

文章编号: 0451-0712(2006)08-0255-04

中图分类号: U445.71

文献标识码: B

预应力混凝土箱梁桥 开裂原因分析与防治措施

李彦兵

(广东省公路建设有限公司 广州市 510600)

摘 要: 对预应力混凝土箱梁桥在建设和运营过程中出现的一些主要裂缝,进行了分析研究,提出了预防裂缝的措施,并介绍了这些措施的运用效果。

关键词: 混凝土桥梁; 裂缝; 预防

1 预应力混凝土桥梁的裂缝问题

据调查,几乎所有的大跨径连续刚构或连续梁桥在通车几年后均出现了明显裂缝。绝大部分的桥梁有受力裂缝。

至 2005 年底,广东省公路建设有限公司系统在珠江三角洲修建了 13 座大跨径预应力混凝土连续梁和连续刚构桥,此外还有大量的现浇连续梁桥。其中有 4 座早期的桥,在建设期或通车后都曾出现过不同形式的裂缝。在裂缝防治工作中我们发现,对于预应力混凝土连续箱梁桥的裂缝预防,国内缺少可用于指导设计和施工的较系统的量化指标和实用技术措施。

为了防止今后新建桥梁开裂,我们针对此类桥梁现存的关键技术问题,进行深入研究,于 2002 年提出了一套用于指导设计和施工的《预应力混凝土箱梁设计、施工防裂控制要点》,在项目设计和施工阶段开展专项的裂缝预防工作,共涉及 7 座大跨径连续刚构桥以及大量的普通跨径箱梁桥。从近期完成的桥梁工程来看,取得了初步成效。

2 常见的裂缝状况

通过工程观察和文献记载,混凝土箱梁桥常见裂缝有:节段间断口裂缝;翼缘板横向裂缝;齿板张拉过程中锚前锚后开裂;底板纵向裂缝;腹板、横隔板出现斜裂缝;翼缘板、腹板交界处纵向水平裂缝;跨中底板、支点顶板出现横向水平裂缝;薄壁墩根部的

竖向裂缝;各种桥型分布在各部位的收缩裂缝等。

经分析,这些裂缝产生的原因有设计方面的,有施工方面的,也有设计施工两方面共同造成的。因设计造成裂缝的原因中,有一部分是明显的设计错误或疏漏,这不必太多讨论;另一部分是设计者经验不足,对结构的分析不够细致全面,规范的不足以及对施工误差认识不足等原因。施工方面的原因除了偷工减料、操作不规范之外,还有一些是对混凝土或结构特性的认识不足,如支架变形、混凝土收缩变形、预应力束张拉不当等。针对裂缝产生的原因制定出有效的预防措施,是裂缝预防的中心工作。以下是我们针对一些在实际工程中发生过的主要类型裂缝所进行的原因分析和提出的预防对策。

3 支架变形引起的裂缝与预防

3.1 箱梁悬浇挂篮刚度不足

京珠高速公路某连续刚构桥在混凝土箱梁悬臂浇筑施工中,挂篮前端持续下挠变形值最大达 3 cm,致使已经初凝的混凝土开裂。从现场情况来看,裂缝位于新老节段交界处,宽度很大。后来对挂篮进行了加固,提高了刚度,满荷载时前端最大挠度不超过 2 cm,自此再未有此类裂缝出现。以后的施工实践表明,凡挂篮前端总变形量(包括吊带变形)在 2 cm 以内的悬浇箱梁,无一出现节段间的裂缝。

3.2 现浇支架的变形

悬臂施工的 0 号、1 号块支架或整跨现浇的支

架,在混凝土浇注过程中产生的过大变形会导致已初凝的混凝土开裂。一般表现为顶板或底板的横桥向裂缝。控制对策一是确保支架本身的刚度,设计弹性变形应小于跨径的 $1/400$;二是对混凝土采取缓凝措施,使其初凝时间长于浇注时间。在珠江三角洲地区,在软基上的支架现浇梁更容易发生裂缝。软基在荷载下的持续沉降使正在形成强度过程中的混凝土开裂,裂缝多发现在底板、腹板的横桥向以及横梁的纵桥向。控制对策:(1)采用不受地基沉降影响的移动模架或钢管桩加贝雷架支撑方案;(2)对采用满堂式支架现浇的地基进行预压处理,使其沉降速度小于 2 mm/d 时,再进行支架施工;(3)在沉降速度大的地基上,采用分段施工设湿接缝连接的方式。自 2000 年以后,我公司系统建设的桥梁中,凡采取了上述控制措施的软基上的现浇连续梁桥,全部杜绝了支架的变形裂缝。

4 收缩裂缝

4.1 裂缝特性

收缩裂缝可能发生在结构的任何部位,是施工现场最常见的一类裂缝。它虽然不会立即影响结构的安全运行,但对耐久性有很大危害。在已通车运营数年的桥梁中,一些构件已出现渗水、钢筋锈蚀、混凝土剥落现象,从而花费不少资金修补。从我们统计的情况来看,引起收缩裂缝的因素主要有混凝土特性(水灰比和水泥用量)、温度和约束条件。

混凝土收缩应力的产生来自于两个原因:一是水泥水化作用产生的水化收缩变形,二是温度降低引起的收缩变形。如受到约束,则在结构内部或表面产生拉应力。由于这两种变形的大部分都发生在混凝土强度形成的早期阶段,收缩拉应力极易超过混凝土抗拉强度而产生裂缝。

温降收缩和水化收缩的作用,往往是一致的,在实际施工中,常常是叠加作用造成裂缝,而在现场进行裂缝原因分析时是很难辨析出是温降收缩为主还是水化收缩为主。作为预防裂缝的对策,必须全面控制产生裂缝的各种因素,采取综合措施才能取得实际效果。

4.2 温度变化的控制

温降引起的收缩有两种情形。一种是混凝土在硬化早期,由于水化热大量产生导致结构的温度升高,到硬化后期水化热产生的热量小于散热量,结构的温度下降。这种温降既可引起结构的整体收缩,又

可在结构内部引起局部的收缩应力。在结构中,混凝土内部的温度高于表面温度,散热降温迟于表面;厚壁部分的温度高于薄壁部分。且散热降温也迟于薄壁部分,而这时混凝土已具备了一定的强度,于是,表面的和薄壁部分的混凝土产生收缩,同时又受到内部的和厚壁部分的混凝土的约束,产生拉应力。另一种情形是环境降温,同样也是表面比内部冷却得快,薄部位比厚部位冷却得快,在混凝土硬化的初期也易造成薄部位的收缩裂缝。这两种温降情形作用的位置和应变方向往往是叠加的,加剧了拉应力的增长。

消除温降因素的办法有两个:一是降低水泥用量,以减少水化热升温量;二是做好养护过程中的保温工作,特别是冬季施工时的保温。严密的覆盖措施是必不可少的。在冬季还有另一种情况值得注意,那就是大风降温的当天如有新拆模的混凝土结构,其开裂的几率很大。原因是施工人员惯常是在混凝土浇注后 $2\sim 3\text{ d}$ 拆模,此时正是混凝土水化热导致温度上升的高峰时期,裸露的混凝土表面遭遇急剧的降温,且表面的水分在大风中加速挥发,造成干缩效应,更加剧了收缩。我们曾在几个工地上发现过这种例子。预防的对策是密切注意天气预报,如有大风降温天气,推迟拆模,并对混凝土表面严加覆盖。实践表明,这项措施在广东地区还是有效的。

4.3 水灰比的控制

工程中较普遍的是局部水灰比过大引起的局部收缩裂缝,多出现在每次浇注的混凝土顶面,如桥面铺装层或整体化层、梁和柱的顶部,这是混凝土振捣后浮浆集中区域。由于水灰比过大的情况一般只是局部出现且与养生有关,因而裂缝形态一般较浅较短,无明显规律。提高混凝土振捣质量和防止施工水灰比失控是预防此类裂缝的主要措施。

有研究表明,对于质量均匀的混凝土来说,塑性收缩的量并不完全随水灰比的增加而加大。文献[2]认为,混凝土塑性收缩面积最大值(峰值)对应的水灰比为 0.5 。在实际施工中,正常的混凝土配合比的水灰比是小于 0.5 的。我们在指导施工现场配合比设计时,为了减少收缩量,要求水灰比应控制在 $0.35\sim 0.45$ 之间,并采取掺减水剂等措施尽量将其往低值靠。

4.4 水泥用量的控制

较有规律的收缩裂缝往往更多的是由于水泥用量偏大引起。这种收缩是整体性的,因此经常造成有

规律的长裂缝。水泥用量偏大会引起两种不利后果:一是混凝土在强度增长过程中的总收缩量增加;二是导致混凝土水化热增加,混凝土的温度会因此出现大的增幅后又有大的降幅。两种作用叠加后产生的收缩应变是很可观的,如果这种变形受到约束,收缩应力就产生了。

近年来,大跨径混凝土桥的混凝土标号有日益提高的趋势,如箱梁混凝土标号达到 C55、C60,桥面铺装和调平层达到 C50 等。很多情况下,提高混凝土设计标号只是设计人员出于加大富余量的考虑。提高设计强度以后,按照有关规范的规定,施工单位的生产配合比必须有更多的强度富余量才能满足质量验收标准。鉴于国内混凝土用碎石的质量不高,级配不稳定,要获得高标号混凝土,施工单位自然会采用高标号水泥并加大用量,而水泥标号越高,用量越大,会导致水化热和收缩率的增大。这一点常被设计者忽视。桥梁施工规范规定混凝土中水泥用量不超过 500 kg/m^3 。从我们在大量桥梁的施工实践来看,这个指标定得偏高。中江高速公路某标段的部分预制小箱梁在初期出现了翼板根部的水平缝,我们从其混凝土配合比中水泥用量为 496 kg/m^3 这一情况,初步估计裂缝是由混凝土收缩引起。由于腹板混凝土收缩而翼板部分混凝土向下变形收缩受到模板限制而开裂。因此要求施工单位优化混凝土配合比,减少水泥用量,控制水灰比。调整后的水泥用量降至 482 kg/m^3 ,此后生产的箱梁基本消除了这种水平裂缝。同时期其他标段的箱梁,混凝土中水泥用量均控制在 485 kg/m^3 以下,基本没有出现同类裂缝。因此,我们将 490 kg/m^3 的水泥用量作为不可突破的底线,并要求施工单位尽可能降低水泥用量。在另一项目广珠北段的观音沙大桥,施工单位在设计连续刚构箱梁混凝土的配合比时,没有采用加大水泥用量的办法,而是采用了沥青混凝土骨料的标准加工的碎石,将水泥用量降至 440 kg/m^3 ,既确保了混凝土强度又成功地控制了收缩裂缝。由于用于沥青混凝土骨料的碎石成本较高,如要大量推广则需要各方面的支持。

4.5 改善约束条件预防收缩裂缝

如果混凝土构件无约束,那么无论是干缩还是温差变形都不会导致裂缝。改善约束条件是消除收缩的又一重要途径。比较典型的例子是薄壁墩底部的竖向裂缝。如江中高速公路的西江大桥主墩底部的竖向缝,其产生的原因是承台混凝土与墩身混

土浇注时间间隔过长,37 号墩承台与第一节墩身的龄期差达 38 d。按照文献[1]提供的数据,此时承台混凝土已完成 45% 的收缩量,收缩速率呈下降趋势,而新浇的墩身混凝土第一周的收缩量可完成 20%,收缩速率是此时承台的数倍,刚度大的承台约束了墩身的收缩,从而产生裂缝。因此我们提出了墩身混凝土与承台混凝土的浇注时间不超过 14 d 的建议,尽量减少两次浇注的混凝土间的收缩差异。西江大桥 34 号墩第一节墩身与承台混凝土龄期差 20 d,并在墩身底部增设抗裂钢筋网,也仅仅使裂缝的程度有所减弱,不能消除。可见根本的预防方法还是缩短两次混凝土浇注的时间差和降低水泥用量。从苏通大桥和其他桥梁的经验来看,把墩身与承台混凝土龄期差控制在 5~7 d 是可以办得到的。这项措施同样适用于箱梁分次浇注的情况。

广州绕城公路西二环北江大桥十三标和十二标在薄壁墩施工时采取了另一个办法,就是将底部第一节墩身和承台混凝土一次浇注完成,这样第一节墩身根部不产生收缩裂缝,而第二节墩身和第一节墩身之间由于刚度差异小,对混凝土收缩的约束大大降低,也就降低了裂缝产生的几率。这是改善约束条件的另一种方法。

改善约束条件的第三种方法是减少约束面。如果连续箱梁一联几跨一次浇注,其长度达 100 多 m,箱梁在纵桥向收缩可能导致横桥裂缝的产生。因为,箱梁纵向的长度较大,收缩总量大,如果受到约束就有开裂的可能。对收缩的约束来自模板、桥墩。如果箱梁是分层浇注,则下层已浇注成型的混凝土对上层新浇混凝土的收缩也产生约束。在这样情况下,将箱梁纵向分段,每段之间设后浇湿接缝,这样减少了每段混凝土收缩的总量,也减少了约束面。理论分析和施工经验表明,每段混凝土长度控制在 50 m 以内就可有效防止这类裂缝。广珠西线高速公路石洲互通主线桥箱梁第一次整联浇注,顶板出现了横向裂缝;后续各联施工时,在梁上部增设了湿接缝,避免了此类裂缝的产生。

5 预应力系统引起的裂缝

5.1 竖向预应力的问题

竖向预应力是克服箱梁腹板主拉应力的重要手段。但各地的施工实践反映竖向预应力钢筋的张拉锚固工艺存在很大缺陷,锚垫板与预应力钢筋不垂直、锚固螺母拧紧的力度因无标准而随意性很大,锚固后

造成较大的变形,引起预应力损失。而箱梁竖向预应力筋都较短,张拉伸长量小,2~3 mm 的变形占伸长量的比例较大,因而造成很大的竖向预应力损失。在我们实测的数据中,最大的预应力损失超过 50%。

一方面是竖向预应力损失大,另一方面在设计上往往采用偏紧的腹板断面,应力控制没有富余量,从而造成混凝土箱梁出现大量腹板斜裂缝的现象。

在新规范实施前,我们在设计控制要点中规定:不计竖向预应力时,腹板主拉应力应满足规范容许值。在施工方面,推行二次张拉工艺,即第一次张拉到设计拉力并锚固,7 d 后再进行第二次张拉。此外,还尝试用扭力扳手确定螺母的拧紧力。据测试,如果管理得当,这项措施可以使预应力损失不超过 10%。

5.2 纵向预应力引起的问题

通过对存在裂缝的大跨径预应力混凝土桥梁的分析,我们认识到,跨径越大,箱梁跨中截面的应力对徐变、温度、施工(恒载)误差等因素的敏感性越强。将普通跨径梁的应力控制标准用到大跨径箱梁上,难免出现跨中下挠过大、跨中开裂的问题。解决的办法是根据跨径的大小采用不同的跨中底板压应力储备值,同时优化预应力束的布置。对跨中截面进行应力控制时,应对上述影响因素进行敏感性分析,考虑荷载作用的偏差,甚至要考虑到不同计算机软件间的差异。通过对几座不同跨径实桥的分析,初步提出了跨中底板拉应力储备指标,如跨径 100 m 左右宜控制在 1~2 MPa,200m 以上的跨径宜控制在 4~5 MPa 等。

5.3 横向预应力束张拉引起的裂缝

在进行横向预应力束张拉时,箱梁悬臂板相应部分有向上的变形,如果这种变形过大,会在张拉点附近产生横桥向裂缝。我们对此采取的预防措施是至少滞后两个节段张拉横向预应力束。这样做有两个好处:其一是此时混凝土已接近 28 d 龄期强度,抗裂能力比龄期不足者强;其二是由于连续梁与连续刚构箱梁在悬臂施工阶段,当前块的纵向预应力在张拉后要从锚固点向后方以一定角度扩散才能覆盖全断面,滞后两节段张拉横向预应力束,可以借助纵向预应力来加强抗裂能力。

6 控制预应力连续梁桥的温度应力

桥梁的运营阶段,在大跨径预应力混凝土连续梁桥等超静定结构体系中,温度应力是产生裂缝的一个重要原因。在原桥规(JTJ 023—85)中只对 T 梁

规定了日照温度梯度模式(桥面板温度变化 5 ℃)及相应温度应力计算,而对箱梁未作规定。事实上,许多研究和实测表明,对预应力混凝土连续箱梁按桥面板上升 5 ℃计算温度应力是偏于不安全的,容易引起较大的跨中底板拉应力或主拉应力。在新版规范颁布前,部分有经验的设计人员参照英国规范 BS5400 中相应的规定进行设计。我们在设计控制要点中对设计单位也提出了这样的要求。

7 沿纵向预应力管道的裂缝

此类裂缝有两种情况,一种是劈裂缝,一种是弯曲束张拉产生的径向力使混凝土崩裂。第一种裂缝的原因一般是设计上将预应力锚头布置在混凝土板较薄的位置,再加上施工误差,使预应力波纹管的某一侧混凝土过薄,预应力束张拉后造成劈裂。预防措施是合理布置预应力束,如底板束尽量靠近腹板或改善截面,让管道两侧在一定的施工误差的情况下仍有足够的混凝土层。从统计情况来看,板的厚度在波纹管直径 3 倍以上时,一般不会出现这种劈裂缝。至于径向力崩裂,只要在混凝土板内的上下层钢筋之间设置足够的抗拉锚筋,就可以避免。但我们在工地发现,部分施工人员对这种钢筋的作用认识不足,甚至擅自减少其数量,这是一个危险的行为,是监理现场检查决不可忽视的问题。

8 保护层不足引起的裂缝

在施工现场,我们发现混凝土中钢筋的保护层不足的现象较普遍。如果保护层严重不足或水灰比过大,施工阶段就会产生裂缝。也有可能随着混凝土的缓慢收缩,竣工后数年才出现裂缝。这种裂缝如暴露在雨水中或邻近海边,往往伴随着钢筋锈蚀而加速混凝土保护层的崩裂。我们处理过两种较典型的此类裂缝。一种裂缝在箱梁的顶面沿着表层钢筋的位置分布,和钢筋的位置完全一致。这是由于顶层钢筋较粗且保护层薄,混凝土收缩时在钢筋顶部产生集中应力造成,采取的预防措施是加强养生、严格控制混凝土的水灰比、使用细而密的表层钢筋(不超过 $\phi 16$)并增加顶面保护层厚度。现场观察表明,水灰比控制较好且保护层充分的构件较少出现沿钢筋的收缩裂缝。此外,适当增加箱梁顶面钢筋保护层厚度还有利于表面混凝土的抹面整平,以达到合格的平整度。另一种裂缝是在结构的原保护层内增加防裂钢筋网造成的,裂缝的分布与防裂网的钢筋位置一致。

文章编号: 0451-0712(2006)08-0259-03

中图分类号: U445.71

文献标识码: B

北江大桥薄壁墩身裂缝的预防与控制

黄尚林

(珠江三角洲环形高速公路西环段(南段)筹建处 广州市 510600)

摘 要: 在桥梁的施工中,大体积薄壁高墩的质量极难控制,特别是空心薄壁墩,其中最常见的一个质量问题就是裂缝。结合空心薄壁墩的设计和施工情况,对墩身产生裂缝的种类和原因进行了分析,提出了几点有针对性的预防控制措施。

关键词: 墩身; 裂缝; 预防; 控制

1 工程简介

广州绕城公路九江~小塘段北江大桥跨北河堤主桥为 $65\text{ m}+110\text{ m}+65\text{ m}$ 的预应力混凝土连续刚构桥,墩身为双室箱形空心薄壁墩,采用 C40 混凝土。每幅桥墩身横向宽为 13.25 m ,壁厚为 60 cm ;纵向长 2.50 m ,壁厚 70 cm 。

2 墩身裂缝的类型

(1)由荷载效应(如弯矩、剪力、扭矩及拉力等)引起的裂缝。由荷载引起的裂缝一般是与受力钢筋以一定角度相交的横向裂缝,其中由于局部粘结应力过大引起的沿钢筋长度出现的粘结裂缝,也是荷载引起的一种裂缝,这种裂缝通常是针脚状及劈裂

裂缝。

(2)由外加变形或约束变形引起的裂缝。外加变形或约束变形一般是混凝土收缩和温度差引起的,约束变形越大,裂缝宽度也越大。

(3)钢筋锈蚀裂缝。由于保护层混凝土碳化或冬季施工中掺氯盐(是一种混凝土促凝、早强剂)过多导致钢筋锈蚀,锈蚀产物的体积比钢筋被侵蚀的体积大 $2\sim 3$ 倍,这种体积膨胀使外围混凝土产生相当大的拉应力,引起混凝土开裂,甚至保护层混凝土剥落。钢筋锈蚀裂缝是沿钢筋长度方向劈裂的纵向裂缝。

3 产生裂缝的原因及影响裂缝宽度的因素

3.1 裂缝产生原因

收稿日期:2006-07-11

增加防裂网本来是要防止裂缝的,由于钢筋网仅仅是简单地放在保护层中,钢筋网本身的保护层很薄,往往仅是一层薄的砂浆,又缺少粗粒料,出现裂缝是在所难免的。因此,若要在结构中放置防裂网,必须在设计阶段就要确定,并且保证防裂网有 3 cm 以上的保护层。那些在竣工通车后数年才出现的收缩裂缝多数是局部的,与钢筋位置对应,然后很快就出现锈迹和混凝土的崩裂。这些病害提醒我们,施工阶段必须仔细检查每个细部的钢筋保护层,确保符合规范要求。

9 结语

近年来,通过数十公里桥梁防裂工作的实践与

研究,上述预防措施取得了明显成效,常见的一些主要类型的裂缝基本得到控制。但也有施工单位对控制措施执行不力而导致裂缝产生的例子。可见有了技术措施还需要施工和监理的认真贯彻,才能真正实现对裂缝的控制,技术和管理是贯穿每一个项目的永恒主题。混凝土桥梁裂缝的预防更是需要技术和管理方面的持续努力才能成功。

参考文献:

- [1] 牛铁汉. 薄壁墩台裂缝研究[A]. 中国公路学会桥梁和结构工程学会 1999 年桥梁学术讨论会论文集[C].
- [2] 杨长辉,等. 水灰比对混凝土塑性收缩裂缝的影响[Z]. 重庆市混凝土协会,2004.