

下承式城市钢桁架桥上部结构设计与分析

黄 侨¹, 李 莹¹, 杨大伟¹, 刘 宇², 孙广婧¹

(1. 哈尔滨工业大学, 黑龙江哈尔滨 150090; 2. 大连市市政设计研究院有限责任公司, 辽宁大连 116011)

摘 要:钢桁架桥主要应用于铁路桥梁, 公路桥梁和城市桥梁中较少选用, 但是在城市道路及公路领域选用钢桁架桥有很多特殊的优越性, 例如, 架设速度快, 适应当今快速、重载交通的需要, 可以为公路和城市增添景观等。该文介绍了大连市中心新建菜市桥上部结构的设计要点及桥梁的结构构造, 主桁采用平面及空间两种方式建立有限元模型的分析过程和桥梁的主要承重结构横梁的计算。结果表明, 该设计选取主桁杆件为焊接工字形截面和 H 型钢, 可以满足高强螺栓的设计和施工要求, 采用平面和空间分析主桁的结果吻合很好, 考虑桥面板与钢横梁作为钢-混凝土组合结构共同工作, 符合实际结构工作状态。该设计可供以后公路、城市钢桁架桥设计参考。

关键词:钢桥; 桁架桥; 桥梁设计; 城市桥梁

中图分类号:U448.211 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)06-0054-04

0 前言

钢桁架桥主要应用于铁路桥梁, 公路及城市道路领域应用较少。但是在公路及城市道路领域选用钢桁架桥有其特殊的优越性。在公路领域、特别是城市道路中选用钢桁架桥不仅可以适应当今快速、重载交通的需求, 而且钢桁架桥架设速度快, 可以保证中断交通的时间最短。同时钢桁架桥还可以为城市 and 公路增添一道风景线。例如, 建于 1907 年的上海市外白渡桥目前保留完整, 而且成为上海市的标志景观之一。在公路领域也有许多钢桁架桥。例如, 广东开平市的齐塘桥(又名合山桥)是建于 1934 年的中国第一高强钢公路桁架桥, 桥全长 69.3 m, 可供 2 辆 15 t 重卡车并排行驶, 桥型为下承式单跨钢桁架, 上弦为曲弦式, 该桥至今完好; 于 1972 年 1 月 1 日开工, 同年 10 月 1 日即建成通车的北镇黄河公路桥位于山东省滨州市, 全桥总长 1 390.61 m, 主桥为 4 × 112 m 三

角形连续钢桁架; 沪宁高速公路上首座下承式钢桁架桥-无锡北兴塘大桥, 该桥于 2005 年 3 月 1 日杆件拼装开始, 到纵向拖拉到位, 前后共经历 48 d, 于同年 4 月 17 日晚实现纵向拖拉到位, 该大桥的就位不仅为同年 6 月 30 日前沪宁高速南半幅贯通创造了条件, 也为北半幅主线的建成奠定了基础。由此可见, 钢桁架桥在公路和城市道路领域有其特殊的优越性, 应用前景乐观。

本文主要介绍位于大连市中心的菜市桥上部结构的设计要点, 可为以后公路、城市钢桁架桥设计参考。

1 工程概述

现有老菜市桥长 51.5 m, 宽 15.5 m, 是 1931 年建成的下承式曲弦钢桁架桥梁。该桥跨越铁路码头线及多条站线, 由于年久失修, 许多杆件及铆钉锈蚀严重, 加之桥面经多年反复动荷载作用, 疲劳是该桥的极大隐患, 该桥曾在 1990 年进行了维修。现有老菜市桥位于大连市中心区域, 老菜市桥由于人车混行交通阻塞的情况比较严重, 已经不能满足现有的交通状况, 成为该地区的交通瓶颈。

收稿日期:2006-05-23

作者简介:黄侨(1958-), 男, 上海人, 教授, 从事桥梁工程科研与教学工作。

本文从现场调研测试和结构数值分析两个方面, 对湟水河大桥进行了病害诊断分析和受力特性研究。可以看出, 上述两种途径既互为补充, 又互为验证, 可较为全面地反映出桥梁现存的主要病害问题。由于该桥目前处于超载运营状态, 各构件均已出现不同程度的损坏, 所以急需进行加固维修。

参考文献

[1] 李惠彬, 郑兆昌等. 对国内外桥梁损伤诊断几种方法的评述[J]. 工程力学, 1998(s): 407-414.

- [2] 李晓光, 周晶. 在役钢筋混凝土拱桥病害分析和力学性能研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2004, 24(1).
- [3] 王技. 旧拱桥的病害分析与质量评价体系的建立[J]. 公路交通技术, 2005, 95(4).
- [4] 黄小平, 韦忠胜. 盐津河大桥病害分析及加固[J]. 公路, 2006, 12(7).
- [5] 张启伟, 袁万城, 范立础. 大型桥梁结构安全检测的研究现状与发展[J]. 同济大学学报, 1997, 25(s): 76-81.
- [6] 王其祥. 扩大拱肋截面加固双曲拱桥[J]. 公路交通科技, 1997, 14(4).
- [7] 陈偕民, 徐岳, 毛瑞祥. 危旧拱桥加固改造全过程的动力分析[J]. 中国公路学报, 1997, 10(1).
- [8] 李国豪. 桥梁结构稳定与振动[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1992.

要解决这一区域的交通问题，必须对老菜市桥进行改造拓宽。

大连市新建菜市桥位于现有老菜市桥西侧，新建桥梁长 55 m，主桁中心距 14.5 m，上部结构为下承式钢桁架，材料为 Q_{345c} 钢，设计荷载为城-A 荷载，人群活载按 4.0 kN/m² 进行计算，按照现行规范要求，新建菜市桥的桥下净空为 6.8 m，比原桥抬高 1.2 m，为修建电气化铁路预留空间。桥梁总体布置见图 1。

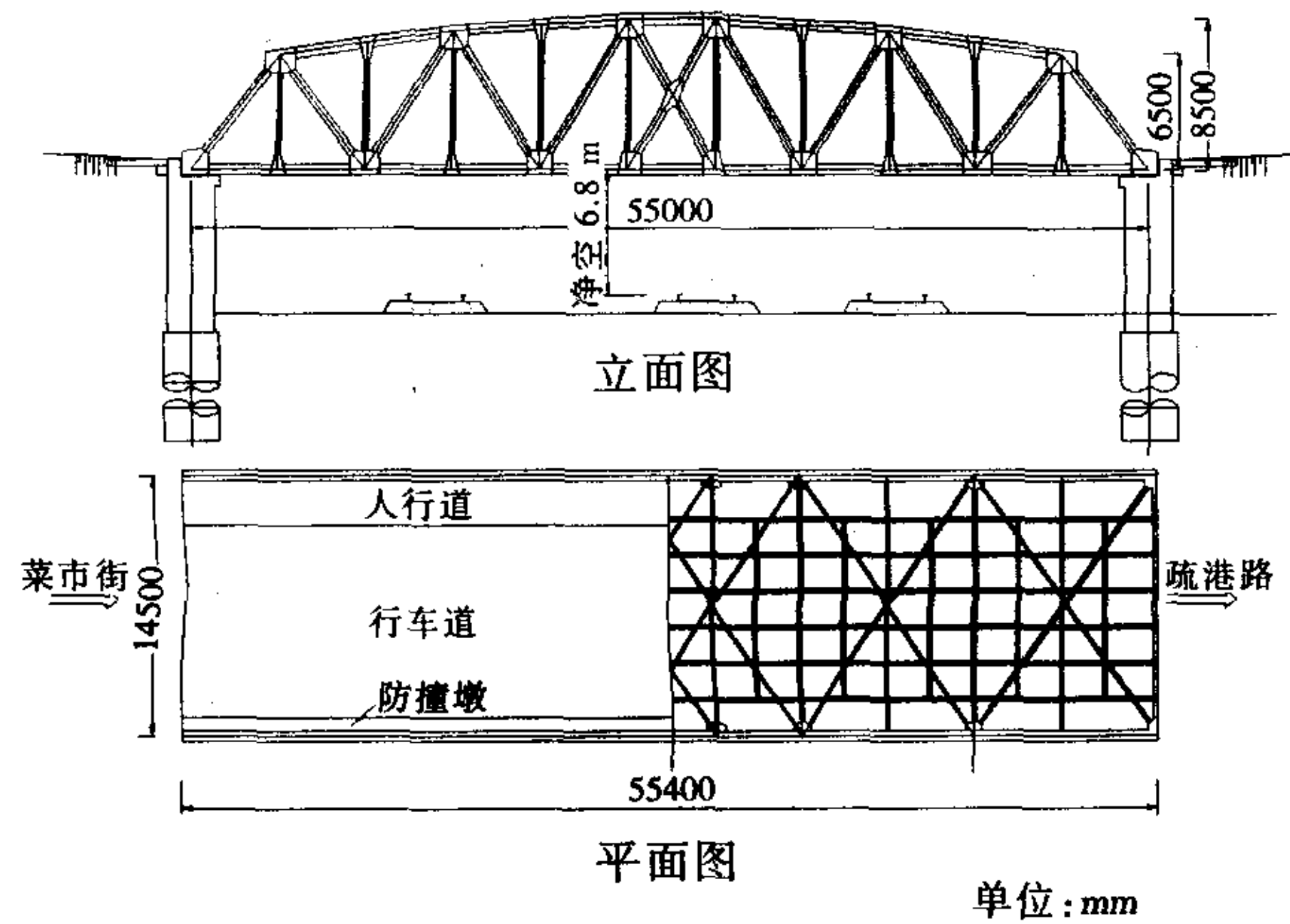


图 1 桥梁总体布置图

2 结构构造

新建菜市桥为下承式简支桁架桥，上部结构由桥面板、桥面系、主桁、联结系和支座五部分组成。

桥面板采用现浇钢筋混凝土连续板，板厚 24 cm，桥面板上设防水层及 5 cm 沥青混凝土层。桥面板整体现浇于 12 个钢横梁上。混凝土强度等级为 C50，受力钢筋为 HRB400，构造钢筋为 HRB335。

桥面系由横梁、次横梁、纵梁构成。一般铁路桥桁架传力体系是：桥面系荷载传至纵梁，再由纵梁传至横梁，然后由横梁通过节点传递至桁架杆件。考虑到公路钢桥荷载分布比较灵活，不像铁路钢桥受力位置固定，本桥采用如下传力体系：桥面系荷载直接通过桥面板传至横梁，节点处横梁把该横梁荷载通过节点传至桁架杆件。桥面系横梁共 12 道，断面为焊接工字形钢，钢板尺寸分别为：2□ 600×40，1□ 620×25(单位 mm)。铁路桥一般都为明桥面板，对于公路桥梁应考虑桥面板与钢横梁的组合作用，因此本设计为了保证混凝土板与钢横梁共同工作，在钢横梁顶面设置了栓钉剪力键，使钢横梁与桥面板形成钢-混凝土组合梁共同受力。每两个横梁之间还设有一道次横梁，次横梁共 11 道，断面为 H 型钢，型号为 HW200×

200；纵梁为六道，断面为 H 型钢，型号为 HW200×200。纵梁布置在横梁的受压区，以增加横梁的稳定性。

联结系主要承受横向作用(风载、地震作用等)，增强侧向刚度和抗扭刚度。上弦水平横撑、斜撑断面均为 H 型钢，型号为 HW250×250，上平联中间还设有一个纵杆，断面为 H 型钢，型号为 HW200×200。下弦水平斜撑断面为 H 型钢，型号为 HW125×125。桥面系及联结系平面布置见图 2。

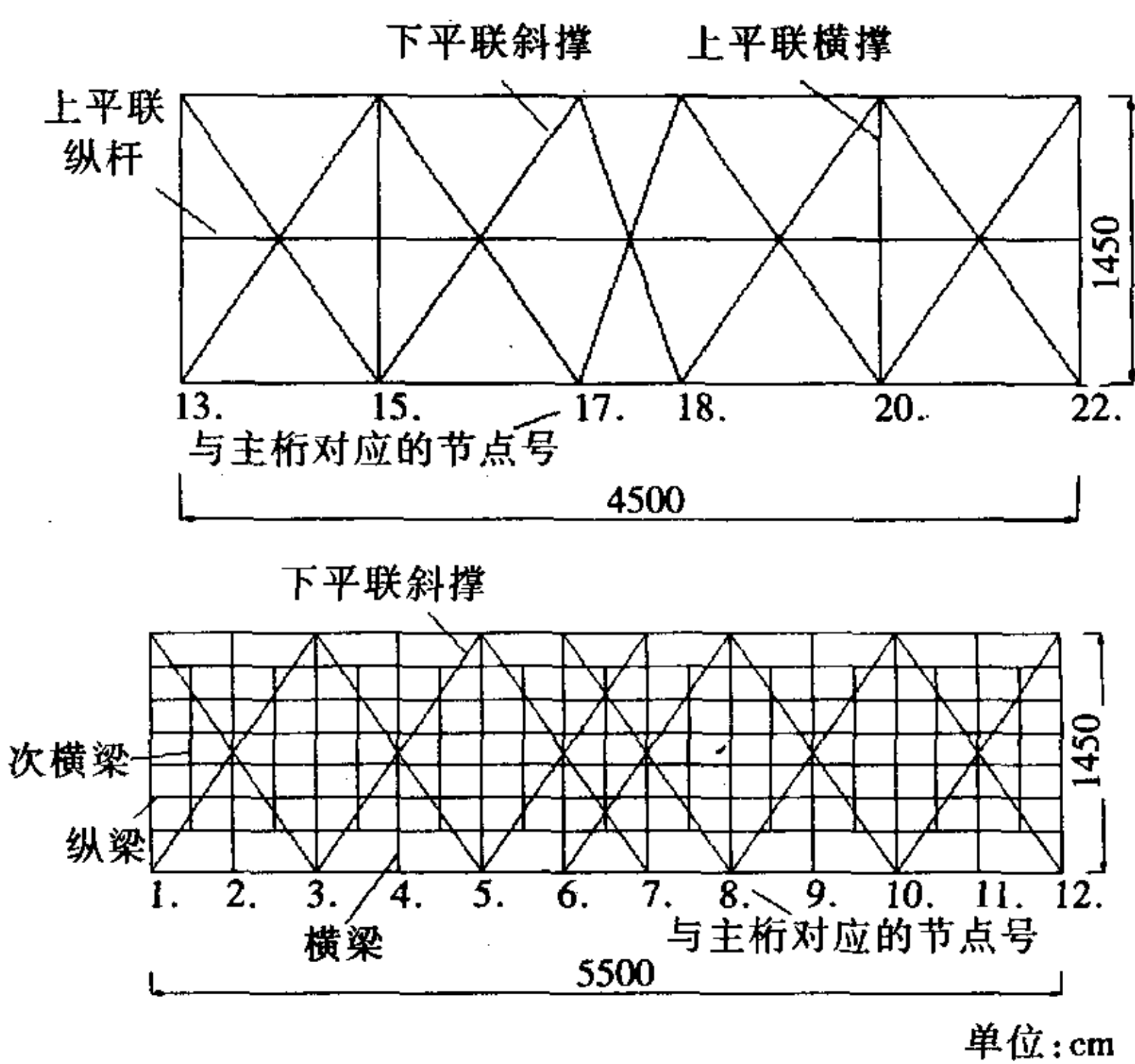


图 2 桥面系及联结系平面布置图

主桁是钢桁架桥的主要承重结构。老菜市桥采用 5 m 节间，新桥如果不采用 5 m 节间，将产生错乱的感觉，破坏桥梁景观，司机在桥上行驶时也会有混乱、压抑的感觉。因此新桥也采用了 5 m 节间，由于桥长 55 m，这样势必造成了节间奇数，在中间的节间采用腹杆相交的方法来避免受力不对称。

主桁上弦杆、下弦杆、竖腹杆、斜腹杆均采用焊接工字形截面，端斜杆采用焊接箱形截面。杆件具体形式见表 1。

表 1 主桁杆件截面形式表					
杆件名称	上弦杆	下弦杆	端斜杆	竖腹杆	斜腹杆
钢板尺寸 (mm)	2□600×40	1□620×25	2□6000×32	2□260×16	2□440×20
截面图示					

桥梁的主桁杆件多采用焊接工字形截面，连接系杆件多采用 H 型钢，而没有采取工字钢，主要是由于本桥主要杆件均采用高强螺栓连接，焊接工字形截面和 H 型钢具有宽且平的翼缘，满足高强螺栓设计、施工要求。

对于公路简支桁架的经济梁高大致为跨径的 (1/5.5 ~ 1/8)，本桥为曲弦钢桁架桥，高为 6.5 m ~

8.5 m($h/L=1/6.5 \sim 1/8.5$)。合理的节间长度为(0.6~0.8) h , 本桥节间长度为 5 m($\approx 0.67 h$), 本桥斜杆倾角(斜杆轴线与竖直线的交角)为 $30^\circ \sim 38^\circ$, 在 $30^\circ \sim 50^\circ$ 范围内。

3 主桁有限元分析

计算中分别采用平面和空间两种建模方法进行主桁的有限元分析, 并对结果进行了对比分析, 结果表明平面和空间有限元分析结果吻合很好。

3.1 平面模型分析

平面模型采用自编程序 Struct 进行计算。桥面横向计算依据桥面横向布置见图 3。由于横向布置不对称, 一侧无人行道且设置防撞墩, 分别按两片桁架的横向影响线进行最不利布载, 对两片桁架分别进行分析, 单片桁架计算模型见图 4。每片桁架 23 个节点, 44 个单元, 按简支桁架进行分析。

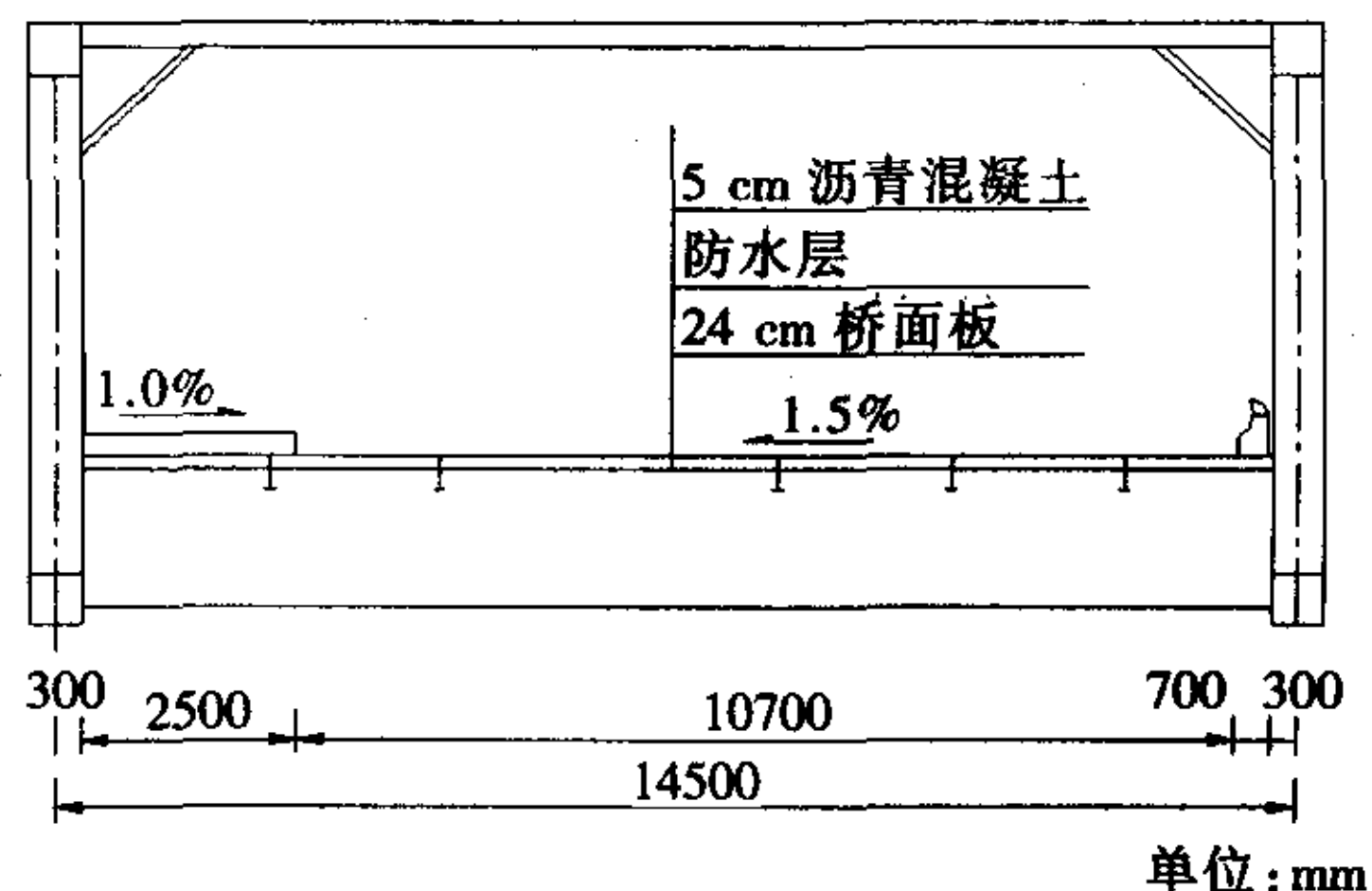


图 3 桥面横向布置图

3.2 空间模型分析

空间模型采用 SAP2000(Ver 9.0.4) 结构分析软件建模并分析。图 5 为全桥三维空间模型, 其中两片主桁架上弦(a)、下弦(b)、斜腹杆(c)和竖腹杆(d)采用空间杆单元, 桥面系中横梁、次(横)梁、纵梁采用梁元(次要单元未标出)。桥面板、桥面铺装、人行道板、防撞墩等其它部分自重折算为

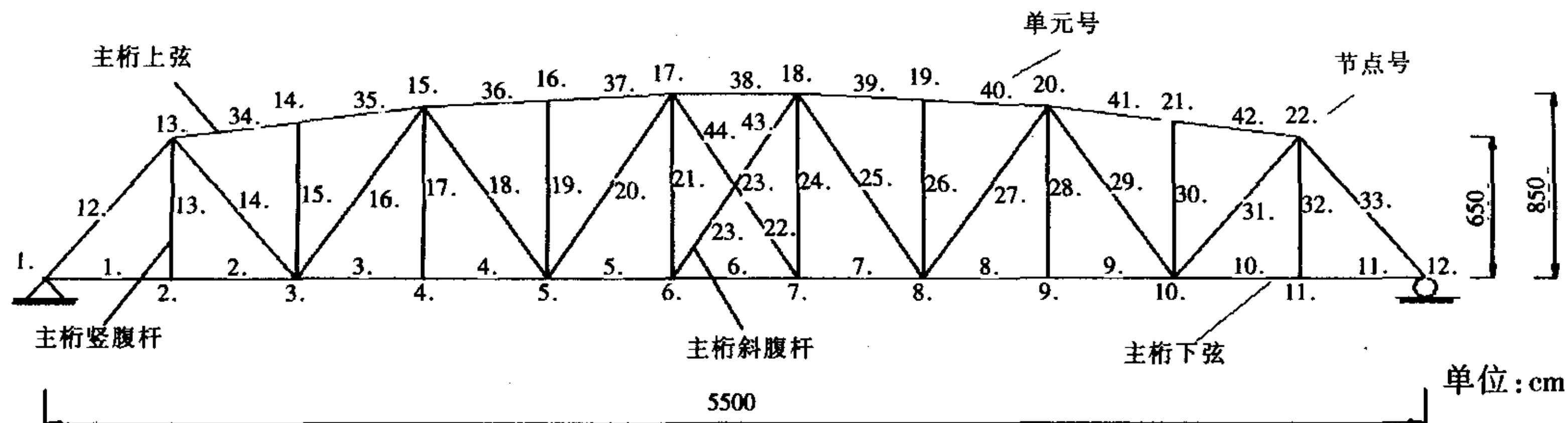


图 4 单片桁架平面计算模型

均布荷载施加于桥面系各单元上。桥长为 55 m, 两片主桁间距 14.5 m, 跨中桁高 8.5 m, 支点处为 6.05 m。节间 5.0 m, 共 11 个节间。

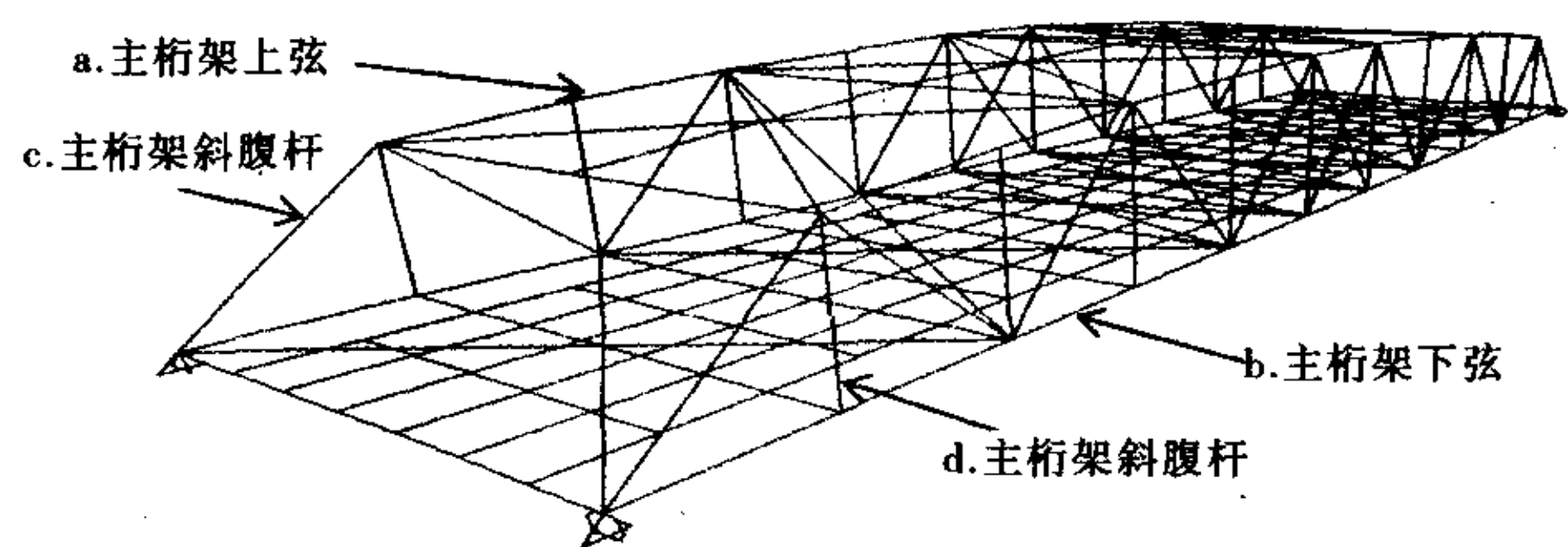


图 5 空间计算模型

平面模型及空间模型计算结果对比见表 2 (表中数值均为同类杆件中受力最不利者)。

由表 2 可见, 平面模型及空间模型的计算结果吻合很好, 计算应力均小于杆件容许应力。钢桁梁各构件及连接的疲劳验算按《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》JTJ025-86 中的相关规定进行, 经计算各构件及连接的疲劳应力均小于容许应力值。

4 横梁设计

横梁是本桥的主要承重构件, 设计时将横梁

表 2 平面及空间模型计算结果

杆件	平面模型			空间模型			杆件容许应力 (MPa)
	使用荷载组合 I (kN)	A(m ²)	σ(MPa)	使用荷载组合 I (kN)	A(m ²)	σ(MPa)	
上弦	5717.05	0.05126	111.52	5568.25	0.05126	108.62	158.1
下弦	-5540.31	0.03984	-139.06	-4139.47	0.03984	-103.90	190
端斜杆	3955.21	0.05645	70.07	3990.13	0.05645	70.69	158.1
竖杆	-973.27	0.01514	-64.30	-915.06	0.01514	-60.46	200
受拉斜腹杆	-2501.32	0.02432	-102.85	-2567.05	0.02432	-105.55	190
受压斜腹杆	1794.60	0.02432	73.79	1765.78	0.02432	72.61	171

注: 1. 表中内力符号意义, 正号表示压力, 负号表示拉力;

2. 杆件容许应力是考虑了稳定性的容许应力 $\phi[\sigma]$ 。

简化为一个简支的钢-混凝土组合梁进行计算, 钢材为 Q_{370q} 钢, 混凝土强度等级为 C50。一期恒载由钢横梁承担, 二期恒载和活载由钢横梁和混凝土桥面板构成的组合截面承担。由于钢横梁间距为 5m, 恒载计算时, 按桥面板、纵梁、次横梁、桥面铺装、栏杆、人行道板、防撞墩沿纵桥向 5 m 长度范围内的重量作用到横梁进行计算, 活载按车辆荷载布置在横梁影响线最不利位置进行计算。计算模型和断面形式如图 6。

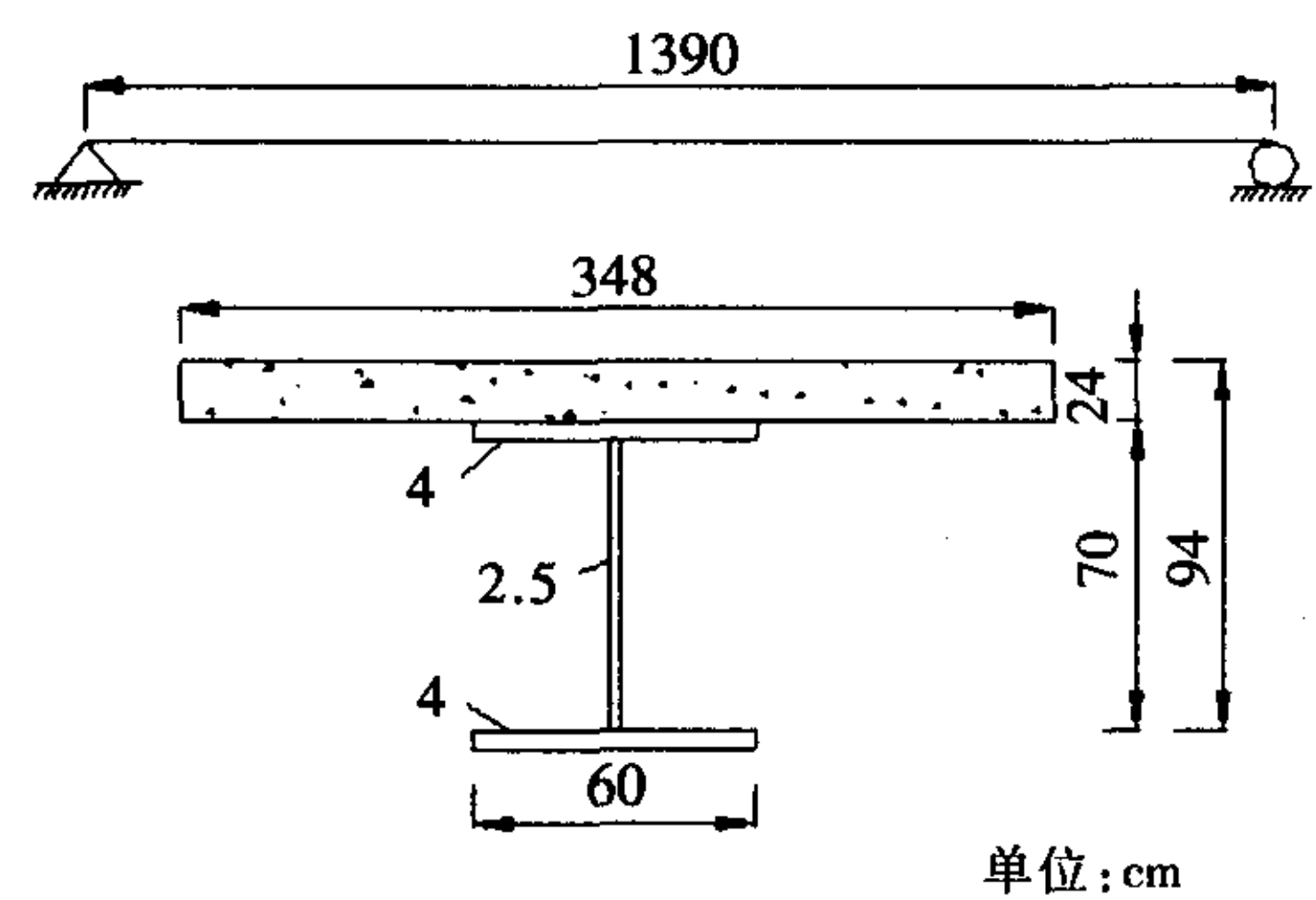


图 6 横梁计算模型

对横梁进行了使用阶段应力验算、挠度验算、抗弯承载力验算、抗剪承载力验算及稳定验算,还对横梁上的栓钉剪力键进行了设计,分别用弹性分析法和塑性分析法计算了栓钉剪力键的数量并进行了比较分析。计算结果见表 3。

表 3 横梁计算结果汇总表					
使用阶段应力验算(跨中) 单位:MPa					
钢梁上缘应力	容许值	钢梁下缘应力	容许值	混凝土翼板压应力	容许值
63.85	208.8	149.03	208.8	5.79	22.05
使用阶段挠度验算(跨中) 单位:mm					
汽车荷载(不计冲击)引起的挠度		容许值	弹性设计法	塑性设计法	
7.95		23.71	273	349	
承载力验算					
跨中截面抗弯承载力(kN·m)	荷载组合效应	支点截面抗剪承载力(kN)	荷载组合效应		
7948.4	4025.2	3664.58	1063.50		
稳定性验算					
整体稳定性验算	容许值	腹板局部稳定性验算	容许值	翼板局部稳定性验算	容许值
l_1/b_1		h_f/t_f		b/t	
4.2	11	24.8	65.09	7	12.2

表中, l_1 ——受压翼缘侧向支承点的距离;

b_1 ——工字形钢梁受压翼板的宽度;
 h_f 、 t_f ——钢梁腹板高度和厚度;
 b 、 t ——钢梁受压翼板的宽度和厚度。

5 结论

大连市菜市桥处于市中心且跨越多条铁路线,采用钢桁架桥可以保证中断交通的时间较短,最大限度地保证了公路和铁路车辆的正常运营。菜市桥桥型美观,新旧两桥交相辉映,将成为城市的一道景观。可见钢桁架桥在公路和城市道路工程中应用具有一定的优越性。本文介绍大连市新建菜市桥上部结构的设计要点,包括结构构造、主桁平面及空间模型的建立与计算结果对比和钢横梁的设计等。结果表明,本设计选取主桁杆件为焊接工字形截面和 H 型钢可以满足高强螺栓的设计和施工要求,采用平面和空间分析主桁的结果吻合很好,考虑桥面板与钢横梁作为钢-混凝土组合结构共同工作符合实际结构工作状态。本文可供以后公路、城市钢桁架桥设计参考。

参考文献

[1]周远棣,徐君兰.钢桥[M].人民交通出版社,1990.
[2]黄侨.桥梁钢-混凝土组合结构设计原理[M].人民交通出版社,2004.
[3]中华人民共和国交通部发布.公路桥涵钢结构及木结构设计规范 JTJ025-86[S].1988.
[4]夏军.80 m 跨径下承式简支焊接钢桁架桥的设计与施工[J].桥梁钢结构,2002.
[5]王定文,刘爱荣,赖泉水.三角形箱形截面无节点板全焊钢桁架人行天桥[J].桥梁建设,2002.

连云港机场公路建成通车

10 月 22 日上午,连云港市今年十大工程之一的连云港机场专用公路建成通车。当天,323 省道新牛一级公路(改建工程)同时宣告通车。
始建于去年 11 月的连云港机场公路,总投资 9 500 万元,起于徐连高速公路平明出口,途经东海县平明镇、白塔埠镇,止于连云港机场,全长 10.8 km,双向 4 车道。该机场公路是连接连云港飞机场与连徐高速公路的快速空港通道,车辆从此处通过连徐高速进入连云港市区,继而转入港城大道,只需 40 min 车程即可达到连云港港口。

“浙江高速第一跨”主体工程完工

最近,杭千高速施工难度最大的金竹牌大桥主体工程完工。金竹牌大桥位于杭千高速淳安段,全长 1 343 m,其跨度 252 m、重达 2 000 多吨的主桥,不设一根桩基,犹如一道彩虹,悬空横跨湖面。
金竹牌大桥主桥所采用的上承式钢管拱桥技术,在浙江省高速公路桥梁建设中,尚是首次使用,技术难度非常高。而 252 m 的跨度,也创下浙江省高速公路桥梁之最,被誉为“浙江高速第一跨”。