

# 凯里市工业区城市主干道格宾加筋挡墙研究

范厚贵<sup>1</sup>

(中铁二院贵阳勘察设计研究院有限责任公司, 贵州 贵阳 550002)

**【摘要】:** 一般的重力式、衡重式圬工挡土墙, 基础底面宽、体积大, 如墙高过大, 其稳定性、安全度等方面均显示不足, 既不利于土地开发利用, 也往往不经济, 特别对于地基承载力不满足要求时才有桩基拖梁基础更是增加工程投资。凯里市工业区城市主干道 K6+570~K6+750 工点, 中心最大高度 16m, 地表覆土 20~28m 不等, 下伏基岩岩溶发育, 洪水影响及河流冲刷影响。受地质、场地等外部因素影响, 该段不能放坡填方填筑和采用桥梁通过。针对以上问题, 提出加筋格宾挡土墙方案, 通过对格宾加筋挡墙的研究运用, 解决超高支挡工程地基沉降、稳定性等问题。

**【关键词】:** 格宾加筋挡墙 内部稳定性 外部稳定性

**【中图分类号】:** U416. 1 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1003-6563(2022)02-0083-07

## 1 工程概况

K6+570~K6+750 加筋格宾挡墙工点, 原设计为舞溪寺大桥, 行走于舞阳河左岸阶地上。原设计桥在墩、承台施工过程中发现地质情况复杂多变, 桩基在成孔过程中出现坍塌、漏浆等情况。浇筑混凝土过程中出现漏混凝土及串孔现象, 在此情况下无法保证桥桩基的施工质量。经详细勘察发现桥位地质为岩溶强烈发育地区, 存在孤立石牙、溶洞等情况。岩溶形态为小型、竖向、多层, 无大型空洞。

K6+577.5~K6+590: 覆盖层为红粘土, 厚度变化较大, 层厚在 1.10~21.10m 之间。力学指标: 容许承载力  $[f_{a_0}] = 180\text{kPa}$ ,  $E_s = 7.0\text{MPa}$ ,  $\gamma = 17.5\text{kN/m}^3$ ; K6+590~K6+724.5: 覆盖层为粉质粘土及圆砾夹卵石, 厚度变化较大, 层厚在 3.00~28.00m 之间, 力学指标, 粉质粘土, 容许承载力  $[f_{a_0}] = 120.00\text{kPa}$ ,  $E_s = 4.5\text{MPa}$ ,  $\gamma = 17.0\text{kN/m}^3$ ; 圆砾夹卵石, 容许承载力  $[f_{a_0}] = 200\text{kPa}$ ,  $E_s = 6.0\text{MPa}$ ,  $\gamma = 19.0\text{kN/m}^3$ 。下伏基岩为中风化石灰岩, 溶蚀沟槽及倾斜岩面和岩溶洞隙较为发育, 拟建场地为岩溶强发育, 岩石地基容许承载力  $[f_{a_0}] = 2800\text{kPa}$ 。

## 2 方案比选

(1) 放坡填土方案, 中心填高最大 14.7m, 路堤边坡最大高度 16.8m。K6+710 右侧有一泵房, 由于泵房迁改重建周期较长, 不能满足工期要求。

(2) 混凝土圬工挡墙方案, 两侧采用桩基托梁衡重式路肩挡土墙, 最大墙高 15m, 桩长 14~18m。由于基底存在溶洞, 同样需要注浆处理, 无法保证桩基的施工质量, 且工期较长, 造价较高。

(3) 加筋格宾挡墙方案, K6+577.3~K6+643.3 左侧设格宾加筋挡墙, K6+576.5~K6+614.5 右侧、K6+696.3~K6+750.3 左侧、

**作者简介:** 范厚贵(1985-), 男, 工程师, 研究方向: 岩土工程的整治与绿化。

K6+699~K6+736.6 右侧设格宾加筋路肩挡墙。最大墙高 16m。格宾加筋挡墙的优势有：加筋挡墙具有一定柔韧性，能够适应地基轻微变形，且抗振性强；格宾石笼作为加筋挡格宾，其孔隙较大，透水性好，具抗冲刷性，对地基承载力要求相对较低、适应性强、整体性好、抗震性能高，施工简便、快速、节省劳力和缩短工期，工程造价较低。



图 1 场地地貌

经与放坡填筑、桩基托梁衡重式路肩挡土墙、格宾加筋挡墙的经济、技术比较，采用格宾加筋土挡墙，如图 2。

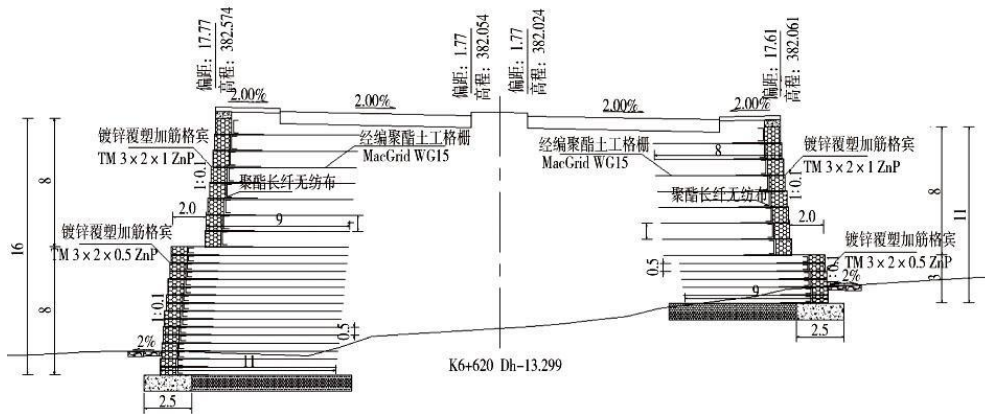


图 2 加筋格宾挡墙支护代表性断面

### 3 格宾加筋挡墙工作原理

#### 3.1 结构形式

加筋格宾挡墙是由高强土工格栅与格宾组成。格宾为低碳钢丝经编而成的双绞合六边形金属格宾网箱，钢丝镀锌或镀高尔凡并覆塑。其面墙为格宾网箱，土工格栅为高强土工格栅，面墙网箱与土工格栅现场绞合平装，加筋格宾单元的一般规格长宽高分别为 2~4m×1m×0.5~1m，在工点现场直接充填片石或者卵石构成面墙。高强土工格栅加筋体水平铺设于格宾单元后形成加筋填筑体，如图 3。

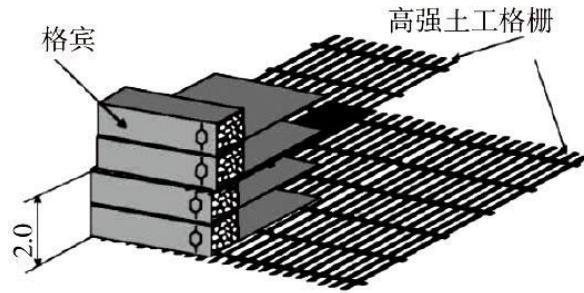


图3 加筋格宾挡墙结构示意图

### 3.2 工作原理

基本原理：面墙以格宾石笼代替传统的混凝土预制面板，增强透水性和抗变形能力。面墙后方在结构体填料中沿滑动方向设置具有一定变形能力的高强土工格栅，填料与高强土工格栅摩擦作用，使加筋土如同具有粘聚性，从而土的物理力学指标得到提高。

加筋土强度的两种观点：

#### (1) 摩擦原理：

土工格栅与填土视为一体，假想为相互作用的结构体。结构承受外力和填土自身重力形成的土压力作用于格宾石笼上，格宾石笼与土工格栅稳固连接，通过结构自身内部作用，土压力传递给土工格栅，而土工格栅又被填土压住，填土与土工格栅之间的摩擦力防止土工格栅被拔出。因此，只要土工格栅有足够的强度，并与土产生足够的摩阻力，则加筋格宾挡墙保持内部稳定。

#### (2) 莫尔-库仑理论：

土工格栅与填土视为均质各方向力学指标不同，土工格栅与土是复合材料。土工格栅弹性模量远大于填土，土工格栅与填土共同作用，包括填土的抗剪力、土工格栅与填土的摩擦阻力及土工格栅的抗拉强度，使得各方向强度显著提高。<sup>[3]</sup>

### 3.3 加筋土挡墙破坏形式<sup>[2]</sup>

#### (1) 内部稳定不满足破坏：

土工格栅断裂造成挡土墙破坏或土工格栅与土间摩擦力不足造成加筋挡墙破坏。

#### (2) 外部稳定不满足破坏：

沿基底抗滑稳定性不足或地基承载力不足或抗倾覆能力不够造成加筋挡墙破坏。

## 4 计算分析

由于格宾加筋挡墙是近年发展起来的新型结构，其理论计算还处于研究、完善过程，尚无标准规范予以借鉴，鉴于本格宾加

筋挡墙视格宾为面板，挡墙主要结构与加筋土挡墙吻合，故采用《公路路基设计规范》(JTGD30—2015)加筋挡土墙设计计算方法。

#### 4.1 土工格栅计算

加筋格宾挡墙格宾与土工格栅独立的计算方法中，加筋格宾挡土墙格宾后填料中的破裂面的形状和位置是确定土工格栅长度的重要依据。加筋土设计理论中滑面形态、位置假定有多种。其中折线滑面线是实测资料各层土工格栅所受拉力的最大值(峰值)圆顺连接而得到的所谓“潜在破裂面”。<sup>[1]</sup>

高强土工格栅采用刚塑复合材料，变形小，抗拉强度大，蠕变率低；不易产生脆裂破坏；与填料之间的摩擦系数大；在填土中耐久性和耐腐蚀能好。

土工格栅选用单向高强土工格栅，抗拉强度 150kN/m。土工格栅长度计算结果见表 1。

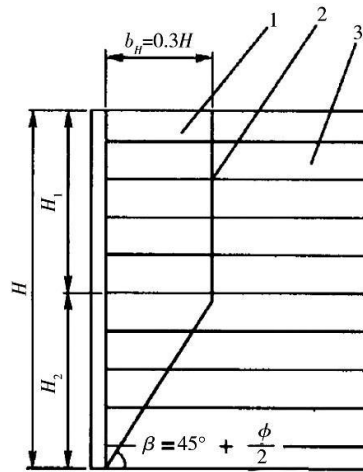


图 4 折线滑面

1-活动区；2-简化破裂面；3-稳定区。

表 1 土工格栅长度表

墙高/m	H <sub>1</sub> /m	H <sub>2</sub> /m	L <sub>1</sub> /m	L <sub>2</sub> /m
16	8	8	9	11
15	8	7	8	10
14	8	6	8	10
13	8	5	8	9
12	8	4	8	9
11	8	3	8	9

10	8	2	8	8
----	---	---	---	---

$L_1$ 为平台以上土工格栅长度,  $L_2$ 为平台以下土工格栅长度。

#### 4.2 内部稳定计算<sup>[1]</sup>

##### (1) 土压力系数计算

$$\begin{aligned} \text{当 } z_i \leq 6 \text{ m 时} \quad & K_i = K_j(1 - z_i/6) + K_a \times z_i/6 \\ \text{当 } z_i > 6 \text{ m 时} \quad & K_i = K_a \\ & K_j = 1 - \sin\phi \\ & K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \end{aligned}$$

式中:  $K_i$ —加筋体内深度  $z_i$  处土压力系数;  $K_a$ —主动土压力系数;  $z_i$ —第  $i$  层土工格栅至加筋体顶面的垂直距离;  $K_j$ —静止土压力系数。

##### (2) 作用于格宾上的水平土压力

$$\sum \sigma_{Ei} = \sigma_{zi} + \sigma_{ai} + \sigma_{bi}$$

式中:  $\sigma_{zi}$ —加筋土填料作用于深度  $z_i$  处格宾上的水平土压应力 (kPa);  $\sigma_{ai}$ —活荷载作用于深度  $z_i$  处板墙面上的水平土压应力 (kPa);  $\sigma_{bi}$ —加筋体顶面以上横载换算均布土厚所引起的深度  $z_i$  处格宾上的水平土压应力 (kPa)。

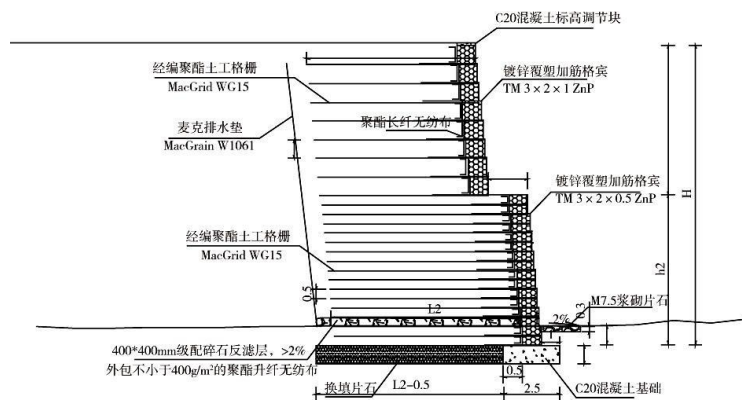


图5 结构计算简图(单位:m)

##### (3) 加筋体深度 $z_i$ 处的附加竖直压应力

$$\sigma_{fi} = \gamma h_o L_c / L_{ci}$$

式中： $h_o$ —活荷载换算等代均布土层厚度(m)； $L_c$ —加筋体计算时采用的荷载布置宽度，取路基全宽(m)； $L_{ci}$ —加筋体深度  $z_i$  处的荷载扩散范围(m)； $\gamma$ —加筋体的自重(kN/m<sup>3</sup>)，当为浸水挡土墙时，按最不利水位上下的不同而分别计入。

(4) 永久荷载自重作用下，土工格栅所在位置的竖向压力

$$\sigma_i = \gamma_{zi} + \gamma h_1$$

式中： $\sigma_i$ —在  $z_i$  层深度处，作用于土工格栅上的竖向压应力(kPa)； $h_1$ —加筋体以上结构自重换算等代均布土厚度(m)。

(5) 单个土工格栅点的抗拔稳定性按公式验算

$$\left. \begin{aligned} \gamma_0 T_{i0} &\leq T_{pi} / \gamma_{R1} \\ T_{i0} &= \gamma_{Q1} T_i \\ T_{pi} &= 2f'\sigma_i b_i L_{ai} \\ T_i &= \left( \sum \sigma_{Ei} \right) s_x s_y \end{aligned} \right\}$$

式中： $\gamma_0$ —结构重要性系数； $T_{i0}$ — $z_i$  层深度处的土工格栅的水平拉力设计值(kN)； $T_i$ — $z_i$  层深度处的土工格栅的水平拉力； $\sum \sigma_{Ei}$ —在  $z_i$  层深度处，格宾上的水平土压应力(kPa)； $\gamma_{Q1}$ —加筋体及墙顶填土主动土压力或活荷载土压力的分项系数； $T_{pi}$ —永久荷载重力作用下， $z_i$  层深度处，土工格栅有效摩擦长度所提供的抗拔力(kN)； $\gamma_{R1}$ —土工格栅抗拔力计算调节系数； $s_x$ —土工格栅结点水平间距(m)； $s_y$ —土工格栅结点垂直间距(m)； $f'$ —填料与土工格栅间的似摩擦系数； $b_i$ —结点上的土工格栅总宽度(m)； $L_{ai}$ —土工格栅在稳定区的有效锚固长度(m)。

(6) 土工格栅截面的抗拉强度验算公式

$$\gamma_0 T_{i0} \leq A f_k / 1000 \gamma_f \gamma_{R2}$$

式中： $A$ —土工格栅截面的有效净截面积(mm<sup>2</sup>)； $f_k$ —土工格栅强度标准值(MPa)； $\gamma_f$ —土工格栅抗拉计算性能的分项系数； $\gamma_{R2}$ —土工格栅抗拉计算性能的分项系数。

内部稳定性计算结果如表 2

表 2 内部稳定验算结果表

$Z_i/m$	$T_{i0}/kN$	$T_i/kN$	$T_{pi}/kN$	$Z_i/m$	$T_{i0}/kN$	$T_i/kN$	$T_{pi}/kN$
---------	-------------	----------	-------------	---------	-------------	----------	-------------

1	20.2	14.4	56	9	74.4	53.1	300
2	29.4	21	112	10	81.9	58.5	300
3	37.1	26.5	150	11	89.5	64	300
4	43.4	31	150	12	97.1	69.4	300
5	48.2	34.4	150	13	104.7	74.8	300
6	51.6	36.9	150	14	112.3	80.2	300
7	59.2	42.3	150	15	119.9	85.6	300
8	66.8	47.7	300	16	127.5	91.1	300

计算结果表明，土工格栅水平拉力设计值满足要求，但 8m 以下筋体抗拔力达 300kN，故墙顶填土以下 0~7m 范围采用单层土工格栅，8m 以下范围内采用双层土工格栅。

全墙抗拔稳定性验算，分项系数取 1.0:

$$K_b = \Sigma T_{pi} / \Sigma T_i = 4.35 > 2.0, \text{ 满足要求}$$

#### 4.3 外部稳定性计算

根据规范要求，外部稳定性计算进行抗滑稳定验算、抗倾覆稳定验算、地基承载力验算和整体稳定验算，规范规定验算公式及要求与重力式挡墙相同。验算结果如表 3:

表 3 外部稳定性验算结果表

验算内容	验算结果
抗滑移验算	$K_c = 2.13 > 1.300$ 满足要求
抗倾覆验算	$K_o = 7.6 > 1.500$ 满足要求
作用于基底的合力偏心距验算	$e = 0.246 < 0.167 \times 11.0 = 1.83$ (m) 满足要求
整体稳定验算	$K = 1.669 > 1.5$ 满足要求
墙趾处地基承载力验算	压应力 = 422.8 > 240.000 (kPa) 不满足要求
墙踵处地基承载力验算	压应力 = 322.6 > 260.000 (kPa) 不满足要求
地基平均承载力验算	压应力 = 372.7 > 200.000 (kPa) 不满足要求

外部稳定验算结果表明，除天然地基承载力不满足要求外，其余均满足要求，设计时对地基基础进行换填处理，格宾单元范

围内换填 2.5m 宽，1m 深 C20 混凝土扩大基础，加筋结构填土部分地基换填 1m 厚片石处理，以满足地基承载力要求。

## 5 格宾面墙设计

格宾面墙作用：防止土工格栅间填土从侧向挤出，并保证土工格栅、填料、格宾构成有一定形状的整体。

本工点根据现场情况，基础沉降不均(覆土厚度变化较大)、受河流洪水冲刷、工期紧等因素采用格宾石笼面板(墙),在工点现场直接充填块石料构成。

## 6 施工顺序及施工主要注意事项

### 6.1 施工顺序

①施工放样→②地面平整→③开挖格宾挡墙基础→④施做格宾挡墙基础→⑤铺设土工格栅，安装格宾笼→⑥人工填石(面墙 0.3m 采用干砌)→⑦安装墙土工布→⑧分层回填结构填土(面墙 2m 范围内人工夯实)→⑨分层填土(机械压实)。重复⑤~⑨工序至设计墙顶标高。

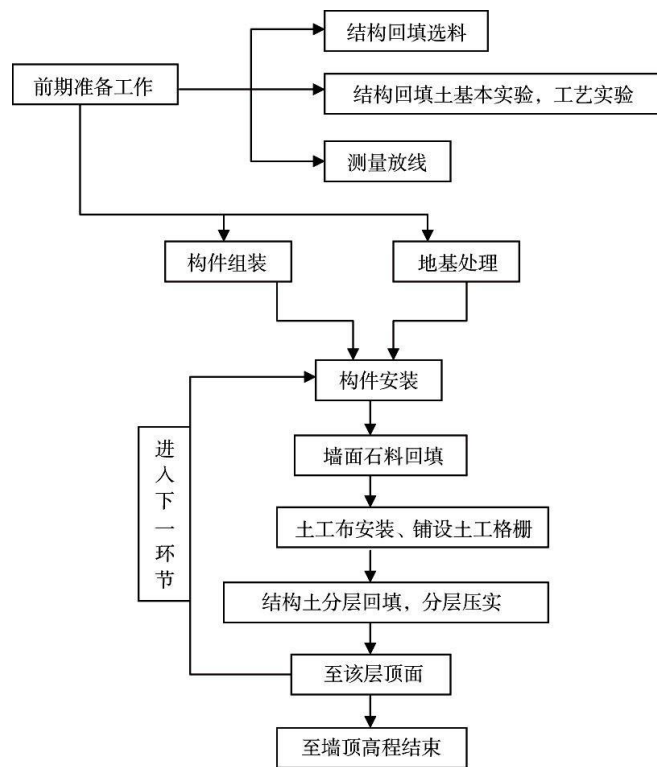


图 6 加筋格宾挡墙施工工艺流程图

### 6.2 格宾挡墙施工操作要点

(1)放样必须准确无误。应根据基础的纵横轴线，推出基础边线的定位点，再放线画出基坑的开挖范围，基坑底部的尺寸较设计平面尺寸每边各增加 0.5m 的富余量。

(2) 基坑可采用人工开挖或机械开挖，当采用机械开挖时，应保留不小于 30cm 的底层用人工挖至基底标高。复核基底平面位置、尺寸大小和基底标高，采用直观、触探或挖试坑等方法，确定基底容许承载力是否符合设计要求，确认符合设计要求时，进行整平夯实后方可进行基础的施工。

(3) 应严格按设计要求位置对基础进行沉降缝的施工，沉降缝两侧壁应竖直、平齐、无搭叠。

(4) 格宾挡墙墙前定位要准确，采用立板拉弦线定位各层格宾位置，挡墙胸坡采用各层格宾退台实现。

(5) 格宾构件安装

① 格宾与格栅联结采用等强度格宾钢丝按间隔 10~15cm 单圈缠绕-双圈锁紧间隔绞合(见图 7)。

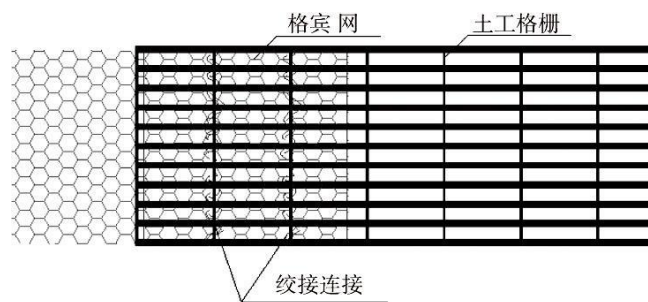


图 7 格宾与土工格栅联结示意图

② 格宾与格宾连接固定，各相接面板边缘采用格宾钢丝按间隔 10~15cm 单圈缠绕-双圈锁紧间隔绞合(如图 8、图 9)。

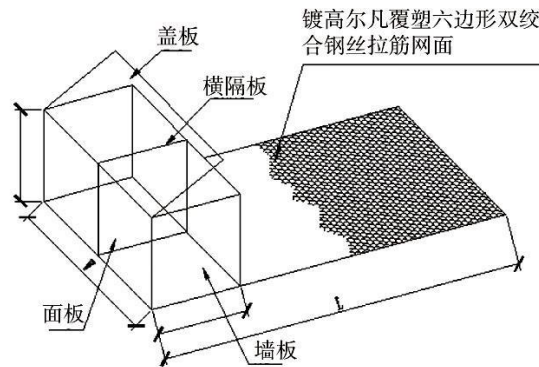


图 8 组装格宾

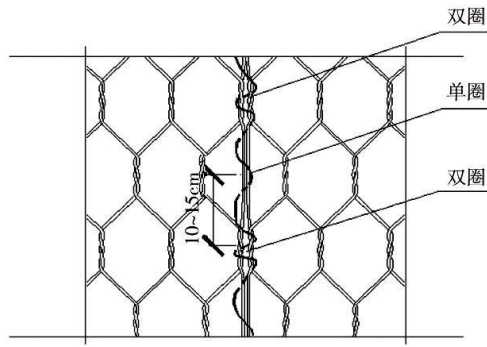


图9 边缘绞合

③加筋格宾挡墙弧形面墙及转折情况处理(如图10)。

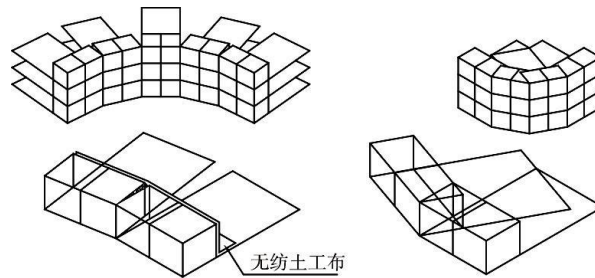


图10 曲面面墙连接图

- a、凹型弧面：面墙紧靠，后端加筋网面错开，相邻单元面墙必须用钢丝绞合连接；
- b、凸型弧面：面墙紧靠，后端加筋网面根据曲线重叠，重叠面墙必须用钢丝绞合连接。

④面墙填石前，应采用一定的临时支撑(如木模、脚手架等)约束构件的变形，以确保施工后的墙体外观规矩、平整(如图11)。

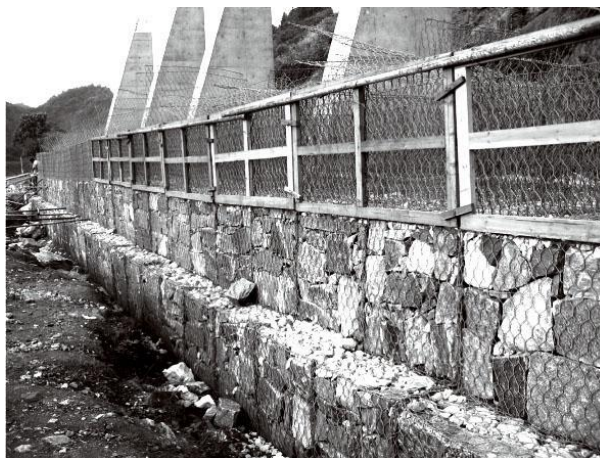


图11 方格面板示意图

(6) 各层格宾面墙部分施工，采用人工干砌，确保外露平顺美观。为保证填筑质量及填筑效果，相邻格宾内石料填筑高差不大于 0.3m。对于 1m 高格宾构件，石料填筑 1/3、2/3 时分别采用拉筋钢丝对其拉紧，如图 12、13 所示。

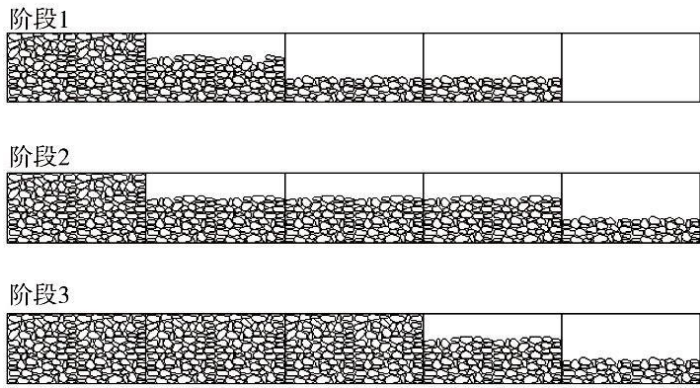


图 12 分层装填图

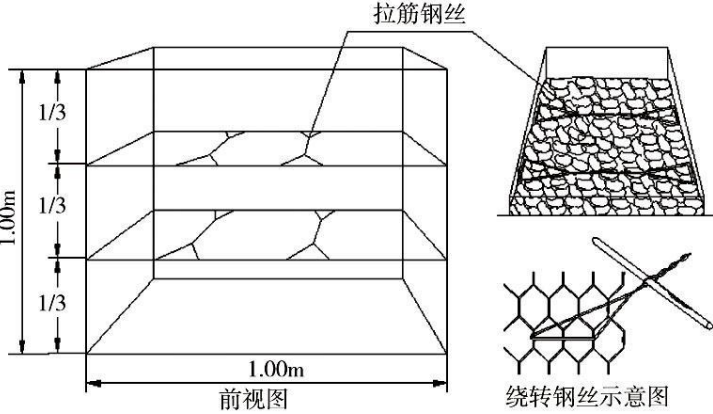


图 13 加强钢丝的绑扎

(7) 填方施工前，为防止填方中细颗粒被雨水带走，在格宾面墙背部与填料间设置土工布。

(8) 铺设土工格栅前，应将下方填土碾压密实，并略高于加筋面，然后铺设土工格栅，填筑格栅上部覆土，然后碾压，保证碾压密实后，土工格栅基本水平。

(9) 格栅铺设：铺设的格栅主要受力方向通长无接头，幅与幅之间的搭接宽度不小于 10cm。施工时注意上下两层层与层之间应错缝。大面积铺设后，要整体调整其平直度。用填土压重固定，防止松弛，格宾之上填方每 30cm 一个压实层，松铺厚度经试验确定。

(10) 填料应优先选用级配较好的砾类土、砂类土等粗粒土作为填料，填料最大粒径应小于 150mm；在筋带长度范围内不宜有尖锐棱角的块石土，以免损坏加筋格栅。填料摊铺前应进行压实试验，根据碾压机械和填料性质确定填料分层摊铺厚度和碾压遍数等施工参数。

---

(11)格宾挡墙后 2m 范围内，不得采用大型压实机械压实，可以采用蛙式夯人工夯实，也可采用小型压路机碾压密实。机械碾压时请按施工规范要求操作。

## 7 结论

本文对宾加筋挡墙的受力分析、计算及施工实践得出，加筋格宾挡墙可应用于软弱地基的高填方地段，其特点：地基承载力要求相对较低、适应性强、整体性好、抗震性能高，施工简便、快速、节省劳力和缩短工期，工程造价较低。

### 参考文献：

[1]中华人民共和国交通部. 公路路基设计规范:JTGD30—2015[S]. 北京:人民交通出版社, 2015.

[2]国家铁路局. 铁路路基支挡结构设计规范:TB1025—2019[S]. 北京:中国铁道出版社, 2019.

[3]加筋土挡墙的原理分析[R/OL]. [2022-01-18]. <https://wenku.baidu.com/view/4ea4d5543968011ca30091f9.html>.