

非洲干旱环境铁路路基填料压实技术

黄涛¹, 尤浩¹, 周玉丁¹, 李雨沁¹, 李沛², 曹忠露²

(1. 中交第一航务工程局有限公司, 天津 300461; 2. 中交天津港湾工程研究院有限公司, 天津 300222)

摘要: 非洲处于干旱地区, 自然环境条件恶劣, 蒸发量远大于降水量, 气候异常干燥, 土源均干燥缺水, 压实困难, 并且施工用水来源困难。控制填料含水率, 确保压实质量, 提高作业效率是必须攻克的难题之一。通过蒙内铁路项目第二标段的路基C料施工为例, 应用焖料工艺来解决填料含水率问题, 保证了路基的压实质量, 为今后非洲干旱环境路基施工提供参考。

关键词: 路基施工; 干旱; 粉质黏土; 含水率; 焖料

中图分类号: U214 文献标志码: B 文章编号: 2095-7874(2017)06-0100-04

doi: 10.7640/zggwjs201706022

Compaction technology of railway subgrade filling in Africa with dry condition

HUANG Tao¹, YOU Hao¹, ZHOU Yu-ding¹, LI Yu-qin¹, LI Pei², CAO Zhong-lu²

(1. CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461, China;

2. CCCC Tianjin Port Engineering Institute Co., Ltd., Tianjin 300222, China)

Abstract: Africa is in arid region, with extremely bad natural environment condition and abnormal dry climate, its evaporation greater than the precipitation, so the soil is dry and lack of water. In addition, due to the shortage of water sources for subgrade construction, the compaction of subgrade is difficult. How to control the water content of filling materials, ensure the compaction quality and improve work efficiency is one of the problems that must be solved. Based on the subgrade construction of filling material C in section 2 of Mombasa-Nairobi Standard Gauge Railway, infiltrating technology was applied to solve the problem of water content of filling materials, it has ensured the compaction quality of subgrade, which can provide a reference for subgrade construction in Africa with dry condition.

Key words: subgrade construction; dry condition; silt clay; water content; infiltrating

蒙内(蒙巴萨至内罗毕)铁路项目第二标段工程位于非洲肯尼亚 Taita 郡, 起讫里程: DK70+000—DK 214+000。该地区常年炎热干燥, 风沙大, 年平均降水量 300~900 mm, 年平均蒸发量 1 650~2 400 mm, 蒸发量远大于降水量, 土源干燥缺水。路基填料在干燥缺水状态下, 压实困难^[1]。以 DK125+800—DK126+100 试验段路基填筑工程为例, 路基填料为当地粉质黏土, 应用焖料工艺确保粉质黏土处于最佳含水状态, 保证路基压实

质量, 为非洲干旱环境路基施工提供参考。

1 路基填料

试验段路基填料为当地粉质黏土: 棕红色, 硬塑, 粉粒含量高, 土质均匀, 局部含砂类土及风化岩碎块, 表层一般含植物根系, 分布广泛, 揭露层厚 0.5~4.1 m, II 级普通土, $\sigma_0 = 150$ kPa; 棕红色、灰色, 硬塑~坚硬, 含砂砾, 含量约 20%~40%, 局部含有少量 3~5 cm 风化岩碎块, 层厚大于 1.8 m, II 级普通土, $\sigma_0 = 180$ kPa^[2]。

根据 TB 10001—2005《铁路路基设计规范》中路基填料分类标准, 使用粒度成分法(或粒径累积法), 经测试该粉质黏土为 C 组料。

收稿日期: 2017-03-23

作者简介: 黄涛(1982—), 男, 河南人, 工程师, 船舶工程专业。

E-mail: huangt6399@foxmail.com

2 含水率对压实度的影响

土体的压实机理是当锤击或者碾压的克服填料颗粒间的内摩擦阻力和凝聚力,使土颗粒之间空隙比减少,填料内摩擦阻力和凝聚力随密实度增加而增加。填料的含水率小时,土颗粒间内摩擦阻力大,压实到一定程度后,压实功不能克服土的抗力,压实所得的干密度小;当填料含水率逐渐增加,水在土颗粒间起着润滑作用,使填料的内摩擦力减小,因此同样的压实功可以得到较大的干密度。当填料的含水率继续增加到某一定程度后,虽然土的内阻力还在减小,但单位体积的空气体积已减小到最小限度,而水的体积却在不断增加;由于水视为不可压缩的,因此在同样的压实功下,土的干密度反而逐渐减小。

与最大干密度对应的含水率称为最佳含水率,即在相同压实功下,能使填料达到最大干密度时的含水率。反之,在一定的压实功作用下,只有填料处于最佳含水率时,才能达到最大干密度^[3]。

3 最佳含水率的确定

一般情况下,自然状态下的填料很难达到最佳含水状态,通常采取的措施是:1) 过干的土,适当洒水;2) 过湿的土,采取翻晒或者拌合吸水材料。简单的增加压实遍数是不可取的,考虑到作业效率、经济成本,施工中采取取土场焖料工艺确保粉质黏土处于最佳含水状态。

通过室内击实试验,绘制填料干密度与含水率的关系曲线,试验段路基填料为当地粉质黏土,经实验室击实试验测试的含水率与干密度的关系曲线如图1所示,得到试验段路基C料最佳含水率为12.8%,最大干密度为1.91 g/cm³。

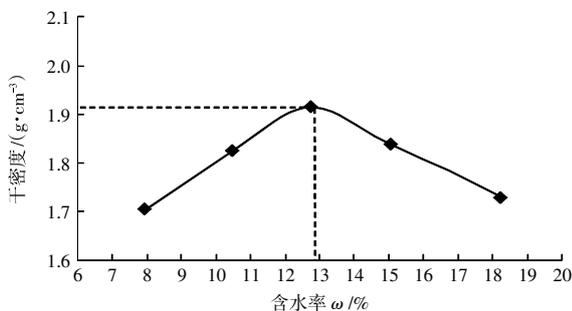


图1 含水率与干密度关系曲线图

Fig. 1 Relation between water content and dry density

4 焖料工艺

4.1 焖料含水率

焖料是解决填料缺水最为实用和简便的方法

之一。为了使填料达到最佳含水率,同时考虑运输及摊铺过程中水分的损失,经测算,焖料过程中水分损失按1.5%计,施工摊铺过程按3h损失0.5%计。经测试,原状土天然含水率5.3%,最佳含水率应为12.8%,差值7.5%,焖料时含水率应达到12.8%+1.5%+0.5%=14.8%。

4.2 渗透参数及焖料时间

经放水试验,该处粉质黏土渗透系数约为1.0 m/d,根据焖料工艺及现场施工过程中的连续性,同时考虑取料深度,焖料时间定为2 d。

4.3 料场焖料

取土场位于线路左侧红线征地范围内,地质情况与线路相同,C组料深度1.5 m左右。

先用推土机对取土场表面进行清理,表土存放在红线边界附近,取土结束后将表土回填。采取挖槽加水焖料方式使粉质黏土达到最佳含水量。

焖土原理及方法:利用水的传递渗透原理,先开挖沟槽加水焖料,12 h后开挖堆料,继续焖料24 h,加水量按下式计算:

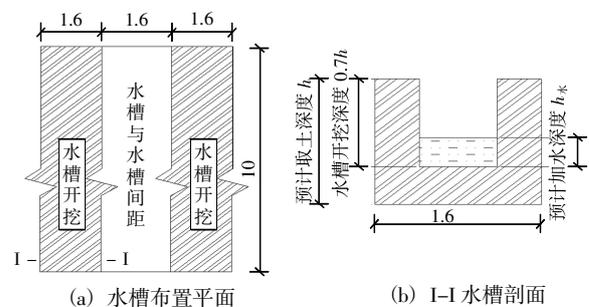
$$Q_w = Q_T \times (w_0 - w_1 + 0.02) \times \rho_1$$

式中: Q_w 为拟加水量, t; Q_T 为拟取土方量, m³; w_0 为填料最优含水量, %; w_1 为填料天然含水量, %; ρ_1 为填料天然干密度, t/m³; 0.02 为预计水量损失值。

具体焖料过程如下:

1) 测量放线。测量放出水槽平面位置,水槽宽度按照挖机斗宽1.6 m控制,水槽按照1.6 m间距间隔分布。

2) 开挖水槽。在放线区域用挖机开挖水槽,深度为取土深度的70%,取土深度1.5 m,则水槽开挖深度为1.05 m。第一道沟槽土方放置取土范围外,具体开挖尺寸见图2。



(a) 水槽布置平面

(b) I-I 水槽剖面

图2 开挖尺寸示意图

Fig. 2 Sketch of excavation size

3) 注水。采用水车拉水往水槽加水,加水深

度计算如下:

单位米加水量 $Q_w = \text{取土宽度} \times \text{取土深度} \times 1 \text{ m} \times \text{土最大干密度} \times \text{掺水百分比} \div \text{水的密度}$, 取土宽度为 $1.6 \text{ m} + 1.6 \text{ m} = 3.2 \text{ m}$, 足点取土深度为 1.5 m , 粉质黏土最大干密度 1.91 g/cm^3 , 掺水百分比 = 最佳含水率 - 天然含水率 + 损失含水率 = $12.8\% - 5.3\% + 2\% = 9.5\%$, 综上, 单位米加水量 = 0.87 m^3 , 加水深度 = 0.58 m 。

4) 覆土。注水完成后, 开挖下道沟槽, 将开挖沟槽土放入已注水沟槽内。

5) 循环。开挖—加水—覆土, 直至最后一道沟槽覆土完毕。

6) 取料。覆土结束 12 h 后, 开挖进行堆料。

7) 焖料。此过程不少于 24 h。

8) 运料。焖料结束, 装料运往现场施工。

焖料作为整个施工环节中最重要的一环, 最佳含水量的控制对施工质量、施工效率有极大的影响^[4]。本次试验焖料的成效显著, 填料含水量控制较好, 且比较均匀。

5 填料压实

5.1 压实准备

首先, 挖除原地表腐殖土, 挖除树根。对施工图设计文件中的地基地质情况进行现场观察、核对; 若现场地基地质情况与施工图设计文件不符时, 应及时反馈监理及设计方, 以便采取相应的处理措施。

经推土机整平, 因机械作业的缘故, 表面会有 1~3 cm 浮土, 洒水(洒水量根据浮土厚度控制), 钢轮振动压路机碾压, 碾压开始时间以土不沾轮为准, 最后静压收面, 行走速度控制在 3~4 km/h。

5.2 测量放样

放出试验段路基中桩, 按照路基路肩高程和地面高程, 按放坡比例算出路基宽度, 在原地面上放出路基边线。自卸汽车每车装土 15 m^3 , 按松铺厚度 35 cm 计算, 则每车卸料面积为 43 m^2 。在填土范围内按 $6.5 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$ 方格洒灰线。

填筑采用纵向全断面水平填筑, 宽度按设计宽度每侧加宽 50 cm。

5.3 料场焖料

按照 4.3 节所述进行焖料。

5.4 运输、摊铺、精平

挖掘机装车, 由 4 辆自卸汽车运至试验段现场, 施工现场由专人指挥车辆按网格卸土, 每格

中卸料 1 车。

按照中桩及边桩位置挂线控制松铺厚度, 采用推土机粗平 2 遍, 平地机精平 1 遍。

具备一个碾压工作面(约 70 m 长)需要 3 h。

根据焖料工艺, 开始焖料到摊铺最快需 2 d, 此时含水量损失约为 2%, 含水量损失随时间延长有所增加。上料后及时摊铺, 及时碾压。

5.5 碾压

DK125+800—DK126+100 试验段采用自重 25 t 振动压路机进行路基压实。压实碾压工艺: 低速静压(1 遍)→低速振压(弱振 3 遍)→压实度、地基系数检测 → 低速静压(1 遍)压实度、地基系数检测。

碾压时先慢后快、先轻后重、由两侧至中间、轮迹重叠 1/2, 碾压时应确保均匀, 无漏压、无死角、无明显轮迹。若发现局部含水量过大翻浆或过小松散, 按碾压宽度人工挖除换填。

5.6 修整边坡

测出顶面标高、横坡度, 恢复路线中、边桩放样, 加宽 50 cm 撒控制灰线, 用于修整边坡及检查填筑宽度。人工配合挖掘机修整边坡。

5.7 路堤上料便道设置

为便于填料施工, 在边坡靠近便道侧随填筑高度修筑施工引道。同时为避免边坡修整困难及质量局部缺陷, 引道修筑位置边坡加宽 2 m, 待路基整体完工后挖除引道, 按边坡坡比刷坡。

5.8 压实度、地基系数检测

按压实碾压工艺要求, 进行压实度(灌砂法)和地基系数 K_{30} (平板载荷试验)检测^[5-8], 经检测, 所有点数均合格。

6 结语

本工程的路基施工实践证明, 开槽灌水焖料方法工效高, 水份损失少, 操作简便, 方法可行, 适宜解决干旱环境下路基填料缺水问题, 并使其达到最佳含水状态, 保证了路基的压实质量。

填筑施工过程中, 需要注意精心组织, 网格均匀布料, 尽量缩短摊铺、精平、碾压施工周期; 路基分层填筑一气呵成。另外, 由于粉质黏土易失水返松, 要求路堤连续施工, 在填筑间隔超过 1 d 时, 填筑前须洒水补压。

参考文献:

- [1] 吴玉明. 浅谈沙漠地区风积沙路基施工[C]//全国工程地质科技情报网技术交流会, 2010.

- WU Yu-ming. Construction of aeolian sand subgrade in desert area [C]// Technology conference of national engineering geological science and technology information network, 2010.
- [2] 叶阳升. 论铁路路基填料分类[J]. 中国铁道科学, 2004, 25(2): 35-41.
- YE Yang-sheng. Railway subgrade filling material classification[J]. China Railway Science, 2004, 25(2): 35-41.
- [3] 申爱琴, 郑南翔, 苏毅, 等. 含砂低液限粉土填筑路基压实机理及施工技术研究[J]. 中国公路学报, 2000(4): 14-17.
- SHEN Ai-qin, ZHENG Nan-xiang, SU Yi, et al. Study of compacting mechanism and construction technology of filling road bed with bearing sand silt of low liquid limit[J]. China Journal of Highway and Transport, 2000(4): 14-17.
- [4] 刘明国. 铁路路基工程施工技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- LIU Ming-guo. Construction technology of railway subgrade engineering[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2014.
- [5] 杨广庆, 刘树山, 刘田明. 高速铁路路基设计与施工[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- YANG Guang-qing, LIU Shu-shan, LIU Tian-ming. Subgrade design and construction of high speed railway[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1999.
- [6] 王嘉, 鲍跃平, 李娟. 路基工程施工质量控制[J]. 山西建筑, 2007(31): 280-281.
- WANG Jia, BAO Yue-ping, LI Juan. Construction quality control of subgrade engineering[J]. Shanxi Architecture, 2007(31): 280-281.
- [7] TZ 202—2008, 客货共线铁路路基工程施工技术指南[S]. TZ 202—2008, Construction technical guide for subgrade engineering of mixed passenger and freight railways[S].
- [8] TB 10414—2003, 铁路路基工程施工质量验收标准[S]. TB 10414—2003, Standard for constructional quality acceptance of railway subgrade engineering[S].

(上接第 31 页)

5 结语

在项目可行性研究阶段, 为了确定矿石码头的靠泊等级, 根据货种、流量和流向, 结合国外装船港的条件以及世界矿石运输船队的构成和发展趋势进行分析, 依次从多航线配船、运输系统的角度, 采用必要费率(RFR)指标对拟建码头的设计船型进行经济论证。

主要结论如下:

1) 根据国外装船港条件、散货船船队构成和发展趋势以及定配比下的年运量, 防城港钢铁基地项目铁矿石运输船队的经济船型如下: 巴西航线、澳大利亚、南非航线以 20 万吨级散货船运输为主, 印度航线以 10 万吨级散货船运输为主。

2) 从运输系统的角度综合考虑, 在给定的运量、航道和航线运量配比条件下, 防城港钢铁基地项目 2 个 20 万吨级矿石码头的运输系统能取得最佳经济性。

因此, 建议建设 2 个 20 万吨级矿石泊位。

由于国内外钢铁市场持续不景气, 业主决定先期只建 1 个 20 万吨级矿石泊位, 暂时不考虑柳钢 600 万 t/a 的运量。

参考文献:

- [1] 防城港钢铁基地项目专用码头工程工程可行性研究报告[R]. 武汉: 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 2009.

The feasibility study report of the special terminals for the iron and steel base in Fangcheng Port[R]. Wuhan: CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., 2009.

- [2] 防城港钢铁基地项目专用码头工程工程可行性研究专题报告专题一: 船型论证[R]. 武汉: 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 2009: 12-42.

Special report 1 for the feasibility study report of the special terminals for the iron and steel base in Fangcheng Port: ship type demonstration[R]. Wuhan: CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., 2009: 12-42.

- [3] 交通运输部. 关于防城港钢铁基地项目专用码头初步设计的批复[Z]. 北京, 2015.

Ministry of Transport. Reply of the preliminary design of the special terminals for the iron and steel base in Fangcheng Port[Z]. Beijing, 2015.

- [4] 张德洪, 顾家骏. 运输船舶船型技术经济论证方法[M]. 2 版. 北京: 人民交通出版社, 1989: 97-104, 207-209.

ZHANG De-hong, GU Jia-jun. Technical and economic demonstration method for ship type of transport ships[M]. 2nd ed. Beijing: China Communications Press, 1989: 97-104, 207-209.

- [5] 王彩当. 内河船型技术经济论证[M]. 北京: 人民交通出版社, 1996: 369-378.

WANG Cai-dang. Technical and economic demonstration of inland river ship type[M]. Beijing: China Communications Press, 1996: 369-378.

- [6] XIE Xin-lian, JI Zhuo-shang, YANG Yu. Nonlinear programming for fleet planning[J]. International Shipbuilding Progress, 1993, 40(1): 93-103.