钢混组合梁桥混凝土开裂影响因素及裂缝控制措施

钢混组合钢板梁桥凭借自身的优点得到越来越广泛应用的同时，也存在一些问题。连续组合结构梁桥中支点区域承受负弯矩作用，使混凝土桥面板承受较大拉应力，易产生裂缝而降低组合梁的整体刚度，并会加速混凝土顶板内钢筋、抗剪连接件和钢梁的腐蚀，降低整体结构的耐久性。因此，需对钢混组合钢板梁桥抗裂性能的影响参数进行系统研究，并针对中支点负弯矩区混凝土开裂问题提出有效的控制措施。

针对上述问题，国内外学者进行了大量研究，并取得了一些研究成果。

聂建国等对组合梁桥负弯矩区工作性能进行了研究，得出配筋率、力比及栓钉连接件间距是影响钢混组合梁桥负弯矩区混凝土顶板裂缝宽度的主要因素，并建立了负弯矩区平均裂缝间距和裂缝宽度计算公式。

吴冲对简支组合梁桥的横断面布置、主梁截面形式、主梁合理高度和主梁跨径等进行了深入研究，给出了简支钢板梁桥的恒载、车辆荷载弯矩与跨径之间关系的近似公式及容许应力控制下的较为经济的梁高和主梁挠度。

侯文崎等从施加预应力和不施加预应力两方面，阐述了多种裂缝控制方法及其原理，并对其控制效果进行了综合比较。

本文主要针对结构的几何参数对混凝土顶板开裂的影响进行系统分析，通过中支点负弯矩区混凝土顶板拉应力的变化反映各参数的影响程度，确定影响较大的几何参数，并对其进行优化设计，最后从施工措施方面提出裂缝的控制措施，为该类组合梁桥的设计及施工提供参考和借鉴。

1 组合梁桥结构主要参数对混凝土顶板受力的影响分析

对于钢-混组合钢板梁桥，结构参数主要包括主梁跨径、主梁间距、桥宽、变宽、横梁间距、钢梁高度、钢梁上翼缘宽度及厚度、钢梁下翼缘宽度及厚度、钢梁腹板厚度、混凝土顶板厚度、抗剪连接件间距等。为分析以上各参数对负弯矩区混凝土顶板受力的影响，在上述典型桥梁的基础上，对各参数进行调整，根据计算所得中支点截面混凝土顶板拉应力来衡量其影响大小。

主梁跨径、主梁间距、桥宽、钢梁高度对负弯矩区混凝土顶板拉应力影响较大；混凝土厚度、横梁间距、抗剪连接件间距对负弯矩区混凝土顶板拉应力有一定影响；钢梁上、下翼缘宽度及厚度，钢梁腹板厚度对负弯矩区混凝土顶板拉应力影响较小。在设计时，应关注上述主要影响因素对混凝土顶板开裂的影响，桥宽尽量保持等宽；主梁个数应综合考虑施工的便利、主梁受力及混凝土顶板受力进行选择；主梁跨径尽量选择小跨径；钢梁高度在满足净空要求的前提下数值越小对控制负弯矩区混凝土顶板拉应力越有利；混凝土厚度数值取大对控制开裂有利，但会增加桥梁质量，需综合考虑；横梁间距和抗剪连接件间距数值取小可减小负弯矩区混凝土顶板拉应力，但会增大造价，两者需进行协调。

2 裂缝控制标准及措施

2.1 裂缝控制标准

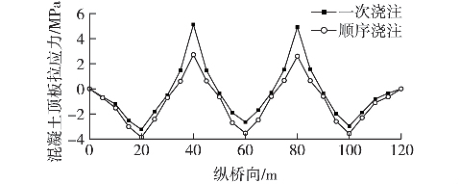
参考预应力混凝土对裂缝控制的等级要求，提出无预应力现浇钢混组合梁桥混凝土顶板的裂缝控制三级标准，A级：在荷载作用频遇组合下，严格控制且不允许混凝土顶板出现拉应力；B级：在荷载作用频遇组合下，控制混凝土顶板受拉区边缘可以出现拉应力，但拉应力的具体数值不得超过混凝土抗拉强度标准值；C级：在荷载作用频遇组合下，控制混凝土顶板拉应力可超过对应材料规定的抗拉强度标准值，但其裂缝宽度不允许超过容许的宽度（0.2或0.15mm）。

2.2 裂缝控制措施

在持续的研究过程中，国内外专家发现影响组合梁裂缝宽度较为明显的因素有：混凝土板配筋率、钢筋保护层厚度，抗剪连接件数量及其间距、钢梁与混凝土板的高度比等。裂缝控制可从材料、构造及施工工艺角度采取措施。材料方面可使用高性能混凝土和无收缩混凝土；构造方面可适当提高配筋率，减小钢筋直径，增加抗剪连接件的数量及减小其间距，增大钢梁与混凝土板的高度比，施加预应力等；施工方面可采取改变混凝土板浇筑顺序，使用预加荷载和支点顶升法。本文主要针对施工控制措施进行细化研究，提出标准跨径钢-混凝土组合钢板梁桥的裂缝控制措施。

2.2.1 改变混凝土顶板浇筑顺序

改变混凝土顶板浇筑顺序即先浇筑正弯矩区段混凝土，待混凝土强度达到设计强度的90%以上，再浇筑中支座附近负弯矩区段混凝土，称之为顺序浇筑法；而正、负弯矩区同时浇筑称之为一次浇筑法。



由图5可知：顺序浇筑时的负弯矩区混凝土顶板拉应力要远小于一次浇筑时的混凝土顶板拉应力;在中支点截面，一次浇筑时的混凝土顶板拉应力为5.13 MPa，顺序浇筑时仅为2.72 MPa，最大混凝土顶板拉应力降低了2.41 MPa，降幅达47%。因此，采用先浇筑正弯矩区混凝土再浇筑负弯矩区的浇筑方法可有效降低负弯矩区混凝土顶板拉应力。

2.2.2 预加静载法

预加静载法是指先浇注组合连续梁正弯矩区段混凝土顶板，待其完成硬化后，在浇筑完成的混凝土顶板上施加配重，继续浇筑负弯矩区段的混凝土顶板，待浇筑的混凝土完全硬化后，卸载配重。预加静载施加范围对混凝土应力影响很小，主要与预加静载的大小有关，预压力越大，混凝土顶板拉应力降低越多。

2.2.3 支点顶升法

支点顶升法为先架设钢梁，在浇注混凝土顶板之前，将位于中支点附近的钢梁竖向顶升一定高度，然后先浇筑正弯矩区混凝土，后浇筑负弯矩区混凝土，待混凝土强度达到设计强度值，将中支点下降至原始高度。支点顶升法对降低混凝土顶板拉应力效果明显，且顶升量越大，主梁跨径越小时，效果越明显。当顶升量为l/200时，主梁跨径30 m对应的混凝土顶板拉应力降幅达84.6%，主梁跨径45 m对应的混凝土顶板拉应力降幅相对较小，为47.8%。

3 结论

1）针对典型钢混组合钢板梁桥，系统对比分析了各参数对负弯矩区混凝土顶板开裂的影响，得出主梁跨径、主梁间距、桥宽变化、钢梁高度的影响较大；混凝土厚度、横梁间距、抗剪连接件间距有一定影响；钢梁上、下翼缘厚度及宽度，钢梁腹板厚度的影响较小。在设计时，应关注上述主要影响因素对混凝土顶板开裂的影响，在设计容许和经济可控范围内应适当控制主要影响参数进而降低混凝土顶板拉应力、减小裂缝宽度。

2）提出了基于性价比的组合梁桥参数优化实用方法，给出了性价比计算公式，并通过对钢梁高度、横梁间距和混凝土厚度等参数进行优化分析，阐述了该方法的分析思路及优化结果，明确了40m标准跨径钢混组合钢板梁桥3种参数的较优组合方案，即钢梁高度2.05m、横梁间距6.67m、混凝土厚度190 mm。该方法融合了梁桥结构的力学性能和经济性的双重需求，可为结构的参数优化提供一种新的思路和参考方法。

3）提出了无预应力现浇钢混组合梁桥混凝土顶板的裂缝控制三级控制标准，并对改变混凝土浇筑顺序、预加静载法和支点顶升法等施工措施系统分析了其对裂缝控制的效果，给出了裂缝控制建议；针对30、35、40和45m标准跨径的钢混组合钢板梁桥的不同裂缝控制标准提出了综合控制措施，可为该类梁桥负弯矩区混凝土的裂缝控制提供技术支持。