

硬质聚氨酯泡沫塑料在军事工程中的应用*

石少卿 张湘冀 刘颖芳 尹 平

(解放军后勤工程学院军事土木工程系, 重庆 400041)

摘要 根据硬质聚氨酯(RPUR) 泡沫塑料的性能和特点, 结合军事工程的要求, 介绍了 RPUR 泡沫塑料在军事伪装工程、军事防寒隔热工程、野战移动工事, 以及防护工程中的抗爆和隔爆工程等军事工程中的应用; 指出 RPUR 泡沫塑料因具有良好的性能而非常适合在军事工程中应用。

关键词 聚氨酯泡沫塑料 伪装工程 野战工事 抗爆吸能

硬质聚氨酯(RPUR) 泡沫塑料是将异氰酸酯、多元醇化合物和各种助剂按一定比例混合、使之进行反应而制得的高分子材料, 其泡孔以闭孔为主, 具有极低的导热系数、较低的密度、一定的强度和硬度。而添加剂的加入, 可使 RPUR 泡沫塑料具有粘附性强、相对密度低、比模量与比强度高, 以及较好的绝热、隔音、耐化学药品等特性, 因而受到了工程界的普遍重视^[1]。由于 RPUR 泡沫塑料的性能优异, 在军事工程中也受到青睐。笔者现主要介绍 RPUR 泡沫塑料在军事伪装工程、军事防寒隔热工程、野战移动工事以及防护工程中的抗爆和隔爆工程等军事工程中的应用。这些应用表明, RPUR 泡沫塑料因具有良好的性能而非常适合在军事工程中应用。

1 RPUR 泡沫塑料在军事伪装工程中的应用

军事目标如地面油罐、飞机洞库及各种武器弹药仓库在战争中是敌人打击的重点对象, 而这些目标常常表现出与周围环境明显不一致的目标外形特征, 很容易被光学仪器、热红外侦察设备、雷达侦察设备等发现和识别。随着高科技的发展, 军事侦察和监视的能力及水平有了很大进步, 使得这些军事目标在战争中更容易遭到打击, 为此, 迫切需要对这些军事目标进行伪装处理^[2]。目前已研制出的伪装材料有伪装涂料、防护网等, 用这些材料对防护工程、阵地工程等固定大型目标进行伪装时, 成本较高, 施工工艺要求也较高。相反, RPUR 泡沫塑料施工方便, 发泡速度快, 可在常温常压下现场发泡成型。加之发泡设备操作简单, 可进行浇注或喷涂施工; 而 RPUR 泡沫塑料对金属、木材、玻璃、砖石等具有很强的粘附性, 非常适合在军事伪装工程中应用。RPUR 泡沫塑料与各种面材的粘结强度见表 1。

由于 RPUR 泡沫塑料有上述特性, 因此将经过颜色调配的 RPUR 泡沫塑料喷涂于防护工程或阵地

表 1 RPUR 泡沫塑料与各种面材的粘结强度 MPa

面板材料	PUR 泡沫塑料密度 / kg · m ⁻³			
	30	80	160	320
铝	0.07	0.19	0.38	1.08
玻璃	0.06	0.18	0.34	0.98
钢	0.08	0.20	0.43	1.01
木材	0.12	0.20	0.42	1.18

工程的出口、山体护坡、洞库洞口等目标, 可模拟天然地表状态, 达到“隐真示假”的目的。施工时可在目标表面先喷涂一层添加了电磁损耗材料的 PUR 泡沫塑料, 使之具有对微波的吸收功能; 然后再按三色迷彩的图案喷涂上经过颜色调配的具有不同导热系数的 PUR 泡沫塑料, 使之具有防光学侦察和防热红外侦察的伪装效果。由于喷涂法无需模具、成型方便, 使得 RPUR 泡沫塑料在军事伪装工程中将会得到更加广泛的应用。

2 RPUR 泡沫塑料在军事防寒隔热工程中的应用

我军很多边防哨所地处高山峻岭, 长期处于高寒地冻环境之中, 冬天室外温度为 - 30℃, 有时达 - 40℃, 在这些地区所建工事的防寒保温将成为迫切需要解决的问题。还有的边防哨所地处海岛, 夏天温度高达 40℃, 在海岛构筑工事的隔热降温又将成为迫切需要解决的问题。因此在这些工事的设计中应选用防寒、隔热性能好的材料。而 RPUR 泡沫塑料正是一种防寒、隔热绝热性能很好的材料, 且与水泥有良好的粘结性, 采用粘结剂将 RPUR 泡沫塑料固定到清洁的墙壁内侧或外侧, 可降低墙体的传热系数, 起到很好的保温、隔热效果。通常, 建筑物中有 30% 的热量是从窗户散失掉的, 不仅玻璃传热, 而且窗框也导热, 采用 RPUR 泡沫塑料窗框芯能达到保温、隔热要求。RPUR 泡沫塑料导热系数特

* 总后勤部科研资助项目 (41 A1 C51)

收稿日期: 2004-04-21

别小,具有优良的保温、隔热性能。部分材料的隔热性能如表 2 所示。从表 2 可以看出, RPUR 泡沫塑料的隔热层所需厚度仅为 25 mm,而普通砖则需要 860 mm;一般建筑结构的砖墙厚度为 240 mm,如需隔热,则需 3 倍以上厚度的砖墙。在实际工程施工过程中,若采用砖墙来进行隔热,既不经济而在建筑空间上也不现实;采用 RPUR 泡沫塑料则只需在表面喷涂一层即可,十分方便。

表 2 部分材料的隔热性能

材料	隔热层所需厚度/mm	导热系数/ $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$
PUR 泡沫塑料	25	0.020
膨胀珍珠岩	40	0.040
矿物棉	45	0.045
轻软木	50	0.050
纤维板	65	0.060
普通砖	860	0.600
普通混凝土	386	0.300
加气混凝土	310	0.250
钢筋混凝土	1 900	1.740

3 RPUR 泡沫塑料在野战移动工事中的应用

在未来高技术战争中,要取得战争的胜利,首先要求作战防御和部署快速实施,并提供强有力的工程保障。在各种工程保障中,野战工事构筑是一项重要内容。高技术战争对野战工事构筑提出了机动、快速的要求。在未来战争中机动作战的比重大,要求快速反应部队在集结或待机状态均能获得一定的防护保障,在没有坑道和良好地下工事可利用的情况下,需要快速构筑机动保障工程,以提高部队的生存能力。在高技术侦察手段多样、打击力强和精确制导武器的攻击等条件下,还要求快速构筑的野战保障工程有较高的防护能力,并能抗住炮弹非直接命中时的弹片和轻武器的贯穿^[3];为适应现代战争的需要,必须建立轻质高强、装配迅速的装配式野战保障工程。目前由于技术条件的限制,某些工事的主体材料密度大、笨重,影响了构件的快速运输和组装;某些工事的主体材料加工程序复杂,难以适应各种应急情况的需要,很难同时达到质量轻、防护及反侦察力强、价格适中的要求。我军研制的纤维增强塑料(FRP)野战工事由于基体材料为树脂,往往存在易燃烧、易老化、有毒等缺陷,大大限制了它的使用范围。如何在保证工事抗力的情况下使野战工事轻量化,以利于运输,从而达到野战工事的机动、快速是各国正在加紧研究的课题。目前,美国、德国、瑞典等国家已取得了大量研究成果。

1977 年,美陆军工程兵工程研究试验室采用向

充气模壳上喷涂 PUR 泡沫塑料和钢纤维混凝土的方法建造了 5 个半球形掩蔽部。充气模壳为增强聚氯乙烯(PVC)薄膜,泡沫塑料为喷涂 PUR 泡沫塑料,发泡增硬后其密度为 32 kg/m^3 。在固化的泡沫塑料上面再喷一层钢纤维混凝土。在使用面积相同的条件下,这种掩蔽部的体积只有木结构的 22%,构筑所用的人力和时间只有木结构时的 1/3。1983 年,美军又研制了一种多层结构的充气模壳,中间为 PVC 带编织物,内外各粘接一层 PVC 薄膜。作业时先向模壳内充气使之膨胀绷紧,然后分层喷涂 PUR 泡沫塑料以形成防御工事。当然,这种掩蔽部的抗力较低^[4]。

4 RPUR 泡沫塑料在防爆、隔爆工程中的应用

海湾战争、科索沃战争和伊拉克战争结束后,以远程攻击和精确打击为主的局部战争模式业已形成,对于发展中国家而言,建立完善的防护工程体系在高科技局部战争中就具有极为重要的作用,如何防御精确制导武器、提高防护工程的综合防护能力是防护工程必须尽快解决的问题。在防护工程中,防护工事的抗爆、隔爆一直是十分关注的问题。RPUR 泡沫塑料是一种密度小、价格低、成型容易的多孔材料,具有很好的吸收动能的特性,能够缓和冲击、减弱振荡、减低应力幅值,且随着应变速率的增加(在一定应变速率范围内),RPUR 泡沫塑料的屈服强度逐渐增加,因此 RPUR 泡沫塑料具有良好的抗爆、隔爆作用,可以在防护工程中用以抵御武器爆炸的冲击,起到隔爆、消压和吸能的作用^[5]。另外,在抗爆结构设计中,结构本身既要达到一定的抗力要求又要有非常好的吸能效果,同时还要使结构整体达到足够的刚度,而纯刚性的设计或纯柔性的设计都难以达到设计要求,导致刚柔并重的设计理念应运而生。笔者发明的一种新型遮弹层结构——蜂窝式短钢管混凝土遮弹层,已申请了专利且已授权。由于这种遮弹层的刚性很强,考虑到 RPUR 泡沫塑料的特点,笔者又提出了在蜂窝式短钢管混凝土遮弹层和地下工事结构中间铺设一层 RPUR 泡沫塑料,以增强结构吸能效果的设想,并采用数值模拟的方法对设置 RPUR 泡沫塑料垫层与不设置 RPUR 泡沫塑料垫层的两种情况进行了分析对比。结果表明,RPUR 泡沫塑料在抗爆、隔爆、消压、吸能方面的效果是非常明显的。现以一数值模拟为例作一简单介绍。

蜂窝式短钢管混凝土遮弹层为六边形短钢管混

凝土构件平行排列并相互连接形成蜂窝式结构, 见图 1, 其中六边形钢管的厚度为 4 mm, 边长为 200 mm, 高度为 200 mm。图 2 是遮弹层、RPUR 泡沫塑料垫层及地下工事示意图。地下工事模型的上表面尺寸与图 1 中所采用的遮弹层的平面尺寸相同, 在铺设层表面的中心放置长方体(160 mm ×160 mm × 80 mm) TNT 炸药。

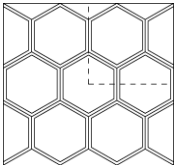


图 1 蜂窝式短钢管混凝土遮弹层示意图

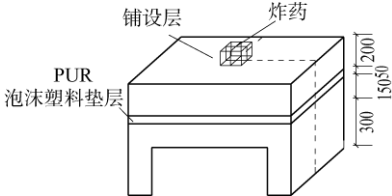
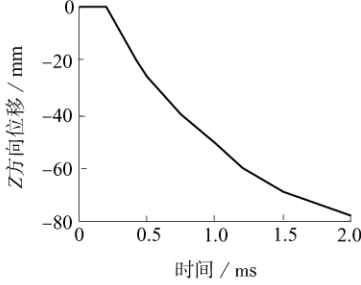


图 2 铺设层及地下工事示意图

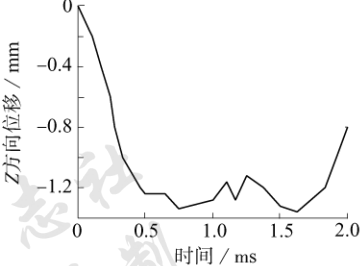
在进行有限元分析时, 假设钢管与钢管之间为有效连接, 并将炸药视为欧拉单元, 混凝土视为拉格朗日单元。为使炸药与混凝土二者间能够实现能量传输, 利用 ALE 方法在炸药周围布置一定范围的空气(采用欧拉单元) 与混凝土耦合。对于不设置 RPUR 泡沫塑料垫层的模型取同样的尺寸。选用 RPUR 泡沫塑料的密度为 120 kg/m³, 弹性模量 $E = 17.67 \text{ MPa}$, 屈服强度 $\sigma_y = 1.0602 \text{ MPa}$, 泊松比为 0.02, 受拉失效应变 $\epsilon_s = -0.06$ 。试验模型采用弹塑性等向强化模型描述。

图 3 为遮弹层爆坑处最大位移的节点位移时程曲线。从图 3 可以看出, 设置 RPUR 泡沫塑料垫层时的结构变形明显小于未设置 RPUR 泡沫塑料时的变形。其主要原因是 RPUR 泡沫塑料材质疏松, 而且弹性模量很小, 易于变形, 吸收大量的能量, 这样使得作用在下部防护结构上的爆炸能量很小, 保护了下部地下工事结构主体的安全。另外, RPUR 泡沫塑料的受压破坏极限应变很大, 而此处垫层正好发挥了其良好的受压变形性能。从图 3 还可以看出, 未设置 RPUR 泡沫塑料垫层时地下工事顶板的跨中位移已达近 80 mm, 而设置了 RPUR 泡沫塑料垫层后顶板的跨中位移只有不到 1.4 mm, 这足以说明 RPUR 泡沫塑料垫层发挥了其良好的受压变形性能。因此在进行防护结构设计时, 应当充分认识到吸能效果的重要性。纯刚性的设计既浪费材料, 也

不一定能抵御较高的爆炸荷载作用, 刚柔并重的设计理念是比较合理的。



(a)



(b)

a—未设置 RPUR 泡沫塑料垫层; b—设置 RPUR 泡沫塑料垫层

图 3 遮弹层爆坑处最大位移的节点位移时程曲线

5 结语

由于 RPUR 泡沫塑料施工方便, 发泡速度快, 且具有很强的粘附力, 可以通过在 RPUR 泡沫塑料中添加颜料和吸波材料, 并按四色迷彩的图案进行单层喷涂, 将 RPUR 泡沫塑料应用于军事伪装工程; 由于 RPUR 泡沫塑料是一种很好的绝热材料, 经增强后可以应用于军事防寒、隔热工程中, 在边防哨所的建设中得到广泛应用; RPUR 泡沫塑料密度小、价格低、成型容易, 因而可以应用于野战防御工事中, 以实现野战工事的快速、机动性; RPUR 泡沫塑料是一种多孔材料, 具有很好的吸收动能的特性, 可以应用于防护工程中的抗爆、隔爆工程。当然, RPUR 泡沫塑料还有其它很多优良特性有待于我们去研究、去发现, 因此有理由相信 RPUR 泡沫塑料在军事工程中将得到更加广泛的应用。

参考文献

- 1 朱海静, 杨伟, 李忠明, 等. 玻纤增强硬质聚氨酯泡沫塑料研究进展. 工程塑料应用, 2003, 31(7) : 62
- 2 贺伟, 张冬梅, 于焯平. 浅谈硬质聚氨酯泡沫塑料在军事伪装中的应用. 聚氨酯工业, 2003, 18(3) : 25
- 3 李红英, 张冠洲. 用于野战工事的新型多功能无机复合材料的性能研究. 纤维复合材料, 2003, 37(3) : 37
- 4 杨大峰, 刘国权, 梅树清, 等. 硬质聚氨酯泡沫塑料在野战移动工事中的应用. 化学推进剂与高分子材料, 2003, 1(3) : 33
- 5 任志刚, 楼梦麟, 田志敏. 聚氨酯泡沫复合夹层抗爆特性分析. 同济大学学报, 2003, 31(1) : 6

APPLICATION OF RIGID POLYURETHANE FOAM IN MILITARY ENGINEERING

Shi Shaoqing, Zhang Xiangji, Liu Yingfang, Yin Ping

(Department of Civil Engineering, LEU, PLA, Chongqing 400041, China)

ABSTRACT Based on the properties and characteristic of rigid polyurethane foam and combined with the requirements of military engineering, the application of rigid polyurethane foam in military engineering such as military camouflage engineering, military heat preservation and cold prevention engineering, field mobile works and anti-detonation and detonation isolation engineering in defense field are introduced. The application shows that rigid polyurethane foam has favorable properties and is very fit for application in military engineering.

KEYWORDS polyurethane foam, camouflage engineering, fieldwork, anti-detonation and energy absorption

可回收再用的汽车用塑料

最近,德国拜耳公司的研究人员研制出一种适合用作车身材材料的共混物。用它制造的汽车零部件在遭受撞击、恶劣气候及长期使用后仍可保持原有形状,并能回收再用。

该共混物由聚酰胺和 ABS 构成,内含的矿物填料能使其在高温下保持原有形状并能吸收水分,以免喷漆晾干过程中产生水泡。用这种共混物生产的汽车挡泥板仅重 1.5 kg,是钢挡泥板的二分之一,并且还能回收再利用。该材料既能满足消费者对汽车舒适性和安全性越来越高的要求,又不会增加整个汽车的车重。

(伟家)

汽车用 PP 纳米复合材料面市

美国密执安州的 Nobel 聚合物公司与塑料加工厂 Cascade 工程公司经过两年的共同合作开发,成功推出工业化纳米复合材料 Forte。

这种新的聚丙烯 (PP) 纳米复合材料可作为传统的高填充 PP 牌号的替代材料,并成功地用于 Acura 牌 2004 年新型号轿车的座椅靠背。Forte 的特点为密度低 (0.928 g/cm³),并拥有优良的力学性能和良好的制品外观。Forte 材料能明显地提高部件强度,降低材料用量和成本;其另一优点是填料添加量少,回收性好。

(广塑)

欢迎订阅《工程塑料应用》和《化学分析计量》

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

欢迎读者直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社办理《工程塑料应用》和《化学分析计量》的订阅手续,请注明订阅期刊名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》,国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国工程塑料工业协会会刊,荣获首届、第二届国家期刊奖等 19 项国家、省部委级优秀期刊奖,入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2004 年定价 7 元/期,全年 84 元。1986 年以来的期刊价目见表 1。欢迎读者来函 (附名片) 免费索取样刊。

表 1 《工程塑料应用》单册期刊、合订本价格表

年份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
1986 ~1989	16	0.825	13.2	23
1990 ~1992	12	1.4	16.8	27
1993、1994	10	2.4	24	34
1995	6	2.8	16.8	27
1996	6	4	24	34
1997	6	5	30	40
1998	12	3.5	42	52
1999	12	4	48	58
2000	12	5	60	70
2001	12	5.5	66	82(两本)
2002	12	6	72	88(两本)
2003	12	6.5	78	94(两本)
2004	12	7	84	100(两本)
合计	140		574.8	600(优惠)

邮局汇款:

收款单位:山东省济南市 108 信箱杂志社
邮编:250031 传真:(0531) 5816706-808 5947355
电话:(0531) 5816706-805, 802, 801 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

《化学分析计量》,国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版。本刊荣获多项部委级优秀期刊奖,被美国化学文摘 (CA) 收录。2004 年定价 7 元/期,全年 42 元。创刊号以来的期刊价目见表 2。欢迎读者来函 (附名片) 免费索取样刊。

表 2 《化学分析计量》单册期刊、合订本价格表

年份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
创刊号 ~1998	9	4	36	46
1999	4	3.5	14	68
2000	4	5	20	
2001	6	4	24	
2002	6	5	30	76
2003	6	6	36	
2004	6	7	42	
合计	41		202	170(优惠)