

# 加筋土挡土墙工艺原理与施工技术

刘洪, 阿里木江

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 都江堰 611830)

**摘要:**加筋土挡土墙是由镀锌钢筋格栅面板、带状拉筋条、土工产品、填土组成的整体复合结构,其利用拉筋条与土之间的摩擦作用改善土体变形条件并提高土体工程特性,从而达到稳定土体的目的。通过对尼日尔依姆铀矿项目镀锌钢筋格栅面板加筋土挡土墙的设计和施工,总结了其工艺原理和施工技术,对类似项目具有一定的参考和借鉴作用。

**关键词:**镀锌钢筋格栅面板;加筋土;钢条;施工技术

**中图分类号:**TV52;TV512

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2015)05-0093-04

## 1 概述

加筋土是上世纪60年代发展起来的一项土体加固技术,法国工程师亨利·维达尔(Henri Vidal)在模型试验中发现:当土中掺有纤维后,其强度明显提高,据此提出了加筋土概念。由于法国在应用该技术上的成功,引起了世界各国的重视。加筋土挡土墙结构新颖可靠,经济效益显著,在国际上、尤其是在欧洲被迅速推广。随着科

学技术的进步和施工建设的需要,加筋土挡土墙技术迅速发展。

尼日尔依姆铀矿项目加筋土挡土墙属于EPC项目,其设计和供货均由法国Terre Armée公司完成,并由其进行施工技术培训和指导。该挡土墙主要用于连接大型运矿卡车(装载量为200 t)卸料平台和大型矿石粗碎系统(高14.765 m、长106.69 m),其典型剖面见图1。

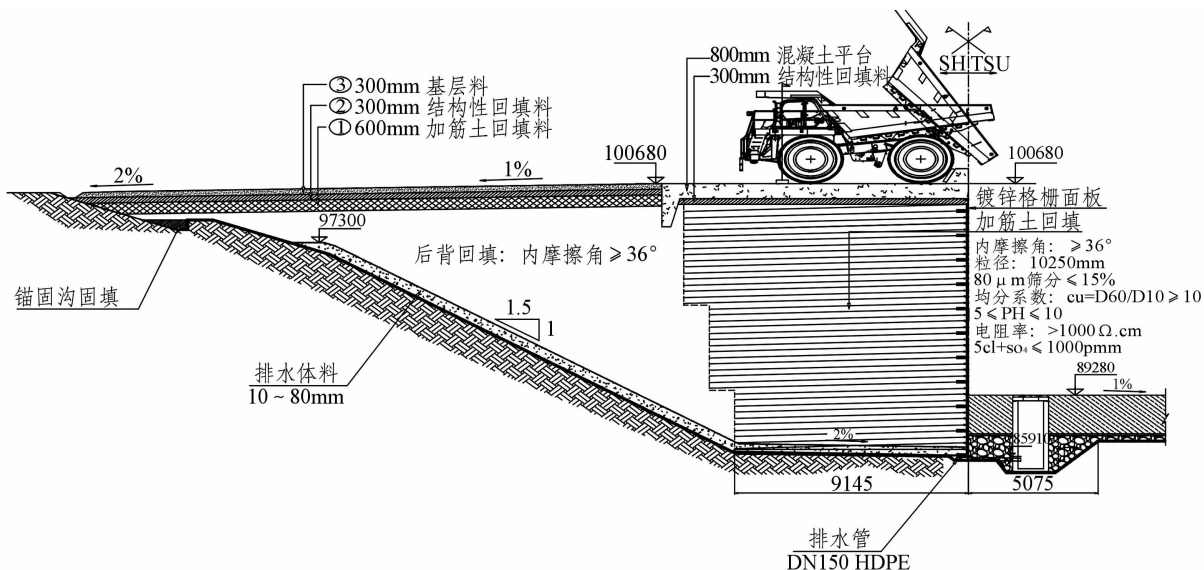


图1 镀锌钢筋格栅面板加筋土挡土墙典型剖面图

## 2 基本原理与结构特点

### 2.1 基本原理

(1)该挡土墙是由回填料、钢条和钢板组成的复合结构,其结构内部存在土压力、筋带拉力、填料与筋带间的摩擦力、回填料内摩擦力等,通过

这些作用力相互平衡以保证其稳定;

(2)通过将回填土自重和外力产生的土压力传递至钢条,使钢条与回填料间的作用力用于保证挡土墙的整体稳定。

### 2.2 结构特点

(1)施工快捷:组成加筋土的镀锌钢筋格栅面板、

收稿日期:2015-05-05

钢条和其它构件可提前预制成型,在现场由人工拼装,施工简便、快捷;

(2)适应性好:加筋土挡土墙属于柔性结构,能适应轻微的地基变形,墙体稳定性好;

(3)造型美观:成型后的镀锌格栅面板加筋土挡土墙造型美观;

(4)造价低:由于其具有施工快捷、充分利用当地材料等特点,相比同类混凝土挡土墙可节约成本25%~35%、相比浆砌石挡土墙可节约成本20%以上;

(5)型式多样化:按拉筋型式分为席垫式土工合成材料、镀锌扁钢拉筋条两种;按结构型式分为单面式、双面式和台阶式,按面板型式分为混凝土面板式和格栅面板式等,可根据工程需要选用。

### 3 设计原理

该项目设计工作由法国 Terre Armée 和 Terrasol 公司共同完成。Terrasol 公司负责挡土墙的整体设计, Terre Armée 公司负责材料的供货和工艺设计,他们拥有专利技术,具有成熟的设计和施工经验。该项目的设计要点如下:

(1)设计确定地基承载力要求以确保地基稳定;

(2)设计确定回填材料的技术参数,除确定料源粒径、粘滞力和摩擦角要求外,还要控制其化学成分,避免镀锌钢条在回填土中的腐蚀,以确保镀锌钢条的使用寿命;

(3)挡土墙稳定性计算;

(4)施工期稳定性分析,即施工期临时开挖边坡的稳定性分析;

(5)材料选型和细节设计,主要包括钢条和钢格栅连接、排水、格栅面板保护等细节设计,确保施工方便并满足使用期限要求。

## 4 组成材料及要求

### 4.1 镀锌格栅面板

由直径8 mm、10 mm 和 14 mm 的镀锌钢筋焊接成型,屈服强度为 500 MPa,网格面积一般为 100 mm × 100 mm,高 0.7 ~ 1.5 m、长 3 m,单块重量为 30 ~ 60 kg,主要作用是形成挡土墙的面板,与钢条和回填土形成整体。

### 4.2 钢条

钢条采用 50 mm × 4 mm 镀锌带肋扁钢制作成型,屈服强度为 500 MPa,长度一般为 3 ~ 12 m,

为回填土体中的加强材料,主要承受拉力,具有较好的柔韧性以适应轻微变形;具有良好的抗疲劳性能;具有抗老化、耐腐蚀等特性。

### 4.3 系点

系点是钢条和镀锌格栅面板连接的主要构件,包含系点和 M12 螺栓。

### 4.4 回填料

加筋土挡土墙的主体材料应易于填筑和压实,与钢条之间有可靠的摩擦力,能控制其对钢条的腐蚀作用,其主要包括以下技术指标:

(1)力学性能:内摩擦角  $\alpha \geq 36^\circ$ ;

(2)粒径要求:  $10 < D < 250$  mm,  $80 \mu\text{m}$  筛分通过率  $\leq 15\%$ , 均匀系数  $C_u = D_{60}/D_{10} \geq 10$ ;

(3)化学性能:  $5 \leq \text{pH} \leq 10$ ,  $5\text{Cl} + \text{SO}_4 \leq 1\ 000$  ppm, 电阻率  $> 1\ 000 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

### 4.5 土工织物/土工布

作为格栅面板和回填料之间的隔离层,其主要作用是防止回填料从格栅掉落。土工布应具备防晒、防紫外线及抗腐蚀性能,一般采用无纺土工布 ( $300 \text{ g}/\text{m}^2$ )。根据挡土墙的使用功能,一般性的临时挡土墙不需要设置土工布,永久性挡土墙则必须设置土工布,该项目挡土墙设置了三层土工布。

### 4.6 排水设施

排水管沿挡土墙面板内侧设置并在外侧设置集水井,挡土墙底部的积水通过排水管汇入集水井,然后在集水井设置水泵抽排,及时排除积水以确保挡土墙的稳定,排水管采用 DN150 HDPE 排水花管,设计荷载为 20 m 高回填土压力。

## 5 设备及材料

### 5.1 施工设备

(1)吊运设备:吊车与平板车;

(2)挖填设备:挖掘机、装载机、振动碾、自卸车、水车、平地机和两头忙等。

### 5.2 主要检测设备和控制标准

(1)旁压试验检测仪:检测地基承载力,标准  $> 5$  MPa、检测深度为 5 m;

(2)核子密度仪:检测回填土压实度大于 95%、最优含水率偏差为  $\pm 2\%$ ;

(3)板荷载检测仪:检测板荷载,标准  $EV_2 \geq 120$  MPa、 $EV_2/EV_1 < 2$ ;

(4)剪切仪:检测回填料内摩擦角标准,  $\varphi \geq$

36°。

### 5.3 材料及工具

(1)板条:为宽10~20 cm、厚5~10 cm、长7~10 m的标准木条,用于稳固镀锌格栅面板,确保整个面板平整度满足要求。

(2)支撑架:其为用于支撑和固定板条的架子,一般采用特制、可调节的钢管架或木条架。

(3)楔子块:为长10 cm、宽5 cm、高5 cm的三角形木块,用于调节两层格栅间的距离。

(4)其他材料和工具:扳手、锤子、电子水平尺、铅垂线、光线、钉子、扎丝、手持切割机、土工布焊机、镀锌喷漆等。

## 6 施工方法

### 6.1 施工难点

根据法国 Terre Armée 和 Terrasol 公司的设计成果,该挡土墙设计总高度为14.77 m,在同类工程中尚属罕见,从而给施工带来了很大的困难,其存在的两大主要难点及采取的解决方案如下:

#### 6.1.1 临时道路布置

该工程后背加筋土回填 $27\ 200\ \text{m}^3$ 、排水体料 $1\ 200\ \text{m}^3$ ,其回填施工区狭窄且未布置通道,进而导致回填施工难度很大。为节约施工成本并充分考虑HSE因素,经与项目业主反复沟通,最终确定充分利用挡土墙一侧的边坡马道作为下部回填通道,控制回填高度为0~3.5 m,先分段进行挡土墙的安装和回填施工,待回填至3.5 m高度后,再与后背临时道路相接,完成3.5 m以上后背的回填施工,从而最大限度地减小了临时通道大开挖所产生的施工成本,并安全有效地完成了回填施工。

#### 6.1.2 支撑架的搭设

按照法国 Terre Armée 公司建议的常规施工方法,镀锌格栅面板板条支撑架一般采用特制、可调节的钢管架或木条架。而该项目挡土墙的总高度为14.77 m,单靠钢管架或木条架只能完成最大高度为7 m的安装高度,对于7 m以上的高度,单靠板条支撑存在较大困难。

经与项目业主HSE管理部门沟通,并充分考虑到施工方便并确保施工安全,在第一阶段板条支撑及回填施工完成后,将控制高度定为5 m。在格栅面板前侧搭设宽1.5 m、高12.2 m的双排外墙脚手架,脚手架随镀锌格栅面板同步上升,并

在已回填完成的镀锌格栅面板每个拉条位置与脚手架连接,确保脚手架稳定,利用该脚手架作为板条支撑架,控制格栅面板安装高度为9.77 m。

### 6.2 基础施工

挡土墙后背需进行基础开挖与坡面修整处理,其采用挖掘机、自卸汽车完成。基础开挖完成后,按设计要求进行基础承载力检测,承载力采用旁压试验检测仪,基础承载力设计要求达到5 MPa以上。由于该工程区域属于膨胀土地质条件,在承载力检测满足设计要求后,采用铺设“土工布/土工膜/土工布”的方式进行基础防渗处理,“土工布/土工膜/土工布”铺设由人工完成,采用专门的土工产品焊接器焊接连接。

### 6.3 基础混凝土施工

测量放样确定挡土墙轴线位置。以挡土墙轴线作为基础混凝土中心进行立模浇筑,基础混凝土宽500 mm、高200 mm,采用C15素混凝土,应确保其基础面平整,允许偏差为 $\pm 5\ \text{mm}$ 。为便于格栅面板的安装,从起点开始每隔3 m对基础混凝土进行标记打桩,浇筑过程中在标记处设置 $\phi 20$ 钢筋, $L=400\ \text{mm}$ ,钢筋与格栅面板轴线距离根据支撑材料厚度确定。基础混凝土间隔10 m设置沉降缝。

### 6.4 板条的搭设

镀锌格栅面板板条采用宽50 mm $\times$ 200 mm木材,支撑采用木条架结合脚手架的方式。板条搭设是施工的关键,准确而牢固的板条搭设对保障施工进度至关重要,板条间距根据格栅面板的长度确定。

在回填料压实过程中,将造成格栅面板出现向外挤压的情况,故在搭设板条时应保持1%的向内倾斜。板条间采用木条连接加固,板条搭设采用电子水平尺、铅垂及光线控制其垂直度和水平。

### 6.5 面板安装

脚手架搭设和支撑工作结束后,进一步对支撑进行检查,确定所有支撑牢固且结构准确无误后进行格栅面板的安装,安装由人工完成。

安装时,根据格栅面板类型准确就位,水平方向的安装由一端向另一端推进并保持相邻格栅面板安装间距为2 cm,两块面板安装就位后,用长50 cm、直径10 mm的镀锌钢筋条进行连接,两块

面板之间至少用3根镀锌钢筋条进行连接,采用扎丝捆绑,将钢筋条放在格栅面板水平钢筋下方,避免其影响上部格栅面板的安装。

上一层安装方向与下一层相反,上下层安装水平间隙错开布置,两层之间的垂直间隙为4

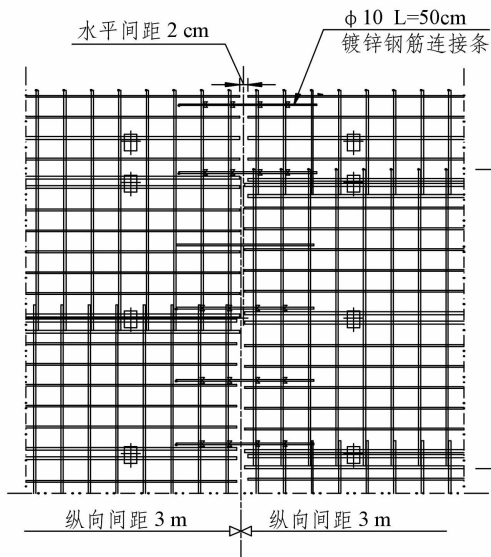


图2 镀锌格栅面板安装示意图

格栅面板安装结束后,根据设计图纸进行系点(扣件)安装。安装过程中若出现掉漆,立即进行镀锌喷漆处理。在压实的回填料上放置钢条,钢条放置要垂直格栅面板,把钢条末端插入系点间隙,对准螺孔,把一个螺丝从底部穿过并套上螺母,使用活动扳手拧紧螺栓完成连接。钢条应平顺铺设于已压实平整的回填面,不得有弯曲和扭曲。

### 6.7 土工布的安裝

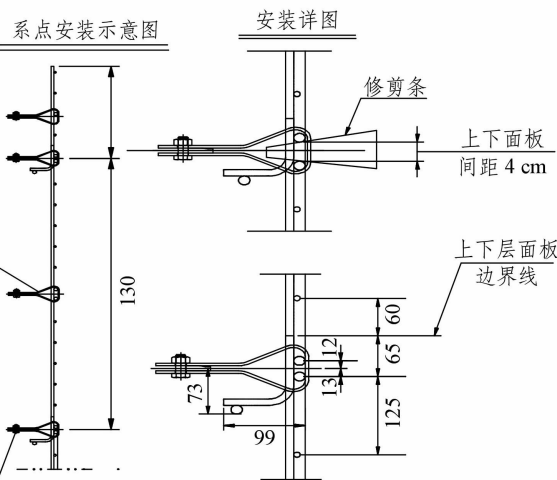
格栅面板和所有系点安装结束后,进行面板后侧三层土工布的铺设。根据面板尺寸进行土工布的裁剪,每边加宽10 cm以便于焊接。土工布安装时,需在系点处剪出宽5~6 cm的缝隙用于连接钢条,土工布上下边采用扎丝进行临时固定,下一层面板安装时,去掉扎丝,进行土工布的焊接。

### 6.8 排水管的安裝和排水料的回填

基础第一层格栅面板及土工布安装结束后,进行HDPE排水花管的安装,排水管直径为150 mm、外侧包裹一层土工布,采用人工安装就位。排水管准确就位后,进行筋带和500 mm厚排水体料的回填,排水体料粒径为10~80 mm,沿整个

cm,采用制作好的楔子块进行调节。所有格栅面板在拐角处需要切割时用手持切割机切除,应对格栅面板切口处进行镀锌喷漆处理,面板安装情况见图2。

### 6.6 系点和钢条的安裝



注:尺寸单位mm

开挖面铺设厚度为500 mm,排水体料采用人工配合装载机 and 挖掘机完成。排水体料的回填过程不允许机械设备在排水体料上走动,避免排水体料被污染及其下部土工产品破坏,回填完成后,及时铺设一层土工布用以与回填料进行隔离。

### 6.9 回填及碾压

回填料的选择、摊铺和压实极为重要,施工过程中必须严格控制。回填料应具有较好的渗水性能,需提前进行回填料的试验检测、配合比设计和碾压试验。

回填料的填筑施工与面板安装、钢条铺设等工序交替进行,循环作业施工至挡土墙顶部。回填作业采用自卸汽车运送回填料、平地机摊铺、振动碾压实,采取自下而上分层填筑,分层厚度一般不大于350 mm,可根据筋带间距适当调整。回填料摊铺时应在靠近面板处预留1 m。

回填碾压次序为:筋带中部→筋带尾部→筋带前部(靠近面板位置)。第一遍速度宜慢,以免壅土将筋带推起,第二遍以后速度可稍快。碾压时应先轻后重,不得用羊角碾碾压,以防凸轮对筋带造成损伤,禁止在未经压实的填料上急剧改变

(下转第103页)

来的信息系统压力,不仅为电力企业节约了大量的资源与时间成本,还能够提供准确地实时统计与分析。不难看出,二者的结合运用在电力企业发展的决策层支持方面具有单一工具所不具备的巨大优势。

## 5 结 语

随着智能电网系统的进一步发展,大数据分析预测这一先进的数据技术为电力企业带来的收益将被越来越多的人所认同。但是,由于目前电力行业的大数据发展尚处于初期的数据治理阶段,且因信息系统历史数据种类繁多,复杂程度大,对于有效数据的甄别还存在困难,故在当前阶段更应注重对历史数据的梳理和分析,继而能够准确挖掘出企业所急需的数据。但在数据治理完成后,则应逐渐转向选择合适的大数据信息化工具,对已有的数据进行宏观层面地分析和预测,从而为智能电网的建设发展提供可靠的技术支撑。

### 参考文献:

- [1] Benjelloun, F. - Z. ; Lahcen, A. A. ; Belfkih, S. Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV), "An overview of big data opportunities, applications and tools", 2015 Year: 2015 Pages: 1 - 6, DOI: 10.1109/ISACV.2015.7105553.
- [2] Apache Software Foundation, "Hadoop Wiki", [EB/OL], <http://wiki.apache.org/hadoop/>, 2015 - 6 - 14.

- [3] Azzedin, F., "Towards a scalable HDFS architecture", Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2013 International Conference on Year: 2013 Pages: 155 - 161, DOI: 10.1109/CTS.2013.6567222.
- [4] Guanghui Xu; Feng Xu; Hongxu Ma, "Deploying and researching Hadoop in virtual machines", Automation and Logistics (ICAL), 2012 IEEE International Conference on Year: 2012 Pages: 395 - 399, DOI: 10.1109/ICAL.2012.630824.
- [5] J. Krüger, M. Grund, C. Tinnefeld, H. Plattner, A. Zeier, and F. Faerber., "Performance for Read Optimized Databases", In DASFAA Conference, pages 291 # 305, 2010.
- [6] Faerber, F., Cha S. K., Primsch, J., Bornhövd, C., Sigg, S., Lehner, W., "SAP HANA database: data management for modern business applications", SIGMOD Rec on Year 2011 Vol. 40, No. 4.
- [7] Bitzer, B.; Gebretsadik, E. S., "Cloud computing framework for smart grid applications", Power Engineering Conference (UPEC), 2013 48th International Universities Year: 2013 Pages: 1 - 5, DOI: 10.1109/UPEC.2013.6714855.
- [8] McHann, S. E., "Grid analytics: How much data do you really need?", Rural Electric Power Conference (REPC), 2013 IEEE Year: 2013 Pages: C3 - 1 - C3 - 4, DOI: 10.1109/REPCon., 2013. 6681858.

### 作者简介:

曾 愚(1986-),男,四川成都人,工程师,双硕士,从事信息系统运维技术与管理工。 (责任编辑:李燕辉)

(上接第 96 页)

运行方向和急刹车,以免筋带被拉动变位并产生超量变形。面板附近 1.5 ~ 2 m 范围内,尤其是靠近面板背部不允许用大、中型压路机进行碾压,应使用小型机械并配以人工方式压实。

### 6.10 变形观测

施工过程中实施的变形观测:在挡土墙施工过程中,每安装两层格栅面板后需进行变形观测一次。变形观测主要采用全站仪、电子水平尺和垂球进行,主要目的是控制整个格栅面板的平整度,确保格栅面板安装轴线位置符合设计要求。

施工结束后的变形观测:施工结束后,为了检查挡土墙施工质量和挡土墙在工作情况下的变形情况,工程竣工后应进行一次全面的变形观测并作好记录,在以后的三个月内每个月观测一次、雨季前后各观测一次。

## 7 结 语

通过对镀锌格栅面板加筋土挡土墙的设计理论和施工技术的研究,结合该挡土墙所具有的结构新颖、造型美观、施工快捷等特点,依姆铀矿项目已将其进行推广并应用于部分临建工程,包括 2 × 500 t 稳定土拌和站和大型条筛挡土墙的设计与施工,主要采用集装箱作为挡土墙面板、后背加筋土回填的方式。目前,我国正在大力开展基础设施建设,包括道路、桥梁、水电、矿山以及市政等工程建设,因此,对镀锌格栅面板加筋土挡土墙进行推广应用具有重要意义,必将会带来较大的社会效益。

### 作者简介:

刘 洪(1968-),男,四川简阳人,国际公司总工程师,高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工;  
阿里木江(1985-),男,新疆喀什人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工。

(责任编辑:李燕辉)