DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.250621

超高加筋格宾挡墙在王葆心大道高填土路堤中的应用与研究

刘平津,黄　悦
(中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司,湖南 长沙 410014)

摘　要: 受地形限制,城市外延市政道路局部路段填挖方较大。为保障王葆心大道高填土路堤边坡结构安全,通过对加筋格宾挡墙的结构组成与特性、加筋破坏形式、变形特性、抗震功能分配研究,以罗田县乡村振兴PPP项目王葆心大道加筋格宾挡墙设计方案为实例,结合筋带抗拔稳定性及筋带抗拉强度等内部稳定性计算成果,介绍加筋格宾挡墙的主要材料性能要求并分析其主要施工工艺,表明了具有经济耐用、生态环保、节约用地、施工便捷等优势的超高加筋格宾挡墙在城市外延市政道路高填土路堤边坡支挡领域具备广阔的应用前景。

关键词: 超高加筋格宾挡墙;城市外延市政道路;边坡支护;高填土路基;筋带抗拔稳定性;筋带抗拉强度;乡村振兴

中图分类号: U416.1;TU997　　**文献标志码:** B　　**文章编号:** 1009-7716(2026)01-0181-04

Application and Research of Ultrahigh Reinforced Gabion Retaining Wall in High Fill Embankment of Wangbaoxin Avenue

LIU Pingjin, HUANG Yue
(PowerChina Zhongnan Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Changsha 410014, China)

Abstract: Due to topographic constraints, the filling and excavation of local sections of urban external municipal roads are relatively large. In order to ensure the structural safety of the high fill embankment slope of Wangbaoxin Avenue, through the study of the structural composition and characteristics, reinforcement failure forms, deformation characteristics, and seismic function allocation of reinforced Gabion retaining walls, taking the design scheme of reinforced Gabion retaining walls on Wangbaoxin Avenue in the Luotian County Rural Revitalization PPP Project as an example, and combined with the calculation results of internal stability such as the pull-out stability and tensile strength of the reinforcement strip, the main material performance requirements of reinforced Gabion retaining wall are introduced and its main construction technology is analyzed, which shows that the ultrahigh reinforced Gabion retaining wall has the broad application prospects in the field of high fill embankment slope support of urban external municipal roads because of its advantages of economic durability, ecological environmental protection, land conservation and convenient construction.

Keywords: ultrahigh reinforced Gabion retaining wall; urban external municipal roads; slope support; high-fill embankment; pull-out stability of reinforcement strip; tensile strength of reinforcement strip; rural revitalization

0　引　言

新时代实行乡村振兴战略、建设美丽中国、坚持城乡融合发展大背景下,乡村基础设施水平大幅提高,城市外延不断拓展,经济发展与生态保护的协同日益重要,土地资源的利用和保护愈发关键,道路建设迫切需要经济、环保、可靠并且节约用地的新型边坡支挡结构。下面以王葆心大道为例,研究超高加筋格宾挡墙在城市外延市政道路高填土路堤中的应用的设计要点。

收稿日期:2025-06-26
作者简介:刘平津(1994—),男,硕士,工程师,从事道路交通规划设计及工程管理研究工作。

1　加筋格宾挡墙的结构特性、变形特点及抗震研究

1.1　加筋格宾挡墙定义、结构组成与结构特性

加筋格宾挡墙是指将满足设计要求的填料装入格宾网箱(见图1),格宾网箱与加筋材料连接并逐层堆叠形成的新型柔性挡墙,主要由格宾、填料、筋材

及配套附属结构(排水垫、附着植物、联结构件等)组成,是一种受力十分复杂的多材料柔性复合结构,其特点也具有多样性,主要特点有经济耐用、生态环保、节约用地、施工便捷、整体轻柔、自透水性等。

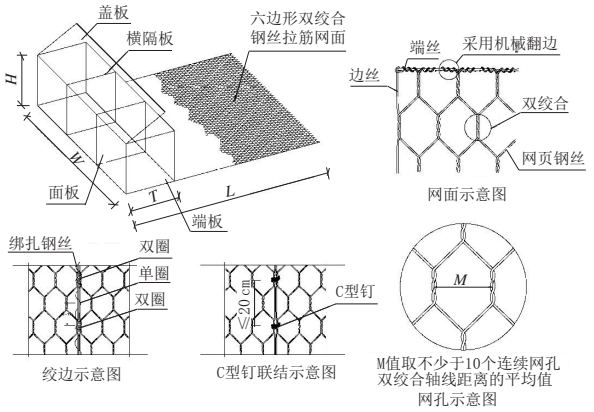

图1　格宾典型构造图

根据加筋土摩擦理论,加筋格宾挡墙基本工作机理为填料或外部荷载产生的土压力作用于格宾面板,由格宾面板网带经过连接件将土压力传导至筋带(集束格栅),具有足够抗拉强度的筋带与填料之间摩擦力抵抗侧向土压力,起到路堤边坡支护和稳定土体的作用。结合李昀等[1]对加筋挡土墙动力特性研究,其结构特性的主要影响因素是填料、筋材、筋土相互作用、地基特性。其中筋土相互作用是加筋格宾挡墙研究的重难点,技术路线总结为三种,第一种是将筋带与土体独立考虑,第二钟是将筋带与土体视为筋-土复合体(加筋体)考虑,第三种是将筋带作为附加在土体上附加荷载考虑,主体为土体。本文计算理论将筋材与土体视为筋-土复合体(加筋体)考虑。

1.2　加筋格宾挡墙加筋破坏形式、变形特性

加筋破坏分为断裂破坏和摩擦破坏两类。本项目采用柔性筋材仅提供拉力,限值土体侧向位移,计算中不考虑筋材本身剪力。加筋材料埋置于填料(路基填土等)中,承受水平方向荷载时,将产生一定量形变,形变过程中筋材上下界面将同时产生摩阻力,当摩阻力到达一定数值后,筋材位移急剧增大而水平荷载变化基本稳定时,筋材拔出失效,此时筋材为摩擦破坏。理论上在摩擦破坏(筋带被拔出)之前会有先发生断裂破坏可能性,结合工程实践,一般筋材受拉远未达到受拉极限值,几乎不会发生断裂破坏,加筋格宾挡墙结构失效主要来自排水设计不当或结构施工不到位两类情况,工程设计应予以重视。结合黄向京[2]等对不同挡墙高度拉筋应变数据分析,各层筋材的应变在筋材铺展方向上呈不均匀分布;填土高度变化时,各层筋带应变沿筋材铺展方向的分布趋势基本相同,但位于格宾挡墙不同高度层筋材的应变分布模式不相同。目前各行业规范对于加筋格宾挡墙基本均采用0.3H简化破裂面,即破裂面竖向部分与墙面板背面距离Bh为0.3H。公路行业规范将破裂面简化为上部平行于墙面,下部通过墙趾的两段折线,破裂面往面板侧为活动区,破裂面往路基内侧为稳定区,未明确破裂面的转折点位置具体位置。实际破裂面需根据加筋格宾挡墙具体设计参数(填料、筋材、筋土相互作用、地基特性等)通过试验确定。

1.3　加筋格宾挡墙抗震功能分配与控制措施

加筋格宾挡墙作为一种多材料柔性复合结构,结合路基性能要求,其受地震等作用影响变形特性需重点研究。格宾网整体性较好,地震作用下发生局部变形较为常见[3]。筋带主要作用是提高筋土复合体抗剪强度、变形性能和整体稳定性。由于路堤整体受重力作用,底部受约束更大,路堤顶部经放大作用加速度比底部更大,挡墙顶部在地震荷载作用下动土压力最大,顶部碰撞及拉裂是其最普遍破坏形式[4]。结合项目实际情况,可通过提高路基填料压实度、加厚墙体、加密拉筋间距、加长拉筋长度、采用复核拉筋组合等方式控制变形幅度,满足路基沉降要求。根据刘兆生等[5]大瑞人工合成波加筋格宾挡墙振动台试验研究,通过格宾面板与加筋分别设置的系列对照组试验得出地震荷载作用下加筋格宾挡墙中格宾面板起主要抗震作用,布置加筋能提高整体抗震效果,而底部拉筋对抗震效果十分有限,结构安全前提下,应进行针对性设计。

2　工程概述

2.1　工程简介

本工程是对现有公路的市政化升级改造工程,位于城市外延城郊结合部,现状道路为二级公路,路基宽度12 m=1.5 m土路肩+9 m行车道+1.5 m土路肩。路侧分布乡村居民点。王葆心大道(登场坳至石井头段)为城市干路,设计速度50 km/h,路线全长4.620 km,道路标准红线宽度为30 m。

道路总体分三段建设:K0+000～K1+420路段,维持现状道路中线,进行市政化改造;K1+420～K4+200路段受沿线杆线、民房、基本农田等控制因素影响,采用单侧和双侧拼宽方案,为利用老路改造;

K4+200 ~ K4+619.749 路段偏离老路范围为完全新建段。

2.2　设计方案

据地勘成果，本项目第二段（K1+420 ~ K4+200）中 K2+530 ~ K2+630 路线左侧分布基本农田，鱼塘零星分布，属丘陵山区，上述路段道路竖向标高抬升且路基加宽后正常放坡无法避让基本农田，地基承载力制约常规重力式挡墙布置，严重影响道路可行性，路基布置形式需结合地基承载力分析比选可收束坡脚挡墙可行性。

结合前述加筋格宾挡墙特性分析，拟对 K2+530 ~ K2+630 路基左侧采用加筋格宾挡土墙进行边坡防护（见图 2 ~ 图 4），该加筋格宾挡土墙为路肩墙，最大墙高为 17 m，加筋格宾挡墙面板坡比为 1∶0.2，分两级布置，自下往上层高为 7 m+10 m，中间平台宽 2 m，底部 1 ~ 2 层格宾埋入土中，满足最小埋深要求，集束格栅铺设于格宾网带之下，用绑扎钢丝或 C 型钉连接，两级加筋格宾挡墙分界处及地表在集束格栅、格宾网带之上铺设复合排水垫便于路基排水，格宾面板后布置聚酯长纤无纺布进行反滤。格宾墙顶设 C25 混凝土标高调节块并布置人行道护栏。

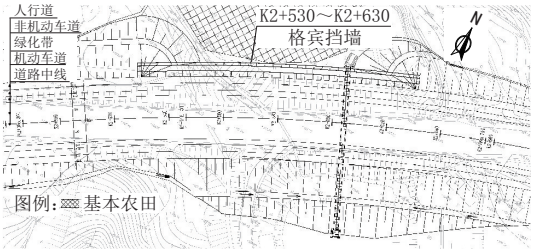

图 2　K2+530 ~ K2+630 路段加筋格宾挡墙布置平面图（单位：m）

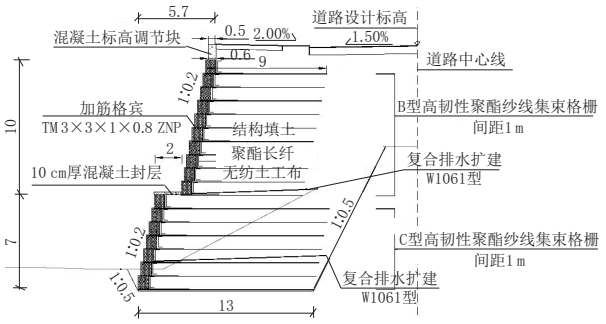

图 3　加筋格宾挡墙典型断面布置图（单位：m）

2.3　计算验算

加筋破坏计算是加筋格宾挡墙区别于常规挡墙的内部稳定性计算主要内容，本文详述筋带抗拔稳定性及筋带抗拉强度计算过程，分别对应摩擦破坏验算和断裂破坏验算，同时需进行加筋格宾挡墙全墙抗拔稳定计算，计算将筋材与土体视为筋-土复合体（加筋体）考虑，加筋拉力通过摩擦作用传递至填土中，其竖向分力 T_V 和力矩 M_T 对减小偏心距有利，人群荷载视为对挡土墙结构起有利作用，外部稳定性指标（抗滑移稳定系数、抗倾覆稳定系数、基底压应力等）及整体稳定性安全系数均满足规范要求，计算结果基于 GEO5 软件。墙后填土采用满足技术参数要求路基填料（见表 1），格宾挡墙基底为强风化片麻岩。

图 4　加筋格宾挡墙实景图

表 1　地勘土体参数表

岩土层名称	承载力特征值/kPa	墙背与土层内摩擦角/（°）	基底摩擦系数	γ/（kN·m^{-3}）	C/kPa	φ/（°）
路基填料	—	17.5	—	19.0	0	35
强风化片麻岩	600	—	0.6	24.0	50	20

主要计算参数取值根据《城市道路路基设计规范》（CJJ 194—2013）[6] 第 6.4.6 条、表 6.4.5、表 6.4.6-3 选用，本模型考虑永久作用和基本可变作用，计算考虑组合Ⅰ与组合Ⅱ工况，垂直恒载分项系数取 0.9，恒载、车辆荷载的主动土压力分项系数取 1.4，人群荷载的主动土压力分项系数取 1.0，结构重要性系数 γ_0 取 1.0。

对于筋带抗拔稳定性，受力最不利的筋带为顶部第 1 层筋带，筋带受力 T_0 为 7.44 kN/m，抗拔力 T_{pi} 为 39.32 kN/m，筋带抗拔力计算调节系数 γ_{R1} 取 1.4，抗拔稳定性按公式 H.0.7-8 验算：

$$\gamma_0 T_0 \leqslant T_{pi} / \gamma_{R1} \tag{1}$$

对于筋带抗拉强度，受力最不利的筋带为从上至下第 16 层筋带，筋带受力 T_0 为 51.9 kN/m，筋带长期抗拉强度 f_k 为 135 kN/m，根据《公路路基设计规范》（JTG D30—2015）[7] 表 H.0.7-3，筋带抗拉计算调节系数 γ_{R2} 取 2.0，筋带材料抗拉性能的分项系数 γ_f 取 1.25，抗拉强度按公式 H.0.7-9 验算：

$$\gamma_0 T_0 \leqslant f_k / \gamma_f \gamma_{R2} \tag{2}$$

全墙抗拔稳定性按公式H.0.7-10验算:

$$K_b=\sum T_{pi}/\sum T_i \quad (3)$$

筋带抗拔稳定性、筋带抗拉强度与全墙抗拔稳定系数三大内部稳定性计算均满足要求。以最不利断面K2+600为例,加筋格宾挡墙的外部稳定性、内部稳定性、整体稳定性主要计算结果见表2。加筋格宾挡墙计算模型简图见图5。

表2 加筋格宾挡墙分析主要计算结果汇总表

计算指标		计算值	限值
外部稳定性	抗滑移稳定系数	2.88	1.3
	抗倾覆稳定系数	7.19	1.5
	基底压应力/kPa	291.6	600.0
内部稳定性	筋带抗拔稳定性/(kN·m^{-1})	7.44	28.07
	筋带抗拉强度/(kN·m^{-1})	51.9	54.0
	全墙抗拔稳定系数	18.8	2.0
整体稳定性	安全系数	1.86	1.25

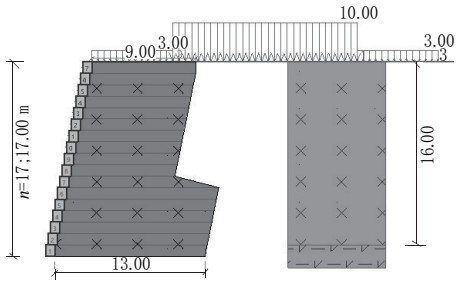

图5 加筋格宾挡墙计算模型简图(单位:m)

2.4 主要材料基本性能要求

加筋格宾挡墙选材需契合具体项目应用场景的外部因素及受力特点,主要材料基本性能要求如下:

格宾:规格上采用TM3×3×1×0.8ZNP,即长度L=3 m,宽度W=3 m,高度H=1 m,厚度T=0.8 m,格宾材质为镀锌覆高耐磨有机涂层格宾,格宾网带长度可根据项目挡墙规模调整。力学性能上需满足网面标称抗拉强度及翻边强度要求;有机涂层应进行抗UV性能测试,且冲击脆化温度需满足耐久性要求。

筋材:加筋格宾挡墙自下往上两级分别采用C型、B型高韧性聚酯纱线集束格栅,格栅在设计使用条件下的蠕变折减系数(不大于1.38)、施工损伤折减系数(不大于1.04)、长期老化折减系数(不大于1.03)后纵向长期允许抗拉强度分别为135、101 kN/m。

排水垫:200 kPa下水力梯度1时平面通水量为1.18 L/(m·s)、纵向抗拉强度14 kN/m、单位面积质量670 g/m^2。

2.5 主要施工工艺及流程

加筋格宾挡墙总体施工方案是循环装配式施工,格宾及筋材等特种材料定制后运抵施工现场前需先进行施工组织准备,然后根据设计图纸进行测量放样,结合基础开挖情况及地基承载力要求判断是否需要进行地基处理,格宾安装前先铺设集束格栅,然后进行组装、填石、封口等一系列格宾安装,同步施工排水垫及土工布等附属设施,按此循环逐层完成加筋格宾挡墙施工,施工完成后需由第三方检测单位进行工后沉降及变形监测。

3 结 语

新时代乡村振兴、城乡融合发展大潮之下,城市外延不断拓展,本文依托乡村振兴项目市政道路具体案例研究,结合加筋格宾挡墙结构设计计算中内部稳定性中筋带抗拔稳定性、筋带抗拉强度等指标计算,论证了具有经济耐用、生态环保、节约用地、施工便捷等性能特点的加筋格宾在市政道路高路堤边坡支挡领域有广阔的应用前景。

参考文献:
[1] 李昀.格宾加筋挡土墙动力特性试验研究及数值分析[D].长沙:中南大学,2010.
[2] 黄向京,许桂林,彭立.加筋格宾组合式挡墙破裂面及承载力特性[J].中国公路学报,2011,24(6):33-38.
[3] 朱宏伟,项琴.格宾挡墙的变形控制对策及尺寸优化设计[J].水文地质工程地质,2015,42(4):85-89.
[4] 刘兆生.路堤工程抗震设计研究[D].成都:西南交通大学,2011.
[5] 刘兆生,姚令侃,朱宏伟,等.加筋格宾挡墙动力特性分析及设计要点[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2011,30(6):1354-1358.
[6] CJJ 194—2013,城市道路路基设计规范[S].
[7] JTG D30—2015,公路路基设计规范[S].