

团 体 标 准

T/QAS XXX—2026

高寒矿区冻土层重构技术规程 第 1 部分： 隔热透水层

征求意见稿

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

青海省标准化协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本参数	2
5 物质组成	3
6 施工工艺	4
7 注意事项	5
8 验收标准	6
9 验收标准	7

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件为 T/QAS XXX《高寒矿区冻土层重构技术规程》的第1部分，T/QAS XXX 已经发布以下部分：

——第1部分：隔热透水层；

——第2部分：保水层；

——第3部分：阻水层。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京林业大学提出。

本文件由青海省标准化协会归口。

本文件起草单位：北京林业大学、青海大学、广东中煤地质生态环境有限公司、郑州景绣生态科技有限公司、中国煤炭地质总局广东煤炭地质局勘查院。

本文件主要起草人：贺康宁、史常青、邹星辰、李川、马小东、杨建英、杨海龙、李润杰、张永坤、王佟、董世远、董睿昊、王小展、朱琳、李成、饶晓、祁斌、杨忠亮、谢色新、李飞。

高寒矿区冻土层重构技术规程 第1部分： 隔热透水层

1 范围

本文件规定了高寒矿区冻土层隔热透水层的基本参数、物质组成、施工工艺/注意事项及验收标准。本文件适用于适用于海拔 3000 米以上、年均气温低于 5℃的高寒煤矿区。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 43934 煤矿土地复垦与生态修复技术规范
- GB/T 43935 矿山土地复垦与生态修复监测评价技术规范
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- GB 50324 冻土工程地质勘察规范
- GB/T 51332 生态修复工程技术标准
- SL 237-037 土工试验规程—冻土导热系数试验
- DB15/T 2493 羊粪有机肥料生产技术规范
- DB21/T 2753 植生毯与植生袋应用技术规程
- DB63/T 1332 青海中华羊茅栽培技术规范
- DB63/T 1974 高寒矿区植被恢复技术规程
- DB63/T 574 青海冷地早熟禾
- T/CHES 36 生态护坡 植生毯和植生袋应用技术流程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冻土层重构 frozen soil layer reconstruction

在高寒地区，针对因工程活动（如采矿）而退化或破坏的冻土层，通过人工干预进行修复、改良或重建，以恢复或提升其工程稳定性和生态功能的过程。

3.2

重构冻土层 reconstructed frozen soil layer

通过冻土层重构技术措施处理后形成的，具有特定结构、功能和性能指标的新冻土-土层体系。

3.3

隔热透水层 insulation and permeable layer

设置在地表与冻土层之间的一种功能性结构层。它具有良好的隔热性能，能够减少地表热量向下传递，同时保持一定的透水性，允许水分有效排出，从而控制冻土的温度和含水量，维持其稳定性。

3.4

透水率 permeability coefficient

透水率，也称渗透系数或水力传导度，是描述多孔介质（如土壤、岩石）允许流体（通常是水）通过的能力的物理量。它定量表示单位水力梯度下，单位面积的多孔介质在单位时间内允许流体通过的体积。通常用符号 K 表示，单位为长度/时间（如 m/s 或 cm/s ）。

3.5

导热率 thermal conductivity

是物质传导热量的能力的量度，通常用符号 λ 表示。它定义为在单位时间内，单位面积上通过材料的热量与该材料的温度梯度之比。导热率的单位通常是瓦特每米每开尔文 $W/(m \cdot K)$ 。

3.6

植生毯 vegetation blanket

植生毯是一种可移植的具备优异的隔热透水性能的预培植被层，根据材料不同，植生毯可分为椰丝植生毯和秸秆植生毯。椰丝植生毯由椰子纤维编织而成，常与麻绳、秸秆等天然纤维或合成材料结合使用；而秸秆植生毯则利用稻草、麦秆等农作物秸秆制成。

3.7

煤矸石透水层 coal gangue permeable layer

以粒径 $2mm \sim 10mm$ 的煤矸石颗粒为主体材料铺设而成，具有较高孔隙率和透水性能的结构层。

3.8

生长基质层 growth substrate layer

为植物生长提供支持和营养的特定材料层，由羊板粪和煤矸石按 7:3 的比例混合而成。煤矸石的粒径分布以 $1-5mm$ 为主。这种混合物能够提供适当的水分和透气性，适合大多数植物的生长。

3.9

环刀法 ring knife method

用已知容积的环刀取样，测定土体密度、含水率等物理指标的试验方法。

3.10

双环刀法 double-ring infiltrometer method

利用内、外双环结构，保持恒定水头，现场测定土体（层）垂直渗透系数的试验方法。

3.11

热流针法 heat flux needle method

利用插入介质的热流针传感器，通过测量温度梯度和热流密度，计算介质导热系数的现场测试方法。

4 基本参数

4.1 位置

覆盖在重构土体的表层，用于减少地表热量向下传递，同时还需保持一定的透水性，以允许水分有效排出或补充到下层土体中。

4.2 厚度

隔热透水层的总厚度为 $14cm$ ，结构自上而下依次为：
—— $1cm$ 植生毯层，提供足够厚度支持地被植物生长；

- 8cm 生长基质层，由羊板粪、煤矸石及膨胀珍珠岩混合而成（具体配比 见 5.2），为植物提供生长空间和养分，其掺入的膨胀珍珠岩可显著提升隔热性能；
- 5cm 煤矸石透水层，由粒径 2mm~10mm 的煤矸石铺设而成，确保底层排水通畅。

4.3 紧实度

各层设计紧实度（以压实度表示）应符合以下要求：

- a) 植生毯层：自然铺设，不要求特定压实度；
- b) 生长基质层：压实度宜控制在 75%~82%；
- c) 煤矸石透水层：压实度不应低于 85%。

4.4 孔隙状况

应根据功能需求优化孔隙度：

- a) 植生毯层保持 40%~50%的中等孔隙率，为植物生长提供理想环境；
- b) 生长基质层保持 50%~60%的孔隙率，促进根系生长并储存养分；
- c) 煤矸石透水层保持 30%~40%的孔隙率，确保快速排水和良好的透气性。

4.5 隔热性能

热传导系数应控制在 $\lambda \leq 0.45 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

4.6 透水性能

透水速率应控制在 $K \geq 100 \text{ mm}/\text{h}$ 。

5 物质组成

5.1 重构主体材料

隔热透水层的主要材料选用废弃煤矸石。煤矸石颗粒尺寸在 2mm~10mm 之间，形状多为圆润或棱角状，石块间空隙明显。

5.2 重构功能材料

5.2.1 植生毯

宜选用椰丝或秸秆材质的植生毯。

5.2.2 生长基质

5.2.2.1 采用体积比进行配制，推荐配比为——腐熟羊板粪：筛分煤矸石（0.1mm~5mm）：膨胀珍珠岩 = 6.5：3：0.5（即珍珠岩约占总体积的 5%或占生长基质层体积的 15%）。其中，膨胀珍珠岩的技术指标宜满足：

- a) 粒径 1mm~3mm；
- b) 导热系数 $\leq 0.045 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

5.2.2.2 混合时应采用机械或人工方式充分搅拌均匀。

6 施工工艺

6.1 施工准备

6.1.1 现场勘察

6.1.1.1 应按 GB/T 43935 对施工场地进行了全面调查评估。内容主要包括场地位置、面积及开采历史等基本情况，自然环境条件如地形地貌、气候和水文特征，以及现有防护设施的状况。

6.1.1.2 评估崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害风险，并对施工风险进行综合分析，确保施工场地稳定性。（详见附录 A）

6.1.2 材料准备

6.1.2.1 草种

应按 DB63/T 1974 优先选择适合高寒地区气候条件、耐寒性强、抗旱性好、生长迅速的本地草种，如早熟禾、中华羊茅等。

6.1.2.2 植生毯

应按 DB21/T 2753 选择轻质易铺设、缓慢降解、透水性能适宜，施工便利性高的植生毯种类，如秸秆植生毯、椰丝植生毯等。

6.1.2.3 生长基质

应依据确保透气性、维持水分平衡，养分供应充足和结构稳定的配比原则，按 DB15/T 249 选择羊板粪与膨胀珍珠岩（70%）、煤矸石（30%）进行配比。煤矸石粒径组成为 0.1mm~5mm。

6.1.3 设备准备

施工现场应配备小型挖掘机、粉碎机、筛分机等设备。

6.2 施工步骤

6.2.1 基础准备

6.2.1.1 应使用小型挖掘机对场地进行全面清理，清除表层土壤、植被和积雪等覆盖物，人工清理残留的杂物、碎石和树根，确保基础面清洁度满足施工要求。

6.2.1.2 清理过程中应注意保护周边环境，合理规划弃土区域。

6.2.2 煤矸石透水层施工

6.2.2.1 材料选择与准备

6.2.2.1.1 应选用粒径范围在 2mm~10mm 之间的煤矸石废弃物作为基层材料。

6.2.2.1.2 在材料进场前，需进行取样检测，以确保其物理性能符合设计要求。

6.2.2.1.3 对进场的煤矸石废弃物采用机械筛分设备进行颗粒分级，筛分后将符合粒径范围的煤矸石颗粒整齐堆放在待铺设区域，作为备用材料。

6.2.2.2 铺设过程

6.2.2.2.4 使用小型挖掘机对处理后的煤矸石材料进行均匀铺设，严格控制铺设厚度在 5cm，并保持层面平整。铺设过程中采用测量放样控制标高，确保铺设均匀性。

6.2.2.2.5 对于机械难以施工的边角部位和局部不平整区域，安排施工人员使用耙具和铁锹等工具进行人工找平调整，确保整个铺设面层平整度符合设计要求。

6.2.2.3 压实

6.2.2.3.1 采用小型挖掘机的履带对铺设完成的煤矸石层进行压实，由外向内、由边缘到中心进行 4 次~6 次重复碾压，每次碾压错开轮迹避免漏压。

6.2.2.3.2 目测基质表面平整度，检查凹陷或突起，并用直尺或水平仪测量；观察是否有水分积聚，积水表明压实度不足；用手按压感受硬度，适当压实应坚固但不过硬；洒水观察渗透速度，理想情况下水应迅速渗透；最后，轻踩基质表面，检查是否有明显下沉或变形，适当压实应能承受一定重量。压实过程中及时检测并调整不均匀处，确保整体压实质量。

6.2.3 生长基质层施工

6.2.3.1 基质配制

按 5.2 条规定比例备料并充分混合。

6.2.3.2 混合与铺设

使用搅拌机或人工搅拌将基质材料按比例充分混合，搅拌时间不少于 15min，确保均匀性。铺设时采用小型挖掘机将基质均匀摊铺，厚度控制在 8cm，边缘和坡度由人工细致调整，确保平整和排水通畅。铺设完成后检查整体效果，确保无凹凸不平现象。

6.2.3.3 压实与整理

6.2.3.3.1 薄层碾压：应采用轻型压实设备（如小型振动平板夯或手扶式压路机）进行压实。压实遍数应通过现场试验确定，以达到 4.3 规定的 75%~82% 压实度为目标，宜 2~4 遍。

6.2.3.3.2 压实作业前，应确保下层煤矸石透水层表面平整、无尖锐凸起。压实过程中，应控制压实设备的静线压力与振动强度，避免对下层结构造成过度扰动或破坏其孔隙连通性。可采用先静压 1~2 遍初步稳定，再轻振 1~2 遍达到目标压实度的方法。

6.2.3.3.3 压实后厚度应达到设计要求，并立即进行表面整理。

6.2.4 植生毯铺设

6.2.4.1 材料选择

6.2.4.1.1 应根据高寒地区的特殊气候条件，选用适合该环境的植生毯，如秸秆植生毯或椰丝植生毯。

6.2.4.1.2 材料应确保含水量适中，避免因运输或存储过程中过度干燥而影响使用效果。

6.2.4.1.3 植生毯应具备一定的强度和耐久性，能够在高寒地区的风雪和温差环境下保持稳定，为植被恢复提供可靠保障。

6.2.4.2 铺设技术

植生毯的铺设应从坡底向上进行，接缝处重叠 20cm~30cm。在铺设过程中，应使用手或工具轻轻压实植生毯。

7 注意事项

- 7.1 施工应合理选择时间窗口（通常为 6 至 8 月），避开冻土融化期和初冻期，以确保施工质量和安全。
- 7.2 确保秸秆、椰丝植生毯、煤矸石和羊板粪等材料清洁无污染，并在干燥天气下按照设计要求进行分层铺设。
- 7.3 优先选用本地植物种类，增强适应性并促进区域生物多样性。为保障高海拔施工安全，施工人员需进行高原适应性训练并配备氧气设备。施工期间应执行质量管理，每道工序完成后及时检查，符合设计要求。
- 7.4 施工完成后应进行定期养护监测。对于枯死植被，应在下一个适宜生长季节（通常为次年 6 至 8 月）及时进行补植。补植时应选用与原设计相同或生态习性相近的乡土植物种，并确保补植区域的基质、水分等条件满足植物生长需求，以维持整体植被覆盖率和生态功能的稳定性。

8 验收标准

8.1 厚度验收

厚度验收时，应采用随机抽样方法，每 100m²取 5 个检测点，使用专用测厚仪进行测量；其中煤矸石透水层和允许偏差均为±10mm，生长基质层的允许偏差为±15mm，测量结果应记录在验收表中，若有超出允许偏差的点，需进行局部调整直至符合要求。

8.2 紧实度验收

紧实度验收应采用环刀法进行现场检测，其中煤矸石透水层的紧实度要求不低于 85%，以确保足够的承载能力和透水性；每 100m²应至少抽检 1 个点，检测结果需记录在专用表格中，如有不合格点位，应进行局部处理并重新检测直至达标。

8.3 平整度检查

隔热透水层的平整度检查应使用 2m 长的标准直尺进行，检查方法是将直尺放置在待检表面上，沿不同方向测量直尺底部与表面之间的最大间隙，要求这一高差不得超过 10mm；检查频率为每 100m²随机选取不少于 5 个点，检查结果应详细记录，如发现不合格处，需进行局部找平处理后重新检测，以确保整体表面的平整性和后续施工质量。

8.4 功能性检测

8.4.1 透水性能

隔热透水层透水性能检测采用双环刀渗透试验法，每 1000m²随机选取 1 个具代表性的测点，使用内径 25cm、外径 50cm 的双环渗透仪，将其垂直插入待测层，同时向内外环注水并保持 10cm 恒定水头，观察 30min 内的渗水量变化并记录数据，计算稳定渗透速率。合格标准要求稳定渗透速率应≥100mm/h，且观察期间无明显积水，水能迅速渗入下层。对于不达标区域需进行局部调整或重新铺设，整改后复检直至满足要求，以确保整体透水性能符合设计标准。

8.4.2 隔热性能

隔热性能采用热传导测试进行，在工程现场选取具有代表性的测点，使用热通量传感器和温度传感器进行测量。测试时将热通量和温度传感器分别安装在隔热层上下表面，记录热流密度和温差数据。根

据测得的数据计算导热系数，要求不大于设计值 $0.45 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，如发现异常应及时分析原因并采取改进措施。

8.4.3 植被覆盖率

植被覆盖率的验收应分阶段进行：

- a) 初期验收：在植生毯铺设完成、种子萌发并经过一个完整生长季（通常为种植后 90 天左右）进行。要求植被覆盖率不低于 50%。
 - b) 最终验收：在工程完工后第二个生长季末期进行。要求植被覆盖率不低于 85%。
- 测定方法采用网格取样法。未达标区域应按后期维护要求进行补植。

9 验收标准

9.1 总则

为确保隔热透水层工程长期稳定发挥其隔热、透水及生态功能，工程验收移交后应建立系统的后期维护制度。

9.2 维护周期与内容

工程完工后应进行至少 3 个完整冻融周期的跟踪维护（通常为 3 年）。维护内容包括定期监测、植被养护、设施检修和适应性管理。

9.3 监测要求

9.3.1 工程稳定性监测

每年在冻土活动层最大融化深度期（通常为 9-10 月）和冻结初期（通常为 11 月），对工程结构的厚度、平整度、有无裂缝或沉降进行巡查和抽样检测。

9.3.2 功能性监测

每 2 年或在发现工程性能疑似退化时，按 8.4 节方法对典型区域的透水性能与隔热性能进行复测。

9.3.3 生态效果监测

每年植物生长季末期，监测植被覆盖率、优势种组成及长势，评估生态恢复效果。

10 养护措施

10.1 植被养护

根据监测结果，对植被覆盖率不达标、长势衰退或出现“枯基植被”的区域，参照 7 注意事项中的要求及时进行补植、施肥或灌溉。

10.2 结构维护

对因冻融、冲刷等原因造成的局部表皮破损、厚度不足或排水不畅，应及时采用相同材料与工艺进行修复。

10.3 排水系统维护

确保工程区域周边及内部排水沟渠畅通，防止积水对隔热透水层及下伏冻土造成热侵蚀。

11 档案管理

应建立完整的工程维护档案，详细记录每次监测、养护、修复的时间、内容、方法、结果及负责人。
