

钢筋混凝土组合梁桥上部构造

承载能力的评定方法 *

娄有原 (研究员)

(交通部公路科学研究所 北京 100088)

提要 本文在掌握了钢筋混凝土组合梁桥的非线性性能的基础上,研究制订了该类桥梁承载能力的评定方法,可供实践试用。

关键词 钢筋混凝土 组合梁桥 非线性分析 承载能力 评定

Study of Evaluation Method of Bearing Capacity on RC Composite Beam Bridge Superstructure

Lou Youyuan (research fellow)

(Research Institute of Highway, the Ministry of Communications, Beijing, 100088)

Abstract The evaluation method of bearing capacity of RC composite beam bridge based on non-linear properties of the RC composite beam bridge is presented in this paper. This method can be put into practice.

Key words Reinforced concrete composite beam bridge Non-linear analysis
Bearing capacity Evaluation

60年代以来,在我国的公路、城建、水利等部门修建了较多的中小跨径钢筋混凝土组合梁桥,其中主要是微弯板工字梁,另外还有微弯板与拱或箱肋组合的桥梁、肋腋板与梁或拱组合的桥梁。近年来,由于汽车运输量和轴重的加大,这些组合桥梁的其中一部分的挠度偏大,出现了不同程度的开裂和其他病害。人们沿用规范,认为超出规定就影响了正常使用,故颇为忧虑。但许多现有桥梁实际上在超设计荷载下运行,通过试验亦证明其仍有潜力,因此有必要提出一个比较符合实际的评定方法和标准。交通部把“钢筋混凝土组合梁桥非线性分析与承载能力研究”列为“七五”科研项目,由交通部公路科学研究所承担并完成了研究,于

* 本文是“钢筋混凝土组合梁桥非线性分析与承载能力研究”课题的应用文件。该课题由交通部公路科学研究所主持,东南大学、长沙交通学院等单位协作完成。本所参加该课题研究的还有:王于晨、魏洪昌、郑晓华、刘晶、杨元海。

1992年4月通过了部级技术鉴定。

本评定方法是在研究钢筋混凝土组合梁桥的非线性性能的基础上制订的,用以确定该类旧桥的使用限度或加固、改造的原则,使其在我国的交通运输中继续发挥作用。

1 适用范围

本评定方法主要用于运营中的钢筋混凝土微弯板工字梁组合梁桥的上部构造。其它的组合梁桥也可以参照本方法评定。对于有缺陷和病害的组合梁桥,评定其是否满足原设计的荷载标准;对于运营状态良好或满意的组合梁桥,评定其可能容许的超载量或可以相应提高的设计荷载等级。

组合梁桥下部构造评定方法及标准可参见有关规范及资料。

2 评定方法

评定方法有:①桥梁检查和病害、缺陷分析;②上部构造主要尺寸评价;③静、动载试验;④承载能力计算和非线性分析。

静、动载试验是获取桥梁性能的直接方法,但由于费力费时费钱,且影响交通,宜在其他三种方法难以判定或另有必要时采用。

非线性分析是一种新的方法,与按规范计算的承载能力结合应用后,能定量计算承载潜力。但此项分析有一定的技术难度,尚需积累经验和资料来充实提高。该方法仍然留有一定的安全度,建议在有条件处推广使用。

上述①、③、④项评定方法的承载能力评定标准,参照“公路桥梁使用功能评定方法研究”^[4]的科研成果,可分成表1所示的5级。

组合梁桥承载力评定标准

表1

级 别	状 态	缺 损 评 定 标 准	非 线 性 评 定 标 准 ^[5]
1	良 好	有轻微缺损,对桥梁使用功能无影响,只需进行一般养护。	可用荷载大于结构抗力20%以上。
2	满 意	轻度缺损,对桥梁使用功能影响不大,需继续观察或小修。	可用荷载大于结构抗力10~20%。
3	可接受	中等缺损,尚能维持正常使用,但缺损会发展恶化,需中修。	可用荷载与结构抗力接近。
4	坏	较大缺损,不能保证正常使用,需要大修。	可用荷载低于结构抗力(需限载使用)。
5	危 险	缺损严重,发展恶化较快,严重影响桥梁使用功能,需立即大修或改建,否则应限制或停止交通。	可用荷载低于结构抗力20%以上,无法保证桥梁正常使用。

对第3~5级的组合梁桥,需要进行必要的维修和加固,并需结合具体情况拟定维修和加固方案。

组合梁桥的承载能力在评定时,应适当地放宽规范所定规的标准,对于表1中1~2级桥梁,如需利用其承载潜力以提高荷载标准时,可允许适当减小规范所定的安全系数。

2.1 桥梁检查和病害、缺陷分析

2.1.1 桥梁调查

桥梁调查可分两个方面:

一是向设计和施工部门收集设计、施工、竣工文件,包括设计图纸、设计修改、施工修改、施工方案、质量检验、材料试验及竣工图纸等,力求资料齐全。

二是向养护和管理部门了解桥梁运营后的历史,包括交通量的变化、重载车辆的通过、现有的交通情况,以及桥梁的养护、维修和加固情况,还要了解桥梁已有的缺陷及其发展的历程。

2.1.2 桥梁的一般检查

① 桥梁的总体及细部尺寸的复核:

对照竣工图,对桥梁总长、总宽、上部构造高度、主梁尺寸等进行丈量和测量,若无竣工图,应注意其与施工图的差异。

② 桥面系的检查:

主要是检查全桥各孔的桥面标高及实际纵、横坡和桥面平整度;对桥面铺装应检查有无开裂、混凝土面层有无磨耗、沥青面层有无老化;检查伸缩缝和泄水孔功能。

③ 主要承重构件检查:

主要检查预制的主梁、桥面板、横隔板(梁)和结合面的状况。

对预制的主梁,如发现恒载挠度明显过大,应量测恒载挠度。重点检查梁腹跨中及附近的垂直裂缝,记录其部位、走向、长度、宽度、间距、向上延伸的高度(有无穿过结合面而延伸到桥面板)、向下有无在梁底穿透。应检查支座附近的斜向裂缝,主要记录其宽度和分布部位、有无延伸到结合面,并判明裂缝的性质(主拉应力引起的还是支座不起作用时梁的变形引起的)。检查支座的状况。检查混凝土的外观:有无剥落、水渍、露筋。

对预制桥面板(主要是微弯板),应重点检查微弯板跨中是否有纵向裂缝;记录其宽度、长度(有无在桥长方向全跨度纵向通裂);有无横向裂缝和斜裂缝;预制桥面板安装时的坐浆是否饱满。

如设有横隔板(梁),应检查其跨中是否有裂缝,其与主梁的连接有无损坏、锈蚀。

组合梁桥的真正结合面是隐蔽在混凝土内的,外观检查能看到的结合面,实际上是预制桥面板和预制主梁间的砂浆接缝,如安装时砂浆饱满,则连接密贴无缝,但在使用过程中因各种原因而裂开,形成纵向缝。应检查该纵向缝的宽度和长度(是否在桥长方向全跨度纵向通裂)。

④ 主梁和微弯板的质量检查评定标准:

一般检查后,应对主梁和微弯板的质量进行评定,评定标准见表2。对车行道、人行道、栏杆或护栏、伸缩缝、排水设施、支座等也应分别评定分级,以便汇总后按表1进行总评。本评定方法对这些部分不予列出评定标准。

2.1.3 桥梁的特殊检查

① 特殊检查的项目:

特殊检查可根据所拥有的无损检测仪器和设备而定。应在一般检查的基础上选择较重要的结构部位或具有典型病害的部位抽样进行特殊检查。

② 钢筋现状的检查:

使用GBY-1或Proceq 3型钢筋及保护层测定仪,根据电磁探测法来检查。可检查混凝土

内钢筋的分布, 估测钢筋直径, 探查混凝土保护层的厚度。对组合梁桥的上部构造, 主要应检查主梁跨中部位下缘主筋的直径、根数、底面和侧面的保护层厚度及微弯板中心区钢筋的直径、钢筋网的平均间距和保护层厚。

主梁和微弯板的评定标准 表 2

级 别	主 梁	微 弯 板
1	跨中部位有少量垂直裂缝, 缝宽小于 0.15mm, 间距大于 50cm, 高度未到梁高的 2/3, 混凝土外观质量较佳。	跨中无纵缝; 或有纵缝, 但长度是间断的, 缝宽小于 0.2mm。
2	跨中及两侧 L/4 内的裂缝间距为 30 ~ 50cm, 缝宽小于 0.2mm, 个别裂缝延伸到梁顶, 混凝土局部剥落和露筋, 其总面积在腹板面积中所占比例小于 3%, 结合面纵缝长度小于跨长的 20%。	跨中纵缝沿长度基本贯通, 缝宽小于 0.5mm
3	跨中及两侧 L/4 内的垂直裂缝宽小于 0.3mm, 间距为 20cm 左右, 支座附近有少量斜缝, 混凝土上剥落露筋的总面积在腹板面积中所占比例小于 10%, 结合面纵缝长度小于跨长的 40%。	跨中通长纵缝, 缝宽 1mm 左右, 有少量横缝
4	跨中附近垂直裂缝密布, 间距约 10cm, 裂缝宽小于 0.5mm, 大部分裂缝延伸到梁顶且在梁底穿透, 混凝土剥落, 露筋总面积在 10% 以上, 钢筋有锈蚀且出现顺主筋方向纵缝, 结合面纵缝通长	跨中通长纵缝, 缝宽 1 ~ 2mm, 横缝明显增多
5	主梁跨中明显下挠, 恒载挠度大于 L/500, 最大裂缝超过 1mm 且已上下贯通, 主筋锈蚀断裂。	除纵、横缝外, 还有多处出现斜缝。

③ 混凝土强度

使用 Pundit 超声仪和 Proceq 回弹仪检测, 根据回弹 - 超声综合法来测得混凝土的抗压强度。

④ 钢筋锈蚀状况

一是对已发现露筋的混凝土, 测试其钢筋与混凝土间存在的开路半电池电位, 根据电位的水平来判明钢筋的锈蚀状况; 二是测量混凝土的电阻率, 电阻率高, 表明导电性差, 钢筋的可能锈蚀速率就低, 反之则高; 三是测量混凝土的碳化深度并将其与钢筋保护层比较, 如碳化深度小于保护层厚度, 则表明钢筋能受到较好的碱性保护; 四是混凝土中氯化物的测定, 如还未达到临界值, 则就不足以诱发钢筋锈蚀。

2.2 病害与缺陷的分析

2.2.1 裂缝

• 主梁腹板跨中部位的垂直裂缝是最早出现的, 也是对承载能力最有影响的一种裂缝。由于组合梁桥在自重及恒载作用下, 梁下缘的拉应变超前, 所以该裂缝比整体梁出现得早, 但由于梁上半部有压应力储备而延伸得慢。此类裂缝宽度的限值可放宽到 0.3mm, 且允许少量裂缝延伸至板下梁顶。

支座附近的主梁跨端纵向裂缝, 可能因弯起钢筋设置不当, 致使主拉应力过大而引起; 也可能因支座损坏, 致使梁在温度变化时的变形受到限制而引起。若为后者, 则裂缝靠近梁端, 不一定成 45° 方向, 且又宽又深。这种裂缝对主梁的承载力影响不大, 但因同样原因引起的台帽拉裂, 严重时可能导致落梁, 所以应及时更换支座并修补裂缝和加固台帽。

主梁顶部与微弯板交界的结合面, 有时因安装时砂浆不饱满本来就是脱开的, 有时安装

时密贴无缝,但在使用过程中还是裂开了,形成纵向缝。这种纵向缝的成因是多种的,例如砂浆的收缩、砂浆强度低、竖向有拉应力等,不能认为凡是结合面开裂都是抗弯强度差。

一般认为,微弯板跨中常见的纵向裂缝是薄膜力得到发挥的一种表现,只要裂缝不过宽,板的承载力是足够的。此类裂缝的缝宽限值可放宽到1mm,且不必加固,或必要时可用环氧砂浆进行修补。但如在微弯板中心区除纵缝外还发现横缝,则表示其承载力有所降低,如再有斜向裂缝,则承载力进一步降低并已进入危险阶段,必须予以补强和加固。

2.2.2 挠度

组合梁桥在自重及恒载下的初期挠度虽比整体梁的大,但多次荷载试验的结果表明,在设计荷载下产生的挠度仍小于规范对整体梁规定的允许值,而且是可恢复的。如发现主梁在使用中明显下挠,且不易恢复,则是承载力下降的标志,此时必然伴有大量不闭合的裂缝出现,削弱了结构的整体刚度。

2.2.3 其他缺陷

组合梁桥其他较易出现的缺陷有:桥面开裂、凹凸不平;伸缩缝损坏;泄水管堵塞导致渗水、漏水;支座不起作用等。这些缺陷虽不直接影响承载力,但会间接造成主梁和微弯板的损坏,一旦发现应及时安排维修。

2.3 上部构造主要尺寸的评价

2.3.1 评价的意义

通过研究可知,组合梁桥具有两阶段受力的特点,在整体化前恒载所占恒、活载的比例越大,受拉主筋的应力超前就越明显,这个特点和上部构造的尺寸及组合过程有直接关系。此外,组合梁桥有无横隔板(梁)和桥面板的跨度即主梁的间距,对全桥的横向分布有较大的影响,这也和上部构造尺寸有关。

2.3.2 各种尺寸的评价

① 跨径

原交通部科学研究院1966.1编的“少筋微弯板与工型梁组合的装配式钢筋混凝土上部构造”图纸,净跨径有7.5m、10m、12.5m、15m等。据计算,恒载占总荷载的比例为0.27~0.43,因此,受拉钢筋的应力超前程度随跨径增大而增大,承载潜力也就随跨径增大而降低。由此看来,跨径超过15m的钢筋混凝土组合梁桥,其性能是较差的。原拟15m以上跨径采用预应力的设计图纸,受“文革”的影响未及提出,现有的不少跨径大于15m的钢筋混凝土组合梁,都是建设单位自行设计的,这些桥梁的承载潜力不会太大,评定其承载能力应特别慎重。

② 梁高比

以预制主梁的高度 h 与组合单梁的全截面高度 h_1 之比(h_1/h)为指标。在上述图纸中,对不同跨径的微弯板采用了统一的型号,所以随着跨径增大,为增大上部构造的结构抗力,就必须增大预制主梁的高度 h_1 ,使 h_1/h 增大。上述图纸中各跨径的 h_1/h 分别为0.625、0.667、0.700、0.727。 h_1/h 越大,受拉钢筋的应力超前程度也越大。然而 h_1/h 太小,也就意味着恒载占总荷载的比例较大,也是不利的,可见 h_1/h 一般以在0.6~0.75为宜。

③ 桥面混凝土厚度

在跨径不变时,增加桥面厚度可减小 h_1/h ,但增大了恒载占总荷载的比例,使预制梁主筋的负担加重,因此增加桥面厚度虽可提高总梁高进而提高梁的承载力,但又会增大梁内的

主筋拉应变。故如增加桥面厚度, 仍宜使 h_1/h 保持在 $0.6 \sim 0.7$ 之间。

④ 横隔板 (梁)

试验桥的实测挠度横向分布结果表明, 无横隔板的组合梁桥在荷载作用下, 中、边梁发生不同程度开裂后, 其横向分布与假定各梁具有相同的整体刚度时是有所改变的。非线性分析表明, 对同一座桥, 设或不设横隔板 (梁), 横向分布是大不相同的。增设横隔板 (梁) 可使原桥承载力提高。由此可见, 为改善组合梁桥的性能, 可以考虑加设有效的横隔板 (梁)。采用肋腋板作桥面板的组合梁桥 (必须设横隔) 的性能比微弯板组合梁桥的好。

⑤ 桥面板跨度 (主梁间距)

早先使用的微弯板跨度为 1.3m , 后来在微弯板推广应用, 其跨度逐渐加大到 3m 。微弯板跨度增大后, 减少了主梁片数, 但加大了主梁的活载横向分布系数。但若加大桥面板跨度, 又设横隔板 (梁), 横向分布系数的增大就不那么显著。

2.4 静、动载试验

2.4.1 试验的意义

对组合梁桥进行静、动载试验, 可有助于检验非线性分析的程序, 从而积累资料, 使程序的性能得到补充、完善, 以利于大规模地评定组合梁桥。

2.4.2 加载

① 加载量

可根据被评定桥梁的承载能力初步估算来决定静载加载量。对初评承载力标准为 $1 \sim 2$ 级的, 加载量可以设计荷载为基础, 为了判断所能提高的荷载等级, 可逐步施加到超载, 但应视量测的应变、挠度、开裂的增长情况来决定超载的量级和限度; 对初评承载力标准为 $3 \sim 4$ 级的, 分别以 0.8 和 0.6 倍设计荷载开始加载, 视量测结果决定能否加至设计荷载, 如不能, 则给出该桥的限载值。对初评承载力标准为 5 级的, 宜于维修和加固后再作加载试验。

动载加载量一般为静载加载量的 $1/2$, 但载重单车重应至少为 20t 。

② 加载方式

由于现有桥梁一般都在运营, 为了少影响交通, 加载方式以载重单车或车列为主。

③ 加载部位

对简支的组合梁桥, 以检测正截面抗弯强度为主, 因此加载部位在桥纵向以 $L/2$ 、 $L/4$ 产生最大弯矩为主, 在桥横向, 应作对称及偏载两种加载的比较, 以取得对中梁及边梁较大的横向分布值。

在有条件时, 最好在全桥各主梁, 用同一级荷载、同样的加载方式逐次加载, 以利于直接分析横向分布。

2.4.3 测试项目

主要为挠度、应变和裂缝。测试截面为 $L/2$ 及两侧 $3L/8$ 和 $L/4$ 等处。

2.4.4 测试结果的整理

对挠度和应变, 按各载位和荷载等级, 分别整理成表, 便于与分析计算对照。

对裂缝, 应对试验孔的各梁梁腹 (以横向分布值最大的梁为重点), 事先沿跨长方向划分区域, 标出试验前已有的裂缝。在试验中再逐次标出陆续出现的裂缝位置、走向、长度和典型裂缝的宽度。并应挑选若干条典型的受力裂缝予以编号, 在试验时追踪观测其宽度的发展, 记录成表。

2.4.5 根据测试结果进行分析计算

① 主梁抗弯惯矩 可以根据测试得到的挠度和应变情况,考虑或按开裂的钢筋混凝土构件计算或按不开裂的全截面(换算截面)计算;对桥面混凝土层,可考虑按共同承载或不计桥面层共同承载的方式计算,以较能符合实测值的计算模式为准。

② 横向分布系数 对无横隔的组合梁桥,可采用弹性支承连续梁法、简化的弹性支承连续梁法、刚结板法和比拟板法等计算横向分布;对有横隔的组合梁桥,因横向分布 无横隔的均匀,可选取以上四种方法中横向分布影响线峰值较小的一种方法计算。如桥梁因加宽而紧挨其侧边另建新桥,还应根据实测结果而考虑新旧桥共同承载的作用。总之,选定的横向分布算法,至少应在若干个载位和若干级荷载下,计算出的横向分布规律与实测的规律基本一致。

以上的计算是以各梁刚度假定相等为前提的,故最大只能计算到设计荷载。大于设计荷载后,由于各梁相继开裂且开裂程度不等,横向分布的计算目前尚未积累足够的资料,故可采用非线性有限元分析,直接计算全桥。

③ 内力、挠度、应变计算方法 简支梁在设计荷载下可按结构力学和材料力学的弹性工作阶段计算。有条件时应尽量采用非线性分析法,用编制的程序计算。

测试值的评定指标:

根据选定的与实测值较为接近的主梁抗弯惯矩和横向分布系数,对该桥的承载力已有所了解。以下的评定指标是针对1级(良好)状态的,如指标超过,则应根据超过的程度而定级。

① 挠度 设计荷载(汽车荷载,不计冲击力)下,具有最大横向分布系数的主梁跨中挠度应不超过 $L/600$, L 为桥梁的计算跨径。

② 钢筋应变 设计荷载(同上)下,具有最大横向分布系数的主梁跨中下缘钢筋应变不超过该级钢筋屈服应变的40%~50%。

③ 混凝土应变 设计荷载(同上)下,具有最大横向分布系数的主梁跨中梁顶的混凝土纵向应变,不超过设计混凝土标号的圆柱体强度(0.83R)所对应的应变的15%~20%。

④ 裂缝 设计荷载(同上)下,具有最大横向分布系数的主梁跨中附近腹板上的垂直受力裂缝,其宽度不超过0.3mm;附近微弯板中区的纵缝,其宽度的增大不超过0.3mm。

⑤ 动载测值指标 因积累的实测资料不够,暂缺。

2.5 承载能力计算和非线性分析

2.5.1 非线性分析的意义

① 可计算荷载-挠度或应变的全过程曲线,并与按规范计算的设计荷载效应和结构抗力比较后,直观地判明承载能力,定量地计算出可容许的承载力。

② 既考虑了结合面的特性,又考虑了组合梁桥的两阶段受力特点,比按规范假定为整体梁计算更符合实际。

③ 可以直接计算全桥的上部构造(包括横隔板或横隔梁),避免了因开裂而引起各梁刚度不同时的横向分布计算问题。

2.5.2 非线性分析承载力的步骤

① 根据设计荷载标准,按规范计算出设计荷载效应(包括冲击系数、横向分布系数和荷载系数);

② 根据施工设计图(或竣工图)所示的结构尺寸和材料的设计强度,按规范要求计算出结构抗力(包括安全系数);

③ 根据调查及试验,确定符合实桥材料强度的材料非线性本构关系,并按实际的上部构造尺寸和材料性能进行组合梁桥的非线性计算(最好是全桥计算,如为单梁计算则横向分布最好根据试验得出),得出荷载全过程曲线。

④ 分析荷载全过程曲线,划分出可用荷载和屈服荷载。这二级荷载的特征及定量标志见参考文献〔5〕。

⑤ 将可用荷载和设计荷载的荷载效应、结构抗力进行比较,如可用荷载大于结构抗力,则表明该桥具有承载潜力,大于20%以上时,根据承载力评定标准定为1级;大于10%~20%时为2级;相接近时为3级;小于时为4级。小于20%以上时为5级,无法保证桥梁正常使用。

⑥ 根据被评定桥梁的具体情况,决定是否利用其潜力及利用的程度,利用程度的最大限为自结构抗力提高到可用荷载。

旧桥评定示例,见参考文献〔6〕。

参考文献

- (1)交通部交通科学研究院等,无横隔梁的少筋微弯板组合梁桥试验研究报告,1965,12。
- (2)交通部交通科学研究院等,无横隔梁的少筋微弯板组合梁桥设计须知,1965,12。
- (3)交通部公路科学研究所等,少筋混凝土肋腹板的研究,1984,6。
- (4)交通部公路科学研究所等,公路桥梁定期检查及评定细则,1991,12。
- (5)交通部公路科学研究所等,钢筋混凝土组合梁桥非线性分析与承载能力的研究总报告,1992,4。
- (6)交通部公路科学研究所等,钢筋混凝土组合梁桥上部构造承载能力的评定方法,1992,4。



建设工程无损检测学术委员会成立

为进一步推动建设工程无损检测技术的发展,提高我国整体无损检测技术水平,经中国土木工程学会混凝土及预应力混凝土学会批准,于1992年10月17日在安徽省屯溪市成立了“建设工程无损检测学术委员会”。常设机构挂靠于中国建筑科学研究院结构所。学术交流会两年一次,无损检测简讯为季刊。

在此期间(10月16日至22日)召开了全国第四次无损检测学术交流会。编辑出版了“建设工程无损检测论文集”,论文集汇集了建设、交通、冶金、铁路、水电等系统的科研设计、施工及高校等近年研究的最新成果和实践经验。内容包括:仪器设备研制及应用成果;已建和在建工程上、下部结构及基础的测强和测缺(疏松、孔洞、裂缝、锈蚀等);结构质量评定;无损检测有关标准介绍和探讨;国内外无损检测技术动态等。

如需此论文集,可与中国建筑科学研究院结构所吴新璇或张仁瑜联系。

邢耀霞 供稿