



T/CECS 1316—2023

中国工程建设标准化协会标准

能量桩桥面除冰融雪系统 技术规程

Technical specification for bridge deck deicing and
snow melting system using energy piles

中国计划出版社

中国工程建设标准化协会标准

能量桩桥面除冰融雪系统
技术规程

Technical specification for bridge deck deicing and
snow melting system using energy piles

T/CECS 1316—2023

主编单位：河 海 大 学
重 庆 大 学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2 0 2 3 年 9 月 1 日

中国计划出版社

2023 北 京

中国工程建设标准化协会公告

第 1545 号

关于发布《能量桩桥面除冰融雪系统 技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2021 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2021〕11 号)的要求,由河海大学、重庆大学等单位编制的《能量桩桥面除冰融雪系统技术规程》,经协会地基基础专业委员会组织审查,现批准发布,编号为 T/CECS 1316—2023,自 2023 年 9 月 1 日起施行。

中国工程建设标准化协会

二〇二三年四月十二日

前 言

《能量桩桥面除冰融雪系统技术规程》(以下简称规程)是根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2021 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2021〕11 号)的要求进行编制。编制组经深入调查研究,认真总结实践经验,参考国内外先进标准,并在广泛征求各方意见的基础上,制定本规程。

本规程共分 9 章和 2 个附录,主要内容包括:总则、术语和符号、基本规定、材料、系统构成、系统设计、施工、检测与验收、监测与运维等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利,本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会归口管理,由河海大学负责具体技术内容的解释。执行过程中,如有意见或建议,请反馈给河海大学土木与交通学院(地址:江苏省南京市鼓楼区西康路 1 号,邮编:210098,邮箱:gqkong1@163.com)。

主 编 单 位: 河海大学

重庆大学

参 编 单 位: 建研地基基础工程有限责任公司

江阴市城市重点项目建设管理中心

大连理工大学

江阴市城乡规划设计院有限公司

中建七局第二建筑有限公司

江阴市市政建设工程有限公司

信息产业部电子综合勘察研究院

中建七局交通建设有限公司

中交第四公路工程局有限公司
云南省建设投资控股集团有限公司
中国科学院武汉岩土力学研究所
中国冶金地质总局内蒙古地质勘查院
大连公共交通建设投资集团有限公司
郑州大学
河南理工大学
青岛理工大学
三峡大学
云南建设基础设施投资股份有限公司
中铁建设集团有限公司
苏邑设计集团有限公司
山西省交通科技研发有限公司
江苏斯维尔工程技术有限公司
内蒙古电力勘测设计院有限责任公司
黄河水利委员会工程建设管理中心

主要起草人：孔纲强 刘汉龙 杨 庆 吴 迪 秋仁东
江 强 周 杨 陈 龙 唐叶新 任连伟
关 文 高 磊 雷宏武 陈宏鸣 张体浪
南亚林 杨爱俊 陈洪敏 刘 欣 刘俊伟
秦仕伟 杜 恒 黄 琪 王成建 周同和
李永芳 邓华锋 钟 国 王笃波 王忠涛
孟永东 于秀霞 张继兵 刘 宏 杜风雷
赵 祯 卜亚军 车 平 王成龙 高学成
主要审查人：程晓辉 柳建国 夏才初 杨仲轩 关云飞
唐 亮 包小华

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(2)
3	基本规定	(4)
4	材 料	(5)
5	系统构成	(6)
5.1	一般规定	(6)
5.2	循环系统	(6)
5.3	监测与控制系统	(8)
6	系统设计	(10)
6.1	一般规定	(10)
6.2	能源需求	(10)
6.3	能源供给	(11)
7	施 工	(13)
7.1	一般规定	(13)
7.2	循环系统施工	(13)
7.3	监测与控制系统安装	(14)
8	检测与验收	(16)
8.1	安装前检测	(16)
8.2	安装中检测	(16)
8.3	完工检测	(17)
8.4	系统验收	(17)
9	监测与运维	(19)

附录 A 质量验收记录表	(20)
附录 B 竣工验收记录表	(21)
用词说明	(22)
引用标准名录	(23)
附:条文说明	(25)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(2)
3	Basic requirements	(4)
4	Material	(5)
5	Composition of system	(6)
5.1	General provisions	(6)
5.2	Recycle system	(6)
5.3	Monitoring and control system	(8)
6	Design of system	(10)
6.1	General requirements	(10)
6.2	Energy demand	(10)
6.3	Energy supply	(11)
7	Construction	(13)
7.1	General requirements	(13)
7.2	Construction of recycle system	(13)
7.3	Installation of monitoring and control system	(14)
8	Inspection and acceptance	(16)
8.1	Prior installation check	(16)
8.2	Installation check	(16)
8.3	Post-installation check	(17)
8.4	System acceptance	(17)
9	Monitoring, operation and maintenance	(19)

Appendix A	Record form of quality acceptance	.....	( 20)
Appendix B	Record form of completion acceptance	.....	( 21)
	Explanation of wording	.....	( 22)
	List of quoted standards	.....	( 23)
	Addition; Explanation of provisions	.....	( 25)

1 总 则

- 1.0.1** 为规范能量桩桥面除冰融雪系统的技术要求,做到安全适用、技术先进、经济合理、质量可靠、环境友好,制定本规程。
- 1.0.2** 本规程适用于基于能量桩的钢筋混凝土桥面除冰融雪系统的设计、施工、检测、验收、监测及运维。
- 1.0.3** 能量桩桥面除冰融雪系统应用除应符合本规程规定外,尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 能量桩 energy pile

在桩基础中埋设充满循环工质的换热管,与周围岩土体进行热交换,具有支撑上部结构荷载和浅层地温能交换双重功能的桩基。

2.1.2 发热桥面板 hydronic heating bridge deck

在钢筋混凝土桥面板中埋设充满循环工质的换热管,具有加热除冰融雪功能的桥面板。

2.1.3 浅层地温能 shallow geothermal energy

蕴藏在深度小于 200m 的岩土体、地下水或地表水中的热能资源。

2.1.4 换热管 heat exchange pipe

能量桩和发热桥面板中,储存和传输循环工质的管路。

2.1.5 循环工质 heat exchange medium

储存于换热管中,与能量桩、发热桥面板进行热交换的循环工质。

2.1.6 桥面混凝土铺装层 concrete paving layer

浇注在桥梁混凝土预制板上表面,用于填充桥面的混凝土层。

2.2 符 号

A_f ——桥面无雪面积;

A_r ——无积雪面积比;

A_t ——桥面除冰融雪区域的总面积;

c_1 ——计算系数;

- $c_{p,ice}$ ——冰的比热容；
 $c_{p,water}$ ——水的比热容；
 h_c ——对流换热系数；
 h_{if} ——冰的融化热；
 q_0 ——单位面积发热桥面板融雪所需热功率；
 q_c ——雪水蒸发的潜热；
 q_h ——发热桥面板的对流以及辐射热通量；
 q_m ——雪融化的潜热；
 q_s ——雪融化的显热；
 s ——降雪率水当量；
 T_0 ——环境温度；
 T_{fi} ——液膜温度；
 T_{MR} ——天空辐射温度；
 T_{si} ——冰的融化温度；
 ϵ_s ——桥面辐射率；
 ρ_{water} ——水的密度；
 σ ——黑体辐射系数。

3 基本规定

3.0.1 能量桩桥面除冰融雪系统可用于中小型钢筋混凝土桥梁。

3.0.2 能量桩桥面除冰融雪系统的选用,宜充分调研当地降雪量、气温、风速等气候条件,浅层地温能分布,桥梁桩基和桥面板结构形式等因素,经可行性和经济性评估后确定。

3.0.3 能量桩桥面除冰融雪系统设计前,应具备完整的桩基和桥梁结构的设计施工资料。

3.0.4 选用能量桩桥面除冰融雪系统的桥梁桩基岩土工程地质勘察,应包括岩土热物性勘察、浅层地温能资源勘察和地下水渗流勘察。

3.0.5 能量桩桥面除冰融雪系统的设计使用年限,宜满足地源热泵系统的设计使用年限要求。

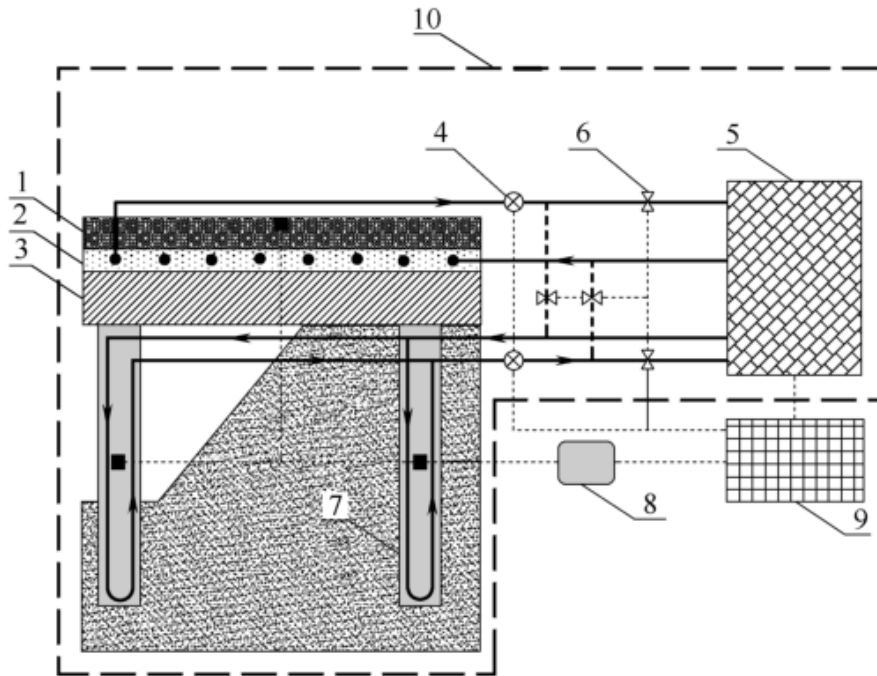
4 材 料

- 4.0.1** 换热管材质宜选用韧性、拉伸压缩等力学性能良好,流动阻力较小的管材及接头,宜采用高密度聚乙烯管或聚丁烯管。
- 4.0.2** 当桩基内设有声测管时,可在桩基混凝土浇筑前,用 U 形弯头将声测管底端连接形成 U 形管,作为能量桩的换热管。
- 4.0.3** 接头与管材宜采用同一材质。
- 4.0.4** 换热管的外径及壁厚应符合现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 的有关规定。
- 4.0.5** 换热管的最小弯曲半径应符合现行行业标准《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438 的有关规定。
- 4.0.6** 循环工质宜为添加防冻剂的水或防冻液,防冻剂和防冻液的类型应符合现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 的有关规定,循环工质应环保且不应与换热管、循环设备发生化学反应,循环工质的凝固点应低于系统设计的最低运行温度。

5 系统构成

5.1 一般规定

5.1.1 能量桩桥面除冰融雪系统应由循环系统、监测系统、控制系统构成(图 5.1.1)。



1—沥青混凝土层;2—混凝土铺装层;3—预制板;4—水泵;5—热泵;
6—阀门;7—能量桩;8—监测系统;9—控制系统;10—循环系统

图 5.1.1 能量桩桥面除冰融雪系统示意图

5.1.2 当能量桩提供的能源上限低于桥面除冰融雪所需的热能时,系统宜增加地理管换热器给予能源补充。

5.2 循环系统

5.2.1 循环系统宜包括发热桥面板、能量桩、热泵和水泵等部分。

5.2.2 发热桥面板内的换热管宜设置在桥面混凝土铺装层内,换

热管可绑扎在铺装层钢筋笼的上面或下面,且换热管的保护层厚度不宜小于 50mm。

5.2.3 发热桥面板内换热管的铺设形式宜为直列形、往复形和回转形(图 5.2.3),换热管的铺设间距宜为 200mm~300mm。



图 5.2.3 换热管铺设形式示意图

5.2.4 换热管的铺设间距不应小于换热管最小回转半径的 2 倍。

5.2.5 发热桥面板的换热管宜分区埋设,不同区域的换热管宜采用并联连接,且各段换热管应满足水力平衡。

5.2.6 当桥梁单孔跨径大于 20m 时,发热桥面板内宜仅在行车道车轮附近铺设换热管。

5.2.7 能量桩桥面除冰融雪系统中的能量桩可采用灌注桩和预制桩等桩型。

5.2.8 换热管数量宜根据能量桩直径确定。桩径小于 1.0m 时,换热管的布置宜采用单 U 形、W 形、并联双 U 形、并联三 U 形和螺旋形(图 5.2.8);桩径大于 1.0m 时,可在图 5.2.8 的基础上增加 U 形管数量,但 U 形管管间距不宜小于 200mm。

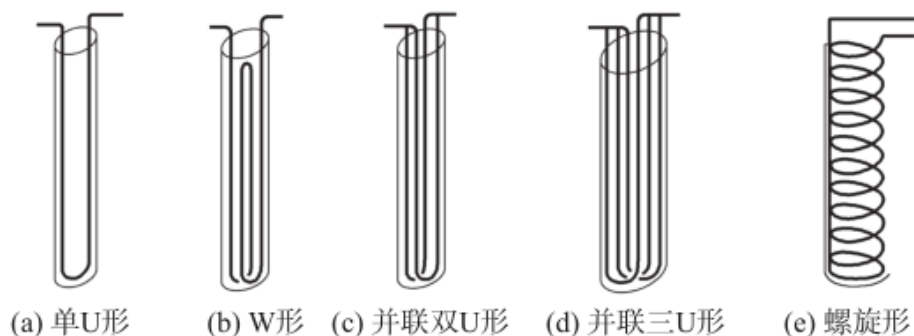


图 5.2.8 能量桩内常见换热管形式示意图

- 5.2.9** 能量桩内沿横截面方向换热管的布置宜均匀分布。
- 5.2.10** 灌注桩形成的能量桩顶部 1.0m 范围内,换热管外侧应设置钢套管。
- 5.2.11** 能量桩换热管宜采用并联连接,管路水力计算应符合现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 的有关规定。
- 5.2.12** 预应力管桩形成的能量桩,桩芯埋设换热管完毕后,应对桩芯进行回填,回填材料宜采用膨润土或水泥砂浆。
- 5.2.13** 发热桥面板内宜设置温度传感器,温度传感器与换热管的间距不宜小于 100mm,测点数量不宜少于 3 个。
- 5.2.14** 宜选取不少于 1 根能量桩的桩身设置温度传感器,测点位置距离桩顶不宜小于 5m,测点数不宜少于 3 个。

5.3 监测与控制系统

5.3.1 监测系统宜包括传感器、流量计和数据存储设备,监测系统的线路连接应符合下列规定:

1 系统线路设计应符合现行国家标准《综合布线系统工程设计规范》GB 50311 的有关规定;

2 系统和温度传感器导线应连接牢固,且导线接头应可靠、密封,并应保持接地的连续性;

3 系统和温度传感器导线宜采用接线盒封装;

4 导线接头互相连接时,接触面应光滑、无氧化现象,且中间不应加装非铜制或导电性不好的垫片;

5 数据存储设备宜具备自动接收和数据存储功能。

5.3.2 流量计应符合下列规定:

1 流量计公称通径应等于换热管直径;

2 流量计量程宜根据换热管数量确定,单根能量桩流量宜为 $0.1\text{m}^3/\text{h}\sim 3\text{m}^3/\text{h}$;

3 流量计公称压力应满足循环管路压力要求。

5.3.3 温度传感器应符合下列规定:

1 温度传感器应精确测量发热桥面板的温度状况,测量误差不应大于 0.1°C ;

2 量程宜为 $-50^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$;

3 分辨率不应大于 0.1°C ;

4 数据采集间隔时间宜为 $10\text{s} \sim 600\text{s}$ 。

5.3.4 控制系统宜自动控制监测系统,监测系统应具备采集并存储能量桩与发热桥面板的温度、循环工质的温度和流量数据等功能。

5.3.5 控制系统应具有控温功能,当发热桥面板温度达到设定值上限或路面表面温度高于 0°C 时应自动停止系统运行,发热桥面板温度达到温度设定下限时应自动开启系统。

5.3.6 控制系统宜具备远程网络操控的功能。

6 系统设计

6.1 一般规定

6.1.1 能量桩桥面除冰融雪系统设计计算内容应包括系统的能源需求和能源供给。

6.1.2 能量桩初步设计资料宜包括下列内容：

- 1 发热桥面板面积及融雪所需热功率；
- 2 桥梁结构中可利用的桩数及桩基结构布置形式；
- 3 地基土的热物性参数、地下水位及渗流情况；
- 4 桩基的布置形式、直径、长度等参数。

6.2 能源需求

6.2.1 发热桥面板除冰融雪的能源需求宜分析下列影响因素：

- 1 降雪率；
- 2 下雪期间环境温度；
- 3 空气湿度；
- 4 发热桥面板表面风速；
- 5 发热桥面板的几何形状。

6.2.2 单位面积发热桥面板融雪所需热功率 q_0 宜根据当地冬季气候和降雪资料，按下式计算：

$$q_0 = q_s + q_m + A_r \cdot q_h \quad (6.2.2)$$

式中： q_s ——雪融化的显热(W/m^2)；

q_m ——雪融化的潜热(W/m^2)；

A_r ——无积雪面积比，取值 $0 \sim 1$ ；

q_h ——发热桥面板的对流以及辐射热通量(W/m^2)。

6.2.3 发热桥面积雪最终状态可根据无积雪面积比 A_r ($0 \leq A_r$)

≤1)按下式计算:

$$A_r = A_f / A_t \quad (6.2.3)$$

式中: A_f ——桥面无雪面积(m^2);

A_t ——桥面融雪区域的总面积(m^2)。

6.2.4 雪融化的显热 q_s 可按下式计算:

$$q_s = \rho_{\text{water}} s [c_{p,\text{ice}} (T_{\text{si}} - T_0) + c_{p,\text{water}} (T_{\text{fi}} - T_{\text{si}})] / c_1 \quad (6.2.4)$$

式中: ρ_{water} ——水的密度(kg/m^3),取 $1000kg/m^3$;

s ——降雪率水当量(mm/h);

$c_{p,\text{ice}}$ ——冰的比热容 [$J/(kg \cdot K)$],宜为 $2100J/(kg \cdot K)$;

T_{si} ——冰的融化温度 K,宜取 $273.15K$;

T_0 ——环境温度 K;

$c_{p,\text{water}}$ ——水的比热容 [$J/(kg \cdot K)$],宜取 $4200J/(kg \cdot K)$;

T_{fi} ——液膜温度 K,宜取 $273.71K$;

c_1 ——计算系数,可取 3.6×10^6 。

6.2.5 雪融化的潜热 q_m 可按下式计算:

$$q_m = \rho_{\text{water}} s h_{\text{if}} / c_1 \quad (6.2.5)$$

式中: h_{if} ——冰的熔化热(J/kg),可取值 $3.36 \times 10^5 J/kg$ 。

6.2.6 发热桥面板的对流以及辐射热通量 q_h 可按下式计算:

$$q_h = h_c (T_{\text{si}} - T_0) + \sigma \epsilon_s (T_{\text{fi}}^4 - T_{\text{MR}}^4) \quad (6.2.6)$$

式中: h_c ——对流换热系数 [$W/(m^2 \cdot K)$],宜为 $11 + 4.1v$, v 为风速;

σ ——黑体辐射常数 [$W/(m^2 \cdot K^4)$],取值 $5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$;

ϵ_s ——桥面辐射率,沥青混凝土层取 0.96 ;

T_{MR} ——天空辐射温度(K),下雪天宜采用空气温度。

6.3 能源供给

6.3.1 能源供给可由能量桩或地理管换热器提供,当全部能量桩的总换热效率小于能源需求时,可由地理管换热器提供补充。

6.3.2 能量桩的总换热效率宜根据可利用全部能量桩总长度及每延米能量桩的换热效率确定。

6.3.3 当现场条件、工期条件满足要求时,每延米能量桩换热效率应按现行行业标准《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438 的有关规定测定。

6.3.4 当无法通过试验测定能量桩的换热效率时,每延米能量桩的换热效率可按表 6.3.4 估算。

表 6.3.4 每延米能量桩的换热效率(W/m)

桩型	土体类型	放热	吸热
钢筋混凝土灌注桩	粗粒	30~60,最大 110	25~45
	细粒	35,最大 220	30~50
预应力管桩	粗粒	35~55	20~40
	细粒	50~70,最大 90	25~45

6.3.5 地埋管换热器的换热效率宜根据地埋管换热器总长度和每延米地埋管换热器的换热效率确定,每延米地埋管换热器的换热效率应按现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 的有关规定确定。

7 施 工

7.1 一 般 规 定

7.1.1 施工前应具备岩土工程勘察资料、桥梁和桩基及桥面除冰融雪系统设计文件,编制能量桩桥面除冰融雪系统施工方案,并完成技术交底。

7.1.2 施工现场应具备换热管测试打压和温度传感器标定的条件。

7.1.3 换热管施工完成后应进行压力测试及冲洗,并应符合现行行业标准《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438 的有关规定。

7.2 循 环 系 统 施 工

7.2.1 换热管的运输、存储应符合下列规定:

- 1 运输和安装过程中,换热管两端口应加上保护帽;
- 2 运输、装卸和搬运时,应小心轻放换热管,不得拖拽、挤压;
- 3 换热管应远离热源存放;
- 4 换热管进场验收后,应存放在避光避雨处。

7.2.2 换热管安装前,裁剪应根据设计方案确定,裁剪完成后两端宜采用管帽封口。

7.2.3 管材和接头宜在绑扎前进行热熔连接,并宜进行换热管打压测试。

7.2.4 灌注桩形成的能量桩换热管宜紧贴钢筋笼内侧绑扎,绑扎间距不宜大于 500mm。

7.2.5 室外环境温度低于 0℃时,不宜进行换热管的绑扎施工。

7.2.6 钢筋笼较长时宜分段焊接连接,此时换热管宜分段绑扎;换热管宜按桩基钢筋笼总长进行裁剪和长度预留。

7.2.7 钢筋笼分段焊接时,最下段钢筋笼的换热管绑扎应在钢筋笼入孔前绑扎完毕,剩余钢筋笼的换热管绑扎宜采用边下放钢筋笼、边绑扎换热管的方式。

7.2.8 钢筋笼分段连接宜采用螺栓连接的方式,钢筋笼采用焊接连接方式时,焊接后应待钢筋笼降至环境温度后,再进行焊接位置处换热管的绑扎。

7.2.9 钢筋笼放入钻孔时,吊钩不应接触换热管。

7.2.10 能量桩换热管绑扎完成后,能量桩顶部 1.0m 范围内的换热管外侧应套有钢套管,钢套管位置确定后宜与钢筋笼绑扎固定。

7.2.11 发热桥面板换热管绑扎时不宜与其他工种交叉作业,地面预留孔洞应在桥面铺装层混凝土浇筑前完成。

7.2.12 发热桥面板换热管宜绑扎在桥面铺装层钢筋挂网上侧。

7.2.13 发热桥面板换热管安装时不应踩踏和挤压,换热管回转半径较小处宜利用弯管器弯折。

7.2.14 发热桥面板换热管单程不宜设置接头。

7.2.15 能量桩和发热桥面板温度传感器导线宜用护线管保护。

7.2.16 能量桩和桥面板混凝土浇筑前应对换热管进行试压和保压处理。

7.2.17 能量桩桩头处理和截桩应避免破坏换热管及钢保护套,钢保护套切除宜采取限位措施。

7.2.18 施工结束后,竣工图中应准确标注能量桩和发热桥面板内换热管及传感器的埋设位置。

7.3 监测与控制系统安装

7.3.1 能量桩的温度传感器宜安装在未设置换热管的纵向钢筋上,传感器导线宜从笼内吊升绑扎。

7.3.2 发热桥面板的温度传感器宜置于相邻两根换热管的中间位置。

7.3.3 发热桥面板表面的温度传感器宜设置在车流量较小的行车道靠近路边的位置,温度传感器上表面宜与路面相平。

7.3.4 温度传感器导线端头处应密封绝缘。

7.3.5 能量桩与发热桥面板内的传感器埋设完毕后,导线应连接至监测系统控制箱。

7.3.6 设备间外侧宜设置护栏和警示标志。

8 检测与验收

8.1 安装前检测

- 8.1.1 换热管、传感器等进场后应进行质量检验,其规格及性能应满足设计要求。
- 8.1.2 换热管安装前应核验外包装是否完好无损,换热管的两端宜有管帽封堵。
- 8.1.3 换热管包装拆除后,应检查并确认换热管无弯折、压瘪、损坏等缺陷。
- 8.1.4 安装前应检查并确认温度传感器外壳无损坏、温度传感器和导线接头正常,接头应牢固、密封严实。
- 8.1.5 安装前应测试并确认温度传感器读数正常,并宜采用水浴法标定。
- 8.1.6 换热管安装前,应检查并确认桥面板、桩基的钢筋笼按施工图施工、绑扎、焊接,并应检查并确认钢筋表面焊接处无尖锐凸起等。

8.2 安装中检测

- 8.2.1 桥面铺装层和桩基混凝土浇筑时,应检查并确认换热管、传感器的位置和间距符合设计文件的规定,绑扎应牢固。
- 8.2.2 管材与接头宜采用热熔连接,应检查并确认管路热熔连接部位完好。
- 8.2.3 传感器安装过程中宜复查并确认传感器与导线相连的接头无损坏。
- 8.2.4 传感器安装过程中宜复查并确认传感器读数正常、传感器导线端头密封绝缘。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/385121201221011134>