

混凝土自锚式悬索桥结构内力分析

张哲, 石磊, 刘春城, 黄才良
(大连理工大学桥梁研究所, 辽宁, 大连, 116024)

摘要: 研究混凝土自锚式悬索桥的结构受力特征以及与地锚式悬索桥的差别。通过计算实例, 分析比较混凝土自锚式悬索桥结构的力学特性, 研究其拱度、矢跨比变化时引起的内力变化规律, 研究混凝土收缩、徐变对内力影响的规律。对于中小跨度的自锚式悬索桥来讲, 除了主梁的轴力偏大以外, 结构的其余内力与地锚式悬索桥的差别不是很大, 差值在 10% 以内。拱度和混凝土的收缩、徐变的影响比较明显。与相应的水平加劲梁和不考虑收缩、徐变影响的计算结果比较, 差值均在 20% 以上。弹性理论适合于中小跨度的自锚式悬索桥的设计和计算。

关键词: 混凝土; 自锚式悬索桥; 地锚式悬索桥; 结构分析

中图分类号: U448.27

文献标识码: A

Analysis of Concrete Self-anchored Suspension Bridge

ZHANG Zhe SHI Lei LIU Chun-cheng HUANG Cai-liang

(Bridge Institute of Dalian University of Technology, Liaoning ,Dalian,116024,China)

Abstract: The mechanic performance of concrete self-anchored suspension bridge and the contrast with the earth-anchored suspension bridge are researched in this paper. The variational law of concrete self-anchored suspension bridge's internal force is analyzed when the camber and the rise-span ratio are changed by the computed results, and the law of the internal force affected by creep is also analyzed. The main difference between the earth-anchored suspension bridge and the self-anchored suspension bridge is the axial force of main girder. Otherwise, there is no less than 10% difference in all other internal force between the two types of bridges. The effect of arch degree, creep and shrink of concrete is very distinct. Ignoring the effect of these factors, the comparison would arrive at a significant deviation of no less than 20%. Elastic theory is applicable to the design and calculation of medium-span self-anchored suspension bridges.

Keywords: concrete, self-anchored suspension bridge, suspension bridge, construct analysis

0 引言

现代悬索桥无论是采用自锚还是地锚体系都是由主缆和加劲梁构成的一种柔性悬索的组合体系。本文所述的混凝土自锚式悬索桥的设计从理论上讲和地锚式悬索桥有许多相同之处, 采用地锚, 则对锚固处的地质条件要求很高, 采用自锚, 将主缆锚固于加劲梁之上, 无需对地质条件有过高要求, 但加劲梁要承受较大的水平力。根据笔者所掌握的资料, 国内外混凝土自锚式悬索桥修建的很少, 国外尚未发现, 目前国内在建的混凝土自锚式悬索桥共有两座, 还有一座即将修建。这些桥均座落在城市的重要地段, 其新颖、优雅的外观与周围环境相协调, 建成后可成为当地的标志性建筑和景点, 必将为该地区带来持久的经济效益和社会效益。它们的施工特点是支架施工, 工期短, 其中索力调整是关键, 其关系到主缆、主梁的线性和全桥受力性能的优劣。这种桥型适用于 300 米以内的中小跨度的桥梁, 与同等跨度的其它类型桥梁相比, 在性价比上是一种很具竞争力的方案。

收稿日期: 2002-07-16

作者简介: 张哲 (1944 -), 男, 教授, 博士生导师。

石磊 (1975-), 男, 博士生。

目前国内三座混凝土自锚式悬索桥的概况如下:

(1) 大连市金石滩悬索桥, 采用双塔双索面构造。桥全长 198m, 主桥跨径布置为 $24+60+24=108\text{m}$, 主桥宽 12.5m, 矢跨比为 $1/8$, 主梁拱度为 4.32m。吊索间距为 3m。此桥刚刚建成通车, 图 1 为建成后的照片^[1]。



图 1 金石滩悬索桥全景 (Fig1. Panorama of JINSHITAN bridge)

(2) 延吉市布尔哈通河局子街桥, 主跨为 160m, 边跨为 60m。主塔采用门式塔柱, 主梁为预应力混凝土箱梁, 梁高 2.2m, 梁宽 21m, 矢跨比为 $1/7$, 拱度很小, 吊索间距为 6m。此桥正在修建。

(3) 吉林市兰旗松花江大桥, 桥梁全长 620m, 主桥为自锚式悬索桥, 跨径为 $12.5+90+240+90+12.5=445\text{m}$ 。两侧引桥采用普通混凝土连续箱梁桥。主塔采用 H 型塔柱, 桥宽 27m, 主梁为预应力混凝土箱梁, 梁高 2.5m, 矢跨比为 $1/8$, 坡度 0.5%, 吊索间距为 6m。此桥即将修建。

1 混凝土自锚式悬索桥的受力特点

自锚式悬索桥这种结构体系, 兼有索和梁的受力特点。在外荷载的作用下, 主缆和主梁共同受力, 主缆是这种组合体系的主要承重构件, 其在荷载作用下的变形直接影响到这个组合体系的受力分配和变形。而主缆是直接锚固于主梁而非锚锭体上, 则由主缆传递给主梁的巨大水平轴向分力对主梁的受力有很高的要求。这种情况下主梁的构造和材料性质便显得非常重要。主梁采用混凝土材料, 同钢桥相比, 虽然增加了体系的自重, 但也增加了体系的刚度, 在一定的跨度允许范围内, 使桥梁的安全性指标、适用性指标、经济性指标、美观性指标得到了完美的统一。对结构受力而言, 由于采用了自锚体系, 将索锚固于主梁上, 利用主梁来抵抗水平轴力, 对于混凝土这种受压性能好的特点来说无疑是相当于提供了‘免费的’预应力。因此可节省大量的预应力器具, 而且又由于混凝土材料采本身相对于钢材材料的经济性, 工程造价为此而大大减少。但是由于混凝土的抗拉、弯的性能较差, 所以对其进行受力分析时应综合考虑这个特点。

2 结构体系的受力分析^[2,3]

由于一般悬索桥的加劲梁为钢梁居多, 造价也随之增大。混凝土梁的优势在于虽然增加了自重和受力的复杂性, 但却大幅度降低了造价, 也因其计算和设计复杂, 国内外修建的混凝土桥很少, 所以对其力学特性以及各几何参数的变化对内力的影响规律的研究还不够深入。自锚式悬索桥是多次超静定的结构, 为了了解结构的内力特征, 本文应用大连理工大学编制的结构分析软件 PFR 程序, 对金石滩自锚式悬索桥进行了内力分析, 单元划分简图如图 2 所示。将自锚式悬索桥与地锚式悬索桥计算结果进行了比较, 并且比较了弹性理论与非线性有限元模型计算结果之间的差别, 对矢跨比、拱度、混凝土的收缩、徐变的影响进行了计算和分析。模型中的单元类型为: 将塔作为梁单元处理; 将吊索、主缆作为杆单元和缆单元两种分别进行比较处理; 主梁与桥台和桥塔下横梁处设置拉压支座

单元。非线性计算主要考虑了几何非线性,材料非线性由于不是很突出,在模型计算中给予忽略。金石滩桥的主梁和横梁的截面形式如图 3 和图 4 所示。

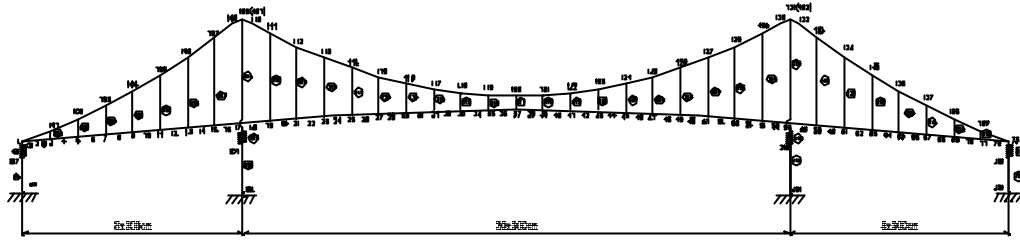


图 2 金石滩悬索桥计算模型(Fig2.Calculate model of JINSHITAN bridge)

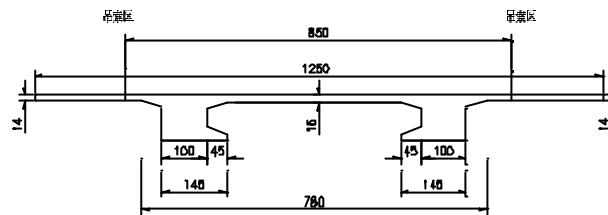


图 3 主梁横截面(单位:cm)

(Fig3.Cross section of main beam)

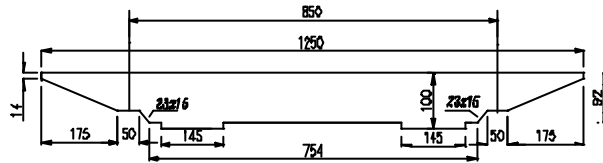


图 4 横梁横截面(单位:cm)

(Fig4.Cross section of beam)

2.1 自锚式悬索桥和地锚式悬索桥的计算结果和分析

为了明确金石滩桥的基本结构行为,主要考虑了两种工况。工况 A 是把活载均布在整个主跨使跨中产生最大挠度。工况 B 为活载布置在主跨中间 1/3 处使梁跨中产生较大弯矩。每一种工况作者都采用 3.15t/m 的活载集度,这也是设计者采用的活载值。表中的 V、M 分别指的是跨中的挠度和弯矩。为了有比较性,本文分别建立了地锚式悬索桥和自锚式悬索桥两种计算模型,除了主缆端部约束不同之外,其余条件全部相同。计算结果列在表 1 中。由表中结果可以看出自锚式悬索桥的跨中弯矩和挠度均比地锚式悬索桥要大一些,但是差别不是很大,这是因为自锚式悬索桥主梁所受的轴力产生的 P- δ 效应而引起的。

表 1 地锚式悬索桥与自锚式悬索桥计算结果的比较(Table1.The compare of calculate result between the suspension bridge and the self-anchored suspension bridge)

工况	地锚式悬索桥	自锚式悬索桥	$\frac{V(M)_{自} - V(M)_{地}}{V(M)_{地}}$
况 A : V	0.081m	0.087m	7.4%
M	369.7 t.m	389.2 t.m	5.3%
工况 B : V	0.035m	0.037m	5.7%
M	209.6 t.m	224.61 t.m	7.2%

2.2 弹性理论与非线性有限元模型

为了得到计算自锚式悬索桥的精确理论，把弹性理论计算结果和非线性有限元模型结果进行了比较。计算结果列在表 2 中。表 2 说明弹性理论和非线性有限元模型计算的结果无论跨中最大挠度还是最大弯矩都非常接近。因此，从这个结果可以说明对于中小跨径的自锚式悬索桥，若不考虑拱度的影响，弹性理论完全可以进行设计计算和分析。

2.3 混凝土的收缩、徐变的影响

为了确定混凝土的收缩、徐变对桥体受力的影响，又另外建立了一个不考虑收缩、徐变的计算模型。两种模型的其它因素都相同，把结果进行比较，每一种模型都施加恒载和活载。结果列于表 3。

表 2 弹性理论和非线性有限元模型计算的比较(Table2.The compare of calculate result between the elastic theory and the nonlinear finite element model)

工况	弹性理论(2)	非线性有限元	$\frac{V(M)_{非} - V(M)_{弹}}{V(M)_{弹}}$
工况 A : V	0.087m	0.0852m	-2.07%
M	389.2t.m	360.2t.m	-7.45%
工况 B : V	0.037m	0.035m	-5.4%
M	224.6t.m	215.3t.m	-4.1%

表 3 混凝土收缩、徐变的影响 (Table3.The infection by shrink and creep of concrete)

工况	不考虑收缩、徐变	考虑收缩、徐变	$\frac{V(M)_{考} - V(M)_{不考}}{V(M)_{不考}}$
V	0.088m	0.110m	+25%
M	422.3t.m	529.6t.m	+25.4%

很显然混凝土的收缩、徐变对桥体的受力有很大的影响。考虑收缩、徐变之后主梁跨中的弯矩值增加 25.4%，挠度增大 25%。因此设计此类桥时应注意这一特点。

2.4 主梁拱度的影响

为了确定主梁拱度的影响还另外建立了一个水平加劲梁的计算模型，金石滩桥实际跨中加劲梁比端部梁高出 4.329m，由于加劲梁中有巨大的轴向力，所以加劲梁的这种拱度将显著影响跨中活载作用下的弯矩和挠度。仍旧不改变模型中的其它因素，在工况 A 和 B 作用下，比较结果见表 4。

表4 有拱度和水平加劲梁的比较(Table4.The compare between the camber and the level stiffening girder)

工况	4.32m 拱度	0 拱度	$\frac{V(M)_{\text{无拱}} - V(M)_{\text{有拱}}}{V(M)_{\text{有拱}}}$
工况 A: V	0.087m	0.105m	+20.7%
M	389.2t.m	474.7t.m	+22.0%
工况 B: V	0.037m	0.047m	+27.0%
M	224.6t.m	271.3t.m	+20.8%

从结果来看主梁的拱度对结果影响不小。如果该桥修建成水平加劲梁,跨中挠度和弯矩都将明显增加。这说明梁的拱度可以加大桥梁刚度显著的减小挠度,对桥梁的承载能力也有明显的影响。

2.5 确定矢跨比对桥体受力的影响

为了确定矢跨比对桥体受力的影响建立了若干个矢跨比不同的计算模型,仍旧不改变模型中的其它因素,在工况 A 和 B 作用下,比较结果见表 5。从结果来看,随着矢跨比的增加,桥梁的刚度随着增加,桥梁的承载力也随着增大,但是其主梁轴向压力却相应减小。因此若想充分利用主梁轴向压力来减少预应力筋配置数量的话,则应当综合考虑矢跨比的影响。力争做到在刚度允许的范围内,最经济、合理的选用矢跨比。

表5 不同矢跨比之间的比较(Table5.The compare among the different rise-span ratio)

矢跨比	f/l=1/8.5	f/l=1/8	f/l=1/7.5	f/l=1/7	f/l=1/6.5
工况 A: V	0.092m	0.087m	0.082m	0.076m	0.071m
M	413.5t.m	389.2t.m	364.8 t.m	340.5 t.m	316.3 t.m
工况 B: V	0.040m	0.037m	0.035m	0.033m	0.30m
M	238.6 t.m	224.6t.m	210.1 t.m	196.5 t.m	182.5 t.m
恒、活载下 主梁轴力 N	530.7t	498.5t	462.3t	434.6t	400.6t

3. 结论

通过实桥建造效果以及对各种情况下的结构内力的计算和分析,可得出如下结论:

1. 自锚式悬索桥构造简洁,保留了传统悬索桥优雅的外形,非常适合于现代的城市桥梁。
2. 混凝土自锚式悬索桥主梁受到的轴向压力非常大,这样对于抗压性好的混凝土材料来讲,可以节省大量的预应力设备,这是混凝土自锚式悬索桥的独特之处。
3. 对于中小跨度的自锚式悬索桥来讲,除了主梁的轴力偏大以外,结构的其余内力与地锚式悬索桥的差别不是很大,差值在 10%以内。
4. 拱度和混凝土的收缩、徐变的影响比较明显。金石滩桥为例,与相应的水平加劲梁和不考虑收缩、徐变影响的计算结果比较,差值均在 20%以上。
5. 弹性理论适合于中小跨度的自锚式悬索桥的设计和计算。

参考文献:

- 『1』 张哲. 金石滩滨海路桥施工图 [R].大连: 大连理工大学土木建筑设计研究院 2000.
- 『2』 陈仁福. 大跨度悬索桥理论[M]. 四川:西南交通大学出版社 1999.
- 『3』 铁道部大桥工程局桥梁科学研究所[M]. 悬索桥 北京: 科学技术文献出版社 1996.

《CIMS 论文的天地》声明

本站免费向大家提供论文全文,本站论文除了特别说明的以外都是从作者手中征集得到的。如果您有论文希望上网,本站可以免费提供论文全文的上网服务。

目前网上论文网站较多,有人非法转载本站论文,在此提出警告,本站将对这类行为进行追究。

本站镜像:

- 1、上海镜像: <http://www.cimspaper.com> <主站>
- 2、教育网内的镜像: <http://xcchen.yeah.net>