

自锁式景观砌块加筋挡土结构的设计与应用

陈桂奇¹, 王保田², 王永安¹, 张 军¹

(1. 江苏省高速公路建设指挥部, 江苏 南京 210005; 2. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098)

摘要 介绍砌块仿花岗岩挡土结构的特点和砌块形状, 针对砌块挡土结构在我国刚开始应用, 没有设计、施工规范现状, 依托可以借鉴的加筋挡土结构和浆砌块石挡土结构设计规范, 提出了自锁式砌块加筋挡土结构设计中的地面荷载强度及土压力计算方法、砌块层间稳定验算方法、加筋长度和间距验算方法、挡土结构整体稳定验算方法和施工过程中需要注意的主要问题, 为自锁式砌块加筋挡土结构设计人员提供了设计验算内容、验算方法和安全系数取值范围, 为现场施工和监理人员提供参考, 并为该类型的挡土结构推广应用提供技术支持。

关键词 挡土结构; 混凝土砌块; 加筋土工格栅; 土压力

中图分类号: TV314; TU528

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2007)03-0057-03

Principle and application of self-locked scenic granitiform reinforced concrete block retaining wall//CHEN Gui-qi¹, WANG Bao-tian², WANG Yong-an¹, ZHANG Jun¹(1. Expressway Construction Headquarters of Jiangsu Province, Nanjing 210005, China; 2. Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: An introduction was given to the characteristics of the granitiform retaining wall and the shape of blocks. Based on the design codes of reinforced concrete block retaining wall and stone masonry retaining wall, the calculation methods for surface loads and earth pressure, the checking methods for the stability between block layers, the length and spacing of geotextile, and the integral stability of the retaining wall were proposed for design of the self-locked granitiform reinforced concrete block retaining wall, and some problems which should be paid much attention in the construction were put forward. The present method could provide designers with rational ranges and calculation methods of safety factors for such type of retaining wall, and it was of certain reference values to construction personnel and supervisors. Moreover, the results of study also provided technical support for application and popularization of such type of retaining wall.

Key words: retaining wall; concrete block; reinforced geo-grid; earth pressure

本文介绍一种在我国刚开始使用的以预制混凝土块为建筑材料的新型挡土结构, 笔者将其命名为自锁式砌块加筋挡土结构。该结构克服了传统的条石、干砌块石、现浇混凝土等重力式挡土结构体积大、对地基承载力要求高、外观呆板等缺点, 具有外观漂亮、柔性好、对地基承载力要求低、工厂生产质量易于保证、现场安装规范简单等优点, 并具有很好的生态效应。

在土木、水利工程建设中经常使用挡土结构, 其中重力式挡土墙使用最为广泛。按照建筑材料分类, 重力式挡土墙使用最多的是干砌或浆砌块石, 也有少量现浇混凝土结构, 因其造价较高, 不能大量使用。干砌或浆砌块石挡土墙由于是散体结构, 抗剪和抗弯刚度低, 通常体积大, 对地基承载力和变形要求高, 因此在土基上不能设计成高度大的挡土结构。

近年来, 由于环保要求不断提高, 开山挖石受到越来越严格的控制, 使干砌或浆砌块石挡土墙造价不断增加。

自锁式砌块加筋挡土结构与传统的干砌或浆砌块石重力式挡土墙、浇筑混凝土挡土墙等挡土结构相比具有如下优点: ①挡土结构本身质量小。通过在预制混凝土块中留孔的方法, 使块体的表观密度控制在 $1.8 \sim 2.0 \text{ t/m}^3$, 比岩石和现浇混凝土的密度低, 基本上与压实土的密度一致。②块体间具有相互咬合连接。预制块间通过台阶、榫接等方式相互咬合, 具有锁定作用, 增加了接触面的剪切强度, 从而提高了承担土压力的能力, 这种咬合连接能够适应较大变形。③砌块与墙后填土形成整体。通过墙体和墙后填土中分层铺设的土工格栅形成的加筋连接, 使砌块与墙后填土形成整体结构, 改善了挡土结

基金项目: 江苏省交通科技计划项目(04Y040)

作者简介: 陈桂奇(1962—), 男, 江苏泰兴人, 高级工程师, 从事高速公路路基与桥梁工程施工及管理工作。E-mail: cgg0312@126.com

构的受力特性。砌块仅需承受两层加筋之间的土压力作用,由土工格栅将土压力传递到加筋土区。加筋土区的土体抗剪强度比压实素土高。④砌块外观劈裂面为粗糙的花岗岩景观形态,色调可以根据工程整体自然环境效果调配,具有几十种颜色供设计人员选择。颜色为自然岩石粉调和而成,具有抗风化能力强、在设计寿命期限内不褪色的特点。⑤施工速度快,质量控制和检测系统完善。

1 挡土结构的形态

自锁式挡土结构的单块形状和建成后的挡土结构外观形态实例如图 1 所示,其中图 1(a)为笔者 2005 年参与设计的新型砌块。实际上,砌块可以按照结构和美学的要求设计成各种各样的形态。

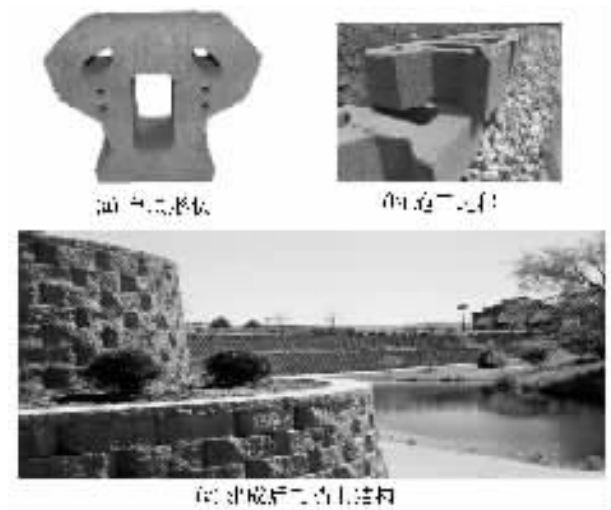


图 1 自锁式挡土结构的外观形态

2 挡土结构设计

自锁式砌块挡土结构设计目前国内没有合适的规范可遵循,其中安全系数可以遵守重力式挡土结构规范的规定。自锁式砌块挡土结构计算包括以下 4 个方面的内容。

2.1 地基承载力校核

自锁式挡土结构能够在承载力较低的地基上施工,由于整个结构具有较好的对地基变形的适应能力,使得该结构形式的挡土结构在地基出现较大不均匀沉降时仍能保持稳定。图 2 所示的挡土结构剖面是自锁式挡土结构的典型形态,墙面倾斜角可以在 $10.6^{\circ} \sim 18^{\circ}$ 的范围内调整。因为砌块的表观密度为 $1.8 \sim 2.0 \text{ t/m}^3$,基本与填土的密度一致,因此没有必要单独校核墙基的承载力,只需要将挡土结构与墙后填土一起考虑。按照地基设计规范^[1],单级挡土高度应该限制在如下范围内:

$$H \leq \frac{f}{\rho} \tag{1}$$

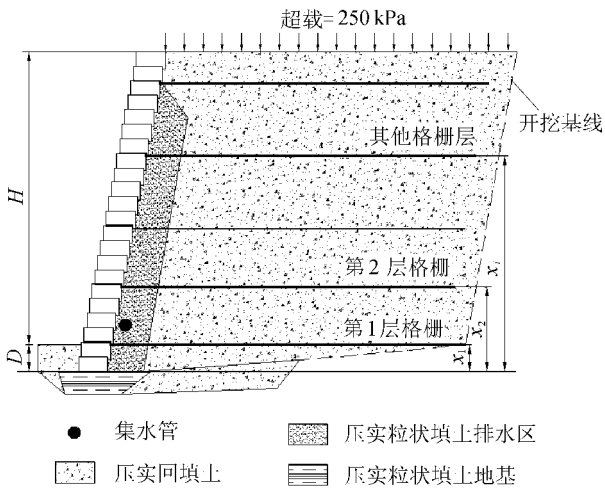


图 2 典型的自锁式挡土结构剖面图

式中: H 为挡土墙后填土高度; f 为地基承载力设计值; ρ 为填土密度,一般取 2.0 t/m^3 。

2.2 整体抗滑稳定性校核

对于图 2 所示的挡土结构形态,由于填土中土工格栅的抗拉作用,使地基发生滑动变形时填土内不会出现拉裂缝,填土的抗剪能力能够充分发挥。整体抗滑稳定性校验可以按照加筋土坡抗滑稳定计算的“荷兰法”进行。整体抗滑稳定安全系数 F_{sl} 计算公式^[2]如下:

$$F_{sl} = \frac{\sum (c_i l_i + W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + T_f)}{\sum W_i \sin \alpha_i} \tag{2}$$

式中: c_i, φ_i 为第 i 土条在滑面位置的土体抗剪强度指标; W_i 为第 i 土条单位长度的质量; α_i 为第 i 土条滑面中点的切线与水平线的夹角; T_i 为穿过第 i 土条滑面位置的土工格栅的拉力,一般可取 $T_i = 0.5 T_f$; T_f 为土工格栅的抗拉强度。按照挡土结构设计规范^[3-4]要求: $F_{sl} \geq 1.5$ 。

2.3 挡土结构整体抗剪破坏校核

需要校核挡土结构在土压力作用下是否会在挡土墙底面位置发生剪切破坏。由于土工格栅的加筋作用,使挡土结构与土工格栅的加筋区形成一个整体,只有挡土结构与土工格栅的加筋区同时发生剪切破坏时才可能使挡土结构发生整体剪切破坏。挡土结构整体抗剪破坏安全系数计算公式如下:

$$F_{s2} = \frac{\rho H l \tan \varphi_0}{E_a} \tag{3}$$

式中: l 为挡土结构与土工格栅的宽度之和; φ_0 为挡土结构和加筋土的平均内摩擦角,当压实黏土作为回填土时 $\varphi_0 = 15^{\circ} \sim 20^{\circ}$,当砂砾石作为回填土时 $\varphi_0 = 26^{\circ} \sim 30^{\circ}$; E_a 为土工格栅末端位置在挡土结构高度范围内的主动土压力,可以用朗肯土压力理论或库仑土压力理论计算。 F_{s2} 可取为 1.5 ^[3-4]。

2.4 土工格栅的设计

自锁式砌块挡土结构中,土工格栅对结构稳定起

关键作用。首先,土工格栅把挡土砌体与墙后填土连成整体,约束填土变形,增加了填土的强度;其次土压力通过土工格栅传递给填土,从而保持砌体结构稳定。在砌块挡土结构施工中,土工格栅除了强度需满足要求外,它与填土及砌块间的摩擦强度也很重要,同时,需要格栅的柔性好,在砌块后缘处能适应变形要求。为了充分发挥土工格栅的强度作用,要求格栅发生破坏时的应变 ε_f 不能太大(ε_f 一般应小于8%)。设计中,砌体结构稳定校核计算方法如下:

每层土工格栅可能提供的拉力为

$$T_i = \min\{T_f/k, F_i\} \quad (4)$$

式中: k 为安全系数,按照规范^[3-4]一般取 $k=2$; F_i 为土工格栅与挡土砌块间的有效摩阻力, kN/m。

按照实验室的测试成果, F_i 可用式(5)表示:

$$F_i = c + N_i \tan \varphi \quad (5)$$

式中: φ 为土工格栅与砌块间的摩擦角,对于有后缘的砌块 $\varphi=32^\circ \sim 35^\circ$ 。对于无后缘的砌块 $\varphi=20^\circ \sim 22^\circ$; c 为土工格栅与砌块间的咬合力,对于有后缘的砌块 $c=6 \sim 10$ kN/m,对于无后缘的砌块 $c=0$; N_i 为第 i 层以上的砌块重量产生的法向力,与砌块墙面的倾角有关,具体计算公式见文献[5]。

对于具有后缘的自锁式挡土结构, F_i 在14~18 kN/m的范围内。因此,为了充分发挥土工格栅的作用,工程上最好选用抗拉强度 $T_f=35 \sim 45$ kN/m的土工格栅。

砌块结构的稳定性校验需要在图2所示结构上,任选一个上下两层砌块界面,校验其力的平衡和力矩平衡。

a. 力平衡条件

$$\sum T_i + F - E_a \geq 0 \quad (6)$$

式中: $\sum T_i$ 为砌块界面以上脱离体范围内土工格栅拉力总和; E_a 为砌块界面以上部分的主动土压力,可以用朗肯土压力理论或库仑土压力理论计算; F 为砌块界面上抵抗剪切破坏的力,可以用式(7)计算:

$$F = c' + N \tan \varphi' \quad (7)$$

式中: c' 为由砌块后缘提供的抗剪断力,一般 $c'=15 \sim 20$ kN/m,对于无后缘的砌块 $c'=0$; φ' 为挡土块接触面间的摩擦角,一般 $\varphi'=24^\circ \sim 26^\circ$; N 为界面以上的砌块重量产生的法向力。文献[5]中对 N 有详细介绍,基本思想是从计算的界面砌块后缘处向上作竖直线,该线在墙体外立面出露点到界面之间的高度乘以砌块容重即为单位面积法向力 N ;若竖直线在墙顶出露,界面到墙顶之间的高度乘以砌块容重即为单位面积法向力 N 。

b. 力矩平衡条件。可由图2的砌块界面上任一点取力矩平衡,使满足 $\sum M=0$ 。力矩由土压力、砌块界面以上块体重力、加筋拉力组成。

由以上砌块挡土结构设计计算内容可知,4个方面的安全稳定验算方法和安全系数取值可分别参考重力式挡土结构设计规范^[1]和加筋挡土结构设计规范^[6]。国内已经有高度20 m以上的加筋挡土结构实例,单级砌块加筋挡土结构的高度已经达到了9 m,采用退缩台阶式结构,本文介绍的砌块加筋挡土结构的高度可以达到任何需要的高度,并非仅限于在中小型挡土结构中使用。本结构应用的唯一前提条件是墙后有足够的填土空间,在填土过程中能分层铺设长度足够的加筋土工格栅。

3 国内应用实例

新型砌块挡土结构自1998年开始在国内推广,开始只是在一些城市居民小区作为小型景观挡土结构,自2003年开始,在水利工程和高速公路工程中作为大规模景观挡土结构建设,得到快速发展。在南京化学工业园散洪河、扬州沿山河和南水北调东线工程扬州段等工程中得到了实际应用,这些工程的单级挡土墙最大高度为5.8 m。

4 结 论

a. 自锁式砌块挡土结构外观漂亮,与环境协调性好,在我国是一种正在推广的新型柔性挡土结构。

b. 自锁式砌块挡土结构的块型多种多样,可以根据稳定和美观要求不断推陈出新。

c. 自锁式砌块挡土结构依靠土工格栅将砌体与填土连成整体,增加了结构的稳定性。

d. 自锁式砌块挡土结构设计从地基承载力、整体抗滑稳定性、整体抗剪破坏情况、结构稳定性等4个方面进行,容许安全系数取值可参考重力式挡土结构设计规范和加筋土挡土结构设计规范。特别需要强调的是,加筋土工格栅的长度、间隔、质量和铺设合理性是该结构成功与否的关键。

参考文献:

- [1] JTJ015—91 加筋土工程设计规范[S].
- [2] 王保田,张福海.土力学与地基处理[M].南京:河海大学出版社,2005.
- [3] BATHURST R J, CROWE R E, SIMAC M R. Recent innovations in modular-facing retaining wall structure using geosynthetic reinforcement[C]//Canadian Society of Civil Engineering Conference, Vancouver [s.n.], 1991.
- [4] CARROLL R G, RICHARDSON G N. Geosynthetic reinforced retaining walls[C]//3rd International Conference on Geotextiles, Vienna [s.n.], 1986: 389-394.
- [5] AASHTO. Standard specifications for highway bridges[M]. 15th ed. Washington, D.C.: AASHTO, 1992.
- [6] GB50330—2002 建筑边坡工程技术规范[S].

(收稿日期:2006-03-16 编辑:高建群)