

# 曲线型土工格栅生态边坡防护结构设计及施工方法

严后军 张文珍 陈俊

江苏省淮沭新河管理处, 中国·江苏 淮安 223005

**摘要:** 曲线型土工格栅生态边坡防护结构设计及施工方法, 该生态边坡防护结构主要包括道路路面, 以及设置在道路路面内侧路基或道路路面外侧路基的边坡, 在边坡坡面上设置由锚杆锚固的多个矩形框格梁, 并在每个框格梁内均设有由内而外依次铺设在边坡坡面上的下土工格栅、内夹曲线土工格栅的种植土和外封的土工布, 且下土工格栅和曲线土工格栅由多根锚钉固定在边坡上, 种植土表层内掺加了形成植被所需的植物种籽; 因此, 这种生态边坡防护结构具有构造简单、经济节约、生态环保、安全可靠等使用优点, 能较好体现绿色工程建设理念, 其结合相应的施工方法, 还具有较高的经济效益、节能环保效益和社会效益。

**关键词:** 曲线型; 土工格栅; 生态边坡防护; 结构设计; 施工方法

## Design and Construction Method of Ecological Slope Protection Structure for Curved Geogrid

Houjun Yan Wenzhen Zhang Jun Chen

Jiangsu Huaishuxin River Management Office, Huai'an, Jiangsu, 223005, China

**Abstract:** Design and construction method of ecological slope protection structure with curved geogrid. The ecological slope protection structure mainly includes road surface, and slopes set on the inner or outer roadbed of the road surface. Multiple rectangular frame beams anchored by anchor rods are set on the slope surface, and each frame beam is equipped with lower geogrid, planting soil sandwiching curved geogrid, and outer geotextile cloth laid from inside to outside on the slope surface. The lower geogrid and curved geogrid are fixed on the slope by multiple anchor bolts, and plant seeds required for vegetation formation are added to the planting soil surface layer; Therefore, this ecological slope protection structure has the advantages of simple construction, economic savings, ecological environmental protection, safety and reliability, and can better reflect the concept of green engineering construction. Combined with corresponding construction methods, it also has high economic, energy-saving, environmental protection and social benefits.

**Keywords:** curved type; geogrid; ecological slope protection; structural design; construction method

### 0 前言

为了实现道路边坡长期稳定, 迅速恢复受损边坡的生态系统而利用植物结合土木工程措施进行道路边坡护坡的生态防护技术得到了迅速发展。道路边坡生态防护技术是一种自支撑、自组织和自修复的生态技术, 该技术种类较多, 如客土喷播、团粒喷播、三维土工网垫喷播植草、热镀锌钢丝网等, 但这些边坡生态防护所用的网格材料均与边坡坡面平行布置, 以致网格材料与种植土之间的接触面形式单一和相对薄弱, 摩阻和黏结效果欠佳, 运营使用期间种植土受雨水冲刷或干旱碎裂, 容易发生种植土掉块、脱落等现象, 特别是边坡植被根系尚未生长发育的初期更为常见, 这不但影响边坡的防护效果, 还将危及边坡结构安全或易诱发道路交通事故。

### 1 技术方案

所要解决的技术问题在于克服现有技术的缺陷而提供一种构造简单、经济节约、生态环保、安全可靠的曲线型土

工格栅生态边坡防护结构及施工方法。

①曲线型土工格栅生态边坡防护结构, 包括道路路面以及设置在道路路面内侧路基或道路路面外侧路基的边坡, 该边坡坡面上设置由锚杆锚固的多个矩形框格梁, 每个所述的框格梁内均设有由内而外依次铺设在边坡坡面上的下土工格栅、内夹曲线土工格栅的种植土和外封的土工布; 所述的下土工格栅和曲线土工格栅由多根锚钉固定在边坡上; 所述的种植土表层内掺加了形成植被所需的植物种籽。

曲线土工格栅从框格梁上边框至框格梁下边框的斜向长度范围内呈余弦函数曲线:  $y(x) = -\frac{h}{2} \cos \frac{2\pi}{l} x$  布设在边坡坡面上; 所述的种植土内夹曲线土工格栅, 该种植土的厚度和重度分别为, 种植土与曲线土工格栅顶面、底面的摩阻和黏结系数为, 种植土与下土工格栅顶面的摩阻和黏结系数为, 由力的平衡原理得到如下计算公式:

公式一: 曲线土工格栅受力的有关参数和曲线方程为:

$$q = \frac{\gamma_z h}{\cos \alpha}$$

$$q_x = \frac{\gamma_z h}{\cos \alpha} \times \sin \alpha = \gamma_z h \tan \alpha$$

$$q_y = \frac{\gamma_z h}{\cos \alpha} \times \cos \alpha = \gamma_z h$$

$$\tau_q(x) = \mu_q q_y = \mu_q \gamma_z h$$

$$\tau_z(x) = \mu_z q_y = \mu_z \gamma_z h$$

$$y(x) = -\frac{h}{2} \cos \frac{2\pi}{l} x \quad (0 \leq x \leq nl)$$

$$\tan \beta = y'(x) = \frac{h\pi}{l} \sin \frac{2\pi}{l} x$$

$$\cos \beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \beta}} = \frac{1}{\sqrt{1 + [y'(x)]^2}}$$

$$ds \cos \beta = dx$$

公式二：在边坡上植被根系尚未生长发育的初期，当种植土内处于含水量饱和的最不利情况时，种植土沿着边坡坡面线下滑移，曲线土工格栅与框格梁上边框、框格梁下边框的固定处作用的拉力为：

$$\Sigma X = 0$$

$$T_s - T_x - q_x nl + \tau_z nl + n \int_0^l \tau_q(x) \cos \beta ds = 0$$

$$T_s - T_x - q_x nl + \mu_z q_y nl + n \int_0^l (\mu_q q_y \cos \beta \frac{dx}{\cos \beta}) = 0$$

$$T_s - T_x - \gamma_z h \tan \alpha \times nl + \mu_z \times \gamma_z h \times nl + n \int_0^l (\mu_q \times \gamma_z h \times dx) = 0$$

$$T_s - T_x - n \gamma_z h l (\tan \alpha - \mu_z - \mu_q) = 0$$

当曲线土工格栅只有上端和下端用锚钉固定在框格梁上时， $T_s=0$  则有：

$$T_x = n \gamma_z h l (\tan \alpha - \mu_z - \mu_q) \leq [T]$$

当曲线土工格栅由多根锚钉固定时，相邻两根锚钉之间的曲线土工格栅在锚钉处的拉力按照公式二的原理计算；如  $m$  根锚钉、框格梁上边框和框格梁下边框固定的曲线土工格栅，联立  $(m+1)$  个方程组求解出  $(m+1)$  根锚钉处的拉力，其中曲线土工格栅与框格梁下边框固定处的拉力等于零。

公式三：曲线土工格栅与种植土之间的竖向摩擦阻力和黏结力总和，相比直线性的下土工格栅与种植土之间的竖向摩擦阻力和黏结力总和要大，计算如下：

$$\int_0^{nl} \tau_{qs}(x) dx = 4n \int_0^{nl/4} \tau_q(x) \sin \beta \cos \alpha ds + 4n \int_0^{nl/4} \tau_q(x) \cos(\alpha - \beta) ds$$

$$= 4n \cos \alpha \int_0^{nl/4} \mu_q \gamma_z h \sin \beta \frac{dx}{\cos \beta} + 4n \int_0^{nl/4} \mu_q \gamma_z h [\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta] \frac{dx}{\cos \beta}$$

$$= 8n \mu_q \gamma_z h (\sin \alpha + \cos \alpha) \int_0^{nl/4} (\frac{h\pi}{l} \sin \frac{2\pi}{l} x) dx + 4n \mu_q \gamma_z h \cos \alpha \int_0^{nl/4} dx$$

$$= 4n \mu_q \gamma_z h^2 (\sin \alpha + \cos \alpha) + n \mu_q \gamma_z h l \cos \alpha$$

$$\int_0^{nl} \tau_{zs}(x) dx = n \mu_z \gamma_z h l \sin \alpha$$

$$k = \frac{\int_0^{nl} \tau_{qs}(x) dx}{\int_0^{nl} \tau_{zs}(x) dx} = \frac{4n \mu_q \gamma_z h^2 (\sin \alpha + \cos \alpha) + n \mu_q \gamma_z h l \cos \alpha}{n \mu_z \gamma_z h l \sin \alpha} = \frac{4 \mu_q h (\sin \alpha + \cos \alpha) + \mu_q l \cos \alpha}{\mu_z l \sin \alpha}$$

公式一、公式二和公式三中的各符号定义为：

$h$ 、 $l$ ——分别为种植土的宽度、曲线土工格栅曲线

$y(x) = -\frac{h}{2} \cos \frac{2\pi}{l} x$  一个  $2\pi$  周期在  $x$  轴上的长度， $m$ ；

$q$ 、 $q_x$ 、 $q_y$ ——分别为作用在曲线土工格栅上的种植土

自重荷载、 $x$  轴切向荷载、 $y$  轴向上的法向荷载， $\text{kN/m}^2$ ；

$\mu_z$ 、 $\mu_q$ ——分别为种植土与下土工格栅顶面的摩擦阻和黏结系数、种植土与曲线土工格栅顶面底面双面的摩擦阻和黏结系数， $\mu_q$ 、 $\mu_z$  通过试验得到，在初步设计阶段可查阅有关资料取值；由于曲线土工格栅顶面、底面双面比直线型单面下土工格栅的摩擦阻力和黏结力增大，同时曲线土工格栅的摩擦阻力方向与种植土下滑方向的夹角最大的为  $90^\circ$  即垂直，更有效地阻滞种植土下滑，因此综合增大了摩擦阻力和黏结力，即  $\mu_q \geq \mu_z$ ，这对于边坡植被根系尚未生长发育的初期更为有利，无量纲；

$\alpha$ 、 $\beta$ ——分别为边坡坡面与水平面的夹角、曲线土工格栅任意  $x$  处与水平面的夹角， $\text{rad}$ ；

$m$ 、 $n$ ——分别为固定曲线土工格栅的锚钉根数、框格梁上边框和框格梁下边框之间曲线土工格栅余弦曲线周期的个数；

$\tau_q(x)$ 、 $\tau_{qs}(x)$ 、 $\tau_z(x)$ 、 $\tau_{zs}(x)$ ——分别为曲线土工格栅任意  $x$  处与种植土之间的摩擦阻力和黏结力、曲线土工格栅任意  $x$  处与种植土之间的摩擦阻力和黏结力竖向分力、直线形的下土工格栅任意  $x$  处与种植土之间的摩擦阻力和黏结力、直线形的下土工格栅任意  $x$  处与种植土之间的摩擦阻力和黏结力竖向分力， $\text{kN/m}^2$ ；

$k$ ——曲线土工格栅与种植土之间的摩擦阻力和黏结力竖向分力总和与直线形的下土工格栅与种植土之间的摩擦阻力和黏结力总和之比，无量纲；

$T_s$ 、 $T_x$ 、 $[T]$ ——分别为单位宽度曲线土工格栅与框格梁上边框、框格梁下边框固定处的拉力、单位宽度曲线土工格栅容许拉力， $\text{kN/m}^2$ 。

曲线土工格栅呈曲线形状布设在种植土中，该曲线土工格栅为余弦曲线  $y(x) = -\frac{h}{2} \cos \frac{2\pi}{l} x$  或抛物线或满足边界条件的其他曲线。

下土工格栅和曲线土工格栅为铺设在边坡坡面上的钢塑土工格栅或经防锈处理的金属丝网或非金属丝网。

多根所述的锚钉为钢质，每根锚钉均由直径  $8\sim 10\text{mm}$  的圆钢筋制成  $7$  字形，长度为  $2\sim 5\text{m}$ ，并配以辅助扎丝固定下土工格栅和曲线土工格栅，且多根锚钉呈梅花形布置。

土工布为涤纶短纤制成的针刺无纺土工布材料；所述的种植土为参加了植物种籽的客土喷播或团粒喷播有机土壤混合物。

道路路面为道路面层；所述的边坡为道路路面内侧路基或道路路面外侧路基经填筑或开挖而成，且一定高度的边坡需设置碎落台。

碎落台宽度视边坡的高度和土质而定，宽度为  $1\sim 2\text{m}$ 。

②一种曲线型土工格栅生态边坡防护结构的施工方法，包括如下步骤：

步骤一：拟定曲线型土工格栅生态边坡防护结构尺寸。

根据路基横断面尺寸和地质情况,初拟曲线型土工格栅生态边坡防护结构尺寸;

通过试验确定下土工格栅和曲线土工格栅的材料性能指标、种植土性能指标,选择地被植物;

由公式一、公式二计算复核曲线土工格栅拉力,并确定工程材料及技术指标;

步骤二:开挖路基。

①根据设计图纸测量放样,确定开挖边坡方案;

②机械设备进场开挖边坡,挖方运输至堆场堆放备用;

③边坡修整平整,质量符合设计要求;

步骤三:锚杆和框格梁施工。

①测量放样锚杆位置,所用材料检验合格运至现场;

②锚固施工钻机到位,钻锚杆孔,检测钻孔质量符合设计要求;

③缓缓下放锚杆至孔内,压浆固定于边坡深层内;

④清理边钻孔和下锚杆处的边坡坡面,测量放样框格梁位置;

⑤架设固定框格梁模板,出露在框格梁内的锚杆锚头部分设置塑料圆形套筒,预留锚杆锚固的伸缩空间;

⑥在框格梁模板内放置和绑扎钢筋,检测质量符合设计要求;

⑦泵送水泥混合料至框格梁模板内振动密实,规定时间内拆除模板并养护合格;

⑧清理锚杆锚固处的水泥混凝土残留物,如为预应力锚杆需张拉预应力,锚固锚杆,用水泥混凝土封闭锚杆锚固端头;

步骤四:种植土和植被种子配比混合。

①植物配置以具有良好的水土保持功能的当地乡土物种为主,深根系植物与浅根系植物相结合,所选植物应具有抗干旱、耐贫瘠、防污染、抗病虫、适于自然生长的特点;

②配比种植土混合料,土壤、复合肥、有机肥、稳固剂、天然纤维符合设计要求;选用粘性红壤、黄壤,使用时应剔除石头、碎石、杂草,要求土壤粒径不应小于 2cm,含水量不应小于 30%,使用前宜进行土壤消毒;

③将种植土混合料及水按一定比例混合搅拌,形成均匀基材混合浆;

④按照一定的配比方案,将地被植物种子与基材拌和均匀,形成均匀基材混合浆和种子混合浆;

步骤五:下土工格栅、曲线土工格栅、种植土和土工布施工。

①清理边坡坡面平整,测量放样,确定下土工格栅、曲线土工格栅和锚钉的位置;

②在一个方形框格梁范围内从上而下铺设平铺下土工格栅,搭接接头符合标准;

③从上而下拉紧下土工格栅打入锚钉固定;

④利用喷播机将混合均匀的种植土基材混合浆喷于边坡坡面,从上至下按次序分一次或多次喷射;种植土基材混合料厚度以曲线土工格栅的布置分上下两层,下层喷播厚度符合曲线土工格栅的形状;

⑤待下层种植土基材混合浆凝固后,单幅曲线土工格栅从上而下铺设在下层凝固的基材混合浆上,首先将该曲线土工格栅上端与框格梁侧面用锚钉固定,并从上而下将曲线土工格栅与下层凝固的基材混合浆贴合按设计间距用锚钉固定,再将曲线土工格栅的下端与框格梁侧面用锚钉固定;按此顺序平行铺设边坡纵向第二幅土工格栅,搭接接头符合有关标准;

⑥喷播上层种植土基材混合浆,3d 内完成基材和种子混合浆喷播,两层混合浆凝固后的总厚度符合设计要求;

⑦覆盖无纺布土工布,该土工布用锚钉固定在种植土基材上,喷播后三个月内,视土壤失水情况浇水 1~2 次/d,或安装滴灌系统,保证种子萌发及幼苗生长;

⑧施工完成后,对植被进行维护,并对外观质量和局部缺陷进行整修或处理、评价,提交验收。

与现有技术相比,一种曲线型土工格栅生态边坡防护结构及施工方法,该生态边坡防护结构包括道路路面以及设置在道路路面内侧路基或道路路面外侧路基的边坡,在边坡坡面上设置由锚杆锚固的多个矩形状框格梁,并在每个框格梁内均设有由内而外依次铺设在边坡坡面上的下土工格栅、内夹曲线土工格栅的种植土和外封的土工布,且下土工格栅和曲线土工格栅由多根锚钉固定在边坡上,种植土表层内参加了形成植被所需的植物种子。而这种边坡防护结构结合施工方法具有如下优点:一是选用的下土工格栅和曲线土工格栅均为绿色节能环保的高强度材料,与传统的金属网状材料相比,具有强度高、变形小、抗腐蚀、防老化、摩擦系数大、使用寿命长等特点,且施工便利,具有较高的性价比;二是曲线土工格栅的摩擦和黏结能力相比直线形的下土工格栅更大,自支撑、自组织和自修复的生态功能更强,特别是对于边坡植被根系尚未生长发育的初期更为有利,有效增加了边坡结构的安全性能和减少路面交通事故隐患;三是所提供的设计计算方法原理清晰、科学合理、实用易行,能更好指导曲线型土工格栅生态边坡防护结构的设计施工,提高了安全性能。因此,本方法具有构造简单、经济节约、生态环保、安全可靠等使用优点,能较好地体现绿色工程建设理念,其结合相应的施工方法,还具有较高的经济效益、节能环保效益和社会效益<sup>[1]</sup>。

## 2 附图说明

本设计的结构立面示意图如图 1 所示,边坡断面图如图 2 所示,图 2 的曲线土工格栅受力图如图 3 所示。

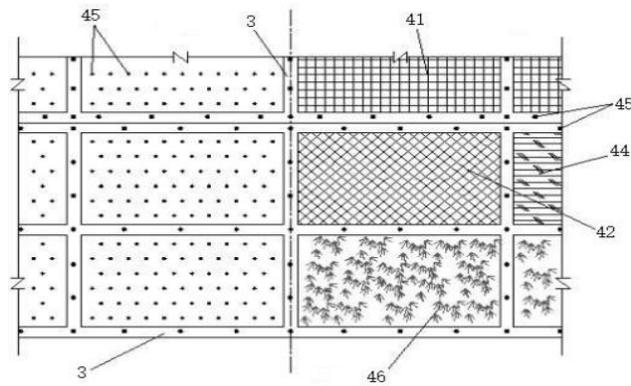


图 1 本设计的结构立面示意图

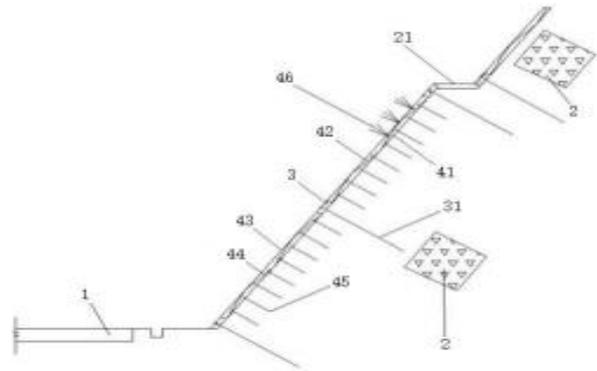


图 2 边坡断面图

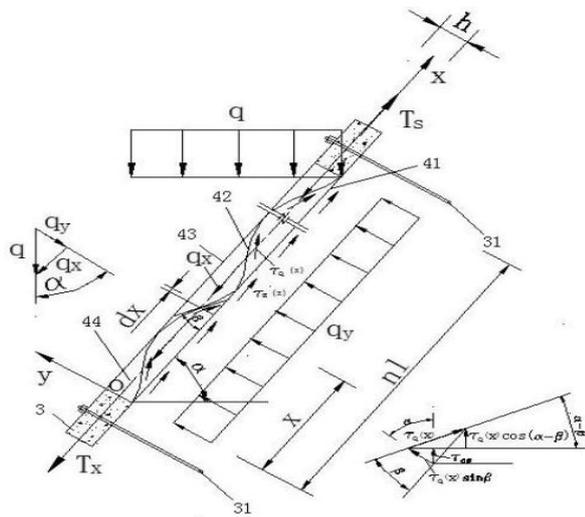


图 3 图 2 的曲线土工格栅受力图

如图 1 至图 3 所示，1—道路路面；2—边坡；21—碎落台；3—框格梁；31—锚杆；41—下土工格栅；42—曲线土工格栅；43—土工布；44—种植土；45—锚钉；46—植被<sup>[2]</sup>。

### 3 有益效果

曲线型土工格栅生态边坡防护结构及施工方法，该生态边坡防护结构包括道路路面以及设置在道路路面内侧路基或道路路面外侧路基的边坡，在边坡坡面上设置由锚杆锚固的多个矩形框格梁，并在每个框格梁内均设有由内而外

依次铺设在边坡坡面上的下土工格栅、内夹曲线土工格栅的种植土和外封的土工布，且下土工格栅和曲线土工格栅由多根锚钉固定在边坡上，种植土表层内掺加了形成植被所需的植物种籽。而这种边坡防护结构结合施工方法具有如下优点：

①是选用的下土工格栅和曲线土工格栅均为绿色节能环保的高强度材料，与传统的金属网状材料相比，具有强度高、变形小、抗腐蚀、防老化、摩阻系数大、使用寿命长等特点，且施工便利，具有较高的性价比。

②是曲线土工格栅的摩阻和黏结能力相比直线形的下土工格栅更大，自支撑、自组织和自修复的生态功能更强，特别是对于边坡植被根系尚未生长发育的初期更为有利，有效增加了边坡结构的安全性能和减少路面交通事故隐患。

③该方法提供的设计计算方法原理清晰、科学合理、实用易行，能更好地指导曲线型土工格栅生态边坡防护结构的设计施工，提高了安全性能<sup>[3]</sup>。

### 参考文献：

[1] 冯杰,郭康,谢杰,等.一种曲线型土工格栅生态边坡防护结构及施工方法:CN202211459071.9[P].CN115897619A[2024-11-18].  
 [2] 何飞,耿林,管勇,等.石质高陡边坡柔性生态防护技术[J].中国水土保持,2023(2):17-20.  
 [3] 张旭,王佳宇,向袁锋,等.无面板加筋土生态边坡防护体系及其施工方法[P].CN202011502072.8[2024-11-18].