

# 装配式公路钢桥承载力的有限元分析

时党勇<sup>1</sup>, 张志<sup>1</sup>, 周 鹏<sup>2</sup>

(1. 工程兵指挥学院, 江苏徐州 221004; 2. 总装工程兵科研二所, 北京 100093)

**摘 要:**分析装配式公路钢桥设计中所采用的简化计算方法的不足, 使用大型有限元软件 ANSYS 对其受力情况和承载力进行了分析, 并与简化计算方法进行对比, 得出了一些规律性的结论, 对实际应用具有一定的指导意义。

**关键词:**有限元; 偏心受压法; 装配式公路钢桥; ANSYS; 承载力

**中图分类号:** E951.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)01-0048-04

## 0 前言

在军用桥梁的设计计算中, 目前所采用的是简化计算方法, 它把桥的各个部分简化成孤立的简支梁模型。在计算活载通过横向分配结构分析到各个承受结构的荷载时, 由于横向分配结构具有一定刚度, 同时连续, 而且承受结构也具有一定刚度, 所以横向分配系数应与横向分配结构刚度及承受结构刚度有关的弹性分配的结果。另外, 因为承受结构每个截面的挠度均不同(两端小, 中央大), 因此它不仅是一个平面的弹性分配结果, 而且是一个立体的弹性分配结果, 它的计算非常复杂。因此, 到目前为止, 横向分配系数只是采用一些近似的计算方法, 最常用的是偏心受压法。其原理是: 假定横向分配结构具有很大的刚度, 大到可以把横向结构看成是刚体, 即不会产生变形的结构, 这样在偏心荷载作用下, 横向结构只产生一种不弯曲的沉降和转动, 因此主梁所分配的荷载成直线的规律分配, 这样边主梁或边主桁受力最大、最不利, 这显然不符合实际情况。

随着科学技术的飞速发展, 有限元法已经成为解决各类工程技术问题的重要手段, 运用它已经能很好地求解复杂结构, 计算结果与实际情况吻合得很好。本文采用目前应用广泛的通用大型有限元分析软件 ANSYS, 对装配式公路钢桥的承载力进行了分析, 并与简化计算方法进行对比, 得出了一些规律性的结论。

## 1 装配式公路钢桥的特点

装配式公路钢桥由桁架式主梁、桥面系、连接

系、桥梁基础等部分组成, 并配有专用的架设工具。主梁由每节 3 m 长的桁架用销子连接而成, 位于车行道的两侧, 主梁间用横梁相连, 每格桁架设置两根横梁; 横梁上设置 4 组纵梁, 中间两组为无扣纵梁, 外侧两组为有扣纵梁; 纵梁上铺设木质桥板, 桥板两侧用缘材固定, 桥梁两端设有端柱。主梁通过端柱支承于桥座和座板上, 桥梁与进出路间用桥头搭板连接, 中间为无扣搭板, 两侧为有扣搭板, 搭板上铺设桥板、固定缘材。全桥设有许多连接系构件如斜撑、抗风拉杆、支撑架、联板等, 使桥梁形成稳定的空间结构。

为适应不同荷载和跨径的变化, 桁架组合可取 10 种相应的变化, 即单排单层、双排双层、三排单层、双排双层、三排双层和在上述五种组合的上、下弦杆上增设加强弦杆的五种形式。

## 2 有限元模型的建立

在建立装配式公路钢桥的有限元模型时, 可以忽略缘材和各种连接销等细小的构件, 只对桁架、横梁、纵梁、桥板、支撑架、斜撑、联板和抗风拉杆进行建模, 通过耦合的方法来代替销子对它们进行连接。这样一来, 若各个构件仍采用实际的尺寸, 那么算得的桥的总重将比按照文献[1]中列出的自重密度算出的值要小, 为了解决这一问题, 可以把被忽略的构件的重量折算到所建立的构件的有限元模型上, 通过调整这些构件的密度使自重密度与文献[1]上相符。

在对单片桁架进行建模时, 不能采用理想桁架模型用标准的二力杆单元对其进行建模, 因为把节点板看作铰节点后该结构将是几何可变体系, 而这与实际情况是不符合的。文献[2]针对这一问题进行了研究, 提出了两种可行的有限元模型。第一种是梁杆混合模型, 根据实际结构的情况, 这种模型

收稿日期: 2005-05-12

作者简介: 时党勇(1978-), 男, 河南南阳人, 硕士, 从事从事装备器材教学和论证研究。

将弦杆和竖杆作为连续构件,用梁元模拟,斜腹杆用二力杆单元模拟。这种模型弱化了斜腹杆两端焊缝的嵌固作用。第二种是梁元模型,所有构件均用梁元模拟,这种模型强化了腹杆两端焊缝的嵌固作用。对比两种模型的计算结果可以发现,它们对结构整体的模拟效果几乎相同。本文采用的是梁杆混合模型。在对其它构件进行建模时,除联板、抗风拉杆、支撑架和端竖杆外,主要承力构件全部采用的是梁单元。

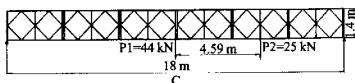


图1 单排桁架加载试验示意图

图1所示的是文献[2]中所做的跨度为18m的单排桁架的加载试验示意图。表1所示的本文用ANSYS建立的有限元模型计算出的跨中挠度值与文献[2]结果的对比情况。从中可以看出,本文的有限元值与文献[2]的有限元值和用桁架的理论截面惯性矩算得的值以及实测值均比较接近,这说明本文建立的有限元模型是合理的,可以利用这个模型来进行分析。

表1 本文结果与文献[2]计算结果对比

项 目	本文计算值	文献[2]计算值	理论值	实测值
跨中挠度(mm)	16.76	16.47	14.43	15.57

### 3 各构件内力的有限元计算

以三排单层加强型桥通过图2所示荷载形式的车辆为例来说明如何用有限元法来计算各构件的内力(其中 $g=P/9$ , $P$ 指平板车总重,力的单位为kN,长度的单位为m)。

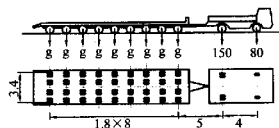


图2 荷载形式示意图(单位:m)

#### 3.1 主桁架剪力的计算

在对建立的有限元模型施加荷载求解时,若把两端的支座都设置为刚性约束,那么在最大剪力工况时,桥端剪力分配很不均匀,内排的桁架很大,而外面两排很小。如果是这样的话,那么在荷载不是很大的时候它就会因剪力过大而破坏,而在实际通车过程中这种情况没有发生过,这说明模型与实际情况有偏差。

实际上,在设置桥座的时候,在桥座与地面之间垫了木块等软质非线性材料使桥座将所受到的力均匀地传递到地面上,同时桁架所受到的剪力在这些非线性材料的自动调整下,最终达到比较均匀。如果把最内排桁架的支座相对最外排设置一个很小的非线性沉降,最外排桁架没有沉降,中间桁架的沉降值取按它们的距离线性插值所得的值,这样会使各排桁架的剪力分配趋向均匀。表2所示的是33m的桥在相同的荷载工况下设置沉降值前后桥端各排桁架的剪力值对比情况。从中可以看出,在这个值很小、桥座的倾角也很小的时候,各排桁架的剪力分配就会趋向均匀。本文利用这个有限元模型计算时,都根据这一假设对每种工况的支座设置一个适当的沉降值使每个桥座所在的三排桁架剪力分配比较均匀。

表2 设置沉降值前后桥端剪力的对比

活载吨位(kN)	内排桁架沉降(cm)	倾斜角度(°)	左端各排桁架的剪力(kN)					
			1	2	3	4	5	6
1100	0	0	110.8	93.8	387.6	389.7	95.5	112
	0.7	0.573	190.5	206.8	194.8	196.8	208.5	191.8
1300	0	0	121.7	101.7	446.3	448.7	103.6	123.1
	0.8	0.655	212.8	230.9	226	228.3	232.8	214.3

通过进一步研究可以发现,即使对相对沉降值进行较为粗略的调整,桥端最大偏心侧三排桁架的剪力分配还不很均匀,但它们的和基本上是不变的;而通过对相对沉降值进行细微的调整,总能使三排桁架的剪力分配很均匀,所以在求最大剪力时,可以只做粗略的调整,将三排桁架剪力的平均值作为最大剪力值就可以。但是在求桥面系各构件的最大应力时,三排桁架的剪力分配均匀与否对它们有一定的影响,所以这个调整不能太粗略。实践证明,调整到表2所示的均匀程度就达到要求。

#### 3.2 主桁架弯矩的计算

在利用建立的有限元模型计算跨中最大弯矩时,ANSYS不能直接输出这个值,但可以通过求跨中截面上弦杆的轴力对桁架中心的力矩以及其本身对跨中截面的弯矩的和的方法求得,这样求出的各排桁架的弯矩总和与利用影响线算得的结果很接近。

表3所示的是跨度为27m的桥在荷载吨位为1000kN时,用有限元法求出的各排桁架的跨中最大弯矩和挠度值。从表3可以看出,用有限元法算出的结果是偏心侧内排桁架的沉降最大,跨中弯矩也最大,最不利,这与实际情况是相符的。

表3 有限元法计算出的跨中最大弯矩和挠度值

桁架	偏心侧			另一侧		
	外排	中间排	内排	中间排	外排	内排
弯矩(kN·m)	1038.9	1067.9	1097.5	1024.4	984.5	945
挠度(cm)	9.52	9.71	10.06	9.56	9.11	8.86

#### 4 有限元法与简化算法的对比分析

以跨度为27 m的桥, P取1000 kN为例来对简化算法和有限元法的计算结果进行对比分析。表4列出了用两种方法分别求出的主桁架的最大剪力、弯矩, 横梁、桥板、纵梁的最大弯曲应力, 纵梁的最大剪应力值以及它们的容许值。从表4中可以看出, 两种方法求出的值除横梁的最大弯曲应力外均比较接近。

表4 两种方法分别求出的各承载力控制量的值对比

承载力控制量	桁架最大剪力(kN)	桁架最大弯矩(kN·m)	横梁最大弯曲应力(MPa)	桥板最大弯曲应力(MPa)	纵梁最大弯曲应力(MPa)	纵梁最大剪应力(MPa)
简化算法值	173.7	1096.2	139.89	5.45	82.51	46.91
ANSYS值	171.7	1097.5	161	5.66	82.33	47.7
容许值	245.2	1687.5	297	14.5	273	208

横梁应力差别较大的主要原因是: 在用简化算法来计算时, 其计算假定是把横梁看作简支梁, 计算跨度取的是4.2 m, 也就是内排桁架的间距, 将单轴作用在最大偏心位置时的最大应力作为最大应力; 而用有限元法, 横梁的两边都是放在三排桁架上的, 若也将其简化成简支梁模型, 则应取活载处在最大偏心位置时两边的桁架对横梁作用力的合力位置的间距L作为计算跨度(见图3), 由于各排桁架对横梁都有作用力, 所以合力位置应处在三排桁架之间, 从而合力位置的间距也即计算跨度将大于4.2 m, 而计算跨度越大, 最大应力的值就越大, 并且其大小对最大应力的影响程度也较大, 所以两种方法算出的最大应力差别较大。

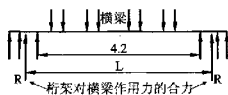


图3 横梁计算跨度示意图(单位:m)

桥板、纵梁的最大弯曲应力以及纵梁的最大剪应力用ANSYS来计算时, 它们达到最大值时的工况与简化算法的假定基本上是一致的, 从而它们计算出来的值比较接近。另外, 从表4中还可以看出, 求出的这三个量与它们的容许值都还相差较大, 也就是说一般情况下这三个量都能够满足要求, 因此

在进行承载力分析时, 可以不再考虑这三个量。

#### 5 承载力的有限元分析

为了清楚地说明问题, 将跨度为18~30 m的桥由主桁架的剪力、弯矩和横梁应力分别控制的承载力的值在图5上表示出来。

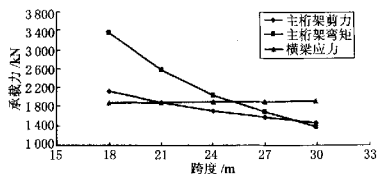


图4 主桁架的剪力、弯矩和横梁应力分别控制的承载力随跨度的变化趋势线

从图4中可以清楚地看出, 由主桁架的剪力和弯矩控制的承载力随跨度的增大而大幅度下降, 其中弯矩下降的速度比剪力度。由横梁弯曲应力控制的承载力随跨度的增加有很小幅度的增长, 而按照简化算法是不变的。产生这一差别的原因是: 简化算法是横梁看作是孤立的简支梁用固定的计算跨度来计算的, 所以由横梁弯曲应力控制的承载力值与桥的跨度是没有关系的; 而用有限元法, 横梁不是孤立的, 它是桥这个整体的一部分, 跨度发生变化也就是整体的结构形式发生变化将对横梁的相当计算跨度产生一定的影响, 所以不同跨度的桥计算出的横梁最大应力会略有差别, 但差值很小, 仍可以认为基本上是不变。

多取一些跨度值进行分析可以发现, 这三个量控制的承载力随跨度的变化仍然符合这一规律, 从而三条变化趋势线只在18 m~30 m的跨度之间有交点。因此, 可以得出下列结论:

(1) 对跨度在18 m以下的桥, 其承载力是由横梁应力控制的;

(2) 对跨度在21 m~27 m的桥, 其承载力是由主桁架的剪力控制的;

(3) 对跨度在30 m以上的桥, 其承载力是由主桁架的弯矩控制的;

(4) 从总体上说, 对跨度在18 m以下的桥, 其承载力基本不变, 而对跨度在21 m以上的桥, 其承载力随跨度的增加而逐渐下降。

#### 6 结束语

本文分析了在军用桥梁的设计计算中所采用的

# 微型混凝土沉管灌注桩复合地基设计探讨

张伟明

(南通市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏南通 226006)

**摘要:**微型混凝土沉管灌注桩复合地基是上世纪80年代提出并应用于局部地基处理的一种方法,具有施工方便、噪声小、污染小、成本较低等优点,应用范围较广,但其理论计算一直落后于工程实践,制约了其发展,鉴于根据CFG桩的计算方法,总结出该复合地基的计算公式,并在工程实践中予以验证。

**关键词:**地基处理;微型混凝土沉管灌注桩;复合地基;设计计算;南通市

**中图分类号:**TU472 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)01-0051-03

## 1 概述

微型混凝土沉管灌注桩是指桩径不大于250mm(通常为220mm),桩长不大于6m的素混凝土刚性、半刚性短桩。

微型混凝土沉管灌注桩复合地基是上世纪80年代提出并应用于建(构)筑物地基局部处理的一种方法,后经专题试验及工程实践已在南通地区被广泛采用。到目前为止,在南通地区已有多项水利工程、码头工程、公路桥梁工程、以及200多幢住宅楼和办公写字楼工程采用这种处理方法,据长期观察和走访使用者,反馈结果是满意的。

## 2 作用机理

复合地基(composite foundation)是以桩土共同作用为基本条件的一种地基处理方式,即部分土体被增强或被置换形成增强体,由增强体和周围地

基土共同承担荷载的地基。微型混凝土沉管灌注桩是指在软弱地基中,通过振动沉管的方式在地基中灌入混凝土桩体,从而形成复合地基的一种方式。该方法通过振动沉管方式使土体受到振动、挤密、排水作用,使上部土的强度得到较大提高。同时,在复合地基工作时,因桩体具有一定的刚性,故能将上部荷载中的部分荷载传至下部,又由于桩的侧摩阻力,将部分荷载分散到各土层中,由于微型混凝土沉管灌注桩桩距较小,一般仅为700mm~1200mm之间,故形成较为密集的桩群,部分应力能重叠,形成群桩效应,整个加固区类似加深了的块体基础,提高了加固区土体的承载能力,并降低其压缩量,从而达到加固地基的目的。

## 3 计算原理

微型混凝土沉管灌注桩这种加固地基方式与《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)的用振动沉管法施工的水泥粉煤灰碎石桩法(CFG桩)类似,故在设计时,可参考采用CFG桩的复合地基估算公式进行估算,并根据微型混凝土沉管灌注桩的特性

收稿日期:2005-09-06

作者简介:张伟明(1967-),男,江苏南通人,工程师,岩土工程勘察所所长,从事岩土工程勘察设计工作。

简化算法的不足,运用目前应用广泛的通用有限元分析软件ANSYS,对装配式公路钢桥的承载能力进行了分析。分析结果表明:在计算主桁架的剪力和弯矩时,虽然偏心受压法的计算假定与实际情况不相符,但是其计算结果与有限元法的结果比较接近,而运用偏心受压法利用影响线进行计算比有限元法要方便,因此在实际应用中,仍可采用偏心受压法来计算主桁架的剪力和弯矩;用有限元法分析出的装配式公路钢桥针对图2所示荷载形式的承载力随跨度的变化规律较为合理,对实际应用具有一定的指导意义。

## 参考文献

- [1]黄绍金,刘陌生.装配式公路钢桥多用途使用手册[M].北京:人民交通出版社,2002.3.
- [2]苟明康,陶刚.装配式公路钢桥设计和使用的几个问题[J].兵工装备研究,2001.1.
- [3]中国人民解放军总参谋部兵部.军用桥梁(设计分册)[M].北京:解放军出版社,2001.2.
- [4]王国强.实用工程数值模拟技术及其在ANSYS上的实践[M].西安:西北工业大学出版社,1999.