

基于落料点坐标定位的堆料工艺优化

王杰 张国峰

(沧州黄骅港矿石港务有限公司 河北 沧州 061113)

摘要: 国内很多港口的料场在进行堆料时,依然依靠老师傅的堆料经验或者肉眼观察的方法,这种传统堆料工艺模式,无法保障工作效率,同时堆料的稳定性和准确性水平较低。在这样的前提下,堆料工艺的优化,将降低人工劳动强度,提升港口工作效率。本文通过对堆料机落料点在堆场直角坐标系下的建模、料垛建模以及料垛顶面网格化处理,实现了精确的堆料作业,在加上联合作业方式,提高了堆场利用率。

关键词: 落料点; 坐标定位; 堆料工艺; 堆料机

0 引言

国务院印发的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》提出,要优化调整货物运输结构,大幅提升铁路货运比例。这一举措的逐步落实将会加速柴油机车的淘汰。同时生态环境部提出,京津冀及周边、长三角地区沿海港口的矿石、钢铁、焦炭等大宗货物全部改由铁路运输,禁止汽运集疏港。在汽运禁止疏港,铁路运力尚未充足的过渡期内,可能会导致港区堆场内矿石堆压,堆场空间不足,有船却无空间接卸的情况,以及在接卸高峰期出现的有船无空间接卸的情况,所以优化堆料工艺提高堆场利用率迫在眉睫。同时由于现场环境比较恶劣,粉尘噪声大,需要作业人员昼夜不间断值守,影响作业人员身体健康。因此如何提高堆料效率、降低人工成本、减少人工干预,成了所有码头料场共同面临的问题。

基于上述背景提出基于落料点坐标定位的堆料工艺优化,旨在辅助司机堆料作业提高堆场利用率的同时兼顾对自动化堆料方案进行理论尝试,为堆料机实现自动化堆料奠定理论基础。

1 现有堆料工艺主要问题

1.1 设备结构分析

某港散货港区矿石码头一期工程堆场采用大连华锐重工设计制造的DBK7500.52型悬臂堆料机,用于堆料作业。悬臂堆料机在铁矿石堆料场的坝基轨道上行走,主要功能是将皮带机输送的铁矿石堆到堆料场。堆料作业时皮带机皮带通过堆料机尾车将铁矿石卸到悬臂皮带上,由悬臂皮带运至堆料场。

1.2 主要问题

(1) 堆场空间不足,有船无法接卸。

(2) 由于堆料机司机室界面显示的是堆料机的走行位置值、回转角度值及俯仰角度值,如果我们将堆场堆料空间视为空间直角坐标系,显然角度值 $(X, \theta_{回}, \theta_{俯})$ 无法直观地表达落料点在堆场直角坐标系下的位置,因为大家更习惯于直观的长度值 (X, Y, Z) 表达方式,进而导致司机无法知道悬臂头部落料点在堆场坐标系下的位置,造成堆料作业难度系数大:堆场两侧行车道宽度把握不准,留宽了堆场利用率下降,窄了行车疏港困难;料堆高度把

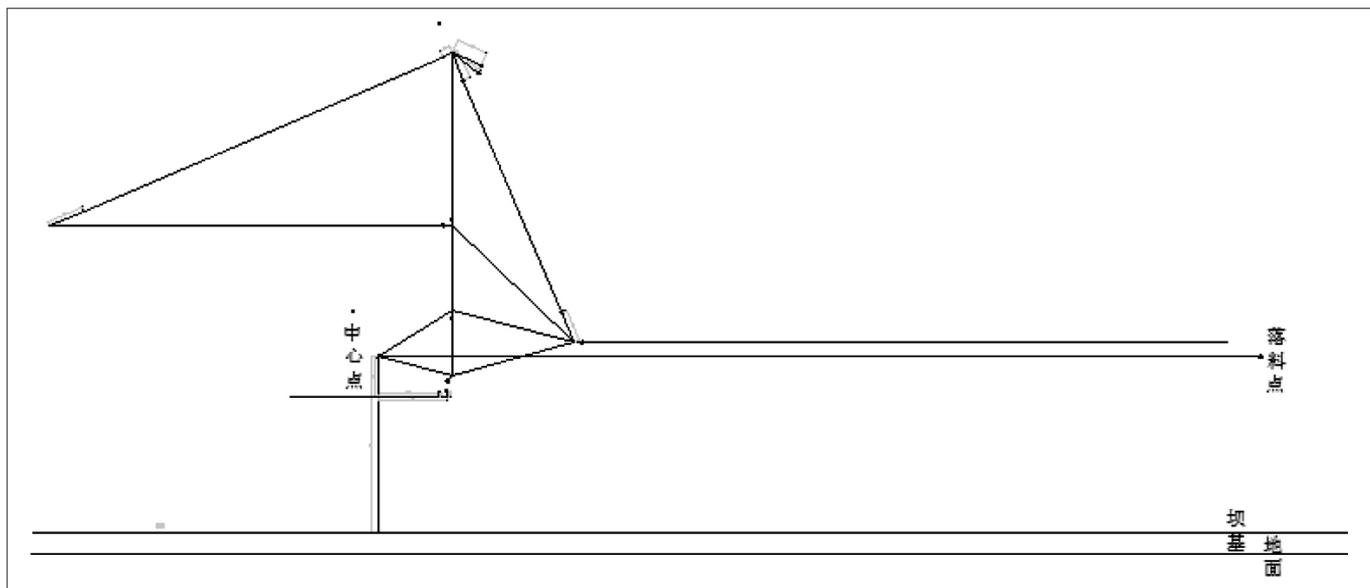


图1 堆料机几何尺寸简图

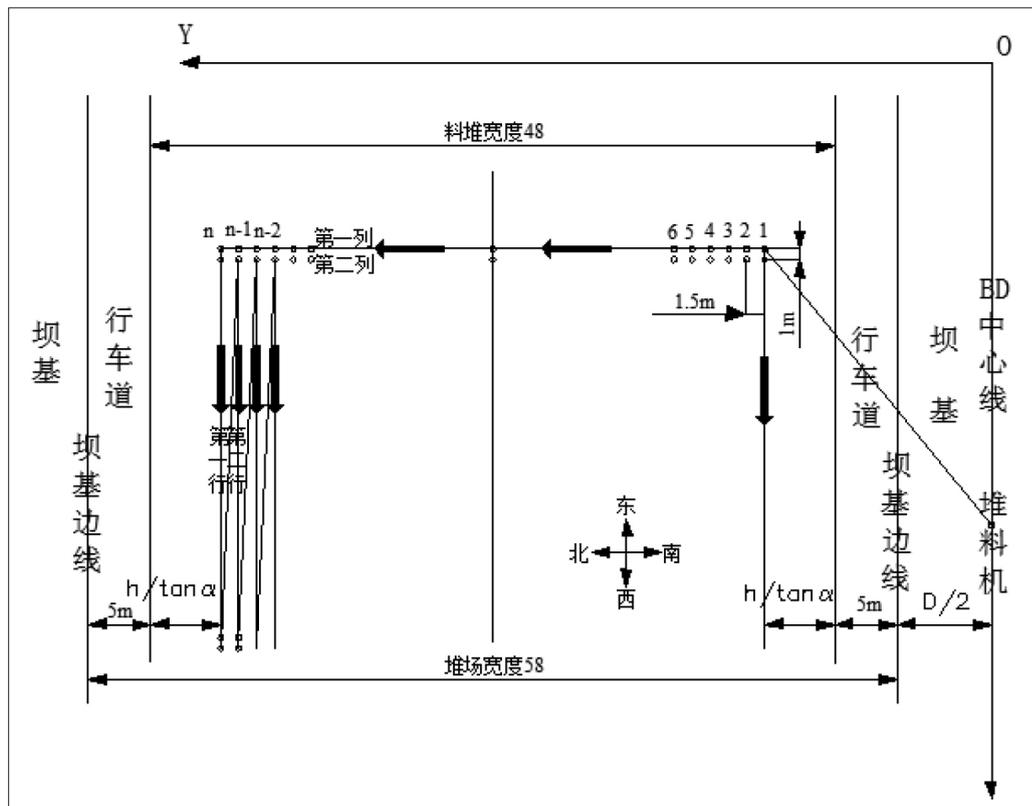


图2 堆场坐标系示意图

握不准，高了堆场超负荷容易塌陷，矮了堆场利用率下降。

(3) 由于堆料机司机对物料安息角，物料堆积密度及料堆形状没有准确的数学认识，不能准确计算船上货物量在堆场上可以堆多长，经常堆出刀把形状的堆而不是完整的梯形堆，导致堆场利用率下降；在满足堆场载荷要求的前提下，无法根据矿石的堆积密度（比重）大小适当调整料堆高度，导致堆场利用率不足。

(4) 由于堆场及坝基轨道长度在设计上考虑不足（轨道末端应向西延伸），堆料机退到轨道最西头仍然无法利用堆场最西侧约 1050 ~ 1100 米的堆场空间，导致五个堆场的西侧 50 米空间浪费，严重降低了堆场利用率。

2 堆料工艺优化方案

2.1 堆料机落料点在堆场直角坐标系下的建模

堆料机处于零位时由堆料机图纸及堆场图纸资料查出，堆料机处于零位时落料点距中心点距离 54 米，回转中心距地面高度 $H_0=12$ 米，坝基宽度 $D=13$ 米，行车道宽度 5 米，堆料机几何尺寸简图如图 1 所示，堆场坐标系示意图如图 2 所示：

在堆场空间直角坐标系下取堆场最东侧坝基中心为坐标原点如图 2 所示，将堆料机的落料点角度表示的坐标值 $(X, \theta_{回}, \theta_{俯})$ ，通过三角函数换算成堆场空间直角坐标系下的长度表示的坐标值 (X, Y, Z) ，表达式如式 (1)、(2)、(3) 所示：

$$X = \begin{cases} X_0 - 54 \cos \theta_{俯} \cos \theta_{回} & \theta_{回} \in [0^\circ \quad 90^\circ] \\ X_0 + 54 \cos \theta_{俯} \cos \theta_{回} & \theta_{回} \in [90^\circ \quad 120^\circ] \end{cases} \quad (1)$$

$$Y = \begin{cases} 54 \cos \theta_{俯} \sin \theta_{回} & \theta_{回} \in [0^\circ \quad 90^\circ] \\ 54 \cos \theta_{俯} \sin(180^\circ - \theta_{回}) & \theta_{回} \in [90^\circ \quad 120^\circ] \end{cases} \quad (2)$$

$$Z = H_0 + 54 \sin \theta_{俯} \quad \theta_{俯} \in [-9^\circ \quad 4^\circ] \quad (3)$$

式中， X_0 ——堆料机中心点的 X 坐标值（米）；

$\theta_{回}$ ——堆料机悬臂俯仰角度值（度）；

$\theta_{俯}$ ——堆料机悬臂回转角度值（度）；

H_0 ——堆料机中心点距地面高度（米）。

经上述建模，将堆料机的落料点角度表示的坐标值 $(X, \theta_{回}, \theta_{俯})$ ，表示成堆场空间直角坐标系下的长度表示

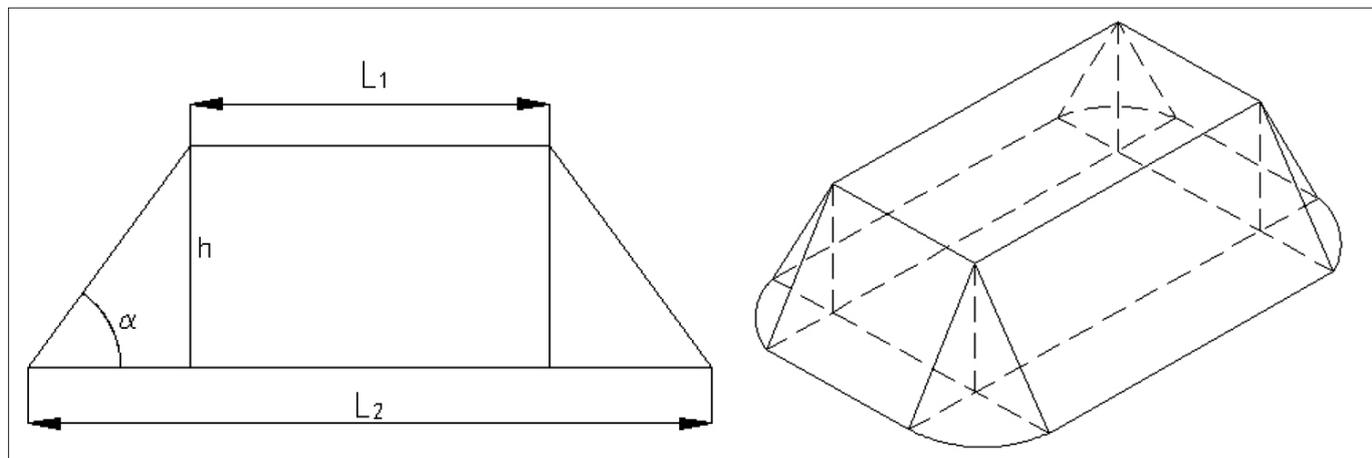


图3 料堆形状图

的坐标值 (X,Y,Z)，将堆料机落料点和堆场空间的位置关系进行了有机结合，实现了堆料机落料点在堆场空间下的定位。

2.2 料垛建模

料堆截面积：将料垛分解成一个梯形体、加两端的各一个三角体和两个 1/4 锥体，如图 3 所示，已知堆场宽度 58 米，两侧的行车道宽度 5 米，L2=48 米，圆锥半径如式 (4) 所示，料垛截面积 S 如式 (5) 所示，根据质量体积密度公式即可准确计算船上货物量在堆场上可以堆多长。

$$r = \frac{h}{\tan\alpha} \tag{4}$$

$$S = \frac{(L_1 + L_2)h}{2} = \frac{\left(96 - \frac{2h}{\tan\alpha}\right)h}{2} \tag{5}$$

式中，L₁——梯形上边即料垛顶面宽度（米）；

L₂——梯形下边即料垛底面宽度（米）；

h——堆料机悬臂俯仰角度值（米）；

α——物料安息角（度）。

料垛长度：如图 3 所示，垛的长度等于两个半径 r 加

上梯形体垛长，根据体积密度公式求得如式 (6) 所示：

$$L = \frac{2h}{\tan\alpha} + \frac{M - \rho \left[\frac{1}{3} \pi \left(\frac{h}{\tan\alpha} \right)^2 h + \left(\frac{h}{\tan\alpha} \right) \left(48 - \frac{2h}{\tan\alpha} \right) h \right]}{\left(96 - \frac{2h}{\tan\alpha} \right) h} \tag{6}$$

式中，M——物料总质量（吨）；

ρ——梯形下边即料垛底面宽度（吨 / 立方米）。

2.3 料垛顶面网格化处理

将东西方向定义为行，最北侧为第一行，南北方向定义为列，最东侧为第一列，经现场实测行距 ΔY=1.5 米，列宽 1 米时垛形比较工整，那么堆场内可以堆出 n=L1/1.5+1=(48-2h/tan α)/1.5+1 行，这样就可以将长度为 L，宽度为 L1 的料垛顶面划分成行距为 1.5 米，列距为 1 米的网格，如图 2 所示。

采用走行定点一次堆料工艺，堆料顺序见图 2 箭头方向所示按描点的方式堆料，先堆点 1 再以 1.5 米的步长堆点 2，从 1 点堆到 n 点，形成第一列，再以 1 米的步长堆从 n+1 点，自东向西堆出第一行，堆完第一行回转 1.5 米快速走回东端自东向西堆第二行，依次类推（总是自东向

表 1 不同垛高及安息角下的大臂高度 Z 及回转坐标 Y₁、Y_n 值

垛高 7 米	安息角	29	34	35	36	37	38	39	40
	r	12.6	10.4	10	9.6	9.3	9	8.6	8.3
	落差	2	2	2	2	2	2	2	2
	大臂高度 Z	9	9	9	9	9	9	9	9
	行车通道	5	5	5	5	5	5	5	5
	回转坐标 Y ₁	24.1	21.9	21.5	21.1	20.8	20.5	20.1	19.8
	回转坐标 Y _n	46.9	49.1	49.5	49.9	50.2	50.5	50.9	51.2
垛高 8 米	安息角	29	34	35	36	37	38	39	40
	r	14.4	11.9	11.4	11	10.6	10.2	9.9	9.5
	落差	2	2	2	2	2	2	2	2
	大臂高度 Z	10	10	10	10	10	10	10	10
	行车通道	5	5	5	5	5	5	5	5
	回转坐标 Y ₁	25.9	23.4	22.9	22.5	22.1	21.7	21.4	21
	回转坐标 Y _n	45.1	47.6	48.1	48.5	48.9	49.3	49.6	50
垛高 9 米	安息角	29	34	35	36	37	38	39	40
	r	16.2	13.3	12.9	12.4	11.9	11.5	11.1	10.7
	落差	2	2	2	2	2	2	2	2
	大臂高度 Z	11	11	11	11	11	11	11	11
	行车通道	5	5	5	5	5	5	5	5
	回转坐标 Y ₁	27.7	24.8	24.4	23.9	23.4	23	22.6	22.2
	回转坐标 Y _n	43.3	46.2	46.6	47.1	47.6	48	48.4	48.8
垛高 10 米	安息角	29	34	35	36	37	38	39	40
	r	18	14.8	14.3	13.8	13.3	12.8	12.3	11.9
	落差	2	2	2	2	2	2	2	2
	大臂高度 Z	12	12	12	12	12	12	12	12
	行车通道	5	5	5	5	5	5	5	5
	回转坐标 Y ₁	29.5	26.3	25.8	25.3	24.8	24.3	23.8	23.4
	回转坐标 Y _n	41.5	44.7	45.2	45.7	46.2	46.7	47.2	47.6

表 2 不同堆积密度下的堆料高度

序号	品名	密度	垛高 (米)		
			1# (180)	2#-3# (210)	4#-5# (250)
1	澳粉	2.017	8.9	10.4	12.3
2	澳块	2.252	8	9.3	11.1
3	纽曼粉	2.307	7.8	9.1	10.8
4	纽曼块	2.207	8.1	9.5	11.3
5	津布巴粉	2.05	8.7	10.2	12.1
6	超特粉	1.983	9	10.6	12.6
7	麦克粉	2.04	8.8	10.3	12.2
8	罗泊河粉	1.757	10.2	11.9	14.2
9	罗伊山粉	2.127	8.5	9.8	11.7
10	杨迪粉	2.192	8.2	9.5	11.4
11	南非粉	2.053	8.7	10.2	12.1
12	杨迪粉	2.073	8.7	10.1	12
13	阿特拉斯粉	1.913	9.5	10.9	13
14	安特拉斯粉	2.168	8.3	9.6	11.5
15	乌精粉	2.324	7.7	9	10.7
16	马来粉	2.499	7.2	8.4	10
17	南澳粉	2.289	7.8	9.1	10.9
18	巴西精粉	1.961	9.1	10.7	12.7
19	西部粉	2.13	8.5	9.9	11.7
20	PB 粉	2.02	8.9	10.4	12.4
21	乌克兰球团	2.08	8.7	10.1	12.1
22	罗伊山块	2.1	8.6	10	11.9
23	巴西南部粉	2.11	8.5	10	11.8
24	国王粉	2.07	8.7	10.1	12.1
25	巴粗粉	2.03	8.9	10.3	12.3
26	新西兰海砂	2.03	8.9	10.3	12.3
27	加拿大粉	2.13	8.5	9.9	11.7
28	巴西卡粉	2.12	8.5	9.9	11.8
29	一钢粉	2.01	9	10.4	12.4
30	澳洲混合粉	2.08	8.7	10.1	12



图 4 联合作业垛形

西堆是保证水银开关有效不误报)。

这里也将料垛总长度 L 分步处理, 以 50 米为垛步长, 首先起堆 50 米, 再次 50 米, 直到最后以小于 50 米的余料最终成形。

经过堆料机落料点在堆场直角坐标系下的建模, 料垛建模及料垛顶面网格化处理, 通过输入物料安息角、垛高、密度、货物总质量及起堆位置, 即可得出料垛每一点的精确坐标值, 例如要求在三堆场 100 处起堆, 垛高 10 米, 落差 2 米, 安息角 38 度则图 2 上的 1 点坐标值为 (100, D/2+5+h/tan, 12) 即 (100, 6.5+5+12.8, 12), 第 n 点坐标值为 (100, D/2+5+h/tan +1.5(n-1), 12), 不同垛高及安息角下的大臂高度 Z 及回转坐标 Y1、Yn 值如表 1 所示, 司机按照网格上点的坐标值动作即可完成精确的堆料作业。如果将这些网格点的坐标值写成计算机程序, 配合落料点在堆场坐标系下的定位功能及水银料位计高度检测功能, 可以为堆料机自动化堆料提供一种解决方案。

矿石比重小的可以增加垛堆高度, 可以很大程度节省堆场, 提高堆场利用率, 提高效益, 因此借助商检部门提供的矿石堆积密度, 根据不同堆场载荷要求 (距海近载荷要求小), 由堆场压强载荷公式, 计算求得不同堆积密度不同堆场载荷要求下的堆料高度如表 2 所示。

2.4 堆场西侧 1050 ~ 1100 米的联合作业

在堆料机无法利用的堆场最西侧约 1050 ~ 1100 米的 50 米堆场空间, 采用堆料机给料, 装载机移料, 挖掘机平料的联合作业的堆料方式, 将这 50 米堆料机无法堆料的空间堆成 5 米高的

(下转第 14 页)

(4) 齿数: 本文的面齿轮既要考虑腐蚀磨损, 又要兼顾小齿轮数量及接触强度, 并且齿面较软, 故其取值范围可以设定为 18 ~ 25;

(5) 模数: 当结构尺寸确定后, 模数与齿数是相互制约的。其取值区间可以为 $(0.0055 \sim 0.008)R_0/2$, $R_0=(R_1+R_2)/2$, R_1 、 R_2 分别为面齿轮的设计内半径和外半径。通过优化程序直接输出模数的计算结果;

(6) 变位系数: 当材料容易腐蚀且无论材料硬度如何, 由于相对滑动的刮削作用会加剧腐蚀, 均不宜变位; 当材料比较耐腐蚀硬度不高时, 可采用正变位以增强其接触与弯曲强度; 当材料耐腐蚀且硬度高时, 接触与弯曲强度裕量较大, 则无需变位;

(7) 齿宽系数: 参考圆柱齿轮传动中齿宽系数 $\phi_m=b/mn=8 \sim 15$, b 为齿宽, 对于本文中的面齿轮的齿宽可以取 $\phi_m=8 \sim 12$, 其中载荷大, 安装精度高时, 取大值,

反之取小值。

参考文献:

- [1] Litvin F L, et al. Application of face-gear drives in helicopter transmissions [J]. ASME Journal of Mechanical Design, September 1994, 116(3): 672-676.
- [2] 沈云波, 方宗德, 赵宁, 等. 斜齿面齿轮齿宽设计 [J]. 航空动力学报, 2008, 23(4): 754-758.
- [3] 李政民卿, 朱如鹏. 面齿轮滚磨刀具基蜗杆研究 [J]. 机械科学与技术, 2009, 28(1): 98-107.
- [4] 侯寅, 朱如鹏. 面齿轮的齿面接触特性分析 [J]. 机械制造研究, 2009, 38(3): 10-12.
- [5] 沈云波, 方宗德, 赵宁, 等. 斜齿面齿轮齿宽设计 [J]. 航空动力学报, 2008, 23(4): 754-758.
- [6] 方宗德. 齿轮轮齿承载接触分析 (LTCA) 的模型和方法 [J]. 机械传动, 1998, 22(2): 1-3.

(上接第 10 页)

垛, 如图 4 所示。

3 工艺优化后使用效果

(1) 通过对堆料机进行数学建模, 将堆料机落料点和堆场空间的位置关系进行了有机结合, 使司机准确知道悬臂头部落料点在堆场坐标系下的位置, 降低了堆料作业难度系数, 司机反应良好, 能够准确把握堆场两侧行车道宽度, 准确把握料堆高度, 有效提高了堆场利用率, 同时避免了超高堆场超负荷容易塌陷的风险;

(2) 对料垛进行数学建模, 为堆料机司机作业提供指导依据, 堆料机司机对物料安息角, 物料堆积密度及料垛形状有了准确的数学认识, 能够准确计算船上货物量在堆场上的堆存长度, 避免了刀把形状的料垛, 在满足堆场载荷要求的前提下, 知道根据矿石的堆积密度 (比重) 大小适当调整料垛高度, 充分提高了堆场利用率;

(3) 对料垛模型的顶面, 进行网格化处理, 配合落料点的坐标定位方式及堆料机的水银料位计高度检测, 辅助司机堆垛整齐美观, 方便了苫盖, 同时为堆料机自动化堆料提供了一种解决方案;

(4) 在堆料机无法利用的堆场最西侧约 1050 ~ 1100 米的 50 米堆场空间, 采用堆料机给料, 斗车移料, 挖掘

机平料的联合作业的堆料方式, 将这 50 米堆料机无法堆料的空间堆成 5 米高的垛, 有效地提高了堆场利用率。

4 结语

基于落料点坐标定位的堆料工艺优化有效辅助了司机堆料作业, 减轻了司机的劳动强度, 为堆料机无人值守提供了准确的模型, 奠定了理论基础。同时堆料工艺优化使堆垛垛形更加规整, 利于苫盖和取料, 赢得了客户的认可, 堆场的有效利用保证了船舶的正常接卸。

参考文献:

- [1] 吴蒙. “公转铁”大环境下铁路绿色物流发展策略探讨 [J]. 现代商贸工业, 2018, 35: 24-26.
- [2] 于娟. 调整交通运输结构的思路及对策建议 [J]. 中国经贸导刊, 2019, 33: 46-50.
- [3] 王子文. 斗轮堆取料机机型介绍 [J]. 军民两用技术与产品, 2016, 2: 112, 176.

作者简介: 王杰 (1987.11-), 男, 汉族, 河北衡水人, 中级工程师, 研究生学历, 研究方向: 港机设备智能控制, 机电维修; 张国峰 (1985.03-), 男, 汉族, 黑龙江铁力人, 中级工程师, 研究生学历, 研究方向: 港机设备智能控制, 机电维修。