**Mechanical Engineering and Technology** 机械工程与技术, 2021, 10(3), 307-314
Published Online June 2021 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/met
https://doi.org/10.12677/met.2021.103035

Hans汉斯

# 基于无因次参数的冷却风扇匹配设计

**路青青，胡英华，张林振，闫滕滕**

山推工程机械股份有限公司，山东 济宁
Email: qq1988525@126.com

收稿日期：2021年4月19日；录用日期：2021年5月30日；发布日期：2021年6月8日

## 摘 要

介绍了冷却风扇的性能参数及无因次性能曲线的性质，分析了风扇匹配设计选型流程，并给出了应用实例。应用无因次性能曲线，对风扇进行匹配和筛选，既能检验定型产品的匹配性能，也能大大减少新产品设计中设计和试验工作量，节约成本，提高效率。

## 关键词

推土机，冷却风扇，无因次参数，匹配

# Matching of Cooling Fans Based on Dimensionless Parameters

**Qingqing Lu, Yinghua Hu, Linzhen Zhang, Tengteng Yan**

Shantui Construction Machinery Co., Ltd., Jining Shandong
Email: qq1988525@126.com

Received: Apr. 19th, 2021; accepted: May 30th, 2021; published: Jun. 8th, 2021

## Abstract

**This paper introduces the performance parameters of cooling fans and the properties of dimensionless performance curves, analyzes the fan matching design and selection process, and gives an application example. Applying dimensionless performance curve to match and screen fans can not only test the matching performance of the finalized products, but also greatly reduce the design and test workload in new product design, save costs and improve efficiency.**

文章引用: 路青青, 胡英华, 张林振, 闫滕滕. 基于无因次参数的冷却风扇匹配设计[J]. 机械工程与技术, 2021, 10(3): 307-314. DOI: 10.12677/met.2021.103035

**Keywords**

**Bull Dozer, Cooling Fan, Dimensionless Parameters, Matching**

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

## 1. 研究背景

冷却风扇是推土机冷却系统的重要组成部分之一，其设计必须保证推土机在任何工况下水温都维持在一个合适的范围内，以确保发动机获得最佳的动力性、经济性以及良好的排放性，但由于尤其风扇的匹配设计、生产等环节专业性要求高，而目前主机厂家一般通过散热器厂家计算仅获得风扇匹配的最终结果，不能了解详细的计算分析过程。此外风扇厂家官网上提供的仅仅是风扇的无因次参数曲线，如图1 所示。而风扇匹配性能在产品的开发阶段并没有完全暴漏出来并加以解决，导致后期需要花费大量人力、财力进行改进设计。

如何利用现有风扇信息及前期整机设计经验，在产品设计阶段合理评价风扇性能及匹配情况对工程机械整机冷却系统性能稳定性显得尤为重要。

目前衡量风机、风扇等主要通过无因次性能参数进行性能评价，无因次参数是衡量不同形式的风扇流量、压力及功率特征值大小的性能物理量，用以代表风扇的性能，凡是满足性能相似的风扇，其无因次参数都是相同的。本文将通过无因次参数计算现有风扇性能并分析复合散热器匹配情况，为主机厂风扇性能评价提供方法。

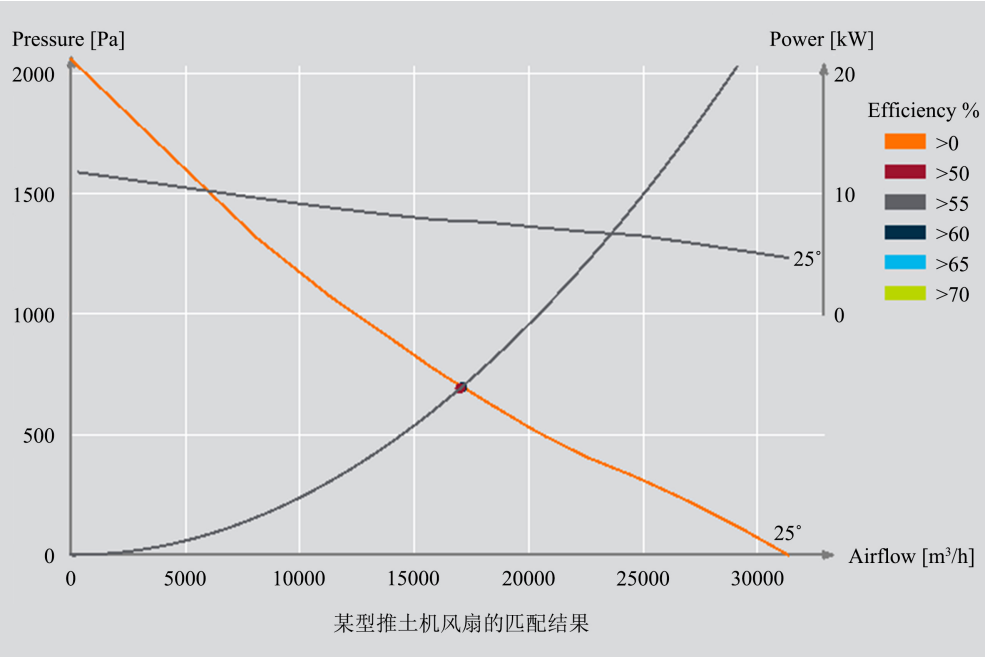


**Figure 1.** Analysis of limitations of existing problems
**图 1.** 现有问题局限性分析

## 2. 冷却风扇形式及参数

### 2.1. 冷却风扇的形式

冷却风扇的作用是当风扇旋转时带动空气，使其通过散热器，以增强散热器的散热能力，加速循环水的冷却。目前工业中使用最多的风扇分为离心式和轴流式风扇[1]，推土机发动机冷却系统基本采用轴流式风扇，即风扇旋转时，空气沿着风扇旋转轴的轴线方向流动。相对于离心式风扇，其特点是结构紧凑、效率高，在系统中布置方便，在相同静压下流量较大。根据目前风扇的控制策略不同，常见的风扇传动形式如图 2 所示，传动形式由整机的空间布局、应用工况及成本等多方面决定，无论哪种传动形式，风扇自身的性能参数保持不变。

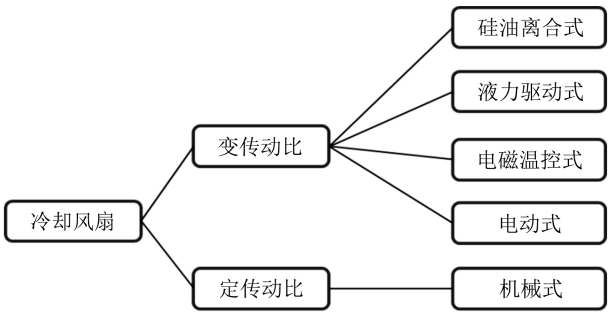


**Figure 2.** Cooling fan driven form
**图 2.** 冷却风扇驱动形式

### 2.2. 风扇相关参数

#### 2.2.1. 风扇性能参数

风扇性能参数种类繁多，这里不再一一赘述，仅介绍几个与本文相关的参数。

冷却系统的散热量 $H$：冷却系统散热量与发动机型式及冷却系统结构有关，散热量越大，所需要冷却的风量也越大。一般是通过台架试验进行测定，也可以根据经验公式估算。

$$H = \frac{A g_e N_e h_u}{3600} \tag{1}$$

式中，$A$ 为发动机传给冷却系统的热量占燃料热能的百分比；$g_e$ 为发动机燃料消耗率，单位为 kg/kW·h；$N_e$ 为发动机的功率，单位为 kW；$h_u$ 为燃料的热值，单位为 kJ/kg。

风扇流量 Q：风扇的流量一般由根据散热器的散热量确定，即散热器的散热量等于冷却系统的散热量，计算公式如下。

$$Q = \frac{H}{(t_{a2} - t_{a1})\rho c_p} \tag{2}$$

式中，$t_{a1}$ 为空气通过散热器前的温度，$t_{a2}$ 为空气进入散热器后的温度，$\rho$ 为空气的密度，$c_p$ 为空气定压比热

风扇静压 $P$：风扇提供的冷却空气必须有一定的压力，以克服空气流道的阻力。

$$P = \Delta P_K + \Delta P_D \tag{3}$$

式中，$\Delta P_K$ 为散热器风阻，其数值大小由散热器本身性能及风扇流量所决定，$\Delta P_D$ 为风道系统的风阻(散热器除外)，一般是由实验得到。

进风系数：风扇在推土机工作状态的流量肯定小于只考虑风扇及散热器下的理论匹配流量，二者的比值称为进风系数，通常取 0.6~0.7 [2]，风扇的设计要以推土机最恶劣工况作为计算依据。

#### 2.2.2. 风扇无因次参数

由于不同转速下风扇性能都由同一组无因次参数计算得出，所以不同转速下的风扇性能曲线的形状相似。只根据一条无因次性能曲线，就可以知道某个系列的风扇性能参数[3]。风扇的无因次参数主要有以下几种：

1) 压力系数 $\bar{P}$

$$\bar{P}=\frac{P}{\rho u^2} \tag{4}$$

式中，$P$ 为风扇的静压，单位 Pa；$u$ 为风扇外径旋转角速度，单位 m/s。

2) 流量系数 $\bar{Q}$

$$\bar{Q}=\frac{Q}{\frac{\pi}{4}D^2u} \tag{5}$$

式中，$Q$ 为风扇的流量，单位 $m^3/h$，$D$ 为风扇的直径，单位 m。

3) 功率系数 $\bar{N}$

$$\bar{N}=\frac{1000N}{\frac{\pi}{4}D^2\rho u^3} \tag{6}$$

式中，$N$ 为风扇消耗的功率，单位 kw。

4) 效率 $\eta$

$$\eta=\frac{\bar{P}\bar{Q}}{\bar{N}} \tag{7}$$

风扇的总效率较低，一般只有 0.3~0.5 [3]。

将 $u=\frac{\pi Dn}{60}$ 的带入式(4~6)，可以得到：

$$P=\bar{P}\rho u^2=0.00274\bar{P}\rho D^2n^2 \tag{8}$$

$$Q=\bar{Q}\frac{\pi}{4}D^2u=0.04108\bar{Q}D^3n \tag{9}$$

$$N=\bar{N}\frac{\pi}{4}D^2\rho u^3\Big/1000=1.127\times10^{-7}\bar{N}\rho D^5n^3 \tag{10}$$

从式(8~10)可以看出，在相同的转速 $n$ 及直径 $D$ 下，输送相同的风量时，压力 $P$ 与压力系数 $\bar{P}$、流量 $Q$ 与流量系数 $\bar{Q}$、功率 $N$ 与功率系数 $\bar{N}$ 都是成比例的，即对于不同类型的风扇来说，$\bar{P}$、$\bar{Q}$、$\bar{N}$ 越大，则与之对应的 $P$、$Q$、$N$ 越大，可以说风扇的无因次参数 $\bar{P}$、$\bar{Q}$、$\bar{N}$ 分别是衡量各种不同类型风扇的 $P$、$Q$、$N$ 大小的特征值。

## 3. 实例分析

此部分主要通过两个应用实例，说明如何应用 1 小节中的内容进行风扇的匹配选型。实例 1：是 M 型号推土机，根据发动机曲线及散热要求，匹配后的冷却风扇外径为外径 1000 mm；实例 2：是某型号汽车，经散热系统计算选型后，外径为 260 mm 的冷却风扇。

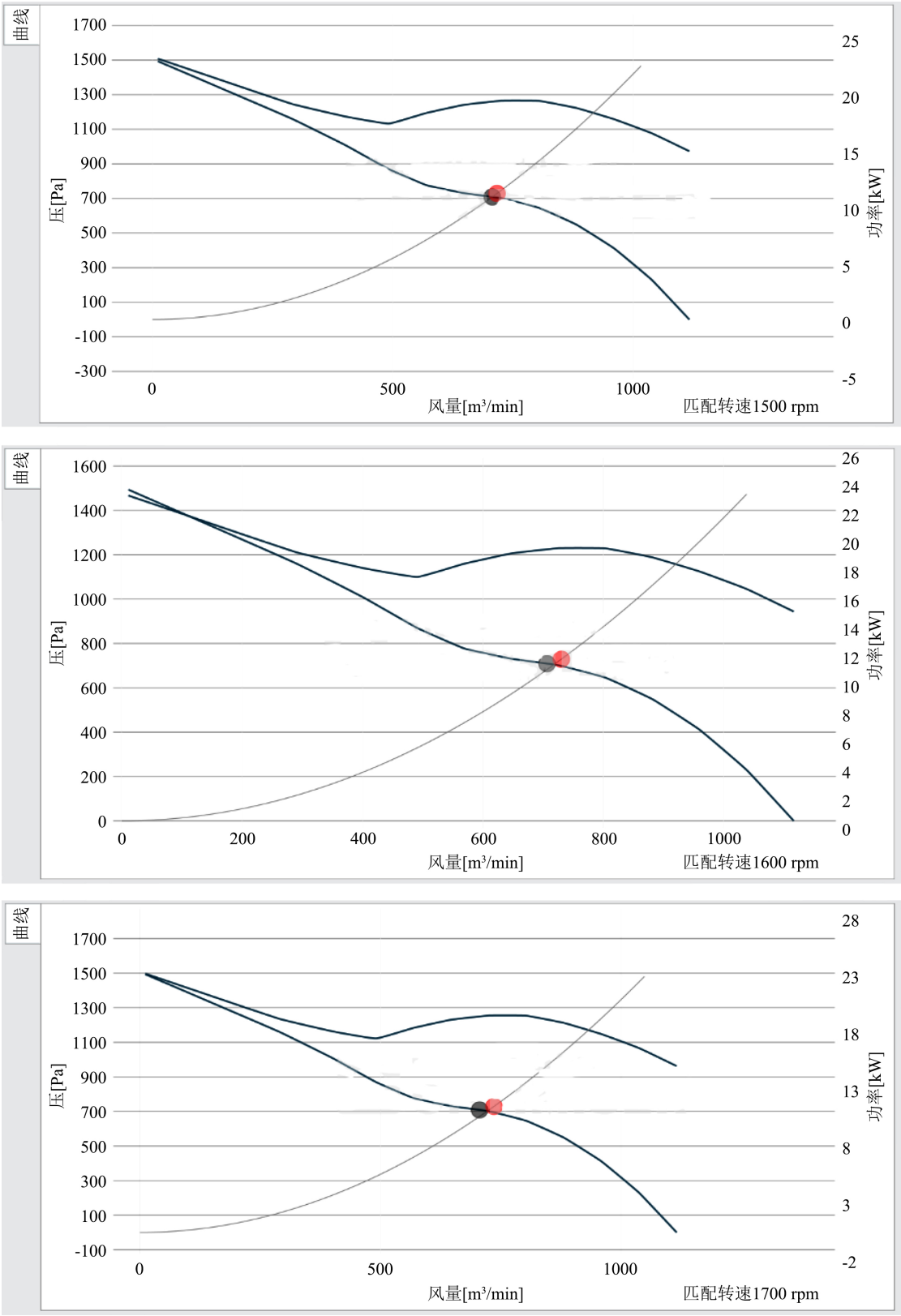


**Figure 3.** Matching results at different rotational speeds
**图 3.** 不同转速下匹配结果

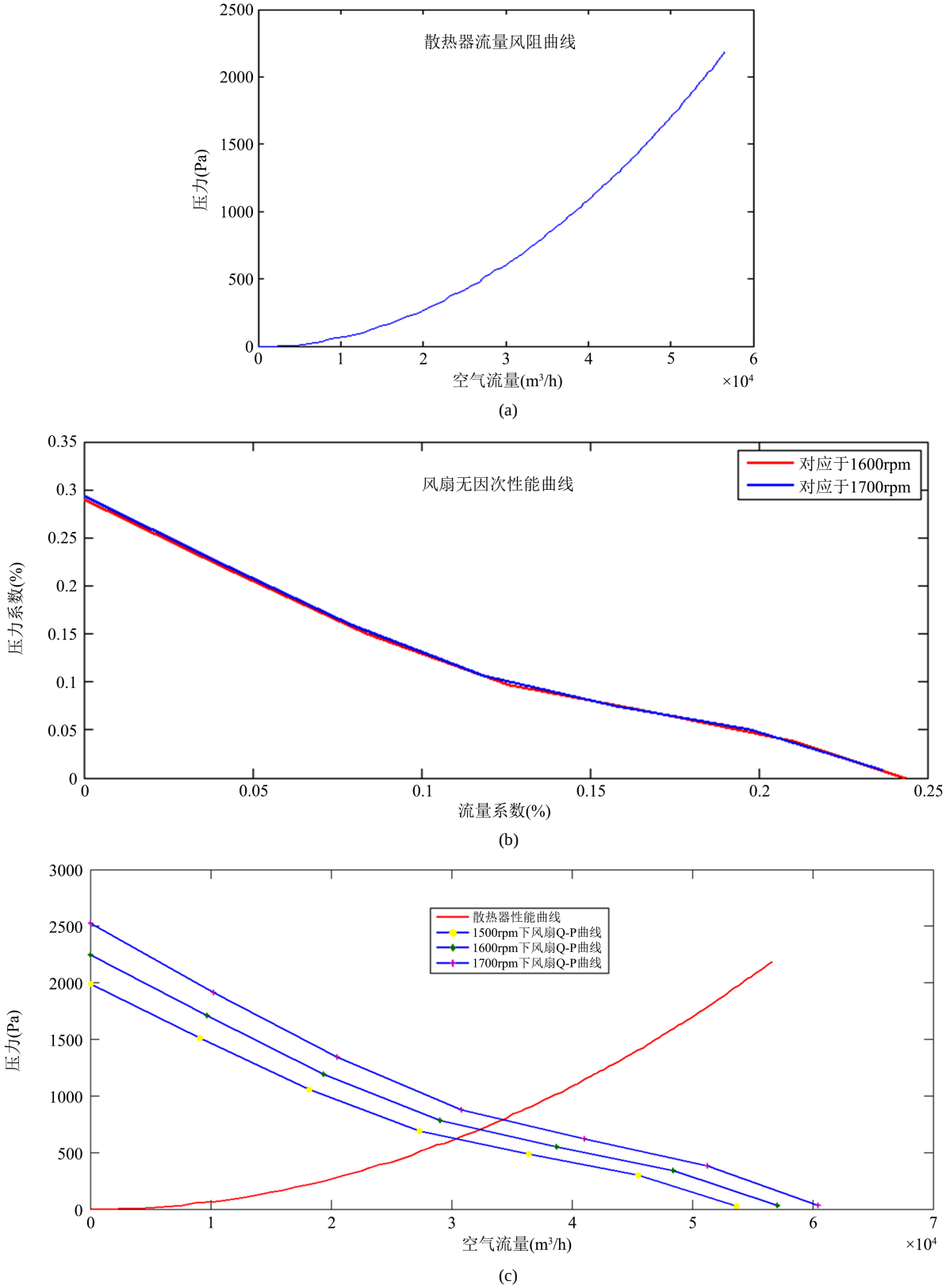


**Figure 4.** Fan and radiator performance matching diagram
**图 4.** 风扇与散热器性能匹配图

### 3.1. 实例应用一

M 型号推土机主要施工工况：道路修建；铲刀主要进行土方运输、推筑道路路基，后工作装置三齿松土器主要用于开挖有裂纹的岩石，破碎冻土等，实地工作气温浮动范围：18℃~41℃，对散热系统冷却性能要求较高。根据发动机性能曲线，由散热器厂家进行散热系统匹配计算并进行冷却风扇选型，综合上述推土机应用工况，推荐使用 1000 mm 外径尺寸的 Z 型冷却风扇，风扇稳定转速：1500 rpm~1700 rpm。

本例中根据厂家推荐，我们已知的信息只是风扇在 3 种不同转速下(1500 rpm、1600 rpm、1700 rpm)的匹配结果，见图 3 (曲线分别代表风压及功率随风量值不同的变化趋势，其中包括对应的风扇效率)。

根据图 3 中的散热器、风扇性能曲线与上述公式(4~6)可以分别得到散热器的流量－风阻图与风扇的无因次性能曲线。根据无因次性能曲线就可计算出在任一转速下风扇的流量－静压图，即可通过调整匹配转速可以对现有的匹配状况进行评价，见图 4 所示。

从图 4(b)看出，根据不同转速下风扇的流量－压力曲线计算得到的风扇无因次性能曲线是一样的。图中的微小波动是从匹配结果中提取数据的误差引起的。此外，根据图 4(c)得到的匹配流量与散热器厂家提供的匹配结果也是吻合的。

### 3.2. 实例应用二

某型号汽车：普通城市公路工况，散热系统最恶劣工况即城市夏季高温。同样的，根据工况及发动机性能曲线要求，匹配得到外径 260 mm 的冷却风扇。

本例中我们已知散热系统的匹配信息如图 5 所示。

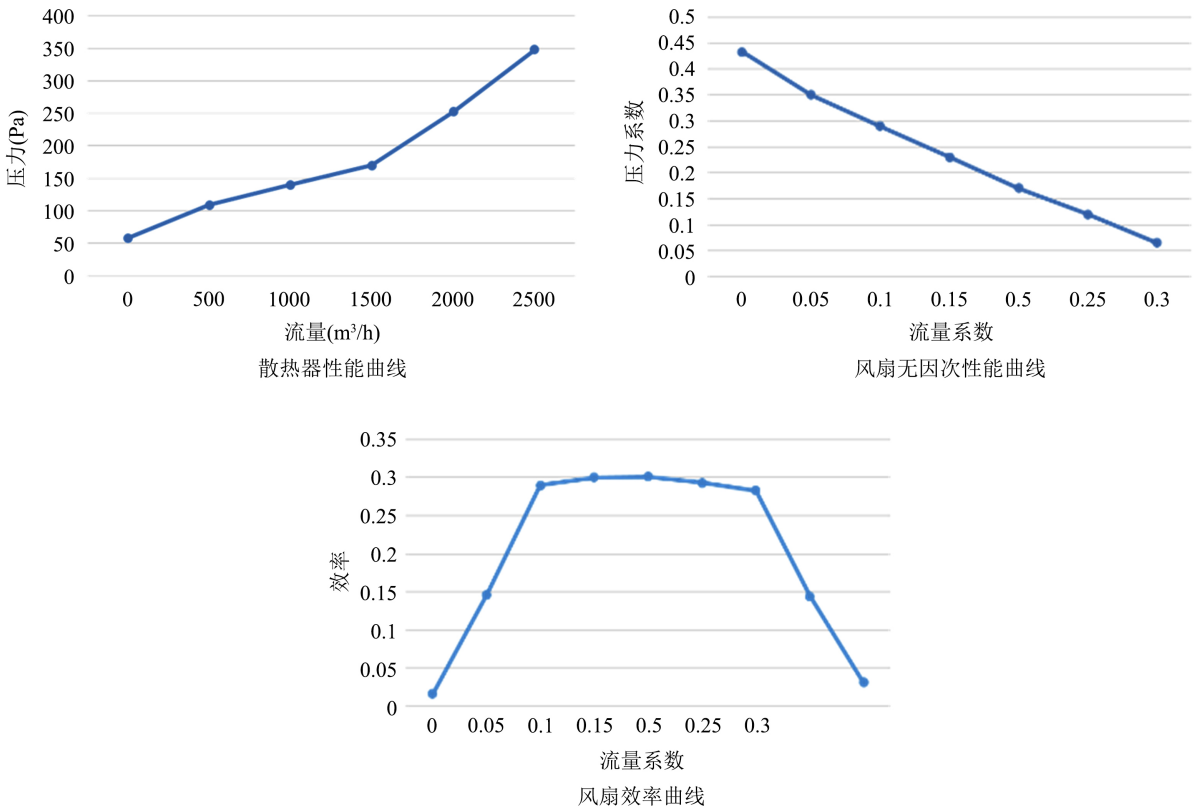


**Figure 5.** Radiator and fan related parameters
**图 5.** 散热器及风扇相关参数

结合图 5 与上述公式(8~10)可得到风扇与散热器在不同转速下的匹配图(见图 6)，

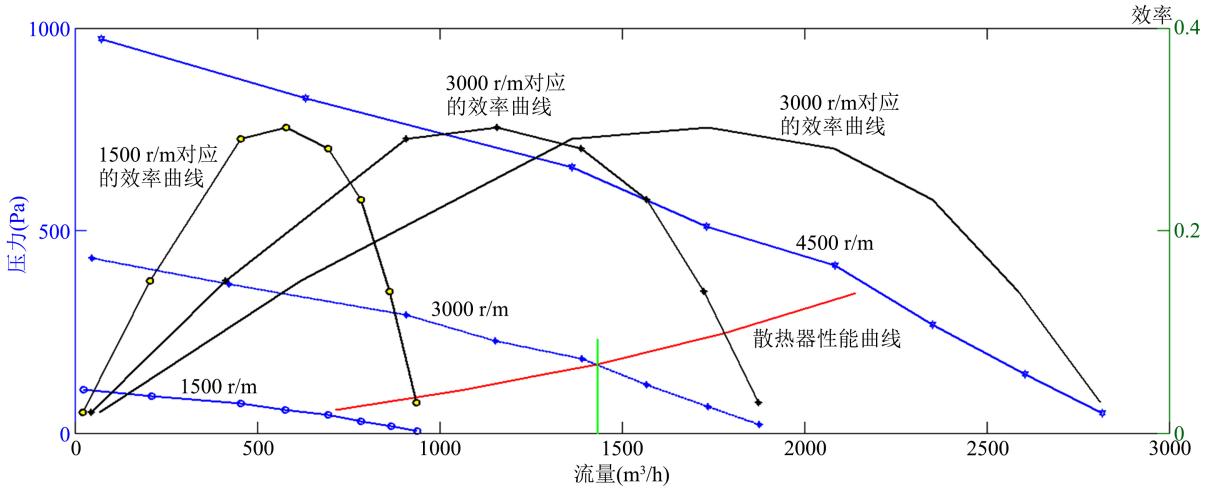


**Figure 6.** Fan and radiator performance matching diagram
**图 6.** 风扇与散热器性能匹配图

该款车计算得到的空气流量为 1000 $m^3$/h，取进风系数为 0.7，则其理论匹配流量为 1428 $m^3$/h，即风扇与散热器的匹配流量必须大于 1428 $m^3$/h 时，在实车工作状态下，风扇才能提供大于 1000 $m^3$/h 的风量。根据图 6，当流量为 1428 $m^3$/h 时，散热器阻力大约为 150 Pa。通过曲线拟合得出如果需要满足流量为 1428 $m^3$/h，静压为 150 Pa，风扇转速应在 2900 r/m 以上，此时风扇效率约为 26%，基本上处于风扇最高效率点附近，与实际匹配结果相吻合。

综合上述两个实例，根据无因次性能曲线对冷却风扇性能进行反推是有效的，当然，在风扇设计过程中，不但要求得到效率高而性能良好的风扇，而且要求它的性能曲线与发动机空气道的阻力特性曲线得到最佳的配合[4]，因此，实际中完成风扇与冷却系统的匹配后，需要根据所选风扇从流量、静压、效率、消耗功率等多个方面与冷却系统匹配的结果，综合评价风扇性能的优劣。在满足冷却系统对风扇流量和静压要求的情况下，效率最高，功耗最小无疑为风扇优选的原则。

## 4. 结论

随着非道路排放法规的不断升级，推土机动力系统要求冷却系统能够满足更高的散热量要求，这就要求冷却风扇的散热能力更强。在整机设计阶段，全面掌握风扇的性能参数，保证整机产品可靠性显得尤为重要。

本文通过对冷却系统开发过程中遇到的实际问题分析，提出根据无因次性能曲线衡量风扇与散热器的匹配状况，并结合两款整机应用实例，说明此方法的可行性与有效性，整机设计可借助无因次性能参数进行风扇性能验证，减少了新产品设计中设计和试验工作量，节约成本，提高效率。

## 参考文献

[1] 吴玉林, 陈庆光, 刘树红. 通风机和压缩机[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 1-3.
[2] 黄晖. 发动机冷却系统的研究与优化设计[D]: [硕士学位论文]. 山东: 山东大学, 2005.
[3] 李庆宜. 通风机[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
[4] 杨连生. 内燃机设计[M]. 北京: 中国农业出版, 1981.