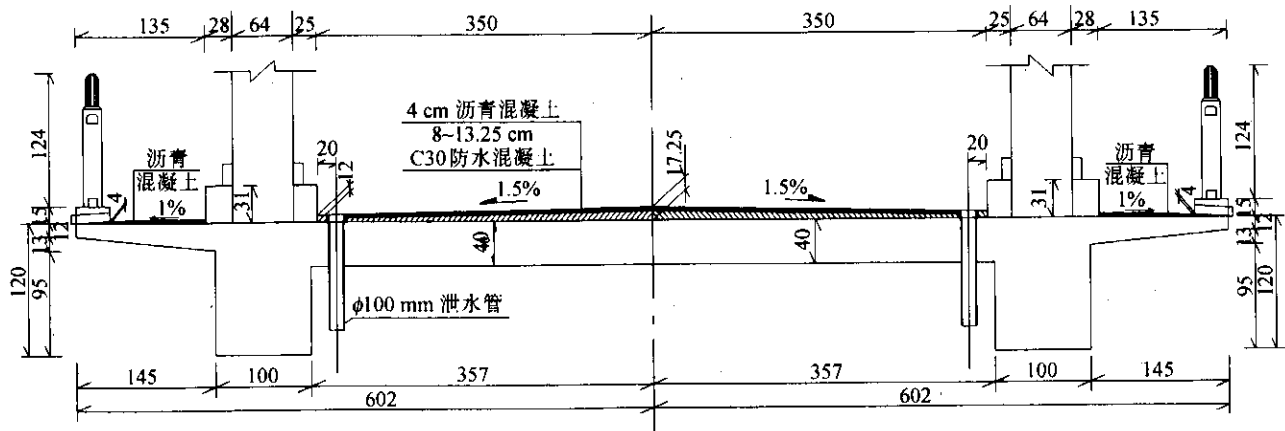


图 1 卡子湾大桥桥型布置

1.2 技术标准

- (1) 公路等级: 山岭重丘三级公路。
- (2) 设计车速: 30 km/h。
- (3) 荷载标准: 汽车—20 级, 挂车—100, 人群 3.5 kN/m²。
- (4) 坡度: 纵坡 ±2%, 横坡 1.5%。

- (5) 设计水位: 三峡水库一期蓄水位 135.00 m, 三峡水库运行低水位 145.00 m, 三峡水库运行高水位 175.00 m。
- (6) 设计风速: 设计最大风速为 25.3 m/s。
- (7) 地震烈度: 基本烈度为 6 度, 设计按 7 度设防。



单位:cm

图2 卡子湾大桥标准横断面

(8) 桥面宽度: 净 - 7.0 m (行车道) + 2 × 2.52 m (人行道 + 桁架结构宽 + 栏杆宽)。

1.3 气象水文

桥位地处中纬度,属亚热带大陆性季风气候,境内山峦起伏,气候垂直变化明显,归州镇年平均气温为 18℃。极端最高气温为 42℃,极端最低气温为 -8.9℃。秭归全县降雨量分布不均,且随海拔高度变化较大,年平均降水量达 1 028.6 mm。秭归风向与河流走向基本一致,多为偏南风。

桥位处两岸地形坡度大,径流条件好,未发现泉水点,钻孔中均没观测到地下水,故不存在地下水对基础及施工的影响。

大桥建成后位于三峡库区,库区蓄水位为145~175 m,以三峡库区水文计算成果为依据。

1.4 地质情况

桥位区位于秭归向斜核部附近,该向斜轴向近南北。桥位区内呈单斜构造特征,岩层倾向 $60^{\circ}\sim 74^{\circ}$,倾角 $52^{\circ}\sim 74^{\circ}$ 。桥位区分布的地层有侏罗系上统遂宁组(J35)、第四系崩坡积(col-dlQ)、洪冲积(pl-alQ)、地滑堆积(delQ)、冲积(alQ4)层。

2 主桥设计

2.1 设计荷载

(1) 恒载。

混凝土容重:桥面空心板取 20 kN/m^3 ,其他取 26 kN/m^3 ;

二期恒载: 15.2 kN/m 。

(2)活载。

汽车—20级,挂车—100,人群:3.5 kN/m²。

(3)合龙温度: $15^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$,体系正温差取 25°C ,体系负温差取 -25°C ,日照引起的顶板升温取 10°C 。

(4) 支座沉降: 1 cm。

(5) 混凝土收缩、徐变:按 1 500 d 考虑。

(6)制动力:参照规范取一列汽车自重的10%。

2.2 主墩设计

主桥桥墩基础为挖孔嵌岩沉井基础,墩身为空心变截面圆形墩,上端为V形斜撑,与桁架X1下弦杆两端固结,形成刚构体系。由于基础施工时正好处于三峡库区蓄水之前,基础施工方便,可选择的基础型式较多,综合比较后采用挖孔嵌岩沉井基础,壁厚3 m,沉井内用15号片石混凝土填充。墩身壁厚为80 cm,整个墩身向下按2:100设坡。底部截面外径,2号墩为836 cm,3号墩为884 cm,顶部截面外径均为600 cm。2、3号桥墩墩高分别为59 m和71 m。V形支撑为实心钢筋混凝土墙式结构,中心线与水平交角均为60°,桥梁纵向截面宽度上小下大,底部截面为2.3 m,上部与箱梁固结处设半径为80 cm的圆弧倒角,桥梁横向同样采取变截面,截面宽度上大下小,由9.1 m(与墩顶箱梁底部同宽)直线渐变至8 m(与承台同宽)。

2.3 上部结构设计

2.3.1 主桁架

如图3、图4所示,横桥向由2片三角形桁架组成,桁架高17.5 m(轴线中心距),为中跨跨径的1/8。边跨与中跨之比为0.567 5,腹杆均为斜向布置,斜拉式桁架片由上弦杆、下弦杆及腹杆组成。

(1) 下弦杆。

下弦杆与横梁、空心板组成桥面行车道系。桥面

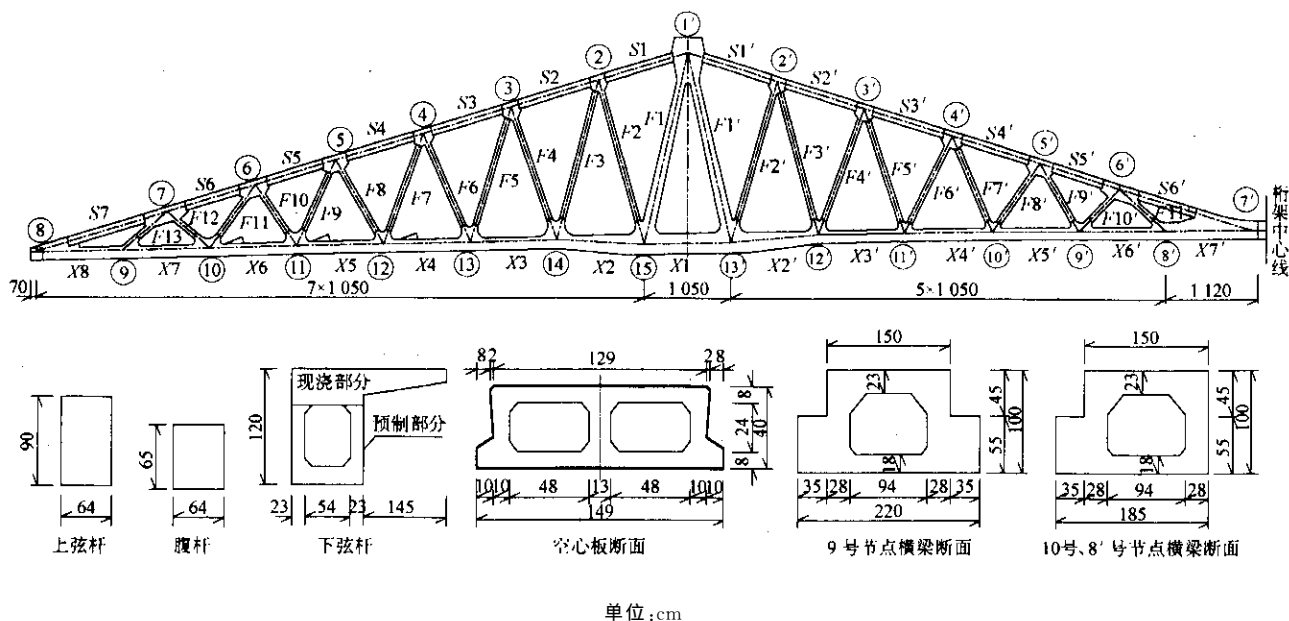


图 3 桁架节点号、杆件号及断面

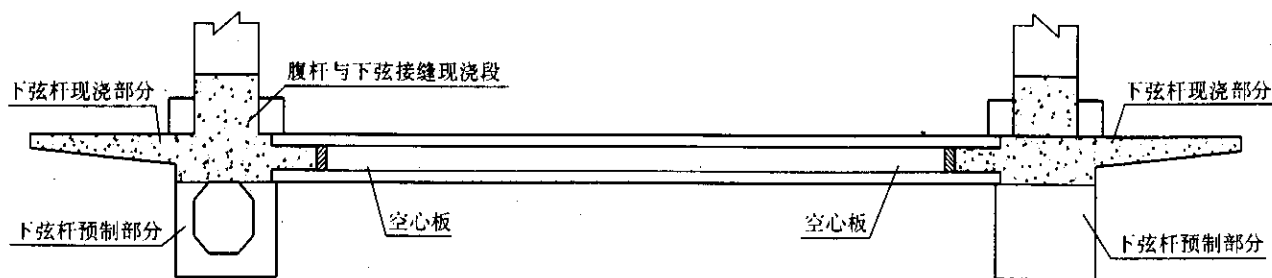


图 4 桁架杆件杆件连接断面

纵坡由下弦设 2% 的纵坡形成。下弦杆分为 14 个等距离的结间,其中边跨侧 7 个,中跨侧 6 个,塔底处 1 个,结间水平距为 10.5 m,截面为空心箱梁、外侧悬臂。截面变高度, X1 杆高 2 m, X3~X8、X3'~X7' 杆高 1.2 m, X2、X2' 杆高 1.2~2 m。X1 为墩顶现浇箱梁, X2~X7、X2'~X7' 杆均为上部 40 cm 现浇、下部预制。所有下弦杆在节点处均为实心段。

(2) 上弦杆。

上弦杆分为 13 个结间,边跨 7 个,中跨 6 个。根据预应力束布置需要 S1、S1' 和 S2、S2' 杆为变截面,其中 S1、S1' 杆截面为 90 cm×120 cm~90 cm×96 cm, S2、S2' 杆截面为 90 cm×91 cm~90 cm×64 cm;其余杆件均为 90 cm×64 cm 的等截面。

(3) 腹杆。

分为拉腹杆和压腹杆, F1、F1' 为矩形变截面杆件,下端截面为 147 cm×80 cm,上端为 110 cm×140 cm,其余均为 64 cm×65 cm 矩形等截面。

2.3.2 节点横梁

在塔顶上弦节点处设置空心等截面横梁,为预应

力构件。在下弦杆的 9、10、8' 节点处亦设置横梁,为钢筋混凝土预制构件,二者均增大了全桥的横向刚度。

2.3.3 桥面系

通过铺装层形成桥面横坡,下层为 8~13.25 cm 厚的 C30 防水混凝土,上层为 4 cm 厚的沥青混凝土。

2.3.4 空心板与节点

本桥空心板采用横铺方式形成行车道,这样对增加横向刚度有利。节点处设置圆弧倒角来连接不同的杆件,避免由于锐角所产生的应力集中现象。

2.3.5 桁架预应力

结构分析表明,桁架上弦杆和拉腹杆为受拉构件,需配置预应力钢筋,下弦杆局部杆件偏心受压,也需配置预应力束,其他杆件均为普通钢筋混凝土杆件。预应力束采用 $\phi 15.24$ mm 的高强低松弛钢绞线,标准强度为 1 860 MPa,采用 OVM 锚具。

下弦杆中预应力束在边跨支点附近的箱梁端部锚固,另一端向上竖弯后在下弦杆顶部齿块处张拉,在主墩墩顶箱梁处以及主跨跨中均采用两端张拉。

腹杆预应力束与腹杆轴线对称布置,下端锚固,上端张拉。上弦杆中预应力束根据施工与使用阶段上弦杆的受力特点布置,从 $S7 \sim S1(S6' \sim S1')$ 杆中通过的预应力束根数基本成线性增加,表 1 中列出了各上弦杆件中通过的预应力束数。中跨上弦杆中预应力束按施工过程均为一端在各杆件端部锚固,另一端在桁顶节点侧面张拉。边跨上弦杆 $S1 \sim S6$ 中预应力束张拉锚固方式与中跨上弦杆相同,不同的是 $S7$ 中预应力束通过 $S6$ 杆端部的连接器进行接长,于桁架端部张拉。

表 1 上弦杆预应力束数量

杆号	钢束数	杆号	钢束数
$S1$	120	$S1'$	114
$S2$	102	$S2'$	96
$S3$	84	$S3'$	78
$S4$	66	$S4'$	60
$S5$	48	$S5'$	42
$S6$	30	$S6'$	18
$S7$	30		

2.4 结构计算

根据有限元理论,本桥静力分析将结构离散为平面杆系单元,采用桥梁博士进行计算。由于本桥为斜拉桁架桥,存在很多杆件相交的节点,这些节点处应力传递路径复杂,受力不明确,为准确分析节点处应力,设计时采用 ANSYS 软件进行了局部有限元分析。由于本桥是由杆件形成桁架,整体刚度较大,自振频率较高,设计时采用 ANSYS 软件进行了全桥抗震分析。另外,考虑斜拉桁架桥在使用阶段各种荷载共同作用下各根杆件基本为偏心受压,采用 ANSYS 软件对全桥进行了屈曲分析。计算结果表明,以上内容的计算均能满足规范要求。

3 主桥施工

3.1 下部施工

3.1.1 主墩墩身施工

本桥主墩墩身采用圆形空心变截面,这样设计既经济又美观,但是施工上难度较大。经设计单位与施工单位共同努力,最后确定采用翻模施工方法。首先将墩身在长度方向上分好节段,通过计算,每一节段的模板由许多长宽比很大的钢板沿墩柱的圆周方向连接组成,设计中除去 2 块钢板为异型钢板外,其他钢板尺寸均相同,为上窄下宽形。施工完一个节段

后,翻模至另一节段,抽去其中 1 块或 2 块钢板,原来下截面的圆周长在抽取模板后刚好与原来上截面的圆周长相等,这样刚好又能形成新一节段的模板,如此循环直到整个墩身施工完毕。施工的关键是要通过计算确定好每根木条的长度与宽度,一经确定好,循环施工就相当方便。

3.1.2 V 形支撑及墩顶箱梁施工

V 形支撑的施工通常也有一定的难度,本桥 V 形支撑施工时,利用在承台中预埋的 2 根工字钢搭设施工平台,然后在形成的平台上现浇施工 V 形支撑和墩顶箱梁,待 V 撑和墩顶箱梁施工完毕后,割除外露钢材即可。

3.2 上部施工

3.2.1 施工步骤

本桥上部结构除 $F1、F1'$ 杆件为支架现浇外,其他杆件均为预制拼装。在施工下部结构时,同时在预制厂预制桁架杆件。墩顶箱梁 $X1$ 施工浇注完成后即立模浇注腹杆 $F1、F1'$ 。然后按施工顺序对称安装每一节间的上弦杆、腹杆、下弦杆杆件和桥面空心板。上弦杆与上弦杆、上弦杆与腹杆连接采用干接缝和预应力束连接。下弦杆与下弦杆、下弦杆与腹杆连接采用湿接缝方式。下弦杆沿高度方向分为 40 cm 现浇部分和 80 cm 预制部分,下弦杆现浇部分在桥面空心板架设后与节点一起现浇,如此循环直到成桥。

3.2.2 施工特点

(1) 预制。

预制杆件时,单独预制每一根杆件能够占用更少的场地,但是本桥基本上所有杆件均为预制拼装,为尽量减小因为预制所带来的拼装误差,施工时在预制场整理出一块三角形场地,按 1 : 1 实际预制整片桁架,这样可有效避免因预制可能带来的拼装误差。

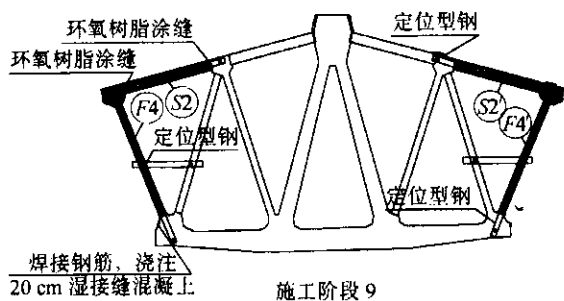
(2) 杆件运输与吊装。

由于桥位处无法找到合适的场地预制杆件,预制场远离桥位,而且施工上部结构时三峡库区已经蓄水至标高 135 m 的情况,最终采用驳船水路运输杆件,到达桥位后利用 2 根钢索锚在山体上以及驳船自身的动力形成一个固定的三角,以此保证杆件起吊时船体的稳定。

驳船稳定后,开始利用空中缆索吊吊装杆件,完成拼装。

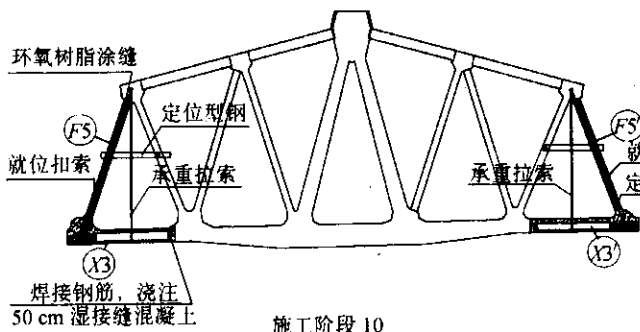
4 施工控制

对于采用悬臂拼装方法施工的桥梁,杆件的预



施工阶段 9

- 1 吊装 $F4$ 、 $F4'$ ，以定位型钢定位。
- 2 吊装 $S2$ 、 $S2'$ ，以定位型钢定位。
- 3 横向用型钢在上切点处将 2 片桁架的 $F4$ 、 $F4'$ ，分别连接起来。
- 4 绑扎 $F4$ 、 $F4'$ 下端湿接缝处钢筋，浇注湿接缝。
- 5 张拉 $S2$ 和 $S2'$ 预应力索 $T3\sim T4$ 、 $T'3\sim T'4$ 。
- 6 压浆封锚，拆除所有定位型钢。
- 7 该阶段施工周期 4 d。



施工阶段 10

- 1 吊装 $X3$ 、 $X4'$ ，焊接定位型钢。
- 2 收紧就位扣索使 $X3$ 、 $X3'$ 的自由端的高程达到设计位置。
- 3 吊装 $F5$ 、 $F5'$ ，焊接腹杆与下弦杆的定位型钢，涂腹杆与上弦杆接缝处的环氧树脂。
- 4 待环氧树脂达到强度的 80% 后，张拉腹杆预应力总量的 20%，控制应力超张拉 5%。
- 5 张紧承重拉索，并对承重拉索施加一定的张力，具体数值另外单独给出，然后松开主吊点。
- 6 铺设空心板，然后立模浇注下弦杆现浇部分以及腹杆与下弦杆、下弦杆与下弦杆之间的湿接缝。
- 7 该阶段施工周期 15 d。

图 5 一个节段施工步骤示意

制和安装精度尤为重要，因此在施工时，重点是严格控制以下几个方面：

- (1) 孔道成型(特别是暗管悬拼)控制；
- (2) 预制杆件的容许偏差控制；
- (3) 预制构件定位控制；
- (4) 预制件安装的容许偏差控制。

在以上 4 个方面的控制中，施工误差基本都控制在 3 mm 以内。

5 结语

卡子湾大桥是我国已经建成的预应力混凝土斜拉式桁架桥中跨径为第二的桥梁，由于该桥地理位置特殊，结构新颖，技术含量高，因此引起各方面的广泛关注。通过该桥的建设，相继展开不少科研课

题，其中“预应力混凝土斜拉式桁架桥关键技术研究”为湖北省建设厅立项科研课题，该课题已取得不少科研新成果，填补了部分国内外空白。卡子湾大桥一定会成为三峡库区一道美丽的风景，同时为预应力混凝土斜拉式桁架桥的进一步推广做出贡献。

参考文献：

- [1] 洪国治. 斜拉式预应力混凝土桁架桥的设计与施工[J]. 桥梁建设, 1987, (2).
- [2] 夏永明. 斜拉桁架连续梁的设计与施工—介绍硕放大桥[J]. 华北公路, 1995, (10).
- [3] 金文成, 黄古剑. 斜拉桁架桥梁的结构优点与应用前景[J]. 华东公路, 2005, (5).
- [4] 黄古剑. 斜拉桁架桥梁抗震特性分析[D]. 华中科技大学硕士论文, 2004.

Design and Construction of Kaziwan Bridge in Three Gorges Reservoir

JIN Wen-cheng, QIU Feng

(School of Civil Engineering and Mechanics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Kaziwan Bridge in Zigui County of the Three Gorges Reservoir is a PC stayed truss continuous rigid bridge with spans of 79.45 m+140 m+79.45 m. The total length of the bridge is 344.3 m, assembled with cantilever construction. The control points of general arrangement, structural design, construction and construction control of the beidge are presented.

Key words: PC stayed truss continuous rigid bridge; design; construction