

桩基水下高性能海工混凝土配合比设计及 施工质量控制

韩 强 李建平 赵光辉 施 洺 刘春雨

中国建筑第七工程局有限公司 河南郑州 450000

【摘 要】结合某工程水中桩基施工，以粉煤灰与矿粉双掺混凝土为研究对象，研究了水下海工混凝土的配制原材料及具体配合比方案，借助全自动恒应力压力试验机与氯离子扩散系数试验仪器，通过分析试验数据，验证了混凝土力学及耐久性能，可以满足混凝土的施工要求，并详细介绍了水下桩混凝土灌注质量控制要点。

【关键词】混凝土性能；双掺；混凝土性能；灌注

1 工程概况

温州市某桥梁工程系浙江省重点工程，南连鹿城七都街道七都大桥南汊桥，北侧通过新建枢纽连接局部改线后永嘉三江街道104国道，主线全长1866米，为双向六车道。目前一期工程已完成并通车，本次实施为二期变更工程。水中钢混叠合梁引桥加宽，在原叠合梁引桥外侧拼宽一座新的叠合梁引桥。拼宽桥西侧孔跨布置为3*56.25+60=228.75m，东侧孔跨布置为2*56.25+60=172.5m，采用钻孔灌注桩基础，强度等级C35水下。

2 原材试验及配合比设计

2.1 原材料

2.1.1 水泥

在水泥选用时，优先选择强度等级42.5或52.5普通硅酸盐水泥，此类水泥有着较为稳定的质量，混凝土的拌合材料受到的强度影响较低^[1]。

2.1.2 细集料

在选择细集料时，优先选择干净的河砂，细度模数不低于2.6的中砂。砂如果偏细，混凝土拌合物的黏度较高，不利于进行振捣密实，同时还会增大水泥的用量，增加施工

成本。根据《建设用砂》（GBT14684-2022），河砂中氯离子含量不超过0.02%，含泥量不超过3.0%，泥块含量不超过1.0%。性能指标如表1所示。

2.1.3 粗集料

粗集料的强度、颗粒形状及表面特征、颗粒级配、最大粒径、含泥量、有害杂质含量等因素直接影响混凝土强度。若想配置出性能良好的海工混凝土，应选用颗粒形状以近立方体或近球状体、粒径较大、连续级配、压碎值指标较高的粗集料。

2.1.4 粉煤灰

粉煤灰是目前广泛使用的混凝土掺合料之一，但其使用质量与混凝土质量密切相关。粉煤灰的烧失量不低于8%，需水量比≤105%，氯离子含量<0.02%，三氧化硫的含量不超过3%。

2.1.5 矿渣粉

海工混凝土掺入适量的矿粉可以减少水泥用量、改善混凝土的工作性、增进后期强度、延缓胶凝材料的水化速度，使混凝土的凝结时间延长，对高温季节混凝土的输送和施工有利。同时对抑制碱骨料反应，降低水化热，减少混凝土结构早期温度裂缝，提高混凝土密实度，抗渗和抗

表1 砂性能指标

砂种类	细度模数	含泥量 (%)	泥块含量 (%)	氯离子含量 (%)	堆积密度 (kg/m ³)	表观密度 (kg/m ³)
河砂	2.9	2.0	0.2	0.01	1480	2620

侵蚀能力有明显效果。

2.1.6 减水剂

选择与水泥相溶性好的减水剂，可有效改善混凝土和易性，提高混凝土强度，在保持混凝土强度不变时也可节约大量水泥。本工程选择缓凝型高效减水剂，掺量1.2%，性能指标结果如表2所示。

2.2 混凝土配合比设计

混凝土试配强度的确定。根据《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ55-2011）规定， σ 取5.0， $f_{cu,k}=35\text{MPa}$ ，由公式 $f_{cu,0}=f_{cu,k}+1.645\sigma$ 计算得出混凝土配制强度为43.2MPa。

（2）水胶比的确定。根据《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ55-2011）规定，碎石取 $a_a=0.53$ ， $a_b=0.20$ ；II级粉煤灰取 $\gamma_f=0.75$ ， $\gamma_s=1.00$ ，水泥强度 $f_{ce}=44.4\text{MPa}$ 。由 $W/C=a_a*f_b/(f_{cu,0}+a_a*a_b*f_b)$ 及 $f_b=\gamma_f*\gamma_s*f_{ce}$ 计算得水胶比为0.38。

（3）选定单位用水量 m_{w0} 。根据配合比的特点，其坍落度为 $200\pm 20\text{mm}$ 以及外加剂掺量及减水率，选定其单位用水量为236kg。外加剂减水率为25.1%，实际用水量为177kg。

（4）确定单位胶凝材料用量 m_{b0} 。经计算，混凝土胶凝材料为465kg/m³，为提高混凝土的耐久性、和易性及经济

性，结合本工程其他混凝土配置中的经验，拟等量掺加20%粉煤灰及15%矿渣粉。实际水泥用量为279kg/m³，粉煤灰116kg/m³，矿渣粉70kg/m³。

（5）粗、细集料用量。根据水胶比、粗集料类型、最大粒径、经验值确定砂率；经试拌拟定砂率为43%，根据质量法计算混凝土配合比中粗、细集料用量，假定容重为2380kg/m³，由公式 $m_{b0}+m_{w0}+m_{s0}+m_{g0}=2380$ ， $m_{s0}/m_{s0}+m_{g0}\times 100\%=43\%$ 计算得出骨料用量为细集料747kg/m³，粗集料991kg/m³。

（6）基准配合比。由以上计算可知 $W/B=0.38$ ，每立方米基准材料用量为：水泥：粉煤灰：矿渣粉：水：砂：碎石：减水剂=279：116：70：177：747：991：5.58。

2.3 配合比优化调整

试拌采用3个水胶比进行，其他两个以基准配合比水胶比分别增加0.03和0.03，相应的砂率减少1%及1%，各配合比用量见表3，拌合物性能详见表4。

根据以上实验结果，在满足设计和施工要求的条件下，本着经济节约的原则，确定C35海工混凝土理论配合比最佳为：水泥：粉煤灰：矿渣粉：水：砂：碎石：减水剂=279：116：70：177：747：991：5.58， $W/B=0.38$ 。

表2 减水剂性能指标

减水率（%）	泌水率比（%）	含气量（%）	凝结时间差（min）		抗压强度比（%）		28d收缩率比	氯离子含量（%）	密度（g/cm ³ ）
			初凝	终凝	7d	28d			
25.1	39.8	3.0	+125	+40	130	127	94.6	0.04	1.043

表3 试拌各配合比材料用量

水胶比	水泥	粉煤灰	矿渣粉	水	砂	碎石		减水剂
						5-16mm	16-31.5mm	
0.41	259	108	65	177	779	397	595	5.18
0.38	279	116	70	177	747	396	595	5.58
0.35	304	126	76	177	713	394	590	6.07

表4 混凝土试配性能

水胶比	表观密度（kg/m ³ ）	坍落度（mm）	含气量（%）	泌水率（%）	氯离子含量（%）	碱含量（%）
0.41	2380	220	3.5	3	0.02	1.76
0.38	2390	210	3.5	2	0.01	1.88
0.35	2400	190	3.4	2	0.01	1.90

3 混凝土灌注质量控制

3.1 施工前准备工作

首先要进行技术准备, 主要包括对施工图纸及施工工艺的熟悉程度, 特别要对钻孔施工, 钢筋笼的制作, 吊装及混凝土灌注等主要施工节点进行技术交底, 以保证施工人员对施工要点的把握。其次是搞好物资准备, 包括施工材料及机械设备。混凝土钻孔灌注桩不仅对混凝土及钢材要求较高, 而且还要求多种机械设备协同工作, 所以施工前要保证各种物资准备充分、各种机械设备精准到位、性能优良, 这些都直接影响着后续施工的进度和质量。再者是要搞好施工组织, 包括技术管理, 质量监管和施工期间的安全管理, 要明确每个岗位的工作职责, 保证每个岗位都能各司其职, 高效协作^[2]。

3.2 导管的配置

桩身混凝土灌注采用直径为300mm的导管, 底节长度应不小于4m, 中间节2~3m配2~3节0.5~1.5m的短管, 作为调整节。导管内壁应光滑、圆顺、无明显凹凸, 内径一致、其偏差不大于±2mm, 接口严密。导管总长度按孔深和施工平台高度选择。导管安装后, 其底部距孔底300mm~500mm。导管在使用前或使用一段时期后, 应进行试拼和水密承压试验和接头抗拉试验。拼接时导管底面应均匀放置枕木, 按自下而上顺序编号和标示尺度。

3.3 混凝土灌注

(1) 首批混凝土数量及灌注速度控制。由于钻孔桩直径大, 要求初灌时导管埋深不得小于1.50m。首灌混凝土灌注结束, 在连续灌注混凝土达到导管底口混凝土埋深大于2m, 小于6m后, 即可拆除集料斗和一节导管。在灌注过程中应连续进行, 不得间断, 混凝土上升速度不得小于3m/h。灌注完毕时应保证混凝土面超过设计桩顶标高至少50cm; 混凝土灌注过程中, 应对数量、导管埋置深度、混

凝土面高度随时检查并做好原始记录。

(2) 做好防止钢筋笼上浮的措施。在灌注混凝土过程中, 当混凝土面到达钢筋笼底部附近时, 此时导管的埋深控制很关键, 其实, 也就是导管底口距钢筋笼底部的距离, 该距离在一米左右时, 由于浇筑的混凝土自导管流出后冲击力很大, 所以在钢筋笼安装就位后, 可以用钢筋将顶部与钻台架连接, 或者将顶部固定在钢护筒上, 防止钢筋笼上浮。

(3) 防止断桩与夹泥层。钢筋笼安装后要进行第二次清孔, 减少孔内悬浮沙粒, 防止灌注过程中泥砂回沉到混凝土面上, 形成积砂层。整个混凝土灌注过程一定要连续, 禁止中断。灌注过程中避免猛烈往复地拔动导管, 严格控制拔管长度。严格控制混凝土的配合比、拌合、运输过程, 坍落度到场应满足180mm~220mm。每次灌注后应对导管内外进行清洗, 灌注前应检查导管情况和混凝土的和易性等, 确保灌注过程中不堵管。

(4) 声测管保护。混凝土施工过程中应注意避免破坏声测管, 终孔后检查声测管是否堵塞, 并用水管清除声测管底部的泥浆沉淀物。

4 结语

在海工混凝土的桩基施工中, 通过合理的配合比设计可以有效提高混凝土的耐久性、经济性。编制切实可行的灌注方案, 保证混凝土的连续灌注、加强过程控制, 从而进一步保证了水下海工混凝土的灌注质量。

参考文献:

- [1] 钟贤雄. 某跨海大桥桩基海工混凝土配合比设计及灌注质量控制[J]. 福建建材, 2018, 205(5): 74-75, 117.
- [2] 杨峰. 海工建造企业安全文化的思考与探索[J]. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2013(07).