

文章编号: 0451-0712(2006)07-0085-05

中图分类号: U445.72

文献标识码: B

# 预应力混凝土连续箱梁裂缝加固设计方法研究

刘昌义

(铁道第二勘察设计院 成都市 610031)

**摘要:** 经过大量的工程应用,预应力混凝土连续箱梁裂缝问题暴露明显,针对其开裂原因、加固方法的研究成为热点。本文通过资料的收集整理,总结了常见的裂缝形态,并分析了开裂原因。在对裂缝深入研究和多年加固实践的基础上,提出了加固概念设计的方法。通过一个预应力混凝土连续箱梁裂缝的加固设计,展示了该方法的应用过程与效果。

**关键词:** 预应力连续箱梁; 裂缝; 加固; 加固概念设计

箱形截面是一种闭口薄壁截面,其抗扭刚度大,并具有较T形截面高的截面效率指标 $\rho$ ,同时它的顶板和底板面积均比较大,能有效地承担正负弯矩,并满足配筋的需要。因此在已建成的大跨径预应力混凝土梁桥中,当跨径超过40 m后,其截面大多为箱形,特别是预应力混凝土连续梁桥。甚至可以说,预应力混凝土连续梁桥的发展史就是箱梁的发展史。一种事物或者一种理论,它被应用得越广泛则它暴露的问题也会越多,同时也必将极大地促进其发展。混凝土箱梁也是如此,在一段时间的广泛采用后,暴露出来不少问题,其中裂缝的普遍出现最为突出。梁体的裂缝按照其成因及对整体承载力的损伤程度常被分为构造裂缝和受力裂缝。针对不同类型的裂缝,咎其原因,评其损伤,然后提出合理的加固设计是解决问题的关键。以加固后既有桥梁结构承载力、耐久性的提高为最终目标,按照这一统一的基本概念指导加固设计、比选加固方案、平衡经济指标,从而获得一个基于投资——效益均衡的优选加固设计,这就是加固概念设计。广州东圃特大桥的加固设计,实践了加固概念设计的方法,为该方法在预应力混凝土箱梁裂缝乃至混凝土结构中的应用提供验证与积累。

## 1 预应力混凝土连续箱梁常见裂缝类型

尽管随着研究的深入,人们对于混凝土结构带裂缝工作的客观情况普遍认同,但是,混凝土连续箱

梁的裂缝问题仍然成为了研究、设计、施工等各方关注的焦点,特别是预应力混凝土箱梁,其开裂问题已经成为阻碍连续刚构桥发展的最大障碍之一。

对于裂缝,任何分类方法都只是为了便于研究区分。实际上,构造裂缝与受力裂缝、直接作用裂缝与间接作用裂缝等等不能清晰地分开,因为其划分的界限本身就是一模糊的概念。只有基于这样的观点才能全面准确地理解下面对连续箱梁常见裂缝的归纳、分类。

从大体上分,混凝土连续箱梁裂缝有纵向裂缝和横向裂缝。纵向裂缝多见于箱梁顶板以及顶板与腹板交界处。从裂缝数量和出现的频率上讲,纵向裂缝都要小于横向裂缝。

混凝土箱梁横向裂缝出现的频率高,出现部位多,裂缝形式也千奇百怪。归纳起来有:底板弯曲裂缝、顶板横向裂缝、腹板弯曲裂缝、腹板弯剪裂缝、腹板竖向裂缝、其他局部构造裂缝等类型。

### (1) 底板弯曲裂缝。

常见于跨中部位箱梁底板,裂缝方向性强,严重的单条裂缝可以沿横向通长。显然是由于弯曲应力造成,因此而得名。

### (2) 顶板横向裂缝。

往往裂缝“散、碎”,总体为横桥向。这种裂缝宽度一般不大(多数情况,裂缝宽度 $<0.15$  mm),长度也短(多数情况,单条裂缝长度 $<0.5$  m),且裂缝有集中的趋势,即:有些区域普遍存在,密密麻麻,有些

区域却稀疏少见。

### (3) 腹板弯曲裂缝。

常见于跨中断面两侧 2~3 m 范围的箱梁腹板上。裂缝基本沿竖向分布,裂缝之间间隔距离均匀(距离多为 0.3~0.5 m),偏离跨中较远的往往有一定倾斜,且对称于跨中断面分布,呈“正八字”状态。如图 1 所示。

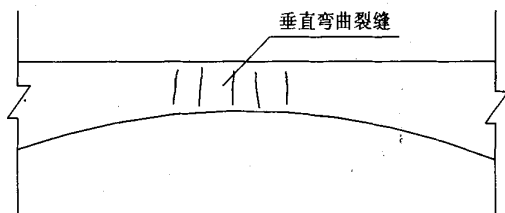


图1 混凝土箱梁腹板弯曲裂缝

### (4) 腹板弯剪裂缝。

在距中跨支座  $L/4$  范围内的腹板多见。裂缝条数较少(一般一跨一侧 5~15 条),倾斜、等间距分布,如图 2 所示。

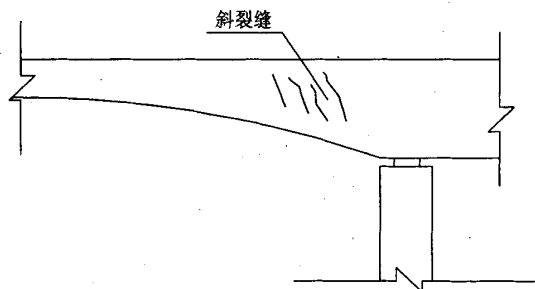


图2 混凝土箱梁腹板弯剪裂缝

### (5) 腹板竖向裂缝。

裂缝随机性很强地出现在腹板上,呈竖直状态。裂缝条数也不均衡,多者有几十条,少者零星几条,单条裂缝呈“枣核”状,裂缝长度依梁高不等而不同。如图 3 所示。

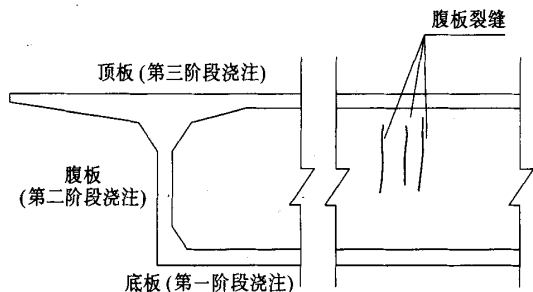


图3 混凝土箱梁腹板竖向裂缝

### (6) 其他局部构造裂缝。

包括一些构造处理不当部位,局部应力过大,会产生局部范围有相对明显特征的裂缝,如:图 4 所示的在力筋未能“覆盖”处的裂缝;图 5 所示的锚头锚块下部的裂缝;图 6 所示的跨中合拢段局部裂缝。

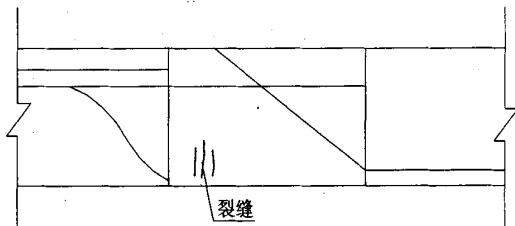


图4 力筋未能“覆盖”处的裂缝

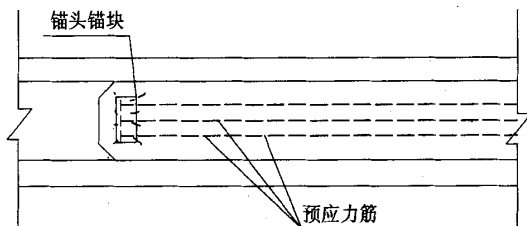


图5 锚头锚块下部的裂缝

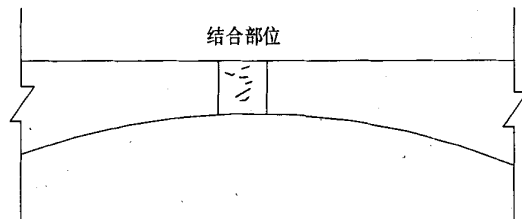


图6 跨中合拢段局部裂缝

## 2 开裂原因分析

裂缝是固体材料中的某种不连续现象,在学术上属于结构材料强度理论范畴。相对于普遍认同的混凝土微裂而言,上述混凝土箱梁裂缝均属于宏观裂缝,即:人们可以用肉眼看见的存在于混凝土构件表面甚至深入构件内部的裂缝。宏观裂缝可以由微裂扩展、连接、延伸而来,也可能是在外荷载、变形约束等因素的影响下“直接”生成。但普遍认为前者所占的比例是绝对多数的,裂缝总是沿着最容易开裂的路径产生。

结构物在实际使用过程中承受两大类荷载,有各种外荷载和变形荷载(温度、收缩、不均匀沉陷),

统称为广义荷载。其中静荷载、动荷载和其他荷载,称为第一类荷载;而变形荷载,称为第二类荷载。裂缝的主要成因不外乎以下3种。

(1)由外荷载(如静、动荷载)的直接应力,即按常规计算的主要应力引起的裂缝。

(2)由外荷载作用,结构次应力引起的裂缝。因为许多结构物的实际工作状态同常规计算模型有出入。

(3)由变形变化引起的裂缝(我们称之为第二类“荷载”)。结构由温度、收缩和膨胀、不均匀沉降等因素而引起的裂缝。应特别注意这种裂缝起因是结构首先要求变形,当变形得不到满足才引起应力,而且应力与结构的刚度大小有关,只有当应力超过一定数值才引起裂缝,裂缝出现后变形得到满足或部分满足,同时刚度下降,应力就发生松弛。

对于上述常见混凝土箱梁裂缝,其成因抛开设计、施工等人为错误的因素以外,究其开裂本质原因(即不考虑造成目前状态的原因,而仅就状态本身而言),都可以归纳到上述三类原因。这样的归纳,同裂缝的划分一样,归类只是便于研究及提出加固方案,绝大多数裂缝都是在多种原因造成的复杂应力状态下开裂的。

回到具体开裂原因:底板弯曲裂缝、腹板弯曲裂缝多是由于荷载产生的弯曲正应力超限造成的;顶板横向裂缝有些是由于板厚过薄,纵向预应力束的张拉造成,或者是营运超载造成局部应力过大而横向预应力又不足;腹板弯剪裂缝多是由于腹板较薄,在弯剪作用下主拉应力超限造成;腹板竖向裂缝较多是温度裂缝。

### 3 加固概念设计

加固,简单来说,就是通过一定的措施使构件乃至整个结构的承载能力及其使用性能得到提高,以满足新的要求。这些措施包括直接针对整体结构的,如体外预应力,改变了结构的应力状态,使其回到原设计状态或者更适应新的要求。有些措施是针对截面的,即:通过提高截面某一方面的承载力强度(如抗剪强度),从而改善整个结构的承载力水平。在具体的加固设计中,必需首先明确这种加固原则,才能做到“牢固可靠、简便耐久、经济适用”。这就是所谓的加固概念设计。

就预应力混凝土连续箱梁裂缝加固设计而言,首先必需彻底了解裂缝分布及具体性状,对裂缝进

行归纳分析,力求找出开裂的真实原因。然后,根据现行规范及被加固桥梁今后需要达到的承载力水平、使用状态(一般由甲方提出总体要求,也有遵照前期评估结果的),进行加固概念设计。最后,根据已定原则实施加固设计。下面以一座预应力混凝土连续刚构桥的工程实践,来详述加固概念设计的方法和过程。

## 4 工程实践

### 4.1 工程概况

东圃大桥是广州市东南西环高速公路的一座特大桥,跨越珠江主航道及副航道,主航道为(106.6 m+2×160 m+106.6 m)预应力混凝土连续刚构桥,辅航道为(51 m+3×80 m+51 m)预应力混凝土连续刚构桥,桥梁于1997年初施工,1998年底建成通车。2003年9月,在检查拆换伸缩装置时,发现在主航道桥边跨梁端腹板存在不同发展程度的斜裂纹。2004年7月,铁道部科学研究院佛山院对全桥做了深入的检查和检测,并形成了《东圃特大桥检查、检测报告》。2005年1月,奔领(中国)有限公司对该桥做了完整的结构分析和复查,提交了《广州南西环高速公路东圃特大桥二号桥——结构分析与复查》报告。

该桥主要的裂缝病害是:左右两幅桥梁体腹板均存在较大的斜向裂缝,裂缝在同一箱梁两侧腹板具有较好的对应关系。腹板斜向裂缝主要集中在梁端支座附近、边跨 $0.4L\sim 0.6L$ 之间、中跨 $0.3L\sim 0.45L$ 之间和 $0.55L\sim 0.7L$ 之间。裂缝形态大多为中间宽、两端窄,裂缝与水平夹角在 $30^\circ\sim 45^\circ$ 之间,一般裂缝宽度为 $0.05\sim 0.3$  mm之间,少数在 $0.3\sim 0.4$  mm之间,最大达 $0.6$  mm,中跨斜裂缝的走向在中心线两侧具有较好的对称性。裂缝延伸长度较长,部分已经延伸至翼缘板位置,但未发现裂缝向底板延伸的情况,对腹板斜裂缝的超声波检测(检测部位腹板厚度为 $40$  cm)结果显示,左幅桥腹板顶部裂缝深度平均为 $11.2$  cm,腹板中部裂缝深度平均为 $19.7$  cm,腹板底部裂缝深度平均为 $18.3$  cm。右幅桥腹板中部裂缝深度平均为 $6.6$  cm。部分较深的斜裂缝已裂透腹板,见图7所示。

经统计分析,腹板斜裂缝均属于受力裂缝,部分腹板斜裂缝宽度远远超过养护规范要求。根据检查、检测结果及结构检算,初步推断裂缝形成的可能原因有以下几点。

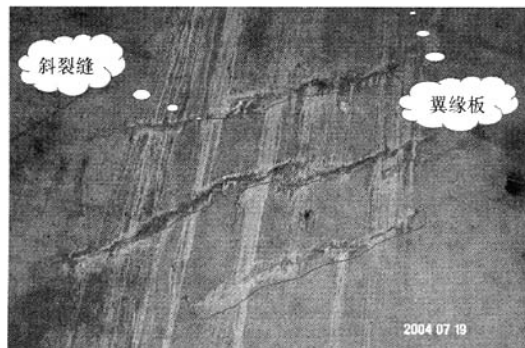


图 7 箱梁外部腹板斜裂缝状态

(1)腹板承受过大的主拉应力,竖向预应力不足。其中竖向预应力不足可能与自身施工工艺的不成熟、张拉效果的不理想以及竖向预应力自身损失比较大有关。而竖向预应力在设计抗剪计算中占有较大比重,设计时一般通过竖向预应力控制腹板主拉应力的方向,所以一旦竖向预应力未达到设计要求,将会使腹板主拉应力增大,最终导致腹板沿主拉应力方向斜向开裂,腹板开裂后,开裂截面将成为受力的薄弱截面,在活载的反复作用下,裂缝宽度和长度将会进一步扩展和延伸。

(2)构造方面,在与腹板对应的顶板和底板,在锚固纵向预应力束时产生了一对大小相等、方向相反的力,这对力所组成的力偶对腹板产生一个拉力,导致腹板产生斜向的裂缝。

#### 4.2 加固概念设计实践

无论是从铁道部科学研究院佛山院的检查、检测报告分析,还是从奔领(中国)有限公司的结构分析与复查都表明:该桥设计符合有关规范与规定,并且经受了多年严重超载的考验,经过切实可靠、可行的加固处理后可以满足桥梁当前及今后的正常使用和承载力极限要求。故在加固概念设计中提出了两个方案,即两种原则。

##### (1)加固方案一。

加固设计必须能够加强受损截面的强度和刚度,使整个桥梁的工作状况得到明显地改善。要加强受损截面的强度、刚度,可以采取粘贴钢板的措施。施工顺序为:首先对梁体裂缝进行清理、封闭裂缝,提高病害处梁体的刚度,使其在以后的工作过程中能够整体受力;再对病害部位梁体进行粘贴钢板进行补强处理,被动增加截面强度;最后对非结构病害,如桥面、伸缩装置等进行修补,提高全桥的工作性能。

通过粘贴钢板被动增加截面抗剪强度,是本方案的总体加固概念。不过本方案无法改善桥梁现有的应力状态,仅仅是通过被动地防护间接提高了梁体的抗剪承载能力。如采用此方案进行加固后,在以后桥跨结构的运营阶段,仍然需要进一步观察及监测梁体的工作状况。

##### (2)加固方案二。

从损伤的程度、部位及其发展趋势来看,桥梁结构目前的整体工作状态已偏离了原设计意图,加固处理应该基于改善全桥整体的应力状态而不是仅仅对局部进行修补和补强。该方案加固设计正是基于此总体概念。从总体上讲,由于边跨斜裂缝的产生、发展,导致了全桥内力重分布,造成了跨中弯矩增大,形成梁底部横向裂缝等一系列损伤,整个桥梁的结构体系状况已经偏离了原设计意图,全桥承载力呈现并将继续呈下降趋势。基于此,加固设计必须能够改善桥梁整体的应力状况、加强受损截面的强度和刚度,使整个桥梁的工作状况重新回到原设计意图上来。要改变目前桥梁的应力状况,必需采取主动的加固方式,而采用预应力加固梁桥,技术成熟、性价比高,成为东圃大桥主动加固的主要措施。同时,加强受损截面的强度、刚度可以采取粘贴钢板等措施。考虑施工因素,加固预应力设置在箱梁内部。其施工顺序为:首先对梁体裂缝等损伤进行清理、封闭裂缝,提高损伤处梁体的刚度,使其在以后的工作过程中能够整体受力;然后根据加固预应力束位置植筋、预留预应力束管道、浇注混凝土;然后施加预应力,主动改善应力状态;再对损伤部位梁体进行粘贴钢板、碳纤维布等补强处理,被动增加截面强度;最后对全桥其他非结构损伤,如桥面、伸缩装置等进行修补,提高全桥工作性能。

总之,通过施加预应力,改变梁体应力状态;通过粘贴钢板被动增加截面抗剪强度。主动的改善与被动的防护相结合是东圃大桥的总体加固概念。本方案一劳永逸,解决了方案一尚存在的承载力耐久性的问题。

最终,业主根据提供的加固概念设计,考虑经济、社会影响等因素,论证选取了加固方案一,后续进行了加固施工图设计。现在,加固工程已完成,加固效果良好。

## 5 结论

经过一些年的工程应用,预应力混凝土连续箱

梁裂缝问题暴露明显,针对开裂原因,加固方法的研究成为热点。通过收集整理,总结了上述常见的裂缝形态,究其原因,大致可归结为:早期设计理念有失,分析不够全面,忽略了一些客观存在的因素;构造处理不当,板厚较薄,预应力束过于集中或者设置不当;施工质量参差不齐,过早脱模受力、温度应力影响;竖向预应力,无论工艺水平还是施工质量,都远远达不到设计应有状态;运营中超载现象普遍存在,维护监测不及时。总之,开裂的原因是多方面的,甚至可以说:一条裂缝的产生是多种因素共同作用,经过时间上的积累而产生的。

加固设计中,应该遵循加固概念的原则。加固概念将加固设计中许多复杂的问题归结到易于确定掌握的概念上,便于决策者决定选取。设计者按照其概

念可以很好地实现加固目的,达到投资—效益的综合平衡。

#### 参考文献:

- [1] 范立础. 桥梁工程(上)[M]. 北京:人民交通出版社, 2001.
- [2] 张方. 大型混凝土箱梁裂缝研究[D]. 西南交通大学, 2002.
- [3] 王铁梦. 工程结构裂缝控制[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1997.
- [4] 铁道部科学研究院佛山院. 东圃特大桥检查、检测报告[R]. 2004.
- [5] 段敬民, 钱永久, 张方, 曾宪桃. 概念加固思想及工程应用[J]. 中国工程科学, 2005, 8(7).

## A Study on Design Method of Reinforcing Cracks in Prestressed Concrete Continuous Box Girder

LIU Chang-yi

(The Second Survey and Design Institute, Ministry of Railway, Sichuan, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** As known from many engineering practices, cracking in prestressed concrete continuous box girder is serious. A study on mechanism of its cracking and reinforcing method of the cracks becomes a hot spot. In this paper the several familiar crack forms are presented and the reasons of cracking analyzed. On the basis of thorough study on the cracks and reinforcing practices in many years, the design method based on reinforcing concept is put forward. Last, the application and effects of the method are showed by a example.

**Key words:** prestressed continuous box girder; crack; reinforce; design method based on reinforcing concept

### 四川调整“十一五”交通规划

四川省交通厅日前对今年3月份提出的四川省交通建设“十一五”规划进行了调整,全面加快“蜀道”建设进程。

调整主要集中在高速公路、农村公路等方面。四川全省高速公路通车里程由原定“十一五”末达到3 160 km,提高到确保达到3 310 km、力争达到3 500 km。实现通沥青(水泥)路乡镇比例由原定60%提高到90%,实现通沥青(水泥)路建制村比例由原定15%提高到50%,实现通公路建制村比例由原定90%提高到98%。

四川省政府初步决定“十一五”期间加大农村公路专项资金投入,拟安排补助资金31亿元,是“十五”期间投入的6倍。省政府正着手建立由省发改委、交通厅等14个部门参加的交通建设联席会议制度。

四川全省各市州也重新修订了有关规划,干线公路、农村公路的新改建项目、里程、投资规模,比“十五”期间增加了50%~100%。