文章编号：1006－544X(2003)01－0111－05

岩质高边坡治理初探

亓军强，杨永兵，吴振君

（南京大学 地球科学系，江苏 南京 210093）

摘 要：岩质高边坡，因其缺乏生物赖以生存的环境，既使经过传统的加固措施，却因暴露于地表，受到风吹、日晒、雨淋等各种破坏性侵蚀作用，表层岩石很容易降低强度，发生剥蚀脱落，降低边坡稳定性，危及工程的安全性. 针对岩质高边坡的特点，探讨了岩质高边坡的治理措施，介绍了一些新的边坡治理技术. 高边坡治理既要注重稳定性，还要考虑生态环境问题，景观设计应成为边坡治理中的一部分.

关键词：高边坡；预应力锚固；植物护坡；景观设计

中图分类号：U418. 52 **文献标识码：**A①

现代大型工程建设，如采矿、修路、水利建设中经常会遇到高边坡问题. 高边坡的坡体以岩质居多. 如何使岩质高边坡的合理防治与环境保护相结合是环境岩土工程的一项重要课题. 本文针对岩质高边坡的特点，就这一问题进行了初步探讨.

1 岩质高边坡的特点及治理思路

1.1 对安全要求高

高边坡失稳所产生的破坏作用要比一般的边坡大；而由于岩石本身的物理特性特点，岩质边坡的破坏作用也比土质边坡大. 高边坡的问题往往和大型、重要的工程建设联系在一起，所以稳定性问题一定要放到非常重要的位置，真正做到“万无一失”，否则会给工程建设带来巨大损失.

1.2 生态环境特别需要改善

边坡开挖后，对周围的环境造成了破坏. 随着人们对环境重视程度的提高，采取工程、生物综合治理，改善边坡的生态环境是一个必然要求. 其基本原则是既要保证建成的工程安全稳定，技术可行，经济合理，又要美化环境. 由于岩质边坡不具备植被生长所必须的土壤，所以很难以自然的方式来恢复原来的生态环境. 因此相对于土质边坡，对岩质边坡采取措施改善环境的必要性要大些，同时也要费力些.

1.3 施工困难

高边坡坡顶到坡底的垂直高差一般在50 m以上，有的露天采矿人工高边坡甚至达到几百米. 在如此高陡的岩质边坡上施工，无疑会有相当难度. 因此，除需对边坡的外形进行一定的技术处理外（如一般都开挖或修整成阶梯状），选择适当的治理方法是非常重要的.

对边坡来说，安全性也就是稳定性始终是治理中要考虑的首要问题. 近年来，由生态环境遭受破坏所造成的严重后果使人们越来越认识到环境保护的重要性. 同时，人们对环境的追求也越来越高，尤其是带给人直接感受的视觉美感. 在这种情况下，边坡不仅要实行稳定防护，还应进行绿化和景观设计处理. 在设计处理时，应考虑到以上所谈到的岩质高边坡的特点.

---

① **收稿日期：**2002－05－17；**修订日期：**2002－07－01

作者简介：亓军强（1977－），男，山东莱芜人，硕士研究生，主要从事岩质高边坡的生物护坡和景观设计的研究.

2　岩质高边坡的设计和防治措施

岩质高边坡的防治措施由稳定措施、防护措施和报警措施及其组合构成，其程序见图 1.

2.1　施工设计

从改善岩质高边坡稳定性出发，开挖法既减少了促成破坏的下滑力，又可以清除引起斜坡破坏的不稳定或潜在不稳定部分，其主要问题和缺点是费用高．在挖台阶，清除和平整及爆破等施工中对岩质高边坡的适用性，设计要点和易发生的问题见表 1.

2.2　加固

由于岩体中存在断层、节理、裂隙、层面及软弱夹层等结构面和软弱面，使得岩质边坡的稳定性问题较土质边坡要复杂得多．再加上岩石质地坚硬的特点，使得岩质高边坡的加固处理显得很特别．岩质高边坡的加固处理必须满足以下几个条件：

（1）影响足够深远但不破坏岩体完整．岩体中断层及软弱夹层等软弱结构面的位置有时离坡面很远，这就要求加固措施能深入影响到岩体内部；但同时又不能破坏岩体的整体性，给岩体稳定带来新的不利因素.

（2）对周围环境不致产生大的破坏．本文中反复提到保护边坡生态环境问题．这一问题在边坡开挖时就应该考虑，并一直贯穿于整个边坡治理阶段中.

（3）方便施工．考虑到以上因素，采用预应力锚杆和锚索锚固技术是岩质高边坡加固中最经济有效的一种方式．预应力锚[1]固技术原理就是用高强度的钢材或钢铰线穿过岩体软弱结构面，再使其长期处于高应力状态下的受拉结构，从而增强被加固岩体的强度，改善岩体的应力状态，提高岩体的稳定性（图 1 ）．当软弱结构面离坡面较近时用锚杆，较远时用锚索．一般的高边坡都用锚索.

同其他如连体墙、抗滑桩相比，预应力锚固技术具有主动防护的特点．同时由于其对岩体扰动小，施工快而灵活，且影响范围大（锚索可长至 80 m, 预应力吨位可达 15 00 t) 等其他锚固措施所不能代替的优点，因此在岩质高边坡稳定性加

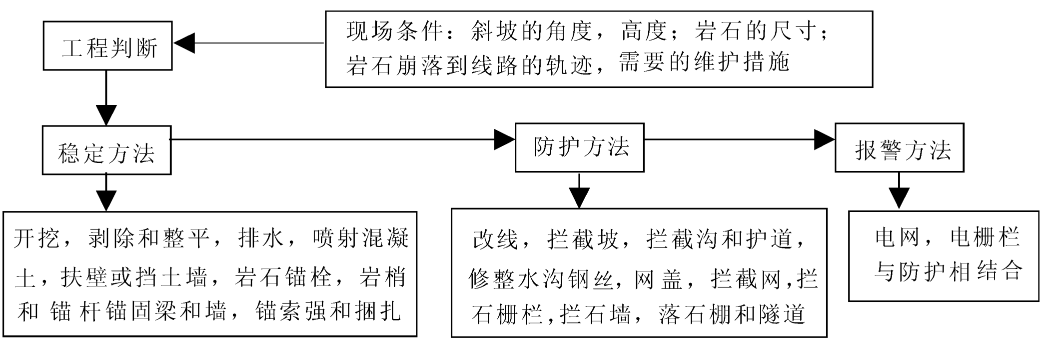

图 1　边坡处理方法程序

Fig. 1　Disposing process of the slope

表 1　施工方法的选择及其工程影响

Table 1　Choice of measures and impact

施工方法	适　用　性	设 计 要 点	易发生的问题对地质环境的影响
挖台阶	可最小限度的减小岩块掉在公路上，减少张裂缝、危岩和维修费用	根据斜坡各部位的岩性调整台阶的高度和坡度	斜坡顶部后移，增加开挖量和初期费用，增加废弃石和弃碴场
清除和平整	陡峻边坡的基本养护法	确保经验高技术水平高	清除工作缓慢而间断
爆　破	快速开挖	爆破孔的形式和药量要适当，既充分发挥其能量又将危害降到最小	降低岩体稳定性，显著增加工程费用

固处理中得到了越来越广泛的应用.

2.3　落石防护

一个很小的石块从高边坡上滑下来，到达底部就会产生很大的动能. 岩块自然剥落、边坡维护施工、人为因素都有可能造成落石或其他物体的下滑. 如果边坡底部有公路、铁路、建筑物等重要设施，会造成很大的破坏作用. 在这种情况下，采取落石防护措施是完全必要的.

SNS(Safety Netting System) 柔性防护技术是 1995 年由瑞士引进的一种边坡防治技术，分主动防护系统和被动防护系统两大部分. 其中被动防护系统就是一种落石防护系统[2].

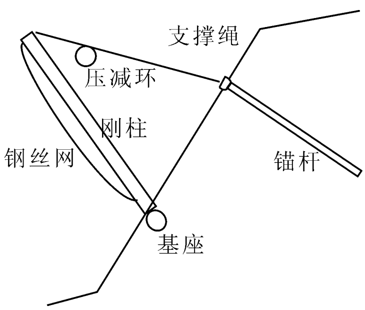

图 2　SNS 被动防护系统示意图

Fig. 2　Sketch map of passive SNS

SNS 被动防护系统包含多种类型，图 2 是一个典型类型的示意图，整个系统由锚杆、拉锚绳、减压环、钢绳网和钢柱及基座几个部分构成. 当受到落石冲击时，钢丝绳网首当其冲，冲击力被传递至刚柱，然后最终一部分被传递至基座，一部分则由拉锚绳传递至与岩体相连的锚杆上. 为使冲击力得到缓冲，刚柱与基座之间采用了可动联接；拉锚绳上安置了消能元件减压环. 与传统金属栅栏、石墙等拦挡结构最大的不同的是它能吸收和分散落石的冲击动能并使自身受到的损伤最小.

传统的落石防护措施如明洞、棚洞、拦石墙等在岩质边坡上施工难度大，必然造成施工工期长、投资大的特点. 同时对岩体有很大的扰动. 传统的金属栅栏结构对过小或过大的落石防护效果不理想，而且维护起来不方便. SNS 柔性防护系统能避免上述传统阻拦措施的缺点，具有施工和维护方便、工期短和经济有效等诸多特点，自引进以来在国内获得了广泛的推广应用，且都取得了良好的效果.

3　绿化护坡

绿化护坡又称植物固坡[3]或生态护坡[4]，主要是利用植物来改善边坡岩土层地质状况、减少水土流失，提高边坡稳定性，同时还能改善生态环境和地区小气候. 因此，绿化护坡同时兼有稳定防护和改善生态环境的双重功能. 对岩质边坡来说，采用植物护坡的方法其作用不仅在于能减弱岩石风化和雨水冲蚀，其绿化边坡、改善环境的意义远大于改善边坡的稳定性状况.

由于岩质边坡不具备植物生长的土壤，无法直接在坡面上栽种护坡植物. 解决的方法有两种：

3.1　喷播生态混凝土

生态种植基是由固体、液体和气体三相物质组成的具有一定强度的多孔人工材料（图 3）. 固体物质包括粗细不同的土壤矿物质颗粒、胶结材料、肥料和有机质、成孔材料、保水剂以及其他混合物. 其中土壤是植物生长的基体；有机质和肥料为草种日后的生长提供肥力；胶结材料用于土壤颗粒之间以及与岩体表面的胶结；保水剂能吸收和保持水分供植物生长；成孔材料能提高种植基的透水性和透气性，一般采用稻草秸秆，经济方便. 还可根据需要添加其他特定作用的混合物.

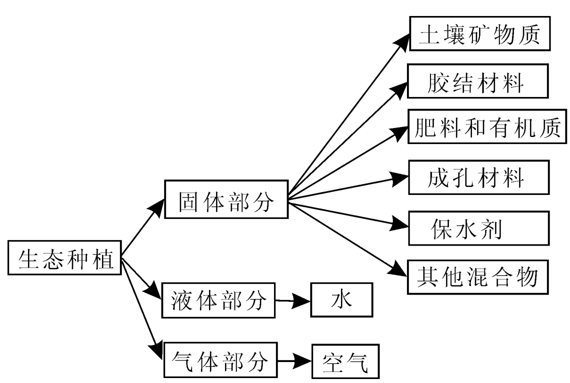

图 3　生态种植基示意图

Fig. 3　Biological planting base

为了使生态混凝土能牢固固定在岩体表面上，在喷播之前一般都在坡面上挂网. 施工步骤是：

平整边坡表面→钻孔、打入锚杆→挂网→喷播生态混凝土.

3.2 铺设绿化植生带

一个典型的绿化植生带从底往上由无纺土工布、绿化物料层、植物纤维层和尼龙网格等几层组成（图4）. 无纺土工布与地表吸附作用强，有利于保持湿度，且能够自然降解，腐烂后可转化为肥料. 绿化物料层是最重要的部分，由种子、保水剂、肥料及改良剂组成，主要为植物日后生长提供肥料. 植物纤维层由稻草秸秆、麦杆等植物纤维组成，主要作用是：铺设完工初期防止绿化物料层的物质遭受雨水冲刷及遮阴保湿，后期则腐烂后为植物提供肥力. 最上层的尼龙绳网主要起固定的作用. 事实上，植生带铺几层、各层直接的顺序应根据具体情况确定，没有固定的形式.

如果条件允许，铺设绿化植生带之前可以平铺上一层土壤，以便为固坡植物提供充分的养分. 否则，只有加厚植生带了.

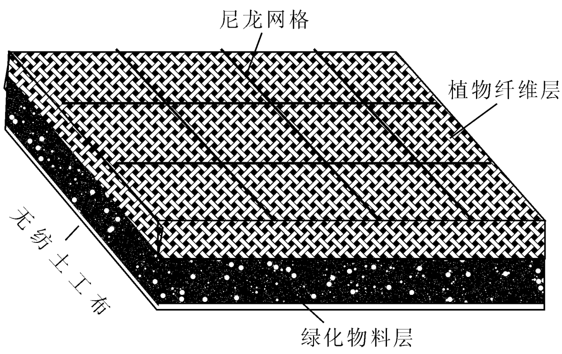

图4 植生带分层示意图

Fig. 4 Stratification of straw - mat with seeds

4 景观设计

景观设计一词是由英文 Landscape Design 翻译而来，原意为关于大地风景的规划设计. 但现代景观设计除了继承了原来的传统以外，已发展成为一门涉及风景设计、建筑设计、城市规划设计、环境艺术设计等众多学科复合设计体系[5]. 景观设计主要是通过对自然环境进行创意改造，满足人们对美的追求，起到赏心悦目、愉悦身心的作用，从而达到人与自然之间的最佳平衡.

边坡景观设计就是通过对边坡进行美观改造，合理组织自然景观或制造人工景观，起到美化边坡及其周围的环境的目的. 它的设计原则就是在不破坏边坡稳定的前提下，改善周围的环境，给人以美的感受. 应注意以下几点：

（1）始终贯彻把美学放在设计时考虑的首要位置的思想. 景观设计的主要目的就是要是保护、改善和美化边坡环境，创造一个美好的人文环境，其中美化环境要起着主要的作用. 给人以美感、愉悦身心是景观设计的特色，否则景观设计就没有什么存在的意义了. 例如边坡绿化在一定程度上能起到保护和改善环境的作用，终归不能代替景观设计；如果景观设计丝毫没有美学特色，就没有存在的必要，而属于多此一举了.

（2）从整体性出发，把边坡周围的环境考虑在内，统一布局. 把山体、边坡、和坡下面的公路看成一个环境整体，全盘考虑，统一布局. 边坡的景观设计要和周围的环境协调、搭配好，才能达到理想的效果. 因为边坡离不开周围的环境而存在，进入人们视线的不仅仅是边坡，还有边坡周围的环境.

（3）因地制宜，合理规划，表现自己的特色. 景观设计涉及的范围很广，每一类设计都要有自己的特色. 例如广场景观设计利用空旷而平坦的场地，一般都设有喷泉、花坛，使人心旷神怡；道路景观设计则多有绿色乔木组成的行道树，可以起到保护路基、诱导交通视线等功用，还能愉悦身心. 高边坡景观设计也要根据自身的特点，设计出自己的特色.

（4）以不破坏（保护）周围的环境为前提. 景观设计要着重强调美学特色. 但这是以不破坏周围的环境为前提的. 如果只追求设计的美感而忽略了环境效应，就违背了景观设计的初衷，这样的景观设计比上面说的没有美感的景观设计还要坏，宁可不要. 优秀的景观设计既能保护又能美化周围的环境.

在这个总体的原则下，可以采用各种手段来搞好设计工作：在坡体上种植花草树木，花草树木的具体分布方式以匠心独具为最妙；利用坡面自然的陡势，在坡体上修建人工瀑布，赏心悦目；如果有自流井分布，可顺势建些喷泉，悦人身心；对相对海拔较高的边坡，可在坡顶建一小亭，供观赏风景之用. 总之，越是别出心裁，景观设计

就越成功. 经过景观设计改造后的边坡甚至能变成风景区.

景观设计的应用范围十分广泛，目前应用较多的有道路景观设计、居民区景观设计、广场景观设计、公园景观设计等，但国内外却鲜有对边坡进行景观设计的报道及专业文章. 不过随着人们对生态环境的重视以及视觉美感的追求，边坡景观设计必然会越来越广泛地应用在大型边坡的治理中，成为边坡治理的一个重要组成部分.

5　实　例

东芦山高边坡位于南京市溧水县东芦山西南坡，是宁杭高速公路穿过此地开挖路基形成的路堑边坡，边坡全长 370 m, 坡度 45°，垂直高差达 80 多 m, 分为 8 级台阶，属岩质高边坡. 组成山体的岩石为粗质熔结（角砾）凝灰岩，全、强风化层只占上部坡顶的一小部分，下部全是中等和微风化层，岩石强度高，在整个开挖段无大规模处于危险方位的断裂，节理面发育，但延伸短，紧闭充填物少，多为稳定结构面. 据此提出以下建议：

（1）对于表面完整的微风化区只采取平整措施.

（2）岩坡表面破碎，节理和裂隙发育的地方采用锚杆和钢筋网加固的方法.

（3）坡角修建石墙，防止坡面岩石的风化、侵蚀和落石.

（4）考虑到坡面积大，坡陡建议采取喷播生态种植基的方法来护坡.

（5）景观设计. 因地至宜，赋清秀、自然于岩坡.

6　结　论

（1）预应力锚固技术是岩质高边坡加固中有效、方便而且又经济的一种方法.

（2）SNS 柔性防护系统在落石防护方面有显著作用.

（3）绿化护坡具有稳定防护和改善边坡环境的双重功能.

（4）边坡的治理不仅要注重稳定性问题，还要考虑生态环境问题. 景观设计应成为边坡（主要是大型边坡）治理中的一部分.

参考文献

[1] 张发明，邵蔚侠. 岩质高边坡预应力锚固问题研究［J］. 河海大学学报，1999，27（6）：73.

[2] 阳友奎，贺咏梅. 斜坡坡面地质灾害 SNS 柔性防护系统概论［J］. 地质灾害与环境保护，2000，11（2）：124 – 125.

[3] 杨永兵. 边坡治理中的植物固坡法［J］. 水文地质工程地质，2002，29（1）：64 – 67.

[4] 张俊云，周德培，李绍才. 岩石边坡生态护坡研究简介［J］. 水土保持通报，2000，20（4）：36 – 37.

[5] 杨冬辉. 中国需要景观设计——从美国景观设计的实践看我们的风景园林［J］. 中国园林，2000，16（5）：19 – 20.

Prelimilary disposal of high rock slope

QI Jun-qiang, YANG Yong-bing , WU Zhen-jun

(*Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing* 210093, *China*)

Abstract: The rock slope can not reach the condition for biological planting. Traditional reinforcing measure can not protect the slope from being destroyed by the rain、the wind、the sun, and etc. All those reduce the security of the project especially the rock of the surface layer. The disposal measure for high rock slope is discussed in this paper in according to the slope characteristic. Some new disposal technology is introduced, and protection of slope ecologic environment is emphasized. The idea of slope landscape design is put forward. An example is given with turning the protecting project in the mountain of Donglushan to a tour corridor.

Key words: high slope; prestressed anchorage ; vegetation for slope protection; landscape design