

# 加筋人工冻结路面力学性能试验研究

徐熙语, 邓元婧, 朱照清, 姬思宇

中国电力科学研究院有限公司, 北京

Email: xuxiyu@epri.sgcc.com.cn, dengyuanjing@epri.sgcc.com.cn, zhuzhaoqing@epri.sgcc.com.cn, 1585856640@qq.com

收稿日期: 2020年10月26日; 录用日期: 2020年11月11日; 发布日期: 2020年11月18日

## 摘要

目前在工程建设中, 人工冻结法被用于临时土体强度加固, 使土层在冻结期间强度大大提高, 满足工程需求, 融化后可恢复原状, 降低对环境的污染和破坏。为探索在环保要求较高的地区人工冻结法在输电线路施工便道中的应用, 开展了人工注水冻结路基力学性能试验, 在人工冻结体中添加不同类型的加筋体, 进行了不同加筋体对人工冻结体承载性能的对比。试验结果表明: 人工注水冻结路面厚度越大, 在相同荷载作用下, 冻结路面和路基的整体位移越小; 不同加筋体对冻结路基承载性能的影响不同, 双向土工格栅对于人工冻结路基承载性能的提高最为有利。

## 关键词

人工冻结, 输电线路, 施工便道, 模型试验, 土工格栅

# Experimental Research on Mechanical Property of Reinforced Artificial Freezing Pavement

Xiyu Xu, Yuanjing Deng, Zhaoqing Zhu, Siyu Ji

China Electric Power Research Institute, Beijing

Email: xuxiyu@epri.sgcc.com.cn, dengyuanjing@epri.sgcc.com.cn, zhuzhaoqing@epri.sgcc.com.cn, 1585856640@qq.com

Received: Oct. 26<sup>th</sup>, 2020; accepted: Nov. 11<sup>th</sup>, 2020; published: Nov. 18<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

At present, artificial freezing method is used for temporary soil strength reinforcement in construc-

tion which greatly increases the strength of the soil during freezing to meet the engineering needs. Melting can be restored to its original state to reduce pollution and damage to the environment. In order to explore the application of artificial freezing method in transmission line construction for construction access road in areas with high environmental protection requirements, the mechanical performance tests of artificial water injection frozen subgrade are carried out. Adding different reinforcement material of stiffeners to the artificial frozen body, the bearing capacity of artificial frozen body is compared with different reinforcement materials. The test results show that: under the same load, the greater the thickness of frozen pavement by artificial water injection, the smaller the overall displacement of frozen pavement and subgrade. Different reinforcement materials have different effects on the load-bearing performance of frozen roadbeds. The two-way geotechnical grille is the most favorable to improve the bearing capacity of artificially frozen subgrade.

## Keywords

Artificial Freezing, Transmission Line, Construction Access Road, Model Experiment, Geotechnical Grille

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

目前, 土层人工冻结法在我国各个行业中经常被用来临时加固土体强度[1] [2] [3] [4]。土层可以在冻结期间内大大提高其强度, 满足工程的需求, 在工程结束融化后可以恢复原状, 降低对环境的污染和破坏[5]-[10]。我国幅员辽阔, 输电线路的修建会无法避免草原等环保要求高的地区。为了在输电线路修建过程中避免对环境的破坏, 可以在地表架设冻结层, 通过人工注水冻结, 在保护地表上形成临时道路。通过人工冻结法形成的临时道路, 在车辆通过后可立即在短时间内恢复原状, 在下一次车辆通过时可提前进行冻结, 通过后又可恢复原状, 施工灵活度和成本都可以很好的控制。

为了探索输电线路施工便道人工冻结路基承载特性, 开展了加筋人工冻结路基力学性能模型试验, 并与未加筋冻结路基进行了试验对比。

## 2. 试验概况

### 2.1. 试验方案

为研究不同厚度、不同加筋材料对人工冻结路面力学性能的影响, 对低温冻结状态下的人工注水冻结路面进行了抗压模型试验。以输电线路施工便道为原型, 路面宽度一般为 5 m, 路基深度 3 m, 选取长度为 10 m 的施工便道进行模拟, 综合考虑试验场地以及测试仪器等因素采用试验几何模型比为 1:10, 模型平面尺寸为 100 × 50 cm, 厚度为 30 cm。

将与路基模型相同横截面尺寸的冰块置于路基模型上, 开展了不同厚度、不同加筋材料冰块的抗压试验。试验工况、模型尺寸、温度条件见表 1。

### 2.2. 试验场地及设备

试验在北京中煤矿山工程有限公司煤矿深井建设技术国家工程实验室冷库中进行, 最低环境温度可达到 -40℃。

**Table 1.** Conditions of model experiment  
**表 1.** 模型试验工况

序号	加筋材料	模型平面尺寸/cm	厚度/cm	试验温度
1	无	100 × 50	2, 5, 10, 30	-20℃
2	钢筋	100 × 50	30	-20℃
3	土工格栅	100 × 50	5, 30	-20℃
4	土工格室	100 × 50	30	-20℃

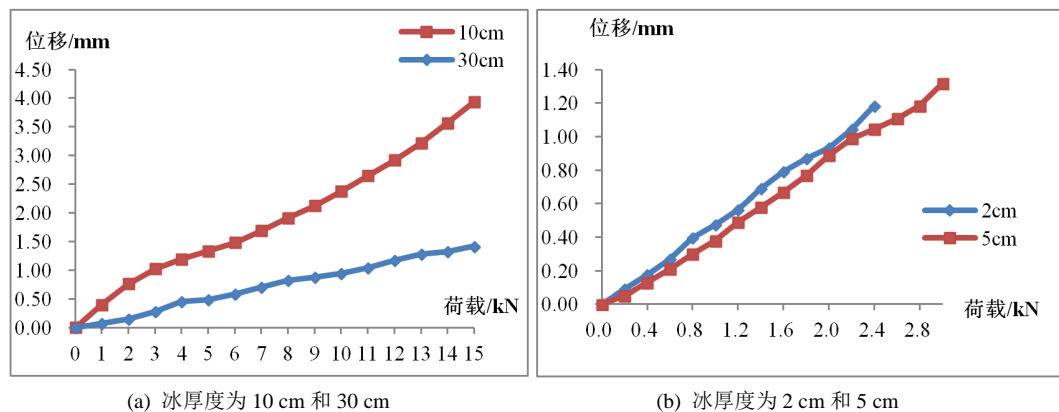
试验加载系统主要由千斤顶、横梁、反力支座组成。加载系统中，千斤顶是动力源，通过反力梁对模型施加下压荷载。

试验量测系统主要由率式位移传感器、RS-JYC 静载仪组成。位移传感器的位移测量精度达到 0.01 mm。静载仪集荷载、位移数据采集与加载进程控制于一体，具有高度自动化和智能化。

### 3. 试验结果和分析

#### 3.1. 无加筋人工注水冻结路面模型试验

无加筋人工注水冻结路面模型试验结果如图 1 所示，在冻结和试验过程中环境温度均为 -20℃。



**Figure 1.** Curves: load-displacement result of frozen roadbed model experiment  
**图 1.** 人工注水冻结路面模型试验

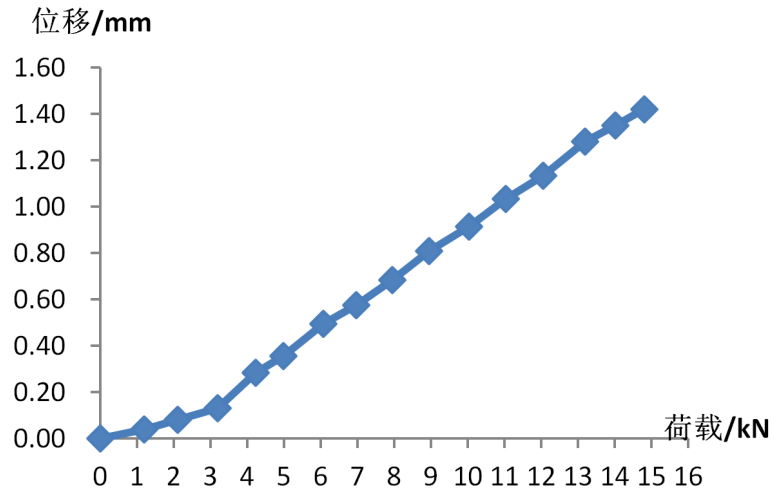
通过试验结果可知，人工注水冻结路面的抗压特性与冰的厚度紧密相关，厚度越大，在相同荷载作用下，冻结路面和路基的整体位移越小。根据冰试样抗压试验结果可知，未破坏时冰自身变形较小，整体位移主要来自冻结土，由于冰厚度的增加，传递到土体的附加应力降低，故冰厚度越大，整体位移越小。厚度为 2 cm 和 5 cm 的人工冻结路面分别在加载达到 2.4 kN 和 3 kN 时发生破坏，而厚度为 10 cm 和 30 cm 的人工冻结路面在加载到 15 kN 时均未发生破坏。大部分小型施工机械重量为 2~5 吨，这说明厚度为 10 cm 的人工冻结路面基本可以承受小型施工机械通过。

#### 3.2. 加筋人工注水冻结路面模型试验

##### 3.2.1. 采用钢筋作为加筋体

试验中使用的钢筋直径为 8 mm，长度 400 mm，共布设 8 根，沿冻结体长方向垂直布置，间距为 10 cm，冻结体厚度为 30 cm。

试验加载按慢速维持荷载法进行，每级加载 1 kN，共加载 15 级。试验结果如图 2 所示。



**Figure 2.** Curves: load-displacement result of frozen roadbed model experiment with reinforcement bars

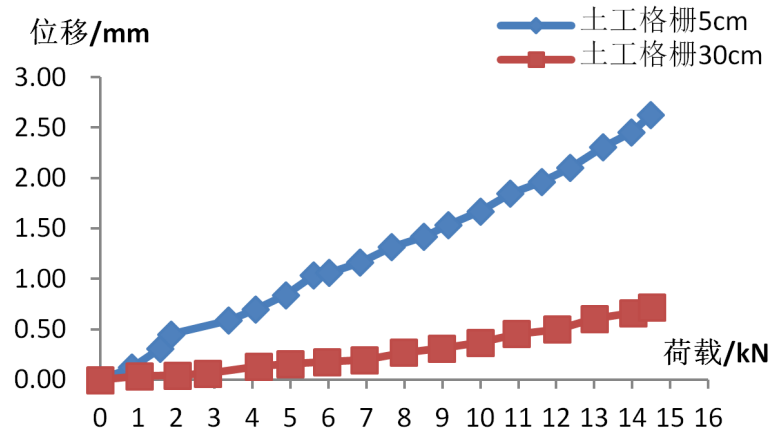
**图 2.** 加钢筋人工注水冻结路基试验结果

试验中厚度为 30 cm 加钢筋人工注水冻结路基未发生破坏，每级位移增长较小，至加载结束后整体位移较小，且在加载过程中并未发现位移突然增大现象，表明并没有破坏倾向。在试验荷载范围内，人工冻结体呈弹性变形状态。与未加筋 30 cm 厚冻结体对比可知，采用钢筋作为加筋体冻结体并未提升自身抗变形能力，在相同荷载作用下，位移与未加筋冻结体基本相同。

### 3.2.2. 采用土工格栅作为加筋体

试验中使用塑料双向土工格栅，人工冻结体厚度取 5 cm 和 30 cm，在 5 cm 厚冻结体中铺设 1 层土工格栅，在 30 cm 厚冻结体中铺设 3 层土工格栅。

试验加载按慢速维持荷载法进行，每级加载 1 kN，共加载 15 级。试验结果如图 3 所示。



**Figure 3.** Curves: load-displacement result of frozen roadbed model experiment with geotechnical grille

**图 3.** 土工格栅人工注水冻结路基试验结果

试验中厚度为 5 cm 和 30 cm 的加土工格栅人工注水冻结路基均未发生破坏。在试验荷载范围内，两种厚度的人工冻结体均呈弹性变形状态。

本次试验与之前相同厚度冻结体试验进行对比。厚度 5 cm 的冻结体比对未加筋冻结体试验结果, 加入土工格栅后冻结体的承载能力得到很大提升, 说明加入土工格栅可以更好的改善冻结体的承载性能, 土工格栅作为冻结体的骨架存在使其可以承受更大荷载而不发生破坏。厚度 30 cm 的冻结体比对未加筋和钢筋加筋冻结体试验结果, 相同荷载下, 加入土工格栅的冻结体的位移更小, 提升人工冻结路基承载力。

另外, 由试验关系曲线可以看出, 在相同荷载作用下, 厚度为 30 cm 的人工注水冻结路基位移明显小于 5 cm 的人工注水冻结路基, 说明冰厚度越大, 整体位移越小, 承载能力更高。

### 3.2.3. 采用土工格室作为加筋体

试验中使用土工格室规格为宽 100 mm × 长 800 mm, 沿长方向水平铺设 2 条, 每条 2 个格室, 人工冻结体厚度为 30 cm。

试验加载按慢速维持荷载法进行, 每级加载 1 kN, 共加载 15 级。试验结果如图 4 所示。

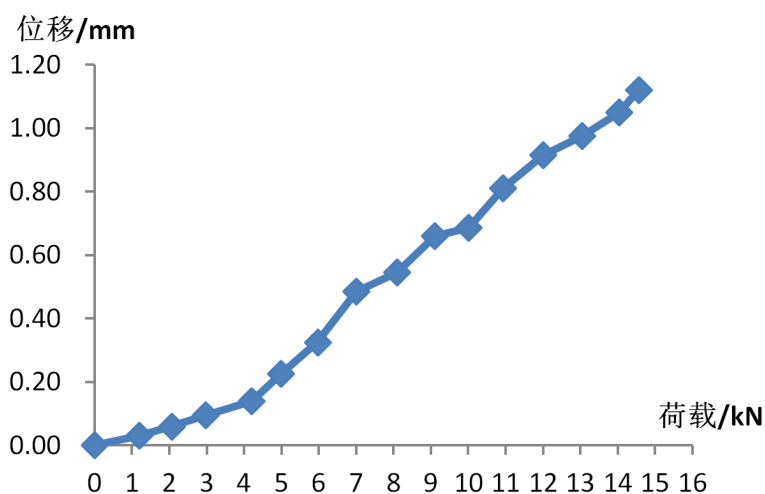


Figure 4. Curves: load-displacement result of frozen roadbed model experiment with geotechnical grid

图 4. 土工格室人工注水冻结路基试验结果

试验中厚度为 30 cm 加土工格室人工注水冻结路基未发生破坏, 呈弹性变形状态。根据位移荷载曲线所呈现的线性可以看出每级位移增长较平缓, 没有破坏趋势。与厚度为 30 cm 未加筋和加钢筋人工注水冻结路基相比, 采用土工格室作为加筋体冻结体自身抗变形能力略有提高, 但提高的程度不高。

综上试验结果可知, 通过在人工冻结路面中加入钢筋、土工格栅或土工格式格室可以改善人工冻结路面的力学性能。这主要是由于加筋体与人工冻结路面构成了一种组合材料并共同工作, 不同材料由于自身的材料特性表现出不同的改善效果, 双向土工格栅对于人工冻结路基承载性能的提高最为有利。双向土工格栅与人工冻结体接触范围最大, 在冻结体内充当了骨架的效果, 在厚度较小时对提升人工冻结路面的力学性能有较大优势。

## 4. 小结

1) 冻结厚度是人工注水冻结路基整体承载性能的主要影响因素。在相同荷载作用下, 人工注水冻结路面厚度越大, 路面和路基的整体位移就越小。

2) 不同加筋体对冻结路基承载性能的影响有较大差别。总体来说, 在人工注水冻结体中加入加筋体有利于提高整体承载性能。对比三种加筋材料, 双向土工格栅对于人工冻结路基承载性能的提高最为有利。

## 基金项目

中国电科院创新基金, 输电线路施工便道人工冻结路基承载特性研究(GC83-18-003)。

## 参考文献

- [1] 陈湘生. 地层冻结技术 40 年[J]. 煤炭科学技术, 1996, 24(1): 13-15.
- [2] 陈瑞杰, 等. 人工地层冻结应用研究进展和展望[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(1): 40-44.
- [3] 何淑梅. 沿海地区地铁隧道冻结工程中土体冻胀融沉特性研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州理工大学, 2011.
- [4] 张冬梅, 等. 港珠澳大桥拱北隧道施工变形规律分析[J]. 岩土工程学报, 2020, 42(9): 1632-1641.
- [5] 陈朝巧. 冻结凿井技术研究进展与存在的问题[J]. 建井技术, 2007(3): 28-31.
- [6] 王宁, 薛绍祖. 人工地层冻结法在地铁联络通道中的应用[J]. 隧道建设, 2007, 27(z2): 494-497.
- [7] 蔡海兵. 地铁隧道水平冻结工程地层冻胀融沉的预测方法及工程应用[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [8] 张永祥. 浅析隧洞施工中人工冻结法的应用[J]. 农业科技与信息, 2019(18): 112-113.
- [9] 王鹏等. 冻结管布置形式对冻结壁温度场发展规律影响研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(12): 38-44.
- [10] 余泽洋. 杭州地铁三号线端头井冻结技术研究[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2018.