

鼓励教师通过挂职锻炼、项目合作等方式到基地一线开展创业实践。要完善考核评价体系，将教师参与孵化基地工作情况纳入绩效考核、职称评聘的重要依据。二是鼓励教师与创业者组建创业团队。学校要搭建教师与创业者沟通交流的平台，定期举办项目路演、创业沙龙等活动，促进师生创业项目与社会资源的有效对接。对于前景好的创业项目，学校可给予资金支持、经费资助，助推项目孵化成长。三是建设创业导师工作室。在孵化基地设立创业导师工作室，引导教师常态化进驻基地。教师利用工作室平台，开展创业咨询指导、参与技术开发，在实践中积累经验、提升能力。学校要在工作量计算、成果奖励等方面给予政策倾斜，调动教师参与工作室工作的积极性。

（二）开展产教融合师资培训

高校要将创新创业师资培养纳入人才培养总体规划，构建分层分类、产教融合的培训体系。一是加大高层次创新创业导师引进力度。学校要制定柔性引才政策，广泛吸纳行业企业专家、创业校友来校兼职授课、指导项目。要建立健全创业导师资源库，为教师与企业导师交流互鉴提供便利条件。二是常态化开展教师企业实践培训。学校要与行业骨干企业建立紧密合作关系，定期选派教师到企业挂职锻炼，参与生产一线工作，提升实战能力。要支持教师与企业联合开展横向课题研究，在成果转化中加深对产业发展规律的把握。三是积极组织创新创业教学培训。定期邀请知名创投专家、创业成功人士举办专题讲座，帮助教师及时更新知识、拓宽视野。组织教师外出参加创新创业教育研修班，学习借鉴先进培养模式和教学方法，不断提升创新创业教育教学能力。

（三）推动协同创新，促进成果转化

创业孵化基地要发挥平台优势，推动教师与在孵企业、科研院所协同创新，加快科技成果转移转化，提升服务经济社会发展能力。一要加强协同创新平台建设。基地要整合创新资源，搭建产学研用对接平台，畅通教师与在孵企业、社会资本的合作渠道。鼓励教师与企业开展关键核心技术攻关，联合申报重大科技项目，形成协同创新合力。二要完善成果转化机制。制定切实可行的成果转化政策，鼓励教师将科研成果在基地进行转化。设立成果转化基金，重点支持商业价值高、市场前景好的科技成果产业化。加大对成果转化过程中知识产权保护力度，维护教师合法权益。三要强化“双创”成果应用。教师在协同创新、成果转化中积累的经验教训，要及时总结提炼，形成生动鲜活的教学案例。将实践成果融入创新创业课程教学，开发特色教材，使教学内容更加贴近创业实际。同时，鼓励教师将研发的新技术、新产品应用于指导学生创业实践，不断提升创业项目的科技含量和核心竞争力。

（四）完善“双创”教师发展支持政策

高校要从人才强国战略高度，完善创新创业教育教师发展的支持政策，激发教师投身创新创业教育的内生动力。一是将创新创业教育绩效纳入教师考核评价体系。制定教师参与创新创业教育的工作量认定标准，将指导学生创业、开展创业实践等计入教学工作量。改革职称评聘标准，将教师在创新创业教育中的业绩作为职称晋升的重要依据。二是加大对“双创”教

师的培养支持力度。设立创新创业教育专项发展基金，重点用于资助教师参加国内外创新创业教育进修、交流活动。制定创新创业教育教师专项培养计划，每年选拔一批骨干教师参加国内知名高校、科研院所、企业的访学研修。三是完善“双创”教育教学激励机制。学校要设立优秀创新创业教育教师奖，对在创新创业教育中做出突出贡献的教师给予表彰奖励。在教学名师、教坛新秀等各类评选中单列创新创业教育教师指标。组织开展创新创业教学比武，搭建教师相互学习、取长补短的平台。同时，加大对教师承担创新创业教改课题、编写教材的支持力度，激发教师教学创新的主动性和积极性。

结语

“大众创业、万众创新”是党中央、国务院在新的历史条件下做出的重大决策部署，是推动经济结构战略性调整的重要举措。高校作为创新创业人才培养的摇篮，理应勇挑时代重担，将创新创业教育作为应有之义，不断深化改革、激发活力、优化生态，为学生成长成才搭建广阔舞台。在国家“双倍增”目标引领下，高校要立足办学定位，发挥自身优势，依托创业孵化基地打造“双创”师资培养的“兴业堡垒”。要进一步加强校地、校企、校校合作，搭建产学研用结合的协同创新平台，让教师在实践中砥砺创业本领。要深化人事制度改革，在教师职称评聘、考核晋级中向创新创业教育一线倾斜，让教师在创业教学实践中焕发从教热情。要完善创业教育课程资源建设，鼓励教师将创业实践成果应用于教学，增强创业教育的吸引力和感染力。百年大计，教育为本。站在新的历史起点，广大高校教育工作者要不忘立德树人初心，勇担创新创业育人使命，在创业孵化基地这片沃土上播撒创业的种子，不懈耕耘，为加快建设创新型国家、实现高质量发展贡献智慧和力量！

【参考文献】

- [1]成涛.双循环背景下高校创新创业孵化基地建设的困境及对策研究[J].长沙民政职业技术学院学报, 2023, 30(1): 99-102.
 - [2]谭超,陈灿.新时代高校创新创业孵化基地建设体系[J].湖南工程学院学报: 社会科学版, 2022, 32(4): 102-106.
 - [3]兰东东.广西高职院校创业孵化器与创新创业教育联动模式研究[J].投资与创业, 2023(21): 22-24.DOI: 10.3969/j.issn.1672.
 - [4]戴悦.高校大学生创新创业孵化基地建设研究[J].新丝路, 2024(5): 0238-0240.
 - [5]马晓轩,化凤芳.新时代高校创新创业教育实践基地建设研究[J].教育进展, 2024, 14(6): 926-931.
- 作者简介：张洪梅，出生年月：19880317，女，苗族，籍贯：重庆，职称：讲师，学历：研究生，研究方向：艺术设计与乡村振兴，艺术设计与创新创业
- 课题名称：“双倍增”目标下创业孵化基地与创新创业教育的互动关系研究 项目编号：Z233358。

寒区高铁路基冻害演化规律及整治措施研究

孙英潮

黑龙江铁路发展集团有限公司
DOI:10.12238/jpm.v6i7.8266

[摘要] 寒区高速铁路路基冻害问题是影响线路运营安全的关键因素。本文以哈伊高铁日月峡车站试验段路基为研究对象，针对路基冻融变形发展及整治技术措施开展系统研究。通过现场原位冻融监测数据分析，揭示了路基冻融变形的三阶段演化规律：冻胀快速上升期（0–60 d，最大位移 2.95 mm）、冻胀缓慢增长期（60–170 d，最大位移 4.32 mm）和融沉快速下降期（170–216 d，最大降幅 96%）。研究提出了三种冻害有效整治技术：精细化注盐技术通过钻孔靶向灌注实现路基基床表层冻害治理；微型盾构换填技术采用特种聚合物砂浆置换深层冻胀土；主动供热技术利用热泵系统调控路基温度场。研究结果表明，三种技术根据工点情况针对性使用可显著减少冻胀量，结合施工过程质量控制，可有效解决寒区高铁路基冻胀问题，为寒区高速铁路建设和养护维修提供重要技术参考。

[关键词] 寒区；高铁路基；冻胀变形；冻害整治

Study on the evolution law and remediation measures of frost damage to railway subgrade in cold region

Sun Yingchao

Heilongjiang Railway Development Group Co., LTD.

[Abstract] The frost damage to the subgrade of high-speed railways in cold regions is a critical factor affecting the operational safety of these lines. This study focuses on the experimental section of the Harbin–Yichun High-Speed Railway at the Riyue Gorge Station, conducting a systematic investigation into the development and remediation techniques for frost heave deformation in the subgrade. Through data analysis from on-site freeze–thaw monitoring, the study reveals three stages of the evolution of frost heave deformation: the rapid rise phase (0–60 d, maximum displacement 2.95 mm), the slow growth phase (60–170 d, maximum displacement 4.32 mm), and the rapid decline phase (170–216 d, maximum reduction 96%). The study proposes three effective frost damage remediation technologies: precise salt injection technology, which achieves treatment of the surface layer of the subgrade bed through targeted drilling and injection; micro-tunnel replacement technology, which uses special polymer mortar to replace deep frost heave soil; and active heating technology, which utilizes a heat pump system to regulate the temperature field of the subgrade. The results indicate that the use of these three technologies, tailored to the specific conditions of each work site, can significantly reduce frost heave. Combined with quality control during construction, these methods can effectively address the frost heave issue in the subgrade of high-speed railways in cold regions, providing important technical references for the construction and maintenance of such railways in cold regions.

[Key words] cold region; high railway foundation; frost heave deformation; frost damage remediation

1 引言

高铁路基基床填料在冻结过程中，由于水分迁移和孔隙冰的聚集，土壤孔隙发生了较大的变化，使路基基床填料产

生一定的不均匀变形和破坏。路基冻害一直是影响线路稳定和列车安全运行的主要问题之一，引起了国内外学者的广泛关注和研究。

季节性冻土区高速铁路路基冻胀问题已成为制约铁路建设和运营的关键因素。杨国涛^[1]以哈齐客运专线为研究对象,通过模型试验揭示了填料细颗粒含量和含水量对冻胀的影响,提出了水泥稳定碎石基床的改性方法,证实 3%水泥掺量可降低冻胀率。杨昊^[2]针对兰新高铁门源段进行了冻胀观测,结合 COMSOL 多场耦合分析,阐明了水分迁移与冻胀变形的内在关联,开发了边坡防水、路基排水和路基保温的新型防治措施。王春雷等^[3]基于哈齐客专等工程的监测数据,构建了适应严寒环境的冻胀监测系统,指出了在防治冻胀中要控制填料质量和施工过程。甘海龙^[4]基于银西高铁冻胀区段开展数值仿真计算,建立了车辆-轨道-路基耦合振动模型,发现细粒土含量对冻胀敏感度的影响要显著高于含水率,并提出了针对性补强措施。张松等^[5]基于哈齐客专温度场的实测数据进行有限元分析,发现路基冻结深度与表层热通量、冻结时间呈线性关系。此外,李元强等^[6]基于兰新高铁门源-浩门段提出了整体防治措施,包括换填法、保温隔热防治法和注盐法等,并在实际工程中得到了良好的应用。这些研究从不同角度揭示了季节性冻土路基的冻胀演化规律,为高速铁路的安全运营提供了重要的理论支撑和技术保障。

铁路路基的冻害治理主要针对填料和温度两个因素。刘晓贺等^[7]通过试验研制出了一种适用于寒区高铁的粉煤灰-水泥基泡沫混凝土材料,具有较好的阻热能力和抗冻胀性。张守超等^[8]以高铁路基粉砂填料为基础,研究了新型复合改良剂,可以有效改良传统路基的病害问题。闫宏业等^[9]发现精准置换不良填料,可实现冻胀病害的根治。在针对温控技术的研究方面,比较有代表性的应用有青藏铁路的碎石路基、块石护坡、通风管、热棒技术^[10-13]。胡田飞等^[14]提出的主动供热技术,和上述技术相比,具有安设时间短、无需大天窗施工和维护方便等优点。此外,邓友生等^[15]系统分析了保温材料铺设、路堤高度设计、块石层设置等防治措施的工程适用性。邱德仁^[16]提出了排水隔水、换土改土的综合防治方案,可显著降低冻害整治的作业量。

上述研究表明,路基填料的冻胀变形是造成路基冻害的主要原因。本文以哈伊高铁日月峡车站试验段路基为研究对象,分析高铁路基基床季节性冻胀变形成因和演化规律,总结新型寒区路基冻害整治技术,为寒区铁路路基的冻害防治提供重要参考。

2 路基下伏土层冻胀变形研究

2.1 工程概况

哈尔滨至伊春高速铁路是中国高铁网络中的重要组成部分。该线路起自黑龙江省哈尔滨市,途经绥化市、庆安县、铁力市,最终到达伊春市。哈伊高铁全长约 318 公里,设计时速为 250 公里,是中国“八纵八横”高铁网中京哈至京港澳通道的延长线。该工程穿越小兴安岭腹地,沿线分布大面积的季节性冻土,其中日月峡车站段因其复杂的地形地貌和典型多年冻土分布段落,被列为全线重点控制性工程。

本文选取了日月峡车站试验段开展路基冻害研究,地基土层由上至下分别为草炭土、粉质黏土、砾土和花岗岩。该车站

下方的多年冻土在设计上采用挖除换填工程措施,只需挖除地表浅层草炭土、粉质黏土,回填冻胀不敏感 AB 组填料,如图 1 所示,整体保障了地基的稳定性。路基高度 8.6 m,顶宽 14.2 m,边坡斜率 1:1.5,坡脚宽 40 m;挖除换填区域顶宽 46 m,底宽 40 m,深 3 m,形成倒梯形置换区。此外,为探究挖除换填施工对路基冻胀变形的影响,在路基左路肩处安装了深层位移传感器。为监测季节性气温变化对路基基床冻胀变形的影响,在左路肩基床顶面安装了位移传感器,如图 1 所示。

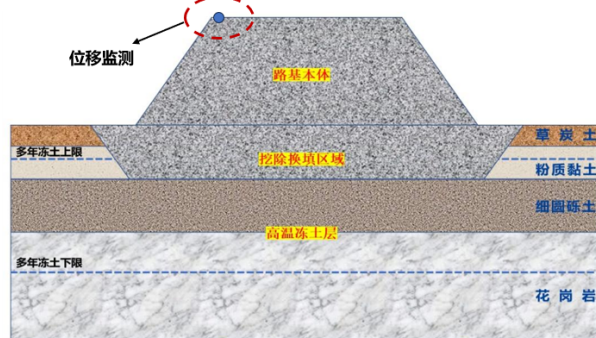


图1 哈伊高铁日月峡车站试验段路基示意图

2.2 土层冻胀变形演化规律

为探究寒区高铁路基在运行阶段的冻胀变形规律,本文给出了日月峡车站试验段路基三个断面左路肩基床顶面的位移曲线,如图 2 所示。监测时间为 2024 年 9 月 24 日~2025 年 4 月 27 日,共计 216 d。由图可知,各路基截面左路肩的位移变化大小表现为:断面 2>断面 3>断面 1,但位移的变化趋势近乎一致,呈波动变化,总体可分为快速增长(0~60 d)、缓慢增长(60~170 d)和快速下降(170~216 d)三个阶段。

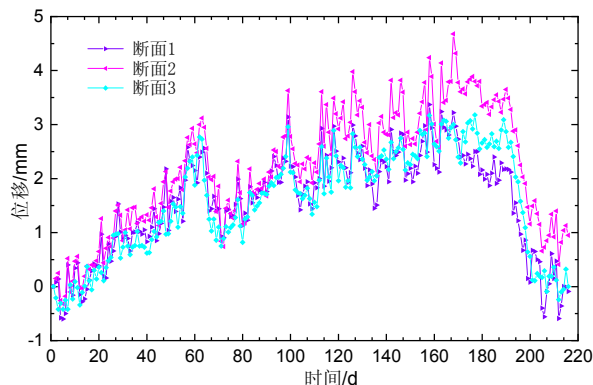


图2 日月峡车站试验段各断面左路肩顶面位移曲线

(1) 受环境温度影响,9 月份之后路基温度逐渐降低,基床填料开始发生冻胀变形,导致左路肩的位移在第一阶段呈快速增长趋势,至 60 d 时达到峰值(2024 年 12 月)。此时三个断面的左路肩位移最大,分别为 2.56 mm、2.95 mm 和 1.97 mm。

(2) 受持续温度降低影响,路基各断面左路肩在第二阶段的位移持续增长。其中,断面 2 路基基床填料冻胀最为剧烈,在 170 d 时左路肩处位移达到 4.32 mm,断面 1 和断面 3 的左路肩位移在 170 d 时相对较小,分别为 2.97 mm 和 2.72 mm。

(3) 在第三阶段,路基左路肩的位移均呈快速下降趋势。其中,第 192~200 d 时,位移变化最为剧烈,三个断面分别变

化了96%、64%和79%。这是由于3月份之后的环境温度逐渐升高，气温正温时，路基基床浅层冻结土体开始融化。路基基床冻胀量逐渐降低，导致左路肩位移迅速下降。值得注意的是，断面1和断面3左路肩位移在212~216d时出现负值，推测两断面路基下方土体发生融沉变形。

3 寒区路基冻害整治措施

3.1 精细化注盐技术

注盐技术是指通过向路基基床土体中注入可溶性无机盐（如氯化钠）来改变土层物理性质的冻害防治方法。该技术可降低土中孔隙水的冰点，抑制水分迁移，进而减少冻胀变形。传统注盐技术通常在轨枕间直接撒布工业盐，方式较为简易，但存在盐分分布不均、渗透深度不足和作用时效短等明显缺陷。这些局限性严重影响冻害防治效果，为此本文提出了精细化注盐技术方案。

精细化注盐技术是通过钻孔定位和定量灌注来实现盐分精准分布的改良工艺，如图3所示。施工流程如下：（1）首先勘测冻害区段，通过现场取样和室内试验确定冻土深度和填料特性；（2）采用小型轻动力潜孔钻在轨枕间钻设直径约为90 mm的注盐孔，钻孔深度需超过当地冻深，道砟部分采用跟管护壁，以防止塌孔；（3）按照要求制备盐水溶液，通过传统灌盐系统实施低压定量灌注，确保盐分在冻胀层内均匀分布；（4）及时抽出护壁管并恢复线路状态。

与传统方法相比，精细化注盐技术通过精准定位实现盐分的靶向分布，大幅提升了防冻害效果。其采用的低压灌注工艺可保证盐分均匀渗透，避免出现局部浓度过高现象。此外，该方法效果持久，且适用范围更广，可针对不同深度的冻胀土层实施精准治理。该技术可显著降低路基基床冻胀量，为寒区铁路路基的冻害防治提供了新的技术选择。

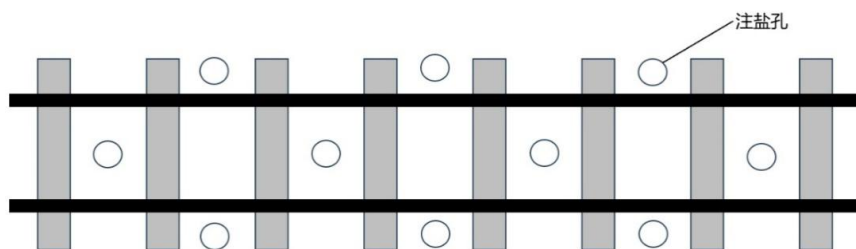


图3 精细化注盐技术方案示意图

3.2 盾构置换技术

盾构置换技术是一种通过微型盾构设备实现冻胀土层原位换填的工程技术，主要用于处理冻胀敏感性土引发的深层冻害问题^[9]。该技术采用微型盾构顶进钢管，将冻胀土层精准替换为混凝土和特种聚合物砂浆等稳定材料，确保轨道结构几何状态稳定，从根本上消除土层冻融对铁路运营和维护的影响。与传统表层处理技术相比，该方法避免了因周期性处理冻害土层带来的资源浪费。

盾构置换的工艺流程如图4所示：（1）通过现场勘测、土工试验和原位冻胀试验，确定冻土深度和土壤参数；（2）根据工程条件设计顶管机台架系统，结合预估顶推力，充分考虑反力系统设置，必须提供足够的反力系统；（3）构建满足

顶管系统作业要求的稳定平台，确保施工精度和安全性；（4）采用吊装设备将顶管系统进行定位，并通过水平照准系统调整施工方位；（5）开启顶管系统，在跟管顶进的同时，完成出土和填料置换，实时监测轨道状态；（6）在收尾阶段，待混凝土硬化后拆除模板和施工平台，恢复线路初始状态。

盾构置换技术采用特种聚合物砂浆进行换填，材料性能优越，具有良好的抗冻性和耐久性。该技术具有治理效果持久、精度高、扰动小的特点，可从根本上消除路基冻胀隐患。此外，盾构置换技术适用范围广泛，可用于处理深层冻害问题。京哈高铁、青藏铁路等工程实践表明，该技术可大幅降低路基冻害复发率，保证了寒区铁路运营的安全性和经济性。

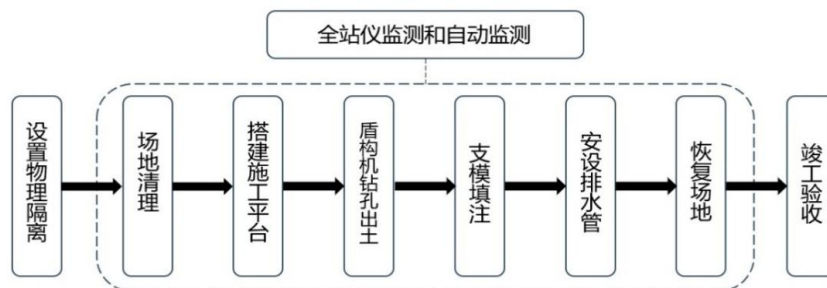


图4 换填施工施工工艺流程图

3.3 主动供热技术

主动供热技术通过人为主动输入热量的路基冻害防治新型技术。通过外部热源精准调控路基温度场，消除冻胀变形。

它的工作理念是将传统的“被动保温”转变为“主动调温”，利用可再生能源（地热能、太阳能）配合热泵技术，建立可调控的路基供热系统，从根本上改变冻土区的热平衡状态。该技

术解决了传统防治方法仅能延缓冻胀的局限性，实现了对路基冻胀过程的主动干预和精准控制。

热泵由蒸发器、压缩机、冷凝器和膨胀阀四大核心部件构成，其闭环工作系统如图5所示。其中蒸发器是系统的低温热源，由于制冷剂的蒸发温度低于低温热源的温度，因此可以有效地从低温热源中吸收热量；压缩机是能量转化核心，将低温低压的蒸汽压缩至高温高压状态；冷凝器是高温热源，将制冷剂冷凝时释放的热量传递给路基土体；膨胀阀则是压力调节

装置，通过节流降压完成制冷剂循环。

主动供热技术具有如下突出优点：（1）能效优势显著，与传统电加热相比，具有高效传热的特点；（2）环境适应性强，采用模块化设计，在低温环境下仍可稳定运行；（3）智能化程度高，可根据环境温度和供热需求自动调节热泵的运行模式；（4）治理效果持久，工程实践表明该技术可提升路基温度，显著减小冻胀量。该技术代表了寒区铁路冻害防治的最新发展方向，已在哈大高铁等项目中取得显著应用成效。

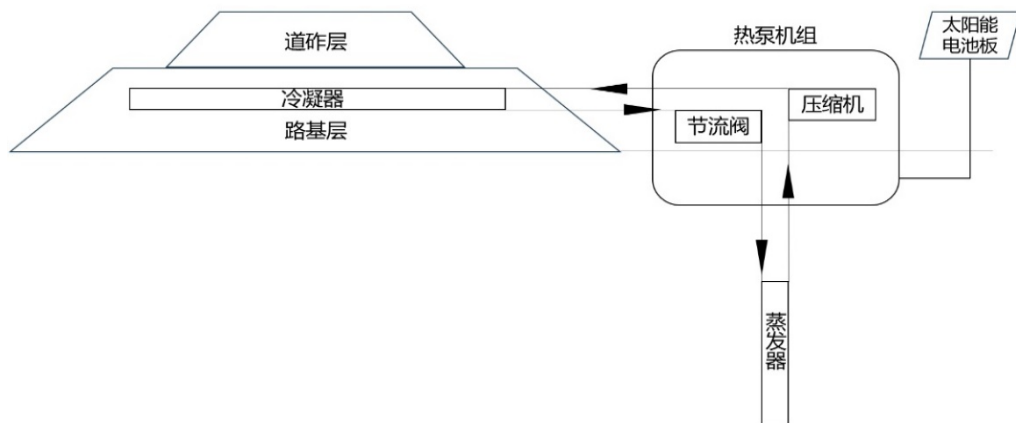


图5 主动供热技术设备工作原理示意图

4 结语

针对哈伊高铁日月峡车站季节性冻土路基冻害问题，探究了路基基床填料的冻胀变形规律，总结了三种新型冻害防治技术，结论如下：

（1）三处断面路基左路肩的位移变化趋势近乎一致，总体呈现三个变化阶段：快速上升期（0-60 d，最大位移 2.95 mm）、缓慢增长期（60-170 d，最大位移 4.32 mm）和快速下降期（170-216 d，最大降幅 96%）。

（2）总结了精细化注盐技术、换填施工技术和主动供热技术三种有效路基冻害防治技术。注盐技术通过靶向灌注实现表层冻害治理，换填技术采用特种聚合物砂装置换深层冻胀土，供热技术利用热泵系统调控路基温度场。工程实践表明，三种技术根据实际工况针对性选择使用，可显著减少季节性寒区高铁路基下伏土层的冻胀量。

[参考文献]

- [1]杨国涛.高寒地区高速铁路路基基床表层冻胀机理与轨道平顺性控制研究[D].北京交通大学, 2020.
- [2]张松, 岳祖润, 孙铁成, 等.季节性冻土地区铁路路基冻结深度变化规律研究[J].铁道建筑, 2020, 60(01): 72-76.
- [3]杨昊.季节冻土区高速铁路路基冻胀机理及规律研究[D].兰州理工大学, 2021.
- [4]王春雷, 张戎垦, 赵晓萌, 等.季节冻土区高速铁路路基冻胀监测系统及冻胀规律研究[J].冰川冻土, 2014, 36(04): 962-968.
- [5]甘海龙.季冻区高速铁路路基基床表层冻胀机理及冻胀控制研究[D].兰州理工大学, 2022.

- [6]李元强, 张寿红.高铁路基冻胀机理及防治措施研究[J].四川建材, 2023, 49(01): 145-146+163.
- [7]刘晓贺.新型寒区高速铁路路基保温强化层的抑制冻胀效果研究[J].铁道学报, 2022, 44(02): 108-116.
- [8]张守超, 张千里, 王仲锦, 等.严寒地区路基新型复合改良剂改良粉砂试验研究[J].铁道建筑, 2017, (05): 91-94.
- [9]闫宏业.寒区铁路路基冻害微型盾构靶向置换整治技术[J].铁道建筑, 2019, 59(06): 93-96.
- [10]刘磊.多年冻土区通风管路基温度特性现场试验分析[J].青海交通科技, 2015, (02): 36-39+49.
- [11]曹伟, 陈继, 张波, 等.青海柴木铁路多年冻土区片石路基工程措施效果的模糊评价[J].冰川冻土, 2015, 37(06): 1555-1562.
- [12]王宏磊, 孙志忠, 刘永智, 等.青藏铁路含融化夹层路基热力响应监测分析[J].岩土力学, 2019, 40(07): 2815-2824.
- [13]刘晓贺, 蔡德钧, 闫宏业, 等.岛状多年冻土区高速铁路路基热状态及工程措施效果分析[J].铁道学报, 2024, 46(03): 145-154.
- [14]胡田飞, 刘建坤, 岳祖润, 等.季节性冻土区路基专用太阳能主动供热装置研究[J].中国铁道科学, 2021, 42(02): 39-49.
- [15]邓友生, 刘俊聪, 彭程谱, 等.铁道路基冻害防治方法研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2021, 53(01): 1-8.
- [16]邱德仁.关于铁路路基冻害防治的实践与探索[J].哈尔滨铁道科技, 2024, (02): 8-11.