

聚苯乙烯泡沫塑料在工程中的应用

张卫兵^{1,2}

(1. 宁夏大学, 银川 750001; 2. 长安大学, 西安 710064)

摘要 详细介绍聚苯乙烯泡沫塑料(EPS)的工程特性及其在工程中的应用。EPS具有使用寿命长、化学性能稳定、经济效益显著、施工简便等优点,是一种性能优良的土工材料,已广泛应用于道路、桥梁、建筑、水利等一系列土木工程,可以有效地解决软基过度沉降,路堤与桥台连接处的差异沉降,建筑物的防潮、保温及水利设施的保温防冻、防渗等工程问题。

关键词 聚苯乙烯泡沫塑料 工程应用 工程特性

聚苯乙烯泡沫塑料(EPS)是一种轻型高分子材料。它是在聚苯乙烯(PS)中加入发泡剂加热时软化、产生气体,形成一种硬质闭孔结构的泡沫塑料。均匀的、封闭的空腔结构使EPS具有吸水性小、介电性能优良、质量轻及力学强度较高等特点。在日常生活中,EPS早已作为仪器的外包装及新鲜食品的运输箱使用;在工程中,自1971年挪威道路研究所首次使用EPS代替普通填料,成功抑制了桥梁与桥头路堤间不均匀沉降以来,EPS作为一种新型工程材料逐步受到世界各国工程界人士的青睐,不断被用于各类土木工程,有效地解决了软基过度沉降,路堤与桥台连接处的差异沉降,建筑物的防潮、保温及水利设施的保温防冻、防渗等工程问题。近年来EPS在我国也受到相当的重视,了解和应用这一技术已成为工程界的共识。

1 EPS的工程特性

EPS具有超轻量性,压缩强度高,具有良好的自立性,侧向变形小;耐水性好,长期浸水强度基本不变;自身含气量高,具有良好的减振和隔振效果;施工简便,易于搬运,同时具有能充分抵抗交通荷载的强度。

(1) 密度小

EPS的密度由成型阶段PS颗粒的膨胀倍数决定,一般为 $10 \sim 45 \text{ kg/m}^3$,作为工程使用的EPS的密度一般为 $15 \sim 30 \text{ kg/m}^3$,目前在道路工程中用作轻质填料的EPS,其密度为 20 kg/m^3 ,为普通道路填料的1%~2%。在软土地基上使用EPS代替土方填筑路堤,可以大大降低路堤荷重,减少路堤沉降^[1]。

(2) 耐久性好

EPS在水中和土壤中的化学性质比较稳定,不能被微生物分解,也不能释放出对微生物有利的营

养物质;但有研究^[2]显示,在特殊的条件下白蚁可能对EPS造成破坏。EPS的空腔结构也使水的渗入极其缓慢。据挪威国家公路研究所的研究表明,将EPS在地下水位以下埋设9a后其最大吸水量仅为9%;此外,长时间受紫外线照射,EPS的表面会由白色变为黄色,而且材料在某种程度上呈现脆性;在大多数溶剂中EPS性质稳定,但在汽油或煤油中可溶解。鉴于上述原因,EPS在用作轻质路堤等的填料时要注意对表面进行覆盖保护。关于EPS埋在土中的耐久性,挪威国家公路研究所的现场观测表明,使用12a的EPS,其压缩强度几乎等于施工时的强度。一般情况下,EPS不会发生老化现象。

(3) 隔热性优良

由于EPS泡孔中的气体不容易产生对流作用,而且气体又是热的不良导体,因而EPS具有优良的隔热性能,常用于民用建筑的屋顶保温层及道路工程中的隔温层,以满足严寒季节对建筑物的保温和道路防冻的要求。其次,EPS中存在大量的微小气孔,是一种工业和民用建筑中良好的吸音和装饰材料。

(4) 压缩性能良好

①单轴压缩性能 在EPS轻质路堤设计和施工过程中,材料强度是一个极其重要的参数,它涉及到整个工程的安全。通过标准固结仪对 $50 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 试样采取应力控制式的加荷方式进行无侧限压缩试验,结果表明,EPS在变形初始阶段(1%~5%的应变范围)表现出良好的线性弹性行为,而后发生屈服现象,压缩条件下的屈服不是出现在某一点,而是在某一范围。屈服后EPS表现为屈服硬化,且开始阶段仍呈线性,随着应力继续增加,应变

逐渐呈现非线性,此时 EPS 的空腔结构已被破坏,产生明显的塑性变形。另外,不同密度的 EPS 在弹性阶段应变小于 5% 时变化基本是一致的。因此国内外多数研究人员认为可取压缩应变为 5% 时对应的应力值作为压缩强度。

②三轴压缩性能 将密度为 18 kg/m^3 、清水中浸泡 24 h 后的 $39.1 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ 的 EPS 试样在 GDS 静三轴固结仪上进行快剪试验,结果表明 EPS 在三向应力状态下的受压过程与单向应力状态下的基本类似。当应变值为 5% 时, EPS 的应力 - 应变关系也出现明显转折,这表明 EPS 是一种弹塑性材料。在屈服前周围压力对 EPS 的应力 - 应变关系影响不大,当达到屈服后,周围压力才对屈服强度有影响。而且当周围压力很小时,对屈服强度的影响也是有限的。当周围压力超过一定值时,屈服强度明显下降,显然与土壤的变化规律不同。另外当轴向应变较小(小于 5%) 时无论周围压力大或小,轴向应变与体积应变之间的关系均为直线关系,且直线与坐标轴的夹角均接近 45° 。这充分说明此时的体积应变接近于轴向应变,即侧向变形小,也即 EPS 的泊松比很小^[3]。

(5) 蠕变性小

EPS 是热塑性材料,与其它土工合成材料一样,在设计中应考虑材料随时间的性能变化。这种变化包括蠕变和松弛。杜骋等^[4]的研究表明, EPS 的蠕变主要出现在加荷初期,加荷 1 d 后产生的蠕变大致为总蠕变的 50%。随着时间的延长,蠕变速度逐渐下降,1 a 后变化已相当缓慢。另有研究表明,当压缩应力处于弹性区域内时, EPS 几乎不存在永久的压缩蠕变;当外荷载大于 2 倍的 5% 应变所对应的压缩强度时,由蠕变所产生的额外永久变形很小,因此可不考虑压缩蠕变的影响。

2 EPS 在工程中的应用

2.1 道路工程

①用作软土地基路堤填料 在软土地基上修筑路堤经常会产生路基不均匀沉降和沉降量过大问题。EPS 自身密度小的超轻质特性和其特有的力学性能,决定了 EPS 能够有效地减轻路堤、基础自重荷载,从而达到减小地基变形、有效控制路堤沉降、保证路面使用质量的目的。

②用于路桥过渡段填筑 由于路桥过渡段的特殊性,施工质量难于控制,并且基于桥台与路堤结构的差异,使得在过渡段处容易产生沉降差,从而影响

行车的安全与舒适。利用 EPS 质轻、竖向受压后产生侧向压力小的特点,把 EPS 用于桥台、挡墙的填料,既能减轻自重,有效防止基础下沉,避免桥台与路基连接处的沉降差异,消除桥头跳车现象,同时又可大幅减小路堤对桥台的侧向压力。

③修建直立挡墙 由于 EPS 具有直立性好、侧向变形小的特点,在山区陡坡和城市道路建设中可以利用 EPS 修建占地面积小、外表美观的直立挡墙。

④用于减轻地下结构物顶部的土压力 路堤下埋设的刚性结构物往往会由于结构物上部土体与两侧土体不均匀沉陷而产生过大的附加压力,垂直土压力系数可达 1.2,当填土较高时甚至可达 2.0,即在结构物顶部存在应力集中现象。把 EPS 这种良好的可压缩性材料铺设在结构顶部,形成一个“人工沟槽”^[5],可大大减小结构物所受的土壤压力。这种人为调整位移场分布、改善结构物上应力分布的方法,可用于改善深埋涵洞、管道和高坝防渗芯墙的应力分布,以防止其开裂。

⑤用于防止路基冻害^[6] 在寒冷地区,道路路基每到冬季都会发生冻害,使道路不平顺,严重时将危及行车安全。传统的整治方法如注盐、换土、铺炉渣等方法效果都不佳。由于 EPS 具有良好的保温隔热性能,在路基顶面铺设 EPS 作防冻层,可减少因填筑路基引起地表下冰冻层溶解而产生的沉降及防护边坡的冻胀破坏,并减小路基的冻结深度,从而消除路基冻害,保持线路结构的稳定和减小变形。

2.2 水利工程^[7]

采用 EPS 板作为涵闸基础保温层,可明显地减小或消除基础板下地基土的冻胀力,实现基础浅埋,节省基础开挖量和施工排水费用,尤其是对水饱和和地基更具有实用价值。目前北方地区仅用 10 cm 厚的 EPS 板作基础隔热保温层可相应减少冻深 100 cm 以上,使冻结深度减小 80% 以上,降低基础工程造价 30% ~ 40%。另外,近年来山东、山西、宁夏等省区在渠道河流衬砌的工程中也大量使用 EPS 板作防渗透、防冻融材料以解决渠道的渗透和冻融问题,均取得了很好的效果。

2.3 建筑工程^[8]

①用于建筑外墙保温 近年来,我国一些建筑部门仿照国外的做法,在建筑物外墙面直接粘贴 EPS 板,再在 EPS 板外粘贴加固用的玻璃纤维网格布,最后涂刷装饰和保护用的面层。使用证明保温

效果好,直接粘贴能形成完整的隔热层,避免了冷桥(或热桥)的泄漏,而且施工简便、造价低,同时还可以制作建筑外装饰的造型。

②用于屋顶保温 传统的屋顶保温结构是在屋顶的结构层上作好找平层后,先铺保温隔热层(加气混凝土、膨胀珍珠岩、矿棉等),再制作防水层。由于防水层暴露在外面,受日光和高低温的作用,防水层极易老化开裂,加之传统的保温材料都容易吸水,而且吸水后就失去了保温隔热性。与传统做法相反,在屋顶结构层上作好找平层后,先铺防水层,后铺 EPS 保温层,上面铺一层无纺布后再压上一层覆盖层(如卵石),这种做法被称为“屋顶保温倒置法”,其优点就是利用了 EPS 的耐久性和低吸水性,改变了防水层的工作环境,使其防水功能长期有效。从北京地区的试验工程结果来看,在冬季比较干燥的北方地区,使用 20 kg/m^3 的 EPS 板,8 a 后并无明显变化,且经测试吸水性基本没变,确实起到了延长防水材料使用年限的作用。

③用于地板辐射采暖 地板辐射采暖是通过在地板中敷放热水循环管道将热量向地面上的空间辐射散热。该技术从 20 世纪 30 年代起在一些发达国家使用。我国在 50 年代曾将该技术用于人民大会堂等工程中。原来的循环水管主要采用钢管和铜管,存在着施工难度大、维修费用高、使用寿命短等缺点。新型塑料管和保温材料的应用,尤其是地下层绝热材料——EPS 板的使用,为该项技术的发展提供了基础,使用寿命可达 50 a 以上。目前我国正在逐步推广独立采暖、单户计量收费的措施,使地板辐射采暖和地板绝热保温成为今后的发展趋势。

2.4 工程实例

①消除路基不均匀沉降^[9] 广东省某大桥南岸路堤原设计采用挖方石渣填筑,路面宽 31 m,路堤高度为 7 m,坡比为 1:1.5。由于存在不良地质,当路堤填筑到 4 m 左右高度时,在桥台后出现了 2 次大规模的路基滑坡,路基沉降已达 40 cm,经验算,如不进行处理,当路堤高度达到 7 m 时,地基稳定安全系数只有 0.7。经过比较各种方案后,决定采用 EPS 填筑剩余部分高度的路堤。填筑前,用推土机推掉约 1 m 的已填石渣, EPS 填筑高度超过 4 m。原设计路堤有 7 m 的填土,按原设计地基力学参数采用分层总和法计算的最终沉降量为 1.43 m,而修改设计后采用 EPS 填筑剩余路堤可将工后沉降控制在 0.1 m 左右,与原设计路堤可产生的沉降

相比已大为减少。EPS 铺筑完后对沉降进行了详细的观测,发现 EPS 层的压缩沉降平均为 32 mm,并且在 120 d 内基本保持稳定。到通车 6 个月后, EPS 结构层的实际压缩变形平均值仅为 8 mm,说明 EPS 本身的使用效果显著,作为路堤填料应用是成功的。

②根治软基冻害 内蒙古国道 301 线博克图—牙克石段,由于年降雨量集中在秋季,加之地势低洼、无霜期短、冰冻期长等独特的地理、气候环境条件,形成了该地区多年冻土湿地现象。在该地区修筑道路由于这些人工构筑物的修建而引起局部环境的变化,导致多年冻土的融化,使道路产生严重的病害甚至破坏。针对该问题,刘文白等^[10]提出了用 EPS 板作为隔热、防冻材料用于冻土路基、地基进行加固的处理方案,并通过不同方案的现场试比较,肯定了 EPS 作为消除路基冻害的效果。该试验路段路基填土高度为 1.98~2.66 m,在路基下铺设 2 块密度为 20 kg/m^3 、尺寸为 $3.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \times 0.05 \text{ m}$ 的 EPS 板,以起到隔温、保护冻土层、防止地下多年冻土层融化的作用,从而防止道路翻浆。同时铺设了格室土工格栅,水泥稳定砂砾与 EPS 结合起来使用,形成增强层,以提高地基承载力和路基的稳定性。在路基填筑的过程中观测地温在铺设 EPS 板后的变化,发现接近路基中部的测点受地温影响小,年温差为 10.67°C ,在路基的临空面的测点受地温影响大,年温差为 23°C ,表明 EPS 板有隔温的效果。另外,通过对比分析发现, EPS 板上部的年地温差大,而其下部的年地温差相对较小;而且路基土中的年地温差明显高于路外观测点的年地温差。这进一步说明 EPS 具有良好的隔热功能,它可以起到减少地表向深层的热流量、减少地下多年冻土层上限的下移,从而减缓多年冻土层的融化,保持道路稳定的作用。

3 结语

EPS 作为一种超轻质的路基填料,在国外已有较为广泛的应用。实践证明, EPS 优良的性能对减少软基的沉降和差异沉降、减少桥台和路基的差异沉降及桥台的侧向压力和位移等有重要作用。但由于使用 EPS 修建路堤的时间不长,对如何成功地将 EPS 应用于软土地基处理的研究尚处于起步阶段,有许多问题需要解决,如 EPS 块层间的相对滑移以及 EPS 与地基间的局部脱空等问题,可能导致路基底部的不均匀沉降和路面结构的反射裂缝; EPS 代替填土修筑路堤按弹性层状理论进行设计时,究竟

以什么应力、应变作为设计指标尚不明确等。为此, 建议公路部门开展对 EPS 在各种地质条件下的应用研究, 对地基处理与不处理、刚性路面与柔性路面结构等进行对比试验研究, 以积累经验、数据。同时加强对 EPS 取代土体的有限元设计和分析研究方法, 不断完善设计理论, 为 EPS 在我国的广泛应用创造条件。

尽管从目前来看, 采用 EPS 的造价较高, 但其诸多优点表明在软基上修筑高速公路仍是可行的。并且随着石油化学工业技术的发展, EPS 成品价格也会降低。因此可以相信 EPS 在我国土工和工程应用领域将会像西方国家一样, 有着较为广阔的发展前景。

参考文献

1 白冰, 陆强. 聚苯乙烯泡沫塑料的测试及其在土工中的应用. 岩土工程学报, 1993, 15(2): 104

- 2 Duskov M. Materials research on EPS 20 and EPS 15 under representative conditions in pavement structures. Geotextiles and Geomembrances, 1997, 15: 147
- 3 张中坤, 殷宗泽, 曹正康, 等. EPS 的力学特性及其块体载荷试验有限元分析. 岩土工程学报, 1998(3): 106
- 4 杜聘, 杨军. 聚苯乙烯的特性及应用分析. 东南大学学报, 2001(30): 139
- 5 白冰. 泡沫塑料在道路工程中的应用. 公路, 1993(4): 30
- 6 张晓明, 杨广庆. EPS 在铁路路基中的应用技术. 西部探矿工程, 2003(1): 135
- 7 那文杰, 王波. 聚苯乙烯泡沫 (EPS) 的特性及在土工中的应用. 黑龙江水利科技, 2003(2): 107
- 8 李焉, 张玉川. 发展 EPS 泡沫塑料的新机遇——EPS 泡沫塑料在建筑上应用的调研. 化学建材(特辑), 2001(4): 28
- 9 洪显诚, 杨航宇, 朱赞凌, 等. EPS 材料在桥头软基处理中的实验研究. 桥梁建设, 2001(4): 6
- 10 刘文白, 周健, 郝万喜, 等. EPS 板在多年冻土地区道路工程中的应用. 保温材料与建筑节能, 2003(1): 32

APPLICATION OF EXPANDED POLYSTYRENE IN ENGINEERING

Zhang Weibing^{1,2}

(1. Ningxia University, Yinchuan 750001, China; 2. Chang'an University, Xi'an 710064, China)

ABSTRACT The engineering characteristics of expanded polystyrene (EPS) and its application in engineering are introduced in detail. EPS is an excellent civil engineering material, which has a lot of good properties, such as long life-span of use, good chemical stability, marked economical benefit and convenient in construction. It is widely used in road, bridge, construction, water conservancy and other civil engineering. It can effectively solve the engineering problems such as over sedimentation of soft groundwork, differential sedimentation at the joint between embankment and bridge abutment, damp prevention and heat preservation for construction. Anti-frostbite and antiseepage for water conservancy and so on.

KEYWORDS expanded polystyrene, application in engineering, engineering characteristic

欢迎订阅《2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会论文集》

为推动我国工程塑料加工应用技术进步, 中国工程塑料工业协会加工应用专委会与塑料助剂专委会于 2003 年 11 月 4 日 ~7 日联合在浙江余姚市召开“2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会”。为配合这次会议, 《工程塑料应用》杂志社从本次会议征集的众多会议论文中优选了 105 篇优秀论文, 编辑出版了本次会议的《论文集》。论文内容涉及及有关塑料助剂和工程塑料的合成、改性、生产、加工、应用、测试、模具、加工设备、文献综述、供需市场及预测等。在这些论文中, 有新型塑料助剂、国内外塑料助剂进展及市场、塑料加工新工艺、塑料改性新技术、塑料新材料及其应用, 以及塑料模具与设备改进、计算机在塑料模具设计制造中的应用等反映塑料助剂及塑料改性、加工、应用等方面最新发展的论文。

该《论文集》内容丰富、技术水平高, 集中研讨了当前行业人士关心的“热点”、“难点”问题, 给塑料行业今后的发展指出了明确的方向。适于从事塑料助剂、工程塑料的研究、

生产和教学的工程技术人员、大专院校师生阅读。另我社尚有部分 2002 年、2001 年和 2000 年编辑出版的《论文集》, 价格优惠, 欢迎广大读者同时订阅。

《2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会论文集》 50 元/册;
《2002 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》 40 元/册;
《2001 年中国工程塑料加工及模具技术研讨会论文集》 30 元/册;
《2000 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》 20 元/册。

邮局汇款

收款单位: 山东省济南市 108 信箱杂志社

邮政编码: 250031

电话: 0531-5816706-805, 802 5947355

银行汇款

户名: 中国兵器工业第五三研究所

开户银行: 济南市工商银行八一分理处

帐号: 1602001209014424079