

预制箱梁端部开裂分析研究与预防方法

杨少林

(中交一航局第二工程有限公司)

摘 要:为解决箱梁预制过程中梁体两端混凝土容易开裂的问题,采用优化制梁台座结构设计的方法,防止箱梁张拉过程中两端应力集中;采用全面控制拆模顺序、时间、工具和成品保护的标准化工艺,防止梁体端部受外力破坏,有效避免了箱梁两端开裂现象,明确了预应力箱梁在预制过程中由于张拉和拆模等因素容易造成端部混凝土开裂的具体原因和预防方法,保证了梁体完整性和表观质量,提高了预制箱梁流水作业施工效率,极大地降低了人工修补成本。

关键词: 预应力混凝土箱梁;张拉;模板拆除;预防开裂

0 引言

近年来,高速公路建设中采用的桥梁结构形式日趋多样化,其中预应力混凝土箱梁的结构形式也由于工程特点和使用需求的差异而不尽相同。在制梁台座上预制的预应力混凝土箱梁,在封端之前的张拉过程中,梁端薄弱部位受台座反力容易在靠近横隔板部位产生竖向开裂;同时在端头模板拆除过程中操作不当也会导致梁端薄弱部位产生明显裂纹,从而严重影响梁体质量。目前,工程中出现这种质量缺陷后,普遍采用后期修补或凿除开裂部位重新浇筑的方式来降低对梁体结构的影响,而只有根据设计特点分析导致预制箱梁端部混凝土开裂的具体原因并提前采取有效措施进行预防,才能从根本上避免这种质量缺陷的出现,保证梁体的质量和外观。

1 工程概况

玉林(省界)至湛江高速公路 K58+800—K86+500 段主线桥梁共 14 座,总体预制箱梁数量为 1 965 榀,其中 20 m 箱梁 132 榀;23 m 箱梁 17 榀;25 m 箱梁 1 691 榀;30 m 箱梁 62 榀;40 m 箱梁 63 榀。

预制主梁、封端混凝土均采用 C50,主梁混凝土连续浇筑一次成型。预应力钢绞线弹性模量为 $E_p=1.95 \times 10^5$ MPa,支座预埋钢板采用 Q235NH 钢材。

箱梁封端前,端头两侧薄壁厚度为 4 cm,底部薄壁厚度为 3 cm,预制箱梁梁端易开裂薄壁部位如图 1 所示。

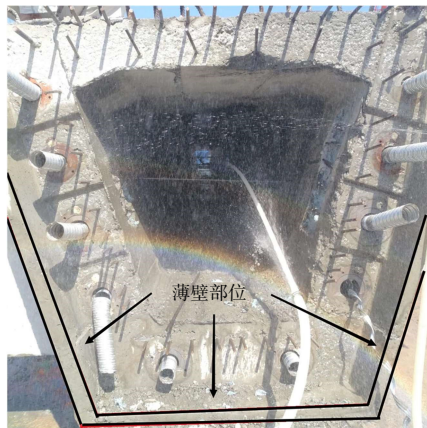


图 1 预制箱梁梁端易开裂薄壁部位

2 制梁台座结构设计

2.1 设计情况

2.1.1 台座基础

两端扩大基础尺寸为 1.5 m×2 m×0.5 m,换填 40 cm 厚的 5~20 cm 碎石并人工夯实;台座中间部分开挖 1.5 m 宽、0.1 m 深的基槽,扩大基础顶部和底部铺设纵横间距为 10 cm 的 C12 钢筋网,扩大基础用 C30 混凝土浇筑。扩大基础整平后浇筑宽 150 cm、深 10 cm 的混凝土条形基础。

2.1.2 制梁台座

制梁台座宽度为 89.9 cm,高度为 30 cm,用 C30 混凝土浇筑,在台座顶面两侧的槽钢上铺焊 6 mm 厚钢板,并确保钢板平整、光滑。台座两端对应支座预埋钢板位置预留 6 cm 深的凹槽,底部铺细沙,厚度 4.5 cm,用以调节支座预埋钢板坡度,使预埋钢板满足设计要求露出梁底 15 mm。

凹槽与预埋钢板等宽,沿台座纵向长度比支座预埋钢板长 8 cm,安装预埋钢板后用 2 cm 厚挤塑板填塞空隙,如图 2 所示,便于调节支座预埋钢板坡度,避免张拉时梁体位移导致预埋钢板周边的梁底面挤压破裂。



图 2 支座预埋钢板预留凹槽并用挤塑板填充

为了防止张拉后梁体开裂及梁底不平整,在建造制梁台座时根据设计反拱度值设置了二次抛物线反拱。

2.2 箱梁预制过程中端部开裂状态

1) 预制箱梁浇筑后,端头模板拆除过程中,梁端混凝土尤其薄壁位置开裂现象频发,而且在拆模时间、使用工具、拆模顺序不同情况下,梁端混凝土开裂程度明显不同。

2) 在预制梁张拉过程中,梁端薄弱部位从底部开始开裂并沿梁端两侧薄壁往上发育,有的形成竖向贯通裂纹,且张拉后随着时间推移,裂纹持续发育,如图 3 所示。整体观察发现梁底只有两端底部作用在台座上,梁底中部与制梁台座分离,梁底两端呈明显受力集中状态,而吊运至存梁台座并按设计要求支垫后,裂纹均不再发育。



图 3 模板拆除不当和张拉引起的梁端开裂

3 预制箱梁端部开裂原因分析

经查询试验资料,箱梁混凝土原材均合格,箱梁同条件养护混凝土试块的强度符合设计及规范要求;现场由专人盯控箱梁混凝土浇筑、振捣过程,保证振捣规范、充分;现场凿除箱梁端部开裂的混凝土未发现空洞,排除了以上可能会导致的箱梁端部开裂的因素。同时制梁台座钢板顶面预留反拱保证了梁体张拉后的平顺性。在梁体没有进行张拉前梁体受力时,梁体底板受力均匀,所以从结构受力上分析不会出现因受力不均而出现混凝土开裂现象。

根据以上分析及现场观测,发现造成预制箱梁端部混凝土开裂主要有以下 2 种原因:

1) 预制箱梁模板拆除方法不当导致梁端开裂,主要有以下情形:

① 预制箱梁端头模板拆除过早,梁端混凝土强度尚未达到拆模条件即进行拆模,拆模过程中大力敲击模板时,对梁端薄壁部位产生的作用力和振动导致混凝土开裂。

② 箱梁两侧钢模板先于端头模板拆除,导致梁端两侧薄壁部分在拆除端头模板时只受到内侧来自端头模板的挤压力,而无外侧模板的作用力,容易引起两侧薄壁开裂。

③ 箱梁端头模板主要由 6 部分连接组合而成,由于有梁体封端的多根预留筋须从端头模板上对应孔位穿出,因此增加了端头模板拆除时受到的阻力,在拆除端头模板时如果未按照先拆上部再拆两侧最后拆底部的分拆顺序,而是采用蛮力将封端模板整体从顶部直接敲击、硬撬地一次性拆除,进一步增加了封端模板整体受到的来自外露预留筋和外侧梁体薄壁的阻力,极大地增加了拆模的难度,也使梁体端头两侧和底部的薄壁部分受到端头模板的挤压和振动,很容易导致梁端底部破损、两侧开裂和锚穴处掉角。

2) 箱梁在张拉过程中受力变化导致梁端混凝土开裂。

由于梁体在张拉过程中受预应力作用会在梁底中部起拱,底部两端支座预埋钢板作为支点在受力过程中会发生位移,引起箱梁两端薄弱部位向下挤压制梁台座而承受越来越大的台座反力,造成端部薄壁集中受力^[4](见图 4)。梁体端部钢筋保护层厚度为 30 mm,应力集中在此处且梁体压缩位移,从而导致混凝土在保护层与钢筋结合处

开裂。且张拉后在预应力持续作用下, 应力集中越来越大, 梁端混凝土开裂情况也不断加剧。

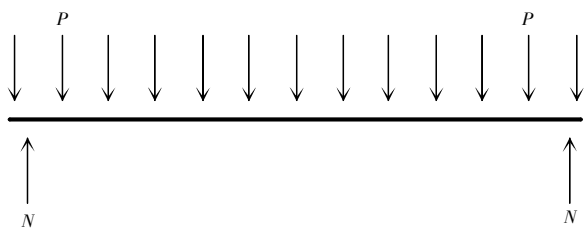


图4 梁体张拉造成端部集中受力示意图

4 箱梁端部混凝土开裂预防方法

根据预制箱梁在制梁台座上发生端部混凝土开裂的原因分析, 本文针对开裂采取了合理拆除模板和改造制梁台座 2 种预防措施。

4.1 箱梁端头模板拆除过程控制

1) 每次安装端头模板前将模板与混凝土接触面打磨光滑后涂满脱模剂^[2], 防止拆模时混凝土粘模而导致混凝土表层脱落; 经常对端头模板的尺寸和变形情况进行复测检查, 发现薄壁部位变形或宽度变窄时立即校正, 防止浇筑后箱梁端头薄壁部位变薄后更容易开裂。

2) 严格控制模板拆除时间和顺序, 箱梁两侧钢模板应在混凝土强度达到设计强度标准值 75% 以上时方可拆除^[3], 端头模板必须先于侧模板拆除, 且要按照先拆上部再拆两侧最后拆底部的顺序分 6 步进行拆除。

3) 端头模板拆除前先将穿过模板预留孔的外露钢筋矫正, 使之与混凝土面大致垂直且尽量不接触模板, 同时通过在模板上焊接拉钩使模板尽量按照垂直于混凝土面的方向先轻敲松动再慢慢拆除, 避免模板倾斜拆除时与外露钢筋之间产生过大的摩擦力而导致拆模困难和大力拆模引起的梁端破损。

4.2 制梁台座优化改造

为避免梁体在张拉过程中因起拱和位移引起端部集中受力而导致的端头混凝土开裂, 需要采取措施使箱梁端头集中受力部位下方的台座钢板能够在受到梁体挤压后随之向下移动或不与梁体接触, 从而极大地降低台座对梁端的反作用力, 避免梁端开裂。以下为 2 种经过实践并取得理想效果的台座改造方式:

1) 将箱梁端头因张拉而导致集中受力部位下方的台座钢板横向切断, 然后凿除 6 cm 厚台座混凝土并用细砂铺底找平, 再嵌入 2 cm 厚挤塑

板, 铺平后盖上钢板并使钢板顶面与台座面齐平。钢板切缝处用透明胶带密封, 防止浇筑混凝土过程中漏浆。经常检查切断钢板顶面标高、挤塑板压缩变形情况和钢板下渗入混凝土等杂质情况, 及时清理钢板底、更换挤塑板, 保证改造后的台座始终满足箱梁张拉时需要向下移动的位移量, 从而有效防止梁端混凝土开裂。

2) 将箱梁端头因张拉而导致集中受力的部位下方的台座全部凿除, 改用焊制的有足够强度的钢盒并在其下方用顶托支撑、调节的结构来代替混凝土台座, 箱梁浇筑混凝土前保证钢盒顶面与原台座顶齐平, 端头模板拆除后及时对梁体进行洒水覆盖养护, 待浇筑后混凝土强度达到设计强度的 85% 以上^[4]且在张拉前, 通过调节顶托来降低钢盒使之与梁底脱离, 从而有效地避免了梁端底部因张拉而产生的应力集中导致的混凝土开裂。

4.3 预应力施工过程控制

1) 及时检测预制梁浇筑后尤其梁端部位混凝土强度发展情况, 严格控制开始张拉时间, 确保达到设计强度要求后方可允许张拉。

2) 严格按照设计张拉顺序和规范要求控制张拉应力进行分级张拉, 并实时观察梁底起拱情况和梁端底部受力情况, 如发现梁端底部受力异常, 立即采取清理预制支座钢板外侧泡沫板(如图 5 所示)或降低钢盒(如图 6 所示), 防止梁底两端受力集中, 从而预防两端混凝土开裂。

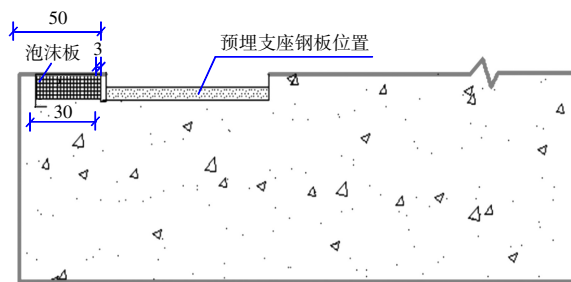


图5 梁端应力集中部位下垫挤塑板(cm)

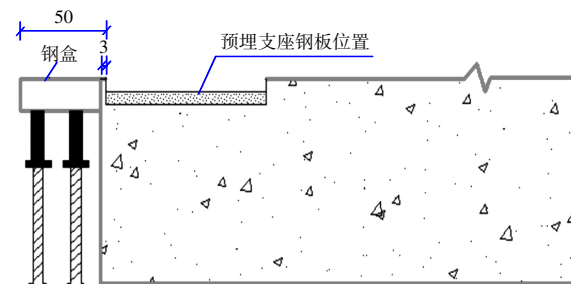


图6 梁端台座采用顶托支撑可调节高度的钢盒(cm)

3) 为预防预制梁在张拉预应力持续作用下梁底不断起拱可能导致两端应力集中, 张拉后按设计要求及时压浆, 并持续进行自动喷淋保湿养护, 确保梁体混凝土强度发展, 以保证能及时将预制箱梁转运至存梁台座。

4) 预制箱梁在存梁台座上存放时, 梁底与台座接触部位用方木或橡胶垫进行支垫隔离, 防止梁体与台座混凝土硬接触, 梁底支垫位置按设计要求控制, 避免支点距离箱梁两端太近导致梁底非承重部位超负荷引起端部混凝土开裂, 同时控制存梁高度不超过2层。

5 预防措施的效果

1) 通过严格控制箱梁端头模板安装质量和拆模时间、顺序、方向, 箱梁端头外观质量有了很大改善, 保证了梁端两侧和底部的薄壁部位在张拉前不会因拆模不当而出现开裂和缺棱掉角, 进而避免了开裂后需要修补而造成的人力、物力消耗, 提高了箱梁预制效率。

2) 通过合理地进行模板拆除, 提高了模板的使用寿命和周转效率, 降低了模板置换频率和模板更换期间对工期的影响。

3) 现场监测数据表明, 箱梁端头钢板下垫挤塑板后, 张拉前梁端应力集中部位的钢板无明显下降, 但在张拉过程中测得钢板下降明显, 下降值在5~13 mm, 挤塑板更换周期为10~16 d, 制梁台座上存梁期间梁端未见开裂。

4) 通过用钢盒和顶托组合结构在张拉前降低钢盒, 使梁端底部悬空, 张拉过程和张拉后未见梁端开裂。

5) 梁端混凝土不出现破碎、开裂后, 进行封端施工时, 封端模板容易与梁端混凝土面贴合, 再将封端模板与梁端接触面之间贴上可压缩止浆条, 避免封端浇筑混凝土过程中出现漏浆现象, 封端后外观质量较好。

6 结语

1) 箱梁端头模板拆除不当是导致端部混凝土开裂的主要原因之一, 同时拆模不当还会导致一系列问题, 严重影响后续施工, 通过制定合理的模板拆除方法并严格执行, 有效解决了梁端外观质量差和张拉前混凝土开裂的问题。

2) 在制梁台座建造过程中, 应充分考虑预制箱梁张拉引起端部应力集中将会导致端部混凝土开裂的情况, 否则张拉也是导致梁端混凝土开裂的主要原因之一, 通过将梁端台座钢板切断并在下方铺设挤塑板或将梁端混凝土台座改成钢盒下用顶托支撑调节的结构, 均可达到避免梁端因张拉而产生开裂的效果。

3) 在封端前预制箱梁端头的薄壁部位需要重点保护, 梁端开裂应以预防为主, 开裂后的修补措施很难达到设计效果, 而且会严重影响封端施工效率和效果。

参考文献:

- [1] 乔庆军, 钟福平. 箱梁端部混凝土开裂及防治研究[J]. 山西建筑, 2011, 37(26): 186-187.
- [2] 广东省交通运输厅. 广东省高速公路建设标准化管理指南[R]. 广州: 广东省交通运输厅, 2010.
- [3] JTG/T 3650—2020, 公路桥涵施工技术规范[S].
- [4] JGJ 369—2016, 预应力混凝土结构设计规范[S].