

# T 梁 C55 高性能混凝土配合比设计研究

景淑媛<sup>a</sup>, 杜文举<sup>b</sup>, 杨元意<sup>a</sup>

(四川建筑职业技术学院 a. 材料工程系; b. 测绘工程系, 四川 德阳 618000)

**摘要:**高性能混凝土材料技术的应用是交通工程中各种桥梁结构的有力保障,如果混凝土的配合比设计不当,将直接影响工程进度和安全以及结构物的使用寿命。文章结合工程施工要求,论述了 T 梁 C55 高性能混凝土原材料选择及配合比设计要点:高性能混凝土配合比设计中各参数的略微变化均会对实验结果和最终施工配方选择产生显著的影响;简单的通过加和的方式计算原材料氯离子含量,难以真实反应混凝土抗氯离子耐久性指标,需要进行修正;需综合分析试验、成本和现场施工条件对 T 梁混凝土施工配方进行选择。

**关键词:**T 梁;高性能混凝土;配合比设计;自由氯离子

**中图分类号:**TB383

**文献标志码:**A

## 引言

随着我国经济技术的快速发展,各种桥梁在交通工程中占有重要的作用,是交通运输的咽喉<sup>[1]</sup>,高强材料的广泛应用及预应力技术的成熟成为这一趋势的有力保障。目前,混凝土 T 梁以其较强的承载能力、良好的经济性能在高速铁路中小跨径桥梁中占据着越来越重要的地位<sup>[2]</sup>。成绵乐客运专线铁路是连接绵阳—成都—乐山的一条城际客运专线铁路,是西南地区首条开工建设的高速铁路主体工程,全线设 21 个车站,项目总投资 405 亿元,设计时速 200 km,线路正线长 312 km,具有桥梁 157 座<sup>[3]</sup>。成绵乐客运专线混凝土 T 梁,设计使用年限 100 年以上,混凝土作为施工建设最主要的基础材料之一,其性能品质成为关键,本文对成绵乐客运专线 T 梁高性能配合比设计展开了相关的实验研究。

## 1 原材料与试验方法

### 1.1 原材料

水泥:都江堰拉法基水泥有限公司 P·O42.5 低碱水

泥,经过检测性能满足相关规范要求。

细骨料:广汉市太兴建材经营部景福河砂,细度模数  $M_x = 2.7$ 。

粗骨料:中普科技木瓜坪采石场生产的 5~20 连续级配的碎石,其中 5~10 mm:10~20 mm = 30%:70% 掺配成 5~20 mm 连续级配碎石。

掺合料:成都搏磊资源循环开发有限公司 F 类粉煤灰,经过检测性能满足相关规范要求。

减水剂:北京金盾 JD-1 减水剂,符合 GB 8076 - 19975《混凝土外加剂》要求。

拌合用水:地表水。

### 1.2 试验方法

配合比设计参考《普通混凝土配合比设计规范》JGJ55 - 2000 进行测试,《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》TB10002.3 - 2005;

拌合物、力学、耐久性试验参考《客运专线高性能混凝土暂行技术条件》科技基[2005]101 号,《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》铁建设[2005]157 号,《预制

后张法预应力混凝土铁路桥简支 T 梁技术条件》TB/T3043-2005,《客运专线铁路桥涵工程施工质量验收暂行标准》铁建设[2005]160 号,《铁路混凝土工程施工质量验收补充标准》铁建设[2005]160 号,《后张法预应力简支 T 梁 L=24、32 m》通桥[2005]2101。

## 2 配合比设计计算

高性能混凝土作为一种现代混凝土最重要的发展方向之一,其在配制上的特点是选用优质原材料且具有明显较低的水胶比,并除水泥、水和集料外,还须掺加足够数量的矿物细掺料和高效外加剂,并且强度、耐久性、工作性是其最主要的配制目标及其影响因素,从而该高性能混凝土 T 梁的配合比设计需充分考虑以上因素进行理论计算,主要步骤如下:

### 2.1 确定配制强度

根据《普通混凝土配合比设计规范》JGJ55-2000 混凝土的配制强度公式:  $f_{cu,0} \geq + 1.645\Delta$ , 根据现场混凝土的生产水平,强度标准差  $\Delta$  取 6.0 MPa, 则

$$f_{cu,0} = 55.0 + 1.654 \times 6.0 = 64.9 \text{ MPa}$$

### 2.2 水胶比计算

由《预制后张法预应力混凝土铁路桥简支 T 梁技术条件》以及高性能混凝土配合比要求可知,T 梁每立方米混凝土胶凝材料用量不宜小于 300 kg,混凝土胶凝材料总量不应超过 500 kg,水胶比应控制在 0.35 左右。从而预应力混凝土中粉煤灰的掺量不宜大于 30%,取基准水胶比  $W/B = 0.30$ 。

### 2.3 配合比初步设计

根据《普通混凝土配合比设计规范》JGJ55-2000,假设 T 梁混凝土容重为  $2400 \text{ kg/m}^3$ ,取基准砂率  $\beta_s$  约为 36%;每立方米混凝土胶凝材料用量为 491 kg,粉煤灰用量约占胶凝材料约 25%,减水剂掺量约占胶凝材料的 1.0%,主要调整细骨料、粗骨料的配比关系以及砂率值,形成初步选定配合比见表 1。

表 1 C55 高性能混凝土 T 梁配合比初步设计

标号	水泥	粉煤灰	细骨料	粗骨料		减水剂	水	水胶比
				5~10 mm	10~20 mm			
A	380	127	611	341	795	5.07	147	0.29
B	368	123	634	338	790	4.91	147	0.30
C	356	119	658	336	784	4.75	147	0.31

### 2.4 混凝土总碱含量计算

当混凝土中的总碱含量过高时,将与集料的活性物质发生化学反应,使混凝土发生不均匀膨胀,产生裂缝,从而严重影响强度和弹性模量,缩短混凝土的寿命,危及工程安全<sup>[4]</sup>。从而在进行配合比设计,特别是大体积混凝土配合比设计时特别需要对总碱含量进行计算,混凝土的总碱计算时,包括水泥、矿物掺合料、外加剂及水的碱含量总和。其中,矿物掺合料的碱含量以其所含可溶性碱含量计算。粉煤灰的可溶性碱含量取粉煤灰总碱量的 16.7%,矿渣的可溶性碱量取矿渣总碱量的 50%,硅灰的可溶性碱量取硅灰总碱量的 50%,地表水通过检测可知,其碱含量为 0.006 65,则该 T 梁混凝土配合比中总碱含量计算结果见表 2。计算结果显示,A、B、C 三个配比总碱量计算值依次降低,且均小于  $3.0 \text{ kg/m}^3$  符合规范设计。

表 2 C55 高性能混凝土 T 梁总碱含量计算结果

项目和材料	水泥	粉煤灰	减水剂	水	
混凝土中单	A 380	127	5.07	147	
项材料用	B 368	123	4.91	147	
量/( $\text{kg/m}^3$ )	C 356	119	4.75	147	
单项材料的碱含量/%	0.46	0.6	1.4	0.00665	
混凝土中的碱含量	A 1.748	0.127	0.07098	0.0097755	
/( $\text{kg/m}^3$ )	B 1.6928	0.123	0.06874	0.0097755	
	C 1.6376	0.119	0.0665	0.0097755	
混凝土的总碱含量/(kg)	A		2.0		
	B		1.9		
	C		1.8		

### 2.5 混凝土中氯离子总含量计算

混凝土对 T 梁中钢筋具有保护和阻止腐蚀的重要作用如图 1,图 2 所示,然而在混凝土的生产过程中,由于组成混凝土的各种原材料中含有可溶性氯盐,不可避免的使得所生产的混凝土含有一定量的氯离子,氯离子具有很强的穿透性会使得钢筋加速锈蚀<sup>[5]</sup>。为了避免在生产混凝土时引入更多的氯离子,在混凝土原材料及有关混凝土标准规范中都提出了氯离子含量的控制指标<sup>[6]</sup>,从而需要 T 梁混凝土中氯离子总含量进行有效计算,作为配合比优选耐久性指标的参考依据之一。混凝土中氯离子总含量来自水泥、矿物掺合料、骨料、水、外加剂等,计算结果见表 3。A、B、C 三个配合比氯离子总量均满足规定要求,低于超过胶凝材料总量的 0.1%,从而该配合比设计计算值具有较好的抗氯离子渗透性。



图1 成绵乐城际专线T梁配筋情况



图2 成绵乐城际专线混凝土T梁外观

表3 C55高性能混凝土氯离子总含量结果

项目和材料		水泥	粉煤灰	粗骨料	细骨料	减水剂	水
混凝土材料用量 /(kg/m <sup>3</sup> )	A	380	127	1136	611	5.07	147
	B	368	123	1128	634	4.91	147
	C	356	119	1120	658	4.75	147
材料的Cl <sup>-</sup> 含量/%		0.034	0.019	0.001	0.001	0.093	0.0023
材料在混凝土中的Cl <sup>-</sup> 含量 /(kg/m <sup>3</sup> )	A	0.1292	0.02413	0.01136	0.00611	0.0047151	0.003381
	B	0.12512	0.02337	0.01128	0.00634	0.0045663	0.003381
	C	0.12104	0.02261	0.0112	0.00658	0.0044175	0.003381
混凝土中Cl <sup>-</sup> 的总含量 /kg	A	0.1788961					
	B	0.1740573					
	C	0.1692285					
混凝土中Cl <sup>-</sup> 占胶凝 材料的百分数/%	A	0.04					
	B	0.04					
	C	0.04					

### 3 C55高性能混凝土试验

#### 3.1 混凝土试配及拌合物性能试验

为了使得混凝土具有良好的工作性,通常对新拌混凝土的坍落度、泌水率、含气量、凝结时间等进行测试,作为最终确定配合比性能的重要依据,通常用水量会根据坍落度在160~200mm之间进行一个调整。通过反复试验验证,相应混凝土配合比的用水量拌合物性能见表4所示,从试验结果可知,初步计算所得的混凝土配合比混合物新拌浆体塑性、含气量、泌水率等性能良好,均能够满足规范设计和使用要求,并且随着水胶比、细

骨料、砂率的加量的增大而增大,混凝土的初凝和终凝时间都出现了缩短,这是因为拌合水加量的提高,使得水化反应更容易进行,同时细骨料和砂率含量的在一定范围内的增大,也利于水泥更好的分散和包裹作用。其中C配合比,在提高水胶比和砂率的同时减少了胶凝材料的含量,使得浆体的包裹和润滑性能下降产生了一定的孔隙,以及增大了裹挟的气体含量,但是由于测量和配制工具的未得到及时的清洗和标定,使得配置过程中的浆体之间产生了相互污染和影响,从而造成了表观密度实验结果出现了一定范围内的异常偏大。

表4 C55高性能混凝土拌合物性能结果

高性能混凝土等级	项目	用水量/kg	坍落度/mm		含气量/%		表观密度/(kg/m <sup>3</sup> )	泌水率/%	压力泌水率/%	凝结时间/(h:min)	
			初始	1h后	初始	1h后				初凝时间	终凝时间
C55	A	147	190	170	3.0	2.6	2410	0	0	10:45	11:55
	B	147	200	190	3.0	2.5	2400	0	0	10:05	11:15
	C	147	200	190	3.2	2.7	2420	0	0	09:25	10:30

#### 3.2 混凝土力学性能试验

本文主要对混凝土抗压强度发展以及静力受压时的弹性模量展开的测试,混凝土试块抗压强度测试结果

如图3所示,随着养护天数的增大,三个配合比都表现出了良好的增长趋势,并达到设计要求,其中A和B试验测试值均超过60MPa,具有较好的强度发展。由于水

胶比和砂率的变化,随着水胶比的增大以及粗骨料的降低,使得混凝土试块强度略有一定的下降。各配合比弹性模量试验结果如图 4 所示,可见随时养护天数的增加,混凝土试块弹性模量显著增大刚性增强,并且随着水胶比的增大而有明显的下降,说明水胶比以及骨料的级配的变化对混凝土力学性能影响显著。

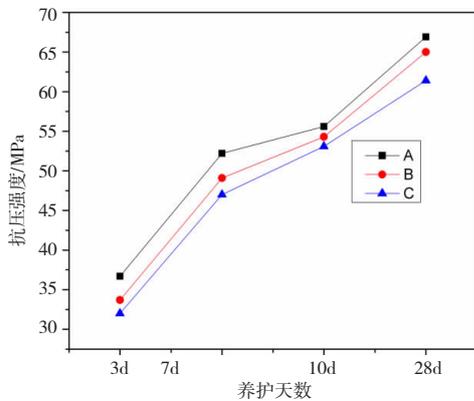


图 3 抗压强度

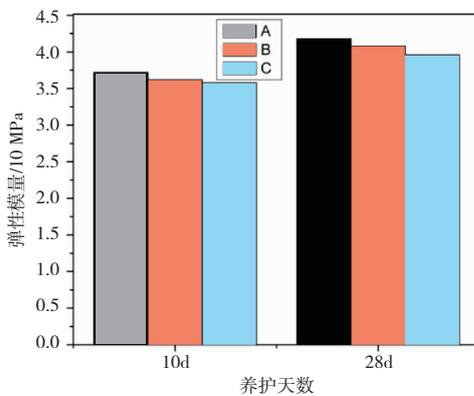


图 4 弹性模量

### 3.3 混凝土耐久性试验

参照相关规范要求,主要对混凝土试块的电通量、抗渗性、护筋性、抗硫酸盐侵蚀性等方面展开了实验,测试结果见表 5。结果显示在 3 个配合比下混凝土耐久性指标均能达到相关规范要求,但 C 配合比电通量值偏大,这可能是由于水胶比较大,从而导致混凝土试件中孔隙较多,同时 C 配合比下骨料的量也较 A 和 B 有所增加,从而使得胶凝材料和骨料界面效应增大,增大了氯离子渗透的风险。对比实验结果与计算值可知,通过的电量为  $A < B < C$ ,而配合比中各材料所具有的氯离子总的理论计算值为  $A > B > C$ ,说明只是简单的通过加和的方式计算材料中所含有的氯离子含量,并不能正确的反应真实的自由氯离子含量及氯离子渗透和迁移的条件,

需要结合实验结果进行一定的修正,从而真实的反应各配合比设计的耐久性指标。

表 5 混凝土耐久性试验结果

强度等级	项目	电通量 56d(C)	抗渗性 28d	护筋性	抗硫酸盐侵蚀系数	抗裂性	抗冻性
C55	A	393	P22	合格	1.01	合格	200
	B	435	P22	合格	1.01	合格	200
	C	652	P22	合格	1.01	合格	200

综上所述,A,B,C 三个配合比设计虽然各配比参数仅发生了略微变化,但对其实验结果和最终的配方选择产量了显著的影响。虽然,该高性能混凝土 T 梁配比设计的理论计算值与实验结果显示三个配方均能达到相关规范设计要求,但其中 A 和 B 工作性和强度发展良好,强度高且抗氯离子渗透性等耐久性指标相对较高,应优先考虑使用,而 B 配合比由于水泥的量较低,综合成本和现场施工的条件,最终选定 B 配合比作为成绵乐客运专线 T 梁混凝土配合比设计。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

(1) 通过合理的配合比计算,并经过试验验证后,能够得到满足规范要求的混凝土 T 梁混凝土配合比,但混凝土中各配比设计参数的略微变化,会对实验结果和最终的施工配方选择产生显著的影响。

(2) 混凝土配合比设计中,水胶比、砂率、粗细骨料级配参数对新拌混凝土浆体凝结时间以及硬化后的水泥石力学性能产生较大的影响。

(3) 简单的通过加和的方式计算原材料氯离子含量,并不能反应混凝土中真实的自由氯离子含量和相关耐久性指标,需要结合实验结果进行一定的修正。

(4) 经过试验结果对比分析,以及成本和现场施工的综合考虑,得出 B 配比经济节约、性能优良,能够较好的满足 T 梁混凝土要求。

### 4.2 建议

(1) 实验室中混凝土的配制和检验,与实际工程应用有显著的区别,现场施工配制过程中,必须严格把关原材料质量,并定期抽检和留样处理,以保证其在整个施工中的稳定性。

(2) 需及时清洗和标定相关的测量和配制工具,以确保配置过程中的浆体直接不会相互污染和影响。

(3) 在施工过程中应加强振捣分散均匀,确保混凝

土密度和填充性良好,并严格制定养护措施,以避免产生收缩裂缝或其他危害的发生。

#### 参考文献:

- [1] 姚玲森.桥梁工程[M].2版,北京:人民交通出版社,2008.
- [2] 康建强.预应力混凝土T梁承载力试验研究[D].西安:长安大学,2010.
- [3] 鄢勇,马庭林,何强,等.桩基托换技术在成绵乐客运专线铁路建设中的应用[J].高速铁路技术,2012(3):22-25.
- [4] 张冰华,赵更歧,曹力.混凝土碱骨料反应的机理及预防措施[J].山西建筑,2004,30(17):100-101.
- [5] 李党国,冯耀荣,白真权,等.CI[3]-对N80钢在CO<sub>2</sub>水溶液中腐蚀行为的影响[J].腐蚀科学与防护技术,2007,19(5):329-332.
- [6] 范永法,谢家斌.对现行混凝土标准中氯离子含量指标的几点看法[J].广东建材,2013,29(10):45-48.

## Research of the Design of High Performance Concrete T-beam of C55

JING Shuyuan<sup>a</sup>, DU Wenju<sup>b</sup>, YANG Yuanyi<sup>a</sup>

(a. Department of Materials Engineering; b. Department of Surveying and Mapping Engineering, Sichuan College of Architectural Technology, Deyang 618000, China)

**Abstract:** The application of high performance concrete in traffic engineering was extraordinary important for bridge structures. Chengdu, Mianyang and Leshan inter-city dedicated railway with 157 bridges, which would incur the damage of the work progress, safety and the whole structure life for irrationality design of mix proportion. The materials and mix proportion of C55 high performance concrete T-beam and the construction requirements were discussed as the reasonable calculation of the mix proportion would fit the requests of standards. However, the results and selection of concrete could be impacted by the fluctuation within a narrow range of the mix proportion significantly. The free chloride ion which was contained in the concrete could not be reacted by simply sum the chloridion content of the raw materials. The ultimately mix proportion was determined by cost control and execution conditions.

**Key words:** T-beam; high performance concrete; mix proportion design; free chlorideion