

碳质泥岩边坡风化防治与生态防护技术

边兴宇

保利长大工程有限公司 广东 广州 510620

【摘要】：碳质泥岩在卸荷、降雨和干湿交替作用下易软化、裂隙扩展及浅层剥落，影响边坡稳定与植被恢复。岩性与水文条件共同决定防护重点，截排水、裂隙封闭、坡面防渗、锚固基材和植物配置宜组合实施。实施中将敏感区分级、工序验收和雨季巡查串联，按坡面条件调整建植方式，并把排水通畅、封闭完整和覆盖稳定作为维护重点。该路径适用于类似岩质边坡的预防性治理和养护。

【关键词】：碳质泥岩；截排水；生态防护

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.028

引言

碳质泥岩含黏土矿物和炭质组分，受扰动后对水分变化敏感。开挖形成临空坡面后，降雨入渗、日照干缩及冻融会使节理和微裂隙连通，局部可出现片帮、溜塌或冲蚀沟。明显变形后再处理会增加修复难度。边坡防护应把地质识别、排水控制和生态恢复放在同一技术链内，控制水分进入路径并保持坡面覆盖与排导能力。施工阶段还需保留连续的巡查和工序验收记录。

1 碳质泥岩边坡风化防治技术

1.1 物质组成与遇水软化特征

碳质泥岩胶结较弱，炭质与黏土矿物共同控制吸水后的强度衰减。开挖扰动后，坡面孔隙成为水分迁移通道，软化可随含水状态反复发展。调查记录岩层产状、泥化带、裂隙密集带和坡脚积水位置，将易软化部位列为防渗、锚固和植被恢复重点，并以照片、坐标及时核对变化。雨后查看软化边界与排水痕迹，核查坡面是否出现新鲜剥落和局部积水，必要时标记复查范围安排复测，核定排水处置次序。

1.2 干湿循环下裂隙扩展技术

雨后吸水膨胀与晴天失水收缩交替，会使浅层裂隙反复张开和闭合。裂隙与坡顶汇水或冲沟连通后，水分沿优势通道下渗，加速风化层软化和加厚，并使剥落风险增大。复杂边坡的生态防护应与结构安全和施工工序一起组织，避免封闭、导排与覆盖层分别实施而形成薄弱环节^[1]。治理先清除松动危岩，再清缝、嵌补或封闭裂隙。材料兼顾黏结与耐候，修补后检查渗水和导排连续性，异常处复补并记录。

1.3 坡面水文条件辨识技术

水是碳质泥岩风化发展的主要外部条件，坡顶汇水、坡面径流和地下水出露会改变局部含水状态。踏勘按坡顶、坡肩、坡面和坡脚划分观察带，识别截水沟破损、排水孔堵塞、渗水

点和冲刷区。雨后湿痕结合地形与岩层界面判断来源。辨识结果确定排水设施位置和导流方向，并在主要出水点设置编号。

1.4 风化稳定性分级

风化敏感区分级综合考虑岩体完整性、裂隙、水分状况以及坡面覆盖情况，而不仅仅依据坡高的高低来分。裂隙密集、渗水的陡坡地段列为重要检查区，覆盖层薄、无根系的部位列入施工期间防护区。将分级结果落实到图纸上以及现场的标识上，使得材料、验收、巡查三者之间可以对应同一个空间单元。雨季来临之前重新核查重点区的排水通道和标示。

2 碳质泥岩边坡工程防治措施

2.1 截排水补强与优化

截排水系统按照上截、面导、脚排来组织。坡顶截水沟减小外来汇水，坡面沟导排，坡脚出口不被冲刷。检查沟底、转折、接头、出口是否连续。发现跨坎漫流或者裂隙下渗的时候设置导流、防渗构造。常规巡查周期是4h，出现异常情况时加大复核频次。岸坡生态防护的水土保持效果依靠截排水构造连续和坡面覆盖完整，出口冲刷控制要在同一个巡查记录里完成^[2]。复核不合格时先恢复排水再复核沟底，之后再做后续坡面工作。截排水协同关系如图1所示。

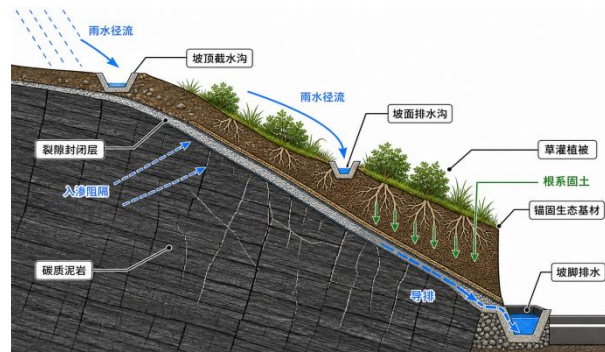


图1 边坡防护

2.2 裂隙封闭与涂覆防渗

裂隙封闭之前要判断其活动性以及渗水性。浅表稳定的细裂隙用清缝、嵌填、涂覆来减小入渗；贯通裂隙或者渗水带配合排水处理，不要封堵抬高孔隙水压力。防渗层要保证基层干净、搭接连续、边缘收口，在变形集中处留设适合构造的构造缝。施工之后检查空鼓、脱层、出口受阻情况，强降雨来临之前清理检修口。边缘渗水的时候先疏通相邻的导排通道，再进行清缝补嵌和复涂工作，雨后检查涂层搭接、出口状况以及边缘空鼓情况，记录下补涂的地方和复查的时间。

3 碳质泥岩边坡生态防护措施体系

3.1 基材与锚固层构建监测

生态基材有保水、透气、抗冲刷和利于根系生长的作用。根系对于基材-土体界面的加固作用要同覆盖层抗冲刷性能一同考察，坡面较陡或者破碎的时候用锚杆、锚网或者柔性网作为附着的基础，然后喷播或者铺设基材形成连续的覆盖层^[3]。锚固避开松动块体，检查锚点与网体的连接情况。根据坡度、坡向以及降雨来决定基材组分。出现流坠或者裸露网片的情况进行修补，并做好记录工作，坡段以及材料批次都要注明。养护期内检查基材是否牢固、网体外露、坡脚是否有积水等，发现缺陷部位补喷后重新检查锚固连接及排水情况。

3.2 植物群落配置防治

植物配置以耐贫瘠、耐旱且根系固土能力较强的乡土草灌为主，避免单一物种退化，并兼顾排水检修需求^[4]。草本形成表层覆盖，灌木增加根系加筋，两者按坡面水分和光照组合。种子、苗木和客土与当地生态条件匹配。坡顶、坡肩提高耐旱种比例；坡脚防止喜湿植物集中影响排水检修。苗木避开沟渠和检修通道。雨季前核查缺株和裸露斑块，缺株补植同类乡土苗木，裸露处补播草种并覆盖保墒材料，补植后检查排水通道。

3.3 植被建植与生物养护

植被建植宜安排在适宜气温和降雨季节，将坡面清理、基材铺设、播植与覆盖保墒连续完成。喷播后防止暴雨冲刷和表层失水，可按天气采取遮覆、补播和局部导排。养护记录标明缺株位置、裸露面积、病虫害和冲沟，判断基材失稳、排水问题或植物适应性不足。成坪后在一个雨季内观察覆盖度和冲刷变化。连续缺苗区分析积水、基材流失或种源不适，再采取补播并检查保墒覆盖和坡面冲刷，复核播种效果。

参考文献：

- [1] 宋金闻,潘登喜,杜兴勇,等.复杂边坡施工中生态防护与结构安全协同优化研究与应用[J].云南水力发电,2026,42(6):60-63.
- [2] 宋金闻,潘登喜,杜兴勇,等.复杂边坡施工中生态防护与结构安全协同优化研究与应用[J].云南水力发电,2026,42(6):60-63.
- [3] 包含,刘玮,王俊田,等.黄土边坡生态防护基材-土体界面强度的根系力学加固效应[J/OL].中国公路学报,1-27[2026-07-22].
- [4] 谢曙阳.基于生态防护的公路路基边坡施工技术优化[J].大众标准化,2026,(12):28-30.

3.4 农业监测与维护

边坡生态防护实行雨前查、雨中巡、雨后检。检测裂缝、渗水、排水是否畅通、基材是否破损、网体是否外露、植被覆盖率等。在敏感区设置固定的观测点，用同位置的照片和记录表做比较。发现沟槽淤积、覆盖层下滑或者冲沟加深的时候，清除诱因并恢复排水和覆盖层。资料按坡段归档，为雨季前处理提供依据。复核排水出口、覆盖层边缘、观察点照片，没有消除冲刷、积水时清沟、补覆再拍照，并注明处治日期和责任坡段，核对现场照片。

3.5 雨季人工应急处治

雨季容易造成碳质泥岩边坡的风化、冲刷。发现坡顶积水、新裂缝、沟槽漫流或者局部剥落的时候，马上警戒并疏通排水。小范围冲刷和基材破损在坡体稳定之后用临时覆盖、导流、补强的方法处理；裂缝迅速扩大或者坡脚鼓胀的时候停止临近作业，并通知技术负责人。处治完毕后对导排情况进行复查，水流进入受控通道并且没有出现破损扩大现象的时候就可以拆除临时设施。雨后检查裂缝及坡脚出口，沟槽堵塞时清淤恢复防冲，出口无回水、淤积。

3.6 防护效果与根部评估

防护效果评价既考虑工程稳定性又考虑生态恢复。检查截排水是否连续，裂隙是否封闭，锚固网体是否完好，覆盖率、植物生长情况、裸露斑块、雨后冲刷等。在雨季前后及养护的关键时期做比较。持续渗水、剥落或者植被退化的时候，回溯排水、基材、种植和外界干扰的原因，之后制订修复方案并反馈到养护计划里。评估记录对应具体的坡段，检查修复之后排水、基材、植被是否同时得到恢复，没有恢复的项目列入下次养护清单，并注明复核原因及复测时间。

4 结语

碳质泥岩边坡防护要控制水分进入途径、抑制浅层风化、恢复坡面生态功能。工程措施先解决截排水、裂隙封闭问题，生态措施以基材稳定、锚固可靠、植物适应性为基础。施工及养护按照敏感区为一个单元进行巡查，在雨季及时处治排水不良、覆盖层损坏、植被缺失等问题，并根据巡查记录安排修补和复查。材料型号以及验收指标依照设计、勘察资料以及现场试验来确定，处治记录上要标示出坡段和复核结果。