

文章编号: 1674—8247(2020)01—0052—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.01.011

冻土路基硬质聚氨酯泡沫板抗压性能研究

薛 元¹ 冷景岩² 袁海顺³ 肖朝乾¹ 祝丽娟³

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031;
2. 中国铁路设计集团有限公司, 天津 300142; 3. 红宝丽集团股份有限公司, 南京 211300)

摘 要: 本文从聚氨酯板材的力学性能角度出发, 通过模拟实验和理论分析等方法考察了冻土路基采用的硬质聚氨酯泡沫板的抗压性能, 分析了模拟施工阶段样品在连续施压状态下的变形量和模拟工后运营阶段样品的动载荷疲劳变形量及变形量与材料压缩应力-应变曲线之间的关系。结果表明: 在模拟施工阶段, 材料施压卸载后的累计变形量 $\leq 6.3\%$, 在模拟工后运营阶段, 加载 100 万次后, 材料的累积形变 $\leq 3.0\%$, 具有较好的抗压性能。

关键词: 冻土路基; 硬质聚氨酯泡沫板; 抗压性能
中图分类号: TU445 **文献标志码:** A

Research on Compressive Property of Rigid Polyurethane Foam Board for Frozen Soil Subgrade

XUE Yuan¹ LENG Jingyan² YUAN Haishun³ XIAO Chaoqian¹ ZHU Lijuan³

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;
2. China Railway Design Corporation, Tianjin 300142, China;
3. Hongbaoli Group Co., Ltd., Nanjing 211300, China)

Abstract: Based on the mechanical property of polyurethane board, the compressive property of rigid polyurethane foam board for frozen soil subgrade is studied and three sets of data are analyzed by means of simulation experiments and theoretical analyses. One is the deformation of samples under continuous pressure in simulated construction stage; the second is the dynamic load fatigue deformation of samples in simulated post-construction operation stage; the third is a relationship between deformation of samples in simulated post-construction operation stage and compressive stress-strain curve of the material. The results show that: in the simulated construction stage, the accumulated deformation after unloading pressure is $\leq 6.3\%$; in the simulated post-construction operation stage, the accumulated deformation of the material after loading 1 million times is $\leq 3.0\%$, so that the material has good compressive property.

Key words: frozen soil subgrade; rigid polyurethane foam board; compressive property

硬质聚氨酯泡沫是一种性能优异的保温隔热材料和结构材料, 具有导热系数低、机械强度高、尺寸稳定性好、耐腐蚀、重量轻、易于施工等特点, 被广泛应用于建筑、冰箱、冷库、集装箱、储罐及管道保温等领域。冻

土路基硬质聚氨酯泡沫板是针对冻土环境的特殊性、复杂性, 并根据路基功能需求而专门设计的一种特殊用途的聚氨酯泡沫板, 它兼顾了聚氨酯板材的绝热优势和结构优势, 在冻土路基建设领域有着非常重要的

收稿日期: 2019-08-02

作者简介: 薛元(1978-), 教授级高级工程师。

引文格式: 薛元, 冷景岩, 袁海顺, 等. 冻土路基硬质聚氨酯泡沫板抗压性能研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(1): 52-55.

XUE Yuan, LENG Jingyan, YUAN Haishun, et al. Research on Compressive Property of Rigid Polyurethane Foam Board for Frozen Soil Subgrade [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(1): 52-55.

应用价值^[1-2]。

国内外多年冻土区工程通常使用隔热层路基法(即保温法)作为冻土路基病害防治的主要措施^[3-4]。隔热层路基就是在路基内加铺一层保温材料,利用保温材料的隔热性能,阻止上部热量进入下部土层,降低路基高度,起到保护多年冻土、预防和减小融沉的作用,亦是预防和处理冻胀问题的有效办法之一。当前,冻土地区常见的路基保温材料有聚苯乙烯泡沫板(EPS)、硬质聚氨酯泡沫板(PU)和聚苯乙烯挤塑板(XPS)等^[5-7]。

考虑到冻土路基的施工特点及运营环境,对保温材料抗压性能的研究十分重要,抗压性是保障隔热层路基稳定性的基础。因此,本文通过模拟试验,研究施工阶段荷载作用和运营阶段荷载环境条件下硬质聚氨酯泡沫板的抗压性能,为聚氨酯保温板路基的设计和施工提供参考。

1 试验材料

试验材料采用冻土路基硬质聚氨酯泡沫板,厚度

表 1 三轮压路机线荷载参数表^[8]

项目	基本参数							
最大工作质量/t	8	10	12	15	18	21	24	28
驱动轮的线荷载/(N/cm)	>350	>450	>550	>650	>800	>950	>1 100	>1 270
压实宽度/mm	≥1 800			≥2 000				

(2)动载荷疲劳变形测试

高速铁路路基面竖向均布荷载取值如表 2 所示。本文模拟高速铁路运行时路基的受压状态,考虑列车设计活载、轨道结构自重等上覆作用,设计基础荷载为 40 kPa(轨道荷载加保温板上覆约 1~2 m 填料荷载),动载荷为 50 kPa(表 2 中列车荷载上限取整值),加载频次为连续加载 5 次/s。以此研究列车动载荷长期重复作用下硬质聚氨酯泡沫板的疲劳耐受程度。

采用 MTS100T 电液伺服荷疲劳试验机进行测试,样品大小为(100±1) mm×(100±1) mm×产品原厚。首先平行于厚度方向对样品施加 40 kPa 应力,并记录此时样品的变形量。然后用 50 kPa 动载荷继续加载进行动载荷疲劳试验,直到样品破坏或加载次数达到 100 万次,记录此时的累积变形量。

表 2 轨道、列车均布竖向荷载取值表^[9](kN/m²)

轨道类型	轨道自重	列车荷载	总荷载
CRTS I 型板式无砟轨道	12.6	41.7	54.3
CRTS II 型板式无砟轨道	11.6	38.5	50.1
CRTS III 型板式无砟轨道	13.7	40.4	54.1
CRTS I 型双块式无砟轨道	13.7	36.8	50.5
有砟轨道	17.3	36.8	54.1

5 cm,压缩强度分别为 200 kPa、300 kPa、400 kPa、500 kPa和 600 kPa,用 P200、P300、P400、P500 和 P600 表示。

2 测试方法

(1)耐压性能测试

模拟施工阶段荷载作用特点,即压路机在路基面的碾压过程,考察样品在此过程中的耐受能力,压路机的线荷载参数如表 1 所示。隔热层路基保温材料一般埋深 40 cm,板上填土分两层进行碾压,每层碾压厚度为 20 cm。以碾压速度 1.5 km/h 计算,每平方米碾压时间最长为 2.4 s。以此为参考,利用新真威 DL-D2500 型电子万能试验机,对尺寸为(50±1) mm×(50±1) mm×(50±1) mm 的样品施加压力,测试试样在试验载荷作用下,累计施加 40 次的变形量。每次施压时,保持载荷作用 5 s,记录样品的变形量(即载荷时变形量)。同时,记录卸载 2 min 后样品的变形量。根据变形量计算应变,并绘制应变与施压次数关系曲线,考察试样的弹性变形恢复能力和耐压性。

3 结果分析

3.1 冻土路基聚氨酯保温板在模拟施工阶段的抗压性能

考察了 0.8 倍压缩强度、0.9 倍压缩强度和 1 倍压缩强度作用力下,P500 样品的变形情况,绘制对应的应变-施压次数关系曲线,如图 1、图 2 所示。从图中可以看出,随着施加载荷的增加,样品变形量增大,

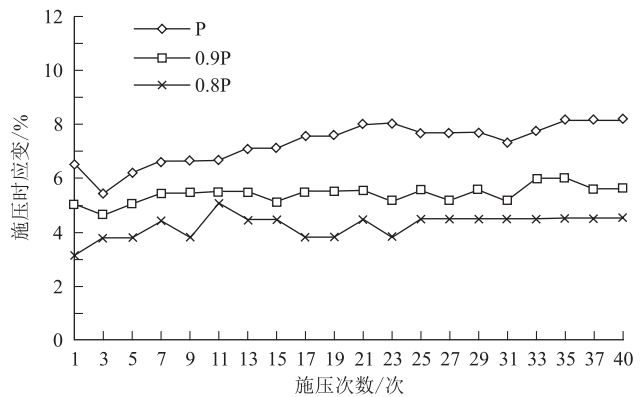


图 1 不同载荷作用下样品应变-施压次数关系曲线图

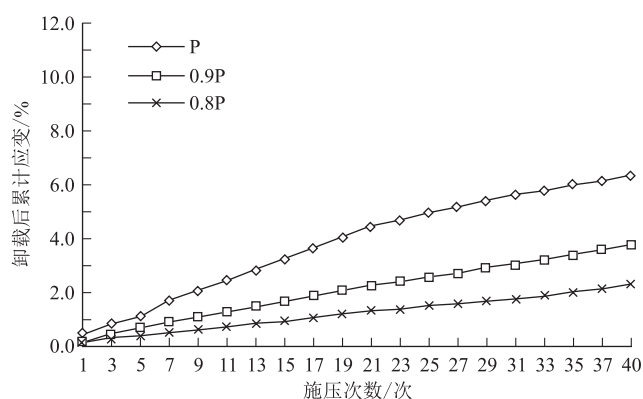


图2 载荷卸除后样品累计应变-施压次数关系曲线图

当施加载荷达到1倍压缩强度应力即相对形变10%时的压缩应力时,样品在累计40次施压时的变形量为8.2%,卸载后的累计变形量为6.3%。

同时,对比了压缩强度为200 kPa、300 kPa、400 kPa、500 kPa和600 kPa的聚氨酯保温板材,在1倍压缩强度作用力下的变形情况,累计40次施压条件下,不同压缩强度样品的应变如图3所示。从图3中可以看出,各样品在累计40次施压条件下的变形量均小于9%,卸载后的累计变形量均小于8%,表明该材料完全可以承受同等压缩强度级别条件下,相应压缩应力荷载的重复多次压力作用。

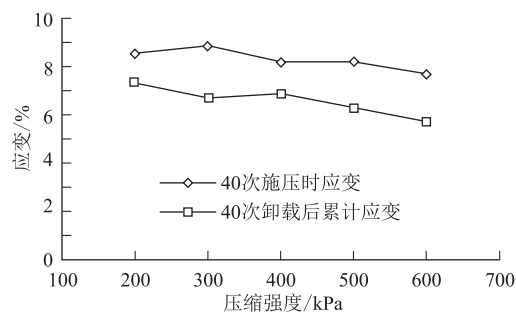


图3 累计40次施压条件下不同压缩强度样品的应变图

硬质聚氨酯泡沫塑料典型压缩应力-应变曲线如图4所示。从图4可以看出,该材料在相对形变为10%时,压缩应力接近屈服,但仍能抵抗渐增的压力,且随后在不增加外力作用的情况下,材料的塑性形变不增大。而图中对比样品聚苯乙烯泡沫板(EPS)的应力-应变曲线有明显的屈服点,且屈服点后应变软化,在应力有所降低的情况下,即发生较大形变。因此,相比而言,冻土路基聚氨酯保温板的耐压性能表现优异,结合模拟试验结果,其材料性能完全能够承受施工阶段的模拟碾压过程。

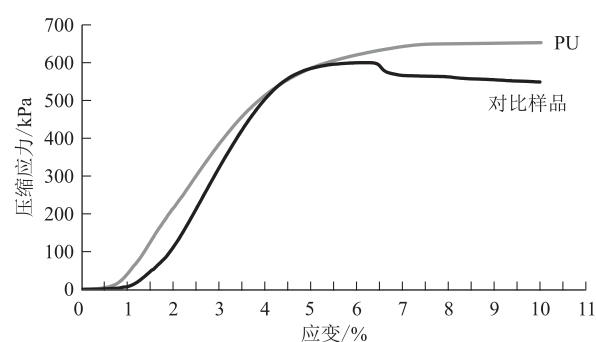


图4 冻土路基用聚氨酯保温板的典型压缩应力-应变曲线图

3.2 冻土路基聚氨酯保温板在模拟运营阶段的抗压性能

分别对压缩强度为200 kPa、300 kPa、400 kPa、500 kPa和600 kPa的聚氨酯保温板材进行了动载荷疲劳变形试验,各样品在基础荷载作用后的形变量及加载100万次后的形变量如图5所示。从图5中可以看出,在基础荷载40 kPa应力作用下,5个样品的初始荷载形变量均<1%,且压缩强度越大的样品形变量相对越小。当继续施加50 kPa应力且重复作用100万次后,样品的累积形变量均显著增大,但变形程度不同。压缩强度为200 kPa样品的累积形变最大,为3.0%,压缩强度为600 kPa样品的累积形变最小,为1.8%。试验结果表明,所有样品的形变量均较小,且没有出现样品破坏现象,说明冻土路基聚氨酯保温板能够承受模拟运营阶段的荷载环境。

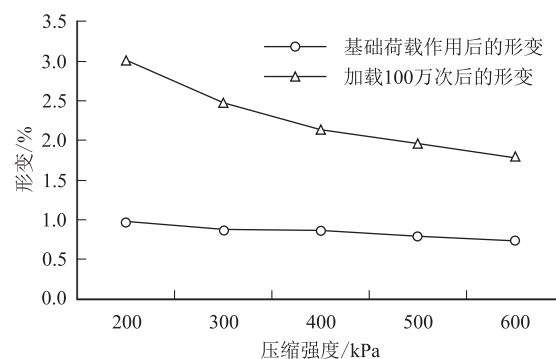


图5 冻土路基用聚氨酯保温板在动载荷作用下的变形图

不同压缩强度硬质聚氨酯泡沫板的压缩应力-应变曲线如图6所示。从图6可以看出,在弹性形变区域内,随着压缩强度的增大,其所对应的应力-应变曲线的斜率增大,即样品的压缩弹性模量增大。由此表明,样品的疲劳变形量与弹性模量间存在着一定的联系。

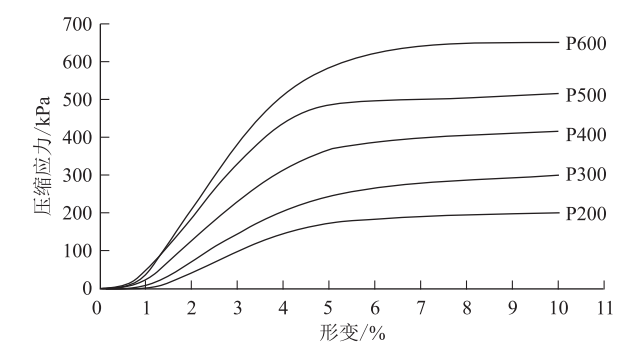


图 6 不同压缩强度硬质聚氨酯泡沫板的
压缩应力 - 应变曲线图

3.3 冻土路基聚氨酯保温板基本性能

除外界压力影响外,冻土内部还会产生冻胀力,其基本参数如表 3 所示。由表 3 可知,冻土的单位法向冻胀力基本在 200 kPa 以内,而冻土路基聚氨酯保温板均为压缩强度 200 ~ 600 kPa 的高强度板,因此,足以对抗冻胀力。

表 3 冻土的单位法向冻胀力参数表^[10]

项目	基本参数				
冻胀量 h/cm	h≤2	2 < h≤5	5 < h≤12	12 < h≤22	h > 22
单位法向冻胀力/kPa	0 ~ 30	30 ~ 60	60 ~ 100	100 ~ 150	150 ~ 210

4 结论

- (1)保温材料的应力 - 应变曲线在一定程度上能够反映出材料的耐压性能和耐动载荷疲劳性能。
- (2)冻土路基聚氨酯保温板抗压性能表现优异,在模拟施工阶段,该材料完全可以承受同等压缩强度级别条件下,相应压缩应力荷载的重复多次压力作用。在模拟工后运营阶段,加载 100 万次后的累积形变≤3.0%,能够承受工后运营阶段的模拟荷载作用。
- (3)根据冻土地区路基稳定性评价体系构建需求,本文研究结论可为隔热层路基用保温材料的关键指标设计提供参考。

参考文献:

[1] 朱吕民,刘益军,等. 聚氨酯泡沫塑料(第三版)[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
ZHU Lvmin, LIU Yijun, et al. Polyurethane Foam (3rd edition)

[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.

[2] 闫格. 硬质聚氨酯泡沫在路基上应用浅谈[J]. 聚氨酯工业, 2002, 17(1): 45 - 47.
YAN Ge. Brief Introduction of the Application of Rigid Polyurethane Foam on the Roadbed [J]. Polyurethane Industry, 2002, 17 (1): 45 - 47.

[3] 汪双杰,李祝龙. 中国多年冻土地区公路修筑技术研究[J]. 公路交通科技, 2008, 25(1): 1 - 9.
WANG Shuangjie, LI Zhulong. Research on Highway Construction Technology in the Permafrost Region of China [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25(1): 1 - 9.

[4] 盛煜,张鲁新,杨成松,等. 保温处理措施在多年冻土区道路工程中的应用[J]. 冰川冻土, 2002, 24(5): 618 - 622.
SHENG Yu, ZHANG Luxin, YANG Chongsong, et al. Application of Thermal-insulation Treatment to Roadway Engineering in Permafrost Regions [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24 (5): 618 - 622.

[5] 温智. 保温法在青藏高原多年冻土区道路工程中的应用评价研究[D]. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,2006.
WEN Zhi. Evaluation and Study on Application of Thermal-insulation Method to the Road Engineering in Permafrost Regions in Qinghai-Tibetan Plateau [D]. Lanzhou: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, 2006.

[6] 苏谦,王迅,刘深. 青藏铁路新型路基保温材料应用试验研究[J]. 西南交通大学学报, 2007, 42(4): 395 - 399.
SU Qian, WANG Xun, LIU Shen. In-situ Test on Engineering Application of New Thermal-Insulation Materials in Qinghai-Tibet Railway Subgrade [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2007, 42 (4): 395 - 399.

[7] 孙立民. 保温材料在青藏铁路路基工程中的应用[J]. 冰川冻土, 2003, 25(S1): 54 - 58.
SUN Limin. The Application of Heat-Preservation Materials to the Roadbed Engineering of the Qinghai-Tibet Railway [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25 (S1): 54 - 58.

[8] JB/T 10472 - 2005 光轮压路机[S].
JB/T 10472 - 2005 Static Roller [S].

[9] TB 10621 - 2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621 - 2014 Code for Design of High Speed Railway [S].

[10] GB/T 50062 - 2011 水工建筑物抗冰冻设计规范[S].
GB/T 50062 - 2011 Code for Design of Hydraulic Structures against Ice and Freezing Action [S].

(编辑:车晓娟 白雪)