

盾构隧洞自密实混凝土浇筑质量控制技术

Quality Control Technology of Self Compacting Concrete Pouring in Shield Tunnel

祝全兵 谢强 马圳

Quanbing Zhu Qiang Xie Zhen Ma

中国水利水电第七工程局有限公司 中国·四川 成都 610213

Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610213, China

摘要: 自密实混凝土是一种新型的高性能混凝土,具有施工操作方便、施工效率高等诸多优点,近年来在中国工程中得到越来越多的应用,自密实混凝土良好的工作性能使其在施工过程的质量要求更为严格。论文结合珠江三角洲水资源配置工程现场实际施工情况,从原材料控制、生产过程控制、浇筑过程控制三个方面研究、归纳自密实混凝土施工的质量控制关键技术。

Abstract: Self compacting concrete is a new type of high-performance concrete, which has many advantages such as convenient construction operation and high construction efficiency. In recent years, it has been used more and more in China's projects. The good working performance of self compacting concrete makes its quality requirements in the construction process more strict. Based on the actual construction situation of A7 bid section of the civil construction of the water resources allocation project in the Pearl River Delta, this paper studies and summarizes the key construction technologies of quality control of self compacting concrete construction from three aspects: raw material control, production process control and pouring process control.

关键词: 自密实混凝土;珠江三角洲水资源配置工程;质量控制

Keywords: self compacting concrete; pearl river delta water resources allocation project; quality control

DOI: 10.12346/etr.v4i10.7187

1 引言

自密实混凝土是一种新型的高性能混凝土,其具有良好的工作性,即在狭小空间条件下,仅依靠自重作用而无需振捣便能均匀密实填充成型,为施工操作带来极大便利。同时,兼有提高混凝土质量、改善施工环境、减少噪声和能耗、提高劳动生产率、加快施工进度、降低工程费用等技术经济效果,被称为“最近几十年中混凝土建筑技术最具革命性的发展”。

自密实混凝土的上述性能使其在施工过程的质量要求更为严格,且自密实混凝土在盾构隧道工程中应用较少,相关施工经验较少,论文旨在结合珠江三角洲水资源配置工程现场实际施工情况对盾构隧道自密实混凝土施工过程中的相关质量控制经验进行归纳、总结,探讨提出切实可行的浇筑质量控制技术,为类似工程施工提供参考。

2 工程概况

论文以珠江三角洲水资源配置工程为依托工程,珠江三角洲水资源配置工程是国务院部署的172项节水供水重大水利工程之一,工程输水线路总长113.1 km,横跨中国佛山市、广州市、东莞市、深圳市,计划总投资约338亿元,是迄今为止广东省历史上输水线路最长、受水区域最广、投资额最大的水资源调配工程^[1]。

珠江三角洲水资源配置工程土建施工A7标为输水干线鲤鱼洲取水口至高新沙水库段的一部分。标段起点为广州市南沙区榄核镇LG12#工作井,输水线路自西向东穿越浅海涌、S111广珠路、蕉门水道后,至广州市南沙区大岗镇高沙村LG14#工作井。本标段为双线输水,双线输水隧洞均为盾构隧洞,外衬采用C55的预制钢筋混凝土管片,抗渗等级W12,管片外径6 m,内径5.4 m,厚0.3 m,环宽1.5 m。内衬采用Q345C钢材加工而成的钢管,隧洞钢管壁

【作者简介】祝全兵(1975-),男,中国四川乐山人,本科,高级工程师,一级建造师,从事水利水电、市政工程施工技术管理研究。

厚为 16~18 mm, 内径 4.8 m, 内衬钢管外侧均设置有加劲环。内衬钢管与外衬管片之间填充高性能的自密实混凝土, 混凝土强度等级为 C30。

3 施工工艺流程简述

本工程隧洞复合衬砌内衬钢管采用钢板集中卷制加工, 12 m 一节, 结合混凝土分仓、分段设计, 内衬钢管每安装 24 m (12 m × 2), 便浇筑一仓自密实混凝土, 在钢管安装固定后, 每隔 24 m 采用预制环形快易收口网模板进行全环分仓封堵和固定 (可免除施工缝凿毛), 每环快易收口网模板在地面预先加工成 6~8 片的单片预制构件, 内衬钢管定位安装完成后将预制的快易收口网用钢筋三脚架双面焊接固定于钢管端部加劲环外侧预留焊接部位。

自密实混凝土采用 8~10 m³ 的混凝土罐车进行地面水平运输, 到达工作井后采用直径 219 mm 的钢管和软管结合的混凝土垂直运输方式, 洞内自密实混凝土采用改造混凝土运输罐车运输。后期运输距离较长时洞内运输充分利用已浇筑完成的行车道, 提高施工效率。

自密实混凝土通过内衬钢管加工时预留的浇筑孔进行浇筑, 浇筑 (注浆) 孔布置断面标准间距为 6 m, 洞口端可作调整, 每个标准分仓 (24 m) 共有四个浇筑断面, 每个断面布置三个浇筑孔, 即两侧腰部各一个、拱部一个, 拱部浇筑孔与灌浆孔结合。

自密实混凝土浇筑首先通过两侧腰部浇筑口入仓, 两侧同步均匀下料。待混凝土浇筑上升至腰部浇筑口部位时, 封堵腰部浇筑口, 通过顶部浇筑口入仓。

各分仓混凝土按照确定的分层浇筑高度并结合同一施工分段内各相邻舱面进行阶梯式分层连续、流水搭接工艺进行浇筑循环作业 (见图 1)。



图 1 自密实混凝土入仓浇筑

4 质量控制要点

4.1 原材料质量控制要点

4.1.1 水泥的选择

由于自密实混凝土配比中通常会采用较多的胶凝材料,

为了保证混凝土的成型质量, 减少收缩裂缝, 水泥应选用水化热较低的火山灰水泥或普通水泥。

4.1.2 掺合料的选择

自密实混凝土宜使用掺合料, 掺合料可单一品种参加或多品种参加, 掺合料的种类宜为粉煤灰或石灰石粉。这些掺合料具有“活性效应”“界面效应”“微填效应”和“减水效应”, 为了充分发挥上述效应, 要求掺合料的颗粒粒径与水泥颗粒在微观上形成良好的级配体系, 同时提高球形玻璃体的含量, 球形玻璃体含量高的掺合料减水效应显著, 需水比可大大降低^[2]。

4.1.3 外加剂的选择

自密实混凝土的高流动性、高稳定性、间隙通过能力和填充性等良好性能均需通过添加外加剂实现, 其对于外加剂的主要要求有: 与水泥的相容性好; 减水率大; 缓凝、保塑等。因此宜采用减水率 20% 以上的高效减水剂, 其中以聚羧酸盐高效减水剂最佳, 其具有以下优点: ①能显著减少混凝土拌制中所用的水量; ②坍落流动度损失较小; ③凝结时间缩短; ④混凝土硬化所需时间缩短, 短时间能达到一定强度; ⑤不会出现离析现象^[3]。

4.1.4 粗骨料的选择

宜使用碎石作为粗骨料, 由于自密实混凝土的高流动性、高间隙通过能力和快速填充性要求, 因此选择的粗骨料其最大粒径不应超过规范规定的 25 mm, 一般以小于 20 mm 为宜。同时粗骨料颗粒的形状应尽量选用圆状或圆棱角状的, 并尽量不含或少含片状、针状等易于折断, 不易振捣密实的颗粒及粘土等杂质。

4.1.5 细骨料的选择

可使用天然砂或机制砂作为细骨料, 水工自密实混凝土选用的细骨料可取 2.2~3.0 的细度模数区间; 相对碎石而言, 砂在混凝土中具有两种相互矛盾的效应, 一是砂是圆形颗粒, 自身具有滚动减水效应, 可提高混凝土流动性, 但其贡献的强度值不如碎石; 二是其表面积大、吸水率高, 有较强需水效应。其双重效应, 使我们在配制高性能自密实混凝土时, 需要根据水泥、掺合料、外加剂、骨料等综合情况, 通过多次的配合比实验选择满足现场需求的砂率。

4.2 生产过程质量控制要点

自密实混凝土的生产方法与生产设备相对普通混凝土而言有所不同。首先应当严格按照本工程要求的配合比进行混凝土的配合, 其次由于自密实混凝土添加的原材料种类较多, 其拌和物的黏性相对较大, 应优先使用强制式搅拌机进行拌和, 使拌和物能够充分搅拌均匀。自密实混凝土的投料生产一般是先用水泥、掺合料、砂、水与高效减水剂等外加剂配制出具有良好流动性的砂浆; 然后在配制出的砂浆中加入粗骨料, 进行充分搅拌, 根据其流动情况适当调整减水剂用量, 若始终无法满足性能要求则应考虑重新调整配合比。

4.2.1 配制原则

①粗集料最大粒径宜小于 20 mm。且粗集料单位绝对体积不超过 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 或单位向量不超过 950 kg。细集料占集料总量的 40%~50%。

②单位体积用水量控制在 155~185 kg/m^3 。胶凝材料的总量控制在 $0.16\sim 0.19 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。水胶比控制在 0.28~0.35。

③配制的自密实混凝土的抗压强度、坍落度、自密实性能等检测参数应满足 DL/T 5720—2015《水工自密实混凝土技术规程》要求。

④配合比设计报告中除应说明原材料性能检测情况、配制强度取值、设计配合比及其自密实性能和硬化性能检测情况等，还应说明原材料性能的正常波动可能对自密实混凝土性能产生的影响以及相应的调整方法和范围。

⑤根据珠江三角洲水资源配置工程施工图纸及 DL/T 5720—2015《水工自密实混凝土技术规程》的要求，本工程所用的 C30 自密实混凝土性能及参数要求见表 1。

4.2.2 材料、设备质量控制要点

①根据现场施工进度制定自密实混凝土原材料季度、月度、周需求计划，按照计划及时进场原材料，保障原材供应满足现场施工进度。

②加强自密实混凝土配合比控制，混凝土拌制过程中严格按照要求（间隔 2~4 h）对砂，碎石含水率进行检测，控制砂的含水率 $\leq 6\%$ ，并保持骨料湿润。

③加强混凝土出站前的检查，避免混凝土到达现场后无法使用退料调整的情况。

④定期对自有拌和站设备进行标定，加强设备日常维保工作，加强操作人员管理，规范操作流程，避免人为操作误差。

4.3 浇筑过程质量控制要点

4.3.1 运输

结合本工程特点及工作井现场实际施工情况，自密实混凝土采用 8~10 m^3 的混凝土搅拌车进行地面水平运输，到达工作井后采用直径 219 mm 的钢管和软管结合的混凝土垂直运输方式，洞内自密实混凝土采用改造混凝土运输罐车运输。运输过程中的控制要点如下：

①混凝土罐车装料前应检查并排除车内残存积水、杂物，且中途严禁加水。

②混凝土罐车在运输中应保持罐体处于旋转状态，在到达浇筑地点放料之前，使罐体高速旋转一定时间，保证自密实混凝土拌和均匀，并经现场拓展度实验复验后方可泵送。若自密实混凝土运输至施工现场后其性能不满足施工要求应清退作废处理。

③在自密实混凝土运输过程中，应尽量选择平坦的运输

道路，避免因车辆颠簸导致的混凝土分层或者离析等问题^[4]。

④在混凝土运输过程中，可添加少量的增塑剂、这样可以在混凝土运输途中不会出现离析现象^[3]。

⑤为了保证混凝土的使用效果，混凝土的运送和泵送时间控制在 2 h 以内，这样才能保证混凝土的高效流动性。

⑥自密实混凝土下井采用钢管和软管结合的垂直运输方式，为了减少混凝土的性能损失，在管路中间设置缓降器，且应一用一备，防止混凝土快速垂直运输过程中出现的骨料分离问题。同时定期对井上至井下下料管进行清理维护，保证混凝土顺利下井。

⑦用溜槽作为下料管路时，溜槽的材质必须满足施工需求，上方必须设盖，防止混凝土骨料溅落，防止雨期施工时雨水污染混凝土。

4.3.2 浇筑

本工程自密实混凝土入仓输送选用地泵泵送的方式，泵送浇筑自密实混凝土应注意以下控制要点：

①端头模板应焊接加固到位、封闭严密，不能有大于 2 mm 的缝隙，并经验收合格后方可浇筑。

②混凝土泵送前应用同强度等级砂浆进行试泵，以湿润和润滑管壁；混凝土泵送应连续进行，做好混凝土持续供应，停顿时间不宜过长，一般不应超过 30min，以免造成混凝土堵管现象。

③自密实混凝土浇筑时，泵送速度不宜太快，且应均匀对称浇筑，防止高差过大使钢管发生侧向移位、变形等质量事故。

④钢管上浮控制：第一，浇筑时必须分层分段浇筑，首层浇筑量控制在 45~48 m^3 （48 m 每仓），每个浇筑断面不超过 6 m^3 ；第二，浇筑前采集钢管断面初始值，浇筑过程中通过红外线水平仪辅助监控钢管上浮情况，严格控制钢管上浮。

⑤拱顶浇筑质量控制：浇筑过程中，通过工业摄像头在下一节钢管拱顶浇筑孔，观察预埋管出浆情况以判断浇筑饱满度。

⑥混凝土严格按照方案进行分层厚度浇筑，严格控制浇筑方量，浇筑第一层时每一个浇筑口最多浇筑一车混凝土（6 m^3 ），防止钢管上浮移位，内衬钢管两侧同步均匀下料，待混凝土浇筑上升至腰部浇筑口部位时，封堵腰部浇筑口，通过顶部浇筑口入仓。

⑦混凝土浇筑时应控制各仓各层浇筑时间，避免出现混凝土冷缝。同时加强人员管理，落实交接班制度，保证混凝土连续浇筑。

⑧自密实混凝土浇筑时安排专业实验检测人员现场值守，做好现场自密实混凝土质量过程控制。

表 1 自密实混凝土设计要求

	配合比设计控制指标	生产出机控制指标	浇筑前控制指标	混凝土泵送性能评价指标
坍落扩展度 (mm)	640~700, SF2	640~700	630~700	≥ 630
V 型漏斗通过时间 (s)	12~20	7~25	7~25	7~25
1h 坍落拓展度损失 (mm)	/	/	/	≤ 50

5 结语

综上所述,论文结合珠江三角洲水资源配置工程实例分析了自密实混凝土浇筑施工过程中的工艺要点和质量控制要点,通过加强自密实混凝土原材料的选择、配合比设计,对自密实混凝土生产全过程和施工过程的严格控制,有效地提高了本工程自密实混凝土的施工质量,保障了工程建设质量,助力打造新时代智慧水利工程,共创和谐社会,同时也为类似工程的施工提供了参考和依据。

参考文献

- [1] 珠江三角洲水资源配置工程[EB/OL].百度百科,2019-08-19.
- [2] 吕斌.自密实混凝土技术及施工质量控制[J].中国高新技术企业,2010(19):2.
- [3] 刘国铭.自密实混凝土施工技术及其质量控制[J].建设科技,2011(12):2.
- [4] 蒋文.自密实混凝土施工技术及其质量控制要点研究[J].科技创新导报,2018,15(30):2.