

山区高速公路泡沫轻质土应用

吉庆锋

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]近年来, 随着我国经济高速发展, 交通建设规模空前, 全国高速路网逐步完善, 近期高速公路建设多集中于欠发达的山区, 而山区高速公路建设, 需克服山高坡陡、地形蜿蜒、地质灾害频发的困难, 为节约公路造价, 保护生态, 少占耕地、林地, 山区高速公路多采用随山就势, 半挖半填路段较多, 遇山体陡峭路段, 施工难度大且公路安全稳定性差, 抵抗地质灾害能力差, 经笔者研究发现, 在山区高速公路建设中, 在半挖半填及滑坡地段, 采用泡沫轻质土, 可减少结构物减少山体破坏, 节约工程造价, 减轻公路自重增加抗灾能力, 值得推广, 下面以工程应用实例进行分析。

[关键词]高速公路; 泡沫轻质土; 应用

DOI: 10.33142/ec.v5i8.6557

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Application of Foam Light Soil in Mountainous Expressway

Ji Qingfeng

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: In recent years, with the rapid development of China's economy, the unprecedented scale of traffic construction, and the gradual improvement of the national highway network, the recent highway construction is mostly concentrated in underdeveloped mountainous areas. However, the highway construction in mountainous areas needs to overcome the difficulties of high mountains and steep slopes, winding terrain and frequent geological disasters. In order to save highway costs, protect the ecology, and occupy less arable land and forest land, the highway in mountainous areas is mostly built along the mountain, and there are many sections of half excavation and half filling. In case of steep mountain sections, the construction is difficult, the road safety and stability are poor, and the ability to resist geological disasters is poor. The author has found that in the construction of expressway in mountainous areas, the use of foam light soil in half excavation and half filling and landslide sections can reduce the number of structures, reduce the mountain damage, save the project cost, reduce the self weight of the road and increase the disaster capacity, which is worth popularizing. The following is an example of engineering application for analysis.

Keywords: expressway; foam light soil; application

引言

由笔者所在的北新路桥集团承建的广元至平武高速公路 TJ07 合同段位于广元市青川县境内, 经过乐安乡、三锅乡及乔楼乡三个乡镇地界。地貌部位处于龙门山、米仓山接合部, 地形一般较陡, 地震多发, 其中三锅乡至乔楼乡路段还涉及鱼类保护区。由于地形较陡, 并有部分路段涉及鱼类保护区, 高速公路用地范围受到严重制约, 这些特殊路段的路基填筑放坡受限, 故采用泡沫轻质土填筑来解决此类问题。

除此之外, 施工过程中发现, K45+649.93~K45+996 段右侧桩基托梁挡墙、K46+495~K46+646.7 段右侧桩基托梁挡墙之桩基成孔困难, 严重制约工程进展, 经上报项目公司组织参建各方现场查看后研究决定采用泡沫轻质土填筑右幅部分路基, 取消桩基托梁挡墙, 这不仅降低施工难度、缩短工期, 还节约建安费约 10% (按招标价估算)。同时, 笔者对此进行工法应用研究, 以期指导后续施工解决此类问题。

1 泡沫轻质土技术的引进和应用简介

泡沫轻质土技术于本世纪初自日本引进我国, 其主要

应用领域为替代填土的相关工程领域, 最早在天津、广东省等沿海地区使用。泡沫轻质土是一种新型轻质填料, 用水泥、水、发泡剂按照一定的比例混合制备, 通过现场泵送浇注, 成型硬化后的一种多孔轻质材料。主要的工程特性是自重轻, 强度和容重可根据需要在一定范围内调整, 施工方便、可用模具进行定型, 渗透及吸水性低、导热系数小成型后与水泥混凝土材料有相同的耐久性等, 无工后沉降, 应用范围广。

近年来, 泡沫轻质土在西部山区高速公路多有使用, 如四川的雅安至康定高速公路、广元绕城高速公路、广元至平武高速; 广西柳州至南宁高速公路以及云南省的沾益至会泽高速公路和功山至东川高速公路等等。主要解决以下五方面的问题:

(1) 互通区, 扩建、新建道路与被交道路路基拼宽, 采用泡沫轻质土可避免新旧路基的差异沉降。

(2) 陡坡路基 (高度小于 15m), 采用泡沫轻质土填筑, 既可降低填筑体对地基承载力要求, 同时也代替挡土墙、路肩防护工程收坡, 节约用地和工程造价。

(3) 用于部分伸入挖方的桥梁减跨，同时降低桥位区挖方边坡高度，减小桥梁及防护工程量，节约投资。

(4) 用于“三背回填”，可有效地避免工后沉降产生的桥头跳车和路面沉降开裂。

(5) 用于软弱地基地段的路基填筑，可有效降低恒载，减小或免除软弱地基处理及工后沉降。

2 泡沫轻质土的特点和适用范围

(1) 施工便捷：泡沫轻质土采用机械制备，通过管道输送至作业面，不受作业空间限制，有较好的流动性，能够自行流动至整个浇筑区域，无需找平及振捣，水泥凝固后进行养护即可逐渐达到设计强度，上下层间施工间隔较小，方便快捷。

(2) 自稳性好：泡沫轻质土初凝后即可自稳，对浇筑区域无过多限制，在设置相应模具后可以垂直浇筑，无需放坡，在外立面使用预制薄板作为装饰可收具模具功能，方便快捷，经济美观。

(3) 良好的耐久性：泡沫轻质土属于水泥类材料，凝固后具有一定的强度，与 EPS 轻质材料相比，具有更好的耐久性。

(4) 良好的环保特性：泡沫轻质土所用的外加剂为中性，不含苯、甲醛等有害物质；同时，在陡斜坡路段采用泡沫轻质土技术可避免高填方放坡过大，节约公路用地，减少环境破坏。

(5) 经济性：泡沫轻质土自重极轻，对地基承载力要求较低，无需过多的地基加固处理，与挡土墙、桩板墙和桥梁等结构物相比，综合造价低。

(6) 泡沫轻质土在山区高速公路的适用范围：需减载的软基、滑坡地段、横坡较陡的半填半挖路段、用地受限及征拆困难地段、工期急迫的软基处理、埋深较浅的管沟回填、台背回填、地基承载力不足地段的挡土墙替代。

3 工艺原理

泡沫轻质土是用发泡而成的泡沫，与水、水泥、外加剂、掺和料按设计配合比拌制均匀后在模具或一定区域内浇筑成型，经养护后具有一定强度且自重极轻的构筑物。

多孔性与轻质性是泡沫轻质土最主要的特性，多孔性是由泡沫形成的，轻质性则取决于多孔性。工程上，常用的泡沫轻质土气泡率多在 60%~70%，其孔隙比高达 3~5。

同时，泡沫轻质土的密度和强度可以根据设计要求进行调整，通过调节各种材料的用量，特别是发泡剂的用量，来达到设计要求的强度，指标如下表。

表 1 泡沫轻质土技术指标表

距结构层底高差	施工密度 (Kg/m ³)	28 天强度 (MPa)
0~0.8m	600 ≥ R _f w ≥ 560	≥ 0.8
>0.8m	560 ≥ R _f w ≥ 520	≥ 0.6

4 施工工艺流程

4.1 施工区域准备

泡沫轻质土浇筑前进行施工区域准备，清除杂物及

浮土，在临空面设置模具，有外观要求的可采用立角钢外挂 4cm 厚预制混凝土薄板作为永久模具。陡坡段及半挖半填段路基浇筑前应对坡面进行嵌锁处理，将坡面挖成高宽比小于 2:3 的台阶并进行碾压夯实，以使轻质土浇筑后能与原有坡面形成嵌锁的整体，必要时可设置锚杆与原有土体拉结，增加稳定性。

4.2 铺设碎石垫层及 HDPE 防渗土工膜

为确保轻质土浇筑质量，在土基顶面铺设一层 HDPE 土工膜进行防渗，并在台阶位置设 0.15m 碎石垫层。防渗土工膜铺设时，要尽量贴紧下承层，路床顶部应采用 U 型钉进行锚固，纵向锚固间距 5m，横向锚固间距 2m，拼接处采用热熔搭接焊。

4.3 预拌泡沫浆液

(1) 确定设计配合比、选定原材后，按设计强度要求通过试验确定施工配合比。

(2) 制备泡沫浆液，按施工配合比将 RT 型发泡剂通过发泡制备成泡沫浆液。

(3) 制备水泥浆，按施工配合比将水、水泥、外加剂、掺和料通过机械均匀搅拌制备成水泥浆，搅拌时长应大于 2min。

(4) 将泡沫浆液和水泥浆进行搅拌融合，进行不小于 6min 的搅拌，均匀后即可进行浇筑，浇筑必须在水泥初凝前完成。

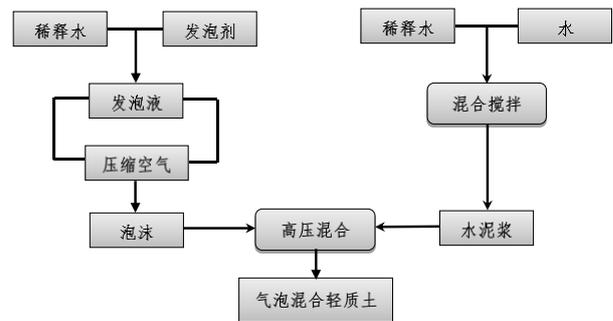


图 1 泡沫轻质土预拌方法

4.4 浇筑泡沫轻质土

泡沫轻质土的浇筑应分区分层进行，层厚按一米控制，浇筑前先进行浇筑区域准备，将原有土基面清理干净，在临空面设置挡板，挡板采用 4cm 厚混凝土预制板分层压茬错缝砌筑，通过埋设角钢立柱定位，紧跟轻质土浇筑逐层砌筑挡板，并以钢丝与后方进行拉接固定，浇筑完成后后进行勾缝，既限制了泡沫轻质土平流，又使外侧美观。

(5) 养护与维修

轻质土施工至设计标高后，可采用草帘、塑料薄膜、土工布等进行覆盖养生，洒水保持外露面湿润，养护达到 7d 后方可施工上部防渗膜及调平层。在轻质土顶面调平层未达到设计强度前，禁止重型车辆及大型机械通行。

(6) 沉降缝设置

轻质土浇筑的单个区域长度不超过 15m，每个区域间设置 2cm 宽上下贯通的沉降缝，并用密封胶或聚苯乙烯板进行填缝。

(7) 与其它工序的衔接

轻质土达到设计强度且不小 0.5MPa 后方可进行施工上部路面结构层，最好在轻质土顶部设置混凝土调平层，既能进行加强又能解决路基顶面坡度问题。



图 2 泡沫轻质土施工工艺流程图

5 材料与设备

5.1 发泡剂

RT 型泡沫轻质土发泡剂通过发泡机进行发泡。本次采用发泡剂性能指标见表 2

表 2 发泡剂性能指标

性能指标	规定值	单位	备注
沉陷距	≤3	cm	
稀释倍率	≥60		
泡沫密度	30~50	Kg/m ³	

5.2 水泥

水泥采用 P.O 42.5 级普通硅酸盐水泥。

5.3 所需设备

泡沫轻质土专业发泡机、泡沫轻质土搅拌机、泡沫轻质土泵送机，铝合金刮杠等。

表 3 主要施工机具设备

序号	名称	型号规格	单位	数量	用途
1	轻质土拌合设备	≥20kw	台	1	生产轻质土
2	输送泵	≥18kw	台	3	泵送轻质土
3	自动气泡发生器	≥40L/h	台	1	生产气泡
4	输送管	5.5cm	m	500	输送轻质土
5	空气压缩机	≥5.5kw	台	4	提供压缩空气生产气泡及加压泵送轻质土
6	发电机	120kw	台	1~2	提供电力

6 施工要点

(1) 浇筑区域为条状时，沿长边浇筑；浇筑区域为块状时，采用对角浇注或单边多管并排单向浇注。

(2) 按照发泡泡沫轻质土的设计厚度 (1.0m)、坡度 (1:1.5) 等现场放线。

(3) 在基层上浇水湿润，并铺设防渗层。

(4) 准配两只容量较大的塑料或铁桶作为发泡剂调配桶。

(5) 在搅拌机内加入水、水泥等，搅拌 2-3 分钟，随后由泵机送入发泡机。发泡后直接泵送至工作面。

(6) 采用分段流水作业浇筑泡沫轻质土，然后用 3 米刮杠刮平。

7 施工质量控制措施

(1) 泡沫轻质土密度和强度指标按表 1 执行。泡沫轻质土浇筑前，施工场地应平整，无积水、无松软土；基底要进行必要的压实处理，压实度不低于 80%，陡坡地段应对原坡面进行挖台阶，以使泡沫轻质土与原坡面钳锁紧密。

(2) 轻质土浇筑应分层、分块进行，单层厚度不超过一米，单个区域每层浇注应在水泥初凝前完成，终凝后方可进行下一层浇筑，上下层浇筑间隔时间尽可能不小于 24 小时，温度较低时应适当延长。

(3) 浇筑过程中应避开高温时段，如遇雨天，应对未硬化的填筑体表层进行覆盖；当室外日均气温连续 5d 低于 5℃，或环境温度超过 35℃时，不宜进行气泡混合轻质土浇筑施工。最后一层轻质土浇注完毕后，采用草帘、塑料薄膜、土工布等进行覆盖并进行洒水养生，时间不少于 7 天。

(4) 条形区域轻质土浇注应沿长边单向浇注，块状区域可采用对角浇注或单边多管并排单向浇注。浇注管应提出浇注面后再移动，且不得左右拖动。

(5) 表面找平时，浇注口应接近浇筑面并保持水平，不得使用喷射，轻质土未固化前不得在浇筑区域内来回走动。

(6) 轻质土质量检验：每个浇筑区域在浇筑点出料口取样制作 2 组试件检验 28d 强度和干容重。

8 效益分析

8.1 资源节约

在山区高速公路中采用泡沫轻质土施工地形陡斜路堤，可在保证安全性的前提下最大化节约高速公路占地，减少林地占用，避免破坏耕地；且可减轻路堤自重，减小对地基承载力的需求，增强路基整体稳定性，提高抗震性能；可以明显消除填挖结合部及结构物与路基之间的差异化沉降，避免纵向开裂。

现浇泡沫轻质土施工不需临时租用场地，不需要专门的施工便道，施工作业面小，占用场地小，可以在加宽路段或者桥头处等较狭窄部位施工。不需重新征地，不改变原有排水系统，节约了土地、水资源，同时减少地表被破

坏,有利于水土保持。

8.2 社会效益

泡沫轻质土对环境的影响小,现浇泡沫轻质土水泥浆可集中搅拌,采用管道输送到施工现场,不在现场搅拌水泥浆,避免对施工现场周边环境造成影响。采用泡沫轻质土后,路基工后无沉降,也无渗水现象,提高了耐久性。

泡沫轻质土用于桥梁台背回填具有整体性,无桩土间应力比分配的问题;轻质土成型后具有自立性且不用压实,对桥台无侧压力。可避免桥台背压实困难问题,避免桥梁与土方路基刚性突变引起的跳车。

8.3 经济效益

泡沫轻质土相较混凝土挡墙施工速度快,造价低,填筑路基重量轻,可有效处理好填挖衔接部位,减少路基纵向开裂,确保路基稳定性。泡沫轻质土施工对施工便道要求较低,其运输主要通过管道进行,施工周期短、进度快,可达到每天一层,第二天即可在初凝的下层上进行上层施工,综合成本低且速度快,特别适合工期紧张的既有道路改扩建及对工期要求紧的抢险工程。

泡沫轻质土施工作业面小,不需施工便道、几乎不需征地,减少了桥梁结构物与路基之间的差异沉降;在填充狭小隐蔽空间施工时自动密实,不需振捣和碾压;施工优化挡土墙及桥台结构,具有自立性且无侧压力、具有整体性、缩短工期,最终可减少征地拆迁,延长公路寿命,长期经济效益巨大。

9 应用实例

笔者参建的四川广平高速 TJ07 合同段所在的青川县地处川、甘、陕三省结合部,为摩天岭与龙门山交接处,有若干个地质断裂带,历来属于地震频发区,属“5.12地震”重灾区,地质环境比较脆弱,地层岩性由灰岩和变质岩构成,设计按 8 度设防。其地形陡斜,线路走向多傍山临河,通过大量采用泡沫轻质土施工地形陡斜路堤及进行桥梁台背填筑,较好地解决了特殊路段路基稳定性及经济、环保问题。其施工速度快,安全稳定性好且投入较低,有效减少通车后路基沉降导致的开裂等质量通病,节约造价,获得业主、总包、设计、监理的一致好评。

综上,泡沫轻质土施工便捷、速度快、综合效益好,且质量可控,在未来的山区高速公路建设中,有较大的经济效益和资源节约优势,可进行大量推广应用。

[参考文献]

[1]徐建华,徐志慧,刘林虎,等.山区高速公路泡沫轻质土路基施工工艺应用[J].云南水力发电,2021,37(4):102-107.

[2]卢志强.浅谈山区高速设计理念创新、新技术应用及施工关键要素控制[J].四川水泥,2019(6):74-96.

作者简介:吉庆锋(1981.9-)男,毕业院校:西安交通大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:新疆北新路桥集团股份有限公司职务:总工程师,职称级别:高级工程师。