

T/CECS XXXX-20XX



**中国工程建设标准化协会标准**

能量桩桥面除冰融雪工程技术规程

（建议改为能量桩桥面主动式除冰融雪技术标准）

Technical specification for active bridge deck deicing technology using energy piles

（征求意见稿）

XX出版社

**前 言**

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，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国外和国内先进标准，并在广泛征求各方意见的基础上，编制了本标准。

本标准共分九章，主要技术内容包括：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 材料；5能量桩桥面主动式除冰融雪系统构成；6能量桩桥面主动式除冰融雪系统设计计算；7 施工； 8 检测与验收； 9 监测与运维。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任

本标准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，由河海大学负责解释。在执行过程中如有意见或建议，请寄送至河海大学（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

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

中建七局第二建筑有限公司

云南省建设投资控股集团有限公司

大连地铁集团有限公司

中国科学院武汉岩土力学研究所

清华大学

三峡大学

河南理工大学

青岛理工大学

内蒙古电力勘测设计院有限责任公司

中国冶金地质总局内蒙古地质勘查院

苏邑设计集团有限公司

中铁建设集团有限公司

江苏省地质局

山西省交通科技研发有限公司

主要起草人：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 孔纲强 | 刘汉龙 | 杨 庆 |
| 吴 迪 | 江 强 | 秋仁东 |
| 周 杨 | 关 文 | 陈 龙 |
| 任连伟 | 高 磊 | 雷宏武 |
| 南亚林 | 唐叶新 | 杨爱俊 |
| 黄 琪 | 张克胜 | 陈洪敏 |
| 钟 国 | 王忠涛 | 陈宏鸣 |
| 秦仕伟 | 沈 扬 | 张体浪 |
| 卜亚军 | 杜 恒 | 王新泽 |
| 王成建 | 刘 欣 | 张继兵 |
| 车 平 | 杜风雷 | 邓华锋 |
| 孟永东 | 赵 祯 | 郝耀虎 |

主要审查人：

**目 次**

[1 总 则 1](#_Toc105268341)

[2 术语和符号 2](#_Toc105268342)

[2.1 术语 2](#_Toc105268343)

[2.2 符号 3](#_Toc105268344)

[3 基本规定 4](#_Toc105268345)

[4 材 料 6](#_Toc105268346)

[4.1 桩基 6](#_Toc105268347)

[4.2 桥面板 6](#_Toc105268348)

[4.3 换热管 6](#_Toc105268349)

[4.4 换热流体介质 7](#_Toc105268350)

[5 能量桩桥面主动式除冰融雪系统构成 8](#_Toc105268351)

[5.1 一般规定 8](#_Toc105268352)

[5.2 除冰融雪系统 8](#_Toc105268353)

[5.3 监测系统 8](#_Toc105268354)

[5.4 控制系统 9](#_Toc105268355)

[5.5 电源系统 10](#_Toc105268356)

[6 能量桩桥面主动式除冰融雪系统设计计算 11](#_Toc105268357)

[6.1 一般规定 11](#_Toc105268358)

[6.2 桥面板加热系统功率 11](#_Toc105268359)

[6.3 能量桩热交换率 14](#_Toc105268360)

[7 施 工 17](#_Toc105268361)

[7.1 一般规定 17](#_Toc105268362)

[7.2 换热管的运输与安装 17](#_Toc105268363)

[7.3 监测系统的施工 19](#_Toc105268364)

[7.4 控制系统的施工 20](#_Toc105268365)

[7.5 电源系统的施工 20](#_Toc105268366)

[8 检测与验收 21](#_Toc105268367)

[8.1 安装前检测 21](#_Toc105268368)

[8.2 安装中检测 21](#_Toc105268369)

[8.3 完工检测 21](#_Toc105268370)

[8.4 质量验收 22](#_Toc105268371)

[8.5 竣工验收 22](#_Toc105268372)

[9 监测与运维 24](#_Toc105268373)

[附录A 25](#_Toc105268374)

[附录B 26](#_Toc105268375)

[本标准用词说明 27](#_Toc105268376)

[引用标准名录 28](#_Toc105268377)

附：条文说明

**Contents**

[1 General Provisions 1](#_Toc105254246)

[2 Terms and Sympols 2](#_Toc105254247)

[2.1 Terms 2](#_Toc105254248)

[2.2 Sympols 3](#_Toc105254249)

[3 Basic Requirements 4](#_Toc105254250)

[4 Material 6](#_Toc105254251)

[4.1 Pile Foundation 6](#_Toc105254252)

[4.2 Bridge Deck 6](#_Toc105254253)

[4.3 Heat Exchange Pipes 6](#_Toc105254254)

[4.4 Heat Carrier Medium 7](#_Toc105254255)

[5 Composition of Active Bridge Deck Deicing System Using Energy Piles 8](#_Toc105254256)

[5.1 General Provisions 8](#_Toc105254257)

[5.2 Deicing System 8](#_Toc105254258)

[5.3 Monitoring System 8](#_Toc105254259)

[5.4 Control System 9](#_Toc105254260)

[5.5 Power System 9](#_Toc105254261)

[6 Design of Active Bridge Deck Deicing System Using Energy Piles 10](#_Toc105254262)

[6.1 General Requirements 10](#_Toc105254263)

[6.2 Heating Power of Bridge Deck 10](#_Toc105254264)

[6.3 Heat Exchange Rate of Energy Piles 13](#_Toc105254265)

[7 Construction 15](#_Toc105254266)

[7.1 General Provisions 15](#_Toc105254267)

[7.2 Transport and Installation of Heat Exchange Pipes 15](#_Toc105254268)

[7.3 Construction of Monitoring System 17](#_Toc105254269)

[7.4 Construction of Control System 18](#_Toc105254270)

[7.5 Construction of Power System 18](#_Toc105254271)

[8 Inspecton and Acceptance 19](#_Toc105254272)

[8.1 Prior Installation Check 19](#_Toc105254273)

[8.2 Installation Check 19](#_Toc105254274)

[8.3 Pose Installation Check 19](#_Toc105254275)

[8.4 Quality Acceptance 20](#_Toc105254276)

[8.5 Completion Acceptance 20](#_Toc105254277)

[9 Monitoring, Operation and Maintenance 22](#_Toc105254278)

[Appendix A 23](#_Toc105254279)

[Appendix B 24](#_Toc105254280)

[Explanation of Wording in This Standard 25](#_Toc105254281)

[List of Quoted Standards 26](#_Toc105254282)

Addition: Explanation of Provisions

1 总 则

**1.0.1** “双碳”背景下，为规范能量桩桥面主动式除冰融雪系统的设计、技术要求、施工、检测与验收及运行维护，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、环境保护，制定本标准。

**【条文说明】1.0.1** 本标准规定了能量桩桥面主动式除冰融雪系统的设计、技术要求、施工、检测与验收及运行维护，为能量桩桥面主动式除冰融雪系统的实际应用与管理提供技术指导及质量控制标准。

**1.0.2** 本标准适用于以公路桥梁桩基础为载体、利用浅层地温能进行桥面工程除冰融雪系统的设计、技术要求、施工、检测与验收及运行维护。

**【条文说明】1.0.2** 结合目前能量桩桥面主动式除冰融雪系统在桥面工程除冰中实际应用情况，规定本标准适用于新建、既有混凝土桥梁中能量桩桥面主动式除冰融雪系统的设计、技术要求、施工、检测与验收及运行维护。

**1.0.3** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统的设计、施工、验收和运营维护除应符合本标准外，尚应符合国家先行有关标准的规定。

**【条文说明】1.0.3** 本标准应用过程中应结合国家标准、行业标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《城市桥梁设计规范》CJJ 11《综合布线系统工程设计规范》GB 50311、《电气装置安装工程低压电器施工及验收规范》GB 50254、《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303、《低压电气装置第5-52部分：电气设备的选择和安装布线》GB/T 16895.6和行业标准《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438、《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

**2.1.1** 能量桩（或称能源桩） energy pile

在传统桩基中埋设充满换热介质的换热管，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** 桥面板加热系统 bridge deck heating system

在传统桥面板中埋设充满换热介质的换热管，使其具有加热融雪化冰功能。

**2.1.3** 浅层地温能 shallow geothermal energy

蕴藏在浅层地表层的土壤、岩石、水源中的可再生能源。

**2.1.4** 换热管 heat exchange pipe

换热管是指能量桩和桥面板加热系统中，用于储存和传输换热介质的管材。

**2.1.5** 换热介质 heat exchange medium

储存于换热管中，与能量桩、桥面板进行地热能交换的换热介质。

**2.1.6** 混凝土铺装层 Concrete paving layer

用于浇注填充桥面的混凝土层。

**2.1.7** 最小弯曲半径 minimum bending radius

换热管弯折所允许的最小回转半径。

**2.1.8** 监测系统 monitoring system

通过实时采集包括路面温度等信息，对环境状况进行实时监测。

**2.1.9** 控制系统 control system

通过监测系统采集的数据参数，控制循环加热系统的工作，可以达到自动、实时融雪化冰的效果。

**2.1.10** 电源系统 power system

给系统提供电能的装置。

**2.1.11** 地源热泵机组 ground source heat pump

以土壤、地下水为低温热源，采用循环流动于公共管路中的换热介质制取冷（热）水的设备。

2.2 符号

|  |  |
| --- | --- |
| *q0*—— | 桥面板的加热功率[W/m2]； |
| *qs*—— | 雪融化的显热[W/m2]； |
| *qm*—— | 雪融化的潜热[W/m2]； |
| *qh*—— | 桥面板的对流以及辐射热通量[W/m2]； |
| *qe*—— | 雪水蒸发的潜热[W/m2]；单位括号应统一 |
| *Ar*—— | 为无积雪面积比； |
| *Af*—— | 路面无雪面积[m2]； |
| *At*—— | 路面除雪区域的总面积[m2]； |
| *ρwater*—— | 水的密度[kg/m3]； |
| *s*—— | 降雪率水当量[mm/h]； |
| *cp,ice*—— | 冰的比热容[J/(kg·K)]； |
| *Tsi*—— | 冰的融化温度[℃]； |
| *T0*—— | 为环境温度[℃]； |
| *Tfi*—— | 液膜温度，通常取0.56℃； |
| *cp,water*—— | 水的比热容[J/(kg·K)]； |
| *c1*—— | 可取值为3.6×106； |
| *hif*—— | 冰的熔化热[J/kg]。 |
| *hc*—— | 对流换热系数[W/m2·K]，与风速有关； |
| *σ*—— | 黑体辐射系数，5.67×10-8[W/m2·K4]； |
| *εs*—— | 桥面辐射率，沥青混凝土铺装层取0.96； |
| *TMR*—— | 天空辐射温度[K]，下雪天一般采用空气温度。 |
| *hm*—— | 水蒸发时的传质速率[m/s]； |
| *hfg*—— | 水的蒸发潜热[kJ/kg]，可取值2499； |
| *Wf*—— | 饱和空气湿度比； |
| *Wa*—— | 空气湿度比。 |

3 基本规定

**3.0.1** 降雪前应根据我国法律的有关规定，做好除雪或除冰的技术准备工作和应急预案。

**3.0.2** 降雪前应做好除雪或除冰系统的维修、保养、调试。

**【条文说明】3.0.2** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统的运行期主要集中在冬季，其余期间系统基本处于长时间关闭状态。每年冬季之前应进行设备试运行，以确保路面结冰时系统能正常运行。

**3.0.3** 应根据当地的气候条件、浅层地温能分布情况、桥梁桩基和桥面板结构形式等因素，对能量桩桥面主动式除冰融雪系统应用的可行性和经济性进行评估。

**【条文说明】3.0.3** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统的合理使用需要多学科和多工种的协调配合。在系统最初的设计阶段，需要桥梁工程师、岩土工程师、暖通工程师、电气工程师相互配合。新建桥梁施工过程中，将换热管直接埋设在桩基和桥面混凝土铺装层内部是经济、安全的措施，此过程需要专业的管道工程师与施工单位配合。既有桥梁，换热管埋设在桥面板下方并需要保温层覆盖。在冬季气温极端寒冷地区，能量桩桥面主动式除冰融雪系统中应考虑增加热泵或其它辅热装置。

**3.0.4** 在桥梁桩基岩土工程地质勘查过程中，同时应进行岩土热物性勘查、浅层地温能资源勘查和地下水渗流勘查。

**【条文说明】3.0.4** 能量桩的地热提取性能与桩周岩土体的热物性紧密相关。另外，由于浅层地温能在地表土体中的分布及存储会受到气温的影响，因此不同气候地区地表土层中的浅层地温能分布不同，从而会影响到能量桩的地热提取性能，故应进行浅层地温能资源勘查。地下水渗流对地热平衡有很重要的作用，会影响桩基地热能利用的效率。

**3.0.5** 能量桩桥面主动式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。

**【条文说明】3.0.5** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统的搭建需要在桥面板、桩基施工的同时，在桥面板和桩基中埋设换热管。因此，具备完整的桩基和桥梁结构的设计施工资料有助于确定换热管的最佳埋设位置及埋设方案，同时也有助于评估换热管埋设对桥梁结构力学性能的影响。

**3.0.6** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统在满足桥面融雪除冰的要求外，还不得影响桩基和桥面板结构的安全和正常使用。

**【条文说明】3.0.6** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统正常与合理运行时，能量桩和土体的温度变化对桩基的承载力影响是可以忽略的。当能量桩位于黏土中时，冷热交替会导致桩基产生累计沉降，这一效应在砂土地基中相对不明显。因此对于地基土以黏土为主的地区，能量桩桥面主动式除冰融雪系统应用前，应根据现场地基土力学参数和桥梁设计参数建立三维数值模型或者进行离心机模型试验，评估长期温度循环引起的能量桩长期沉降量的大小。

**3.0.7** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统在施工各阶段应对能量桩和桥面板内的换热管进行压力和渗漏测试，并在施工完成后进行整体验收；在系统交付使用应前进行整体运转测试。

**3.0.8** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统验收应符合现行行业标准《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438，还应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《公路桥涵设计通用规范》JTG D60和《城市桥梁设计规范》CJJ 11的相关规定。

**3.0.9** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统投入使用后，应对地温和系统工作性能进行长期监测。

**【条文说明】3.0.9** 工程实践表明，冷热交替循环作用下，能量桩的地热提取效率在前3次循环过程中较为显著，随着循环次数增加能量桩的地热提取效率逐渐趋于平稳，因此，在能量桩桥面主动式除冰融雪系统投入使用后应进行长期监测，测试能量桩的稳定性。

4 材 料

4.1 桩基

**4.1.1** 桩身混凝土骨料应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010的规定。

**4.1.2** 应增大桩身混凝土的导热系数，导热系数最小值应符合《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438中6.3节的规定。

**【条文说明】4.1.2** 桩身混凝土的配合比应综合考虑能量桩的力学性能、施工、换热性能。在满足桩身力学性能和施工要求的前提下，应选用导热系数较高的骨料或使用高导热性能的添加剂来提高桩身的导热性能，从而提高能量桩的地热提取性能。

4.2 桥面板

**4.2.1** 桥面板铺装层材料应符合现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11和《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的相关规定。

**4.2.2** 应使用导热系数较高的混凝土作为桥面铺装层材料，路面沥青混凝土也应采用热传导系数较高的材料。

**【条文说明】4.2.2** 对于带有混凝土铺装层的桥梁结构，换热管一般优先考虑埋设在混凝土铺装层内，选用的铺装层混凝土配合比应在满足铺装层力学性能和施工要求的前提下，应选用导热系数较高的骨料或使用高导热性能的添加剂来提高桥面板的导热性能，从而提高桥面板的融雪效率。

4.3 换热管

**4.3.1** 换热管材质应选用韧性、拉伸压缩等力学性能良好、流动阻力较小的塑料管及管件，依据现行标准《地源热泵系统用聚乙烯管材及管件》CJ/T 317的规定，宜采用聚乙烯管或聚丁烯管。当桩基设有声测管时，可在声测管绑扎时用U型弯头将声测管地段连接形成U型管，作为能量桩的换热管。

**【条文说明】4.3.1** 由于能量桩桥面主动式除冰融雪系统属于隐蔽工程，桥面板和桩基内的换热管一旦损坏难以更换，因此应采用使用寿命较长、力学和耐腐蚀性能好的管材作为换热管。换热管使用寿命应不低于桥梁的设计使用年限。将声测管作为换热管，既可节省材料成本，又可有效减少换热管埋设对桩体力学性能的不利影响。

**4.3.2** 管件与管材采用同一材质。

**【条文说明】4.3.2** 管件与管材使用同一材质有助于提高管件和管材之间连接的安全性及可操控性。

**4.3.3** 换热管应具有较高的导热系数和良好的耐腐蚀性。

**【条文说明】4.3.3** 换热管壁采用较高导热系数的材质有助于减小换热流体介质与桩身混凝土之间的热阻。

**4.3.4** 换热管外径及壁厚应符合《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366中附录A的规定。

**4.3.5** 换热管最小弯曲半径应符合《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438中6.3节的规定。

4.4 换热流体介质

**4.4.1** 换热流体介质一般为添加防冻剂的水溶液或者防冻液。

**【条文说明】4.4.1** 由于能量桩桥面主动式除冰融雪系统的运行主要集中在寒冬季节，因此换热流体介质的选用除应满足现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366外，还应考虑极端寒冷气候中换热流体介质的工作性能。

**4.4.2** 换热流体介质不与换热管发生化学反应，换热介质的冰点低于系统设计最低运行温度。

5 能量桩桥面主动式除冰融雪系统构成

5.1 一般规定

**5.1.1** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统一般由除冰融雪系统、监测系统、控制系统、电源系统四部分构成。

**5.1.2** 除冰融雪系统主要包括桥面板加热系统、能量桩系统和热泵三部分构成，如图5.1.2所示。桥面板加热系统是将换热管埋设在桥面板内部而形成的一种换热装置，能量桩系统是将换热管埋设在桥梁桩基内部构成的一种桩埋管换热器。

**【条文说明】5.1.2** 当能量桩系统提取的地热能量能够满足桥面板加热系统的融雪需求时，系统可不开启热泵，能量桩系统换热管出口直接与桥面板加热系统换热管入口连接，如图5.1.2中虚线所示。

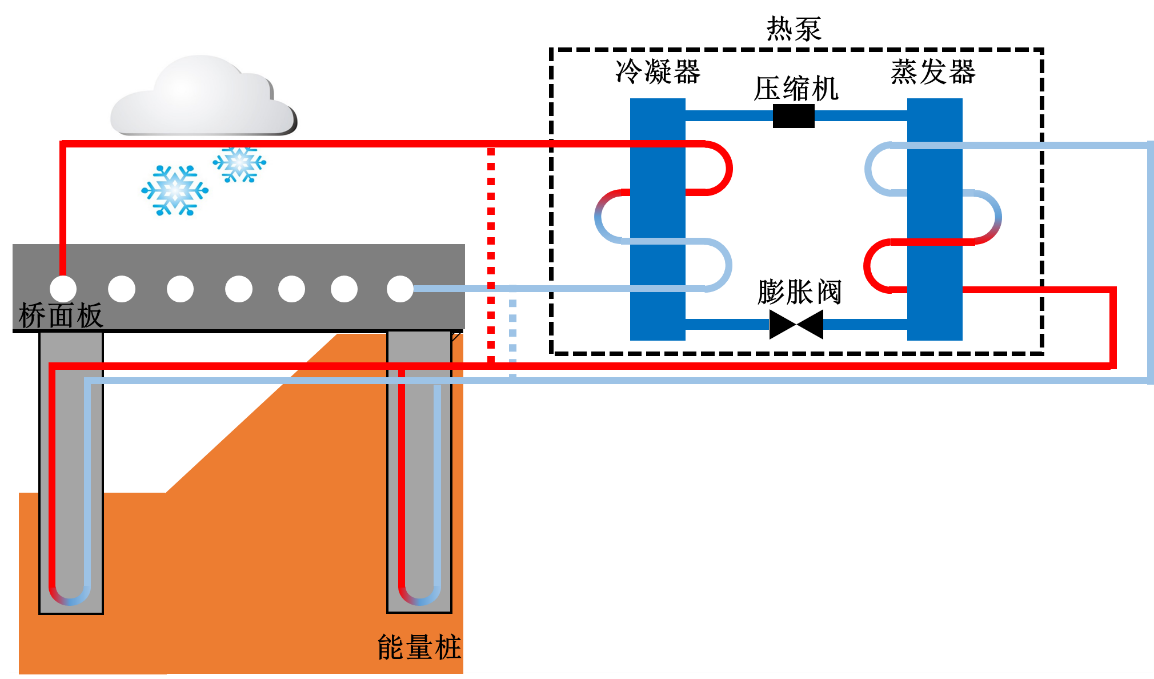


图 5.1.2 除冰融雪系统示意图

5.2 除冰融雪系统

**5.2.1** 系统循环泵、地源热泵机组或辅热设备的额定工作电压为220/380 V。

**5.2.2** 平均每根能量桩所需的循环水泵额定功率不应小于300 W，扬程不应小于40 m。

**【条文说明】5.2.2** 循环水泵的总功率和扬程应根据系统所包含的能量桩总数以及换热管的布置形式确定。当对于超长桩基或换热管弯曲回路较多的布置形式，需开展数值模拟确定循环液体流动所需的扬程，根据模拟结果确定水泵扬程。

5.3 监测系统

**5.3.1** 线路连接。检测系统的线路连接应满足下列规定：

**1** 系统线路的设计应符合《综合布线系统工程设计规范》GB 50311中的规定；

**2** 系统和温度传感器的导线不应在现场简单连接，且导线接头应可靠、密封、并保持接地的连续性；

**3** 系统和温度传感器导线应采用接线盒进行封装；

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

**5.3.2** 流量计

**1** 流量计公称通径宜等于换热管直径；

**2** 流量计量程应根据换热管数量确定，单根能量桩流量应满足0.1～3 m3/h；

**3** 流量计公称压力要满足循环管路压力要求。

**5.3.3** 温度传感器。温度传感器应满足以下条件：

**1** 能精确测量桥面板的温度状况，测量精度≤0.1 ℃；

**2** 量程应满足-30 ℃ ～ +70 ℃；

**3** 分辨率不应大于0.1 ℃；

**4** 数据采集间隔时间应满足10～600 s要求。

**【条文说明】5.3.3** 为了实现能量桩桥面主动式除冰融雪系统的智能化控制，需要在桥面板和能量桩埋设温度传感器。冬季，需对桥面板的温度实时监测，系统根据桥面板温度反馈自动选择开启的时间。另外，研究结果表明，桩体及周围岩土体的热平衡对维持能量桩长期的地热提取效率具有重要影响，系统运行过后需对能量桩的温度进行监测，根据监测结果分析能量桩及周围土体的热平衡状态，并确定夏季太阳能地热存储的必要性。

5.4 控制系统

**5.4.1** 能够自动采集系统温度、流量数据并进行分析。

**5.4.2** 能够对桥梁路面表面温度进行实时测量。

**5.4.3** 具有控温功能，当桥面板温度达到设定值上限或路面表面温度高于0℃时停止系统，桥面板温度达到下限时开启系统。

**5.4.4** 显示屏，能够实时显示系统运行的工作状态、当前温度等参数。

**5.4.5** 控制系统应具有数据自动存储功能。

**5.4.6** 可通过网络进行远程控制。

5.5 电源系统

**5.5.1** 电源系统应符合《低压成套开关设备和控制设备第一部分：总则》GB 7251.1的规定。

**5.5.2** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统应配备发电机设备，现场无法接入电源或断电时由发电机设备提供必要的电能。

6 能量桩桥面主动式除冰融雪系统设计计算

6.1 一般规定

**6.1.1** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统主要由能量桩、桥面板加热系统、地源热泵机组、监测系统和控制系统组成。

**6.1.2** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统的设计计算主要包括桥面板加热系统功率和能量桩热交换率两方面。

**【条文说明】6.1.2** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统主要通过能量桩提取地温能供给桥面板用于除冰融雪，能量桩的设计要考虑工程地质和地热分布，同时还要结合地下水条件。极端寒冷气候地区，应依据当地气候资料、相关计算方法、数值模拟结果对能量桩和桥面板内换热管的数量和布置方式进行必要的初步设计，并从能量供需角度分析利用能量桩进行桥面除冰融雪的可行性，以及分析是否采用其它类型辅热系统的必要性。

6.2 桥面板加热系统功率

**6.2.1** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统融雪所需的热量主要受到以下因素影响：1）降雪率；2）下雪期间环境温度；3）空气湿度；4）面板表面风速；5）加热面板的几何形状。

**【条文说明】6.2.1** 系统设计计算前，应依据以上提到的5个影响因素，搜集当地的气候、降雪资料，为桥面板加热系统功率的计算提供依据。

**6.2.2** 根据收集当地冬季气候和降雪资料，利用公式6.2.2对单位面积桥面板融雪所需的加热功率进行估算：

（6.2.2）

式中：

|  |  |
| --- | --- |
| *q0*—— | 桥面板的加热功[W/m2]； |
| *qs*—— | 雪融化的显热[W/m2]； |
| *qm*—— | 雪融化的潜热[W/m2]； |
| *qh*—— | 桥面板的对流以及辐射热通量[W/m2]； |
| *qe*—— | 雪水蒸发的潜热[W/m2]； |
| *Ar*—— | 为无积雪面积比。 |

**6.2.3** 系统融雪所需的能量计算，需考虑不同融雪需求下路面积雪的最终状态，采用无积雪面积比*Ar*（*0≤Ar*≤1）来计算路面积雪最终的状态，通过公式6.2.3计算：

(6.2.3)

式中：

|  |  |
| --- | --- |
| *Af*—— | 路面无雪面积； |
| *At*—— | 路面融雪区域的总面积。 |

**【条文说明】6.2.3** 对于车流量较大的桥梁，无积雪面积比*Ar*应该选为1，以保证路面无积雪，但此运行状态融雪所需的能量较高，会导致较大的系统运行成本；对于车流量不太大的桥梁，可选用较小的*Ar*值以降低系统的运行成本。

**6.2.4** 系统融雪所需的显热*qs*通过公式6.2.4计算：

(6.2.4)

式中：

|  |  |
| --- | --- |
| *ρwater*—— | 水的密度[kg/m3]； |
| *s*—— | 降雪率水当量[mm/h]； |
| *cp,ice*—— | 冰的比热容[J/(kg·K)]，建议取值为2100 J/(kg·K)； |
| *Tsi*—— | 冰的融化温度[℃]，通常取为0℃； |
| *T0*—— | 为环境温度[℃]； |
| *Tfi*—— | 液膜温度，通常取0.56℃； |
| *cp,water*—— | 水的比热容[J/(kg·K)]，通常取4200 J/(kg·K)； |
| *c1*—— | 为系数，可取值为3.6×106。 |

**6.2.5** 系统融雪所需的潜热*qm*通过公式6.2.5计算：

(6.2.5)

式中：

|  |  |
| --- | --- |
| *hif*—— | 冰的熔化热[J/kg]。 |

**6.2.6** 桥面板的对流及辐射热通量*qh*通过公式6.2.6计算：

(6.2.6)

式中:

|  |  |
| --- | --- |
| *hc*—— | 对流换热系数[W/m2·K]，与风速有关，建议取值为11 + 4.1*v*，*v*为风速。 |
| *σ*—— | 黑体辐射系数，5.67×10-8[W/m2·K4]； |
| *εs*—— | 桥面辐射率，沥青混凝土铺装层取0.96； |
| *TMR*—— | 天空辐射温度[K]，下雪天一般采用空气温度。 |

**6.2.7**  路面雪水蒸发的潜热*qe*通过公式6.2.7计算：

(6.2.7)

式中:

|  |  |
| --- | --- |
| *hm*—— | 水蒸发时的传质速率[m/s]； |
| *hfg*—— | 水的蒸发潜热[kJ/kg]，可取值2499 kJ/kg； |
| *Wf*—— | 饱和空气湿度比； |
| *Wa*—— | 空气湿度比。 |

**6.2.8** 桥面板的除冰效果受换热管铺设形式的影响，常见的铺设形式有直列型、往复型和旋转型三种，如图6.2.8所示。

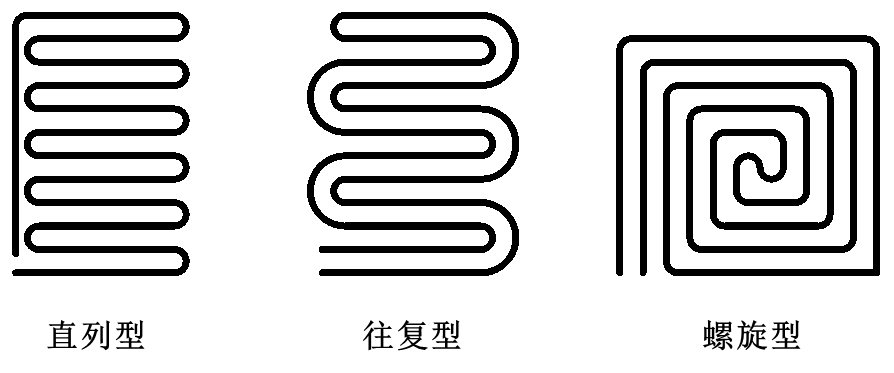


图6.2.8 常见换热管敷设形态

**【条文说明】6.2.8** 对于分区面积较大的区域不宜使用直列型的埋管形式，以保证桥面板能均匀受热。

**6.2.9** 新建桥梁，桥面换热管宜铺设在桥面板的混凝土铺装层内。

**【条文说明】6.2.9** 混凝土铺装层会对换热管起到一定的保护作用，且将换热管埋设在混凝土铺装层内，会降低换热管的铺设对路面沥青混凝土施工的影响。

**6.2.10** 既有桥梁，桥面换热管宜铺设在桥面板底部，且换热管铺设完毕后，应在换热管和桥面板底部设置泡沫保温层，厚度为5～10 cm，如图6.2.10所示。



图6.2.10 既有桥梁换热管埋设示意图

**【条文说明】6.2.10** 在换热管和桥面板底部设置泡沫保温层，有助于减少热量的散失，从而使更多的热量用于桥面板加热。

**6.2.11** 当桥面板面积较大时，桥面板换热管应分区埋设，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。

**【条文说明】6.2.11** 随着换热流体介质在换热管内流动和对流换热，换热流体介质的温度会沿程降低，因此桥面板面积较大时，换热管铺设时要对桥面板分区，不同分区换热管之间采用并联连接方式。

**6.2.12** 桥面板上表面和内部应设置温度传感器，桥面板内部的传感器与换热管处于同一水平面，且与换热管间距为10～20cm，每个高度处温度传感器数量至少3个。

6.3 能量桩热交换率

**6.3.1** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统中，能量桩的初步设计所需资料应包括下列内容：

**1** 桥面板的面积及加热功率；

**2** 桥梁结构中可利用的桩数及桩基结构布置形式；

**3** 桩基与地基土的热物性参数；

**4** 地基土的温度场分布。

**6.3.2** 根据可利用的桩数、能量桩的结构形式和单根能量桩的热交换率等参数，估算系统能量桩的总热交换率。能量桩的热交换率取值可参考表6.3.2。

表6.3.2 能量桩热交换率

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **物质** | **土体类型** | **热交换率**（W/m） | |
| **放热** | | **吸热** |
| 混凝土桩 | 粗粒 | 15-60，最大110 | 25-45 |
| 细粒 | 35，最大220 | 30-50 |

**6.3.3** 当现场条件、工期条件符合要求时，应通过能量桩的热性能测试（TPT），确定单根能量桩的热交换率，试验桩数不少于3根。能量桩热性能测试中能量桩换热介质进口温度宜为0～2℃。

**【条文说明】6.3.3** 能量桩热交换率受地温分布、地质条件、水位地质条件等多因素影响，因此开展能量桩热性能测试能更直接、准确地确定能量桩热交换率的取值大小。

**6.3.4** 系统能量桩的总热交换率应大于桥面板的加热功率，当能量桩的总热交换率不足时，应在系统设置地源热泵机组或其他辅热设备。

**【条文说明】6.3.4** 系统应采取良好的保温措施，以保证能量桩提取的地热能可以全部用于桥面加热融雪。

**6.3.5** 能量桩换热管的布置形式应满足《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438中6.2节的规定。

**6.3.6** 各能量桩换热管宜采用并联连接，且各能量桩换热管应满足水力平衡，并应根据现行国家标准《地源热泵系统工程技术规范》GB50366的相关规定进行管路的水力计算。

**6.3.7** 换热流体介质流速的确定应考虑介质的密度、动力粘度和管道的尺寸，并应使换热介质的雷诺数达到湍流状态。

**【条文说明】6.3.7** 研究表明，当换热流体介质达到湍流状态有助于提高换热流体介质的换热效率。

**6.3.8** 能量桩内部不同深度处应设置至少3个温度传感器，当能量桩温度出现随使用年限增加逐渐减小的现象时，系统除冰融雪运行后的夏天应打开循环系统，进行太阳能热存储等浅层地温能热平衡。

**【条文说明】6.3.8** 研究结果表明，桩体及周围岩土体的热平衡对维持能量桩长期地热提取效率具有重要影响。若条件允许，应根据气候、降雪、地温等条件，在系统设计阶段开展数值模拟来预估系统长期运行对地温分布的影响；另外，当系统连续运行导致地温下降时，应通过数值模拟论证夏季利用太阳能地热存储进行地热补充的可行性。

7 施 工

7.1 一般规定

**7.1.1** 施工前应具备地勘资料、桥体和桩基设计图和施工图，并完成技术交底。

**7.1.2** 施工单位应具有桩基工程的施工资质，工程质量验收人员除了应具备桩基检测的专业技术资质。

**7.1.3** 施工前换热管、传感器等进场检验必须合格，并满足安装要求。。

**7.1.4** 施工现场应具有供水或供电条件，应有储放材料的临时设施，应具备换热管测试打压和温度传感器标定的条件。

**【条文说明】7.1.4** 能量桩和桥面板内换热管的连接一般需设置接头，因此在换热管绑扎完成后且混凝土浇筑之前，应进行打压测试，此步骤无法在施工前或施工后完成，因此在施工现场需具备相应的测试条件。

**7.1.5** 施工单位应编制施工组织设计或施工方案，方案经批准后方可施工。

**【条文说明】7.1.5** 桩基、桥梁结构施工前一般应编制施工组织设计，对于能量桩和带有换热管的桥面板施工，还应编制能量桩专项施工组织设计。

7.2 换热管的运输与安装

**7.2.1** 施工中换热管的运输、存储应符合下列规定：

**1** 换热管两端口运输和安装过程中应加上保护帽，保护帽在系统连接时去掉；

**2** 运输、装卸和搬运时，换热管应小心轻放，不得拖拽、挤压；

**3** 换热管存放应远离热源。

**7.2.2** 换热管安装前应根据设计方案进行裁剪以满足长度要求，裁剪完成后两端通过管帽封口。

**7.2.3** 能量桩换热管如需管件进行分段连接，应在换热管绑扎前进行热熔连接；若管件数量较多，还应在绑扎前进行换热管打压测试。

**7.2.4** 钻孔灌注型能量桩换热管应紧贴钢筋笼绑扎，换热管应牢固绑扎在钢筋笼内侧，绑扎间距不宜大于500mm。

**【条文说明】7.2.4** 桩基钢筋笼下放钻孔时，钢筋笼极易与孔壁发生摩擦，因此换热管需绑扎在钢筋笼内侧以起到保护换热管作用。另外，换热管应与钢筋笼牢固绑扎，避免因换热管松动造成混凝土导管与换热管的剐蹭。

**7.2.5** 横截面方向换热管的位置应均匀分布。

**【条文说明】7.2.5** 横截面方向上若换热管分布不均匀，容易造成能量桩温度沿水平方向分布不均匀，从而造成热应力和变形的非均匀性，因此应使换热管在横截面方向上均匀分布。

**7.2.6** 钢筋笼较长时需分段焊接连接，此时换热管应分段绑扎；换热管应按照桩基钢筋笼的总长进行裁剪和长度预留，避免分段焊接。

**【条文说明】7.2.6** 钢筋笼焊接过程中若同时进行换热管的连接，容易造成换热管接头焊接质量差的问题。

**7.2.7** 当钢筋笼较长换热管分段绑扎时，最下段钢筋笼上换热管绑扎应在钢筋笼入孔前绑扎完毕，剩余钢筋笼上换热管绑扎采用边下放钢筋笼，边绑扎换热管的形式。

**7.2.8** 钢筋笼分段连接宜采用螺栓连接方式，若钢筋笼采用焊接连接，应待钢筋笼降至气温后再进行焊接位置处换热管绑扎；

**【条文说明】7.2.8** 钢筋笼焊接过程中极易造成换热管的热损伤，若钢筋笼采用焊接方式进行连接，应在换热管表面用软套管进行保护，待钢筋笼焊接点温度降至气温后，取下保护软套管，再将换热管绑扎在钢筋笼。

**7.2.9** 钢筋笼下放入钻孔时，吊钩不可接触到换热管；

**7.2.10** 能量桩顶部1.0 m范围内，换热管外侧应有钢套管进行保护；

**【条文说明】7.2.10** 工程桩施工完成且达到混凝土龄期后一般会进行剔除桩头浮渣和截取多余桩段的作业，此过程容易造成换热管的破坏，因此在能量桩顶部1.0 m范围内，换热管外侧应套有钢保护套以起到保护换热管作用。

**7.2.11** 桥面板换热管绑扎时不宜与其他工种交叉施工作业，所有地面预留孔洞应在桥面铺装层混凝土浇筑前完成；

**【条文说明】7.2.11** 桥面围栏等结构的施工一般需进行桥面板打孔的作业，此过程容易造成桥面板内换热管的损坏，因此地面预留孔洞应在桥面铺装层混凝土浇筑前完成。

**7.2.12** 新建桥梁，桥面板换热管绑扎在桥面铺装层钢筋挂网上侧；

**7.2.13** 既有桥梁，换热管应通过管卡固定在桥面板下侧，然后利用发泡保温材料进行保温处理；

**7.2.14** 桥面板换热管安装时不能进行踩踏和挤压；换热管回转半径较小处应利用弯管器进行弯折；

**7.2.15** 桥面板换热管单程不宜设置管件接头；

**7.2.16** 能量桩和桥面板温度传感器导线需用护线管进行保护；

**【条文说明】7.2.16** 桩基和桥面板混凝土振捣时容易造成传感器导线的损坏，因此在导线外侧用护线管加以保护。

**7.2.17** 能量桩和桥面板混凝土浇筑前换热管应进行保压处理；

**7.2.18** 能量桩桩头处理和截桩应避免破坏换热管及钢保护套，宜采用限位措施进行钢保护套的切除；

**7.2.19** 能量桩和桥面板换热管施工完成后，应按照《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438中9.3节的要求进行压力测试及冲洗；

**7.2.20** 施工结束后应绘制竣工图，并应准确标注能量桩和桥面板内换热管及传感器埋设位置；

**7.2.21** 桥面板和能量桩施工结束后，其换热管应与地源热泵机组进行连接。

7.3 监测系统的施工

**7.3.1** 能量桩内部温度传感器应安装在未设置换热管的纵向钢筋上；

**【条文说明】7.3.1** 换热管附近容易产生温度集中，该位置的温度不能代表能量桩体的温度。另外，当换热管和温度传感器绑扎在同一钢筋笼时，二者的间隙过小容易导致混凝土填充不密实，从而影响能量桩的传热与受力特性。因此应将温度传感器安装在未设置换热管的钢筋上。

**7.3.2** 桥面板内部温度传感器应置于相邻两根换热管中间位置；

**【条文说明】7.3.2** 换热管附近容易产生温度集中，该位置的温度不能代表桥面板的温度。实测结果表明，桥面板相邻两根换热管中间位置处桥面板的温度最低，因此应将温度传感器安装在相邻两根换热管中间位置，可以保证桥面板的平均温度高于监测值，是一种保守的方法。

**7.3.3** 桥面板表面温度传感器上表面应与路面相平；

**【条文说明】7.3.3** 桥面板表面温度传感器应该在桥面沥青混凝土层施工结束后，在沥青混凝土层表面开槽，将传感器和导线设置在槽内，然后用环氧树脂回填；桥面板表面温度传感器应设置在车流量较少的行车道，并设置在靠近路边的位置，避免被车辆轮胎碾压损坏。

**7.3.4** 系统中所有温度传感器导线端头处应密封绝缘；

**7.3.5** 能量桩与桥面板内的传感器埋设完毕后，所有导线连接至控制箱。

7.4 控制系统的施工

**7.4.1** 控制箱应与地源热泵机组放置在临近位置，应使控制效果最佳、易察、便于操作；

**7.4.2** 现场应设置设备间用于放置控制箱和地源热泵机组，且应防腐、防水、防雾；

**7.4.3** 控制系统的电气施工应符合《电气装置安装工程低压电器施工及验收规范》GB 50254和《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303的规定；

**7.4.4** 控制系统弱电部分布线应符合《综合布线系统工程设计规范》GB 50311的规定；

**7.4.5** 控制箱和地源热泵机组应离地面1.0 m以上；

**7.4.6** 设备间外侧应设置护栏和警示标志。

7.5 电源系统的施工

**7.5.1** 电源系统的强电部分布线应符合《低压电气装置第5-52部分：电气设备的选择和安装布线》GB/T 16895.6的规定。

8 检测与验收

8.1 安装前检测

**8.1.1** 检查换热管及外包装的外观是否完好，换热管两端应该有管帽封堵；

**8.1.2** 换热管包装拆除后，检查换热管是否有弯折、压瘪、损坏等问题；

**【条文说明】8.1.2** 工程材料检验是工程施工中必不可少的环节，本条对换热管的检验做了更明确的要求。

**8.1.3** 检查温度传感器外壳是否损坏，检查温度传感器和导线接头是否正常，接头应牢固、密封严实；

**【条文说明】8.1.3** 温度传感器构造相对复杂，施工过程中传感器更易损坏，且传感器一旦埋设后难以更换，因此应严格按照本条对温度传感器进行检验。

**8.1.4** 测试温度传感器是否读数正常，并利用水浴法进行标定；

**8.1.5** 检查桥面板铺装层钢筋挂网和桩基钢筋笼是否按施工图施工绑扎焊接，并检查钢筋表面焊接处是否存在尖锐凸起等问题。

**【条文说明】8.1.5** 严格的施工过程和细致的施工检查不仅会提高施工质量，还会有效避免因施工造成的换热管损坏问题。

8.2 安装中检测

**8.2.1** 在桥面铺装层和桩基混凝土浇筑前，检查换热管、传感器位置和间距是否按设计要求进行，绑扎是否有松动；

**8.2.2** 换热管与管件采用热熔连接，检查管路热熔连接部位是否完好；

**【条文说明】8.2.2** 换热管连接和焊接的可靠性是能量桩桥面主动式除冰融雪系统的重要质量控制环节。

**8.2.3** 复查传感器与导线相连的接头是否有损坏；

**8.2.4** 检查换热管端口是否密封；

**8.2.5** 测试传感器读数是否正常，并检查传感器导线端头是否密封绝缘。

8.3 完工检测

**8.3.1** 复核能量桩桥面主动式除冰融雪系统各部分之间连接（循环管路与导线连接）是否满足设计要求；

**8.3.2** 系统接通水电，检查有无漏水、漏电、短路问题；

**8.3.3** 检查桥面板、能量桩换热管是否满足水力平衡；

**【条文说明】8.3.3** 水力不平衡会导致部分换热管难以达到正常工作状态，本条明确了各段换热管之间水力平衡的重要性。

**8.3.4** 检查传感器和控制器是否正常工作；

**8.3.5** 对整个能量桩除冰融雪系统进行运行测试，系统应能正常运行。

**8.3.6** 除上述监测内容外，还应按照《建筑桩基技术规范》JGJ 94对桩基进行检测。

**【条文说明】8.3.6** 能量桩是工程桩基和地下换热器两种功能叠加的工程结构，因此还应按照《建筑桩基技术规范》JGJ 94对桩基进行检测和验收。

8.4 质量验收

**8.4.1** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统验收资料，既包括桥梁、桩基等结构的验收资料，也应包括循环管路、传感器、控制系统等验收材料。

**8.4.2** 系统换热管绑扎施工完成，混凝土浇筑施工前，应按隐蔽工程要求进行质量验收，并形成质量验收记录。

**【条文说明】8.4.2** 本条规定了隐蔽工程质量验收的重要性，质量验收结果可按本标准附录A进行填写，只有经检验合格后才允许隐蔽。

**8.4.3** 系统验收应符合下列规定：

**1** 换热管的材料、规格，换热管铺设位置、间距，弯曲半径及规定措施等应符合设计要求；

**2** 地源热泵机组运行参数应符合设计要求；

**3** 传感器埋设位置、精度应符合设计要求；

**4** 系统各部分之间管路连接、导线连接应符合设计要求；

**5** 控制系统的安装应符合设计要求。

8.5 竣工验收

**8.5.1** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统施工完成后，建设单位应组织施工、设计、监理、运营等单位进行验收，竣工验收可按本标准附录B进行填写。

**【条文说明】8.5.1** 本条明确了能量桩桥面主动式除冰融雪系统的验收主体至少包括了四个重要的责任主体。

**8.5.2** 竣工验收时应符合下列规定：

**1** 换热管的埋设形式、数量应符合设计要求；

**2**系统的各部件的连接应符合设计要求；

**3**系统的漏电保护装置及接地应符合设计要求；

**4**循环加热系统压力测试应符合设计要求。

**8.5.3** 竣工验收时应提供下列文件：

**1** 施工图、竣工图和设计变更文件；

**2** 主要设备、换热管、传感器和配件等主要材料的出厂合格证及检验报告；

**3** 材料和产品的现场复验报告；

**4** 换热管焊接、安装记录；

**5** 换热管压力测试记录；

**6** 混凝土浇筑施工记录；

**7** 施工质量和隐蔽工程验收记录；

**8** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统性能检测报告；

**9** 工程使用维权说明书。

**10** 桩基、桥梁结构验收资料。

**【条文说明】8.5.3** 本条规定了能量桩桥面主动式除冰融雪系统的验收包括了桥梁、桩基等传统结构的验收资料，以及换热管、传感器等温控系统在内的验收资料。

9 监测与运维

**9.0.1** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统每年使用前，应检查加热系统、监测系统、控制系统和电源系统是否正常；

**【条文说明】9.0.1** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统的运行期主要集中在冬季，其余期间系统基本处于长时间关闭状态。每年冬季之前应进行设备试运行，以确保路面结冰时系统能正常运行。

**9.0.2** 应利用桩基内的温度传感器对能量桩的温度进行连续监测。当桩体温度出现逐年下降时，除在冬季开启系统用于除冰融雪外，还应在每年夏季开启系统进行地热能补充。

**【条文说明】9.0.2** 能量桩的地热提取效率，不仅与设计、施工有关，与后期运行、维护也有着密切的关系，系统运行状态参数的优化设计，对掌握系统运行状态和提高系统运行效率有着重要意义。研究结果表明，桩体及周围岩土体的热平衡对维持能量桩长期的地热提取效率具有重要影响，本条明确规定能量桩桥面主动式除冰融雪系统的使用应对能量桩的温度进行长期监测，并强调了夏季太阳能地热存储对维持热平衡的重要性。以上做法有助于维持系统长期、稳定、高效的运行。

**9.0.3** 当气温骤降或发生降雪前，应利用桥面板内的温度传感器对桥梁温度进行监测，当桥面板温度低于冰点时，应开启系统对桥面进行加热。

**9.0.4** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统的路面应印有明显标识，不能在桥面板埋设换热管区域进行打洞、钉凿、撞击、高温作业等工作。

**【条文说明】9.0.4** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统中换热管、传感器的施工属于隐蔽工程，本条强调了系统运行过程中应确保换热管和传感器的完好无损。

**9.0.5** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统应进行日常管理以及使用期、停用期检查，并做好记录。

**9.0.6** 能量桩桥面主动式除冰融雪系统发生故障时，应停止使用并与施工方联系及时维修。

附录A

（资料性附录）

质量验收记录表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | |  | | 部件类型 | |  | 检验批数 |  |
| 施工单位 | |  | | 项目经理 | |  | 项目技术  负责人 |  |
| 序号 | 检验部件 | | 检查结果 | | 监理(建设)单位验收结论 | | | |
| 01 |  | |  | |  | | | |
| 02 |  | |  | |  | | | |
| 03 |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
|  |  | |  | |  | | | |
| 检  查  结  论 | 符合要求，同意验收  项目负责人  年 月 日 | | 验收结论 | | 监理工程师：  （建设单位项目技术负责人）  年 月 日 | | | |

附录B

（资料性附录）

竣工验收表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | |  | | | | | | 换热管位置 | | |  | | | |
| 换热管长度 | | |  | | | |
| 系统名称 | |  | | | | | | 保压时间 | | |  | | | |
| 系统验收前施工单位自检查情况 |  | | | | | | | | | | | | | |
| 系统验收检查情况录 | 铺设区域 | | | 查验内容 | | | | 桩号 | | | 查验温度 | | | |
| 换热管数量 | | 测试压力 | | 换热管数量 | | 测试压力 | |
| 桥面 | | 1 |  | |  | | 能量桩 | | 1 |  | |  | |
| 2 |  | |  | | 2 |  | |  | |
| 3 |  | |  | | 3 |  | |  | |
| 4 |  | |  | | 4 |  | |  | |
| 验收期间  天气状况 | | | 天气 | |  | | 风速 | |  | | | 气温 | |  |
| 施工单位  审查意见 | | |  | | | | | | | | | | | |
| 建设单位  审查意见 | | |  | | | | | | | | | | | |
| 监理单位  审查意见 | | |  | | | | | | | | | | | |

本标准用词说明

为便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3） 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：正面词采用“宜”或“可”，反面词采用“不宜”。

2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行时，写法为“可参照……”

引用标准名录

《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366

《混凝土结构设计规范》GB 50010

《城市桥梁设计规范》CJJ 11

《公路桥涵设计通用规范》JTG D60

《综合布线系统工程设计规范》GB 50311

《电气装置安装工程低压电器施工及验收规范》GB 50254

《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303

《低压电气装置第5-52部分：电气设备的选择和安装布线》GB/T 16895.6

《桩基地热能利用技术标准》JGJ/T 438

《建筑桩基技术规范》JGJ 94

《地源热泵系统用聚乙烯管材及管件》CJ/T 317

《低压成套开关设备和控制设备第一部分：总则》GB 7251.1