

大跨度双塔斜拉桥主塔泵送混凝土 施工质量控制技术研究

游 丘 林¹， 杨 雷²

(1.中国水利水电第七工程局有限公司 试验检测研究院,四川 郫都 611730;
2.中国水利水电第七工程局有限公司 第一分局,四川 彭山 620860)

摘 要:在桥梁建筑施工过程中,泵送混凝土为高层索塔混凝土施工的主要方式,但泵送混凝土在其使用过程中易出现质量问题。加强对泵送混凝土的研究有利于减少泵送混凝土质量问题,提高工程施工质量。结合金堂韩滩双岛大桥主塔 C55 混凝土施工质量控制中取得的成效以及针对该工程制定的相关有效改进措施进行了分析与论述。
关键词:韩滩双岛大桥;桥梁工程;C55 泵送混凝土;质量控制;温控
中图分类号:[TU997];TU74;TU72 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2020)02-0034-05

Study on the Quality Control Technology of Pumping Concrete Construction of the Double-tower Large-span Cable-stayed Bridge

YOU Qiulin, YANG Lei

(1. Institute of Testing, Inspection and Research, Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Pidu, Sichuan, 611730; 2. First Branch of Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Pengshan, Sichuan, 620860)

Abstract: During the process of bridge construction, pumping concrete is the main way for high-rise cable tower concrete construction; however, quality problems often occur during the application. Strengthening the research on pumping concrete is beneficial to reduce the quality problems of pumping concrete and improve the construction quality of the project. The analysis and discussion are made by combing with the achievements of C55 concrete construction quality control of the main tower of Hantan Twin Islet Bridge in Jintang County at present and the relevant effective improvement measures taken for the project.
Key words: Hantan Twin Islet Bridge; bridge engineering; C55 pumping concrete; quality control; temperature control

1 概 述

韩滩双岛大桥位于金堂县沱江上游 600 m 处,工程全长 1 641 m,桥面宽 38 m,按双向 6 车道设计,是成都市目前跨度最大、钢箱梁最重、主塔柱最高的一座双塔双索面斜拉桥。大桥主塔高 137.5 m,呈钻石型。下塔柱由 6 个不规则的箱室构成,高 10 m,下横梁高度为 2 m;中塔柱为 77.6° 的内倾角,高度为 70 m,结构尺寸为 5.5 m×8.8 m,箱室壁厚分别为 60 cm 和 1.2 m;中横梁高度为 5 m,圆弧过渡段为 11 m,圆弧半径为 50 m;上塔柱高度为 38.7 m,布置了 17 组钢锚梁,上横梁高度为 3.8 m,塔冠高 8 m。主要工程量:单个主塔混凝土总量为 87 00 m³,钢筋 2 000 t。

收稿日期:2020-03-17

2 主塔混凝土施工方案

主塔混凝土为单塔分层浇筑,其中下横梁及下塔柱连续三层采用臂架泵车入仓;下塔柱三层以上、中横梁、上塔柱、上横梁、盖帽采用混凝土泵入仓。混凝土在距离主塔 4 km 处的 SZ90 自动称量拌和站集中拌制,所有混凝土均由 21 m³ 混凝土搅拌车运送到现场。在距离主塔 18 km 处设有另一座 SZ90 自动称量拌和站作为应急搅拌站;1 台车载泵、2 台塔吊和 2 m³ 吊罐作为混凝土应急入仓方案。^[1]

2.1 下塔柱混凝土施工方案

下塔柱及横梁高 12 m,分三层进行浇筑,第一次浇筑高度为 5 m、第二次浇筑高度为 5 m,第三次浇筑高度为 2 m。下塔柱上、下侧分别设置

现浇支架,现浇支架采用型钢焊接桁架作为主受力结构(I56b 和 I36b),左、右侧各布置 8 片桁架,桁架间距为 1.2 m。横向设置分配梁(I28b),面板采用 18 mm WISA 板。下塔柱内侧箱室采用钢管脚手架和木模在现场搭设。为防止在混凝土浇筑过程中下塔柱外侧箱室内模系统上浮,在现场设置临时连接将内模与下塔柱竖向主筋进行连接,同时在各箱室模板之间设置对拉钢筋相对定位,并将所有对拉钢筋与外模支架对拉钢筋连通。

2.2 中塔柱混凝土施工方案

中塔柱因第①、②节段高度较低,故优先采用汽车泵入模,第③~第⑫节采用三一重工 HBT80C-2118 地泵进行混凝土输送。中塔柱泵管顺塔柱靠中线侧的顺桥向面布置,以充分利用结构仰角、减少布设难度。在待浇段模板高度范围内,泵管不得附在模板上,以避免振动导致模板变位。混凝土浇筑时,为了减小混凝土自由落体高度,采用悬挂溜筒下料进行混凝土布料。溜筒布置间距为 1.5 m,溜筒单节长度为 1 m,根据浇筑高度,在浇筑过程中接长或缩短溜筒长度,从而保证混凝土自由落体高度不大于 2 m。混凝土浇筑对称下料、分层振捣,分层浇筑厚度不得超过 30 cm。混凝土振捣时分区定块、定员作业,混凝土振捣应密实,无漏振、过振现象。振捣采取快插慢拔方式,严格控制棒头插入混凝土的间距、深度与作用时间,并密切观察振捣情况,在混凝土泛浆、不再冒出气泡时视为混凝土振捣密实,防止混凝土表面出现蜂窝、麻面,甚至空洞等缺陷。混凝土振捣间距小于 40 cm,振捣上层混凝土时要插入下层混凝土 5 cm 以上。将每个振动点的振捣时间控制为 35~45 s。混凝土应按一定厚度、顺序和方向分层浇筑,上下两层混凝土的浇筑时间间隔不宜超过 90 min,在混凝土初凝前完成上层混凝土浇筑,防止产生施工缝。由于节段高度达 6 m,故其下方 3 m 范围内的混凝土振捣需操作人员进入塔柱内进行,以确保质量。

2.3 中横梁混凝土施工方案

中横梁结构尺寸高度为 5 m,宽度为 6.8 m,长度由 10.36~9.11 m 渐变,内部空腔结构尺寸:高 3.8 m,宽 5.6 m,四侧倒角为 50 cm×50 cm,上下底板厚度均为 60 cm(图 1)。两侧塔柱段的结构尺寸高度为 5 m,横向宽度为 5.632 m,纵向宽

度为 8.8 m,上下横隔板厚度为 60 cm,纵向塔柱厚度为 2.5 m,横向塔柱厚度为 60 cm。混凝土浇筑采用两台地泵同时进行,地泵布置在主塔前后两侧,配置罐车 7 辆(每台地泵配 3 辆罐车)。从中横梁中部往两侧塔柱分层进行浇筑,每层厚度为 50 cm,当浇筑完下倒角及中横梁底板(第一层)后,需对地泵进行冲洗后方可进行下层浇筑。中横梁处采用溜槽(Φ630 钢管切割形成)进行浇筑,在溜槽长度方向上开设 3 个孔洞接 Φ250 帆布下料筒用于中横梁下料;塔柱混凝土下料采用地泵软管直接下料。溜槽布置情况见图 1。

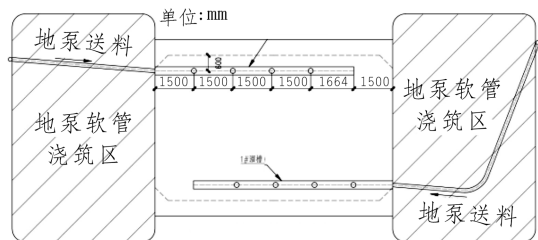


图 1 中横梁溜槽平面布置图

浇筑前,在塔柱顺桥向壁厚 0.6 m 墙的模板上间隔 1 m 上下共布置了 8 个 10 cm×10 cm 的振捣孔,同时每面墙上设置了 1 个平板振捣器,共计 4 个,在斜拉索精扎螺纹钢锚固区与张拉区交接位置处的模板上设置平板振捣器,每个塔柱(靠塔吊侧)边角各设置 1 个,本次共设置了 4 个。浇筑过程中下料连续、均匀,控制混凝土入模速度,尽量减小其冲击力,混凝土振捣主要使用插入式振捣器(Φ30、Φ50、Φ70 等),附着式振捣器辅助,分区专人振捣,分区由专人监督,以确保混凝土浇筑密实。浇筑混凝土时,应经常观察模板、支架有无异样,当发现有松动、变形时,应立即停止浇筑,马上加固,测量人员利用支架上的反光贴观察支架的沉降变形情况,若出现异常,则须调整后方可继续浇筑混凝土。为保证混凝土质量,浇筑完成后对达到一定强度的终凝混凝土必须及时进行养护,通过提前布置的冷却水管并在中横梁混凝土顶面进行土工布+蓄水养护,塔柱进行洒水养护。

3 主塔 C55 泵送混凝土浇筑常见问题

根据其他类型桥梁工程施工经验,主塔 C55 泵送混凝土施工常易出现以下现象或质量缺陷:(1)混凝土在经搅拌车运输到现场后其坍落度、扩

展度损失大而影响到混凝土拌和物的工作性能,从而导致出现泵送入仓困难或堵泵现象,影响混凝土的浇筑速度,浇筑成型后的混凝土容易出现蜂窝麻面情况,更严重时会造成混凝土狗洞、施工冷缝;(2)混凝土出现深度超过钢筋保护层的裂缝或贯穿性裂缝;(3)混凝土浇筑成型后强度达不到设计要求等。由于主塔具有塔身高、悬空外露的特点,若出现质量缺陷将很难处理,不但影响工程进度、质量,还会给项目及企业带来一定的负面影响,因此,主塔 C55 泵送混凝土施工是主塔施工质量控制的关键。笔者详细介绍了主塔 C55 泵送混凝土采取的施工质量控制措施以及取得的效果,希望能为后续类似工程施工提供参考。

4 主塔 C55 泵送混凝土施工质量控制措施

工程实践证明:项目的所有参与人员的认识程度对其混凝土施工质量控制起着决定性的作用,决定着所有参与人员的重视程度,项目决策、措施到位的深度以及落实程度。

主塔混凝土施工前,项目技术部通过组织主塔 C55 泵送混凝土施工技术交底,以及组织相关人员到类似工程施工现场观摩学习的方式,从理论和实际出发讲解并分析了 C55 泵送混凝土施工中容易出现各种常见问题、质量缺陷以及所带来的相应负面影响,让参建人员深刻认识到质量控制的重要性,形成上下一心确保主塔混凝土质量的氛围,从而保证以下决策、措施的制定和人、机、物、资金的投入,所采取的主要措施如下^[2]。

4.1 混凝土原材料质量控制

(1)胶凝材料、掺和料、外加剂的质量控制。

表 1 主塔 C55 泵送混凝土配合比设计参数表

水胶比	粉煤灰 掺量 /%	硅粉 掺量 /%	减水剂 掺量 /%	砂率 /%	各种原材料用量 /kg · m ⁻³							减水剂
					水泥	粉煤灰	硅粉	水	砂子	石子		
										直径 5~10 mm	直径 10~20 mm	
0.33	10	4	2	42	482	55	20	165	708	195	782	11

生产、运输、泵送、浇筑等实际情况:坍落度控制在 180~240 mm、扩展度控制在 550~620 mm,且经时 3 h 无损失,5 h 损失在 10% 以内(坍落度、扩展度均按上限控制);含气量控制≤3%;水泥为 P·O42.5 级普通硅酸盐水泥;粉煤灰为 II 级粉煤灰;硅粉为 EBS-92 半加密硅粉,固定每 m³ 掺量为 20 kg;外加剂采用 VIVID-500 聚羧酸高性能减水剂;砂为人工

所进场的每批次水泥、粉煤灰、硅粉、减水剂必须经过试验室现场取样检测合格并满足相应的规程规范及设计标准要求后才能用于工程,并分别存放于独立的储罐;减水剂还需做与水泥的适应性试验和混凝土配合比拌和物性能复核试验。

(2)砂石骨料的质量控制^[3]。由于工程周边城市大发展,建设项目犹如雨后春笋,加之城市基本建设已经大力建设了数十年,周边方圆数百公里区域已无优良砂石骨料,周边所能获得的砂石骨料大多为由鹅卵石加工的人工砂和碎石,由于其含泥量、破碎面大多不满足标准要求,项目部采取“走出去”的方式,到距离工程所在地 300 km 以外的区域选取矿山开采原料湿法生产的优质人工砂和人工碎石(粒径为 5~10 mm、10~20 mm),进场后每车取样检测需满足规范要求才能用于工程,且砂石骨料均与其他混凝土骨料分开,单独分仓存放于框架式彩钢瓦搭建的堆场中,以此确保骨料含水量表里一致、均匀,从而保证所拌制的混凝土拌和物性能均匀、稳定,避免了混凝土因拌和物性能波动过大而影响到浇筑及成品的质量。

4.2 混凝土配合比设计及参数的确定

混凝土配合比由项目部试验室进行设计,并邀请全国知名混凝土专家丁庆军教授莅临现场全程指导混凝土配合比试验设计及论证。设计论证通过后经第三方检测机构复核配合比并报监理工程师批准后方可用于工程施工,从而确保了配合比的可行性。主塔 C55 泵送混凝土配合比设计参数见表 1。^[4]

在混凝土配合比设计时,考虑到以下混凝土

砂;石子为直径 5~10 mm、10~20 mm,两种级配的最佳掺配比例为 20:80。

4.3 混凝土试生产及试泵送浇筑

采取混凝土试生产及试泵送浇筑的目的是通过试生产确定最终的施工配合比。试泵送浇筑模拟浇筑过程检验根据试生产确定的施工配合比拌制的混凝土实际泵送入仓的效果,达到提前练兵和组织协调混凝土生产、运输、泵送、浇筑、养护等

一整套完整流程以及获得混凝土强度是否满足设计要求的目 的,从而为主塔混凝土的顺利浇筑创造良好条件。

混凝土试生产的原则:以设计配合比为基准,保持水胶比、用水量、砂率不变,适当微调减水剂掺量,根据试生产混凝土拌和物和易性及力学性能指标,选取坍落度、扩展度最大、经时损失最小,拌和

物性能最好的配合比作为最终施工配合比。^[5]

混凝土试生产检测项目为混凝土拌和物坍落度、扩展度、经时损失、含气量、温度等指标,以及每种试生产配合比标准养护试件 3 d、7 d 的抗压强度。混凝土试生产选取的 3 个试验方案见表 2。经现场试验得到的试生产混凝土拌和物性能、力学性能、可泵性见表 3。

表 2 混凝土试生产试验方案表

试生产 编号	水胶比	粉煤灰 掺量 /%	硅粉 掺量 /%	减水剂 掺量 /%	砂率 /%	各种原材料用量 /kg·m ⁻³							
						水泥	粉煤灰	硅粉	水	砂子	石子		减水剂
											直径 5~10 mm	直径 10~20 mm	
基准	0.33	10	4	2.0	42	482	55	20	165	708	195	782	11
1 号	0.33	10	4	1.9	42	482	55	20	165	708	195	782	10.45
2 号	0.33	10	4	1.85	42	482	55	20	165	708	195	782	10.175

表 3 混凝土试生产试验成果表

试生产 编号	出机口 /mm		出机口 含气量 /%	2 h 经时测试 /mm		4 h 经时测试 /mm		拌和物 和易性	可泵性	标养抗压强度	
	坍落度	扩展度		坍落度	扩展度	坍落度	扩展度			/MPa	
										3 d	7 d
基准	250	650	3.3	240	660	220	570	少量泌水， 翻拌轻微 受阻	好	47.2	58.7
1 号	240	610	2.9	245	610	240	595	无泌水， 翻拌容易	良好	49.5	60.6
2 号	240	590	2.8	240	600	240	585	无泌水， 翻拌容易	良好	49.2	61.1

由表 3 可知:(1)3 种试生产方案混凝土 7 d 抗压强度已经达到 28 d 设计龄期强度控制值,基准有少量泌水和翻拌轻微受阻的情况;(2)由于拌和楼生产拌和方量大造成拌和物性能比室内试验放大并引起含气量超过设计控制值;(3)综合 3 种试生产方案并进行比较后选取 2 号方案作为施工配合比试泵送浇筑,1 号方案作为备用参考。

试泵送浇筑选用 2 号方案生产混凝土后运输至距拌和站 6 km 处与主塔基本相同的仓号浇筑,运输罐车和混凝土泵机均为以后主塔浇筑所用。混凝土运输至现场后在罐车里放置 2 h 和 4 h 测定混凝土拌和物的和易性,其拌和物性能结果和试生产试验结果基本一致,同条件取样成型试件 3 d、7 d 龄期抗压强度也与试生产标养试件抗压强度结果基本一致,故最终选定 2 号方案作为最终混凝土配合比,1 号方案作为备用参考。

4.4 混凝土温控及养护

混凝土温控及养护的主要目的是为了保证混凝土强度满足设计要求并防止混凝土产生裂缝。由于本工程使用 C55 高强混凝土,其胶凝材料用

量非常高且仓号钢筋布置密集、断面尺寸小(600 mm×1 200 mm),温控措施不到位混凝土浇筑后开裂风险更高。故该工程温控主要从浇筑入仓及浇筑后混凝土内外温差两方面进行控制预防。

(1)混凝土入仓温度控制。混凝土入仓温度按≤28℃控制,其主要为原材料及混凝土运输、泵送控制。该工程入仓温度控制措施为:拌和用水采用深井地下水(常年水温 15℃~20℃);水泥入罐温度控制在 50℃及以下,生产混凝土时使用储罐内放置 10 d 以上的水泥;砂石骨料均采用框架式彩钢瓦搭建的料场堆放,必要时喷拌和用水降低骨料温度;夏季施工时尽量避开高温时段浇筑,运输罐车配置喷淋装置用以降低罐车温度,在混凝土泵送管路安装喷淋装置,浇筑前先通水以降低泵送管路温度。

(2)混凝土内外温差的控制及养护。夏季施工仓号配置喷淋装置,使浇筑期间仓面温度降低;冬季低温施工时采用浇筑后用保温被覆盖以防止内外温差过大造成温度开裂;浇筑结束至混凝土初凝后保湿养护,终凝后过水养护;24

h 后松动模板防止内外温差过大造成裂缝及表面龟裂现象。

(3)上下两仓浇筑时间间隔控制。该工程上下两仓混凝土浇筑间隔时间均控制在 14~18 d 以内。因为下层混凝土龄期越长、越稳定,温度变形越小,但对上层新浇混凝土的温度变形约束越大,就越容易造成上层混凝土出现裂缝。必须严格按照试验室提供的同条件试件抗压强度数据确定拆模时间。

(4)所有参与人员必须全程参与。该工程从混凝土试生产、试浇筑、正式浇筑等过程所有参与人员必须全程参与,切实做到心中有数,才能确保混凝土施工质量。

5 取得的效果

通过上述施工质量控制措施的逐一布置落实,韩滩双岛大桥主塔混凝土 C55 泵送混凝土施工过程井然有序,从正式浇筑到目前,半年时间过去了,浇筑了近 40 仓约 5 000 多 m³混凝土,混凝土拌和物性能稳定,未发生拌和物性能波动过大从而影响混凝土泵送入仓的现象,混凝土标准养护、同条件养护试件抗压强度均满足设计要求。对现场混凝土进行实体回弹强度检测其结果均满足设计要求。经现场排查,除西塔中横梁因单次浇筑方量达 500 m³、仓号内未布置安装冷却水管造成浅表性龟裂外(东塔中横梁因西塔中横梁发现表面龟裂后采用了布置冷却水管措施),未发现

(上接第 33 页)

注桩的质量,尽管钻孔灌注桩施工中常出现一些施工质量、安全事故,但现在的操作技术规程、工人对该工艺的熟悉掌握程度都已经比较成熟,施工单位对于该工艺出现的各种施工质量事故都有一整套比较完善的预防、处理措施,可以做到遇事不慌、有章可循、有针对性地进行处理,因此,钻孔灌注桩施工是成熟、可靠、安全的。在成孔、灌注混凝土过程中做好塌孔、沉渣、灌注导管的管控等关键工序的控制,有效地保证工程进度、质量、安全、成本的要求^[5]。施工人员还需认真掌握专业基础知识,自觉实践,一丝不苟,恪尽职守,认真总结,正确应用有关规范;熟悉地质资料、设计图纸、相关文件及各项技术要求;不断提高自身的业务素质和技术水平,抓好施工准备、成孔、清孔、水下混

其他裂缝。

6 结 语

金堂韩滩双岛大桥主塔 C55 泵送混凝土施工及质量控制实践证明:只有通过提高全体参建员工的认识,统一思想,慎重拟定混凝土配合比,严把原材料质量关,并通过混凝土试生产、试泵送浇筑确定最终的施工配合比,以及切实有效的混凝土温控及养护措施等,是可以有效地避免韩滩双岛大桥 C55 泵送混凝土在施工中出现混凝土拌和物工作性能不稳定从而影响泵送浇筑、混凝土强度不满足设计要求、混凝土出现裂缝、蜂窝麻面甚至狗洞等常见的质量问题,同时亦避免了因质量缺陷对施工进度、项目及企业造成的不良影响,所取得的经验值得类似工程借鉴参考。

参考文献:

[1] 高层建筑混凝土结构技术规程, JGJ3—2010[S].
[2] 张怀峰. 泵送混凝土施工质量控制[J]. 经营管理者, 2009, 25(16): 336.
[3] 黄伟光. 泵送混凝土施工质量控制分析[J]. 中国科技博览, 2009, 23(35): 155.
[4] 混凝土泵送施工技术规程, JGJ/T 10—2011[S].
[5] 李阿强. 超高层建筑泵送混凝土施工技术[J]. 中国科技投资, 2017, 19(21): 54.

作者简介:

游丘林(1981-),男,重庆垫江人,工程师,从事试验检测与 technical management 工作;
杨 雷(1995-),男,四川犍为人,技术员,从事桥梁施工技术工作。
(责任编辑:李燕辉)

凝土灌注等各个环节的质量控制,采取各种有效措施,保障灌注桩的成桩质量。

参考文献:

[1] 陈南汉. 钻孔灌注桩的施工工艺与实际应用[J]. 建材与装饰, 2008, 4(6): 191—193.
[2] 闫 伟. 浅谈钻机灌注桩的消孔要[J]. 科技风, 2020, 33(1): 103.
[3] 郭 辉. 浅谈钻孔灌注桩施工常见问题及防治措施[J]. 价值工程, 2010, 29(4): 229.
[4] 靳方倩. 市政工程中钻孔灌注桩施工工艺重点研究[J]. 科技创新应用, 2020, 10(3): 104—105.
[5] 杨庆华, 孙晋军. 公路桥梁施工中钻孔灌注桩施工技术的应用[J]. 建材与装饰, 2020, 16(1): 282—283.

作者简介:

李鹏俊(1995-),男,湖南邵阳人,技术员,从事市政工程施工技术与质量管理工作。
(责任编辑:李燕辉)