

# 因果分析图法 在土方压实度质量控制中的应用

叶建亮<sup>1</sup>, 周金晶<sup>1</sup>, 刘 凯<sup>1</sup>, 姜中清<sup>2</sup>

(1. 淮安市淮河入海水道二期工程建设处, 江苏 淮安 223010;

2. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225000)

**摘要:**在淮安市淮河入海水道二期工程建设管理过程中,针对“堤防填筑压实度”这一关键质量问题,项目建设管理团队采用QC小组活动方式,利用因果分析图法分别从土质、环境、人员、方法、机械等5个方面逐层分析影响土方压实质量控制的主要和次要原因,有针对性地提出各项处置和预防措施。经实际应用质量控制效果良好,土方压实各项指标均满足规范要求,该方法有效促进了工程施工流程的规范化、标准化管理,有推广应用价值。

**关键词:**因果分析图法; 堤防填筑; 土方压实度; 质量控制; 淮河入海水道二期工程

中图分类号:TV523

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)10-0026-0005

## Application of causality diagram method in quality control of earthwork compaction degree

YE Jianliang<sup>1</sup>, ZHOU Jinjing<sup>1</sup>, LIU Kai<sup>1</sup>, JIANG Zhongqing<sup>2</sup>

(1. Huai'an Huai River Access Channel Phase II Construction Office, Huai'an 223010, China;

2. Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou 225000, China)

**Abstract:** In the process of the construction management of the second phase of the Huai'an Huaihe River Sea Inlet Project, the project construction management team adopted the QC group activity mode to address the key quality problem of "compaction of embankment filling", by using the causality diagram method. This paper analyzes the main and secondary reasons influencing the quality control of earth compaction from five aspects: soil quality, environment, personnel, method and machinery, etc., put forward the disposal and preventive measures. After practical application, the quality control effect is good, and all the indexes of earth compaction meet the requirements of the code. This method effectively promotes the standardization and standardized management of the construction process and is worthy of popularization and application.

**Key words:** causality diagram method; embankment filling; earthwork compaction degree; quality control; the second phase of Huaihe River Sea Inlet Project

收稿日期:2023-08-04

作者简介:叶建亮(1987—),男,工程师,本科,从事水利工程建设、运行管理工作。E-mail:441979810@qq.com

## 1 工程概况

淮河入海水道二期工程是国家进一步治理淮河38项骨干工程之一,也是国务院确定的172项节水供水重大水利工程“十大标志性”项目。二期工程是在一期工程基础上,通过拓宽挖深河道、加高培厚堤防等工程措施,将淮河入海水道设计行洪流量由2 270 m<sup>3</sup>/s提高到7 000 m<sup>3</sup>/s,将洪泽湖设计防洪标准由100年一遇提高到300年一遇。淮河入海水道二期工程总投资438亿元,计划工期84个月。

淮河入海水道二期工程淮安境内工程西起二河闸,东至淮阜交界,总长66.2 km,工程主要建设内容包括3个部分:①干河主体工程;②跨河桥梁工程;③渠北影响处理工程。淮安市境内工程概算155.78亿元,其中工程类投资79.20亿元,征地移民投资76.58亿元。

## 2 因果分析图法的应用

因果分析图也叫特性要因图,又叫鱼刺图、石川图,它是1953年日本川崎制铁公司质量管理专家石川馨最早使用的图<sup>[1]</sup>。因果分析图法就是把对结果(问题或特性)有影响的重要因素加以分析和分类,并在图上用箭线将其关系表示出来,通过整理、归纳、分析查找原因,将因果关系搞清,然后采取措施,解决质量问题,使控制工作系统化、条理化<sup>[2]</sup>。

### 2.1 质量控制对象的确定

淮安市淮河入海水道二期工程于2022年7月30日正式开工,工程主体为入海水道沿线土方开挖、堤防填筑,部分为堤防配套建筑物、上堤道路恢复及弃土区工程。本工程土方施工量大面广,工期短,受天气、水情影响大,是本工程施工中的关键性工程。压实度是堤防工程施工质量的关键性指标之一。本研究将堤防填筑压实度不足作为本工程的主要质量问题进行分析。

### 2.2 成立质量控制小组

质量控制对象确立后,淮安市淮河入海水道二期工程项目法人组织设计、监理、施工、检测等单位技术骨干成立质量控制小组,组员涵盖质量控制工作的主要环节和部门。针对“堤防填筑压实度不足”这一问题,小组成员集思广益,共同分析,充分发表个人看法和意见,层层深入,排查所有可能的原因,并达成共识,找出影响堤防工程压实度不足的主要原因。

### 2.3 绘制鱼刺图

本工程采取因果分析图法的主要步骤为:确定分析的质量问题为堤防填筑压实度不足→采用质量控制小组活动的方式分析影响压实度不足这一问题的各种原因→根据影响因素大小顺序,采取箭线的方式逐层标记在鱼刺图上→逐步分析,反复讨论、核查,找出5个关键影响因素(土质、环境、人员、机械、方法),根据这5个影响因素,研究问题解决措施,指导一线工程施工管理。

根据以上方法,对淮安市淮河入海水道二期工程堤防填筑压实度不足的原因进行因果分析。其中,把土质、环境、人员、机械、方法等主要因素作为大骨,标注在鱼刺图上;再对以上主要因素进行深入分析,列出次要因素作为中骨;以此类推进行逐步细化。工程鱼刺图见图1。

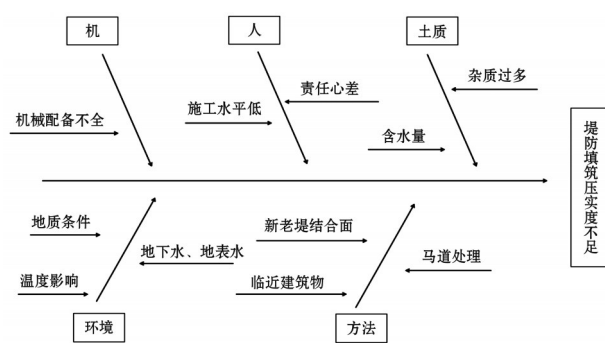


图1 工程鱼刺图

## 3 质量问题分析及控制要点

根据因果分析图法绘制的鱼刺图,进一步分析各中骨线影响因素,制定相应质量管理和技术措施,各个击破,并形成规范化管理要求。

### 3.1 土料质量

#### 3.1.1 杂质较多

土料中杂质主要来自于老堤堤基和料场。为此,施工过程中严格按照施工图要求清基、清杂至原状土,本工程清基厚度控制在50 cm左右。对堤基、堤坡树根以及根茎在3 cm以上的必须挖除,对于清基后根茎在3 cm以下以及芦根等向下砍除5 cm左右;同时加强堤防填筑土源质量管理,及时清理上堤土料中的淤泥土、砂礞石等杂质,在倒土旋耕、粗平两道工序后安排专人各捡拾1次。

#### 3.1.2 土料含水量不满足要求

根据土料的击实曲线,土体的干密度在最优含

水量左侧随的增大而增大;干密度在最优含水量右侧随的增大而减小。由此可见,土料含水量是堤防压实度控制关键要素之一。在施工过程中,按照土方击实试验确定的最优含水率指导现场施工,料场开挖前设置垄沟加强降水,填筑区上堤土料进行推平、旋耕打碎、翻晒,现场进行含水率试验,使土料含水率控制在要求范围内。含水量偏低时,填筑区在旋耕打碎前进行洒水润湿,保障层间结合面施工质量。

3.2 环境因素

3.2.1 温度影响

淮河入海水道二期工程施工工期为7年,施工过程普遍涉及跨年度施工,冬夏温差变化大,对工程施工要求有很大区别。冬季施工,上堤土料不得夹杂冰雪,对于表层发生冻土现象时,已冻融土层必须挖除、打毛后方可重新铺土。因温度影响,铺土厚度一般控制在20~25 cm,小于正常铺土厚度

(本工程碾压试验确定的铺土厚度为30 cm),且铺土、碾压等工序采取快速连续作业,土料压实作业温度控制在-1℃以上,正常碾压时间安排在每日中午前后;夏季施工,由于温度普遍在28℃左右,料场在垄沟爽水和高温蒸发下,土料天然含水量呈上层低下层高,采取立面开挖方式。筑堤过程中加快施工流程,减少碾压土层暴晒时间,土方碾压工序正常安排在早晚气温低时施工。

3.2.2 地质条件

本工程处于淮河入海水道河道工程第一工程地质段即硬土段内,主要分布可塑~硬塑黏性土及中密~密实少黏性土,较少分布软土。参照本工程地质勘察综合成果建议值表,土层自上而下共划分为8层,除⑤<sub>2</sub>层为轻粉质壤土不具备筑堤条件,其余均属粉质黏土,可用于堤身填筑。开挖过程中,⑤<sub>2</sub>层要求采用平面开挖方式全部剔除,经现场监理确认后,继续开挖下层黏土进行筑堤。

表1 地质勘察综合成果建议值

层号	标准贯入击数N/击	基本物理性指标						液塑限				土分类	直接快剪		固结快剪		渗透系数/(cm/s)	允许承载力/kPa
		含水率/%	湿密度/(g/cm <sup>3</sup> )	干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	土粒比重	孔隙比	饱和度/%	液限/%	塑限/%	塑性指数	液性指数		凝聚力/kPa	内摩擦角/(°)	凝聚力/kPa	内摩擦角/(°)		
A	11	23.8	1.95	1.58	2.74	0.740	88.1	37.0	19.8	17.2	0.23	粉质黏土	31.0	10.5	29.8	11.4	7.86E-07	
① <sub>2</sub>	8	28.4	1.94	1.51	2.74	0.813	95.7	40.8	21.4	19.4	0.36	粉质黏土	25.5	11.3	26.0	12.0	4.20E-06	95
① <sub>3</sub>	10	27.0	1.97	1.55	2.74	0.766	96.6	38.0	20.5	17.5	0.37	粉质黏土	31.4	11.8	32.0	13.9	6.28E-07	130
⑤ <sub>1</sub>	14	25.6	2.00	1.59	2.74	0.721	97.3	44.9	22.9	22.0	0.12	粉质黏土	45.4	13.6	48.2	15.5	3.65E-07	200
⑤ <sub>2</sub>	16	25.6	1.95	1.55	2.72	0.752	92.6	29.5	20.1	9.4	0.59	轻粉质壤土	9.0	24.2	9.6	25.4	6.90E-05	170
⑤ <sub>2</sub> '	14	30.9	1.92	1.47	2.74	0.868	97.5	38.9	21.0	17.9	0.55	粉质黏土	28.2	11.6	30.5	13.2	4.76E-07	160
⑤ <sub>3</sub>	15	27.2	1.97	1.55	2.74	0.769	96.9	35.9	20.1	15.8	0.45	粉质黏土	32.9	13.2	35.8	15.0	5.16E-07	17.0
⑤ <sub>3</sub> '	18	26.5	1.97	1.56	2.72	0.747	96.5	30.2	20.1	10.1	0.63	粉质黏土	5.1	20.0	6.9	21.1	2.05E-05	17.0

3.2.3 地下水、地表水影响

施工过程中,结合料场、施工条件等因素合理布置垄沟,降低地下水位。经反复实践证明,垄沟水位线抽排降低至原地面以下40~50 cm后,土体含水率接近最优含水率,开挖筑堤更为经济、合理;另一方面,为减少天然降水对上堤土料填筑影响,堤顶土方填筑按照规范要求做成中间凸起向两侧微

倾,俗称“龟背状”。

3.3 施工人员

在工程质量管理中,人的因素起决定性作用。项目质量管理的好坏与现场管理、施工人员的质量意识和质量管理能力有很大关系。虽然各施工单位资质均满足招投标的要求,但本工程由于照顾地方以工代赈,工地施工人员多为农民工,未经



专业培训,缺乏施工经验,给工程管理带来一定难度。

### 3.3.1 质量责任心差

施工初期,施工单位对新进人员实行三级教育培训,开展每日班组活动,但仍会发生工人因为偷懒、图快等原因,不能按照质量技术规范进行现场施工。为此,施工单位不断建立健全质量生产责任制度和目标考核管理办法,通过签订责任状,将工作任务和责任目标层层分解、落实到每个层次和环节,落实到每一个职工身上,强化各级负责人、各岗位人员对工程施工的责任感;通过质量目标考核,遵循以奖为主、以罚为辅的管理方针,有效提高员工的质量责任意识和工作积极性。

### 3.3.2 基础技能掌握不牢靠

考虑到农民工缺乏施工经验,常规技术规范学习效果不够明显。施工单位一方面购买工程技术规范,设置民工读书室,为自主学习提供良好的学习环境;另一方面,安排专人负责编制顺口溜,以浅显易懂的句式传达工程管理要求。如“设计边线外50,清基厚度0.5,根茎石块多捡拾,弃渣位置指定放,基面平整早报验,不及施工面保护,复工清理再报验”-《堤基清理歌》;同时,现场施工实行分区管理,不同位置设置工程流程图,明确施工要点。

## 3.4 施工方法

堤防填筑一般施工流程为:施工准备→测量放样→清基→铺料→粗平→破碎→静压→整平→振压。在施工过程中,除掌握以上一般施工方法,还需加强以下3个结合部位的质量控制。

### 3.4.1 新老堤结合

淮安市淮河入海水道二期工程堤防加高培厚必然会遇到新老堤防相互影响的问题。由于老堤结合部位存在施工时间的差异,导致地基固结度和堤防压缩程度不同而易产生新老堤防的不均匀沉降<sup>[3]</sup>。开挖台阶能有效增加新老堤防的接触面积,从而显著提高堤防工程整体性和稳定性。工程施工过程中,要求台阶高度不大于25 cm,宽度不小于75 cm,坡比控制不小于1:3,底部的台阶宽度可适当放宽。

### 3.4.2 上堤马道

由于上堤马道为临时工程,堤防填筑至设计高度后需拆除。为保障堤防工程的整体性,一方面合理规划施工区域施工便道,减少上堤马道的数量,另一方面上堤马道在满足运输功能的前提下,减少

马道宽度。对占压堤身断面的上堤马道做补缺口处理,将已板结的老土刨松,与新铺土一起按照要求分层压实。

### 3.4.3 临近建筑物

堤防填筑在临近建筑物相接时,采用手动式动力夯进行压实。填土前,将建筑物表面的粉尘、油污等杂物清除;填筑时,保持建筑物表面润湿,边涂泥浆、边铺土、边夯实,涂浆高度与铺土厚度保持一致,涂层厚度为3~5 mm,严禁泥浆干固后再铺土、夯实<sup>[4]</sup>。本工程泥浆浓度为1:2.5~1:3.0(土水质量比),建筑物两侧回填,保持对称填土,均衡上升;人工夯实,铺土厚度控制在15~20 cm以保障压实效果。

## 3.5 施工机械

土方施工前,一是通过对堤防填筑施工流程、使用机械设备等方面进行论证,采用轻型击实重型压实方案,结合本工程土质主要为粉质黏土,可塑状态且中压缩性,经工艺试验决定采用20 T振动压路机碾压,采取静压和振压相结合的方式进行土方压实作业;二是对机械配合进行论证,压路机表面密实不利于堤防层间结合,相应配备旋耕机控制土料粒径和层间粗糙度,犁地机主要控制含水率,平地机控制表面平整度;压实时,静压2遍再振压若干遍(北堤为2级堤防,设计压实度0.93,振压3遍;南堤为1级堤防,设计压实度0.95,振压4遍),碾压过程遵循先静后振、先慢后快、先轻后重、轮迹重叠的原则,行车速度控制在2~3 km/h,振动频率控制在30 Hz。

## 4 质量控制的成果

淮安市淮河入海水道二期工程正式开工后,建设处委托江苏省水利科学研究院对本工程进行第三方质量检测。截至2023年5月份,检测单位采用环刀取样、烘箱烘干法抽检堤防土方填筑压实度,共100组,实测压实度为0.93~0.99,均满足设计要求,考虑篇幅原因,仅列出先导段工程堤防填筑压实度抽检结果,见表2。

## 5 结 语

本工程针对土方压实度这一控制目标,采用因果分析图法逐层分析影响堤防填筑压实质量的各项因素,从而有的放矢地进行工程质量管理,实践证明它是非常有效的质量管理方法,值得在淮河入海水道二期工程后续建设管理中推广应用。

表2 工程堤防填筑压实度抽检结果

检测部位	组次	高程/m	设计压实度/%	实测干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	压实度/%	备注
北堤 29+250迎水面	第1组	▽7.2	≥0.93	1.58	0.95	满足设计要求
	第2组			1.61	0.96	满足设计要求
	第3组			1.66	0.99	满足设计要求
北堤 29+259迎水面	第4组	▽9.0	≥0.93	1.56	0.93	满足设计要求
	第5组			1.56	0.93	满足设计要求
	第6组	▽10.0	≥0.93	1.58	0.945	满足设计要求
	第7组			1.62	0.97	满足设计要求
	第8组	▽11.56	≥0.93	1.62	0.97	满足设计要求
	第9组			1.64	0.98	满足设计要求
北堤 29+470背水面	第10组	▽10.5	≥0.93	1.66	0.99	满足设计要求
	第11组			1.62	0.97	满足设计要求
	第12组	▽11.6	≥0.93	1.61	0.96	满足设计要求
	第13组			1.59	0.95	满足设计要求
北堤 29+480迎水面	第14组	▽7.2	≥0.93	1.61	0.96	满足设计要求
	第15组			1.64	0.98	满足设计要求
	第16组			1.57	0.94	满足设计要求
北堤 29+500迎水面	第17组	▽16.5	≥0.93	1.57	0.94	满足设计要求
	第18组			1.58	0.95	满足设计要求
	第19组			1.64	0.98	满足设计要求
北堤 29+560迎水面	第20组	▽9.0	≥0.93	1.66	0.99	满足设计要求
	第21组			1.66	0.99	满足设计要求
	第22组			1.64	0.98	满足设计要求
北堤 29+600迎水面	第23组	▽16.5	≥0.93	1.61	0.96	满足设计要求
	第24组			1.62	0.97	满足设计要求
	第25组			1.59	0.95	满足设计要求

参考文献：

[1] 王玉玺. 因果分析图在生活用纸质量控制中的应用[J]. 中华纸业, 2016, 37(8): 32-33.

[2] 肖祥伟. 因果分析图在工程建设挂靠成因分析中的应用[J]. 山西建筑, 2008, 34(32): 191.

[3] 李昂, 花剑岚, 卢发周. 新老堤防结合面加固措施探究——以南京长江干堤防洪能力提升工程为例[J]. 水利技术监督, 2013, 5: 73.

[4] 中华人民共和国水利部. 堤防工程施工规范: SL 260—2014[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.