

# 大跨度钢桁架桥梁的结构设计研究

陈文斌 伊拉古玛

内蒙古自治区水利水电勘测设计院 内蒙古 010020

**[摘要]** 本文主要以某桥梁工程为例, 针对其大跨度钢桁架结构设计展开研究, 主要论述钢桁架的有限元分析、模态分析过程, 最后提出对应设计方法。采用文中分析方法, 能够得到合理的钢桁架有限元模型, 并对模型进行动力学分析, 明确结构设计标准, 再根据设计方法完成钢桁架结构设计, 可以给桥梁工程提供质量保障。

**[关键词]** 桥梁工程; 大跨度钢桁架; 结构设计

**【DOI】** 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.09.400

## 引言

随着城市交通的发展, 国内城市之间以及城市内部出现了大量的桥梁工程, 这一类工程规模庞大, 因此容易受到现实因素的一些限制, 导致工程跨度变大, 且基本的结构形式不满足大跨度施工要求。这一背景下人们提出了大跨度钢桁架结构, 该结构逐渐成了现代桥梁工程的主流结构, 基本满足任何情况下桥梁工程实施, 因此钢桁架结构的质量必须得到保障, 钢桁架设计作为质量保障的开端应当得到重视, 故有必要对钢桁架结构设计展开相关研究。

### 1. 工程概况

某桥梁工程主要采用下承式大跨度钢桁架结构, 整体包括桥面、主桁架、连接结构、支座五个主要组成部分, 其中桥面铺装厚度为30cm, 材料是钢筋混凝土连续板, 连续板上有4.5cm左右的防水层以及5cm的沥青混凝土层。根据计划, 工程将在整体的桥面板上安设16根现浇钢横梁, 上部结构将采用强度等级为C45的混凝土、荷载等级为HRB45钢筋制成, 其中构造筋为HRB400。该桥梁工程的桥面结构还有钢纵梁, 故桥面结构有钢横梁、纵梁组成, 符合跨度传力的一般标准, 即大跨度钢桁架的桥面受力后, 荷载会通过一组横梁、纵梁向下传递, 达到传力节点后将分布于钢桁架的杆件中。工程的16根横梁全部采用工型钢焊接而成, 尺寸均为 $2800 \times 60 \pm 1\text{cm}$ , 借助这些横梁能够让桥梁荷载承受能力大幅提升, 满足大跨度桥梁承载力要求, 同时在设计中还准备采用混凝土、钢架共同受力的模式, 并且将使用螺栓剪力件来提高共同受力能力。

### 2. 工程钢桁架有限元与模态分析

#### 2.1 有限元分析

有限元分析是桥梁工程钢桁架结构设计的第一步, 目的是建构对应的有限元模型, 即借助有限元建模软件对钢桁架受力情况进行分析, 并依照结构样式等完成建模<sup>[1]</sup>。该桥梁工程在钢桁架结构设计的有限元模型分析中, 主要将钢桁架平面结构、立面结构视作建模方向, 分别采用了不同方法进行建模: 第一, 针对平面结构主要采用结构程序计算方法展开, 通过计算得到两跨对称的横向布置参数, 着眼于最不利荷载分布, 再对桁架受力进行分析, 确认桁架是否能够最不利荷载, 并促使其极限承载力水平, 若发现问题就进行调整即可, 最后完成建模; 第二, 针对立面结构主要采用空间模型

分析方法, 将上弦、下弦结构分开, 着眼于腹杆、斜腹杆受力情况, 从有限元理论角度出发分析得到立面横向、纵向的单元信息, 依照上部结构的桥面荷载、桥面铺装、人行道、防撞墩台永久荷载、可变荷载分布, 进行折减系数计算, 结果将转换到每个单元中, 通过这种设计方法可以得到有限元的平面、立面模型, 若模型所得到的钢桁架受力结构符合标准结构, 同时受力能力达标, 那么模型合格, 反之就要进一步作调整。

值得注意的是, 在有限元分析中一定要重视桥梁承重结构、部件, 诸如横梁, 分析中可以将其视作一种钢、混凝土结合体, 首先对其进行一期荷载分析, 判断一期荷载中所有外部荷载是否有钢桁架成袋, 其次进行二期荷载分析, 确认其是否由纵梁、混凝土共同承担。在这个过程中需要确认钢桁架整体的力学分布, 并且在这之后进行应力验算、挠度验算、抗压验算、抗拉验算、抗弯验算、系统整体稳定性的验算等, 这样才能保障分析结果完整。除此以外, 该桥梁工程为了保障结构问题使用了刚强度的螺栓剪力件, 若其他工程也使用了这种连接件, 那么在有限元分析中就必须对其容许力进行验算, 该工程也验算了这一点, 一方面是为了了解螺栓剪力件整体受力是否合理, 另一方面可以确认螺栓剪力件的数量。

#### 2.2 模态分析

为了了解钢桁架的动态受力情况, 需要对其进行模态分析, 该工程中展开的模态分析主要有谐响应分析、瞬态分析、反应谱分析等<sup>[2]</sup>。总体上该工程主要通过各种模态分析来了解钢桁架的振动情况, 即了解桁架振动时的固有频率、振型, 根据这些参数能够对钢桁架动态荷载情况的好坏作出判断。该工程中通过模态分析了解到, 钢桁架一阶振型是反对称竖弯为主, 频率为1.3191Hz, 属于低频率, 自振周期为0.7581s, 具有自振周期长、固有频率低的特点, 但其反对称竖弯振型出现的很早, 说明钢桁架容易受竖向地震反应影响, 影响力度较大, 因此在之后的设计中要强化这点, 保障结构合理。

### 3. 工程钢桁架结构设计方法

#### 3.1 结构设计

结合有限元分析、模态分析结果, 可以正式开始进行工程钢桁架设计工作, 该工程中主要采用的设计方法为: 因为

工程本身的跨度较大,如果大量使用混凝土会导致工程自重增大,加剧受力、地震等方面的影响,所以该工程为了提高抗震性,尽可能减少了混凝土的使用,并且采用了剪力结构来安设钢桁架。借助钢桁架桥梁自重减轻、抗震性能提升,该工程中通过这种方式将自身抗震等级从三级提高到了二级,局部甚至达到了一级水平。值得注意的是,该工程中的钢桁架结构设计方法只是众多方法之一,除此以外还有其他方法,诸如针对结构体内配筋进行计算,根据结果采用弹性模板进行有限元、模态分析,过程中要充分考虑大跨度跃桥面板、桥梁箱室的振动情况,若存在不利情况即可加大腹板厚度、提高腹板配筋率等方式来优化钢桁架结构,这种方法主要作用是保障结构水平荷载有效传递,该方法虽然未能在该工程中使用,但在其他同类工程中很常见,故具有良好应用价值。

无论选择何种设计方法,设计当中都应当遵从三大要点:第一,因为大跨度桥梁的跨径较大,会导致结构自重增加,所以无法使用混凝土等材料进行设计,必须使用钢桁架,目的是减轻结构自重,同时钢桁架还能有效提高桥梁的刚度,有助于结构抗震性能提升,而要充分发挥这些作用,设计时就应当注重规范,通常情况下建议按照抗震二级标准进行设计,即非大跨度桥梁的钢桁架设计一般是按照抗震三级标准进行的,但该标准并不适用于大跨度桥梁,这是设计中需要注意的要点。同时,考虑到不同地区的地震常发等级的差异,若结构所在地区地震常发等级较高,那么有必要按照抗震一级标准进行钢桁架设计;第二,在大跨度桥梁钢桁架设计当中,设计人员必须记住相关软件进行受力建模,并根据模型对受力情况进行二维、三维模拟,最终依照模拟情况完成设计,应当杜绝主观设计思想。模拟过程中,要重点观察桥梁中一些关键结构的受力情况,以杆件为例,应当了解杆件受力后的位移情况、受力分配情况,并且进行内力分析,这是得出合理桥梁模型的关键举措;第三,任何桥梁钢桁架设计当中,都应当借助相关软件对桥梁主跨部分的结构进行模拟分析,大跨度桥梁也不例外,目的是了解主跨结构的抗震性能、风力荷载情况,过程中应当充分考虑实际情况中可能存在的手里面不均匀、楼板不连续等因素,通过参数模拟方式判断桥梁钢桁架在不利因素影响下的表现,如果发现问题要及时调整,诸如在承载力薄弱的结构当中安设增强型杆件。

### 3.2 抗震设计

大跨度桥梁必须具有良好的抗震性,因此需要结合实际抗震要求进行抗震设计,该项设计在目前主要秉持两种思路展开,分别是隔震与减震,两种思路下得出了一些抗震设计方法,具体为:第一,可以通过延长桥梁受地震扰动后的自振周期来提高其抗震性能,该方法来源于隔震思路,即隔震思路的主要内涵就是将地震视作一种发生在桥梁下部、基部部位的地面运动,通过设计将这种地面运动的扰动力与桥梁

上部结构隔开,这样就能起到一定的抗震作用,至少可以让桥梁在地震扰动下坚持更久,便于人们撤离。而延长桥梁自振周期的方法能让桥梁规避地震能量集中范围,使得下部振动能量无法有效向上传递,就起到了隔震的作用。通常情况下,该方法主要是依靠隔震装置来实现的,即将该装置安装在桥梁上下结构之间,借助装置的相对变形原理进行隔震;第二,可以通过增大桥梁结构阻尼的方式来提高桥梁抗震性能,该方法来源于减震思路,即减震思路就是通过各种设计或装置来削弱地震能量,结合桥梁本身自带的抗震能力,将地震能量消化,该方法就是在这样的思路下提出的。增大桥梁结构注意,主要依靠减震还能装置来实现,其消耗地震能量的原理与隔震装置相似,均是通过相对变形的方式来达成目的,但具体变形方式不同,因此功能上也有不同,主要作用机制为:通过相对变形增加桥梁结构阻尼,这样在地震发生之后桥梁下部结构能尽可能的保持在弹性范围以内,由此起到抗震作用。需要注意的是,增大结构阻尼的方法一般与延长自振周期方法一起使用,原因在于两者均有自身的缺陷,诸如前者的抗震能力相对较弱,而后者抗震能力相对较强,但后者在地震影响下依然有可能导致桥梁结构发生位移,使得桥梁无法继续投入后续使用,前者能够弥补后者的这一缺陷,故两者相结合将形成完善的抗震体系。除以上两种方法以外,还有一些设计人员会使用分散惯性力的方式来增强桥梁抗震性能,其来源于减震思路,即地震发生后会产生地震波,地震波会导致桥梁结构发生一定程度上的晃动,破坏其原本的静态受力关系,而晃动一旦产生,桥梁接下来的运动就会产生惯性,此时即使地震停止,桥梁依然会在一段时间内进行晃动,有可能造成不可预估的后果,而分散惯性力就是桥梁惯性作用下晃动进行控制,一般是通过阻尼器来实施的,其能够在很大程度上限制桥梁在地震作用下的晃动幅度与频率,并且将惯性力分散给桥梁整体,避免晃动达到不可逆转的地步。

### 4. 结语

综上,大跨度钢桁架桥梁结构设计关系到桥梁工程的整体质量,间接关系到桥梁使用寿命、安全等,因此大跨度钢桁架桥梁结构设计的质量必须达标。为了做到这一点,设计人员应当在设计中做好有限元分析、模态分析工作,并且针对现实问题,采用对应的方法完成设计,期间要做好调整工作,确保设计成果合理。

### 参考文献

- [1] 陈克坚,李永乐,李龙,等.大跨度铁路钢桁架斜拉桥刚度设计及取值研究[J].铁道工程学报,2014,31(003):66-71.
- [2] 梁茂然,邢乔山,齐铁东.大跨度钢桁架拱桥关键设计参数研究[J].公路交通科技(应用技术版),2016,000(005):P.260-262.