

《地铁能量隧道毛细管换热器应用技术规程》（征求意见稿）  
编制说明

《地铁能量隧道毛细管换热器应用技术规程》团体标准  
起草工作组  
二〇二三年八月

# 《地铁能量隧道毛细管换热器应用技术规程》（征求意见稿）

## 编制说明

### 一、工作简况

#### 1.1 项目背景

国民经济持续高速发展，城市化进程也同步加快。随着城市规模的不断增加，交通拥堵、环境污染、能源消耗等诸多问题逐渐浮现。与传统地面交通相比，以地铁为核心的地下交通因其运输量大、运行速度快、方便准时等优势，成为缓解交通拥堵问题的首选。

《城市轨道交通 2022 年度统计和分析报告》显示，截至 2022 年底，中国大陆地区共有 55 个城市开通城市轨道交通，运营线路 308 条，10287.45 公里。其中，地铁运营线路 8008.17 公里，占比 77.84%；其他制式城轨交通运营线路 2279.28 公里，占比 22.16%。当年新增运营线路长度 1080.63 公里。上述数据表明，**地铁运行与建设规模正在快速增长。**

一方面，地铁系统在运营过程中会大量产热；另一方面，地铁通常位于地下恒温层内，其周围岩土温度通常为当地全年平均气温，在国内为 8℃~22℃。相对于地铁在运行过程中产生的热量，周围岩土所含热量品位较低，具有较强的蓄热能力，是理想的冷源。在运行初期，地铁全年每时每刻都在向围岩放热。因此，在其运行过程中，大量热量被地铁隧道围岩吸收，且随着运行时间的增加，其温度将逐年升高。随着热量的不断“堆积”，将在隧道周围形成一个“热套”，最终导致地铁热环境日益恶化。

地铁热环境恶化具有多方面的影响，包括：

- 1) 影响隧道结构的稳定性与耐久性，
- 2) 影响地铁的安全运行，
- 3) 影响车载空调系统的运行效率，
- 4) 影响隧道周围生态环境，
- 5) 增加地铁环控系统能耗。

综上所述可知，**在地铁系统运营中对隧道热环境的控制具有重要的现实意义，控制效果的好坏直接关系到地铁系统能否正常安全稳定高效的运营。**

鉴于地铁热环境恶化的危害，大量学者提出了相应的解决方法，可分为两类：被动式与主动式，其中主动式可进一步分为**抵消法、排出法、综合热利用法。**

被动式方法主要应用于早期的地铁隧道，如伦敦，主张依靠隧道围岩的蓄热能力调节隧道的热环境；抵消法采用冷热相抵的方式调节地铁的热环境；排出法指采用通风的方法将隧道内的热空气排出，达到调节隧道热环境的目的。

**综合热利用法**将地铁内“废热”作为低位热源，利用热泵技术将其用于地上建筑的供热，使其成为“能量隧道”。目前，主要有两种形式，第一种直接利用隧道空气中热量，通过风机将其输送至空气源热泵源侧作为低位热源；第二种通过在隧道衬砌内埋设换热器进行取热，提取的热量通过水泵输送至水-水热泵源侧，热泵将“废热”品位提升后用于地上建筑的供热。同理，由于地铁隧道内空气与围岩之间存在换热，且第一种形式不能提取蓄存在隧道围岩中的热量，因此，该形式只能在一定程度上缓解地铁隧道热环境恶化；相比之下，第二种形式可以直接提取隧道围岩中的热量，间接提取隧道内空气中的热量（热量由空气—围岩—换热器），理论上可从根本上解决隧道热环境恶化的问题，实现地铁隧道的长期稳定安全运行。

综上所述，上述诸多方法中，基于热泵技术的综合热利用法在解决地铁热环境日益恶化问题的同时，将其“废热”变废为宝，提高了能源的综合利用率，是目前最为有效、节能的地铁隧道降温方法。

1985年德国学者 Donald Herbs 基于仿生学原理，根据人体血液循环系统，发明了毛细管网，结构如图 1 所示。



图 1 毛细管换热器示意图

毛细管网由供回水主管和若干毛细管以一定的间距并联焊接而成，形成一个封闭的网栅，主管像动静脉一样起集合、分配换热介质的功能。目前，毛细管网管道材料为三型聚丙烯（PP-R）或者耐热聚乙烯（PE-RT），具有抗腐蚀、易弯曲、换热性能好、使用寿命长、节省空间等优点，被广泛用作空调系统末端换热器。

胡松涛团队提出了将毛细管换热器敷设于地铁隧道衬砌内，作为热泵系统前端换热器的技术方案，即**能量隧道**，并成功在实际工程中进行了应用，实践结果显示，该技术方案是一种理想可靠的地铁隧道围岩换热方式。胡松涛等发明了一种应用于地铁隧道中的以毛细管为前端换热器的土壤源热泵系统，为解决地铁热环境恶化问题提供了一种高效的技术。后续大量研究对能量隧道的理论模型、设计方法、传热性能、运行策略等进行了研究。相对于传统埋管换热器，毛细管换热器具有施工工法简单、占地面积少、换热面积大、换热均匀、综合传热系数高、布置方式灵活、易与地铁隧道结构相结合等优点。

现有文献虽然对能量隧道进行了大量研究，但仍未形成系统的设计方法，**尚缺乏相关设计、安装、验收等方面的标准。**

编制单位通过理论指导实践，从实践中验证理论，不断提升在能量隧道设计、安装、验收方面的经验。2014年开始研发能量隧道关键技术，并选取典型地铁隧道段进行了试验。

2015年与青岛理工大学等单位签订战略合作协议，拟在青岛市及周边完成一批清洁能源利用项目，创造具有标志性的清洁能源利用成果。选定青岛地铁13号线灵山卫站作为本技术示范项目，建筑面积为46745 m<sup>2</sup>。该示范项目于2018年已顺利通过调试并投入使用，运行效果良好。

鉴于灵山卫地铁站示范项目取得的成果，2019年双方在现有合作基础上，就地铁源热泵综合能源利用技术的产业化展开更深入的合作，进一步推进该技术在青岛地区的应用。

2022年，青岛地铁4号线西登瀛车辆基地示范项目顺利投入，建筑面积共计11.5万m<sup>2</sup>。

此外，海底隧道瓦屋庄综合办公楼示范项目，已顺利完成施工，处于验收阶段，同时，仍有5个地铁站正在实施方案论证。

编制单位通过理论和工程实际应用相结合，形成了能量隧道设计、安装、验收一整套程序。《地铁能量隧道毛细管换热器应用技术规程》团体标准的编制，将规范能量隧道的设计、施工以及验收，使其做到技术先进、经济合理、安全适用，保证工程质量。

## 1.2 任务来源

中国科技产业化促进会标准化工作委员会根据青岛地铁集团有限公司提出，联合青岛理工大学、青岛益群地下城开发有限公司、山东智和新能源科技有限公司、青岛睿能新能源有限公司、青岛能源集团有限公司等单位共同起草《地铁隧道毛细管换热器应用技术规程》团体标准，2023年2月9日经组织相关专家评估后，同意本标准纳入2023年第一批团体标准立项计划（计划编号T/CSPSTC-JH202307），并于2023年2月10日发文予以立项。

## 1.3 起草过程

### 1.3.1 准备阶段

2022年10月至2023年2月，项目立项并组织开展标准的制定工作。2023年2月底，召开工作组启动会议，标准工作组提交工作计划以及标准编制组人员组成等方案。

### 1.3.2 调研阶段

2023年2月至5月，标准编制组开展广泛、深入的调研，收集、整理了国内外相关标准、科研成果、专著、论文、工程应用数据等。

### 1.3.3 起草阶段

2023年5月至7月，充分听取各单位的意见并整合相关资料，经过了多次研究和讨论，形成标准初稿。名称调整为《地铁能量隧道毛细管换热器应用技术规程》。

### 1.3.4 初稿研讨阶段

2023年7月6日，邀请行业内专家对标准初稿进行研讨、交流，标准编制组根据意见与建议进行梳理和修改。2023年7月至8月，明确标准的技术内容，对初稿完善并形成征求意见稿。

### 1.3.5 征求意见阶段

2023年8月初，标准编制组完成征求意见稿，网上公示征求意见稿，广泛征求各方意见与建议。

### 1.3.6 送审阶段

标准编制组根据各方意见与建议对标准内容进行修改和完善，形成送审稿，拟定2023年9月中旬召开审查会。

### 1.3.7 报批

标准编制组根据审查专家的意见与建议对标准内容进行修改和完善，拟定2023年10月初形成报批稿。

### 1.3.8 发布

拟定2023年10月底发布。

## 二、本标准编制原则与依据

### 2.1 标准编制原则

#### 2.1.1 一致性

本标准的编制一定程度上考虑了在我国现行法律、政策环境下对《地铁能量隧道毛细管换热器应用技术规程》团体标准施行的可操作性，同时对国内外相关方面的现行标准给予了应有的关注，以确保《地铁能量隧道毛细管换热器应用技术规程》与有关法律法规、其他标准的兼容性和一致性，且确保与国家标准、行业标准中的术语和词汇保持一致，采用国家标准中规定的术语和广大用户熟悉的词汇。

#### 2.1.2 科学性

本标准编制遵循“科学、适度、可行”原则，既考虑标准前瞻性又顾及地铁能量隧道毛细管换热器应用技术的应用条件和生产实际，使地铁能量隧道毛细管换热器应用技术标准的应用有据可依。

#### 2.1.3 可扩充性

本标准的内容并非一成不变，将随着社会经济条件的发展和相关国际标准、国家标准、行业标准的不断完善而进行充实和更新。

#### 2.1.4 规范性

本标准按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定编写。

### 2.2 编制依据

GB/T 18742（所有部分） 冷热水用聚丙烯管道系统

GB/T 29044 采暖空调系统水质

### 三、标准的范围和主要技术内容

#### 3.1 范围

本标准规定了地铁能量隧道专用毛细管换热器设计、安装与验收技术的材料、设计、施工、检验、调试及验收的要求。

本标准适用于新建地铁源热泵系统，以水为介质，工作压力不大于 0.8 MPa，传热介质温度为 5 °C～60 °C 的毛细管换热器的设计、安装及验收。

本标准规定的地铁源热泵系统毛细管换热器适用于埋深不大于 80 m 的地铁隧道。

#### 3.2 主要技术内容

##### 3.2.1 材料

主要规定了毛细管换热器所用材料、毛细管网栅的质量要求与检验、毛细管网栅、管材、管件的运输与储存等要求。

##### 3.2.2 设计

主要规定了施工图设计、设计计算等要求。

##### 3.2.3 施工

主要规定了施工准备、能量隧道毛细管网栅施工工艺及施工方法、主要施工技术要求、主要保护措施、检验与保压、毛细管修复、管道冲洗及水压试验、成品保护规定等要求。

##### 3.2.4 检验、调试及验收

主要规定了单位的资质、施工方案及材料、设备检查、施工安装质量验收等要求。

### 四、采标及与相关标准之间的关系

近年来，从全球范围来看，我国的地铁建设速度遥遥领先，为能量隧道的应用提供了大量的实践基础。然而，关于能量隧道的研究仅有数年，还未形成系统的设计方法，相关示范项目较少。此外，基于毛细管换热器的能量隧道设计、安装和验收技术规程为编制单位首创。

综上，目前既没有一个统一的技术标准指导能量隧道的设计、安装和验收，也没有其他相关标准可以借鉴。

### 五、本标准预期的经济效益和社会效益

本标准的制定将规范地铁能量隧道毛细管换热器应用技术工作的流程和技术要求，提升地铁能量隧道毛细管换热器应用技术工作的科学先进性和经济合理性，为地铁能量隧道毛细管换热器应用技术工作提供技术支撑，预期经济效益和社会效益显著。

## 六、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准符合现有的法律、法规和强制性国家标准的规定。

## 七、标准重大分歧意见的处理经过和依据

本标准的制定过程中未出现重大的分歧意见。

## 八、标准性质的说明

本标准为中国科技产业化促进会发布的标准，属于团体标准，供会员和社会自愿使用。

## 九、贯标的措施和建议

本标准为团体标准，建议按照国家有关团体标准管理规定和中国科技产业化促进会团体标准管理要求，在会员中推广采用本标准，鼓励社会各有关方面企业自愿采用该标准。

## 十、废止现行有关标准的建议

无。

## 十一、其他应予说明的事项

无。