

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.03.014

PET 的注射成型工艺对制品性能的影响^{*}

黄彦红¹, 杨艳秋¹, 马晨¹, 唐梦¹, 赵永仙¹, 高建国²

(1. 青岛科技大学, 橡塑材料与工程教育部重点实验室 / 山东省橡塑材料与工程重点实验室, 山东青岛 266042 ;

2. 青岛出入境检验检疫局, 山东青岛 266001)

摘要: 通过注射成型试验探索聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 的成型工艺条件, 并结合紫外可见光谱和力学性能测试方法, 分析注塑成型工艺对 PET 性能的影响。研究发现: PET 适宜的注射成型温度为 280℃, 模具温度为 70℃, 注塑压力为 50 MPa, 冷却时间为 20 s。此条件下制得的 PET 制品不易结晶、透明无缺陷、无翘曲和凹痕、综合力学性能较好, 拉伸强度、弯曲强度及弯曲弹性模量较小, 断裂伸长率和缺口冲击强度较大。

关键词: 聚对苯二甲酸乙二酯; 注射成型; 力学性能; 透明性

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)03-0064-05

Effect of Injection Molding Process on Properties of PET

Huang Yanhong¹, Yang Yanqiu¹, Ma Chen¹, Tang Meng¹, Zhao Yongxian¹, Gao Jianguo²

(1. Key Laboratory of Rubber-Plastics, Ministry of Education / Shandong Provincial Key Laboratory of Rubber-Plastics, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China ; 2. Qingdao Exit & Entry Inspection and Quarantine Bureau, Qingdao 266001, China)

Abstract : The effect of injection molding process on the properties of poly(ethylene terephthalate)(PET) was analyzed by means of injection molding experiment, combined with UV-visible spectrometer and mechanical property tester. It is indicated that the suitable injection temperature of PET is 280℃, the suitable mold temperature is 70℃, the suitable injection pressure is 50 MPa, and the suitable cooling time is 20 s. Under these conditions, PET products are not easy to crystallize, with high transparency and no defects, no warping and dents, the mechanical properties are better, tensile strength, flexural strength and flexural modulus are smaller, elongation at break and notched impact strength are larger.

Keywords : poly(ethylene terephthalate) ; injection molding ; mechanical property ; transparency

聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 是最早商业化、应用领域最广的热塑性聚酯, 作为工程塑料主要用于制造饮料、食品等的包装容器和薄膜, 如矿泉水瓶、饮料瓶, 包装装潢印刷, 还可用于电子电器、汽车、感光 and 绝缘材料等^[1-2]。注射成型是最重要的塑料成型加工方法之一, 常用的饮料装 PET 瓶是采用注塑拉伸吹塑工艺成型。PET 因含有酯基, 易吸水水解且为结晶聚合物^[3], 在注射成型时, 注射温度、模具温度、注塑压力、冷却时间等都会对其制品产生影响。PET 热变形温度低, 成型温度高, 且料温调节范围窄 (260 ~ 300℃), 但熔化后流动性好, 易于成型, 采用中等注塑压力, 一般为 40 ~ 100 MPa^[4]。PET 为结晶性塑料, 选取中等模具温度使其冷却速度中等。通过控制变量法设置实验参数, 探究瓶级 PET 的适宜注射成型工艺条件。

1 实验部分

1.1 主要原料

食品级 PET (PET-cz302) : 切片, 江苏三房巷有

限公司。

1.2 仪器和设备

注塑机: F2v130 型, 东华机械公司;

邵氏硬度计: LX-D 型, 上海六中量仪厂;

电脑伺服万能试验机: GT-TCS-2000 型, 台湾高铁检测仪器有限公司;

悬臂梁冲击试验机: GT-7045-MDH 型, 台湾高铁检测仪器有限公司;

紫外 / 可见光分光光度计: U-4100 型, 波长范围 175 ~ 3300 nm, 日本日立集团。

1.3 试样制备

将 PET 切片在干燥箱中于 160℃ 下干燥 4 h, 然后注射成型 PET 试样。设定注射温度 270

^{*} 国家自然科学基金项目 (51373084), 科技部质检行业公益项目 (201410083)

联系人: 赵永仙, 教授, 主要从事聚合物结构、性能及改性与应用研究

收稿日期: 2016-12-22

~290 ℃, 模具温度 50~100 ℃, 注塑压力 50~70 MPa, 冷却时间 5~25 s。

1.4 性能测试

拉伸性能按 GB/T 1040.2-2006 测试;

缺口冲击性能按 GB/T 1843-2008 测试;

邵氏硬度按 GB-T 2411-2008 测试;

透明性表征: 用紫外/可见分光光度计直接测定试样的可见光透光率, 根据 445, 555, 600 nm 三种波长下的透光率 ρ_{445} , ρ_{555} , ρ_{600} , 按参考文献 [4] 计算得出透明度。

2 结果与讨论

2.1 注射温度对 PET 制品性能的影响

选取模具温度为 60℃, 注塑压力为 60 MPa, 料筒最高温度分别为 270, 275, 280, 285, 290℃ 进行注射成型, 探究 PET 注射成型的最佳注射温度。

(1) 注射温度对 PET 制品的影响。

注射温度对 PET 制品的影响见表 1。

表 1 注射温度对 PET 制品的影响

注射温度 / ℃	喷嘴状况	脱模状况	制品外观	缺陷状况
270	偶有堵塞	易	雾度较大	无
275	偶有堵塞	易	雾度较小	无
280	良好	易	雾度很小	无
285	良好	难	透明	凹痕
290	流延	难	透明	凹痕、气泡

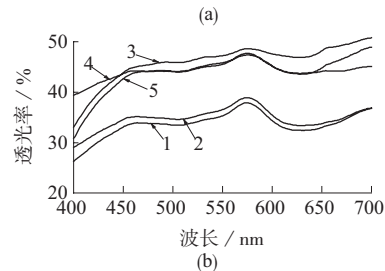
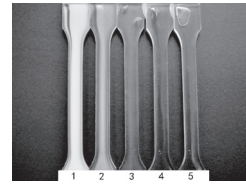
由表 1 可看出, 注射温度较低时 (270, 275℃), 喷嘴易堵塞且制品雾度大; 温度较高时 (290℃), 则易发生流延且制品脱模困难、有缺陷。

(2) 注射温度对 PET 透明性的影响。

图 1 为不同注射温度下 PET 的可见光性能。由图 1 可看出, 在 270~280℃ 范围内, 随着注射温度的提高, PET 试样的透明度也逐渐提高, 再升温后试样的透明度反而下降。这是因为 PET 熔融时, 不完善的晶体在相对较低的温度下首先被熔融, 而较完善的晶体则需要较高的温度才能熔融, 当熔体温度不够高时 (如 270, 275℃), 熔体中必然存在部分未熔晶体, 随后熔体在注塑模腔中冷却成型时, 这些晶体就成为促进结晶的成核剂, 使结晶速度大大加快, 产生结晶, 影响试样的透明度。温度高到一定值时, PET 降解严重, 透明性又下降^[5]。

(3) 注射温度对 PET 力学性能的影响。

图 2 为注射温度对 PET 力学性能的影响。由图 2a 可以看出, 拉伸强度随注射温度的升高略有下降; 断裂伸长率随注射温度先增加后降低, 注射温度为 280℃ 时断裂伸长率较高, 且在力学测试过程



注射温度: 1—270℃; 2—275℃; 3—280℃; 4—285℃; 5—290℃

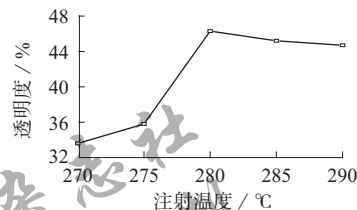
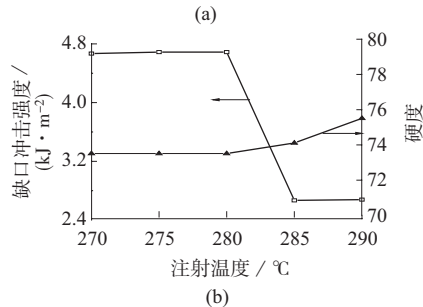
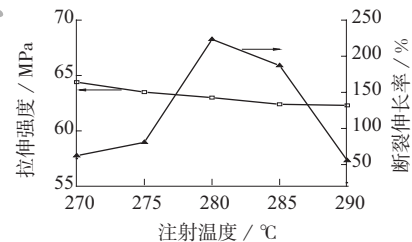


图 1 不同注射温度下 PET 可见光性能



a—拉伸性能; b—缺口冲击强度和硬度

图 2 注射温度对 PET 力学性能的影响

中注射温度为 280℃ 时的 PET 试样出现明显的拉伸结晶。其原因如下: 低注射温度下的 PET 结晶度高, 拉伸强度大, 拉伸结晶现象不如 280℃ 时的明显; 285, 290℃ 注射温度下 PET 的缺陷 (凹痕、气泡) 使其在拉伸过程中出现缺陷处的应力集中^[6]。

由图 2b 可以看出, 缺口冲击强度在较低注射温度时基本不变, 升温至 285℃ 时缺口冲击强度急剧下降, 之后又趋于平缓。这是因为在其它工艺参数

不变的情况下,成型温度过高, PET 制品冷却时表面收缩程度比内部收缩程度大,且制品内部有可能形成真空气泡,使样品内部产生应力集中点^[7],缺口冲击强度下降。270~280℃间邵氏硬度几乎不变,只在 285,290℃下略有上升,注射温度对 PET 的硬度影响不大。

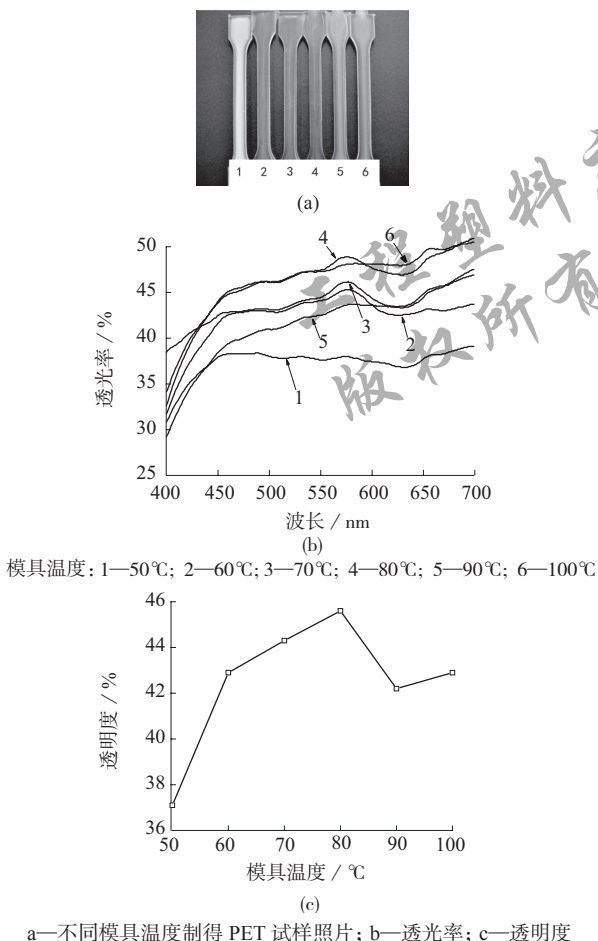
综合以上注射温度对 PET 制品透明性和力学性能的影响,结合表 1,最终选取 280℃为 PET 的注射温度。

2.2 模具温度对 PET 制品性能的影响

选取注射温度为 280℃,注塑压力为 60 MPa,模具温度分别为 50,60,70,80,90,100℃进行注射成型,探究 PET 注射成型的最佳模具温度。

(1) 模具温度对 PET 透明性的影响。

图 3 为不同模具温度 PET 的紫外可见光性能。



a—不同模具温度制得 PET 试样照片; b—透光率; c—透明度

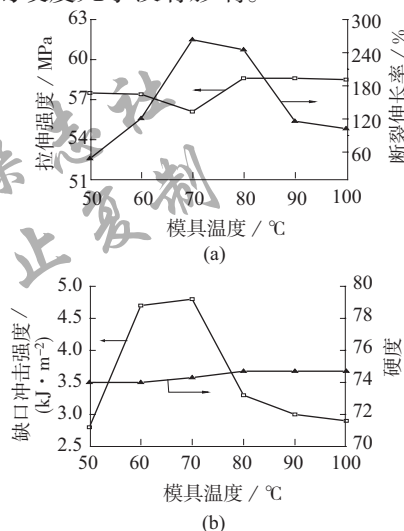
图 3 模具温度对 PET 紫外可见透光率和透明度的影响

由图 3 可以看出, PET 试样的透明度随模具温度呈先增大后减小的趋势,其中模具温度为 50℃时制品内部发白较严重,模具温度为 60,70℃和 80℃时试样在外观上差别不大。由于 PET 熔体在玻璃化转变区以上冷却比在玻璃化转变区内冷却所得制

品的结晶度要高^[8],所以 PET 熔体骤冷到 50℃(小于玻璃化转变温度 78℃)时,制品外部快速冷却,内部来不及进行热交换而形成隔热层,使得试样内部缓慢冷却形成结晶层;提高模具温度分别至 60,70℃和 80℃,模具温度与玻璃化转变温度的温差减小,试样内部能快速冷却使结晶层几乎消失;继续提高模具温度至 90℃和 100℃,温度差增大,试样内部缓慢冷却而出现结晶层。

(2) 模具温度对 PET 力学性能的影响。

图 4 是模具温度对 PET 力学性能的影响。由图 4 可以看出,模具温度在 70℃时, PET 的拉伸强度较小,断裂伸长率和缺口冲击强度较大,模具温度对 PET 的硬度几乎没有影响。



a—拉伸性能; b—缺口冲击强度和硬度

图 4 模具温度对 PET 力学性能的影响

对不同模具温度下 PET 试样的力学性能分析发现,模具温度为 70℃时, PET 试样的韧性较好。由于 70℃接近 PET 的玻璃化转变温度,熔体骤冷到这个温度使试样内外快速冷却而不易结晶。为了以后研究外界环境(温度、光照等)对 PET 结晶度的影响,并结合透明性的分析,最终选取模具温度为 70℃。

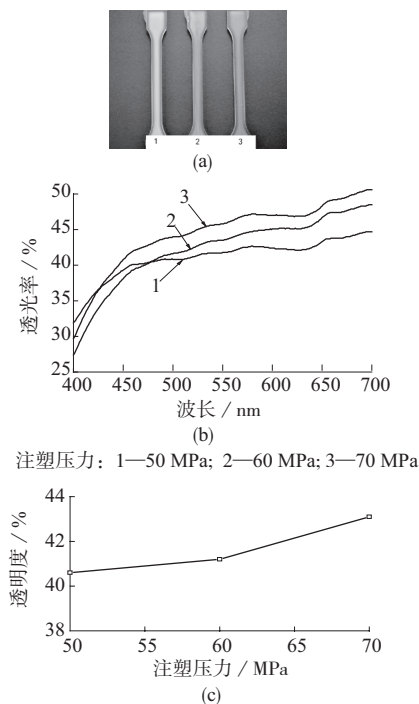
2.3 注塑压力对 PET 制品性能的影响

选取注射温度为 280℃,模具温度为 70℃,注塑压力分别为 50,60,70 MPa 进行注射成型,探寻 PET 注射成型的最佳注塑压力。

(1) 注塑压力对 PET 透明性的影响。

图 5 为不同注塑压力下 PET 的紫外可见光性能。看出,不同注塑压力下的 PET 制品内部均有一定的雾度,随着注塑压力的提高透明性稍有提高。

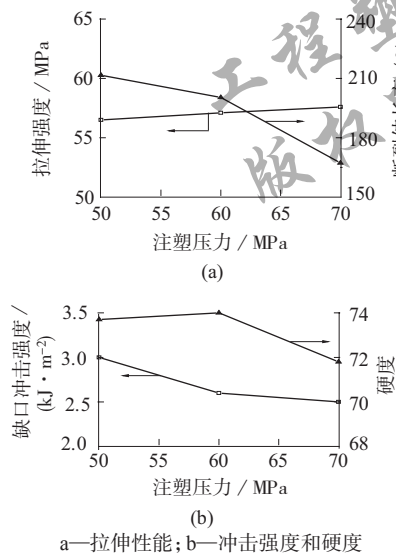
(2) 注塑压力对 PET 力学性能的影响。



a—不同注塑压力制得 PET 试样照片; b—透光率; c—透明度

图 5 注塑压力对 PET 紫外可见透光率和透明度的影响

图 6 为注塑压力对 PET 力学性能的影响。



a—拉伸性能; b—冲击强度和硬度

图 6 注塑压力对 PET 力学性能的影响

由图 6 可以看出, PET 试样的拉伸强度随注塑压力的提高而稍有增大, 断裂伸长率和缺口冲击强度随注塑压力的提高而减小, 硬度稍有下降。说明随注塑压力的提高 PET 的韧性降低, 由于压力增大, 使制品取向应力增大即产生内应力^[9], 且内应力大的制品在以后的使用过程中易出现开裂, 因此选取注塑压力为 50 MPa。

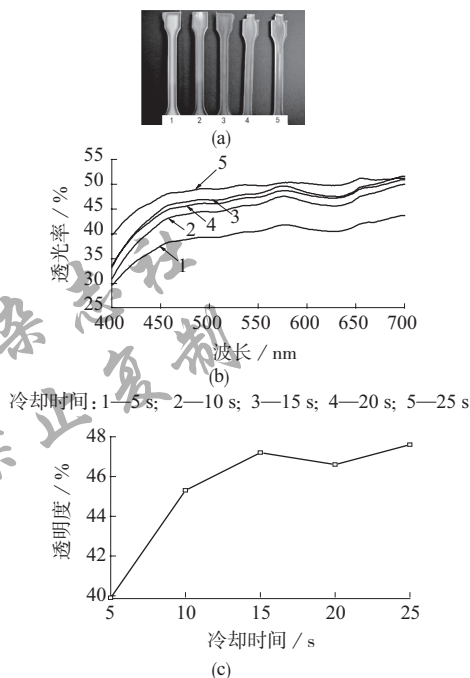
2.4 冷却时间对 PET 制品性能的影响

选取注射温度为 280℃, 模具温度为 70℃, 注塑

压力为 50 MPa, 冷却时间分别为 5, 10, 15, 20, 25 s, 使成型周期分别为 45, 50, 55, 60, 65 s, 进行注射成型, 探寻 PET 注射成型的最佳冷却时间。

(1) 冷却时间对 PET 透明性的影响。

图 7 为不同冷却时间下 PET 的紫外可见光性能。由图 7 可以看出, 随着冷却时间的延长, PET 试样的透明度总体呈增加的趋势, 冷却时间为 5 s 和 10 s 时, 试样有一定的翘曲, 冷却时间为 25 s 时试样表面有凹痕出现。



a—不同冷却时间制得 PET 试样照片; b—透光率; c—透明度

图 7 冷却时间对 PET 紫外可见透光率和透明度的影响

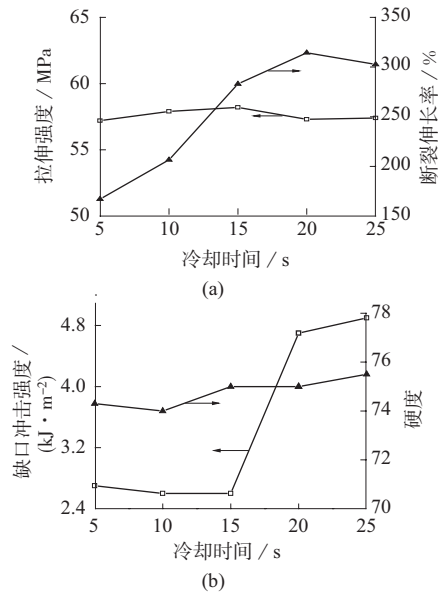
(2) 冷却时间对 PET 力学性能的影响。

图 8 为冷却时间对 PET 力学性能的影响。由图 8 可以看出, 随冷却时间的增加, PET 试样的拉伸强度呈先上升后下降的趋势, 断裂伸长率逐渐增加后又稍有降低; 缺口冲击强度在 15 s 前保持平缓, 随后陡然增大, PET 的硬度值变化不大。

冷却时间为 20 s 和 25 s 时, 试样的拉伸强度较小而断裂伸长率和缺口冲击强度较高, 冷却 20 s 时试样内外就能够完全冷却使内层结晶减少, 且冷却时间过长使试样表面收缩凹陷, 所以选取 20 s 为 PET 的注塑冷却时间。

3 结论

(1) PET 适宜的注射成型温度为 280℃, 此时注塑机喷嘴和脱模状况良好且制品透明无缺陷, 综合力学性能较好; 注射温度低于 280℃时, 注塑机喷嘴易堵塞且制品内部发白不透明; 注射温度高于



a—拉伸性能; b—缺口冲击强度和硬度

图8 冷却时间对PET力学性能的影响

280℃时,制品表面有凹痕。

(2) 模具温度为70℃时,PET的拉伸强度较小,断裂伸长率和缺口冲击强度较大,制品不易结晶、透明度高、韧性较好。

(3) 注塑压力为50 MPa时,PET的拉伸强度较小、断裂伸长率和缺口冲击强度较大。

(4) 冷却时间为20 s时,PET的透明度较高,拉伸强度较小、断裂伸长率和缺口冲击强度较高,无翘曲和凹痕的出现。

参考文献

- [1] Fecine G J M, Souto-Maior R M, Rabello M S. Photodegradation of multilayer films based on PET copolymers[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2007, 104(1):51-57.
- [2] Cho J Y, Hong C J, Choi H M. Microwave-assisted glycolysis for PET with highly hydrophilic surface[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2013, 52(6):2 309-2 315.
- [3] Foulc M P, Bergeret A, Ferry L, et al. Study of hygrothermal ageing of glass fibre reinforced PET composites[J]. Polymer Degradation & Stability, 2005, 89(3):461-470.
- [4] 杨艳秋. 食品级PET的注射成型工艺及老化研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2015:18-37.
- [5] 郭凤刚. PET薄膜透明度的分析及实验[J]. 聚酯工业, 2014, 27(1):31-34.
- [6] 何曼君, 张红东, 陈维孝, 等. 高分子物理[M](第3版). 上海: 复旦大学出版, 2007:205-211.
- [7] 樊洁, 吴宇, 王卓妮, 等. 影响塑料性能测试结果的因素分析[J]. 塑料工业, 2012, 40(B10):48-50.
- [8] 戴文利. 增强PET工程塑料的加工性能[J]. 湘潭大学自然科学学报, 1997, 19(2):83-85.
- [9] 吴利英. 热塑性塑料注塑制品内应力分析[J]. 塑料科技, 2001(1):28-33.
- [10] 王海军, 姚勇, 陈代果, 等. 泡沫混凝土自保温墙体传热性能试验研究[J]. 施工技术, 2015, 44(4):111-115.
- [11] 陈振举. 泡沫混凝土在屋面保温中的运用[J]. 技术与市场, 2011, 18(12):73, 75.
- [12] 张英, 杨小芳, 赵芊, 等. 泡沫混凝土在屋面保温工程中的应用[J]. 新型建筑材料, 2011(9):19-21.
- [13] 周翔. 泡沫混凝土在软土路段高速公路改建工程中的应用[J]. 华东公路, 2016(3):46-48.
- [14] 王海军, 姚勇, 陈代果, 等. 泡沫混凝土自保温墙体传热性能试验研究[J]. 施工技术, 2015, 44(4):111-115.
- [15] 张会芝, 郑建岚. 再生混凝土自保温砌块墙体传热性能[J]. 建筑材料学报, 2016, 19(2):304-309.
- [16] 张大英, 许启铿, 王树明. 一种轻质混凝土暗肋楼板及其简化分析方法[J]. 混凝土, 2015(2):122-124, 131.

(上接第25页)

- [11] 陈振举. 泡沫混凝土在屋面保温中的运用[J]. 技术与市场, 2011, 18(12):73, 75.
- [12] 张英, 杨小芳, 赵芊, 等. 泡沫混凝土在屋面保温工程中的应用[J]. 新型建筑材料, 2011(9):19-21.
- [13] 周翔. 泡沫混凝土在软土路段高速公路改建工程中的应用[J]. 华东公路, 2016(3):46-48.

- [14] 王海军, 姚勇, 陈代果, 等. 泡沫混凝土自保温墙体传热性能试验研究[J]. 施工技术, 2015, 44(4):111-115.
- [15] 张会芝, 郑建岚. 再生混凝土自保温砌块墙体传热性能[J]. 建筑材料学报, 2016, 19(2):304-309.
- [16] 张大英, 许启铿, 王树明. 一种轻质混凝土暗肋楼板及其简化分析方法[J]. 混凝土, 2015(2):122-124, 131.