

蜂巢格室生态护坡在山地城市的应用研究

赵文锋, 陈尊伟, 王莉娜

林同棧国际工程咨询(中国)有限公司, 重庆 400000

摘要: 山地城市的边坡具有高度高, 景观要求高, 绿化难度大等特点, 传统的混凝土护坡造价高, 施工难度大, 绿化效果差。蜂巢格室因具有运输便利、施工简单、生态环保、经济安全等优良性能而广泛应用于工程中, 非常适宜在山地城市的边坡绿化防护中推广应用。本文主要介绍了山地城市边坡的特点, 蜂巢格室护坡的作用原理及施工要点, 突出强调了施工过程中的重点注意事项, 通过工程案例的分析, 蜂巢格室护坡在山地城市中得到了良好的应用, 为后期蜂巢格室护坡的推广运用提供有益参考

关键词: 蜂巢格室护坡; 山地城市; 绿化

Application Research of Honeycomb Cellular Ecological Slope Protection in Mountainous Cities

Zhao Wenfeng, Chen Zunwei, Wang Lina

Lin Tongyan International Engineering Consulting (China) Co., Ltd., Chongqing 400000

Abstract: The slopes of mountainous cities are characterized by their high altitude, demanding landscape requirements, and difficulty in greening. Traditional concrete slope protection methods are costly, difficult to construct, and have poor greening effects. Honeycomb cellular structures, due to their excellent performance in convenient transportation, simple construction, ecological environmental protection, and economic safety, are widely used in engineering projects and are very suitable for promotion and application in slope greening protection in mountainous cities. This article mainly introduces the characteristics of slopes in mountainous cities, the working principle and construction key points of honeycomb cellular slope protection, and highlights the key considerations during the construction process. Through the analysis of engineering cases, honeycomb cellular slope protection has been well applied in mountainous cities, providing a useful reference for the later promotion and application of honeycomb cellular slope protection.

Keywords: honeycomb cellular slope protection; mountainous city; greening

一、概述

重庆属于典型的山地城市, 地形地质条件复杂, 道路建设中的高挖方、高填方非常普遍, 产生了大量的岩质边坡; 以往为保证高陡边坡的稳定性, 通常采用素喷混凝土或锚喷混凝土, 也采用锚杆框格梁等坡面防护。这些硬质防护施工难度大, 造价高, 人工劳力用量大, 工期长。这些防护虽然初期稳固和抗侵蚀效果较好, 但随着时间的推移, 岩石风化、混凝土老化和钢筋锈蚀使其效果越来越差^[1], 同时这些硬质防护景观效果极差^[2-3], 对生态的破坏比较大, 与周边环境不融合, 属于山地城市中的负面典型; 近年来的建设越来越注重环境保护, 景观绿化, 讲究人与自然的和谐, 因此, 有必要对山地城市岩质边坡防护进一步完善, 探寻一种施工简单, 造价低, 施工快, 绿化效果好的护坡方式。

蜂巢格室也称为土工格室, 最早出现于20世纪80年代, 作为一种新型的土工合成材料, 以其优异的性能迅速占据岩土工程

应用市场。蜂巢格室是由聚合物宽条带经由强力焊接或铆接键连接成的立体网状物, 在使用时张开并充填石或混凝土料, 能够构成强大的侧向限制和大刚度的结构体。一方面根据蜂巢格室的规格、高度、强度的不同, 可以用于坡面防护、冲刷防护及基础垫层。另一方面, 从环保角度看, 在蜂巢格室结构体上覆盖绿色植物, 不仅可以达到绿化效果, 同时可实现水土保持, 使得蜂巢格室成为当今社会不可多得的环保材料^[4]。

蜂巢格室优良的工程使用性能主要体现在以下几个方面:

(1) 蜂巢格室的化学性能比较稳定, 对酸碱有较强的耐性, 可以用于各种地质条件。(2) 具有强大侧向限制力, 防滑、防变形, 有效地增强坡面整体性和分散荷载作用^[5]。(3) 可以根据当地情况选择格室内的填充材料, 护坡营养土可优先选用清表土, 可以节省大量工程成本。(4) 规格齐全, 改变蜂巢格室高度、焊距等几何尺寸可满足不同的工程需要^[6]。(5) 蜂巢格室属于成品, 方便运输, 现场铺设简便, 拼接快捷方便, 速度快。

基金项目: 重庆市建设科技计划项目: 山地城市装配式混凝土挡墙及边坡防护构件技术研究(项目编号: 城科学2022第1-7号)。

作者简介: 赵文锋(1987.03-), 男, 汉族, 重庆, 正高级工程师, 硕士研究生, 岩土工程专业。

二、山地城市岩质边坡的特点

(1) 边坡高度较高，绿化难度大

山地城市道路施工时，往往存在大开挖的情况，会形成超限高边坡；城市的高边坡在支护处理时不仅要求安全可靠，还需要注意与周围景观的协调，尽量避免裸露岩体或混凝土喷护形成的坡面。坡面绿化在山地城市高边坡中是非常重要的，可以提升城市品质，突出山地城市的特色，营造独特的山地城市景观。

(2) 绿化难度大

部分山地城市的边坡较高，绿化实施时需保证客土的稳定性，以往的常规做法是采用锚杆框格梁进行固土；当边坡较高时，锚杆及格梁实施难度大，施工工期长，传统的格梁需在岩质边坡上刻槽，部分岩体较破碎时很难施工，刻槽时会对破碎岩体造成破坏，导致部分格梁底部悬空；锚杆框格梁的造价相对较高，绿化效果一般。

三、蜂巢格室生态护坡的防护机理

(1) 消减水能量，降低水对坡面的冲刷破坏程度^[4]

蜂巢格室结构强度高，可以对内部填充的土体起到很好的侧向限制作用。大范围铺设蜂巢格室后，在锚钉的固定作用下，边坡表面的种植土可以有很强的抗冲刷能力，起到稳定边坡的作用。蜂巢格室与边坡间设置塑料排水板，同时蜂巢格室中有蜂窝状孔眼，暴雨状态下渗入到土体内部的雨水可以顺畅地向下排出坡面，保持排水通畅，缓解效能动水压力，避免土体流失，保护喷播的植被种子及幼苗，提高植物的成活率。坡面的水能及时有效地排出，对边坡的稳定性起到至关重要的作用。

(2) 植被根系固土，增加土壤透水能力

蜂巢格室经过初期的养护，植被全面生长出来，特别是喷播草籽中的灌木得到一定的生长后，植被的根系可以起到很好的固土作用。此时植物根系与蜂巢格室共同作用，起到减少雨水冲刷，减缓雨水流速，加强雨水的渗透，有效的加固边坡，保证边坡的稳定。同时植被还可以起到很好的绿化和景观效果。

四、蜂巢格室生态护坡施工工序

山地城市高陡边坡绿化的基本要求是，需要一定厚度的土壤，能保证植物的顺利生长^[7]。

蜂巢格室植草施工顺序：清平边坡坡面 -- 施工锚钉 -- 挂蜂巢格室 -- 格室填10cm种植土 -- 喷8cm营养土 + 草籽 -- 外覆植物纤维毯 -- 养护。

(1) 清平边坡坡面：基面应清理干净，无树根、杂草，无尖角等杂物。表面处理平整，密实，再铺设蜂巢格室。

(2) 施工锚钉：锚杆应按设计图纸要求的间距及大小实施，锚杆应进行防锈处理，成孔放入锚杆后应及时灌浆。

(3) 挂蜂巢格室：在锚杆灌浆浆液达到一定强度后方可悬挂蜂巢格室，蜂巢格室与基面贴紧平顺，铺设时应避免张拉受力、折

叠、打皱等情况发生。应力求平顺，松紧适度，不得绷拉过紧。发现有损坏，应立即修补或更换。

(4) 格室填10cm种植土：回填的种植土应满足相关要求，严禁采用石块较多，砂砾的土质；建议回填时可采用喷播的方式，多次喷播，确保每个格室中的土体密实，饱满。

(5) 喷8cm营养土 + 草籽：在格室顶部喷播营养土 + 草籽，植草前应对草籽进行现场发芽试验，以确定合适的草籽和播种量。草籽应选有利于陡坡生长的植物；根据实际应用经验，建议山地城市可采用如下植物配比：狗牙根10%：白三叶10%：紫花苜蓿20%：金鸡菊15%：紫穗槐30%：木豆15%，喷播密度为100g/m²。

(6) 外覆植物纤维毯：草籽及营养土喷播完成后，养护非常重要，可靠的养护可以防止营养土被雨水冲刷，可以促进草籽的发芽生长，外覆植物纤维毯在初期起到很好的保护作用。

(7) 养护：植物纤维毯头尾均用铁丝丁或竹签加以固定，出苗后，为了促进草坪生长，应进行施肥，并根据气候情况适当浇水，就可以达到绿化边坡的效果。前期养护时间为45d左右，每天养护两次，早晚各一次。

五、施工中重点注意事项

(1) 蜂巢格室护坡适用的边坡坡率建议不陡于1:0.75，每级高度不大于10m。

(2) 格室应满足一定的强度要求，特别是连接处的强度；蜂巢格室规格：格室中应有蜂窝状孔眼，为HDPE材料，光面片材厚度≥1.3mm、纹面厚度≥1.8mm，焊距350~400mm，网高150mm，单组格室展开面积不小于4.0×5.0m；采用超声波焊接热熔工艺，双侧焊缝抗拉强度焊缝≥35KN/m，单侧焊缝抗拉强度≥17.5KN/m。片材无孔处屈服强度≥22MPa，有孔处屈服强度≥15MPa。片材（开孔率）透水率4%—7%，透水孔孔径7mm±6%，延伸率>11%。抗氧化诱导时间>210min。抗紫外线强度保持率≥70%。

(3) 蜂巢格室护坡搭接处锚钉应进行加密处理。蜂巢格室护坡两副格室间的搭接处是整体护坡中最为薄弱的地方，该位置处处理不好，在雨水的作用下，很容易整幅格室出现垮塌的现象，在该位置处锚钉采用加密处理是很好的加固措施，可以有效防止蜂巢格室护坡在养护过程及后期使用过程中的整体垮塌。

(4) 施工时应避免在雨季施工，也应避免在高温季节实施喷播植草绿化。

(5) 应及时实施坡顶及坡地截排水沟，及时将雨水有组织的排出坡面，减少暴雨情况下雨水对蜂巢格室护坡的冲刷。

六、工程案例

(1) 该工程道路位于重庆主城区两路组团S标准分区，属于渝北区空港新城，道路等级为城市主干路，道路全长约4420m，标准路幅宽度为44m，双向六车道，设计时速为60km/h。

边坡工程地质结构层如下：项目出露地层从新至老为第四系

全新统人工填土层 (Q_4^{ml})，残坡积粉质粘土层 (Q_4^{el+dl})，下伏基岩为侏罗系中统沙溪庙组 (J_{2s}) 红褐色泥岩和灰白色砂岩；侏罗系中统新田沟组 (J_{2x}) 灰黑、灰白色泥岩和灰白色砂岩；侏罗系下统自流井组 (J_{1z}) 黄绿色、灰黄色泥岩、灰白色砂岩和部分灰黑色泥灰岩。场地岩体从西至东分别为层状沙溪庙组砂岩、泥岩互层，以泥岩为主；层状新田沟组砂岩、泥岩互层，以泥岩为主；层状自流井组泥岩、泥灰岩互层；局部夹砂岩，以泥岩为主。

据地勘资料，该段道路两侧建议采用放坡处理，放坡坡率建议：素填土及粉质粘土取不陡于1:1.50、岩体取不陡于1:1.00，本次设计土质边坡按1:1.5开挖；岩质边坡按1:1开挖，高于8m的边坡采用分台阶，每8m一级，两级台阶中间留2.0m宽马道。坡顶有水流汇集时，在边坡坡顶外5m设截水沟。挖方边坡最大高度约40m，坡面采用蜂巢格室护坡。



图1 工程建成2年后效果

(2) 该工程道路位于北碚组团I标准分区，道路等级为城市次干路，设计速度40km/h，双向四车道，标准路幅宽为26m。

场地土层主要为第四系全新统素填土 (Q_4^{ml})、残坡积粉质黏土 (Q_4^{el+dl})，下伏基岩为侏罗系中统沙溪庙组 (J_{2s}) 泥岩、砂岩，自新到老分述如下：

1) 素填土：褐灰色、杂色，主要由粉质黏土及砂岩、泥岩碎块石组成，为道路平场及居民修建民房回填形成，块径为5~300mm，最大块径可达500mm，硬质物含量约为5%~20%，回填时间大于8年，结构多呈松散~稍密，稍湿，钻探揭露厚0.80~4.70m。

2) 基岩为沙溪庙组 (J_{2s}) 泥岩、砂岩

a. 泥岩：紫红色、暗紫色，泥质结构，中~厚层状构造，局部夹黄灰色粉砂质条带及薄层状黄灰色砂岩，单层厚2~150mm

不等，与泥岩不等厚产出。为场地主要岩石，分布于沿线大部地段，钻探揭露厚0.80~53.80m。

b. 砂岩：黄灰色、浅灰色、局部夹少量暗紫色泥质条带，中细粒结构，中~厚层块状构造，泥质、钙质胶结。主要矿物成分为长石、石英，次为云母碎片、暗色矿物及岩屑组成。为场地主要岩石，分布于道路沿线大部地段，钻探揭露厚度0.40m~21.00m。

挖方边坡最大高度约26m，采用坡率法支护，土质和强风化岩质边坡坡率1:1.5；中风化岩质边坡坡率1:1；间隔8m高度分级开挖，每两级间设置2m宽平台。边坡坡面采用蜂巢格室生态护坡。



图2 工程建成2年后效果

通过以上两个工程实例可以得出以下结论：蜂巢格室在施工完成2年后，经历了各种极端天气，包括高温、极寒、暴雨、大风等，边坡的植被依然有很好的长势，喷播的植被与原坡体植被和谐共处，基本上融为一体，绿化效果好。蜂巢格室护坡非常适宜在山地城市的高边坡中应用，可以起到很好的绿化效果。

七、结语

蜂巢格室属于一种立体加筋材料，具有强侧限、半刚性网兜作用，有较高的片材拉伸强度、较高节点剥离强度及节点剪切强度。根据城市岩质边坡的工程特点和蜂巢格室护坡的作用机理，总结在施工过程中的问题总结，主要获得如下结论：蜂巢格室与植草相结合，形成一种新型的护坡方式，与传统拱形骨架植草护坡相比较，具有施工操作简单，施工效率高、植被成活率高、成本较低的特点，不仅能有效减少水土流失，还能改善原有的生态环境，非常适合在山地城市进行推广应用。

参考文献

- [1] 蒋德松, 蒋冲. 城市岩质边坡土工格室生态防护技术及其应用 [J]. 湖南大学学报 (自然科学版), 2008, (11): 12-16.
- [2] 何文斌. 土工格室植草护坡的稳定性分析 [J]. 交通标准化, 2013, (14): 23-26. DOI: 10.16503/j.cnki.2095-9931.2013.14.033.
- [3] 胡畏, 夏建满. 路堑石质边坡土工格室植草防护 [J]. 中外建筑, 2008, (06): 160-162.
- [4] 刘金萍, 黄安荣, 石文建. 土工格室的作用机理与工程应用现状 [J]. 黑龙江交通科技, 2015, 38(08): 17-18. DOI: 10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2015.08.009.
- [5] 刘宏波. 浅谈土工格室在公路工程生态建设中的应用 [J]. 林业建设, 2019, (01): 62-64.
- [6] 蒋建良, 王华俊, 卿翠贵, 等. 采用土工格室的公路岩质陡坡绿化研究 [J]. 公路, 2019, 64(04): 305-308.
- [7] 常阿娜, 田昌凤, 王睿, 等. 土工格室在高速公路下边坡绿化施工中的应用 [C]//《施工技术》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2023年全国土木工程施工技术交流会论文集 (下册). 云南省建设投资控股集团有限公司, 2023: 3. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.105163.