

文章编号: 1674—8247(2020)01—0007—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.01.002

境外铁路项目恶劣环境下混凝土配合比试配研究

余小周

(中国国家铁路集团有限公司, 北京 100038)

摘 要:本文依托中老铁路的项目,探讨境外铁路项目混凝土原材料性能不同于国内的情况下,铁路隧道二衬混凝土的配合比试配。本项目处于氯盐环境、盐类结晶破坏环境、化学侵蚀环境等复杂、恶劣的地域环境下,环境对混凝土耐久性 & 工作性能要求更为严苛,因此对配合比设计时采用的水胶比、胶凝材料用量、矿物掺合料的选择范围更加严格。本文通过对原材料配用量优化及外加剂的选择调整,进行了多次试验、分析、对比,优化配合比设计,得到了最佳方案,满足了混凝土性能,有效降低了成本,确保了工程质量。

关键词:境外项目; 氯盐环境; 优化设计; 强度; 配合比

中图分类号:U284.59 **文献标志码:**A

Experimental Study on Mix Proportion of Concrete in Severe Environment in Overseas Railway Project

YU Xiaozhou

(China State Railway Group Co., Ltd., Beijing 100038, China)

Abstract: Based on the construction of China - Laos railway, this paper mainly discusses the experimental mix proportion of the secondary lining concrete of the tunnel in overseas railway project on the condition that the performance of raw material is different from that in China. The project is located in complicated and harsh environmental conditions such as chloride environment, salt crystal destruction environment and chemical corrosion environment, which is more stringent for concrete durability and working performance. Therefore, the water-binder ratio, amount of cementitious material and selection range of mineral admixtures are required to be stricter in mix proportion design. Through dosing optimization of the raw material and the selection and adjustment of admixtures and according to many tests, analysis, comparison and optimization of mix proportion design, the best scheme is obtained, which meets the concrete performance, effectively reduces the cost and ensures the project quality.

Key words: overseas project; chloride environment; optimization design; strength; mix proportion

1 工程概况

中老铁路北起中国与老挝边境磨憨,南至老挝首都万象,途径老挝孟塞、万荣等主要城市。项目采用中国铁路 I 级标准,为客货共线单线电气化铁路。项目

全长 414 km,其中桥隧总长 259 km,占线路总长的 62.4%。老挝属热带、亚热带季风气候,5 月至 10 月为雨季,11 月至次年 4 月为旱季,年平均气温约 26℃。老挝全境雨量充沛,最小年降水量为 1 250 mm,最大年降水量达 3 750 mm,一般年降水量

收稿日期:2019-10-20

作者简介:余小周(1979-),男,高级工程师。

引文格式:余小周. 境外铁路项目恶劣环境下混凝土配合比试配研究[J]. 高速铁路技术,2020,11(1): 7-10.

YU Xiaozhou. Experimental Study on Mix Proportion of Concrete in Severe Environment in Overseas Railway Project [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(1): 7-10.

约为 2 000 mm。项目所处于区域,受盐类结晶破坏环境、化学侵蚀环境、氯盐环境等多种侵蚀环境的作用。复杂、恶劣的工程地质环境对混凝土耐久性及其工作性能的要求更为严苛,加之境外铁路项目使用的水泥、外加剂等混凝土主要组成材料一般为就地取材,其材料性能与国内差异较大,这又在一定程度上增加了混凝土配合比的试配难度。

本文以中老铁路项目为依托,对铁路隧道二衬混凝土的配合比进行优化设计,试配出恶劣环境条件且材料性能不同于国内情况下,满足工程施工质量强度要求和耐久性的混凝土配合比^[1-2]。

2 材料选用

2.1 水泥测试数据

胶材^[3]选用是混凝土配合比试验的重中之重,现场对 5 种水泥材料进行了检测,其测试数据如表 1、表 2 所示。

表 1 水泥物理化学测试数据表

项目	水泥种类				
	拉邦	华新	TPI	SCG	红狮
比表面积/(m ² /kg)	345	336	330	338	340
标准稠度/%	28	26.4	27.0	26.6	26.2
初凝时间/min	96	152	123	103	90
终凝时间/min	162	206	168	154	145
3 d 抗折强度/MPa	4.0	4.9	6.3	6.2	5.6
28 d 抗折强度/MPa	7.8	8.0	8.4	8.3	8.1
3 d 抗压强度/MPa	22.1	23.2	36.9	35.5	32.1
28 d 抗压强度/MPa	46.3	48.1	58.2	56.1	54.7
密度/(kg/m ³)	3.10	3.07	3.12	3.08	3.16
烧失量/%	4.24	3.22	4.16	4.24	4.1
游离氧化钙含量/%	0.92	0.68	0.96	0.92	0.87
氧化镁含量/%	2.98	1.78	3.63	2.98	2.64
三氧化硫含量/%	2.21	2.09	2.84	2.21	2.12
氯离子含量/%	0.025	0.008	0.027	0.025	0.017
碱含量/%	0.40	0.39	0.45	0.48	0.50

表 2 水泥矿物组分测试数据表(%)

水泥种类	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄ ·2H ₂ O	CaSO ₄	CaSO ₄ ·1/2H ₂ O
拉邦	55.3	14.73	7.03	10.73	2.78	0.29	1.22
华新	55.89	14.02	5.44	10.22	4.52	0.46	1.14
TPI	68.29	10.53	3.51	9.68	3.25	0.10	1.32
SCG	62.29	12.69	3.92	8.97	3.01	0.13	2.18
红狮	56.72	6.16	7.8	9.91	3.4	0.42	3.05

从表 1、表 2 的测试数据结果可以看出, TPI 水泥的胶砂强度和硅酸三钙(C3S)^[4]均高于其他 4 种水泥。这说明 TPI 水泥的水化过程速度较快,能迅速使水泥凝结,早期和后期强度都较高。但同时 TPI 水泥中氧化镁、游离氧化钙、三氧化硫的含量,也高于其他 4 种水泥,施工过程中易发生开裂、膨胀现象,因此,不

建议在大体积混凝土中使用该水泥。TPI 水泥的氯离子含量也高于其他 4 种水泥,其对钢筋等构件的腐蚀影响也大于其他 4 种水泥。

2.2 水泥减水剂掺入情况

调整 5 种水泥减水剂的掺量,使其出机扩展度(500~550 mm)、坍落度(200~220 mm)相同,对比 5 种水泥所需的减水剂掺量,其对比结果如图 1 所示。

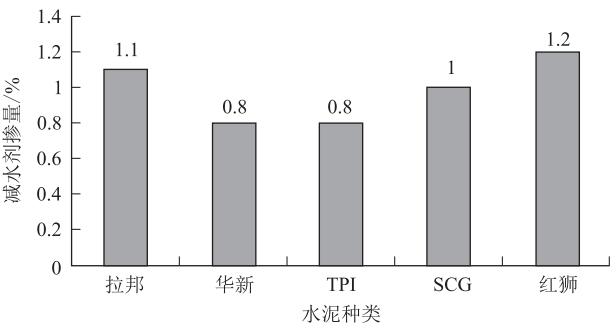


图 1 不同水泥减水剂掺量对比图

从图 1 可以看出,红狮水泥所需减水剂掺量最高,拉邦、SCG 水泥次之,华新、TPI 水泥最低。其原因在于减水剂掺量与水泥的比表面积及标准稠度用水量有关。比表面积大,所需的润湿水越多,要达到相同流动度,则需掺加更多的减水剂来分散释放自由水^[5]。5 种水泥比表面积及标准稠度用水量如图 2 所示。

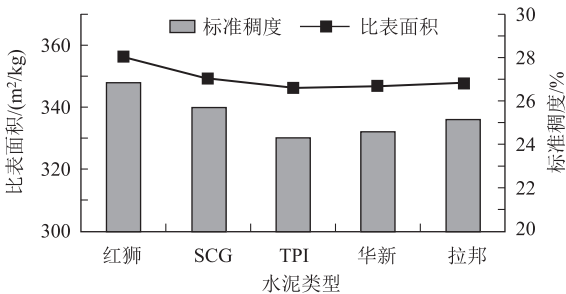


图 2 不同水泥比表面积和标准稠度用水量图

2.3 水泥坍落度损失情况

5 种水泥初始坍落度及 1 h 坍落度对比如图 3 所示。从图 3 种可以看出,通过控制初始减水剂的掺量,可使 5 种水泥具有几乎相同的初始坍落度。但 1 h 后,5 种水泥坍落度的损失情况差异较明显,TPI、SCG 水泥的坍落度损失较小,拉邦、华新水泥的坍落度损失明显,红狮水泥的坍落度损失最大。推测是由水泥矿物相中铝酸三钙含量的差异所致,铝酸三钙含量高,水化反应加快,同时减水剂吸附加快,导致水泥浆体空隙溶液中游离的减水剂分子降低,后期吸附分散能力减弱,坍落度损失加快。华新水泥的铝酸三钙含量并不

高,其坍落度损失也较快的原因在于华新水泥初始减水剂掺量低,游离减水剂较少也会导致坍落度损失较快。

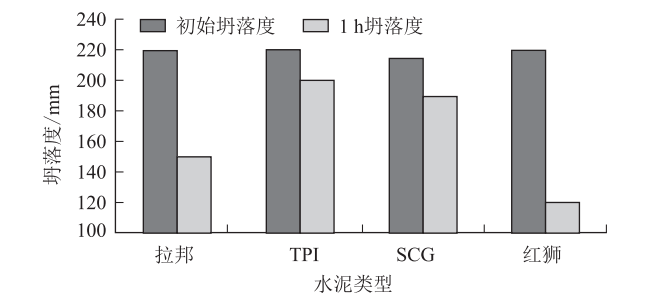


图 3 5 种水泥初始坍落度及 1h 坍落度对比图

5 种水泥矿物相中铝酸三钙含量对比及水泥浆体对减水剂吸附量对比分别如图 4、图 5 所示。铝酸三钙含量主要通过 X 射线衍射进行测试,减水剂吸附量主要通过测试浆体上清液中减水剂的有机碳含量得出。

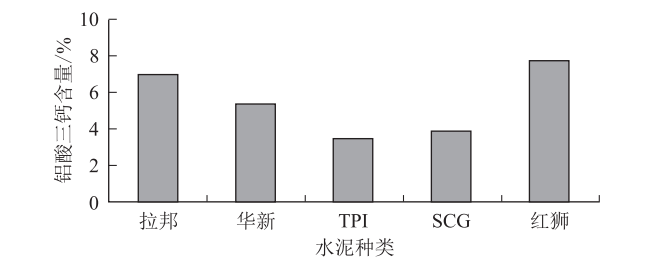


图 4 5 种水泥铝酸三钙含量对比图

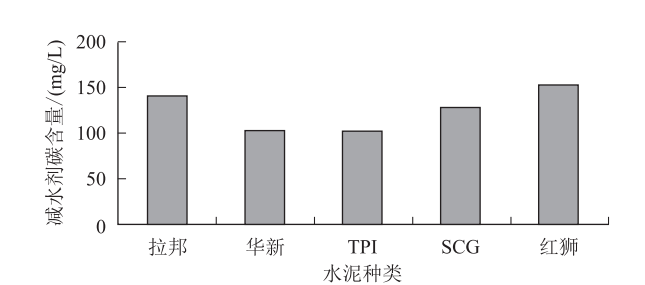


图 5 5 种水泥减水剂吸附量对比图

从图 4、图 5 中可以看出,水泥中铝酸三钙的含量与所需减水剂的掺入量具有较好的正相关性,铝酸三钙含量越高的水泥所需的减水剂掺入量越大。推测是由于聚羧酸减水剂分子主要吸附在铝酸三钙及其水化产物上,铝酸三钙多,吸附减水剂分子多,同时水化速度快,放热量大,进一步加快水化。拉邦、红狮水泥的铝酸三钙含量相对较多,减水剂的初始掺入量也较大。混凝土坍落度损失的控制主要是依靠水泥浆体空隙溶液中剩余减水剂分子的吸附分散作用,水泥浆体空隙溶液中剩余的减水剂分子越多,坍落度损失越慢。TPI、SCG 水泥的剩余减水剂较多,坍落度损失较慢。

从适用性和经济性综合考虑,最终选用 TPI 水泥作为本项目铁路隧道二衬混凝土配合比试验的选用材料。

3 粉煤灰掺入量

TPI 水泥强度较高,但用于大体积混凝土时容易产生开裂,因此采用掺用一定剂量的粉煤灰来抑制开裂现象^[6]。掺入粉煤灰的测试数据如表 3 所示。

表 3 粉煤灰测试数据表(%)								
需水量比	细度	烧失量	氯离子含量	三氧化硫含量	氧化钙含量	游离氧化钙含量	碱含量	含水量
103	13.4	5.86	0.011	2.23	6.80	0.28	0.68	0.5

适量掺入煤灰具有以下作用:

(1)减少水化热,降低开裂

在混凝土拌和过程中,水泥水化集中放出大量热量,特别是大体积混凝土施工,混凝土表面和内部温差较大,易产生裂缝。粉煤灰活性比水泥低,且不参与水化反应,适量掺入粉煤灰,可相对减少胶凝材料中熟料 C3S 和 C3A 的含量,水化时水化热相应降低,降低混凝土开裂的机率。同时可使混凝土干缩减少 5%,弹性模量提高 5%~10%。

(2)提高钢筋抗锈蚀性

粉煤灰与混凝土中的 Ca(OH)₂ 发生反应,降低了混凝土中的碱性,对钢筋锈蚀有利。

(3)提高混凝土抗渗性

粉煤灰的活性物质发生二次水化反应,使粉煤灰具有一定的胶凝性,填充了水泥水化后的微小空隙,使混凝土密实度得以提高。因此,适量掺入粉煤灰,可提高混凝土的抗渗性,且在使用时采用超量取代要比等量效果更好。

(4)改善混凝土的和易性

粉煤灰由大小不等的球状玻璃体组成,表面光滑致密,在混凝土拌和中起到润滑的作用。同时,粉煤灰颗粒比水泥颗粒小,均匀分布在水泥颗粒中,阻止了水泥颗粒粘聚,使存在于水泥颗粒之间的部分自由水释放出来,从而改善其和易性。

基于以上几点,适量掺入粉煤灰对改善混凝土性能起到良好的作用^[7]。

粉煤灰掺量过少不能有效抑制大体积混凝土开裂;掺量过多则会导致混凝土强度会降低,和易性变差,且对化学环境、氯盐环境侵蚀起不到抑制作用。因此,需通过分析选取适中的掺量,以达到最佳的配比效果。粉煤灰代替水泥掺量分析,如表 4 所示。

表 4 粉煤灰代替水泥掺量分析表

粉煤灰掺量 /%	电通量	抗渗等级	KS120	28 d 气泡间距系数/ μm	强度 /MPa	总碱含量 /kg	氯离子总含量 /%	三氧化硫含量 /kg
20	1 200	P12	< KS120	268	52.6	1.949	0.024	9.896
25	1 120	P12	< KS120	244	51.2	1.921	0.022	9.148
30	870	P10	> KS120	273	48.6	2.093	0.018	8.523
35	650	P8	> KS120	259	43.5	2.181	0.017	7.996
40	500	P8	> KS120	257	37.6	2.238	0.015	7.335

由表 4 可知,掺入 30% 的粉煤灰,不仅能抑制化学环境、氯盐环境的侵蚀,还能降低 TPI 水泥中水泥氧化镁、游离氧化钙、三氧化硫的含量,为较为合适的粉煤灰掺入量。

4 引气剂掺入量

盐类结晶环境中,混凝土孔隙中盐类结晶压力很大,其所产生的破坏属于物理侵蚀,但比化学侵蚀破坏更严重、速度更快。盐类结晶产生的必要条件是混凝土孔液达到饱和状态。除环境介质外,温度变化和干湿循环是混凝土孔液达到饱和的重要外部条件。盐类结晶破坏的条件是盐类在毛细孔中不断结晶和聚集。掺入引气剂可使混凝土拌合物内形成大量微小的封闭状气泡,这些微气泡如同滚珠一样,减少骨料颗粒间的摩擦阻力,使混凝土拌合物的流动性增加^[8]。同时由于水分均匀分布在气泡的表面,自由移动水量减少,湿砂浆的泌水量减少,混凝土的保水性和黏聚性随之提高。

外掺引气剂过多,会使混凝土强度降低,掺量过少则起不到对盐类结晶破坏的抑制作用。经反复试验,最终确定将含气量控制在 4% ~ 6% 之间。同配比下混凝土含气量强度降低曲线如图 6 所示。

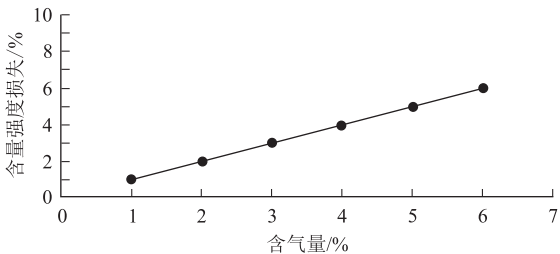


图 6 同配比下混凝土含气量强度降低曲线图

5 混凝土配合比

通过对水泥材料性能的对比分析,最终选用 TPI 水泥作为配比试验水泥选材。然后通过调整粉煤灰、引气剂等外加剂的掺入量,多次试验、分析、对比,优化

混凝土的配合比,最终确定得到最佳配合比。中老铁路某标段 C35 混凝土的配合比如表 5 所示。

表 5 中老铁路某标段 C35 混凝土配合比表 (kg/m³)

材料名称	水泥	粉煤灰	砂	5 ~ 10 砾石	10 ~ 20 砾石	20 ~ 31.5 砾石	水	外加剂
C35	290	116	824	202	605	202	162	3.2

6 结论

本文通过对中老铁路隧道二衬混凝土配合比的试配试验,确定了原材料性能不同于国内情况下的混凝土配合比,并在实际施工中得到了有效验证。现场实体回弹检测结果表明,中老铁路某标段铁路隧道二衬混凝土合格率达 100%,确保了工程质量。可为其他境外项目混凝土的配合比优化设计提供参考。

参考文献:

[1] TB 10424 - 2018 铁路混凝土工程施工质量验收标准 [S]. TB 10424 - 2018 Standard for Constructional Quality Acceptance of Railway Concrete Engineering [S].

[2] 杨小峰. 隧道二次衬砌混凝土性能要求及配合比设计要点[J]. 北方交通, 2011, 34(6): 134 - 136. YANG Xiaofeng. Performance Requirement and Main Points of Mix-gradation Design of Secondary Lining Concrete in Tunnels [J]. Northern Communications, 2011, 34(6): 134 - 136.

[3] 陈铁锋. 超前地质预报在岩溶隧道中的应用[J]. 北方交通, 2011, 34(6): 132 - 134. CHEN Tiefeng. Application of the Advanced Geological Prediction Technology in Karst Tunnel [J]. Northern Communications, 2011, 34(6): 132 - 134.

[4] 蔡振哲. 低胶材自密实混凝土的配合比设计试验研究[J]. 商品混凝土, 2014, 11(11): 33 - 36. CAI Zhenzhe. Study on Self-compacting Concrete Mix Design with Low Content of Cementitious Material [J]. Ready-Mixed Concrete, 2014, 11(11): 33 - 36.

[5] 周永, 黄友珍, 周求林. 基于三掺技术的高强混凝土配合比优化设计[J]. 混凝土与水泥制品, 2019, 46(11): 89 - 91. ZHOU Yong, HUANG Youzhen, ZHOU Qiulin. Optimization Design of Mix Proportion of High Strength Concrete Based on Three Doping Technology [J]. China Concrete and Cement Products, 2019, 46(11): 89 - 91.

(下转第 16 页)