

极端天气下公路路基沉降防控研究

吕守云

云南云岭高速公路工程咨询有限公司 云南 昆明 650200

【摘要】：全球气候变异加剧之时，强降雨、极端高温、寒潮冻融这些极端天气变得频繁起来，给公路路基的结构稳定性带来了极大的破坏，路基沉降病害时有发生，而且常常出现突然增多的情况，并具有较大规模的特点，直接关系到公路通行的安全以及使用寿命。为了有效防治极端天气引起路基沉降，本文从极端天气作用于公路路基的机理出发，从沉降的原因和病害特点两个方面进行了分析，结合公路工程的实际工况，提出了结构优化、材料改良、施工控制、运维监测等各方面系统的防控技术和治理措施。研究结果可以为极端气候区公路路基的建设、病害防治、长效防护提供技术上的支持，提高公路工程抵御极端天气的能力。

【关键词】：极端天气；公路路基；沉降病害；病害机理；防控技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.025

1 引言

公路路基是道路工程的主要承重基础，结构稳定、变形均匀对路面整体质量、行车安全的影响较大。近几年来，由于气候变暖以及人为因素的影响，极端天气事件发生的频率越来越高，而且其造成的破坏性也越来越大，比如局部强降雨、连续高温、剧烈温差、暴雪融冰等恶劣天气状况都会破坏传统的气候条件下路基土体的应力平衡及水文稳定性。相比常规天气造成的缓慢沉降，极端天气引起的路基沉降发展快、沉降大、不均匀，极易引起路面开裂、塌陷、翻浆等次生病害，不但加重道路养护负担，还会造成交通中断、安全事故等问题。目前大部分公路路基防护技术都是按照常规气候条件来设计的，不能很好地适应极端天气所造成高强度、突发性冲击，也不能很好地抵御极端水文、温度变化给路基造成的变形破坏。因此本文主要针对不同的极端天气作用特性进行研究，分析路基沉降的发展变化规律，建立全方位、常态化的沉降防控体系，为提高极端气候下公路路基工程的韧性提供理论和实践上的支持。

2 极端天气下公路路基沉降病害机理

2.1 极端降雨诱发沉降机理

极端强降雨属于引起路基沉降的主要气象要素，破坏进程包含水分入渗软化，径流冲刷，孔隙水压力忽然增大这三块内容。持续强降雨天气时，大量雨水迅速渗透到路基土体中去，把土体孔隙填满，使路基填土渐渐被水所饱和。由于土体颗粒间的粘结力被水分所润湿，因此会变得很小，路基有效承载能力一直呈下降趋势，受到上部路面荷载以及土体自身重量的影响之后，土体迅速压实，出现均匀或非均匀沉降。同时短时强降雨引起地表径流冲刷路基边坡、路肩表

层松散填土，路基局部掏空、厚度不够，产生局部沉降塌陷。雨水持续下渗会使地下水位上升，路基长时间浸泡在水中，路基底部的软土、粉质黏土等软弱土层会受到泥化、膨胀变形的影响，土体固结速度加快，后期沉降变形不断增大。降雨时土体孔隙水压力迅速积聚，消散缓慢，产生动态变形效应，使路基不均匀沉降更加严重，引起路面错台、开裂等病害。

2.2 低温冻融天气诱发沉降机理

寒潮、暴雪造成频繁的冻融天气，是导致高寒、高海拔地区路基沉降的原因之一。路基土体中留存的水分，在低温状态下会开始冻结并产生膨胀现象，导致土体体积增大，从而引起冻胀变形，使得整个路基出现上拱的情况，结构变得疏松起来。气温上升之后，冻土融化，土体含水量急剧增加，土体强度迅速下降，原来被冻结挤压的土体孔隙迅速闭合，产生较大的融沉变形。

反复冻融循环会使路基土体结构不断被破坏，填土的密实度逐渐降低，土体颗粒重新排列形成大量的细微裂隙，路基的整体性、稳定性逐渐消失。长期冻融作用下，路基会周期性地出现抬升和沉降现象，变形积累到一定程度之后就产生了永久性的不均匀沉降，随之而来的是翻浆、弹簧、边坡滑塌等一系列病害的发生，给路基结构造成了无法修补的破坏。冻融引起的沉降比常规沉降要复杂得多，沉降是周期性的、反复的，治理起来更困难。

2.3 极端高温天气诱发沉降机理

持续的极端高温天气对于路基沉降的影响常常被忽略，但是它对于路基稳定性破坏的作用是十分明显的。长期在高温下，路基土体内部的水分迅速蒸发，填土含水率急剧下降，土体发生干缩变形，出现干缩

裂缝。裂缝不断扩展会造成路基整体遭到破坏,土体整体性遭到削弱,在外荷载的作用下,该处的沉降也较为严重。高温还会引起路基土体的物理力学性质发生变化,粉质土、膨胀土等特殊土体对温度的变化非常敏感,在高温下土体的孔隙比会发生变化,承载能力略有下降。昼夜超大温差会使得路基土体不断受到热胀冷缩的循环作用,土体结构不断被疲劳损伤,密实度逐渐变差,长期积累就会产生不均匀沉降。

3 极端天气下路基沉降主要影响因素

3.1 土体自身特性因素

路基填土土质类型、颗粒级配、压实性等都会影响极端天气下沉降的程度。粉质黏土、膨胀土、软土等土质水稳性差,遇水容易软化、失水容易收缩,对降雨、温度变化敏感,极端天气下沉降变形更加严重。颗粒级配不合理引起的填土,孔隙率较大,水分入渗和留存空间较多,冻融、干湿循环作用下结构稳定性较差,沉降变形量远远大于级配良好的填土。另外,原来地基土层承载力不足、固结不够,极端天气水文温度变化干扰时,会使地基土体沉降加快,增大路基整体变形。

3.2 工程施工质量因素

施工过程中工艺控制上的问题,都会使路基对恶劣天气的抵抗力大为降低,导致沉降病害的发生。路基分层填筑厚度超过规定,压实机具选用不当,压实遍数不够,会使填土密实度达不到要求,土体孔隙含量大,给水分渗透和温度变形创造了条件。施工时序安排不合理,没有等地基完全固结后就进行上部填筑,或者在雨季、低温天气下违章施工,都会使土体结构变得不稳定。排水设施施工不规范、边坡防护不到位、防渗层铺设质量不好等都会造成极端天气条件下防水排水失效,水不断地侵蚀路基,最后造成沉降病害。

3.3 结构防护体系因素

传统的路基防护体系大多适合于一般的气候环境,防护标准低,不能承受极端天气的强冲击。大多数路基排水系统的设计规模不够大,截水沟、渗沟、盲沟等设施的断面太小,在极端降雨的情况下排水能力不够,积水不能及时排出,长时间浸泡在路基土中。路基防冻、隔热、防渗防护层设置不全,在高寒地区缺少有效的防冻措施,在高温多雨地区缺少防渗、隔热措施,不能阻隔温度、水分的极端变化对路基造成的破坏。防护结构老化破损以后没有及时进行修补,防护效能不断降低,在极端天气的影响之下路基失稳沉降的风险也大大增加。

3.4 外部荷载与环境因素

公路运行期间,车辆反复的荷载加上极端天气所造成的耦合破坏现象就会产生。极端天气(如强降雨、大风等)导致路面湿滑、温度急剧变化,车辆行驶的荷载也出现剧烈波动,动荷载的冲击作用更加明显,使得软化后的、冻融后的路基土体变形速度加快,沉降速率也随之变快。同时区域气候特征、地形条件都会加重病害的程度,低洼路段、山谷路段容易积水,高海拔、高纬度地区温差大、冻融频繁,极端天气对路基的破坏作用更加明显,沉降病害发生率比普通路段高很多。

4 极端天气下路基沉降综合防控技术

4.1 优化路基填料与材料改良

从源头提高路基土体稳定性,优先采用级配良好、水稳性好、变形模量高的碎石土、砂砾土作路基填料,不得使用粉质细土、膨胀土、淤泥质土等劣质土直接填筑。根据区域极端天气的特点来对填料进行改良,多雨地区使用水泥、石灰等固化剂对细粒土进行改良,提高土体的水稳性和粘结强度,减小雨水浸润引起的变形。高寒地区在填料中加入防冻改良材料,改善填料颗粒组成,减小土体冻胀率,减小冻融循环引起的沉降损害。高温区用填料级配来减小土体的干缩率,提高土体在高温下变形的抗力。严格控制填料含水率,施工期间含水率控制在最佳范围内,减少由于干湿、温度变化引起的土体变形。

4.2 完善路基排水防渗体系

水分侵蚀是由于极端天气引起路基沉降的主要原因,全面排水防渗体系是防止沉降的途径。根据区域极端降雨强度和汇水面积来升级优化路基排水系统,扩大截水沟、排水沟、渗沟的断面尺寸,增设路基内部盲沟、砂井排水结构,形成地表、地下联合排水系统,保证极端降雨天气下地表水快速排出,地下水不积水。加强路基防渗处理,用防渗土工布、防渗膜等材料在路基基底、分层填筑界面处做防渗处理,阻断雨水的下渗通道,减少土体水分的积聚。

4.3 优化路基结构与防冻隔热设计

根据极端温度天气破坏的特点来改善路基的整体结构设计,提高路基的温度适应性。高寒冻融区加设路基防冻垫层、隔热层,用级配碎石防冻结构,细化垫层施工标准,阻隔低温传至路基深处,减小土体冻胀。高海拔严寒地区可以采用热棒温控技术,利用工质相变原理单向导出路基内部的热量,保持路基土体温度稳定,防止冻胀。高温温差大的地方,设置路基

隔热层,使得路面的高温不能传向路基土体内部,减少路基土体的温度变化,减小干缩、热胀等变形。提高路基填筑高度,合理控制路基边坡坡度,提高路基整体刚度和结构稳定性,提高土体抵抗温度、荷载耦合变形的能力,减少不均匀沉降的发生。

4.4 强化施工全过程质量管控

严格按照精细化施工管控的要求,在施工过程中提高路基抗极端天气的能力。路基填筑采用分层填筑、分层压实的方式,控制好每层填筑厚度,根据填料性质选用合适的压实机械,保证路基整体密实度、平整度均匀,消除局部薄弱处。施工期间对含水率进行检测和调节,在雨季采用临时排水和防雨覆盖的方法来防止填料淋雨饱和。在低温季节不能进行低温冻土施工,必要时用保温填筑方式保证压实质量。对软弱地基采用换填、强夯、复合地基加固等方法来提高地基的承载能力以及固结稳定性,防止极端天气引起地基沉降。

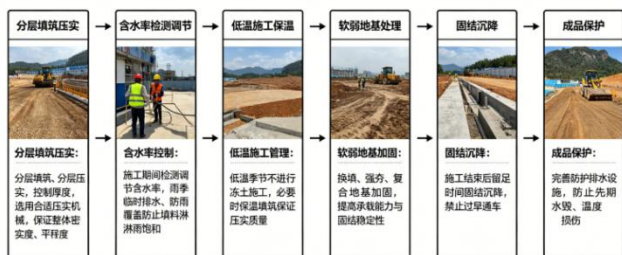


图1 全过程质量管控体系图

4.5 构建智能监测与常态化养护体系

采用智能化技术创建路基沉降动态监测系统,在极端天气多发路段布置沉降传感器、含水率传感器、温度监测仪器,不间断地对路基的沉降情况、土体含水量、内部温度进行观测。通过对数据进行分析来预测沉降的发展趋势,及时发现可能的沉降病害,做到

病害早发现、早处理,防止小变形变成大沉降病害。

雨季到来前全面排查排水系统,并清理疏通,修复受损的防渗、防护设施。寒潮到来之前做好路基的保温防护工作,在高温季节进行路基的保湿养护,减少由于干湿、温度变化而引起的路基变形。根据监测到的局部沉降、裂缝病害及时采取换填加固、注浆补强、表层修补等手段来处理小规模病害,保证路基结构长久稳定。

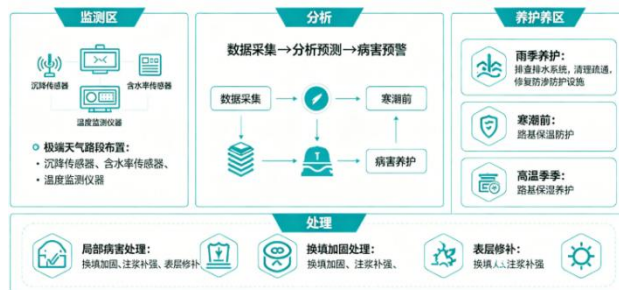


图2 智能监测与常态化养护体系

5 结论与展望

极端天气指的是由水分侵蚀、温度循环、荷载耦合等因素引起的公路路基土体结构、应力不平衡所造成的各种不同的、不同程度的沉降病害,是决定公路工程长期稳定性的主要因素。降雨入渗软化、冻融循环损伤、高温干缩变形都是在极端天气下导致路基沉降的原因,土体性质、施工质量、防护体系、外部荷载都会影响沉降的发展。采用改良优化填料、提升排水防渗系统性能、加强结构防冻隔热设计、严格施工管理、智能监测养护等方式相结合的方法来改善路基的抗冻耐久性,减少沉降病害的产生,保证公路行车的安全。未来要继续根据区域极端气候演化特征,加强极端天气和路基结构耦合机理的研究,发展新型环境保护材料、智能防控技术,创建更加具有韧性、更具有适应性的路基防控体系,给复杂极端气候下的公路工程长效服役赋予强有力的支撑。

参考文献:

- [1] 张军强.高速公路路基沉降监测与控制技术探讨[J].科技与创新,2026,(05):145-147+153.
- [2] 孟森.高速公路路基沉降位移观测施工技术[J].工程机械与维修,2026,(03):119-121.
- [3] 敬子文.公路路基沉降自动化监测技术应用研究[J].运输经理世界,2026,(06):53-55.
- [4] 刘俊才.公路路基沉降控制技术及效果分析[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(06):154-156.
- [5] 齐晓玲.公路路基沉降的形成机理与防治措施分析[J].石河子科技,2026,(01):66-67.