

菱形桁架式挂篮设计及测试

谢云理

(厦门市市政建设开发总公司,福建厦门 361004)

摘 要:漳诏高速公路旧镇特大桥工程采用菱形桁架式挂篮悬臂浇筑法施工,针对该挂篮的设计构思、计算及性能测试进行总结与探讨,对类似桥梁的施工有一定的参考价值。

关键词:旧镇特大桥;菱形桁架式挂篮;设计;测试

中图分类号:U445.466 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)03-0027-03

1 工程概况

福建漳州至诏安高速公路旧镇特大桥,全长 1466m,横桥向分为左右幅,其中主桥为 70m+120m+70m 单箱单室变截面预应力混凝土连续箱梁。箱梁根部梁高 6.5m、跨中梁高 2.7m,单幅顶宽 12.75m、底宽 6.5m。主墩为钢筋混凝土空心墩,墩高 14.4m,基础为 6 ϕ 2.0m 钢筋混凝土钻孔群桩。采用悬臂浇筑法施工,每个主墩悬浇 15 对箱梁块段,长度为 3~4.5m,最大质量为 115.6t。

2 挂篮设计

在悬臂浇筑施工中,挂篮是最重要的施工机具,它的刚度、强度和可靠性对桥梁施工安全和质量关系重大。本工程要求挂篮、模板等悬臂施工外载总重不超过 60t,挂篮承载力不小于 130t;各梁段混凝土要求一次性浇筑,且无论在浇筑或挂篮移动、拆除阶段均要保持平衡对称,最大不平衡弯矩应控制在 1 000t·m 以内;尽量加大挂篮主桁的整体刚度,确保在浇筑最重梁段混凝土时,新旧混凝土之间结合面不出现竖向裂缝。

综合考虑桁架式、三角斜拉式、斜拉式等多种挂篮结构的各自特点,选用受力合理、安全可靠的菱形桁架结构作为挂篮承重主桁,其特点是受力好、杆件结构布置合理、重量轻,作业空间广阔,便于操作。

2.1 挂篮构造

挂篮结构主要由主桁承重系统、悬吊系统、模板系统、行走及锚固系统等组成,详见图 1。

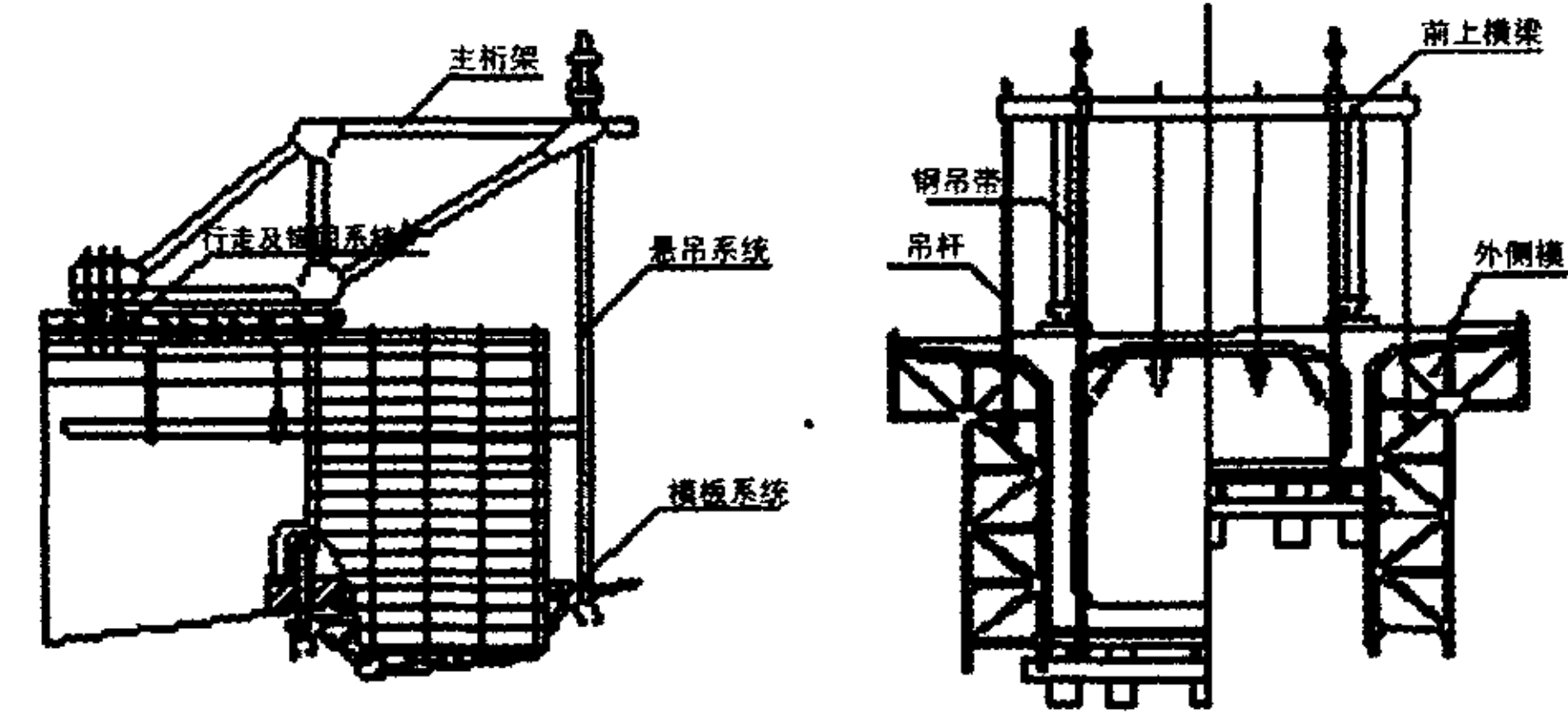


图 1 菱形挂篮示意图

2.1.1 主桁承重系统

主桁承重系统由两片外型呈菱形的桁片通过横向联结系组成一空间桁架,主桁杆件采用 2I32a 工字钢组焊成箱型断面,节点处采用普通螺栓栓接。

收稿日期:2006-02-17

作者简介:谢云理(1973-),男,福建连江人,工程师,项目经理,从事市政道桥工程项目管理工作。

2.1.2 悬吊系统

悬吊系统由前上横梁、前后钢吊带、内外吊杆及千斤顶等组成。

前上横梁由 2I40a 工字钢组焊而成,联结于主桁前端的 D 节点处,将两片主桁连成整体,上布 6 个吊点,通过吊带悬吊底模和吊杆悬吊内外模板。

前吊带由 16Mn 钢带用销子联结而成,其下端与底模前横梁销接,上端悬吊在主桁前上横梁上,每根吊带通过两个 LQ30 螺旋千斤顶及扁担梁悬吊。

后吊带通过两个 LQ30 螺旋千斤顶及扁担梁悬吊并支承在已浇好的梁段底板上。

内外吊杆采用 ϕ 32 精轧螺纹钢筋悬吊内外模行走梁。

2.1.3 模板系统

模板系统包括底模、外模、内模等,为确保混凝土外观质量,模板设计均按全断面一次浇注箱梁混凝土考虑。

底模由前、后下横梁、纵梁组成,纵梁支承于前后下横梁上,而前后下横梁分别通过钢吊带悬吊于前上横梁和已浇注好的梁段底板上。

内外模均由模板、骨架、行走梁组成,行走梁用于支承模板。内模采用“抽屉式”结构,通过滚轮滑行就位,十分方便。

2.1.4 行走及锚固系统

(1)行走系统

行走系统由轨道、钢枕、前后支座、手拉葫芦等组成。轨道由钢板组焊成 II 型断面结构,并由竖向精轧螺纹钢筋锚固。

挂篮前支座支承在轨道顶面,前移时下垫 ϕ 20 圆钢,变滑动为滚动摩擦。

挂篮后支座通过反扣轮沿轨道顶板翼缘下沿滚动,取消传统形式的挂篮的尾部配重。

(2)锚固系统

利用 ϕ 32 精轧螺纹钢筋将 II 型断面轨道以及前移就位后将挂篮尾部锚固在已浇注梁段上。

2.2 挂篮设计计算

2.2.1 主要设计参数:

- 允许最大变形(包括吊带变形的总和):20mm;
- 行走时的抗倾覆安全系数:1.5;
- 自锚固系统的安全系数:1.5;
- 浇注混凝土时的动载系数:1.2;
- 挂篮空载行走时的冲击系数:1.2;
- 悬浇箱梁最大重量:115.6t;
- 箱梁最大分段长度:4.5m;
- 箱梁高度变化:6.5~2.7m;
- 挂篮走行方式:无平衡重自行;
- 挂篮总重:48.5t。

2.2.2 菱形桁架

挂篮主桁为空间桁架结构,为简化计算而将主桁架简化

为铰接平面桁架结构,按静定结构结点法计算各杆件内力。主桁架结构示意图见图 2。

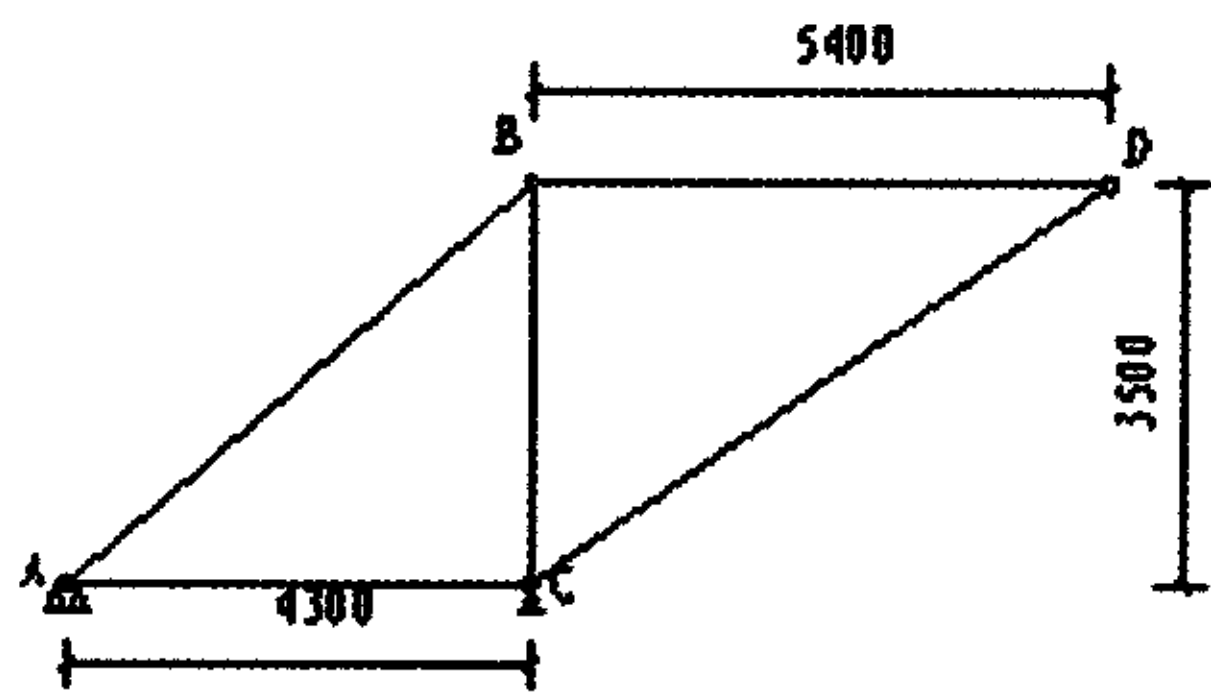


图 2 菱形主桁架结构示意图

计算得拉杆最大拉力(AB 杆)为 865.14kN,拉应力为 88.8MPa,强度满足要求;压杆最大压力(CD 杆)为 799.6kN,进行压杆的稳定验算得压应力为 91MPa,稳定性满足要求。

2.2.3 挂篮的变形计算

挂篮的最大变形为主桁变形、吊带变形及后锚和前支座引起的前端变形三部分,最大变形量为:

$$\Sigma \Delta = \Sigma N_i N_p I / EA + N_p I / EA + \Delta_{前}$$

主桁架变形值: $\Delta_{桁架} = \Sigma N_i N_p I / EA = 8.4\text{mm}$
前吊带变形值: $\Delta_{吊带} = N_p I / EA = 1.1\text{mm}$
后锚、前支座引起的变形值: $\Delta_{前} = 1\text{mm}$
底模最大总变形: $\Delta = 10.5\text{mm} < 20\text{mm}$,满足要求。

2.2.4 挂篮的稳定计算

灌注混凝土时,挂篮尾部利用 12 根精轧螺纹钢锚固在已浇注梁段上;空载行走时,尾部通过反扣轮沿轨道顶板翼缘滚动前移,尾部无配重。

稳定系数计算:

$$n = M_{抗} / M_{倾}$$

式中: $M_{抗}$ ——抗倾覆矩

$M_{倾}$ ——倾覆矩

计算得灌注混凝土时稳定系数 2.71,空载时稳定系数 2.17,均大于 1.5,满足要求。

2.2.5 行走系统反扣轮计算

反扣轮选用的 ZG35 材质,表面淬火硬度为 $HB \geq 320$,计算车轮踏面接触应力,包括耐久性计算和强度校核。

耐久性计算接触应力:

$$\sigma_{线} = 575.2\text{MPa} < [\sigma_{线}] \text{许用接触应力} = 640 \sim 800\text{MPa}$$

强度校核计算接触应力:

$$\sigma_{线max} = 704.5\text{MPa} < [\sigma_{线}]_{max} \text{许用接触应力} = 960 \sim 1200\text{MPa}。$$

其他部件强度计算也均满足受力要求。

3 挂篮测试

为验证挂篮设计的合理性和安全可靠,同时为今后设计与施工提供必要的力学参数,对挂篮进行现场测试,包括挂篮的挠度变形测试和杆件应力测试。

现场测试分两次进行。第一次为挂篮拼装完成,悬浇混凝土前堆载砂袋预压观测变形;第二次为悬浇混凝土时贴电阻应变片测试挂篮杆件的应力。

3.1 堆载砂袋测试挂篮变形

在挂篮拼装完成后,模拟箱梁全断面一次性浇筑成形工艺,在底模上直接堆载砂袋预压。压载分五级加载、五级卸载,共观测 12 次挂篮变形值。各级加卸载重量为总重的 20%,一套挂篮共布置 22 个测点。根据分级压载和卸载 12 次观测值

计算挂篮弹性变形值及非弹性变形值,回归线性方程,从而推算各梁段的挂篮弹性变形值。

(1)挂篮实测变形值计算,见表 1。

表 1 挂篮实测变形值计算表

类别	弹性变形值	非弹性变形值
项目	(mm)	(mm)
前吊带	2	1
主桁架	9	2
Σ	11	3

注:实测值中支座弹性及非弹性变形修正系数均为 2mm。

(2)挂篮弹性变形试验数据回归分析。

回归线性方程 $y = 0.125x$

式中: y ——挂篮底模变形值

x ——加载重量

3.2 电阻应变片应力测试

在第一次箱梁块体施工时,在挂篮构件的相应位置粘贴应变片测试挂篮主桁各构件在混凝土浇注过程中产生的结构内力变化情况。

测试分 4 个阶段,分别为底板浇注完毕(工况 I)、腹板浇注一半高度(工况 II)、腹板浇注完毕(工况 III)、面板浇注完毕(全断面浇注完毕,工况 IV)。根据测试所得数据,利用应力-应变的相对关系进行内力换算,见表 2、表 3。

表 2 电阻应变片测试构件内力值表(KN)

工况	2# 吊带	3# 吊带	BD 杆	CD 杆	AB 杆
工况 I	55.56	52.38	58.56	-65.78	76.21
工况 II	73.42	71.43	78.62	-93.06	102.68
工况 III	76.20	75.40	105.89	-113.91	129.96
工况 IV	—	107.94	211.78	-250.29	267.13

注:正值表示杆件正弯曲或杆件受拉,负值表示杆件负弯曲或杆件受压。

表 3 理论计算 4 种工况杆件内力值表(KN)

工况	2# 吊带	3# 吊带	BD 杆	CD 杆	AB 杆
工况 I	55.69	55.69	85.92	-102.47	108.7
工况 II	91.3	91.3	140.86	-167.99	178.20
工况 III	126.85	126.85	195.71	-233.40	247.60
工况 IV	126.85	126.85	279.01	-332.75	352.98

试验结果表明,挂篮结构在混凝土自重作用下,实测构件的内力值均小于理论计算的内力值。这主要是由空间结构的挂篮主桁架简化为平面桁架,支承方式为连续梁的内外模行走梁简化为简支梁的偏于安全的简化计算引起的。

3.3 测试结论

从测试结果可得出下列结论:(1)理论计算值与实测值趋于一致,说明理论计算方法正确。(2)实测挠度值远小于允许最大变形值,说明挂篮主桁架刚度较大,对保证箱梁混凝土浇筑质量有利。(3)构件实测内力值与理论计算值均小于允许内力值,说明挂篮有较大的安全储备。(4)挂篮在设计最大荷载作用下,弹性变形值为 11mm,满足规范要求。

4 结语

挂篮设计要考虑安全可靠,受力合理,结构轻巧,便于加工,还要考虑通用性(对本挂篮结构作适当处理即可适应各种

预应力混凝土连续刚构桥设计特点

金大勇， 陈金刚， 邓关彩
(中国市政工程西南设计研究院,四川成都 610081)

摘 要:红水河二桥是位于来宾市内重要交通干道上的一座大跨预应力混凝土连续刚构桥。该文重点介绍该桥桥跨布置以及结构设计和计算。

关键词:预应力混凝土;连续刚构桥;桥梁设计;计算

中图分类号:U448.23 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)03-0029-02

1 工程概述

来宾市红水河二桥北接兴宾北路,南接规划兴宾南路,是横跨来宾市区南北的重要交通干道。主桥上部构造为 110m+190m+110m 三跨预应力混凝土连续刚构,引桥上部构造为 2×40m 预应力混凝土连续梁桥。全桥分左、右幅结构各自独立,主桥桥墩最高 34.5m。该桥正交跨越红水河,桥位段河流常年水位在 60~71m 左右,枯水位一般在 53~54m 之间。桥位下伏基岩为石炭系马平组燧石灰岩、硅质灰岩。桥址地处亚热带,过渡的亚热带季风气候带。年平均气温为 28.5℃,极端最高气温为 39.5℃,极端最低气温为 -3.3℃。

2 主要技术标准

- (1)道路等级及计算行车速度:城市主干路 II 级,计算行车速度 50km/h。
- (2)荷载:由于主跨为 190m,超出了《城市桥梁设计荷载标准》(CJJ 77—98) 适用范围,故采用公路 I 级荷载。人群:315kN/m²。
- (3)桥宽:2×(0.25m 人行道栏杆+2.0m 人行道+3.25m 非机动车道+7.75m 机动车道+0.5m 防撞栏杆),桥面宽度为 27.5m,双向 4 车道,远期规划划线调整为双向 6 车道。
- (4)地震烈度:区域震动反应谱特征周期为 0.35s,地震动峰值加速度小于 0.05g,相当于地震烈度 6 度,按 7 度构造设防。
- (5)通航标准:航道等级内河 III 级,双向通航,有效通航净宽不小于 130m,净高不小于 10m,最高通航水位按 10a 一遇洪水水位。
- (6)桥面纵坡及竖曲线:桥面纵坡 3.2%,竖曲线最小半径 5000m。
- (7)设计基准期 100a,设计安全等级一级。
- (8)防洪标准:按百年一遇设防, $H_{1/100}=83.39\text{m}$ 。

3 总体设计

桥位处于来宾市区,具备相对较好的运输条件,桥型方案设计过程中,力求体现技术先进可靠、经济合理适度、施工方便可行、使用安全耐久、人文景观协调的原则,并结合初步设计专家评审意见,主桥选择连续刚构桥方案,桥跨布置以施工

安全可靠为中心,引桥采用一次落架的预应力混凝土连续箱梁桥方案。桥跨布置图见图 1

4 主桥结构设计

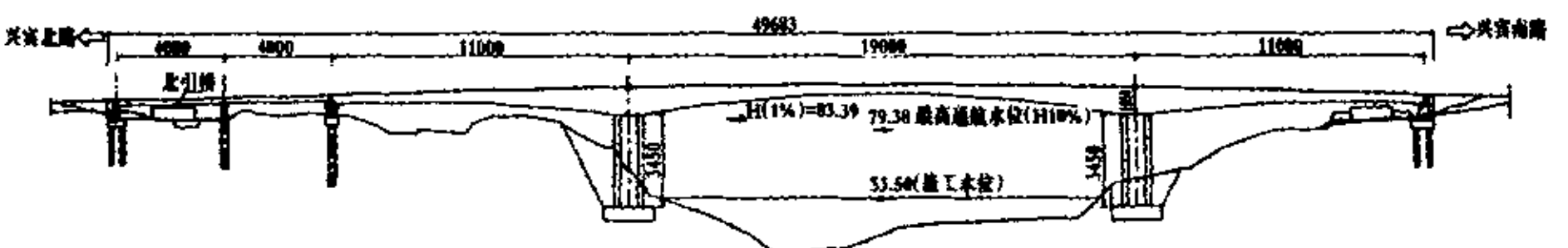


图 1 桥型布置图(单位:标高以 m 计,其余以 cm 计)

4.1 箱梁构造设计

上部结构为预应力混凝土连续刚构箱梁,箱梁根部梁高 10.5m,跨中梁高 3.5m,顶板厚 26cm,底板厚从跨中至根部由 40cm 变化为 150cm,腹板从跨中至根部分 3 段采用 50,70,100cm 三种厚度,箱梁高度和底板厚度按 1.5 次抛物线变化。箱梁典型断面见图 2。箱梁顶板横向宽 13.5m,箱底宽 7.5m,翼缘悬臂长 3m。箱梁 0 号节段长 15m(包括墩两侧各外伸 2m),每个悬浇“T”纵向对称划分为 21 个节段,梁段数及梁段长从根部至跨中分别为 6×3.5m、5×4.0m、10×4.5m,节段悬浇总长 87.5m。悬浇阶段最大控制重量 2550kN。边中跨合拢段长均为 3m,边跨现浇段长 13.5m。箱梁根部设 4 道厚 0.5m 的横隔板,中跨跨中设 1 道厚 0.6m 的横隔板,梁端横隔板厚 180cm。箱梁采用 C60 混凝土。

4.2 箱梁预应力体系

结合结构分析和工程经验,笔者对主桥上部结构按全预

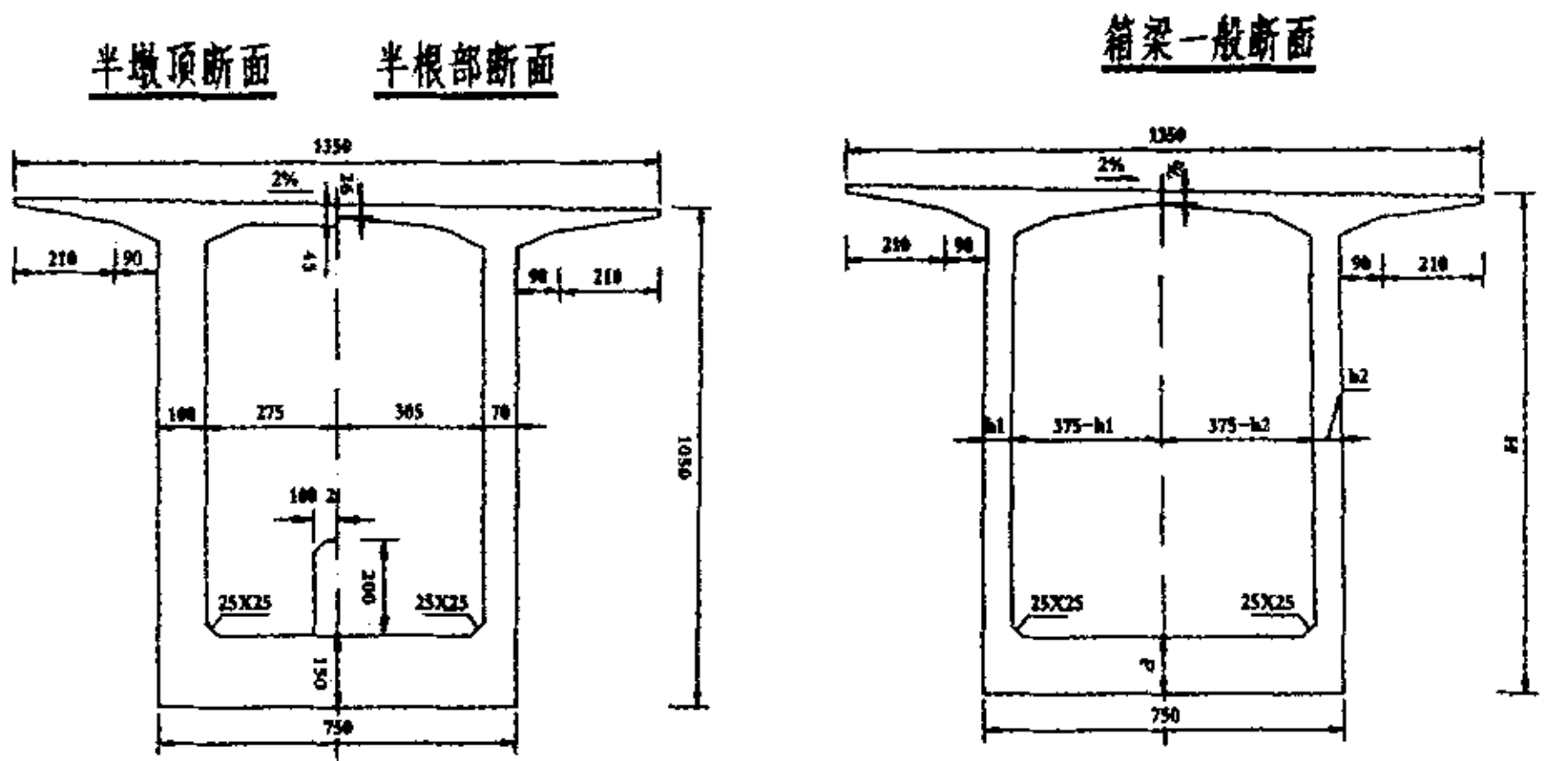


图 2 箱梁典型断面构造图(单位:cm)

应力混凝土构件设计,采用三项预应力,纵向预应力钢束分为腹板束(F1—F20)、顶板束(T1—T38)、顶板预留束(TY)、底板束(B1—B20)、合拢段顶板连接束(T39—T42、L)及底板预留束(BY)6 类。纵向预应力采用 15.24mm 的预应力钢绞线(ASTM、A416—98,标准强度 $f_p^k=1860\text{MPa}$),预应力束布置

收稿时间:2005-12-12

作者简介:金大勇(1972—),男,四川遂宁人,高级工程师,从事道路桥梁工程设计工作。

跨径和不同宽度的各类箱梁施工)。该挂篮经漳诏高速公路旧镇特大桥实际使用,各项指标均达到设计要求,操作简单,有效地提高了生产效率和降低了工人的劳动强度,为加快施工进度创造了有利条件,可为类似桥梁的挂篮设计提供有价值的参考。

参考文献:

[1] 范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社.
[2] 吴恒立.材料力学[M].重庆交通学院.