

# 自锚上承式悬带桥的设计与施工

吴琦瑛

(湖南省洞口县交通局)

## 提 要

本文叙述了我国又一新型公路桥梁——自锚上承式悬带桥的设计与试验概况。并重点介绍了该工程在无支架无设备条件下的施工方法。

## 一、前 言

上承式悬带桥是70年代国外出现的一种新型公路桥梁结构。它有别于一般的悬索桥、斜拉桥,其主索实质上是作为结构的下弦,荷载传递形式类似一般上承式拱桥。行车荷载由桥面系通过立柱排架传递给主索。由于主索是由混凝土包裹形成的一带状,形如悬带,所以又称“悬带桥”,国内外也有称“倒悬索桥”、“反向吊桥”。因桥面在悬带上面,故称“上承式悬带桥”。主索的锚固方式可分外锚和自锚,国外建成的实桥均为外锚,唯独我国淘金大桥为自锚,所以称“自锚上承式钢筋混凝土悬带桥”。

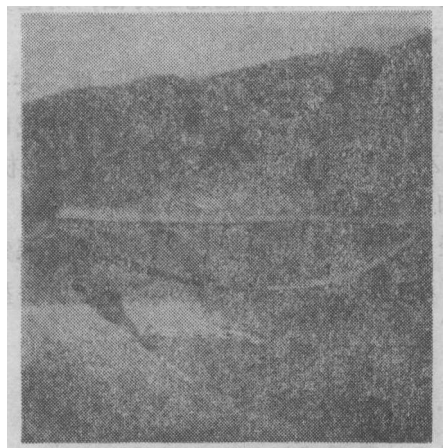
继美籍华人林同炎先生1972年5月首创上承式悬带桥悬吊跨径108m的哥斯达里加的柯罗拉多桥之后,1975年~1977年世界上又建成2座,一座是东德易北河上的巴德·桑德桥,悬吊跨径为100m;另一座是日本九州中部地区深谷川河上的速日峰桥,悬吊跨径为48m。1979年8月,湖南省交通科研所做过悬吊跨径70m自锚体系上承式悬索桥的模型试验;1986年兰州铁道学院和甘肃省交通设计院,在甘肃刘家峡黄河大桥做过悬吊跨径180m的设计方案和模型试验;1988年4月,湖南省交通科研所与洞口县交通局合作,在原悬索桥模型试验

的基础上加混凝土吊板包裹主索,设计成单孔跨径70m的自锚上承式悬带桥。该桥于1988年5月1日破土动工,1989年1月25日建成通车,并于同年3月26~28日对该桥进行了实桥静、动载试验。

## 二、工程概况

淘金大桥位于洞口县古楼乡淘金村,距县城15km,横跨资水支流古楼河木鱼塘峡谷口。

大桥总长74m,设计单孔跨径为70m,矢跨比1/9,桥高22.6m,桥面宽4.5m,设计荷载标准为汽—15级,桥面跨中设双向纵坡2%,其全貌如照片1所示。



照片1 大桥全貌

淘金大桥上部构造因地制宜选用自锚上承式钢筋混凝土悬带桥, 整个上部构造由端锚梁、连续T梁、盖梁、排架和悬带组成一个比较完整的自锚刚性体系。梁、柱、带材料均为300号普通混凝土, 钢材除主索为高强钢丝外, 其余均为普通钢筋。

大桥充分利用地形选用临时岩石隧洞锚碇布置下部各构造。

该桥工程数量如表1所示。

表1

项 目	单 位	上 部 结 构	下 部 结 构	全 桥 合 计
混 凝 土	m <sup>3</sup>	147.9	163.5	317.4
预 应 力 钢 丝	t	4.2	2.6	6.8
普 通 钢 筋	t	23.4	5.7	29.1
木 材	m <sup>3</sup>	40.2	8.5	48.7
水 泥	t	59.8	64.2	124.0

### 三、方案选择

#### 1. 桥型选择

淘金大桥位于一个狭窄的山谷中, 以接线路基标高控制, 上口宽68m, 深23m, 山谷倾斜角度在60度左右, 两岸均为风化的砂质页岩, 枯水深在1.5m左右, 洪枯水位差在5.0m左右。因此, 采用支架施工有困难, 既不安全、也不经济; 采用其他施工方法, 对地方来说, 不理想, 也不现实。

在此条件下, 从经济性、施工性、安全性以及美观等方面出发进行考虑, 与已建成的几座70m左右跨径的桥梁的上部结构进行分析比较, 如表2所示。

经比较权衡利弊, 为发展新技术, 探索新桥型, 本桥决定采用自锚上承式悬带桥桥型方案。

#### 2. 锚固选择

对于这种梁式桥, 为了承受主索强大的水

平力, 在桥台处需设置与连续T梁、主索悬带形成一整体的强大的端锚梁, 以形成自锚刚性体系。

结构体系自锚的选择好处有三: 一是为了减小结构的用钢量, 并充分利用桥面系作为主要受压构件, 由它来承受主索张力, 同时考虑到改外锚为自锚后, 用桥面系梁板内储蓄较大的轴向压力来承受局部的弯矩和剪力; 二是自锚能较好地克服外锚体系庞大的圬工量和复杂的外锚体系的技术处理; 三是上承式悬带桥采用自锚后, 桥型可以适应于多跨桥梁中, 使其具有较强的竞争能力。

考虑施工要求, 主索必须先设置临时外锚。在吊桥中, 通常采用圬工重力式锚碇方式或将主索直接锚固于基岩中的锚碇方式。根据本桥的实际情况, 重力式锚碇圬工体积太大, 施工困难, 很不经济。经计算比较, 本桥决定采用隧洞式岩石锚碇锚固主索, 端锚架与隧洞锚梁之间, 采用外锚索和接长器连接, 这样施工容易, 又很经济。

表2

桥 名	主跨 (m)	荷载 标准	每m <sup>2</sup> 桥面用料		构件最大 吊重(t)
			钢 材 (t)	混 凝 土 (m <sup>3</sup> )	
四川云阳斜拉桥	75.84	汽-10	69.5	0.34	28.0
乐山箱型拱式桥	70.0	汽-13	37.0	0.95	24.0
芙蓉江桁架拱桥	75.0	汽-15	71.3	0.65	
湖南淘金悬带桥	70.0	汽-15	70.1	0.44	4.6

#### 3. 模型试验

本桥这种结构型式的桥梁, 在世界上也是非常特殊的, 所以, 设计与施工中尚未了解的问题很多。为了证实设计计算方法的合理性及可靠性, 掌握动态特性和施工方法中的诸问题, 以及为了确定解决这些问题的办法, 1979年8月湖南省交通科研所制作了1/10的实桥模型, 并按照实桥的施工顺序, 进行了施工加载、静载和动载等项目的全模拟试验。模型试

验结果为大桥的设计与施工, 提供了可靠的科学依据。

## 四、设计简述

本桥的设计桥型布置如图 1 所示。

上承式悬带桥与吊桥相比, 其主索悬带相当于吊桥的主缆索, 立柱排架相当于悬吊缆索或吊杆, 连续 T 梁相当于加劲梁, 桥台与端锚梁相当于塔架和锚碇。因此, 本桥的设计意图是: 在同等要求条件下, 努力并充分发挥各种材料的各自作用, 使其结构优于吊桥或其他桥型。

本桥设计计算, 应用了悬索理论和平面杆系结构理论。也就是说, 设计计算分以下两个阶段进行。

### 1. 施工架设阶段

行车道 T 梁的接头混凝土 (现浇横隔板) 在达到设计强度前, 结构呈离散状态。这时, T 梁、排架、悬带等重量全部由主索来承担。在这一阶段, 应计算索力、索形及支点反力; T 梁内力仅按 7m 跨长计算简支弯矩内力; 另外, 为了施工安装观测需要, 还应计算每一加载过程中的索形变化和标高。

在施工架设阶段, 由于主索索形随外荷载而变化, 且索内只能承受轴向拉力, 故结构设计按悬索理论进行计算分析。

### 2. 整体结构阶段

在横隔板及端锚梁接头区段混凝土浇筑并达到强度后, 外来荷载由整个结构承担。整体结构完成后, 各种荷载作用下的内力计算按一般平面杆系结构图式与程序进行。本桥具体计算内容主要有:

- (1) 外锚转换成自锚的内力计算;
- (2) 去掉临时施工设施的内力计算;
- (3) 桥面铺装和栏杆重的内力计算;

(4) 温度影响的内力计算;

(5) 汽车活载的内力计算;

把施工架设过程中的内力和形成整体结构后的内力叠加成总内力, 然后验算各杆件应力及配筋。

主索应力验算时, 安全系数取  $K=2.5$ 。

### 3. 主要构件的设计概要

#### (1) 主索

主索为主要受力构件, 由直径 5mm 高强度钢丝编织成平行束, 平行束共有两组, 每组有 4 束, 两组束分别设置在立柱梁排架底下。主索考虑到垂度调整等施工因素, 设计计算每束拉力为 52.3t, 每束拉力由 48 丝高强度钢丝承担。主索与临时外锚索锚具采用墩头锚具, 端锚梁与隧洞锚梁之间用接长器 (连接器) 联系。

#### (2) 悬带 (底板)

底板是用混凝土包裹主索而形成的悬吊板, 它是同时承受拉伸和弯曲的构件。整个悬吊板的垂度与跨径之比, 考虑到作用于下部构造的水平力、结构的整体刚度及架设时主索变形等因素, 设计取矢跨比为 1/9。底板考虑到方便施工架设, 设计成宽 50cm 的预制构件。其截面形式如图 2 所示。

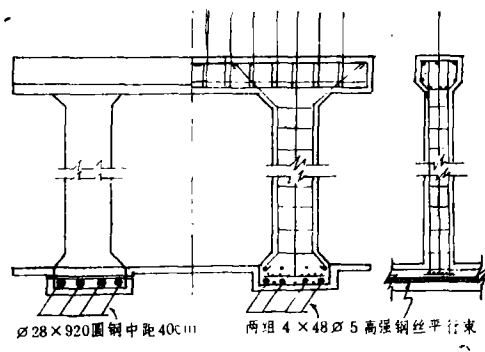


图 2 悬带与排架

#### (3) 排架

立柱排架是受压构件, 由两根截面  $30 \times 50$  cm 的立柱和  $50 \times 40$  cm 的盖梁及  $20 \times 15$  cm 的底



梁组成门式竖直构件。它是承受竖直构件自重、连续T梁自重、后部分恒载和活载的刚架结构。排架结构见图2。

#### (4) T梁

T梁是弹性支承于门式排架上的10跨连续梁结构。它由4根T梁组成桥宽4.5m，T梁高70cm、单元宽113cm，跨中T梁长680cm，两端T梁长600cm，横隔板厚20cm。结构截面如图3所示。

设计将T梁架设在桥台端锚梁及排架上，再浇注T梁间横隔板，排架上的钢筋伸入横隔板，以增加横向刚度和结点强度。当连成整体后，即成为10孔连续的梁板结构。

T梁所承受的荷载是各孔连续之前的T梁自重，及连接之后的后部分恒载和活载。

T梁的配筋，从弯矩包络图来看，虽梁体各截面的受力大小不一，但为了施工简便，全桥各梁段的截面均设计成等截面，并都以最大

弯矩配置同样的钢筋。

#### (5) 端梁

桥端锚固横梁是主要受力构件之一。它是用来支承T梁和锚固悬带主索而设计成一个强大的锚固整体，它搁置在桥台支座上，梁长500cm。自锚结构布局如图4所示。

#### (6) 支座

两岸端锚梁下面各置放有4块 $20 \times 35 \times 4.2$ cm平板式橡胶支座。

### 4. 隧洞锚碇

本桥锚碇为临时锚碇，主要承受施工过程中主索产生的水平力。施工架设阶段全桥最大索力为418.43t，即每束索力为52.3t。为安全起见，每束主索抗拔力按100t设计，即要求各岸临时外锚的总锚力为800t。

桥址两岸地处风化岩层，其节理发育，构造比较松散，根据设计受力要求，宜采用隧洞式锚碇。经计算后布置：两岸各以人工凿打锚洞两个，中距440cm，每个锚洞承受拉力为400t，并在两个锚洞底部打一同锚洞断面的横洞贯通。横洞内设置横锚梁并安装墩头锚具，横锚梁与岩壁接触面用混凝土铺平，以利受力传递。隧洞长900cm，隧洞与地平夹角设计为22度，其构造如图5所示。

在设计计算隧洞锚碇时，主要考虑：

(1) 锚洞剪力验算：岩层剪力计算中假定所受外力基本上通过铺平混凝土直接传给整个岩层，岩层容许剪应力按 $3.0 \text{kgf/cm}^2$ 考虑。

由横锚梁传来的主索张力尽管大部分由岩层直接承受，但也有部分力是由铺平混凝土通过与岩壁间的结合来传递，所以还必须验算混凝土与隧洞岩壁之间的剪力。混凝土与岩壁结合面的容许剪应力按 $4.4 \text{kgf/cm}^2$ 考虑。

(2) 滑动稳定验算：承受抗拔力的基岩，其抵抗力假定为一个以主索锚固点作为顶点的周围岩体，与主索呈30度分布线破坏来验算其自由岩体的滑动稳定性，滑动稳定系数按K

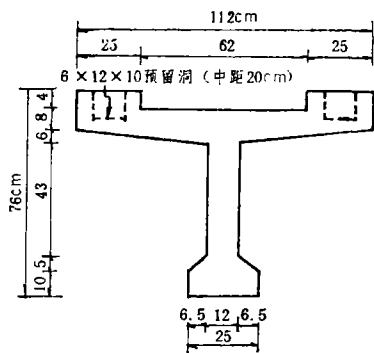


图3 连续T梁截面

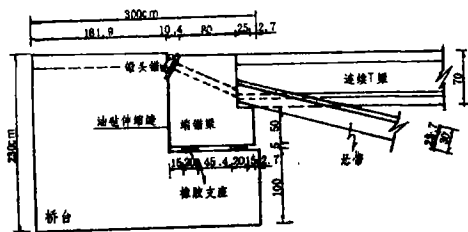


图4 自锚端横梁

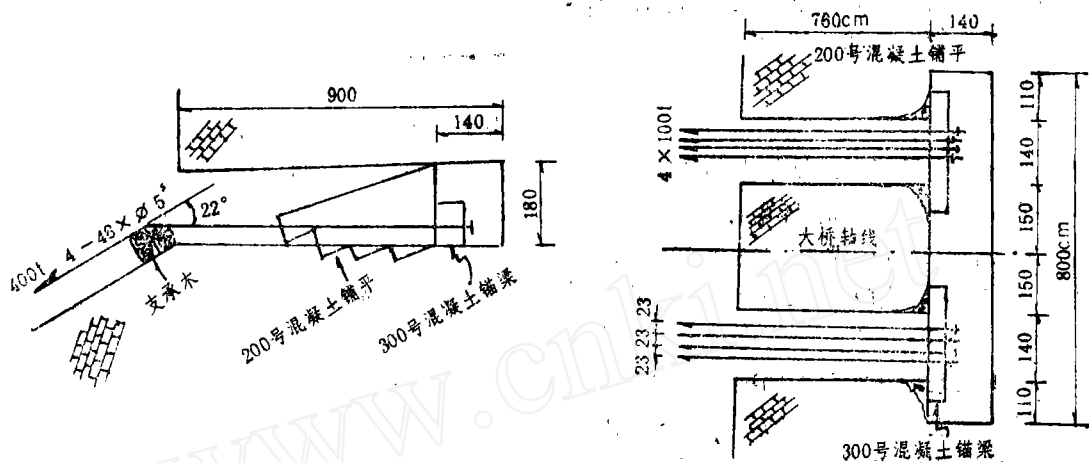


图5 临时隧洞锚碇构造

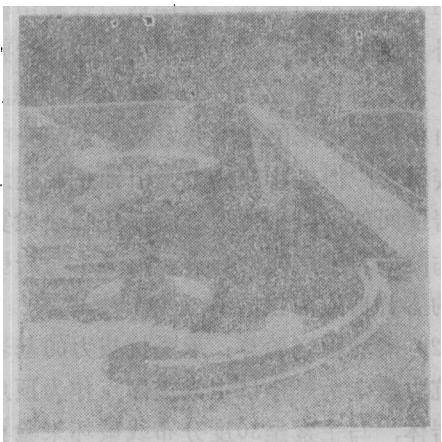
=1.4考虑。

(3) 锚碇横梁验算：根据实地情况，本桥采用200号钢筋混凝土横梁，其截面为60×80cm。每根横梁负担4束索力，每根横梁长250cm，设计安全系数取K=2.0。

(4) 主索粘结力验算：为保安全，主索穿过锚洞底板混凝土铺平段，其主索与混凝土之间的容许粘结力按13kgf/cm<sup>2</sup>考虑。

## 五、施工

淘金大桥侧视、俯视如照片1、2所示。



照片2 大桥俯视

本桥采用无支架无设备施工法，即不使用大型安装机械设备的无支架施工，为此，要求每个构件必须轻型化。本桥主要构件按上述要求都设计成预制装配式，并在施工中充分利用主索与悬吊底板作为施工平台，以加快工程进度，保证工程施工质量，减少工程费用。

本桥工程施工期8个月，实际施工229天，共完成土石方1769m<sup>3</sup>，混凝土317.4m<sup>3</sup>，计耗用水泥124t，钢筋35.9t，木材48.7m<sup>3</sup>；使用的主要设备有：1t电动卷扬机2台，5t手拉葫芦1部，32t三轮滑车4个；决算工程经费为257755元；经济造价指标：每延米桥长3483元，每平方米桥面774元。

下面简介大桥施工工艺。

### 1. 施工顺序

经模型试验和计算分析，自锚上承式悬带桥的施工顺序按下列程序进行：

- (1) 桥台基础及临时锚碇的施工；
- (2) 预制悬吊底板和T梁构件；
- (3) 引渡主索及张拉外锚索并调整锚固；
- (4) 抬运、牵引、安装悬吊板预制块；
- (5) 制作安装临时简易木支架；
- (6) 现浇排架混凝土；

- (7) 拖拉安装 T 梁和现浇横隔板混凝土;
- (8) 拆除一切临时木支架和缆风索;
- (9) 浇注主索悬带槽内混凝土;
- (10) 松外锚使结构形成自锚体系;
- (11) 现浇桥面混凝土;
- (12) 安装栏杆及桥头装饰;

## 2. 下部构造施工

(1) 清除地层表土及破碎岩石, 在新鲜基岩上现浇桥台混凝土, 待强度达 70% 后, 焊扎锚梁钢筋骨架, 现浇端锚梁混凝土;

(2) 据设计总抗拔力 800t 的要求, 分别在两岸跨桥头引线公路边的岩壁上以人工清凿 (不要爆破) 两个中距 440cm、断面 140×180cm、洞深 900cm 的斜洞, 隧洞与地平交角为下倾 22 度; 贯穿洞底的横洞凿成同主洞断面尺寸。主洞与横洞修整符合设计后, 装模现浇横锚梁和岩壁、洞底混凝土;

(3) 对称逐根张拉临时外锚索, 并调整索力至符合设计要求; 锚具为墩头锚和接长器 (正反丝扣连接器);

(4) 洞内各部构件质量检验符合设计后, 用混凝土封固两根横锚梁和覆盖洞内外锚索, 以增加抗拔能力和防止意外事故发生。

## 3. 上部构造施工

### (1) 主索牵拉

按受力平衡要求, 将 8 根各 48 丝直径 5mm 的高强钢丝在工作台上编织绑扎成平行束后, 用 1t 电动卷扬机逐根对称牵引至一岸, 墩头锚固在端锚梁钢垫板上; 待另一岸加增力滑轮组牵拉完毕后, 再在墩头锚与连接器之间逐根对称地进行垂度调整, 使之符合设计要求, 并使主索在端锚梁索洞内拉伸受力自如。

### (2) 吊板安装

因受现场地形限制, 悬吊底板预制场设在北岸。将吊板预制块从预制场人力抬运至北端主索下面, 预制块位置恰当后, 用两对直径 28

mm 的圆钢把预制块穿挂主索上, 再用电动卷扬机牵引滑向南岸指定位置, 并用 8 号铁丝绑拉预制块, 使其不再滑动。待全部预制块安装就位后, 即全面进行中线及块件间的缝隙调整。为利于悬带在施工加载过程中变形灵活, 在距端锚梁 150cm 范围内暂不安装预制块, 待 T 梁安装后用膨胀水泥现浇混凝土。

### (3) 排架现浇

排架由盖梁、底梁及两个立柱组成。在悬吊底板上面按设计要求拼装木支架和搭设施工脚手架, 待排架钢筋、模板安装校正后, 由两岸向跨中对称均衡现浇排架混凝土。为保证排架在施工过程中纵横两个方向变位很小, 在木支架顶部设置了 4 根通长水平撑木及 4 对缆风索, 以确保支架稳定、施工安全和工程质量。

### (4) T 梁架设

脚手架和支架经检查加固后, 在水平撑木上再叠加 4 根撑木通长对位顶住盖梁, 使受力能安全传递至桥台。T 梁架设从两岸向跨中对称依次进行, 用电动卷扬机加六线滑轮组牵引拖拉、滑动吊装 T 梁至安装位置。为了安全方便施工加载, 在横向位置先安装中间两根 T 梁再安装边梁; 为了在施工过程中使得悬带不产生横向扭转晃动, 横桥向的临时荷重应尽可能保持平衡。T 梁水平与垂直位置的调整采用手拉葫芦进行; 调整准确后, 立即电焊 T 梁接头钢筋并与盖梁钢筋相连。

### (5) 接缝浇注

T 梁与 T 梁之间的横隔板的接缝、T 梁与端锚梁区段的加强块的接缝、T 梁与 T 梁之间的纵向缝、悬吊底板与主索槽内的通长缝等五个部位。这些接缝均用混凝土浇注处理, 在浇注每个部位的接缝时, 主索悬带变形较为灵敏, 其变形还会引起各构件产生不利的附加应力; 为减少这种现象, 按以下顺序进行接缝浇注: T 梁架设后, 即浇注横隔板和纵向缝, 接着从跨中向两岸对称均匀浇注主索预留槽中的混凝土, 最后现浇悬吊底板、连续 T 梁与端锚

梁连接区段(即自锚大节点)的混凝土,使桥跨结构基本形成。

#### (6) 体系转换

当横隔板及端头连接区段的混凝土强度达到设计要求后,按设计将施工中的结构外锚体转换为永久构造的自锚体系。具体作法是:首先拧紧墩头锚大螺母与钢垫板紧密贴合,再去掉外锚索转角处的支承木,然后旋松外锚索与主索之间的连接器,使外锚索处于松弛状态,主索与外锚索基本脱离。从而自锚上承式悬带桥结构体系基本形成。

#### (7) 桥面施工

安装栅条栏杆前,清凿T梁板顶面;洗净后,从跨中向两岸进行桥面混凝土铺装施工。同时,清洗处理好在桥跨两端的伸缩缝,而后安装栏杆,这样,本桥全部工程施工基本告成。

#### (8) 变形观测

大桥工程在各个阶段的施工中,因为几乎都在不稳定的主索悬带上进行,有人担心悬带摇晃会使施工变得困难。实际上,在安装悬吊底板阶段,主索就处于非常稳定状态;在现浇排架和T梁拖拉安装的施工阶段,由于构件运动引起悬吊底板上下振动的幅度也是很小的。至于在柔性很强的主索上施工,稍有晃动也是难免的。总之,实践告诉我们,在主索悬带上进行容许的设计加载,施工还是相当安全的,并没有想象中那么可怕。

为了集累资料,大桥施工加载过程中,对每一施工工序的主索变形都进行了观测,并整理出主索变形起伏资料。本桥主索为悬索,施工阶段为全柔性结构。在不对称施工加载作用下,主索会改变其几何形状,从而引起桥跨结构产生较大的挠曲变形。为避免这一不利状态,设计时就考虑加上悬吊底板,使其成为半刚性悬带,这样变形将大大减小。从施工实践与观测资料中可看出:由于悬吊底板互相挤压约束了主索挠曲变化的幅度,从而变形很小,

节点起伏规律对称,幅度变化在设计范围内。

### 4. 实桥荷载试验

为了进一步认识本桥式和检验该结构的安全性,以及给今后设计施工提供帮助,湖南省交通科研所与洞口县交通局共同努力,于1989年3月16日至3月28日对该桥进行了静、动载试验。

#### (1) 静载试验

根据设计荷载汽车—15级标准,试验中使用了两辆黄河牌载重汽车(装满河砂时的重量各为18t)分6级进行静载试压,并测定了各级加载时的挠度值和应变值,当静载压重满负荷时,其跨中挠度值仅为理论计算值的44%,说明该桥刚度较大,承载潜力不小。

#### (2) 动载试验

按设计要求对该桥分别进行了自振频率、动应力、动挠度、冲击系数等项目的试验,从试验时的情况及示波器记录反映来看,各试验项目都很正常,符合设计要求。

各试验结果表明:该桥所采用的计算理论和计算方法是正确的;该桥的强度、刚度和动力性能均满足设计要求;该桥在汽—15级荷载作用下有足够的安全度。

### 5. 与同类桥型的比较

淘金大桥与日本1977年5月建成的速日峰桥相比,除跨经与锚碇体系不同外,其他诸如构造型式、载重标准、桥面宽度、矢跨比、施工期等均相似,但各项经济指标相差却较大。从表1可见,淘金桥比速日峰桥跨度大22m,仅因结构锚碇方式不同,所耗费的材料和费用,淘金大桥自锚体系的节省是明显的。

## 六、结束语

淘金大桥的施工,基本上达到了造型美、技术新、质量好、速度快、造价低的要求。它

表1

速日峰桥与淘金大桥的比较

项 目	单 位	日 本 速 日 峰 桥	中 国 淘 金 大 桥	
活 载 标 准		TL-14	汽-15	
桥 长	m	54.48	74.0	
桥 宽	m	4.8	4.5	
上 部 构 造 型 式		外锚上承式悬带桥	自锚上承式悬带桥	
下 部 构 造 型 式		岩石锚碇式桥台	端锚梁圬工桥台	
主 要 材 料	混 凝 土	m <sup>3</sup>	370.0	317.4
	预 应 力 钢 筋	t	16.0	6.8
	普 通 钢 筋	t	37.0	29.1
工程经费开支		4700万日元	257755元人民币	
施工期	月	6	8	
每 平 米 桥 面 指 标	混 凝 土	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	1.41	0.96
	预 应 力 钢 筋	kg/m <sup>2</sup>	61.1	20.6
	普 通 钢 筋	kg/m <sup>2</sup>	141.2	88.1
	造 价	人民币	5477元/m <sup>2</sup>	774元/m <sup>2</sup>

的建成,不仅促进了当地经济的发展而且为我国新型桥梁的建设提供了宝贵的经验。

现就自锚上承式悬带桥谈点肤浅的认识:

这种桥型,构思新颖,造型独特,受力明确,结构合理。它由桥面系连续T梁、端锚梁、立柱排架和主索悬带构成一个整体,各构件各自充分发挥其材料的特长,与同跨径其他桥型相比,用料省,结构轻,经济合理。由于构件简明、轻巧美观,适合在深山峡谷中建造,在周围自然环境的衬托下,更显得谐和协调。

这种新型公路桥梁的施工简便,没有复杂的技术,可采用无支架无设备施工法。实际作法是:先引渡主索并临时外锚,锚固无须复杂的张拉施工工艺,调索后在主索上安装预制块形成吊板悬带,然后在悬吊底板上横向设置立柱排架;在排架上架设T梁后,转外锚为自锚;现浇桥面后,即在主索槽内用混凝土包裹主索形成悬带;最后处理伸缩缝和安装栏杆。

这种新型公路桥梁的构件分块能适应施工设备的起吊能力。跨径100m以下的桥梁,只要使用小型起吊机具就可以安装施工,比较适

合于我国起吊设备差而需要建设大跨径桥梁的国家工程或地方工程。据初步估算,在合适的构件分块下,其最大吊重可以控制在30t以下,其适应跨径可达200m左右,与其他桥型在同跨径条件下,具有较强的竞争能力。

这种新型公路桥梁,由于加大了主索垂度,与牵索桥相比,它仅用较小的临时锚碇就能建成,同时免去了高塔架施工的难度;主索包裹在混凝土中,养护费用较少,无换索之后顾之忧;桥面无任何遮挡视线的构件,更无索面占用桥面净空,其视野开阔,有利于行车安全。

这种新型公路桥梁能与T型刚构、斜腿刚架、斜拉桥等体系任一桥型结合成复式体系,可以克服建筑高度大的缺点,使其跨越能力更大。如:哥斯达里加的柯罗拉多桥,它是由外锚上承式悬带结构与斜腿刚架相结合,虽悬带结构部份只跨越108m,但该桥实际已横跨146m。

以上仅是笔者的初步想法。可以预料,在同等条件下,自锚上承式悬带桥作为一种新的  
(下转第19页)

式,这样就工序复杂,需要设备多。而斜拉式挂篮从图9可见其安装程序十分简单。由于在1号段就应用挂篮,故可节省1号段制梁托架和大量制立模工作量,收到了良好的经济效益。本挂篮施工方法称为无托架工艺,有无托架施工方法用料比较见表7。

(4) 挂篮成型步骤简单,施工周期比其他挂篮短。如重庆大桥、沅水桥均在第4段才能形成独立挂篮,在1~3段期间挂篮转换工作量较多。本挂篮则不存在接拼挂篮桁架问题,可大大提高单梁段施工周期。

(5) 挂篮在桥面上的杆件少,对施工干扰少,为施工操作创造了良好的条件。

(6) 挂篮不是桁架承力,故挂篮在灌注混凝土过程中变形小,如能在施工过程中挂篮各部位安装都符合设计要求,特别是斜拉带调整顺直,受力均匀,限位器螺栓拧紧,则挂篮总变形均可保证在1cm之内。故挂篮在灌注混凝土过程中,只要施工前把模板前端预调1cm左右的预下沉值,则在混凝土灌注过程中就不必再对挂篮作调整,混凝土的灌注在新旧接缝处也不必作防止开裂的技术处理,就可保证箱

梁不出现因挂篮变形而产生裂纹。在必要时利用挂篮斜拉带端部的千斤顶可以在施工过程中调整挂篮前端标高。

(7) 该挂篮构造简单,机加工量小,一般工程单位均可在现场自制。挂篮中的大型构件在设计中考虑了拆做其他用途的可能,尽量采用螺栓联接。

## 五、结 语

由于该挂篮构造上采用了斜拉带和模型走行时间与挂篮主梁分步动作这两种新构思,从而降低了挂篮重量,简化了1号梁段传统的有托架施工工艺。滑动斜拉式挂篮已在工程实践中取得了成功。但仍有不足之处:对4根斜拉带初调阶段受力情况缺乏检测手段,目前只是用敲击法估计斜拉带受力均匀情况;挂篮水平力制动装置构造不甚理想,有时发生小量变形。

本文的某些内容可参见《桥梁建设》1989年第1期TREB-110-I型挂篮的设计与试验,作者陈克济。

表7

型 式	重 庆 大 桥		湘 桥 5 号 墩	湘 桥 滑 动 斜 拉 式
	斜 撑 式 托 架	斜 拉 式 托 架	斜 拉 式 托 架	挂 篮 无 托 架 施 工
用 料 (t)	5.6	4.1	66.7	5.2
说 明	万能杆件: 26t 特制加工及预埋件: 30t	万能杆件: 22t 特制加工及预埋件: 19t	万能杆件: 56t 特制及预埋件: 10.7t	万能杆件: 4t 预埋件: 1.14t

(上接第28页)

桥梁形式应用于大跨径桥梁中,具有较大的竞争能力,是一种很有希望的桥型,必将在开辟混凝土桥梁长大化的新领域中不断完善。

本桥的建成得到了铁道部大桥局桥梁科学研究所、湖南省公路局、湖南省交通科研院所和湖南公路学会领导及工程技术人员的关心支持,借此表示衷心的感谢!