

山区公路软土路基沉降病害处置技术研究

杨春夏¹ 黄 诚²

1.重庆仁耀建筑工程有限公司 重庆 400000^[1]

2.重庆弘钢建设工程监理咨询有限公司 重庆 400000^[2]

【摘 要】：山区地形起伏大、沟谷纵横，坡洪积软土分布零散且厚度不均，地下水丰富、降雨入渗强烈，软土路基极易出现不均匀沉降、路面开裂、边坡滑移、桥头跳车等病害，直接降低山区公路通行能力与结构耐久性长安大学信...。山区软土具有含水率高、孔隙比大、抗剪强度低、排水固结缓慢等特点，加之山区公路填挖交界频繁，地基承载力差异显著，常规路基施工工艺难以控制后期沉降变形。本文结合山区公路工程地质特征，分析软土路基沉降病害表现形式与形成机理，按照软土层厚度划分处置等级，提出浅层、中层、深层软土差异化处置工艺，同时完善排水系统、填筑管控、沉降监测等配套措施，形成一套适用于山区复杂地质条件的软土路基沉降综合处置方案，降低工后不均匀沉降，提升路基整体稳定性，可为山区国省干线、农村公路软基工程提供参考。

【关键词】：山区公路；软土路基；不均匀沉降；病害机理；地基处置技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.005

1 引言

我国山区分布范围广，山区公路普遍穿越沟谷、坡地、山间洼地，区域内广泛分布坡积、洪积成因软黏土、淤泥质土长安大学信...。与平原地区软土相比，山区软土分布无规律、厚薄变化大，沟谷地段软土层可达数米至十余米，山坡地段软土层不足2m，同时山区汇水条件复杂，地表水与地下水相互补给，持续软化路基土体，大幅提升路基沉降风险。在工程实践中，部分项目前期地质勘察不细致，软基处理方案一刀切，浅层软土采用深层桩基、深层软土仅做简单换填，造成处置效果不佳；路基填筑速率过快、排水系统不完善，雨水渗入地基内部，降低土体抗剪强度，引发路基不均匀沉降、纵向裂缝、边坡鼓胀滑移等病害。病害出现后若处置不及时，会逐步发展为路面破损、桥头跳车，增加后期养护成本，甚至影响行车安全。因此，针对山区软土独特地质条件，研究沉降病害成因，制定分层分类的处置技术，对提升山区公路建设质量具有重要工程价值。

2 山区公路软土路基沉降病害特征及形成机理

2.1 主要病害表现

一是不均匀沉降。填挖交界、沟谷低洼地段沉降量大，山坡硬质地基区域沉降量小，路基横断面出现高低差，路面产生网状裂缝、纵向开裂，车辆通行颠簸明显。二是桥头及构造物沉降。涵洞、桥台台背区域软土集中，工后沉降远大于一般路段，形成桥头跳车，加剧路面结构破坏。三是路基边坡失稳。软土路基承载力不足，在土体自重与行车荷载作用下，坡脚

软化外挤，边坡出现鼓包、滑移裂缝，严重时出现局部坍塌。四是路基长期蠕变沉降。山区软土排水能力差，孔隙水长期无法排出，路基通车后数年仍持续产生缓慢沉降，路面反复修补难以根治。

2.2 沉降病害形成机理

第一，土体自身物理力学性能缺陷。山区洪积软土天然含水率普遍大于50%，孔隙比大，土体压缩性高，在上部路堤填土荷载作用下，土体孔隙不断压缩，产生固结沉降；软土渗透系数小，孔隙水排出速度慢，固结周期长，形成工后长期沉降。

第二，水文条件不利影响。山区降雨充沛，地表径流沿路基缝隙渗入地基，地下水长期浸泡软土层，使土体含水率进一步升高，抗剪强度大幅衰减，地基承载力下降，在荷载作用下沉降量显著增大。沟谷地段地下水汇集，是沉降病害高发区域。

第三，地质分布不均引发差异变形。山区软土空间分布变化剧烈，同一路段软硬地基交错分布，硬质岩层地基沉降极小，软土区域沉降大，地基变形不协调，进而产生不均匀沉降与路面裂缝。

第四，施工管控不到位。软基处理方案不合理，未根据软土厚度差异化设计；路基分层填筑厚度超标，填筑速率过快，地基来不及固结排水；排水盲沟、截水沟设置不完善，地表水无法及时排出，加速路基沉降发展。

3 山区软土路基差异化沉降处置技术

结合山区软土层厚度、分布位置，将软土划分为浅层（厚度<3m）、中层（3~8m）、深层（>8m）

三类，分别采用对应处置工艺，兼顾处置效果与工程经济性。

3.1 浅层软土：换填垫层+土工格栅加筋处置

适用于山坡洼地、浅沟地段厚度小于 3m 的软土区域，是山区农村公路常用处置方式。施工流程：首先清除表层淤泥、腐殖土及全部软土层，开挖至下部硬塑土层，开挖底面设置 20cm 厚砂砾反滤层，防止下层细颗粒上翻；选用级配碎石、砂砾作为换填材料，分层摊铺压实，分层厚度不大于 30cm，重型压路机碾压，压实度不低于 95%。为约束路基侧向变形，在换填层顶部铺设双向土工格栅，格栅抗拉强度不低于 25kN/m，格栅搭接宽度不小于 30cm，提高路基整体刚度，减小不均匀沉降。该工艺施工简便、造价较低，适合山区交通不便路段。

3.2 中层软土：水泥土搅拌桩复合地基处置

软土层厚度 3~8m 的沟谷路段，地基承载力要求较高，采用湿法深层水泥搅拌桩处理。桩径采用 500mm，等边三角形布设，桩间距 1.2~1.5m，桩身必须穿透软土层嵌入下部硬土层不少于 0.8m；水泥选用 P.O42.5 普通硅酸盐水泥，掺量控制在 15%~18%，水灰比 0.45~0.55，通过搅拌叶片强制搅拌软土与水泥浆液，形成整体性桩体。桩顶铺设 30cm 级配碎石褥垫层，分散上部荷载，使桩体与桩间软土协同受力，大幅提升地基承载力，控制工后沉降量。施工完成后进行 28d 养护，采用动力触探检测桩身质量，检测合格后方可开展路基填筑。

3.3 深厚软土区域：CFG 桩复合地基处置

山间洼地软土厚度超过 8m 路段，采用 CFG 长螺旋钻孔桩处理，桩径 400~500mm，桩长穿透深厚软土层进入持力层 1.2m 以上，桩间距 1.5~1.8m，桩身采用 C25 细石混凝土浇筑。CFG 桩强度高，可将路堤荷载直接传递至下部坚硬持力层，有效减小深层土体压缩变形，解决深厚软土长期蠕变沉降问题。桩顶设置砂砾褥垫层与土工格栅，缓解桩顶应力集中，协调桩土变形，适用于山区高等级公路、高填方路段软基处置。

3.4 填挖交界特殊路段综合处置

山区公路填挖过渡段是差异沉降重点区域，挖方侧地基坚硬、填方侧为软土地基。处置方式：挖方台阶开挖，台阶宽度不小于 2m，向内设置 2% 倒坡；填方侧根据软土厚度采用搅拌桩或换填处理，同时连续铺设两层土工格栅，格栅伸入挖方路基不少于 5m，削弱两侧地基变形差异，减少路基纵向裂缝产生。

4 沉降病害配套防控措施

4.1 完善路基排水系统

水文因素是山区软土沉降的关键诱因，必须构建地表、地下双重排水体系。路基两侧设置边沟拦截地表径流，沟谷地段增设碎石盲沟与渗水管，收集地下水并引出路基范围；路基边坡设置截水沟，避免坡面雨水下渗软化地基。所有排水设施提前施工，在路基填筑前投入使用，保持地基土体干燥，维持软土原有强度。

4.2 严控路基填筑速率

软土地基固结需要一定时间，严禁集中快速填筑。路堤分层厚度控制在 20~30cm，每层碾压完成后间隔一段时间再进行上层填筑；高填方路段设置沉降观测点，当日均沉降量大于 10mm 时，暂停填筑施工，待地基沉降趋于稳定后继续施工。预压时间不少于 30d，通过堆载预压加速软土固结，提前完成大部分沉降变形，降低工后沉降。

4.3 全过程沉降动态监测

软基处置及填筑全过程布设沉降观测桩、深层沉降管，定期观测地表沉降、土体深层变形数据。根据监测结果调整填筑速度，若出现沉降速率异常，及时停止施工并采取补强注浆等应急处置手段。路段通车后前两年定期复测，掌握路基后期蠕变沉降规律，及时开展微小病害修补，防止病害扩大。

4.4 既有路基沉降病害应急处置

对于已经出现沉降、裂缝的运营山区公路，采用地聚合物注浆加固技术。通过钻孔向路基内部注入特种注浆材料，填充土体孔隙，胶结松散软土，提高土体密实度与承载力，快速修复沉降路基。路面裂缝采用密封材料封堵，防止雨水继续渗入地基内部，阻断病害发展路径。

5 结论

山区公路软土分布零散、水文条件复杂，不均匀沉降病害成因复杂，单纯依靠单一地基处理方法难以达到理想效果。工程实践中应坚持勘察先行，摸清软土厚度、分布范围与地下水情况，按照浅层换填加筋、中层搅拌桩、深层 CFG 桩的差异化原则选择处置工艺；同时优化排水设计、控制填筑速率、开展全过程沉降监测，从施工源头控制路基沉降变形。对于已运营路段出现的沉降病害，采用注浆补强方式进行处置，做到早发现、早处理。通过地质勘察精细化、处置方案差异化、施工管控标准化的综合技术体系，能够有效

效控制山区软土路基工后沉降，减少路面开裂、桥头跳车等次生病害，延长山区公路使用寿命，降低后期养护投入，适应山区复杂地质环境下公路建设的实际

需求。后续可结合智能化监测技术，实现路基沉降实时预警，进一步提升山区软土路基病害防控水平。

参考文献:

- [1] JTG/T 3610-2019 公路路基设计规范[S].北京:人民交通出版社,2019.
- [2] 刘雪岭.山区公路软基病害成因及处治技术[J].地球科学与环境学报,2024,27(1):45-51.
- [3] 林森.多雨山区高速公路路基沉降病害处置技术研究[J].甘肃水利水电技术,2023,49(4):11-16.
- [4] 王建军.山区公路填挖交界路基不均匀沉降控制技术[J].交通世界,2025(12):78-80.