

生态柔性加筋土挡墙在黑色金属矿山选矿厂边坡的应用

吴婷婷

马克菲尔（长沙）新型支档科技开发有限公司 湖南长沙 410000

【摘要】本文以特殊地区地层的工程案例为背景，论述了黑色金属铁矿矿山选厂区采用柔性加筋格宾式挡墙的设计过程。借助岩土边坡分析软件进行计算，确定了合理的设计参数，并指出了设计施工过程中注意事项，为东北地区类似工程提供一定的借鉴指导意义。

【关键词】柔性加筋土挡墙；高边坡；黑色金属矿山；选厂区

引言：

加筋土结构由于其具有生态、经济、抗震性能好、施工便捷等优势，以广泛应用于公路、铁路、市政、矿山等工程应用中。

国内外不少学者在湖南裕新多金属矿床技术改造工程^[1]、内蒙古扎哈淖尔露天矿输煤系统破碎站工程^[2]中，对加筋土、重力式和扶壁式三种结构的挡墙进行了经济比较，推荐加筋土作为高边坡支护方式，在工程应用中取得了良好的效果。

上述学者研究的成果均基于加筋填料为碎石土，本身具有较强的排水功能；笔者遇到的场地边坡填土含水率较高，需采用额外的措施来保证设计满足技术要求。借助岩土分析软件对边坡进行力学计算，在采取一定的工程措施情况下，该挡墙外部稳定性和内部稳定性均能满足规范要求。在保证安全的前提下，业主采纳了该柔性加筋土挡墙方案，节约建造成本30%左右。

1 工程概况

本溪歪头山铁矿位于辽宁本溪市西北部约30km，行政区划隶属于本溪市溪湖区石桥子镇。根据生产任务的要求，现需对矿山生产的低品位矿及废石进行综合利用，因此需在选矿厂建设相关工艺厂房来满足辊磨干选工艺的要求。

拟建场地地貌属丘陵地貌，东西两部为山岭，中部为沟谷。场地分为两个平台，上部平台整平标高在180m，下部整平标高在172m，根据总图布置要求，边坡从北侧开始从172m渐变到180m，到南侧后根据厂区内道路的设计，边坡沿着道路从180m渐变到172m，最高高度为8m。

由于选矿厂区生产功能、场地空间的限制，该边坡没有足够的空间进行放坡，需对该边坡进行支护处理。

2 工程地质

拟建场区在钻孔深度范围内场地地层较为简单，各土层的性质、状态分述如下：

①杂填土：杂色，主要成分为碎石、块石、黏性土建筑垃圾等，一般粒径20~150mm，最大粒径300mm，棱角形，骨架颗粒含量约30%，级配一般，松散~稍密。该层分布基本连续，层底标高在166.21~187.23m，层厚0.30~12.60m。

②素填土：杂色，主要成分为碎石、黏性土及少量块石等，一般粒径20~40mm，最大粒径150mm，棱角形，骨架颗粒含量约40%，级配较好，稍密~中密。该层分布在部分钻孔中，层底标高在166.47~183.23m，层厚0.60~7.30m。

③粉质黏土：黄褐色，含铁锰质结核，摇震反应无、干强度中等、韧性中等，硬可塑。该层分布较少，仅在个别钻孔遇到，层底标高在169.11~180.57m，层厚1.90~3.90m。

④全风化花岗岩：黄褐色，风化成砂状，整体胶结在一起，胶结力弱，用手易捏碎，为极软岩。该层分布基本连续，层底标高在153.42~180.45m，层厚0.70~19.20m。

表1 边坡支护参数表

岩土名称	重度	内摩擦角	粘聚力	承载力特征值	挡土墙基底摩擦系数
	(kN/m ³)	ϕ (°)	C (kPa)	(kPa)	μ
杂填土	18.5	30	10	/	/
素填土	18.8	35	15	/	/
粉质黏土	18.8	13.9	17.7	160	0.25
全风化花岗岩	19.8	28	25	220	0.40

3 挡墙方案比选

该边坡在支护设计时需重点考虑：1、拟建场地抗震设防烈度为7度，设计基本地震加速度值为0.10g。2、厂区整平后存在大量边坡开挖，尽量避免土体外运而产生的环境污染和费用增加。3、场地由于为山体削坡回填而成，因此填土、风化岩风化程度及深度变化较大，存在岩土组合地基，地基具有不均匀沉降特点。4、持力层地基承载力为160~220kPa，尽量减少地基处理产生的费用。

根据项目本身的技术难点、场地平整高程要求、场地外部条件，提出了三个可行的解决方案。

方案一：柔性加筋土挡墙。挡墙需坐落于全风化花岗岩层，若是位于素填土或杂填土需进行强夯处理，底部统一采用混凝土垫层进行找平。加筋格宾挡墙总高度10m，埋深2m，面墙坡比1: 0.1。

方案二：衡重式挡墙。采用C25毛石混凝土挡墙，基础采用C30混凝土扩大基础。面墙坡比1: 0.05。

方案三：扶壁式钢筋混凝土挡墙。采用C25钢筋混凝土扶壁式挡墙。面墙垂直。

表2 挡墙方案比较表

	方案一： 柔性加筋土	方案二： 毛石混凝土	方案三： 扶壁式挡墙
优点	1、施工速度快，不用支模养护； 2、可就地取材； 3、结构安全。	1、施工工艺较简单，施工设备少。	1、钢筋混凝土扶壁挡墙结构安全可靠； 2、施工工艺成熟，作业较简单；
缺点	1、施工要求严格，要求专业技术人员指导；2、材料要求质量可靠，要求通过质量检测，符合国家规范要求。	1、大体积混凝土，需分段施工，速度慢； 2、单位体积大，造价高； 3、高大重力式挡墙安全性较低。	1、钢筋混凝土需分段施工，速度慢； 2、对地基承载力要求高； 3、造价高。
造价	310万（含基础）	408万（含基础处理）	524万（含基础处理）
结论	从安全、技术、经济综合考虑，最终采用柔性加筋土挡墙方案。		

4 柔性加筋土挡墙设计施工

4.1 设计条件

拟建挡墙位于筛分厂房与干选机微粉筛分厂房之间，边坡支护高度从2—10m，挡墙总长216m。边坡坡脚为开挖平台；局部为杂填土和素填土堆填，局部为全风化花岗岩。

4.2 挡墙稳定性分析

根据《地勘报告》中原状边坡岩土参数、加筋格宾及土工格栅技术参数、回填土力学参数、顶部道路荷载，借助

岩土边坡计算软件Geo-Slope/W和理正岩土验算加筋土挡墙的水平抗滑稳定性、倾覆稳定性、地基承载力、边坡内部稳定性和整体稳定性^[3]。

计算中需注意：1、回填土按照现场实际填土压实后的抗剪强度进行计算；2、土工格栅需按照筋材的长期设计抗拉强度进行计算；3、加筋土底部水平摩擦系数为填土内摩擦角的正切值；4、土工格栅属于柔性筋材不能传递弯矩，加筋土挡墙基底压应力按照梅式均布分布进行计算^[4]。

表3 挡墙计算

计算项目	计算值	规范值
抗滑稳定安全系数	4.517	1.30
抗倾稳定安全系数	7.310	1.60
挡墙最大压应力（kPa）	210	-
外部整体稳定性	2.159	1.35
内部整体稳定性	1.887	1.35

上述系数均满足现行规范^[5]的要求，挡墙基底需坐落强风化花岗岩或经强夯处理后的基础，现场需对处理后的基础进行载荷试验确定地基承载力要求。

4.3 挡墙设计方案

4.3.1 基础

基础开挖或处理后采用C35混凝土找平，使加筋格宾挡墙底部标高统一在标高170m。

4.3.2 墙体

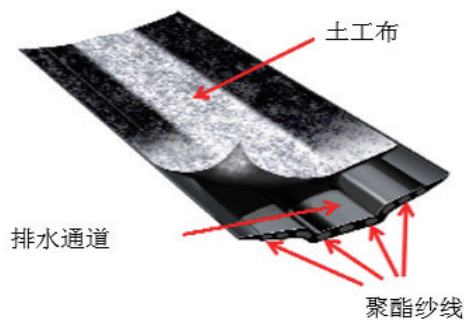
面墙：采用低碳钢丝编织成的柔性加筋格宾面墙，具有自透水性、柔韧性等特点；

填土：采用现场开挖后填土进行分层碾压回填，分层厚度30~40cm，填土粒径大于60mm含量不得超过30%，最大粒径不宜超过150mm。填土压实系数不小于0.94，靠近面墙范围1m内采用人工压实，压实系数不小于0.90^[6]。

筋材：由于现场填料具有一定的含水率，为了快速排出填土中的水分，提高填土的力学性能，保证加筋土的稳定性，该项目采用具有排水功能的纤塑格栅。排水土工格栅包括横向条带和纵向条带（如图1a），横向条带主要是保持格栅的几何形状，确保纵向条带保持平行和等距；纵向条带具有加筋和排水的双层功能，由两部分组成（如图1b），加筋结构由高韧性聚酯纱线集束成股并采用鞘套进行保护；排水结构是在鞘套形成的通道中热粘无纺土工布进行反滤排水^[7]。



(a)



(b)

图1 排水土工格栅及细部结构图

加筋土顶部采用黏土压实回填或混凝土浇筑，避免雨水下渗；同时挡墙墙后采用土工复合排水材料结合墙体内部土工布包裹碎石形成横向排水层将渗入墙体内部的水排出到墙前的排水沟；墙前排水沟与总图场地内排水设施形成统一。

挡墙典型断面详见图2。

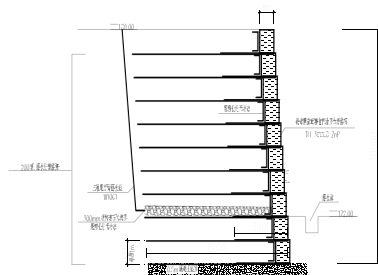


图2 加筋格宾挡墙典型断面图

4.4 施工注意事项

(1) 加筋范围内填土在大量施工前需进行压实试验，确定回填厚度及碾压遍数等参数，试验检测合格后方

可进行大面积压实施工。

(2) 排水纤维土工格栅施工过程中应拉着、绷紧，并用U型钉或木桩进行固定，避免施工扰动；同时未设保护层之前禁止任何车辆在格栅上行驶。

(3) 加筋土面墙填充石料需采用面墙钢管固定措施，同时靠近面墙30cm内填料采用干砌，以保证面墙施工的平整性^[8]。

结论

(1) 柔性加筋土挡墙较其它型式挡墙，在高边坡支护中具有安全性高、造价较低、施工简便、施工周期短等优势。尤其在东北地区，冬天来临之际气温偏低不利于混凝土浇筑施工并养护。

(2) 加筋范围内填料可现场采用开挖边坡的填料，对于挡墙本身的投资，相比其它混凝土挡墙可降低工程造价25%以上，这里不包含额外基础处理费用和现场施工周期长引起的管理费用。

(3) 在加筋土结构中若采用粘性土作为回填料，为了降低超孔隙水力以有效提高填土与加筋材料之间的相互作用力和结构稳定性；应采用排水纤维土工格栅对粘性填土进行加筋，该解决方案可进一步降低结构的工程造价，更有利于加筋土的应用。

参考文献：

- [1] 谢飞, 许福丁, 唐文波. 新型绿色加筋格宾挡墙在湖南裕新多金属矿床技术改造工程中的应用实例分析[J]. 中国矿业, 2013, 22(7): 107-110.
- [2] 张立华, 朱宴南, 赵健等. 加筋格宾式挡墙在高寒地区煤炭破碎站的应用[J]. 露天采矿技术, 2017, 32(1): 23-26.
- [3] 《公路路基设计规范》(JTG D30-2015)
- [4] 《铁路路基支挡结构设计规范》(TB 10025-2019)
- [5] 《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2013)
- [6] 《公路土工合成材料应用技术规范》(JTG/T D32-2012)
- [7] P. Rimodi, Design of reinforced structures with low-permeability fills using draining geogrids. Geo Americas-2016.
- [8] 祝和意, 马晓华. 加筋格宾挡墙施工关键技术研究[J]. 铁道建筑. 2011, (5).