

寒冷地区农村公路防冻胀技术优化研究

裴国义

德惠市交通运输综合行政执法大队, 吉林省长春市, 130300;

摘要: 寒冷地区的农村公路冻胀病害是影响其使用性能、使用寿命的主要因素。本文以土体冻胀的物理机理为出发点, 分析冻深、水分迁移和温度条件对冻胀发展的综合影响, 然后构建出一套适合于农村公路实际情况的防冻胀技术体系。该体系把路基结构处理当作基础, 再加上材料改良, 排水系统规划以及全周期养护管理这些手段。经过研究可知, 科学确定换填深度、合理选择非冻胀性回填材料、设置高效保温层和改善地表与地下排水系统, 可有效抑制冻胀变形。同时开展以季节性为特点的预防性养护及有针对性的病害处治, 可有效地提高路面的使用年限, 缩减长期的运维费用。研究结果对提高寒冷地区农村公路抗冻耐久性有重要的工程指导意义。

关键词: 农村公路; 冻胀防治; 路基处理; 寒冷地区

DOI: 10.64216/3080-1508.26.02.021

寒冷地区农村公路长久以来一直被冻胀病害的严重局面所困扰。冬季在负温条件下路基土中的水分发生相变膨胀, 导致路面出现隆起、开裂的情况, 在春季冰雪融化的阶段下, 路基的基层开始变软而产生沉降和翻浆的情况, 这些都会严重影响行车安全及道路的正常使用。农村公路受建设标准低、资金投入不足等条件的限制, 防冻措施不如高等级公路完备, 因此冻害问题更为严重。该类病害加重了养护负担, 也影响了农村地区交通出行和经济社会发展。因此, 从冻胀发生机理及影响因素入手, 研究适合于农村公路实际情况的防冻胀技术, 是提高道路服务质量、延长使用寿命的重要途径。本文从路基处理、排水优化、材料选型、养护管理等几个方面入手, 系统整理并优化出适合于该场景的工程技术措施, 为寒冷地区农村公路的建设养护工作提供理论依据和实践指导。

1 冻胀机理与影响因素分析

1.1 土体冻胀机理

土体冻胀是负温下孔隙水相变并引起体积膨胀的过程。水分冻结成冰时体积会增大约 9%, 对土颗粒造成挤压。同时, 未冻区的水分在温度梯度以及毛细作用下, 向冻结锋面迁移并不断冻结, 冰晶聚集发育成冰透镜体, 引起土层不均匀隆起^[1]。

土体冻胀性与土质有关。粉质土颗粒细、毛细作用大、水分迁移量大, 冻胀性最强; 黏性土持水能力强、透水性差, 冻胀性弱; 砂性土排水好, 基本无冻胀。农村公路沿线土质变化大, 冻胀程度也不同, 需要根据实际情况采取不同的防治措施。

1.2 冻胀影响因素

冻胀强度受冻深、水分和冻结条件控制。冻深受气温、持续时间、地表条件的影响, 寒冷地区最大冻深可达 2 米以上。若路基用冻胀性土填筑, 且处于冻结范围内, 则易发生冻胀病害, 农村公路因填高不足或者防冻层不够而高发此类问题。

水分是冻胀的必要条件, 地下水位高、排水不畅的路段由于水分补给充足, 冻胀严重。部分农村公路建在洼地、沿河地带, 由于边沟淤积而使水分积聚。另外缓慢冻结有利于水分迁移形成充分冻胀, 而频繁的冻融循环会加剧结构破坏。春季解冻不均还会造成差异沉降, 使路面纵向开裂。

2 路基防冻胀处理技术

2.1 换填处理技术

换填法就是将路基范围内的冻胀性土挖除, 换填砂砾、碎石等非冻胀性材料的技术措施。换填深度应根据当地最大冻深来定, 一般应大于冻结深度, 保证冻结层以下为稳定的土层。在冻深较大的地区, 为了控制成本, 可以采取部分换填的方式, 在一定深度范围内进行换填, 并结合其它措施进行综合防治^[2]。

材料选择要兼顾性能和经济性, 天然砂砾含泥量不超过 5%、级配好; 碎石强度高但价格贵, 适合用在重要路段; 钢渣等工业废料、砖石等建筑废料性能好、成本低, 可以因地制宜使用。所有填料均要经过冻胀试验来检验其非冻胀性。

施工中要严格控制填料含水量和压实质量。含水量要接近最佳值, 分层摊铺厚度不能多于 30 厘米, 压实度不少于 95%。对路基边缘等部位用小型机具进行补充压实, 防止形成薄弱区。换填完成后要立即进行路面覆

盖,防止填料含水率增大影响处治效果。

2.2 保温隔温技术

保温隔温技术是在路基中设置保温层,阻断冷量下传,使冻结线保持在保温层上方,保护下部土层不冻。聚苯乙烯泡沫板因为导热系数低、质轻抗压,所以被常用作保温材料。保温板一般铺设在路面结构层底部或者路床顶面,厚度经热工计算确定,一般为5至10厘米。该技术可以有效减小冻深,在换填成本较高的时候,是经济有效的替代方案。但是,北方高寒地区冻深过大,会影响保温隔温效果。

施工中必须保证保温层连续完整。保温板要平整铺设,板间错缝并密封,上下表面要设砂垫层或土工布保护,防止施工破坏及细粒土侵入。铺设后应及时覆盖填土,防止长时间暴露,严禁机械设备直接在上面作业。

该技术适用于地下水位较高、土体较湿的路段。地下水位较高时,即使铺设了保温层,浅层土体仍会因为水分移动而产生冻胀。因此保温措施一般要和排水措施相结合,通过降低水位控制含水量,才能达到理想的效果。保温材料长期使用会老化,要定时检查保养。

3 排水系统优化设计

3.1 路基排水设施配置

完善的排水系统是防治冻胀的基础工作。路基排水设施包括边沟、截水沟、排水沟、急流槽、跌水等构造物,各类设施要形成完整的排水网络,及时排除路基范围内的地表水和地下水。边沟设于路基两侧,收集路面及边坡汇水,纵坡不小于0.3%,保证水流畅通。对挖方路段及傍山路段,在边坡上方设截水沟,拦截山坡汇水,防止冲刷边坡、渗入路基。

边沟断面形式应按汇水量及地形条件确定。梯形边沟适应性好,施工方便,是农村公路常用形式,沟底宽40cm~60cm,深50cm~80cm,边坡坡度1:1~1:1.5。矩形边沟排水能力强,占地少,但需砌筑支护,造价高,适合土质松散、汇水量大的路段。边沟沟底要低于路床底面至少50厘米,降低路基土的地下水位,减少毛细水上升。

寒冷地区的边沟设计要考虑冻胀的影响。边沟过窄过浅,冬天被冰雪填满,丧失排水功能,春季融雪时水流不能排出,浸泡路基。边沟适当加深、加宽并留有冰雪占用空间。沟底纵坡要适当加大,防止沟内积水冻结。有条件的地方可对边沟做浆砌或者混凝土衬砌,提高抗冻性,但是要设置伸缩缝,防止衬砌结构因冻胀开裂^[3]。

3.2 地下排水与降水措施

降低地下水位是控制土体含水量的根本办法。地下水位高、路基填筑高度不足的地段应设置地下排水设施,将地下水位降至路基底面以下1m以上。暗沟是一种常用的地下排水构造,沟内装有碎石或者设置渗水管,将渗入的地下水汇集到边沟或者天然排水系统。暗沟应布置在路基的两侧,沟底低于路基底面,纵坡不小于0.5%,保证排水畅通。

渗沟适合于地下水较丰富、渗透性较好的地层。渗沟用透水材料回填,上部设反滤层,防止细颗粒淤堵。渗沟的间距及深度应按水文地质条件计算确定,间距过大,不能达到降水效果,间距过小,增加工程量。农村公路受投资限制,可以采用简易渗沟,用碎石或者砂砾回填,外包土工布作为反滤层,降低造价。

路基填筑前应处理软弱地基,改善排水。含水量高的软土地基应采取排水固结措施,设置砂井、塑料排水板等竖向排水体,加快土体固结,提高地基承载力,降低地下水位。地表水容易汇集的洼地,应该设置纵横向排水盲沟,形成排水网,疏干路基范围内的积水。排水设施的出口要和天然沟渠或者农田排灌系统相连接,使水流有去路,防止形成闭合系统引起水位上升。

4 养护管理与病害处治

4.1 日常养护与预防性养护

日常养护是保证排水设施正常运转的保障。养护人员要定时查看边沟,涵洞这些排水构造物,及时清除淤积的泥沙、杂草和垃圾,保证排水畅通。春季融雪期及雨季前要集中对排水设施进行彻底清理,排除隐患。边沟损坏、沟壁坍塌的路段应及时修复,恢复原有断面和纵坡。涵洞进出口堵塞或者破损的时候,应当清除淤积物,修补损坏的地方,保证涵洞的过水能力。

路面裂缝成为水分进入路基的主要通道,应当及时堵修。宽度小于3毫米的细小裂缝可以用灌缝胶或者乳化沥青进行灌缝处理,防止水分下渗。宽度大于3毫米的裂缝应先清除缝内杂物,用切缝机扩成规则槽形,然后填充密封料,撒布细砂或石屑防止密封料被车轮粘走。裂缝处理宜选晴朗干燥天气,低温时密封料粘结性差,高温时易流淌,均影响处理效果。

预防性养护可以延缓路面病害的发展,降低大修费用。对使用年限较长、表面磨损严重但结构完好的路面,可以采用稀浆封层或者微表处理来恢复路表的功能,防止水分进入^[4]。对已经出现轻微网裂的路段要及时铣刨重铺表面层,防止病害向下扩展。路基边坡要保持完好稳定,发现冲沟、塌方及时修复,防止雨水冲刷造成路

基破坏。边坡植草、植树可以防止水土流失、改善路域环境，但是植物根系不能过深，以免破坏路基结构。

4.2 冻胀病害处治方法

已经发生冻胀病害时，根据病害严重程度及范围来决定采用何种处治方法。轻微冻胀导致的路面局部隆起，在春季解冻之后，采用铣刨整平的方法消除高差，使之平坦如初。隆起严重、影响行车安全的路段，应在冬季路面隆起稳定之后进行临时处理，设置警示标志，提醒驾驶员减速慢行，待春季解冻之后彻底处治。

严重的冻胀路段要进行路基改造。处治时需挖除路面结构层，确定路基冻胀层的位置及厚度，将冻胀性土挖除，换填砂砾料或其它非冻胀性材料，换填深度需达到最大冻深以下。换填后按要求分层压实，保证路基强度满足要求。如果病害路段很长，连续换填工程量大、造价高，可采用分段处治方式，先处理病害最严重、影响最大的路段，其它路段安排在以后年度逐步实施。

翻浆路段的处治应解决好排水和路基强度问题。翻浆是土基含水量过大、承载力丧失的表现。处治时应先排除路基积水，降低土基含水量，待土基晾干后再做路面修复。地下水位高的路段要增设地下排水设施，永久性降低地下水位。路基软弱处，应采用换填、注浆加固等办法，改善路基承载能力。翻浆处治不能只停留在路面层面，必须深入路基，解决根本问题，否则病害会反复出现。

4.3 季节性养护管理

寒冷地区农村公路养护应依据季节特点来安排工作重点。冬季养护主要为清雪除冰、路况观测，及时清除路面积雪，保证通行安全，观察记录路面冻胀隆起情况，为春季病害处治提供依据。冬季不宜做沥青路面修补工作，沥青混合料在低温下压实困难、粘结力差，应急处理可使用冷补料临时修补。

春季是冻害病害集中发生时期，也是养护工作最繁杂的时期。解冻初期路基承载力最小，应实行交通管制，限制重型车辆通行，减小路面荷载，防止路面早期破坏^[5]。养护单位要安排专门力量集中处治冬季发现的冻胀病害，修复破损路面，清理排水设施，为雨季到来做好准备。春季气温回升快，是路面施工的黄金季节，要抓紧时间做好病害修补和预防性养护。

夏秋季节要加强对路基排水管理，及时排除路基积

水，降低土基含水量，为冬季抗冻创造条件。雨季来临之前要全面检查排水设施，清除淤堵，修复损坏部位，保证排水系统正常运转。雨季时要加大巡查频次，察觉边沟淤塞，路基浸泡等状况就立刻解决，不要让积水久留。秋季为越冬做准备，集中处理路面裂缝，封堵水分进入路基的通道，对排水设施进行最后一次清理，保证冬季排水畅通。

5 结论与展望

5.1 结论

本文对寒冷地区农村公路冻胀机理及防治技术展开研究，创建起以路基处理为主，排水优化和全周期养护为辅的综合技术体系。经由科学确定换填深度、合理选取非冻胀材料、设置高效保温层并完善地表及地下排水系统，可以有效地遏制冻胀变形。同时开展以季节性为特点的预防性养护和有针对性的病害处治，可以明显提高路面的耐久性，也可以降低路面的长期养护维修费用。实践证明，该技术体系有较好的适用性、经济性，能为农村公路防冻胀工程提供可靠保障。

5.2 展望

未来研究可以继续关注新型环保保温材料的研究开发、利用物联网技术建立智能监测预警系统，研究设计低耗费高效排水结构。同时需要加强多技术耦合的作用机理的量化研究，建立更加准确的冻胀预测模型和长效性能评价体系。另外，重视低成本、易维护且适合农村公路的创新技术模式，推动防冻胀技术智能化、标准化、绿色化发展，给改善寒冷地区农村公路抗冻耐久性能赋予不断的技术动能。

参考文献

- [1] 刘旭强. 寒冷地区公路路基冻胀问题及解决方案[J]. 交通世界, 2025, (23): 41-43.
- [2] 高文龙. 高寒和季节性冻土地区公路桥梁基防冻胀施工技术[J]. 交通世界, 2023, (08): 132-134.
- [3] 孙若晗. 季节性冻土冻胀融沉特性及防控措施研究[D]. 天津大学, 2023.
- [4] 王维涛. 季节性冻土地区公路路基设计要点[J]. 交通建设与管理, 2022, (06): 144-145.
- [5] 邓青松, 曾超, 何先志, 等. 季冻区公路路基水热场阴阳坡差异与防冻胀模拟[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2022, 53(08): 3113-3128.