

磷矿尾矿砂在道路基(垫)层中的应用

罗海兵, 闫红民

(连云港市规划市政设计研究院, 江苏连云港 222001)

摘 要:为探索磷矿尾矿砂在道路基(垫)层中应用的可能性,对磷矿尾矿砂的来源及工程特性进行最分析,并通过铺筑试点工程,表明磷矿尾矿砂是一种很有应用前景的道路基(垫)层新材料。

关键词:磷矿尾矿砂;道路基(垫)层;材料;工程应用;连云港市

中图分类号:×751;U416.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2005)02-0120-03

1 建设需求与资源开发

1.1 工程建设需要大量基(垫)层材料

连云港市在城市道路及周边公路等工程建设中,每年用于软基处理浅层基础换填的山场碎石土约 100~150 万 m^3 。山场碎石土属于不可再生的一次性资源,由于保护环境的需要,连云港市已加大对山体及其植被保护的力度,实施封山育林。据国土局统计,连云港市范围内 96 家采石场已关停 80 家,造成山场碎石土供给量剧减,尽管政府部门采取了合理开发利用山体的措施,但由于基础设施建设的迅速增加,这种供需矛盾仍然越来越突出,为了缓和这种供需矛盾,急待我们进行广泛的研究,寻求山场碎石土的替代品。

1.2 连云港市积存大量工业废料

全国六大磷矿之一的连云港市锦屏磷矿在近 50 a 的工业生产中附带产生了大量的尾矿砂副产品。目前尾矿库内堆存尾矿砂约 2 000 万 t,合计约

1 300 万 m^3 。尾矿库于 1958 年建成投入使用至今已有 47 a。由于尾矿库原设计在库容、排渗和溢洪方面考虑欠周,设计防洪仅为 50 a 一遇洪水;加之目前又超期服役,已不能满足安全生产需要。现在尾矿库的坝已严重超高,1993 年出现塌井事故,1994 年被列为江苏省十大隐患之一,严重威胁周围居民的安全。每年锦屏磷矿都投入相当的财力、物力和人力对尾矿库进行防洪、封砂与固砂的治理。不仅占用土地,而且污染环境。如何综合治理、开发利用尾矿砂、使其变废为宝已成为锦屏磷矿乃至连云港市的当务之急。

2 磷矿尾矿砂的工程特性

2.1 磷矿尾矿砂的化学成分

磷矿尾矿砂中钙、镁、硅含量较高,钙和镁以矿物形态存在于尾矿砂中,以 CaCO_3 和 MgCO_3 形态出现,硅元素以 SiO_2 形态出现。 MgCO_3 在 500 $^\circ\text{C}$ 以上时才能分解形成游离 MgO ,而在道路基(垫)层中不会出现大于 500 $^\circ\text{C}$ 的温度,所以使基(垫)层膨胀开裂现象一般不会发生。另外,尾矿砂中还含有少量 Fe_2O_3 、 P_2O_5 及 Al_2O_3 等物质。 P_2O_5 含量较低(约

收稿日期:2004-11-05

作者简介:罗海兵(1967-),男,江苏连云港人,高级工程师,从事道桥设计和技木管理工作。

5.3 施工验收

(1)对已完工程各部位涂层,不得有漏涂、翘边、开口、开裂、空鼓、分层等现象。

(2)涂层实际平均厚度不能低于设计厚度,可用针刺法或切片进行检验。

(3)根据施工日志记录,由监理认定的防水层厚度的涂沫次数及用量来控制防水层:平均厚 1.5 mm,涂刷 3 次,用量 $\geq 2.5 \text{ kg/m}^2$;平均厚 2 mm,涂刷 4 次,用量 $\geq 3.3 \text{ kg/m}^2$ 。涂刷须均匀,表面要平整,严格控制规定厚度的材料用量以保证涂层膜厚。

6 结语

“湿维佳”聚氨酯防水涂料是一种绿色环保型产品,由于这种新型复合材料,具有独特的性能,使用时产品按(A)+(B)配合一定比例均匀混合后,构成双组份新型高分子涂膜防水涂料,涂刷在水泥或混凝土以及其他材质的表面上,数小时后,经化学反应得到一层橡胶状防水涂膜,牢固地粘接着。这是一种防水、防渗综合性能良好而稳定、使用寿命长的产品。

1.86%),对基(垫)层不构成危害。至于传说中尾矿砂的放射性问题,连云港市已委托南京大学现代分析中心和北京市疾病预防控制中心检测过,检测结论均满足《建筑材料放射卫生防护标准》(GB 6566-86)规定中的要求,作为建筑材料使用不受限制。

2.2 磷矿尾矿砂的物理特性

磷矿尾矿砂的堆积密度为 $1600 \sim 1900 \text{ kg/m}^3$, 比重为 2.66, 渗透系数 K 值为 $2.0 \sim 8.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, 烧失量为 8.2%。尾矿砂的粒径主要分布于 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ 范围内,该范围内粒径含量高达 83.8%,大于 0.5 mm 的颗粒极少,仅为 1%, $0.074 \sim 0.1 \text{ mm}$ 范围的颗粒约占 8.8%,小于 0.074 mm 的颗粒不足 6.5%。尾矿砂的细度模数小于 1.5,因此其级配组成极细,属特细砂。尾矿砂中的粘粒和粉粒的含量很少,表明颗粒表面活性很低,无粘性,水稳性好。

3 工程试验应用

3.1 磷矿尾矿砂国内外综合利用情况

磷矿在全国分布不均匀,其尾矿砂的综合利用研究目前还处于起步阶段。磷矿尾矿砂用于加气混凝土砌块研究已比较成熟,但由于初期投资较大,投资回收期较长,尤其是目前情况下市场竞争力不强等原因,一直未得到推广。尾矿砂用于道路基(垫)层方面有一个突出特点,就是材料单价低,运费所占比重大(70%~80%),所以实际应用方面区域性特征尤其明显。

3.2 试点工程

3.2.1 试点工程概况

位于连云港市新浦区新孔路与盐河路之间的陇海西路新建工程,在三个方面做了磷矿尾矿砂应用的试点。第一是用尾矿砂直接代替部分山场碎石土垫层,该工程原设计为 100 cm 厚山场碎石土垫层,连云港市建设局将该工程确定为试点工程后,将垫层调整为 60 cm 尾矿砂+ 40 cm 山场碎石土;第二是用二灰砂代替部分二灰碎石基层,该工程原设计为 30 cm 厚二灰碎石基层,工程试点时将其调整为 15 cm 二灰砂+ 15 cm 二灰碎石;第三是用尾矿砂直接代替石粉用于排水管道沟槽回填。

3.2.2 尾矿砂用于道路垫层

施工山场碎石土垫层,一般采取边挖基槽边回填的办法,不需推土机配合,至多用施工基槽的挖掘机简易配合即可,对山场碎石土的含水量通常也不作要求。而施工尾矿砂垫层,履带式推土机是必不

可少的,另外,在碾压过程中尾矿砂的含水量控制也至关重要。

尾矿砂运输及铺筑,采用自卸汽车并用挖掘机配合进行装车。为防止尾矿砂滴漏对城市环境造成污染,在运输过程中宜采取帆布复盖的方式。施工过程中为避免已回填的尾矿砂垫层不被运输车碾开,尽量避免重载车转弯调头,并对已碾压成型的垫层经常洒水养护,这一点非常关键。另外也可以在路基之外建一条临时通道,供装有尾矿砂的车辆通行。尾矿砂运抵现场后,用履带式推土机予以铺平。

含水量控制。尾矿砂只有在最佳含水量时,才更容易达到所需压实度值,尾矿砂最佳含水量一般在 10%~13%,但要达到这个标准,施工时含水量就要大一些。因为尾矿砂含砂量大,粉土颗粒小而少,空隙率大,渗透能力强,水分蒸发快,所以尾矿砂填筑时,一部分水分渗透到底部,另一部分水分蒸发掉了。另外尾矿砂基(填)层不同于一般土基,对一般土基来说,含水量的增大会使土体变软,强度降低,而尾矿砂中粘粒和粉粒含量极少,颗粒表面活性很低,无粘性,水稳性好。通过实验证实含水量控制在 14%~16%之间较好,这样更容易压实。

施工压实厚度。由于连云港市特有的较厚海淤地质情况,所以基槽开挖后,通常不需要碾压,仅做基槽高程及宽度测量验收,紧接着直接施工尾矿砂垫层。第一层施工压实厚度不宜小于 50 cm ,否则,很容易出“弹簧”现象,设计中尾矿砂垫层总厚度为 60 cm ,所以就一次施工成型。需要特别注意的是,道路垫层第一层施工压实厚度不宜太薄,但也不能太厚,根据连云港市多年的工程实践,通常控制在 $50 \sim 60 \text{ cm}$ 范围内。经推土机摊铺,平地机整平,当含水量达到最佳含水量时,即可进行碾压。先静压后振压,先慢后快,由弱震到强震。

垫层验收。尾矿砂垫层验收时主要检测两个指标,一个是压实度,一个是回弹模量。试点工程中尾矿砂垫层压实度为 91%,回弹模量为 45 MPa ,均达到了设计要求。由于尾矿砂本身的物理特性,决定其无法作为路基封层材料,所以在试点工程中 60 cm 尾矿砂垫层上又设置了 40 cm 山场碎石土垫层作为路基封层,施工结束后,经检测山场碎石土垫层顶实测弯沉值为 $220(1/100 \text{ mm})$,满足设计要求 [$260(1/100 \text{ mm})$]。这说明尾矿砂代替部分山场碎石土用于道路垫层材料在技术上是可行的。

3.2.3 尾矿砂用于道路底基层

由于连云港市缺少适合用于石灰土或二灰土底

基层的粘土材料,所以到目前为止连云港市城市道路建设中,道路结构一般由三部分组成,即垫层(人造土基),基层和面层,缺少底基层。为满足技术要求,通常采取加厚基层的办法,二灰碎石基层厚度通常取 30~40 cm,这么处理不仅造价较高而且也不符合“路面各结构层强度自上而下逐渐减小”的原则。根据尾矿砂的工程特性和二灰碎石的成熟使用经验,首先在实验室做了二灰砂(石灰、粉煤灰和尾矿砂)实验。实验中所用材料为Ⅲ级消石灰、Ⅱ级粉煤灰、32.5 级普通硅酸盐水泥和锦屏磷矿尾矿砂,实验结果如表 1 所示:

表 1 二灰砂试验结果

配比(重量比)	抗压强度(MPa)		最大干密度 (kg/m ³)	最佳含水量 %
	7 d	28 d		
8:22:0:70	0.81	1.24	1860	9.0
7:21.5:1.5:70	1.08	1.63	/	/

配比为:石灰:粉煤灰:水泥:尾矿砂

在试点工程中实际使用的二灰砂配比为石灰:粉煤灰:尾矿砂=8:22:70,现场抽样检测二灰砂的 7 d 无侧限抗压强度为 0.56 MPa,压实度为 97%,基层顶实测弯沉值为 9 l(1/100 mm),满足设计要求。这说明由石灰、粉煤灰和尾矿砂组成的二灰砂可以用于道路底基层。

从上述数据中可以看出试点工程中二灰砂的 7 d 无侧压强度尽管满足底基层材料的要求,但却明显低于实验室阶段的实验数据,经调查分析主要是由于石灰质量不同所致,实验室阶段所采用的石灰为Ⅲ级消石灰,而试点工程中所用石灰为Ⅳ级消石灰。

3.2.4 尾矿砂用于排水管道沟槽回填

连云港市城市道路工程中排水管道沟槽回填通常采用石粉材料,其单价为 40 元/m³,由于各种因素的影响,最近几年石粉的质量每况愈下,含泥量较高,给压实造成很大难度。而尾矿砂单价为 24 元/m³,且含泥量很小,又具有良好的水硬性特征,所以尾矿砂用于沟槽回填,无论是在技术上或经济上均优于石粉,在试点工程中受到施工、监理人员的一致好评。

尽管设计文件中均注明基槽开挖中做好排水工作,但实际上大多数工程基槽施工中或多或少地存有积水,由于尾矿砂具有水硬性特征,因此在基槽中略有积水,施工尾矿砂基础,效果反而更好。尾矿砂回填前,应保持其含水量接近最佳含水量(14%~16%),如偏干,则应在回填中适量洒水,以有利于平

板振动夯实效果,一般以不出现“浆水”为含水量适中。从回填效果看,尾矿砂能满足施工回填工艺要求,其夯实效果好,材料的含水量控制要求也不太高。

4 经济和社会效益分析

表 2 应用尾矿砂经济效益分析

尾矿砂用途	拟代替材料对比	单价(元/m ³)	节约造价
用于垫层	尾矿砂	24	6 元/m ³
	山场碎石土	30	
用于管道沟槽回填	尾矿砂	24	16 元/m ³
	石粉	40	
用于底基层	二灰砂	101	39 元/m ³
	二灰碎石	140	

从表 2 的数据可以看出尾矿砂用于道路工程材料在经济上具有良好的竞争力,所以其市场前景相当看好,按目前的建设速度每年用量在 100~150 万 m³ 左右,按每年使用 100 万 m³ 尾矿砂,可以使用 13 年,其单价按 24 元/m³(运抵现场价,其中材料本身价格为 4 元/m³,运费 20 元/m³),每年可以产生 400 万元的直接效益,13 年将能产生 5 200 万元的直接效益,同时每年至少可以节约工程造价 600 万元。

该项目的研究实施不仅具有良好的经济效益,而且具有良好的社会效益。首先该项目的研究实施将为全面实施封山育林,创建环境生态城市创造前提条件。其次尾矿砂的开发利用不仅可以盘活地方工业废料资源,为锦屏磷矿创造效益,而且可以逐步解决连云港市的安全隐患问题,同时也可以明显地消除环境污染。

5 结束语

磷矿尾矿砂在道路基(垫)层中的应用,该课题远没有结束,还处于起步阶段,还有许多工作要做,但尾矿砂可以用于道路基(垫)层材料,这是肯定的。为保证尾矿砂使用推广后的工程质量,必须制订统一的施工工艺标准和工程验收标准。

山场碎石土类别材料供应日益紧张,开发应用尾矿砂作为山场碎石土类别材料的替代品日益显得重要,这对提高工程质量、消除弃渣公害,开创文明施工环境,降低工程造价等方面都具有良好的经济效益、社会效益。建议地方政府尽快加大磷矿尾矿砂在道路工程中推广应用的引导和协调,使磷矿尾矿砂的推广应用工作能够顺利进行。