

富水填方边坡饱水软化机理及疏排水协同加固方法

周嘉浩

中冶天工集团有限公司 天津 300308

【摘要】：地下水是诱发边坡失稳的关键因素，单一依赖排水或加固措施难以根治富水地区边坡工程病害。本文以甘肃核桃峪煤矿主井加筋土挡土墙为依托工程，系统分析了排水系统失效导致填土饱水软化、进而引发支挡结构倾覆变形的病害机理，基于“强腰固脚排水”的治理原则，从水力-力学耦合角度研究了疏排水与加固的协同作用机理，并结合工程实际提出了仰斜排水管与锚索、抗滑桩协同治理的技术方案，为类似富水填方边坡的病害治理提供参考。

【关键词】：边坡治理；加筋土挡土墙；仰斜排水管；疏排水；富水边坡；协同加固

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.088

1 工程背景与病害分析

1.1 工程概况

核桃峪煤矿主井加筋土挡土墙位于甘肃省正宁县西南、泾河北岸，挡土墙总长 1016m，最大高度 35m，采用包裹式有纺土工布加筋土挡墙及混凝土护面结构。墙背填土以粉土、粉质黏土为主，地处泾河北岸，土体天然富水。

1.2 排水系统失效与病害演化

主井场地原始地貌排水为北侧冲沟雨水向南自然散排至泾河。矿井建设对该区域采用半挖半填方式，阻断了北侧冲沟原有自然排水系统。历年暴雨来临时，雨水携带大量泥沙经北侧冲沟无规则冲涌而下，部分冲灌本区域形成较大的落水洞，雨水经填土结构缓慢渗流。

场地边坡土体与结构层长期遭受雨水持续浸泡，土体趋于饱和，自身物理力学性能急剧下降。已有相关研究证实，加筋土挡墙墙后填土的抗剪强度随含水量增加而降低，土体饱和状态下的抗剪强度远低于天然工况。含水量升高除了降低填土强度指标，还会扰动筋材与土体接触面的受力状态，削弱加筋体系的加固作用。

现阶段边坡底部现浇钢筋混凝土竖直面朝向临空面方向倾斜变形，墙体原有垂直度发生改变，由原垂直方向变为约 94°~99°。变形自施工完成至今持续发生，边坡中部、上部面向外起鼓，表层喷浆支护多处隆起、开裂、沉陷，病害情况十分突出。结合 2024 年变形监测数据来看，变形速率有所加快，挡土墙滑坡风险较大，已严重威胁矿井安全生产。

1.3 病害机理总结

该工程的病害链条清晰：排水系统被阻断→雨水入渗→填土饱水软化→抗剪强度衰减→支挡结构受力增大→面板倾覆变形持续发展。核心诱因是“水”，而非加固结构自身的强度不足。因此，只有有效降低地下水位、恢复填土力学性能，加

固措施才能发挥应有作用。

2 疏排水与加固的协同作用机理

2.1 “强腰固脚排水”的治理原则

加筋土挡墙本质上属于填方边坡支挡结构，其病害治理同样遵循“强腰固脚排水”的基本原则。“强腰”即在坡体中部设置锚索锚固，增强坡体整体抗滑能力；“固脚”即在坡脚设置抗滑桩，提供关键支挡力；“排水”即在边坡内部设置仰斜排水管，辅以坡顶截水沟，降低地下水位。

三者构成“上部截水—内部疏排—中部锚固—坡脚支挡”的边坡防护方案，其中排水是基础性、先导性措施。

2.2 协同效应的物理本质

疏排水与加固的协同效应，本质上是水力场与力学场的耦合作用。

第一，仰斜排水管依靠重力自流原理排出坡体深层地下水，降低坡体孔隙水压力。按照有效应力原理，孔隙水压力下降后，土体有效应力随之增大，抗剪强度逐步恢复，作用在加筋土挡墙及支挡结构上的土压力减小，锚索和抗滑桩的受力条件得到改善。

第二，锚索与抗滑桩可以约束坡体变形，避免仰斜排水管免受剪切破坏，保障排水系统功能持续运行。同时，排水措施有效削减了坡体剩余下滑力，加固结构承受的荷载明显降低，结构耐久性得以提升。

第三，排水与加固措施在时序和空间上形成互补的协同治理体系。在时间上，排水先行降低水压力，为后续加固施工创造干燥、稳定的作业环境，再跟进支挡结构承担剩余下滑力。在空间上，仰斜排水管深入坡体内部疏排深层地下水，锚索在坡体中部提供锚固力，抗滑桩在坡脚提供支挡力，多层联动、互为支撑。

2.3 仰斜排水管的技术特点与设计要点

仰斜式排水孔采用小直径钻孔伸入地下水富集区域或潜在滑动面,通过重力自流排除坡体深层地下水。设计参数可参照《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2013)第16.3.4条执行:钻孔直径宜为75mm~150mm,仰角不宜小于6°,长度应伸至地下水富集部位,透水管直径宜为50~100mm。

常用材料包括硬管和透水管。结合核桃峪工程填土以粉土、粉质黏土为主的地质特点,建议选用PVC花管外包土工滤网,兼顾耐腐蚀性与防淤堵要求。

3 核桃峪加筋土挡墙协同治理方案设计

3.1 治理思路

基于上述协同机理分析,核桃峪加筋土挡墙的治理应遵循“疏排先行、加固跟进、协同实施”的原则,分两个阶段推进:

第一阶段:优先增设仰斜排水管,主动降低坡体地下水位,逐步恢复填土自身抗剪强度;

第二阶段:待坡体排水条件改善、土体性状趋于稳定后,再开展锚索补强与坡脚抗滑桩施工。

3.2 仰斜排水管布设方案

结合核桃峪挡墙的工程地质条件,仰斜排水管宜布设在坡体内部地下水富集层位,具体参数建议如下:

布设位置:沿坡高方向分2~3排布置,重点布设在面板变形严重段;

钻孔仰角:不小于6°,确保重力自流排水;

钻孔长度:20~30m,伸至相对隔水层;

钻孔间距:3~5m,根据渗水情况调整;

管材选择:PVC花管(直径75~100mm),外包土工滤网防淤堵;

施工过程中需注意,钻孔应避开既有加筋层位,或在加筋层间隙中穿设,避免切断既有加筋土工布造成加筋效果削弱。

参考文献:

- [1] 沈小康.加筋土挡土墙加固技术研究[J].城市建设理论研究,2016(8):89.
- [2] 建筑边坡工程技术规范:GB50330-2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [3] 张志增,高永涛,马飞.失稳加筋土挡土墙联合加固技术[J].北京科技大学学报,2006(10).
- [4] 贾良.加筋土挡墙的土压力试验与数值分析[J].深圳大学学报,2016(1).

3.3 协同加固方案

在仰斜排水管有效降低地下水位后,坡体填土抗剪强度得到恢复,此时实施锚索补强+坡脚抗滑桩加固措施可获得更好的效果。

锚索补强(强腰):锚索是通过外端固定于坡面,另一端锚固在滑动面以内的稳定岩体中穿过边坡滑动面的预应力钢绞线。在坡体中部设置预应力锚索,锚固段伸入稳定地层,提供主动锚固力。锚索通过预应力张拉主动限制坡体位移,减缓面板倾覆变形。施工时钻孔应在加筋层位之间穿越,避免切断土工布。

坡脚抗滑桩(固脚):抗滑桩是穿过滑坡体深入于滑床的桩柱,用以支挡滑体的滑动力,起稳定边坡的作用,适用于浅层和中厚层的滑坡,是一种抗滑处理的主要措施。在挡墙底部设置抗滑桩,桩体悬臂段采用锚索向下倾角35度锚固在基岩内,锚固段注浆进行加固,提供关键支挡力。抗滑桩通过刚性支挡锁定坡脚,防止坡体从坡脚剪出,同时分担下滑力、保护既有加筋土结构。

目前项目已紧急实施型钢+锚索加固施工,但该措施尚未与排水系统形成有效协同。后续治理中应优先完善排水系统,使加固措施在排水改善后的坡体上真正发挥应有作用。

4 结论

(1) 核桃峪加筋土挡墙面板倾覆的根本诱因是排水系统失效导致的填土饱水软化。含水率增大填土抗剪强度大幅降低、筋土界面力学特性恶化,是病害演化的核心驱动因素。

(2) 疏排水与加固通过水力-力学耦合形成协同效应:疏排水降低孔隙水压力、恢复有效应力与抗剪强度,为加固创造有利条件;加固限制坡体变形、保护排水系统安全。

(3) 在核桃峪工程中增设仰斜排水管,并与锚索、抗滑桩协同实施,在理论上具有可行性和有效性。建议治理按“疏排先行、加固跟进”的顺序推进,使各项措施在最优条件下发挥协同作用。

(4) 对于加筋土挡墙这类特殊支挡结构,仰斜排水管施工需特别注意对既有加筋体系的保护,钻孔应避开加筋层位或在层位之间穿越,避免切断土工布造成新的安全隐患。