

泡沫轻质土路基防排水常见问题及应对措施

泡沫轻质土作为一种现浇轻质土多孔轻质材料，已广泛应用于路基加宽、桥涵台背路基回填、陡坡路基、结构物减荷、软土路基减荷和空洞回填等场景，有效解决路基沉降和稳定性问题。得益于国内的巨大的市场，泡沫轻质土在公路工程中的年应用量超 1000 万立方米。

泡沫轻质土的湿容重仅约水的一半，填筑体在水中容易上浮，抵抗侧向水压力的能力弱。设计会根据工程地质与水文地质况设计防排水构造进行防水和排水，避免路基受到水的侵蚀，但此构造是针对基的长期防排水措施，并未考虑施工过程中的防排水状况。由于防排水构造工程量占比很小，在施工过程中容易被忽略。早期泡沫轻质土工程应用少，泡沫轻质土的水毁现象不常见。随着近些年泡沫轻质土工程量的迅猛增加，施工时未理解防排水措施的重要性，造成了一些水毁问题，也造成了长期的安全隐患。尤其是近些年泡沫轻质土高陡路基的大量应用，更需要重视水带来的安全隐患。

本文根据多年的设计和施工经验，抛砖引玉，对泡沫轻质土路基防排水构造进行交底解释，并对施工过程中需要注意的问题提出一些建议，供从参考和讨论，以期提高泡沫轻质土路基施工中和运营期间的安全性。

❖ 典型的防排水设计

泡沫轻质土路基典型的防排水的设计构造如图 1 所示。

防水部分可在泡沫轻质土填筑体基底、斜坡衔接面和路床顶面采用土工膜防水，根据实际情况选用。

排水部分从三个路径排水：

(1) 斜坡衔接面和基底排水。排水路径为：斜坡衔接面渗水→纵向碎石盲沟→横向排水管→基底碎石垫层→PVC 管→排出路基外。

(2) 轻质土顶面排水。排水路径为：路面入渗雨水→防水土工膜横向排水→碎石盲沟→PVC 管。

(3) 路面排水。排水路径为：雨水→路面横向排水→侧面 PVC 管→坡脚。

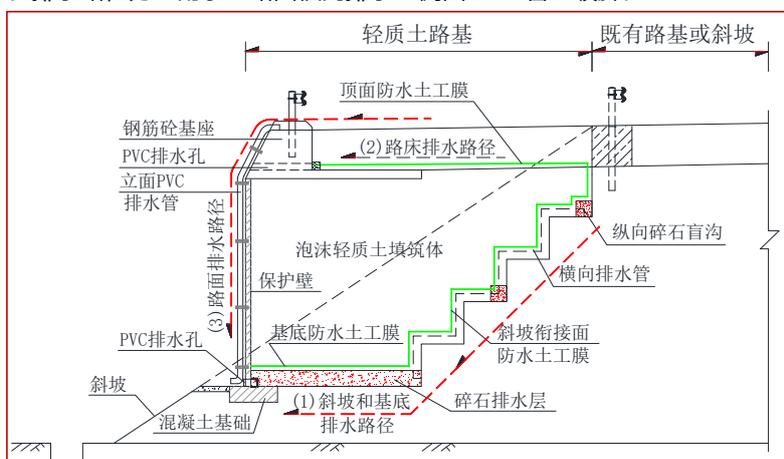


图 1 泡沫轻质土加宽路基防排水设计横断面

❖ 排水构造交底

❖❖ 斜坡和基底排水

❖❖❖ 纵向台阶碎石盲沟

纵向碎石盲沟设置于斜坡开挖后的衔接面，收集衔接面潜在或已经存在的渗水。盲沟尺寸一般为 30×30cm，双层透水土工布包裹，搭接长度 15cm，构造详图见图 2。盲沟密度在垂直方向 2m~3m 或间隔 2~3 个台阶设置一道。横向透水管不间断穿过碎石盲沟，施工时软管要注意保护，防止挤压变形。

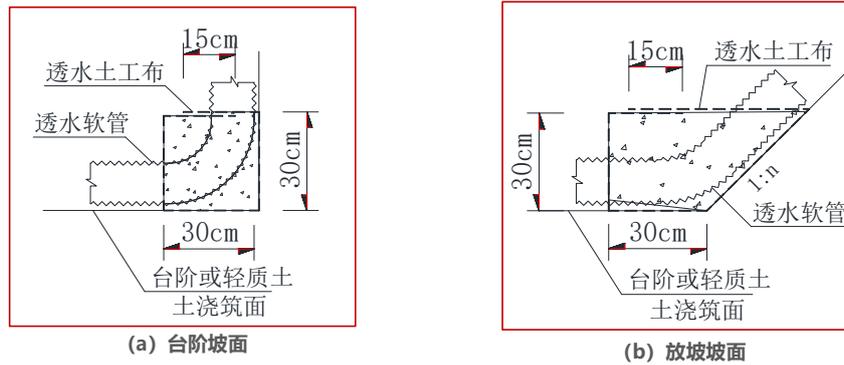


图 2 纵向碎石盲沟构造

对于设计踏勘或斜坡开挖时坡面就存在明显透水或涌水点情况时，尤其在雨季渗水补给丰富时，碎石盲沟和横向排水管的排水能力有限，难以短时间内排出大量涌水。此时需要在透水点范围内设置渗井，将涌水排出路基外。

◆◆◆ 横向排水管

横向透水管沿衔接面横向布置，用于疏导碎石盲沟汇集的渗水。可采用能随衔接面弯折的软式透水管，直径 10~15cm，@3~5m 设置一道。排水管的直径及间距降雨量及降雨强度、坡高情况选取。降雨量丰富地区或相邻地层透水性强时间距取小值，管径取大值。

由于泡沫轻质土浆料容易包裹住透水管减弱集水和排水作用。所以在排水软管外侧半包一层防水土工膜，阻止轻质土浆液渗入软管，推荐构造图如图 3 所示。土工膜采用 U 形钉固定。

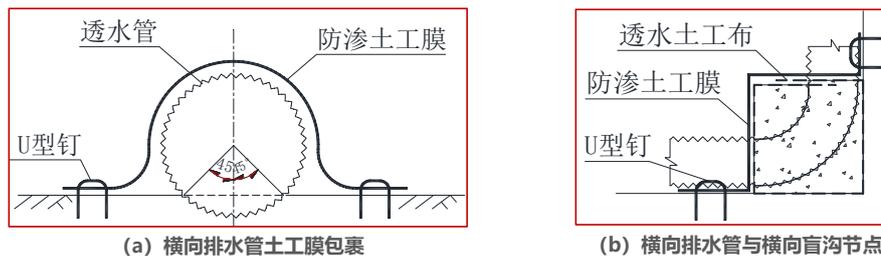


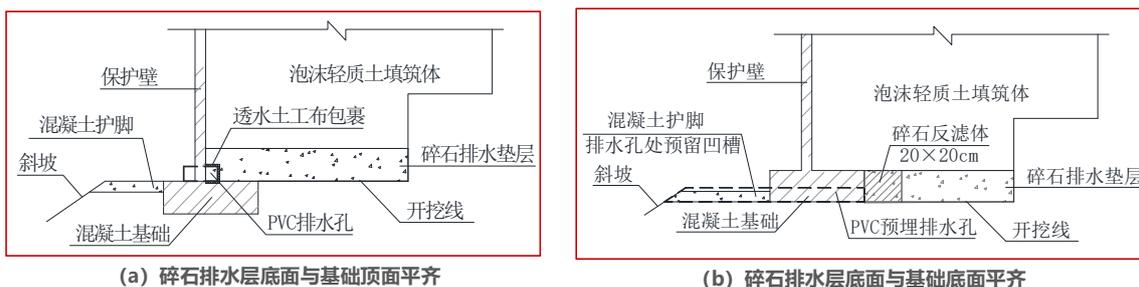
图 3 横向排水管防阻塞构造

◆◆◆ 碎石排水层

碎石排水层设置在泡沫轻质土路基底部，起收集斜坡衔接面渗水和基底渗水的作用，通过预埋的 PVC 管将渗水排出路基外侧，设计常用构造见图 4。材料一般采用碎石，铺设厚度为 30cm。PVC 管直径 10~15cm，纵向间距 @3~5m 设置一道，预估渗水量大时取小值。

碎石排水层主要作为排水层使用，位于地基与轻质土填筑体之间又起垫层的作用。对于具备压实条件的大面积碎石层，应进行压实处理；对于基底狭窄的碎石层，碎石层自身厚度薄可忽略压缩变形，不做压实度要求。为降低工程造价，碎石层可采用未筛分碎石。

基底碎石排水层的三种常见设计方式如图 4 所示，PVC 排水管根据面板基础的相对位置，埋设细节如下：



(a) 碎石排水层底面与基础顶面平齐

(b) 碎石排水层底面与基础底面平齐



图 4 基底碎石排水层构造

❖❖ 路床和路面排水

降雨渗透路面结构层后会在轻质土顶面聚集，对泡沫轻质土和路面结构层都会产生不利影响，应将这部分水疏隔离并排出路基外侧。

防撞护栏基座阻挡了路床积水外排，需在基座埋设 PVC 管作为排水通道。PVC 管径建议为 5cm~10cm，纵向 @3m~5m 一道，贴基座底部埋设，构造见图 5 所示。为加强集水效果，可在护栏基座角部增设一道碎石盲沟。为避免影响路面结构层的施工质量，碎石盲沟尺寸不宜过大，尺寸 10×10cm 即可，透水土工布包裹。

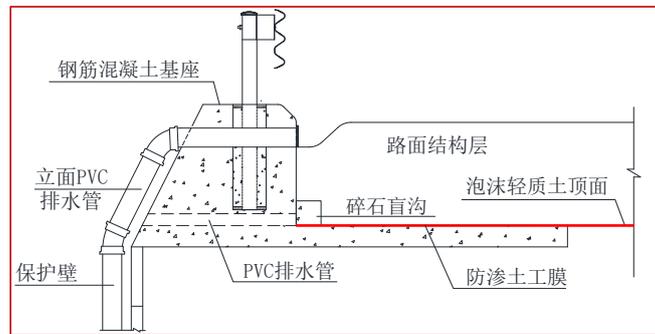


图 5 路床和路面排水

路面雨水可顺横坡直接散排至路基外侧，但散排雨水会直接冲刷外侧的保护壁，经长期雨水反复浸湿，保护壁会形成水痕影响美观；如保护壁为 4cm 厚混凝土预制块时，雨水会通过预制块和缝隙渗入内部，导致泡沫轻质土反复浸水。集中渗水时还会在保护壁内侧产生水压力，推挤面板造成破坏。因此，建议路面排水采用 PVC 管疏导至坡脚，PVC 管直径 10cm~15cm，纵向间距 5m 一道，构造示意图 8。

❖❖ 防水土工膜

土工膜主要铺设在填筑体基底、斜坡衔接面和顶面进行防水，厚度一般要求 $\geq 0.5\text{mm}$ ，热风焊接。防水土工膜一般采用单膜，如土工膜顶面再铺设碎石，可采用一布一膜，布一侧靠碎石安装。

土工膜根据其相连的地基、斜坡和路面结构层的条件决定：

- (1) 除路床顶部如浇筑钢筋混凝土板外，一般路床顶部建议铺设一层防水土工膜。
- (2) 当相邻的岩土体透水性很弱或不具备水力补给条件时，如既有填方路基、弱透水性强风化、全风化基岩的陡坡路基或不受地下水位影响的新建填方路基等，仅需要在路床顶面铺设一层防水土工膜。
- (3) 当相邻的岩土体为透水性的砂性土、碎石土，又具备水力补给条件时，应在泡沫轻质土填筑体基底、侧面铺设土工膜。
- (4) 当泡沫轻质土用于软土路基减荷、地下结构物减荷时，如设计容重没有按长期浸水饱和计算，长期浸水部分的泡沫轻质土应在底部、侧面铺设防水土工膜。

❖ 常见水毁问题及应对措施

❖ ❖ 轻质土上浮

泡沫轻质土泡水后如浮力大于自重则会上浮。上浮是泡沫轻质土浇筑过程中常见的问题，多见于用于地下水位以下减荷换填轻质土或基槽内的轻质土。轻质土上浮有初凝前的稀释上浮和硬化后的整体上浮两种类型（图6）。

❖ ❖ ❖ 水毁表现

稀释上浮是泡沫轻质土浆料还未形成足够强度，浆料受雨水集中灌入，浆料部分上浮并于雨水混合。硬化后强度低。整体上浮是轻质土已经形成强度，在浮力作用下整体上浮，并伴随台阶薄弱处的纵向开裂。



图6 浇筑体上浮

❖ ❖ ❖ 处理措施

对于硬化过程中稀释上浮的泡沫轻质土，由于水影响了泡孔结构，形成了较多的透水通道，局部过于松散，需要挖除重新浇筑。

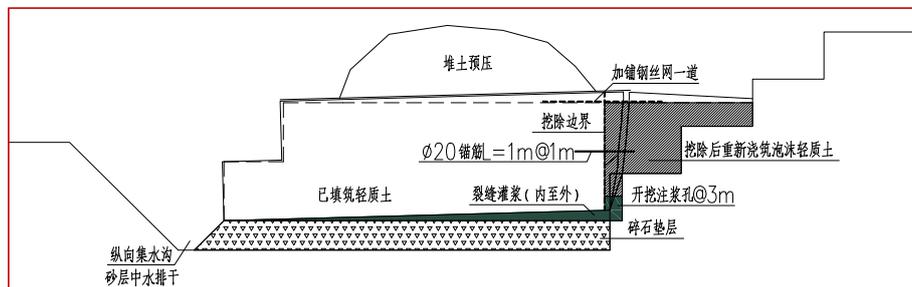


图7 浇筑体上浮处治方案

对于整体上浮开裂的泡沫轻质土，如整体上浮完整性较好，则可挖除碎裂部分的轻质土，底部脱空采用砂浆或高强度泡沫轻质土自流平注浆充填，一项目处理方案见图7。如较为破碎没有修复价值，则应挖除重新浇筑。

❖ ❖ 浇筑体整体推挤或保护壁倒塌

❖ ❖ ❖ 整体推挤水毁

浇筑体整体推挤侧移发生的概率很小，主要为周边雨水在某一位置集中灌入衔接面，短时间内水无法排出形成了饱和状态形成推挤，填筑体的侧向抗滑不足，导致整体或大块轻质土侧移。



(a) 挂面板整体



(b) 裂缝示意分析

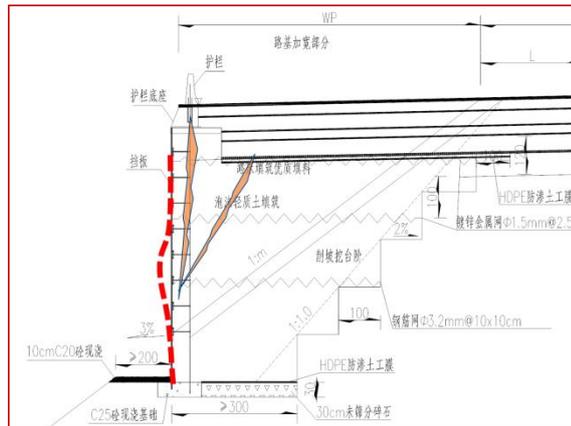
图 8 混凝土预制板倒塌

◆◆◆ 保护壁倒塌水毁

保护壁为 4cm 厚混凝土预制挂板或 20cm~30cm 厚钢筋混凝土薄壁墙两种方式。倒塌是近两年出现在改扩建泡沫轻质土加宽路基，多为泡沫轻质土已填筑至设计标高，但由于后续路面结构层迟迟未铺设。在精力雨季长期高强度降雨时，雨水反复下渗至护壁内侧，对保护壁形成了推挤，侧向拉力不足时倒塌。



(a) 挂板整体倒塌



(b) 裂缝示意分析

图 9 混凝土预制板倒塌

分析认为：理想状态，按泡沫轻质土的抗拉强度计算，结果是水压不会拉裂轻质土。但由于面板是通过拉筋拉结在角钢之上，轻质土收到的拉力从上至下不均匀，轻质土在薄弱处和温缩裂缝处渐进破坏。

钢筋混凝土薄壁墙通过预埋筋与轻质土拉结，薄壁墙的厚度仅为 20cm~30cm，而高度多超过 5m，形成了薄壁结构，自身抗侧力不足。加上泡沫轻质土的对拉结钢筋的握裹力有限，不足已形成牢固拉结。在轻质土浆料的侧向压力作用下，就容易形成侧向位移，加上雨水深入缝隙，容易造成倒塌（图 11）。

另外一种增加破坏的可能，水渗入轻质土两层浇筑之间的缝隙形成浮力，浮力作用导致角钢约束位置产生了抗折破坏。



(a) 薄壁墙倾斜



(b) 薄壁墙倒塌

图 10 薄壁钢筋混凝土墙

❖❖❖ 处理措施

如倒塌范围过大，则该段轻质土路基应全部挖除再重新填筑。

如面板附近小范围倒塌，可按挖台阶方法重新采用高强度泡沫轻质土填筑，同时进行构造加强，处治方式可参见图 11。

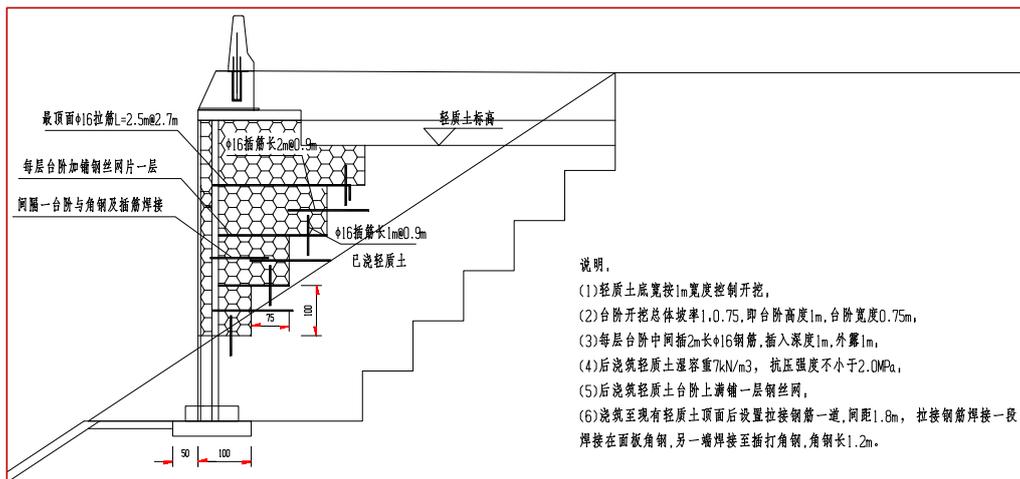


图 11 面板倒塌处治方案

❖ 重中之重：施工过程中的截排水措施

泡沫轻质土路基在路面结构层覆盖完成后，基本隔绝了地表水，长期运营安全性高。更多水毁问题出现在泡沫轻质土施工过程。在做好拦截和疏导周边地表水，预留渗沟渗井的前提下，绝大多数水毁问题可以避免。施工过程的截排水措施应当引起足够的重视，并落实好具体的措施。

❖❖ 保证基底排水通畅，基底为基槽时预留渗沟渗井

基底的碎石垫层汇集的水，一定要通过预埋 PVC 管排出路基外侧，需要保证排水垫层的标高和 PVC 管的堵塞。如果基底为基槽水无法直接排出，能挖沟引出的就预先挖沟引出；负差过大的基槽则在低点预设渗井，必要时进行抽排（图 12）。要保证渗井底部透水通畅，侧面要严密防止轻质土渗入井内。



图 12 预设渗井

❖❖ **保证衔接面纵向台阶盲沟通畅，横向排水管有效**

衔接面台阶上的纵向碎石盲沟和横向排水管在施工过程中注意防止轻质土堵塞排水管。有效的衔接面排水可以有效排出衔接面的积水，防止形成侧向水压力推挤轻质土填筑体。

❖❖ **拦截疏导周边来水**

周边来水主要为上游边沟排水、相邻山体地表水、加宽路基的相邻路面来水或横向排水管的水，这四类水在暴雨存在集中冲刷某一仓轻质土的可能，造成水毁。因此，在施工前或过程中，先用砂袋将来水进行集中，再采用合适直径的波纹管接排至路基外侧，轻质土路基施工完成后再进行管道的封堵。

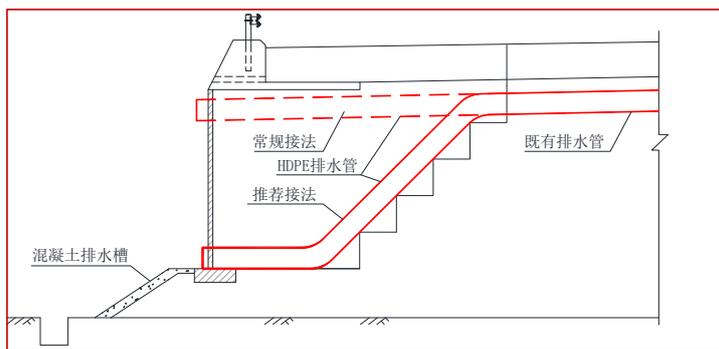


图 13 横向排水管接顺示意

❖❖ **保护壁上临时开孔**

保护壁上间隔约 3m×3m 间距开孔泄水，防止背后形成积水，待路面铺设完成后再进行封堵。

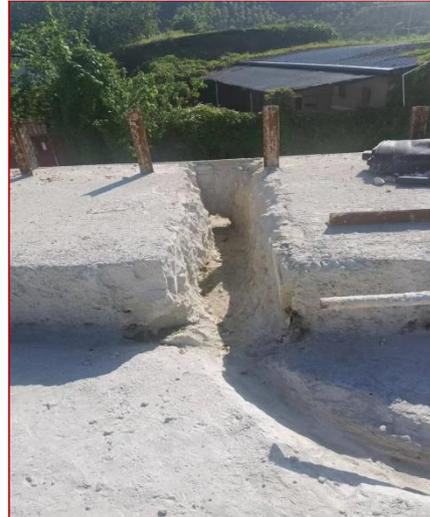
❖❖ **轻质土顶面交界处进行封闭，施工过程顶面低处预留排水通道**

轻质土施工过程中，如果判断有大雨，则应在每仓轻质土顶面的低点预留排水通道（敲掉一块预制板或者薄壁墙钻孔），防止仓内形成积水。轻质土施工到顶面后如不能及时铺设路面结构层，除预留排水通道外，还应该把轻质土与坡面的衔接位置采用砂浆封闭，防止周边来水在薄弱处冲入衔接面（图 14）。

轻质土每层浇筑时，顶面应刻意浇筑成外倾横坡，减少顶面积水。



(a) 衔接面处砂浆封闭



(b) 施工过程中预留排水通道

图 14 混凝土预制板倒塌

❖❖ 降雨时及时巡视，平时准备拦排水材料

在降雨期间，应不间断对轻质土工作面进行巡视，发现周边来水应马上拦截疏导，防止积水。平时在工作面配备砂袋和排水管备用。

❖ 小 结

(1) 泡沫轻质土的轻质特性对于控制路基沉降，增强稳定性效果显著。但由于其轻质性，也容易受到水的影响造成上浮或推挤破坏。

(2) 设计上根据工程地质和水文地质、周边地形和区域降雨情况，设计相应的防排水构造措施。

(3) 施工过程中应重视落实并检查防排水措施，保证防水有效排水畅通。

(4) 重要的是：提前拦排周边来水，封闭入渗通道，临时保证顶面排水通畅，避免泡沫轻质土受到水的影响。