

文章编号:1673-2049(2011)03-0034-06

钢管混凝土拱桥技术状况检测与评定

黄卿维¹, 余印根^{1,2}, 韦建刚¹, 陈宝春¹

(1. 福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350108; 2. 福建省永正工程质量检测有限公司, 福建 福州 350012)

摘要:以某钢管混凝土拱桥为研究对象,开展常规外观检查和桥位水质调查,分别应用《城市桥梁养护技术规范》(CJJ 99—2003)和《公路桥涵养护规范》(JTG H11—2004)对桥梁的状况进行评估。结果表明:该桥评定状况分别属于 D 级和三类桥,需要进行中修;2 个规范中缺乏与钢管混凝土拱桥有关的专门条款,存在着不足之处;虽然 2 个规范对该桥的评定结果相近,但是在上部结构、下部结构和桥面系的状况指数、权重方面存在着一定的差异,其一致性方面的检验还有待更多桥例的验证。

关键词:钢管混凝土;拱桥;外观;检测;评定标准

中图分类号:U446.3 **文献标志码:**A

Technical Detection and Assessment of Concrete-filled Steel Tubular Arch Bridge

HUANG Qing-wei¹, YU Yin-gen^{1,2}, WEI Jian-gang¹, CHEN Bao-chun¹

(1. School of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, Fujian, China; 2. Fujian Yongzheng Construction Quality Inspection Co., Ltd, Fuzhou 350012, Fujian, China)

Abstract: A detection for a concrete-filled steel tubular (CFST) arch bridge was carried out, including general appearance inspection and in-situ water quality investigation. Two criteria, *Technical Code of Maintenance for City Bridge* (CJJ 99—2003) and *Code for Maintenance of Highway Bridges and Culverts* (JTG H11—2004) were applied to appraise the technique condition of the bridge. The results show that the bridge is in grade D and the third level respectively, which means that the bridge needs a general repair. The two aforesaid codes have limitation in this process because there are no special items for CFST arch bridges in them. Although the assessment results by the two codes are similar, the condition index and the weight of superstructure, substructure and deck system by these two codes are different. The consistency of these two codes should be checked by more assessment of other bridges.

Key words: concrete-filled steel tube; arch bridge; appearance; detection; assessment criterion

0 引言

近 20 年来钢管混凝土拱桥在中国得到了大量的应用。文献[1]中以 2010 年 6 月为截止时间,共

收集 327 座已建的跨径大于 50 m 的钢管混凝土拱桥资料。按行业(用途)将其分为 4 类:公路桥梁、市政桥梁、铁路桥梁及其他桥梁(人行桥、码头栈桥等)。调查桥梁的行业分布情况是城市桥梁占总数

收稿日期:2011-06-22

基金项目:国家自然科学基金项目(50778043);国家西部交通建设科技项目(2008 318 000 13);

科技部国际科技合作项目(2009DFA72220)

作者简介:黄卿维(1982-),男,福建惠安人,助理研究员,工学博士,E-mail:huangqingwei@fzu.edu.cn。

的 48.2%,公路桥梁占 39.7%,铁路桥梁占 6.2%,其他桥梁占 5.9%。可见,公路和城市桥梁占总数的 87.9%,是中国钢管混凝土拱桥应用的主体。

在中国当前的建设体系下,公路与市政桥梁从建设到使用阶段的管理均隶属于不同的行政部门,规范体系也不相同。但实际上,这 2 种桥梁均以承担汽车荷载为主,在结构受力性能上没有太大的差别,在使用功能上差别也不是很大。同时,随着中国城市规模的扩大、城镇化进程的加速,许多桥梁同时兼具公路与城市桥梁的功能。为此,新近颁布的福建省地方建设标准《钢管混凝土拱桥技术规程》(DBJ/T 13-136—2011)^[2]同时包括了公路桥梁与城市桥梁。该规程的养护部分中提出城市和公路钢管混凝土拱桥的评定分别按《城市桥梁养护技术规范》(CJJ 99—2003)^[3](以下简称 CJJ 99—2003)和《公路桥涵养护规范》(JTG H11—2004)^[4](以下简称 JTG H11—2004)考虑。实际上,现有的 2 个养护技术规范中有关钢管混凝土拱桥的内容并不多,同时对于同一座兼具公路与城市桥梁功能的钢管混凝土拱桥,用不同的养护规范进行评定是否会出现不同的结果,也未经过考察。

为此,本文中笔者以某座中承式钢管混凝土拱桥为背景,开展全面的外观检测,包括常规外观检查和桥位水质调查,并应用 CJJ 99—2003 和 JTG H11—2004 对桥梁状况进行评价,以期达到全面了解该桥实际状况的目的,并对钢管混凝土拱桥的评定标准进行探讨。

1 工程概况

某拱桥全长 227 m,共 3 跨。主跨为净跨 90 m 中承式钢管混凝土拱桥,净矢高 20 m,矢跨比为 1/4.5,拱轴线为二次抛物线,2 片拱肋间距 10.3 m,每片由 $\Phi 800 \times 10$ 钢管组成高 1.9 m 的哑铃型截面,管内灌注 C30 混凝土;桥面以上拱肋之间设 3 道横撑联系,桥面以下设 2 道 K 横撑,所有横撑均为钢管构件。

拱桥两边跨为上承式钢筋混凝土肋拱,跨径为 48 m,矢跨比为 1/6,拱轴线采用拱轴系数 $m = 1.543$ 的悬链线,横断面共布置 3 根拱肋,拱肋为工字型截面,高 1.2 m,宽 0.8 m,拱上建筑为梁式腹拱,由立柱、横梁支承装配式钢筋混凝土筒支板组成,间距 4.25 m,其总体布置见图 1。

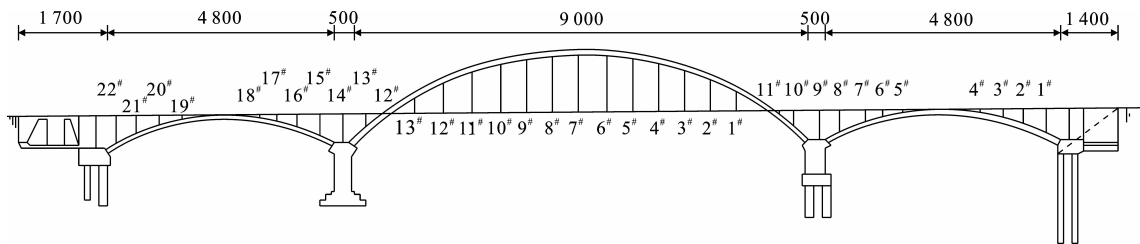


图 1 某大桥总体布置(单位:cm)

Fig. 1 General Arrangement of Bridge (Unit:cm)

该桥于 1994 年 4 月开工,1995 年 7 月竣工通车。在经过 12 年运营后,2008 年 2 月对该桥进行了全面的外观检测和评定。

2 技术状况检测

2.1 主跨钢管混凝土拱肋

经过细致的外观检测,发现钢管混凝土拱肋对接处、盖板与拱肋处可见明显错边、咬边、焊缝过渡不均匀等现象,错边范围大部分为 1~5 mm,部分拱肋卷制接缝处具有明显的凹陷或突起现象。

钢管混凝土拱肋油漆可见多处明显老化变色、发泡、起皮、反锈和剥落,主要出现在桥面系下方的拱肋下弦管底部。此外,受水库水位升降的影响,拱脚部位的拱肋外包钢管干湿交替频繁,其防护油漆

也出现了老化、反锈现象。

用铁锤敲击钢管的方法进行管内混凝土密实度的检测,发现大部分拱肋的上下弦管与管内顶部混凝土均存在空隙,上弦管空隙的横向范围为 0.20~0.80 m,下弦管空隙的横向范围为 0.15~0.80 m。大部分吊杆上方的盖板和浇筑孔盖板位置也存在着空隙。

2.2 主跨横撑

主跨横撑与拱肋对接处的焊缝过渡不均匀;拱顶部位的 X 撑有部分油漆出现反锈、起皮现象;拱脚部位的 K 撑的钢管表面也出现锈蚀的现象。

2.3 主跨吊杆与立柱

部分吊杆套管表面有多处锈蚀,少数套管交接处出现错位。大部分吊杆套管与人行道板的交接

处、最短吊杆套管与横梁的交接处均发现有开裂现象,雨水渗入可能会导致吊杆导管腐蚀和吊杆钢丝锈蚀。部分拱上立柱存在露筋现象,部分钢箱与混凝土柱接头处的连接钢板有锈蚀现象。

2.4 主跨横梁

部分横梁混凝土表面存在蜂窝麻面和露筋现象。吊杆横梁出现竖向和斜向裂缝,其中竖向裂缝主要出现在工字型截面处的下翼缘板上,最大宽度为 0.18 mm,部分裂缝延伸至腹板;斜向裂缝出现在吊杆附近区域的腹板中央位置,最大宽度为 0.16 mm。2 种裂缝的宽度均未超过 JTG H11—2004 规定的裂缝限值。图 2 为 8# 吊杆横梁的裂缝分布。

2.5 主跨桥面系与下部结构

桥面出现纵横交错裂缝,部分桥面出现磨损、坑

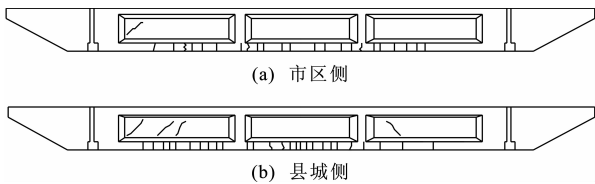


图 2 8# 吊杆横梁裂缝分布

Fig. 2 Crack Distributions of Suspend Beam No. 8

槽和露筋现象。由于主跨为无系杆的中承式拱桥,其拱肋和横梁单独受力,因此横向裂缝主要出现在横梁位置,表现为从桥面板延伸到人行道的通缝,其中桥面板裂缝宽度在 1.10~2.00 mm 之间,人行道板裂缝宽度在 0.10~2.50 mm 之间。桥面纵向裂缝在 10# 吊杆横梁与 13# 立柱横梁间的桥面铺装形成通缝,宽度为 0.60~1.80 mm。桥面裂缝分布见图 3。

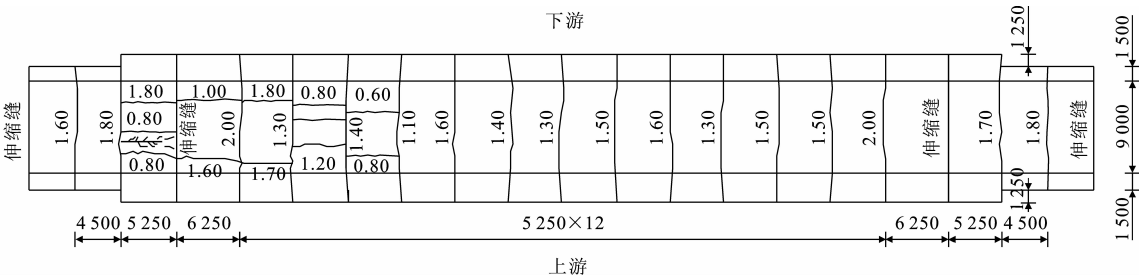


图 3 主跨桥面结构裂缝分布(单位:mm)

Fig. 3 Crack Distributions for Deck Structure of Main Span (Unit:mm)

此外,检测还发现部分行车道板和人行道纵梁下的支座出现滑移和脱空现象。大部分伸缩缝槽内橡胶老化破损,橡胶表面出现横向裂缝,个别橡胶已剥离,伸缩缝病害现象较为严重。部分泄水管堵塞,造成桥面积水。部分人行道栏杆出现开裂,甚至破损。

主跨 2 个基础受溪水浸泡影响,其顶面混凝土碳化深度超过 6 mm,碳化严重。

2.6 边跨钢筋混凝土拱肋

上游拱肋在拱顶处呈明显折线,部分拱肋存在蜂窝麻面,拱肋顶面的混凝土凹凸不平,且存在着露筋的现象(图 4)。部分横系梁、拱上立柱和横梁表面存在蜂窝、孔洞,个别位置有露筋现象。在大部分横梁悬臂端(立柱上方附近)位置发现裂缝存在,裂缝宽度较大,部分已达到 JTG H11—2004 规定的裂缝限值。桥面系检测结果与主跨相近,在此不再赘述。

交界墩受到水库淹水的影响,混凝土表面碳化严重,且有多条超标裂缝存在,部分箍筋外露且锈蚀严重。西侧桥台基础有轻微冲刷现象,出现不均匀沉降,在其桥台侧面衬层发现大量裂缝,且下游侧顶部混凝土受损严重。

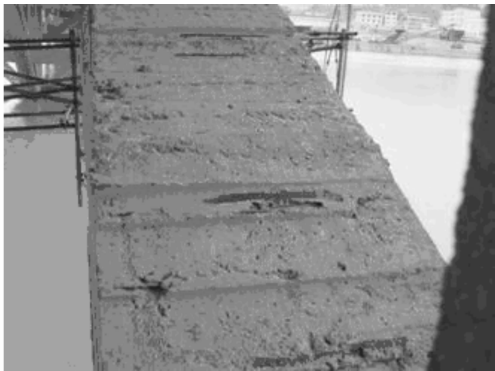


图 4 边跨混凝土拱肋露筋

Fig. 4 Reveal of Reinforcement of Side-span Concrete Arch Rib

2.7 混凝土强度回弹试验

该桥的主跨桥面板、边跨桥面板、横梁、立柱、边拱肋混凝土设计强度等级分别为 C30、C30、C25、C25、C30;设计抗压强度分别为 17.5、17.5、14.5、14.5、17.5 MPa^[5]。

按照《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2001)^[6]对上述构件进行混凝土强度回弹抽样检测。经检测,主跨、边跨桥面板平均抗压

强度最小值分别为 34.4、21.5 MPa;吊杆横梁的平均抗压强度约为 24.7 MPa;立柱的平均抗压强度约为 31.8 MPa;边拱肋的平均抗压强度最小值约为 32.3 MPa。各个构件混凝土强度测试值均大于设计值。

2.8 水质调查

由于在该桥建成之后下游修建了水库,水位大幅提高,主拱肋拱脚处采用了外包钢管的防护,而边跨混凝土拱肋未采取防护措施,拱脚长期被水淹没。为此,进行桥位处的水质调查,以判断该位置的混凝土受环境水的腐蚀程度。

水样腐蚀性判定按照《公路工程地质勘察规范》(JTJ 064—98)^[7]中环境介质对混凝土腐蚀评价标准进行。通过对水中的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 等离子的浓度和水的 pH 值的检测进行判断。

两拱脚处样本水中各成分浓度的检测数据见表 1。从表 1 可见,所取水样中 SO_4^{2-} 质量浓度均小于 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,故环境水对混凝土不存在结晶性腐蚀问题; Mg^{2+} 质量浓度最大为 $2.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, Cl^- 和 SO_4^{2-} 质量浓度最大为 $22.55\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,故环境水也不会对混凝土构成结晶分解复合性腐蚀;而水的 pH 值基本上大于 6, HCO_3^- 质量浓度在 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右。因此,环境水对混凝土存在分解性腐蚀问题,但腐蚀性不强。

表 1 样本水各成分质量浓度检测

Tab.1 Detections of Water Sample Composition

Mass Concentration				mg · L ⁻¹
位置	w(Cl ⁻)	w(SO ₄ ²⁻)	w(CO ₃ ²⁻)	w(HCO ₃ ⁻)
上游	5.35	17.20	0.00	50.80
下游	5.05	17.10	0.00	50.20
位置	w(Ca ²⁺)	w(Mg ²⁺)	w(K ⁺)	w(Na ⁺)
上游	2.10	2.80	4.00	9.60
下游	2.00	2.70	3.90	9.30

注: $w(\cdot)$ 表示离子质量浓度;上、下游 pH 值分别为 7.54、7.14。

3 桥梁状况评定

3.1 应用 CJJ 99—2003 的评定

CJJ 99—2003 是按分层加权法对桥面系、上部结构和下部结构分别进行技术状况评定。由各部分的评定综合得出整座桥梁的完好状况评定标准 I_{BC} ,并依此划分为 5 个等级,见表 2。

根据第 2 节中的调查结果,应用 CJJ 99—2003 对桥梁的上部结构、桥面系和下部结构的状况指数

表 2 CJJ 99—2003 桥梁完好状况评定标准
Tab.2 Intact Condition Assessment Criterion for Bridge by CJJ 99—2003

I_{BC}	≥ 90	80~90	66~80	50~66	< 50
评定等级	A	B	C	D	E

进行评定,其中桥面系分为桥面铺装、桥头平顺、伸缩缝、排水系统、人行道和护栏;上部结构分为主拱圈和横向联系;下部结构分为台帽盖梁、墩台身、支座、耳背翼墙和基础;然后汇总计算出桥梁综合状况评定结果,如表 3 所示。计算得桥梁结构综合状况指数为 60.53。各分部的评定计算方法见 CJJ 99—2003,其中评分等级与扣分可查附录 D。

表 3 应用 CJJ 99—2003 的评定结果

Tab.3 Assessment Results by CJJ 99—2003

评定部件	权重	状况指数	综合状况指数
上部结构	0.40	56.91	60.53
桥面系	0.15	63.53	
下部结构	0.45	62.75	

对比表 2 和表 3 可知,该桥现阶段完好状况评估等级为 D 级,即不合格状态,需进行中修。

在进行评定时发现,钢管混凝土拱桥桥面系与下部结构的评定在 CJJ 99—2003 条文与附录 D 的评分等级与扣分表中,均有较好的反映。但对于上部结构,存在着以下不足之处:

(1)在 CJJ 99—2003 的桥梁上部结构各部件权重表中列出了梁桥、悬臂加挂梁、桁架桥、拱桥、刚构桥等桥型,其中拱桥又分为主拱圈(桁)与横向联系 2 个部分,显然只适用于桥面以拱上填料为基础的传统拱桥,对于现代拱桥中的吊杆、立柱、桥道系横梁、纵梁和桥面板等这些主要部件,CJJ 99—2003 没有给出系数。

(2)在 CJJ 99—2003 附录 D 的评分等级与扣分表中,上部结构只列出了钢结构物、PC 与 RC 梁式部件、横向联系和防落梁装置 4 项,缺乏拱结构的内容,也没有组合结构的内容。钢管混凝土拱桥如何对应查找,不同的评定人员会有不同的理解,而且一些钢管混凝土拱桥中的特殊的问题,如主拱钢管与混凝土的脱粘问题,没有得到反映。本文中在评定时,套用了钢结构物的内容。

3.2 应用 JTG H11—2004 的评定

JTG H11—2004 采用考虑桥梁各部件权重的综合评定方法。首先进行各部件的技术状况等级评定,根据缺损程度(大小、多少或轻重)、缺损时结构使用功能等方面因素,以累加评分方法对各部件缺

损状况作等级评估,然后综合得出桥梁的评定等级标准(表 4)。

表 4 JTG H11—2004 桥梁等级评定标准
Tab. 4 Grade Assessment Standards for Bridge by JTG H11—2004

D_r	≥ 88	60~88	40~60	<40
评定等级	一类	二类	三类	四类、五类

注: D_r 为桥梁结构技术状况评定分数。

根据第 2 节中的检测结果,对该桥进行技术评定,其结果见表 5。其中上部主要承重评定部件包括拱肋、吊杆、立柱和横梁,缺损较为严重的部件为拱肋和横梁,对结构使用功能影响较大的钢管拱肋和混凝土拱肋存在锈蚀和露筋现象,但发展趋势缓慢,而横梁出现裂缝现象,但其不超过规范规定限值,对结构受力性能影响不大,故综合评定标度为 2 级;上部一般承重评定部件有桥面板、横撑,桥面板病害缺损较为严重,对结构使用功能影响较大,但发展趋势缓慢,而横撑缺损程度低,故综合评定标度为 4 级。具体评定计算方法见 JTG H11—2004,其中技术状况评定标准见 JTG H11—2004 的各部件权重表。

表 5 应用 JTG H11—2004 的评定结果
Tab. 5 Assessment Results by JTG H11—2004

部件名称	权重 W_i	评定标度 R_i	对应 CJJ 99—2003 的部件	D_r
翼墙、耳墙	1	0	下部结构	46.6
锥坡、护坡	1	0		
桥台及基础	23	3		
桥墩及基础	24	4		
地基冲刷	8	0		
支座	3	3		
上部主要承重构件	20	2	上部结构	
上部一般承重构件	5	4		
桥面铺装	1	4	桥面系	
桥头与路堤连接部	3	3		
伸缩缝	3	4		
人行道	1	4		
栏杆、护栏	1	1		
灯具、标志	1	1		
排水设施	1	1		
调治构造物	3	0		
其他(防撞设施)	1	1		

注: $D_r=100-\sum_i R_i W_i/5$ 。

比较表 3 和表 4 可知,该桥为“三类”桥,属于“较差”的桥梁范畴,需进行中修,并酌情进行交通管制。

与 CJJ 99—2003 相似,JTG H11—2004 对于钢管混凝土拱桥,也主要是上部结构方面的针对性不强:

(1)在 JTG H11—2004 的各部件权重表中,上部结构只有“砖、石、混凝土上部结构”和“钢结构”两大类,没有钢-混凝土组合结构的内容,在前者中有关拱桥的只有石砌拱桥,无其他材料的拱桥。

(2)对于钢管混凝土拱桥,上部结构大致可分为拱肋、吊杆、立柱、系杆、纵梁、横梁、横向联系和桥面板等构件,这些构件哪些属于主要承重构件,哪些属于一般承重构件,各个构件的权重和评定标度在现有的标准中均未明确。对于钢管混凝土拱桥,同样缺乏针对性。本文的评定中,将主拱肋与吊杆定为主要承重构件,将桥面横梁、桥面板、立柱等定为一般承重构件。

3.3 评定结果对比

2 个规范评定的结果均是该桥属于需要中等维修的桥梁,结果相近。但评定的内容是否相一致,以下进行比较。

将表 5 中的部件按 CJJ 99—2003 的划分方法分为上部结构、桥面系和下部结构 3 个部分。JTG H11—2004 中评定标度为缺损程度,结构最差状态的 R_i 为 5,以 5 减去表 5 中的评定标度 R_i 再乘以权重 W_i ,求得 3 个主要部分的完好值 A ,将各部件的权重与最差状态(即 5)乘积相加得缺损总值 B ,二者相除 A/B 即为完好率 C ,3 个部分完好率的平均值即为桥梁的评定结果。比较后,进行上部结构、桥面系和下部结构的权重计算,并应用 CJJ 99—2003 所得出状况指数和计算方法进行桥梁评定,其结果如表 6 所示。比较表 3 和表 6 可知,JTG H11—2004 的状况指数普遍低于 CJJ 99—2003 的相应值。

表 6 评定结果对比
Tab. 6 Comparisons of Assessment Results

评定部件	完好值 A	缺损总值 B	状况指数 $C_i/\%$	$\sum W_i$	D'_r
上部结构	65	125	52.00	0.25	46.6
桥面系	32	75	42.67	0.15	
下部结构	126	280	45.00	0.60	

注: $D'_r=\sum_i C_i/3$ 。

同时,表 6 中给出了表 5 中的各部分权重和与全桥的总权重比值,将其与表 3 的权重相比可知,JTG H11—2004 下部结构的权重达 0.60,明显比 CJJ 99—2003 的 0.45 大,桥梁下部结构的劣化程度对桥梁状况评定的影响比桥梁整体评价结果影响较大,而对上部结构的影响则较小。由于钢管混凝土

拱桥的特殊性主要在桥梁的上部结构,因此,尽管对于该桥采用2个规范评定出来的结果相近,但2本规范评定结果一致性的问题,还需要更多桥例的考察与分析^[8-12]。

4 结 语

(1)对某钢管混凝土拱桥的技术状况进行了检测,并应用《城市桥梁养护技术规范》(CJJ 99—2003)和《公路桥涵养护规范》(JTG H11—2004)进行了技术状况评定,其评定结果分别为D级和三类桥,桥梁现状较差,需进行中修。

(2)应用现有2个规范进行钢管混凝土拱桥技术状况评定时,桥面系和下部结构方面适用性较好,但上部结构均存在针对性不强的情况,亟待制定适用于钢管混凝土拱桥的技术状况评定方法。

(3)应用2个养护规范对某桥的评定结果总体吻合,但这是在缺乏上部结构针对性内容的情况下做出的。2个规范评定的三大组成部分的状况指数与权重存在着一定的差异,其一致性方面的检验还有待更多桥例的验证。

参考文献:

References:

- [1] 陈宝春,刘福忠,韦建刚. 327座钢管混凝土拱桥的统计分析[J]. 中外公路, 2011, 31(3): 96-103.
CHEN Bao-chun, LIU Fu-zhong, WEI Jian-gang. Statistical Analysis of 327 Concrete Filled Steel Tubular Arch Bridges [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2011, 31(3): 96-103.
- [2] DBJ/T 13-136—2011, 钢管混凝土拱桥技术规程[S].
DBJ/T 13-136—2011, Technical Specification for Concrete Filled Steel Tubular Arch Bridges[S].
- [3] CJJ 99—2003, 城市桥梁养护技术规范[S].
CJJ 99—2003, Technical Code of Maintenance for City Bridge[S].
- [4] JTG H11—2004, 公路桥涵养护规范[S].
JTG H11—2004, Code for Maintenance of Highway Bridges and Culverts[S].
- [5] JTJ 021—89, 公路桥涵设计通用规范[S].
JTJ 021—89, General Code for Design of Highway and Culvert[S].

- [6] JGJ/T 23—2001, 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[S].
JGJ/T 23—2001, Technical Specification for Inspection of Concrete Compressive Strength by Rebound Method[S].
- [7] JTJ 064—98, 公路工程地质勘察规范[S].
JTJ 064—98, Specification for Survey of Highway Engineering Geology[S].
- [8] 吴庆雄, 陈宝春. 钢管混凝土拱桥桥面平整度评价[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(4): 23-28.
WU Qing-xiong, CHEN Bao-chun. Deck Roughness Evaluation of Concrete-filled Steel Tubular Arch Bridge[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010, 10(4): 23-28.
- [9] 韦建刚, 陈宝春. 钢管混凝土拱桥拱肋刚度设计取值分析[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(2): 34-39.
WEI Jian-gang, CHEN Bao-chun. Analysis on Rib Rigidity of Concrete Filled Steel Tubular Arch Bridge [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(2): 34-39.
- [10] 许凯明, 张明中. 大跨径钢管混凝土拱桥主拱混凝土灌注阶段空间稳定分析[J]. 筑路机械与施工机械化, 2008, 25(12): 66-68, 72.
XU Kai-ming, ZHANG Ming-zhong. Spatial Stability Research on Concrete Construction Stage of Long-span Concrete-filled Steel Tube Arch Bridge[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2008, 25(12): 66-68, 72.
- [11] 陈宝春, 韦建刚, 王加迫. 钢管混凝土拱桥的挠度限值研究[J]. 中国公路学报, 2007, 20(6): 56-60, 78.
CHEN Bao-chun, WEI Jian-gang, WANG Jia-po. Research on Deflection Limit Value for CFST Arch Bridge[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(6): 56-60, 78.
- [12] 涂光亚, 颜东煌, 邵旭东. 脱黏对桁架式钢管混凝土拱桥受力性能的影响[J]. 中国公路学报, 2007, 20(6): 61-66.
TU Guang-ya, YAN Dong-huang, SHAO Xu-dong. Influences of Debonding on Mechanical Behavior of Trussed Concrete-filled Steel Tubular Arch Bridge [J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(6): 61-66.