

真空压实下沥青混合料压实性能评价研究

朱武威^{1,2}, 马景存^{1,2}, 姚运仕^{1,2}, 王瑞龙^{1,2}, 冯忠绪^{1,2}

(1. 长安大学 公路养护装备国家工程实验室, 陕西 西安 710064; 2 长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要: 为了改进沥青路面的压实效果, 增长沥青路面的寿命, 文中提出了一种真空击实的方法提高沥青混合料的压实性能。基于马歇尔击实仪制备真空压实仪并对沥青混合料进行了常规和真空压实对比试验, 试验发现在对等的单次击实下和相同的累积击实次数下, 真空下沥青混合料单次击实沉降量和累积沉降量都高于常规击实的沉降量; 在不同真空度下对沥青混合料进行击实试验, 试验结果显示真空度 -0.08 MPa 下击实的累积沉降量最大; 通过进一步对常规击实和真空击实的空隙率和劈裂强度进行试验对比, 发现在 -0.08 MPa 下的空隙率比常规击实下减小了 9.8% , 矿料间隙率减小了 2.3% , 劈裂强度提高了 11.52% , 试验结果与压实沉降量具有一致性, 试验结果表明真空压实的微观结构更为紧密, 承载力的效果更好, 真空压实能够大大提高沥青路面的压实度, 改进沥青路面质量。

关键词: 沥青路面; 真空压实; 沉降量; 空隙率; 劈裂强度

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2018)03-0368-05

Evaluation of rompaction performance of asphalt mixture under vacuum compaction

ZHU Wuwei^{1,2}, MA Jingcun^{1,2}, YAO Yunshi^{1,2}, WANG Ruilong^{1,2}, FENG Zhongxu^{1,2}

(1. National Engineering Laboratory for Highway Maintenance Equipment, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Key Laboratory of Road Construction Technology and Equipment of MOE, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: In order to improve the compaction effect of asphalt pavement and its service performance, a vacuum compaction method is proposed. A vacuum compactor was manufactured based on Marshall compactor and conventional and vacuum compaction tests on asphalt mixture were carried out by it. It is found that, under the equivalent single compaction times and the same cumulative compaction times, the single compaction settlement and cumulative settlement of asphalt mixture under vacuum are higher than those of conventional compaction. The compaction tests of asphalt mixture under different vacuum degrees show that the accumulative settlement of compaction at the vacuum of -0.08 MPa is the largest. By further comparing tests, it is found that, at -0.08 MPa the void fraction is 9.8% lower than that of conventional compaction, and voids in Mineral Aggregate decreases by 2.3% and the splitting strength increases by 11.52% , which are consistent with the compaction settlement. These test results show that the microstructure of vacuum compaction is more compact and the effect of bearing capacity is better, and vacuum compaction can greatly improve the compaction degree of asphalt pavement and the quality of asphalt pavement.

Key words: asphalt pavement; vacuum compaction; settlement; porosity; splitting strength

近年来,随着沥青路面的大力建设以及路面舒适度、质量要求的提升,提高路面质量,延长服役寿命成为路面建设的迫切需求。在沥青路面建设中,施工质量与路面质量密切相关,而压实质量不高,往往是产生病害的重要原因之一^[1-3]。公路施工实践证明,通过高效压实使沥青路面达到要求的压实度,可以减少甚至避免沥青路面在行车载荷作用下早期破坏,增强抗永久变形能力,

延长路面使用寿命^[4-6]。因此,压实是提高路面质量的关键因素之一,寻找新的压实方法成为路面建设的迫切需求。

为了提高路面的压实质量,增强路面的服役性能,国内外研究者进行了广泛的研究。一些学者从材料改进带动压实性能提高进行了研究,Celauro 等^[7]研究添加 50% 再生料的柔性路面抗车辙性能,通过采用高流变沥青、严格控制沥青混

收稿日期: 2018-03-26

修改稿日期: 2018-05-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(51208044, 51508031); 陕西省自然科学基金项目(2017JM5105); 中央高校基本科研业务费专项项目(310825163408, 310825171011)

第一作者: 朱武威(1979—),男,博士生,讲师,主要从事工程机械理论及作业质量控制方面的研究。E-mail: 14348201@qq.com

合料均匀性等措施保证了路面性能; Chen 等^[8]研究添加纤维的沥青路面性能, 发现纤维形成网状结构, 不但可以增大动态模量, 而且可以吸收应力, 从而提高了沥青路面抗损坏能力; Xiao 等^[9]研究了橡胶改性沥青混合料的性能, 添加橡胶微粒和添加剂后, 沥青混合料流变特性发生变化, 增强了沥青路面在冻融作用下的抗破坏能力, 从而提高沥青路面的性能。然而, 材料性能的改进对沥青路面性能的提升远远不够, 更多学者从事着压实方法及压实工艺改进研究^[10-12]。赵铁栓等^[13]针对振动压路机电液调幅系统具有非线性、大时滞的缺点, 提出了神经网络自适应 PID 控制策略, 提高系统的响应速度和控制精度, 弥补现有振动压路机振动轮调幅装置的不足; 刘玉龙^[14]对垂直振动压实技术进行了研究, 发现激振机构可以使激振器在水平方向上的激振力相互抵消, 不会在其他方向上产生振动的扰动, 压实中能量损失要大大降低, 能量辐射深度大大提高; Yao 等^[15]对双频合成振动压实原理进行研究, 在任一挡位下同时存在 2 个频率及其对应的振幅, 与同吨位常规压路机相比, 双频合成振动压路机工业样机各层压实度较高; VOLVO 公司将沥青路面所用振动压路机引入智能系统, 具有 IC 系统的压实路径、温度分布图显示及数据存储等, 操作人员可以实时获得能判断作业是否达标的压实值, 能够做到

压实度的实时调整, 使得沥青路面具有更好的平整度^[16]。上述研究都是以现有成熟压实技术为基础进行改进, 力求解决压实度、平整度与均匀性的统一问题, 对沥青混合料压实度的改进已经达到一定极限, 难以突破闭锁气孔的抵抗, 不易实现微观结构强化, 需要寻找新的压实原理才能实现。

为了进一步提高沥青路面压实度、解决沥青路面压实不足的引起质量问题, 本文提出了在一定真空环境下对沥青材料进行压实的新方法, 将沥青混合料置于真空室, 沥青混合料开孔孔隙与真空室连通, 受气体压差作用, 将沥青混合料内部气体由传统压实的“被动挤出”变为“主动溢出”, 进一步实现密实度的增加。并基于马歇尔击实仪设计制造了真空击实仪器, 对沥青混合料在常规压实和真空压实进行对比, 评价最终压实效果。

1 试验方法与方案

本试验采用粘性较大、软化点较高的道路石油沥青 A70, 按我国《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2006)对集料的坚固性进行要求, 粗集料应该具有洁净、干燥、表面纹理良好、有足够强度等性质, 采用破碎砾石; 细集料石屑, 并采用 AC13 沥青混合料路面级配为例进行研究, 具体级配如表 1 所示。矿粉含量为 6%, 沥青用量为 5%。

表 1 试验用集料(70 # AC13)级配
Tab. 1 Aggregate (70 # AC13) gradation in the experiment

集料级/mm	13.2~16	9.5~13.2	4.75~9.5	2.36~4.75	1.18~2.36	0.6~1.18	0.3~0.6	0.15~0.3	0.075~0.15
配合比百分数/%	5	18.5	23.5	16	10.5	7.5	5.5	3.5	4

试验时集料用电热鼓风干燥箱烘干加热至 170 ℃, 按集料级配要求确定每种集料的质量; 同时按配比确定沥青质量, 并加热到 160 ℃, 与已经干燥、称量好的集料、矿粉进行充分搅拌, 得到温度为 155~165 ℃沥青混合料。

真空压实试验在真空击实筒中进行, 如图 1 所示为设计并制造的真空试验装置, 其腔内径尺寸为 101.6 mm, 高度 63.5 mm。

为了保证试验的准确性, 试验时将真空击实筒与搅拌装置预热到 165 ℃, 将高温沥青混合料倒入真空击实筒中, 并紧固端盖螺栓, 保证真空腔内密封。真空击实过程为: 通过真空泵预先抽取真空击实筒腔内空气, 达到设定真空度之后待其稳定, 手动将击实锤提升到初始最大高度, 保证

每次下落高度一致, 利用击实杆自由下落的重力对腔内的沥青混合料进行击实, 达到了在真空环境下压实沥青混合料。用游标卡尺测量承力压实装置的顶端与端盖面之间的高度 h , 击实前后两次测量高度之差即为沉降量。在未抽取真空与不同真空度的条件下, 用高度游标卡尺测量每一次或者每几次击实后混合料的沉降量以及击实结束之后的累积沉降量, 为了减小误差, 试验中每次在同一平面测量 5 组数据, 计算平均值作为此次数据。试验中, 每个试验样本总的击实次数为 80 次, 并将击实 80 次后的累积沉降量作为沥青混合料最终压实沉降量。通过对比沥青混合料在普通压实与在不同真空度环境下压实的沉降量来评价真空压实效果, 为后续研究提供依据。

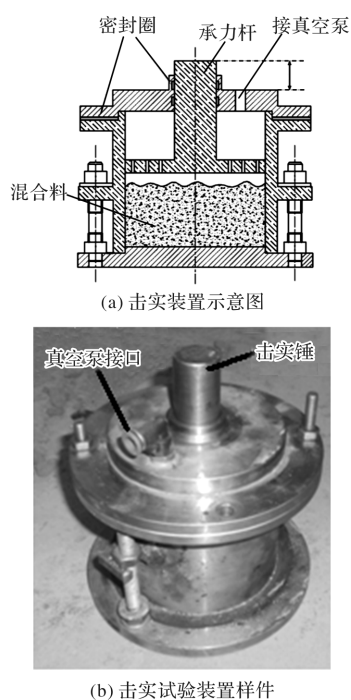


图1 沥青真空击实试验装置

Fig. 1 Vacuum Compaction Test Device of Asphalt Mixture

2 试验结果与讨论

将制备好的沥青混合料在沥青真空装置中进行常规击实和真空击实。图2为采用常规击实和在真空度为 -0.04 MPa 下击实的沥青混合料的沉降量对比。从图2中可以看出,在相同间隔的击实次数下,真空压实的沉降量都高于普通压实;在1~5次击实阶段,每击实1次,真空压实和普通压实区别不大,随击实次数增加沉降量逐渐减小,这是由于密实度逐步增加导致每次的下降量更小;在第6~30次击实阶段,每击实5次测量一次数据,在31~80次阶段,每击实10次测量一次数据,结果表明击实次数在6~80次之间时,随着压实度的逐步增加,相同间隔下的击实次数下累计沉降量逐步变小,但总体上,真空压实的沉降量高于普通压实。

图3为采用普通压实和在真空度 -0.04 MPa 下在同等击实次数下的沥青混合料累积沉降量,从图3中可以看出,两种情况下的累积沉降量随击实次数增加呈先快速增长后趋于平缓的规律;在相同的击实次数下,真空压实的累积沉降量都高于普通压实;另外,在初始1~5次击实阶段,材料易被压实,真空压实和普通压实区别不大;自6~30次击实阶段,开始累积沉降量差距逐渐变大;在终了31~80次击实阶段,材料已较密实,压实

变得困难,沉降量差距也逐步变大。试验结果表明,在沥青混合料松软阶段,孔隙反弹力小和闭孔少,真空负压的作用不明显,但随着压实度的增加,沥青材料之间变得更致密时,真空压实的效果开始显现,其实质是额外的负压导致混合料中的一些闭锁气孔的力的平衡被打破,并有一些被挤破,形成开孔或是更小的闭孔,最终实现了微观结构的强化,改进压实效果。

图4所示为在不同真空度下(-0.04 MPa , -0.06 MPa , -0.08 MPa , -0.09 MPa)沥青混合料压实累计沉降量的变化。从图4中可看出,在0~5次击实下,真空压实和普通压实区别不大,但随着击实次数逐步增加,真空压实在每时每刻的压实沉降量都高于非真空压实。在真空压实中,当真空度从 -0.04 MPa ~ -0.08 MPa 时,压实的累积沉降量呈现增加的趋势,但真空度从 -0.06 MPa 增加 -0.08 MPa 时,压实的累积沉降量的相对增加值减缓,并出现有交叉现象,表明在这一区间,真空度的增加没有使得压实的沉降量大幅度改变;当真空度从 -0.08 MPa 增加到 -0.09 MPa 时,压实累计沉降量出现下降的趋势,上述结果表明,真空压实能够明显的改善沥青路面的压实沉降量,且在真空压实中, -0.08 MPa 是一个最佳的压实真空度,具有明显的压实沉降效果。而且,真空提供的负压在对沥青微观结构强化到一定阶段后,外部加载和混合料内部抵抗力形成弹性抵抗平衡,已经大大的提高了压实度,如进一步提高压实效果,外部负载需要增加,但在压实度很高的情况下,压实将变得更难。

为了进一步验证真空击实下压实效果,采用表干法对在不同击实状态下(常规击实,真空度 -0.04 MPa 、 -0.06 MPa 、 -0.08 MPa 、 -0.09 MPa)的沥青混合料进行空隙率测试,如图5所示为不同击实状态下的沥青试件的孔隙率变化。从图5可知,常规击实下的沥青混合料的空隙率最大,达到5.1%,高于所有真空击实的空隙率;在真空条件下,空隙率呈现先减小后增大的趋势,在真空度 -0.08 MPa 下达到最小值4.6%,而在 -0.09 MPa 下达到4.7%;图6也能看出,采用真空压实方法能降低试件的矿料间隙,在真空度 -0.08 MPa 结果最理想,这一结果表明真空击实下的压实度高于常规击实的压实度,而且在真空击实中, -0.08 MPa 为一个最佳的压实真空度,其空隙率常比常规击实减小9.8%,矿料间隙率减小了2.3%,空隙率与矿料间隙率测试结果与累计击实

深度试验结果具有良好的一致性。另外,选取常规击实和真空度 -0.08 MPa 下的沥青混合料为试验样本,对其进行劈裂强度试验,如图7所示为两种压实条件下的应力-应变图,从图中能够看出,两种状态下的应变规律图形基本相似,在低应力区域 0.8 MPa 以下,曲线变化近乎重合;但在高应力阶段,也即是峰值区域的应力,真空击实样件最大劈裂强度为 1.062 MPa ,常规压实样件为 0.962 MPa ,劈裂强度提高了 11.52% ,结果表明真空压实使沥青混合料更密实,承载能力更高。

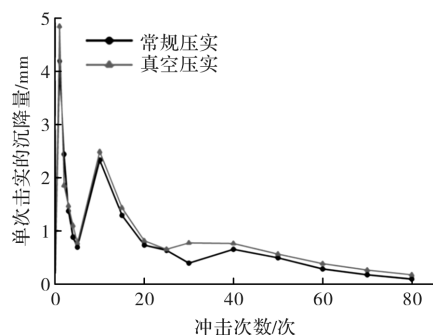


图2 真空与非真空等间隔击实下沉量变化

Fig. 2 Settlement Changing under Vacuum and Non-vacuum at Equal Intervals Compaction

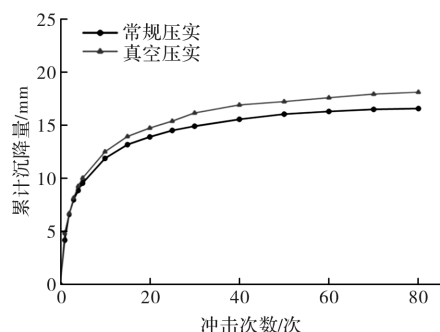


图3 真空与非真空压实累积沉降量对比

Fig. 3 The Comparison of Cumulative Settlement under Vacuum and Non-vacuum

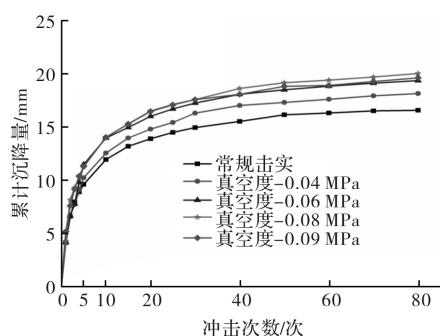


图4 不同真空度下累计压实沉降量对比

Fig. 4 The comparison of cumulative settlement under different vacuum degrees

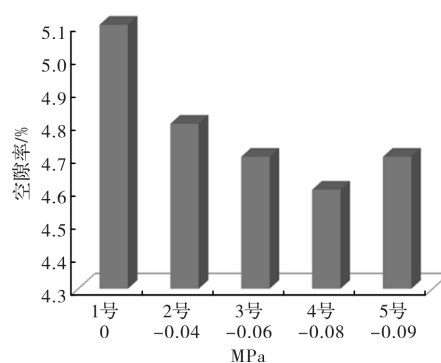


图5 不同击实环境下的样件空隙率

Fig. 5 The void fraction under different vacuum compaction

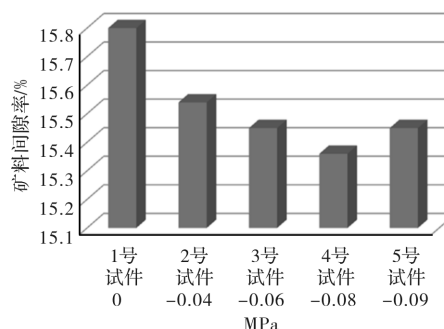


图6 不同击实环境下的矿料间隙率

Fig. 6 Voids in Mineral Aggregate under different Vacuum Compaction

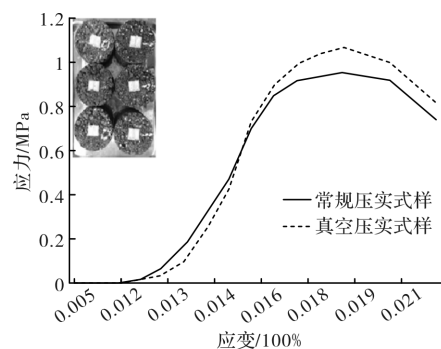


图7 两种击实状态应力-应变

Fig. 7 Stress-Strain under Vacuum Compaction and Common Compaction

3 结论

(1)在对等的单次击实下和相同的累积击实次数下,真空下沥青混合料单次击实沉降量和累积沉降量都高于常规击实的沉降量,真空压实效果优于常规压实且 -0.08 MPa 是一个较优的真空压实环境;

(2)通过对比常规压实和真空击实下的空隙率和矿料间隙率,发现在 -0.08 MPa 下的空隙率比常规压实下减小 9.8% ,矿料间隙率减小 2.3% ,证明了真空压实优于常规压实,且 -0.08 MPa 为

一个最佳真空度;对比常规压实和 -0.08 MPa 真空度压实下沥青真混合料的劈裂强度,真空压实下提高了 11.52% ,表明空压实的路面其结构相对常规压实结构稳固,承载力更强。

(3)用自行设计的击实装置制作试验样本来近似马歇尔标准试样进行试验参数的测试,要达到标准试验的精确度,试验装置还需进一步提高精度;而且,试验中由于真空度较难控制,需更进一步对其更细的划分,增加区分度,最终建立真空度对沥青路面压实度精准控制关系,为未来设计真空压路机提供依据。

参考文献 References

- [1] 张争奇, 李宁利, 陈华鑫. 改性沥青混合料拌合与压实温度确定方法[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(2): 36-40.
ZHANG Zhengqi, LI Ningli, CHEN Huaxin. Determining method of mixing and compaction temperatures for modified asphalt mixture[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(2): 36-40.
- [2] 侯曙光, 黄晓明. 击实温度对沥青混合料参数影响分析[J]. 公路, 2006, (11): 153-156.
HOU Shuguang, HUANG Xiaoming. Impact Analysis of Compaction Temperature on Asphalt Mixture Parameters[J]. Highway, 2006, (11): 153-156.
- [3] 曾国东, 罗青, 陈群. 集料级配对沥青混合料压实性影响的试验研究[J]. 中外公路, 2010, 30(3): 296-300.
ZENG Guodong, LUO Qing, CHEN Qun. Experimental Studies on Impact of Aggregate Gradation on densification characteristics of asphalt mixture [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2010, 30(3): 296-300.
- [4] 张争奇, 赵占利, 张卫平. 矿料级配对沥青混合料低温性能的影响[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2005, 25(2): 1-5.
ZHANG Zhengqi, ZHAO Zhanli, ZHANG Weiping. Effect of Aggregate Gradation on Performance of Asphalt Mix at Low Temperature[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2005, 25(2): 1-5.
- [5] ZHU Xingyi, CHEN Long. Numerical prediction of elastic modulus of asphalt concrete with imperfect bonding[J]. Construction & Building Materials, 2012, 35(10): 45-51.
- [6] KOSE S. Development of a virtual test procedure for asphalt concrete [D]. Madison City. The University of Wisconsin-Madison, 2002.
- [7] CELAURO C, BERNARDO C, GABRIELE B. Production of innovative, recycled and high-performance asphalt for road pavements[J]. Resources Conservation & Recycling, 2010, 54(6): 337-347.
- [8] CHEN Huaxin, XU Qinwu. Experimental study of fibers in stabilizing and reinforcing asphalt binder[J]. Fuel, 2010, 89: 1616-1622.
- [9] XIAO Feipeng, ZHAO Wenbin, AMIRKHANIAN Serji N.. Fatigue behavior of rubberized asphalt concrete mixtures containing warm asphalt additives[J]. Construction & Building Materials, 2009, 23: 3144-3151.
- [10] 彭余华, 郭大进, 刘惠兴, 等. 粗粒式沥青混合料离析控制方法[J]. 交通运输工程学报, 2011, 11(2): 1-7, 23.
PENG Yuhua, GUO Dajin, LIU Huixing, et al. Controlling method of segregation for coarse asphalt mixture[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11(2): 1-7, 23.
- [11] 黄学文. 半刚性路面早期病害的成因分析与对策[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2000, 23(5): 729-734.
HUANG Xuewen. Analysis of the early failure in semi-rigid bituminous pavement and treatment methods [J]. Journal of HeFei University of Technology (Natural Science Edition), 2000, 23(5): 729-734.
- [12] 赵延庆, 刘慧, 白龙, 等. 沥青混合料本构关系对路面力学响应的影响[J]. 中国公路学报, 2012, 25(5): 6-11.
ZHAO Yanqing, LIU Hui, BAI Long, et al. Effect of constitutive relationship of asphalt mixture on pavement response [J]. China Journal of Highway and Transport, 2012, 25(5): 6-11.
- [13] 赵铁栓, 焦生杰. 振动压路机电液无级调幅控制研究[J]. 中国公路学报. 2010, 23(2): 116-121
ZHAO Tieshuan, JIAO Shengjie. Research on electric-hydraulic stepless amplitude modulation control of vibratory roller [J]. China Journal of Highway and Transport. 2010, 23(2): 116-121.
- [14] 刘玉龙. 垂直振动压路机振动压实技术研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012
LIU Yulong. Vibration compaction technique research on vertical-vibration roller [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012

- the low temperature[J]. Construction & Design for Project, 2013(8):156-158.
- [17] 何庆才. 低温条件下大体积混凝土施工质量控制[J]. 建筑技术, 2013, 44(6):553-554.
- HE Qingcai. Construction quality control of massive concrete at low temperature [J]. Architecture Technology, 2013, 44(6):553-554.
- [18] 李方刚, 韦捷亮. 超高层建筑大体积混凝土施工技术 & 质量控制[J]. 施工技术, 2015, 44(21):130-134.
- LI Fanggang, WEI Jieliang. Construction technology of mass concrete for super tall buildings and quality control [J]. Construction Technology, 2015, 44(21): 130-134.
- [19] 王晓伟, 行宏, 罗少强, 等. 大体积混凝土浇筑施工过程控制与分析[J]. 施工技术, 2015, 44(10):20-22.
- WANG Xiaowei, XING Hong, LUO Shaoqiang, et al. Control and analysis of pouring process for mass concrete [J]. Construction Technology, 2015, 44(10): 20-22.
- [20] 刘隆. LNG 储罐泄漏扩散分析及危险性评价[D]. 北京:北京化工大学, 2014.
- LIU Long. Numerical simulation for LNG release & dispersion and hazard evaluation of LNG storage tank [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2014.
- [21] 苑颖. 浅谈大型低温 LNG 储罐设计与建造技术[J]. 中国石油和化工, 2016(S1):112.
- YUAN Ying. Design and construction technology of large low temperature LNG storage tank [J]. China Petroleum and Chemical Industry, 2016(S1):112.
- [22] 中国冶金建设协会. 大体积混凝土施工规范: GB50496-2009[S]. 北京:中国计划出版社, 2009.
- China Metallurgical Construction Association. Code for construction of mass concrete:GB50496-2009[S]. Beijing: China Planning Press, 2009.

(编辑 吴海西)

(上接第 372 页)

- [15] 姚运仕, 李彦伟, 石鑫, 等. 双频合成振动压路机的工业化试验[J]. 长安大学学报(自然科学版). 2013, 33(2):101-106
- YAO Yunshi, LI Yanwei, SHI Xin, et al. Industrial Experiment on Double-frequency Composed Vibratory Roller[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition). 2013, 33(2):101-106.
- [16] 吴金海, 雒泽华, 徐光辉, 等. 智能压实技术的研究进展, 筑路机械与施工机械化[J]. 2017, 34(1):25-29.
- WU Jinhai, LUO Zehua, XU Guanghui, et al. Progress of research on intelligent compaction technology [J]. Road Machinery & Construction Mechanization. 2017, 34(1):25-29.

(编辑 吴海西)