

# 神农架林区冬季供水保证设施研究

桑稳姣<sup>1</sup>, 李 栋<sup>1</sup>, 贾成华<sup>2</sup>, 郭 峰<sup>2</sup>, 卢子豪<sup>1</sup>, 黄家辉<sup>1</sup>

(1. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070; 2. 神农架林区住房和城乡建设委员会, 湖北 神农架 442400)

**摘 要:** 针对神农架林区高海拔区域居民冬季用水困难的问题,结合当地经济条件和取材条件,选取松针作为辅材,从减少散热和管道加热两个方面设计了一款“高寒山区冬季供水保证装置”。装置从内向外依次布置为:管道—加热层—隔热层—保温层—保护层。设计单因素变量试验,并采用综合评判法依次对各层材料进行测定与评判,选择自控温电伴热带用于管道加热、珍珠岩保温砂浆用于隔绝热量、松针用于保温的措施,可保证当地的冬季供水。

**关键词:** 高海拔区域; 冬季供水; 保温; 电伴热

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)07-0045-04

## Research and Design of Water Supply Assurance Device for Winter in Shennongjia Forest Region

SANG Wen-jiao<sup>1</sup>, LI Dong<sup>1</sup>, JIA Cheng-hua<sup>2</sup>, GUO Feng<sup>2</sup>, LU Zi-hao<sup>1</sup>, HUANG Jia-hui<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. Shennongjia Forestry Housing and Urban-Rural Construction Committee, Shennongjia 442400, China)

**Abstract:** To secure the water supply in winter in high altitude region in Shennongjia forest region, based on the local economic conditions and available materials, a “water supply assurance device for winter in alpine mountain region” was designed, which used pine needles as auxiliary materials to reduce heat dissipation and to heat pipes. The device was constructed from the interior to the exterior as follows: water pipe, heating layer, insulation layer, warm keeping layer, and protective layer. A single factor variable experiment was designed, and a comprehensive evaluation method was used to select the material for each layer. The design selected self-adaptive thermoelectric heating belt for the heating layer, perlite insulation mortar for the isolation layer, and used pine needles for warm keeping. The design ensured the water supply in winter.

**Key words:** high altitude region; water supply in winter; insulation; thermoelectric heating

供水系统作为山区城镇的重要基础设施,肩负着建设社会主义新山区的重大历史使命,供水的安全性相当程度上影响着当地经济的发展和人民生活水平的提高。神农架林区位于湖北省西部边陲,9

月底到次年4月为当地冰霜期,平均气温较低、冻土较深,管道容易出现冻堵和冻裂现象,对当地居民生活用水和生产用水产生严重的影响。冬季供水保证的研究有利于改善山区居民生活条件,对林区的发

展具有积极而深远的影响。

目前国内对供水保证装置设计的研究还处于不成熟阶段。王珂<sup>[1]</sup>对国内北方化工企业管道的防冻措施进行研究,从优化管道布置和添加伴热体系两方面进行设计,主要设置了防冻导淋阀和蒸汽伴热系统。郭锋等<sup>[2]</sup>利用 ANSYS 模型对有、无保温措施两种条件下给水管的温度场和温度应力进行数值模拟,发现在管道壁面设置 0.3 cm 保温板的保温效果较好,使管道外壁温度从  $-8.86\text{ }^{\circ}\text{C}$  达到  $2.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这些设计从理论上对保温措施有很好的支撑作用,但未设计出一套可以广泛应用的保温装置。

笔者基于神农架林区冬季供水情况,调查当地管网保温现状,结合经济及生产状况,拟选取几种合适且当地易获取的保温材料进行保温性能测试,旨在优选出最经济、环保的管网保温材料,从减少散热和管道加热两个方面着手进行供水保证装置设计。

## 1 试验方法

选用长为 1 m、DN100 的 PPR 管道组装试验装置,装置横截面如图 1 所示。将装置放置在冰箱冷冻层,利用温度控制器对冰箱冷冻层进行控温与变温,模拟神农架林区冬季温度条件( $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。每隔 1 h 测 1 次管内水温并记录,绘制温度变化曲线,对比不同情况下相同温降程度的温降时间,以对装置进行改善。试验初期定性分析所选材料,后期则定量分析所选材料的各因素(如保温层厚度、隔热层材料配比等)对温降的影响,根据所测数据采用综合评判法得出最优方案。

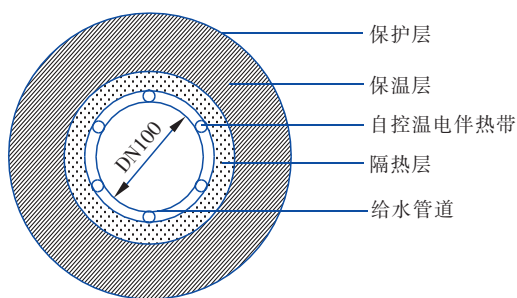


图1 供水保证装置横截面

Fig.1 Cross section of water supply assurance device

## 2 供水保证装置的设计

### 2.1 保温层的确定

通过查阅资料<sup>[3-5]</sup>和实地调研,选取橡塑、玻璃棉、岩棉以及神农架当地易获取的保温材料如松针,进行保温性能测试。经测定,橡塑、玻璃棉、岩棉、松

针的导热系数分别为 0.034、0.038、0.039、0.068,密度分别为 40.8、51.0、108.1、137.8  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,橡塑的导热系数和密度均比松针小。管道热量损失随保温材料导热系数的降低而减小,随密度的增加而增大,因此橡塑保温更占优势。但松针也属于性能较高的保温材料,同时鉴于其在神农架林区分布广泛的特殊背景,试验将松针作为装置保温层的选材对象,以进行废弃物的资源化利用。

在实验室条件下,将 4 种保温材料包裹于试验管段外壁,置于冰箱低温冷藏进行静态试验,记录 10 h 后管道内水温的变化情况。结果表明,当 40 mm 橡塑、40 mm 玻璃棉、50 mm 岩棉、35 mm 干松针包裹于管道外壁时,管内水温分别降低 7.2、7.5、7.1 和 7.5  $^{\circ}\text{C}$ 。综合考虑工程的经济性、便捷性,确定松针为本试验的保温材料。试验选用马尾松针,利用纱窗将松针缝合固定为被服结构作为保温层。

试验采用厚度分别为 1、2、3 cm 的松针保温层成品包裹于试验管段外壁进行静态分析,同时进行空白对照。3 种松针厚度下 9 h 后温度分别降低 9.5、8.8、6.1  $^{\circ}\text{C}$ ,而裸管空白试验中温度降低 10.4  $^{\circ}\text{C}$ ,表明在合适范围内,松针保温层越厚则保温效果越好。在实际应用中,考虑施工的便捷性,可将试验中的被服状保温层成品改成在管道外铺设一定厚度的松针,如此既可达到保温效果,又可节省施工成本。

### 2.2 管道加热层的确定

山区供水存在水源温度低、供水线路长的特点,而现有的管道保温效果有限,不能保证在最低温度条件下管道内水的流动性。为了解决最低温度条件下管道结冰这一问题,试验拟采用电伴热加热方法。自控温电伴热带,是目前国内外倾向于使用的一种智能电热产品,其电热元件主体是其带状器件,具有电阻正温度系数效应(PTC 效应),以及精巧的记忆特性和开关特性,存在温控智能、安装方便、使用安全、自动化水平高等优点。

设计自控温电伴热带作为试验管道的加热层,温度探头安装在试验管道内壁,温度传感器与设置在室外管道外的温度控制箱连接,见图 2。在电热带铺设完成后,在试验管道外壁设置绝热层。试验过程中,当管壁温度降到  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,电热带自动快速工作,可在极短时间内将管内水温加热到  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右。当管道外壁的温度为  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,电热带停止工作。在隔热层和保温层的保温下,水温降到  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  需近 10 h,

即电热带工作周期为 10 h,一次工作时间不到 3 min。

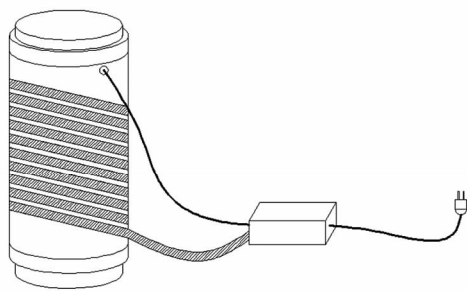


图2 自控温电伴热带系统

Fig.2 Self-adaptive thermoelectric heating system

本试验是在实验室条件下进行的静态试验,实际给水管网中水流为动态,有助于缓解管道内水流的凝固问题。故而在实际施工中可考虑每隔一段距离设置一段长度为 60 m 的加热段,在给水管外壁设自控温电伴热带,可节省电热带材料,降低成本。

### 2.3 隔热层的确定

将自控温电伴热带用于管道加热层时,由于单独使用松针作为保温层不能有效隔绝加热层温度的散失,故而需要在加热层与保温层之间添加隔热层用于绝热保温,增加保温效果。

保温砂浆由阻隔性保温材料和砂浆材料混合而成,因其耐火性而广泛应用于建筑物外墙内外表面的保温<sup>[6]</sup>,也可应用于地下给水管网的保温。常用于管道保温的无机保温砂浆珍珠岩,因其温度稳定性和化学稳定性较强,同时机械强度高、柔性好、抗老化、耐冻融,在工程中应用广泛。为增强珍珠岩砂浆的隔热保温效果,采取两个措施进行优化改进:使用玻璃水代替普通自来水作为粘合剂,增大其与保温砂浆的接触面积从而使得支撑涂料更为牢固;先把砂浆固体磨成粉末,再加玻璃水混合,减小保温砂浆的孔隙率以增加砂浆密实度。隔热层制成类似于竹筒式的保温外壳,方便拆卸,也可多次循环使用。

试验中,进行玻璃水与砂浆的配比、涂抹厚度对保温性能的影响研究。试验制作厚度分别为 3、6 mm 的珍珠岩砂浆隔热层成体。对比砂水质量比分别为 0.8:1 与 1:1 的 3 mm 厚度砂浆联用不同厚度松针保温层对管道内水温降低的影响。结果表明,当砂水比为 0.8:1 时,纯砂浆与联用 1、2、3 cm 松针保温层条件下 9 h 后温度分别降低 10.1、9.1、8.2、5.7℃;当砂水比为 1:1 时,温度则分别降低 10.0、9.0、8.4、5.4℃。两种砂水比条件下温度降

低程度相近,表明砂水配比只影响隔热层风干的速度,并不对温降快慢产生影响。即砂水比不是影响其保温性能的关键因素,在进行配比时只需保证砂浆的涂抹不脱落即可。徐长伟等<sup>[7]</sup>研究不同水胶比对膨胀珍珠岩保温砂浆性能的影响,发现水胶比的增大会使砂浆的抗压强度有先增后减的趋势,因此在工程应用中需先满足一定的抗压强度再保证砂浆保温性能的应用。

在砂浆厚度为 6 mm、砂水比为 1:1 条件下,研究隔热层联合不同厚度松针对保温性能的影响,如图 3 所示。可知,9 h 后温度分别降低了 9.8、8.5、7.9、5.2℃。对比发现,砂浆越厚则保温效果越好,但需根据管道抗压强度确定最佳隔热层厚度。

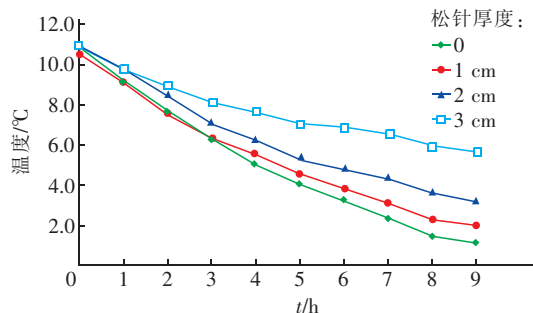


图3 不同厚度松针保温层与 6 mm 厚度隔热层联用对保温性能的影响

Fig.3 Effect of different thickness of pine needle warm keeping layer and 6 mm thickness insulation layer on thermal insulation performance

在实际工程中,先制成一定厚度的类竹筒式隔热层成品,在敷设管道后包裹在加热层外,以减少自控温电伴热带产生的热量流失。

### 2.4 保护层的确定

直埋管道的腐蚀问题是国民经济中一直难以攻破的难题。直埋管道腐蚀导致其保温材料的导热系数上升,影响保温效果。腐蚀时间过久也会影响到内层结构,不利于供水装置的长期使用,给国民经济带来巨大损失。

与传统的铸铁管、镀锌钢管等管道相比,PPR 管材具有轻质高强、耐腐蚀、施工和维修简便、使用寿命长等优点,故选取 PPR 管道作为试验管道可在防腐环节上节省资源。实验室环境条件比较温和,由于不涉及土壤腐蚀作用而只考虑包裹内部结构,选用锡箔纸作为装置保护层。在实际工程应用中要因地制宜,采用与当地敷设管道相同的保护措施。



## 2.5 装置整体合成

本试验制成1套“高寒山区冬季供水保证装置”,由给水管道、管道加热层、隔热层、保温层、保护层组成,如图4所示。其中,自控温电伴热带用于管道加热、珍珠岩保温砂浆用于隔绝热量、松针用于管道保温、锡箔纸用于装置保护。

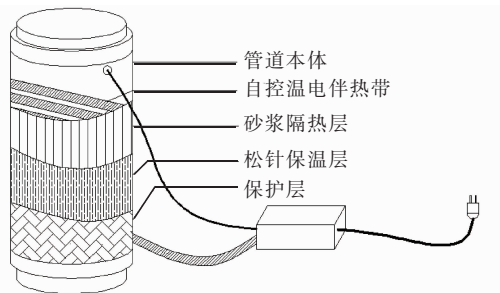


图4 供水保证装置示意

Fig. 4 Schematic diagram of water supply assurance device

## 3 结论

为改善神农架林区冬季供水困难的问题,设计了1套“高寒山区冬季供水保证装置”。以DN100的PPR管道作为试验管材,以自控温电伴热带作为管道加热层,以6 mm厚、1:1砂水比的珍珠岩保温砂浆作为管道隔热层,以2 mm厚的松针层作为管道保温层,以锡箔纸作为管道保护层,实验室条件下模拟神农架林区环境条件,管道内部水温最低可保证在2℃,达到了保温效果。该保温装置不仅能使神农架林区冬季供水得到保证,还可在一定程度上减小输配水管网的埋深,降低管网的工程造价,具有一定的实际意义。

## 参考文献:

- [1] 王轲. 我国北方地区化工装置管道防冻设计分析[J]. 化肥设计, 2016, 54(1): 33-35.  
Wang Ke. Anti-freezing piping design and analysis of chemical plants in north China[J]. Chemical Fertilizer Design, 2016, 54(1): 33-35 (in Chinese).
- [2] 郭锋, 路晓婷. 输水管道冬季输水保温的研究[J]. 东北水利水电, 2017, 35(1): 48-50.  
Guo Feng, Lu Xiaoting. Study on insulation measure in winter running for the water conveyance pipeline[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2017, 35(1): 48-50 (in Chinese).
- [3] 王恒. 橡塑板保温在人工冻结施工中的应用[J]. 能源与环保, 2017, 39(10): 196-198, 203.  
Wang Heng. Application of rubber and plastic plate insulation in artificial freezing project[J]. China Energy and Environmental Protection, 2017, 39(10): 196-198, 203 (in Chinese).
- [4] 路国忠, 邓瑜, 郑学松, 等. 玻璃棉板外保温系统在既有建筑节能改造中的应用技术研究[J]. 建筑节能, 2016(1): 53-59.  
Lu Guozhong, Deng Yu, Zheng Xuesong, et al. Application technology of glass cotton board on external thermal insulation system in existing building energy conservation renovation[J]. Building Energy Saving, 2016(1): 53-59 (in Chinese).
- [5] 陈占虎. 岩棉板外墙外保温现浇系统技术研究与应用[J]. 粉煤灰, 2014(2): 41-43.  
Chen Zhanhu. Study and application of the rock wool board on external thermal insulation of the building's external wall in cast-in-situ system[J]. Coal Ash, 2014(2): 41-43 (in Chinese).
- [6] 徐峰. 建筑保温砂浆墙体保温系统的应用与存在问题[J]. 新型建筑材料, 2010, 37(4): 52-55.  
Xu Feng. The application and problem of insulation mortar wall thermal insulation system[J]. New Building Materials, 2010, 37(4): 52-55 (in Chinese).
- [7] 徐长伟, 汪国光, 马世方, 等. 组分对膨胀珍珠岩保温砂浆性能的影响[J]. 混凝土, 2016(11): 112-115.  
Xu Changwei, Wang Guoguang, Ma Shifang, et al. Effects of component on the performance of expanded perlite thermal insulating mortar[J]. Concrete, 2016(11): 112-115 (in Chinese).



作者简介: 桑稳姣(1974-), 女, 湖北公安人, 工学博士, 副教授, 主要从事水污染控制、污泥减量和供水保证领域的教学和研究工作。

E-mail: whlgdxswj@126.com

收稿日期: 2018-10-20