

东南沿海地区全季节预制箱梁混凝土配合比设计

王文学

(浙江宁波舟山港主通道工程建设指挥部, 浙江 舟山 316000)

摘要: 针对 70 m 预制箱梁混凝土早期抗压强度及耐久性的需求, 通过调整胶凝材料的用量以及掺合料的掺配比例, 进行多次试配、试验, 配制出满足东南沿海地区不同季节气候条件下箱梁混凝土施工工艺需求的海工耐久混凝土配合比。

关键词: 箱梁; 海工耐久混凝土; 配合比设计; 抗裂性评价; 耐久性

中图分类号: U445.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)11-0115-03

0 引言

舟岱跨海大桥作为宁波舟山港主通道的主体工程, 海域主线桥长 16.347 km, 其非通航孔主梁采用 70 m 箱梁整孔预制、架设。主梁采用 C55 海工混凝土, 单片箱梁混凝土约 700 m³, 共 370 片, 合计混凝土 25.9 万 m³, 均由金塘预制场生产。

C55 海工混凝土配制要求: 混凝土拌合物坍落度控制在 200 ± 20 mm, 扩展度 500 ± 50 mm, 1 h 坍落度损失小于 10%, 含气量要求 2% ~ 5%; 混凝土 5 d 抗压强度达到设计强度 90%, 满足施工现场 5 d 张拉的工艺要求; 混凝土 84 d 氯离子扩散系数 $D_{RCM,0} \leq 1.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}^{[1-2]}$ 。

舟山地区属北亚热带南缘季风海洋型气候, 年平均气温 16℃ 左右, 最热 8 月, 平均气温 25.8℃~28.0℃; 最冷 1 月, 平均气温 5.2℃~5.9℃, 四季温差较大^[3]。由于箱梁混凝土体量大, 施工周期长, 混凝土施工性能受温度影响较大, 按常规一个配合比难以满足全季节混凝土施工需求。本次试验针对不同季节、不同环境温度对混凝土的影响, 通过胶凝材料、掺合料掺量等调整设计不同配合比来适应不同季节气候下箱梁混凝土施工工艺。

1 混凝土原材料及性能

根据海工耐久性混凝土技术要求, 对本项目附近材料的调研及试验比选, 结合周边类似工程的使用情况选定了满足相关技术要求的混凝土原材料。

(1) 水泥

宁海强蛟海螺水泥有限公司生产的 P. II 52.5 硅酸盐水泥, 比表面积 300 ~ 350 m²/kg, 含碱量

(按 Na₂O 当量计) 小于 0.6%。

(2) 细集料

赣江砂, II 区中砂, 细度模数控制在 2.6 ~ 3.1, 含泥量不得超过 2%, 表观密度 2 560 kg/m³。

(3) 粗集料

浙江宁波北仑碎石, 5 ~ 25 mm 连续级配, 由两级配掺配组成, 压碎指标值小于 15%, 表观密度 2 560 kg/m³。

(4) 粉煤灰

谏壁电厂生产 F 类 1 级粉煤灰。

(5) 矿渣粉

张家港恒昌新型建筑材料有限公司生产的 S95 级矿渣粉。

(6) 外加剂

科之杰新材料集团有限公司生产 Point-TBS 型聚羧酸高性能减水剂。

(7) 拌和用水

自来水。

2 不同季节对混凝土早期强度的影响

根据原材料的基本情况以及以往施工经验, 按海工耐久性混凝土配制要求结合 70 m 预制箱梁的施工特点进行了配合比设计、试配, 确定了一个基准配合比^[4-7]。其中粉煤灰掺量 20%, 矿渣粉掺量 30%, 水胶比 0.32, 砂率 41%, 总胶凝材料 472 kg/m³。配合比的各材料组成及混凝土实测各项技术指标见表 1。

不同季节由于温度变化对混凝土早期强度影响较大, 70 m 预制箱梁由于体量大, 冬天最冷月施工时采取封闭保温、蒸汽发生器升温养护等措施后养护温度能控制在 10℃ 以上, 夏季自然养护最高养护温度接近 40℃。为了掌握预制箱梁在不同季节条件下混凝土早期强度的发展情况, 我们模拟现

收稿日期: 2020-06-12

作者简介: 王文学(1967—), 男, 学士, 高级工程师, 从事工程管理工作。

表1 基准配合比各材料组成及技术性能指标

基准配合比各材料组成/(kg·m ⁻³)							坍落度 /mm	扩展度 /mm	7 d 强度 /MPa	28 d 强度 /MPa	84 d 氯离子扩散系数	
扩散系数	水泥	砂	碎石	减水剂	粉煤灰	矿渣粉						水
	236	718	1 034	4.72	94	142	151	215	510	51.1	68.9	1.3 × 10 ⁻¹² m ² /s

场养护条件在不同养护温度下测定基准配合比混凝土的抗压强度。通过不同龄期不同养护温度时混凝土强度的差异,来掌握养护温度对早期强度的影响。

使用相同原材料、相同配合比时,在不同养护温度条件下混凝土的抗压强度见表2。

表2 不同养护温度下基准配合比混凝土早期强度值

养护温度	混凝土抗压强度值 /MPa				
	3 d	4 d	5 d	7 d	14 d
10℃	24.8	30.2	36.9	45.8	53.2
20℃	34.0	39.8	44.7	51.1	63.4
40℃	43.4	50.3	55.7	60.3	70.4
60℃	58.1	62.8	65.4	68.6	72.1

从表1和图1可以看出,混凝土早期养护温度对混凝土早期强度发展影响巨大,随龄期增长影响趋小。笔者分析,由于配制海工耐久性混凝土时掺加大掺量矿物掺合料,粉煤灰和矿渣粉合计掺量占胶凝材料总量50%,粉煤灰和矿渣粉自身难以直接水化且水化极为缓慢,早期水泥能否及时水化、水化是否充分直接影响混凝土早期强度。水泥水化与环境温度直接相关,环境温度越高水泥水化越快,环境温度低则水泥水化慢,直接影响到混凝土强度。

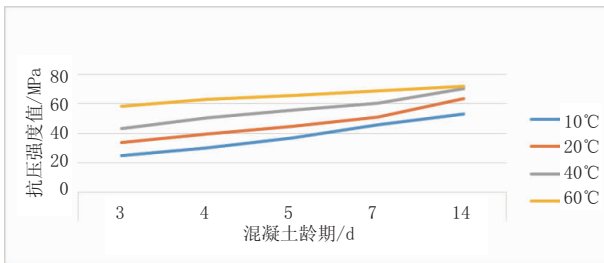


图1 不同养护温度的混凝土早期强度值

表3 优化后的配合比各材料组成及早期强度测定

编号	配合比各材料组成/(kg·m ⁻³)							养护温度	3 d 强度 /MPa	4 d 强度 /MPa	5 d 强度 /MPa	7 d 强度 /MPa
	水泥	砂	碎石	减水剂	粉煤灰	矿渣粉	水					
P1	263	700	1 049	4.78	72	143	148	10℃(冬季)	44.2	50.9	55.5	58.3
P2	260	684	1 068	4.72	70	142	151	20℃(春秋季节)	45.5	51.1	56.5	61.3
P3	236	718	1 034	4.72	94	142	151	30℃(夏季)	47.9	52.6	58.4	63.7

3 不同季节混凝土配合比优化设计及性能测试

3.1 不同季节混凝土配合比的选定

前节基准配合比的抗压强度试验结果表明,该混凝土配合比在20℃养护条件下7 d强度达到设计强度的93%,40℃养护条件下4 d强度达到设计强度的91%,只能在夏季施工时才能满足现场5 d张拉的需求。为了满足全季节混凝土张拉强度的要求,必须在现有配合比的基础上进一步优化设计,提高秋冬季节混凝土的早期强度满足现场施工工艺要求。

在综合考虑混凝土的施工性能和耐久性的基础上,我们通过适当调整配合比胶凝材料的用量、掺合料的掺配比例以及用水量配制了多个配合比,对其在不同养护温度条件下检测早期强度,满足在不同季节施工的工艺要求。优化后选用的适合不同季节的混凝土配合比基本情况见表3。

3.2 混凝土的拌合物性能

混凝土拌合物性能根据参照《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080—2016进行。表4是选定配合比的拌合物性能试验结果。从试验结果可以看出,各配合比混凝土拌合物和易性好、坍落度损失小,工作性能均满足施工工艺要求。通过掺加优质粉煤灰和矿渣粉,改善了混凝土的和易性、可泵性。

表4 混凝土拌合物工作性能

配合比编号	扩展度 /mm	1 h 后坍落度 /mm	含气量 /%	泌水率 /%	初凝时间 /(h:min)
P1	530	205	2.6	0	12:40
P2	520	200	2.5	0	10:25
P3	515	200	2.5	0	12:10

3.3 混凝土力学性能试验

混凝土力学性能试验参照《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 5008—2016 进行,主要性能结果见表 5。

表 5 混凝土力学性能试验结果

配合比编号	立方体抗压强度 /MPa			轴心抗压强度 /MPa		静力受压弹性模量 /($\times 10^4$ MPa)	
	3 d	7 d	28 d	4 d	28 d	4 d	28 d
P1	46.2	63.5	72.3	44.8	58.2	3.38	4.36
P2	45.2	55.3	70.4	41.6	56.3	3.28	4.40
P3	43.2	50.4	71.0	42.1	57.4	3.17	4.25

3.4 混凝土早期抗裂性评价

为评价混凝土拌合物早期凝结硬化过程中抵抗收缩开裂的性能,我们参照《普通混凝土长期性能和耐久试验方法标准》GB/T 50082—2009 的早期抗裂性能的方法进行开裂性试验。对 3 个配合比的抗裂性试验结果记录见表 6。

表 6 混凝土早期抗裂性试验结果

配合比编号	试件编号	总裂缝数	平均开裂面积	单位面积开裂裂缝数目 b	单位面积总开裂面积 c	平均值	等级划分
		/根	a/mm^2	$/(\text{根} \cdot \text{m}^2)$	$/(\text{mm}^2 \cdot \text{m}^2)$		
P1	P1-1	20	9.04	55.6	502	310	L-IV
	P1-2	13	3.29	36.1	119		
P2	P2-1	18	10.82	50.0	541	380	L-IV
	P2-2	14	5.61	38.9	218		
P3	P3-1	10	8.30	27.8	231	154	L-IV
	P3-2	9	3.11	25.0	78		

从抗裂等级划分看,选取的 3 个配合比抗裂等级均为 L-IV,抗裂性能良好。其中 P3 配合比胶凝材料用量最少,且水泥用量和粉煤灰用量较少,水化热温升较低,抗裂性能更好一些。

3.5 混凝土氯离子扩散系数试验

采用 RCM 法检测三个配合比不同龄期的氯离子扩散系数,检测结果见图 2。

根据图表显示三个配合比的 84 离子扩散系数均满足设计要求的 $D_{\text{RCM},0} \leq 1.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 。试验结果表明,其中大量掺加粉煤灰和矿渣粉的混凝土有更好的抵抗氯离子渗透的能力,且氯离子渗透系数随混凝土龄期的增长而减少。

3.6 工程应用

舟岱大桥是跨海大桥,处于海洋环境之中,四季温差相对较大。通过不同季节、不同温度下的配

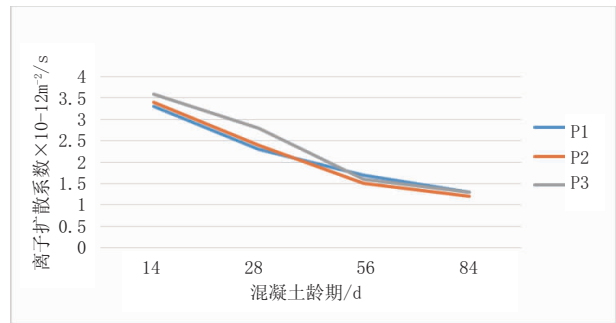


图 2 混凝土率离子扩散系数检测结果

合比试验和研究,优化了混凝土由于季节和温度导致的缺陷和性能。在不同季节采用不同配合比,改善了由于夏天高温给部分箱梁混凝土带来的胀裂,也提高了混凝土在冬季的抗冻性能。

在夏季施工中采用采用 P3 配合比,此配合比中胶凝材料、水泥、粉煤灰用量较少、水化热温升较低、抗裂性能好。同时配合比混凝土拌合物和易性好、坍落度损失小。在施工过程中此配合比也得到了很好的应用,此配合比流动性好,工作性良好,无离析、泌水现象,浆体均质性好,拌合物无分层现象,泵送过程未出现输送管堵塞故障等,经养护后混凝土表面未见明显裂缝,表观质量较好,无明显蜂窝、麻面等表面缺陷。

4 结 语

由于不同季节的气温相差较大,对构件混凝土早期强度影响较大,一个配合比不能满足全季节混凝土的施工工艺要求。必须针对不同季节、不同的环境温度设计不同的混凝土配合比,满足现场施工工艺及工程进度的要求。

通过掺加粉煤灰和矿渣粉,控制混凝土水胶比能够配制出 C55 海工耐久性混凝土配合比,混凝土各项性能均满足设计要求,可以适应多个环境施工,且氯离子抗渗透性明显改善。

参考文献:

- [1] GB 50164—2011,混凝土质量控制标准[S].
- [2] JTS 202-2—2011,水运工程混凝土质量控制标准[S].
- [3] 麻国华,王志强.群岛新区绿色建筑技术设计分析[J].城市建设理论研究(电子版),2015(16).
- [4] 肖雪峰.海工耐久混凝土配合比设计研究[J].铁道建筑技术,2016(1):51-54.
- [5] 王恩.海工耐久混凝土墩身施工及质量控制[J].城市建设理论研究(电子版),2013(8).
- [6] 王忠波.铁路海工耐久混凝土配合比设计及优化研究[D].浙江杭州:浙江工业大学,2016.
- [7] 王冬松.杭州湾跨海大桥高性能海工混凝土配合比设计[J].公路,2009(7):304-308.