

# 水利工程构筑内凹型高陡硬质岩斜坡防护路基的施工方法

李德明 柏荣军 王维龙

盐城隆嘉水利建设有限公司，江苏盐城，224000；

**摘要：**本文针对花岗岩等硬质岩山区内凹型高陡斜坡地段的路基修筑难题，分析了传统防护结构（如衡重式挡土墙、桩板墙、斜撑悬臂梁等）在实际应用中存在的施工风险高、设备要求严、经济性差及长期稳定性不足等问题。提出一种新型施工方法，通过先在硬质岩斜坡上支设防护支撑结构（包括基础混凝土、路肩墙混凝土及锚固组件），再填充回料填筑结构形成路基，并对坡向内凹部位进行加固镶补（如贴坡混凝土与锚筋束/锚索支护）。该方法显著减少开挖工作量与大型机械依赖，降低施工难度与风险，同时增强路基稳定性。工程实践表明，该方法适用于硬质岩高陡斜坡地形，兼具安全性与经济性。

**关键词：**内凹型高陡斜坡；硬质岩路基；防护结构；锚固技术；施工方法；路基稳定性

**DOI：**10.69979/3060-8767.25.11.046

## 1 背景技术

在花岗岩等硬质岩山区，受岩性、地质构造、河流侵蚀及地震等内外地质因素影响，河流两岸多形成高陡斜坡，地形陡，高度大，也可见存在地形不连续的情况，局部坡体临空面反倾，形成局部内凹地形。此类斜坡岩体多呈整体状或块状结构，岩石以微风化~未风化为主，岩体一般存在外倾的底滑面、反倾的后缘切割面及横向的切割面三组结构面，形成潜在不稳定块体。在此种斜坡上进行公路路基工程建设，主要工程地质问题是路基开挖、爆破等可能诱发潜在不稳定岩石块体发生失稳（多以滑移式崩塌为主），影响路基稳定，且施工难度大、风险大，工程质量、安全难以保证。

目前，工程领域对于硬质岩高陡斜坡地段，主要采取隧道绕避、桥梁跨越或路基加强防护等措施。对于内凹型高陡硬质岩斜坡地段，当采用路基型式通过时，为形成路基，往往需要在路基外侧加强防护措施，主要采用的防护结构型式包括：挡土墙、桩板墙、斜撑悬臂梁等防护型式。挡土墙一般采用衡重式挡土墙、钢管桩托梁挡土墙等，墙后填土形成路基；桩板墙采用抗滑桩与挡土板组合结构，桩后填土形成路基；斜撑悬臂梁思路主要是采用一种悬臂结构，梁的一端锚固至稳定的岩层中，另一端悬挑形成路基，为增加悬臂梁的稳定性、减小挠度，一般还需在梁下设置斜撑或上方设置斜拉等加固结构。

目前内凹型高陡硬质岩斜坡路基防护结构主要包

括挡土墙（衡重式挡土墙、钢管桩托梁挡土墙等）、桩板墙、斜撑悬臂梁等，主要存在以下几个方面的缺点及问题：

1、在内凹型高陡硬质岩斜坡地段，当采用衡重式挡土墙，由于地形等因素，挡墙基础开挖场地受限，中大型施工机械难以抵达，施工难度较大，且施工爆破、开挖可能损伤岩体或导致结构面扩展贯通，诱发潜在不稳定块体失稳，施工阶段对现场施工人员或下方重要构筑物（如国道等）的安全构造较大的威胁，安全风险较大；运行阶段，受车辆动荷载、暴雨或地震等诱发因素作用，潜在不稳定块体可能发生失稳，影响路基挡墙稳定。此外，衡重式挡土墙断面尺寸一般较大，耗材较多，投资较高，不甚经济。

2、在内凹型高陡硬质岩斜坡地段，当采用钢管桩托梁挡土墙，因需要在陡坡上预先机械成孔，也需形成一定的作业场地以供钻机钻孔作业，路基支挡工程通常为线性布置，高陡斜坡上钻机钻孔场地条件有限，施工难度大，施工风险大，施工周期长；且钢管桩可能在内凹地形处露出，施工风险较大，工程安全较难保证。

3、在内凹型高陡硬质岩斜坡地段，当采用桩板墙，桩可采用人工挖孔，作业场地空间不是主要控制因素，但高陡硬质岩地段，由于地形陡，桩基襟边一般较薄，桩基挖孔爆破可能导致桩孔外侧岩体破坏，且桩可能在内凹地形处露出，施工风险较大，工程安全较难保证；此外，桩板墙投资较高，不甚经济。

4、在高陡硬质岩斜坡地段，当采用斜撑悬臂梁式

路基，一是要求岩体强度大，岩体完整，当存在外倾的不利结构面情况，一般不适用；二是陡坡上悬臂施工难度极大；三是长期运营安全难以保障，一旦失效，可能导致路基毁坏，造成安全事故，维护难度及维护成本大。

## 2 技术方案

提供一种开挖工作量相对较小，施工设备使用相对较少，施工难度明显降低的用于构筑内凹型高陡硬质岩斜坡防护路基的施工方法。

为解决上述技术问题所采用的技术方案是：一种用于构筑内凹型高陡硬质岩斜坡防护路基的施工方法，包括硬质岩斜坡，所述的施工方法通过先在需要修筑道路位置的硬质岩斜坡处支设防护支撑结构，然后再以该防护支撑结构以及相应位置的硬质岩斜坡为基础填充回料填筑结构构成防护路基，与此同时对防护路基下方沿坡向存在于硬质岩斜坡上的内凹部位进行加固镶补，最后在防护路基上修筑路道完成构筑内凹型高陡硬质岩斜坡防护路基的构筑工作。

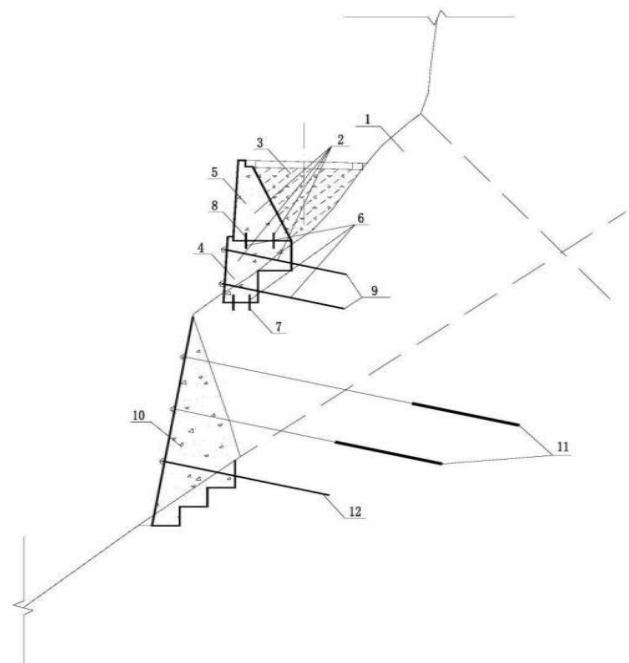


图1 高陡硬质岩斜坡防护路基修筑的路基防护系统横断面的结构示意图

进一步的，对硬质岩斜坡上的内凹部位进行加固镶补时是按下述步骤进行的，

首先对内凹以下岩面采用小台阶开挖，开挖后搭设脚手架、安装模板，浇筑贴坡混凝土，对应固结锚筋束或锚索位置预留孔位；然后架设钻机进行固结锚筋束或锚索钻孔，成孔后安放固结锚筋束或锚索并完成注浆；

最后待注浆达到规定强度后张拉固结锚筋束或锚索完成锚头施工。

上述方案的优选方式是，防护支撑结构包括支撑组件、防护组件和连接加固组件，防护组件通过支撑组件在连接加固组件的配合下固结在预裂爆破小台阶或为人工开挖小台阶上，回料填筑结构布置在防护组件与硬质岩斜坡构成的填筑空间内。

进一步的，支撑组件包括浇筑在预裂爆破小台阶或人工开挖小台阶上的基础混凝土，至少在预裂爆破小台阶或为人工开挖小台阶与基础混凝土之间插接有连接加固组件。

上述方案的优选方式是，防护组件为浇筑在基础混凝土上的路肩墙混凝土，至少在基础混凝土与路肩墙混凝土之间插接在连接加固组件，回料填筑结构布置在路肩墙混凝土与硬质岩斜坡构成的填筑空间内。

进一步的，连接加固组件包括短锚筋、预埋锚筋和支撑锚筋束，在预裂爆破小台阶或为人工开挖小台阶与基础混凝土之间插接有短锚筋，在基础混凝土与路肩墙混凝土之间插接有预埋锚筋，在基础混凝土与相邻的硬质岩斜坡之间插接有支撑锚筋束。

上述方案的优选方式是，在预裂爆破小台阶或人工开挖小台阶上的浇筑基础混凝土是按下述步骤进行的，

首先采用预裂爆破或人工开挖形成小台阶；然后再在小台阶上架设小型钻机进行支撑锚筋束钻孔施工，成孔后安放支撑锚筋束并完成注浆；接着于最低处上台阶上实施短锚筋，下半部分锚固于岩体中，上半部分浇筑在基础混凝土中；然后安装模板浇筑基础混凝土，支撑锚筋束岩体以外的部分浇筑于基础混凝土中，基础混凝土外锚筋束端头设置锚头；最后在基础混凝土顶面按规定的间距错开埋设预埋锚筋，使预埋锚筋的下半部分插入浇筑基础混凝土中，使预埋锚筋的上半部分插入路肩墙混凝土中。

进一步的，路肩墙混凝土的施工是按下述步骤进行的，先安装模板，然后浇筑路肩混凝土，并按规定在路肩混凝土上预留泄水孔。

上述方案的优选方式是，回料填筑结构为分层摊铺分层碾压的透水材料填筑结构，或为泡沫轻质土回填结构，

当采用透水材料填筑结构时，采用透水性材料，以

分层摊铺、分层碾压的顺序交错压实至规范或设计要求；当采用泡沫轻质土回填结构时，直接将泡沫轻质土回填直路肩混凝土相邻位置的硬质岩边坡之间的空腔中形成路基。

### 3 有益效果

提供技术方案以现有的硬质岩斜坡为基础，采用先在需要修筑道路位置的硬质岩斜坡处支设防护支撑结构，然后再以该防护支撑结构以及相应位置的硬质岩斜坡为基础填充回料填筑结构构成防护路基，与此同时对防护路基下方沿坡向存在于硬质岩斜坡上的内凹部位进行加固镶补，最后在防护路基上修筑路道完成构筑内凹型高陡硬质岩斜坡防护路基的构筑工作。解决了现有技术中需要修在内凹型高陡硬质岩斜坡地段修筑大量

衡重式挡土墙、钢管桩托梁挡土墙或桩板墙的技术问题，本申请采用上述的技术方案可以较大程度的减小开挖工作量，进而较少的使用施工设备，达到明显降低施工难度的目的。

### 参考文献

- [1] 赵峰. 铁路填石路基的沉降与稳定性分析 [D]. 西南交通大学, 2013. DOI: 10. 7666/d. Y2320101.
- [2] 郑志龙, 王丽君, 陈洋, 等. 用于构筑内凹型高陡硬质岩斜坡防护路基的施工方法: CN202311311059. 8[P]. CN117265933A[2025-09-28].
- [3] 崔耀, 张俊儒. 硬质破碎岩体中隧道锚肋组合支护体系的构想 [J]. 路基工程, 2018(4): 7. DOI: CNKI:SUN:LJGC. 0. 2018-04-010.