DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.250553

沥青拌合楼振动筛孔配置对混合料性能影响

俞方喆[1],陈　欣[2]
[1.同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092; 2.保山公路局,云南 保山 678000]

摘　要: 沥青混凝土拌合楼的振动筛是分筛各种集料的设备,沥青混凝土振动筛孔孔径的合理配置是确保工程质量和生产效率的关键。通过实例分析,对 AC-25 沥青混凝土生产配合比与振动筛孔孔径进行研究,按照沥青拌合楼的生产效率,对筛网的通过能力进行计算和优化。总结并确定沥青拌合楼热料仓振动筛孔孔径的配置方法,减少沥青拌合楼溢料、等料现象,使沥青拌合楼的生产效率达到最大化;同时使沥青混凝土的配合比更精准,减小矿料间隙率,进一步提升抗高温性能、劈裂抗拉强度、冻融劈裂残留强度比等路用性能指标。这些在沥青路面施工中具有较强的实用性。

关键词: 沥青拌合楼;振动筛孔径;配合比;筛分效率;路用性能
中图分类号: U41;TU997　　**文献标志码:** B　　**文章编号:** 1009-7716(2026)01-0329-05

Influence of Configuration of Vibrating Screen Holes in Asphalt Mixing Plants on Mixture Performance

YU Fangzhe[1], CHEN Xin[2]
[1. Tongji University Architectural Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China; 2. Baoshan Highway Bureau, Baoshan 678000, China]

Abstract: The vibrating screen of asphalt concrete mixing plant is an equipment for screening various aggregates, and the reasonable configuration of the vibrating screen aperture of asphalt concrete is the key to ensure the engineering quality and production efficiency. By analyzing the cases, the production mix proportion and the vibrating screen aperture of AC-25 asphalt concrete are studied. The screening capacity of the screen mesh is calculated and optimized according to the production efficiency of asphalt mixing plant. The configuration method of the vibrating screen aperture of the hot bin in the asphalt mixing plant is summarized and determined, and the phenomena of material overflow and waiting in the asphalt mixing plant are reduced, which maximizes the production efficiency of the asphalt mixing plant, and also makes the mix proportion of asphalt concrete more precise. The void ratio of mineral materials is reduced. And the indexes of pavement performance such as high-temperature resistance, splitting tensile strength and freeze-thaw splitting residual strength are further improved, which has practicability in the construction of asphalt pavement.

Keywords: asphalt mixing plant; vibrating screen aperture; mix proportion; screening efficiency; pavement performance

0　引　言

沥青混凝土路面的石料由 1 号、2 号、3 号、4 号料组成,不同类型的沥青混凝土,需采用不同规格的粗、细骨料,按相应的筛孔尺寸、比例进行掺配,使其满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)[1]和设计图纸的级配要求。沥青混凝土拌合楼通过 4 个冷料仓,按目标配合比配送骨料,经烘干后提升至热料仓振动筛进行筛分、称重和拌合。在生产配合比的调试检验中,按照配置的振动筛孔孔径进行筛分、称重、调校和拌合。在沥青混凝土的生产过程中,碎石料源、规格会发生变化,使得沥青拌合楼生产效率受到一定影响。沥青拌合楼振动筛的配置,是公路建设者较为关注的一项工作,很多学者针对不同的沥青混合类型进行了不同种类的配合比[2-5]试验。合理地配置振动筛筛孔,可以使沥青混合料的生产配合比更加精准,确保沥青混凝土的质量和施工进度,减少溢料、等料现象,最大化地发挥沥青拌合楼的生产效率,进一步提升相应的路用性能指标[3,6-12],对降低能源消耗和节约石料

收稿日期: 2025-05-30
基金项目: 2024 年云南省职工创新项目补助资金[2024(40)]
作者简介: 俞方喆(1992—),男,硕士,工程师,从事道路设计工作。

有重要作用。

1　概　况

G357国道二级公路“K3451+000”～“K3452+000”位于昌宁县境内，属长下坡地段，沥青路面结构为“3 cm AC-13沥青混凝土+5 cm AC-20沥青混凝土+26 cm水泥稳定碎石基层+12 cm级配碎石”，路基宽度为8.5 m，路面宽度为7.9 m。2024年4月，保山公路局技师工作站以《复合改性橡胶沥青混凝土薄层罩面改善山区沥青路面使用功能适用性研究》为科研项目，对该路段沥青路面情况展开分析。该项目课题在2024年10月获得“云南省总工会职工创新项目补助资金”批复。保山公路局依托此项目，对沥青混凝土的结构层厚度、级配、沥青混凝土拌合楼等进行认真研究，以确保复合改性橡胶沥青混凝土薄层罩面的顺利实施。

对该项目中沥青路面下面层病害进行处置，采用AC-25沥青混凝土对8 cm厚的结构层进行修补。在用AC-25沥青混凝施工的过程中，拌合楼经常出现等料、溢料情况，使得生产效率低下，每拌合1盘配料的时间约为60 s，不满足沥青混凝土正常的施工进度。

为了解决沥青拌合楼生产效率低下的问题，本文选取AC-25沥青混凝土作为研究对象，分析提升其生产效率的方法，既可以为以后生产AC-16、SMA-10等不同结构形式，满足不同路面结构层需求的配料提供参考，也可以为提升沥青混合料拌合效率提供相应的参数参考。对沥青拌合楼振动筛孔的孔径与不同沥青结构层之间的关系，以及路用性能指标进行研究，总结沥青混凝土的配合比、拌合楼振动筛孔孔径的配置方法，探寻通过优化振动筛孔孔径，提高生产效率、提升沥青混凝土路用性能指标的措施和方法。

2　沥青拌合楼热料仓振动筛工作原理及存在的问题

沥青拌合楼是沥青混凝土路面的主要生产设备，振动筛将不同规格的热料，均匀地摊铺在筛网上，通过偏心轴旋转产生的振动，牵引筛网和矿料上下振动，将混合料重新按不同规格分开。筛分后的骨料按照从大到小的粒径规格，存放在不同规格的储料仓中。通过电磁阀和气缸开启斗门，按照已确定的各种矿料的生产配合比（重量比）进行称重，当满足设定的产量后，将混合料进行强制搅拌。

由于不同厂商生产的沥青拌合楼，其振动筛的孔径尺寸配置不一，在约200 ℃的热料温度作用下，振动筛的温度较高；且振动筛装拆有一定难度，如果需更换不同孔径的振动筛，需要停止拌合，待沥青拌合楼冷却1 d后，才能进行拆卸、更换。在进行沥青路面施工时，施工单位为了方便，往往按照生产厂家配置的振动筛尺寸进行施工，这就造成沥青混凝土生产效率低下，溢料较多，生产成本不经济。本研究通过对混合料级配进行筛分检测，发现级配会偏离生产配合比设定的范围，甚至出现部分偏离至允许偏差的曲线外，造成级配不符合设计或规范要求，以及沥青混合料性能不满足要求的现象。

3　沥青拌合楼筛孔

3.1　沥青拌合楼配置

沥青路面的施工、养护，需根据公路等级、工程数量、规模等进行沥青拌合楼型号的选定和配置。拌合楼型号越大，其配置的参数越高，振动筛分级、分筛更细，生产效率、性能越稳定。

高速公路的施工、养护，对沥青路面参数、性能的要求较高，须选用筛分效率高、拌合能力强、生产功率大的沥青拌合楼，型号基本为4000型以上；对于二级公路的施工、养护，由于其路面施工面积不大，施工、修复的工程数量也不大，路面结构层分为2层，总厚度约为10 cm，沥青路面的拌合一般选择1500型～3000型拌合楼。

本研究中的项目属于普通国道公路养护项目，利用已经安装调试好的Q3000型拌合楼，对沥青路面进行大修、中修施工。

3.2　沥青拌合楼振动筛与标准筛的关系

3.2.1　矿料组成

沥青路面采备的碎石粒径分为4种规格：1号料为19～31.5 mm，2号料为9.5～19 mm，3号料为4.75～9.5 mm，4号料为4.75 mm以下。将从石料场采备的4种矿料进行筛分，并进行目标配合比设计。

3.2.2　振动筛与方孔标准筛的关系

沥青混凝土拌合楼热料仓的振动筛孔的孔径是关乎沥青混合料生产率的关键因素，需根据石料的规格、公路等级，按照分级、分仓的原则进行设置。振动筛的筛孔配置必须合理，只有各筛网筛上的矿料层厚度、供料仓的供料量大致平衡、均匀，才能充分发挥各层物料筛网的筛分效率。3000型以下沥青

拌合楼的冷料仓配置一般为4～5个，热料仓为4～6个。AC-25、AC-20和AC-16沥青混合料的级配，都需要19、9.5、4.75 mm这3种关键方孔筛的石料。

按照 D_n=1.161 9 $d^{0.993\,6}$（d为标准筛孔尺寸，D_n为振动筛孔尺寸）换算后，对应的标准方孔筛和沥青拌合楼等效筛孔孔径如表1所示。

表1　振动筛与方孔标准筛等效筛孔尺寸对比表　单位：mm

标准筛筛孔尺寸	振动筛筛孔尺寸
2.36	2.5
4.75	6.0
9.50	11.0
13.20	15.0
160	19.0
19.00	22.0
26.50	30.0
31.50	35.0

4　生产配合比的计算

4.1　各热料仓集料筛分

本项目采用中交西安筑路机械有限公司生产的Q3000型沥青拌合楼，对沥青混凝土进行拌合施工。该拌合楼有5个冷料仓、5个热料仓，额定生产率为240 t/h。依据厂家配置的各种矿料的振动筛孔径，进行AC-25沥青混凝土层生产配合比调试。经振动筛筛分后，对1～5号热料仓的矿料进行取样，并使用电算法计算生产配合比，筛分后各仓的级配情况如表2所示。

表2　AC-25生产配合比热料仓集料筛分

材料组成		筛孔孔径/mm												
		31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过百分率/%	1号料	100	88.3	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2号料	100	100	82.4	56.9	32.9	2.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	3号料	100	100	100	100	100	91.9	1.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	4号料	100	100	100	100	100	100.0	81.4	5.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	5号料	100	100	100	100	100	100.0	100	96.0	62.8	34.8	19.8	10.1	3.6
	矿粉	100	100	100	100	100	100.0	100	100	100	100	99.9	98.9	89.4
	级配范围	100	90～100	74～92	66～84	56～76	44～64	28～48	20～38	13～28	9～20	6～14	4～10	3～7
	级配中值	100	95	83	75	66	54	38	29	20.5	14.5	10	7	5

4.2　生产配合比设计

选择LINEST线性回归函数，根据函数的提示，用Excel进行矿料组成级配的计算。按照LINEST的函数选项、计算方法，选取级配中值作为数组，以各矿料料仓、矿粉为集合，设置逻辑值均为0。计算矿料组成级配的比例为1号∶2号∶3号∶4号∶5号∶矿粉=10%∶35%∶15%∶10%∶25%∶5%，拟合后的级配曲线如图1所示。

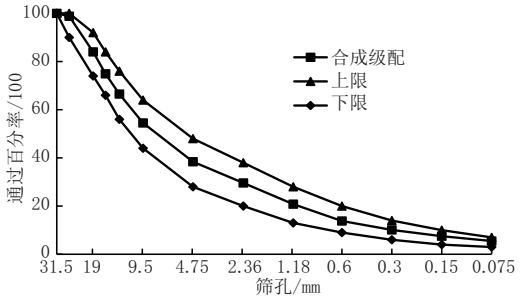

图1　AC-25生产配合比掺配级配曲线图

5　沥青混合料配合比验证

沥青石料一般分为4种规格，1号料规格为19～31.5 mm；2号料规格为9.5～19 mm；3号料规格为4.75～9.5 mm；4号料规格为4.75 mm以下。AC-25沥青混凝土按厂家配置的5把筛网进行生产，d_0=31.5 mm，施工中主要控制超粒径的颗粒，对应振动筛的尺寸为 D_0=35 mm；d_1=19 mm，对应振动筛粒径为 D_1=22 mm；d_2=16 mm，对应振动筛粒径为 D_2=19 mm；d_3=9.5 mm，对应振动筛粒径为 D_3=11 mm；d_4=4.75 mm，对应振动筛粒径为 D_4=6 mm；d_5=2.36 mm，对应振动筛粒径为 D_5=2.5 mm。

将热料仓振动筛筛分的集料称重后进行生产，发现混合料级配范围控制较好，生产的沥青混凝土各项指标都合格，但是存在溢料较多的情况，有些溢料是粒径合格的材料，经检查后发现，主要是因为筛孔尺寸与配合比不匹配，部分筛网筛上物料过厚，造成溢料现象，筛分效率差，需对振动筛孔的尺寸进行优化配置。

6　沥青混合料振动筛筛孔配置优化

6.1　计算Q3000型拌合楼实际产量

$$Q=Q'\times(1-\mu)\times(1-m) \tag{1}$$

$$Q'=N/s \tag{2}$$

式中：Q 为振动筛实际生产率，t/h；Q' 为拌合楼的生产率，t/h；μ 为配合比最佳沥青用量，取 3.8%；m 为配合比矿粉重量，取 5%；N 为拌合楼每盘拌合重量，t；s 为拌合时间，取 45 s。

经计算，得出结果如下：

$$Q'=N/s$$
$$=3/45\times3\ 600$$
$$=240(\text{t/h})$$
$$Q=219.34(\text{t/h})$$

6.2　试算各筛网的通过能力

6.2.1　检验配置的 1 号振动筛的合理性

d_1=19 mm，D_1=22 mm，对应的筛孔尺寸为 16～31.5 mm，通过率为 100%～75%，内插计算筛孔（19 mm）的通过率为 P=79.84%。

筛网筛上物料量 Q_1 计算如下：

$$Q_1=Q\times(1-P) \quad (3)$$
$$=219.34\times0.201\ 6$$
$$=44.22(\text{t/h})$$

筛面上料层厚度 h_1 计算如下：

$$h_1=Q_1/(3.6\times B\times v\times\gamma) \quad (4)$$
$$=44.22\div(3.6\times2.1\times0.3\times1.6)$$
$$=12.19(\text{mm})$$

式中：B 为筛面宽度，取 2.1 m；v 为物料平均速度，取 0.3 m/s；γ 为骨料堆比重，取 1.6 t/m^3；

料层厚度与筛孔尺寸的比值 k_1 计算如下：

$$k_1=h_1/D_1 \quad (5)$$
$$=12.19\div22$$
$$=0.55$$

比值小于 1，说明筛孔不合理，筛孔粒径偏大，筛上剩余物料偏少，增加了下一层筛的负荷，需要重新配置。

6.2.2　优化各等级振动筛

重新按照 1 号标准筛 d_1=15 mm，D_1=17.1 mm 计算，P_1=71%，Q_1=64（t/h），k_1=1.03，比值大于 1，说明筛网上料层和筛下出料均匀，生产效率稳定，可以选取该筛孔尺寸。同理，设 d_2=10 mm，D_2=11.5 mm，P_2=55.62%，Q_2=68.94（t/h），h_2=19 mm，k_2=1.65；设 d_3=8 mm，D_3=9.17 mm，P_3=48.77%，Q_3=44.26（t/h），h_3=12.2 mm，k_3=1.33；设 d_4=4 mm，D_4=4.61 mm，P_4=33.28%，Q_4=28.12（t/h），h_4=7.75 mm，k_4=1.68，可以按照以上选定的筛孔配置振动筛。

6.3　优化筛孔后的配合比

沥青拌合楼原配置的筛孔为 D_1=22 mm，D_2=19 mm，D_3=11 mm，D_4=6 mm，优化后分别为 D_1=17 mm，D_2=11 mm，D_3=9 mm，D_4=5 mm，按照优化后的配筛再进行集料筛分，计算各料仓的掺配比例。调整后的比例为 1 号∶2 号∶3 号∶4 号∶5 号∶矿粉=13%∶31%∶12%∶11%∶28%∶5%。

通过在项目投入生产阶段的试验，各筛网的孔径尺寸结构合理、筛面上矿料厚度均匀、生产质量满足规范，拌合楼溢料、等料现象减少，混合料级配合格，生产效率稳定。

7　沥青混凝土路用性能指标

7.1　动稳定性及构造深度试验

将沥青拌合楼原配置的筛网和优化后的筛网分别进行 AC-25 沥青混凝土试拌，然后做相关性能试验。按照《公路沥青路面施工技术规范》的要求，对车辙变形、构造深度指标进行检测，沥青混合料在 60 ℃温度下，试件的动稳定度结果如表 3 所示。筛孔经过优化后，动稳定度次数比优化前高出 198 次/mm，高温性能有一定增加。这表明沥青混合料经过级配优化后，可压实空间得到提升。

表 3　动稳定度及构造深度试验

名称	动稳定度/（次·mm^{-1}）	构造深度/mm
筛孔优化前	962.422	1.77
筛孔优化后	1 159.991	1.88

7.2　水稳性能检验

按照 AC-25 沥青混凝土最佳沥青用量 3.8% 的要求，制作 48 h 浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验试件，对沥青混合料的水稳性进行验证，结果如表 4 所示。从水稳性指标看，筛孔优化前、后，孔隙率、饱和度的变化不大；筛孔优化后，矿料间隙率减小，稳定度、48 h 残留稳定度有所提高，证明混合料压实后，密实度更高。

表 4　AC-25 沥青混合料浸水马歇尔试验结果

名称	沥青用量/%	理论密度 γ_t	毛体积相对密度 γ_f	空隙率/%	饱和度/%	矿料间隙率/%	稳定度/kN	流值/（0.1 mm）	48 h 稳定度/kN	残留稳定度/%
筛孔优化前	3.8	2.503	2.652	4.1	66.5	12.2	12.1	28.9	10.05	86.21
筛孔优化后	3.8	2.523	2.419	4.1	64.3	11.5	15.14	27.2	13.05	90.50
标准值				3～6	55～70	≥11	≥8	20～40	≥6.4	≥80

将击实成型后的沥青混合料随机分成2组，每组4个。第1组放在室温下保存备用，第2组经过真空饱水后放在-18 ℃温度下冷冻16 h，再在60 ℃恒温水槽融化16 h，进行劈裂强度试验，结果如表5所示。筛分优化后的劈裂抗拉强度、冻融劈裂残留强度比，相较于筛分前有一定的提高，且水稳性能更好。

表5　AC-25沥青混合料冻融劈裂试验结果

名称	未冻融循环试件的劈裂抗拉强度/MPa	冻融循环试件的劈裂抗拉强度/MPa	冻融劈裂残留强度比/%
筛孔优化前	1.019	96.3	95
筛孔优化后	1.023	98.4	96.1

8　结　论

由厂家配置的沥青拌合楼筛网，其筛分效率、生产效率不一定能满足施工进度的要求，须根据沥青拌合楼的额定生产产量，通过每一级振动筛的通过率、筛上物料厚度，以及筛上料层厚度，试算料层厚度与筛孔尺寸的比值，如果该比值大于1，才可以确保筛上、筛下物料通过均匀，保证筛分效率稳定。该优化方案，解决了筛网尺寸与生产配合比不协调的问题，充分发挥了沥青拌合楼的最大生产能力，可为沥青混凝土路面的施工提供一定参考。

由于沥青拌合楼振动筛孔的孔径不一致，其筛分效率也不一样，需对配合比进行一定的调整优化，确保配合比更加精准。通过对配置的振动筛孔孔径进行研究，发现原厂家配置的D_2=11 mm筛子与计算后D_3=11 mm筛子一致，原D_4=6 mm，优化后为D_4=5 mm，这2把筛子应为关键筛孔，可以不更换，直接用于其他不同类型沥青结构层的配料拌合中。

沥青拌合楼振动筛的配置，对沥青混合料路用性能的影响较大，优化筛孔后，沥青混合料的矿料间隙率减小6%，动稳定度提高21%，48 h残留稳定度提高5%，劈裂抗拉强度、冻融劈裂残留强度比、稳定度等指标也有一定的提高。虽然提高数值不大，但混合料总体级配更加合理，路用性能指标得到进一步提升。

本文仅对Q3000型沥青拌合楼生产AC-25沥青混凝土对应的振动筛筛孔孔径进行研究，在实际施工中，需依据不同类型的沥青拌合楼、不同筛孔尺寸、不同筛分面积进行具体分析，不断总结相关参数，充分发挥设备的最大效能。

参考文献：

[1] JTG F40—2004，公路沥青路面施工技术规范[S].
[2] 徐乐，刘路，邵成龙．沥青碎石路面ATB-25施工技术研究[J]. 公路，2020，65(6)：112-117.
[3] 程盛，黄毅．钢渣沥青混合料路用性能及施工工艺研究[J]. 公路工程，2023，48(3)：104-108；131.
[4] 冯新军，肖红海．一种研究沥青混凝土温度疲劳行为的室内试验方法[J]. 中外公路，2021，41(5)：231-237.
[5] 张英楠，孙思威．AC类沥青混合料生产配合比调试技术分析[C]//世界交通运输大会(WTC2024论文集)会议论文集．北京：人民交通出版社股份有限公司，2024.
[6] 欧阳心和，李有云，李沛洪，等．含不同粒径集料沥青混合料劈裂抗拉强度研究[J]. 公路工程，2018，43(5)：300-304.
[7] 张瑞，杨建平．钢桥面铺装组合结构车辙性能研究[J]. 中外公路，2020，40(6)：67-63.
[8] 徐欧明，曹志飞，李明月，等．超薄罩面沥青混凝土应用与发展综述[J]. 中国科技论文，2020，15(4)：425-431.
[9] 周栋，周志刚．沥青混凝土室内车辙试验及评价指标对比研究[J]. 铁道工程与工程学报，2022，19(8)：2287-2294.
[10] 张亚捷，白领群．煤矸石粉沥青混凝土路用性能试验[J]. 长安大学自然科学版，2022，42(5)：33-42.
[11] 李智，曹海波．重载交通下桥面沥青铺装抗剥落性能影响因素评价[J]. 长安大学自然科学版，2022，67(4)：55-61.
[12] 李亚龙．超薄罩面SAC-5级配设计与性能研究[J]. 公路工程，2023，48(1)：102-107.