气泡混合轻质土特性及其在道路工程中的应用

余春良

中国华西工程设计建设有限公司 四川 成都 610000

【摘　要】：气泡混合轻质土是将制备的气泡群按一定比例加入到由水泥、水及可选添加材料制成的浆料中，经混合搅拌、现浇成型的一种微孔类轻质材料[1]。气泡混合轻质土具有轻质性、强度可调、流动性好、耐久性好、自稳性好、施工便捷、环境友好、经济性好等特性。本文中笔者对气泡混合轻质土的基本特性进行了详细的介绍和分析，其能够广泛应用于道路工程建设。

【关键词】：气泡混合轻质土；特性；道路工程；工程应用

DOI:10.12417/2705-0998.25.15.007

1 气泡混合轻质土的基本特性

1.1 气泡混合轻质土主要有以下基本特性（优点）：

（1）轻质性：重度可依据工程需要在 3.0～15.0kN/m³ 范围内调整；一般道路上常用的是 5～6kN/m³ 。用作路基填筑使用时，其与常用填料相比可减轻填筑荷载 50%～70%。（2）抗压性能好：立方体的抗压强度可在 0.3～20.0MPa 之间，可依据工程需要调整。（3）耐久性好：属于轻质水泥类材料，耐久性与水泥砼类似。（4）自稳性好：作为水泥类材料，气泡混合轻质土在硬化后具有良好的自立性，可垂直填筑，施工作业面小，占地少。（5）良好的流动性：可在狭小的空间内施工。（6）良好的施工性：只需使用简单的机器可实现自动化作业，可实现 800 米的远距离输送，自流平，自硬化，无需推平、辗压或振捣。能够连续作业，不存在碾压，施工便捷高效，大幅度缩短施工工期。（7）环保性好：泡沫水泥轻质土所需原料为水泥和起泡剂，起泡剂为中性，不含苯、甲醛等有害物质。对环境无污染，且可利用工业废渣，具有优越的环保特性。（8）经济性好：综合单价低，一般 250-350 元/立方米。

1.2 气泡混合轻质土存在以下缺点：

（1）对于工期要求极其紧迫的项目不适用。施工时需分仓分层浇筑，单层浇注厚度宜为 0.3～1.0m，上下相邻两层浇注间隔时间宜不少于 8h。浇注至设计厚度后，应覆盖塑料膜或无纺土工布进行保湿养护，养护时间宜不少于 7d。（2）对施工温度有一定的要求。不宜在气温低于 5℃时浇筑。（3）易产生干燥收缩变形。气泡混合轻质土混合料中含有大量的水分，这些水分一部分参与化学反应，而另一部分游离态的水在外部环境的作用下会逐步蒸发，随着这些水分的蒸发和流失，气泡混合轻质土材料容易产生干燥收缩变形，进而造成气泡混合轻质土路基的开裂现象。

2 气泡混合轻质土在道路工程中的应用

我国于 2002 年引进并发展了气泡混合轻质土技术。随着施工设备及技术标准的不断完善，气泡混合轻质土的应用范围迅速扩大，并出版了相关的技术规范。目前已在包括北京奥运会主体育场“鸟巢”、北京地铁奥运支线、京珠高速公路、汕头中山东路改造、广佛、佛开高速公路拓宽、河北沿海高速公路、广州亚运工程清河东路扩建改造等大量的基础设施建设工程中成功应用。

其主要运用于以下领域：

2.1 道路拓宽改造

在加宽扩建工程中现浇气泡混合轻质土具有如下优势：（1）气泡混合轻质土可垂直填筑，较常规填土放坡方案可减少占地范围，避免或减少（构）建筑物的拆迁。（2）对位于软基路段填方较高的扩建路堤，利用其轻质性及直立填筑特性，能够减少软基处理范围；尤其在软基扩建路堤用地受限路段，较常规工法还可大幅降低支挡工程费用、节约工期；能够有效降低新老路基间的差异沉降。（3）无需振捣、机械碾压作业，施工便捷。

2.2 山区陡峭路段的填筑

在山区陡峭路段采用气泡混合轻质土进行路堤的填筑，可克服原有地形的一些不利条件，主要表现在以下几方面：（1）在陡斜坡的半填半挖路段，可避免高填存在的工后沉降大、占地范围大、施工不便、施工质量难以控制、后期出现病害修复困难、路堤沿斜坡滑动隐患等系列问题。（2）利用其轻质性及直立填筑特性，提高路基稳定性，较常规工法可减小路基支挡工程量。

2.3 桥头台背填筑

现浇气泡混合轻质土用于桥头台背填筑时，利用其轻质性、固化后的自立性，具有如下优势：（1）减少桥头用地范围。利用现浇气泡混合轻质土固化后的自立性，较常规工法而言，可避免桥头锥坡从而减少桥头用地范围。（2）桥头跳车处治。常规工法对于桥头跳车处治方式导致“路堤荷载增加→工后沉降增加→反复补填路面”的恶性循环，后期维修对交通影响较大，难以彻底处治。而采用气泡混合轻质土换填卸载，工后一次性补填路面即可彻底解决桥头跳车问题，避免反复维修。

2.4 桥梁减荷加固

主要用于新建拱桥回填或拱桥危桥改造工程。拱桥背部采用轻质混凝土进行填筑施工，轻质混凝土替换了传统的填料，减少了拱桥结构的自重；泵送灌注施工省去了振动碾压步骤，减少了拱桥结构的不利影响因素。

2.5 软基路段填筑

常规的软基路段，通过加固地基，提高地基的承载力；其施工周期长、施工质量难以保证，路基纵横向差异沉降较大。

若采用轻质土方案，则不需做地基处理（或仅需对地基进行局部处理），通过降低路堤荷载的方式，降低路基土的附加应力以控制工后沉降。施工质量易于控制、工期短，路基纵横向差异沉降小。

2.6 地下结构减荷

对于已建成的地铁隧道、地铁车站、城市道路隧道等地下结构物，在其顶部新建道路时，新建道路势必会对原有地下结构物产生附加载荷，若新增荷载超过地下既有结构的允许荷载，则需挖除结构物上方一定深度的土体进行减荷，换填气泡混合轻质土可达到等载换填的效果。这种方法可以避免设置桥梁跨越地下结构物，处理方法简单，而且对地下结构物和周边环境影响小，可有效控制工后沉降，施工速度快，造价低。

2.7 基坑及地下管道回填

在土建工程中，对一些狭小的地下空间，如城市道路下穿隧道基坑及地下管道工程的周边空隙，由于作业空间受限，回填土压实困难，结合部位常易连续的纵向裂缝。现浇气泡混合轻质土可由软管泵送，无需振动碾压和摊铺、无扬尘，能达到回填密实的要求。

2.8 工程应急抢修与抢险

对于斜坡岩土体的崩塌、高速公路路基滑坡及市政道路塌陷等病害，采用轻质混凝土修复，降低路基荷载，浇筑便捷、无需夯碾从而减少对路基的扰动，避免发生二次灾害，是工程抢险抢修的理想材料。

3 气泡混合轻质土常见质量问题及其防患措施

3.1 疏松、软弱夹层

气泡混合轻质土施工过程中某些浇筑层比其他浇筑层疏松，强度偏低，存在软弱夹层现象；对于同一浇筑层，某些部分强度极低，存在着有软弱透镜体现象。这些现象均反映了轻质土浇注施工过程中，施工湿密度控制不稳定导致不同浇注层施工质量不稳定的现象。针对此类情况，应该在施工过程中严格按照规范频率抽查混合浆液的湿密度，并选用准确、控制精确的浆液设备，保证浇筑过程中气泡混合轻质土浆液的质量稳定。

3.2 大量的剪切裂缝

在气泡混合轻质土浇筑过程中，若发现大量的剪切裂缝，则反映了同一浇筑层未能在初凝时间内完成浇筑，致使气泡混合轻质土内部形成大量的隐性剪切裂缝，影响轻质土浇注体的整体性和稳定性。为了避免此类现象，应根据现场机械、人员、施工作业面等情况确定分区块浇筑，保证分区分块方量在 90 分钟以内能够浇筑完毕，确保在初凝时间内完成浇筑。

3.3 沉陷开裂

气泡混合轻质土浇筑后出现沉陷开裂的现象，主要是浇筑过程中出现消泡问题，造成上层轻质土沉降开裂。此类问题对于轻质土路堤的稳定性危害巨大，极易在工后造成路基失稳开裂。为了避免这类情况，需要在浇筑工程中严格控制泡沫质量，并严格按照要求进行抽查，要采取正确的浇筑方法，即从软管的前端直接浇筑，且出料口要埋入气泡混合轻质土中。如遇到下雨情况，应马上停止浇筑，并覆盖好刚浇好的轻质土，避免雨水消泡。气泡混合轻质土浇筑完后需要在表面扫平，扫平时应尽量使浇筑口保持水平，并使浇筑口离当前浇筑轻质土表面尽可能低，避免过高气泡混合轻质土对表面形成冲击力，造成表面不平和空洞现象。

3.4 表面裂缝

气泡混合轻质土由于早期养护不当、保水措施不够时，会因其内部水分蒸发过快而导致体积收缩，从而引起表面开裂，开裂后的气泡混合轻质土易吸水。吸水后的气泡混合轻质土的强度及保温隔热性能明显降低。为了避免这类情况，需选用适当的水泥品种及用量，选择合适的发泡剂和配合比；严格按照设计要求，加强质量检验；优化养护，加强保水措施。

4 泡沫轻质路堤施工注意事项

（1）气泡混合轻质土路堤施工前，应将路基划分为面积不大于 400m2、长轴不超过 30m 的浇注区，每个浇注区单层浇注厚度宜为 0.3～1.0m。轻质土路堤每隔 10～15m 应设置 1 道变形缝。（2）泡沫宜采用压缩空气与发泡剂水溶液混合的方式生产，不得采用搅拌发泡法生产泡沫。（3）原材料配合比计量应采用电子计量，计量精度泡沫剂、水泥、水、外加剂和外掺料均为士 2%。（4）用于制备泡沫轻质的料浆在储料装置中的停滞时间宜不超过 1.5h。（5）气泡混合轻质土应在出料软管的前端直接浇注，出料口宜埋入气泡混合轻质土中。（6）单个浇注区浇注层的浇注时间不得超过水泥浆的初凝时间。上下相邻两层浇注间隔时间宜不少于 8h。（7）气泡混合轻质土不得在雨天施工。已施工尚未硬化的轻质土，在雨天应采取遮雨措施。（8）气泡混合轻质土浇注至设计厚度后，应覆盖塑料膜或无纺土工布进行保湿养护，养护时间宜不少于 7d。（9）不宜在气温低于 5℃时浇注，否则应采取保温措施。（10）气泡混合轻质土顶层铺筑过渡层之前，不得直接在填筑表面进行

机械或车辆作业。（11）旧路加宽老路堤与气泡混合轻质土交界的坡面，清理厚度宜不小于 0.3m，从老路堤坡脚向上按设计要求挖台阶。土体台阶必须密实、无松散物。气泡混合轻质土浇注应采用分层分块方式，不宜沿公路横向分块浇注。纵向填挖结合段，应合理设置台阶。（12）气泡混合轻质土分区施工时，分区模板应安装拼接紧密，不漏浆。宜在分区浇注施工缝处设置变形缝。变形缝宜采用 18mm 胶合板或 20～30mm 聚苯乙烯板，上下可不贯通。

5 气泡混合轻质土的应用实例

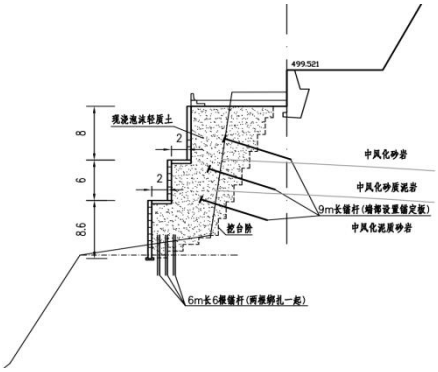
5.1 案例一（用于陡峭路段的填筑）

某公路线路位于某河道上方陡崖上，自路线标高至河道高差约 90m，至下方村道高差约 70m，线路下方 13～20m 处有一陡坎平台，陡坎平台下为 50m 高的悬崖，平台宽 6.8m 至 24m（由小里程至大里程逐渐变宽）。经现场实测后，该段路基悬空由 12.25m（所有路基悬空）至 3.04m（由小里程至大里程逐渐变窄）。该段陡崖主要为强至中风化泥岩及砂岩，节理裂隙较发育。

现场地形地貌照片

根据现场地形地貌及地质情况，经过桩板墙、轻质土等多方案综合比较，推荐采用锚杆+气泡混合轻质土路基方案：

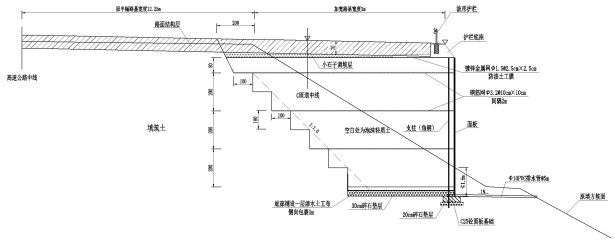
在轻质土与坡面衔接面设置Φ32 的锚固筋，锚固筋长 9.0m，打入坡面台阶中 5.0m，外露长度 4.0m，锚固筋应进行防腐蚀处理，并采用锚杆施工工艺进行施工。锚固筋端部设置锚定板。锚固筋按 3×3m 正方形设置。为了防止泡沫砼路基整体滑移，在坡脚处设置 3 排 6m 长锚杆，锚杆伸入泡沫砼 3m，伸入基岩 3m。两根Φ32 的锚杆绑扎一起,每排 6 根锚杆，锚杆沿路线方向间距为 1.5m 设置，采用锚杆施工工艺进行施工。



典型处治横断面图

5.2 案例二（用于老路拼宽段的填筑，特别适用于既有高速公路新增互通）

四川某新建高速公路与 G85 巴南广高速公路相交，在起点设置了枢纽互通。对于在主线上拼宽的匝道采用气泡混合轻质土进行填筑，以减少新旧路基沉降和占地。



典型处治横断面图

6 结语

气泡混合轻质土凭借其轻质高强、施工便捷、环保经济等优势，在道路工程中展现出广阔的应用前景。无论是道路拓宽改造、软基处理、桥台减载，还是路基填筑和管线回填，该材料均能有效降低工程风险、提高施工效率并减少长期维护成本。未来，随着材料配比优化和施工技术的进步，气泡混合轻质土将在交通基础设施领域发挥更重要的作用，推动绿色低碳道路建设的发展。

参考文献：

[1] CJJ/T 177-2012,气泡混合轻质土填筑工程技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

[2] JTG/T 3610-2019,公路路基施工技术规范[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.

[3] 郑健.泡沫混凝土的研究及常见问题分析与对策[J].山西建筑.2008(32).

[4] 肖燕.气泡混合轻质土在工程建设领域中的新应用[J].路基工程.2020(4).

[5] 周松川,丁东平.轻质气泡混凝土在高速公路通道桥扩建中的应用[J].广东公路交通.2021(2).

[6] 杨智春.泡沫轻质混凝土在路堤病害治理中的应用[J].江西建材.2021(6).

[7] 广州大学陈忠平.现浇气泡混合轻质土技术及应用.