

文章编号: 1002-0268 (2004) 03-0051-05

普通钢筋混凝土连续箱梁裂缝检测分析与处治的研究

曹兴松 周德培

(西南交通大学 四川 成都 610031)

摘要: 通过四川成南高速公路嘉陵江大桥(西引桥)普通钢筋混凝土连续箱梁顶、底、翼板出现裂缝的问题,根据现场检测资料分析,就其裂缝产生的原因,裂缝对桥梁结构的影响及裂缝处治和加固进行探讨和实践,并就同种桥梁结构设计、施工工艺、材料选择和养护工艺等方面提出预防与控制裂缝的措施,并取得成功经验,具有一定的实用价值。

关键词: 普通钢筋混凝土; 箱梁; 裂缝; 预防与控制

中图分类号: U448.34

文献标识码: A

Analysis of Cracks on Reinforced Concrete Continuous Box Beam and Controlling Methods Study

CAO Xing-song, ZHOU De-pei

(Southwest Jiaotong University, Sichuan Chengdu 610031, China)

Abstract: Many cracks are discovered on the top, bottom and flank for the box beam of west bridge approach of Jia Ling River Bridge which is made of reinforced concrete continuous box beam and located at Chengdu-Nanchong expressway in Sichuan province. This paper analyzes the cause of cracks on the basis of the datum from the checking and measurement in situ and discusses the effect of the cracks on stability of the bridge. According to the structure design, material, construction and maintain technological process, the methods of controlling crack are put forward, and the effect is very good. The success experiences have important practical value.

Key words: Reinforced concrete; Continuous box beam; Crack; Checking and measurement

普通钢筋混凝土连续箱梁在西部高速公路建设中得到了广泛的应用,但是,连续箱梁普遍出现的裂缝也引起了同行对箱形结构的极大关注。尽管箱梁在设计中充分考虑了安全系数,但在施工过程中或成桥状态下仍出现不同程度的裂缝。本文针对四川成南高速公路嘉陵江大桥西引桥普通钢筋混凝土连续箱梁在施工过程中与成桥状态下顶、底、翼板等部位出现大面积裂缝进行检测分析,提出一整套处治与加固方案,并提出预防与控制其产生裂缝的措施,同时,应用于该桥取得了成功实践,收到良好的效果。

1 嘉陵江大桥概况

嘉陵江大桥是成(都)南(充)高速公路上的—

座特大桥,分为主桥和东、西引桥,全桥总长 2 420.12m。其中:西引桥(成都岸)全长 492.01m,共分成三联。第一联为 5×20m 钢筋混凝土连续箱梁;第二联为 6×30m 后张法预应力混凝土简支 T 梁;第三联为 7×30m 后张法预应力混凝土简支 T 梁,每支简支 T 梁均采用桥面连续,5×20m 钢筋混凝土连续箱梁,混凝土设计等级为 C40,采用满堂支架就地整体现浇。在 2000 年 8 月完成第一、二、三跨浇筑,于 2000 年 9 月卸除支架后发现顶板、底板、侧板和翼板出现大面积的纵、横向裂缝,尤以翼板和底板通裂缝现象比较突出,用肉眼观察,其裂缝宽度、长度和深度远远超过《规范》要求值,引起各界的广泛关注。

收稿日期: 2003-11-17

作者简介: 曹兴松(1970—),男,四川成都人,博士研究生、工程师,研究方向为跨度桥梁。

2 箱梁裂缝检测分析

2 1 箱梁裂缝的检测

针对顶、底、腹和翼板出现如此多的纵、横向裂缝,为查明裂缝情况,分板裂缝成因及对桥梁的危害,于 2001 年 7 月 3 日至 7 日委托西南交通大学结构试验中心进行现场检测。检测工作包括对边跨、次边跨的底板、侧(腹)板、翼板进行裂缝宽度、长度、深度进行检测,并绘制裂缝图。

2 1. 1 检测及分析方法

首先将裂缝形状、走向画成图,然后用裂缝观测仪测量其宽度,用钢尺测量裂缝长度,用非金属超声波检测仪测量裂缝深度。具体在一条裂缝采用三点控制测量方法-即测量一条裂缝的三个控制点的宽度、长度、深度,再在裂缝图上标注裂缝宽度、长度及深度。采用平测法确定裂缝宽度,如式(1)。并根据检测结果、裂缝图、施工工艺初步分析裂缝成因以及其

对桥梁的危害。

dc=li/2 * sqrt((ti0/ti)^2 - 1) (1)

其中,dc为裂缝宽度;li为不跨裂缝时第i次的超声传播距离;ti0为测距为li时跨裂缝的声时值;ti为测距为li时不跨裂缝的声时值。

2 1. 2 检测结果

从检测数据(由于篇幅限制,文中只列出部分检测数据)可以看出,侧板裂缝最大宽度为 0.3mm,多数裂缝宽度在 0.15~0.25mm 之间,最大深度为 105mm,多数裂缝深度在 50~80mm 之间;翼板裂缝最大宽度为 0.3mm,多数裂缝宽度在 0.15~0.25mm 之间,最大深度为 105mm,多数裂缝深度在 50~80mm 之间;底板裂缝最大宽度为 0.3mm,多数裂缝宽度在 0.10~0.20mm 之间,最大深度为 79mm,多数裂缝在 30~60mm 之间,其裂缝分布图见图 1、图 2,裂缝数据(部分)如表 1~表 4。

边跨底板裂缝数据 表 1

区号	裂缝数量	走向	最长 (m)	宽度 (mm)	深度	备注	区号	裂缝数量	走向	最长 (m)	宽度 (mm)	深度	备注
1	3	H	0.8	0.1	—	—	20	11	H	1.2	0.30	51	渗水
2	3	H	1.0	—	—	—	21	10	H	1.2	0.15	79	渗水
3	5	H	1.2	—	—	—	22	8	H、S (1)	1.2	—	54	渗水
4	5	H	0.6	—	—	—	23	6	H	1.2	—	56	—
5	2	H	0.6	—	—	—	24	6	H	1.2	—	50	渗水
6	20	H、S (2)	1.2	0.15	—	—	25	12	H、S (2)	1.2	—	32	渗水
7	15	H、S (2)	1.2	0.15	—	—	26	8	H、S (1)	1.2	0.15	—	渗水
8	12	H	1.2	0.10	—	—	27	2	H	1.2	—	—	—
9	10	H、S (1)	1.2	0.10	—	—	28	2	H	1.2	—	—	渗水
10	11	H	1.2	0.10	—	—	29	1	H	1.2	—	—	—
11	16	H、S (1)	1.2	0.15	34	—	30	4	H、S (1)	0.9	—	—	—
12	13	H	1.2	0.1	34	渗水	31	1	H	0.2	—	—	—
13	13	H	1.2	0.15	52	渗水	32	—	—	—	—	—	—
14	12	H	1.2	0.10	44	渗水	33	与 38 区交界处有直径为 40cm 区域的蜂窝状					
15	11	H	1.2	0.20	47	—	34	—	—	—	—	—	—
16	14	H、S (2)	1.2	0.20	76	渗水	35	1	H	0.5	—	—	—
17	10	H、S (1)	1.2	0.10	29	渗水	36	—	—	—	—	—	—
18	13	H	1.2	0.20	56	渗水	37	—	—	—	—	—	—
19	11	H	1.2	0.15	70	渗水	38	与 33 区交界处有直径约 40cm 区域为蜂窝状,且有落筋					

注: H 为横向裂缝; S 为纵向裂缝,括号中的数字为纵向裂缝数量。

上游次边跨侧板裂缝数据 表 2

序 号	长度 (m)	距离 (m)	宽度 (mm)	深度(mm)			序 号	长度 (m)	距离 (m)	宽度 (mm)	深度(mm)		
				上	中	下					上	中	下
1	0.15	0.16	—	—	—	—	10	0.50	8.84	0.20	—	—	—
2	0.40	0.70	—	—	—	—	11	0.75	9.72	0.15	—	—	—
3	0.15	1.24	—	—	—	—	12	0.85	11.95	—	—	—	—
4	0.50	2.00	0.15	—	—	—	13	0.85	12.85	0.18	—	—	—
5	0.85	3.60	0.15	54	—	60	14	0.85	14.95	0.20	—	—	—
6	—	—	—	73	60	—	15	0.40	15.05	—	—	—	—
7	0.85	5.90	0.15	—	—	—	16	0.75	17.60	0.12	—	—	—
8	0.85	8.40	0.25	—	—	—	17	0.35	18.7	—	—	—	—
9	0.40	8.75	—	—	—	—							

注:表中距离表示裂缝距边跨的距离。

下游次边跨翼板裂缝数据 表 3

序 号	长度 (m)	距离 (m)	宽度 (mm)	深度(mm)			序 号	长度 (m)	距离 (m)	宽度 (mm)	深度(mm)		
				上	中	下					上	中	下
1	1.40	0.17	0.20	—	—	—	8	1.47	2.40	—	72	64	—
2	2.50	0.40	0.20	—	—	—	9	0.65	2.50	—	64	60	74
3	1.60	0.55	0.18	—	—	—	10	0.70	2.60	—	—	—	—
4	0.30	0.80	—	—	—	—	11	2.50	3.05	0.18	—	—	—
5	2.50	1.00	—	—	—	—	12	1.50	3.28	—	—	—	—
6	2.50	1.60	—	69	91	71	13	2.50	4.35	0.20	—	—	—
7	0.60	2.30	—	62	25	61	14	1.50	4.95	—	—	—	—

下游次边跨侧板裂缝数据

表 4

序号	长度(m)	距离(m)	宽度(mm)		深度(mm)			序号	长度(m)	距离(m)	宽度(mm)		深度(mm)		
			上	下	上	中	下				上	下	上	中	下
1	0.15	0.20	—	—	—	—	—	14	0.50	8.20	0.20	—	82	85	96
2	0.23	0.80	—	—	—	—	—	15	0.40	8.45	—	—	—	—	—
3	0.25	1.40	—	—	—	—	—	16	0.10	8.80	—	—	—	—	—
4	0.85	3.00	0.10	—	—	—	—	17	0.85	9.10	0.18	0.20	—	—	—
5	0.85	4.00	0.22	0.15	75	105	87	18	0.85	9.90	0.18	0.22	—	—	—
6	0.70	5.70	0.15	0.15	59	—	71	19	0.70	10.60	—	—	—	—	—
7	0.40	6.20	—	—	—	—	—	20	0.15	11.00	—	—	—	—	—
8	0.10	6.85	—	—	—	—	—	21	0.85	11.50	—	—	—	—	—
9	0.85	7.00	0.20	0.25	97	87	93	22	0.85	11.85	0.20	0.22	—	—	—
10	0.15	7.10	—	—	—	—	—	23	0.85	13.25	0.25	0.25	—	84	73
11	0.30	7.30	—	—	—	—	—	24	0.85	14.60	0.20	0.25	—	—	—
12	0.15	7.90	—	—	—	—	—	25	0.85	17.55	—	—	—	—	—
13	0.55	8.10	0.25	—	—	—	—	26	0.35	18.45	—	—	—	—	—

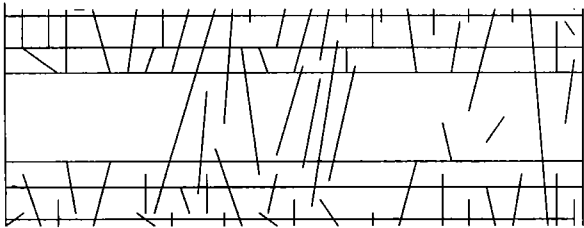


图 1 边跨底板裂缝分布图

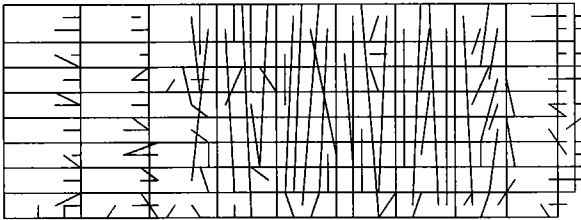


图 2 次边跨翼板及侧板裂缝分布图

2.2 发生裂缝成因分析

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023-85)中附录四有关计算,混凝土收缩为160~430με,特别在相对湿度55%,混凝土龄期3~6d时其单跨收缩量8.6mm,这时摩阻力非常大,而易产生收缩裂缝。裂缝发生主要有以下原因:

(1)设计时未考虑施工过程中箱梁受力不同而造成的。如连续梁桥施工过程中和成桥状态下弯矩图完全不同(见图3),这极易产生纵向弯曲裂缝。

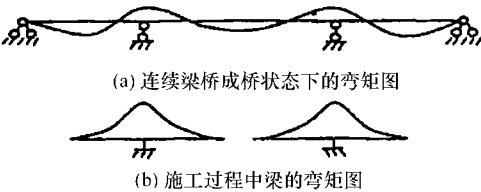


图 3 连续梁成桥状态与施工过程中的弯矩图

(2)箱梁的宽跨比接近于1,从箱梁结构的受力分析,按杆件结构来假设,计算结果与实际受力状态将相

差甚远。同时,设计未将不均匀恒载与活载产生的附加弯、扭的影响充分考虑,这也是导致箱梁出现裂缝的主要原因。

(3)满堂支架未按设计要求采用全段预压,预压重量为箱梁120%自重,只采用了沉降量类比法设置支架和模板,就进行浇筑箱梁混凝土,导致支架随着浇筑混凝土重量的加大发生不均匀下沉而出现很深的裂缝。

(4)连续箱梁骨架钢筋设计过多,一个肋内有4排以上的骨架钢筋,而且每排骨架钢筋叠加4根以上的钢筋,叠加高度达16~17cm,施工难度大,导致骨架钢筋的安装位置、箍筋制作、安装等均难达到设计要求,导致箱梁各肋钢筋骨架受力状态存在着人为的不均匀与不一致,降低承载力。同时,骨架钢筋内的混凝土难以振实。箱梁混凝土强度不均匀是一个比较突出的问题,既影响钢筋与混凝土的粘结力,也影响箱梁结构的总体刚度,使箱梁的实际承载能力降低。

(5)因箱梁浇筑时在四川属高温季节,温度应力与局部集中应力产生附加裂缝,即由于水泥水化过程中产生大量的热能,从而使混凝土内部温度升高,产生拉应力。

(6)混凝土徐变、箱梁拱度增加、以及湿度引起的收缩裂缝。

(7)混凝土浇筑工艺(施工工艺)问题,即:箱梁混凝土体积较大,且箱体内为封闭或多功能室结构,浇筑混凝土时,由于混凝土收缩变形受到周边的约束,因而容易产生收缩裂缝。同时,箱梁浇筑时间持续过长,并遭受日光照射,也容易产生温度裂缝。

(8)混凝土配合比(水灰比)问题。

由于箱梁浇筑的外界气温较高,同时又是采用混凝土泵送;混凝土坍落度明显偏大,也是箱梁产生裂缝

的一个重要原因。

(9)养护条件及工艺问题

混凝土的养护主要是保持适当的温度和湿度条件,在四川高温季节,尤其重要。而施工单位在施工完毕后,未及时进行洒水保持表面湿润养护,致使混凝土表面脱水而产生收缩裂缝。

3 裂缝处理措施与加固方法

3.1 裂缝处置措施

针对上述裂缝的检测,分析及其对桥梁结构的影响,以减少其它箱梁施工时裂缝对结构承载能力和使用寿命的不利影响,可采取以下措施:

(1)满堂支架应消除非弹性变形,施工前进行全段预压,预压应为主上部连续箱梁重的 120%,并随着施工开始逐渐减压。

(2)由于翼板的悬臂长过大,并且翼板上刚性防护栏与箱梁一起受力,并引起结构受力状态发生变化,所以设计上在支座处翼板上增加纵向受力钢筋。

(3)调整施工工艺

采用逐孔分段浇筑,每联第一次浇筑的前 2 孔加第 3 孔的 0.25 倍跨径长度范围同时浇筑(即第一次浇 2.25 孔),待混凝土强度达到设计强度的 90%以上,方可进行逐孔浇筑(实际长度应浇至下一孔的 0.25 倍跨径处)联内余下部分混凝土,施工支架在消除非弹性变形后,考虑预拱度设置。

(4)混凝土浇筑接缝处在浇筑第二次混凝土前应将第一次浇筑的混凝土表面凿毛并清洗干净,不能残留油渍、碎片等杂物。

(5)箱梁浇筑顺序为底板、腹板、顶板,且两次浇筑时间相差宜控制在 7d 之内。待箱梁混凝土强度达到 90%以上时,方可卸架,其顺序为先跨中,然后同时向两端卸架,使箱梁卸架跨径逐渐增大而逐渐受力,防止结构开裂。

(6)对混凝土所采用的水泥细度、砂率、砂的含泥

量($<2\%$),水灰比进行加强控制。对于泵送混凝土的坍落度,施工规范规定为 80~180mm,在满足泵送要求的前提下,尽量采用低限值,同时,在条件允许情况下,尽量不采用泵送混凝土。

(7)由于该地区温度较高,混凝土失水较快,所以混凝土浇筑完毕后应加强养护。

3.2 裂缝的加固方法

经过对裂缝的成因及对结构安全度进行分析后,决定对箱梁裂缝进行封闭,对墩顶负弯矩区,箱梁底正弯矩区适当加强,以确保结构的安全性和使用耐久性。

(1)对钢筋混凝土连续箱梁已出现的裂缝,一方面应加强观测其发展情况,另一方面要求必须进行裂缝封闭处理,同时要求严格按设计文件要求在桥面板顶设置性能满足设计要求的桥面专用防水层。

(2)裂缝封闭处理要求:在进行桥面铺装以前,对宽度较大的裂缝应进行灌浆封闭处理,对宽度较小的裂缝应进行封闭,以防止受力主筋锈蚀影响其耐久性。

(3)在墩顶负弯矩区、箱梁底正弯矩区粘贴高强碳纤维板,对桥梁结构进行加固处置。如图 4 所示,图中阴影部分为粘贴高强碳纤维板区域,在粘贴高强碳纤维板前,所有裂缝进行灌浆封闭处理。

粘贴高强碳纤维板具体要求:

(1)采用碳纤维板盘带加固,左右幅一致;

(2)顶板纵向布置长度墩顶左右各 7m,横向布置为 @800mm,两侧加布横向锚固压条;

(3)底板纵向布置长度跨中两侧各 6m,横向布置为 @800mm,两侧加布横向锚固压条;

(4)裂缝灌浆封闭处理及封闭处理的施工工艺要严格控制,严把灌浆的质量,避免缝内空气未排放干净而出现灌浆不饱满、空洞等现象;

(5)为使桥面铺装与上部结构间紧密结合为整体,梁顶面必须凿毛,且用清水冲洗干净,在用桥面使用防水层进行处理后,方可浇筑桥面混凝土,并注意振捣密实。

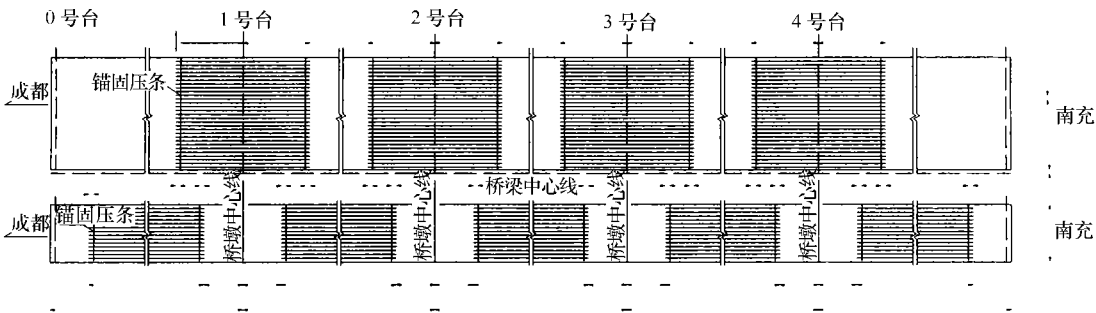


图 4 顶板和底板粘贴碳纤维板平面布置图

裂缝处理主要材料用量表 表 5

序号	材料名称	型号及规格	单位	数量	备注
1	高强碳纤维板	SiKaCarboDurS512 宽度 50mm, 厚度 1.2mm 条带间距为 800mm	m	2640	瑞士产
2	底胶	SiKaDur-30 粘结补强用粘结剂	kg		瑞士产淡灰色
3	整平材料	SiKaDur-41 修补砂浆	kg		瑞士产
4	灌缝胶		kg		用壁可法灌注
5	灌浆封闭处理		m		裂缝宽度> 0.1mm 的裂缝长度
6	封闭处理		m		裂缝宽度< 0.1mm 的裂缝长度

4 结论

普通钢筋混凝土连续箱梁的裂缝现象比较普遍,一方面,要对出现的裂缝进行分析、处理,另一方面应从设计入手抓好施工过程中的第一个环节,尽量减少与防止产生裂缝,充分发挥箱梁的结构性能。

(1)设计上应充分考虑箱梁钢筋制作、安装和浇筑混凝土的施工难度,在保证施工质量及安全的条件下,根据施工方法对箱梁进行必要的受力分析,对薄弱位置,布置恰当的非预应力钢筋或钢筋网来提高局部区

域的抗裂性能。

(2)箱梁施工时满堂支架宜采用标准化、通用化、系列化、规范化的构件拼装、保证其强度、刚度和稳定性的要求及浇筑混凝土后不产生超过允许的沉降量;支架安装完毕后,应对其平面位置、顶部标高、节点连接及纵、横向稳定性进行全面检查,并按设计要求进行预压后,方可进行下一工序。

(3)由于箱梁混凝土体积较大,所以尽量改善骨料级配,降低水灰比,掺加外加剂等方法减少水泥用量,以降低混凝土的水化热温度;尽可能在气温较低时进行浇筑。同时,应加强洒水养护,保证混凝土表面湿润,使水泥水化充分,提高混凝土的抗拉强度;尽量避免采用泵送混凝土。

(4)抓好箱梁的施工质量、抓好材料质量关,严格按照操作规程施工,严格按照箱梁混凝土浇筑施工工艺施工,减少与防止在施工过程中使箱梁结构产生附加应力和裂缝的产生;支架拆除严格按程序执行先跨中,后两边。

(5)施工中应充分注意混凝土浇筑的时间,浇筑时气温及保温养生等问题,加强施工管理,改善施工工艺水平,精心养护,增强责任心,严格按照设计与施工规范施工。

(上接第 50 页)

各桥跨频率、对数衰减率、阻尼比观测结果 表 1

跨数	冲击部位	时域法			频域法
		对数衰减率	阻尼比	频率 (Hz)	频率 (Hz)
15m 跨	跨中	0.146	0.023	12.000	12.380
20m 跨	跨中	0.089	0.014	6.024	6.150
22m 跨	跨中	0.122	0.019	5.109	5.270
24m 跨	跨中	0.138	0.022	4.167	4.199
25m 跨	跨中	0.079	0.013	4.217	4.200
平均		0.115	0.018	6.303	6.440

从表 1 可以看出,各桥跨的一阶固有频率实测值或高于计算值,也高于一般中小跨径的钢筋混凝土桥梁的一阶固有频率参考值,说明被测桥跨的刚度没有发生明显的变化。各桥跨用时域法与频域法测出的一阶固有频率值非常接近,反映出各桥跨的一阶固有频率观测值较准确、可靠。

各桥跨的对数衰减率为 0.146~0.179,平均值为 0.115,各桥跨的阻尼比为 0.013~0.023,平均值为 0.018。测试值较连续梁的阻尼比参考限值 0.011~0.015 偏大,阻尼比偏大,说明梁体存在较多的裂纹,观测结果与实际情况一致,各桥跨跨中存在较多的裂纹,由于裂纹的发展会影响结构原有的动力特性,建议采取措施限制裂纹的继续扩展,或补填现有

裂纹以改善结构的工作状态。

3 结语

桥梁的动力特性参数,包括振型、频率和阻尼是反映桥梁自身动力特性和健康状况的重要参数,随着桥梁的使用,当桥梁的物理特性发生变化导致刚度、质量或阻尼发生变化时,结构的动力特性参数也随着发生变化。对带病害的桥梁表现出裂纹扩展、刚度降低、变形增大,这时,桥梁结构的动力特性参数表现出频率和刚度下降,阻尼增大,振幅加大等。日本曾用统计方法,以桥梁固有频率和阻尼为依据来判定桥梁的质量。所以,桥梁的动力特性参数是评定桥梁质量以及是否处于安全工作状态的重要指标之一。并为旧桥技术改造加固提供可靠的依据。随着我国公路桥梁检测评定制度的推行,桥梁动载试验将越来越受到重视。

参考文献:

[1] 交通部公路科学研究所,交通部公路局技术处,交通部规划设计院.大跨径混凝土桥梁的试验方法.北京:1982-10
[2] 宋一凡.公路桥梁动力学[M].人民交通出版社,2000
[3] 徐日昶,王博仪,赵家奎.桥梁检测[M].人民交通出版社,1989