

公路沉陷变形地质灾害发育特征及成因分析

陈文勇

贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司 贵州 贵阳 550018

摘要：沉陷变形是公路常见地质灾害之一，不仅会影响行车舒适度、安全性，而且会破坏公路整体结构，降低公路使用寿命。本文以某公路工程为例，简单介绍公路沉陷变形地质灾害发育特征，从地质条件、施工技术、地下水等几个方面，分析公路沉陷变形地质灾害发育成因，并就公路沉陷变形地质灾害的防控提出几点建议，希望为公路的建设维护提供一些参考。

关键词：公路；沉陷变形；地质灾害

前言：公路地质灾害不仅对公路运行安全造成影响，而且会干扰区域交通运输事业的发展。沉陷变形是一种发生风险较大、影响范围较广的公路地质灾害。国务院先后发布《地质灾害防治条例》《关于加强地质灾害防治工作的决定》《加强公路地质灾害隐患排查治理》等文件，为公路沉陷地质灾害的防治提出了新的要求。基于此，探究公路沉陷变形地质灾害的发育特点及成因具有非常突出的现实意义。

1 公路沉陷变形地质灾害发育特征

贵州某公路工程高填方路段为K1+376~K2+073、K2+135~K2+300段，边坡最大填筑高度约32.4m，长度为220m。其中，在公路工程K1+820右侧约50m位置，分布有厚约6m的季节性软土。公路工程路基干湿类型为中湿~过湿，季节性软土区域路基干湿类型为过湿。

公路工程覆土层包括人工填土、季节性软土（层厚1~8.0m）、红粘土（层厚0~4.1m），土体总厚度最大为14.5m。工程下腹下伏基岩为三叠系下统大冶组（T1d）薄~中厚层状灰岩夹泥质条带，岩体类型为Ⅳ类。下伏基岩厚约0.5~5.5m的强风化层岩体破碎，岩体节理裂隙发育（发育两组节理J1:24°∠80°、J2:120°∠78°），岩层综合产状72°∠10°；下伏基岩厚约1.0~9.0m的中风化层岩体较完整。

进一步借助Bishop法（圆弧稳定分析方法）分析，设定土条宽度为2.000m，圆弧入口起点坐标为（50.000, 80.000），圆弧出口起点坐标为（15.000, 25.000），出入口搜索步长均为1.000，在土条重切向分力与土体沉陷方向相反时，给定危险沉陷面，代入表1参数，得出填方路基土体部分下滑力6128.833kN，抗滑力6767.181kN，填方路基稳定性系数为1.104，小于《公路路基设计规范》（JTGD30-2015）关于高填方路基稳定安全系数1.30的规定，路基填筑后填方体基本稳定，仍存在路基圆弧滑

动、沉陷变形风险。

2 公路沉陷变形地质灾害发育成因分析

2.1 地质条件较差

该公路段位于黔中腹地沟谷地带，地势较低，展出较宽缓，周边海拔高程1232.20~1096.16m，轴线标高为1198.12~1097.41m，相对高差达100.71m。区域地貌为溶蚀型低中山沟谷谷地地貌，多数基岩裸露，地质条件较差。同时，公路沿线均分布有季节性软土、红粘土，软土层厚度最大为8.0m，整体承载力较低，极易出现沉陷变形^[1]。

2.2 施工技术不佳

在填方施工过程中，未考虑填方路基土体性质设置适宜的碾压参数，后期路基填筑碾压程度不足，土体压实效果不佳，表现为土体先期固结压力小于自重。随后，在高填方路段土体自重与车辆动态荷载的共同作用下，发生不均匀沉陷变形^[2]。同时，高填方路段软土换填技术应用不到位，填料组成和性质差异较大，导致路段路基局部出现过量沉陷变形问题^[3]。

2.3 雨水下渗及地下水作用

公路K0+680轴线位置、K1+820轴线右侧、K2+260轴线左侧等建设区域属长江流域乌江水系，以雨源型山区短缓溪流为主的地表径流较发育，突发性强，流量变化大。区域属于亚热带湿润季风气候，年平均降雨量为1248mm，雨季（5~8月）降雨量占年平均降雨量的60%左右，日最大降雨量达243.8mm，雨季地表水丰富，地表径流长时间补给区域内地下水，引起土体容重、孔隙压力变化，土质愈发松软，土体强度显著下降，埋下填土附加沉陷、路堤沉陷变形隐患。

3 公路沉陷变形地质灾害防控要点

3.1 加强工前地质勘探

施工前期，根据《公路工程地质勘察规范》（JTG

C20-2011），综合利用工程地质调绘、钻探、物探、原位测试、取样室内试验等方法，开展工前地质勘探。

3.1.1 工程地质调绘

在工程地质调绘时，提前准备《省区域地质志》及1:20万、1:5万区域地质图、1：1000地形图、纵、横断面设计图、控制点位置及高程，分析公路沉陷变形地块及周边的地质构造、水文地质情况、地层岩性、岩层产状、不良地质以及地下暗埋物分布、上覆土层厚度及分布范围等^[4]。随后，选择1:1000的比例尺，进行工程地质调绘，为公路高沉陷变形路段的分析提供依据。

3.1.2 钻探

在工前地质钻探时，根据《建筑工程地质钻探及取样技术规程》（JGJ/T-87-2012），采用XY—100型钻机，进行机械钻探，准确查明公路沉陷变形段发育土层的名称、分层厚度、密实度、天然结构、湿度状态等，揭露岩土层特征及上覆土层变化，为高沉陷变形段处理提供可靠的岩土参数^[5]。

3.1.3 物探

在工前地质物探时，根据《公路工程物探规程》（JTG/TC22-2009）规定的高密度电法，借助WDJD-3多

功能数字直流激电仪、QSM-SY5声波检测仪、灵锐S86 GPS，沿着公路已有物探测线，探明高沉陷变形风险区的覆盖层、岩溶发育、强风化层厚度等信息。

3.1.4 原位测试

在工前地质开展原位测试时，根据《公路工程地质原位测试规程》(JTG 3223—2021)，对场地LZK1、LZK24、LZK200、LZK309共4个钻孔的红粘土作标准贯入试验，统计最大值、最小值、平均值（修正击数/30cm）及标准差、变异系数、标准值（修正击数/30cm）。

3.1.5 取样室内试验

在工前取土样进行室内试验时，依据《土工试验方法标准》（GB/T50123-1999）规定的取土试样间距（标高以下1.5m内间距0.5m），科学、均匀取代表性样，进行室内测试，进一步确定土体粘聚力、粘结强度、饱和重度等参数。

3.2 优化施工技术

根据填方路基施工技术与公路沉陷变形地质灾害之间的关系，应进一步优化填方路基土体压实技术，确保土体先期固结压力超过自重。各段填方路基施工技术优化见表3。

表3 公路填方路基施工技术优化（局部）

路段	放坡坡度		处理技术
	土质	石质	
K0+978~K1+376段	1:1.5~1:2.0	1:4	强风化灰岩作基础持力层，分层挖方后碾压回填，轴线挖深约65m，最大挖深约98m
K0+000~K0+142段	1:1.25~1:1.5	1:0.75~1:1	半挖半填，严格按照从上到下分层开挖，轴线最大挖深7.9m，最大填高5.6m，严禁无序大开挖、大爆破作业
K0+142~K0+412段	-	1:0.75~1:1	挖方厚直接填筑，轴线最大挖深约19.1m，填筑料土石比值为7:93
K0+558~K0+978段	1:1.5~1:1.75	-	清除软土后填方，轴线最大填高约13.8m
K1+376~K2+073段	1:1.5~1:2.0	-	借助清除换填或抛石挤淤等方式清除表层松散土体并夯实后分层碾压填筑，轴线上最大填高约32.4m
K2+135~K2+300段	-	-	分层碾压填筑方法同K1+376~K2+073段，轴线上最大填高约20.6m

根据表3，分段处理填方路基，选择振动压路机，行驶速度为3km/h~4km/h，分层均匀、连续不间断碾压，提高填方路基碾压密实度。

3.3 改进排水系统

为防治雨水下渗及地下水动态变化引发的公路路基沉陷变形，应改进排水系统。改进后排水系统见图1。

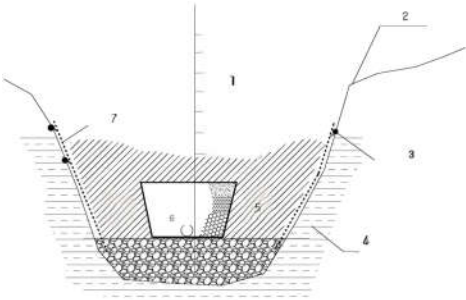


图1 公路排水系统

图2中, 1为填料, 从下至上分别为排水隔离垫层、透水土工布、4cm~6cm碎石、0.2cm~2cm碎石、粗砂层、透水土工布、填土, 总厚度0.3~0.5m; 2为自然地面; 3为侧壁出水点; 4为公路路基下伏基岩; 5为填土; 6为软式透水管; 7为塑料排水板。在公路路基底层排水隔离垫层、高渗水碎石砂砾、顶层排水板的共同作用下, 可以避免雨水下渗、雨季地下水动态变化引发路基沉陷变形问题。

在排水隔离垫层施工过程中, 可以选择纵向2%伸长率时的拉伸力打到8kN/m、横向2%伸长率时的拉伸力达到13kN/m的TGSG20土工格栅, 人工沿着铺设区放线, 均匀摊铺, 格栅之间利用尼龙绳连接为一个整体, 并利用砂袋固定边缘, 增强场地强度, 隔离土体; 在土工格栅上, 铺设一层透水土工布, 搭接宽度超出50.0cm, 形成一定程度的水平排水效果。一般土工布可以选择等效孔径 O_{90} 为0.08~0.2mm、垂直渗透系数达到 $5.0\times 10^{-2}\sim 5.0\times 10^{-1}\text{cm/s}$ 的200g/m²无纺土工布; 在土工布上层, 先后均匀铺设4cm~6cm碎石、0.2cm~2cm碎石。在碎石层上, 选择干重度超出15kN/m³、渗透系数超出 $5\times 10^{-3}\text{cm/s}$ 的中粗砂, 分区回填粗砂层。为进一步消除公路路基沉降, 在水平排水体设置的基础上, 增设竖向排水体, 进一步加速排水固结。竖向排水体为塑料排水板, 利用液压插板机设置到公路路基层, 插入深度根据路基积水深度灵活调整, 确保排水板向外露出0.2m长。利用同样的方法, 根据施工图纸有序插板, 正方形布置。排水板施工完毕后, 清除排水板头周边泥巴并将其迈入粗砂层, 确保排水板通水量良好。同时, 在粗砂层中间标高位

置, 埋设软式透水管, 并布置为回路, 软式透水管上继续覆盖中粗砂, 促使孔隙水顺利流入软式透水管并集中排出。在粗砂层上, 沿着选定方向继续水平铺设透水土工布(土工布面积为粗砂层面积的115%), 利用手提工业缝纫机牢固缝合边缘(折叠前缝合一道, 折叠后缝合两道), 形成包缝。

结束语

综上所述, 公路沉陷变形地质灾害是地质条件、施工技术、雨水下渗及地下水动态变化共同作用的成果。根据公路沉陷变形地质灾害沿路基填筑界面、岩土接触面或土体内部发育的特征, 应在综合运用多种方法进行工前勘察的基础上, 优化高填方路段分层碾压工艺, 改进排水系统, 抑制公路沉陷变形地质灾害发育, 确保公路工程安全稳定运行。

参考文献

- [1]谭杰洪.公路工程路基沉陷、翻浆处理要点分析[J].运输经理世界,2024,(09):133-135.
- [2]张伟.黄土地区高速公路路基沉陷问题及施工治理技术分析——以陕北地区某高速公路ZK18+647~ZK18+683段为例[J].四川建材,2023,(06):178-180.
- [3]曹宇.高速公路台背沉陷病害养护工程施工技术[J].石河子科技,2023,(06):66-68.
- [4]单超.公路工程路基沉陷与翻浆成因及处治技术[J].交通世界,2024,(23):65-67.
- [5]张高宗.高速公路路基沉陷、开裂处理技术研究——以营双高速沉陷处治工程为例[J].产品可靠性报告,2024,(01):134-135.