

# 既有桥梁的静动力分析与鉴定评估

李日臣<sup>1,2</sup> 王根会<sup>1</sup>

(1. 兰州交通大学土木工程学院, 甘肃兰州 730070; 2. 西安理工大学水利水电学院, 陕西西安 710048)

**摘 要:**既有桥梁的健康状况日益受到人们的关注,其承载能力评定是桥梁安全性研究的重要内容之一。兰州市西沙黄河大桥受周围环境和车辆超载的影响,桥梁的工作条件日益恶化,如梁体混凝土老化、裂缝开展、钢材锈蚀等。为此,通过静动力的理论分析和现场测试,根据相关规范对桥梁的一些主要指标进行了评估,为桥梁的养护和维修提供了必要的理论依据。

**关键词:**既有桥梁;静力分析;动力分析;承载力评定

**中图分类号:**U446 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)01-0032-03

## 0 前言

在一定的运营年限后,由于周围环境的影响,既有桥梁的工作条件会有所恶化,包括梁体混凝土的老化、裂缝的开展、钢筋的锈蚀等因素,除此之外,桥梁的超载量也超过以前。因此,对既有桥梁的技术鉴定是一项具有现实意义和长远意义的任务和课题。

## 1 工程概况

兰州市西沙黄河大桥位于兰州市西固区,是连接西固区和安宁区的一座重要桥梁,也是西固区通往中川机场的主要通道。该桥始建于1971年,1974年建成通车。全桥由13跨简支梁组成,其中桥两端分别为5跨钢筋混凝土简支梁,中间3跨为钢桁架梁。桥梁全长320 m(5×22.16 m+3×32.56 m+5×22.16 m),总宽10.0 m,其中车行道宽7 m,两侧各设1.5 m宽的人行道。每跨钢筋混凝土简支梁由7片预制T梁组成,混凝土强度为300号,梁高127 cm,腹板厚18 cm,翼缘板宽139 m,厚8~12 cm,每片重约22 t。中间3跨采用山西大同铁路分局拆下的鱼腹式下承式钢桁架梁(旧梁),每跨由4片钢桁架组成,4片钢桁架之间用型钢进行横向连接。每片鱼腹式上承式钢桁架梁全长32.30 m,高3.54 m,重约60 t。下部结构为重力式墩台沉井基础,墩身为250号混凝土。

根据“兰州市西沙黄河大桥设计资料”,该桥钢筋混凝土简支梁设计荷载为汽车-18,验算荷载为拖-80。由于西沙黄河大桥在修建时没有采取抗震

措施,1983年对大桥进行了抗震加固。由于该桥设计标准较低,加上当时国家建筑材料极为匮乏,钢材和水泥奇缺,许多材料和主要受力构件都是废物利用,同时该桥又属于战备桥梁,工期要求较紧,边设计边施工,没有进行严格的设计审查,因此该桥在建造时就留下了极大的安全隐患。经过多年的运营,该桥结构老化、破损现象日趋严重,桥面上各个梁连接处已经断裂,伸缩缝破坏,路面出现明显的凹凸不平,车辆通过颠簸严重,对桥梁产生很大的冲击作用,桥上震感明显。混凝土梁部分出现较多的结构性裂缝,每片梁跨中截面裂缝已延伸到梁顶翼缘板部分。钢桁架梁锈蚀非常严重,整个梁体锈迹斑斑,大部分构件锈痕已穿过防锈底漆,深入到钢材内部,联结板和铆钉的锈蚀也非常严重,从外观看,钢桁架梁已处于非常危险的状态。近年来,随着兰州市基础建设的发展和南滨河路的西延以及机场高速公路的修建,该桥车流密度和车辆载重不断增加,所有这些病害使该桥的承载能力降低,严重影响过往车辆以及行人的安全通行。因此对该桥进行理论计算分析,了解该桥梁结构的静、动力特性,通过现场测试,掌握其承载能力及安全通行能力,并根据有关规范对桥梁的一些主要指标进行了评估,为桥梁的养护和维修提供必要的理论依据和技术数据。

## 2 理论计算分析

根据西沙黄河大桥的实际构造,采用有限元法对该桥进行了理论计算分析。钢筋混凝土T梁各个构件离散后用空间梁单元来模拟,钢桁架梁各受力构件离散后用空间杆单元来模拟。结构的动力特性根据上述两种有限元模型,用子空间迭代法进行计算。分别计算了试验车队作用下,各种工况中结

收稿日期:2005-03-01

作者简介:李日臣(1969-),男,山西朔州人,副教授,从事桥梁工程的教学与科研工作。

构的内力、应力、变形以及自振频率、振型等动力参数,以便与实测结果进行对比,据此对桥梁上部结构的整体工作性能进行鉴定。

## 2.1 结构计算模型的建立

### 2.1.1 钢筋混凝土简支 T 梁结构计算模型

理论计算时,首先按照该桥设计时的理想受力状况,建立了钢筋混凝土简支 T 梁的计算模型。在此模型中,各个支座均为理想铰支座,梁在面内可以自由转动。为了能够真实反映桥梁结构的受力状态和模拟每片梁的实际受力情况,理论计算时采用空间格子梁计算模型,将横隔板离散为横梁,主梁和横梁作为杆系相连,桥面板的整体作用简化分隔作为主横梁的翼板,以便较准确地反映整孔梁的空间受力状况。计算程序采用 SAP 结构静、动力有限元分析软件。每跨钢筋混凝土简支梁结构离散后共划分为 289 个结点,312 个单元,自由度总数为 1699 个(见图 1)。



图1 钢筋混凝土 T 梁结构计算模型

为了能够较准确地反映结构的实际受力情况,根据结构的具体构造,在计算模型中做了如下假定:

(1) 以空间格子梁单元模拟各片钢筋混凝土简支梁及横向联结。

(2) 支座一端为固定铰支座,另一端为活动铰支座。

(3) 栏杆、人行道板和桥面铺装层在计算结构的动力特性时仅考虑质量的影响。

开裂后截面按下列原则计算开裂截面应力:

(1) 开裂截面裂缝穿过的位置不计混凝土的拉应力。

(2) 开裂截面任何位置的混凝土均可承受压应力。

(3) 开裂截面仅由钢筋承受拉力。

### 2.1.2 钢桁架梁结构计算模型

钢桁架梁在横向由 4 片钢桁架梁组成,中间用型钢横向连接而成。为了真实反映桥梁结构的受力状态,采用空间有限元模型对其进行了计算,为了能准确地反映结构的实际受力情况,根据结构的具体构造,在计算模型中作了如下假定:

(1) 以空间杆单元模拟钢桁架梁各个受力构件。

(2) 支座一端为固定铰支座,另一端为活动铰支座。

(3) 栏杆、人行道板和桥面铺装层在计算结构的动力特性时仅考虑质量的影响。

结构离散后共划分为 175 个结点,551 个单元,自由度总数 1030 个(见图 2)。

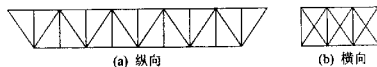


图2 钢桁架梁结构计算模型

## 2.2 理论计算结果

西沙黄河大桥位移、应力和动力特性理论计算结果如表 1~表 5。

表5 各梁跨第一阶自振频率实测值和理论计算值

梁跨	横向自振频率(Hz)		竖向自振频率(Hz)	
	理论值	实测值	理论值	实测值
钢筋混凝土简支梁	9.90	9.17	4.69	4.06
钢桁架简支梁	5.47	5.86	3.66	5.28

## 3 上部结构工作性能评定

根据表 1~表 5 理论计算值与实测值的对比,可以得出以下结论:

(1) 由钢筋混凝土主梁的位移校验系数可以看出:边梁的位移校验系数均小于 1.0,在其正常范围(0.55~0.65)之内,而中梁的位移校验系数均大于 1.0,说明各片梁之间的横向联结较差,荷载横向分布不均匀,结构的整体性差,承载能力下降,竖向刚度不足,造成以上结果的直接原因是由于桥梁长期超载运行导致各主要的横向联结已破坏,安全储备不够。

(2) 钢桁架简支梁在试验荷载作用下,有近一半测点的位移校验系数小于 1.0,超出其正常范围(0.75~0.90),说明钢桁架各部分联结减弱,受力构件表面的锈蚀,引起其有效截面削弱,使得结构的整体性差,竖向刚度降低,承载能力下降。

(3) 钢桁架简支梁的应力校验系数较离散,个别值大于 1.0。导致该结果的原因是由于钢桁架梁锈蚀严重,钢筋混凝土梁横向联结减弱,荷载作用时,各个构件受力不均,传力不明确。

(4) 钢筋混凝土简支梁和钢桁架简支梁第一阶自振频率的实测值皆普遍小于理论计算值,说明上部结构横向和竖向的动力刚度不足。导致该结果的原因主要为:对于钢筋混凝土梁,其横向联结较差,各片梁跨中截面结构性裂缝较大,影响了结构的整体刚度;对于钢桁架梁,钢板和铆钉锈蚀严重,削弱了各

表1 钢筋混凝土简支梁 L/2 截面各个测点的竖向位移值

加载 工况	理论值 (mm)	测点1 实测值 (mm)	位移校 验系数	理论值 (mm)	测点2 实测值 (mm)	位移校 验系数	理论值 (mm)	测点3 实测值 (mm)	位移校 验系数
双车对称	-9.92	-4.9	0.49	-9.8	-10.8	1.10	-9.4	-4.6	0.43
双车偏载	-7.62	-3.6	0.47	-9.80	-10.3	1.05	-11.71	-5.8	0.50
单车对称	-6.44	-3.6	0.56	-6.30	-7.2	1.14	-6.10	-3.0	0.50
单车偏载	-4.96	-2.4	0.48	-6.3	6.4	1.02	-7.59	-4.0	0.53

注:测点1和测点3分别为上游和下游边梁跨中测点,测点2为中梁跨中测点。

表2 简支钢桁架梁跨中截面各个测点的竖向位移值

加载 工况	理论值 (mm)	测点1 实测值 (mm)	校验 系数	理论值 (mm)	测点2 实测值 (mm)	校验 系数	理论值 (mm)	测点3 实测值 (mm)	校验 系数	理论值 (mm)	测点4 实测值 (mm)	校验 系数
双车对称	-4.98	-4.56	0.91	-5.10	-4.15	0.82	-5.03	-4.33	0.86	-4.77	-5.4	1.13
双车偏载	-6.13	-6.96	1.14	-5.73	-5.76	0.92	-5.00	-3.84	0.77	-4.08	-4.68	1.15
单车对称	-3.56	-3.00	0.98	-3.57	-3.12	0.88	-3.53	-3.12	0.89	-3.43	-3.48	1.02
单车偏载	-4.43	-4.56	1.03	-3.46	-3.85	1.12	-2.16	-2.40	1.12	-1.14	-1.32	1.15

表3 钢筋混凝土简支梁跨中截面 T 梁上缘混凝土压应力值

梁号	理论值 (MPa)	双车对称 实测值 (MPa)	校验 系数	理论值 (MPa)	双车偏载 实测值 (MPa)	校验 系数	理论值 (MPa)	单车对称 实测值 (MPa)	校验 系数	理论值 (MPa)	单车偏载 实测值 (MPa)	校验 系数
1#梁	-1.84	-0.99	0.54	-2.31	-1.55	0.67	-0.98	-0.24	0.24	-1.21	-0.24	0.20
2#梁	-1.87	-1.03	0.55	-2.18	-1.46	0.67	-0.94	0.76	0.81	-1.09	-0.87	0.80
3#梁	-1.95	-1.17	0.60	-2.09	-1.17	0.56	-0.93	-0.24	0.26	-1.00	-0.93	0.93
4#梁	-1.94	-3.27	0.69	-1.94	-5.46	2.81	-0.91	-0.54	0.59	-0.91	-1.68	1.85
5#梁	-1.97	-1.89	0.96	-1.81	-0.39	0.22	-0.94	-0.27	0.29	-0.87	2.52	0.83
6#梁	-1.93	-0.66	0.34	-1.64	-0.96	0.59	-0.97	-0.45	0.46	-0.83	-1.62	1.95
7#梁	-1.94	-0.66	0.34	-1.48	-1.56	1.05	-1.04	-1.17	1.13	-0.81	-0.91	1.12

表4 简支钢桁架梁跨中截面各杆件应力值

加载 工况	理论值 (mm)	上弦杆 实测值 (mm)	位移校 验系数	理论值 (mm)	下弦杆 实测值 (mm)	位移校 验系数	理论值 (mm)	竖杆 实测值 (mm)	位移校 验系数
双车对称	-11.14	-7.10	0.64	10.62	3.89	0.37	-11.79	-3.68	0.31
双车偏载	-12.39	-6.51	0.53	12.24	7.35	0.60	-12.25	-10.19	0.83
单车对称	-6.03	-8.61	1.43	5.36	2.63	0.49	-5.89	-8.61	1.46
单车偏载	-7.80	-6.48	0.83	8.12	7.64	0.94	-6.62	-7.4	1.12

个构件的联结和有效截面,降低了结构的整体刚度。

结构的横向联结较差。

(5)车辆以设计时速(40 km/h)过桥时,钢筋混凝土简支梁的动位移曲线的实测最大竖向振幅值为7.24 mm,大于梁式桥标准振幅(3~5 mm)。说明钢筋混凝土梁的竖向刚度严重不足,车辆过桥时结构振动较大,行车和行人有不安全感。

(6)混凝土结构的应力测试受外界因素干扰很大,如环境温度和相对湿度的变化都能对其产生很大的影响,同时,应力实测值只能反映混凝土表面的应力情况,因此,从桥梁结构鉴定的观点来看,其可靠度要低于位移测试结果。

(7)对称试验荷载作用下,钢筋混凝土梁上、下游对称位置的应力实测值并不对称,说明整个桥梁

#### 4 结论

根据理论计算分析和测试结果,可以得出以下安全性鉴定结果:西沙黄河大桥的静力刚度和动力刚度均不能满足通过汽车-20级荷载的要求;钢筋混凝土梁主梁和横隔板的结构性裂缝较多,属病害结构;钢桁架梁各个构件和联结板锈蚀极其严重,在车辆荷载作用下易产生破坏性裂缝和造成疲劳破坏,钢桁架梁属于危险结构。因此,建议对钢筋混凝土梁进行加固,以增加其静、动力刚度和承载力;建议对锈蚀严重的钢桁架梁用预应力混凝土梁进行更换。