

DB 63

青 海 省 地 方 标 准

DB 63/T 2311—2024

公路热棒施工质量检测技术规程

2024 - 06 - 19 发布

2024 - 07 - 25 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 倾斜度检测	5
5.1 方法及设备	5
5.2 数据处理	5
6 埋设长度检测	6
6.1 方法及设备	6
6.2 数据处理	6
7 回填密实度检测	7
7.1 方法及设备	7
7.2 数据处理	8
8 性能检测	9
8.1 一般规定	9
8.2 方法及设备	9
8.3 数据处理	9
附 录 A （资料性） I 型热棒结构示意图	11
参 考 文 献	12

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：青海省交通规划设计研究院有限公司、中圣科技（江苏）股份有限公司、青海省交通控股集团有限公司、青海省交控建设工程集团有限公司、南京圣诺热管有限公司。

本文件主要起草人：钟闻华、郭宏新、高腾、马少卿、孙田、油川洲、武康森、辛洋洋、郭娜、程军勤、詹越、袁永顺、于昕然、汪宇华、周天宝、朱东宁、雷雨田、李永晓、白花蕾、薛峰、马忠武、马丽萍、马金祥、王欢、张思琪、马燕、霍永甲。

本文件由青海省交通运输厅监督实施。

公路热棒施工质量检测技术规程

1 范围

本文件规定了公路热棒施工质量检测技术的术语和定义、总体要求和倾斜度、埋设长度、回填密实度检测及性能检测等内容。

本文件适用于公路工程的 I 型热棒施工质量的检测。

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 27880 热棒
- JGJ 118 冻土地区建筑地基基础设计规范
- JTG/T 3331-04 多年冻土地区公路设计与施工技术规范
- DB63/T 1489 多年冻土区热棒路基技术规范

3 术语和定义

GB/T 27880界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热棒

用于寒区工程，工作温度介于 200 K ~ 333 K (-73.15 °C ~ 59.85 °C)，蒸发段在下方、冷凝段在上方、管内凝结液依靠重力回流的传热管。

[来源：GB/T 27880—2011，3.1，有修改]

3.2

工质

热棒内用于传递热量的介质。

[来源：GB/T 27880—2011，3.3]

3.3

蒸发段

热棒工质受热汽化段。

[来源：GB/T 27880—2011，3.4，有修改]

3.4

冷凝段

热棒工质放热凝结段。

[来源: GB/T 27880—2011, 3.5, 有修改]

3.5

等温特性

在一定的热负荷和工作条件下, 热棒内部工质蒸汽温度沿长度方向呈现出温度均匀且相等的特征。

[来源: GB/T 27880—2011, 3.12]

3.6

启动特性

在一定条件下从热棒开始受热到进入稳定工作状态之前的特性, 以时间为特性指标。

[来源: GB/T 27880—2011, 3.11]

3.7

启动温差

热棒进入工作状态时的蒸发段与冷凝段温度差值。

3.8

工作温度

热棒运行时的工质蒸汽温度。

[来源: GB/T 27880—2011, 3.8]

3.9

稳定工作状态

设定工作条件下, 在热棒管内或管外壁沿长度方向各点温度不随时间变化的工作状态。

[来源: GB/T 27880—2011, 3.9]

3.10

额定功率

设定工作条件下, 热棒所能传递的最大功率。

[来源: GB/T 27880—2011, 3.10]

4 总体要求

4.1 热棒检测项目包含倾斜度、埋设长度、回填密实度、性能检测等。

4.2 热棒施工应符合 JTG/T 3331-04 规定, 其结构示意图见附录 A。检测前对热棒布设的位置和间距进行检测, 且符合 DB63/T 1489 规定。

4.3 检测前, 应查明检测路段的地层岩性、多年冻土类型、含冰量、天然上限(人为上限)和年平均地温, 以及施工记录表。

4.4 热棒性能检测在蒸发段温度高于环境温度 3℃ 以上进行, 宜在冷季日落后至日出前。

4.5 交通条件良好、不存在安全隐患路段, 可采用非接触式方法进行检测。

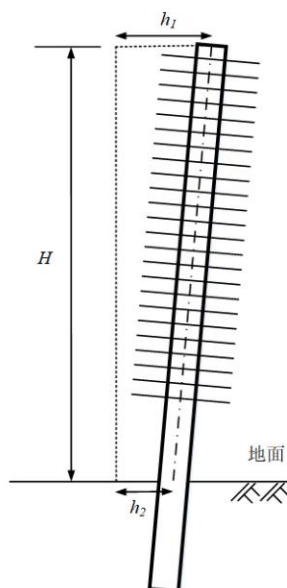
4.6 检测设备环境条件为 -30℃~50℃。

4.7 热棒检测时同一路段或同批次应不少于 10% 抽检量且不少于 100 根; 当同一检测段或同批次不足 100 根时应逐根检测。

5 倾斜度检测

5.1 方法及设备

5.1.1 方法：宜采用吊锤法（见图 1）。有条件情况下可采用全站仪或 RTK（实时动态载波相位差分技术）。单根热棒检测不少于 3 次。



标引序号说明：

H ——热棒外露段竖直高度，单位为毫米（mm）；

h_1 ——热棒冷凝段外壁上端点与竖向线的水平距离，单位为毫米（mm）；

h_2 ——热棒冷凝段外壁下端点与竖向线的水平距离，单位为毫米（mm）。

图1 倾斜度检测方法示意图

5.1.2 设备：采用吊锤（质量不小于 400 g）、钢尺等，量程应满足测试要求，吊锤垂线长度不宜小于 4 m，钢尺量程不宜小于 5 m。

5.1.3 流程：确定热棒外壁位置→测量冷凝段竖直高度→测量水平距离。

5.2 数据处理

吊锤法数据处理如下：

a) 倾斜度按公式（1）计算：

$$\Delta C = |h_1 - h_2| \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ΔC ——倾斜度测量结果值，单位为毫米（mm）；

h_1 ——热棒冷凝段外壁上端点与竖向线的水平距离，单位为毫米（mm）；

h_2 ——热棒冷凝段外壁下端点与竖向线的水平距离，单位为毫米（mm）。

b) 倾斜度允许偏差按公式（2）计算：

$$\Delta L = H \times 1\% \dots\dots\dots (2)$$

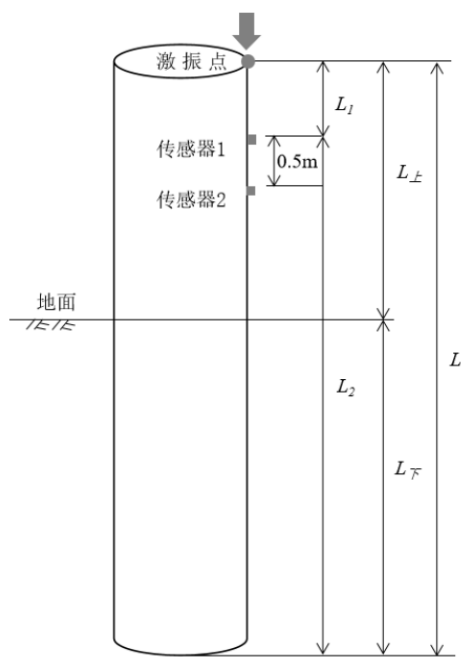
式中：

ΔL ——倾斜度允许偏差值，单位为毫米（mm）；
 H ——热棒外露段竖直高度，单位为毫米（mm）。

6 埋设长度检测

6.1 方法及设备

- 6.1.1 方法：冲击弹性波检测法，示意图见图 2。
- 6.1.2 设备：冲击弹性波检测仪、钢尺（量程不小于 50 cm）。
- 6.1.3 流程：清理基管表面→安装设备及传感器→测量距离→激振测试→数据记录。检测区域应布置在热棒翅片段下端圆管位置。
- 6.1.4 标定波速符合下列规定：
- a) 测量标定热棒埋设长度实际长度，记录采集有效波形不少于 6 次；
 - b) 每次测试数据的标定波速与平均值偏差不超过 5 %时取标定波速平均值作为该批次热棒的标定波速值；
 - c) 当不具备标定条件时，可根据热棒埋设设计长度参考波速作为检测批次热棒的标定波速；
 - d) 当热棒埋设长度超过 8 m 时，宜采用双传感器检测。



标引序号说明：

L_1 ——传感器1距离热棒顶端距离，单位为米（m）；

L_2 ——传感器1距离热棒底端距离，单位为米（m）；

$L_{\pm}$ ——热棒地面以上测量长度，单位为米（m）；

$L_{\text{下}}$ ——热棒埋设长度计算长度，单位为米（m）；

L ——热棒测试长度，单位为米（m）。

图2 热棒埋设长度测试示意图

6.2 数据处理

6.2.1 热棒埋设长度按公式（3）计算：

$$L_2 = \frac{c \cdot T}{2} \dots\dots\dots (3)$$

式中：
其中热棒测试长度按公式（4）计算，热棒埋设长度计算长度按公式（5）计算：

$$L = L_1 + L_2 \dots\dots\dots (4)$$

$$L_{\overline{\text{F}}} = L - L_{\perp} \dots\dots\dots (5)$$

式中：
 L_2 ——传感器1距离热棒底端距离，单位为米（m）；
 C ——标定波速，单位为千米每秒（km/s），无检测条件时，碳钢中标定波速取5.16 km/s，不锈钢
中标定波速取5.74 km/s；
 T ——冲击弹性波在热棒中的传播时间，单位为毫秒（ms）；
 L ——热棒测试长度，单位为米（m）；
 L_1 ——传感器1距离热棒顶端距离，单位为米（m）；
 $L_{\overline{\text{F}}}$ ——热棒埋设长度计算长度，单位为米（m）；
 $L_{\perp}$ ——热棒地面以上测量长度，单位为米（m）。

6.2.2 埋设长度相对误差按公式（6）计算：

$$\delta = \frac{|L_{\overline{\text{F}}} - H_0|}{H_0} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中：
 δ ——埋设长度相对误差；
 $L_{\overline{\text{F}}}$ ——热棒埋设长度计算长度，单位为米（m）；
 H_0 ——热棒埋设长度设计长度，单位为米（m）。

7 回填密实度检测

7.1 方法及设备

- 7.1.1 方法：水袋法（见图 3）。
- 7.1.2 设备：储水桶（带刻度，容积不小于 2 L）、塑料薄膜（厚度不小于 0.5 mm）、钢套环（直径 146 mm）、台称（量程不小于 10 kg）、钢尺（量程不小于 50 cm）等。
- 7.1.3 流程：试坑开挖（直径以原钻孔直径为准，深度 200 mm）→布置塑料薄膜→放置钢套环→灌水→记录数据→试坑回填（覆土高出原表面不小于 3 cm）。

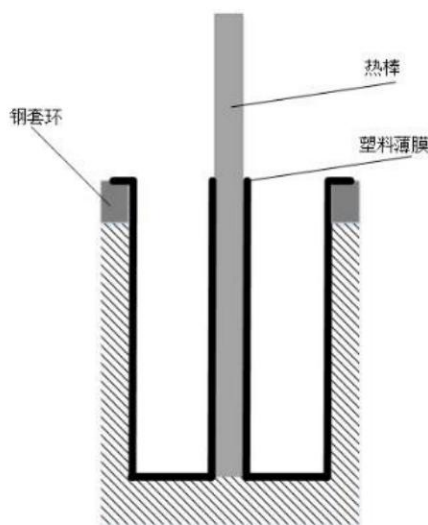


图3 水袋法示意图

7.2 数据处理

7.2.1 试坑体积按公式（7）计算：

$$V_{sk} = (H_{t1} - H_{t2})A_w - V_{th} + \frac{\pi d^2}{4}h \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- V_{sk} ——试坑体积，单位为立方厘米（ cm^3 ）；
- H_{t1} ——储水桶内初始水位高度，单位为厘米（ cm ）；
- H_{t2} ——储水桶内注水终了时水位高度，单位为厘米（ cm ）；
- A_w ——储水桶断面积，单位为平方厘米（ cm^2 ）；
- V_{th} ——钢套环体积，单位为立方厘米（ cm^3 ）；
- d ——热棒基管直径，单位为厘米（ cm ）；
- h ——钢套环高度，单位为厘米（ cm ）。

7.2.2 压实度按公式（8）计算：

$$D = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \dots\dots\dots (8)$$

其中检测干密度按公式（9）计算，压实度按公式（10）计算：

$$\rho_d = \frac{\rho_{gs}}{1+\omega} \dots\dots\dots (9)$$

$$\rho_{gs} = \frac{m_0}{V_{sk}} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- ρ_{gs} ——检测密度，单位为克每立方厘米（ g/cm^3 ）；
- m_0 ——试坑回填土质量，单位为克（ g ）；
- V_{sk} ——试坑体积，单位为立方厘米（ cm^3 ）；
- ρ_d ——检测干密度，单位为克每立方厘米（ g/cm^3 ）；
- ω ——试样含水率，单位为百分比（%），根据JTG 3430-2020第五章计算；
- ρ_{dmax} ——检测最大干密度，单位为克每立方厘米（ g/cm^3 ），根据JTG 3430-2020第十五章计算；
- D ——压实度，单位为百分比（%）。

8 性能检测

8.1 一般规定

- 8.1.1 热棒性能检测前，应对气密性进行抽检。
- 8.1.2 气密性检测：按 GB/T 27880 规定执行。工质为氨时宜采用氨质谱检漏仪、酚酞试纸；工质为二氧化碳时宜采用红外线二氧化碳分析器；
- 8.1.3 热棒性能检测设备应具备数据存储功能，且能测量热棒管壁、翅片的热流或温度等，能同步测试环境温度，并符合下列规定：
- a) 温度测量：-30℃ ~ 0℃，满足精度 ±1 % F.S（相对于传感器的满量程误差的百分数）和分辨率 0.05℃；
 - b) 热流测量：不小于 100W/m²，热流密度精度不大于 ±0.5 % F.S 和分辨率不低于 2 W/m²。
- 8.1.4 热棒进场时应按 4.5 规定进行抽检，质量符合表 1 规定。

表1 外观质量和气密性要求

检测项目	要求	检测方法
外观质量	外表应具有金属光泽，无裂纹、凹坑及毛刺缺陷，焊缝平整光滑	目视检查
气密性	热棒的充液管封口工质无泄漏	标准GB/T 27880第6.6条

8.2 方法及设备

- 8.2.1 方法：红外非接触式、热流密度仪接触式方法，风速可采用风速测量仪检测。非接触式方法适用于巡检或逐根检测；接触式方法适用于定点检测，具体如下：
- a) 非接触式：
 - 环境温度：将设备置于距离热棒0.5 m处且静置10 min以上，连续测量3次，取平均值，
 - 光管温度：将设备置于翅片管以下10 cm ~ 30 cm，距离基管30 cm ~ 60 cm，连续测量3次，取平均值，
 - 翅片管温度：选择翅片管1/4、1/2和3/4处的3个测点，将设备置于距离基管30 cm ~ 60 cm，连续测量3次，取平均值；
 - b) 接触式：
 - 环境温度：将设备置于热棒周边0.5 m处且静置10 min以上，连续测量3次，取平均值，
 - 光管热流密度：将热流密度计紧密贴敷于光管外壁，测点分布在翅片管以下10 cm ~ 30 cm，静置10 min以上，连续测量3次，取平均值。
- 8.2.2 设备：氨质谱检漏仪或酚酞试纸、红外线二氧化碳分析器、红外测温仪、热流密度仪、钢尺等，风速测量仪。

8.3 数据处理

- 8.3.1 判据：冷凝段为散热状态时，可判定为热棒处于工作状态。
- 8.3.2 热棒散热功率计算如下：

- a) 冷凝器的放热热阻 R_f 按公式（11）计算：

$$R_f = \frac{1}{A\alpha_0} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

R_f ——热棒冷凝器放热热阻, 单位为摄氏度每瓦特 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$);

A ——冷凝器散热面积, 单位为平方米 (m^2);

α ——对流换热系数, 单位为瓦特每平方米摄氏度 ($\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$), 根据JGJ 118-2011附录J计算。

b) 蒸发器壁周围土体热阻 R_s 按公式 (12) 计算:

$$R_s = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi KH} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

R_s ——蒸发器壁周围土体热阻, 单位为摄氏度每瓦特 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$);

r_2 ——冻结期传热影响范围的平均半径, 单位为米 (m);

r_1 ——蒸发段外半径, 单位为米 (m);

K ——土体导热系数, 单位为瓦特每米摄氏度 ($\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$);

H ——热棒埋设长度, 单位为米 (m)。

c) 热棒散热功率 Ω 按公式 (13) 计算:

$$\Omega = \frac{T_s - T_a}{R_f + R_s} \dots\dots\dots (13)$$

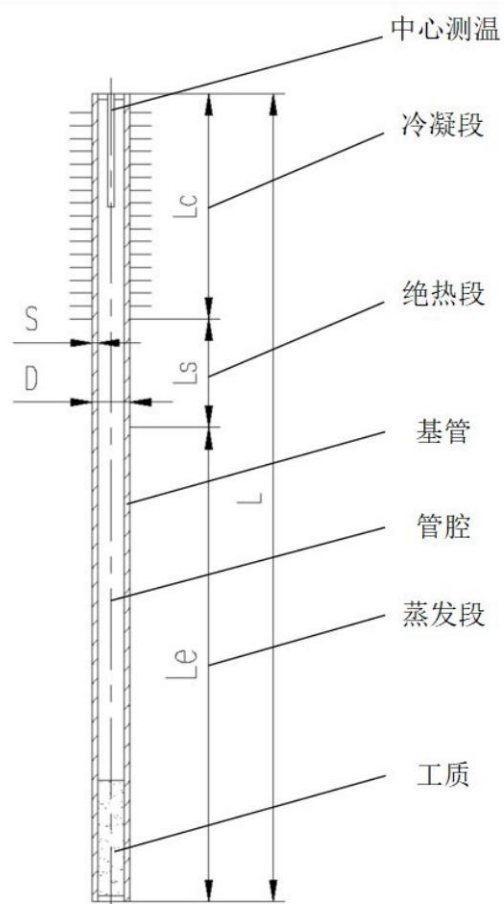
式中:

Ω ——热棒散热功率, 单位为瓦特 (W);

T_s ——计算期平均地温, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$);

T_a ——计算期平均气温, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)。

附录 A
(资料性)
I 型热棒结构示意图



D ——基管外径，单位为毫米（mm）；
 L_c ——冷凝段长度，单位为米（m）；
 L_s ——绝热段长度，单位为米（m）；
 L_e ——蒸发段长度，单位为米（m）；
 L ——热棒高度，单位为米（m）；
 S ——基管公称壁厚，单位为毫米（mm）。

图 A I 型热棒结构示意图

参 考 文 献

- [1] GB 50021-2001 (2009) 岩土工程勘察规范
 - [2] GB 50324-2014 冻土工程地质勘察规范
 - [3] GB/T 50123-2019 土工试验方法标准
 - [4] JTG D30-2015 公路路基设计规范
 - [5] JTG 3430-2020 公路土工试验规程
 - [6] JTG/T 3331-04-2023 多年冻土地区公路设计与施工技术规范
 - [7] JTG/T 3610-2019 公路路基施工技术规范
-