

# 格构梁加锚杆技术增强边坡整体稳定性

刘军亮 刘先强 岑宇坚

江西天久地矿建设集团有限公司西南分公司

DOI:10.32629/gmsm.v8i5.2325

**[摘要]** 格构梁加锚杆技术依托格构梁坡面约束功能与锚杆深层锚固效果协同作用,搭建立体边坡加固系统,有效压制边坡岩土体变形及失稳隐患。该技术凭借结构受力科学、适应能力强的核心特质,在各类复杂地质状况下的边坡治理工作中体现出突出应用价值。本文通过解读技术加固原理与作用流程,剖析结构设计关键内容与施工工艺核心,旨在为边坡稳定性增强提供扎实技术保障,并且对维护工程建设安全与生态环境可持续发展具备关键作用。

**[关键词]** 格构梁-锚杆技术; 边坡稳定性; 岩土体加固; 加固机理; 施工工艺

**中图分类号:** TU755.2+2 **文献标识码:** A

## Reinforced Slope Stability Using Grid Beam and Anchor Rod Technology

Junliang Liu Xianqiang Liu Yujian Cen

Southwest Branch, Jiangxi Tianjiu Geology & Mining Construction Group Co., Ltd.

**[Abstract]** The lattice beam with anchor rod technology establishes a three-dimensional slope reinforcement system by leveraging the synergistic effects of the lattice beam's slope-constraining function and the deep anchoring effect of anchor rods. This effectively suppresses deformation and potential instability hazards in slope geotechnical materials. With its core characteristics of scientifically sound structural loading and strong adaptability, this technology demonstrates outstanding application value in slope stabilization projects across various complex geological conditions. It demonstrates outstanding application value in slope management across diverse complex geological conditions. By elucidating the reinforcement principles and operational processes, and analyzing key structural design elements and core construction techniques, this technology provides robust technical assurance for enhancing slope stability. It plays a crucial role in safeguarding engineering construction safety and promoting sustainable development of the ecological environment.

**[Key words]** Truss-Anchor Technology; Slope Stability; Geotechnical Reinforcement; Reinforcement Mechanism; Construction Process

### 引言

边坡失稳诱发的地质灾害往往对工程建设、交通运转及周边环境形成严重威胁,探索高效可靠的加固技术已成为岩土工程领域重要方向,格构梁加锚杆技术作为成熟边坡加固方案,融合两种结构功能优势,锚杆深入岩土体内部提供抗拔力约束深层位移,格构梁则将坡面岩土体分割为独立单元,分散应力并强化表层整体性。该技术在复杂地形与地质条件下的良好适配特性,让其在公路、铁路、矿山开采等多个工程领域获得广泛运用,深入探究该技术作用机制、设计核心与实践应用,能为相关工程设计施工提供科学参照,助力边坡加固技术体系进一步健全。

### 1 边坡失稳的核心诱因与加固技术需求

岩土体的物理力学特征是左右边坡天然稳定性的内在核心要素,其颗粒构成比例、密实程度高低、抗剪性能强弱等指标的

差异,会直接作用于边坡的承载水平与抗变形能力,松散砂土因颗粒黏结力弱易出现流动变形,黏性土遇水软化后抗剪性能骤降,风化岩层则因岩体完整性受损、裂隙发育易形成潜在滑动面,且岩土体分层构造与界面特征引发的应力集中现象,同样可能触发边坡失稳<sup>[1]</sup>。外部环境层面,降雨通过渗入增加岩土体自重、降低土体抗剪强度,同时在裂隙中形成动水压力来诱发失稳,地震借助振动传递改变坡体应力状态,人类工程活动如道路开挖、建筑施工等破坏边坡原有平衡,这些因素均会显著加剧失稳风险。边坡加固技术需依靠增强岩土体自身强度、施加外部约束或改善坡体受力条件实现稳定性提升,实际应用中需综合考量边坡地质条件、失稳风险等级、工程用途等因素,遵循受力科学、施工便利、经济环保的标准,严格契合行业规范要求,以此保障工程建设质量与运行安全。

## 2 格构梁加锚杆技术的加固机理与协同效应

### 2.1 锚杆的深层锚固作用与应力传递路径

锚杆作为深层加固核心部件,经钻孔植入边坡岩土体内部稳定层,依托自身与岩土体间黏结力或端部锚固力形成抗拔力,约束坡体深层位移,其锚固作用体现在将坡体表层滑动倾向传递至深层稳定岩土体<sup>[2]</sup>。借自身抗拉强度抵御坡体下滑力,应力传递路径呈多阶段特点:坡体表层岩土体出现下滑倾向时,拉力经锚杆垫板传导至锚杆杆体,随后杆体通过与孔壁岩土体黏结作用,逐步将应力传递至深层稳定地层,充分调用深层岩土体抗剪强度,锚杆还能挤压周围岩土体,提高局部岩土体密度与抗剪强度,形成环绕锚杆的加固区,进一步增强坡体整体稳定性。锚杆的关键设计参数需根据边坡具体条件确定,表1列举了不同边坡高度与岩土体类型下的锚杆长度、倾角等参数常见范围,为锚固设计提供量化参考。

表1 不同边坡条件下锚杆设计参数参考范围

边坡条件	边坡高度(m)	岩土体类型	建议锚杆长度(m)	建议锚杆倾角(°)	布设间距(m)
中等边坡	10-20	黏性土、强风化岩	8-15	15-25	2.0-3.0
高边坡	20-30	碎石土、中风化岩	15-25	10-20	2.5-3.5
超高边坡	>30	软弱岩层、复杂土层	>25	5-15	3.0-4.0

### 2.2 格构梁的坡面约束功能与荷载分散机制

格构梁通过在坡面浇筑混凝土或钢筋混凝土结构,构成网格状框架,对坡面岩土体发挥直接约束与防护作用,将分散的坡面岩土体划分为多个独立小单元,限制各单元横向与纵向变形,避免局部岩土体坍塌或滑动,同时直接承接坡面自重、雨水冲刷等荷载。将其均匀传导至锚杆或坡脚基础,防止局部应力集中引发结构损坏,荷载分散借助网格结构整体性达成,坡面某区域受外力作用时,格构梁凭借自身抗弯、抗剪强度将荷载向周边网格传导,使荷载均匀分布于整个加固体系,降低单个构件受力负担,提升坡面结构整体承载能力与稳定性。

### 2.3 两种结构协同工作的稳定性提升原理

格构梁与锚杆协同作用是该技术提升边坡整体稳定性的核心,二者互补强化,实现1+1>2的加固成效,锚杆通过深层锚固约束坡体整体滑动倾向,为格构梁提供稳定受力支撑点,避免格构梁因坡体深层位移失效,格构梁则借坡面约束减少表层岩土体变形与坍塌。防止锚杆暴露或受局部荷载直接冲击,同时将坡面荷载均匀传导至锚杆,充分发挥锚杆抗拔力,协同作用下坡体形成“表层约束-深层锚固”立体加固体系,既抵御表层岩土体局部失稳,又控制坡体整体滑动,有效增强边坡整体刚度与稳定性,让加固体系适配复杂地质条件与外部环境变化。

## 3 格构梁加锚杆技术的设计要点与关键参数

### 3.1 锚杆布置方式与锚固深度的优化设计

锚杆布置方式需结合边坡坡角、高度、岩土体性质及潜在滑动面位置优化,保障锚固力均匀分布与有效传递,常见布置形

式包含矩形、梅花形等,布置密度需兼顾坡体稳定性需求与工程经济性,防止过度加密造成资源浪费或过疏影响加固成效。锚固深度确定是关键参数设计核心,需保证锚杆锚固段深入稳定岩土体且满足抗拔力要求,设计时通过地质勘察明确潜在滑动面深度与位置,让锚固段穿过滑动面进入稳定地层,结合岩土体抗剪强度、锚杆材料抗拉强度等,经力学计算确定合理深度,平衡抗拔力与施工难度及成本。

### 3.2 格构梁结构形式与截面尺寸的确

格构梁结构形式需适配坡面形态与受力需求,常见类型有矩形、菱形、三角形格构,不同形式在荷载传递、应力分布及施工便捷度上存在差异,矩形格构结构简单、施工便利,适用于坡度较缓、坡面平整边坡,菱形格构受力均匀、稳定性佳,适用于坡度较陡或地质复杂边坡,三角形格构抗变形能力更强,适用于高边坡或失稳风险高区域。截面尺寸需依据格构梁受力情况进行力学计算确定,涵盖梁的高度、宽度及钢筋配置等参数。高度与宽度需满足抗弯、抗剪强度要求,以承接坡面荷载并传递至锚杆;钢筋配置需按受力计算确定主筋与箍筋的规格、间距,保障结构强度与整体性,避免在荷载作用下开裂或破坏。

### 3.3 材料选型与力学性能匹配的技术要求

材料选型是保障格构梁加锚杆技术加固效果的基础,需确保材料力学性能契合工程要求,同时考量环境适应性与耐久性,锚杆材料常选用高强度钢筋、钢绞线等,须具备充足抗拉强度、抗腐蚀性能及与水泥砂浆黏结性能,防止长期使用中强度衰减或腐蚀破坏,注浆材料多为水泥砂浆或水泥浆,需有良好流动性、黏结性与强度,确保填充锚杆与孔壁间隙形成有效黏结面<sup>[3]</sup>。格构梁材料以混凝土与钢筋为主,混凝土强度等级需按受力要求确定且具备良好和易性与耐久性,钢筋选用符合国家标准的热轧钢筋,保障抗拉、抗压及抗剪性能满足设计要求,材料间力学性能匹配关键,需确保各部件参数协调,避免性能不匹配引发应力集中或结构失效。见表2:

表2 典型边坡加固材料力学性能参数表(推荐值)

材料类型	强度等级/牌号	抗压或屈服强度设计值(MPa)	抗拉或抗弯强度设计值(MPa)	备注
混凝土	C25	11.9(轴心抗压)	1.27(轴心抗拉)	常用于一般格构梁结构
混凝土	C30	14.3(轴心抗压)	1.43(轴心抗拉)	多用于受力较大的格构梁
锚杆钢筋	HRB400	400(屈服强度)	540(抗拉强度)	用于锚杆杆体
锚杆钢绞线	1860级	1860(抗拉强度)	1670(抗拉标准值)	常用于预应力锚杆

数据来源:依据GB50010-2010、GB/T1499.2-2018及GB/T5224-2014等国家现行工程材料标准整理。

## 4 格构梁加锚杆技术的施工工艺与质量控制

### 4.1 施工前期的地质勘察与方案规划

施工前期地质勘察是保障施工推进与加固成效的关键前提,需全面掌握边坡地质状况、岩土体物理力学特征、地下水分布及潜在滑动面位置等信息,勘察工作结合钻探、物探、原位测试

等多种手段,获取精准地质数据为施工方案设计提供科学支撑,方案规划依托地质勘察结果。结合边坡加固需求与工程实际,制定详细施工组织设计,涵盖施工流程、机械选型、材料供应计划、人员配置等内容,开展施工风险评估,识别安全隐患与技术难点,制定防范措施及应急预案,同时兼顾周边环境影响,避免施工破坏周边植被、水体与建筑物。

#### 4.2 核心工序的施工流程与操作规范

核心工序施工质量直接决定加固体系稳定性,需严格遵循流程与规范,锚杆施工依钻孔、清孔、安放锚杆、注浆有序开展,钻孔时控制角度、深度与孔径符合设计,清孔彻底清除岩粉杂物以免影响注浆质量,安放锚杆保证位置居中且固定牢固,注浆采用压力方式确保浆液饱满均匀,严格把控压力与用量<sup>[4]</sup>。格构梁施工待锚杆完成且达到设计强度后进行,先修整坡面并找平保证平整压实,再绑扎钢筋骨架,确保规格、间距与连接方式合规,支设模板需牢固平整、接缝严密防漏浆,混凝土连续浇筑并振捣密实避免质量缺陷,浇筑后及时养护保障强度增长。

#### 4.3 施工全过程的质量检测与安全保障

施工全过程质量检测是保障工程质量的重要手段,需构建完善检测体系对各工序严格检测验收,锚杆完成后开展抗拔力试验检验锚固效果,通过钻孔取芯、超声波检测等方式检查注浆质量确保饱满密实,格构梁施工中对钢筋绑扎、模板支设、混凝土浇筑等工序现场监理检测,按规范制作混凝土试块开展抗压强度试验。安全保障为施工重点,建立健全管理制度,对人员开展安全培训与技术交底,确保熟悉规程与注意事项,现场设置防

护设施、高空作业配备防护用品,定期维护检修机械,加强环境监测掌握边坡位移沉降,异常时及时处理防事故。

## 5 结语

本文围绕格构梁加锚杆技术增强边坡整体稳定性展开系统探讨,厘清该技术核心优势与应用价值,结合边坡失稳内外诱因,解读技术加固机理与协同效应,细化设计要点、关键参数及施工工艺与质量控制要求,形成完整技术应用体系。该技术借两者协同作用搭建立体加固体系,有效解决复杂地质条件下边坡稳定问题,为工程安全提供保障,未来可深化材料创新、结构优化与智能化施工研究,推动技术应用升级,提供更高效经济环保的边坡治理方案。

## [参考文献]

- [1]庄向仕,崔琳琳.公路边坡格构梁锚固系统参数优化数值分析[J].河北石油职业技术大学学报,2025,27(03):37-41.
- [2]饶建明.高边坡格构梁锚杆(索)施工监理要点研究[J].中国建筑金属结构,2024,23(09):169-171.
- [3]马智健.锚杆格构梁在深圳市某小区挡墙治理中的应用[J].工程技术研究,2024,9(17):94-97+117.
- [4]周峰.锚杆格构梁在某煤化工项目中的应用[J].工程建设与设计,2024,(15):39-42.

## 作者简介:

刘军亮(1989--),男,汉族,甘肃定西人,本科,工程师,研究方向:地质灾害治理。