

公路旧桥检测评定与加固技术丛书

公路旧桥 检算分析指南 及工程实例

张劲泉 徐 岳 叶见曙 张建仁 任红伟 等编著

Gonglu
Jiuqiao Jiance
Pingding yu
Jiagu Jishu
Congshu



人民交通出版社
China Communications Press

公路旧桥检测评定与加固技术丛书

Gonglu Jiuqiao Jiansuan Fenxi Zhinan ji Gongcheng Shili

公路旧桥检算分析指南 及工程实例

张劲泉 徐 岳 叶见曙 张建仁 任红伟 等编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为《公路旧桥检测评定与加固技术丛书》之一,分为两篇。第一篇主要介绍了公路和铁路行业在旧桥承载能力分析方面的经验和习惯做法,并阐述了钢结构、混凝土梁板结构、拱桥、斜拉桥、悬索桥、桥面系结构、桥梁墩台与基础的检算要点和方法;第二篇列举了相应的工程检算实例。

本书可供从事桥梁维修加固技术人员学习借鉴,亦可作为大专院校本科生和研究生学习旧桥检测评定与加固理论和技术的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

公路旧桥检算分析指南及工程实例/张劲泉等编著.
北京:人民交通出版社,2007.7
ISBN 978-7-114-06451-7

I.公... II.张... III.公路桥-检定-研究 IV.
U448.146.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第034938号

书 名: 公路旧桥检测评定与加固技术丛书
公路旧桥检算分析指南及工程实例
著 者: 张劲泉 徐 岳 叶见曙 张建仁 任红伟 等
责任编辑: 沈鸿雁 岑 瑜
出版发行: 人民交通出版社
地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010)85285838, 85285995
总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 25.25
字 数: 629 千
版 次: 2007年7月 第1版
印 次: 2007年7月 第1次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-06451-7
印 数: 0001-3000册
定 价: 54.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书,由本社负责调换)

公路旧桥检测评定与加固技术丛书

《公路旧桥检算分析指南及工程实例》

编审委员会

主 编：张劲泉 徐 岳 叶见曙 张建仁 任红伟

参 编：苏纪开 谢来发 沈仁忠 邱 波 郭留红

朱建平 李 明 郑晓华 王来永 程寿山

陈万春 钱培舒 李传习 胡钊芳 于天才

王泳道 高建明 温胜强 韩忠奎 徐玉春

李 健 廖 军 张小江

主 审：魏洪昌 李万恒 王国亮 马 晔

前 言

本书系根据交通部西部交通建设科技项目(项目编号:2001 318 223 58):“公路旧桥检测评定与加固技术研究及推广应用”的研究成果报告编写而成。全书分两篇,第一篇主要针对我国公路常见桥梁,在分析研究大量实桥荷载试验资料的基础上,通过剖析研究旧桥实际承载性能和受力特征,总结分析公路和铁路行业在旧桥承载能力检算分析方面的经验和习惯做法,以指南形式分桥型系统阐述了钢结构、混凝土梁板结构、拱桥、斜拉桥、悬索桥、桥面系结构、桥梁墩台与基础的检算要点和检算方法;第二篇列举了相应的实体工程检算实例。本书旨在补充、完善“公路旧桥承载能力鉴定方法”(1989年交通部部颁标准,试行)有关旧桥检算方面的相关内容,为公路旧桥承载能力鉴定工作提供系统实用的技术指引,以期对从事桥梁承载力鉴定工作的技术人员有所裨益。

本书由项目承担单位交通部公路科学研究院和项目参加单位长安大学、东南大学、长沙理工大学的课题负责人张劲泉、徐岳、叶见曙、张建仁、任红伟牵头编写。第一篇的第1章、第7章及第二篇对应的工程实例由长沙理工大学张建仁、李传习、杨美良、刘小燕、夏桂云、陈历强、张克波、钟惠萍编写;第一篇的第2章、第4章、第5章及第二篇对应的工程实例由长安大学徐岳、魏炜、张敬珍、郝宪武编写;第一篇的第3章、第6章及第二篇对应的工程实例由东南大学叶见曙、钱培舒、张娟秀、姚伟发编写。全书由交通部公路科学研究院张劲泉负责组织并统稿,由魏洪昌、任红伟、王国亮、马晔主审。

在本书的编写过程中,得到了西部交通科技项目“公路旧桥检测评定与加固技术研究及推广应用”项目承担单位和参加单位的大力支持与帮助,人民交通出版社的领导和编辑们为本书的出版付出了辛勤的劳动,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写者学识水平有限,书中不当或错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2006年12月于北京

目 录

第一篇 公路旧桥检算分析

1 钢结构的检算	3
1.1 一般规定	3
1.2 结构检算的一般内容	4
1.3 检算荷载的确定	5
1.4 受弯构件的检算	7
1.5 轴心受力构件和拉弯、压弯构件的检算	13
1.6 疲劳检算	17
1.7 钢结构的连接检算	18
1.8 温度应力和钢箱梁分析	32
2 混凝土梁式结构的检算	39
2.1 一般规定	39
2.2 检算荷载的确定	39
2.3 结构检算的一般内容	41
2.4 结构内力计算	44
2.5 承载力检算	61
2.6 支座计算	76
2.7 专门分析	79
3 旧拱桥结构检算分析	91
3.1 检算的一般内容	91
3.2 旧拱桥常见病害及结构分析模型的考虑	91
3.3 主拱结构检算的控制截面	101
3.4 主拱结构荷载横向分布系数	101
3.5 考虑拱上建筑联合作用的计算	117
3.6 主拱的连拱计算	126
3.7 考虑主拱圈开裂引起的结构内力重分布的分析方法	129
3.8 主拱次内力计算	132
4 斜拉桥结构的检算	136
4.1 一般规定	136
4.2 检算荷载的确定	136
4.3 检算内容	137
4.4 结构内力计算	137
4.5 局部应力分析	150
5 悬索桥结构的检算	154

5.1	一般规定	154
5.2	检算荷载的确定	154
5.3	结构检算内容	155
5.4	结构平面分析	156
5.5	结构空间分析	162
5.6	动力特性分析	163
5.7	结构截面强度检算	165
5.8	局部应力分析	168
6	桥面系结构的检算	169
6.1	行车道板的检算	169
6.2	拱上建筑结构的检算	204
7	墩台与基础的检算	207
7.1	一般规定	207
7.2	检算荷载的确定	210
7.3	检算内容	220
7.4	天然地基上的浅基础的检算	222
7.5	刚性扩大基础的检算	226
7.6	桩基础的检算	227
7.7	沉井的计算与验算	242
7.8	天然地基上重力式桥墩检算	244
7.9	柱式桥墩的检算	247
7.10	轻型桥墩的检算	249
7.11	空心薄壁墩的检算	251
7.12	U形重力式桥台的检算	253
7.13	轻型桥台的检算	254
7.14	框架式桥台的检算	258
7.15	地基承载能力的检算	259

第二篇 工程实例

一、钢筋混凝土、预应力混凝土梁桥

实例 1	钢筋混凝土梁承载力检算	267
实例 2	预应力混凝土梁承载力检算	268
实例 3	正常使用荷载下梁桥刚度的检算	269
实例 4	锚固区局部承压检算	270
实例 5	支座检算	271

二、混凝土及圬工拱桥

实例 6	拱桥荷载横向分布系数的计算	273
6.1	桥梁设计参数及状况	273

6.2	结构计算	274
实例7	空间有限元计算拱桥荷载横向分布	275
7.1	桥梁设计参数及状况	275
7.2	结构计算	276
实例8	双曲拱内力计算	277
8.1	桥梁设计参数及状况	277
8.2	结构计算	278
实例9	多孔拱桥的连拱计算	279
9.1	桥梁设计参数及状况	279
9.2	结构计算	280
实例10	考虑主拱圈开裂及拱轴线形变化引起的结构内力重分布计算	281
10.1	桥梁设计参数及状况	281
10.2	结构计算	282

三、索结构桥梁

实例11	××公路斜拉桥结构检算	285
11.1	桥梁设计参数	285
11.2	现状检测	286
11.3	原有桥梁结构的内力检算	288
11.4	换索计算	291
实例12	××公路悬索桥结构检算	301
12.1	设计资料及现状	301
12.2	内力计算	303

四、钢结构桥梁

实例13	型钢梁检算	322
实例14	组合梁的检算	323
实例15	轴心受压实腹柱的检算	325
实例16	缀板式轴心受压格构柱的检算	326
实例17	缀条式轴心受压格构柱的检算	328
实例18	实腹式压弯构件的检算	329
实例19	格构式压弯构件的检算	331
实例20	普通螺栓连接检算	333
实例21	高强螺栓连接检算	334

五、桥面系结构检算

实例22	内力及悬臂根部强度验算	336
22.1	恒载内力(以纵向1m宽的板条进行计算)	336
22.2	活载内力	337
22.3	内力组合	338

22.4	悬臂根部强度验算	338
22.5	悬臂根部最大裂缝宽度 δ_{fmax} 验算	339
实例 23	加刚性支承及支承释放的计算	339
23.1	加刚性支承的计算	340
23.2	支承释放的计算	340

六、桥梁下部结构检算

实例 24	沉井基础检算	344
24.1	设计条件	344
24.2	沉井下沉所需的重力计算	345
24.3	底节沉井竖向挠曲计算	347
24.4	刃脚计算	348
24.5	井壁水平方向作用的计算	354
24.6	井壁垂直方向作用的计算	355
实例 25	天然地基上重力式桥墩计算	355
25.1	设计资料	355
25.2	拟定桥墩尺寸	355
25.3	荷载计算	356
25.4	地震荷载计算	359
25.5	内力汇总及组合	363
25.6	正截面强度计算	365
25.7	基底应力验算	366
25.8	抗倾覆稳定性验算	367
实例 26	墙式框架埋置式桥台计算	367
26.1	设计资料	367
26.2	桥台一般构造尺寸的拟定	368
26.3	台帽计算	368
26.4	台墙计算(1片台墙)	375
26.5	背墙计算	389
26.6	耳墙计算	390
参考文献		392

第一篇

公路旧桥检算分析

1 钢结构的检算

1.1 一般规定

(1)除疲劳检算外,钢结构检算宜采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,用分项系数的设计表达式进行检算。

(2)各种承重结构均按承载能力极限状态和正常使用极限状态的原则进行检算。

①承载能力极限状态包括:构件和连接的强度破坏、疲劳破坏和因过度变形而不适于继续承载,结构或构件丧失稳定,结构转变为机动体系和结构倾覆。

②正常使用极限状态包括:影响结构、构件和非结构构件正常使用或外观的变形,影响正常使用的振动,影响正常使用或耐久性能的局部损坏。

(3)钢结构检算时,应根据结构破坏可能产生的后果,采用不同的安全等级,见表 1-1-1。

公路桥涵安全等级

表 1-1-1

安全等级	桥涵类型	安全等级	桥涵类型
一级	特大桥、重要大桥	三级	小桥、涵洞
二级	大桥、中桥、重要小桥		

(4)结构或构件按承载能力极限状态检算时,一般应考虑荷载效应的基本组合,必要时尚应考虑荷载效应的偶然组合。

(5)钢结构构件按正常使用极限状态验算时,仅考虑荷载效应的标准组合,对钢与混凝土组合梁,尚应考虑准永久组合。

(6)检算结构或构件的强度、稳定性以及连接的强度时,应采用荷载设计值(荷载标准值乘以荷载分项系数);计算疲劳时,应采用荷载标准值。

(7)对于直接承受动力荷载的结构,在检算强度和稳定性时,动力荷载设计值应乘动力系数;计算疲劳和变形时,动力荷载标准值不乘动力系数。

(8)钢结构桥梁主要依据《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《公路桥涵钢结构与木结构设计规范》(JTJ 025—86)等进行,对公铁两用的钢结构桥梁,应依据铁道部颁布的《铁路桥梁钢结构设计规范》(TB 10002.2—99)进行检算。

(9)桥梁结构的检算,主要依据原设计资料(包括变更设计)或竣工资料进行,对缺失资料的桥梁,可根据桥梁检测结果,参考同年代类似桥梁的设计资料或标准定型图进行检算。

(10)对桥梁结构,着重进行结构主要控制截面、结构薄弱部位的检算。除结构裂缝发展严重、刚度显著降低的旧桥外,一般可不必检算桥梁的刚度。多孔桥中结构相同、跨径相等的孔,应选择最不利与损坏较严重的孔进行检测与检算。

(11)检算时应以实际调查的结构各部尺寸及材料强度为依据,若实际调查值与设计值相差不大时,仍可按设计值进行检算。有严重问题的构件,应根据检查资料进行强度折减。

(12)结构检算时,应参照设计采用的计算模型进行建模,当边界条件发生改变或受力体系出现转换时,应根据桥梁实际状况重新建立检算模型。

(13)对某些空间受力特征较为明显的桥,对某一复杂受力构件,或对结构局部强度进行检算分析时,可考虑采用空间有限元程序进行结构检算。

(14)对于钢材种类不明的桥梁,需在结构有代表性的构件上截取试件进行强度试验,其基本容许应力 $[\sigma]$ 按屈服点的0.7倍取用。

1.2 结构检算的一般内容

(1)对于板梁结构,主要检算下列各项:

①检算跨度中点、腹板接头处、盖板叠接处(叠接盖板第一行铆钉或螺栓截面处)、翼板接头处,以及连续梁支点强度。

②检算支点中性轴及支点上下翼板锚距、栓距或焊缝强度。

③检算受压翼板、支点加劲立柱及腹板的稳定性。

④桥面系梁除按上述各项检算外,尚应进行纵梁与横梁、横梁与立柱的连接检算,以及纵梁与主梁间的横梁区段在最弱截面处的剪应力检算。

(2)对于钢桁梁结构,主要检算下列各项:

①杆件截面的强度与稳定性。

②连接及接头的强度。

③承受反复应力杆件的疲劳强度。

④连接系的强度与稳定性。

(3)检算钢桁梁结构时,还应考虑偏心连接及杆件损伤的影响:

①在节点处如杆件重心线不交于一点而产生偏心,当偏心不大于杆件高度的5%时,应检算因偏心而产生的附加应力,此时容许应力可提高15%。

②受压杆件的初弯曲矢度超过1/500时,应检算弯曲影响,此时受压杆件的有效面积 A_0 可按下式检算:

$$A_0 = A'_0 \left(1 + \frac{f_1 A'_0}{W'_0} \right) \quad (1-1-1)$$

式中: A'_0 ——杆件弯曲处的净截面积;

W'_0 ——杆件弯曲处的净截面积抵抗矩;

f_1 ——杆件的初弯曲矢度。

③在检算杆件的有效面积时,应考虑杆件的穿孔、缺口、裂缝及锈蚀对截面的削弱,并应计入偏心影响。此时有效面积应采用削弱截面处毛截面面积进行检算, A'_0 及 W'_0 分别为削弱处的净截面面积及净截面抵抗矩。

④由两个或两个以上分肢组成的杆件,其中一肢弯曲矢度大于1/2毛截面的回转半径时,杆件的有效面积只计不弯曲的分肢面积。

⑤杆件的边缘或翼板角钢伸出肢弯曲或压凹,其弯曲矢度超过杆件受伤部分回转半径时,在检算中应予考虑,此时有效面积只计不弯曲部分。

(4)对于钢拱结构,主要检算下列各项:

①由挠度引起的弯矩增大。

②腹板长细比。

③翼缘的稳定性。

1.3 检算荷载的确定

(1) 检算荷载一般应按《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—85)的规定取用。对近期有承重要求的桥梁,可按交通部颁布的《公路工程技术标准》(JTJ 001—97)的荷载等级进行检算。

(2) 进行钢结构检算时,按表 1-1-2 所示的使用条件、荷载与系数分类及组合,求得结构或构件的荷载效应。

荷载选用时采用的系数

表 1-1-2

结构或构件所处状态 设计极限状态	间接承受动力荷载和承受静力荷载的结构或构件	直接承受动力荷载的结构或构件	直接承受动力荷载的结构或构件进行疲劳验算时
按承载能力极限状态(结构或构件的强度和稳定性)	取荷载设计值(=荷载标准值×荷载分项系数)	取荷载设计值×动力系数(=荷载标准值×荷载分项系数×动力系数)	取荷载准永久值不乘动力系数
按正常使用极限状态(结构或构件的变形)	取荷载标准值	取荷载标准值	不进行检算

注:当检算搬运和装卸重物以及车辆启动和制动时的动力系数,可采用 1.1~1.2。其动力作用只考虑传至直接承受动荷载的板和梁。

(3) 检算时使用的荷载种类和等级一般应与原设计采用的相同。但当委托方(业主)有明确要求时,也可同时采用小于或大于原设计的荷载进行检算,且检算采用的荷载工况应与荷载检测采用的工况一致。

(4) 当桥梁需要临时通过特殊重型车辆荷载,且重车产生的荷载效应大于该桥近期要求达到的标准荷载等级的荷载效应时,可按重型车辆的载重要求直接进行检算。

(5) 对结构重力,可根据实际调查的结构重力变异情况,对原设计结构重力进行必要的调整与修正。

(6) 对基础变位影响力,应根据桥梁墩台与基础变位情况调查结果、桥梁几何形态参数测定结果,综合确定基础变位最终值,按弹性理论检算基础变位产生的超静定结构附加内力。

(7) 承载能力极限状态按荷载效应基本组合进行强度和稳定检算时,采用下列极限状态表达式:

$$\gamma_0(\gamma_c S_{GK} + \gamma_{Q1} S_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{QiK}) \leq Z_1 R \quad (1-1-2)$$

对式(1-1-2)中的 R 和 S 取为应力时,如对钢结构强度检算采用以下表达式:

$$\sigma_d \leq Z_1 f \quad (1-1-3)$$

式中: Z_1 ——公路旧桥承载能力检算系数,是通过基础位移、结构变形、构件开裂及其破坏情况的现场观察后,对结构抗力效应进行折减或提高,可按表 1-1-4 采用;

γ_0 ——结构重要性系数,对安全等级为一级、二级、三级的结构构件可分别取 1.1, 1.0, 0.9;

γ_c ——永久荷载分项系数,如表 1-1-3 所列;

γ_{Q1}, γ_{Qi} ——第一个及其他第 i 个可变荷载分项系数;

S_{GK} ——按标准值检算的永久荷载效应值；

S_{Q1K}, S_{QiK} ——按标准值检算的第一个及其他第 i 个可变荷载效应值；

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合系数，当风荷载与其他可变荷载组合时取 0.6；

R ——结构构件抗力设计值。

荷载分项系数值

表 1-1-3

荷载类别	荷载作用状况	分项系数	
		γ_G	γ_Q
永久荷载 (恒荷载)	1. 当效应对结构不利时	1.2	—
	2. 当效应对结构有利时	1.0	
可变荷载 (活荷载)	—般情况	—	1.4

钢结构桥梁的承载能力检算系数 Z_1 值

表 1-1-4

Z_1 值	结构技术状况	桥梁状况
0.95 ~ 1.05	良好状态	焊缝完好，各节点铆钉、螺栓无松动；构件表面完好，无明显损伤，防护涂层略有老化、污垢
0.90 ~ 0.95	较好状态	焊缝完好，少数节点有个别铆钉、螺栓松动变形；构件表面有少量锈迹，防护涂层油漆变色、起泡剥落，面积在 10% 以内
0.85 ~ 0.90	较差状态	少量焊缝开裂，部分节点有铆钉、螺栓松动变形；构件表面有少量锈迹，防护涂层油漆明显老化变色并伴有大量起泡剥落，面积在 10% ~ 20% 以内。个别次要构件有异常变形，行车稍感振动或摇晃
0.80 ~ 0.85	坏的状态	焊缝开裂，并造成截面削弱。连接部位铆钉、螺栓松动变形，10% ~ 30% 已损坏；构件表面锈迹严重，截面损失在 3% ~ 10% 以内，防护涂层油漆明显老化变色并普遍的起泡剥落，面积在 50% 以上。主要构件有异常变形，行车有明显振动或摇晃并伴有异常声音
0.80 以下	危险状态	焊缝开裂严重，造成截面削弱在 10% 以上。连接部位 30% 以上铆钉、螺栓已损坏；构件表面锈迹严重，截面损失在 10% 以上，材质特性明显退化；防护涂层油漆完全失效，主要构件有异常变形，行车振动或摇晃显著并伴有不正常移动

(8) 正常使用极限状态按荷载效应的标准组合验算时，采用下列表达式：

$$f_d \leq Z_1 [f] \quad (1-1-4)$$

式中： f_d ——计入活载影响修正系数 ζ_q 的短期荷载变形检算值；

$[f]$ ——结构或构件的容许变形值；

Z_1 ——承载能力检算系数，见表 1-1-4。

(9) 检算时，活载影响修正折减系数 ζ_q 的确定：

①对于频繁通行大吨位车、超重运输严重及交通量严重超限的重载交通桥梁应考虑实际运营荷载状况对结构承载能力所造成的不利影响。在进行荷载效应组合时可引入活载影响修正系数 ζ_q 适当地提高汽车检算荷载效应，以反映桥梁实际承受荷载情况。

②通过实际调查，重载交通桥梁的典型代表交通量、大吨位车辆混入率、轴荷分布，按下述方式确定其活载影响修正折减系数：

$$\zeta_q = \sqrt[3]{\zeta_{q1}\zeta_{q2}\zeta_{q3}} \quad (1-1-5)$$

式中： ζ_q ——活载影响修正折减系数；

ζ_{q1} ——对应于交通量的活载影响修正折减系数，见表 1-1-5；

ζ_{q2} ——对应于大吨位车辆混入率的活载影响修正折减系数，见表 1-1-6；

ζ_{q3} ——对应于轴荷分布的活载影响修正折减系数，见表 1-1-7。

a. 根据实际调查的典型代表交通量 Q_m 与设计交通量 Q_d 之比，按表 1-1-5 选用对应于交通量的活载影响修正折减系数 ζ_{q1} 值。

b. 根据实际调查的重力超过汽车检算荷载的大吨位车辆的交通量与实际交通量之比，即大吨位混入率 α 。按表 1-1-6 选用对应于大吨位车辆混入率的活载影响修正折减系数 ζ_{q2} 值。

c. 根据实际调查的轴荷分布，确定后轴重超过汽车检算荷载之最大轴荷所占的百分数 β ，按表 1-1-7 取用对应于轴荷分布的活载影响修正折减系数 ζ_{q3} 值。

对应于交通量的活载影响修正折减系数 ζ_{q1} 值

表 1-1-5

Q_m/Q_d	活载影响修正折减系数 ζ_{q1} 值	Q_m/Q_d	活载影响修正折减系数 ζ_{q1} 值
$1 < Q_m/Q_d \leq 1.3$	1.0 ~ 1.05	$1 < Q_m/Q_d \leq 2.0$	1.10 ~ 1.20
$1.3 < Q_m/Q_d \leq 1.7$	1.05 ~ 1.10	$2.0 < Q_m/Q_d$	1.20 ~ 1.35

对应于大吨位车辆混入率的活载影响修正折减系数 ζ_{q2} 值

表 1-1-6

α	活载影响修正折减系数 ζ_{q2} 值
$\alpha < 0.3$	1.0 ~ 1.05
$0.3 \leq \alpha < 0.5$	1.05 ~ 1.10
$0.5 \leq \alpha < 0.8$	1.10 ~ 1.20
$0.8 \leq \alpha < 1.0$	1.20 ~ 1.35
备注	活载影响修正折减系数可按大吨位车辆混入率 α 线性内插

对应于轴荷分布的活载影响修正折减系数 ζ_{q3} 值

表 1-1-7

β	活载影响修正折减系数 ζ_{q3} 值	β	活载影响修正折减系数 ζ_{q3} 值
$\beta < 5\%$	1.0	$15\% \leq \beta < 30\%$	1.30
$5\% \leq \beta < 15\%$	1.15	$\beta \geq 30\%$	1.40

1.4 受弯构件的检算

1.4.1 受弯构件的强度

(1) 在主平面内受弯的实腹构件，其抗弯强度按下列公式检算：

承受静力荷载或间接承受动力荷载：

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq Z_1 f \quad (1-1-6)$$

直接承受动力荷载：

$$\frac{M_x}{W_{nx}} + \frac{M_y}{W_{ny}} \leq Z_1 f \quad (1-1-7)$$

式中： M_x 、 M_y ——绕 x 轴和 y 轴的弯矩；

W_{nx} 、 W_{ny} ——对 x 轴和 y 轴的净截面抵抗矩；

γ_x 、 γ_y ——截面塑性发展系数，对 I 字形截面 $\gamma_x = 1.05$ 、 $\gamma_y = 1.20$ ，对箱形截面 $\gamma_x = \gamma_y = 1.05$ ；

f ——钢材设计强度取值；

Z_1 ——公路旧桥检算系数。

当受压翼缘的自由外伸宽度与厚度之比为 $13 \sqrt{\frac{235}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 15 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ 时，应取 $\gamma_x = 1.0$ 。

(2) 在主平面内受弯的实腹构件，其抗剪强度按下式检算：

$$\tau = \frac{VS}{I t_w} \leq Z_1 f_v \quad (1-1-8)$$

式中： V ——检算截面沿腹板平面作用的剪力；

S ——检算剪应力处以上毛截面对中和轴的面积矩；

I ——毛截面惯性矩；

t_w ——腹板厚度；

Z_1 ——公路旧桥检算系数；

f_v ——钢材的抗剪强度设计值。

(3) 当梁上翼缘受有沿腹板平面作用集中荷载，且该处又未设支承加劲肋时，腹板检算高度上边缘的局部压应力按下式检算：

$$\sigma_c = \frac{F}{t_w l_z} \leq Z_1 f \quad (1-1-9)$$

式中： F ——集中荷载，动力荷载应考虑动力系数；

l_z ——集中荷载在腹板检算高度上的假定分布长度，按下式计算：

$$l_z = a + 5h_y$$

a ——集中荷载沿梁跨度方向的支承长度；

h_y ——自梁顶面至腹板检算高度上边缘的距离；

其余符号意义同上。

(4) 在梁的腹板检算高度边缘处，若同时受较大正应力、剪应力或局部压应力时，或同时受较大的正应力或剪应力时，其折算应力按下式检算：

$$\sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 - \sigma\sigma_c + 3\tau^2} \leq \beta_1 Z_1 f \quad (1-1-10)$$

$$\sigma = \frac{M}{I_n} y_1 \quad (1-1-11)$$

式中： σ 、 τ 、 σ_c ——腹板检算高度边缘同一点上同时产生的正应力、剪应力和局部应力， τ 和 σ_c 分别按式(1-1-8)、式(1-1-9)检算；

I_n ——梁净截面惯性矩；

y_1 ——所检算点至中和轴的距离；

β_1 ——检算折算应力的强度设计值增大系数，当 σ 和 σ_c 异号时取 1.2，当 σ 和 σ_c 同号或 $\sigma_c = 0$ 时取 1.1， σ 和 σ_c 的符号规定拉应力为正值，压应力为负值；