

高速铁路节段梁高性能混凝土施工质量控制研究

白玉虎

中铁三局集团第五工程有限公司 山西 晋中 030600

摘要：对于高速铁路节段梁高性能混凝土施工而言，施工过程中会出现很多难以预测的质量问题，比如混凝土原材、混凝土生产、混凝土运输、混凝土浇筑、混凝土养护等，这些不确定因素对施工的时间和质量都会产生一定的影响。为了将这些不确定因素控制在可控范围内，施工时应安排专人对这些不确定因素进行充分研究，找出质量缺陷的因素并进行优化。以保证施工质量。

关键词：高速；铁路；节段梁；高性能；混凝土；控制；研究

引言：随着社会经济和现代化建设的快速发展，桥梁建设的发展也迎来了良好的机遇期，因此桥梁设计的各种新的理念和桥梁施工的各种新的方法都不断的被尝试。其中，节段箱梁预制拼装技术作为一种装配式绿色桥梁制造技术，逐步得到了世界各国建设领域的广泛认可，并且结构型式呈现了多样化和复杂化的趋势。到目前为止，节段箱梁预制拼装技术在美国、欧洲、日本等工业化发达国家应用比较广泛，而在我国只是处于起步阶段。随着桥梁建设的发展，桥梁施工正朝着构件生产的工厂化、标准化、结构拼装化和装配化以及施工设备机械化的方向发展，因此预制拼装技术将是今后预应力混凝土桥梁主要施工方法之一。节段预制胶结拼装筒支箱梁，作为我国高速铁路预制节段拼装桥梁的重要工程应用试点，其工程建设质量与施工效果受到路内领导与专家的高度重视。通过总结分析节段梁的混凝土生产、混凝土浇筑与养护等生产和实践经验，甄别节段梁混凝土生产质量关键影响因素和控制要点，为相关工程建设积累相关经验。

1 节段梁混凝土施工特点

根据箱梁的结构形式及成桥的线形特点，节段梁一般采用长线预制法、短线预制法、长短线结合预制法等。

箱梁混凝土采取底板→腹板→顶板的顺序灌注，混凝土浇筑用料斗或泵车进行浇筑。腹板采用两侧对称分层灌注，由于箱梁腹板内有预应力孔道，所以腹板混凝土灌注时应加强振捣。混凝土的振捣采用附着式振动器为主，插入式振捣器为辅的联合振捣方法。浇筑时需对梁顶板混凝土高程、翼缘板成形进行控制。新浇梁段初步养生完成后，将匹配梁段吊出移至养护区继续养护，随后以新浇梁段为匹配梁段进行下一节段的预制，并依此循环完成整桥节段的预制。

2 节段梁混凝土性能及外观质量分析

2.1 节段梁C60高性能混凝土制备思路

该节段梁采用C60高性能混凝土，其设计以耐久性为核心目标。通过掺入适量矿物掺和料与专用复合外加剂，控制较低水胶比，优化胶凝材料用量，配合严格的施工质量控制，所制备的混凝土不仅满足设计力学指标，同时具备优异耐久性能与良好的施工和易性。为满足节段梁的早期快速脱模和预应力张拉要求，节段梁混凝土配合比通常采用低水胶比和较高的胶凝材料用量，以及优质高性能聚羧酸减水剂和低需水量的矿物掺和料的制备技术路线^[1]。

2.2 节段梁C60高性能混凝土性能要求

节段箱梁混凝土原材料、配合比和工作性能及耐久性性能，须符合设计及规范的相关规定。节段箱梁预制开工前，应对拌和站的各种计量设备进行标定。在使用过程中要定期检定，经大修或搬迁后，也需重新检定。

在混凝土搅拌前，试验室需测定骨料的含水率，并据此计算出施工配合比。混凝土配料通知单随后下发至搅拌站，操作人员须严格按此通知单进行配料。在雨天施工时，应增加对骨料含水率的检测频率，并依据实测结果动态调整骨料与水的实际用量。必须严格控制搅拌时长，确保每盘混凝土的搅拌时间不低于2分钟，使拌合物均匀、色泽一致，避免出现离析和泌水现象。

混凝土通过专用混凝土罐车运输至节段梁场，经检验满足要求后卸到料斗，由龙门吊或现场专用吊车吊送入模。节段梁混凝土的工作性能应考虑生产、运输和浇筑整个环节的工作性能保持能力，混凝土的经时损失变化小，不能影响现场浇筑施工。

2.3 节段梁外观质量问题

由于节段梁混凝土的水胶比低、胶凝材料用量高，以及采用高性能聚羧酸减水剂的制备技术路线，这种混凝土对原材料质量及配合比的微小变化相当敏感。一旦

原材料性能发生波动,其工作性能极易发生显著劣化,导致离析、泌水、和易性不良等问题。因此,必须对混凝土的全过程实施严格控制,包括原材料质量、配合比设计,以及后续的搅拌、运输、浇筑、振捣与养护等质量控制环节与节段梁混凝土结构物外观质量密切相关。通过对前期现场节段梁的外观现状调查分析,发现主要存在如下几个方面的问题:节段梁的腹板外侧表面发黑、色差明显,梁体表面泌水痕迹明显、外观质量较差,节段梁腹板处有明显的混凝土施工冷缝,节段梁腹板混凝土表面有明显的龟裂纹。

2.4 节段梁外观质量问题产生原因分析

通过对节段梁的现场原材料质量,混凝土配合比情况、混凝土拌和物状态,以及混凝土的生产、运输、浇筑和养护实施情况的跟踪调查,分析产生节段梁混凝土生产质量问题的关键因素。

2.4.1 混凝土砂石骨料情况

节段梁为C60高性能混凝土,对原材料性能要求高。现场节段梁混凝土用骨料采用材质坚硬、表面清洁的5-10和10-20mm二级配碎石,但碎石粒形棱角较多、不规整,最大粒径20mm,含泥量小于0.5%,氯化物含量不大于0.02%;细骨料采用材质坚硬、表面清洁、级配合理的天然中粗水洗河砂,细度模数2.8-3.0,含泥量小于1.0%,氯化物含量不大于0.02%,其他技术要求符合TB/T3275的规定^[2]。

现场细骨料为水洗河砂,含水率约6%,上下层料堆的含水率差异将近为0.5%-1%。现场粗骨料进场石粉含量较高将近1.5%,为降低石粉含量的影响,对碎石进行水洗,但是由于无中转存储仓,碎石现洗现用,导致碎石含水率较高、且波动较大,粗石含水率0.9-1.1%,小石含水率0.9%-2.2%。由此,导致生产过程砂石骨料的含水率波动较为明显。

2.4.2 混凝土生产情况

节段梁混凝土采用3#拌和站进行生产,拌和站搅拌机组生产任务多,现场生产组织协调工序繁琐,存在线下工程混凝土和节段梁混凝土交叉生产、原材料混用的风险。同时,节段梁混凝土用砂石骨料储料仓仅有三个、数量太少,导致碎石水洗后没有中转仓存放,不能控制水洗后碎石表面的水分,碎石现洗现用,水洗后碎石含水高,呈过饱和状态,难以保证碎石含水率的稳定性,导致混凝土拌和物波动较大。

2.4.3 混凝土运输情况

节段梁混凝土生产完毕,混凝土运输采用12方罐车进行运输,从拌和站到节段梁梁场浇筑地点,大约需要

运输15-20min,途中还存在一处限高,需要相关部门协调,若限高路段不能通行,运输时间将长达40min。因此,混凝土从生产到运输环节至少要考虑1h以上的工作保持性能。此外,现场运输罐车存在未及时清理和维护现象,卸料口处有混凝土硬化板结,严重影响拌和站混凝土的卸料。

2.4.4 混凝土施工浇筑情况

混凝土经罐车运到节段梁浇筑现场,然后采用3方料斗,经龙门吊吊运浇筑施工,每辆罐车一趟运输10方混凝土,现场分4次卸料,每辆罐车混凝土的卸料与布料全程需要40min,现场浇筑施工作业时间长。现场配套浇筑施工机具设备准备不充分,没有采用泵车或布料机等专用机具布料施工,现场标准节段梁(60方混凝土)通常需要浇筑6-7个小时,施工效率极低。此外,现场混凝土浇筑工序衔接差,发生现场罐车中的混凝土浇筑施工完毕,而下一辆罐车运输的混凝土须等待长达1小时才能到现场,施工组织严重不协调。

2.4.5 混凝土养护情况

节段梁混凝土浇筑完毕终凝后,在箱梁顶板、底板采用土工布洒水覆盖养护,由于在夏季进行节段梁生产,环境温度高,混凝土表面水分散失快,难以获得充足的保湿养护,极易产生表面起砂结壳的现象。混凝土拆模完毕,对腹板及翼缘板混凝土采用自动洒水喷淋装置进行喷淋养护,其余部位采用人工洒水养护,使混凝土表面的潮湿状态保持在14天以上。

经过上述现场情况调研,分析判断产生节段梁混凝土的外观质量问题的主要原因具体如下:

(1)混凝土表面色差显著,与混凝土配合比、拌和物工作状态发生显著变化密切相关。主要由于现场砂石骨料含水率波动较大,尤其是5-10mm水洗碎石的含水率波动较大,导致混凝土拌和物工作性能产生显著波动。此外,低水胶比和高减水剂掺量的高强混凝土配制思路,也显著增加了混凝土对骨料含水率波动的敏感性。

(2)混凝土表面泌水痕迹明显,主要由于现场通过放大混凝土拌和物出机工作性能和超掺减水剂的方式来解决节段梁混凝土工作性能保持差的问题,导致混凝土质量难以控制,混凝土工作性能往往偏大,使得混凝土拌和物的包裹性降低、稳定性变差,在振动成型条件下,混凝土极易产生浮浆和局部泌水分层现象。

(3)混凝土腹板处存在施工冷缝,主要由于现场施工组织不合理,混凝土拌和运输与前场浇筑施工衔接发生脱节,导致混凝土分层浇筑时间间隔过长,前一层混凝土超过初凝时间,却未及时处理,使得混凝土形成几个

颜色不相同的层状缝隙带。

(4)混凝土表面龟裂纹,与节段梁混凝土为C60高强混凝土,单方胶凝材料用量高、水化放热大,混凝土干燥收缩大、开裂风险高密切相关。由于混凝土在水化硬化降温阶段和水化硬化过程均会形成不同程度的收缩变形,这种收缩受到约束时,内部将形成拉应力。若此收缩应力大于混凝土自身的极限抗拉强度,结构就会出现收缩裂缝。此外,早期混凝土拆模后,保湿养护不到位,混凝土表面水分散失过快,也是产生裂缝的另一重要原因。

3 节段梁混凝土施工质量控制措施

1 优选性能优异的混凝土保坍型减水剂,确保混凝土保持良好的工作性能。混凝土出机工作性能和1.5-2h的工作性能基本保持不变,坍落度损失控制在20mm以内,且减水剂没有后滞效应,混凝土坍落度不会反大。

2 控制骨料的水分,确保混凝土拌和物稳定。混凝土骨料砂、碎石应有过渡储存料仓,以保证有足够的空间和场地降低骨料表面的明水,确保河砂和水洗碎石的含水率波动不大,保证混凝土拌和物性能的稳定性。混凝土生产过程,拌和站操作手及质量技术员,应盯控混凝土的状态及时调整混凝土,以防骨料含水率等因素变化造成混凝土拌和物状态波动,确保每车混凝土的匀质性^[3]。

3 完善现场施工机具和施工工艺,采用地泵和汽车泵泵送工艺代替现有的斗吊施工工艺,降低斗吊施工的风险,减少施工间歇等候时间,提高现场混凝土浇筑施工的效率,缩短节段梁混凝土浇筑时间,将标准节段梁的浇筑时间控制在3.5h左右。

4 加强混凝土保湿养护。混凝土浇筑完毕,采用保湿养护膜对顶板和底板混凝土及时做好覆盖散水保湿养护工作;混凝土拆模后,及时对腹板和翼缘板混凝土涂刷或喷淋养护液,防止混凝土早期水分散失,降低混凝土收缩开裂风险。

5 增强不同作业部门之间的沟通,确保各个生产环节衔接有序,提高节段梁混凝土的施工效率和施工质量。同时,加强配套机具设备的管理,如搅拌机、混凝土运输罐车、混凝土泵车以及地泵管路的清洗与维护,确保施

工期间设备运行良好,作业顺畅。

4 节段梁混凝土浇筑施工效果

通过对砂石骨料的储料仓进行整改,将水洗后的骨料有足够长的时间进行空水,确保骨料水分稳定;采用优化后配合比,降低单方混凝土水泥用量和胶凝材料用量,优选保坍型减水剂生产进行预制节段梁混凝土,确保混凝土工作保持性能;同时,通过优化现场的施工组织与调度,大幅缩短了现场混凝土浇筑时间,将节段梁混凝土浇筑时间控制在3.5h左右。混凝土施工完毕及时进行保湿养护,大幅降低混凝土早期水分散失,减少收缩开裂风险。上述措施的实施,有效解决了节段梁混凝土现场施工存在的色差、泌水、施工冷缝以及表面龟裂纹等问题,确保了节段梁混凝土的施工质量^[4]。

混凝土节段梁外观质量问题产生的原因较多,只有认真做好每一道工序严格把关,结合现场实际情况,认真分析总结经验,才能确保施工中不出现或少出现质量问题,确保混凝土节段梁的内实外美。

结语:

随着社会经济的发展,基础建设工程逐渐增多,高性能混凝土在基础建设中也逐渐增多。因此为提高高性能混凝土的质量,在施工的各个节段都要加强管理和控制,保证高性能混凝土符合设计、规范、验标相关要求,保证质量达标,满足当前交通运行的需要,促进经济与社会稳定发展。

参考文献:

- [1]姚文博.高速铁路混凝土施工质量控制关键研究[J].交通科技与管理,2021,(24):191-191.
- [2]徐小亚.高速铁路连续梁节段预制装配式施工技术[J].工程机械与维修,2021,(3):176-177.
- [3]王鹏,范向东.超高性能混凝土UHPC在铁路节段梁施工中的应用[J].四川建筑,2022,42(2):297-299.
- [4]左连芹,李俊,张博伦,等.高速铁路节段预制全胶接拼装混凝土连续梁高性能建造技术[J].施工技术(中英文),2024,53(22):81-87.