

无结合料粒料在阿联酋地区重型港口堆场和道路的应用

朱楠

(中交一航局第三工程有限公司)

摘 要: 阿布扎比哈里发港一号集装箱码头扩建项目道路堆场存在基层承载力不足、拆除后外弃量大、经济投入需合理的问题。为了在经济投入有限的条件下满足重型重载的堆场基础要求,结合阿联酋类似经验,通过优化设计方案、优选机械设备、完善质量控制、多重检测验证等方法,有效地达成了修旧利废、基层更换的目的,增强了道路堆场的场地条件,为该区的作业设备更新提供了条件,同时也为今后类似工程提供了新的思路和经验借鉴。

关键词: 重型港口堆场; 阿联酋地区; 路面铺装; 无结合料粒料; 级配碎石

0 引言

随着时代的进步,港口工程的运输及装卸机械类型更趋向于大型化,结合港区流动机械作业对道路或堆场使用要求和荷载、地基特点确定相对应的承载基础,特别是重型荷载作用下联锁块铺面与独立块铺面的设计与施工方法也比较常见。港口道路、堆场铺面的基层材料设计,应考虑的主要因素包括港区道路和堆场的类别、使用要求、荷载情况等,同时还需结合当地的材料供应、自然条件和实践经验等进行比选设计确定^[1]。

阿联酋地区石料资源丰富,石灰石和辉长岩产量高,天气炎热潮湿,降雨极少,年平均降雨量约为 90 mm,平均年降雨天数约为 12 d,降水多集中于 2—3 月。阿布扎比哈里发港一号集装箱码头扩建项目位于沉积区,底部一般覆盖在由灰岩、砂岩、灰屑岩、粉砂岩和石膏构成的基岩上,地层较好,经过设计研究和实践经验的积累,具备采用无结合料粒料作为本项目的基层材料的可能性。在满足设计计算的前提下,从控制和检验检测施工质量的角度考虑,最终选择级配碎石作为本项目的铺面基层材料。

无结合料粒料通常指不使用传统的结合剂(如沥青或水泥)的材料,主要依赖颗粒间的内聚力来维持整体的结构。国内的一些区域进行过无结合料应用的试点项目,包括城市街道、乡村道路或一些低交通量的交通环境。无结合料应用于道路建设中符合环保理念,因为不需要使用传统的结

合剂,从而减少对沥青或水泥等资源的需求。而国外针对无结合料在道路建设中的应用研究主要集中在性能评估、耐久性测试等方面。若选用工程性能较差的碎石材料,将导致道路结构的使用寿命衰减并危害行车安全。因此,基于道路工程稳定性与耐久性的战略目标,科学评价级配碎石的力学性能具有重要意义^[2]。

1 工程概况

阿布扎比哈里发港一号集装箱码头扩建项目道路堆场的基层级配碎石共计铺设 51 861 m³,铺设区域包括北码头和西码头区,面积约为 40 万 m²,铺设厚度基本均为 150 mm,铺设后一次摊铺碾压成型。级配碎石的上方面层包括 2 种,分别为连锁块面层和混凝土面层。其典型断面图如图 1 所示。

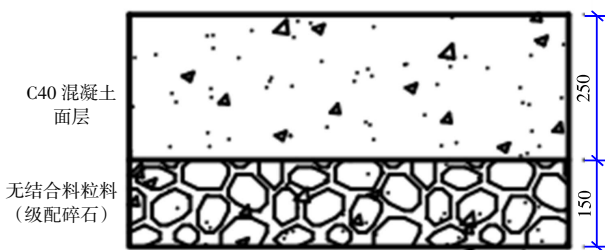


图 1 路面典型结构断面图

2 施工工艺

本工程级配碎石铺设施工采用自卸车装卸、刮平机及山猫装载机摊铺整平、30 t 及 3 t 双钢轮碾压机碾压的施工工艺。其施工的平面和断面顺

序如下:

1) 堆场区

按照由西向东(北区)、由南向北(西区)的顺序进行,先海侧后陆侧;在工艺上,按照先拆除堆场、后开挖、回填碾压级配碎石、面层的顺序进行,计划开展北区和西区共计 2 个作业面,流水施工。

2) 道路区

道路部分整体与堆场区及外集卡区同步进行,整体按照由西向东、由南向北的顺序,先进行拆除、开挖及道路面层下的管线安装预埋施工,后进行上部级配碎石、面层等施工。

3 施工方法

3.1 拆除

拆除施工主要包括 2 种:

1) 从上往下依次为 80 mm(西区为 100 mm)厚的联锁块,30 mm 厚砂垫层,200 mm 厚水泥稳定碎石垫层及 155 mm 厚的级配碎石;

2) 从上往下依次为 80 mm 厚的联锁块,30 mm 厚砂垫层及 155 mm 厚的级配碎石。

采用机械与人工结合的方法拆除联锁块、人工筛选和码放、机械辅助倒运的拆除工艺。拆除前测量原场区,确定拆除的施工范围并做好标记。采用人工的方式拆除宽度为 2 m 的条形区域,使联锁块之间解锁,方便后续机械拆除;形成 2 m 宽的条形区域后,装载机分别从两侧开始逐段拆除,拆除后的联锁块小心堆放在临时储存区,再对联锁块进行人工筛选,将可利用的联锁块选出,不可利用的联锁块直接外排;筛选完成后,采用机械配合倒运、人工码放。

3.2 开挖和地基处理

拆除后采用挖掘机清除碎石,由铲车配合装载,自卸车倒运至材料临时存放点,不可利用的级配碎石材料集中外运处理。因道路堆场标高位于高水位以上,因此,如有超挖部分,且超挖小于 15 cm 时,采用原土回填并夯实,超过 15 cm 时,采用不大于 25 mm 的碎石回填并夯实。

在各区域的拆除、开挖、超挖补填至设计标高后,对地基采用碾压夯实的工艺进行处理。采用 30 t 钢轮振动碾压压机振动碾压,激振力 400 kN,碾压 4~6 遍。

开始碾压前,喷洒适量水,洒水浸润深度 10 cm 左右,刚开始采用慢速静压 1~2 遍,然后振动

碾压 4~5 遍,轮距搭接不小于 50 cm,碾压达到无明显轮迹。碾压过程中若有坑洼处需及时进行人工补平处理,并重新碾压。碾压完成后进行现场压实度检测和加州承载比(CBR)^[3]检测,使地基达到设计要求及规范规定。

3.3 级配碎石铺设

开挖完毕后,施工门机梁及预埋各类管线等设施然后再铺设级配碎石。施工采用全断面一次性铺设。施工前,由测量人员在两边施放控制边线,并用钢筋棍标记回填标高刻度。放样完毕后,洒水湿润开挖后的路基,同时将级配碎石加水湿拌,并通过自卸车将级配碎石运输倾倒至施工现场,采用铲车、刮平机和山猫装载机进行摊铺作业,人工补平,同时根据现场材料水分蒸发情况和湿润情况补充拌和、洒水。摊铺完毕后,采用 30 t 钢轮振动碾压压机碾压,振动碾压达到无明显轮迹。保证级配碎石层的平整度、厚度和标高在规范允许范围内。级配碎石垫层厚度为 150 mm,采用一次填筑一次碾压成型。

级配碎石施工时,先铺试验段,以确定松铺系数,根据松铺系数安排每车碎石的倒放位置,先由刮平机粗平,再由人工细平。待复测标高无误后进行碾压,碾压方法与地基层施工一致。

3.4 试验检测

级配碎石铺设完毕并符合设计宽度、标高等后,进行级配碎石铺设的验收和检测,检测包括 CBR 检测和压实度检测等。在监理的见证下采用灌砂法进行压实度检测,压实度试验每一施工段(且不大于 1 000 m²)取 1 组,且不少于 3 组,其压实度不得小于 98%。CBR 试验每一施工段(且不大于 2 500 m²)取 1 组,且不少于 3 组,CBR 数值不得小于 80%。

4 关键要点技术

4.1 无结合料粒料的设计确定

1) 设计要求

本项目的道路堆场面层结构设计年限为 25 a,维护间隔期为 10 a,且维护仅限于局部修复,不能靠移除和更换等纠正沉降误差。设计可通过的车型主要包括 WB-15 的 5 轴拖车、WB33D 的超级双卡车、HS20 重型拖车、装卸门机、集装箱正面起重机等。且设计车辆 HS20 负载对设计至关重要,其轴载为前轴 40 kN,后轴 160 kN。HS20 重型拖车的轮压最大值为 $W_1=20$ kN, $W_2=80$ kN,

其轮压模型如图 2 所示。

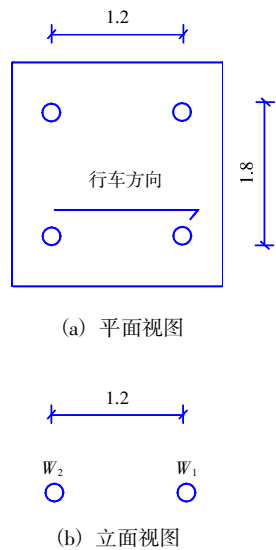


图 2 HS20 重型拖车轮压荷载分布图(m)

2) 基层材料设计拟定

无结合料作为基层材料的选定：基层材料的选用应根据道路交通等级和路基抗冲刷能力来确定。根据设计要求，此道路设计，应为主干道、次干道、重型道路及堆场，应考虑贫混凝土、沥青混凝土、水泥稳定粒料等作为本项目的基层材料，但拆除具有较多的无结合料粒料，且原有的无结合料粒料粒径不超过 31.5 mm，因此可重复利用拆除的无结合料粒料。

级配碎石的选定：无结合料级配粒料属于道路中的柔性基层材料，其中包括级配碎石、级配碎砾石(碎石和砂砾的混合料，也常将砾石中的超尺寸颗粒砸碎后与砂砾一起组成碎砾石)、级配砾石等^[4]。级配碎石是由各种大小不同粒级的碎石集料组成的混合料，主要用于城市次干路及其以下道路基层。级配碎石是无结合料材料中力学性质和稳定性最好的材料，级配砾石是级配集料中最次的集料。

3) 基层材料设计核算及确定

经过第三方专业咨询公司 Jacobs 计算，无结合料粒料可作为此项工程的路面基层材料，但基层材料需同时满足下述要求：即材料必须为石灰石；最大粒径不超过 31.5 mm，小于最小粒径 0.063 mm 的石屑应小于 9%，最大的液限为 25%；最大的塑限为 6%；CBR 最小为 80%，粒料均匀、不离析。结合上述设计要求和现场实际检测的拆

除无结合料，确定拆除的粒料可用于现场的基层施工。

4.2 无结合料粒料铺设的设备选型

可采用摊铺机进行无结合料粒料铺设，阿联酋区域摊铺机的普遍摊铺宽度为 6 m，阿布扎比哈里发港一号集装箱码头扩建项目受限于门机轨道梁、地下预埋管线、多种现浇井的影响，较多的区域存在铺设宽度为 2~3 m，甚至小于 1 m 的区域。

结合阿联酋市场的设备，采用了刮平机+山猫装载机摊铺、30 t 振动碾压机+3 t 双钢轮振动碾压机碾压的工艺，刮平机的型号为 CAT 140 G，刮刀长度为 3.7 m，并配有松土器，便于翻拌时石屑均匀分布于碎石料中，同时也有利于将级配料摊铺均匀；同时配有宽度为 0.8 m 的山猫装载机，可满足现场的摊铺要求，如图 3 所示。

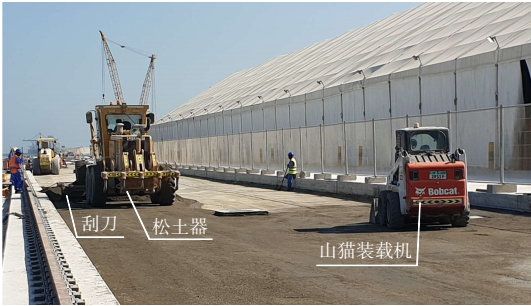


图 3 级配碎石摊铺施工

综合考虑压实度及每延米宽度的振动力，选取 30 t 振动碾压机进行大面积碾压，3 t 双钢轮振动碾压机进行较窄区域的碾压施工。回填厚度为 150 mm 时，30 t 振动碾压机的碾压遍数不得小于 4 遍，3 t 双钢轮振动碾压机的碾压遍数不得小于 6 遍，如图 4 所示。

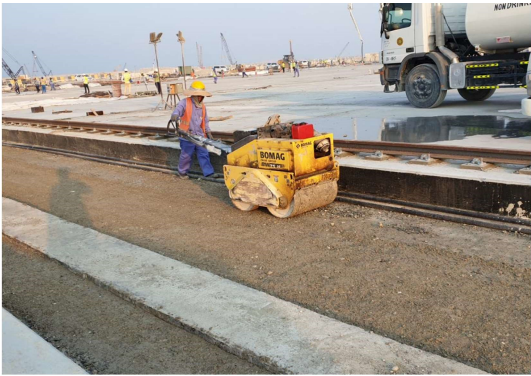


图 4 3 t 双钢轮振动碾压机压实

4.3 无结合料粒料施工的质量控制要点

无结合料粒料的选择包含 2 个决定性因素,即施工质量和轴载,而施工质量需要严格控制无结合料粒料的均匀性(包括级配组成和含水量)和压实度。

4.3.1 原材料质量控制

在无冰冻条件的阿联酋地区,级配碎石的理想性质包括 4 个方面:

- 1) 具有高弹性模量,以提供良好的荷载分布性质;
- 2) 具有高抗剪强度,以避免出现车辆作用下而产生的车辙;
- 3) 具有高透水性,以方便自由水能够快速排出;
- 4) 所含的细土应无塑性,以保证良好的水稳性。

拆除的级配碎石粒料采用现场路拌法施工,拌和、摊铺、压实时不得使用海水、微咸水或盐水。碎石中针片状颗粒的总含量应不超过 20%。碎石中不应有黏土块、植物等有害物质。碎石与石屑的配合比宜为 65:35~60:40,最佳含水量约为 5.3%,级配碎石所用石料的集料压碎值应不大于 30%。拌和完毕后进行材料取样,并送第三方试验室进行检验,其级配、塑限、液限等应满足设计要求。现场设立工地试验室和试验器材,现场检测级配及材料的压实度等,委托试验室检测其他指标。

4.3.2 施工质量控制

施工质量控制主要从 4 个方面控制:

1) 摊铺的均匀性及质量

摊铺前需对原有地基进行洒水湿润,同时可根据实际情况在地基表层铺洒石屑,避免摊铺的级配碎石石屑集中落到底部,造成材料的不均匀。采购的级配料不宜过早运输至现场,易造成水分蒸发,集料变干;到现场后如遇下雨,也会导致出现材料的石屑被冲刷,或底部的含水量明显增加,配合比不满足要求或强度不均匀。材料摊铺前先加水湿拌级配碎石,使混合料的含水量超过最佳含水量约 1%,摊铺过程中应根据温度、碾压速度等适量洒水,确保含水量满足要求。材料摊铺后,采用刮平机的松土器将级配碎石翻拌均匀,宜翻拌 5~6 遍,使石屑均匀分布于碎石料中,拌和的作业长度每段宜为 300~500 m,严禁出现粗细集料离析现象。

2) 摊铺的尺寸控制

摊铺的尺寸是保证基层的强度和稳定性基本条件。摊铺的宽度应比上层每侧宽 25 cm,允许误差为 -50~0 mm。级配碎石摊铺的厚度应注意:首先,控制地基的标高,确保地基的标高不超过级配碎石的底标高;其次,施工正式开工前应铺设试验段,确定松铺系数,严禁采用薄层贴补的方式铺设,本项目的摊铺采用刮平机摊铺,考虑松铺系数为 1.25~1.35,铺设的单层厚度不宜超过 150~180 mm,最大不能超过 200 mm;最后,试验确定路基的预沉降值,确保摊铺的最终标高满足要求,允许误差为 -15~5 mm,且其表面平整度允许误差为 ± 20 mm。

3) 碾压的工艺和方法

摊铺后的压实应全断面覆盖,先试验选择合理的压实工具、压实遍数和压实方式,且碾压应遵循“先轻后重、先静后振、先低后高、先慢后快、轮迹重叠”的原则。30 t 振动碾压机的碾压速度应控制在 1.5~2.5 km/h,3 t 双钢轮振动碾压机的碾压速度应控制在小于 1 km/h。碾压时,后轮应重叠 1/2 轮宽,严禁压路机在已完成的或正在碾压的路段上调头或急刹车。碾压后表面应平整密实,坡向应满足设计要求,嵌缝料不得浮在表面或聚集成堆,边线应整齐、无松散现象^[9],碾压至轮迹不大于 5 mm。碾压完毕后适量洒水,保持湿润,养护不宜少于 7 d,养护期间不得开放交通。养护完毕进行压实度和 CBR 检测,确保满足设计要求。

4) 雨期施工的质量控制

级配碎石场地设有排水和防止污水侵染的设施。料场底板进行硬化,地势略高,四周设排水沟,并及时清理排水沟。下雨前及时对级配碎石堆场进行覆盖。雨期施工时增加骨料含水率的测定次数,随时调整翻拌用水量。

阿联酋全年降水量较少,雨季主要集中在冬季的 11 月—翌年 2 月,可以调整施工作业时间,尽量避开雨天、雨时施工,做到大雨停工,小雨、中雨时采取必要的防雨措施,已摊铺的尽快碾压密实,路基含水时需排出表面的水,防止级配碎石过湿。

5 施工效果

通过对拆除级配碎石的再翻拌利用的材料质量控制,结合现场试验的成果,基本确定了对材

料、施工的各项参数，确保施工满足设计的承载要求。此外，需要摊铺的级配碎石料均采用了拆除后的材料。

经统计，拆除后重新翻拌的级配碎石的各项参数普遍如下：现场级配碎石的最大干密度为 2.26 g/cm^3 ，最佳含水量为 5.3%，无塑性和液限，松铺系数为 1.32，预沉降值为 20 mm，压实 6 遍时即可满足要求。

6 结语

级配碎石用在特重和重交通的基层材料的情况不常见，但在少雨的阿联酋区域应用广泛，其中东区域重型堆场和道路的应用前景比较广阔。在阿布扎比哈里发港一号集装箱码头扩建项目道

路堆场的建设过程中，重新翻拌的级配碎石在设计核对的条件下、现场指标控制的情况下，其工程质量也较易得到保证，在重型港口堆场和道路的经济性和合理性优势均较为突出。但对于在多雨、抗冻等地区重型堆场和道路的适应性应进一步研究确定。

参考文献：

- [1] JTS/T 216—2021, 港口道路与堆场施工规范[S].
- [2] 王绪丰, 张军辉, 李崛, 等. 路用级配碎石力学性能研究进展与展望[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2023, 20(1): 1-15.
- [3] JTS 168—2017, 港口道路与堆场设计规范[S].
- [4] JTG/T F20—2015, 公路路面基层施工技术细则[S].
- [5] JTS 257—2008, 水运工程质量检验标准[S].