

# 特殊地质边坡设计理论与施工对策研究

罗辉

中核二十五建设有限公司 湖南中核岩土工程有限责任公司

DOI:10.12238/gmsm.v8i2.2146

**[摘要]** 随着我国基础设施建设的不断推进,红层软岩地区的边坡工程日益增多。红层软岩特殊的工程地质特性给边坡设计与施工带来诸多挑战。本文基于红层软岩特殊地质条件,深入研究边坡设计理论与施工对策。通过分析红层软岩的物理力学特性,构建边坡稳定性分析模型,提出针对性的设计理论与方法;结合实际工程案例,研究适用于红层软岩边坡的施工技术与控制措施。研究表明,合理的设计理论与施工对策能有效保障红层软岩边坡的稳定性与安全性。研究成果可为红层软岩地区边坡工程提供理论支持与实践参考,对推动相关领域的发展具有重要意义。

**[关键词]** 红层软岩; 边坡设计; 施工对策; 稳定性分析

中图分类号: U213.1+3 文献标识码: A

Research on design theory and construction countermeasures of special geological slopes

Hui Luo

China Nuclear 25th Construction Co., LTD Hunan Zhonghe Geotechnical Engineering Co., LTD

**[Abstract]** As China's infrastructure development continues to advance, the number of slope projects in red-bed soft rock areas is increasing. The unique engineering geological characteristics of red-bed soft rock pose significant challenges to slope design and construction. This paper explores slope design theories and construction strategies based on the specific geological conditions of red-bed soft rock. By analyzing the physical and mechanical properties of red-bed soft rock, a stability analysis model for slopes is developed, and targeted design theories and methods are proposed. Real-world engineering cases are used to study construction techniques and control measures suitable for red-bed soft rock slopes. The research indicates that effective design theories and construction strategies can significantly enhance the stability and safety of red-bed soft rock slopes. The findings provide theoretical support and practical references for slope engineering in red-bed soft rock areas, which is crucial for advancing related fields.

**[Key words]** red layer soft rock; slope design; construction countermeasures; stability analysis

## 引言

红层软岩是一类广泛分布于我国西南、西北等地区的特殊

岩土<sup>[1]</sup>。近年来,随着交通、水利等基础设施建设在红层软岩地区大规模开展,大量的边坡工程应运而生。然而,红层软岩具有强度低、遇水软化、易风化等不良工程特性<sup>[2]</sup>,导致边坡在设计与施工过程中容易出现失稳、滑坡等问题,严重威胁工程安全与周边环境。因此,开展红层软岩特殊地质边坡设计理论与施工对策研究,对保障工程建设安全、降低工程风险具有重要的现实意义。

## 1 红层软岩的工程地质特性

### 1.1 物理特性

红层软岩一般颜色以红色、紫红色为主,其颗粒组成细,孔隙率较大。通过对多个红层软岩样本的试验分析(表1),可知其

天然含水率在12%~20%之间,密度约为2.1~2.3g/cm<sup>3</sup>,孔隙比在0.6~0.9之间。

表1 红层软岩样本物理特性参数

样本编号	天然含水率(%)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	孔隙比
1	14.5	2.2	0.75
2	16.3	2.15	0.82
3	18.2	2.25	0.78
4	12.8	2.18	0.68

### 1.2 力学特性

红层软岩的力学强度不仅先天不足,而且在水的作用下会发生显著劣化,这对边坡稳定性产生极大威胁。我将结合更多试验数据和分析,深入阐释力学强度变化规律。

红层软岩的力学强度较低,且受水的影响显著。通过大量室内试验研究发现,红层软岩在天然状态下,其内部结构相对稳定,黏聚力一般在15~30kPa,内摩擦角在18°~25°,这一力学指标反映了其在干燥环境下具备一定的抗剪能力。然而,当红层软岩处于饱水状态时,水分子会大量侵入岩石颗粒之间,削弱颗粒间的连接力,致使黏聚力大幅下降至8~15kPa,内摩擦角也随之降至12°~18°<sup>[3]</sup>。从微观角度来看,红层软岩多为泥质胶结,遇水后胶结物质发生软化、分解,使得岩石颗粒间的咬合作用减弱。在实际工程中,降雨工况下,雨水持续渗入边坡岩体,边坡内的红层软岩力学强度不断降低,抗滑力随之减小,而岩土体的自重因含水量增加而增大,下滑力增强,这种力学特性的变化打破了边坡原有的应力平衡,使得红层软岩边坡在降雨等工况下极易失稳,引发滑坡等地质灾害。

## 2 红层软岩边坡设计理论

### 2.1 边坡稳定性分析模型

采用极限平衡法对红层软岩边坡进行稳定性分析,常用的有瑞典条分法、毕肖普法等。以瑞典条分法为例,其边坡稳定性系数计算公式为:

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i l_i + \sigma_{ni} \tan \varphi_i)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i}$$

### 2.2 设计参数的确定

根据红层软岩的工程地质特性试验结果,结合工程经验与相关规范,合理确定边坡设计参数。如边坡坡率,对于高度较低的红层软岩边坡(小于10m)<sup>[4]</sup>,坡率可采用1:1.25~1:1.5;高度较高时(大于10m),需通过稳定性分析计算确定,并设置多级台阶<sup>[5]</sup>。同时,支护结构设计参数也需根据边坡稳定性分析结果进行优化选择。

## 3 红层软岩边坡施工对策

### 3.1 开挖施工技术

红层软岩边坡开挖需严格遵循“分段跳槽开挖、及时支护”原则,这是基于其遇水软化、自稳能力差的特性制定的关键工艺。采用分层分段开挖时,每层高度控制在3m以内,避免单次开挖高度过大导致边坡临空面应力集中;每段开挖长度不超过20m,以缩短开挖面暴露时间,减少雨水侵蚀和风化影响<sup>[6]</sup>。施工中需建立实时监测体系,通过全站仪、测斜仪等设备对边坡位移、沉降进行高频次监测,当水平位移速率超过5mm/d或累计位移超30mm时,需立即停止开挖并启动应急加固。可采用沙袋反压坡脚、临时锚杆锚固等措施控制变形,待边坡稳定后再调整开挖方案,确保施工过程中边坡应力释放与支护结构受力形成动态平衡,避免因开挖顺序不当引发滑坡事故。

### 3.2 支护施工技术

常见的红层软岩边坡支护方式有锚杆(索)支护、挡土墙支护、抗滑桩支护等。锚杆(索)支护可有效提高边坡的抗滑力,锚杆长度根据边坡地质条件确定,一般为6~12m,锚索预应力根据设计要求施加<sup>[7]</sup>。挡土墙支护适用于高度较低的边坡,其基础应置于稳定的地层上。抗滑桩可用于深层滑动的边坡治理,桩径一般为1.2~2.0m,桩间距根据计算确定(表2)。

表2 不同边坡类型抗滑桩设计参数

边坡类型	抗滑桩桩径(m)	桩间距(m)
浅层滑动边坡	1.2~1.5	3~5
深层滑动边坡	1.5~2.0	5~8

### 3.3 排水措施

红层软岩遇水软化特性显著,水的渗入会导致岩体强度大幅衰减,因此排水措施是红层软岩边坡工程的核心环节。在边坡顶部应设置梯形或矩形截水沟,采用浆砌片石或混凝土浇筑,沟宽和深度不小于0.5m,通过合理的纵坡设计(不小于3%)将坡顶汇水引至周边排水系统,拦截地表水向坡体渗透<sup>[8]</sup>。边坡体内排水需结合地质条件采用立体排水体系:仰斜排水孔沿边坡分级布置,孔深根据地下水位确定,间距控制在2~4m,以10°~15°仰角钻进,孔内埋设透水管并填充级配碎石滤层,实现深层地下水的定向导出<sup>[9]</sup>;排水盲沟则设置于滑动面附近或地下水富集区,采用片石干砌或塑料盲沟管,外包透水土工布,将浅层地下水汇聚至坡脚排水沟。施工时需注意排水孔与盲沟的衔接,确保形成完整排水网络,降低孔隙水压力对边坡稳定性的影响<sup>[10]</sup>。

## 4 工程案例分析

### 4.1 工程概况

某高速公路项目在K12+300~K12+600段穿越典型红层软岩分布区,发育一段长300m、最大高度达25m的路堑边坡。勘察资料显示,该边坡岩性以紫红色泥岩与粉砂质泥岩互层为主,岩层呈薄层状构造,节理裂隙发育,主要发育两组倾向坡外的构造节理(产状分别为210°∠35°和245°∠42°),岩体完整性差,呈碎裂~散体结构。地下水监测数据表明,该区域存在上层滞水和基岩裂隙水,地下水位埋深1.5~3.2m,雨季时受大气降水补给明显,水位可上升至地表以下0.8m,且泥岩遇水后软化系数仅0.35~0.42,软化特性显著。边坡开挖揭露的地层显示,表层为0.5~1.2m厚的残坡积粉质黏土,其下为全风化~强风化泥岩及粉砂质泥岩,局部夹透镜体状砂岩夹层,工程地质条件复杂,易引发顺层滑动或圆弧滑动破坏,边坡现场实况如下图1。

### 4.2 设计与施工

采用上述设计理论,通过稳定性分析计算,确定边坡坡率为1:1.5,设置三级台阶,每级台阶宽度2m。支护方式采用锚杆(索)框架梁支护,锚杆长度8~12m,锚索预应力为800~1200kN。施工

过程中严格按照开挖与支护施工技术要求进行,同时完善排水系统。



图1 边坡现场实况

#### 4.3 监测结果

对边坡进行了为期1年的变形监测,监测结果表明,边坡位移稳定,最大水平位移为25mm,最大竖向位移为18mm,均在允许范围内,说明采用的设计理论与施工对策有效保障了边坡的稳定性。

#### 5 结论

本研究围绕红层软岩特殊地质边坡的设计理论与施工对策展开深入探讨,得出以下结论:

- (1)通过对红层软岩工程地质特性的研究,明确了其物理力学特性对边坡稳定性的影响,为边坡设计理论的构建提供了基础。
- (2)基于极限平衡法等理论构建的边坡稳定性分析模型,结合合理确定的设计参数,能有效指导红层软岩边坡的设计工作。
- (3)提出的开挖施工、支护施工及排水等施工对策,在实际

工程案例中得到验证,可有效保障红层软岩边坡施工安全与工程建成后的稳定性。

#### [参考文献]

- [1]陈洪凯,唐红梅,等.红层软岩边坡工程地质特性研究[J].岩石力学与工程学报,2020,39(5):865-876.
- [2]周德培,洪开荣.高速公路边坡工程[M].北京:人民交通出版社,2019:120-135.
- [3]李新坡,王涛.红层软岩力学特性试验研究[J].岩土力学,2018,39(增刊1):200-206.
- [4]郑颖人,赵尚毅.有限元强度折减法研究进展[J].水利学报,2017,48(6):647-657.
- [5]中华人民共和国行业标准.公路路基设计规范:JTGD30-2015[S].北京:人民交通出版社,2015:85-90.
- [6]刘保健,谢永利,等.黄土边坡开挖变形规律研究[J].中国公路学报,2016,29(8):1-8.
- [7]赵明华,邹新军,等.预应力锚索抗滑桩的设计计算方法研究[J].岩土工程学报,2018,40(7):1215-1222.
- [8]黄润秋,许模.地质灾害防治工程设计规范[M].北京:地质出版社,2019:150-160.
- [9]张迎宾,王启耀,等.高速公路边坡监测技术及应用[J].公路交通科技,2021,38(3):105-112.
- [10]唐辉明,胡伟,等.边坡工程地质分析与评价[M].武汉:中国地质大学出版社,2022:100-110.

#### 作者简介:

罗辉(1984--),男,汉族,湖南衡南人,高级工程师,研究方向:岩土勘察与设计。