

Intake/Exhaust System Design of High-Land Bulldozer

Yajun Huang¹, Zhenyu Wang¹, Guangqian Wan¹, Xinting Zhai²

¹R&D Center, Shantui Construction Machinery Co., Ltd., Jining Shandong

²College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun Jilin

Email: zhenyuwang@163.com

Received: Sep. 30th, 2017; accepted: Oct. 15th, 2017; published: Oct. 24th, 2017

Abstract

The structure and matching state of intake/exhaust systems directly affect the power, economy and exhaust of Bulldozer. Execrable working circumstance puts severe requirements on the intake/exhaust system of high-land bulldozer, and also there is no reference to the mature guidance information. Therefore, based on the influence of high-land environment on the intake/exhaust system, combined with work experience of author, the influence of plateau environment on the dynamic system of bulldozer is summarized, which will provide a strong theoretical basis for the study of intake/exhaust system and performance improvement of gigantic horsepower bulldozer in the future.

Keywords

High-Land Bulldozer, Intake/Exhaust System, Theoretical Basis

大马力高原型推土机进排气系统设计

黄亚军¹, 王振雨¹, 万光前¹, 翟新婷²

¹山推工程机械股份有限公司研究总院, 山东 济宁

²吉林大学机械科学与工程学院, 吉林 长春

Email: zhenyuwang@163.com

收稿日期: 2017年9月30日; 录用日期: 2017年10月15日; 发布日期: 2017年10月24日

摘 要

进排气系统的结构及匹配状况直接影响推土机的动力性、经济性和排放性, 恶劣的高原环境对大马力推

土机进排气系统的要求更为苛刻且目前还没有可借鉴的成熟的指导性资料。因此, 本文从高原环境对进排气系统影响出发, 结合自身开发大马力高原型推土机的设计工作经验, 总结了高原环境对推土机动力系统的影响情况及设计人员可采取的应对措施, 为以后类似大马力高原型工程车辆的进排气系统优化设计和性能提升提供参考。

关键词

高原型推土机, 动力系统, 进/排气系统, 理论依据

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着中国西部大开发战略的持续进行, 对能在海拔 4000 m 以上地区稳定作业的大型机械设备的需求越来越大, 尤其是 420 马力以上履带式推土机的需求呈逐年递增趋势。但是, 国内外相关行业对大马力高原型履带式推土机的研究还不多。目前普遍是将普通履带式推土机降功率在高原地区使用, 降功率的规则是每超过发动机许用高度 300 m, 功率下调 4%。而实际案例表明, 将普通履带式推土机降功率在高原使用效果并不好。降功率使发动机的外特性发生变化, 高效区变窄, 整机匹配效果变差, 最直接的体现就是发动机动力性能下降、推土机作业效率下降。此外还伴随冷却系统能力不足、可靠性差等状况。

因此, 必须有针对的开发大马力高原型履带式推土机以满足高原地区客户的需求, 而采取有效措施提高其动力系统的性能及可靠性是这项工作的关键。截止目前国内外仍未检索到相关的研究成果及报道。本文结合开发大马力高原型推土机进排气系统的经历收获对这部分的设计要点详细阐述。

2. 高原环境特点及对进排气系统的影响

如果动力系统比作工程机械的“心脏”, 则进排气系统可称之为“心脏控制器”。控制器的好坏直接关系到发动机能否正常运行, 运行是否可靠及动力是否强劲等。该系统主要由空气滤清器、消音器及其附属部分组成, EU Stage IIIB 阶段还会增加尾气后处理装置。相比平原机械, 高原恶劣的工作环境(见图 1)对上述部件各项性能都提出了更为苛刻的要求, 必须确保可靠性。

2.1. 高海拔低气温与大温差

海拔越高, 气压越低, 含氧量越少。气压与海拔的经验关系式为:

$$P_g = P_0 - CH$$

式中, P_g 为某一高度下大气压力(mm Hg), P_0 为基准大气压力(760 mm Hg), H 为海拔高度(m), C 为系数(mm Hg/m), 取值见表 1。

大气中平均含氧量与海拔的关系为:

$$O_G = O_0 - eH$$

式中, O_G 为某一高度处空气中年平均氧含量(g/m^3), O_0 为基准年平均含氧量($282 \text{ g}/\text{m}^3$), H 为海拔高度(m), e 系数, 取值范围见表 2。



Figure 1. Working environment of bulldozer

图 1. 推土机工作环境

Table 1. Range of C

表 1. 系数 C 的取值范围

高度范围	C 的取值
$0 < H \leq 2500$	0.085
$2500 < H \leq 3500$	0.075
$3500 < H \leq 5000$	0.07

Table 2. Range of e

表 2. 系数 e 的取值范围

高度范围	C 的取值
$0 < H \leq 5000$	0.024
$5000 < H \leq 8000$	0.021

青藏高原极限气温达到 -40°C 以下，空气稀薄，天气寒冷，所有这些不利因素导致推土机内各种油液的黏度急剧增加，流动性变差，引起旋转部件的润滑不良，曲轴的转动阻力增大，磨损加剧；同时，柴油机的充气量减少，输出功率下降。发动机的功率消耗大，机器工作效率降低，经济性也变坏。此外，过低的温度也会使金属及非金属材料发生冷脆，容易断裂，大大缩短发动机的使用寿命。

2.2. 强辐射与少降雨

由于高原的空气透明度好，日照辐射特别强烈产生的大温差，发动机运行及停止造成的空气胶管承受高低温的交变载荷，使柴油机的各种胶管管路和密封件很容易老化失效，因此需要对软管的耐压安全系数进行适当的提高以延长软管使用寿命，同时对外露的软管进行特别加装防紫外线的护套，确保软管的正常性能[1]，采用在高原低温环境下仍具有良好减震能性的橡胶减震器，提高系统整体可靠性。

2.3. 干燥多灰尘

空气中灰尘的组成、粒子尺寸分布及含尘浓度与地理环境、气候、风力等多种因素有关。进气灰尘对气缸、活塞、活塞环、气门、气门导管会严重磨损，灰尘透过活塞环，进入曲轴箱，也会加剧曲轴轴承、连杆轴承、曲轴连杆颈的磨损。且 $20\ \mu\text{m}$ 的粒子对气缸磨损最严重，见图 2 [2]。可以说，发动机的

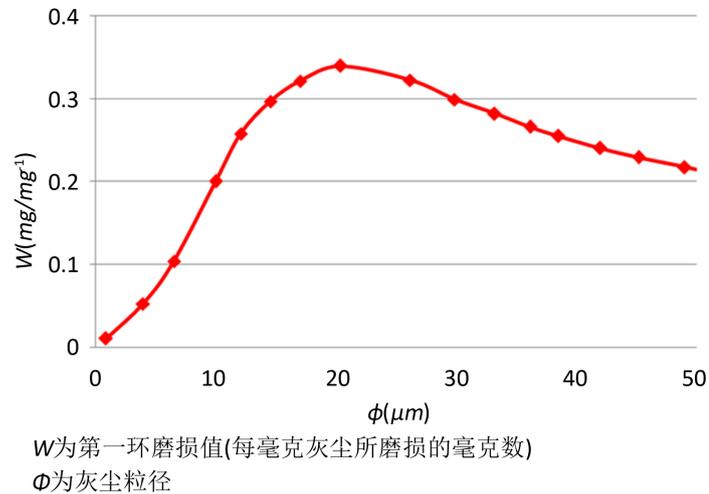


Figure 2. Relationship of engine wear and dust
 图 2. 灰尘粒度与发动机磨损的关系

磨损和寿命, 极大程度上取决于空滤器的技术性能和结构完善性。西部高原空气干燥多沙尘, 进排气系统需采取特殊措施, 配置大流量、低阻力、自动排尘的高性能空滤器。

3. 防护技术措施

3.1. 空滤器系统选型设计

空滤器系统的作用是在发动机数据表上规定的温度和阻力极限值内, 向发动机供应充足的清洁、干燥空气。其选型设计主要考虑发动机自身所要求的进气流量和进气阻力的极限值、使用环境的灰尘或污染物含量和空滤器系统的理想保养间隔三个方面。

针对高原地区扬沙频繁的多尘环境, 建议采用大容量三级滤清器系统, 即在双级滤清器的基础上, 增加一级高效集成式重型粗滤器(常为盆式或筒式结构), 见图 3 [3], 粗滤在污染物进入滤芯之前就将其分离出去, 从而实现更长的保养间隔。因许多文献已对发动机空滤器作过大量论述, 这里简单阐述粗滤器。

粗滤器出气管直径 d 为

$$d = 1.88 \sqrt{\frac{Q}{V_2}}$$

式中, Q 为空滤器的空气流量(m^3/h), V_2 为粗滤器出口气体流速(m/s)。

根据粗滤器结构形式确定粗滤器进口直径 D , 对于盆形结构, $D = 1.7d \sim 2.2d$, 筒形结构, $D = 1.5d \sim 2.0d$, 进而通过进口气流速度 V_1 计算出气流通叶片的截面积 A 。

$$A = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \frac{n_1 \theta}{360} \sin \alpha$$

式中, D_1 和 D_2 分别为叶片外圆和内圆直径(cm), n_1 为叶片数; θ 为孔的张角($^\circ$), α 为叶片角度($^\circ$)。

3.2. 消音器设计

消音器是排气系统的主要部件, 它既要满足车辆噪声的要求, 又要满足排气阻力的要求, 还要满足消耗功率尽可能少的要求。消音器的容积应根据发动机最大排气流量来确定

对于 6 缸柴油机, 设计排气消音器主要针对排气基频噪声和宽频带的高频噪声[4]。基频噪声的频率为

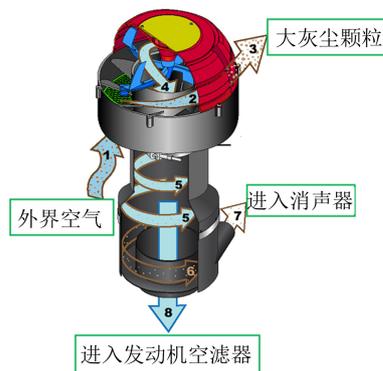


Figure 3. Principle of intake system

图 3. 进气系统原理图

$$f = \frac{Zn}{60\tau} (\text{Hz})$$

式中, Z 为柴油机气缸数, n 为内燃机额定转速(rpm), τ 为行程系数, 四行程 $\tau=2$, 二行程 $\tau=1$ 。

排气噪音中, 通常在基频 f 的和其第二、第三次谐波 $2f$, $3f$ 附近出现峰值, 频率在高时, 以基频为基础的排气噪音声压级不大。

消音器容积的计算公式较多, 经常选用的是美国 NELSON 公司推荐的消声器最小有效容积经验公式。一般而言, 消音器容积越大, 消声器消声性能越好。

$$V = \frac{QnV_c}{1000\sqrt{TZ}}$$

式中, V 为消声器理论容积(L); V_c 为内燃机的排量(L/s); n 为内燃机的额定功率转速(rpm); T 为内燃机冲程数; Q 为取 5 或者 6 的常数。

3.3. 冷启动性能

与平原地区不同, 高原环境对柴油机冷启动性能主要限制因素是: 进气温度低, 各个旋转部位润滑油流动性差, 阻力加大, 发动机燃烧室内的空气不易达到柴油的自然温度而造成整机难以启动; 高海拔的空气低含氧量也使低速启动的进气量不足以产生达到柴油自燃温度所需要的氧气量。

为保证冷启动性能的可靠性, 推土机上建议同时采用两种技术方案:

1) 乙醚助燃装置, 通过喷嘴向发动机进气歧管内定时定量喷射乙醚, 起到助燃的目的。在装置在环境温度低于 -5°C 但是高于 -20°C 使用, 可以保证发动机启动性能。

2) 冷却液循环加热装置, 俗称燃油加热器系统。在环境温度低于 -20°C 时, 通过燃油加热器给冷却液循环加热, 实现驻车加热以至可启动的温度。具体原理图见图 4。发动机启动前循环加热时冷却液的流向是: 发动机→燃油加热器→暖风机→发动机; 发动机启动后冷却热的流向是: 发动机→单向阀→暖风机→发动机。

3.4. 废气引射器设计

废气引射器由吸尘口、喷嘴、单向阀及文丘里管等组成, 主要是依靠在消声器中装有废气引射器, 由它产生一定的负压, 把空气滤清器除尘器中的尘土都抽走[5]。资料显示, 在同样的环境下形式, 带废气引射器的空气滤清器要比普通的空气滤清器的滤网被打透时间大为延缓, 使空滤器保养一次后, 工作时间延长 15~20 倍[6]。

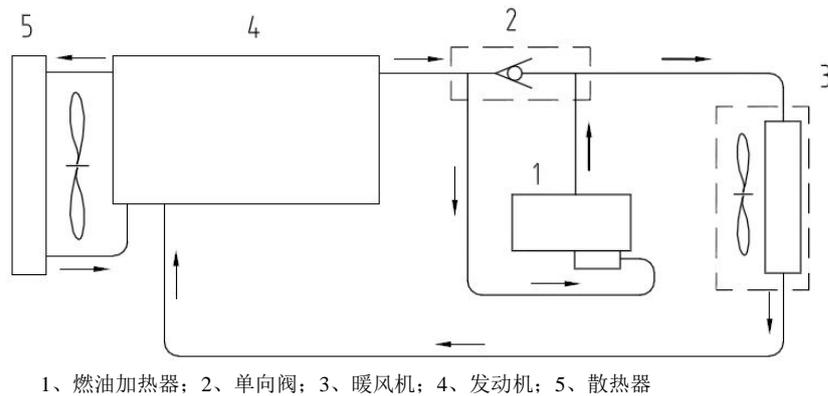


Figure 4. Principle of coolant heating device
图 4. 冷却液加热装置原理图

废气引射器在高温、震动和反复变化的压力下工作，还承受着发动机废气的腐蚀作用，有严格的气密性要求，以确保文丘里管两侧存在足够的真空度，防止空气滤清器端产生的负压足以将消声器内的高温废气“引射”到滤清器内部，导致起火[7]。

废气引射器设计首先要对确定结构后的除尘能力进行计算分析。两侧的相对真空度 Pr 为

$$Pr = 101325 - 9.80665 \times \frac{q_v^2}{\left(C_q k \sqrt{\frac{\rho_x - \rho}{\rho}} \right)^2} \times 1000 \text{ (Pa)}$$

$$k = A_1 \sqrt{\frac{2g}{\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 - 1}}$$

$$t_x = \log(\rho_x) / \log(\rho)$$

式中， q_v 为发动机排气流量(m^3/s)， C_q 为流量系数， t_x 为空气的密度与水的密度的关系指数， ρ 为水的密度， ρ_x 为水与空气的密度差值， $\rho_x = \rho - \rho_{\text{大气}}$ ，通常 ρ 取值 1000， $\rho_{\text{大气}}$ 取值为 1.29。 A_1 为文丘里管大端面积(m^2)， d_1 和 d_2 分别为文丘里管大端与小端的半径(m)。

3.5. 隔热方案设计

由于高原的气压偏低，外界可利用的空气量少，而发动机的喷油量及排出的热量基本不变；此外，海拔越高，在压气机中达到的压比也随之增加，这些因素必然导致涡轮增压器出口的空气温度升高。排气温度的经验计算公式为：

$$t_T = xt_{T0} + Y(t_k - t_{k0})$$

式中， t_T 为在某一海拔高度下，当平均有效压力为 P_e 时，涡轮前的排气温度($^{\circ}\text{C}$)； t_{T0} 为在标准状态下，当平均有效压力 $P_{e0} = P_e$ 时，涡轮前的排气温度($^{\circ}\text{C}$)； t_k 为对应于 t_T 时增压空气的温度($^{\circ}\text{C}$)； t_{k0} 为对应于 t_{T0} 时增压空气的温度($^{\circ}\text{C}$)； x 为与增压压力 P_k/P_{k0} 有关的温度系数； Y 为与增压空气温度差 $\Delta t_k = t_k - t_{k0}$ 有关的温度系数。

排气温度过高必然导致机舱内温度迅速上升，机舱过热出了直接影响推土机的动力性以及经济性之外，还会引起一系列严重问题，如材料承受大的热应力及变形，易出现疲劳裂纹，且部件受热膨胀后影响正常间隙，导致过度磨损，机舱内的线路老化等问题；为此需要对排气系统部件进行隔热。

消声器可以利用隔热套进行隔热。建议隔热套采用高温受热层、中间隔热层和冷面层组成的复合结构,其中高温受热层为陶瓷织物,可耐温度 1000℃以上,中间隔热层为玻璃纤维与陶瓷组成的玻纤复合棉结构,可耐温度 700℃左右,冷面层为玻纤成分的硅复合织物。用这种 13 mm 厚度的隔热套包裹消声器主体,使其表面温度维持在 80℃左右,充分降低发动机机舱温度。

发动机的排气歧管以及气缸要与周边部件有足够的间隔,与电线束以及燃油管路的间隔应大于 200 mm;如果受结构限制不能确保上述间隔的地方,应设置隔热板进行隔热,设置有效的隔热板后,与隔热板的间隔应大于 35 mm。

本文的设计方法已经在 420 马力等机型的高原型推土机设计中得到采用,使用情况表明该设计方法满足设计要求且较为合理。

4. 结论

高原型大马力推土机的进排气系统是一个复杂的系统,本文只是对推土机进排气系统的设计计算方法进行了探讨,介绍了进排气系统的设计及设备的选型原则。可以得出:采用高效预滤器及废气引射装置,解决沙尘引起的发动机早期磨损问题;精确确定采用乙醚助燃装置及冷却液加热装置(燃油加热器系统)提升发动机高原冷启动性能;而其它的影响高原型发动机性能的学术性及实践性问题有待广大从事机械专业的专家和同仁们进一步探索研究,共同提高我国的高原型大马力工程机械的设计研发水平。

参考文献 (References)

- [1] 王光福. 高原寒区对工程机械性能的技术研究与应用[J]. 甘肃科技, 2009(25): 44-45.
- [2] 余宝迁. 汽车设计手册·发动机附件卷[M]. 长春: 长春汽车研究所, 1998: 384.
- [3] SY-KLONE 空滤器[Z]. 内部培训资料.
- [4] 葛继伟. 工程机械排气消声器研究及设计[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2014.
- [5] 徐兴才, 王书义. 废气引射装置的性能计算[J]. 兵工学报, 1991(4): 20-24.
- [6] 张枫念. 汽车零部件设计计算与 VB 编程实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [7] 吴兆汉. 车辆发动机设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2167-6631, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: met@hanspub.org