

青藏铁路高性能混凝土组成设计研究

孟万隆

(中铁十三局集团 第三工程有限公司, 辽宁 沈阳 110043)

摘要:根据青藏铁路环境特点,分析了低温早强耐久防腐高性能混凝土的技术要求,重点对原材料选择和依据正交试验优化混凝土配合比等进行了介绍,依据本文方法设计的混凝土配合比完全满足施工及规范要求。

关键词:高性能混凝土;低温早强;耐久防腐;正交试验

中图分类号:TU528.59 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-0300(2009)03-0105-04

1 工程概况

青藏铁路25、26标段位于谷露与乌玛塘之间,海拔4 600 m以上,属高原亚干旱地区,年平均气温1.6℃,年最高气温26.5℃,最低气温-35.9℃,相对湿度为54%,年平均降水量468.1 mm,年平均蒸发量1 866.1 mm,蒸发量远大于降水量,年平均大于8级风速的天数57.1 d,最大季节性冻土深度113 cm。

根据国家、铁道部提出的高起点、高标准、高质量建设青藏铁路的要求及当地气候条件,混凝土除具有良好的低温、负温早强性能外,还必须具有优越的抗冻融破坏,抗碱-骨料反应破坏,耐硫酸盐和镁盐腐蚀破坏,抗氯离子侵蚀以及抗风蚀破坏能力^[1]。

2 低温早强耐久防腐高性能混凝土技术指标

根据不同冻土地段,不同环境条件,不同温度范围,不同地质条件以及施工需要,要求低温早强耐久防腐高性能混凝土具备以下性能^[2]:

(1)超塑化。在大坍落度条件下,混凝土不泌水、不离析、便于施工、易于振捣密实。

(2)早期增强效果显著。该地区昼夜温差大,冰冻时间长要求混凝土在低(负)温下增强效果显著,防止遭受冻害。

(3)高耐久性能。由于恶劣的自然环境,要求混凝土的抗冻融循环次数达300次以上以及其它耐久性要求。

3 原材料的选择

(1)水泥。选用32.5R以上的低碱普通硅酸盐水泥,水泥的强度等级根据所配制混凝土的强度等级选定,对于C50以下的混凝土,宜选用32.5级的水泥,对于C50及以上的混凝土应选用42.5级及以上的水泥。根据青藏铁路物资供应情况,选用了甘肃永登祁连山牌32.5R级普通硅酸盐水泥,甘肃景泰寿鹿山牌32.5R普通硅酸盐水泥,其主要技术指标:细度4.1%,标准稠度用水量26.6 kg,初凝时间1 h50 min,终凝时间3 h35 min,28 d抗折强度8.3 MPa,抗压强度42.6 MPa,符合规范要求。

(2)细骨料。选用含泥量小、质地坚硬、级配良好、非碱活性的河砂,通过对管段料源的调查、试验,选用了桑曲河河砂,除碱活性超标外,其它主要技术指标如下:细度模数2.7,含泥量1.6%,泥块含量0.3%,坚固性4.0%,云母含量0.3%,氯化物含量0.004%,硫化物含量0.09%,轻物质含量0.7%,碱活性0.22,符合规范要求。

收稿日期:2009-05-19

作者简介:孟万隆 男 1965年出生 工程师

(3)粗骨料。应选用含泥量小、针片状颗粒含量少、压碎指标值小、坚固性优良、非碱活性、连续级配、坚硬耐久的碎石,卵石或两者的混合物不得含有冰、雪等冻结物及易冻裂的矿物质,通过对管段内料源的调查、试验、选用了桑曲河的卵石,除碱活性超标外,其它技术指标如下:含泥量 0.8%,泥块含量 0.15%,坚固性 2.0%,针片状颗粒总含量 3.8%,压碎指标 6.4%,碱活性 0.24,符合规范要求。

(4)水。根据管段水源状况,选用青藏公路里程 3666+100 右侧毛托村山涧溪水,其指标如下:不溶物 230 mg/L,可溶物 100 mg/L, Cl^- 含量 60 mg/L, SO_4^{2-} 含量 50 mg/L,pH 值 7.1。

(5)外加剂。根据低温早强耐久防腐高性能混凝土的特点,选用具有早强减水、防冻、引气、能细化孔结构的复合型产品,同时亦应满足《青藏铁路高原冻土区混凝土耐久性技术条件》规定的指标要求,由于我局管段内粗、细骨料均呈碱活性,这样还要求外加剂必须具有抑制碱活性的功效,鉴于此,选用了具有较高质量和信誉的铁科院研制的“DZ 系列低温早强耐腐蚀高性能混凝土外加剂”,其中 DZ-0,DZ-1,DZ-2 均能满足低温早强耐久防腐高性能技术指标的要求,考虑施工环境温度的变化,DZ-0 用于气温 0℃ 以上的环境,DZ-1 用于气温 0~5℃ 时的环境,DZ-2 用于气温 -5~10℃ 时的环境。

4 配合比优化设计

4.1 配合比优化设计试验

与普通混凝土不同,低温早强耐久防腐高性能混凝土的影响因素很多,也更为复杂,为了使试验更具科学性,选择 $\text{L}_9(3^4)$ 正交表进行试验,所拟因素水平见表 1,正交试验安排见表 2。

表 1 $\text{L}_9(3^4)$ 因素水平

水平	因素		
	水胶比(A)	砂率(B)/%	复合外加剂掺量(C)/%
1	0.35	40	8
2	0.38	42	10
3	0.41	44	12

表 2 $\text{L}_9(3^4)$ 正交试验表

水平	A	B	C	D(空列)	坍落度/mm	含气量/%	R_7 /MPa	R_{28} /MPa
D-01	0.35	40	8	1	90	3.9	38.5	45.9
D-02	0.35	42	10	2	185	4.0	39.5	47.0
D-03	0.35	44	12	3	200	4.0	37.8	45.3
D-04	0.38	40	10	3	155	4.0	31.3	40.3
D-05	0.38	42	12	1	185	4.4	29.4	38.4
D-06	0.38	44	8	2	125	3.9	30.7	44.4
D-07	0.41	40	12	2	170	4.6	28.6	40.3
D-08	0.41	42	8	3	185	4.0	28.4	39.0
D-09	0.41	44	10	1	205	4.3	29.9	41.1

注:①水泥为甘肃祁连山牌 32.5R 级普通硅酸盐水泥。②复合外加剂的掺量均为内掺法。

4.2 试验结果分析

试验结果分析见表 3,采用极差分析可知道对混凝土坍落度有:复合外加剂掺量影响最大,取 12% 坍落度最大;砂率有一定影响,取中间值最佳;空列最小,试验结果合理。对含气量有:复合外加剂掺量影响较大,不宜超过中值;水胶比有一定影响,不宜大于 0.38;砂率有影响,取 42% 最佳;空列 R 稍大,试验合理性欠佳。对混凝土 28 d 强度有:水胶比影响大;砂率影响不大;强度随复合外加剂掺量的增大而明显降低;空列 R 稍大,试验合理性欠佳。根据正交试验的结果,可得出规律如下:

(1)水胶比是影响混凝土强度的主要因素,当 $W/C_{\text{胶}} \geq 0.38$ 时强度达不到设计要求。

(2)砂率对混凝土和易性有显著影响,取值在 41%~43% 为最佳。

(3)复合外加剂掺量对混凝土的坍落度和含气量影响显著,当掺量小于 8% 时,不能完全发挥减水作用,取 10% 为佳。

坍落度极差分析:复合外加剂掺量影响最大,取 12% 坍落度最大;砂率有一定影响,取中间值最佳;空列最小,试验结果合理。含气量极差分析:复合外加剂掺量影响较大,不宜超过中值;水胶比有一定影响,

不宜大于0.38;砂率有影响,取42%最佳;空列R稍大,试验合理性欠佳。 R^{28} 极差分析:水胶比影响大;砂率影响不大;强度随复合外加剂掺量的增大而明显降低;空列R稍大,试验合理性欠佳。

表3 L9(3⁴)正交试验结果分析

因素	坍落度极差				含气量极差				R^{28} 极差			
	K_1	K_2	K_3	R	K_1	K_2	K_3	R	K_1	K_2	K_3	R
A(水胶比)	158	155	187	29	4.0	4.1	4.3	0.3	46.1	41.0	40.1	6.0
B(砂率)	138	185	177	47	4.2	4.1	4.1	0.1	42.2	41.5	43.6	2.1
C(掺量)	133	182	185	52	3.9	4.1	4.3	0.4	43.1	42.8	41.3	1.8
D(空列)	160	160	180	20	4.2	4.2	4.0	0.2	41.8	43.9	41.5	2.4

4.3 配合比确定及验证

(1)经过正交优化设计试配后,初步确定C20耐久砼配合比:水泥用量(351~370) kg/m³,水胶比0.35~0.37,砂率40%~43%,复合外加剂掺量10%。

(2)根据《青藏铁路高原多年冻土区混凝土耐久性技术条件》以及设计规范的要求,对配合比进行了优化设计和试配试验,试拌采用强制混凝土搅拌机,试件成型后静停6 h,将预养后的试件移入冰箱,(设定温度为-13~-17℃)养护7 d后再转入标准条件下养护28 d,同时制作的另一组强度试件在标养条件下养护28 d,以作强度对比之用。

(3)混凝土拌合物性能试验。通过对优化后配合比的试拌和拌合物性能的检测,强度等级C20混凝土掺量和性能如下:水泥用量370 kg/m³,外加剂掺量10%,含气量4.5%,坍落度90 mm,不泌水率,和易性良好。

(4)混凝土力学性能及强度发展规律。共制作试件48组,按不同龄期进行强度试验,其结果如表4,-7+28系指在负温下养护7 d后转入标准条件下再养护28 d,负温控制在-13~-17℃,括号内为达到28 d强度百分比。

表4 混凝土强度试验结果

强度等级	龄期								MPa
	-3 d	-7 d	-14 d	-28 d	-56 d	7 d	28 d	-7+28 d	
C20	2.9(12)	6.5(24)	10.5(43)	13.6(54)	16.0(65)	17.6(73)	24.6(100)	21.8(86)	

通过试验分析发现,在负温条件下混凝土强度并未停止增长只是增长缓慢一些。从标养条件来看混凝土早强、增强效果好。

(5)混凝土的长期耐久性能。经过对祁连山水泥成型试件的长期耐久性试验,C20混凝土测试结果如下:300次抗冻性能试验得到相对动弹性模量93.5%,强度损失率3.2%,质量损失率1.0%;抗渗性能15 mm/1.2 MPa;抗Cl⁻渗透性能822库仑,抗裂性能没有出现裂缝,耐SO₄²⁻腐蚀性能指标为1.06;耐磨性能0.34;护筋性能无锈蚀;抗碱-骨料反应对卵石:0.08%,砂:0.09%,各项指标均符合青藏铁路耐久性指标要求。

4.4 施工使用的配合比

经过对理论配合比的试验验证,确定C20桥承台、墩身、现浇涵身、基础施工用混凝土配合比:水泥:砂:石:水:外加剂=351:641:1244:125:39,复合外加剂掺量:内掺法10%。其中,各种材料选用结果为:水泥:祁连山牌P.O.32.5R;砂:桑曲河、中砂;石:桑曲河、卵石5~40 mm;水:饮用水;外加剂:铁锋DZ-2。

5 结语

在低温早强耐久防腐高性能混凝土施工中,除制作抗压强度试件外,同时也制做耐久砼检查试件。自2003年5月至2003年10月在使用低温早强耐久防腐高性能混凝土施工中,共制做强度检查试件530组及耐久性检查试件13组按《青藏铁路高原多年冻土区混凝土耐久性技术条件》检测均满足要求。

(1)低温早强耐久防腐高性能混凝土应优先选用32.5R(低碱)以上的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水

(下转第111页)

该公式加以修正。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国家标准. GB50010—2002 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] Adamu A, Karihaloo B L. Minimum cost design of reinforced concrete beams using continuum-type optimality criteria[J]. Journal of Structural Optimization, 1994, 7(14): 91-102.
- [3] Al-Salloum Y A, Siddiqi G H. Cost-optimum design of reinforced concrete beams[J]. ACI Structural Journal, 1994, 91(6): 647-655.
- [4] Balaguru P N. Discussion of optimum reinforced concrete T-beam section[J]. Journal of Structure Division, ASCE, 1978, 104(3): 616-619.
- [5] Fryer C, Ceranic B. Sensitivity analysis and optimum design curves for the minimum cost design of singly and doubly reinforced concrete beams[J]. Journal of Structural Optimization, 2000, 20(21): 260-268.

Design Surfaces for Minimum Cost Design of Reinforced Concrete Rectangle Beams

Shang Yanliang¹, Nie Hui², Zhao Junhua¹

(1. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, China;

2. Department of Engineering Mechanics, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Using mathematics optimization theory and referring to the present design standard, this article conducts the research on the reinforced concrete rectangular beam which is under the ultimate strength condition. A design space surface is provided as a basis for selecting the optimal steel ratio in case of minimum cost design. The optimal reinforced ratios and effective depths of the cross sections of reinforced concrete rectangular beams are obtained which lead to a minimum cost design. A boundary steel ratio surface is suggested to distinguish singly and doubly reinforced design.

Key words: reinforced concrete rectangle beams; optimal design surfaces; minimum cost design

(上接第 107 页)

泥。(2) 选择优质高效的复合外加剂是配制低温早强耐防腐高性能混凝土的前提, 才能有效地提高长期耐久性。(3) 在低温早强耐久防腐高性能混凝土的配制和施工上, 必须注重材料的选择及施工质量控制各个环节。

参 考 文 献

- [1] 魏建朝. 青藏铁路恶劣环境下混凝土的试验与应用[J]. 铁道技术监督, 2009, 37(5): 26-28.
- [2] 郁慕贤. 青藏铁路耐久性混凝土的配制与施工控制[J]. 铁道建筑, 2004, (9): 78-80.

Study on Mix Proportion Design of High Performance Concrete for Qinghai-Tibet Railway

Meng Wanlong

(The 3rd Engineering Company of the 13th China Railway Construction Bureau Group, Shenyang 110043, China)

Abstract: According to the environment features in Qinghai-Tibet railway line, the technique requirements for erosion resistant enduring concrete of early strength under low temperature are analyzed, and the selection of raw materials of concrete and concrete mix proportion design through orthogonal test are emphatically introduced. Concrete mix proportion from the method in this paper perfectly satisfies the requirements of construction and specification.

Key words: high performance concrete; early strength under low temperature; endure and erosion resistant; orthogonal test