

钢筋(煤矸石)混凝土网格式加筋土 挡土结构强度特性与试验研究

Strength property of RC net reinforced earth retaining structure and its experimental study

杨果林 王永和
(长沙铁道学院, 长沙, 410075)

文 摘 提出了一种新型的加筋土挡土结构——钢筋(煤矸石)混凝土网格式加筋土挡土结构。对该网格式加筋土挡土结构进行了大量模型试验, 并进行了强度特性分析。试验及分析表明, 该网格式加筋土挡土结构是一种结构合理、可以应用于实际工程的新型挡土结构。

关键词 网格, 加筋土, 挡土结构, 强度特性, 模型试验

中图法分类号 TU 472.34

作者简介 杨果林, 男, 1963 年生, 1995 年长沙铁道学院岩土工程专业硕士研究生毕业, 现为湘潭工学院副教授, 长沙铁道学院在读博士生。主要从事结构工程与岩土工程的教学与科研工作。

Yang Guolin Wang Yonghe

(Changsha Railway University, Changsha, 410075)

Abstract In this paper, a new reinforced earth retaining structure——RC net reinforced earth retaining structure is introduced. The structure was analysed and tested about its strength property. It was proved that the RC net reinforced earth retaining structure is reasonable, and can be applied to practical engineering.

Key words net, reinforced earth, retaining structure, strength property, model test

1 前 言 *

在我国煤炭系统, 有近千座煤矸石山, 占地面积近十万亩。在矸石山上修建建筑物, 利用煤矸石作道路填料成为综合治理煤矸石的有效方法。用加筋土挡土结构对以煤矸石为填料的边坡进行支护时, 为了解决煤矸石对筋带的腐蚀问题, 并利用煤矸石作混凝土骨料, 本文第一作者提出了一种新型的加筋土挡土结构——钢筋(煤矸石)混凝土网格式加筋土挡土结构。

网格式加筋土挡土结构由钢筋(煤矸石)混凝土面板、钢筋(煤矸石)混凝土网格和以煤矸石为填土或其他填土共同组成, 如图 1 所示^[1, 2]。它由墙面板、连接件、网格组成。墙面板为预制的钢筋(煤矸石)混凝土矩形或多边形板, 双向配筋, 两端开有搭接槽口, 中央有泄水孔。挂钩由钢筋弯成, 预制墙面板前将其插入墙面板中, 并与墙面板中钢筋绑扎, 挂钩位于墙面板的高度方向的中线以上。连接件为一根圆钢。网格由纵横交叉的纵向条带和横向条带组成, 内配筋。在纵向条带端部预留与墙面板连接的钢筋长度, 端部预留钢筋在竖直平面内弯成封闭圆环状的挂环。墙面板上的挂钩通过连接件与网格的纵向条带的端部挂环相连, 形成挡土单元。对钢筋外露部分进行防锈蚀处理。

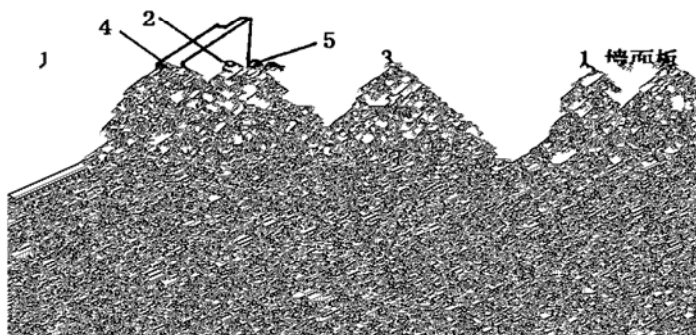


图 1 网格式加筋土挡土结构示意图

Fig. 1 Net reinforced earth retaining structure

普通土坡单元体, 在自重或竖向荷载作用下, 单元土体产生压缩变形, 侧向发生膨胀, 随着竖向荷载逐渐增大, 压缩变形和侧向变形越来越大, 直至土体破坏。

设置网格式加筋土挡土结构后的土坡单元体, 通过网格与土颗粒的摩擦作用, 将引起侧向膨胀的拉力传递给网格。由于网格中配筋, 拉伸模量较大, 因此单元土体的侧向变形受到了限制。加网格后的土体就好像在单元土体的侧向加了一个侧向荷载一样, 并且随着竖向应力的增加, 侧向荷载也成正比增加。在同样大小的竖向荷载作用下, 网格式加筋土挡土结构中应

力圆在破坏线以下, 只有当填土与网格之间的摩擦力失效或网格被拉断后, 土坡单元体才有可能发生破坏。

同时, 在填方边坡中从下到上一层一层铺设网格后, 利用钢筋承受拉力, 将作用于墙面板上的土压力传递到足够形成抗力的填土中去。钢筋外部被混凝土包裹, 不仅可以增大与填土之间的摩擦系数, 而且可以起保护作用, 避免钢筋锈蚀, 延长挡土结构的寿命。这对于如煤矸石等腐蚀性强的填土而言是极为重要的。

网格中的横向条带不仅可以起类似如锚定板的作用, 而且可以进行力的横向传递。当纵向条带局部受力较大时, 通过横向条带进行力的横向传递后, 可以使之进行力的重分布, 横向条带对挡土结构的整体稳定性具有显著贡献。

网格加筋土挡土结构, 不仅可以承受拉应力, 而且横断面可以承受剪应力。相对于普通填土而言, 增加了从下到上的一层层网格后, 从整体上来说, 相当于提高了边坡填土的内摩擦角 φ 和内聚力 c , 即抗滑力学参数内摩擦角 $\varphi \rightarrow \varphi + \Delta\varphi$, 内聚力 $c \rightarrow c + \Delta c$ 。该加筋土挡土结构是一种主动与被动相结合的新型加筋土挡土结构, 相对于当前的被动支挡结构而言, 有其显著的优点。

2 强度特性分析

在加筋体的内部稳定性分析中, 通常是将筋材等效为一个力, 增加滑动土体的抗滑稳定性。加筋土的破坏分为拉力(断裂)破坏和粘着(摩擦)破坏两种形态, 前者是指填土中的加筋被拉断所导致的破坏, 而后者则是由于加筋和土之间的摩擦力不足导致的破坏。这两种破坏形态的应力应变计算必需引进加筋土体的本构关系和计算参数。而 Yang^[3] 在分析加筋土的破坏时, 首次提出将多层加筋土中的筋材所起的作用当成一个附加周围压力。Donald 等^[4] 认为, 在三轴试验中加筋砂土破坏时, 作用在砂土上的等效周围压力为

$$\Delta\sigma_{3f} = \sigma_3(\Delta\sigma_{1f}/\sigma_{1f}) \quad (1)$$

式中 σ_{1f} 为在室压 σ_3 下无筋土破坏时的大主应力; $\Delta\sigma_{1f}$ 为在同样 σ_3 下加筋土破坏时大主应力增量。

参考 Yang 提出的方法和加筋土的两种破坏形式, 对网格加筋土挡土结构进行强度特性分析。

2.1 筋材作用

Yang 在分析中, 将多层加筋土中的筋材的作用当成一个附加周围压力, 并认为这个附加周围压力仅仅是由于增加了筋材, 才相应地增加了粘聚力 Δc , 而将加筋与不加筋视为具有相同的内摩擦角 φ 。这仅仅是相对于柔性筋材或筋材断面相对于加筋土体断面而言

很小的情况。本文提出的网格加筋土挡土结构的特性与此不同, 由于网格在填土中的存在, 组成网格的条带不仅可以承受拉力而且可以承受剪力, 且条带可视为具有一定刚性的杆件, 不仅使加筋土体增大了 Δc , 而且还增加了加筋土体的内摩擦角 $\Delta\varphi$ 。由于加筋土体相对无筋土体增加了 Δc 和 $\Delta\varphi$, 使加筋土体增加了一个附加周围压力, 从而增大了加筋土体的抗滑能力。

首先, 我们来分析因加筋体增大了 Δc 所增加的附加周围压力 $\Delta\sigma'_{3f}$ 。

图 2 表示了加筋土与无筋土的三轴试验破坏时的莫尔圆及其强度包络线^[5]。

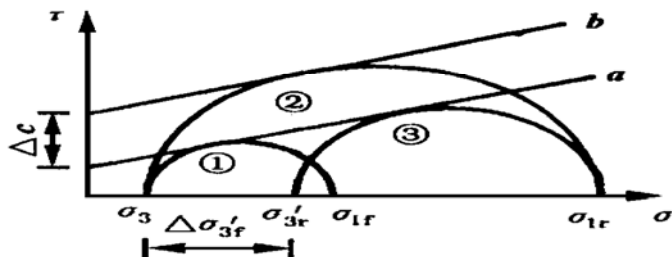


图 2 加筋土破坏时 Δc 与土的附加应力 $\Delta\sigma'_{3f}$ 关系

Fig. 2 The relationship between Δc and $\Delta\sigma'_{3f}$ in failure of reinforced earth

图 2 中圆 ①表示在 σ_3 作用下无筋土破坏的莫尔圆, 线 a 为其强度包络线; 圆 ②表示在同样 σ_3 作用下加筋土破坏的莫尔圆, 线 b 为其强度包络线。因仅考虑 Δc 所增加的附加周围压力 $\Delta\sigma'_{3f}$, 暂不考虑加筋土内摩擦角增量的影响。视 a, b 为平行, 内摩擦角为 φ 。把土骨架从加筋土中拿出来作为隔离体, 则筋的作用可视为与其布置方向相同的外力。加筋土中土骨架受到外荷载产生的应力 σ_1 和 σ_3 及筋所施加的附加压力 $\Delta\sigma'_{3f}$ 。由于加筋土破坏时, 其中土也达到了破坏, 并且服从强度包络线 a , 这样加筋土破坏时其中土骨架的应力状态用圆 ③表示。它的实际小主应力为 σ'_{3f} , 围压为 σ_3 。则 $\Delta\sigma'_{3f} = \sigma'_{3f} - \sigma_3$ 为筋对土骨架的附加应力, 由几何关系可得

$$\Delta\sigma'_{3f} = 2\Delta c \tan(45^\circ - \varphi/2) \quad (2)$$

其中 Δc 为加筋土与无筋土粘聚力之差。

其次, 我们来分析无筋土体因增大了 $\Delta\varphi$ 所增加的附加周围压力 $\Delta\sigma''_{3f}$ 。

图 3 表示加筋与不加筋土在三轴试验破坏时莫尔圆及强度包络线。圆 ①表示在 σ_3 作用下无筋土破坏的莫尔圆, 线 a 为其强度包络线; 圆 ②表示在同样 σ_3 作用下加筋土破坏的莫尔圆, 线 b 为其强度包络线。因仅考虑 $\Delta\varphi$ 所增加的附加周围压力 $\Delta\sigma''_{3f}$, 暂不考虑加筋土粘聚力增量 Δc 的影响。视 a, b 为具有相同的粘聚力 c , 均过截距 D 点。把土骨架从加筋中拿

出来作为隔离体,则筋的作用可视为与其布置方向相同的外力。加筋土中土骨架受到外荷载产生的应力 σ_1 和 σ_3 及筋所施加的附加压力 $\Delta\sigma_{3f}$ 。由于加筋土破坏时,其中土也达到了破坏,并且服从强度包络线 a ,这样加筋土破坏时其中土骨架的应力状态用圆③表示。它的实际小主应力为 σ_{3f} ,围压为 σ_3 。则 $\Delta\sigma_{3f} = \sigma_{3f} - \sigma_3$ 为筋对土骨架的附加应力,由几何关系可得

$$\Delta\sigma_{3f} = 2(R_2 - R_3) \quad (3)$$

由 $R_3 = (\sigma_3 + c \cot \varphi + 2R_2 - R_3) \sin \varphi$

得 $R_3 = (\sigma_3 \sin \varphi + c \cos \varphi + 2R_2 \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi)$ (4)

又由 $R_2 = [\sigma_3 + R_2 + c \cot(\varphi + \Delta\varphi)] \sin(\varphi + \Delta\varphi)$

得 $R_2 = [\sigma_3 \sin(\varphi + \Delta\varphi) + c \cos(\varphi + \Delta\varphi)] / [1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)]$ (5)

将式(4) (5)代入式(3)得

$$\Delta\sigma_{3f} = \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi/2) \sin(\Delta\varphi/2)}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin \varphi)} 4\sigma_3 + \frac{\sin(\Delta\varphi/2) [\cos(\Delta\varphi/2) - \sin(\varphi + \Delta\varphi/2)]}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin \varphi)} 4c \quad (6)$$

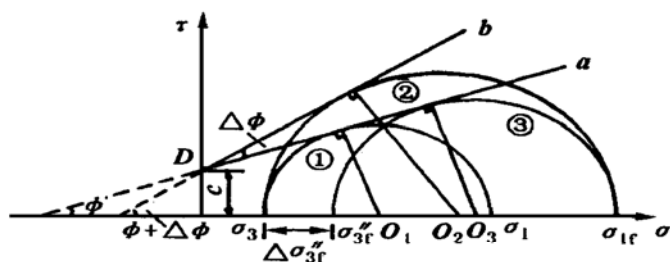


图3 加筋土破坏时 $\Delta\varphi$ 与土的附加应力 $\Delta\sigma_{3f}$ 关系

Fig. 3 The relationship between $\Delta\varphi$ and $\Delta\sigma_{3f}$ in failure of reinforced earth

由于加筋土体相对于无筋土体增大了 Δc 和 $\Delta\varphi$,使加筋土体增加的附加周围压力 $\Delta\sigma_{3f} = \Delta\sigma_{3f} + \Delta\sigma_{3f}$ 为式(2) (6)之和

$$\Delta\sigma_{3f} = \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi/2) \sin(\Delta\varphi/2)}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin \varphi)} 4\sigma_3 + 2\Delta c \tan(45^\circ - \varphi/2) + \frac{\sin(\Delta\varphi/2) [\cos(\Delta\varphi/2) - \sin(\varphi + \Delta\varphi/2)]}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin \varphi)} 4c \quad (7)$$

根据极限平衡应力条件

$$\sigma_1 = (\sigma_3 + \Delta\sigma_{3f}) K_p + 2c \sqrt{K_p}$$

$$\sigma_1 = \left[1 + 4 \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi/2) \sin(\Delta\varphi/2)}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin \varphi)} \right] \sigma_3 K_p + 2c \sqrt{K_p} \left[1 + \frac{\Delta c / c + \frac{2 \sin(\Delta\varphi/2)}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)]} \times \frac{[\cos(\Delta\varphi/2) - \sin(\varphi + \Delta\varphi/2)] \sqrt{K_p}}{(1 + \sin \varphi)}} \right] \quad (8)$$

$$\sigma_1 = [1 + F_o(\Delta\varphi)] \sigma_3 K_p + [1 + F_c(\Delta\varphi) + \Delta c / c] 2c \sqrt{K_p} = \bar{\sigma}_3 K_p + 2\bar{c} \sqrt{K_p} \quad (9)$$

$$\text{式中 } F_o(\Delta\varphi) = 4 \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi/2) \sin(\Delta\varphi/2)}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin \varphi)}$$

$$F_c(\Delta\varphi) = 2 \frac{\sin(\varphi/2) [\cos(\Delta\varphi/2) - \sin(\varphi + \Delta\varphi/2)] \sqrt{K_p}}{[1 - \sin(\varphi + \Delta\varphi)](1 + \sin \varphi)}$$

式中 K_p 为被动土压力系数, $K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$ 。

从式(8)中可以看到 Δc 可以增加加筋土体的视凝聚力 $\bar{c}$,而 $\Delta\varphi$ 可增大侧向约束 $\bar{\sigma}_3$,也可以增大视凝聚力 $\bar{c}$ 。

2.2 拉力破坏时承载力分析

目前,在加筋土结构设计计算中,对墙后填土滑裂面形状和位置有各种假设,归纳起来,主要有4种^[6],如图4所示。从本次模型试验中发现,当仅加条带或网格,不加墙面板时,滑裂面如图4(a)所示,为三角形;当加条带或网格且配墙面板时,滑裂面近似如图4(b) (d),为对数螺旋滑面或直曲滑面。图4(b) (d)两种破裂面进行如图4(c)的简化计算。

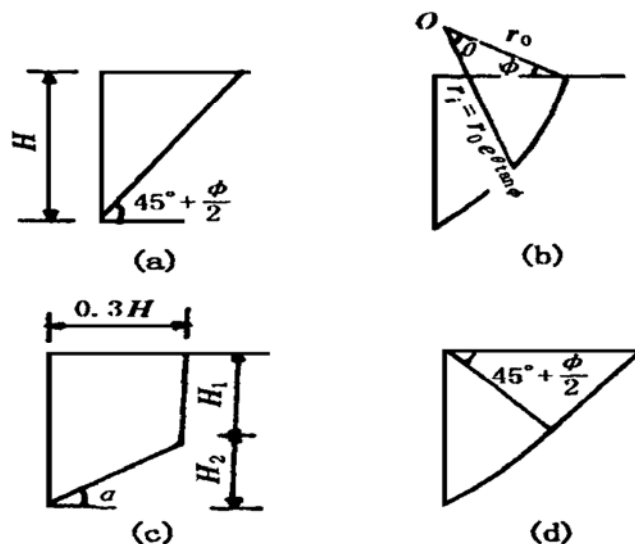


图4 墙后填土的滑面形状和位置的各种假设

Fig. 4 Different hypothesis about shape and location of slip plane for backfill behind wall

图5(a)表示拉力破坏下网格式加筋土中纵向条带被拉断,沿墙身方向以单位长度研究其静力平衡时的受力状态。 F 为破裂面水平投影面积,据JTJ015-91^[7], $F = 0.3H$, ΔH 为纵向条带的竖向间距, Δx 为纵向条带的水平间距。破裂面与最大主应力作用面夹角 $\alpha = 45^\circ + \varphi/2$,破裂面为矩形,其面积为 $0.3H \sec \alpha$,而破裂面竖直投影面积为 $F \sin \alpha = 0.3H \tan \alpha$,取隔离体分析。图5(b)为该隔离体所受力的多边形。

$$qF + G - ab \sum_{i=1}^N \tau_i = (R + P) \cot(\alpha - \varphi) \quad (10)$$

式中 G 为单位长度土体重, $G = 0.3H(H - 0.15 \times H \tan \alpha)$; γ 为土的重度; F 为破裂面水平投影面积, $F = 0.3H$; q 为加筋土体表面承受的荷载; N 为纵向条带数, $N = H / (\Delta x \cdot \Delta H)$; τ_i 为单根纵向条带承受的

剪应力; a, b 分别为纵向条带的宽、高; R 为纵向条带拉力总和, $R = \sum R_i$; R_i 为单根纵向条带的抗拉强度; P 为计算参数, $P = cF[1 + \tan \alpha \tan(\alpha - \varphi)]$ 。

由式(10)可得

$$q = \frac{\cot(\alpha - \varphi)}{0.3H} \sum_{i=1}^N R_i + \frac{ab \sum_{i=1}^N \tau_i}{0.3H} + \frac{cF[1 + \tan \alpha \tan(\alpha - \varphi)] \cot(\alpha - \varphi) - \gamma H(H - 0.15H \tan \alpha)}{0.3H} \quad (11)$$

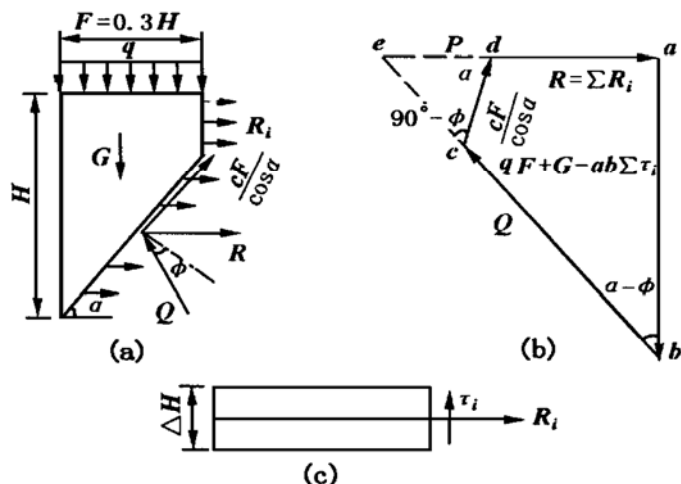


图5 网格式加筋土挡土结构拉力破坏时应力分析图

Fig. 5 Stress analysis of net reinforced earth retaining structure in pull out failure

2.3 粘着破坏时承载力分析

图6(a)表示粘着破坏下网格式加筋土中纵向条带被拔出,沿墙身方向取单位长度研究其静力平衡时的受力状态。设填土与条带之间的摩擦系数为 μ , 破裂面上各加筋极限承载力之和为

$$q'F + G - ab \sum_{i=1}^N \tau_i = (T + P) \cot(\alpha - \varphi) \quad (12)$$

式中 $T = \sum T_i = 2(a + b) \mu \sum_{i=1}^N L_{ai} \cdot (\gamma h_i + q')$; $G = 0.3 \gamma H(H - 0.15H \tan \alpha)$ 。所分析的隔离体如图6(b)所示。

$$q' = \frac{2(a + b) \mu \gamma \tan(\alpha - \varphi) \sum_{i=1}^N (L_{ai} h_i) - 0.3 \gamma H(H - 0.15H \tan \alpha)}{0.3H - 2(a + b) \cot(\alpha - \varphi) \mu \sum_{i=1}^N L_{ai}} + \frac{cF \cot(\alpha - \varphi) [1 + \tan \alpha \tan(\alpha - \varphi)] + ab \sum_{i=1}^N \tau_i}{0.3H - 2(a + b) \cot(\alpha - \varphi) \mu \sum_{i=1}^N L_{ai}} \quad (13)$$

式中 L_{ai} 为位于“锚固区”的第 i 根纵向网格的锚固

长度; 其它符号同式(10)。

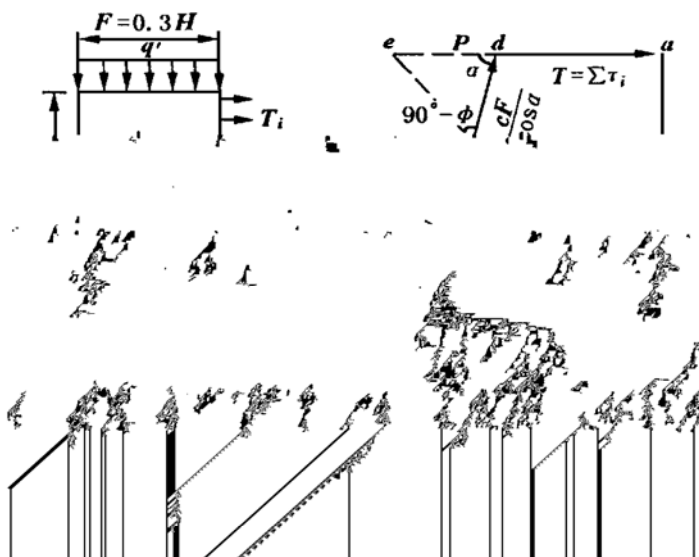


图6 网格式加筋土结构粘着破坏时应力分析图

Fig. 6 Stress analysis of net reinforced earth retaining structure in coherence resistance failure

3 模型试验研究与结果分析

3.1 滑坡模型试验概况

为了证实网格式加筋土挡土结构的可靠性, 获得治理矸石山滑坡的设计参数和经验数据, 并探索网格式挡土结构中纵向条带、横向条带及墙面板在这一结构中各自所发挥的作用, 首先进行了模型试验。滑坡模型试验详见文献[8], 简述如下。

滑坡模型箱为一宽 1 m, 长 2 m, 高 2 m 的三面用砌块砌筑而成的矩形箱。为了减少模型内壁的边界效应, 将模型箱内粉刷后, 用厚度为 10 mm 的有机玻璃贴于模型箱内壁。为了让滑坡体有一下滑的空间而不致于影响下滑所得试验参数, 滑坡面设有一高度为 50 cm 的坡趾台阶。

滑坡体所用的散粒体填料煤矸石、煤矸石混凝土骨料是从湖南省谭家山煤矿矸石山中随机取样选取的。为了消除大块煤矸石及不均匀级配对试验数据的影响, 对煤矸石进行了初选和粗加工, 将运回的煤矸石稍微晒干后, 将大块矸石锤细后过 40 mm 筛, 清除其中的一些废弃物, 然后装入模型箱中作为滑坡的填土材料。用于作滑坡试验的煤矸石相对密度 $G_s = 2.56$, 含水量 $w = 2.8\%$, 重度 $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$, 块体煤矸石压碎指标 9.3%。

钢筋(煤矸石)混凝土条带或网格用一定级配的煤矸石粗、细骨料, 加 425# 水泥, 按 C20 煤矸石混凝土预制而成, 断面有 30 mm × 40 mm, 40 mm × 50 mm, 50 mm × 60 mm 几种, 纵向条带长 1 m, 横向条带长 980 mm, 在每一根煤矸石条带里分别配有 1, 2, 3 根 $\phi 4$ 冷拔丝,

还做了由 5 根纵向条带 5 根横向条带组成的 5×5 钢筋(煤矸石)混凝土方格网及由钢筋煤矸石混凝土条带绑扎而成的几种网格。

墙面板长 980 mm、宽 300 mm、厚 30 mm, 内有 $\phi 4$ 冷拔丝双向配筋, 墙面板上预先设有与条带或网格相连的挂钩。

用铸铁砝码在滑坡体顶面加载, 用于量测钢筋(煤矸石)混凝土网格加筋土挡土结构对土坡体抗滑力学参数的提高程度。用百分表量测在滑坡顶面加载时, 不同煤矸石条带、网格数时墙面板的向外位移值。

3.2 滑坡模型试验分组

- 第 1 组 煤矸石散粒体自然堆积坡角的测定。
- 第 2 组 加侧向挡板垂直堆积煤矸石后放开侧向挡板, 让煤矸石滑坡后测定其坡角。
- 第 3 组 沿模型箱纵向在煤矸石填料中分别布设 1, 2, 3, 4, 6 层, 每层均布 5 根断面为 30 mm×40 mm 钢筋煤矸石混凝土纵向条带, 纵向条带长 1 m, 纵向条带之间的水平间距 $\Delta x = 200$ mm, 层与层之间竖向间距 ΔH 分别为 60, 50, 40, 30, 20 mm, 加侧向挡板让煤矸石填料垂直堆积后, 再放开挡板让其滑坡, 测定其滑坡后的坡角。
- 第 4 组 分别在煤矸石填料中加 2, 3, 4, 6 层断面为 30 mm×40 mm 的 5×5 钢筋(煤矸石)混凝土方格网一块, 方格网条带之间水平间距 Δx 为 20 mm。方网格层与层之间竖向间距 ΔH 分别为 50, 40, 30, 20 mm, 加侧向挡板让煤矸石填料垂直堆积后, 再放开挡板让其滑坡, 测定其滑坡后的坡角。

第 5 组 在煤矸石填料中设置 5 层条带, 竖向间距 $\Delta H = 300$ mm, 条带断面为 30 mm×40 mm, 每层条带分别有 2 根纵向条带(简称二纵)、2 根纵向条带加一根横向条带(简称二纵一横)、二纵二横、三纵、三纵一横、三纵二横、三纵三横、四纵、四纵一横、四纵二横、四纵三横、四纵四横、五纵、五纵一横、五纵二横、五纵三横、五纵四横、五纵五横的钢筋(煤矸石)混凝土条带或条带绑扎而成的网格。每层条带或网格与一块墙面板连接而成, 形成条带式或网格加筋土挡土结构。在坡顶加均布荷载, 测定不同荷载作用下墙面板的向外位移值。根据位移值判定其容许荷载。

容许荷载判别标准: 取墙面板向外位移值为滑坡体临空高度的 2% 所对应的荷载作为网格加筋土挡土结构的容许荷载。

另外, 对煤矸石填土的力学参数 c , φ 值进行了测定, 试验结果为 $c = 1.68$ kPa, $\varphi = 34.26^\circ$ 。

3.3 试验结果及初步分析

- 第 1 组 煤矸石自然堆积坡角 $\alpha_0 = 35.74^\circ$
- 第 2 组 煤矸石垂直堆积后滑坡坡角 $\alpha_1 = 47.57^\circ$

第 3 组、第 4 组进行了滑坡后坡角量测, 并进行计算机拟合, 其结果如表 1 所示; 对第 5 组根据向外位移量确定容许荷载, 其结果如表 2 所示。

表 1 第 3、第 4 组试验结果

Table 1 Experimental results of the third and the fourth group			
竖向间距 $\Delta H/cm$ (仅加纵向条带)	坡角/ $^\circ$	竖向间距 $\Delta H/cm$ (仅加网格)	坡角/ $^\circ$
60	51.86	—	—
50	51.27	50	57.07
40	55.28	40	62.18
30	55.65	30	71.06
20	60.32	20	88.60

表 2 第 5 组试验结果

Table 2 Experimental results of the fifth group					
试验 分组	条带或 网格布置	容许 荷载 /kPa	试验 分组	条带或 网格布置	容许 荷载 /kPa
网格(或 条带)+ 墙面板	二纵	30	网格(或 条带)+ 墙面板	四纵二横	100
	二纵一横	45		四纵三横	100
	二纵二横	60		四纵四横	110
	三纵	55		五纵	80
	三纵一横	70		五纵一横	95
	三纵二横	80		五纵二横	110
	三纵三横	90		五纵三横	115
	四纵	65		五纵四横	120
	四纵一横	90		五纵五横	130

从以上试验结果可以看出, 横向条带不仅可以起到类似锚定板的作用, 而且能提高挡土结构的整体抗滑能力。这是因为横向条带在填土中能进行力的横向传递。表 1 中, 加纵、横条带组成的网格与仅加纵向条带相比, 堆积坡度有所增加。从表 2 中可见, 在同样条带数的情况下, 纵、横条带的数量有一个优化问题, 三纵一横优于二纵二横和四纵; 四纵一横优于三纵二横和五纵; 四纵二横优于三纵三横和五纵一横; 五纵二横优于四纵三横; 五纵三横优于四纵四横。与加筋土挡土结构及锚定板挡土结构相比, 网格加筋土挡土结构中由于横向条带的存在, 有其显著的优点。

4 结 论

- (1) 在填方边坡中从下到上一层一层铺设网格后, 利用钢筋承受拉力, 将作用于墙面板上的土压力传递到足够形成抗力的填土中去。钢筋外部被混凝土包裹不仅可以增大与填土之间的摩擦系数, 而且可以对钢筋起保护作用, 避免钢筋锈蚀, 延长挡土结构的寿命。
- (2) 网格中的横向条带不仅可以起类似如锚定板

的作用,而且可以进行力的横向传递,当纵向条带局部受力较大时,通过横向条带进行力的横向传递,可以使之进行力的重分布,横向条带对挡土结构的整体稳定性具有显著贡献。

(3)网格式加筋土挡土结构,相对于普通填土而言,增加了一层一层的网格后,从整体上来说,相当于提高了填土边坡的内摩擦角 φ 和内聚力 c ,即提高了抗滑力学参数,提高了承载能力和边坡的稳定性。本文视网格式加筋土挡土结构对边坡的作用为一侧向约束,从理论上导出了网格式加筋土挡土结构考虑 $\Delta\varphi$, Δc 时的极限平衡公式(8)。

(4)网格式加筋土挡土结构,不仅可以承受拉应力,而且可以承受剪应力。导出了考虑网格横断面承受剪应力时,在拉力破坏时加筋体表面承载力公式(11),粘着破坏时加筋体表面承载力公式(13)。

(5)该结构的墙面板与网格的连接为铰接,可以形成任何角度的坡面,满足不同设计要求的工程需要。墙面板预制,网格可现浇也可由预制条带拼装而成,现浇时只需养护2~3d即可进行上层填土,不影响工期,施工简便。用钢筋煤矸石混凝土治理矸石山滑坡,

可就地取材,达到“以矸治矸”的目的,节省大量施工材料,降低工程费用。

参 考 文 献

- 1 杨果林.网格式加筋土挡土结构的稳定分析与工程应用.煤炭学报,1999,24(1):78~81
- 2 杨果林.钢筋混凝土网格式挡土墙.中国专利,专利号:ZL97238922.9.1997
- 3 Yang Z. Strength and deformation characteristic of reinforced sand. Dissertation Presented to the University of California. Los Angeles, Calif, 1972
- 4 Donald H Gray, Talal Arefeai. Behavoir of fabric versus fiber reinforced sand. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1986, 112(GT8): 804~820
- 5 李广信等.加筋土体应力应变计算的新途径.岩土工程学报,1994,16(3):46~53
- 6 王永和等.加筋土挡墙试验研究.长沙铁道学院学报,1989,7(4):87~98
- 7 JTJ 015-91 公路加筋土工程设计规范.北京:人民交通出版社,1993.24~26
- 8 杨果林.一种新型的挡土结构试验研究.工业建筑,1998,28(4):27~31

‘99 中国碾压混凝土筑坝技术国际讨论会在四川都江堰召开

1999年4月21日至25日,‘99中国碾压混凝土筑坝技术国际讨论会在四川省都江堰市隆重召开。会议由中国水力发电工程学会主办,中国水利学会、国际大坝委员会、四川省电力工业局、中国长江三峡工程开发总公司、中国国家自然科学基金委员会和中国水利水电科学研究院协办。

出席此次会议的国内外代表达200余人,会议收到论文100多篇,采用99篇并汇编成册。其中国外专家提交27篇,国内专家提交72篇,该论文集按概论、材料、设计、设备、施工、运行等6个议题分类汇总,较全面地介绍了国内外碾压混凝土筑坝技术的新理论、新方法和新观点,交流了所取得的成功经验和设计科研成果。来自英国、美国、西班牙、日本和中国等国的专家学者分别向与会代表介绍了各自在RCC方面所取得的成就。大会还安排了自由发言和学术讨论,给与会者以畅所欲言、各抒己见的机会,增进了各国从事RCC工作的同行间的交流和友谊。

代表们坚信,此次会议的举行必将会对世界碾压混凝土筑坝技术的发展起到极其重要的作用。

(成都勘测设计院 李燕辉供稿)