

ICS 93.060
CCS P28
备案号: 95520-2023

DB63

青海省地方标准

DB 63/T 2082—2022

高寒地区公路隧道保温层设置技术规范

2022 - 12 - 30 发布

2023 - 03 - 01 实施

青海省市场监督管理局 发布

目 次

前 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 总体要求 4

5 资料调查 4

6 材料要求 5

7 保温层设计 5

8 保温层施工 7

9 质量验收 9

附录 A（规范性） 隧道保温层厚度计算方法..... 11

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。

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。

本文件由青海省交通运输标准化专业技术委员会提出。

本文件由青海省交通运输厅归口。

本文件起草单位：青海省湟源公路工程建设有限公司、青海省兴利公路桥梁工程有限公司、青海省交通工程咨询有限公司、青海省海西公路桥梁工程有限公司。

本文件主要起草人：谢忠安、尉海荣、朱顺元、韩龙、秦生君、王治中、李得英、杨军胜、陈永忠、尚国萍、党军、高登峰、李世军、崔健、张兆华、时桂清、曹德军。

本文件由青海省交通运输厅监督实施。

高寒地区公路隧道保温层设置技术规范

1 范围

本文件规定了高寒地区公路隧道保温层设置的术语和定义、总体要求、资料调查、材料要求、保温层设计、保温层施工及质量验收的内容。

本文件适用于高寒地区新建与改（扩）建公路工程隧道保温层的设计和施工。

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 8624 建筑材料及制品燃烧性能分级
- GB 28376 隧道防火保护板
- GB 50210 建筑装饰装修工程质量验收标准
- GB 50324 冻土工程地质勘察规范
- JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- DB63/T 1674 多年冻土区公路隧道技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

季节冻土区

地表层寒季冻结、暖季全部融化的土（岩）称为季节冻土，其所在地区称为季节冻土区。

3.2

多年冻土区

冻结状态持续两年或两年以上的土（岩）称为多年冻土，其所在地区称为多年冻土区。

3.3

最大冻土深度

地表土层或疏松岩石冻结的最大深度。

3.4

冻融作用

因冻结、融化过程对材料所产生的综合影响。

3.5

最冷月平均气温

一年中最冷月日平均气温的算术平均值。

3.6

隧道保温层

安装在隧道二次衬砌表面或初期支护与二次衬砌之间的非承重保温结构。

4 总体要求

- 4.1 结合隧址区气象、水文地质、施工条件和工程经济性等因素，综合确定保温层设计方案。
- 4.2 保温层在服役期内应适应衬砌的正常变形，并承受长期自重作用而不产生不利变形，同时应能经受外界气候的长期冻融作用而不产生破坏。
- 4.3 保温层应能承受隧道大温差和风荷载的作用而不产生破坏，且保温层不准许侵限。
- 4.4 保温层应满足防冻、防潮、防火、牢固、可靠等要求。
- 4.5 保温层与衬砌安装牢固，不产生面层剥落、裂缝等破坏。
- 4.6 根据保温层设计文件，结合现场实际和施工条件，编制保温层施工方案。

5 资料调查

- 5.1 气象资料调查包括但不限于以下内容：
 - a) 收集隧址区气温、降水、风向及风速、年平均降水（雪）量等气象资料；
 - b) 应采用隧址区海拔高度相当或条件相似的邻近气象站（点）的实际观测值；
 - c) 经论证有必要新建气象站（点）进行观测时，观测周期应不少于1年，且应与本地区既有气象资料进行校核；
 - d) 特长隧道宜在洞口处设置气象观测站（点）。
- 5.2 地质调查包括但不限于以下内容：
 - a) 地层、岩性及地质构造的性质、类型和规模；
 - b) 地下水类型及地下水位、含水层的分布范围；
 - c) 地下水位随季节变化情况以及可能造成隧道发生冻害的各种水源发育情况。
- 5.3 冻土工程调查与测绘包括但不限于以下内容，并应满足 GB 50324 的要求：
 - a) 围岩的岩土类型、冻胀特性、热物理参数以及其他基本物理特性参数；
 - b) 冻土现象的类型、分布、发生发展规律及对工程建设和运营的影响；
 - c) 对多年冻土区隧道，还应调查多年冻土的空间分布特征、年平均地温、地温年变化深度、冻土上限、冻土层厚度和工程类别。
- 5.4 既有工程冻害资料调查包括但不限于以下内容：
 - a) 既有隧道衬砌开裂、挂冰、排水设施结冰等冻害情况；
 - b) 既有工程的冻害防治措施以及防治效果评价等。

6 材料要求

6.1 宜选择导热系数小的保温材料，其性能指标应满足表 1 要求。

表1 保温材料主要性能指标

项目		性能指标
导热系数，W/（m·K）		<0.04
吸水率，%		<2
抗压强度，kPa		>100
燃烧等级 ^a	表层铺设	不低于 B1 级
	夹层铺设	不低于 B2 级
注： ^a 燃烧等级根据 GB 8624 确定。		

6.2 保温板外设置防火板时，应选择耐火极限大、耐腐蚀性好的材料，其性能指标应满足 GB 28376 及表 2 要求。

表2 防火板主要性能指标

项目		性能指标
燃烧等级		A 级
抗冻性		经过 25 次冻融作用后无起层、开裂现象
抗折强度，MPa	纵向	>8.7
	横向	>10
温度稳定性		-40℃不脆化、不收缩

6.3 保温层所用固定材料的材质、规格和防腐处理应符合设计要求和 GB 50210 规定。

7 保温层设计

7.1 一般规定

- 7.1.1 保温层设计应遵循“防冻、防火、防水、防腐、耐久”原则。
- 7.1.2 设计时应将保温层、防火层和固定材料作为系统构造进行综合设计，确定保温层设置长度及厚度。
- 7.1.3 隧道保温层多年冻土区宜采用表层和夹层相结合的方式设置；季节冻土区宜采用表层设置方式。

7.1.4 采用表层设置时，从衬砌表面起应依次为保温板和防火层；采用夹层设置时，从喷射混凝土表面起应依次为防水板、保温板、防水板、二衬。

7.2 设置条件

7.2.1 多年冻土区隧道应设置保温层。

7.2.2 季节冻土区隧道当隧址区年平均气温低于 0℃时，应设置保温层；年平均气温不低于 0℃时，应确定冻结深度后，并按表 3 规定设置保温层。

表3 不同冻结深度下隧道保温层设置

冻结深度 Z , m	地下水情况	保温措施
$Z \leq \text{二衬厚度}$	—	不设置
$\text{二衬厚度} < Z \leq 1.8$	干燥或少量水，且无补给	可设置
	含水，且有补给	设置
$Z > 1.8$	—	设置

7.2.3 无实测冻结深度资料时，可根据公式（1）利用最冷月平均气温推算冻结深度，并按表 3 规定设置保温层：

$$Z = -0.11T_m + 0.16 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Z ——冻结深度，m；

T_m ——最冷月平均气温，℃。

7.2.4 无最冷月平均气温资料时，应根据隧址区海拔高度按表 4 规定设置保温层。

表4 不同海拔高度隧道保温层设置

海拔高度 H , m	保温措施
$H \leq 2500$	不设置
$2500 < H \leq 3000$	可设置
$H > 3000$	设置

7.3 长度设计

7.3.1 根据隧道内温度场实测数据，确定保温层长度。

7.3.2 若无实测资料，可按公式（2）计算确定保温层长度，并根据风向和风速按表 5 进行修正。

$$l = 154.7 \times (-T_m)^{0.604} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

l ——保温层长度，m；

T_m ——最冷月平均气温，℃。

表5 不同风速下保温层长度修正建议值

洞口最冷月平均温度，℃	洞口段最冷月平均风速，m/s					
	<-2	-2~0	0	0~2	2~5	>5
	长度（m）					
$0 < T_m \leq -5$	150~350	0~350	0~400	400~600	600~1000	>1000
$-5 < T_m \leq -10$	250~350	300~550	400~650	500~1050	800~1650	>1650
$T_m < -10$	>300	>500	>650	>850	>1250	>1650
注：风向由洞外吹向洞内时，平均风速取正值；反之取负值。						

7.4 厚度设计

- 7.4.1 根据实测隧道内气温、围岩及衬砌热物理参数，保温层厚度按附录 A 确定。
- 7.4.2 若无实测参数时，保温层厚度可按工程类比法确定。

8 保温层施工

8.1 施工准备

8.1.1 施工条件

- 施工条件应满足以下要求：
- a) 熟悉施工设计图纸，进行技术交底；
 - b) 洞内导线控制点应布设完毕；
 - c) 保温层表层施工时，二衬质量满足 JTG F80/1 要求；
 - d) 施工现场应采取防火安全措施。

8.1.2 施工设备

- 施工设备应满足以下要求：
- a) 保温层安装台车安装检测完毕，刚度及尺寸满足施工要求；
 - b) 各种机械设备（如切割机、保温材料焊接机、电锯等）调试完毕。

8.1.3 施工材料

- 施工材料应满足以下要求：
- a) 进场材料具有出厂证明和合格证，并按规定进行复检，不合格时不准许使用；
 - b) 保温层施工前，进行材料、工艺及效果试验。

8.2 表面保温层施工

8.2.1 施工工艺

表面保温层的施工工艺流程见图1。

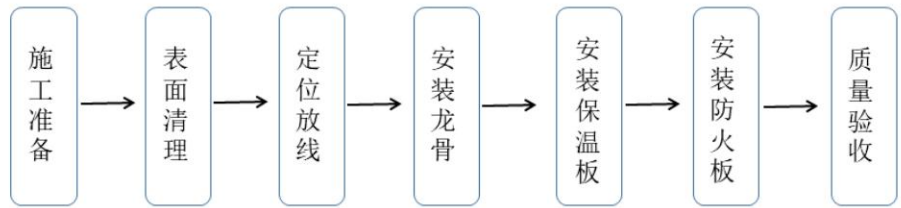


图1 表面保温层施工工艺流程表面清理

8.2.2 表面清理

表面清理应满足以下要求：

- a) 清除衬砌表面的尖锐突出物，对凹凸不平整的部位进行打磨及找平，平整度满足 JTG/T 3660 要求；
- b) 清除衬砌表面污物，且无浮尘、滴浆、油污等现象；
- c) 对于潮湿和透水的衬砌表面应进行防潮和防水处理，确保干燥。

8.2.3 定位放线

定位放线应满足以下要求：

- a) 结合隧道断面特点、保温板的规格尺寸和保温层厚度，在墙面定位水平和垂直控制线，以确定保温板缝、分格变形缝等位置；
- b) 按保温层龙骨大小，在二衬表面进行定位、放线。

8.2.4 安装龙骨

安装龙骨应满足以下要求：

- a) 根据安装台车的长度，每次施工长度为 4 m ～ 5 m；
- b) 采用膨胀螺栓将龙骨自下而上固定于二衬，环向间距应不大于 50 cm，且与二衬连接牢固；
- c) 龙骨搭接长度应大于 100 mm，安装偏差应不超过 5 mm；
- d) 龙骨安装后应进行专项检查。

8.2.5 安装保温板

安装保温板应满足以下要求：

- a) 检查保温板的外形尺寸，符合设计要求；
- b) 安装保温板时，根据所划定的区域自顶部或底部开始，压平保温板，保证保温层之间紧密连接；
- c) 合理设置保温层伸缩分格缝，宽度约 20 mm，相邻两环保温层之间按错缝搭接；
- d) 采用发泡胶封堵保温板间的板缝，并打磨平整。

8.2.6 安装防火板

安装防火板满足以下要求：

- a) 采用自攻钉等将防火板固定于龙骨框架，间距宜小于 300 mm；
- b) 防火板安装时应从板中间向四边固定，防火板之间相接时留 3 mm ～ 4 mm 伸缩缝；
- c) 整个施工面沿隧道纵深应每隔 25 m ～ 30 m 预留伸缩缝，宽度为 30 mm；
- d) 防火板板缝应采用专用腻子及网带密封，且密封完全，嵌缝宽度一致，并打磨平整；
- e) 防火板表面应进行饰面处理。

8.3 夹层保温层施工

8.3.1 施工工艺

夹层保温层的施工工艺流程见图2。

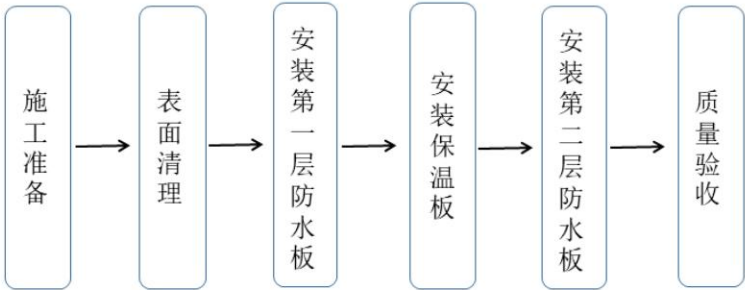


图2 夹层保温层施工工艺流程

8.3.2 表面处理

表面处理按8.2.2执行。

8.3.3 安装第一层防水板

安装第一层防水板应满足以下要求：

- a) 初期支护和防水板表面均匀涂抹树脂胶，风干 3 min~5 min 后，将防水板平整牢固粘贴于初支表面；
- b) 粘贴时从拱顶向两侧进行，最后粘贴墙脚和仰拱部位；
- c) 相邻防水板搭接宽度大于 100 mm，采用“高端压低端”的方式进行焊接，焊缝表面平整。

8.3.4 安装保温板

安装保温板应满足以下要求：

- a) 检查保温板的外形尺寸符合要求；
- b) 保温板和防水板表面上均匀涂抹树脂胶，风干 3 min~5 min，将保温板平整牢固粘贴于防水板；
- c) 保温层侧面涂厚度为 1 mm~2 mm 的树脂胶，确保保温层接缝紧密连接；
- d) 保温板安装平顺。

8.3.5 安装第二层防水板

第二层防水板应安装在保温板外侧，按 8.3.3 安装。

9 质量验收

9.1 基本要求

保温层施工质量满足以下基本要求：

- a) 基层应干燥、坚实、平整；
- b) 表面应平顺，无明显凸起、空鼓，无明显裂缝；
- c) 保温层与衬砌应安装牢固，无松动现象。

9.2 实测项目

9.2.1 保温层实测项目应符合表 6 规定。

表6 保温层实测项目

序号	检验项目		允许偏差	控制措施
1	龙骨	搭接宽度, mm	≥ 100	尺量; 全部搭接均应检查, 每一搭接检查3处
		安装偏差, mm	≤ 5	尺量; 每樘检查1处
2	保温板	厚度, mm	0~6	插针法; 每10m ² 检查1处
		长度, m	不小于设计值	尺量; 每50m检查1处

9.2.2 防火板实测项目按 JTG F80/1 执行。

9.3 外观质量

保温层外观质量满足以下要求:

- a) 表面应平顺、洁净、色泽一致, 应无缺损;
- b) 接缝应闭合, 接缝宽度应符合设计要求。

附 录 A
(规范性)
隧道保温层厚度计算方法

A.1 多年冻土区

A.1.1 夹层设置时，保温层厚度按公式 (A.1) 计算：

$$\begin{aligned} & \frac{1}{(r_1 + h_1 + h_2 + h_3)\alpha} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_1 + h_1 + h_2 + h_3 + d_u}{r_1 + h_1 + h_2 + h_3} \\ &= \frac{1}{r_1\alpha} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_1 + h_3}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_1 + h_2 + h_3}{r_1 + h_3} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_1 + h_1 + h_2 + h_3}{r_1 + h_2 + h_3} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

λ_1 ——混凝土导热系数，W/(m·K)；

λ_2 ——保温层导热系数，W/(m·K)；

λ_3 ——围岩导热系数，W/(m·K)；

h_1 ——初衬厚度，m；

h_2 ——保温层厚度，m；

h_3 ——二衬厚度，m；

α ——空气与二衬内侧的对流换热系数，W/(m²·K)；

r_1 ——隧道当量半径，m；

d_u ——多年冻土最大融化深度，m。可按公式 (A.2) 求得：

$$d_u = \sqrt{\frac{2\lambda_u \left\{ T_0 \left[\frac{365}{2} - \frac{365}{\pi} \arcsin\left(-\frac{T_0}{A}\right) \right] + \frac{365}{\pi} \sqrt{A^2 - T_0^2} \right\}}{L\rho_d(W - W_i)}} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

L ——水结冰潜热，kJ/kg；

ρ_d ——土体的干密度，kg/m³；

W ——土中总含水量，%；

W_i ——冻土中的含冰量，%；

T_0 ——洞内年平均气温, °C;

A ——年温度振幅, °C;

λ_u ——已融土的导热系数, W/(m·K)。

A.1.2 表层铺设时, 按公式 (A.3) 计算保温层厚度, 式中符号含义同公式 (A.1):

$$\frac{1}{(r_1 + h_1 + h_2 + h_3)\alpha} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_1 + h_1 + h_2 + h_3 + d_u}{r_1 + h_1 + h_2 + h_3} = \frac{1}{r_1 \alpha} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_1 + h_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_1 + h_1 + h_2 + h_3}{r_1 + h_2} \quad (\text{A.3})$$

A.1.3 双层铺设时, 按公式 (A.4) 计算保温层厚度, 式中符号含义同公式 (A.1):

$$\begin{aligned} & \frac{1}{(r_1 + h_1 + 2h_2 + h_3)\alpha} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_1 + h_1 + 2h_2 + h_3 + d_u}{r_1 + h_1 + 2h_2 + h_3} \\ &= \frac{1}{r_1 \alpha} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_1 + h_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_1 + h_2 + h_3}{r_1 + h_2} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_1 + 2h_2 + h_3}{r_1 + h_2 + h_3} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_1 + h_1 + 2h_2 + h_3}{r_1 + 2h_2 + h_3} \\ & \dots\dots\dots (\text{A.4}) \end{aligned}$$

A.2 季节冻土区

A.2.1 当洞口年平均气温低于0°C时, 宜采用数值计算求解, 计算步骤如下:

- 根据隧道尺寸、埋深及地质情况建立计算模型;
- 模型上下边界施加温度荷载 (可按地温增长梯度计算上下边界温度), 左右边界绝热。采用稳态热分析法, 计算围岩初始温度场;
- 隧道内边界施加洞内气温荷载, 在初始温度场的基础上进行瞬态分析, 计算时间步长取隧道设计使用年限;
- 试算保温层的不同厚度, 当保温层采用表面铺设或双层铺设时, 以二衬表面温度在设计年限内不低于0°C时的保温层厚度为最终设计厚度; 当保温层采用夹层铺设时, 以初支与二衬之间的温度在设计年限内不低于0°C时的保温层厚度为最终设计厚度。

A.2.2 当洞口年平均气温不低于0°C时, 可依据保温层设置位置, 求解保温层厚度。

- 夹层铺设时, 可按公式 (A.5) 计算保温层厚度, 式中除 d_f 外其他符号含义同公式 (A.1):

$$\frac{1}{(r_1 + h_1 + h_2 + h_3)\alpha} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_1 + h_1 + h_2 + h_3 + d_f}{r_1 + h_1 + h_2 + h_3} = \frac{1}{r_1 \alpha} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_1 + h_3}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_1 + h_2 + h_3}{r_1 + h_3} \quad (\text{A.5})$$

式中:

d_f ——季节冻土区最大冻结深度, m。可按公式 (A.6) 求得:

$$d_f = \sqrt{\frac{2\lambda_f \left\{ T_0 \left[\frac{365}{2} - \frac{365}{\pi} \arcsin\left(-\frac{T_0}{A}\right) \right] + \frac{365}{\pi} \sqrt{A^2 - T_0^2} \right\}}{L\rho_d(W - W_u)}} \quad (\text{A.6})$$

式中:

W_u ——融土中的未冻水量；

λ_f ——冻土导热系数，W/（m•K）。

b) 表层铺设时，可按公式（A. 7）计算保温层厚度，式中符号含义同公式（A. 1）：

$$\frac{1}{(r_1+h_1+h_2+h_3)\alpha} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_1+h_1+h_2+h_3+d_f}{r_1+h_1+h_2+h_3} = \frac{1}{r_1\alpha} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_1+h_2}{r_1} \dots\dots\dots (A. 7)$$

c) 双层铺设时，可按公式（A. 8）计算保温层厚度，式中符号含义同公式（A. 1）：

$$\frac{1}{(r_1+h_1+2h_2+h_3)\alpha} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_1+h_1+2h_2+h_3+d_f}{r_1+h_1+2h_2+h_3} = \frac{1}{r_1\alpha} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_1+h_2}{r_1} \dots\dots\dots (A. 8)$$

A. 2. 3 保温层最终厚度应根据表A. 1进行修正确定。

表 A. 1 保温层厚度计算结果修正方法

隧址区气象条件		保温层厚度计算公式	结果修正	
洞口年平均气温 ≥0℃时	洞口年平均气温与洞身周围围岩初始地温接近(1℃范围内)， 且振幅≥15℃	夹层铺设（公式 A. 5） 表层铺设（公式 A. 6） 双层铺设（公式 A. 7）	取公式计算结果的 3 倍作为最终厚度	若 暂 无 地 温 资 料，可统一取公 式计算结果的 3 倍作为最终厚度
	其他情况		取公式计算结果的 2 倍作为最终厚度	
洞口年平均气温<0℃时		采用数值计算方法确定保温层厚度		