

成雅高速公路K51路段高陡岩质边坡 绿色生态防护体系

石胜伟 陈喜昌 周文龙

(中国地质科学院探矿工艺研究所 成都 610081)

摘要:高陡岩质边坡的绿色生态防护一直是边坡工程的难点,作者在成雅高速公路K51路段边坡防护工程中,在准确分析边坡工程地质环境的基础上,设计了一套适用于该高陡岩质边坡的绿色生态防护体系。该体系通过绿色植被与轻型工程措施的有机结合,实现了灾害防治与环境保护的和谐统一,获得了良好的生态效应。该高陡岩质边坡生态防护工程被四川省交通厅评为边坡防护的样板工程,经过近3年的营运,经济实用、安全可靠,成为绿色生态边坡的示范性工程。

关键词:岩质边坡 生态防护 成雅高速公路

1 引言

二十世纪末以来,保护生态环境,实现可持续发展已成为各国的基本共识和重要任务,人们对各行业的环保要求均有了较大幅度的提高。在这种情况下,作为直接与自然界打交道的地质灾害防治行业,切实提高科技水平,实现灾害防治与环境保护的有效结合,已是一个非常紧迫的任务。当前,大量存在和不断产生的各类边坡的治理是地质灾害防治工作的一个重要内容,将边坡治理与环境保护结合起来的绿色生态护坡措施的研究,也成为当前的一个热点课题。

边坡生态防护技术的应用在发达国家已有很长的历史,如美国于1936年在南加利福尼亚州的Angeles Crest公路边坡治理中就应用了生态护坡技术。日本的生态护坡几乎与其公路建设同步发展,至今已有半个多世纪的历史。我国自从二十世纪九十年代大规模开展交通、市政等基础设施建设以来,生态护坡技术也得到了广泛重视,各相关行业均加强了研究和应用。

从各国实践经验来看,坡度对坡面的稳定及植物生长有很大的影响,坡度越陡,植物根系伸入土中之深度则越浅,植物生长较易衰退。裸露地面之坡度在 35° 以下时,从周围自然侵入植物的机会很大,但坡度超过 35° 以上时,甚少植物自然侵入,其原因是 35° 以上的裸露地面,其表层土壤不停地移动,致使种子无法固定。坡度在

$45^\circ\sim 50^\circ$ 以上时,仅靠植物根系的抗剪力是不能维持坡面表土的稳定的,为防止根系生长的土层滑落,必须采取特殊的工程措施,构成基础后才能实现生态防护。

本文将介绍的由我所设计的成雅高速公路K51路段高陡岩质边坡的生态防护工程,就是通过将绿色植被与轻型工程措施有效结合这一特殊措施,既实现了环境保护,又达到经济实用、安全可靠的目的。

2 工程概况

2.1 基本情况

成雅高速公路连接四川省成都市和雅安市,该高速公路的建成通车极大地促进了区域经济发展和社会进步,带动了人流、物流、商品流、信息流,目前这里已形成一条蔚为壮观的经济走廊,农业综合开发、小城镇建设、高新技术产业方兴未艾。

成雅高速公路K51路段高陡岩质边坡位于成雅高速公路K51+830~K52+190路段左侧,长约360m,高30~50m,面积约 $1.2 \times 10^4 \text{m}^2$,坡度 $40^\circ\sim 65^\circ$ 。

2.2 工程地质条件

成雅高速公路K51+830~K52+190路段左边坡地层为侏罗系夹关组(J_{2j}),公路以 $S55^\circ W$ 方向切割NE向蒲江背斜之东北端西翼。坡面主要由紫红色砂质泥岩夹青灰色中厚层长石石英砂岩

组成。砂岩夹层之单层厚度仅20cm左右, 主要分布在K51+852~K52+000段。岩层产状为N52°~53° E/NW∠40°~42°, 有两组构造裂隙: ①N37° E/SE∠52°, ②N20° W/SW∠82°, 在K52+000附近之砂岩夹层出露厚度较大, 形成2.5~3m之坡面岩坎。该处岩层产状为N55° E/NW∠47°, 也发育两组构造裂隙: ①N20° E/SE∠42°, ②N35° W/NE∠82°。K52+000~K52+190段则主要为紫红色砂质泥岩, 仅部分层面上覆盖有黄绿色薄层钙泥质砂岩或砂岩透镜体。岩层产状为N46°~52° E/NW∠47°~55°。泥岩中垂直层面之多边形形成岩裂隙(原生节理)普遍较发育。坡面多处见有微量地下水渗出。

成雅高速公路K51路段高陡岩质边坡位于被称为天府之国的四川的蒲江县境内, 属于温带盆地气候, 降雨密集充足, 四季明显, 年气温温差不大, 无霜期长, 夏季气候相对干旱酷热, 部分时间有连续暴雨冲刷, 工业污染少, 植物茂盛, 生态环境状况极佳。但是, 因高速公路的施工大面积开挖, 该段裸露地表面积达一万平方米, 裸露地表大多为高陡岩质边坡, 保水性能差, 无法自然生长植被, 需要人工植草绿化。

2.3 边坡稳定性分析

就总体而言, 该段边坡属稳定性较好的等倾坡。构造裂隙以闭合为主, 且缺乏贯通性和前缘临空条件(即边坡横向支撑条件较好)。但由于泥岩原生节理发育, 暴露后风化速度较快, 易呈碎屑状剥落, 加之坡面较高较陡, 在重力和雨水的冲刷下(尤其是坡顶雨水集中向坡面冲刷处), 不但泥岩碎屑不断被带走, 还将造成较大岩块的坠落。特别是K52+000附近之砂岩夹层厚度较大, 在构造应力集中作用下裂隙十分发育。而且砂岩露头侧向坡度较陡, 下部甚至形成反坡, 在上下泥岩剥落的影响和降雨等因素诱发下易形成砂岩块石坠落和局部坍塌, 危害公路安全。

2.4 治理方案比选

该段边坡在公路施工图设计阶段采用的治理方案为常规的分台阶削坡+护面墙防护形式, 本次设计将在绿色生态防护与原有常规防护比选基

础上进行。

2.4.1 常规防护方案

常规的分台阶削坡+护面墙防护方案的要点是按比例分台阶开挖, 以增加边坡稳定性, 减少落石危害。该方案的优点是技术简单易行, 但目前公路已近完工, 大规模边坡开挖会影响到路面及其交通设施的安全, 且开挖后形成的更大范围坡面同样需要防护。经综合对比分析, 确定放弃此治理方案。

2.4.2 绿色生态防护方案

绿色生态防护方案要点是根据工程地质条件分区治理, 针对性布设工程, 通过混凝土框格梁防护防止边坡局部的跨塌和落石, 框格梁内植草防止坡面风化, 绿化美化边坡, 形成生态环保型边坡。

绿色生态护坡能有效地减轻雨水侵蚀和水土流失, 防止和延缓风化剥蚀, 保护坡面稳定; 同时可以调节气温, 提高湿度, 净化空气, 降低噪音, 显著地改善边坡的微环境和微气候; 另外, 绿色植物还能丰富景观, 实现环境的协调, 提高环境的舒适感。

3 绿色生态防护设计

西南地区山青水秀, 植被完整, 降雨丰沛, 气候宜人, 田园风光绮丽, 良好和谐生态环境使四川旅游资源相当丰富, 目前旅游业正在迅猛发展。为贯彻中央开发西部旅游先行的号召, 四川省拟将成雅高速公路建成西南的绿色生态走廊。在此情况下, 我所受成雅高速公路工程建设指挥部的委托, 在进行边坡病害防治的基础上, 着重进行将生态防护与常规工程措施结合的绿色生态防护设计等综合治理措施。

3.1 生态防护的设计原则

我所在详细研究工程地质状况和施工环境的基础上, 本着“技术可行、经济合理”和“保护环境、促进美观”的原则, 提出了以混凝土框格梁与植草形成综合生态防护体系的治理方案, 并进行了详细设计计算。防护措施的主要目的是防止坡面风化及局部的跨塌和落石。K52+000~+080段边坡的砂岩夹层露头及高陡风化泥岩坡面

是本次护坡工程的重点, 首先应消除侧向反坡和削缓坡度, 清除松动岩块, 然后布设防护工程。

3.2 生态防护工程措施设计

根据地质条件及施工环境, 将边坡按横向(桩号里程K51+840~K51+860、K51+860~K52+000、K52+000~K52+080、K52+080~K52+150、K52+150~K52+182)分为I~V五个治理区域, II、III、IV区按竖向(高程540m为分界线)又分为A、B两个亚区。其中III区坡度较陡, 坡体破碎, 风化泥岩自稳能力差, 作重点治理。I区和V区边坡高差较小, 坡面较稳定, 治理时设置实体式护面墙简单防护。

生态防护工程措施设计包括坡面清理、护面墙封闭、框格梁防护、空心砖固土等治理措施。

3.2.1 坡面清理

I、II、V区坡度在45°左右, 治理时按1:1坡度清坡, 清除风化剥落形成的局部反坡岩层及坡面风化破碎区域, 使坡面顺平。

III区和IV区坡度较陡, 在53~60°间, 在重力作用、雨水侵蚀情况下, 坡面不易自稳, 风化泥岩不断剥落, 且成碎块状砂岩夹层时常坠落, 危害公路安全。治理时按1:0.8削缓坡度, 增强坡面自稳能力, 并易于布设工程。

3.2.2 护面墙封闭

I区和V区边坡高差较小, 坡面较稳定, 只需简单防护。治理时设置实体式护面墙封闭坡面, 防止岩层风化。

3.2.3 框格梁防护

II、III、IV区坡高坡度陡, 坡体破碎, 风化泥岩自稳能力差, 坡体自重、静水压力、渗透压力及孔隙水压力等荷载较大, 对滑坡稳定系数进行计算, II、III、IV区坡面采用现浇钢筋砼框格梁进行护坡, 并用锚杆进行固定。采用经验类比和极限平衡法相结合的方法进行设计, 锚杆穿过潜在滑面1.5~2.0m, 以加固浅层岩体, 防止落石及跨塌。锚杆的结构设计为 $\phi 25 \times 6000\text{mm}$ 、 $\phi 25 \times 5000\text{mm}$ 、 $\phi 25 \times 3000\text{mm}$ 、 $\phi 25 \times 2500\text{mm}$ 、 $\phi 22 \times 2000\text{mm}$ 及 $\phi 22 \times 1500\text{mm}$, 锚杆采用全粘结灌浆并与钢筋笼点焊连接, 锚杆设计拉拔力可取为30~70kN。

框格梁间距4×4m, 锚杆设置于梁上。根据各区地层情况的不同, 框格梁配筋不同, 其中III区配筋率较高; 另外, 由于B亚区框格梁受力较大, 经计算分析, 设置较长锚杆($\phi 25 \times 6000\text{mm}$ 或 $\phi 25 \times 5000\text{mm}$), 以稳定坡面。采用框格骨架能避免坡面雨水集中冲刷, 保护框格内的植物。

3.2.4 空心砖固土

在框格内铺砌六方空心砖, 空心砖之间用M7.5水泥砂浆粘结, 空心砖与坡面接触处不可用砂浆粘结, 砖内培密实的熟土。空心砖除了具有加固边坡功能外, 还具有防止坡面覆盖土层滑落、保水、保肥、通气等功能。

3.3 绿色植被防护

国外最新的高陡边坡生态防护措施都是从研制供植被生长的生态材料入手的, 如植被网、生态混凝土、水泥生态种植基等。最近国内有关部门研究开发的柔性网植草技术、生态种植基技术等, 也多是借鉴和吸收国外的做法。这种从生态材料入手的护坡措施的主要问题是成本过高, 工艺复杂, 推广难度大, 解决不了实践中大量存在的高陡边坡防护问题。

在本绿色生态综合防护体系, 框格梁中空洞心砖与坡面自然接触, 砖内培熟土, 撒播草籽, 培植密实的绿色草本植物。熟土主要由腐质有机物、混合肥、粗纤维、稳定剂、保水剂等构成。选择适合本地土壤气候条件、根茎发达、生长速度快、分生能力强、密实度大、抗性强、耐旱、耐瘠薄、抗病能力强、四季常绿、后期管理简单的优质草种。草种在生长状态、形状、形态、种类、构成及植物的多样性、水文效应、改善环境能力、护坡固土等功能方面及其所营造的景观效果和天然植物群落具有相似的功能。草的种植采用撒播草籽方式进行, 可以保证草坪发芽生长均匀致密, 成坪速度快, 施工成本低。

本绿色生态综合防护体系绿色草本植物具有力学效应、水文效应及生态效应。

植被的力学效应包括防止边坡的面蚀、深根的锚固作用和浅根的加筋作用。植物的垂直根系穿过坡体浅层的松散风化层, 锚固到深处较稳定

的岩土层上,起到预应力锚杆的作用。试验表明,根的直径越细,其抗拉强度越高,对于直径2-5mm各种类型的根,其抗拉强度为8-80MPa。在基质及土体中盘根错节的浅根根系,使基质及土体在其延伸范围内成为土与草根的复合材料,草根可视三维加筋材料。

植被的水文效应包括降低坡体孔隙水压力、降雨截留削弱溅蚀控制土粒流失及对雨水冲刷消能作用。降雨是诱发边坡失稳的重要因素之一。植物通过吸收和蒸腾坡体内水分,降低土体的孔隙水压力,增加土体内聚力,提高土体的抗剪强度,有利于边坡体的稳定。一部分降雨在到达坡面之前就被截留,以后重新蒸发到大气或下落到坡面。下落的雨滴打击坡面时,把动能传递给土体,产生的分裂力使土体颗粒分离飞溅,在滴溅过程中,雨滴动能越大,撞击分裂力越大,被溅出的土粒数量也越多,植被能拦截高速下落的雨滴,分散雨滴、减少滴溅能量及飞溅的土粒。地表径流带走已被滴溅分离的土粒,进一步可引起片蚀、沟蚀。植被能够抑制地表径流并削弱雨滴溅蚀,从而能控制土粒流失,通常情况下,土体的流失量随植被覆盖率的增加而锐减。

植被根系统的生态效应表现在发达、密集的根系在土壤中穿插、挤压、分割及网络作用和根系分泌分解产物的胶结作用,有助于防止边坡的风化剥落。另外,根茎腐解过程中,为土壤微生物增加了碳、氮和其他生物养料,因而导致各类土壤微生物大量繁殖,有助于边坡生态环境的恢复,从而走向良性循环。

本绿色生态综合防护体系使防护系统更经济实用和安全可靠,并能获得边坡工程的艺术效果,实现人工环境和自然环境的有机结合与协调。

4 绿色生态防护效果评价及结论

4.1 成雅高速公路K51边坡绿色生态防护长期效果评价

成雅高速公路K51+830~K52+190路段左边坡治理和绿化工程竣工两年以来,经历了夏季的干旱酷暑和连续暴雨冲刷的考验,植被生长良好,边坡稳定,无落石、垮塌现象。该边坡成为成雅高速公路上一道亮丽的绿色风景线,成为西

部大开发中交通干线绿色走廊建设的一个成功典范,过往旅客无不感到赏心悦目,赞誉有加,提高了人们的绿色生态观念,产生了良好的社会效益。由于良好的生态效应和防护效果,该段边坡的治理被四川省交通厅评为边坡防护样板工程。

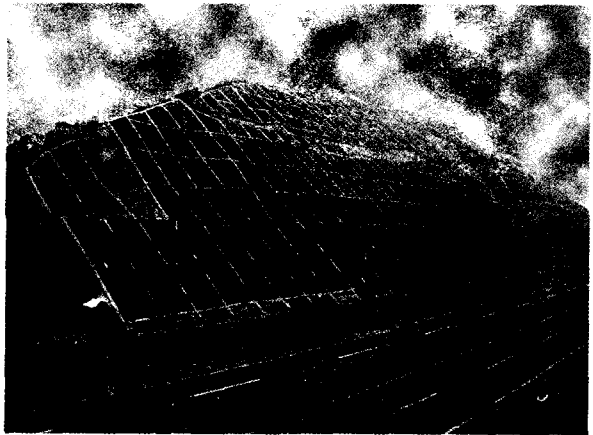


图1 绿色生态防护效果图

4.2 有关结论

现有的高陡边坡生态防护措施存在成本过高,工艺复杂等缺点,阻碍了推广应用。与之相比较,我所设计的成雅高速公路K51路段高陡岩质边坡的绿色生态防护体系,将绿色生态技术与轻型工程措施有机地结合起来,降低了高陡边坡生态防护的成本,提高了绿色生态防护的效果,实现了灾害治理与环境保护很好地结合,而且具有经济实用、安全可靠的优点,具有事半功倍的效果。

通过本工程所建立的高陡岩质边坡的绿色生态防护体系,为我国边坡防护及地质灾害防治技术的进步尽了一份力量。它的进一步推广,将产生良好的经济、社会和环境效益。

参考文献

- [1] 石胜伟,周文龙等.成雅高速公路K51+830~K52+190路段左边坡防护施工图设计.1999年10月
- [2] 《公路环境保护设计规范(JTJ/T006-98)》,交通部标准
- [3] 张俊云,周培德等.岩土边坡生态种植基实验研究.岩土力学与工程学报,2001(3)
- [4] 孙乔宝,阚晓云.高速公路建设对生态环境的影响及恢复.昆明理工大学学报,2001(3)
- [5] 胡时友.框格护坡的设计与实践.1999年跨世纪地质灾害防治工程学术讨论会论文集