

# 济南山区黄土状土的危害及处理方法探析

王嘉艺, 于春亮

(济南市水利建筑勘测设计研究院有限公司, 山东 济南 250101)

**【摘要】** 济南山区广泛分布的黄土状土具有显著的特殊工程性质, 其湿陷性、低强度和高渗透性对工程建设构成严重威胁。本文基于区域地质环境特征, 结合工程地质勘察数据, 系统分析了黄土状土的工程危害机理, 并提出了针对性的处理措施。通过现场调查和室内试验验证, 总结出适用于该地区的综合治理方案, 为类似工程提供参考。

**【关键词】** 济南山区; 黄土状土; 工程危害

**【中图分类号】** X53

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1009-6159(2025)-06-0077-03

## Analysis on Hazards and Treatment Methods of Loess-like Soil in Mountainous Areas in Jinan

WANG Jiayi, YU Chunliang

(Jinan Water Conservancy Construction Survey Design Research Institute Co., Ltd. Jinan, Shandong 250101, China)

**Abstract:** The widely distributed loess-like soil in mountainous areas in Jinan has significant special engineering properties, and its collapsibility, low strength and high permeability pose serious threats to engineering construction. Based on the characteristics of regional geological environment and combined with engineering geological survey data, this paper systematically analyzes the engineering hazard mechanism of loess-like soil and puts forward targeted treatment measures. Through field investigation and laboratory test verification, a comprehensive treatment scheme suitable for this area is summarized, providing a reference for similar projects.

**Key words:** Mountainous areas in Jinan; Loess-like soil; Engineering hazards

济南山区作为鲁中南低山丘陵区的重要组成部分, 其地质环境复杂性与人类工程活动矛盾日益突出。区域内第四纪黄土状土广泛分布于山间盆地、河谷阶地及缓坡地带, 厚度普遍在 3~15 m 之间。近年来, 快速推进的基础设施建设已累计引发多起黄土相关工程事故。因此系统分析黄土状土的工程特性与灾害模式, 提出防治对策势在必行。

## 1 区域地质环境特征

### 1.1 地形地貌

研究区属构造侵蚀低山丘陵地貌, 海拔高程在 120~650 m 之间, 地形切割深度达 200~300 m。黄土状土主要赋存于剥蚀堆积地貌单元, 包括山前缓坡、沟谷台地及河流二级阶地。典型微地貌组合

呈现阶梯状分布特征, 为水土流失提供了地形条件。值得注意的是, 在玉符河与锦绣川交汇处形成的冲洪积扇裙, 其前缘过渡带的黄土状土具有明显的层理构造, 经探槽揭露可见 3~5 层古土壤夹层, 厚度 0.2~0.5 m 不等, 这些软弱夹层常成为边坡滑动的潜在控制面。

### 1.2 地层岩性

工程揭露地层自上而下可分为:

人工填土层: 厚 0.5~3.0 m, 结构松散, 压实度 0.75~0.85。黄土状粉质黏土: 厚 5~12 m, 孔隙比 0.85~1.10, 局部含钙质结核层。古近系砂页岩: 强风化层厚 2~5 m, RQD 值 15%~30%。区域黄土状土与典型西北黄土相比, 黏粒含量偏高 (18%~

收稿日期: 2025-03-31

作者简介: 王嘉艺(1991—), 男, 工程师

25%),碳酸盐含量较低(8%~12%),具有次生堆积特征。X射线衍射分析显示,黏土矿物以伊利石(45%~55%)和蒙脱石(15%~25%)为主,这种矿物组合导致土体具有显著的水敏性。在仲宫镇某深基坑工程中,开挖揭露的垂向裂隙发育密度达3~5条/m,裂隙面可见次生石膏结晶,这是地下水运移的典型证据。

### 1.3 水文地质条件

地下水类型以孔隙潜水为主,埋深3~8 m,渗透系数0.8~2.5 m/d。季节性降水集中,导致土体含水率波动达5%~8%。2021年济南市地质环境监测站数据显示,暴雨期间边坡渗流量骤增3~5倍,加速了土体结构破坏。对锦绣川水库东岸进行的长期监测表明,地下水位年变幅达2.5~3.8 m,这种剧烈波动诱发了多次小型崩塌。值得注意的是,在人类活动密集区,如仲宫街道周边,地下水位持续下降形成降落漏斗,近5年累计降深达6~8 m,引发了新的地面沉降问题。

## 2 工程地质特性分析

### 2.1 物理力学性质

现场取样测试表明:天然密度1.55~1.75 g/cm<sup>3</sup>,塑限18%~22%,液限28%~33%,压缩模量4~8 MPa。相较于标准黄土,其结构性更强但胶结较弱,干湿循环作用下强度衰减显著。扫描电镜观测显示,土颗粒呈半定向排列,架空孔隙发育,这种结构特征导致其在浸水时易发生颗粒重组。在港沟立交桥引桥段,路基填土经过5个干湿循环后,CBR值由8.2%降至4.1%,充分说明其工程性能的敏感度较高。

### 2.2 湿陷性特征

轻型击实试验测得湿陷系数为0.015~0.045,自重湿陷量计算值35~120 mm。空间分布呈现显著各向异性,水平方向差异沉降可达垂直方向的2~3倍。2020年某住宅小区工程事故显示,地基浸水后48 h内产生80 mm不均匀沉降。通过对比不同地貌单元的湿陷性发现,山前倾斜平原区的自重湿陷量(70~120 mm)显著高于河流阶地区(35~60 mm),这与地下水位波动幅度密切相关。在创新谷某数据中心地基处理中,采用双环注水试验测得湿陷速率达5 mm/h,验证了其快速湿陷的破坏特征。

### 2.3 渗透特性

变水头渗透试验测得的垂直向渗透系数为(0.3~0.8)×10<sup>-5</sup> cm/s,水平向为(1.2~2.6)×10<sup>-5</sup> cm/s。各向异性比达3~5倍,导致边坡内部易形成优势渗流通道。某高速公路边坡失稳案例中,雨后监测到渗流速度突增4倍。值得注意的是,在天然状态下,土体裂隙网络的渗透系数比原状土高2~3个数量级。在龙洞隧道出口边坡,裂隙渗透系数实测值达1.2×10<sup>-3</sup> cm/s,这是常规试验数据无法反映的特殊现象。

## 3 主要工程危害分析

### 3.1 地基不均匀沉降

黄土状土遇水软化特性导致建筑物产生差异沉降。典型表现为:浅基础建筑墙体开裂(裂缝宽度3~15 mm);管线接口错位(位移量10~30 mm);地坪隆起或塌陷(变形量50~150 mm)。济南某工业园区调查显示,未处理地基的建筑3年内平均沉降量达120 mm,超出规范允许值2~3倍。在唐冶新城某商业综合体项目中,由于地下管道渗漏导致局部土层含水率升高至28%,引发裙楼柱基差异沉降达65 mm,造成幕墙玻璃破裂事故。后期钻探验证显示,软化区土体压缩模量由6.5 MPa骤降至2.8 MPa,这种力学参数的突变是传统沉降计算难以准确预测的。

### 3.2 边坡失稳

物质组成与结构特征导致边坡稳定性系数低(天然状态1.05~1.25,饱和状态0.85~1.05)。破坏模式以浅层滑塌为主,滑动面深度1~3 m,滑动速度0.5~2.0 m/d。2021年旅游路扩建工程中,长约80 m的边坡在连续降雨后发生渐进式破坏。滑动体后缘发育张拉裂缝,最大宽度达25 cm,前缘出现鼓胀裂缝,这种复合破坏模式对支护结构设计提出了特殊要求。在药乡森林公园入口边坡治理工程中,监测到滑动面形成过程中孔隙水压力上升至静水压力的1.3倍,验证了基质吸力丧失的诱发机制。

### 3.3 水土流失

地表径流冲刷形成密集冲沟,密度每百米2~3条,年均侵蚀模数达4 500~6 000 t/km<sup>2</sup>。某生态修复项目监测数据显示,坡面年侵蚀厚度可达15~25 mm,导致支护结构基础外露。在黄巢水库

上游流域,采用示踪剂法测得泥沙输移速率在雨季可达  $1.2 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ ,这种高强度侵蚀造成河道淤积量年均增加  $15 \text{ 万 m}^3$ 。

#### 3.4 地下水作用

毛细水上升高度  $1.2\sim 2.0 \text{ m}$ ,引起地基土盐渍化(易溶盐含量  $0.3\%\sim 0.8\%$ )。某地下车库工程因防潮层失效,地下水上升,造成混凝土基础腐蚀速率提高 3 倍。水质分析显示,地下水硫酸盐浓度达  $1\ 200\sim 1\ 800 \text{ mg/L}$ ,对钢筋混凝土结构稳定构成严重威胁。在长清大学城某地下室工程中,仅运营两年即出现混凝土剥落现象,取芯检测发现钢筋截面损失率达  $15\%\sim 20\%$ 。此外,地下水位的周期性波动还引发了土体干缩裂缝的反复开合,在领秀城小区观测到裂缝宽度年变化幅度达  $3\sim 8 \text{ mm}$ 。

### 4 工程处理关键技术

#### 4.1 地基处理技术

1)强夯法。单击夯击能  $1\ 500\sim 3\ 000 \text{ kN}\cdot\text{m}$ ,处理深度  $4\sim 8 \text{ m}$ 。经检测,干密度提高  $8\%\sim 12\%$ ,湿陷系数降低至  $0.010$  以下。某物流中心项目采用 3 遍点夯工艺,工后沉降控制在  $30 \text{ mm}$  内。施工参数优化研究发现,当夯击间距取 1.5 倍锤径时,能形成有效的应力叠加区。

2)挤密桩法。桩径  $400 \text{ mm}$ ,间距  $0.9\sim 1.2 \text{ m}$ ,成桩深度  $6\sim 10 \text{ m}$ 。现场测试显示桩间土压实系数  $\geq 0.93$ ,复合地基承载力特征值可达  $180 \text{ kPa}$ 。济南西客站配套工程应用灰土挤密桩,消除湿陷性深度达  $8.5 \text{ m}$ 。新型工艺发展方面,在华山片区某住宅项目中试验了扩底挤密桩技术,通过桩端扩大头设计使承载力提升  $25\%$ ,同时减少桩数  $15\%$ ,具有显著经济效益。

#### 4.2 边坡防护体系

1)格构梁+锚杆。混凝土格构间距  $3 \text{ m}\times 3 \text{ m}$ ,锚杆长度  $6\sim 9 \text{ m}$ ,抗拔力设计值  $120\sim 180 \text{ kN}$ 。某山体整治工程应用后,边坡稳定系数由  $1.08$  提升至  $1.35$ 。监测数据显示,格构梁能将坡面位移量降低  $70\%$ ,但暴雨期间锚杆预应力损失可达设计值的  $15\%\sim 20\%$ ,需设置可调式锚头补偿系统。

2)植被护坡。选择紫穗槐、高羊茅等本地物种,配合三维网垫(抗拉强度  $\geq 3.5 \text{ kN/m}$ )。实施 2 年后,径流系数降低  $40\%$ ,表层土抗冲蚀能力提高 5 倍。

#### 4.3 排水系统优化

1)立体截排水网。坡顶截水沟+坡面泄水孔+脚部盲沟组成排水体系。在鲁能领秀城小区东区边坡工程中,创新采用阶梯式排水沟设计,将集中径流分散为多股细流,使流速由  $2.5 \text{ m/s}$  降至  $0.8 \text{ m/s}$ ,显著降低冲刷能量。同时,在盲沟内填充级配碎石(粒径  $20\sim 40 \text{ mm}$ )配合透水土工布,既保证排水效率又防止管涌发生。

2)虹吸排水技术。HDPE 排水管配合真空泵站,排水效率达  $0.8\sim 1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 。对比试验表明,与传统重力排水相比,虹吸系统在持续降雨条件下排水量增加  $2\sim 3$  倍,且能形成稳定的负压区。但需定期维护防止气堵,建议每季度进行系统气密性检测。

### 5 结论与建议

1)济南黄土状土工程危害具有水敏性、渐进性和区域性的特征,治理需遵循“防排结合、刚柔相济”原则。建议建立基于 BIM 的地质信息模型,集成实时监测数据进行动态风险评估。

2)推荐采用多尺度监测技术(InSAR+传感器网络),建立全生命周期预警体系。在济南新旧动能转换区试点应用的北斗形变监测系统,水平定位精度达  $2\sim 3 \text{ mm}$ ,可有效捕捉区域地面变形趋势。

3)后续研究应关注生态工法的本地化应用,开发基于微生物矿化的新型固化技术。实验室试验表明,巴氏芽孢杆菌诱导方解石沉淀可使土体无侧限抗压强度提高  $4\sim 6$  倍,具有广阔应用前景。

4)建议修订地方规范,针对黄土状土增设动态设计条款,要求重要工程进行 5 年以上的长期效果评估。同时应制定专项勘察规程,明确微裂隙调查、干湿循环试验等特殊项目的技术要求。

(责任编辑 赵其芬)

协办单位：济南水务学会  
编辑：刘敏  
审核：魏金龙