

ICS: 91.140.01

# 黑龙江省地方标准 DB23

P45

DB23/T xxxx-2020  
备案号: J xxxxxx-2020

---

## 地热能供暖系统技术规程

Technical specification for geothermal heating system

征求意见稿

2020 年 6 月 1 日

主编单位: 哈尔滨工业大学  
联系人: 王芑  
联系电话: 18645041026  
邮箱: cahnburg@126.com

2020 -XX-XX 发布

2020 - XX-XX 实施

---

黑龙江省住房和城乡建设厅发布  
黑龙江省质量技术监督局 联合发布

黑龙江省地方标准

# 地热能供暖系统技术规程

DBXX/XXXX-2020

主编单位：哈尔滨工业大学

批准部门：黑龙江省住房和城乡建设厅

施行日期：2020 年 XX 月 XX 日

2020 哈尔滨

黑龙江省住房和城乡建设厅

## 前 言

为了规范黑龙江省地热能供暖系统工程的设计、施工及验收，黑龙江省住房和城乡建设厅组织并委托哈尔滨工业大学承担了《地热能供暖系统技术规程》的研编任务。

在编制过程中，编制组经深入研究，广泛调查，认真总结工程实践，参考有关国内外先进标准和做法，在广泛征求有关单位和专家的意见基础上编制了本规程。

本规程共分为 10 章和 4 个附录。主要技术内容是：总则，术语，工程勘察，地热能供暖系统方案设计，地热水采集系统，浅层地埋管地热能采集系统，中深层地埋管地热能采集系统，建筑物内系统，调试与验收，监控与运行管理等。

本规程由黑龙江省住房和城乡建设厅负责管理，哈尔滨工业大学负责具体技术内容的解释。各地区在使用本规程过程中，如发现条文不妥之处或有新的建议和意见，请直接反馈给黑龙江省住房和城乡建设厅建筑节能与科技处，以供今后修订时参考。

本规程主编单位：

本规程参编单位：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

## 目 次

|          |                      |           |
|----------|----------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>总则</b>            | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>术语</b>            | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>工程勘察</b>          | <b>9</b>  |
| 3.1      | 一般规定                 | 9         |
| 3.2      | 地热水采集系统勘察            | 9         |
| 3.3      | 浅层地埋管地热能采集系统勘察       | 11        |
| 3.4      | 中深层地埋管地热能采集系统勘察      | 15        |
| <b>4</b> | <b>地热能供暖系统方案设计</b>   | <b>19</b> |
| 4.1      | 一般规定                 | 19        |
| 4.2      | 地热水供暖系统方案设计          | 20        |
| 4.3      | 地埋管地热能供暖系统方案设计       | 24        |
| <b>5</b> | <b>地热水采集系统</b>       | <b>28</b> |
| 5.1      | 一般规定                 | 28        |
| 5.2      | 地热水采集系统设计            | 29        |
| 5.3      | 地热井泵房设计              | 37        |
| 5.4      | 地热水采集系统施工            | 38        |
| 5.5      | 地热水采集系统检验            | 39        |
| <b>6</b> | <b>浅层地埋管地热能采集系统</b>  | <b>41</b> |
| 6.1      | 一般规定                 | 41        |
| 6.2      | 管材与传热介质              | 41        |
| 6.3      | 地热能采集系统设计            | 42        |
| 6.4      | 地热能采集系统施工            | 48        |
| 6.5      | 地热能采集系统检验            | 52        |
| <b>7</b> | <b>中深层地埋管地热能采集系统</b> | <b>54</b> |
| 7.1      | 一般规定                 | 54        |
| 7.2      | 管材与传热介质              | 54        |
| 7.3      | 地热能采集系统设计            | 55        |
| 7.4      | 地热能采集系统施工            | 61        |
| 7.5      | 地热能采集系统检验            | 62        |
| <b>8</b> | <b>建筑物内系统</b>        | <b>63</b> |
| 8.1      | 一般规定                 | 63        |
| 8.2      | 热源站设计                | 63        |
| 8.3      | 末端系统设计               | 65        |

|             |                               |            |
|-------------|-------------------------------|------------|
| 8.4         | 建筑物内系统施工、检验.....              | 66         |
| <b>9</b>    | <b>调试与验收 .....</b>            | <b>68</b>  |
| 9.1         | 调试.....                       | 68         |
| 9.2         | 工程验收一般规定.....                 | 69         |
| 9.3         | 地热水供暖系统工程验收.....              | 70         |
| 9.4         | 浅层地埋管地热能采集系统工程验收.....         | 71         |
| 9.5         | 中深层地埋管地热能采集系统工程验收.....        | 73         |
| 9.6         | 热源站机房工程验收.....                | 75         |
| 9.7         | 竣工验收.....                     | 77         |
| <b>10</b>   | <b>监控与运行管理 .....</b>          | <b>79</b>  |
| 10.1        | 一般规定.....                     | 79         |
| 10.2        | 运行监控.....                     | 80         |
| 10.3        | 运行管理与维护.....                  | 84         |
| <b>附录 A</b> | <b>岩土热响应试验.....</b>           | <b>90</b>  |
| A.1         | 一般规定.....                     | 90         |
| A.2         | 测试仪表.....                     | 91         |
| A.3         | 试验方法.....                     | 91         |
| <b>附录 B</b> | <b>地埋管外径与壁厚.....</b>          | <b>93</b>  |
| <b>附录 C</b> | <b>浅层竖直地埋管换热器的设计计算 .....</b>  | <b>95</b>  |
| <b>附录 D</b> | <b>中深层同轴套管式换热器的设计计算 .....</b> | <b>99</b>  |
| D.1         | 传热模拟分析.....                   | 99         |
| D.2         | 传热简化分析.....                   | 100        |
| D.3         | 传热估算.....                     | 104        |
|             | <b>本规程用词说明 .....</b>          | <b>106</b> |
|             | <b>引用标准名录 .....</b>           | <b>107</b> |

# Contents

|          |                                                                                    |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>General Provisions .....</b>                                                    | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Terms.....</b>                                                                  | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>Engineering Investigation .....</b>                                             | <b>9</b>  |
| 3.1      | General Requirements.....                                                          | 9         |
| 3.2      | Investigation of Geothermal Water Collection System.....                           | 9         |
| 3.3      | Investigation of Shallow Borehole Geothermal Energy Collection System              | 11        |
| 3.4      | Investigation of Middle and Deep Borehole Geothermal Energy Collection System..... | 15        |
| <b>4</b> | <b>Scheme Design of Geothermal Heating System .....</b>                            | <b>19</b> |
| 4.1      | General Requirements.....                                                          | 19        |
| 4.2      | Scheme Design of Geothermal Water Heating System.....                              | 20        |
| 4.3      | Scheme Design of Borehole Geothermal Heating System .....                          | 24        |
| <b>5</b> | <b>Geothermal Water Collection System .....</b>                                    | <b>28</b> |
| 5.1      | General Requirements.....                                                          | 28        |
| 5.2      | Design of Geothermal Water Collection System .....                                 | 29        |
| 5.3      | Design of Geothermal Well Pump House .....                                         | 37        |
| 5.4      | Construction of Geothermal Water Collection System.....                            | 38        |
| 5.5      | Inspection of Geothermal Water Collection System.....                              | 39        |
| <b>6</b> | <b>Shallow Borehole Geothermal Energy Collection System .....</b>                  | <b>41</b> |
| 6.1      | General Requirements.....                                                          | 41        |
| 6.2      | Tube and Heat-Transfer Medium.....                                                 | 41        |
| 6.3      | Design of Geothermal Energy Collection System .....                                | 42        |
| 6.4      | Construction of Geothermal Energy Collection System.....                           | 48        |
| 6.5      | Inspection of Geothermal Energy Collection System.....                             | 52        |
| <b>7</b> | <b>Middle and Deep Borehole Geothermal Energy Collection System .....</b>          | <b>54</b> |
| 7.1      | General Requirements.....                                                          | 54        |
| 7.2      | Tube and Heat-Transfer Medium.....                                                 | 54        |
| 7.3      | Design of Geothermal Energy Collection System .....                                | 55        |
| 7.4      | Construction of Geothermal Energy Collection System.....                           | 61        |
| 7.5      | Inspection of Geothermal Energy Collection System.....                             | 72        |
| <b>8</b> | <b>Building Internal System.....</b>                                               | <b>63</b> |
| 8.1      | General Requirements.....                                                          | 63        |
| 8.2      | Design of Heating Station.....                                                     | 63        |
| 8.3      | Design of Terminal System.....                                                     | 65        |

|           |                                                                                               |            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.4       | Construction and Inspection of Building Internal System .....                                 | 66         |
| <b>9</b>  | <b>Debugging and Acceptance .....</b>                                                         | <b>68</b>  |
| 9.1       | Debugging.....                                                                                | 68         |
| 9.2       | General Requirements of Project Acceptance.....                                               | 69         |
| 9.3       | Project Acceptance of Geothermal Water Heating System.....                                    | 70         |
| 9.4       | Project Acceptance of Shallow Borehole Geothermal Energy Collection System.....               | 71         |
| 9.5       | Project Acceptance of Middle and Deep Borehole Geothermal Energy Collection System .....      | 73         |
| 9.6       | Project Acceptance of Heating Station .....                                                   | 75         |
| 9.7       | Completion Acceptance .....                                                                   | 77         |
| <b>10</b> | <b>Monitoring and Operation Management.....</b>                                               | <b>79</b>  |
| 10.1      | General Requirements.....                                                                     | 79         |
| 10.2      | Operation Monitoring .....                                                                    | 80         |
| 10.3      | Operation Management and Maintenance .....                                                    | 84         |
|           | <b>Appendix A Rock-Soil Thermal Response Test .....</b>                                       | <b>90</b>  |
| A.1       | General Requirements.....                                                                     | 90         |
| A.2       | Test Instruments .....                                                                        | 91         |
| A.3       | Test Methods .....                                                                            | 91         |
|           | <b>Appendix B Diameter and Wall Thickness of Buried Pipes.....</b>                            | <b>93</b>  |
|           | <b>Appendix C Design Calculation of Shallow Vertical Borehole Heat Exchanger .....</b>        | <b>95</b>  |
|           | <b>Appendix D Design Calculation of Middle and Deep Coaxial Borehole Heat Exchanger .....</b> | <b>99</b>  |
| D.1       | Heat Transfer Simulation Analysis .....                                                       | 99         |
| D.2       | Simplified Heat Transfer Analysis .....                                                       | 100        |
| D.3       | Heat Transfer Estimation .....                                                                | 104        |
|           | <b>Explanation of Wording in This Specification .....</b>                                     | <b>106</b> |
|           | <b>List of Quoted Standards .....</b>                                                         | <b>107</b> |
|           | <b>Addition: Explanation of Provisions</b>                                                    |            |

# 1 总则

**1.0.1** 本规程旨在规范黑龙江省地热能供暖系统的勘察、设计、施工及验收等各环节，切实保障工程质量，确保地热能供暖系统经济、合理、安全、可靠地运行以及更好地发挥其节能效益。

黑龙江省积极研究推广地热能供暖项目应用。目前主要应用技术方式为：浅层地热能供暖，分为两种型式，即地下水地源热泵技术和地埋管地源热泵技术；中深层地热水供暖，即采用开采地热水直接供暖方式。其中，地下水地源热泵项目数量相对较多，但单个项目建筑面积较小，一般不超过 10 万  $\text{m}^2$ ；浅层地埋管地源热泵供暖项目数量和建筑面积均较小；地热水供暖项目主要位于大庆市林甸县、望奎县等，单个项目建筑面积较大。

根据前期调研和测试，目前存在的主要技术问题为：

(1) 地下水地源热泵系统供暖：回灌困难是存在的主要技术问题。地下水地源热泵浅层地热能供暖虽然单个项目建筑面积不大，但地下水温度低 ( $7-8^{\circ}\text{C}$ )，单位建筑面积取水量大，住宅项目单位建筑面积年取水量在  $16-30\text{m}^3$ ，公共建筑单位建筑面积年取水量在  $22-40\text{m}^3$ 。如此巨大的取水量对于黑龙江省以泥沙、细砂为主的浅层含水层而言，回灌井的数量要求至少是抽水井的 4 倍，土地需求、维护、运行成本等导致目前采用地下水地源热泵供暖项目不回灌或停用，极大地破坏地下水资源。

(2) 地埋管地源热泵系统供暖/制冷：地埋管换热器数量要求多、占地面积大和土壤冷堆积。黑龙江省单位建筑面积负荷大、负荷持续时间长，需要提取的热量多，土壤温度低，土壤冷热平衡的匹配缺口更大。对居住建筑而言，哈尔滨所需埋管土地面积与建筑面积的比大约为 1:1.8，需要的埋管土地面积大约是北京的 3 倍，这意味着，3 倍的初投资和近 2.5 倍的运行费用，极大的削弱了经济性。

(3) 地热水供暖系统：回灌困难或不回灌，导致热储资源逐年减少。大庆市林甸县地热水埋藏深度在 1800-2500m 范围，温度  $50-75^{\circ}\text{C}$ ，热储岩性以白垩系嫩江组青山口组泉头组砂岩为主，回灌能力很差。由于地热井投资较大，该类型项目多是集中成片开采，每平米建筑面积年取热量在  $5-10\text{m}^3$ ，采灌不平衡一



方面严重破坏热储资源，另外也降低热储压力，导致可开采量逐年降低。同时，未回灌的地热尾水未经处理便随意排放，还将造成环境污染。

为避免或解决这些技术问题，黑龙江省积极发展新地热能供暖技术，如中深层地埋管地热能供暖技术等。

根据哈尔滨气象参数和执行的建筑节能设计规范，通过计算典型居住建筑和公共建筑动态负荷，在适当简化的基础上计算出开式系统（地热水供暖系统）和闭式系统（浅层地埋管地源热泵供暖系统和中深层地埋管地源热泵供暖系统）的相关概算指标和粗略适用建筑类型，如表 1.0.1-1 至表 1.0.1-3 所示，但不作为推荐结论。具体工程项目应根据负荷特点、地热地质条件进行详细技术经济分析，选择合适的系统形式和技术参数。

表 1.0.1-1 开式系统相关概算指标

| 系统形式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 水流量<br>$\text{t/h} \cdot 10^4 \text{m}^2$ | 供暖季水量<br>$\text{t/a} \cdot \text{m}^2$ | 热源耗电量<br>$\text{kWh/a} \cdot \text{m}^2$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| 地热水供暖系统                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                           |                                        |                                          |
| 地热水直接供暖                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 22/30                                     | 6/8                                    | 1.4/1.8                                  |
| 地热水间接供暖                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 22/30                                     | 6/8                                    | 1.5/2.0                                  |
| 地热水供暖+调峰                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 13/18                                     | 4.5/6                                  | 1.2/1.5                                  |
| 地热水供暖+地热尾水地源热泵                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 7/9.5                                     | 2/2.7                                  | 12.7/16.7                                |
| 主要计算条件和说明：<br>1) 表中“XX/XX”表示“住宅/办公”；<br>2) 负荷：设计热负荷，住宅/办公为 $38/50 \text{W/m}^2$ ；耗热量 $20.6/27.1 \text{W/m}^2$ ；<br>3) 地热水直接供暖和间接供暖供回水温度为 $55/45^\circ\text{C}$ ；地热水供暖+调峰供回水温度为 $55/45^\circ\text{C}$ ，承担 60% 的设计负荷，调峰热源为燃气锅炉；地热水供暖+地热尾水地源热泵供回水温度为 $55/15^\circ\text{C}$ ，采用两级水源热泵降低地热水回水温度，热泵的 COP 分别为 5.0 和 4.5；<br>4) 热源耗电量含地热侧水泵、热泵等，不含负荷侧水泵。 |                                           |                                        |                                          |

表 1.0.1-2 闭式系统相关概算指标

| 系统形式 | 单位孔深<br>换热热量<br>$\text{W/m}$ | 服务建筑<br>面积<br>$\text{m}^2/\text{孔}$ | 建筑与埋<br>管面积比 | 热源耗电量<br>$\text{kWh/a} \cdot \text{m}^2$ |
|------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|------------------------------------------|
|------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                        |     |            |            |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|------------|-------|
| 浅层地埋管地源热泵供暖系统（孔深 100m）                                                                                                                                                                                                                                 | 30  | 120/90     | 4.2/3.2: 1 | 32/41 |
| 中深层地埋管地源热泵供暖系统（孔深 2000m）                                                                                                                                                                                                                               | 150 | 10000/7700 | 25/19: 1   | 20/26 |
| 主要计算条件和说明：<br>1) 表中“XX/XX”表示“住宅/办公”；<br>2) 负荷：设计热负荷，住宅/办公为 38/50W/m <sup>2</sup> ；耗热量 20.6/27.1W/m <sup>2</sup> ；<br>3) 浅层地埋管地源热泵地热侧进出口温度 2/-1℃，热泵 COP=3.0，埋管间距 6m；<br>4) 中深层地埋管地源热泵地热侧进出口温度 15/5℃，热泵 COP=4.5，埋管间距 20m；<br>5) 热源耗电量含地热侧水泵、热泵等，不含负荷侧水泵。 |     |            |            |       |

表 1.0.1-3 适用建筑类型

| 系统形式                                                                                                                                                                                                                                                                         | 适用建筑        | 用热形式           | 热源耗电量<br>kWh/a·m <sup>2</sup> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|-------------------------------|
| 中深层地埋管地源热泵供暖系统（孔深 2000m）                                                                                                                                                                                                                                                     | 住宅小区/公共建筑   | 取热不取水          | 22/28                         |
| 浅层地埋管地源热泵供暖系统（孔深 100m）                                                                                                                                                                                                                                                       | 别墅/农村独栋住宅   | 取热不取水          | 36/26                         |
| 地热水供暖系统+地热尾水地源热泵                                                                                                                                                                                                                                                             | 地热水供暖系统改造工程 | 全部回灌时<br>取热不取水 | 12.7/16.7<br>（住宅/办公）          |
| 主要计算条件和说明：<br>1) 表中“XX/XX”表示适用的不同建筑类型；<br>2) 设计热负荷取值，住宅/办公/别墅/农村独栋住宅分别为 38/50/45/50W/m <sup>2</sup> ，其中农村独栋住宅考虑间歇运行；<br>3) 地热水供暖改造为地热水供暖+梯级利用方式时，需要增加热泵装置；<br>4) 关于空调方式的说明：中深层地埋管地源热泵供暖系统和地热水供暖+地热尾水地源热泵方式需要增加冷却塔实现夏季的空调；浅层地埋管地源热泵供暖系统具备空调功能；<br>5) 热源耗电量含地热侧水泵、热泵等，不含负荷侧水泵。 |             |                |                               |

黑龙江省处于严寒地区，气候与建筑供暖负荷有别于其他地区，地热能资源条件也有其自身特点。地热能供暖系统的形式、效益与各地区地热资源条件、气候、建筑供暖负荷特点及经济条件等因素密切相关。为了规范黑龙江省地热能供

暖系统的勘察、设计、施工及验收等各个环节，切实保障工程质量，确保地热能供暖能坚持保护资源与利用结合，取热不取水，做到经济、合理、安全、可靠地运行，特制订本规程。

**1.0.2** 本规程适用于黑龙江省行政区域内新建、改建和扩建的以地热能进行供暖的工程的可行性研究、勘察、设计、施工、验收及运行管理。

本规程适用于地热能供暖系统的可行性研究、勘察、设计、施工、验收及运行管理。对采用地热能供暖系统供暖，夏季有空调制冷需求的建筑，当地热能采集系统具备空调排热功能时，如浅层地埋管地源热泵供暖系统，应优先采用地热能供暖系统通过工况转化实现空调制冷；当地热能采集系统不具体空调排热功能而通过水源热泵机组供暖时，可通过设置冷却塔、共用水源热泵机组等实现建筑空调制冷。一方面降低供暖、空调系统的整体投资，另外也有利于调节地热能采集系统冷热平衡匹配缺口的矛盾。

**1.0.3** 本规程所述地热能供暖包括地热水供暖系统和地埋管地热能供暖系统，地埋管地热能供暖系统包括浅层地埋管地源热泵供暖系统和中深层地埋管地热能供暖系统。

利用浅层地热能供暖的方式除了地埋管地源热泵系统之外，还有地下水地源热泵系统和地表水地源热泵系统。其中，地下水地源热泵系统已经制定黑龙江省地方标准《地下水源热泵技术规程》DB23/T 1491-2012，本规程不再赘述。黑龙江省处于严寒地区，冬季地表水均处于冻结状态，基本没有采用地表水地源热泵进行供暖的项目，为此，本规程也不包括该应用方式。

**1.0.4** 黑龙江省地热能供暖系统工程的可行性研究、勘察、设计、施工、验收及运行管理除应符合本规程外，尚应符合国家和黑龙江省现行有关规范、标准、规程的规定。

地热能供暖系统的设计应包括建筑物内的供暖设计和地热能采集系统设计两部分。前者应符合《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736、《工业建筑采暖通风与空气调节设计规范》GB50019、《公共建筑节能设计标准》GB50189、《建筑给水排水设计标准》GB50015 等规范；后者涉及地源热泵部分应符合《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366。

## 2 术语

### 2.0.1 地热能供暖系统 geothermal heating system

以贮存在地下岩土体和流体中的热能来供暖的系统。一般包括地热能采集系统、热源站和末端供暖系统。

### 2.0.2 地热水供暖系统 geothermal water heating system

通过地热井开采贮存在地下热储层中的地热水来供暖的系统，分为地热水直接供暖系统和地热水间接供暖系统。

### 2.0.3 地埋管地热能供暖系统 borehole geothermal heating system

传热介质通过地埋管地热能采集系统提取地热能来供暖的系统，分为浅层地埋管地源热泵供暖系统和深层地埋管地热能供暖系统。

### 2.0.4 地热水直接供暖系统 direct geothermal water heating system

由开采井取出的地热水，经处理后直接送入供暖系统释放热量后返回地下热储层的地热水供暖系统。

### 2.0.5 地热水间接供暖系统 indirect geothermal water heating system

由开采井取出的地热水经中间换热器热交换或热泵装置取热后返回地下热储层的地热水供暖系统。

### 2.0.6 浅层地埋管地源热泵供暖系统 shallow ground-coupled heat pump heating system

传热介质通过浅层地埋管地热能采集系统提取地热能，并通过水源热泵机组升温后来供暖的系统。

### 2.0.7 中深层地埋管地热能供暖系统 middle and deep borehole geothermal energy heating system

传热介质通过中深层地埋管地热能采集系统提取地热能来供暖的系统。当中深层地埋管地热能采集系统出水温度达不到供暖末端装置温度要求时，可通过水源热泵机组升温后供暖。

### 2.0.8 地热能采集系统 geothermal energy collection system

提取地热能的系统，一般包括地热能采集装置、输送系统和换热器。

### 2.0.9 地热水采集系统 geothermal water collection system

通过地热井开采和回灌地下水，并提取热能的系统。

#### **2.0.10 地埋管地热能采集系统 borehole geothermal energy collection system**

传热介质通过地埋管换热器提取地热能的换热系统。分为浅层地埋管地热能采集系统和中深层地埋管地热能采集系统。

#### **2.0.11 浅层地埋管地热能采集系统 shallow borehole geothermal energy collection system**

传热介质通过竖直或水平地埋管换热器与浅层岩土体进行热交换的地热能采集系统。

浅层地埋管地热能采集系统通过与岩土体间的热交换,采用封闭环路取热不取水,作为热泵供暖的低位热源和供冷的放热热汇,具有供冷、供热双重功能。根据《浅层地热能勘查评价规范》DZ/T 0225,岩土体深度一般为地表下 200m 以内,温度通常低于 25℃。

#### **2.0.12 中深层地埋管地热能采集系统 middle and deep borehole geothermal energy collection system**

传热介质通过地埋管换热器与中深层岩土体进行热交换的地热能采集系统。

与地热水供暖系统中地热水利用不同,中深层地埋管地热能采集系统是以中深层岩土体为热源或低位热源,采用封闭环路取热不取水,直接向建筑供热或通过热泵提升后供热,不具有供冷功能。

#### **2.0.13 地热能采集装置 geothermal energy collection equipment**

开采蕴含地热能的流体或传热介质通过换热提取地热能的专用装置或设备。

#### **2.0.14 地热井 geothermal well**

用于从热储层中取水或向热储层灌注回水的井,是开采井和回灌井的统称。

#### **2.0.15 地埋管换热器 ground heat exchanger**

传热介质与岩土体换热用的,由埋于地下的密闭循环管组构成的供传热介质与岩土体进行热交换的换热器。根据深度不同,分为浅层地埋管换热器和中深层地埋管换热器。

#### **2.0.16 浅层地埋管换热器 shallow borehole heat exchange**

埋于地下的密闭循环管组构成的供传热介质与浅层岩土体进行热交换的换热器。根据管路埋置方式不同,分为水平地埋管换热器和竖直地埋管换热器。

#### **2.0.17 中深层地埋管换热器 middle and deep borehole heat exchange**

深埋于地下的密闭循环管组构成的供传热介质与中深层岩土体进行热交换的换热器。目前根据管路埋置方式不同,分为同轴套管式换热器和 U 型换热器。

**2.0.18 地热尾水地源热泵供暖系统 geothermal tailwater source heat pump heating system**

以供暖后的地热水作为低位热源,由水源热泵机组升温后供暖的系统,是地热水热能梯级利用的一种形式。

**2.0.19 地埋管地源热泵供暖系统 ground-coupled heat pump heating system**

以岩土体为低位热源,由水源热泵机组、地埋管地热能采集系统、建筑物内系统组成的供暖系统。根据地埋管地热能采集系统系统形式的不同,分为浅层地埋地埋管地源热泵供暖系统和中深层地埋管地源热泵供暖系统。

**2.0.20 中深层地埋管地源热泵供暖系统 middle and deep ground-coupled heat pump heating system**

传热介质通过中深层地埋管地热能采集系统提取地热能,并通过水源热泵机组升温后来供暖的系统。

**2.0.21 地热能资源 geothermal resources**

蕴藏在岩土体和地下水中,能够为人类开发和利用的热能资源。

**2.0.22 最高热水位埋深 minimum buried depth of water level in borehole**

在地热井井口水温达到最高且稳定时的最小水位埋深(最高水位标高)。

**2.0.23 地热回灌 geothermal injection**

为保持热储压力、充分利用资源和减少地热流体直接排放对环境的污染,对经过利用(降低了温度)的地热流体或其他水源通过地热井重新注回热储层。

**2.0.24 回灌系统 injection system**

地热回灌中,由回灌井、水质净化装置、排气设备、加压泵以及连通装置构成的整个回灌体系。

**2.0.25 无负荷循环法 reactive circulation method**

不向地埋管换热器内循环介质加载冷、热量,利用循环介质和岩土体达到热平衡时的温度,分析岩土体初始平均温度的方法。

无负荷循环法是一种便捷的岩土体初始温度测试方法,但是循环水泵运行功

率及自然地表温度变化对内循环温度带来一定影响,需要做好地表附近管道及连接部分的保温措施,同时要保证循环流体稳流状态。

## 3 工程勘察

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 地热能供暖系统方案设计前,应进行工程场地状况调查和对拟使用的地热资源进行勘察。

地热能资源勘查包括地热水采集系统勘察、浅层地埋管地热能采集系统勘察及中深层地埋管地热能采集系统勘察。

**3.1.2** 勘察前应进行勘察准备工作,准备工作包括收集分析现有水文地质及气象资料,进行现场踏勘,编制勘察纲要。

编制勘察纲要:勘察纲要是勘察工作的依据,应包括下列内容:

- 1) 勘察的目的和任务;
- 2) 概述自然地理、工程地质和水文地质条件;
- 3) 详述勘察工作的内容、方法和预计工作量;
- 4) 提出主要设备、人员、材料、进度计划等。

**3.1.3** 地热能供暖工程地质勘察的范围应大于拟定换热区。

拟定换热区由于工程场地的限制,一般要小于地热能供暖工程地热能采集而产生的影响范围。因此,地热能供暖工程勘察的半径应大于拟定的换热区半径100m 以上。

**3.1.4** 开展勘察工作时应考虑勘察对工程自然环境的影响,防止对地下管线、地下工程和自然环境的破坏。钻孔、坑探、钎探和探槽完工后应妥善回填。

**3.1.5** 工程勘察完成后,应编写勘察报告,并对地热能可利用情况提出建议。

**3.1.6** 工程场地及其附近已有详细的水文地质资料,且能够满足地热能供暖地埋管换热器或地热井设计所需的水文地质条件时,可根据实际情况,直接引用现有资料进行地埋管换热器或地热井设计。

现有水文地质资料的深度若可以满足地埋管换热器或地热井设计的要求,可以直接引用;若尚缺部分资料,可以针对性地开展部分水文地质勘察工作。

### 3.2 地热水采集系统勘察

**3.2.1** 地热水采集系统方案设计前,应根据地热水供暖系统对水量、水温和水质的要求,对工程场区的进行地热水地质勘查。



**3.2.2 工程场地状况调查应包括下列内容：**

- 1 场地规划面积、形状及坡度；
- 2 场地内已有建筑物和规划建筑物的占地面积及其分布；
- 3 场地内树木植被、池塘、排水沟及架空输电线、电信电缆的分布；
- 4 场地内已有的、计划修建的地下管线和地下构筑物的分布及其埋深；
- 5 场地附近已有地热井的位置、用途、类型、结构、深度、地层剖面、出水量、年用水量、水位及变化、水温及水质情况。

工程场地可利用面积应满足地热井的需要，同时应满足置放和操作施工机械及埋设室外管网的需要。

**3.2.3 地热水地质勘查应包括下列内容：**

- 1 地质条件；
- 2 地温场特征；
- 3 热储特性；
- 4 地热流体参数。

**3.2.4 地热水地质勘查应遵守国家现行规范《地热资源地质勘查规范》GB/T 11615。**

**3.2.5 当勘察结果符合地热水供暖系统要求时，应采用成井技术将地热水地质勘探孔完善成地热井加以利用。**

**3.2.6 勘察报告应包括下列内容：**

- 1 项目概况；
- 2 勘察工作概况；
- 3 拟建工程场地条件；
- 4 目标热储层分析评价；
- 5 地热井抽、灌能力分析评价；
- 6 地质环境影响与评价；
- 7 结论与建议。

应根据工程场地应用现状调查和勘察结果，对场地范围、大小、地形地貌、已有建筑物及地下建（构）筑物情况；地热井成井工艺；地热水分布、流向、流速、渗透系数、影响半径、降深等；多井取水（回灌）时取水、回灌量的变化、

场地温度场分布以及“热贯通”现象的防范；取水（回灌）对周边地质状况和建筑物的影响，对生态和环境的潜在影响等进行描述和分析；对拟建场地地热水利用作出可行性评价，给出地热水合理利用方案，并提出在设计和施工中应注意的问题。

### 3.3 浅层地埋管地热能采集系统勘察

#### 3.3.1 浅层地埋管地热能采集系统勘察应包括下列内容：

- 1 场地现状调查；
- 2 岩土层结构、岩性及其分布；
- 3 岩土层初始温度；
- 4 岩土层热物性参数；
- 5 地下水静水位、水温、水质分布；
- 6 地下水径流方向、速度；
- 7 冻土层厚度。

本条文所列为浅层地埋管地热能采集系统勘察的主要内容。

岩土体热物性指岩土体的热物性参数，包括岩土体导热系数、密度及比热等。若埋管区域已具有权威部门认可的热物性参数，可直接采用已有数据，否则应进行岩土体导热系数、密度及比热等热物性测定。测定方法可采用实验室法或现场测定法。

1 实验室法：对勘探孔不同深度的岩土体样品进行测定，并以其深度加权平均，计算该勘探孔的岩土体热物性参数。

2 现场测试法：即岩土热响应试验，岩土热响应试验详见本规程附录 A。

已有的研究表明地下水渗流场对地埋换热器换热能力和换热区地温场分布有较大的影响，从而影响初投资。现有计算表明，地下水流速为 0.0128m/d 时，10 年热量的扩散距离高达 70m。地下水迳流方向可通过收集区域资料获得或参照《供水水文地质勘察规范》GB 50027、《供水管技术规范》GB 50296 进行现场测试。

#### 3.3.2 场地现状调查应包括以下内容：

- 1 场地面积、形状及地形地貌特征；
- 2 场地内已有建筑物的占地面积及其分布、基础型式及埋深；

3 场地内已有树木植被、池塘、排水沟及架空输电线、市政管网、交通设施、历史文化遗迹、电信电缆的分布及规划综合管线分布；

4 场地内已有的、计划修建的地下管线和地下构筑物的分布及其埋深；

5 场地内地下水开采井、回灌井位置和深度等；

6 场地内和周边 100m 范围内已建地源热泵系统工程分布。

调查场地的基本信息，主要有三方面的原因，一是通过调查场地面积、地貌和已有建筑物等基本信息，选择适合的钻孔位置；二是避让场地中现有建筑及设施，确保钻孔不会对建筑基础、市政设施、历史遗迹等造成损害；三是确认场地满足施工机具安装，和钻孔工作开展的条件。

### 3.3.3 竖直浅层地埋管地热能采集系统勘察工作应按下列规定进行：

1 工程场地勘察采用钻探进行，测试孔的深度宜超过预估最大钻孔深度 2 m 以上，测试孔施工按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定执行；

2 工程场地内地层岩性差异较小时，应根据浅层地热能工程应用的建筑面积，按表 3.3.3 确定勘察工作量。工程场地地层岩性差异较大时，宜根据场地内地质条件增加测试孔数量；

3 测试孔布设应充分考虑工程场地内地质条件差异和换热孔分布情况，测试孔数为 1 个时，宜布置在埋管区的中部，大于等于 2 个时，宜根据埋管区域平面形态和场地状况分散布设于换热孔区域；

4 测试孔宜进行岩心编录、地球物理测井，划分地层结构，岩土层单层厚度大于 1m 的，每层宜取代表性的原状样品（砂、砾石层除外），细砂粒径以上应取扰动样；

5 测试孔的地埋管换热器设置方式和回填方式应与拟建设的工程换热孔一致。

表 3.3.3 测试孔数量

| 系统应用建筑面积 A (m <sup>2</sup> ) | 测试孔数量(个) |
|------------------------------|----------|
| A<4000                       | 1~2      |
| 4000≤A<20000                 | ≥2       |
| 20000≤A                      | ≥4       |

1 测试孔的深度比地埋管埋设深度大，是为了探明可能存在的地层起伏变

化，也方便后续热响应试验孔或测温孔的顺利制作。

2 工程规模大，负荷越大，所需的换热器布设场地越大，产生地层和换热能力变化的可能性就越大，因此测试孔的数量应随工程建筑规模的增大而增加。考虑到黑龙江省需要提取的热量多、土壤温度低，估算表明单位建筑面积需要的埋管土地面积大约是北京的 3 倍，为此本规程按照埋管面积基本一致的原则对《地源热泵系统工程技术标准》GB 50366 进行了概略折算。

3 测试孔尽量分散布置，使勘察结果可以代表换热孔布设区域的地质条件和换热条件。由于拟建工程场地条件的多样性，很难对勘察孔的布置方式做出统一规定，本条文仅提出原则性要求。通常，当勘察孔数量 2 个时，可在中心控制线两端或场地对角线两端布置；3 个以上钻孔时，可根据拟建工程场区的实际情况采用“之”型、梅花型等钻孔布置方案。

4 钻探过程中应做好地质编录工作，地质编录内容包括：回次深度，土层名称、颜色、状态、层理、包含物及取样深度，静止水位等。地质编录是一项专业性较强的技术工作，应由具有专业知识和实际工程经验的从业人员担任。

### 3.3.4 岩土层初始温度测试应符合下列要求：

- 1 在地温恢复后进行，地温恢复时间不少于 72h；
- 2 测温深度不小于地埋管换热器设置深度；
- 3 测温点间距不大于 10m；
- 4 测温允许误差为 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 。

1 岩土层初始温度是浅层地埋管地热能采集系统设计的重要参数之一，需准确测定。初始状态岩土体温度受地区气候、地层岩性、构造运动的影响，不同地区的地温及其在垂直方向的变化存在差异。

2 地温测试孔在施工过程中受钻进循环液体和埋管回填的影响，地温会发生变化且恢复到原始状态需要一定的时间，地温恢复时间与施工期气温、施工周期岩土体结构和地下水渗流场等因素相关。因此，岩土层原始地温测试需要待地温恢复后进行，可以通过间隔 2 天的地温测试值差 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 为判断依据。

3 地温垂向分布分层明显，依次分为变温层、恒温层和增温层，变温层底界埋深一般在 9~20m，地温受气温影响变化较大，建议测点间距控制在 1~2 m。

### 3.3.5 当浅层地埋管地源热泵系统的应用建筑面积在 $1000\text{ m}^2\sim 2000\text{ m}^2$ 时，或

供暖功率大于 100kW 时宜进行岩土热响应试验；当应用建筑面积大于等于 2000 m<sup>2</sup> 时，应进行热响应试验。热响应试验应符合下列要求：

- 1 热响应试验方法和技术要求应符合附录 A 要求；
- 2 热响应试验测试孔的数量不应小于表 3.3.3 中要求的测试孔数量；
- 3 对 2 个及以上测试孔的测试，其测试结果应取算术平均值。

黑龙江省属于严寒地区，供暖为民生工程。因此本规程要求的开展岩土热响应试验的应用的建筑面积比《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 中的小。应用建筑面积是指在同一工程中，应用浅层地埋管地热能采集系统供暖的各个单体建筑面积的总和。

### 3.3.6 勘察报告应包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 勘察工作概况；
- 3 拟建工程场区场地条件；
- 4 拟建工程场区地质条件；
- 5 岩土热物性特征；
- 6 地埋管换热器换热能力分析评价；
- 7 结论与建议。

考虑到浅层地埋管地热能采集系统工程规模、特点、场地及地质条件等各不相同，要制订统一的适用于每个工程的勘察报告格式和内容是不切实际的。因此，本条文只规定了报告应包括的基本要求。

1 项目概况主要是描述拟建建筑浅层地热能需求、勘察工作目的任务、依据和执行的技术标准；拟建建筑浅层地热能需求包括拟建建筑性质、规模及冷热负荷特征。

2 勘察工作技术方法与完成情况主要描述本次勘察工作所采用的技术方法、勘察工作量的布置及实际完成情况；

3 场地状况主要描述拟建场地地形特征、场地及周围重要建（构）物分布情况、场地地下空间现状及规划情况；

4 场地地质条件主要描述地层特征、含水层分布及特征、地温场特征；地层特征主要表述地层层序、岩性、空间分布、地层常规物理指标统计结果；含水

层分布及特征主要表述潜水、承压含水层的空间分布、水位标高、迳流方向、水力梯度等；地温场特征主要表述变温层底界埋深、恒温层底界埋深、恒温层温度、增温层增温率等；

5 岩土热物性特征主要参数包括导热系数、热扩散系数等，根据热响应试验和室内测试结果进行描述；热响应试验结果描述时应包含试验深度内岩土综合导热系数、热扩散率，并说明计算条件、方法和供试验过程的图表，当有两个及以上试验孔时提供平均值；

6 地下换热器换热能力是浅层地埋管地热能采集系统设计、运行需要掌握的重要指标，地下换热器换热能力与地质条件、换热器结构、循环液体温度等相关性较大；在勘察阶段基于已查明地层结构和参数，采用常用换热器结构和多种循环液体温度条件下计算换热器换热功率，估算可供埋管区域总的换热功率，评价地埋管地源热泵系统的适宜性，供设计参考使用；

7 建议增加地下换热器施工影响分析，依据已查明场地状况、地层岩性与结构、水文地质条件，对换热孔施工时岩土体可钻性、地下水保护和周围环境影响进行分析评价，提出施工中注意的问题。

### **3.4 中深层地埋管地热能采集系统勘察**

**3.4.1** 中深层地埋管地热能采集系统工程设计前应进行施工场地状况调查和地热地质条件勘察。

**3.4.2** 施工场地状况调查应包括以下内容：

- 1 场地规划面积、形状及坡度；
- 2 场地内已有建筑物和规划建筑物的占地面积及其分布；
- 3 场地内树木植被、池塘、排水沟及架空输电线、电信电缆的分布；
- 4 场地内已有的、计划修建的地下管线和地下构筑物的分布及其埋深。

在工程场区内或附近已进行过调查的地区，可调查收集已有工程调查资料。调查区域半径宜大于拟定换热区 100m~200m。调查以收集资料为主，除观察地形地貌外，还应对地下建筑空间、水电管线设施等进行调查，方便后期进行避让。

**3.4.3** 地热资源调查以分析研究区内已有的地质、地球物理、地球化学、放射性调查以及地热资源勘查开发资料为主，开展调查的范围可根据需要确定。

**3.4.4** 施工场地状况调查和地热资源调查显示中深层地埋管地热能采集系统的

可行性时，应进行地热地质勘察。

**3.4.5** 拟开发区域地块存在地裂缝、湿陷性黄土、砂土液化、滑坡、地面沉降、地面塌陷等不良工程地质问题时，应进行地质灾害评估。

中深层地埋管地热能采集系统需进行地下钻孔工程，应优先保障项目安全可靠，对于存在地裂缝、湿陷性黄土、砂土液化、滑坡、地面沉降、地面塌陷等不良工程地质问题的区域，应采取必要保障措施后再实施中深层地埋管地热能采集系统工程。

**3.4.6** 地热地质勘察宜采用适宜的物探方法，并宜探采结合，包括以下内容：

- 1 地层结构、断裂分布和性质；
- 2 地温梯度；
- 3 岩性、厚度、温度平面及剖面分布情况；
- 4 地下流体温度、压力及化学组分；
- 5 地下热储的岩性、埋深、厚度及分布；
- 6 热储盖层的岩性、厚度及分布；
- 7 岩土体热物性分析及地热储层热物性分析；
- 8 开凿地热井所需的全部地质参数；
- 9 钻探方法与成本。

物探方法包括电法、磁法、重力法、人工地震、电磁探测、谐振探测、微动探测、氦气测量等方法。

地质条件调查过程中，针对地形地貌应了解拟开发区域地面高程及坡度、地表形态、地貌类型等基本信息；针对地质构造应在搜集和分析已有资料的基础上，了解拟开发地段区域地层构造，调查研究对地热传导具有控制作用的大型构造和主干断裂，了解地质构造类型、性质、产状、规模、分布、形成时代、活动性及其水文地质意义。

地热条件调查过程中，在中深层地埋管地热能采集系统应用成熟、地热地质资料丰富的地区，以收集资料为主，并进行综合分析，调查拟开发区域不同深度的地温变化，确定恒温带深度、热储盖层的地热增温率和热储的温度，研究开发深度内的地温场特征；调查区内各热储的岩性、厚度、埋深、分布、相互关系及其边界条件，分析各热储的热导率、热扩散系数等参数，详细研究主要热储的密度、比热容、热传导系数、温度、压力及其变化，为地热钻孔设计提供依据。在

没有中深层埋管地热能采集系统应用,但有地热开发孔的地区,在收集资料的同时,宜进行勘探研究,为地热钻孔设计提供依据。在无地热开发的地区,宜进行调查钻孔研究,全孔段测温,获取地热地质基础参数,为地热钻孔设计提供依据。

待埋管区域的岩土热物性参数应在钻孔阶段进行取样分析,取样位置应考虑不同的地层结构,对于岩土竖向温度分布的测定,应考虑钻孔液对实际孔温的影响。

在拟开展工作区地热地质资料较少时,且供热规模较大时,应参照《地热资源地质勘查规范》GB/T 11615 进行系统勘查。

**3.4.7** 地热地质勘查钻孔能成井开采利用的,应按成井技术要求实施;地热开采井的钻井地质编录、测井、完井试验与地质资料收集整理除按成井技术要求实施外,还应按地质勘查要求,取全取准各项地热地质资料。

**3.4.8** 中深层埋管地热能采集系统换热孔建成后,应监测循环介质进出口温度、流量等参数,测算换热孔取热能力。宜进行三次不同流量试验,每次试验的延续时间不少于 120h,评价换热孔的合理取热能力。

地下换热孔建成后应测试其换热能力,对换热孔循环介质进出口温度、流量等参数进行监测,记录换热孔的位置、类型、结构、深度、地层剖面、出水量、水位、水温及水质情况。宜做不同流量下单一变量取热试验,试验的延续时间宜不少于 120h,为评价地下换热孔取热能力提供依据。

地热换热系统建成后可选择代表性换热孔进行换热能力测试,通过测试取得换热孔进出口热媒温度、流量等参数,绘制进出口温度、流量和时间的关系曲线,作为评估的依据。

**3.4.9** 勘察报告应包括下列内容:

- 1 项目概况;
- 2 勘察工作概况;
- 3 拟建工程场区场地条件;
- 4 拟建工程场区地质条件;
- 5 岩土热物性特征;
- 6 地下换热器换热能力分析评价;
- 7 结论与建议。

勘察报告深度可根据工程场区已有基本地质资料和初步设计要求进行确定。



勘察报告应信息完整，满足后续设计、施工工作需要。

## 4 地热能供暖系统方案设计

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 地热能供暖系统方案设计应遵循保护地热资源、满足建筑物功能的要求及节能、运行管理方便等原则，做到取热不取水。

**4.1.2** 应通过协调优化地热能供暖系统设计、施工与运行管理，使得地热能供暖系统季节能效比高于传统供暖系统的能效。

**4.1.3** 地热水供暖系统方案应根据水文地质勘察资料进行详细的可行性研究，必须采取可靠回灌措施，确保换热后的地热水全部回灌到热储层，并不得对地热水资源造成浪费。

地热水回灌的目的是：

- (1) 保护地热水资源。
- (2) 改善和提高地热能利用效率。
- (3) 回灌保持热储层内的压力，维护地热能的开采条件。
- (4) 减少地热流体直接排放对环境的污染。

要做到取热不取水，必须要求全部的回灌。地热井只能用于置换地下热量，不得用于取水等其他用途。抽水、回灌过程中应采取密闭等措施，不得对地热水造成污染。

**4.1.4** 应根据地热能采集系统进出口流体参数和末端系统温度、水质需求，合理选择直接供暖、通过地热换热器的间接供暖、水源热泵机组供暖或混合方式供暖。

地热能采集系统进出口流体参数包括进出口温度、流量和水质参数。当地热能采集系统进出口流体温度和水质参数满足末端系统温度、水质需求时，可以采用直接供暖方式。当地热能采集系统进出口流体数温度满足末端系统温度需求，但水质参数不满足时，可以采用通过地热换热器间接供暖方式。当地热能采集系统出口流体温度较低，不满足末端系统温度需求时，应采用水源热泵机组提升温度后供暖。

一般来说浅层地埋管地热能采集系统均需要通过水源热泵机组提升水温后供暖；中深层地埋管地热能采集系统如果采用同轴套管式换热器也需要采用水源热泵机组提升水温后供暖，若采用 U 型换热器，则根据出口温度和取热量综合

考虑是否需要采用水源热泵；地热水供暖系统可以通过水源热泵机组降低尾水回灌温度，增加供热量。当地热能采集系统流量与热泵机组或末端系统流量不匹配时，可以采用缓冲罐或者混水方式。

**4.1.5 地热能供暖系统地热侧水系统宜采用变流量设计。**

变流量系统设计有两个作用：

- 1) 显著降低地热侧水泵功耗，对于地热水供暖系统包括开采井水泵和回灌井水泵，对于地埋管地热能供暖系统则为循环泵；
- 2) 部分负荷时可降低地热水供暖系统开采的水量，起到保护地热资源的作用。

**4.2 地热水供暖系统方案设计**

**4.2.1** 应根据工程勘察结果，经技术经济比较确定地热水供暖系统形式。

**4.2.2** 地热水供暖系统应优先采用间接供暖系统，仅当地热水水质满足本规程表 4.2.2 的要求时，可采用地热水直接供暖系统。

表 4.2.2 地热水直接供暖系统水质要求

| 序号 | 项目名称                          | 允许值         | 序号 | 项目名称               | 允许值       |
|----|-------------------------------|-------------|----|--------------------|-----------|
| 1  | 含砂量<br>(体积比)                  | < 1/200,000 | 6  | Fe <sup>2+</sup>   | < 1mg/L   |
| 2  | CaO                           | < 200mg/L   | 7  | Cl <sup>-</sup>    | < 100mg/L |
| 3  | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | < 200mg/L   | 8  | H <sub>2</sub> S   | < 0.5mg/L |
| 4  | PH 值                          | 6.5~8.5     | 9  | 游离 CO <sub>2</sub> | < 10mg/L  |
| 5  | 矿化度                           | < 3g/L      | 10 | 总碱度                | ≤500mg/L  |

通常地热水水质较差，不宜采用直接式系统。当地热水的总矿化度为 3g/L~5g/L 时，可采用不锈钢的板式换热器；当地下水的矿化度大于 5g/L 时，应安装抗腐蚀的钛合金换热器。

**4.2.3** 地热水供暖系统应采用合理的调峰措施或梯级利用方式，减少地热水用量。

采用调峰和梯级利用方式可以大幅减少地热水用量，从而减少开采量、减轻回灌压力。

常用的调峰方式有：

- (1) 锅炉调峰，如图 4.2.3-1 所示。

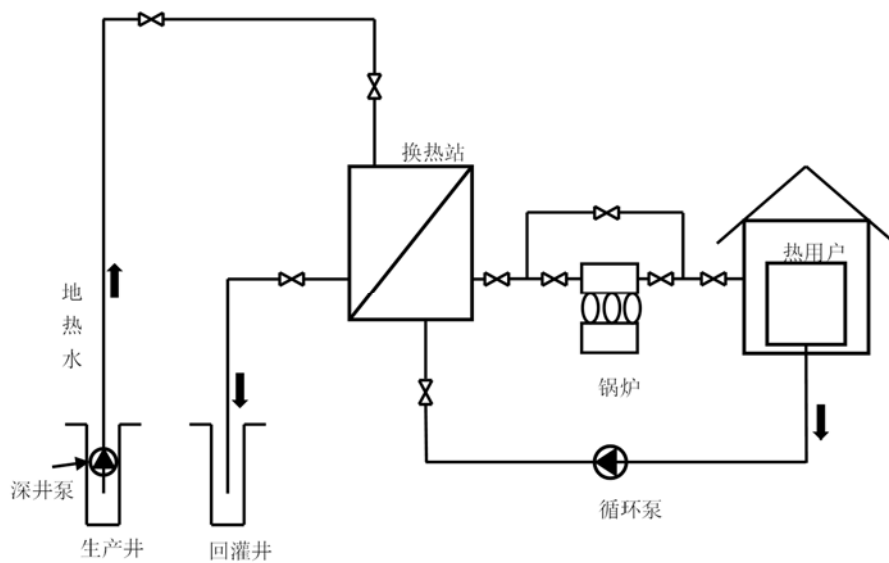


图 4.2.3-1 锅炉调峰

(2) 水源热泵降低地热排水温度组成地热尾水地源热泵系统调峰，如图 4.2.3-2 所示。

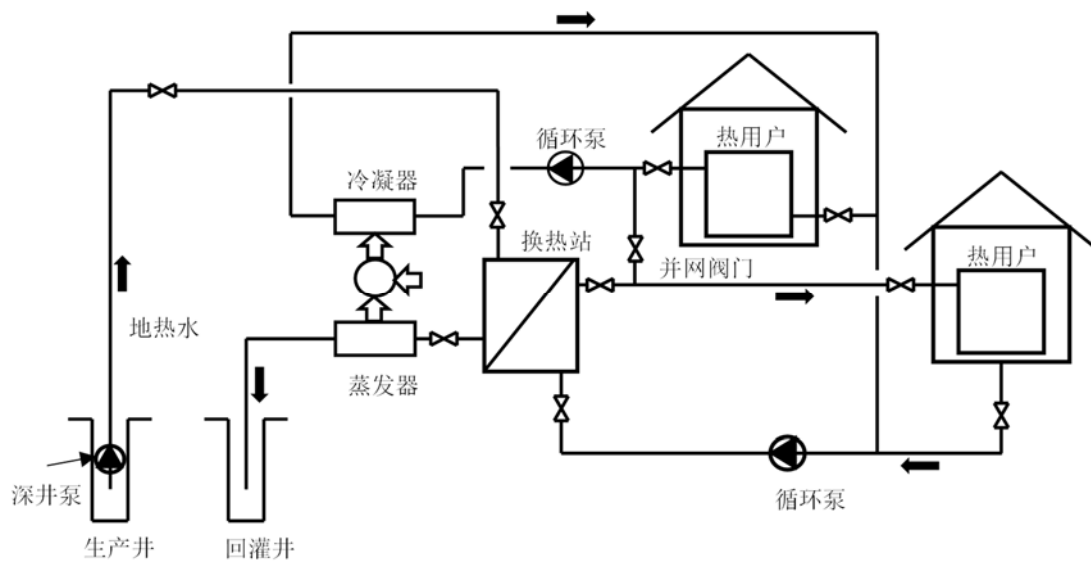


图 4.2.3-2 水源热泵降低地热排水温度调峰

(3) 水源热泵降低供暖回水温度调峰，如图 4.2.3-3 所示。

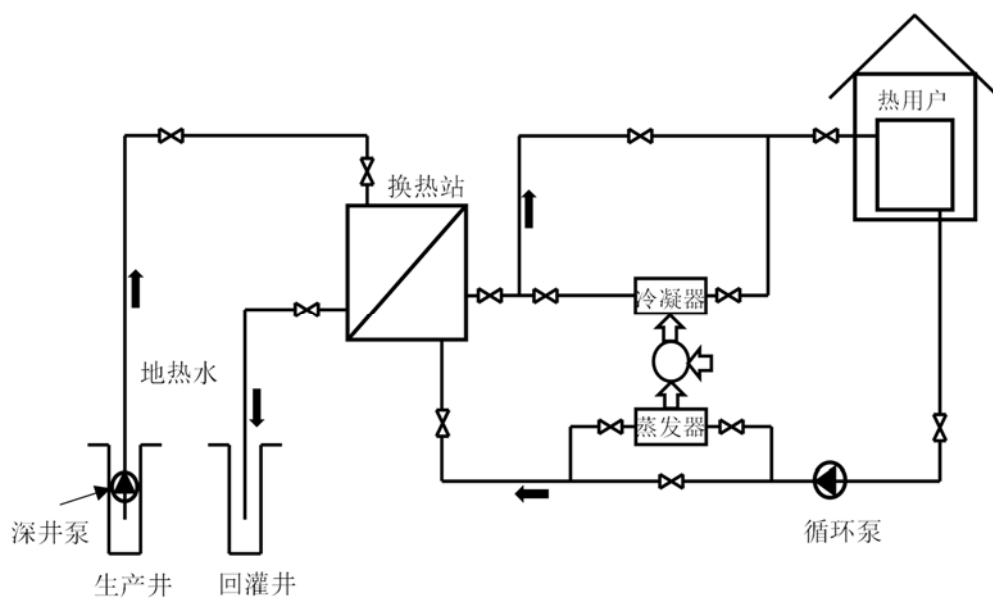


图 4.2.3-3 水源热泵降低供暖回水温度调峰

常用的梯级利用方式有：

(1) 梯级直接利用，如图 4.2.3-4 所示。

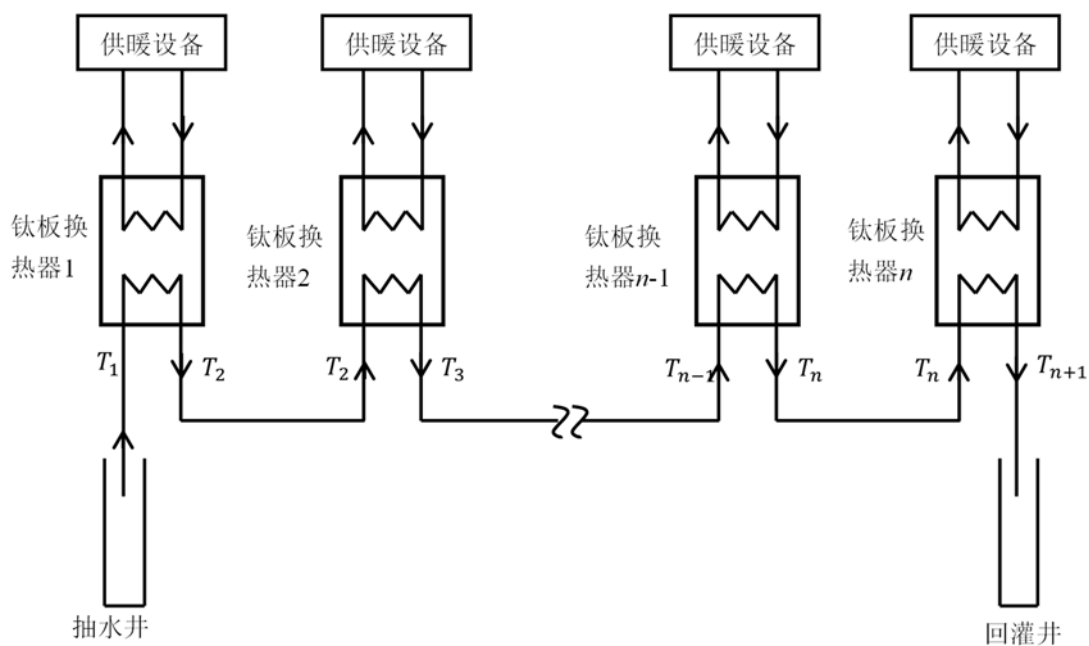


图 4.2.3-4 梯级直接利用

(2) 地热水间接供暖+地热尾水地源热泵供暖梯级利用

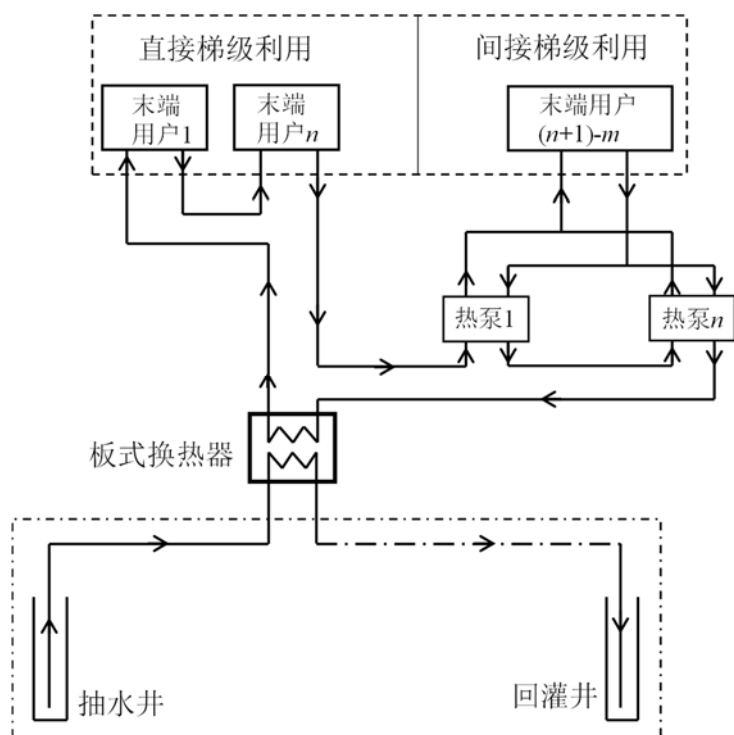


图 4.2.3-5 梯级直接+间接利用

其中，直接利用级数由地热水供水温度和末端散热设备温度要求确定，一般散热器供回水温度 75/60℃、风机盘管 60/50℃、地板供暖 50/40℃、毛细管席 40/30℃。间接利用级数由直接利用后地热水温度、地热水容许回灌温度和热泵性能确定。

条文说明中表 1.0.1-1 为根据哈尔滨气象条件计算的采用不同地热能供暖系统形式所需要的大致地热水量。

#### 4.2.4 地热水管路应符合下列要求：

- 1 供水管、回灌管不得与市政管道连接；
- 2 不得采用化学水处理方式；
- 3 应采用闭式系统。

1 地热水供水管不得与市政管道连接是为了避免污染市政供水和由市政供水管网取热；地热水回灌管不得与市政管道连接，是为了避免回灌水排入市政排水管网，保护水资源不被浪费。

- 2 化学水处理残留的化学物质会改变地热水水质。
- 3 采用闭式系统可以避免空气进入系统，从而避免腐蚀。

**4.2.5** 地热水供暖系统投入运行后，应对抽水量、回灌量、地下水水位进行在线监测。

### **4.3 地埋管地热能供暖系统方案设计**

**4.3.1** 地埋管地热能供暖系统方案设计应以工程勘察结果为依据，根据建筑负荷特性，对能源政策、节能效果、经济效益、环境影响等进行可行性分析。

**4.3.2** 浅层地埋管地源热泵供暖系统不宜用于大型建筑。

条文中的大型建筑指建筑面积大于 50000m<sup>2</sup> 的住宅小区或建筑面积大于 20000m<sup>2</sup> 的公共建筑，这类建筑采用地热能供暖系统时，推荐采用中深层地埋管地热能供暖系统。根据常见地温梯度和部分实测数据，2000m 左右的中深层地埋管地热能供暖系统与浅层地埋管地源热泵供暖系统（100m）相比，具有如下技术优势：

（1）通过增加深度，岩土体温度显著提高。一般来说，2000m 处岩土体温度可达 70℃，而 100m 仅为 6℃；

（2）取热温差更大。黑龙江省目前运行的 2000m 级的中深层地埋管热泵地热能供暖供回水设计温度一般为 20/5℃，取热温度为 15℃；而浅层地热能供暖一般为 2/-1℃，取热温差仅为 3℃；

（3）单位孔深换热量更大，哈尔滨工业大学的现场实验表明，地埋管地源热泵中深层地热能供暖单位孔深换热量能够持续在 150W/m 左右，而浅层地热能供暖（100m）难以持续稳定在 30W/m；

（4）岩土体热恢复更快。中深层地热能供暖底部温度与换热介质的温差可达 50℃，远远高于浅层地热能供暖的 4-7℃，岩土体热恢复速度更快。黑龙江省中深层地热能供暖系统 3 个供暖季的运行数据均未发现供热能力衰减的现象。

**4.3.3** 浅层地埋管地源热泵供暖系统方案设计应符合下列要求：

1 应进行全年动态负荷计算，最少计算周期宜为 1 年；

2 计算周期内，对于地下水径流流速较小的地埋管区域，浅层地埋管地热能采集系统的总吸热量应与总补热量相平衡。当浅层地埋管地热能采集系统全年总吸热量比总补热量大 20% 时，宜采用辅助热源或补热措施，或并用的形式，使其达到平衡；

3 应采用专用软件模拟计算地埋管换热器连续 20 个运行周期年，20 个运

行周期年均应满足地埋管换热系统最大吸热量的要求。

黑龙江省现有浅层地埋管地源热泵供暖系统大多数都出现了供暖季地热侧温度逐年减低的问题,原因是地热侧全年取热量和释热量的失调,累积取热量较释热量大,导致地埋管区域岩土体温度持续降低,从而影响地埋管换热器的出力,降低地埋管换热系统的运行效率。因此,地埋管换热系统设计应考虑全年冷热负荷的影响。

浅层地埋管地源热泵供暖系统的全年总释热量和总吸热量(单位: kWh)应基本平衡。对于地下水径流流速较小的地埋管区域,在计算周期内,浅层地埋管地源热泵供暖系统总释热量和总吸热量应平衡。对于地下水径流流速较大的地埋管区域,浅层地埋管地源热泵供暖系统总释热量和总吸热量可以通过地下水流动(带走或获取热量)取得平衡。地下水的径流流速的大小区分原则: 1 个月内,地下水的流动距离超过沿流动方向的地埋管布置区域的长度为较大流速;反之为较小流速。

对于地下水径流流速较小的地埋管区域,浅层地埋管地热能采集系统全年总吸热量比总补热量大 20%时,宜采用辅助热源或补热措施或并用的形式,使其达到平衡。辅助热源可以是集中供热、燃气锅炉和其他可再生能源等,组成同时供暖系统或调峰系统。辅助补热措施可以利用非供暖季太阳能、室外空气、废热等蓄热补热。

经过浅层地埋管地源热泵供暖系统在我国近 20 年的应用发展,地热侧的冷热平衡决定了其可持续性和能效水平,尤其是黑龙江省的应用实践更是说明了地热侧冷热平衡的重要性。因此,进行 20 年以上末端负荷与地埋管的耦合计算,可以从设计层面,为系统的节能性、安全性提供保障。对存在随使用时段显著变化的内热扰动情况的大规模项目,应计算内热变化情况岩土体温度场平衡情况。在浅层地埋管地源热泵供暖系统全生命期内,可能存在功能调整的大规模系统,地源热泵系统宜预留系统冷热平衡调节装置接口,以保证建筑功能改变后岩土体热平衡。

目前,在国际上比较认可的埋管换热器的计算核心为瑞典隆德大学开发的 g-functions 算法。根据程序界面的不同主要有: 瑞典隆德 Lund 大学开发的 EED 程序; 美国威斯康星 Wisconsin-Madison 大学 Solar Energy 实验室 (SEL) 开发的



TRNSYS 程序；美国俄克拉何马州 Oklahoma 大学开发的 GLHEPRO 程序。在国内，许多大专院校也曾对地埋管换热器的计算进行研究并编制了计算软件。地埋管换热器模拟专用软件一般应具有以下功能：

- (1) 能计算或输入建筑物的全年动态负荷；
- (2) 能计算岩土体平均温度与地表温度波幅；
- (3) 能模拟岩土体与换热管间的热传递及岩土体长期储热效果；
- (4) 能计算岩土体、传热介质及换热管的热物性；
- (5) 能对所设计系统的地埋换热管体系如钻孔直径、换热管类型、回填情况等模拟。

#### 4.3.4 中深层地埋管地热能供暖系统方案设计应符合下列要求：

- 1 应根据建筑物供暖热负荷和地埋管换热器取热量进行动态计算，最小计算周期不宜少于 3 年；
- 2 设计工况下地热侧回水应通过水源热泵机组取热降温后回到地埋管换热器；
- 3 地热侧进出水应采用大温差；
- 4 热源站系统应与地热侧进出水温差或流量相匹配。

1 中深层地埋管地热能采集系统单向取热，虽然黑龙江省 3 个供暖季的实验并未观察到明显的热失衡，但是否会造成热失衡，导致岩土温度逐年下降，尚需要深入的研究，因此需要计算 3 个以上的供暖季来对比分析埋管换热能力的前后变化。

2 当中深层地热能采集系统出口温度达不到末端设备供暖要求时，必须通过水源热泵机组升温后供暖。但某些形式的中深层地热能采集系统出口温度有可能达到末端设备供暖要求，如 U 型换热器，设计工况下系统设计时应采用梯级利用方式，即可以先直接通过地热换热器供暖，地热换热器出水再进入水源热泵机组逐级降温后回到地埋管换热器。这样做的目的是为了拉大温差，使得单个地埋管换热器供应更多的热量，提高整体经济性。部分负荷工况下，由于供暖负荷较小，满足供暖需求时，可以不经过水源热泵机组直接回到地热侧。增设水源热泵机组后，也可以适当提高地热侧流量设计流量，提取更多的地热能。

- 3 中深层地热能供暖系统地热侧建议采用大温差的运行模式，一方面，大

温差意味着地热侧回水温度较低,这样增大循环水与岩土体温差,提高取热量;另一方面,考虑到中深层地埋管换热器孔深很深,为了降低输配功耗,流量不宜过大,这也要求循环水温差尽量大。

4 一般情况下,地热侧流量和温差与水源热泵机组相比都是小流量大温差,这样就要求热源站系统设计或者水源热泵机组选择时考虑与地热侧流量、温差的匹配。可采用如下三种做法:

1) 选择针对地热侧流量、温差专门设计的水源热泵机组;

2) 地热侧循环水通过水源热泵机组蒸发器侧串联运行,采用梯级取热系统,拉大地热侧循环水进出温差;

3) 在热源站系统设计中,增设缓冲水箱,在地热侧与缓冲水箱之间及缓冲水箱与水源热泵机组之间形成各自不同循环水温差和流量的循环水系统。地热侧与缓冲水箱之间采用小流量大温差或正常流量大温差运行,以尽量提高地热侧的取热量,减少地埋管换热器的数量,同时降低地热侧循环水泵输送能耗;在缓冲水箱与水源热泵机组之间采用常规水源热泵机组要求的 5℃ 温差或 7℃ 大温差运行。缓冲水箱容积应通过计算确定,并应采用闭式水箱,并宜采取有效措施减少冷热水的掺混。

**4.3.5** 当采用水源热泵时,地埋管地热能采集系统最大取热量应按照式(4.3.5)计算

$$Q_b = Q_L \left(1 - \frac{1}{COP}\right) + Q_g - Q_p \quad (4.3.5)$$

式中  $Q_b$ —地埋管地热能采集系统最大取热量, kW;

$Q_L$ —供暖热负荷, kW;

$COP$ —水源热泵机组的制热性能系数, 无因次;

$Q_g$ —输送过程释热量, kW;

$Q_p$ —水泵释热量, kW。

## 5 地热水采集系统

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 地热水采集系统应根据水文地质勘察资料进行设计。

**5.1.2** 地热水采集系统包括开采井、回灌井和地热井供回水系统。

地热井供回水系统是指由井泵将地热水送到换热站经换热后再回到回灌井的管路系统。图 5.1.2 给出了地热井开采回灌系统工艺流程示例。

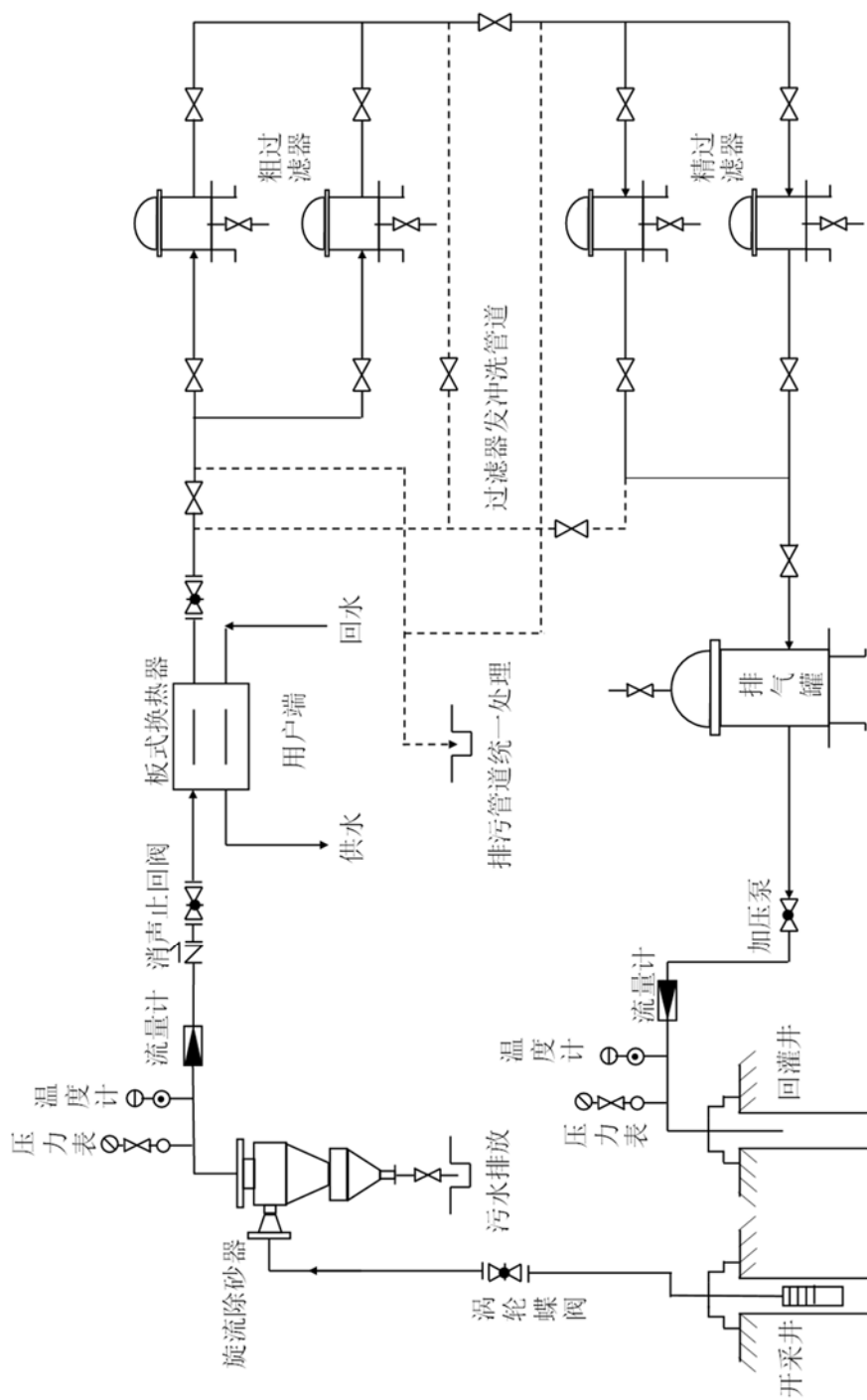


图 5.1.2 地热井开采回灌系统工艺流程

## 5.2 地热水采集系统设计

### 5.2.1 地热水开采回灌系统设计程序为：

- 1 确定本工程项目所需的总水量；
- 2 地热井的设计与回灌方式的选择；
- 3 确定地热井的数量和位置；

- 4 井或井群管路的设计;
- 5 地热换热器的选择与计算;
- 6 井泵等设备的选择与布置。

**5.2.2** 地热水开采总水量应按照所选系统形式经过计算确定,管井井群设计的总出水量应小于开采地区地热水允许开采量。

**5.2.3** 地热井数目应满足持续设计出水量和完全回灌的需求。

**5.2.4** 地热井的设置应避开有污染的地面和地层。地热井井口应严格密封,井内装置应使用对地下水无污染的材料。地热井与化粪池、污水池或中水处理站的间距不应小于 30m。

为了避免污染地热水。

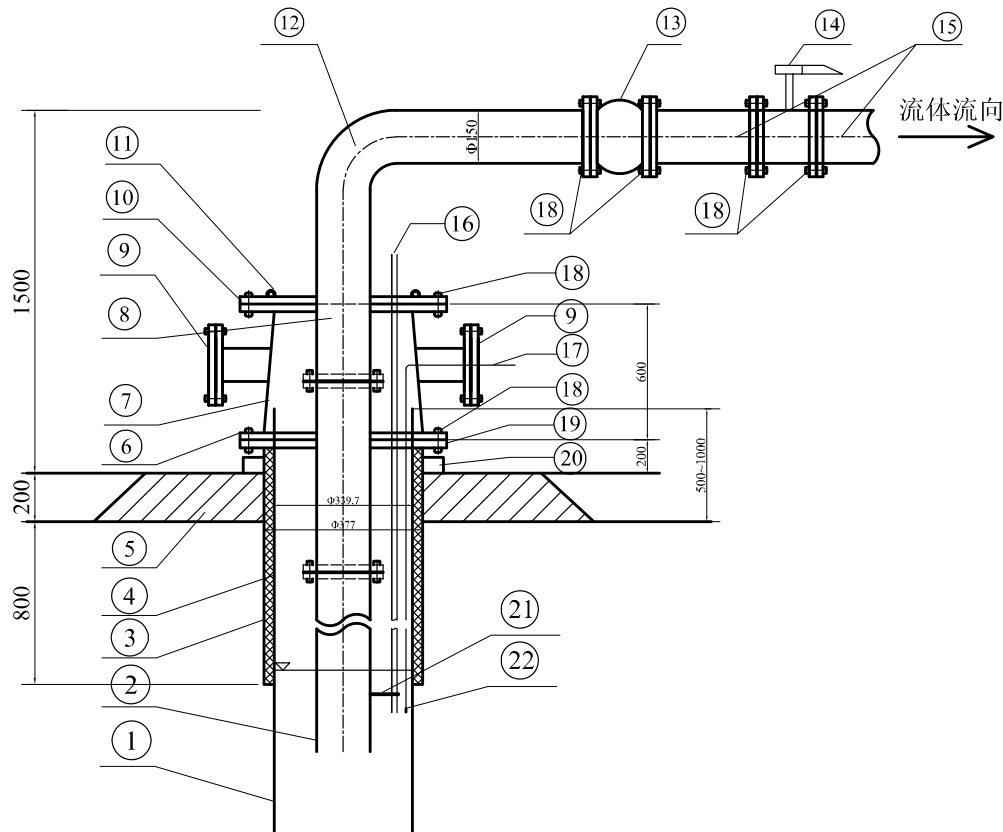
**5.2.5** 地热井口装置设计应符合下列要求:

- 1 井口装置应满足动态监测设备、回灌设备等设施的安装要求;
- 2 井口装置能够承受所需的温度、压力;
- 3 井口材料应根据地热流体水质检测要求,选择具有抗地热流体腐蚀的型材;
- 4 井口装置应采用闭式装置。
- 5 井口装置结构设计应考虑井管的热胀冷缩特点,与井管的连接应采用填料函密封套接方式,并应具有良好的密封性能,不宜采用直接连接方式。
- 6 井口装置应预留水温、水位测量口,回灌井管道应具备溢流回流管道。
- 7 井口装置应预留水泵线缆与自动监测设施线缆入口,且两种线缆入口应分布于井口装置两侧。
- 8 井口装置应做防腐处理,对于高温、腐蚀性强的地热井,井管外应设置保护套管。保护套管直径依井管直径确定,与井管之间的间距以 10 mm~20 mm 为宜,材质宜采用无缝套管,选料总长度应不小于 1200 mm,留置在地面以上的高度应不小于 400 mm,安装时应保证水平、牢固、密闭。
- 9 井口宜设置微正压氮气保护系统,且充氮装置应设置自动压力控制设备。
- 10 回灌井口装置应具备回扬功能。

氧气会与水井内存在的低价铁离子反应形成铁的氧化物,也能产生气体黏合物,引起井堵塞。为此,地热井设计时应采取有效措施消去空气侵入现象。建议

采用氮气保护装置，宜利用自动控制充氮装置，将地热井液面之上的井管充满氮气，防止空气进入。

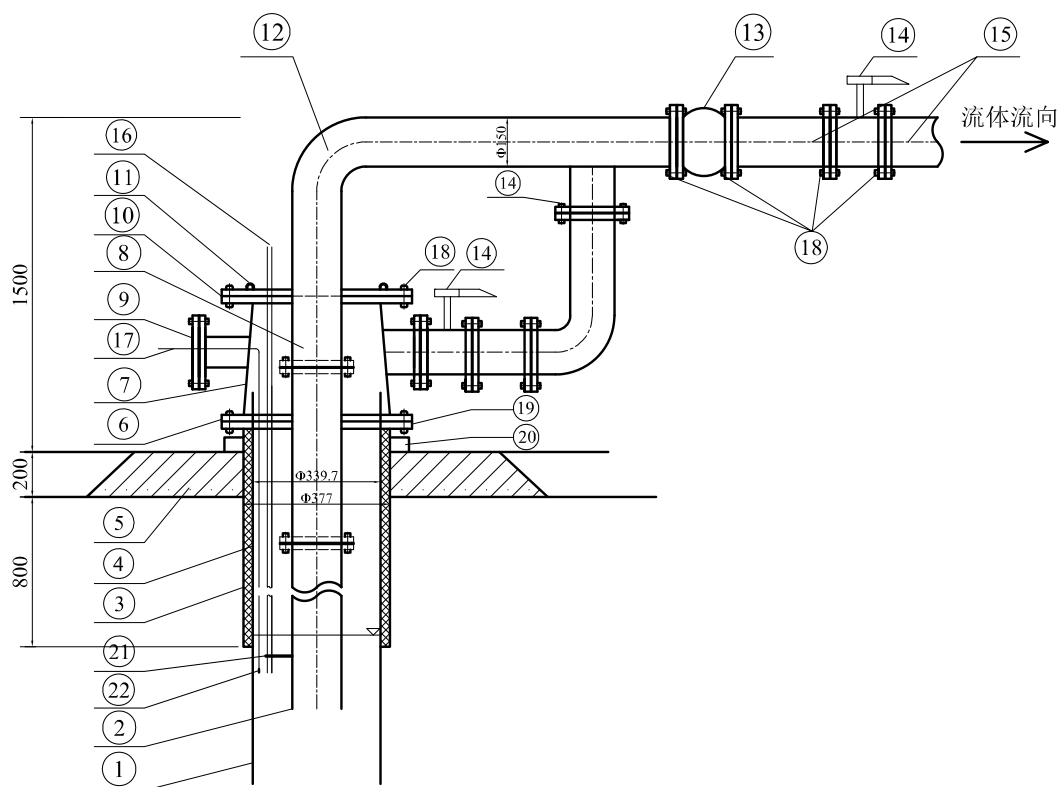
图 5.2.5-1、5.2.5-2、5.2.5-3 给出了开采井标准井口装置基础设施、回灌井标准井口装置基础设施的设计图和井口氮气保护装置。



1—井管；2—泵管；3—保护套管；4—石棉盘根；5—混凝土基础；6—填料压盖；7—井口封闭管件；8—接管；9—密封法兰；10—井口法兰盖；11—吊钩；12—冲压弯管；13—柔性接头；14—蝶阀；15—直管段；16—氮气管；17—液位计；18—螺栓；19—压盖法兰；20—基础钢构件；21—卡箍；21—液位计探

头

图 5.2.5-1 开采井标准井口装置基础设施图



1—井管；2—泵管；3—保护套管；4—石棉盘根；5—混凝土基础；6—填料压盖；7—井口封闭管件；8—接管；9—密封法兰；10—井口法兰盖；11—吊钩；12—冲压弯管；13—柔性接头；14—蝶阀；15—直管段；16—氮气管；17—液位计；18—螺栓；19—压盖法兰；20—基础钢构件；21—卡箍；22—液位计探头

图 5.2.5-2 回灌井标准井口装置基础设施图

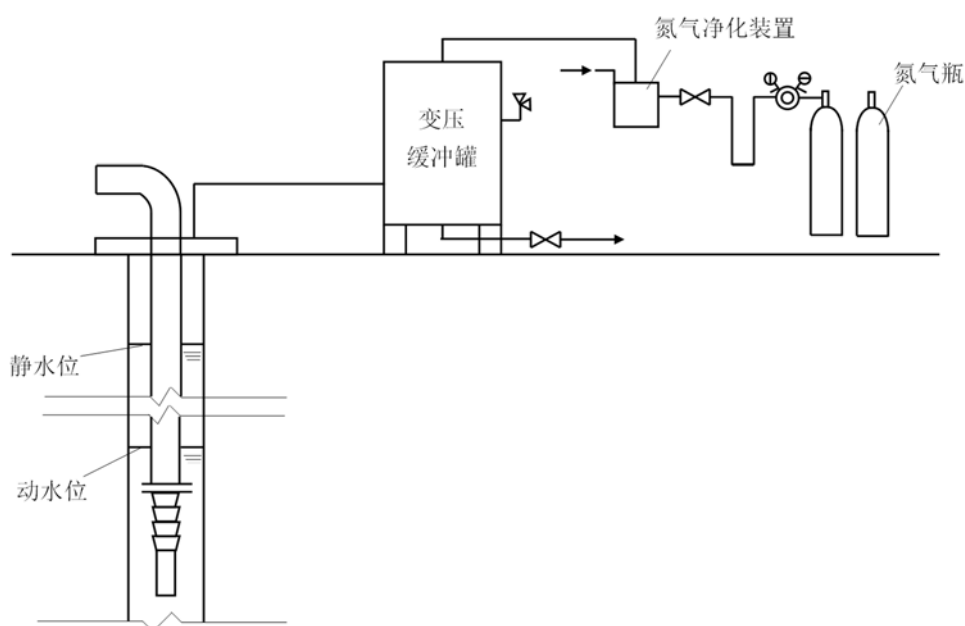


图 5.2.5-3 标准氮气井口保护系统

**5.2.6 地热水除砂设备的选择应符合下列要求：**

- 1 当地热水中含砂量超过 0.05‰（体积比）时，应采取除砂措施。
- 2 除砂设备应满足排砂方便、温度降低少、地热水不与空气接触等要求，宜选用旋流式除砂器。
- 3 除砂设备应考虑处理水量、外部接管管径、管道工作压力、水质要求等因素。

**5.2.7 回灌系统应符合下列要求：**

- 1 回灌不得对热储层造成污染；
- 2 回灌宜采取同层回灌模式；
- 3 基岩裂隙型热储层地热回灌系统中，回灌井内不应安装水泵，进水方式宜采取回灌水管方式进行注水回灌，回灌水管下至回灌井内静水位液面以下 5 m~10 m。孔隙型热储层的回灌系统，考虑回扬需要可在回灌井内安装水泵；
- 4 回灌井与开采井应保持一定的间距，其间距应在分析地质构造、热储性质、回灌量、开采和回灌水温差等的基础上确定；
- 5 回灌井与开采井的深度、井结构应相同。

1 宜采取同层回灌模式，回灌目的层与地热开采热储层基本相同，回灌水源应是供暖后尾水经过密闭系统进入回灌井，以维持开采热储的压力；特殊情况下可以实行异层回灌。进行异层回灌时，要求开采层的水质与回灌井热储层的水质类型基本一致，矿化度相近，且开采井水质优于回灌井。同时应在回灌前对二种水质进行配伍试验，并对回灌水源水质进行评价。在保证回灌热储层不受回灌水影响的前提下方可回灌。

- 2 应避免发生回灌水未达到增温目标而提前进入开采井；

3 回灌水水源要求应参照地热回灌水推荐主要控制指标，评价方法及判断标准执行《地热资源地质勘查规范》GB/T 11615。

4 理论上来说，回灌的温度较低尾水会降低开采温度，形成热贯通。回灌井与开采井的间距确定原则是供暖期回灌井对开采井的热贯通程度在可接受的范围内，也即是这种降低不影响供暖末端设备的使用，在下一个供暖季能基本恢复。其间距与地质构造、热储性质、回灌量、开采和回灌水温差等有关。



**5.2.8** 回灌水系统应安装过滤器，并应符合下列要求：

- 1 回灌过滤装置安装在换热器一次侧出口之后；
- 2 裂隙型热储层可只安装粗过滤器，孔隙型热储层回灌系统应安装精过滤器；
- 3 粗过滤精度宜为  $50\mu\text{m}$ ，精过滤精度宜为  $1\mu\text{m}\sim 3\mu\text{m}$ ；
- 4 过滤器宜采用多个相同的过滤器并联的安装方式，粗过滤器宜采用自清洗；
- 5 过滤器应采用不锈钢材质。

**5.2.9** 回灌系统中的排气罐应符合下列要求：

- 1 排气罐应安装在精过滤器之后，加压泵、回灌井口之前；
- 2 排气罐的容量应根据地热水中所含气体组分和含量确定；
- 3 当地热水中气体含量较高时，应采用连接排气风道方式将已释放出的气体排出设备间，以防止中毒、引发火灾和爆炸；
- 4 排气罐应采用不锈钢材质，顶部设置自动排气装置及压力表；

**5.2.10** 回灌系统设计应能实现自然回灌和压力回灌的切换，并宜采用自然回灌，当自然回灌水量达不到要求时，可采用加压回灌方式。

常见的地热回灌工艺如图 5.2.10 所示。

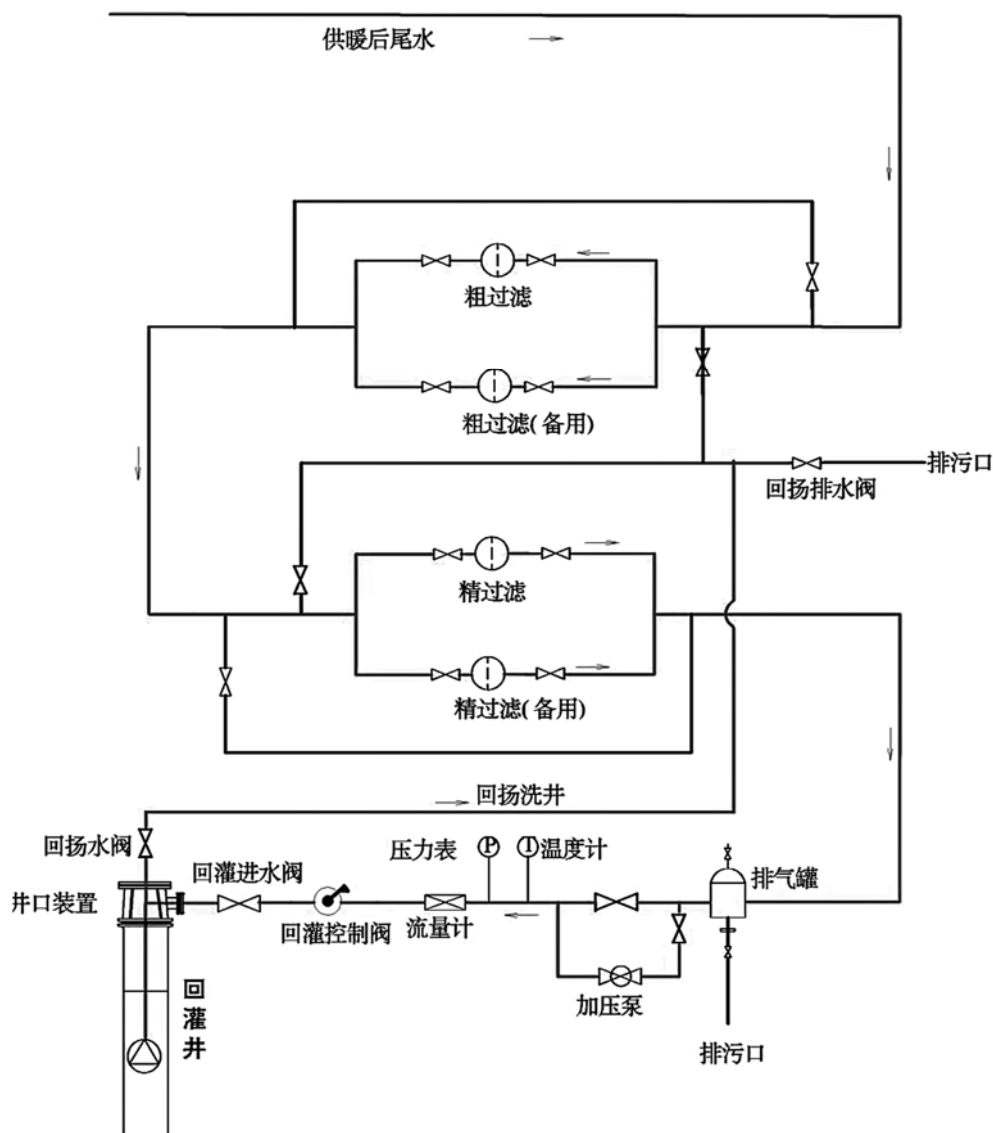


图 5.2.10 地热回灌工艺流程

**5.2.11** 回灌系统中的加压泵应符合下列要求：

- 1 加压泵设置在排气罐之后；
- 2 加压泵宜选用变频控制的管道离心泵；
- 3 加压泵应根据回灌压力和回灌量的要求确定，并符合压力容器和设备的设计安装要求。

为了防止由于回灌井口压力过高（回灌水位上升较快）而回灌困难，在不具备重力回灌条件时，可采用压力回灌方式进行回灌。系统运行时根据实际情况，选择合适型号的离心泵进行加压。

**5.2.12** 回灌系统管道宜选用全密封玻璃钢、PVC 或不锈钢管材，同时进行防腐、防垢处理，并应满足管道的允许工作压力和工作温度要求。回灌系统应严格进行

密封处理，所有接口的连接方式除应采用法兰连接的设备、阀门外，其他管道应采用焊接。

**5.2.13 地热井井口监测仪表应符合下列要求：**

- 1 应安装流量计、水位监测仪、压力计、温度计；
- 2 仪器、仪表材质应考虑防腐蚀、防结垢；
- 3 水位监测仪精度不应低于 $\pm 0.01\text{m}$ ，流量计精度不应低于 2.5%，压力计精度不应低于 $\pm 0.01\text{MPa}$ ，温度计精度不应低于 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 。

**5.2.14 室外管道系统设计应符合下列要求：**

- 1 管路宜采用耐腐蚀性较强的不锈钢或 PVC-U 管，管路中的法兰、阀门、弯头、蝶阀等，应采用不锈钢材质。
- 2 管道系统运行中，应保证在各种设计工况下，管道不出现负压；
- 3 压力输水管应考虑水流速度急剧变化时产生的水锤，并采取消除或削弱水锤的措施。

地热水具有腐蚀、结垢特征。

**5.2.15 管道布置和敷设应符合下列要求：**

- 1 地热水输配管道和管路附件应采取保温措施，设计工况下沿程温降不应大于  $0.1^\circ\text{C}/\text{km}$ 。
- 2 室外管道宜采用直埋敷设。埋设深度应根据冬季冻土深度、外部荷载、管材性能、抗浮要求及与其他管道交叉等因素确定；
- 3 地热水输配管道的平面和竖向布置，应按《城市工程管线综合规划规范》GB 50289 的规定确定；
- 4 地热水输配管道应避免穿过污染及腐蚀性地段，无法避开时应采取保护措施；
- 5 与污水管道或输送有毒液体管道交叉时，地热水输配管道应敷设在上面，且不应有接口重叠；
- 6 应充分利用自然补偿释放管道的温度变形，当自然补偿无法满足变形量时应采用补偿器。支架（支座）的类型、间距和结构应根据管道结构、安装和运行条件、敷设环境、受力特征等因素确定；
- 7 管道高点或易存气点应设排气装置，管线坡度较小时，宜间隔 1000m 设

排气装置。

### 5.3 地热井泵房设计

**5.3.1** 地热井泵房位置应满足小区规划要求。

**5.3.2** 地热井泵房总平面布置应同时满足布置、安装各类管道、仪表和其他部件所需的尺寸要求，各设施之间应有运行操作及维修所必须的场地和检修通道。

**5.3.3** 地热井泵房建筑的高度应满足设备安装、起吊、检修、搬运所需的空間。

1 当采用移动式起重设备时，室内净高不应小于 4.0 m，且应在与井口垂直的屋顶设置不小于 1.0 m×1.0 m 的吊装孔，吊装孔可设计为活动盖板形式，并应防水防漏；

2 当采用固定式起重设备时，室内净高不应小于 6 m；吊起物底部与吊运所越过的物体顶部之间有 0.5 m 以上的净距。

**5.3.4** 地热井泵房的大门应保证能将搬运的机件进入，应比最大件宽 0.5 m。

**5.3.5** 地热井泵房的主要通道宽度不应小于 1.2 m，并应符合《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定。

**5.3.6** 地热井泵房建筑的耐火等级应不小于二级，并根据等级配置符合消防安全通道要求的门窗，泵房门应为向疏散方向开启的丙级以上防火门。

**5.3.7** 地热井泵房建筑内应设置防爆照明灯具及开关，其他电器设备应符合相应的国家防爆技术要求。

**5.3.8** 地热井泵房的噪声控制应符合《声环境质量标准》GB 3096 和《工业企业噪声控制设计规范》GB/T 50087 的规定。

**5.3.9** 地热井泵房宜采用地上独立建筑，且应符合下列要求：

- 1 地热井泵房地面标高应高于室外地面 200 mm；
- 2 地热井中心线至内墙面的间距不应小于 1.5 m；
- 3 地热井泵房应设置供暖设施，保证室温不低于 5℃；
- 4 地热井泵房应设置机械通风装置。

**5.3.10** 地下或半地下式地热井泵房应符合下列要求：

- 1 地热井泵房屋顶应设置井泵提升孔和进出人孔，并设置防雨、防尘帽和警示标志；
- 2 地热井泵提升孔与进出人孔尺寸不小于 1.0 m×1.0 m，进出人孔处设扶梯；

3 室内排水沟末端应设置集水坑，并应安装自动潜水排污泵，并应有不间断动力电源供应；排污泵应设置自动启闭装置；

4 进出地热井泵房的各种管道、电缆应预埋穿墙防水套管；

5 当地热井水温超过 45℃时，应设置直通室外的安全通道；

6 自流井不应采用地下或半地下地热井泵房。

#### 5.3.11 地热井泵选型应符合下列要求：

1 地热井泵应满足地热水的温度和腐蚀性要求，宜采用耐热潜水电泵；

2 地热井泵应根据地热井的温度、流量、水质、水位等要求确定，并适当考虑发展余量；

3 应配置变频控制装置；

4 应配置一台备用井泵，型号与工作井泵一致；

### 5.4 地热水采集系统施工

5.4.1 地热水开采回灌系统施工前应具备地热井及其周围区域的工程勘察资料、设计文件和施工图纸，并完成施工组织设计。

5.4.2 地热井的钻探应满足《地热钻探技术规程》DZ/T 0260 的要求。

5.4.3 成井时应进行物探测井、扫孔、破壁、冲孔换浆、下管与止水固井、洗井和抽水试验。

#### 1 物探测井

(1) 测井前应进行通孔，通孔至井底后开泵循环，使井内钻井液性能指标上下保持一致。

(2) 测井探头和电缆在起下过程中要缓慢匀速，防止产生抽吸作用。

(3) 根据地质情况和合同要求选择测井项目。

#### 2 扫孔

(1) 为保证井眼的圆整，应采用与原来井径相同的钻头进行扫孔。

(2) 扫孔时，通过钻机提升和回转系统在井内由浅而深上下及旋转运动，容易井斜的区段应反复扫孔。

#### 3 破壁

(1) 根据不同地层或泥皮情况，可采用专用刮刀或钢丝刷机具破壁。

(2) 用钻杆连接破壁工具，在井内自上而下慢速回转方式破坏并壁泥皮，

并注意控制提、下钻具速度。

#### 4 冲孔换浆

(1) 破壁结束后,可利用井内原钻具进行排渣和冲孔换浆。

(2) 对于相对稳定地层换浆黏度宜控制在 15s-20s,密度小于 1.15g/cm<sup>3</sup>,地层稳定性较差换浆黏度控制在 20s-25 s, 密度 1.15g/cm<sup>3</sup>-1.20 g/cm<sup>3</sup>。

#### 5 止水固井

地热井可根据情况选用膨胀橡胶或膨胀橡胶—普通橡胶联合止水,止水位置应在最上部过滤器顶端,数量为 2-4 组。采用水泥固井方法止水。

#### 5.4.4 地热井井管应符合下列要求:

1 井深大于 1500 m 或腐蚀性较强的地热井,宜选择石油套管;过滤管选择石油套管缠梯形丝的双层过滤管,不宜直接使用单层桥式过滤管或单层缠丝过滤管;

2 井管连接推荐使用丝扣连接方式,焊接连接井深不宜超过 1500 m;

3 对于基岩稳定地层可根据具体情况裸孔成井;对于破碎掉块地层应下入井壁管或过滤管,过滤管可视情况选择钻孔式或条缝式;

4 泵室段井管直径应满足下入开采泵和测量的要求,泵的安装深度应大于与开采量相应的动水位;

5 全井下管时,应在底部有 15m-30 m 沉淀管。

常用管材有石油套管、无缝钢管、螺旋和直缝高频焊管、PVC-U 塑料管等。过滤管主要有桥式过滤管、梯形丝过滤管、贴砾过滤管、钻孔缠丝管、铣缝式 PVC-U 塑料管等。

#### 5.4.5 地热井的抽水试验应按《地热资源地质勘查规范》GB/T 11615 执行。

#### 5.4.6 除砂器安装应符合下列要求:

1 除砂器应安装在供水管网的主管道,并固定在基座上。

2 为保证进水水流平稳,在设备进水口前应安装一段与进水口等径的直通管,长度相当于进水口直径的 10~15 倍。

3 除砂器四周应预留有足够的维护空间。

### 5.5 地热水采集系统检验

#### 5.5.1 地热水供暖系统分项完成施工应进行整体检验。主要内容有:

1 系统的压力、温度、流量等各项技术数据应符合设计要求和相关规范的规定。

2 系统连续运行应达到正常平稳；水泵的压力和水泵电机的电流波动不应超出规定值。

3 各种自动计量检测元件和执行机构的工作应正常，满足建筑设备自动化系统对被测定参数进行检测和控制的要求。

4 应保证控制、检测设备与系统检测元件和执行机构的信号传输，状态参数的正确显示，以及设备连锁、自动调节、自动保护机构的正确动作。

**5.5.2** 地热井的检验应满足《地热钻探技术规程》DZ/T 0260 的要求。

**5.5.3** 地热井持续出水量和回灌量应稳定，并应满足设计要求。

**5.5.4** 抽水结束前应采集水样，进行含砂量测定。经处理后的水质应满足系统设备的使用要求。

## 6 浅层地埋管地热能采集系统

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 浅层地埋管地热能采集系统宜结合供暖末端需求和水源热泵机组的设计方案进行分区设置。

分区设置地埋管换热器与集中设置相比,便于地下土壤温度场的恢复,在部分负荷工况下,可以实现地埋管换热系统各换热环路的轮换或间歇运行,有利于减少岩土体的换热强度,便于系统分区管理、维护,提高地埋管换热系统使用的可靠性。

**6.1.2** 浅层地埋管地热能采集系统施工时,应进行详细的施工组织设计,严禁损坏既有地下管线及构筑物,并宜靠近机房或以机房为中心设置。

施工时应避开既有地下管线及构筑物,保证在保护线以外。使地埋管换热器远离水井、室外排水设施等构筑物,以减少这些设施的影响,距离水井、化粪池宜不少于15m。靠近机房或者以机房为中心是为了缩短供、回水集管的长度。

**6.1.3** 地埋管换热器安装完成后,应在埋管区域做出标志或标明管线的定位带,并应采用2个现场的永久目标进行定位,并建立地埋管换热器的数据档案。

埋管区域不应以树木、灌木、花园等作为标识,每孔地埋管换热器都应建立数据档案,包括定位坐标、实际深度、钻孔完成时间等。

**6.1.4** 地埋管换热系统应设自动充液、自动排气及泄漏报警系统,并应设防冻保护装置。

目的在于增加系统的安全性、可靠性。便于系统充液,一般可在分水器或者集水器上预留充液管。地埋管换热器系统上要设置排气、定压、膨胀、自动补水及水过滤等装置,和压力表、温度计等仪器。

### 6.2 管材与传热介质

**6.2.1** 地埋管管材及管件应符合设计要求,且应具有质量检验报告和生产厂的合格证。

**6.2.2** 地埋管管材及管件应符合下列要求:

1 管材应采用化学稳定性好、耐腐蚀、导热系数大、流动阻力小、热胀系数小的塑料管材及管件;



- 2 埋管内外表面应清洁、光滑，不应有气泡、明显的划伤、凹陷、杂质、颜色不均等缺陷，管端头应切割平整，并与管轴线垂直；
- 3 宜采用高密度聚乙烯管（PE80 或 PE100），不宜采用聚氯乙烯（PVC）管及管件；
- 4 管件与管材应为相同材料；
- 5 聚乙烯管应符合《给水用聚乙烯（PE）管材》GB/T 13663 的要求；
- 6 管材的公称压力及使用温度应满足设计要求，且管材的公称压力不应小于 1.0MPa。埋深达 120m 时，必须采用公称压力不低于 1.6MPa 的管材，工作温度应在-20~40℃范围内。地埋管外径及壁厚可按本规程附录 B 的规定选用；
- 7 地埋管应按设计长度要求成捆供应，中间不应有机械接口及金属接头；
- 8 管材规格应符合设计要求；
- 9 接头部位易于密封和防漏。

地埋管与管件在土层中易受到有机生物等的腐蚀，为延长其使用寿命，应采用化学稳定性好、耐腐蚀的材料。导热系数大的材料，有助于减少热阻，提高换热效率。换热管与管件需承受系统的水压力，故它们除了应满足设计压力要求外，承压值还应不小于 1.0MPa，使承压能力需留有裕度。

**6.2.3** 传热介质应添加防冻剂。防冻剂的类型、浓度、有效期、使用说明及注意事项应在充注阀处注明。

黑龙江省地处严寒地区，100m 深处土壤的温度仅为 6-7℃。

**6.2.4** 添加防冻剂后的传热介质的冰点宜比设计最低运行水温低 3~5℃。选择防冻剂时，应同时考虑防冻剂对流经的管道、管件和设备的腐蚀性，防冻剂的安全性、经济性、对水泵的流量和扬程及其对换热的影响。

换热介质的安全性包括毒性、易燃性及腐蚀性；介质的良好换热性能和较小的摩擦阻力系数是指具有较大的导热系数和较低的黏度。此外，可采用的其他换热介质有：氯化钠溶液、氯化钙溶液、乙二醇溶液、丙醇溶液、丙二醇溶液、甲醇溶液、乙醇溶液、醋酸钾溶液及碳酸钾溶液。

## **6.3 地热能采集系统设计**

**6.3.1** 地埋管换热系统设计前应明确待埋管区域内各种地下管线的种类、位置及深度，预留未来地下管线所需的埋管空间、施工空间及埋管区域进出重型设备的

车道位置。

**6.3.2** 地埋管换热器应根据可利用地面面积、岩土体地质勘察结果及挖掘成本等因素确定具体埋管方式，并基于岩土的热物性确定埋管深度与间距。

**6.3.3** 浅层地埋管地热能采集系统应监测运行过程中土壤温度变化。

对于小型地埋管地源热泵系统，可以通过设置在地埋管出水总管上的温度检测系统，监测地埋管出水温度，作为土壤温度变化定性评估指标。建筑面积 20000 m<sup>2</sup>以上的大规模地源热泵系统，除了监测检测出水温度外，需要专门设置土壤温度监测系统，在埋管区域的最不利换热孔设置温度传感器，分区域埋设地埋管换热器的项目，则需要分别监测每个分区内的最不利换热孔。在单个地埋管换热器钻孔深度范围内设置温度传感器数量与项目所在地质条件相关，一般不宜少于 3 个，分别设置于钻孔底部、中部和顶部，若钻孔深度范围内地质条件变化显著则应适当增加温度测点。

**6.3.4** 地埋换热管长度应通过计算确定。计算时应考虑管材、岩土体及回填料热物性的影响，宜采用专用软件计算。中、小型地埋管换热器的设计计算也可按照附录 C 的方法。

地埋换热管的设计计算是地源热泵系统的重要设计内容。由于地埋管的换热性能受岩土体热物性和地下水流动等地质条件的影响很大，即使在同一地区，岩土体的热物性参数也有差别。为确保地埋换热管的设计符合实际情况，通常在设计前需对现场岩土体热物性进行测定，并根据实测数据进行计算。此外，建筑物的全年动态负荷、系统运行过程中岩土体的温度变化、换热管及传热介质的特性也都会影响它们的换热效果。因此，考虑到地埋换热管设计计算的特殊性与复杂性，其设计长度宜采用专用软件进行计算。

附录 C 为引自国际地源热泵协会（IGSPA）的经验计算公式，由于无法计算地埋管地源热泵系统总释热量和吸热量，从岩土体热平衡对地埋管地源热泵系统安全性及节能性影响的考虑，大型地埋管换热器项目（建筑面积>20000m<sup>2</sup>）不建议选用。对于中型（建筑面积介于 4000-20000m<sup>2</sup>之间）、小型（建筑面积≤4000m<sup>2</sup>）地埋管换热器项目，按照附录 C 计算数值地埋管管长，与采用专用计算机软件得到的管长存在一定的偏差，对项目的经济性产生影响。

**6.3.5** 地埋管地源热泵系统的埋管如设在建筑物的基础下时，应与有关专业协调，

考虑基础沉降、防水、安全及施工工艺等因素。

许多地埋管地源热泵系统的埋管在建筑物的底板下，常需穿过底板，由于基础防水与沉降等潜在性问题较为复杂，故必须预先与有关工种进行研究和评估，以确保系统的可靠性。

**6.3.6** 地埋管换热器设计计算时，环路集管不应包括在地埋管换热器长度内。

引自加拿大地源热泵系统设计安装标准《Design and Installation of Earth Energy Systems for Commercial and Institutional Buildings》CAN/CSA-C448.1。

**6.3.7** 水平地埋管换热器可不设坡度，最上层埋管顶部距地面的埋深均应在冻土层以下 0.5m。

**6.3.8** 竖直地埋管换热器埋管深度应大于恒温层深度，单 U 管钻孔孔径不宜小于 110mm，双 U 管钻孔孔径不宜小于 140mm，对于管径为 De32 及 De40 的埋管，钻孔孔径宜为 150~250mm。钻孔间距应满足换热需要，间距宜为 4~6m。水平连接管的埋设深度应在在冻土层以下。

对钻孔孔径作出规定主要是保障 U 型管直接距离、便于 U 型管安装及钻孔注浆回填，钻孔孔径可根据 U 型管类型、管直径确定，直径 0.032m 单 U 型换热管钻孔直径通常采用 0.14-0.16m；钻孔间距的规定主要是减轻钻孔之间热干扰，钻孔间距应通过计算确定。

**6.3.9** 地埋管换热器管内流体应保持紊流流态，水平环路集管坡度宜为 0.002。

目的为确保系统及时排气和加强换热。地埋管换热器内管道推荐流速：双 U 型埋管不宜小于 0.4m/s，单 U 型埋管不宜小于 0.6m/s。

**6.3.10** 地埋管环路两端应分别与供、回水环路集管相连接，且宜同程布置。每对供、回水环路集管连接的地埋管环路数宜相等。供、回水环路集管的间距不应小于 0.6m，否则管道应进行保温。

同程布置有利于水力平衡。提出环路同程布置、与每对供、回水环路集管（或分、集水器）连接的换热管环路数宜相等是水力平衡的需要；供、回水环路集管的间距不应小于 0.6m，是为了减少供、回水管间的热传递。

**6.3.11** 地埋管换热器安装位置应远离水井及室外排水设施，并宜靠近机房或以机房为中心设置。

地埋换热管远离水井及室外排水设施，是为了减少水井及室外排水设施对换

热管换热的影响。换热管邻近机房或以机房为中心设置是为了减少供、回水集管的长度，利于节能。

**6.3.12** 地埋管换热系统应根据地质特征确定回填料配方，回填料的导热系数不应低于钻孔外或沟槽外岩土体的导热系数，回填料的渗透系数应满足地下水抗渗要求。

换热孔的回填材料位于换热管与钻孔壁之间，可用于保证换热管和周围岩土体的换热，并防止地表水通过钻孔向地下渗透或不同承压含水层之间的水力沟通，保护地下水不受污染或避免各承压水层之间地下水的相互影响。因此，适宜的回填材料对于保证地埋管换热器的性能、防止地质环境恶化有重要意义。

回填材料的导热性、抗渗性、经济性以及施工难易程度是选择回填材料的主要因素；不同地质条件对回填材料的性能要求也不同。

回填材料的导热系数是影响换热孔孔内热阻的重要因素，当回填材料的导热系数低于周围岩土体的导热系数时，换热孔孔内的热阻在总热阻中所占比重较大，因此增大其导热系数有利于减小总热阻；当回填材料的导热系数大于周围岩土体的导热系数时，孔内的热阻在总热阻中所占比重相对较小，增大其导热系数对总热阻的减少量不明显。

为进一步了解国内常用回填料的性能，国内相关研究人员对由膨润土、水泥、黄沙构成的回填料进行了试验研究，膨润土基回填料（主要由黄沙、膨润土组成）、水泥基回填料（主要由黄沙、水泥、膨润土组成）在不同配比条件下的导热系数、渗透系数试验测试结果见 6.3.12、图 6.3.12-1、图 6.3.12-2，可供勘察、设计、施工人员参考。

表 6.3.12 水泥基回填料不同配比导热系数测试结果表

| 序号 | 配比        | 导热系数    |
|----|-----------|---------|
| 1  | 黄沙：膨润土：水泥 | (W/m·K) |
| 2  | 5:4:1     | 1.205   |
| 3  | 5:3:2     | 1.221   |
| 4  | 5:2:3     | 1.257   |
| 5  | 5:1.5:3.5 | 1.324   |
| 6  | 6:3:1     | 1.334   |

|    |           |       |
|----|-----------|-------|
| 7  | 6:2:2     | 1.411 |
| 8  | 6:1.5:2.5 | 1.531 |
| 9  | 6:1:3     | 1.596 |
| 10 | 7:2:1     | 1.492 |
| 11 | 7:1.5:1.5 | 1.641 |
| 12 | 7:1:2     | 1.695 |
| 13 | 7:0:3     | 1.883 |
| 14 | 8:0:2     | 1.948 |
| 15 | 9:0:1     | 2.147 |

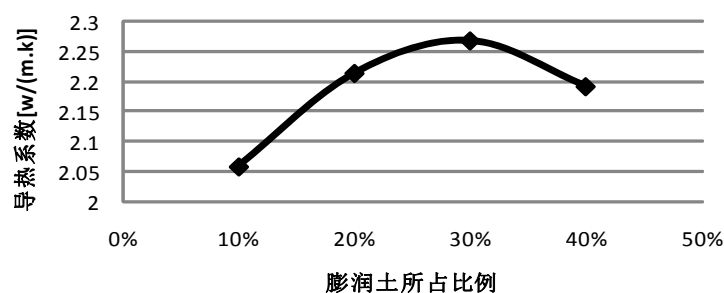


图 6.3.12-1 不同配比膨润土基回填材料导热系数

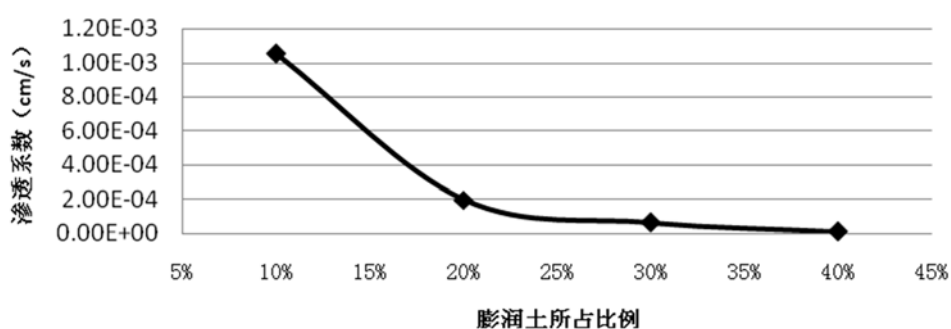


图 6.3.12-2 不同配比膨润土基回填材料渗透系数

回填材料的抗渗性可用其渗透系数进行描述,渗透系数越小其抗渗性能越好。

**6.3.13** 地埋管换热系统设计时应根据实际选用的传热介质的水力特性进行水力计算。埋管换热器的环路平均比摩阻宜控制在 10 kPa/100m ~30kPa/100m, 最大不应超过 50kPa/100m。

根据地理管材料、施工和输送成本综合比较的经济比摩阻范围。考虑到大型

工程埋管占地面积较大，埋管系统管线较长，可能还需要分区设置，此时连接各区域分、集水器和热泵机组的管道管径、流量都较大，可参考空调水系统经济比摩阻进行选择。

**6.3.14** 地埋管换热系统设计时应考虑地埋管换热器的承压能力，若建筑物内系统压力超过地埋管换热器的承压能力时，应设中间换热器将地埋管换热器与建筑物内系统分开。地埋管换热器的承压能力可按下式计算确定：

$$P = P_0 + \rho gh + 0.5P_h \quad (6.3.14)$$

式中：P——管路最大压力（Pa）；

$P_0$ ——当地大气压力（Pa）；

$\rho$ ——地埋管中流体密度（kg/m<sup>3</sup>）；

g——重力加速度（m/s<sup>2</sup>）；

h——地埋管承压最不利点与闭式循环系统最高点的高度差（m）；

$P_h$ ——水泵扬程（m）。

地埋换热管的承压能力薄弱点在接头处，热熔连接处的承压值约为 1.0MPa，电熔连接处的承压值约为 1.6MPa。由于 U 型管位置最低，可在地面上预先以电熔方式连接。如系统的最大工作压力是 1.5MPa，试验压力值不超过 1.6MPa。

**6.3.15** 竖直地埋管换热器应进行分组连接，每组换热器数目宜相等，且每组集管连接的竖直换热管环路数不宜超过 8 个。各组换热器形成的地埋管环路两端应分别与供、回水环路集管连接，应采取同程式布置，并应在各环路的总接口处设置检查井。

分组连接与建议每组集管所含竖直换热管环路数是为了便于运行管理与水力平衡调节。

**6.3.16** 大型地埋管换热器宜分区域设计，宜与主机容量适应。

地埋换热器分区域设计是为了便于系统管理、维护，另一重要的优点是在部分负荷时，可较方便地轮换运行部分换热系统，即一部分换热管按需工作，另一部分换热管可“休息养生”，利于岩土温度恢复，也不至于在部分负荷时、部分流量流动在较大的管系中，导致流速降低，换热性能变差，又浪费了水泵能量。

**6.3.17** 地埋管换热系统宜设置反冲洗系统，冲洗流量宜为工作流量的 2 倍。

目的在于防止地埋管换热系统堵塞。反冲洗系统应与水源热泵等设备隔开，可以分组冲洗，水泵宜按单次冲洗地埋管换热器工作流量的 2 倍和相应扬程选配。

**6.3.18** 与地埋管换热器连接的水泵、阀门、管道附件等设计与选择应符合国家现行相关规范的要求。

## **6.4 地热能采集系统施工**

**6.4.1** 地埋管换热系统施工前应具备埋管区域的工程勘察资料、设计文件和施工图纸，并完成施工组织设计。

**6.4.2** 水平支管沟应在竖直钻孔钻完后开挖，并应设遮蔽物防止杂物进入钻孔。

**6.4.3** 在施工现场应对地埋管系统所用材料进行保护，并应符合以下规定：

- 1 进入现场的管材、管件必须逐件进行外观检查。
- 2 管材和管件存放、搬运和运输过程中，应小心轻放，排列整齐，采用柔韧性好的皮带、吊带或吊绳进行装卸，不得随意抛摔和沿地拖拽。
- 3 夏季施工应预防管道受热发生热变形，未安装的管子应避光存放。

**6.4.4** 管道连接应符合下列要求：

- 1 埋地管道应采用热熔或电熔连接。聚乙烯管道连接应符合国家现行标准《埋地聚乙烯给水管道工程技术规程》CJJ 101 的有关规定；
  - 2 壁厚不大于 3.5mm 的 PE、PB 塑料管，应该使用活接头连接或承插连接；壁厚大于 3.5mm 的塑料管，宜采用对接焊接或活接头连接
  - 3 竖直地埋管换热器的 U 形弯管接头，宜选用定型的 U 形弯头成品件，不宜采用直管道煨制弯头，不得采用两个 90°的弯管对接构成 U 型弯管；
  - 4 竖直地埋管换热器 U 形管的组对长度应能满足插入钻孔后与环路集管连接的要求，组对好的 U 形管的两开口端部，应及时密封；
  - 5 竖直地埋管换热器使用的管道，应组对整根放入，不得拼接；
  - 6 地埋管系统水平集管与地埋管换热器的连接：当管径小于 De90 时，宜采用电熔套筒连接；当管径大于 De90 时，宜采用热熔对接方式。如需采用金属件丝扣连接时，必须在连接件外作防腐处理，并作地下检查井维护。
- 4 主要目的是方便竖直 U 形管与环路集管对接，U 形管的组对长度大于换热孔设计深度 1m~2m 为宜。

**6.4.5 竖直地埋管钻探施工应符合下列要求：**

- 1 根据地层条件、孔深、孔径等合理选择钻探设备和钻进工艺；
- 2 钻进过程中应采取护壁措施，确保孔壁稳定；
- 3 钻孔深度应确保地埋管下放至设计深度；
- 4 钻孔的垂直度偏差度不应大于 1%。

2 换热孔孔壁稳定是保障后续下管和注浆回填顺利进行的前提，当浅部填土较厚和含较多杂质时，钻孔采用护筒护壁，其它地层可用泥浆护壁；

3 垂直偏差度指钻孔底部中心在水平方向偏离孔口中心垂线的距离与钻孔垂直深度的百分比。目前竖埋管深度多在 80m~120m 之间，埋管的间距在 4m~6m 之间，垂直度偏差过大可能导致钻孔相交，损坏已埋设的地埋管，或因两管距离过近影响热交换效率。为保证钻孔垂直，钻进设备安装应稳固、水平，钻塔天车和钻机立轴及孔口中心在同一直线上；钻进时应使用导向钻具、采取减压钻进等措施。

**6.4.6** 钻孔施工时应设排水沟和泥浆池等设施，以排除钻井时产生的水和储存钻孔浆液。

**6.4.7 竖直地埋管换热器的安装应符合下列要求：**

1 对于 U 型换热管，在每钻一孔前，换热管必须组装好；应用水充满管道，打压合格后在有压状态下将换热管放入钻孔，以防孔内积水使换热管脱离孔底上浮，达不到预埋深度。

2 当钻孔成孔后，应立即下管；下管时应将灌浆管和 U 型管一起插入孔中，直至孔底。下管时，必须保证下管长度符合设计要求，管道不应受钻孔内积水浮力影响而产生位移。

3 灌浆管端头宜设防堵装置，且灌浆时应能够将其冲开。

4 下管完毕后 U 型管上端应高出地面，管端应作好封闭措施，防止进入杂物。

5 换热管应每间隔 2m~4m 安装管卡支撑，使 U 型管支管处于分开状态。

**6.4.8** 竖直地埋管换热器 U 形管安装应在钻孔钻好且孔壁固化后立即进行。当钻孔孔壁不牢固或者存在孔洞、洞穴等导致成孔困难时，应设护壁套管。若发现不合格的钻孔，如井壁坍塌、钻孔垂直度不满足要求或埋管后保压时出现泄露，



必须报废钻孔重新钻孔埋管。

#### 6.4.9 竖直地埋管钻孔回填应符合下列要求：

- 1 地埋管换热器安装完成后应在 12 小时内用灌浆材料回灌封孔。灌浆应密实，无空腔。在灌浆之前应对埋管进行试压，确认无泄漏现象后方可进行灌浆；
- 2 钻孔灌浆回填料宜采用膨润土和细砂（或水泥）的混合浆或专用灌浆材料。当地埋管换热器设在密实或坚硬的岩土体时，宜采用水泥基料灌浆回填；
- 3 回填材料应与周围岩土相适应，宜具有良好的导热性能和密封低渗透性能；
- 4 回填材料通过注浆管自孔底向上进行；
- 5 灌浆材料应搅拌均匀后方可使用。灌浆回填过程中，应注意观察竖直埋管周围回填物的沉降情况，必要时需采用多次灌浆回填，确认稳定后方可结束该工序；
- 6 当地埋管位于建筑基础底部时，注浆回填质量应确保基坑开挖阶段埋管位置不发生涌水和涌砂现象。

灌浆回填料一般为膨润土和细沙（或水泥）的混合浆或其它专用灌浆材料。膨润土的比例宜占 4%~6%。钻孔时取出的泥沙浆凝固后如收缩很小时，也可用作灌浆材料。如果地埋管换热器设在非常密实或坚硬的岩土体或岩石情况下，宜采用水泥基料灌浆，以防止孔隙水因冻结膨胀损坏膨润土灌浆材料而导致管道被挤压节流。对地下水流丰富的地区，为保持地下水的流动性，增强对流还热效果，不宜采用水泥基料灌浆。

回填材料应具有周围岩土相适应的较高的导热性能和保证钻孔密封性的低渗透率。所有使用的非水泥灌浆混合物可参考加拿大地源热泵系统设计安装标准《Design and Installation of Ground Source Heat Pump Systems for Commercial and Residential Buildings》ANSI/CAS C448 Series-16 满足按照如下条件选取：

- 1 回填灌浆材料最小导热系数为  $0.71\text{W/m}\cdot\text{K}$ ；
- 2 水力渗透系数不大于  $1\times 10^{-7}\text{cm/s}$ ；
- 3 惰性且无毒；
- 4 不可生物降解。

同时灌浆混合料应保持其热力学，水文和机械性能在系统全寿命期内退化不

超过 10%。

**6.4.10 环路集管安装施工应符合下列要求：**

- 1 沟槽开挖应根据表层土性和地下水位埋深合理确定开挖方案，防止管沟坑壁滑塌；
- 2 沟槽底部先铺设相当于管径厚度的细砂并平整夯实；
- 3 管道不应有折断、扭结等问题，转弯处平顺，并采取固定措施；
- 4 安装完成后，应进行水压试验，确认无泄漏后回填；
- 5 沟槽应首先用细砂回填至高于管顶不少于 100mm，后用不含石块及杂物的原土回填，并分层压实至设计标高。

1 换热管在有压状态下目的是消除在下管过程中受孔壁及其它外力导致换热管变形，下入注浆管用于后续注浆回填；

2 目的是减轻 U 型管支管之间热影响；

3 当竖直地埋管设置在基础地下时，埋管一般在基坑开挖前进行，因地埋管在孔内自然弯曲变形、钻孔超深等因素可能导致地埋管下沉，竖直地埋管的长度应在设计换热长度的基础上适当增加富余量，防止基坑超挖引起安全事故。在地埋管的端部用醒目的方式进行标识，便于在挖土时识别，防止挖土机械损坏地埋管。

**6.4.11** 地埋管换热器安装后应用清水对管路进行冲洗，管内水流速不小于 1m/s。充注防冻和防腐液前，应进行排气。

**6.4.12** 当室外环境温度低于 0℃时，不宜进行地埋管换热器的施工。

一般来说，地埋管换热器施工环境温度建议在 10℃以上。室外环境温度低于 0℃时，塑料地埋管物理力学性能将有所降低，容易造成地埋管的损害，故当室外环境温度低于 0℃时，尽量避免地埋管换热器的施工。如果地埋管系统采用防冻液，填充系统的方法必须确保整个地埋管回路中均包含正确浓度的防冻剂，即在热泵运行之前已经进行了充分的混合，从而形成均匀的流体。

**6.4.13** 警示带宜铺设于管道上方，沟槽深度的 1/2 处。

警示带应清楚地标识其保护对象，例如“下面有地热管道”。宜可检测，以防止将来任何的施工工程损坏管道。

## 6.5 地热能采集系统检验

**6.5.1** 地埋管换热系统安装过程中,应由监理工程师进行或监督下完成下列工作内容,并应提供检验报告:

- 1 管材、管件等材料应符合国家现行标准的规定和设计要求;
- 2 钻孔、水平埋管的位置和深度、地埋管的直径、壁厚及长度均应符合设计要求;
- 3 回填料及其配比应符合设计要求;
- 4 水压试验和水冲洗应符合设计要求和相关规范;
- 5 各环路流量应平衡,且应满足设计要求;
- 6 防冻剂和防腐剂的特性及浓度应符合设计要求;
- 7 循环水流量及进出水温差均应符合设计要求。

**6.5.2** 水压试验应符合下列要求:

1 试验压力:当工作压力小于等于 1.0MPa 时,应为工作压力的 1.5 倍,且不应小于 0.6MPa;当工作压力大于 1.0MPa 时,应为工作压力加 0.5MPa。

2 水压试验步骤:

1) 竖直地埋管换热器插入钻孔前,应做第一次水压试验。在试验压力下,稳压至少 15min,稳压后压力降不应大于 3%,且无泄漏现象;将其密封后,在有压状态下插入钻孔,完成灌浆之后保压 1h。水平地埋管换热器放入沟槽前,应做第一次水压试验。在试验压力下,稳压至少 15min,稳压后压力降不应大于 3%,且无泄漏现象。

2) 竖直或水平地埋管换热器与环路集管装配完成后,回填前应进行第二次水压试验。在试验压力下,稳压至少 30min,稳压后压力降不应大于 3%,且无泄漏现象。

3) 环路集管与分区二级分集水器及机房分集水器连接完成后,回填前应进行第三次水压试验。在试验压力下,稳压至少 2h,且无泄漏现象。

4) 地埋管换热系统全部安装完毕,且冲洗、排气及回填完成后,应进行第四次水压试验。在试验压力下,稳压至少 12h,稳压后压力降不应大于 3%。

3 水压试验宜采用手动泵缓慢升压,升压过程中应随时观察与检查,不得有渗漏;不得以气压试验代替水压试验。

4 不应在有结冰的危险的寒冷天气中进行水压测试

**6.5.3** 回填过程的检验应与安装地埋管换热器同步进行。

回填过程的检验内容包括回填料配比、混合程序、灌浆及封孔的检验。

## 7 中深层地埋管地热能采集系统

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 地热换热系统施工前,应预留未来地下管线所需埋管空间及埋管区域进出重型设备的车道位置,严禁损坏地下既有管线和构筑物。

**7.1.2** 地热换热系统施工后,应在埋管区域标明管线的定位带,并应采用 2 个现场永久目标进行定位,对于深度超过 1000m 的地埋管换热器应在安装位置设置检查井。

### 7.2 管材与传热介质

**7.2.1** 地埋管管材及管件应符合设计要求,且应具有质量检验报告和生产厂的合格证。

地埋管质量应符合国家现行标准中的各项规定,管材的公称压力及使用温度应满足设计要求。

**7.2.2** 地埋管管材及管件应符合下列要求:

- 1 管材应采用化学稳定性好、耐腐蚀、流动阻力小、热胀系数小的管材及管件;
- 2 管内外表面应清洁、光滑,不应有气泡、明显的划伤、凹陷、杂质、颜色不均等缺陷,管端头应切割平整,并与管轴线垂直;
- 3 管件与管材应为相同材料。
- 4 管材规格应符合设计要求;
- 5 接头部位易于密封和防漏。

**7.2.3** 与岩土体接触的埋管管材除满足本规程 **7.2.2** 的要求外,尚应符合下列要求:

- 1 一般采用可耐压的特制钢管;
- 2 深度大于 1500 m 或腐蚀性较强的换热孔,宜选择石油套管;
- 3 井管连接推荐使用丝扣连接方式,焊接连接井深不宜超过 1500 m;
- 4 导热系数不宜小于 90W/m·K,抗拉伸强度不应小于 1500kN,承压系数应高于 16MPa;

根据《地热钻探技术规程》DZ/T 0260 制定本条第 2、3 款。

### 7.2.3 套管式换热器的内管应采用高热阻管材。

套管式换热器外管管材宜采用耐压特制钢管套管，管径规格宜采用 $\phi 177.8 \times 9.19$ 、 $\phi 193.7 \times 8.33$ 、 $\phi 244.5 \times 10.3$ ，内管管材宜采用高密度聚乙烯(HDPE)管，管径规格宜采用 $\phi 90 \times 8.2$ 、 $\phi 110 \times 10$ 。

### 7.2.4 地埋换热管内的换热介质以水为主，选用其他介质时应安全环保，不得加注乙二醇等添加剂。

地热换热系统应选用环保、传热性能好的循环介质，应符合下列要求：

- 1 安全，腐蚀性弱，与换热管材无化学反应；
- 2 冰点较低；
- 3 传热性能良好，摩擦阻力系数较小；
- 4 易于购买、运输和储藏；
- 5 为防止换热孔内循环介质对地层造成污染，不得加注乙二醇等添加剂。

### 7.2.5 地热换热系统的补水应进行除氧及软化处理。

为了防止埋管内壁产生氧化腐蚀，需要对系统补水进行除氧处理；另外，由于岩土温度向下逐步升高的特点，深埋管周围岩土温度会接近  $90^{\circ}\text{C}$ ，为了防止结垢，需要对补水进行软化处理，水质标准应按《工业锅炉水质》GB/T 1576 中热水锅炉水质执行。

## 7.3 地热能采集系统设计

### 7.3.1 地热能采集系统设计前应明确待埋管区域内各种地下管线的种类、位置及深度。

### 7.3.2 地埋管换热器应根据可利用地面面积、地热地质勘察结果、地温梯度、岩土的热物性及钻探成本等因素确定具体埋管方式、埋管深度与间距。

中深层地埋管换热器目前两种型式为同轴套管式换热器和 U 型换热器，如图 7.3.2 所示。U 型换热器埋管具有深层水平连接管，且埋管处于高温岩土区，埋管单位延米换热量一般较大，但钻孔工艺复杂，成本较大。同轴套管式为竖直埋设方式，在国内应用较多，黑龙江省应用的也是这种形式。

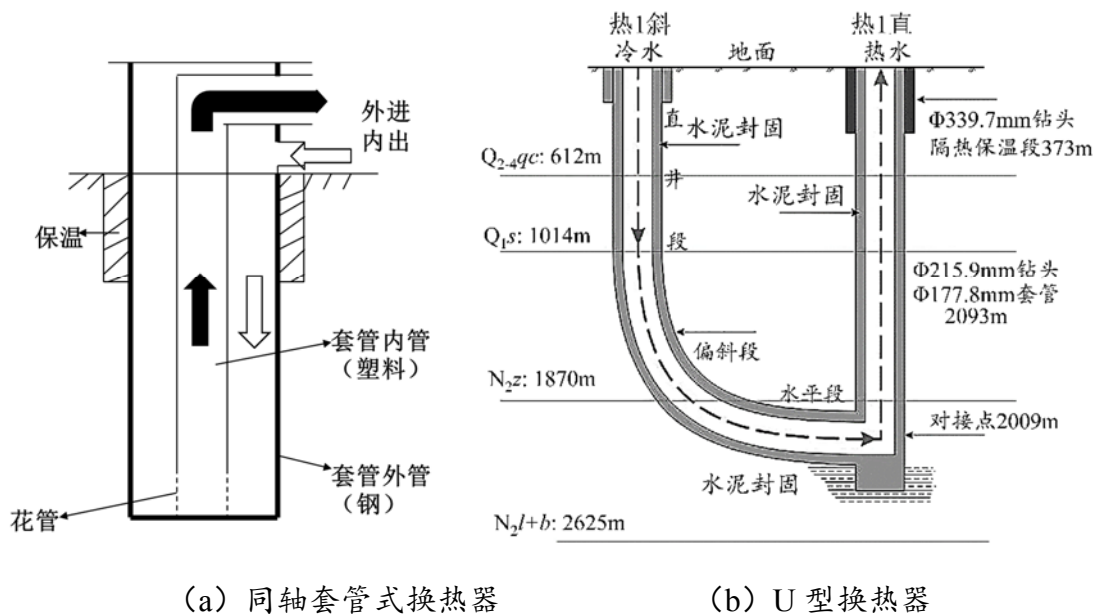
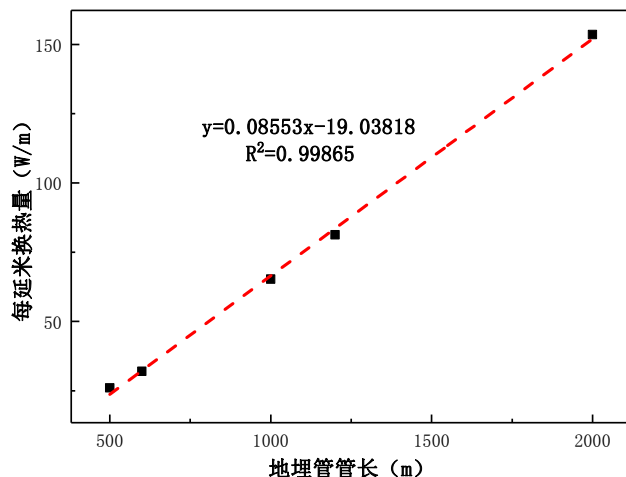


图 7.3.2 中深层地埋管换热器

地埋管换热器是决定中深层地埋管地热能采集系统供暖能力的基础,其设计过程中应充分结合项目条件优化方案和工艺。中深层地埋管地热能采集系统设计时,应结合可使用地面面积、岩土结构、地热地质条件、钻孔成本等因素确定埋管型式和埋管深度。

**7.3.3** 同一个工程项目,地埋管换热器埋深宜相同,埋深相差悬殊的地埋管换热器不应接在同一个地热能采集系统中。

中深层地埋管换热器安装深度与地热资源条件相关,一般来说埋深对于换热量的影响很大。从黑龙江省目前的地温分布和应用情况的实验来看,500m 深同轴套管式换热器的稳定换热量为 23kW,1000m 深、1200m 深和 2000m 深的稳定换热量分别可达 65kW、100kW、300kW,相关实验结果如图 7.3.3 所示。



**图 7.3.3** 不同管长同轴套管式换热器每米孔深换热量测试结果

同一个工程项目，地埋管换热器埋深宜相同，埋深相差悬殊的地埋管换热器接入同一个地热能采集系统时，由于埋深浅的地埋管换热器出水温度低，有可能低于平均进水温度，不仅不能提供热量，反而作为耗热负载吸热。埋深相同时，水力平衡容易实现和出水温度基本一致。

另外，相同总孔深的条件下，增加单井深度对于增加换热量的好处远远大于增加井数。目前来看，深度为 2000m~3000m 时可以获得较好换热效果，同时单位孔深钻孔成本基本维持不变。具体应根据各地区实际地质条件因地制宜设计地埋管换热器埋深。

**7.3.4** 地质条件允许时，地热换热孔位置宜靠近机房，若有多个钻孔，宜以机房为中心进行布置。

**7.3.5** 地埋换热器的供热量应通过计算确定，计算时应考虑埋管形式、管材、岩土体热物性和地温梯度等的影响，并应根据实测值对地热能采集系统换热量进行修正。单个同轴套管式地埋换热管的设计计算也可按照附录 D 的方法开发程序计算分析。

中深层地埋管换热器设计计算是整个系统设计、施工、成本计算的重要内容，其影响因素包括岩土体、固井材料、埋管管材的热物性参数以及岩土上下的温度分布，还有埋管型式、取热负荷以及管中循环介质的热物性和流态等。由于埋管的取热为管内外耦合的动态换热过程，需要采用专用软件建模计算，而不应按钻孔深度等于每个换热孔应承担的热负荷除以每米孔深换热量的方式进行计算。

专业设计模拟软件可根据热物性参数、温度等关键信息，对地热换热系统的工况进行模拟，得到较准确的计算结果，具备设计水平、设计工具的项目宜采用该方式。

目前国内外尚无得到广泛认可的中深层地埋管换热器专门设计软件，已有研究采用的软件包括 OpenGeoSys、ANSYS、COMSOL 等，更多采用的是研究者自己编写的计算分析软件。

**7.3.6** 项目前期，单个中深层同轴套管式地埋管换热器取热量可依据地温梯度、地埋管换热器安装深度以及岩土导热系数按附录 D 中的简化计算方法计算或线算图进行估算。

同轴套管换热器在不同地质条件下的取热能力是不同的，其主要受地温梯度、岩土导热率的影响。实测结果如图 7.3.3 所示。结合国内多个项目调研、测试数



据以及多个研究团队数值模拟结果，给出附录 D 中的估算线算图。

在实际工作中，通常用每深 100m 或 1000m 的温度增加值来表示地热梯度。地壳的近似平均地热梯度是  $2.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，其大小与所在地区的大地热流量成正比，与热流所经岩体的热导率成反比。

黑龙江省地温梯度普遍高于正常值，平均值在  $3.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。哈尔滨-大庆地段地温梯度在  $3.8\text{--}4.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，齐齐哈尔为  $3.2\text{--}3.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 、。

需要说明的是，上述线算图是目前各个研究团队模拟和测试数据的经验总结，限于目前研究的深度和此类项目的开展数量和规模，线算图存在一定的局限性，因此仅适用于项目前期估算换热量，项目实际开展时需要进行详细的模拟计算分析和实验验证。

**7.3.7** 设计工况下，地埋管换热器应避免循环水向岩土体放热，并根据循环水温度和当地的岩土温度分布确定保温段或高热阻管段长度。

黑龙江浅层岩土体温度较低，取热工况下，地埋管换热器中循环水向岩土体放热出现在下列情况：

1) 对同轴套管式换热器而言，外进内出时，外管进入的循环水温度高于近地表岩土体温度；内进外出时，外管水温从井底往上逐渐吸热升温，更容易出现循环水温度高于近地表岩土体温度。

2) U 型管换热器出水管脚循环水温度高于近地表岩土体温度不可避免。

当循环水温度高于岩土体温度时，循环水会向岩土体放热。一般来说，设计工况地埋管换热器取热量最大，应避免循环水向岩土体放热，造成无效孔深。为此，中深层地埋管换热器底部宜采用强化换热管，上部可采用带保温材料管或耐腐蚀硬塑管，实现换热量的最大输出。保温厚度、长度和高热阻管段长度取决于循环水温度和岩土体温度差、取热强度，循环介质流量等运行参数。这样设计的保温段或高热阻管段长度在非设计工况下，由于回水温度升高，也会出现放热现象，但需要的取热负荷也降低，能满足负荷需要，适当的放热也有利于岩土体温度的恢复。

**7.3.8** 同轴套管式换热器循环水宜从套管外管进入取热，从套管内管流出（简称外进内出方式）。

同轴套管式换热器循环水有两种流动方向：1) 从套管外管进入取热，从套管内管流出，简称外进内出方式；2) 从套管内管流入取热，从套管外管流出，简称内进外出方式。研究表明，外进内出相对内进外出方式一方面可以降低内外

管热短路；另外，外进内出可以显著降低外管近地表处可能出现的释热，缩短外管保温长度。

### 7.3.9 套管式换热器设计时应进行水力计算，并应符合下列要求：

1 套管外管的沿程阻力系数计算时直径应采用当量直径，套管内管阻力根据选用管材和流量计算；

2 套管外管流速宜小于 1.0m/s；

3 采用深度为 2000m 左右的套管式地热换热器时，地热侧循环介质流量宜为 18~27m<sup>3</sup>/h。

1 套管外管内的流动为环腔内的流动，经实测表明，其沿程阻力采用圆管阻力系数公式，用当量直径代替直径进行计算，误差在 10%以内。套管外管的当量直径可用下式计算：

$$d_e = d_{w,n} - d_{n,w} \quad (7.3.9)$$

式中  $d_e$ —套管外管的当量直径，m；

$d_{w,n}$ —套管外管内径，m；

$d_{n,w}$ —套管内管外径，m。

2 为了强化埋管换热，应增大管内流速，保持紊流流态；然而，流速增大会相应增加埋管循环流动阻力，增大其循环泵的能耗，因此需要综合考虑换热能力和输送能耗，确定埋管的经济流速。取热工况下，中深层地热换热器外管内流体应保持紊流流态，且输送能耗不宜过大，外管流速宜选择小于 1.0m/s 的经济流速。

3 图 7.3.9 为基于数值模拟得出的某 2000m 深度同轴套管地热换热器在不同流量下的换热量与水泵功耗曲线。

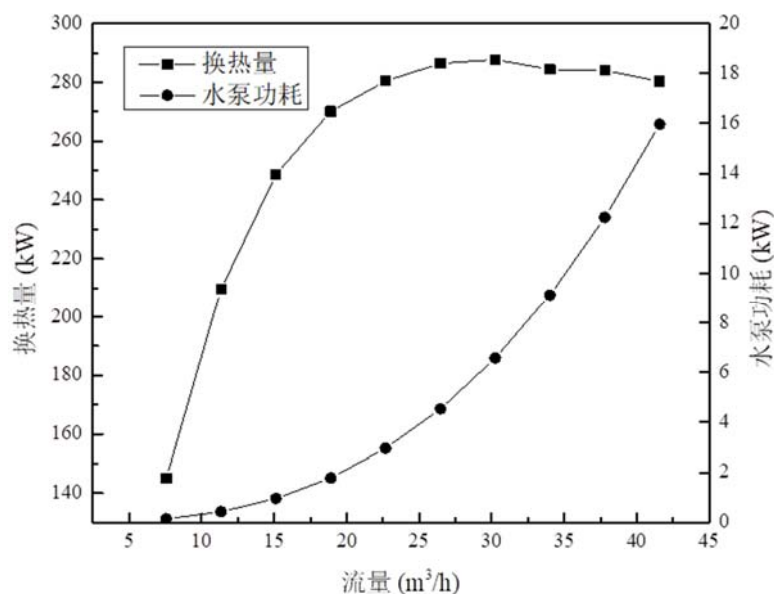


图 7.3.9 同轴套管换热器在不同流量下的换热量与水泵功耗曲线  
(2000 米深度)

从图 7.3.9 中可以看出, 对于深度为 2000m 左右的同轴套管式换热器, 循环介质入口最优流量宜为 18~27m³/h。

根据不同内外管管径组合, 同轴套管换热器的管道比摩阻推荐值如表 7.3.9 所示。

表 7.3.9 不同管径组合的同轴套管换热器的管道比摩阻推荐值 (Pa/m)

| 外管径<br>内管径 | φ177.8×9.19mm | φ193.7×8.33mm | φ244.5×10.3mm |
|------------|---------------|---------------|---------------|
| φ90×8.2mm  | 184.07~284.10 | 172.98~266.54 | 164.45~253.09 |
| φ110×10 mm | 111.86~217.34 | 79.95~153.74  | 63.08~120.34  |

备注: 传热介质为水, 流量范围为 18m³~27m³

**7.3.10** 同轴套管式换热器各钻孔孔径、间距宜符合以下条件:

- 1 地热换热系统的钻孔孔径不宜小于 220mm;
- 2 钻孔间距不宜小于 20m。
- 3 多个地埋管换热器水平连接管埋深应满足景观、绿化、人防及地面荷载等要求, 并避让地下既有管线、地下交通及构筑物;
- 4 水平埋管顶部应在冻土层以下 0.6m, 坡度不宜小于 2‰, 坡向地埋管换热器。

**7.3.11** 地热能采集系统应根据地质特征确定回填材料配方, 宜选用水泥作为回填材料的基料, 回填料的其他配比应考虑以下因素:

- 1 保证采热段回填材料的导热系数不低于钻孔外热储层岩土体的导热系数；
- 2 当穿透含水层时，应采取止水措施防止地下水串层，避免对地下水造成污染。

选择水泥基回填材料可以保证传热能力和水力封阻特性，宜选用延迟水泥固孔工艺。

**7.3.12** 地埋管换热系统宜设置反冲洗系统，冲洗流量宜为工作流量的 2 倍。

反冲洗系统应与水源热泵、换热器等设备隔开，可以单个地埋管换热器冲洗或分组冲洗，水泵宜按单次冲洗地埋管换热器工作流量的 2 倍和相应扬程选配。

**7.3.13** 与地埋管换热器连接的水泵、阀门、管道附件等设计与选择应符合国家现行相关规范的要求。

## **7.4 地热能采集系统施工**

**7.4.1** 为保证地热换热系统施工的质量及项目运行的安全，施工前应做好以下工作准备：

- 1 整理分析换热系统区域的工程调查资料，综合设计文件和施工图纸，完成施工组织设计；
- 2 了解换热系统地下所有管线及构筑物的功能及准确位置，由被施工方和施工方共同标记，并严禁损坏原有管线及构筑物；
- 3 平整、清理施工场地地面，铲除杂草、杂物和浮土；
- 4 监测设备并确保试运转正常。

**7.4.2** 钻孔应布置在施工场地建筑物周边，与建（构）筑物、市政管网及其设施的水平距离不应小于 10m。单个钻孔施工场地宽度应大于 15 m~20m，长度应大于 35 m~40m，场地坡度应小于 3‰。

考虑降低钻孔对周围建筑物的影响，分布较为集中的钻孔（组）可采用丛式井布置，地面孔口位置设计应满足场地布置及施工要求，孔底位置设计则以取热处岩土体温度得以恢复，地热钻孔长期有效运行为目的。

**7.4.3** 钻井作业应符合《地热井钻探技术规程》DZ 0260 及《钻井井身质量控制规范》SY/T 5088 的规定。

**7.4.4** 成孔之后，应立即安装地下换热器，安装完毕后应固井。钻孔作业结束应做好孔口保护工作，并安装控制阀门，进出水流量计、温度计、压力计等。

**7.4.5** 钻孔工艺所使用的材料必须为无毒性材料，成井材料应满足承压能力、导

热性能及设计使用年限要求。钻孔作业时污染物排放应达到国家和地方相关环保标准要求。

为避免对地下岩土体及水源造成污染, 钻孔施工材料应满足性能和环保要求。

**7.4.6** 水平连接管路应采取保温措施, 埋深宜低于冻土层底部 1m。回填后地表应设立标志标明管线走向和埋设位置。

**7.4.7** 地埋管换热器安装后应用清水对管路进行冲洗, 管内水流速不小于 1m/s。

## **7.5 地热能采集系统检验**

**7.5.1** 地埋管换热系统安装过程中, 应由监理工程师进行现场检验, 并应提供检验报告。检验内容应符合下列要求:

- 1 系统的压力、温度、流量等各项技术数据应符合设计要求和相关规范的规定。
- 2 系统连续运行应达到正常平稳; 水泵的压力和水泵电机的电流波动不应超出规定值。
- 3 各种自动计量检测元件和执行机构的工作应正常, 满足建筑设备自动化系统对被测定参数进行检测和控制的要求。
- 4 应保证控制、检测设备与系统检测元件和执行机构的信号传输, 状态参数的正确显示, 以及设备连锁、自动调节、自动保护机构的正确动作;
- 5 管材、管件等材料应符合国家现行标准的规定和设计要求;
- 6 钻孔、水平埋管的位置和深度、地埋管的直径、壁厚及长度均应符合设计要求;
- 7 回填料及其配比应符合设计要求;
- 8 各环路流量应平衡, 且应满足设计要求;
- 9 循环水流量及进出水温差均应符合设计要求。

**7.5.2** 地埋管换热系统换热孔的检验应满足《地热钻探技术规程》DZ/T 0260 的要求。

## 8 建筑物内系统

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 建筑物内系统的设计应符合《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736、《工业建筑采暖通风与空气调节设计规范》GB 50019、《公共建筑节能设计标准》GB 50189 及其他相关国家和黑龙江省地方标准的要求。

**8.1.2** 建筑物内系统方案应根据地热能采集系统条件、建筑供暖技术要求与负荷特点，通过技术、节能与经济比较后合理确定。

### 8.2 热源站设计

**8.2.1** 热源站设计应按照以下程序进行：

- 1 设计之前，必须充分了解工程情况，应做好设计前的准备工作；
- 2 根据建筑物的热负荷、发展规划、使用场所等，进行多方案技术经济综合比较，制定出能满足用户要求，且技术先进、经济合理的方案；
- 3 设备的选择与计算；
- 4 机房的位置、大小及房间组成的确定；
- 5 向配合专业提出协作条件；
- 6 机房管路布置与水力计算；
- 7 编制设计文件、图纸，并列设备材料清单。

**8.2.2** 热源站房位置宜靠近地热能采集装置和热负荷比较集中的地区。

**8.2.3** 当热源站机房设置在建筑物内时，应做好防振、隔声、消声等措施。

**8.2.4** 地热水供暖系统中地热换热器的选型应符合下列要求：

- 1 地热换热系统宜选用板式换热器；
- 2 换热器主要零部件的耐温和耐腐蚀性能应满足要求；
- 3 换热器应安装在除砂器之后；
- 4 换热器进水口处应设置过滤器；
- 5 换热器台数不应少于两台，一台停止工作时，剩余换热器的设计换热量不应低于供热量的 70%。

为了提高换热效率，减少地热水的温度损失，减少换热器体积，设计常采用板式换热器。虽然地热水在进入换热器前经过了多重过滤处理，但仍发现换热器

的地热水侧很容易堵塞,影响使用效果,因此需要对换热器经常进行清洗和维护。当地热水含杂质较多或有悬浮物质时,换热器进口处应装有 Y 型或 T 型过滤器。

#### **8.2.5 水源热泵机组的选型和设计应符合下列要求:**

1 性能应符合《水(地)源热泵机组》GB/T 19409 的规定,且应满足系统运行参数的要求;

2 应按实际工况参数进行选型,设计运行工况与名义工况不一致时,应根据性能曲线对其实际出力进行修正;

3 热泵机组应与各相关设备进行电气联锁,顺序启停;采用全自动运行方式时,宜利用供热量、水温等参数对系统进行优化控制;

4 选择水源热泵机组时,其工质必须符合有关环保要求;采用过渡工质时,热泵机组的使用年限不得超过我国禁用时间表的规定;

5 热泵机组的性能与台数,应适应热负荷变化规律,满足部分负荷要求,一般不应少于两台。

2 实际工况参数与水源热泵机组的名义工况差别较大,应按实际工况进行换算水源热泵机组的性能参数。《水(地)源热泵机组》GB/T 19409 规定了在名义制热工况下冷热风型和冷热水型水源热泵机组的制热性能系数( $COP$ )。

4 制冷剂对环境的破坏主要体现在破坏大气臭氧层和增强温室效应两个方面。鉴于 CFC 和 HCFC 对大气臭氧层的破坏,我国已于 2010 年 1 月 1 日完全停止 CFCs 的生产和消费,而 HCFC 类物质(含 HCFC22、HCFC123)在我国的禁用年限为 2040 年。而 HFC 类物质(含 HFC134a)虽然不破坏大气臭氧层,但属于温室气体,属于《京都议定书》中要限制使用的物质,其使用前景并不明朗。压缩式冷水机组的使用年限超过 20 年,选择制冷剂时应考虑以上因素。

#### **8.2.6 地热能采集系统系统中添加防冻液时,应对换热器、水源热泵机组等设备的换热性能、阻力进行修正。**

防冻剂水溶液的密度、比热容、粘度以及导热系数与水有较大不同,应根据选用的防冻剂水溶液的热物性参数计算循环管路的阻力,换热器换热量和阻力,水源热泵机组的制热量、冷凝器阻力也应联系供应商进行修正。

#### **8.2.7 地热换热器、热泵机组、水泵、末端装置等设备和管路及部件的工作压力,应不大于其额定工作压力。**

**8.2.8** 地热侧换热系统循环水泵的流量，应由所配主机与水系统设计温差确定；水泵的扬程应由循环管路的水力计算确定，循环水泵宜设置变频功能。

**8.2.9** 地热侧换热管系统宜具有反冲洗功能。

**8.2.10** 闭式管路换热系统应设置排气、定压、膨胀、自动补水以及水过滤装置。

**8.2.11** 热源站机房内系统的监测与控制可包括参数检测、参数与设备状态显示、自动调节与控制、工况自动转换、设备联锁与自动保护、能量计量以及中央监控与管理等。

**8.2.12** 热源站机房设计，应便于机组和配电装置的布置、运行操作、搬运、安装、维修和更换，以及进、出水管的布置，并应符合下列要求：

- 1 机房宜设置控制值班室；
- 2 机房应有良好的通风设施，地下层机房应设置机械通风，必要时应设置事故通风装置；
- 3 机房内的主要人行通道宽度不应小于 1.2m；相邻机组之间、机组与墙壁间的净距，不应小于 0.8m，并满足热泵机组抽管等维修长度要求；高压配电盘前的通道宽度，不应小于 2.0m；低压配电盘前的通道宽度，不应小于 1.5m；
- 4 机房内的地面和设备机座应采用易于清洗的面层，机房内应设排水沟、集水坑，必要时应设排水泵；
- 5 机房高度，应满足操作、维修的要求和最大物体的吊装要求，起重设备应满足最重设备的吊装要求；
- 6 机房的防火措施应符合《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定，并应预留满足设备最大组件运输的安装孔、洞及运输通道；
- 7 机房应设事故照明装置，照度不宜小于 100lx，测量仪表集中处应设局部照明；
- 8 机房内应设置集中供暖，控制值班室不低于 16℃，其他区域不低于 5℃。

## **8.3 末端系统设计**

**8.3.1** 室内末端设备的选择，应适合地热能供暖系统系统的特点。

末端设备的选择应考虑到地热能供暖系统供水温度较低的特点，常用的末端设备有空气处理机、风机盘管、地面辐射供暖等。

**8.3.2** 末端系统设计宜符合下列要求：



- 1 末端系统应根据建筑物的特点、使用功能及热源站的设置方式确定；
- 2 对于有较大内区且常年有稳定的余热量建筑，在冬季或过渡季节需要同时供冷供热，且经济合理时，宜采用水环热泵空调系统；
- 3 用于冬季供暖的末端系统，其供水温度不宜低于 45℃；
- 4 末端设备应按实际运行参数选型。

1 水环热泵系统是小型水/空气热泵的一种应用方式，即用水环路将小型水/空气热泵机组并联在一起，构成以回收建筑物内部余热为主要特征的热泵供热、供冷的系统。

2 当冬季采暖末端系统的供水温度低于 45℃，且建筑物内采用低温热水地面辐射供暖方式时，应特别注意对围护结构保温最不利的小建筑面积房间进行校核计算。小房间除去四周外可以敷设辐射管的面积较小，应校核其供热量。

**8.3.3** 末端系统和地热侧循环系统补水、定压系统应独立，并分别计量，应有异常补水报警措施。

## **8.4 建筑物内系统施工、检验**

**8.4.1** 水源热泵机组、换热器、附属设备、管道、管件及阀门的型号、规格、性能及技术参数等应符合要求，并具备产品合格证书、产品性能检验报告及产品说明书等文件。

**8.4.2** 热源站系统安装应符合现行国家标准《制冷设备、空气分离设备安装工程及验收规范》GB 50274 及《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的规定。

**8.4.3** 室内末端系统的安装应符合现行国家标准《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242 的规定。

**8.4.4** 水系统安装完毕后，应进行系统试压和冲洗，系统冲洗时水源热泵机组和地热换热器应设置临时旁通系统，关闭主要设备的阀门。

水系统安装完毕后，内有泥沙、焊渣或其他施工污物，如不冲洗，在随流水循环过程中，极易堵塞在热泵机组冷凝器和地热换热器的换热管束内，导致制热量和换热量下降。因此在水系统安装完毕后，应进行系统整体冲洗，冲洗前应将在管道上安装的孔板、滤网、温度计、调节阀等拆除，关闭主要设备的阀门，冲洗完毕应清除除污器（或过滤器）内污物，恢复原管道系统。

**8.4.5** 检验阀门严密性的排水短管及阀门应接至方便操作与观察处。

**8.4.6** 施工与检验、冲洗、调试过程中，应避免建筑屋内水系统与地热侧水系统相混。

**8.4.7** 地热侧与建筑物内系统循环水、补水等需安装水表、温度表、压力表等就地显示计量器具；并按本规程有关条款的规定，在适当位置安装相应的传感器、变送器等自动计量检测元件；计量器具、检测元件的准确度、工作压力、量程应符合计量标准与设计要求。

## 9 调试与验收

### 9.1 调试

**9.1.1** 地热能供暖系统交付使用前，应进行调试。

**9.1.2** 地热能供暖系统调试之前施工单位应会同建设单位、设计单位、监理单位进行全面检查，符合设计与施工相关规范要求后，才能进行运转和调试。

**9.1.3** 地热能供暖系统调试前应检查以下内容，确认满足调试要求：

- 1 现场安全防护措施可靠、供电、供水、排水等配套条件满足要求；
- 2 相关设备及管路冲洗、严密性试验已完成且符合要求；
- 3 相关电气系统和设备安全性、供电稳定性符合试运转要求；
- 4 放气阀应能正常工作，时排出管道内的气体；
- 5 系统安全阀安装前应经过校验，并按有关要求调整其压力，铅封；
- 6 管道上的阀门、过滤器、软连接等附件正确安装、功能正常；
- 7 水系统压力表、温度计、流量计等仪表正确安装、读数正常。

**9.1.4** 地热能供暖系统调试应符合下列要求：

- 1 调试前应制定调试方案，并报送专业监理工程师审核批准；
- 2 热源站试运转前应进行水系统平衡调试，确定系统循环总流量、各分支流量及各末端设备流量均达到设计要求；
- 3 水力平衡调试完成后，应进行水源热泵机组的试运转，并填写试运转记录，运行数据应达到设备技术要求；
- 4 水源热泵机组试运转正常后，应进行连续 24h 的系统试运转，并填写试运转记录；
- 5 调试完成后应编写调试报告及运行操作规程，并提交建设单位确认后存档。

地热能供暖系统试运转需测定与调整的主要内容包括：

- 1 地热井出水量、回灌量、抽回水含砂量应符合有关标准及有关技术文件的规定；地热能采集系统的介质压力、温度、流量等技术参数应符合设计要求；末端系统的介质压力、温度、流量等技术参数应符合设计要求；

2 系统连续运行应达到正常平稳；水泵的压力和水泵电机的电流不应出现大幅波动；

3 各种自动计量检测元件和执行机构的工作应正常，满足建筑设备自动化系统对被测定参数进行监测和控制的要求；

4 控制和检测设备应能与系统的检测元件和执行机构正常通讯，系统的状态参数应能正确显示，设备连锁、自动调节、自动保护应能正确动作。

5 调试报告应包括调试前的准备记录、水力平衡、机组及系统试运转的全部测试数据。

**9.1.5** 系统运转正常后，进行自控系统调试。

**9.1.6** 地热能供暖系统整体验收前，应做室内空气参数及系统运行能耗的测定，并对地热能供暖系统的实测性能做出评价。

## **9.2 工程验收一般规定**

**9.2.1** 地热能供暖系统工程应进行分项工程验收和竣工验收，并填写工程验收记录，验收资料应单独组卷。

**9.2.2** 地热能供暖系统分项工程验收前，应根据施工进度对隐蔽部位进行验收，并应有详细的文字记录和必要的图像资料。

**9.2.3** 地热能供暖系统分项工程应由专业监理工程师（或建设单位项目负责人）组织施工单位项目专业技术（质量）负责人等进行验收。其分项工程验收应符合下列要求：

- 1 按主控项目和一般项目验收；
- 2 主控项目全部合格；
- 3 一般项目合格；当采用计数检验时，至少应有 80%以上的检查点合格，且其余检查点不得有严重缺陷；
- 4 具有完整的施工操作依据和质量验收记录。

**9.2.4** 地热能供暖系统系统分项工程验收应包括：地热能采集系统工程验收、热源站机房系统工程验收和末端供暖系统工程验收。

**9.2.5** 系统主要组成材料、配件、部件和设备进场验收应遵守下列规定：

- 1 对系统主要组成材料、配件、部件和设备的品种、规格、包装、外观和尺寸等进行检查验收，并经专业监理工程师（或建设单位代表）确认，形成相应

的验收记录；

2 对系统主要组成材料、配件、部件和设备的质量证明文件进行核查，并经专业监理工程师（或建设单位代表）确认，纳入工程技术档案。系统主要组成材料、配件、部件和设备均应具有产品合格证、出厂检测报告、产品说明书及产品性能检测报告；定型产品和成套技术应有型式检验报告，进口材料和设备应按规定进行出入境商品检验。

本条给出了系统主要组成材料、配件、部件和设备进场验收的具体规定。系统主要组成材料、配件、部件和设备的进场验收是把好材料合格关的重要环节。

首先应对其品种、规格、包装、外观和尺寸等“可视质量”进行检查验收，并应经专业监理工程师或建设单位代表核准。进场验收应形成相应的质量记录。系统主要组成材料、配件、部件和设备的可视质量，指可以通过目视和简单的丈量、称重、敲击等方法进行检查的质量。

其次应对质量证明文件的核查。由于进场验收时对“可视质量”的检查只能检查系统主要组成材料、配件、部件和设备的外观质量，其内在质量难以判定，需由各种质量证明文件加以证明，故进场验收必须对系统主要组成材料、配件、部件和设备附带的质量证明文件进行核查。这些质量证明文件通常也称技术资料，主要包括产品合格证、出厂检测报告、产品说明书及产品性能检测报告等；定型产品和成套技术应有型式检验报告，进口材料、配件、部件和设备应按规定进行出入境商品检验。这些质量证明文件应纳入工程技术档案。

必要时，对系统主要组成材料、配件、部件和设备的进行施工现场抽样送检。

**9.2.6** 对操作人员进行交底，一旦出现情况应按有关要求进行。

## **9.3 地热水供暖系统工程验收**

### **I 主控项目**

**9.3.1** 地热井应单独进行验收，且应符合设计要求和《地热钻探技术规程》DZ/T 0260 中与其有关规定。

检查方法：核查每个热源井验收记录。

检查数量：全数检查。

**9.3.2** 开采井和回灌井持续出水量和回灌量应稳定，并应满足设计要求

检查方法：旁站观察，核查抽水试验、回灌试验记录。

检查数量：全数检查。

**9.3.3** 抽水试验结束前应采集水样，进行水质和含砂量测定。其水质和含砂量应符合系统设备的使用要求。

检查方法：核查水质和含砂量检测报告，按系统设备的使用说明书核对。

检查数量：每个地热井对水质和含砂量测定一组。

**9.3.4** 开采井与回灌井间排气装置的设置应符合设计要求。

检查方法：旁站观察，核查施工安装记录。

检查数量：全数检查。

## **II 一般项目**

**9.3.5** 输水管网安装应符合设计要求及《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的规定。

检查方法：核查输水管网验收记录。

检查数量：全数检查。

**9.3.6** 抽水管和回灌管上水样采集口及监测口的设置应符合设计文件要求。

检查方法：观察，核查施工安装记录，按设计图纸核对。

检查数量：全数检查。

**9.3.7** 地热井井口处的检查井的施工质量应符合设计要求和国家现行相关标准的规定。

检查方法：观察检查，核查检查井的施工记录。

检查数量：全数检查。

## **9.4 浅层地埋管地热能采集系统工程验收**

### **I 主控项目**

**9.4.1** 管材、管件等材料应符合国家现行标准的规定。

检验方法：核查产品合格证、出厂检测报告、产品说明书及产品性能检测报告。

检查数量：全数检查。

**9.4.2** 地埋管的材质、直径、壁厚及长度应符合设计要求。

检查方法：观察、尺量，按设计图纸核对。

检查数量：每批次随机抽查 10%，且不少于 10 件，少于 10 件的，全数检

查。

**9.4.3 垂直和水平埋管的安装位置和深度应符合设计要求。**

检查方法：尺量、旁站检查，按设计图纸核对。

检查数量：随机抽查 10%，且不少于 10 件，少于 10 件的，全数检查。

**9.4.4 回填料及其配比应符合设计要求。**

检查方法：检查配比单，与实物对照检查。

检查数量：每个竖直或水平换热器回填时抽样检查不少于 1 次。

**9.4.5 换热管道安装时，应分阶段对管道进行冲洗和水压试验；水压试验应符合本规程 6.5.2 中的相关规定。**

检查方法：旁站检查，核查冲洗、水压试验记录。

检查数量：全数检查。

**9.4.6 各环路流量应平衡，且应满足设计要求。**

检验方法：观察检查；核查施工安装记录。

检验数量：全数检查。

**9.4.7 环路集管安装完成后，宜对换热器环路的循环介质阻力和换热功率进行检测。**

检测方法：通水试验，换热试验。

检测数量：循环介质阻力按环路支路全数检测；换热功率检测按 2%环路支路抽样，且不少于 2 个。

地埋管换热器施工属于隐蔽工程，其施工特点具有一次性，不可逆性，虽然在施工安装过程中每个环节均需进行质量控制，但安装施工完成后的换热器成品性能是否满足设计要求是地埋管换热器施工验收的重要环节。地埋管换热器循环介质阻力和换热功率是后续系统输送、辅助热源等配置的重要依据，同时也是施工安装质量的直接体现。

## II 一般项目

**9.4.8 管材、管件等材料的包装应完整无破损，表面应无损伤与划痕。**

检验方法：观察检查。

检查数量：每批次随机抽查 10%，且不少于 10 件，少于 10 件的，全数检查。

**9.4.9** 管道的连接方法应符合设计要求和国家现行有关标准、产品使用说明书的规定。

检查方法：观察检查。按设计图纸、产品使用说明书核对。

检查数量：随机抽查 10%，且不少于 10 件，少于 10 件的，全数检查。

**9.4.10** 钻孔位置和深度应符合设计要求，其允许偏差应符合表 9.4.10 要求。

表 9.4.10 钻孔、水平埋管管沟的位置和深度的允许偏差

| 项目    | 允许偏差（mm）  |
|-------|-----------|
| 钻孔孔位  | 50        |
| 钻孔深度  | 50， -50   |
| 钻孔垂直度 | 1%L，且不得串孔 |

注：L——孔深（mm）

检查方法：采用测斜仪、钢卷尺、经纬仪、测绳等量测，按图纸核对；核查成孔的施工与检测记录。

检查数量：随机抽查 10%，且不少于 10 个，少于 10 个的，全数检查。

**9.4.11** 地埋管区域应做出标志或标明管线定位带。

检查方法：观察检查。

检查数量：全数检查。

**9.4.12** 阀门井施工质量应符合设计要求和国家现行有关标准的规定。

检查方法：观察检查，核查阀门井验收记录。

检查数量：全数检查。

## 9.5 中深层地埋管地热能采集系统工程验收

### I 主控项目

**9.5.1** 管材、管件等材料应符合国家现行标准的规定。

检验方法：核查产品合格证、出厂检测报告、产品说明书及产品性能检测报告。

检查数量：全数检查。

**9.5.2** 中深层地埋管的材质、直径、壁厚及长度应符合设计要求。

检查方法：观察、尺量，按设计图纸核对。

检查数量：每批次随机抽查 15%，且不少于 15 件，少于 15 件的，全数检



查。

**9.5.3** 中深层埋地换热器应单独进行验收，且应符合设计要求和《地热钻探技术规程》DZ/T 0260 中与其有关规定。钻探的位置允许偏差为 100mm，钻探的深度允许偏差为 0.1%。

检查方法：核查钻探的施工与检测记录，按图纸核对，必要时尺量。

检查数量：全数检查。

中深层地埋管换热器施工属于隐蔽工程，其施工特点具有一次性，不可逆性，也是供暖系统成败的关键，为此对中深层地埋管质量要求全数检查。

**9.5.4** 回填料及其配比应符合设计要求。

检查方法：检查配比单，与实物对照检查。

检查数量：每个换热器回填时抽样检查不少于 2 次。

**9.5.5** 换热管道安装时，应分阶段对管道进行冲洗和水压试验；水压试验应符合相关规定。

检查方法：旁站检查，核查冲洗、水压试验记录。

检查数量：全数检查。

**9.5.6** 各环路流量应平衡，且应满足设计要求。

检验方法：观察检查；核查施工安装记录。

检验数量：全数检查。

**9.5.7** 环路集管安装完成后，宜对换热器环路的循环介质阻力和换热功率进行检测。

检测方法：通水试验，换热试验。

检测数量：循环介质阻力按环路支路全数检测；换热功率检测按 2%环路支路抽样，且不少于 2 个。

## II 一般项目

**9.5.8** 管材、管件等材料的包装应完整无破损，表面应无损伤与划痕。

检验方法：观察检查。

检查数量：每批次随机抽查 10%，且不少于 10 件，少于 10 件的，全数检查。

**9.5.9** 管道的连接方法应符合设计要求和国家现行有关标准、产品使用说明书的

规定。

检查方法：观察检查。按设计图纸、产品使用说明书核对。

检查数量：随机抽查 15%，且不少于 15 件，少于 15 件的，全数检查。

#### **9.5.10 地埋管区域应做出标志或标明管线定位带。**

检查方法：观察检查。

检查数量：全数检查。

#### **9.5.11 阀门井施工质量应符合设计要求和国家现行有关标准的规定。**

检查方法：观察检查，核查阀门井验收记录。

检查数量：全数检查。

## **9.6 热源站机房工程验收**

### **I 主控项目**

**9.6.1** 水源热泵机组、地热换热器、附属设备、阀门、仪表、水泵、管材、管件及绝热材料等产品的型号、规格、性能及技术参数应符合设计要求和国家现行有关标准的规定。

检验方法：观察、尺量检查，核查产品合格证、产品性能检测报告及产品说明书等质量证明文件。

检查数量：全数核查。

**9.6.2** 水源热泵机组、地热换热器、附属设备的安装质量，应符合下列要求：

- 1 设备安装位置、标高应符合设计要求；
- 2 减震垫、减震器安装位置正确。

检验方法：观察，量测检查。

检查数量：全数检查。

**9.6.3** 管道的安装质量应符合下列要求：

- 1 管道连接方式应符合设计要求；
- 2 管道支、吊架及其与管道之间的绝热衬垫设置应符合设计要求和国家现行相关标准的规定；
- 3 管道绝热层应采用不燃或难燃材料，其施工应符合设计要求和国家现行相关标准的规定。

检验方法：观察、尺量检查，按设计图纸核对。

检查数量：按数量抽检 10%，且不少于 10 件（处），少于 10 件（处）的，全数检查。

**9.6.4 阀门、仪表的安装质量，应符合下列要求：**

- 1 规格、数量应符合设计要求；
- 2 方向应正确，位置应便于操作和观察。

检验方法：观察检查，按设计图纸核对，核查试验记录。

检查数量：全数检查。

**9.6.5 水泵的安装质量应符合下列要求：**

- 1 规格、数量应符合设计要求；
- 2 管道连接应正确。

检验方法：观察检查。

检查数量：全数检查。

**9.6.6 机房内的设备基础施工质量应符合设计要求和国家现行相关标准的规定。**

检查方法：观察、尺量检查，按设计图纸核对。

检查数量：全数检查。

## **II 一般项目**

**9.6.7 水源热泵机组、地热换热器、附属设备、管道及其配件的绝热，不得影响其操作功能。**

检验方法：观察检查。

检查数量：按数量抽检 10%，且不得少于 10 件（处），少于 10 件（处）的，全数检查。

**9.6.8 水源热泵机组、地热换热器、附属设备、管道、阀门、支吊架防腐防锈处理应满足设计和现行相关标准要求。**

检验方法：观察检查，按图纸核对。

检查数量：按数量抽检 10%，且不得少于 10 件（处），少于 10 件（处）的，全数检查。

**9.6.9 水源热泵机组、附属设备及其管道系统的设备间地面排水系统应通畅，满足设计要求和国家现行有关标准的规定。**

检验方法：观察检查，按图纸核对。

检查数量：全数检查。

## **9.7 竣工验收**

**9.7.1** 地热能供暖系统工程交付用户前，应进行竣工验收。竣工验收应在分项工程验收合格后进行。其竣工验收程序：

1 地热能供暖系统完工后，施工单位自行组织有关人员进行检验评定，自评合格后向建设单位提交竣工验收申请报告；

2 建设单位收到工程竣工申请报告后，由建设单位组织设计、施工、监理等单位项目负责人联合进行竣工验收。

**9.7.2** 地热能供暖系统工程竣工验收合格，应符合下列要求：

- 1 分项工程应全部合格；
- 2 质量控制资料应完整；
- 3 系统有关安全和功能性检测资料应完整；
- 4 观感质量验收应符合要求。

**9.7.3** 地热能供暖系统工程竣工验收时，应对其质量控制资料、安全和功能性检验资料进行核查。

质量控制资料主要包括：图纸会审记录、设计变更单、洽商记录和竣工图；系统主要材料、配件、部件和设备的产品合格证、出厂检测报告、产品性能检测报告；隐蔽工程检查验收记录和相关图像资料；施工安装记录；分项工程验收记录等。安全和功能性检验资料包括：水压试验记录；地热水换热系统抽水试验、回灌试验记录；设备单机调试记录；系统调试记录；系统试运行记录等。

**9.7.4** 观感质量综合检查应包括以下项目：

- 1 热源站机房系统设备、管道安装位置应正确、牢固，外表平整无损伤，管道连接应无明显缺陷、不渗漏；
- 2 支吊架形式、位置及间距应符合《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242、《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 等标准要求；
- 3 设备、管道、支吊架的油漆应附着牢固，漆膜厚度均匀，油漆颜色与标志符合设计要求；
- 4 绝热层的材料、厚度应符合设计要求；表面平整无断裂和脱落；
- 5 设备间地面排水系统通畅，不积水；

6 室外检查井位置正确，井盖密封无缺损。

检查方法：尺量、观察检查。

检查数量：管道按每个系统抽查 10%，不少于 10 处。各类设备、部件、阀门及仪表抽检 10%，且不少于 10 件。少于 10 件的，全数检查。

## 10 监控与运行管理

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 运行管理部门应制定地热水供暖系统的运行管理条例和规定，规范对地热水供暖系统的日常监控、操作、维护和管理，保证地热水供暖系统安全、高效运行。

**10.1.2** 地热水供暖系统的设计单位应提出地热水供暖系统的运行建议，运行管理部门应监控和记录地热水供暖系统运行参数，并结合设计单位的建议，根据系统实际使用情况不断调整、优化运行模式。

**10.1.3** 地热能供暖系统工程运行期应进行地热能采集系统、热源站系统和代表用户室温的动态监测；监测设施应作为地热能供暖系统工程的组成部分列入建设计划，同步设计、施工和验收。

工程案例的分析研究结果表明，地热能供暖系统能效除与设计、施工因素有关外，与后期运行控制、管理及维护保养有密切关系。因此，进行系统运行状态参数和换热器地温、水温监测和代表用户室温动态监测，对指导系统运行，提高系统能效有重要作用。

**10.1.4** 地热能供暖系统监测宜配置监测数据自动采集、传输系统，并宜具备与楼宇自动化管理系统的通信接口，开放通信协议。

**10.1.5** 监测与控制系统应根据建筑物规模、使用功能、系统形式、相关标准等综合确定，应包括下列功能：

- 1 运行参数监测、显示和记录；
- 2 各设备工作状态显示、启停连锁控制、报警及保护功能；
- 3 热泵机组和地热换热器台数、加减速控制功能；
- 4 水系统温度或压力控制功能；
- 5 用能分项计量；
- 6 系统调节与工况转换。

**10.1.6** 监测与控制系统的设置应符合现行国家标准《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736、《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50019、《自动化仪表工程施工及验收规范》GB 50093 的相关规定。

10.1.7 监测数据应定期进行动态分析。

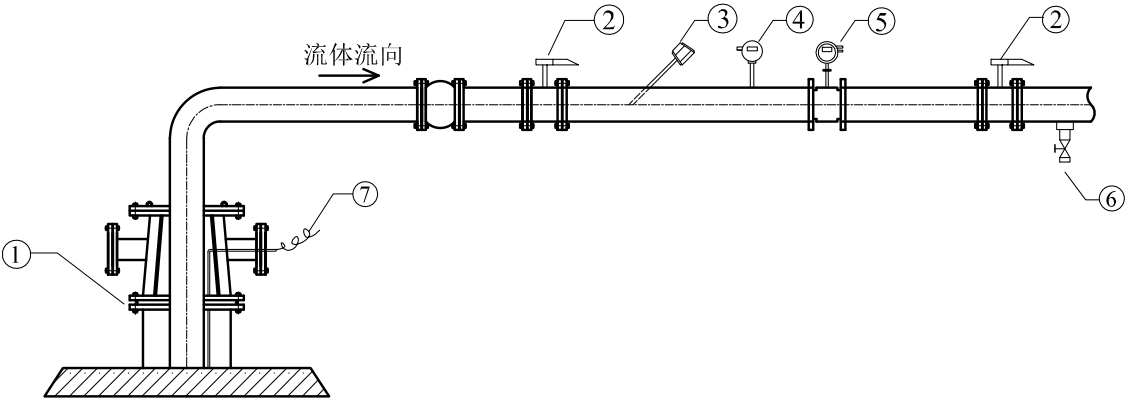
监测数据是评判系统运行合理性和对地质环境影响程度的重要依据。为指导地源热泵系统合理运行，应定期对监测数据进行分析。监测数据分析的周期可根据工程的实际情况和运行管理需要确定。

10.2 运行监控

I 地热水供暖系统系统监测

10.2.1 地热水供暖系统应监测地热井抽取及回灌期间的地热水量、水温、水质、水位。

地热水供暖系统监测宜直接在地热井上开展，为了降低成本可不设单独的监测井。地热井智能监测系统仪器仪表布置如图 10.2.1 所示。



①—井口装置；②—关断阀；③—温度传感器；④—压力传感器；⑤—流量计；⑥—单阀水嘴；⑦—液位计。 DX 为管道直径

图 10.2.1 地热井智能监测系统仪器仪表布置图

10.2.2 地热井宜采用智能动态监测系统，对不具备建立智能动态监测系统的地热井可采用人工监测。

10.2.3 地热井地热水量、水温、水位监测宜采用自动化方式，数据采集间隔时间为 30min~60min。

10.2.4 水位监测仪应符合下列要求：

- 1 水位监测仪探头应随潜水泵一并安装，将其固定在与潜水泵连接的第二根扬水管自下而上 1m 处。探头宜采用卡箍固定，内衬胶皮护套；信号线应逐节泵管捆绑固定，直至井口出线法兰处，防止信号线任意摆动损坏；
- 2 监测探头底部测孔不应被任何物体遮挡或堵塞，不应破坏探头与通气管

导线之间的密封，不应磕碰测试探头；

3 井口基座上安装出线法兰，出线后保证出线口密闭，防止空气泄漏加速井、泵管腐蚀，并方便拆装；

4 信号线不应受力且不能进水，外皮不应划伤划破；

5 对于采用人工监测的，应设置水位测管，测管宜选用直径不小于 25mm 镀锌管或不锈钢管，安装在地热井内的每节泵管法兰上，长度与泵管长度相同，每节测管上下接口处均应由悬挂连接护套严格密封相接直通至井口法兰；

6 水位测管与井口法兰盘上的接缝处应严格密封；

7 出露在井口法兰盘上方的水位测管应设有专用的开启、关闭阀门；

8 人工监测精度应达到 1cm，并与智能水位监测相校核。

**10.2.5** 地下水水质动态监测应符合下列要求：

1 水质检测指标包括电导率、PH 值、溶解氧、浊度、高锰酸盐指数、总磷、氨氮、总硬度、砷（As）、钼（Mo）、氟（F）；

2 系统供暖运行前和运行期末分别取样检测，当指标出现异常时，加密取样检测。

**10.2.6** 接触地热水的所有部件均应有防腐措施。

## **II 浅层地埋管地热能采集系统监测**

**10.2.7** 浅层地埋管地热能采集系统地埋管换热区应进行地温动态监测。

**10.2.8** 地温监测宜布设监测孔，监测孔应符合下列要求：

1 监测孔能满足长期监测需要；

2 监测孔分别布设在埋管区内部及外部区域；

3 监测孔深度不小于换热孔深度；

4 监测孔数量不少于 3 个，可根据地埋管的布置方式和占地面积确定；

5 监测孔内温度传感器数量不少于 5 个，可根据埋管区岩土层结构确定；

6 温度测量误差不大于 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

1 工程实践表明，地埋管地源热泵系统地埋管与地层进行热交换，由于埋管区中心区域最不利于热量补给，因此温度变化幅度最大，并且出现冷坑的情况最为严重。因此，应对埋管区中心区地温进行监测，从而掌握换热区最不利区域地温动态变化。并且浅层地埋管地热能采集系统长期运行引起的热影响范围不断



扩大，并大致呈线性增长，连续运行 1 年、3 年、5 年、10 年的最大影响范围为 10、14、18、26m。现代城市人口密集、建筑密度大、地下空间开发利用程度高的地区，一些重要的地下工程，如地铁等，以及建筑密集区域地源热泵工程的建设及运行方式都应进行规范，那么了解和掌握地源热泵系统长期运行引起的热影响范围和程度至关重要，因此需对埋管区外围地温进行监测。

2 根据已有研究表明竖直地埋管换热器在竖直方向上也存在传热，使换热器下方土层温度发生变化，因此地温监测深度应不小于换热孔深度，对换热器下方地温场进行监测。

**10.2.9** 地温监测数据宜采用自动化采集方式，地埋管换热系统运行期数据采集时间间隔宜为 60-120 min，非运行期数据采集时间间隔 12h~24h。

监测数据采集时间间隔对监测数据的分析及应用起到至关重要的作用，间隔时间过小造成不必要的浪费，给数据处理分析造成困难，间隔时间过大不能满足监测精度的要求，因此监测数据采集时间间隔可根据需要设置。根据工程经验，地埋管换热系统运行期数据采集时间间隔 60 min~120 min，非运行期数据采集时间间隔 12h~24h。

### **III 中深层地埋管地热能采集系统监测**

**10.2.10** 中深层地埋管地热能采集系统地埋管换热区宜进行地温动态监测。

**10.2.11** 地温监测可通过地热侧供回水温度、供热量等参数间接体现，并应符合下列要求：

- 1 地热侧供回水温度测量误差不应大于 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ，水流量测量误差不应大于 2.5%；
- 2 非供暖期间应每月启动地热侧循环水泵，通过无负荷循环法运行 8h，监测供回水温度和水流量；
- 3 监测数据采集时间间隔不应大于 30 min。

通过地热侧供回水温度、供热量等参数的测量和无负荷循环法判断地温恢复情况，均是地温监测的间接方法。经济条件允许，且中深层地埋管地热能供暖系统服务建筑面积大于 20000m<sup>2</sup> 时，宜同时进行地下环境温度监测。

### **IV 热源站机房系统监测**

**10.2.12** 热源站机房系统应监测下列参数：

- 1 地热侧流量、供回水温度、压力；
- 2 用户侧流量、供回水温度、压力；
- 3 中间换热器一、二次侧供回水温度、流量、压力；
- 4 水源热泵机组、水泵、工况转换及连锁阀门的启停；
- 5 水过滤器及水处理设备的压差；
- 6 系统安全保护及故障报警；
- 7 系统供热量的瞬时值和累积值；
- 8 水源热泵机组、水泵等设备的运行参数。

**10.2.13** 热源站机房系统监测的计量装置布置应符合下列要求：

- 1 地热侧总进水管布置 1 个循环水流量传感器；
- 2 用户侧总进水管布置 1 个循环水流量传感器；
- 3 地热侧总进水管、总出水管各布置 1 个水温传感器；
- 4 用户侧总进水管、总出水管各布置 1 个水温传感器；
- 5 水源热泵机组配电输入端布置功率传感器或者电能表，数量根据机组实际情况确定；
- 6 循环水输配系统配电输入端布置功率传感器或者电能表，数量根据输配系统实际情况确定。

**10.2.14** 热源站机房系统监测的计量装置安装应符合下列要求：

- 1 水流量传感器安装在水管直管段，距离上游不少于 10 倍管径，下游不少于 5 倍管径，流量传感器安装方向与管内循环水的流向一致；
- 2 温度传感器置于管道中流速最大处，且逆水流方向斜插或沿管道直线安装；
- 3 电能表垂直、牢固安装，表中心线倾斜不大于 1°。

1~3 参照住房和城乡建设部发布的《可再生能源建筑应用示范项目数据监测系统技术导则》而提出的。

**10.2.15** 机房系统水温度测量误差不应大于 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ，水流量测量误差不应大于 2.5%，输入功率测量误差不应小于 3.0 级，监测数据采集时间间隔不应大于 60 min。

## 10.3 运行管理与维护

### I 地热水供暖系统运行管理与维护

**10.3.1** 运行时严格实施地热水供暖系统的回灌技术方案，结合水位、水质的监测情况进行必要的调整，确保置换热量的地热水全部回灌到同一含水层。

**10.3.2** 地热水换热系统的开采量、回灌量、水位和水温超过系统设计允许值时，应停止运行并采取相应的措施。

**10.3.3** 孔隙型热储回灌井回扬应符合下列要求：

- 1 孔隙型热储层每年回灌开始前及结束后，应对回灌井进行回扬；
- 2 基岩热储回灌井视回灌井单位回灌量减小情况，采取回扬措施；
- 3 回扬操作程序：
  - 1) 根据表格内容记录各数据起始值如表 10.3.3；
  - 2) 将各阀门调至回扬模式，检查回扬排水通道是否通畅；
  - 3) 应以泵最大水量抽水洗井，至砂含量小于二十万分之一（体积比）或水温无明显变化时停止；
  - 4) 按要求定时记录观测数据及水质的清洁情况；
  - 5) 在回扬结束前，在回灌井井口取样进行地热流体质量分析。

表 10.3.3 回灌井回扬监测数据记录表

| 落程 | 观测时间 |   |   |    |   |    | 水位观测 |              |              | 水量观测    |      |    | 水温观测      |       | 备注 |       |
|----|------|---|---|----|---|----|------|--------------|--------------|---------|------|----|-----------|-------|----|-------|
|    | 日月   | 时 | 分 | 持续 |   | 累计 |      | 由测点算起水位深度（m） | 由地面算起水位深度（m） | 水位降深（m） | 测量工具 | 读数 | 涌水量（m3/h） | 水温（℃） |    | 气温（℃） |
|    |      |   |   | 时  | 分 | 时  | 分    |              |              |         |      |    |           |       |    |       |
|    |      |   |   |    |   |    |      |              |              |         |      |    |           |       |    |       |
|    |      |   |   |    |   |    |      |              |              |         |      |    |           |       |    |       |

**10.3.4** 当回灌井的回灌能力与成井初期相比有明显的降低，经过多次回扬仍未能恢复，宜采取洗井等维护措施。

#### 1 回灌堵塞的判别方法

回灌生产运行时，一旦发生以下一种或几种现象，即可判断系统出现了堵塞现象：

1) 当保持一定的回灌量时, 随着回灌时间的延长, 回灌井的水位突然上升或连续上升, 单位回灌量逐渐减少;

2) 当保持一定水头时, 随着回灌时间的增长回灌量逐渐减少;

3) 回灌井经过多年运行后, 单位回灌量或洗井时单位涌水量逐年减少;

4) 过滤器两端的压力差持续增大。

## 2 预防回灌堵塞的方法

预防回灌堵塞的方法如下:

1) 经常检查回灌装置的密封效果, 如发现漏气, 应及时处理;

2) 洗井时, 为防止污水倒流井内, 避免空气混入, 提高密封效果, 须在洗井水管路安装单流阀或“U”型管, 或把扬水管出口没入水中, 形成水封;

3) 洗井时, 须对回灌井的水质进行检测, 回灌运行过程中, 应定期检测回灌水源水质, 对没有达到标准的项目及时采取措施进行处理;

4) 掌握好回灌量和地下水位的动态变化, 及时检查有无堵塞现象;

5) 回灌运行中, 若发现物理、化学沉淀、细菌堵塞时, 需立即停灌, 深入分析堵塞原因, 针对具体情况及时采取有效措施处理。

## 3 回灌堵塞的处理措施

根据回灌井产生的堵塞性质和原因, 可采用连续反冲洗、化学处理法和灭菌法等处理方法:

1) 回灌井成井时, 应洗井彻底, 充分清洗岩层孔隙(裂隙)通道;

2) 对于回灌管路的堵塞, 可直接用连续反冲洗方法处理; 对于回灌井本身产生的堵塞, 可用间歇停泵反冲洗与压力灌水相结合的方法处理;

3) 碳酸盐岩溶地区基岩裸眼成井的回灌井如在加装粗过滤器后回灌效果仍不理想, 可考虑采用压裂酸化洗井措施, 以沟通含水层的岩溶裂隙, 增大地层吸水能力。如果堵塞沉淀物是  $\text{CaCO}_3$  或  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , 已与砂胶合成 Ca 质或 Fe 质结垢, 在井壁管路上已形成坚硬的水垢时, 一般可用  $\text{HCl}$  (浓度 10%, 加酸洗抗蚀剂) 使之生成溶解性的  $\text{CaCl}_2$  来处理。但在用盐酸处理之前, 必须掌握井管口径、深度、材料、静动水位等资料, 依具体情况制定安全有效的处理方案, 以不造成回灌水第二次污染为前提。

### 10.3.5 回灌井停灌后系统维护与保养应符合下列要求:

1 回灌设备养护：过滤装置应拆卸过滤袋(网)，并用淡水冲洗罐体，排净，关闭进出口，风干后妥善保存；排气罐用淡水清洗后，排净，风干，关闭进出口，进行密封处理或充氮气；

2 回灌管网养护：回灌设备关闭进出口，用淡水冲洗管路，待水清砂净，充满淡水，关闭进出口，进行密封处理。

3 停灌回扬后，提出泵管，除去管内外污渍、锈斑等，做好防腐、防锈等保养措施，储存场地应干燥、通风；封闭回灌井井口，利用氮气保护装置，将井管内充满氮气。

4 停灌期间，对回灌系统设备及仪器仪表应按照要求进行检测，保证监测数据的准确可靠。

**10.3.6** 地热井应定期检查井口封闭情况，以及设备和管道的泄露情况，防止地下水污染。

**10.3.7** 每年供暖期结束后应对井泵进行检修。

## **II 浅层地埋管地热能采集系统运行管理与维护**

**10.3.8** 年运行周期内换热区应保持热平衡，如出现异常，应对系统运行方案进行调整。

地埋管布置区域土壤温度的变化是地埋管地源热泵系统长期运行时是否满足吸热和释热平衡的一个重要指标，它可以直观反映系统在一个运行周期结束时地下土壤温度相对于土壤初始温度的变化。因此，运行管理人员应结合地埋管布置区域土壤温度的监测数据，对土壤热平衡方案进行调整帮助运行管理人员优化下一个运行周期的运行方案。

**10.3.9** 地埋管换热系统部分负荷运行时，应分时分区切换使用地埋管换热器，宜优先切换使用地埋管布置区域外围的地埋管换热器。

地埋管换热系统部分负荷运行时，只需要部分地埋管换热器满足系统运行要求既可。分时分区切换使用地埋管换热器，并优先切换使用具有更多更广热量传递土壤的外围地埋管换热器，一方面可使地埋管布置区域的土壤温度整体平衡，防止局部土壤温度过热，另一方面可以给土壤温度一定的恢复期，有利于增强地埋管的换热效果。

**10.3.10** 系统运行时，可根据回水温度对地埋管换热器及辅助热源进行切换和启

停控制。

**10.3.11** 非供暖季，设置有补热系统的应先进行补热运行。

### **III 中深层地埋管地热能采集系统运行管理与维护**

**10.3.12** 运行人员应在供暖季开始前对中深层地埋管地热能采集系统进行检查，并应符合下列要求：

- 1 控制柜内设备工作应正常；
- 2 电动阀门、水泵等设备调控应正常；
- 3 热量表、温度变送器、压力变送器等仪表工作应正常。

**10.3.13** 供热运行初期，本地监控站宜采用手动控制模式，供热升温后应逐步切入自动控制模式。

**10.3.14** 中深层地埋管地热能采集系统的报警处理应符合下列要求：

- 1 运行人员应及时对报警信息进行核实处理，并应将结果进行记录；
- 2 当运行人员不能自行排除故障时，应及时逐级上报，并按上级指令进行应急处理。

**10.3.15** 中深层地埋管地热能采集系统应定期检查、维护硬件设备和设施。

### **IV 热源站机房系统运行管理与维护**

**10.3.16** 热源站机房系统机房环境应符合下列要求：

- 1 机房内做到温、湿度适宜，地面干净、无积水，环境清洁、严禁堆放杂物；
- 2 机房的积水及时排除，待积水排除后方可接入主电源，开启热泵系统；
- 3 管道、线缆等穿越机房地室外墙、底板时，定期检查穿越处的防水情况，存在渗水情况时应及时进行防水处理；
- 4 定期检查机房地面及设备基础的承载力，发现沉降、开裂等情况应及时加固处理；
- 5 定期检查消防安全、事故通风和应急照明设备，保证设备正常有效的使用。

**10.3.17** 机房内设备、管道、部件的防腐保温层应保持良好状态；发现保温层、防潮层、保护层有破损和脱落现象，应及时修补。

机房内的热泵机组和换热储热等设备，地热侧、用户侧管道，以及各种部件

的保温应保持良好的状态，有利于降低能耗、节省运行费用。平时应注意保温层和防潮层有无脱落和破损，当管道及设备维修后，应将保温层恢复原状。特别注意与支吊架接触的部位，如果保温层破坏形成冷桥，将增加热量损失。

#### **10.3.18 热泵机组运行维护应符合下列要求：**

- 1 热泵机组的主要运行参数值在设计文件和设备说明书中明确规定的范围内；
- 2 根据负荷情况及热平衡运行方案，调节热泵机组的开启台数和顺序；
- 3 定期检查热泵机组油过滤器、水过滤器、水流开关的通畅状况，每月应不少于一次；定期更换冷冻油及其它易损部件；
- 4 定期对热泵机组的冷凝器、蒸发器结垢状况进行检查和清除处理，每年不少于一次。

目的是确保热泵机组的安全、高效运行。

2 地源热泵的运行能耗应站在系统能耗（包括对应水泵）的角度考虑，应使投入运行的设备数量最少，且应考虑设备轮换和设备机械寿命的消耗问题。一般可设置机房群控系统来综合考虑各种因素，机房群控系统的预设逻辑和控制参数应在运行调节过程中根据时间调节。没有机房群控系统，运行管理人员应结合热平衡运行方案，根据室外环境参数、室内使用情况、机组实际负荷及时调整开机数量；

3 冷冻油和油过滤器，使用率高的常规热泵机组一年或两年一换。当然，也要根据具体机组的年实际运行时间而定，一般可由厂家或第三方机构提供油质分析报告确定是否更换。

4 蒸发器和冷凝器的换热热阻主要是在水侧，为了保证最好的换热效果，需要定期清洗热泵机组蒸发器和冷凝器，除去水侧污垢，减少水侧换热热阻，提高换热效率；一般热泵机组可以根据换热器进出水温度，对应的冷媒饱和压力和冷媒压力判断换热温差是否加大到需要清洗的程度。

#### **10.3.19 机房系统附属设备运行管理应符合下列要求：**

- 1 定期检查热源站机房内设备管道的支吊架、管箍、减震装置和各类阀门，并及时修补或更换；
- 2 保持水处理设备中的加药装置有效运行，及时记录加药时间、加药品名

和加药数量；

- 3 保持换热设备的温控装置、安全装置在正常工作状态。



## 附录 A 岩土热响应试验

### A.1 一般规定

**A.1.1** 在岩土热响应试验之前，应对测试地点进行实地的勘察，根据地质条件的复杂程度，确定测试孔的数量和测试方案。对2个及以上测试孔的测试，其测试结果应取算术平均值。

**A.1.2** 在岩土热响应试验之前应通过钻孔勘察，绘制项目场区钻孔地质综合柱状图。

**A.1.3** 岩土热响应试验应包括下列内容：

- 1 岩土初始平均温度；
- 2 地埋管换热器的循环水进出口温度、流量以及试验过程中向地埋管换热器施加的加热功率。

**A.1.4** 岩土热响应试验报告应包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 测试方案；
- 3 参考标准；
- 4 测试过程中参数的连续记录，应包括：循环水流量、加热功率、地埋管换热器的进出口水温；
- 5 项目所在地岩土柱状图；
- 6 岩土热物性参数；
- 7 测试条件下，钻孔单位延米换热量参考值。

**A.1.5** 测试现场应提供稳定的电源，具备可靠的测试条件。

**A.1.6** 在对测试设备进行外部连接时，应遵循先接水后接电的原则；

**A.1.7** 连接应减少弯头、变径，连接管外露部分应保温，保温层厚度不应小于10mm。

**A.1.8** 岩土热响应的测试过程应遵守国家 and 地方有关安全、劳动保护、防火、环境保护等方面的规定。

## **A.2 测试仪表**

**A.2.1** 在输入电压稳定的情况下，加热功率的测量误差不应大于 $\pm 1\%$ 。

**A.2.2** 流量的测量误差不应大于 $\pm 1\%$ 。

**A.2.3** 温度的测量误差不应大于 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。

## **A.3 试验方法**

**A.3.1** 岩土热响应试验的测试过程，应遵循下列步骤：

- 1 制作测试孔；
- 2 平整测试孔周边场地，提供水电接驳点；
- 3 测试岩土初始温度；
- 4 测试仪器与测试孔的管道连接；
- 5 水电等外部设备连接完毕后，应对测试设备本身以及外部设备的连接再次进行检查；
- 6 启动电加热、水泵等试验设备，待设备运转稳定后开始读取记录试验数据；
- 7 岩土热响应试验过程中，应做好对试验设备的保护工作；
- 8 提取试验数据，分析计算得出岩土综合热物性参数；
- 9 测试试验完成后，对测试孔应做好防护工作。

**A.3.2** 测试孔的深度应与实际的用孔相一致。

**A.3.3** 岩土热响应试验应在测试孔完成并放置至少48h以后进行。

**A.3.4** 岩土初始平均温度的测试应采用布置温度传感器的方法。测点的布置宜在地埋管换热器埋设深度范围内，且间隔不宜大于10m；以各测点实测温度的算术平均值做为岩土初始平均温度。采用无负荷循环法测试岩土初始平均温度时，每10s记录一组数据，应连续监测地埋管出水温度12h，12h内温度变化不应大于 $0.5^{\circ}\text{C}$ ；而后采用算术平均的方法，得到岩土体的初始平均温度。

**A.3.5** 岩土热响应试验测试过程应符合下列要求：

- 1 岩土热响应试验应连续不间断，持续时间不宜少于48h；
- 2 试验期间，加热功率应保持恒定；
- 3 地埋管换热器的出口温度稳定后，其温度宜高于岩土初始平均温度 $5^{\circ}\text{C}$ 以上且维持时间不应少于12h。

**A.3.6** 地埋管换热器内流速不应低于0.2m/s。

**A.3.7** 试验数据读取和记录的时间间隔不应大于10分钟。

## 附录 B 地埋管外径与壁厚

**B.0.1** 聚乙烯（PE）管外径及公称壁厚应符合表 B.0.1 的规定。

表 B.0.1 聚乙烯（PE）管外径及公称壁厚（mm）

| 公称外径<br>De | 平均外径  |       | 公称壁厚/材料等级      |                |                |
|------------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|
|            | 最小    | 最大    | 公称压力           |                |                |
|            |       |       | 1.0MPa         | 1.25MPa        | 1.6MPa         |
| 20         | 20.0  | 20.3  | —              | —              | —              |
| 25         | 25.0  | 25.3  | —              | 2.3+0.5/PE80   | —              |
| 32         | 32.0  | 32.3  | —              | 3.0+0.5/PE80   | 3.0+0.5/PE100  |
| 40         | 40.0  | 40.4  | —              | 3.7+0.6/PE80   | 3.7+0.6/PE100  |
| 50         | 50.0  | 50.5  | —              | 4.6+0.7/PE80   | 4.6+0.7/PE100  |
| 63         | 63.0  | 63.6  | 4.7+0.8/ PE80  | 4.7+0.8/ PE100 | 5.8+0.9/PE100  |
| 75         | 75.0  | 75.7  | 4.5+0.7/ PE100 | 5.6+0.9/PE100  | 6.8+1.1/PE100  |
| 90         | 90.0  | 90.9  | 5.4+0.9/ PE100 | 6.7+1.1/PE100  | 8.2+1.3/PE100  |
| 110        | 110.0 | 111.0 | 6.6+1.1/ PE100 | 8.1+1.3/PE100  | 10.0+1.5/PE100 |
| 125        | 125.0 | 126.2 | 7.4+1.2/ PE100 | 9.2+1.4/PE100  | 11.4+1.8/PE100 |
| 140        | 140.0 | 141.3 | 8.3+1.3/ PE100 | 10.3+1.6/PE100 | 12.7+2.0/PE100 |
| 160        | 160.0 | 161.5 | 9.5+1.5/ PE100 | 11.8+1.8/PE100 | 14.6+2.2/PE100 |
| 180        | 180.0 | 181.7 | 10.7+1.7/PE100 | 13.3+2.0/PE100 | 16.4+3.2/PE100 |
| 200        | 200.0 | 201.8 | 11.9+1.8/PE100 | 14.7+2.3/PE100 | 18.2+3.6/PE100 |
| 225        | 225.0 | 227.1 | 13.4+2.1/PE100 | 16.6+3.3/PE100 | 20.5+4.0/PE100 |
| 250        | 250.0 | 252.3 | 14.8+2.3/PE100 | 18.4+3.6/PE100 | 22.7+4.5/PE100 |
| 280        | 280.0 | 282.6 | 16.6+3.3/PE100 | 20.6+4.1/PE100 | 25.4+5.0/PE100 |
| 315        | 315.0 | 317.9 | 18.7+3.7/PE100 | 23.2+4.6/PE100 | 28.6+5.7/PE100 |
| 355        | 355.0 | 358.2 | 21.1+4.2/PE100 | 26.1+5.2/PE100 | 32.2+6.4/PE100 |
| 400        | 400.0 | 403.6 | 23.7+4.7/PE100 | 29.4+5.8/PE100 | 36.3+7.2/PE100 |

**B.0.2** 聚丁烯（PB）管外径及公称壁厚应符合表 B.0.2 的规定。

表 B.0.2 聚丁烯（PB）管外径及公称壁厚 （mm）

| 公称外径<br>De | 平均外径  |       | 公称壁厚     |
|------------|-------|-------|----------|
|            | 最小    | 最大    |          |
| 20         | 20.0  | 20.3  | 1.9+0.3  |
| 25         | 25.0  | 25.3  | 2.3+0.4  |
| 32         | 32.0  | 32.3  | 2.9+0.4  |
| 40         | 40.0  | 40.4  | 3.7+0.5  |
| 50         | 49.9  | 50.5  | 4.6+0.6  |
| 63         | 63.0  | 63.6  | 5.8+0.7  |
| 75         | 75.0  | 75.7  | 6.8+0.8  |
| 90         | 90.0  | 90.9  | 8.2+1.0  |
| 110        | 110.0 | 111.0 | 10.0+1.1 |
| 125        | 125.0 | 126.2 | 11.4+1.3 |
| 140        | 140.0 | 141.3 | 12.7+1.4 |
| 160        | 160.0 | 161.5 | 14.6+1.6 |

## 附录 C 浅层竖直地埋管换热器的设计计算

**C.0.1** 浅层竖直地埋管换热器的热阻计算宜符合下列要求：

1 传热介质与 U 型管内壁的对流换热热阻可按下式计算：

$$R_f = \frac{1}{\pi d_i h} \quad (\text{C.0.1-1})$$

式中  $R_f$ ——传热介质与 U 型管内壁的对流换热热阻 ( $\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}$ )；

$d_i$ ——U 型管的内径 ( $\text{m}$ )；

$h$ ——传热介质与 U 型管内壁的对流换热系数 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]。

2 U 型管的管壁热阻可按下式计算：

$$R_{pe} = \frac{1}{2\pi k_p} \ln \left( \frac{d_e}{d_e - (d_o - d_i)} \right) \quad (\text{C.0.1-2})$$

$$d_e = \sqrt{n} d_o \quad (\text{C.0.1-3})$$

式中  $R_{pe}$ ——U 型管的管壁热阻 ( $\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}$ )；

$k_p$ ——U 型管导热系数 [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ]；

$d_o$ ——U 型管的外径 ( $\text{m}$ )；

$d_e$ ——U 型管的当量直径 ( $\text{m}$ )；对单 U 型管， $n=2$ ；对双 U 型管， $n=4$ 。

3 钻孔灌浆回填料的热阻可按下式计算：

$$R_b = \frac{1}{2\pi k_b} \ln \left( \frac{d_b}{d_e} \right) \quad (\text{C.0.1-4})$$

式中  $R_b$ ——钻孔注浆回填料的热阻 ( $\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}$ )；

$k_b$ ——灌浆材料导热系数 [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ]；

$d_b$ ——钻孔的直径 ( $\text{m}$ )。

4 地层热阻，即从孔壁到无穷远处的热阻可按下式计算：

对于单个钻孔：

$$R_s = \frac{1}{2\pi k_s} I \left( \frac{r_b^2}{4a\tau} \right) \quad (\text{C.0.1-5})$$

$$I(u) = \frac{1}{2} \int_u^\infty \frac{e^{-s}}{s} ds \quad (\text{C.0.1-6})$$

对于多个钻孔：

$$R_s = \frac{1}{2\pi k_s} \left[ I \left( \frac{r_b^2}{4a\tau} \right) + \sum_{i=2}^N I \left( \frac{x_i^2}{4a\tau} \right) \right] \quad (\text{C.0.1-7})$$

式中  $R_s$ ——地层热阻 ( $\text{m}\cdot\text{K}/\text{W}$ );

$I$ ——指数积分公式, 可按公式 C.0.1-6 计算;

$k_s$ ——岩土体的平均导热系数 [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ];

$a$ ——岩土体的热扩散率 ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$r_b$ ——钻孔的半径 ( $\text{m}$ );

$\tau$ ——运行时间 ( $\text{s}$ );

$x_i$ ——第  $i$  个钻孔与所计算钻孔之间的距离 ( $\text{m}$ );

$N$ ——钻孔个数。

5 短期连续脉冲负荷引起的附加热阻可按下式计算:

$$R_{sp} = \frac{1}{2\pi k_s} I \left( \frac{r_b^2}{4a\tau_p} \right) \quad (\text{C.0.1-8})$$

式中  $R_{sp}$ ——短期连续脉冲负荷引起的附加热阻 ( $\text{m}\cdot\text{K}/\text{W}$ );

$\tau_p$ ——短期脉冲负荷连续运行的时间, 可取 4-8h。

6 指数积分 (式 C.0.1-6) 计算不便时, 可采用下式近似计算:

$0 < u \leq 1$  时,

$$I(u) = 0.5[-\ln u^2 - 0.57721566 + 0.99999193u^2 - 0.024991055u^4 \\ + 0.05519968u^6 - 0.00975004u^8 + 0.00107857u^{10}] \quad (\text{C.0.1-9})$$

$u > 1$  时,

$$I(u) = \frac{A}{2u^2 \exp(u^2)B} \quad (\text{C.0.1-10})$$

$$A = u^8 + 8.5733287u^6 + 18.059017u^4 + 8.637609u^2 + 0.2677737$$

$$B = u^8 + 9.5733223u^6 + 25.6329561u^4 + 21.0996531u^2 + 3.9684969$$

C.0.2 供暖工况下, 竖直地埋管换热器钻孔的总长度可按下式计算:

$$L_h = \frac{1000Q_h[R_f + R_{pe} + R_b + R_s \times F_h + R_{sp} \times (1 - F_h)]}{t_{\infty} - t_{min}} \left( \frac{COP - 1}{COP} \right) \quad (\text{C.0.2-1})$$

$$F_h = T_{h1} / T_{h2} \quad (\text{C.0.2-4})$$

式中  $L_h$ ——供热工况下, 竖直地埋管换热器所需钻孔的总长度 ( $\text{m}$ );

$Q_h$ ——水源热泵机组的额定热负荷 ( $\text{kW}$ );

$COP$ ——水源热泵机组的供热性能系数;

$t_{min}$ ——供热工况下, 地埋管换热器中传热介质的设计平均温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_{\infty}$ ——埋管区域岩土体的初始温度（℃）；

$F_h$ ——供热运行份额；

$T_{h1}$ ——一个供热季中水源热泵机组的运行小时数；当运行时间取 1 个月时， $T_{h1}$  为最冷月份水源热泵机组的运行小时数；

$T_{h2}$ ——一个供热季中的小时数；当运行时间取 1 个月时， $T_{h2}$  为最冷月份的小时数。

**C.0.3** 根据设定的单井孔深  $L$ ，计算需要的换热孔数：

$$n = \text{ceil}\left(\frac{L_h}{L}\right) \quad (\text{C.0.3})$$

式中  $n$ ——需要的换热孔数；

ceil——向上取整函数。

**C.0.4** 岩土体和回填材料的热物性参数无实测数据时，可按表 C.0.4 估算。

表 C.0.4 几种典型土壤、岩石及回填料的热物性

|     |                                          | $k_s$<br>导热系数<br>W/（m·K） | $a$<br>扩散率<br>$10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ | $\rho$<br>密度<br>$\text{kg/m}^3$ |
|-----|------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|
| 土壤  | 致密粘土（含水量 15%）                            | 1.4~1.9                  | 0.49~0.71                                    | 1925                            |
|     | 致密粘土（含水量 5%）                             | 1.0~1.4                  | 0.54~0.71                                    | 1925                            |
|     | 轻质粘土（含水量 15%）                            | 0.7~1.0                  | 0.54~0.64                                    | 1285                            |
|     | 轻质粘土（含水量 5%）                             | 0.5~0.9                  | 0.65                                         | 1285                            |
|     | 致密沙土（含水量 15%）                            | 2.8~3.8                  | 0.97~1.27                                    | 1925                            |
|     | 致密沙土（含水量 5%）                             | 2.1~2.3                  | 1.10~1.62                                    | 1925                            |
|     | 轻质沙土（含水量 15%）                            | 1.0~2.1                  | 0.54~1.08                                    | 1285                            |
|     | 轻质沙土（含水量 5%）                             | 0.9~1.9                  | 0.64~1.39                                    | 1285                            |
| 岩石  | 花岗岩                                      | 2.3~3.7                  | 0.97~1.51                                    | 2650                            |
|     | 石灰石                                      | 2.4~3.8                  | 0.97~1.51                                    | 2400~2800                       |
|     | 沙岩                                       | 2.1~3.5                  | 0.75~1.27                                    | 2570~2730                       |
|     | 湿页岩                                      | 1.4~2.4                  | 0.75~0.97                                    | —                               |
|     | 干页岩                                      | 1.0~2.1                  | 0.64~0.86                                    | —                               |
| 回填料 | 膨润土<br>（含有 20%~30%的固体）                   | 0.73~0.75                | —                                            | —                               |
|     | 含有 20%膨润土、80%<br>SiO <sub>2</sub> 沙子的混合物 | 1.47~1.64                | —                                            | —                               |
|     | 含有 15%膨润土、85%<br>SiO <sub>2</sub> 沙子的混合物 | 1.00~1.10                | —                                            | —                               |
|     | 含有 10%膨润土、90%<br>SiO <sub>2</sub> 沙子的混合物 | 2.08~2.42                | —                                            | —                               |



|  |                                          |           |   |   |
|--|------------------------------------------|-----------|---|---|
|  | 含有 30%混凝土、70%<br>SiO <sub>2</sub> 沙子的混合物 | 2.08~2.42 | — | — |
|--|------------------------------------------|-----------|---|---|

表 C.0.4 引自《2003 ASHRAE HANDBOOK HVAC Applications》中 Geothermal Energy 一章。

## 附录 D 中深层同轴套管式换热器的设计计算

### D.1 传热模拟分析

**D.1.1** 同轴套管式换热器的传热分析模型可按下式计算：

$$\frac{1}{a} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \sigma^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \quad (\text{D.1.1-1})$$

$$\sigma = \ln\left(\frac{r}{r_0}\right) \quad (\text{D.1.1-2})$$

**D.1.2** 流动方式为内进外出时内管流体的能量控制方程可按下式：

$$C_2 \frac{\partial t_{f2}}{\partial \tau} = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{R_2} - C \frac{\partial t_{f2}}{\partial z} \quad (\text{D.1.2})$$

**D.1.3** 流动方式为内进外出时外管流体的能量控制方程可按下式：

$$C_1 \frac{\partial t_{f1}}{\partial \tau} = \frac{t_{f2} - t_{f1}}{R_2} + \frac{t_b - t_{f1}}{R_1} + C \frac{\partial t_{f1}}{\partial z} \quad (\text{D.1.3})$$

**D.1.4** 流动方式为外进内出时内管流体的能量控制方程可按下式：

$$C_2 \frac{\partial t_{f2}}{\partial \tau} = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{R_2} + C \frac{\partial t_{f2}}{\partial z} \quad (\text{D.1.4})$$

**D.1.5** 流动方式为外进内出时外管流体的能量控制方程可按下式：

$$C_1 \frac{\partial t_{f1}}{\partial \tau} = \frac{t_{f2} - t_{f1}}{R_2} + \frac{t_b - t_{f1}}{R_1} - C \frac{\partial t_{f1}}{\partial z} \quad (\text{D.1.5})$$

**D.1.6** 外管流体与套管外表面之间单位长度的热阻可按下式：

$$R_1 = \frac{1}{\pi d_{1i} h_1} + \frac{1}{2\pi \lambda_{p1}} \ln \frac{d_{1o}}{d_{1i}} + \frac{1}{2\pi \lambda_g} \ln \frac{d_b}{d_{2i}} \quad (\text{D.1.6})$$

**D.1.7** 内管流体与外管流体之间单位长度的热阻可按下式：

$$R_2 = \frac{1}{\pi d_{2i} h_2} + \frac{1}{2\pi \lambda_{p2}} \ln \frac{d_{2o}}{d_{2i}} + \frac{1}{\pi d_{2o} h_1} \quad (\text{D.1.7-1})$$

$$C_1 = \frac{\pi}{4} (d_{1i}^2 - d_{2o}^2) \rho c + \frac{\pi}{4} (d_{1o}^2 - d_{1i}^2) \rho_2 c_2 + \frac{\pi}{4} (d_b^2 - d_{1o}^2) \rho_g c_g \quad (\text{D.1.7-2})$$

$$C_2 = \frac{\pi}{4} d_{2i}^2 \rho c + \frac{\pi}{4} (d_{2o}^2 - d_{2i}^2) \rho_1 c_1 \quad (\text{D.1.7-3})$$

式中  $C_1$  ——为单位长度的内管中流体以及管壁的热容量，kJ/m.K；

$C_2$  ——为单位长度的外管中流体以及管壁的热容量，kJ/m.K；

$\rho c$  ——为水的体积比热容，kJ/m<sup>3</sup>.K；

$\rho_1 c_1$  ——为内管材料的体积比热容，kJ/m<sup>3</sup>.K；

$\rho_2 c_2$  ——为外管材料的体积比热容，kJ/m<sup>3</sup>.K；

$\rho_g c_{g\ s}$  ——为回填材料的体积比热容，kJ/m<sup>3</sup>.K。

套管换热器的传热分析模型为式 (21):

$$\frac{1}{a} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial t}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \quad (\text{D.1.1})$$

考虑到柱坐标中在径向中心部分的温度梯度大而边缘部分的梯度小,在径向可以采用不均等的差分步长。为此引进新变量 $\sigma$ ,  $\sigma = \ln\left(\frac{r}{r_0}\right)$  则 (D.1.1) 为 (D.1.2):

$$\frac{1}{a} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \sigma^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \quad (\text{D.1.2})$$

用数值计算或商用计算机软件处理中深层地埋管换热器系统,因耗时巨大的计算,妨碍了在工程设计和优化方面的实际应用。宜采用适当的传热分析和设计工具解决这一复杂的流体和传热问题。

## D.2 传热简化分析

**D.2.1** 根据设定的单井孔深  $L$ , 计算有效孔深为:

$$L_e = L - L_{iso} \quad (\text{D.2.1})$$

式中  $L_e$ ——单井有效孔深, m;

$L$ ——单井孔深, m;

$L_{iso}$ ——套管外管保温段或高热阻管段长度, m, 当无保温段或高热阻段时取 20m (地表至恒温层的距离)。

**D.2.2** 计算岩土体初始平均温度:

$$t_{\infty} = t_{iso} + 0.005 \delta_t L_e \quad (\text{D.2.2})$$

式中  $t_{\infty}$ ——岩土初始平均温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{iso}$ ——套管外管保温段或高热阻管段最深度岩土体温度,  $^{\circ}\text{C}$ , 当无保温段或高热阻段时取恒温层的温度;

$\delta_t$ ——地温梯度,  $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

**D.2.3** 中深层同轴套管式换热器热阻计算宜采用以下方法:

1 循环水与同轴套管式换热器外管内壁的对流热阻可按下式计算:

$$R_{f2} = \frac{1}{\pi d_{w,n} h} \quad (\text{D.2.3-1})$$

式中  $R_{f2}$ ——循环水与外管内壁的对流换热热阻 ( $\text{m}\cdot\text{K}/\text{W}$ );

$d_{w,n}$ ——套管外管内径 (m);

$h$ ——循环水与外管内壁的对流换热系数[W/(m<sup>2</sup>·K)]。

$h$  的计算可认为其换热类型为粗糙圆管壁的换热, 利用下式计算:

$$h = \frac{f}{8} P_r^{-2/3} \rho c_p u_2 \quad (\text{D.2.3-2})$$

$$f = \left[ 2 \lg \left( \frac{d_e}{2h_s} \right) + 1.74 \right]^{-2} \quad (\text{D.2.3-3})$$

$$d_e = d_{w,n} - d_{n,w} \quad (\text{D.2.3-4})$$

式中  $f$ ——紊流摩擦系数;

$P_r$ ——循环液普朗特数;

$\rho$ ——循环液密度, kg/m<sup>3</sup>;

$c_p$ ——循环液定压比热, J/(kg·°C);

$u_2$ ——环腔流体流速, m/s。

$d_e$ ——环腔当量直径, m;

$h_s$ ——外管内壁平均粗糙度, m;

$d_{n,w}$ ——套管内管外径, m。

2 套管外管管壁热阻可按下式计算:

$$R_{pe} = \frac{1}{2\pi k_p} \ln \frac{d_{w,w}}{d_{w,n}} \quad (\text{D.2.3-5})$$

式中  $R_{pe}$ ——套管外管的管壁热阻 (m·K/W);

$k_p$ ——套管外管的导热系数[W/(m·K)];

$d_{w,w}$ ——套管外管的外径 (m)。

3 钻孔灌浆回填料的热阻可按下式计算:

$$R_b = \frac{1}{2\pi k_b} \ln \left( \frac{d_b}{d_{w,w}} \right) \quad (\text{D.2.3-6})$$

式中  $R_b$ ——钻孔注浆回填料的热阻 (m·K/W);

$k_b$ ——灌浆材料导热系数[W/(m·K)];

$d_b$ ——钻孔的直径 (m)。

4 地层热阻, 即从孔壁到无穷远处的热阻可按下式计算:

$$R_s = \frac{1}{2\pi k_s} I \left( \frac{r_b^2}{4a\tau} \right) \quad (\text{D.2.3-7})$$

$$I(u) = \frac{1}{2} \int_u^{\infty} \frac{e^{-s}}{s} ds \quad (D.2.3-8)$$

式中  $R_s$ ——地层热阻 ( $m \cdot K/W$ );

$I$ ——指数积分公式;

$k_s$ ——岩土体的平均导热系数 [ $W/(m \cdot K)$ ];

$a$ ——岩土体的热扩散率 ( $m^2/s$ );

$r_b$ ——钻孔的半径 ( $m$ );

$\tau$ ——运行时间 ( $s$ )。

5 短期连续脉冲负荷引起的附加热阻可按下式计算:

$$R_{sp} = \frac{1}{2\pi k_s} I \left( \frac{r_b^2}{4a\tau_p} \right) \quad (D.2.3-9)$$

式中  $R_{sp}$ ——短期连续脉冲负荷引起的附加热阻 ( $m \cdot K/W$ );

$\tau_p$ ——短期脉冲负荷连续运行的时间, 可取 4-8h。

6 指数积分 (式 D.2.3-8) 计算不便时, 可采用下式近似计算:

$0 < u \leq 1$  时,

$$I(u) = 0.5[-\ln u^2 - 0.57721566 + 0.99999193u^2 - 0.024991055u^4 \\ + 0.05519968u^6 - 0.00975004u^8 + 0.00107857u^{10}] \quad (D.2.3-10)$$

$u > 1$  时,

$$I(u) = \frac{A}{2u^2 \exp(u^2)B} \quad (D.2.3-11)$$

$$A = u^8 + 8.5733287u^6 + 18.059017u^4 + 8.637609u^2 + 0.2677737$$

$$B = u^8 + 9.5733223u^6 + 25.6329561u^4 + 21.0996531u^2 + 3.9684969$$

**D.2.4** 同轴套管式换热器钻孔的总长度可按下式计算:

$$L_h = \frac{1000Q_b[R_f + R_{pe} + R_b + R_s \times F_h + R_{sp} \times (1 - F_h)]}{t_{\infty} - t_{min}} \quad (D.2.4-1)$$

$$F_h = T_{h1} / T_{h2} \quad (D.2.4-2)$$

式中  $L_h$ ——供热工况下, 竖直地埋管换热器所需钻孔的总长度 ( $m$ );

$Q_b$ ——同轴套管式换热器的额定取热量 ( $kW$ );

$t_{min}$ ——同轴套管式换热器中循环水的设计平均温度 ( $^{\circ}C$ );

$F_h$ ——供热运行份额;

$T_{h1}$ ——一个供热季中水源热泵机组的运行小时数；当运行时间取 1 个月时， $T_{h1}$  为最冷月份水源热泵机组的运行小时数；

$T_{h2}$ ——一个供热季中的小时数；当运行时间取 1 个月时， $T_{h2}$  为最冷月份的小时数。

把同轴套管式换热器的环腔流体、内管管壳、内管流体等效为一根“当量管”，在任意时刻当量管中换热量为岩土体通过套管外管内壁的换热量，而当量管内部不考虑内管管壳作为薄壁的蓄热量及热短路损失，可以认为通过套管外管内壁的热量均被流体所利用。这个假设的合理性表现在：（1）当温度变化不迅速时可忽略内管的蓄热量；（2）内管一般为塑料管，热阻较大，热短路不是很多大；（3）热短路热流的流向在换热器深部是环腔流体向内管流体传热，上部是内管流体项环腔流体传热，这样深部会加大套管外管与岩土体的传热、上部会削弱传热，作为平均值考虑，这种一正一负的影响被中和，而且式（D.2.4-1）中采用的是同轴套管式换热器中循环水的设计平均温度，其内部之间的传热对平均温度的影响较小。

**D.2.5** 计算需要的换热孔数：

$$n = \text{ceil}\left(\frac{L_h}{L_e}\right) \quad (\text{D.2.5})$$

式中  $n$ ——需要的换热孔数；

ceil——向上取整函数。

**D.2.6** 岩土体热导率当无实测数据时，可按图 D.2.6 估算。

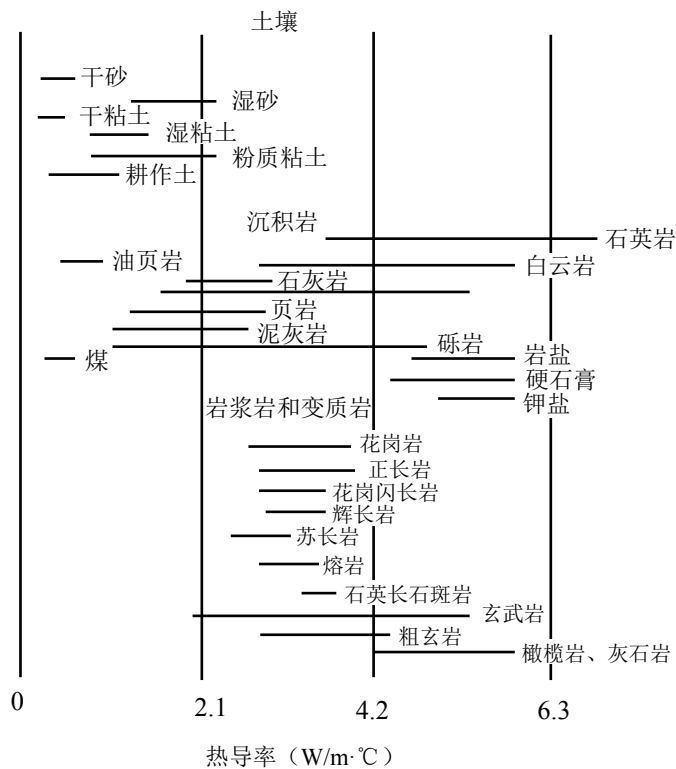


图 D.2.6 不同地质条件的热导率

### D.3 传热估算

**D.3.1** 中深层同轴套管式换热器供热量估算可按图 D.3.1 查取，作为方案设计的参考。

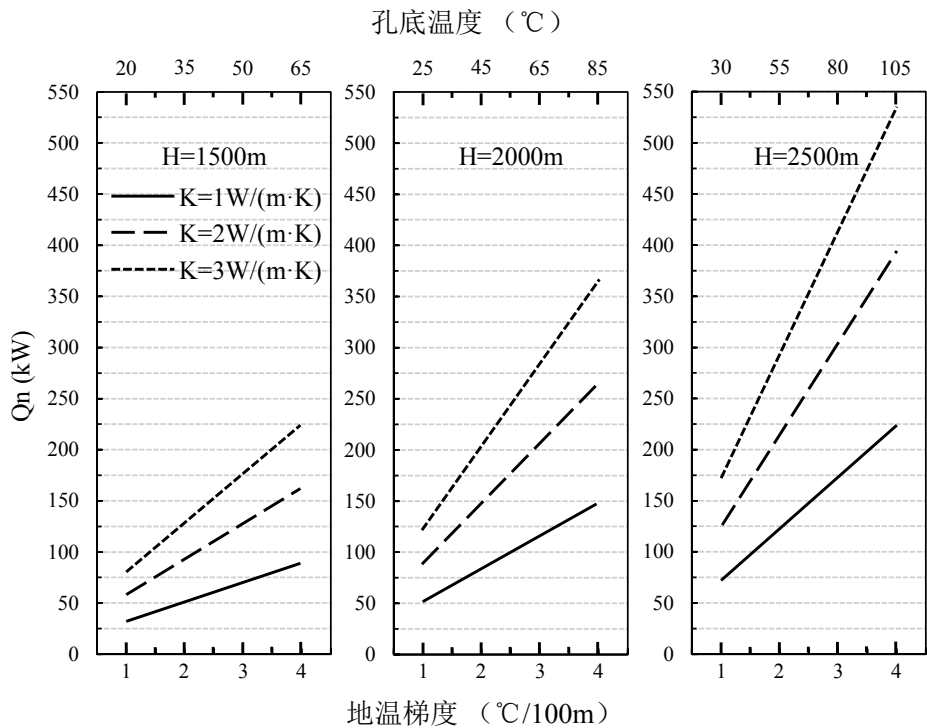


图 D.3.1 中深层同轴套管式换热器供热量估算线算图

影响中深层地埋管换热器取热量的因素很多，钻孔深度、地温梯度和岩土导热系数是三个最主要的因素。基于以上数学描述，采用适宜的数值分析方法，在模拟计算和参数分析基础上，将中深层同轴套管式换热器的取热量估算制成简便的线图 D.3.1，作为方案设计的参考。



## 本规程用词说明

- 1 便于在执行本导则条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - a) 表示很严格，非这样做不可：正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
  - b) 表示严格，在正常情况下均需这样做：正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
  - c) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 2 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 3 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

1. 《声环境质量标准》GB 3096
2. 《建筑给水排水设计标准》GB 50015
3. 《建筑设计防火规范》GB 50016
4. 《工业建筑采暖通风与空气调节设计规范》GB 50019
5. 《岩土工程勘察规范》GB 50021
6. 《供水水文地质勘察规范》GB 50027
7. 《自动化仪表工程施工及验收规范》GB 50093
8. 《公共建筑节能设计标准》GB 50189
9. 《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242
10. 《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243
11. 《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268
12. 《制冷设备、空气分离设备安装工程及验收规范》GB 50274
13. 《城市工程管线综合规划规范》GB 50289
14. 《供水管井技术规范》GB 50296
15. 《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366
16. 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736
17. 《工业锅炉水质》GB/T 1576
18. 《蒸气压缩循环冷水（热泵）机组性能试验方法》GB/T 10870
19. 《地热资源地质勘查规范》GB/T 11615
20. 《给水用聚乙烯（PE）管材》GB/T 13663
21. 《水（地）源热泵机组》GB/T 19409
22. 《工业企业噪声控制设计规范》GB/T 50087
23. 《埋地聚乙烯给水管道工程技术规程》CJJ 101
24. 《水文水井地质钻探规程》DZ/T 0148
25. 《浅层地热能勘查评价规范》DZ/T 0225
26. 《地热钻探技术规程》DZ/T 0260
27. 《钻井井身质量控制规范》SY/T 5088
28. 《地下水源热泵技术规程》DB23/T 1491

29. 《Design and Installation of Earth Energy Systems for Commercial and Institutional Buildings》 CAN/CSA-C448.1