

装配式混凝土桥梁接缝设计

熊虹娇

杭州市交通规划设计研究院有限公司 浙江 杭州 310011

摘要: 随着基础设施的飞速发展,我国的桥梁越来越多,桥梁越做越长,跨径也越来越大。为顺应发展趋势,桥梁的建设迎来了标准化的深化改革,轻型化、标准化、经济性的桥梁设计,并结合现代化智能施工的装配式桥梁顺势而出。

关键词: 装配式; 预制; 拼装; 混凝土; 桥梁; 干接缝; 胶接缝; 湿接缝

1 装配式桥梁的发展

桥梁的装配式建造是加快施工速度、减少现场污染、实现低碳化建设的有效手段。装配式桥梁,通俗地说,就是在建造桥梁的过程中,桥梁上部主梁、下部的立柱与盖梁构件均由工厂化施工预制,再运送到施工现场,利用大型吊装设备像搭积木一样进行拼装,拼装完成后进行连接、加固。

1943年,英国战时运输部制造了第一批I型截面预制梁。20世纪50年代,我国开始研究公路预制装配式桥梁,第一座预制装配式预应力混凝土梁桥(哑巴河桥)为20m简支T梁桥。

2018年杭州首座拼装式桥梁——康桥路至上塘路节点提升工程桥梁拼装段吊装完成了,这是杭州在城市高架工程上首个应用装配式技术的项目。康桥路至上塘路节点提升工程中的装配式桥梁吊装项目,共计7座盖梁,14根立柱,一跨桥梁的吊装只需要5、6名固定的装配工人操作相关机械,在十几分钟就能完成。装配式技术的建造,能节约不少现场作业劳动力,加之工厂化预制构件也更加标准化,建筑误差也会更低。康桥路至上塘路节点提升工程桥梁拼装段的吊装完成,为今后杭州城市桥梁预制拼装建设奠定了基础,具有引领示范左右,为未来杭州桥梁建造方式的革新,提供绿色、节能、高效的新范本^[1]。

2 规范标准

近年来各大标准体系陆续制定了装配式桥梁相关的规范标准。其中包含了交通运输部发布的推荐性行业标准《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05-2022)、《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654-2022),住建部发布的推荐性行业标准《城市轨道交通预应力混凝土节段预制桥梁技术标准》

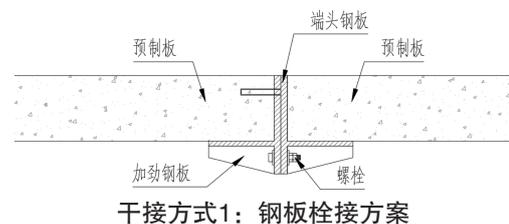
(CJJ/T293-2019),中国公路学会发布的推荐性团体标准《公路装配式混凝土桥梁技术指南》(T/CHTS 10062-2022),上海市发布的推荐性地方标准《预制拼装桥梁技术标准》(DG/TJ 08-2160-2021),以及其它行业、团体和地方标准。

3 接缝设计

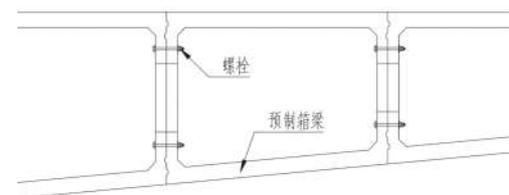
拼装桥梁就像搭积木一样,工厂预制好各个组件,现场只需拼接在一起,施工速度相当快捷。那么如何让“积木”一样的桥梁,变得结实可靠,重点就在于各个组件之间的连接,如果连接处能达到整体现浇混凝土结构的承载力、整体性、延性和耐久性,那么这座桥梁的设计和施工才算是完美的^[2]。

装配式桥梁的连接方式主要分三大类:干接缝、胶接缝、湿接缝。

3.1 干接缝:指接缝不涂任何粘结材料直接相拼的连接形式,主要有焊(栓)连接的分片桥梁,或全体外预应力的节段桥梁。干接缝的受力性能、抗震性能及耐久性方面存在严重缺陷和不足,国内外应用较少。



干接方式1: 钢板栓接方案



干接方式2: 隔板栓接方案

根据规范《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05-2022) 5.1.3条“节段预制拼装混凝土箱

作者简介: 熊虹娇, 1986.09, 女, 汉, 浙江杭州, 本科, 高级工程师, 桥梁专业。

梁节段间的接缝可采用胶接缝或湿接缝”，目前不建议使用干接缝，也不完全否定，需进行专项研究论证。

3.2 胶接缝：指节段接缝涂以环氧树脂胶后拼接的连接形式。一般用于体内或体外预应力的上部节段以及下部结构的墩身与墩身之间、墩身与盖梁之间。胶接的作用包括润滑节段端面、密封防水、形成黏结力等，是保障节段拼装桥梁受力性能和耐久性能的关键因素^[3]。

采用胶接缝时，环氧树脂胶的涂抹厚度不宜小于1mm且不宜超过3mm。过薄的胶层可能会造成胶接过程中局部缺胶，影响整个胶接的过程，导致粘结性不足。形成接缝胶粘剂并不需要胶层太厚，拼接胶在环境温湿度变化、紫外线照射、化学溶剂的作用下，会发生性能老化的现象，结构胶的弹性模量远低于混凝土，节段间胶缝厚度越厚，节段胶拼梁的整体刚度越低。施工期间，波纹管口附近胶层过厚，胶粘剂会被挤压至波纹管内，导致堵塞。而且过厚的胶层还会引起梁体永久预应力筋的预应力损失增大。因此，过厚的胶层对结构耐久性不利。

环氧树脂胶作为节段间接缝材料，具有润滑、铆栓与防水作用，有效提高结构耐久性能，需要具有以下特点：

① 适用期长：环氧胶粘剂必须在可施胶时间内涂敷在构件粘接面上，其可施胶时间可达到20分钟以上；

② 开放时间长：自环氧胶黏剂涂敷在结构粘接面时起，至环氧胶黏剂因固化而失去粘接性时止，在此期间内，结构拼接和临时预应力的施加必须完成，时长可达1~4小时；

③ 优异的触变性：在结构立面上无流挂现象的最大涂胶层厚度 $\geq 3\text{mm}$ ，触变性是用来表征在指定的施工温度范围内，胶粘剂在垂直表面施工时不流坠的能力，具有触变性的胶黏剂表现出“剪切变稀”的特性，即开放时间段内在剪切作用下体系粘度变小，而当剪切作用停止后，粘度又增大的性质；

④ 良好的挤出性：压力作用下被挤出形成一层同质均匀的胶粘层，使接缝被胶粘剂密实填充；

⑤ 其余重要特性：低收缩率、高耐热性、低吸水率和容水率、高模量、高早期强度和最终强度、良好的拉伸强度、高粘结强度、高抗剪强度、良好的耐久性、低挥发物含量、能适应不同环境因素的影响。

3.3 湿接缝：指节段接缝采用现浇混凝土的连接形式，通常含钢筋的搭接。

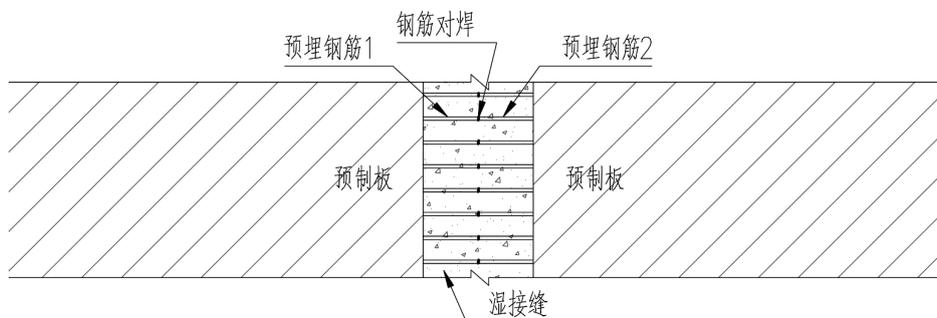
湿接缝采用的混凝土种类有混凝土（NSC）、高性能混凝土（HPC）、超高性能混凝土（UHPC）。《公路装配式混凝土桥梁设计规范》中仅有混凝土、超高性能混凝土（活性粉末混凝土）的相关规范要求。

超高性能混凝土，简称UHPC（Ultra-High Performance Concrete），1995年法国学者De Larrard等首次命名，国内称活性粉末混凝土（RPC，Reactive Powder Concrete）。

活性粉末混凝土是过去三十年中最具创新性的水泥基工程材料，实现工程材料性能的大跨越，具有超高强、高韧性、高耐久性等优点，缺点是材料制备成本相对较高、设计和施工先对要求较高、工程应用成熟度还较低。

湿接缝按钢筋搭接的形式有直接搭接、扩头连接、双环连接、U型连接等。目前小箱梁、T梁等多用双环连接，《公路装配式混凝土桥梁设计规范》中推荐采用U型连接^[4]。

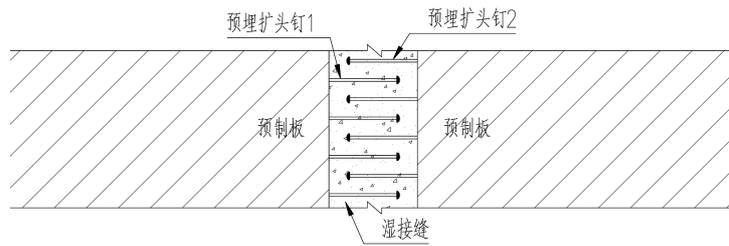
直接搭接：相邻预制板间的预埋钢筋对准后，直接对焊成整体。该方案理论上能达到整体现浇混凝土结构的承载力、整体性、延性和耐久性，但焊缝过于集中，且实际施工难度非常大，直接搭接对预埋钢筋位置放置以及梁板放置的施工精度要求非常高，对焊接质量要求也高，施工质量难以保证。



钢筋直接搭接方式（纵向钢筋未显示）

扩头连接：相邻预制板间的预埋扩头钉交错嵌入，与湿接缝纵向钢筋绑扎成整体。该方案施工简单易操

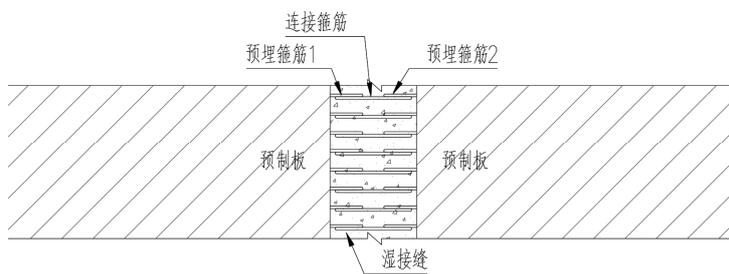
作，但不能达到整体现浇混凝土结构的受力效果，相对容易开裂。



扩头连接方式（纵向钢筋未显示）

扩头连接：相邻预制板间的预埋箍筋外露长度均小于1/2湿接缝宽度，需另外再加上连接箍筋并通过纵向钢筋，才使钢筋成为一个整体受力的性能。该方案施工简

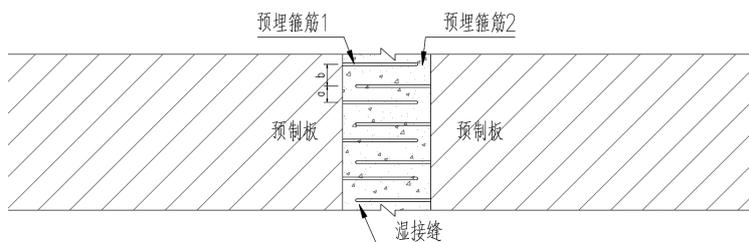
单易操作，且接近整体现浇混凝土结构的受力效果，目前小箱梁、T梁等多用双环连接。



双环连接方式（纵向钢筋未显示）

U型连接：相邻预制板间的预埋箍筋外露长度均大于1/2湿接缝宽度，预埋箍筋交错布置，再通过纵向钢筋，最终成为一个整体受力的型式。U型连接中的预埋箍筋交错布置时，当间距a与间距b越接近，应力分布越均匀，因此对施工精度要求较高。依据同济大学试验资料显

示，U型连接的湿接缝，当钢筋达到屈服或箍筋所围混凝土被压碎时，湿接缝才会被破坏，让钢筋、混凝土的作用均发挥到了最大值，达到了整体现浇混凝土结构的受力效果。《公路装配式混凝土桥梁设计规范》中推荐采用U型连接^[5]。



U型连接方式（纵向钢筋未显示）

总结与展望

装配式桥梁是混凝土桥梁的一种重要的建造形式，它的装配方式是灵活的，它的连接形式是关键点，它的连接材料是重要的研发对象。装配式桥梁不同于整体现浇的受力模式，其连接处的连接材料、连接形式不同，受力模式完全不一样，有待进一步探索更高性能的材料、更新型可靠的连接方式。装配式桥梁的连接处易受施工的影响，对施工质量要求相对较高，期待未来人工智能新型技术的发展，实现桥梁可以工厂化加工，智能化安装，系统化管理的智能建造体系。

参考文献

- [1] 《国务院关于印发深化标准化工作改革方案的通知》（国发【2015】13号）
- [2] 《公路装配式混凝土桥梁设计规范》（JTG/T 3365-05-2022）
- [3] 《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》（JTG/T 3654-2022）
- [4] 《公路装配式混凝土桥梁技术指南》（T/CHTS 10062-2022）
- [5] 公路装配式混凝土桥梁计算标准宣贯培训会及相关资料，2023年4月