

# 钢混叠合梁斜拉桥桥面板抗裂措施分析

吴德军<sup>1</sup> 李 强<sup>2</sup>

中设工程咨询(重庆)股份有限公司 重庆 400025

**摘要:** 钢混叠合梁作为近年来发展较快的结构型式,与传统结构相比,它充分利用了钢结构抗拉性能优越和混凝土结构抗压性能好的特点,能有效的减少结构截面尺寸,降低结构自重和造价。本文结合水土嘉陵江大桥施工实践为案例,对叠合梁常见的桥面板防开裂措施的研究分析。

**关键词:** 叠合梁;斜拉桥;桥面板抗裂

## Analysis of crack resistance measures of cable-stayed bridge deck

Wudejun<sup>1</sup>, Li Qiang<sup>2</sup>

China design engineering consulting (Chongqing) Co., Ltd. Chongqing, 400025

**Abstract:** Steel composite beam as a rapid development of structural type in recent years, compared with the traditional structure, it makes full use of the steel structure tensile performance and concrete structure compression resistance characteristics, can effectively reduce the structure section size, reduce the structure weight and cost. This paper combines the construction practice of Jialing River bridge as a case.

**Key words:** Overlapping beam; Cable-stayed bridge; Bridge deck plate crack resistance

### 1 工程概况

主桥跨径为260+388+128m,桥面宽29m,双向六车道,设计为高低塔双索面钢-混叠合梁斜拉桥。钢主梁采用纵横梁体系,钢主梁纵梁长度为6-12米,横梁长度13-15米,高3米。混凝土桥面板共10种规格,共474块,其中标准板纵向尺寸为3.53m,板厚0.25-0.4m,单块重量15.255~41.01t。预制桥面板采用C60混凝土。桥面板支承在工字形钢梁的上翼缘和横梁上翼缘,为纵向单向板,预制板纵向边缘设置深4cm的剪切键。

### 2 叠合梁斜拉桥受力原理

钢混叠合梁由钢梁和混凝土桥面板形成的组合结构,在混凝土板和钢梁之间设置剪力键以保证在使用荷载下混凝土板与钢梁共同工作<sup>[1]</sup>。

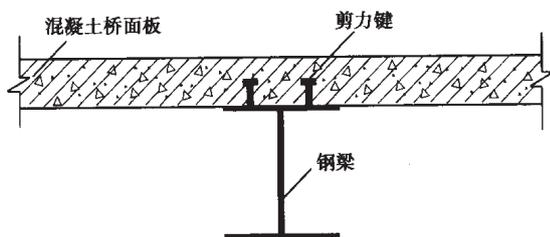


图1 钢-混叠合梁构造示意图

本项目钢梁的顶板设置抗剪连接件并深入混凝土桥面板形成整体,如图1所示,剪力钉可阻止混凝土桥面板与钢梁

之间产生相对滑移,使二者的弯曲变形协调,共同承担荷载作用,形成钢-混叠合梁。在荷载作用下,叠合梁截面仅有一个中和轴,桥面板主要承受压力,钢梁主要承受拉力,如图2所示,充分发挥了两种材料的优点。

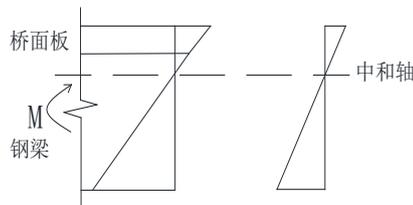


图2 叠合梁截面应力、应变分布图

所以,在分析叠合梁斜拉桥合理成桥状态时需考虑钢主梁和混凝土桥面板作为联合截面参与结构受力,二者内力分配情况对主梁受力是否最优影响较大。

### 3 桥面板开裂原因分析

由于混凝土桥面板厚度较薄,与钢梁锚固处应力状态复杂,且受到原材料性能、施工工序影响,叠合梁桥面板及湿接缝极易出现开裂现象。开裂原因还包括斜拉索锚固点附近应力分布不均匀<sup>[2]</sup>、桥面板收缩徐变过大、预制板存放时间不足等。此外,由于叠合梁在施工过程中不可避免地要经历拉索张拉、吊机移动、吊装预制板等结构力学变化明显的阶段,已经与钢主梁结合的混凝土桥面板应力变幅大,桥面板拉应力控制不当易造成湿接缝开裂。

## 4 预制桥面板的抗裂措施

### 4.1 混凝土配合比优化

选用优质的原材料, 特别注重粗集料、细集料和外加剂的选择, 有条件的优先采用天然中粗砂。本项目由于当地无中砂资源, 但是采用现场科研试验的方式选定了满足性能要求的机制砂, 为减少混凝土用水量, 降低收缩, 本项目采用聚羧酸高性能减水剂。

### 4.2 添加抗裂增韧材料

通常需要在预制桥面板中添加抗裂增韧材料来提高桥面板的抗裂性能, 纤维对混凝土性能的影响表现在以下几个方面<sup>[3]</sup>:

4.2.1 防裂作用 纤维在混凝土拌和物中呈空间乱向分散, 有利于减少混凝土拌和物的分层离析、沉降收缩等, 从而减少混凝土早期开裂。

4.2.2 阻裂作用 由于化学收缩、塑性收缩、沉降收缩、自收缩、温度变形、干燥收缩等因素的影响, 混凝土内部存在原始缺陷, 在内、外应力的诱导下产生裂缝的发生和发展。纤维在混凝土中的均匀分布, 有利于阻止裂缝尖端的扩展, 从而起到阻裂的作用。

4.2.3 增韧作用 混凝土是准脆性材料, 抗压性能好而抗拉性能较差。当混凝土内部出现裂缝时, 由于纤维的桥接作用, 可以将拉应力进行重新分配。纤维对混凝土的增韧作用取决于纤维与混凝土的握裹力、纤维自身的强度和弹性模量以及纤维的掺量。为提高纤维混凝土韧性, 在纤维均匀分散和有效握裹的前提下, 纤维的长径比应大于临界长径比, 以保证混凝土对纤维的握裹力, 保证裂缝产生后纤维不被拔出而起到有效传力的作用;

4.2.4 本项目通过对比试验对多种纤维材料进行了研究分析, 得出结论如下:

(1) 桥面板混凝土增加合成纤维对混凝土抗裂性能有提升作用, 劈裂抗拉强度可提高10%以上。

(2) 纤维对混凝土性能的改善与提升取决于纤维的强度、模量、长径比、掺量, 在保证均匀分散的前提下, 选用高模量、较大长径比纤维, 抗裂增韧作用更好。

4.2.5 本项目综合考虑技术经济性后选用PVA纤维作为增韧材料, 纤维的掺入总体来说对混凝土抗压强度影响较小, 混凝土收缩影响较小, 对抗折强度及劈裂抗拉强度有提升作用, 但纤维的掺入对混凝土拌和物的工作性有一定的影响, 需加强混凝土施工的质量控制。

### 4.3 控制混凝土塌落度, 减少收缩

引起混凝土收缩的主要内因包括单方用水量、胶凝材料的用量和组成、集浆体积比等。控制混凝土拌和物坍落度, 本质上是控制单方混凝土用水量。本项目采用高效减水剂, 控制集料的粒形、级配、含泥量, 通过配合比优化设计降低胶骨比, 增加混凝土的工作性能。混凝土浇筑过程中尽量缩短时间, 做好防风、防晒措施, 以80-100mm的塌落度(上

限不宜超过120mm)完成混凝土入模、振捣工作。

### 4.4 延长预制桥面板的存梁时间

本项目桥面板在预制厂制造完成后, 需放置至少六个月, 待其完成大部分收缩徐变后方可上桥。

## 5 现浇湿接缝的防开裂措施

### 5.1 选择合适的膨胀剂和粗集料

由于桥面板存放时间较长, 混凝土非荷载作用下的收缩大部分已在存放期无约束条件下完成, 现浇缝混凝土与桥面板混凝土的收缩存在时间差, 现浇缝混凝土存在收缩被约束带来的开裂风险。因此, 对于现浇缝混凝土材料设计, 需要采用补偿收缩技术线路, 选择膨胀效能好、膨胀率回落值低的膨胀剂, 同时严格控制粗集料的粒径, 本项目选择控制在19mm以内。

### 5.2 优化节段安装工序

根据湿接缝施工工序不同, 分为桥面板不滞后、桥面板滞后1次、桥面板滞后2次三种不同的湿接缝浇筑顺序<sup>[4]</sup>。通过调整施工阶段模型, 优化过程索力, 分析桥面板滞后N次后多节段浇筑一次湿接缝对叠合梁斜拉桥施工过程及成桥运营的内力及线形影响, 得出结论如下:

5.2.1 三个节段浇筑一次湿接缝可加快施工进度, 但是会增加调索难度及湿接缝浇筑状态的控制, 进而导致误差积累, 导致线形及索力在远塔端产生较大误差; 而采用两节段浇筑一次湿接缝与一节段浇筑一次湿接缝计算结果相差不大, 且两节段浇筑一次湿接缝可明显节约工期;

5.2.2 三节段浇筑一次湿接缝会对叠合梁的钢主梁和桥面板进行内力重分布, 钢梁应力增大, 桥面板压应力减小;

### 5.3 对桥面板施加预压力

桥面板开裂的根本原因是混凝土表面出现拉应力, 可以通过对其施加预压力的方式, 在混凝土板内部预先形成压应力, 以抵消施工或运营期间出现的拉应力, 从根本上限制裂缝的产生。原设计考虑采用从横梁底部施加反向顶力的方式来实现(方案一), 但实施过程中存在诸多困难, 经现场论证后, 本项目采用优化后的反顶方案(方案二)。

方案一: 采用在钢横梁底设置反力架的形式进行反向顶顶

反力架采用在钢横梁底部设置倒三角反顶架, 在横梁跨中敷设千斤顶及反顶钢管, 钢管另一端通过钢绞线与钢横梁连接, 由跨中液压千斤顶施加预顶力。人员操作平台为贝雷桁片敷设, 贝雷桁片两端固定在钢横梁底设置的检修车轨道上, 反顶架和操作平台沿检修车轨道行走。

该方案的优点是能通过钢横梁底部施加预顶力, 充分模拟反向预顶结构形式, 非常直观的给钢横梁施加预顶力, 但缺点也比较明显:

安全隐患大: 反力架是设置在钢横梁底部, 行走轨道须承受支架的自重荷载, 极易出现行走不一致导致跳轮脱轨等安全风险。且反力架设置在梁底, 距离地面高度几十米, 易

发生高处坠落、物体打击等安全事故。

材料用量大：主梁每节段有三根钢横梁，须设置三道反力架，使用材料重量大。

施工操作不便：反力架通过轮毂反挂在行走轨道上，需要单独设置一套牵引系统来牵引或限制其移动。

增加线形控制难度：反力架设置后，将增加额外的附加荷载，特别是悬臂施工时，将对桥梁线形控制和钢梁拼装连接时增加一定的难度。

方案二：采取在桥面板上实施预顶的方式

在桥面板湿接缝处设置液压千斤顶，通过千斤顶施加一定的预顶力，再采用钢筋作为劲性骨架锁定，再浇筑湿接缝，至此，桥面板因为湿接缝的约束，对其施加的预顶力即可发挥与反顶同理的作用。

该方案的优点是施工方式简单和安全性好，只需在桥面进行液压千斤顶操作，安拆相当快捷和方便，避免了在钢梁底部施工操作时的安全风险，同时经济性也比较好，避免大量材料投入。缺点是预顶力需要通过模拟计算获取，千斤顶投入较多。

通过对桥面板预顶方案理论计算及施工过程中监测数据分析证明，使用千斤顶对桥面板直接施加横向预压力效果较好。通过施工过程中在桥面板表面布设应变测点，测得本项目S1节段桥面板150t预顶力在1#板可产生0.657MPa的平均

压应力，压应力损失率为18.3%，在3#板可产生0.677MPa的平均压应力，压应力损失率为26.4%；C31节段桥面板94t预顶力在1#板可产生0.816MPa的平均压应力，压应力损失率为13.5%。

## 6 结束语

水土嘉陵江大桥的施工实践表明：

6.1 通过在混凝土中添加合成纤维能有效提升桥面板抗裂性能。

6.2 使用千斤顶对桥面板直接施加横向预压力的方案现场可操作性较强，桥面板中压应力损失率低，有较好的推广价值。建议采用低温预顶、低温锁定，低温浇筑湿接缝混凝土的施工工艺，进一步减小运营期降温产生的拉应力效应，能有效预防桥面板开裂。

## 参考文献：

- [1] 聂建国, 钢-混凝土组合结构桥梁[M].北京: 人民交通出版社
- [2] 苏海成, 组合梁斜拉桥桥面板抗裂性研究与工艺控制, 山西建筑. 2017,43(27)
- [3] 刘加平, 汤金辉, 韩方玉, 现代混凝土增韧防裂原理及应用, 土木工程学报. 2021,54(10)
- [4] 胡俊, 曾一峰, 贾俊峰. 叠合梁斜拉桥混凝土桥面板滞后浇筑湿接缝的工序研究[J]. 铁道建筑, 2016(4)