

大跨径箱梁桥裂缝成因分析及控制措施

刘桂生, 刘慧敏

(广东省公路建设有限公司 广州市 510600)

摘 要: 作者近年来对近 30 座跨径为 70~270 m 的已建和在建桥梁进行了裂缝调查和结构分析验算, 并进行了有裂缝病害与无裂缝病害的箱梁桥的分析对比。对大跨径箱梁桥裂缝的主要形式及成因进行了初步分析, 并有针对性地提出了一些控制措施和对策。

关键词: 大跨径箱梁桥; 裂缝; 分析; 控制

目前, 国内已建和在建的悬臂施工的桥型有: 连续梁、连续刚构及刚构—连续梁组合体系, 跨径 50~270 m。由于箱梁抗扭刚度大, 可适应一定的平曲线半径, 在跨越山区高速公路深、陡、宽沟谷时, 悬臂施工高墩箱梁桥便成为一种经济美观的桥型方案; 此外, 在斜跨河堤、高等级道路, 也经常采用悬臂施工箱梁桥。悬臂施工箱梁桥由于具有工程造价低、施工技术成熟、结构整体刚度大、行车舒适和后期养护量小的优点, 是我国现阶段普遍采用的一种桥型方案, 广东省这种桥型的数量更为庞大。

近年来, 我国在建和已建的大跨径箱梁桥中出现了各种形式的箱梁裂缝和主跨跨中的下挠问题。由于产生这类问题的桥梁较多, 已成为大跨径悬臂施工箱梁桥普遍存在的技术通病。产生这类问题的原因很多, 涉及到结构理论、桥梁规范、设计计算、施工工艺、建筑材料等多个方面, 各方面因素相互作用影响。从裂缝出现的时间上划分, 有施工过程中裂缝, 有经过多年运营后产生的裂缝; 按裂缝的性质划分, 有混凝土强度形成过程中水化热、收缩产生的裂缝, 有混凝土形成强度后, 结构受力产生的裂缝; 从受力特征上划分, 有腹板斜裂缝、跨中底板横向裂缝等。

1 裂缝形式及成因分析

1.1 腹板斜向裂缝

腹板斜向裂缝, 主要分布在 $L/4$ 、主墩支点及过渡墩支点附近。腹板斜向裂缝产生的主要原因是腹板厚度偏薄, 其次是竖向预应力失效等因素。过渡墩支点附近产生腹板裂缝的桥梁, 往往是因为边中跨

比偏大(达 0.7 左右)。

1.2 跨中正截面底板横向裂缝

跨中正截面底板横向裂缝严重时底板裂缝扩展延伸到腹板, 形成 U 形裂缝, 主要是由于纵向预应力束布置不当, 使跨中底板预应力储备不足或存在过大的拉应力。跨中箱梁高度偏低, 使用阶段跨中截面应力幅偏大, 对外荷载比较敏感, 容易造成跨中底板出现横向裂缝。当桥梁跨径较大, 结构刚度降低, 应考虑设计参数、荷载及作用偏差对箱梁正截面应力影响, 否则, 箱梁实际应力状态与设计应力状态存在较大差别, 也容易造成跨中底板出现横向裂缝。其中核心问题是预应力束布置不当, 使用状态底板应力分布不均匀, 有的梁段压应力储备过大, 而有的梁段压应力储备过小或存在过大的拉应力。这归结于桥梁设计者经验不足, 设计手段落后。跨中连续束是在超静定结构体系下布置的, 由于预加力二次内力的影响, 调束须反复试算, 是一个繁琐、反复的过程。预应力布束是否合理, 在很大程度上取决于设计人员的设计水平及设计手段。

1.3 曲线形底板束, 齿板预应力曲线段混凝土崩裂

曲线形底板束, 齿板预应力曲线段混凝土崩裂。这主要是由于底板上下缘横向钢筋之间竖向“ \sqcap ”形拉筋缺失或没有钩上下缘横向钢筋, 设置失当; 或者预应力管道曲线段没有放置“U”形防崩钢筋; 或者预应力管道定位钢筋缺失, 造成管道偏位下沉使管道距离混凝土曲线表面过小; 也有可能是由于混凝土强度不够, 振捣不密实, 在张拉预应力束时, 曲线内侧由于径向力作用, 出现表面大面积脱落、崩裂。

1.4 齿板锚后开裂

齿板锚后开裂,表现为齿板锚固面与梁体交接部位出现横向受拉裂纹、裂缝甚至裂口,沿齿板两侧发展成剪切裂缝。主要原因是预应力束张拉时,锚头前面混凝土呈受压状态,而锚头后面混凝土处于受拉状态,齿板两侧混凝土处于受剪状态。

1.5 锚下局部承压纵向裂缝

锚下局部承压纵向裂缝,往往由于锚下混凝土强度不够,振捣不密实,锚头之间距离过近或锚头距离混凝土表面边缘距离太小,导致在锚后产生过大的压应力所致。

1.6 沿后张法预应力管道的裂缝

沿后张法预应力管道的裂缝,往往出现在顶底板最薄处布置预应力束及预应力管道距混凝土表面最近的预应力束处,在顶底板预应力束局部起弯时更易产生。

1.7 合拢段顶底板纵向裂缝

合拢段顶底板纵向裂缝,沿合拢段顶底板薄弱部位通长分布,拆模后即发现存在。这种裂缝是在合拢段没有承受过多荷载,且无拉应力存在,压应力水平也不高的情况下就已经发生。经过对合拢段施工工艺、施工过程及裂缝分布进行分析,初步判断这种裂缝是由于混凝土硬化期间由于温度及收缩作用引起。20~30 cm厚的混凝土构件可以在第一、二天升温约20℃,1 m厚的构件可升温60℃,温度的大小取决于混凝土配合比中的水泥用量。合拢段受水化热作用膨胀,受到悬臂端梁段的约束,顺桥向受压,横桥向受拉。通常浇注合拢段是在凌晨较低温时进行,如果日温差过大,且合拢段劲性骨架刚度不强,两端悬臂梁段的升温伸长也会挤压合拢段混凝土,使横桥向受拉。另外,合拢段混凝土的早期横向收缩受到悬臂端梁段的约束,在与悬臂端梁段的结合面,合拢段混凝土横桥向受拉。当横桥向拉应力高于缓慢提高的混凝土抗拉强度,则沿纵桥向产生裂缝。

1.8 0号段顶板裂缝

大跨径悬臂施工箱梁桥,0号段顶板三角加腋区预应力管道密集,钢筋密布,混凝土振捣困难,容易造成混凝土不密实。若加上预应力管道压浆不饱满,长期运营状态下0号段附近顶板容易出现裂缝,甚至破碎。在雨水渗透下,预应力束、普通钢筋容易腐蚀生锈,严重影响桥梁的耐久性。

1.9 顶板翼缘横向裂缝

悬臂施工阶段,靠悬臂端附近截面箱梁翼板端

部沿横桥向有时会出现裂缝。悬臂施工阶段,需经过一、二节段,纵向预加力锚固集中力才能均匀分布到全截面上。悬臂端附近截面翼板通常存在预应力盲区,若此时张拉横向预应力束,则翼板纵桥向受拉,沿横桥向产生裂缝。

1.10 横隔板人洞附近裂缝

横隔板人洞附近裂缝。当主墩横隔板采用多边形人洞时,沿多边形角平分线通常产生裂缝,这主要是由于多边形角隅存在应力集中现象,垂直于角点角平分线方向混凝土受拉,而垂直于角点角平分线方向没有受拉钢筋承担拉力。

2 裂缝控制措施

2.1 腹板斜向裂缝

控制腹板裂缝的主要措施是控制腹板厚度,通常支点断面腹板总厚度可取桥宽1/10左右,跨中断面腹板厚度可取40 cm左右。对于边中跨比偏大的箱梁,过渡墩墩现浇段箱梁腹板宜局部加厚到60 cm左右。腹板布置起弯束可直接减少腹板剪力,增大斜截面抗剪、抗弯承载能力,有利于斜截面裂缝控制。竖向预应力主要是使腹板呈双向受压,减小腹板斜向主拉应力值。控制腹板主拉应力值主要控制腹板厚度,不计竖向预应力,腹板主拉应力值宜控制在1.5~2.0 MPa。其次是控制竖向预应力,计及竖向预应力,腹板主拉应力控制在规范允许值 $0.4f_{tk}=1.06$ MPa。在施工方面,主要是控制挂篮的刚度及浇注工艺,避免在混凝土初凝过程中产生过大的变形,使箱梁节段间出现裂缝及裂隙,减小腹板有效抗剪面积,增大腹板剪应力。对竖向预应力束,宜采用二次张拉工艺,减少预应力损失,采用真空吸浆工艺,避免预应力失效。工程实际中还存在腹板在箱内产生的斜裂缝较箱外明显增多的现象,这主要是由于顶板温度梯度引起。顶板升温梯度,使得腹板箱内受拉,箱外受压,目前设计计算中还未计入该影响因素。

2.2 跨中正截面底板横向裂缝

跨中连续束是在超静定结构体系下布置的,由于预加力二次内力的影响,调束需反复试算,是一个繁琐、反复的工作过程。预应力布束是否优化合理,在很大程度上取决于设计人员的设计水平及设计手段。衡量预应力束布置是否合理,最直观的判断标准就是看其钢绞线用量指标是否合适。大跨径箱梁桥箱梁自重占整个外荷载的80%~90%,而悬臂节段自重占整个箱梁自重的绝大部分。按照最大悬臂节

段箱梁弯矩平衡布置悬臂静定束、使用阶段控制底板正应力布置后期连续束的原则,可使箱梁顶底板应力水平相当,钢束用量相对较省。箱梁主墩支点梁高通常在 $L/18$ 左右,为了控制跨中截面应力幅,跨中梁高通常可取 $L/45 \sim L/50$,且不宜小于 1.8 m ,以便于施工及后期运营对箱梁的养护。考虑到不同桥跨下,箱梁外荷载偏差对箱梁内力变化的敏感性不同,跨中截面预压应力储备应有所不同。桥梁跨径越大,跨中截面刚度相对较低,跨中截面内力对外荷载偏差相对敏感,跨中截面压应力储备应适当加大,以适应设计参数、设计荷载偏差对跨中截面应力的影响。通常跨径在 100 m 左右箱梁,跨中底板最小应力宜控制在 $1 \sim 2\text{ MPa}$;跨径 150 m 左右箱梁,宜控制在 3 MPa 左右;跨径 200 m 以上箱梁,宜控制在 $4 \sim 5\text{ MPa}$ 。且通过梁高控制应力幅,使跨中底板最大应力不大于支点截面附近最大应力。为了控制恒载偏差,施工过程中对箱梁截面尺寸应严格进行控制,对每个节段,在浇注混凝土前后,应对箱梁各特征尺寸应进行核查,避免截面尺寸不足或出现涨模增大自重荷载。

2.3 曲线形底板束、齿板预应力曲线段混凝土崩裂

防止曲线形底板束、齿板预应力曲线段混凝土崩裂的主要措施是设置足够数量的“ \sqcap ”形拉筋,通常可 $30 \sim 40\text{ cm}$ 设一道,按梅花形布置。沿钢束管道设加强箍筋,箍住底板上下缘纵向钢筋,或设置“U”形防崩钢筋。加强箍筋或防崩钢筋可 $15 \sim 20\text{ cm}$ 左右设一道。钢束管道定位筋曲线段可按 50 cm 一道设置。底板预应力钢束管道宜沿底板中心布置,尽可能避免距底板下表面过近。

2.4 齿板锚后开裂

锚后底板须设置纵向加强钢筋承受锚后拉力,在没有对锚头进行详细局部应力分析的情况下,通常可按锚头张力的一半来设置加强筋。避免齿板两侧剪切破坏的措施有:尽量避免多束预应力束锚固在一个齿板上,底板连续束通过平弯将齿板设置在腹板与底板交角处,齿板箍筋伸入腹板、底板内部,钩住腹板外表面、底板下表面的横向钢筋。由于悬臂静定束通常锚固在顶板与腹板交界的三角加腋区内,顶板连续束通常无法平弯到腹板与顶板交角处,顶板连续束齿板应尽可能地设置在顶板三角加腋处,避免布置顶板中央最薄处,齿板箍筋伸入顶板,钩住顶板上层横向钢筋。

2.5 锚下局部承压纵向裂缝

要防止锚下产生局部承压纵向裂缝,除加强锚下混凝土振捣保证混凝土密实外,一般可通过以下措施来满足局部承压问题。用厂方配套锚具的螺旋箍筋,且螺旋直径不小于锚垫板对角线尺寸,螺旋长度不小于螺旋直径;锚具之间螺旋筋净距不小于 10 cm ,螺旋筋距混凝土表面边缘距离控制在 $5 \sim 10\text{ cm}$ 。

2.6 沿后张法预应力管道的裂缝

要满足此类裂缝抗裂要求,应保证布束区域顶底板有足够厚度。通常顶底板厚度为 3 倍的波纹管直径。预应力管道不能过于贴近混凝土表面,管道间距不能过小,宜保持在 $18 \sim 20\text{ cm}$ 。

2.7 合拢段顶底板纵向裂缝

为了避免早期裂缝的出现,首要的措施是减少混凝土早期水化热及早期收缩。选用低初始水化热的水泥,采用良好级配的集料,减少混凝土水泥用量,掺入适当的粉煤灰或使用矿渣水泥使水化热的升温放慢。另外可考虑在合拢段中掺入适量的钢纤维以提高混凝土的早期抗拉强度,选择日温差较小的阴天,适当加强合拢段劲性骨架,也有利于减少悬臂端的温度伸长变形对合拢段的挤压。

2.8 0 号段顶板裂缝

为避免 0 号段顶板裂缝质量通病,设计上预应力束管道之间应有足够的净距,通常管道净距要保证 $\geq 5\text{ cm}$ 。在施工方面,要加强混凝土振捣,保证混凝土强度,采用真空压浆工艺,保证预应力管道压浆饱满。

2.9 顶板翼缘横向裂缝

横向预加力束、竖向预加力束宜滞后 $2 \sim 3$ 个节段后张拉,一方面待全截面受均匀预压应力后张拉横向、竖向预应力束,使箱梁翼板、腹板呈双向受压状态;另一方面,通过远离悬臂端部,减少梁端边界对横向、竖向预应力的影响。

2.10 横隔板人洞附近裂缝

采用半圆形接矩形人洞,通常可减少或消除横隔板人洞附近裂缝。

3 结语

大跨径箱梁桥产生裂缝的原因有共性问题,也存在个性差异。要想对所有裂缝问题解释其原因是非常困难的,但随着认识的不断深入,涉及桥梁结构安全、耐久性和许多桥梁共同存在的一些受力裂缝问题是可以改善的,桥梁的大面积裂缝问题也是可以避免的。