

削峰剂与膨胀剂双掺技术在超长大体积结构混凝土防温度裂缝中的研究与应用

尹秀, 解悦, 闫涛

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川成都 611730)

摘要: 本文阐述了削峰剂与膨胀剂双掺技术在超长大体积结构混凝土防温度裂缝中的研究及应用过程。试验结果表明: 采用削峰剂与膨胀剂双掺技术, 在不改变混凝土工作性能及力学性能的前提下可以有效降低混凝土水化热并提供适当的膨胀能。采用在混凝土浇筑后近 3 个月时间对现场 150 m 超长大体积结构混凝土进行检测的方式发现: 该结构混凝土的表面没有出现肉眼可见的温度裂缝, 防裂效果达到了预期。

关键词: 削峰剂与膨胀剂双掺技术; 超长大体积结构混凝土; 温度开裂; 水化热; 膨胀能; 成都市地铁 19 号线地下停车场

中图分类号: TV7; TV544; TV42; TV43

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2023)06-0030-04

Research and Application of Double Mixing Technology of Heat-peak Dampening Agent and Expansion Agent in Preventing Temperature Cracks of Extra-long Mass Structural Concrete

YIN Xiu, XIE Yue, YAN Tao

(Sinohydro Bureau 7 Co., LTD., Chendu Sichuan 611730)

Abstract: This paper describes the research and application of double mixing technology of heat-peak dampening agent and expansive agent in preventing temperature cracks of extra-long mass structural concrete. The test results show that the double mixing technology of heat-peak dampening agent and expansive agent can effectively reduce the hydration heat of concrete and provide appropriate expansion energy without changing the working and mechanical properties of concrete. By testing the 150 m ultra-long mass structural concrete on site nearly 3 months after pouring the concrete, it is found that there are no visible temperature cracks on the surface of the mass structural concrete, and the anti-cracking effect has reached the expectation.

Key words: Double mixing technology of heat-peak dampening agent and expansive agent; Extra-long mass structural concrete; Temperature crack; Hydration heat; Expansion energy; Underground parking factory of Chengdu Metro Line 19

1 概述

成都市地铁 19 号线地下停车场 C40P8 超长大体积混凝土使用年限为 100 a, 服役环境为 II a 类, 设计龄期为 28 d, 厚度为 1 m, 高度为 7~9 m, 整体长度达 500 m。按照《大体积混凝土施工规范》GB 50496—2018 中的定义, 该结构属于超长大体积混凝土结构。此类混凝土结构面临大尺寸、大约束、大温度应力三个“大”问题, 其因温度应力产生的开裂风险极高。为降低结构开裂, 在设计上采取了“跳仓法”施工, 将该结构分割成几小块以释放结构的温降变形, 防止结构混凝土开裂。但分割后的结构混凝土平均一次性浇筑长度

仍达 40 m 左右, 单次浇筑的最长长度则接近 60 m, 依然存在很大的温度开裂风险。为解决这一问题, 急需找到一种切实可行的方法。为此, 我单位技术人员通过文献调研、理论研究、现场验证等多种手段, 力求寻找到新的解决方法。

2 现有针对温度裂缝采用的解决手段

超长大体积结构混凝土在浇筑成型后其混凝土内部由于胶凝材料水化释放出大量的水化热, 加之混凝土本身散热性能较差而造成混凝土内外表面形成较大的温差, 同时其在温降过程中出现了混凝土内外部温降不一致的情况, 进一步加剧了混凝土内外部温差, 使混凝土产生了较大的温度收缩而导致混凝土受拉破坏, 出现温度裂缝。

收稿日期: 2023-03-20

对于如何有效预防超长大面积结构混凝土产生温度裂缝,目前普遍采用向混凝土中加入膨胀剂,利用膨胀剂的膨胀能以补偿大面积混凝土因温度应力产生的温度收缩,从而达到防裂效果^[1~4]。但是,大面积混凝土由于混凝土方量大,内部温升很高,仅仅依靠膨胀剂产生的膨胀能补偿温度收缩需要大幅度提高其掺量。但在大量掺入膨胀剂后将会对混凝土的工作性能及强度产生较大的影响^[5];同时,由于膨胀剂掺量过高,还存在后期过分膨胀带来的开裂风险。

鉴于此,我单位技术人员针对采用削峰剂与膨胀剂双掺技术的技术方案,开展了对超长大面积

混凝土防温度裂缝以及应用效果的研究。通过掺入削峰剂以降低大面积混凝土水化热带来的部分温升,掺入适量的膨胀剂释放膨胀能以补偿剩余温升值在温降过程中产生的温度收缩,最终达到降低混凝土浇筑后大面积混凝土产生温度裂缝风险的目的。

3 削峰剂与膨胀剂双掺技术研究

3.1 原材料

水泥为洋房P·MH 42.5中热硅酸盐水泥,产自江西九江,其化学组成见表1,矿物成分见表2,物理性能见表3,满足《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》GB/T 200—2017中对中热硅酸盐水泥的相关要求。

表1 水泥和粉煤灰化学组成表

项目	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Loss
水泥	20.08	3.28	4.56	2.27	60.02	0.33	0.22	3.3	3.3
粉煤灰	48.34	8.48	25.2	1.61	8.56	2.1	0.8	1.6	/

表2 水泥矿物成分表

项目	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	MgO	CaCO ₃	CaSO ₄ ·2H ₂ O	CaSO ₄ ·0.5H ₂ O
水泥	52.6	12.6	3.4	9.8	0.7	7.2	3.8	0.1

表3 水泥物理性能表

项目	比表面积 /m ² ·kg ⁻¹	凝结时间 /min		水化热 /kJ·kg ⁻¹			抗压强度 /MPa		
		初凝	终凝	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
检测结果	332	264	308	216	255	284	22.4	31.5	45.8
GB/T 200—2017	≥250	≥60	≤720	≤251	≤293	—	≥12	≥22	≥42.5

粉煤灰为F类I级粉煤灰,产自四川金堂,其化学组成见表1,物理性能见表4,满足《用于水泥

和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596—2017中对F类I级粉煤灰的相关要求。

表4 粉煤灰物理性能表

项目	细度 /%	需水量比 /%	烧失量 /%	含水率 /%	活性指数 /%	
					7 d	28 d
检测结果	6.4	94	3.8	0.1	77	80.5
GB/T 1596—2017	≤720	≤95	≤5	≤1	/	/

粗骨料为四川什邡产人工碎石,粒径为5~31.5 mm,连续级配,压碎指标为4.7%。

膨胀剂为氧化钙-硫铝酸钙型膨胀剂,其性能检测结果见表5,满足《混凝土膨胀剂》GB/T 23439—2017中II型膨胀剂的相关要求。

细骨料为四川什邡产人工砂,粒径为0~5 mm,石粉含量为4.1%,细度模数为2.7。

表5 膨胀剂性能表

项目	比表面积 /m ² ·kg ⁻¹	凝结时间 /min		限制膨胀率 /%		抗压强度 /MPa	
		初凝	终凝	水中7 d	空气中21 d	7 d	28 d
检测结果	258	180	240	0.09	0.03	28.00	45.2
GB/T 23439—2017	≥200	≥45	≤600	≥0.05	≥-0.01	≥22.5	≥42.5

所采用的 HB7-3 型削峰剂为我单位研发,可有效削减大体积混凝土最大温升并降低其早期升温速率的新材料,其性能检测结果见表 6,满足《混凝土水化温升抑制剂》JC/T2608-2021 中的相关要求。

表 6 HB7-3 型削峰剂性能表

项目	水化热降低率 / %		抗压强度比 / %
	24 h	7 d	28 d
HB7-3 型削峰剂	41	10	95
JC/T 2608-2021	≥30	≤15	≥90

3.2 配合比设计思路

混凝土配合比的设计思路:首先对碎石级配以及砂率进行试验,以保证集料达到最低空隙率,使混凝土在满足工作性能的情况下降低其胶材用量;然后在设计好的混凝土配合比中掺入削峰剂以降低混凝土浇筑后的温峰值;掺入适量的膨胀剂制备成补偿收缩混凝土以抵抗温降收缩,达到降低温度裂缝产生的目的。

3.3 基准混凝土配合比参数的确定

通过对混凝土碎石级配、砂率、粉煤灰以及外加剂掺量进行不同的配合比反复调整试验,在所有试验结果均满足强度、工作性能和耐久性要求的情况下,最终确定了 C35 混凝土配合比参数见表 7。

表 7 C35 混凝土配合比表 /kg · m⁻³

水泥	粉煤灰	中 II 砂	粒径 5~20 mm 的碎石	水
286	110	802	1 020	164

3.4 削峰剂掺量对混凝土温升影响的研究

在表 7 所示的 C35 混凝土配合比基础上,分别加入胶凝材料总质量为 0.5%、1% 以及 1.5% 的 HB7-3 削峰剂进行混凝土绝热温升试验。不同削峰剂掺量对混凝土绝热温升的影响见图 1。由图 1 所示数据可知:加入削峰剂后,混凝土的绝热温升上升速率有明显的减缓,且削峰剂掺量越大其对应的绝热温升上升速率越慢,表明加入削峰剂对降低混凝土的水化速率有明显的效果;需要注意的是:当削峰剂掺量超过 1% 后,混凝土的凝结时间延长,对施工进度以及混凝土表面防裂造成负面影响。因此,结合实际情况,最终将削峰剂掺量定为 1%。

图 2 为基准混凝土与加入 1% 削峰剂后的混凝土试验墩温升数据对比图。由图 2 所示数据可

知:加入 1% 削峰剂后,其对应的混凝土温峰值由 58 °C 降低到 49 °C,降低幅度约为 15%。

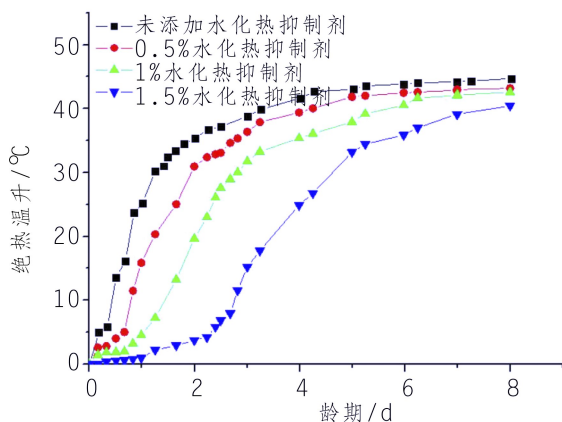


图 1 不同削峰剂掺量对混凝土绝热温升影响图

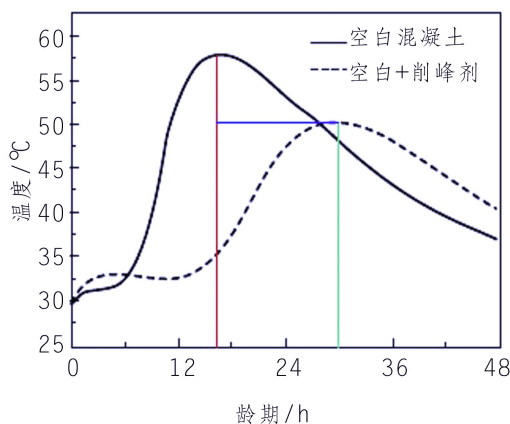


图 2 混凝土试验墩温升数据对比图

3.5 膨胀剂掺量对混凝土性能影响的研究

在基准混凝土以及掺入 1% 削峰剂的基础上,加入胶凝材料总质量 5%、6% 和 8% 的膨胀剂进行了混凝土限制膨胀率测定试验。不同膨胀剂掺量下混凝土限制膨胀率效果见图 3。由图 3 所示数据可知:加入膨胀剂后,混凝土在养护过程中随着时间的延长,其对应的限制膨胀率增加,在水中养护 10 d 以后,限制膨胀率的增加幅度减缓;20 d 以后,限制膨胀率基本不再明显变化;膨胀剂掺量越大其对应的混凝土限制膨胀率增加幅度越大;在 5%、6% 以及 8% 膨胀剂掺量下其对应的混凝土 14 d 限制膨胀率分别为 298 με、372 με 以及 485 με;膨胀剂内掺 8% 后其对应的混凝土 28 d 强度出现了较大幅度的降幅。从混凝土结构安全性考虑,最终将膨胀剂掺量选定为内掺 6%。

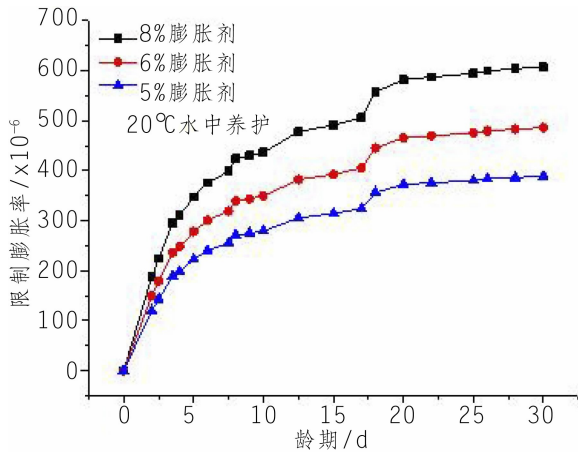


图3 不同膨胀剂掺量下混凝土限制膨胀率测定数据示意图

4 工程应用效果

根据削峰剂及膨胀剂掺量试验,最终确定的成都市地铁19号线地下停车场C40P8超长结构混凝土现场生产混凝土配合比见表8。

表8 现场生产混凝土配合比表 /kg·m⁻³

水泥	粉煤灰	膨胀剂	削峰剂	中Ⅱ砂	粒径为5~20 mm的碎石	水
268	104	24	4	802	1 020	164

混凝土浇筑后,对混凝土温度以及应变进行了实时测定,所取得的数据见图4。由图4所示的数据可知:混凝土入模温度为30℃,在浇筑成型后第2 d温度达到最高54℃,温升为24℃,从而将其内外温差成功控制在25℃以内,浇筑后的第3 d开始出现降温,在浇筑后的第6 d,混凝土温度和环境温度相当;其结构整体应变测定数据从浇筑开始到龄期30 d时均为正值,表明混凝土始终处于膨胀状态,从而有效补偿了混凝土因温降带来的收缩。

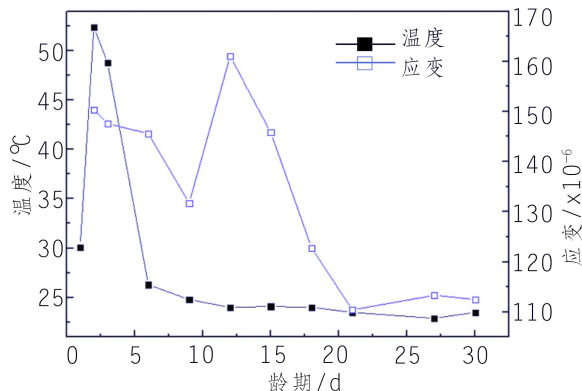


图4 现场结构实际温度/应变测定数据图

技术人员对现场150 m长墙结构在混凝土浇筑后3个月进行了表面裂缝检测,其结果表明:整体长墙外观质量良好,未发现肉眼可见裂缝,表明采用削峰剂与膨胀剂双掺技术有效解决了超长大体积混凝土结构施工过程中的温度裂缝问题。

5 结语

此次研究旨在通过削峰剂与膨胀剂双掺技术降低超长大体积结构混凝土温度裂缝出现的概率。采用削峰剂降低大体积混凝土的部分温升,采用膨胀剂释放的膨胀能补偿剩余水化热在温降过程中产生的温度收缩,双管齐下以降低超长大体积结构混凝土产生温度裂缝的风险。

试验结果表明:在不改变混凝土工作性能和力学性能的前提下,该技术可有效降低混凝土水化热并提供适当的膨胀能,其在成都地铁19号线150 m混凝土长墙结构中的实际应用效果表明:在混凝土浇筑后近3个月对现场150 m超长大体积结构混凝土进行检测的结果为该结构混凝土表面没有出现肉眼可见的温度裂缝,防裂效果达到了预期目的。

参考文献:

- [1] 曹先升. 补偿收缩混凝土在防渗面板裂缝控制中的应用[J]. 人民黄河, 2013, 35(12): 115-116, 119.
- [2] 唐苏滇, 王德民, 钱晋玉, 等. 补偿收缩混凝土在某地下工程超长无缝施工技术中的应用[J]. 新型建筑材料, 2019, 46(5): 120-123, 160.
- [3] 刘华东, 吴鑫, 魏天酬, 等. 新型膨胀剂在大体积补偿收缩混凝土中的应用研究[J]. 混凝土世界, 2020, 42(8): 80-82.
- [4] 游丘林. 削峰剂对混凝土性能影响的研究[J]. 四川水力发电, 2022, 41(4): 41-43.
- [5] 阎培渝, 韩建国, 曹丰泽, 等. 补偿收缩混凝土性能的影响因素与质量控制[J]. 施工技术, 2018, 47(16): 97-99.

作者简介:

尹秀(1979-),女,四川绵阳人,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;
解悦(1994-),男,四川德阳人,工程师,从事新材料研发、科研项目管理工作;
闫涛(1995-),男,四川成都人,助理工程师,从事新材料研发、科研项目管理工作。

(责任编辑:李燕辉)