

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.01.017

水泥细度与成分对混凝土温升的影响

王冲, 殷吉强, 肖波, 白光, 杨长辉

(重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400045)

摘要:大体积混凝土的绝热温升影响因素众多,其中水泥细度与组成成分的影响研究较少。分别测试了不同水泥细度及碱含量、粉煤灰掺量与石膏含量等对混凝土温升的影响规律。研究结果表明,随着水泥比表面积的增加,混凝土绝热温升值与温升速率随着水泥细度增加而增大;水泥碱含量在0.4%~1.2%范围内,水泥碱含量增加,其最大温升值减小,水泥碱含量过高或过低都会延长混凝土温升时间;粉煤灰的掺入有利于降低混凝土最大温升值;石膏含量增加也对控制混凝土温升有利。

关键词:水泥细度;碱含量;粉煤灰;石膏含量;混凝土温升

中图分类号:TU528.0 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2014)01-0114-05

Influence of Cement Fineness and Components on Temperature Rise of Concrete

Wang Chong, Yin Jiqiang, Xiao Bo, Bai Guang, Yang Changhui

(College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400045, P. R. China)

Abstract: Adiabatic temperature rise of mass concrete is effected by many factors. Among those factors, the analysis of cement fineness and components is lacking. Influences of cement fineness, alkali content, replacement of fly ash, and gypsum content on temperature rise of concrete were investigated. The test results show that, temperature rise and temperature rise rate are improved with the increment of specific surface area of cement. When alkali content is ranging from 0.4% to 1.2%, the maximum temperature is reduced with the increment of alkali content, and the temperature-time will be extended whether too high or too low alkali content in cement. The increment of replacement of fly ash and gypsum content is good for reducing temperature rise of concrete.

Key words: cement fineness; alkali content; fly ash; gypsum content; temperature rise of concrete

近年来随着结构技术的发展与工程需要,大体积混凝土在水工建设中大量应用外,在建筑工程中的应用也越来越普遍。大体积混凝土最关注的问题是因其水泥水化引起的绝热温升,以及由此引发的混凝土温度裂缝等。当前针对大体积混凝土绝热温升的研究主要集中于绝热温升的模拟计算与预测,或者温升的控制技术以及混凝土温升的影响因素研究。其中, Hu等^[1]、Hisashi等^[2]、Ballim^[3]、Qian等^[4]利用

数学模型预测或计算了不同结构大体积混凝土的绝热温升, Funamoto等^[5]、张湧等^[6]研究了大体积混凝土温升控制技术,汪冬冬等^[7]、Ng等^[8]、Wang等^[9]、王甲春等^[10]试验研究了掺合料或外加剂对混凝土温升的影响,何建国等^[11]测试了不同水胶比混凝土的温升,Shen等^[12]分析了环境条件等对混凝土温升的影响。不过,很少针对水泥细度与组成成分对混凝土绝热温升影响的系统研究。

收稿日期:2013-04-12

基金项目:西部交通项目(2009 318 000 033)

作者简介:王冲(1972-),男,博士,副教授,主要从事材料学研究,(E-mail)chongwang@cqu.edu.cn。

1 原材料和试验方法

1.1 原材料

1.1.1 胶凝材料 水泥为重庆拉法基水泥有限公司生产的熟料与天然二水石膏混合磨细而成,水泥

熟料及石膏化学成分见表 1。试验中水泥细度分别为 297、337、385 m^2/kg ,天然二水石膏含量为总质量的 3.5%、4.5%和 5.5%。水泥基本性能见表 2。粉煤灰为重庆珞璜电厂生产的 II 级灰,比表面积为 330 m^2/kg ,密度为 2.45 g/cm^3 ,其化学成分见表 1。

表 1 水泥熟料与石膏化学成分

材料品种	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	f-CaO	烧失量
熟料	63.6	20.20	5.89	3.92	1.46	1.37	0.18	0.34	1.46	1.55
石膏	31.06				1.88	39.58	0.08	0.46		
粉煤灰	3.41	40.08	25.31	15.35	0.49	0.76			3.25	2.46

表 2 水泥基本性能

细度/ ($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	水泥标稠 用水量/%	凝结时间/min		安定性	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa		密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
		初凝	终凝		3 d	28 d	3 d	28 d	
297	22.4	97	140	合格	25.3	45.7	5.6	8.5	3.05
337	24.0	80	130	合格	25.8	47.6	6.1	8.8	3.05
385	24.4	75	125	合格	28.9	51.3	6.8	8.2	3.05

1.1.2 骨料 细骨料采用洞庭湖中砂,细度模数 2.3,表观密度 2.64 g/cm^3 ,含泥量 1.4%;粗骨料为歌乐山石灰石碎石,表观密度为 2.70 g/cm^3 ,含泥量为 0.3%。

1.1.3 碱 分析纯 NaOH,片状固体,重庆川东化工有限公司生产。碱含量参照文献[13]的方法,通过在拌合水中添加 NaOH(以占水泥质量百分比的 Na_2O %当量计算)使水泥中总碱量分别为 0.4%、0.8%和 1.2%。

1.2 混凝土温升测定

试验采用天津市建筑仪器厂生产的 HJW-2 混凝土绝热温升测定仪,该仪器由两部分组成:试件箱和控制器(如图 1 所示)。



图 1 混凝土绝热温升测定仪

试验中,混凝土搅拌卸料、装入容积为 30 L 的桶中并振动密实,30 L 桶外还有一套桶,内外桶各自盖好后置于试件箱中,试件箱外壳除钢板外,主要以膨胀聚苯板作为保温隔热层。温度测试中,混凝土温升测定仪一直置于温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 实验室。

试验混凝土配合比列于表 3,试验中,调整水泥细度以及碱含量、石膏用量与粉煤灰掺量,水泥用量保持不变。

表 3 混凝土温升试验配合比

水泥量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	水/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	细骨料/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	粗骨料/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
420.0	168	689.0	1 105

2 试验结果及分析

2.1 水泥细度的影响

测试了水泥细度分别为 297、337、385 m^2/kg 的混凝土的绝热温升值,测试结果示于图 2 及表 4。

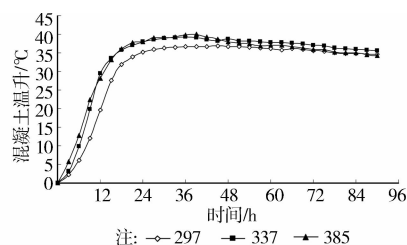


图 2 不同细度的水泥混凝土绝热温升曲线

表 4 水泥细度对混凝土温升影响

水泥细度/($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	最大温升值/ $^\circ\text{C}$	达到最高温度时间/h
297	36.8	45
337	39.2	39
385	40.0	36

从图 2 与表 4 结果可以看出,随着水泥细度增大,混凝土温升增加,水泥比表面积分别为 297、337、385 m^2/kg 时,混凝土最大温升值分别达到 36.8、39.2 和 40.0 $^{\circ}\text{C}$ 。由图 2 温升曲线还可以看出水泥细度与混凝土温升速率的关系。水泥细度增加,混凝土绝热温升速率也相应增大,水泥比表面积 297 m^2/kg 时混凝土达到最高温度所用时间为 45 h,比表面积为 337 和 385 m^2/kg 时达到最高温度的时间分别为 39 和 36 h。水泥细度的增加提高了混凝土温升值,缩短了达到最高温度时间的原因众所周知,即水泥比表面积大,与水接触面积大,水泥水化速度较快,且在短时间内水化放热量也更大。

2.2 水泥碱含量影响

测试了碱含量分别为 0.4%、0.8% 及 1.2% 的水泥的混凝土绝热温升值,结果如图 3 及表 5 所示。

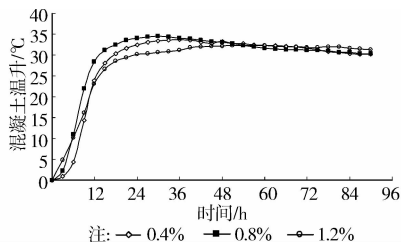


图 3 水泥碱含量不同时的混凝土绝热温升曲线

从图 3 与表 5 温升测试结果可以看出,水泥碱含量分别为 0.4%、0.8% 与 1.2% 时,混凝土温升最大值分别为 33.7、34.5 及 32.2 $^{\circ}\text{C}$,随着碱含量增加,混凝土最大绝热温升值降低。

表 5 碱含量对混凝土温升影响

碱含量/%	最大温升值/ $^{\circ}\text{C}$	达到最高温度时间/h
0.4	33.7	36
0.8	34.5	30
1.2	32.2	51

图 3 与表 5 结果也显示,与何真等^[14]的研究结果不同的是,不同碱含量的水泥配制的混凝土,达到最大温升值的时间也不同,碱含量 0.4% 的水泥其混凝土温升在 36 h 达到最高,水泥碱含量为 0.8% 达到最大温升时间最短,只有 30 h,而水泥碱含量增加至 1.2% 时达到最大温升值的时间为 51 h,这反映出碱含量从 0.4% 增加至 0.8% 时,水泥水化与混凝土温升值增大,而再继续增大碱含量,水泥水化反而受到抑制。这一结果可由文献^[15]得到解释,即:碱的加入,使得石膏消耗速度加快,钙矾石形成速率与水化硅酸钙与氢氧化钙形成速率加速,表现为混

凝土温升速率加快;不过,碱浓度超过一定量后将延缓硫铝酸盐的形成,从而影响水泥水化速度,混凝土温升受到限制。

2.3 粉煤灰掺量的影响

试验测试了以粉煤灰作为水泥混合材时其掺量分别为 0%、10%、20% 和 30% 的混凝土温升规律。试验结果如图 4 及表 6 所示。

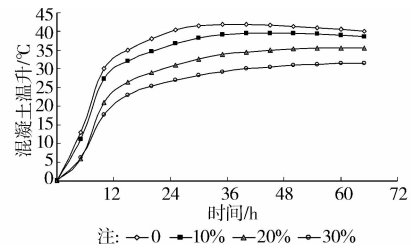


图 4 水泥中不同粉煤灰掺量的混凝土温升曲线

表 6 粉煤灰掺量对混凝土温升影响

粉煤灰掺量/%	最大温升值/ $^{\circ}\text{C}$	达到最高温度时间/h
0	41.9	35
10	39.6	45
20	35.6	60
30	31.6	65

图 4 与表 6 结果显示,粉煤灰取代水泥熟料后,随着取代量从 0 增加至 30%,混凝土温升值随之相应减小。不掺粉煤灰时混凝土最大温升值为 41.9 $^{\circ}\text{C}$,粉煤灰掺量 30% 时的最大温升值降低至只有 31.6 $^{\circ}\text{C}$,降低至非常明显,这主要是因为粉煤灰取代水泥熟料,水泥熟料含量降低,水泥水化热减小,混凝土温升值随之降低。结果也显示,粉煤灰的掺入使得达到温度最大值的时间也相应的延后,不掺粉煤灰时达到最高温度的时间为 35 h,粉煤灰掺量 30% 时,温升最大值时间比不掺粉煤灰的混凝土时间延后了 30 h。出现这种情况的原因在于,粉煤灰减小了水泥水化热的同时,水化放热速率也相应减小,最大温升出现时间延后。此外,粉煤灰的火山灰效应使得其二次反应放热比水泥水化放热滞后,且火山灰效应持续时间很长,因而图 4 显示粉煤灰掺量 30% 时,水化 65 h 后温升值仍在增加,其原因就在于粉煤灰的火山灰反应放热。

2.4 石膏含量的影响

试验测试了水泥中二水石膏含量不同时的混凝土温升情况,石膏含量分别为 3.5%、4.5%、5.5%。混凝土温升测试结果是与图 5 及表 7 中。

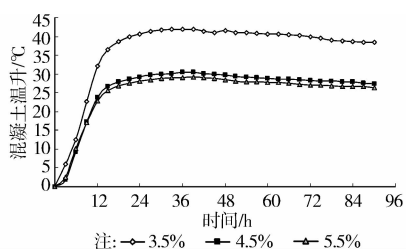


图5 水泥中不同石膏含量的混凝土温升曲线

表7 石膏含量对混凝土温升影响

石膏含量/%	最大温升值/°C	达到最高温度时间/h
3.5	42.0	36
4.5	30.4	36
5.5	29.2	39

图5与表7结果显示,增加水泥中石膏含量,可以降低混凝土的最大温升值。水泥中石膏含量分别为3.5%、4.5%和5.5%时,石膏含量3.5%时混凝土的温升最大,达到42.0℃,石膏含量分别为4.5%和5.5%时的混凝土温升最高值只有30.4和29.2℃,二者相差不大。

图5结果还表明,石膏含量不同时,随石膏含量增加,混凝土温升值增加速率也相应减小,达到最高温度的时间相应延后。彭家惠等^[16]认为,石膏含量决定钙矾石形成总量;杨南如等^[17]研究表明,钙矾石的稳定条件在很大程度上决定于液相中 $[\text{SO}_3]$ 的浓度,若溶液中 $[\text{SO}_3]$ 的浓度过低,则钙矾石难以生成或不能稳定存在。在本文试验条件下,石膏含量从3.5%增至5.5%,水泥中钙矾石生成量增大且稳定性增加,延缓了水泥水化放热,因而导致混凝土温升值及温升速率也相应减小。

3 结论

1)随着水泥比表面积的增加,混凝土绝热温升值与温升速率皆增大。

2)水泥碱含量在0.4%~1.2%范围内,水泥碱含量增加,其最大温升值减小,不过最大温升值出现时间是碱含量0.8%时最短,水泥碱含量过高或过低都会延长混凝土最大温升时间。

3)粉煤灰的掺入,混凝土最大温升值显著降低,而混凝土最大温升出现的时间相应延后。

4)石膏含量增加,减小了混凝土的最大温升,延缓了混凝土温升速率。

参考文献:

- [1] Hu Y M, Liang C. Calculation of temperature rise of mass concrete and modification of formula [J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 594/595/596/597: 742-748.
- [2] Hisashi S, Yoshihiro M. Prediction of temperature rise of concrete member using mathematical model for cement hydration and microstructure formation [J]. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 2008, 73: 9-17.
- [3] Ballim Y. A numerical model and associated calorimeter for predicting temperature profiles in mass concrete [J]. *Cement and Concrete Composites*, 2004, 26(6): 695-703.
- [4] Qian C X, Gao G B. Reduction of interior temperature of mass concrete using suspension of phase change materials as cooling fluid [J]. *Construction and Building Materials*, 2012, 26(1): 527-531.
- [5] Funamoto K. Study on control of temperature rise of concrete transported in hot weather [J]. *AIJ Journal of Technology and Design*, 2010, (6): 431-434.
- [6] 张湧, 刘斌, 贺拴海, 等. 桥梁大体积混凝土温度控制与防裂[J]. *长安大学学报:自然科学版*, 2006, 26(3): 43-48.
Zhang Y, Liu B, He S H, et al. Temperature control and anti-crack of massive concrete in large bridges [J]. *Journal of Chang'an University: Natural Science Edition*, 2006, 26(3): 43-48.
- [7] 汪冬冬, 周士琼. 大体积混凝土绝热温升试验研究 [J]. *粉煤灰*, 2006(5): 3-6.
Wang D D, Zhou S Q. Experimental study of temperature rising of mass concrete insulating [J]. *Coal Ash China*, 2006(5): 3-6.
- [8] Ng P L, Ng I Y T, Fung W W S, et al. Adiabatic temperature rise of pulverized fuel ash (PFA) concrete [J]. *Advanced Materials Research*, 2011, 168/169/170: 570-577.
- [9] Wang X, Lee H, Shin S W, et al. Simulation of a temperature rise in concrete incorporating silica fume [J]. *Magazine of Concrete Research*, 2010, 62(9): 637-646.
- [10] 王甲春, 阎培渝. 粉煤灰混凝土绝热温升的试验研究 [J]. *沈阳建筑大学学报:自然科学版*, 2006, 22(1): 118-121.
Wang J C, Yan P Y. Experimental analysis of adiabatic temperature rise of fly ash concrete [J]. *Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science*, 2006, 22(1): 118-121.
- [11] 韩建国, 张闰, 郝卫增. 水胶比和粉煤灰对混凝土绝热

- 温升的影响[J]. 混凝土, 2009(10): 10-12.
- Han J G, Zhang R, Hao W Z. Influence of water-binder ratio and fly ash on the adiabatic temperature rise of concrete [J]. Concrete, 2009(10): 10-12.
- [12] Shen D J, Luan H, Jia D Q, et al. Influence of environmental conditions on temperature field of concrete [J]. Advanced Materials Research, 2011(7): 1661-1666.
- [13] Shehata M H, Thomas M D A. The role of alkali content of Portland cement on the expansion of concrete prisms containing reactive aggregates and supplementary cementing materials [J]. Cement and Concrete Research, 2010,40: 569-574.
- [14] 何真, 梁文泉, 陈美祝, 等. 碱对水泥基材料早期收缩性能的影响[J]. 硅酸盐学报, 2004, 32(10): 1293-1299.
- He Z, Liang W Q, Chen M Z, et al. Effects of alkalinity on early age shrinkage characteristic of cement-based materials [J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2004, 32(10): 1293-1299.
- [15] Massazza F D. 水泥和胶凝材料的水化化学[C]//印度新德里: 第 9 届国际水泥化学会议综合报告译文集(印度新德里). 南京化工学院材料科学与工程系. 编译. 1992:155-239.
- [16] 彭家惠, 楼宗汉. 钙矾石形成机理的研究[J]. 硅酸盐学报, 2000, 26(6): 511-517.
- Peng J H, Lou Z H. Study on the mechanism of ettringite formation [J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2000, 26(6): 511-517.
- [17] 杨南如, 钟白茜, 董攀, 等. 钙矾石的形成和稳定条件[J]. 硅酸盐学报, 1984, 12(2): 155-165.
- Yang N R, Zhong B Q, Dong P, et al. Ettringite formation and conditions for its stability [J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 1984, 12(2): 155-165.

(编辑 王秀玲)

(上接第 105 页)

- Wang Z L, Shen L F, Yao J, et al. Calculation of stress field in surrounding rocks of shallow tunnel using computational function of complex variable method [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(Sup1):86-90.
- [14] 张顶锋, 杜守继. 盾构隧道并行施工对既有隧道影响的理论分析[J]. 力学季刊, 2010, 31(4): 582-588
- Zhang D F, Du S J. Theoretical analysis of existing tunnel affect under shield tunnel parallel construction [J]. Chinese Quarterly of Mechanics, 2010, 31(4): 582-588.
- [15] 晏莉, 阳军生, 刘宝琛. 浅埋双孔平行隧道开挖围岩应力和位移分析[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(3): 413-419
- Yan L, Yang J S, Liu B C. Stress and displacement of surrounding rock with shallow twin-parallel tunnels [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(3): 413-419.
- [16] 童磊, 谢康和, 卢萌盟, 等. 盾构任意衬砌变形边界条件下复变函数弹性解[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2010, 44(9): 1825-1830.
- Tong L, Xie K H, Lu M M, et al. Elastic complex variables solution for general arbitrary ground deformation of tunnels in clays [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2010, 44(9): 1825-1830.
- [17] 刘伟. 信机械最优化理论[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997: 143-149.

(编辑 胡英奎)