

文章编号: 0451-0712(2005)06-0014-04

中图分类号: U448.355.7

文献标识码: B

公路预应力混凝土桥梁裂缝分析

王 萍¹, 柯在田²

(1. 广东省高速公路发展股份有限公司 广州市 510100; 2. 铁道科学研究院 北京市 100081)

摘 要: 总结了常见的预应力混凝土桥梁的开裂情况, 引述和分析了开裂预应力裂缝的力学特征。对两座典型的公路预应力混凝土桥梁裂缝进行了检测, 分析了裂缝产生的原因, 通过荷载试验掌握裂缝对桥梁工作状况和承载能力的影响, 并对桥梁的使用状态进行评估, 提出了加固处理措施。总结出预应力混凝土桥梁裂缝处理一般步骤和基于荷载试验的实用方法。

关键词: 预应力混凝土; 桥梁; 裂缝; 检测; 评估; 加固

众所周知, 全预应力混凝土桥梁在预应力截面产生裂缝是不允许的, 但由于种种原因, 预应力桥梁往往会产生裂缝, 使得桥梁的实际状态不满足设计要求, 这一问题在国内外已建成的预应力桥上大量存在^[1,2]。目前国内外对这一问题开始加强研究, 寻求合适的处理方法。一般裂缝的处理方法和范围决定于裂缝的性质及其对桥梁工作状况和承载能力的影响程度, 因此裂缝的成因分析及其对结构影响程度分析对裂缝的处理决策起着至关重要的作用。这些工作必须建立在对桥梁的设计和施工资料进行详细调查, 对桥梁状况进行检查、检测、荷载试验、计算分析及综合评估的基础上。只有判断出裂缝出现的可能原因, 掌握裂缝对桥梁工作状况和承载能力的影响, 才能对预应力混凝土桥梁的裂缝进行正确定量评价, 制定合适的处理方案。

1 预应力混凝土桥梁的通常裂缝

文献[2]对我国 19 座已建成、有代表性的公路全预应力混凝土大跨径连续梁桥和连续刚构桥的裂缝情况进行了调查分析。认为裂缝的成因分两大类: 一类是混凝土在形成强度过程中形成的裂缝; 一类是在后续施工(如预应力张拉或拆架)和使用阶段形成的裂缝。

1.1 混凝土强度形成过程中的裂缝

混凝土浇注之后, 强度的形成需要一定的时间, 强度的发展取决于周围环境(气温、空气湿度、昼夜温差和风等)和混凝土的水化热。此时混凝土的抗拉

强度较低, 容易出现收缩、温度和沉降裂缝。

(1) 收缩裂缝

混凝土在形成强度过程中, 水和水泥颗粒结合, 使体积减小称为凝缩; 一部分水分蒸发, 使体积减小称为干缩。

混凝土在形成强度过程中表面的水蒸发干燥逐步扩展到内部, 在混凝土内形成含水梯度, 表面收缩大, 而内部收缩小, 出现内外收缩差, 混凝土表面外部产生拉应力, 而内部为压应力, 当表面混凝土的拉应力超过混凝土当时的抗拉强度时, 便产生收缩裂缝。干燥环境、养生不及时、混凝土水灰比过大等容易引起收缩裂缝。

(2) 温度裂缝

混凝土在强度形成过程中产生水化热、阳光照射、大气及周围温度的变化, 将引起温度应力, 当温度应力超过混凝土当时的抗拉强度时, 即产生温度裂缝。常见的混凝土结构温度裂缝有:

①大体积混凝土(厚度超过 2 m 的桥梁墩台、承台及锚碇等), 水化热使内部温度升高, 散热措施不当, 内、外温差大而引起的裂缝。

②冬季施工及蒸养措施不当, 使混凝土冷热、内外温差不均引起的裂缝。

③构件较长而两端约束, 由于周围环境温度变化产生的附加温度应力引起的裂缝。

④新旧混凝土接缝处, 由于新混凝土的水化热与旧混凝土之间的温度差及收缩差产生的沿接缝面中部的垂直裂缝。

1.2 后续施工和使用阶段形成的裂缝

(1) 弯曲裂缝

一般是垂直裂缝,是混凝土构件受弯矩作用产生的裂缝,一般出现在弯矩最大截面。对预应力混凝土结构,预应力度过大和过小都会出现弯曲裂缝,对于一期恒载较小的预应力混凝土结构,张拉程序掌握不好时,往往会产生预应力度过大使结构反弯开裂,这种现象常常出现在横梁和帽梁上;对于预应力损失较大的或超载严重的桥梁结构,会出现预应力度不足产生的弯曲裂缝。

(2) 剪切裂缝和弯剪裂缝

剪切裂缝首先发生在剪应力最大的部位,一般在支点附近,由主拉应力引起的沿中性轴与水平方向呈 $25^\circ \sim 45^\circ$ 开裂。弯剪裂缝一般在 $1/8 \sim 1/4$ 跨处,也是由主拉应力引起,与水平方向呈 $30^\circ \sim 60^\circ$ 夹角。

(3) 扭曲裂缝

混凝土构件受扭转与弯曲共同作用而产生的裂缝,此类裂缝一般呈 45° 倾斜,有多条。裂缝出现后混凝土保护层剥落。

(4) 局部应力裂缝

由局部应力引起的裂缝,主要出现在支座、锚头等受局部应力较大的部位或受突然撞击的部位。

(5) 温度裂缝

桥梁在使用期间的温度裂缝主要由于实际温度场产生的温度应力比设计计算大而产生的。在温差大的地区,这类情况比较严重。

2 预应力混凝土结构裂缝的力学成因及受力特征

2.1 钢筋混凝土构件

为便于对预应力混凝土结构裂缝的力学成因进行分析,首先以轴心受拉构件为例引述钢筋混凝土开裂的基本理论^[3,4]。

如图 1 为钢筋混凝土轴心受拉构件,钢筋面积 A_s 、弹性模量 E_s ;混凝土有效面积 $A_{c,eff}$ 、弹性模量 E_c 、极限抗拉强度 f_{ctm} 。在拉力 F 作用下,当混凝土的拉应力达到其极限抗拉强度时,在构件抗拉能力最弱的截面上将出现第一批裂缝。由于混凝土的局部变异、收缩和温度作用产生的微裂缝以及受拉区混凝土的局部削弱(如箍筋处)等偶然因素的影响,第一批裂缝出现的位置是一种随机现象。裂缝出现后,在开裂截面混凝土退出工作,应力为零;钢筋承受全部拉力,产生应力突变。配筋率越低,突变引起的钢筋应力增量 $\Delta\sigma_s$ 就越大。沿构件长度上钢筋应力的变

化 $\Delta\sigma_s$,使裂缝两侧钢筋与混凝土之间产生粘结应力 τ 和相对滑移 s 。通过粘结应力 τ 将钢筋的拉力传给混凝土,随距开裂截面距离的增大,由于粘结应力 τ 的积累,混凝土的拉应力 σ_c (应变 ϵ_c) 逐渐增大,钢筋应力 σ_s (应变 ϵ_s) 逐渐减小,直到距开裂截面为 l 处,钢筋与混凝土的应变相等($\epsilon_c = \epsilon_s = A_{c,eff} \cdot f_{ctm} / (E_s \cdot A_s)$)。相对滑移 s 及粘结应力 τ 消失,钢筋与混凝土的应力又恢复其原来的应力状态。当荷载再增大时,在其他一些抗拉强度较弱的截面上将出现新的裂缝。显然,在距第一批开裂截面的两侧 l 的范围内,将不可能出现新的裂缝,钢筋混凝土受拉构件最终的裂缝、钢筋应变及混凝土应变分布如图 2 所示。

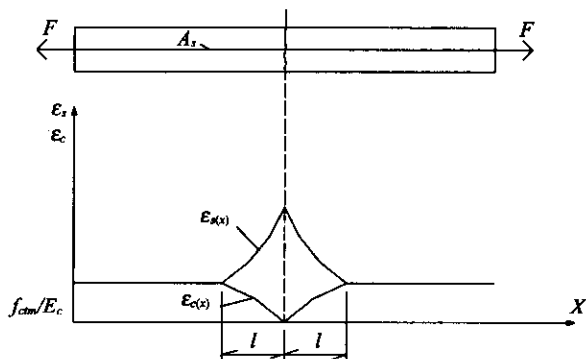


图 1 单条裂缝时钢筋和混凝土的应变分布

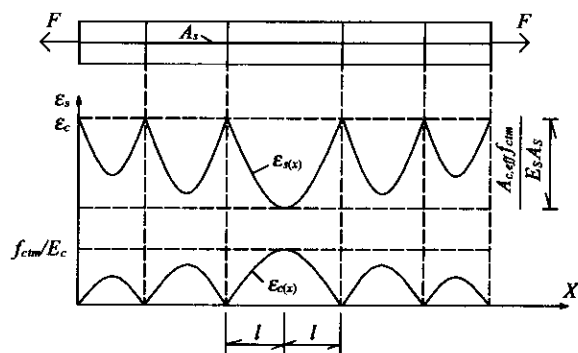


图 2 最终裂缝及钢筋和混凝土的应变分布

2.2 预应力混凝土构件

对于如图 3 所示的预应力混凝土轴心受拉构件,出现裂缝可能性有两种情况:第一种情况是拉力大于预加力并克服混凝土的抗拉强度,使得混凝土开裂,这种情况在预应力混凝土构件中属于预应力度不足;第二种情况是在预加力之前由于混凝土结硬过程中产生裂缝,张拉预应力后由于混凝土的咬合被破坏开裂截面表面依然呈现裂缝形态,这种情况下,开裂截面的混凝土抗拉强度被破坏,如果预加力 (N) 大于外拉力 (F) ,开裂截面仍然处于受压状

态, 预应力度满足要求, 当外拉力 F 超过预加力 N 时, 原有裂缝进一步扩展, 并在其他部位会出现新的裂缝。

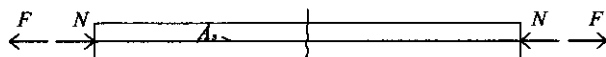


图3 开裂的预应力混凝土受拉构件

对于第一种情况, $F > N$ 并使得混凝土开裂后, 当 F 继续增加时, 开裂截面的拉应力全部由钢筋承受, 且裂缝边缘的应力为零或有微小的回退。对于第二种情况, 由于混凝土已开裂退出工作状态, 在外拉力 F 的作用下, 如果 $F < N$, 开裂截面的拉应力还是全部由钢筋承受, 但由于开裂截面仍处于受压状态, 裂缝边缘仍有拉应力; 如果 $F > N$, 开裂截面仍处于受拉状态, 裂缝边缘应力为 0。从这个特征可判断出开裂截面的预应力度是否满足要求, 推断裂缝的成因和特性。

对于如图 4 所示的预应力混凝土受弯构件, 综合上述分析可得出荷载试验对裂缝性质的判别方法。(1)如果是预应力度不够产生的裂缝, 那么在外荷载弯矩 M 作用下, 跨裂缝测点 m_1 和 m_2 的应变与 M 成非线性关系, 裂缝边缘测点 m_3 和 m_5 的应变为零或有微小压应变, 且随着外荷载弯矩 M 的增大,

裂缝向上发展, 中性轴也随之上移; 在其他截面有新的裂缝出现; (2)如果是预应力张拉前产生的裂缝, 张拉后预应力度满足要求, 在外荷载弯矩 M 的作用下, 由于开裂截面的混凝土退出工作, 截面刚度降低, 跨裂缝测点 m_1 和 m_2 的应变比正常截面测点 m_3 和 m_4 的应变大, 但应变与外荷载呈线性关系, 裂缝边缘有一定的拉应变, 截面中性轴稳定; 在其他截面没有新的裂缝出现; (3)如果由于局部损伤产生的裂缝, 在外荷载弯矩 M 作用下, 跨裂缝的应变与 M 成非线性关系, 裂缝边缘应变为零或有微小压应变, 但裂缝并不向上发展, 中性轴稳定; 在其他截面没有新的裂缝出现。

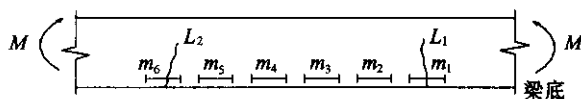


图4 开裂的预应力混凝土受弯构件

3 典型预应力混凝土桥梁裂缝的检测评估实例

(1) 实例 1

某高速公路 10 号桥为跨径 22.7 m + 23.47 m + 23.47 m + 22.7 m 预应力混凝土连续 II 型梁^[5] (如图 5)。中间 2 孔为先期灌注及张拉, 待钢束接长后再灌注及张拉两端边孔, 形成四跨连续梁。

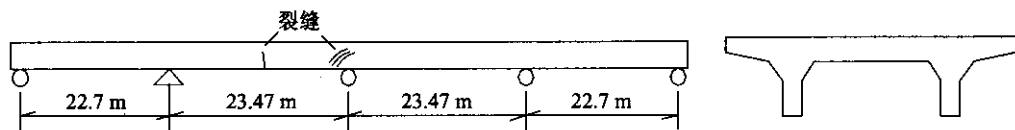


图5 某高速公路 10 号桥结构示意图

该桥中间 2 孔拆模后, 发现一跨的跨中下缘出现 1 条数毫米宽的裂缝, 张拉后仍不闭合, 残余裂缝宽度达 0.7~1.0 mm, 中间支点附近有 4 条数毫米宽的斜裂缝, 倾角为 50°~90°, 起于腹板顶, 向腹板底延伸, 未贯通到梁底, 张拉后仍残余 0.5~6 mm。

根据施工及监理资料的调查, 这些裂缝是在拆模之后即已出现, 张拉后裂缝宽度均已减小; 从观测的裂缝形态来看, 特别是 2 号墩顶梁段斜裂缝, 有明显的剪切错动现象和早期混凝土错动撕裂现象, 第 2 跨跨中的竖向裂缝具有明显的早期混凝土沉降裂缝特征, 分析表明裂缝是由于支架局部沉降引起的混凝土早期开裂。后经调查, 桥下曾是鱼塘。

荷载试验结果表明: (1)在试验荷载作用下, 没有新的裂缝出现, 既有裂缝没有向上延伸, 卸载后, 裂缝扩展回零, 跨中截面开裂截面的预应力度满足

要求, 但由于混凝土的早期裂缝太大, 开裂混凝土已退出工作状态, 并影响到跨中前后各 1m 梁段的局部应力, 距裂缝 1 m 后梁体应力处于正常状态。(2)2 号墩顶斜裂缝多, 应变分布与通常的斜截面的应变分布有很大的区别, 中部压应变很大而两端的应变值很小, 表明竖向箍筋在斜裂缝处存在着很大的剪切错动现象。梁底纵向应变, 跨裂缝的压应变出现一个大的峰值。在重复活载作用下, 该处箍筋会产生达 100 MPa 的疲劳应力幅。(3)从实测的桥梁支点转角、跨中挠度和纵、横向影响线及与理论计算对比分析结果来看, 桥梁的整体变形和受力均处于正常状态, 桥梁的局部开裂对桥梁的整体基本没有影响。

加固处理: 根据试验评定结果, 仅对开裂的影响范围进行局部加固即可。对跨中开裂截面采用粘贴钢板加固; 2 号墩顶梁段裂缝区主要起受压作用, 采

用高标号普通钢筋混凝土在梁肋两侧增加断面的方法予以加固。

(2) 实例 2

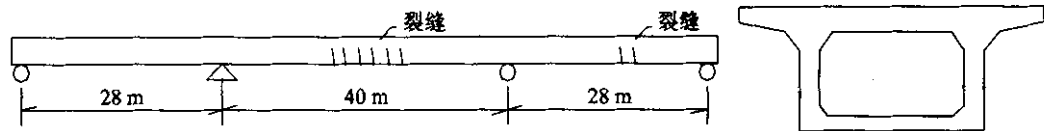


图 6 某高速公路跨线桥示意

主要病害:中跨跨中 10 m 范围内,梁体底板出现大量横向裂缝,部分裂缝通至腹板,高 100~160 cm,裂缝宽 0.1~0.3 mm,裂缝间距 30 cm。一个边跨在距边支点 11 m 处有数条裂缝,其中 1 条通至腹板,高约 160 cm。

试验荷载作用下,实测跨裂缝的应变为设计计算值的 8~10 倍;两裂缝之间的实测应变基本为零和出现回退现象;在加载到 70 % 时,跨裂缝实测应变与加载等级关系线出现较大转折;开裂截面中性轴的高度随加载等级的提高而上移。从实测结果可以判定,该桥的预应力度严重不足。实测活载最大应力达 90 MPa,活载钢筋应力幅偏大,有疲劳破坏的危险。

处理方法:首先对裂缝进行灌缝处理,采用在底板表面大面积粘贴 12 mm 钢板进行加固,降低钢筋总应力和活载应力幅度,保证桥梁结构的承载安全性和耐久性。

4 小结

(1) 预应力混凝土桥梁出现裂缝并不可怕,关键是要正确分析裂缝成因及对结构工作状况和承载能力的影响程度,提出安全、有效、经济、适用的加固处理措施。

(2) 预应力混凝土桥梁裂缝处理一般可通过下列步骤解决:①通过调查和检测掌握裂缝的特征,如裂缝出现部位、裂缝长度及走向,裂缝宽度,裂缝深度等;②综合设计、施工资料的调查,分析裂缝产生的时段,判断裂缝的性质及产生的可能原因;③可通过计算或荷载试验确定裂缝对桥梁工作状况和承载能力的影响;④确定处理方案。

对一个具体的桥梁,可根据实际情况和必要性

某高速公路跨线桥为 28 m+40 m+28 m 部分预应力混凝土连续箱梁^[6],按部分预应力混凝土 A 类设计,截面为单箱单室,如图 6 所示,通车运营 8 年。

确定是否进行荷载试验,关键是要掌握裂缝的成因、性质及对结构工作状况、承载能力和耐久性的影响程度,如果能够根据经验和计算有把握判别,无须进行荷载试验。

(3) 可从梁体跨中挠度和支点转角的大小及影响线、结构变形的协同性判断裂缝对结构整体受力状态的影响。

(4) 要从开裂截面的应变分布、实测应变与加载弯矩关系、应变值大小以及截面中性轴的稳定性综合判断开裂截面的工作状况和承载能力,切不可从单一参数和现象进行判断。

(5) 评估应对裂缝的影响程度和范围尽可能做到量化,为加固处理方案提供可靠依据。

参考文献:

- [1] Ivanyi G, Buschmeyer W. Risse in Spannbetonüberbauten Erfassung, Bewertung[J]. Ernst & Sohn · Bautechnik, 2002, 79.
- [2] 戴竞,彭宝华,李扬海. 公路预应力混凝土梁桥裂缝成因分析及处理对策[A]. 中国土木工程学会第九届年会论文集[C].
- [3] 滕智明. 钢筋混凝土基本构件[M]. 北京:清华大学出版社,1987.
- [4] V T Nguyen, Pierson R. Ermittlung der Rissbreite und Nachweiskonzept nach DIN1045-1[J]. Beton — und Stahlbetonbau, 2001, 96.
- [5] 张澍曾,张佐汉,柯在田,等. 广深珠高速公路深圳段 10 号桥评估试验报告[R]. 深圳:铁道科学研究院深圳研究设计院.
- [6] 柯在田,高岩,梁志广. 广佛高速公路桥梁检测及荷载试验报告[R]. 佛山:铁道科学研究院佛山院.