

# 50吨级矿山挖斗的结构优化设计及应用

胡树萌

(徐州巴特工程机械股份有限公司 江苏 徐州 221000)

**摘要:** 50吨级矿山用挖掘机斗铲是一种能够进行挖掘、运输和排弃岩土的山工程机械属具,在大型露天矿场具有广泛的用途。因使用工况较为复杂,斗铲在使用过程中会存在较快的磨损及结构失效现象,极大影响挖斗的使用寿命,同时50吨级及以上矿山用挖掘机挖斗结构相对复杂,对生产工艺要求极高。当前常规的50吨级挖斗在使用过程中刃板、支耳、弧板、耐磨条等区域频繁出现早期失效现象,影响挖斗的使用寿命,为解决客户面临的痛点问题,需要从结构及工艺方面进行设计优化,开发针对矿山工况使用且性能优良的50吨级矿山挖斗,来满足客户的实际需求,赢得矿山挖斗市场。

**关键词:** 矿山挖斗; 结构优化; 早期失效; 性能优良; 使用寿命

## 1 概述

由于中小型挖掘机挖斗使用工况相对良好,使用过程中受到负载强度不大,同时该种吨位的挖斗生产工艺及质量要求相对简单及成熟,以至于目前中小型挖掘机挖斗生产企业众多,对于大型挖掘机(50吨级以上)挖斗,尤其是在矿区岩石工况使用环境中的大型挖斗,成规模的专业制造企业不多,一方面受制于产品制造成本,另一方面还受制于大型挖斗工艺制造水平的影响,因为继续沿用当前常规挖斗工艺制造水平并不能保证大型挖斗应用的可靠性及质量稳定性,尤其是使用在矿山进行煤炭及岩石的开采及剥离等恶劣的工况中。

当前矿山挖斗由于结构设计及工艺参数设置等因素参差不齐进而造成早期失效的案例频繁出现。因此,通过市场调研及客户的实际需求,急需进行50吨级矿山挖斗的结构优化研究及推广应用的立项工作。

## 2 市场调研

通过对安徽、内蒙古和新疆等矿区进行实地调研了解,当前客户反馈50吨级矿山挖斗在使用过程中普遍会存在刃板撕裂、弧板开裂、支耳焊缝开裂和耐磨条开裂等一系列问题,影响挖斗的正常使用,对矿山开采造成了显著影响。

通过对挖斗失效的对比分析,发现当前50吨级矿山挖斗产品的结构设计不能满足矿山恶劣工况的使用要求,需要从结构上进行根本性的改进及优化,公司组织精干力量在常规50吨级挖斗原有设计基础上进行了多处结构改进,设计出专门针对矿山使用的50吨级矿山改进斗,并投入市场进行检验。

## 3 研究目标

(1) 调研分析失效的主要形式,对常规50吨级挖

掘机挖斗的失效位置重新进行设计优化,改进产品结构,并对更改后的位置进行失效模拟验证;

(2) 通过实地调研并结合公司专业生产制造经验,设计出一款专门应用于矿山使用的50吨级矿山挖斗,进行市场验证并跟踪验证情况。

## 4 现状分析

### 4.1 使用工况分析

通过对安徽、内蒙古和新疆等矿区进行实地调研了解到,50吨级挖斗的主要工作环境为露天煤矿的开采、石英矿的开采等工况,使用条件较为恶劣,具体工况如图1所示。



图1 挖斗使用工况

### 4.2 失效位置分析

通过对上述矿区进行实地调研,挖斗失效位置的主要区域如表所示。

结合常规50吨级挖掘机挖斗结构设计现状及当前使用工况,对挖斗失效原因进行如下分析。

表 挖斗失效位置汇总表

客户	矿区 A	矿区 B	矿区 C
失效位置	刃板撕裂	刃板撕裂	刃板撕裂
	支耳裂纹	支耳裂纹	支耳裂纹
	弧板裂纹	弧板裂纹	弧板裂纹
	耐磨板焊缝开裂	耐磨板焊缝开裂	耐磨板焊缝开裂

4.2.1 刃板撕裂原因分析

(1) 刃板前端开坡口，严重降低刃板总成的强度。部分主机厂家倾向于在刃板前端增加坡口设计，主要考虑进行物料挖掘时，便于物料的切入及装载，这种设计在土方工况中应用时较为合理的，因为土方工况本身使用条件就不恶劣，使用过程中也不会存在过载及强烈冲击的情况，但是矿山工况与此正好相反，使用条件较为恶劣，矿石挖掘中过载及强烈冲击的情况普遍存在，如果刃板前端增加坡口设计，势必会降低刃板前端的结构强度，使刃板在冲击及挖掘过程中较快出现磨损及损坏。

(2) 厚板高强耐磨由于受淬透性、淬硬性的影响，一般表面硬度要比中间位置的硬度要高一些，即表面耐磨性比中间位置耐磨性强，刃板前端开坡口后，中间位置被暴露在外面，挖斗在矿山环境中进行挖掘作业时，会大幅度降低耐磨性能，易出现早期磨损失效现象的发生。

4.2.2 支耳裂纹原因分析

支耳耳板除焊缝之外无侧向结构支撑，矿斗挖斗在侧向挖掘及剥离作业时受到侧向力作用时全部力会作用在焊缝区域，容易产生裂纹造成焊缝的早期失效现象的发生。

4.2.3 弧板裂纹原因分析

(1) 弧板厚度不足，外侧有耐磨条保护，内侧没有，长时间磨损的情况下，厚度会逐渐减小，导致弧板强度不足，易出现弧板早期失效现象的发生；

(2) 焊接时焊接热输入量大，弧板厚度方向热影响区比例增加，原有力学性能受损；

(3) 弧板与刃板对接为单边坡口，无耐磨板进行防护，使用过程中焊缝易受磨损，造成弧板与刃板结合区域强度不足。

4.2.4 耐磨板焊缝开裂原因分析

(1) 耐磨条两端为 2.5mm 对接焊缝，此焊缝在工作时，极容易被磨损掉，耐磨条失去封口焊缝，成为撕开的起始点；

(2) 耐磨板焊缝满焊时，热输入量较大，对弧板力学性能造成较大影响，改为断续焊时减少热量输入，提高耐磨板与弧板处焊缝的力学性能；

(3) 支耳和刃板是 50 吨级挖掘机挖斗主要受力部件，在所有的失效问题中最为突出，是所有在矿山工况环境中挖掘机挖斗的主要失效形式。

5 结构设计及工艺开发

50 吨级矿山挖斗前期结构设计及工艺开发阶段主要工作如下：

(1) 确立项目目标，根据项目具体需求进行结构设计及工艺方案的前期策划，同时使用有限元分析软件及 3D 设计软件对产品结构进行设计及受力分析；

(2) 根据项目具体需求进行钢板及耐磨铸件材料的采购，并对材料性能进行检测；

(3) 根据项目具体需求进行场地，设备评估，是否可以满足工艺开发需求；

(4) 编制工艺开发方案，经过相关技术人员审核、讨论，同时对工艺方案进行进一步调整；

(5) 将最终图纸及工艺进行审核批准，下发现场进行生产；

(6) 编写检验标准，规范。

50 吨级矿山挖斗生产制造阶段主要工作如下：

(1) 对新项目开发生产阶段进行全程技术指导；

(2) 在生产过程中，出现的问题及时调整；

(3) 对于生产过程中出现的问题，必须及时更改图纸，并将更改后的图纸进行备案。

50 吨级矿山挖斗质量检验控制阶段主要工作是检验人员根据检验标准，对各加工尺寸和调试情况进行检验。

本项目的主要目标是研发更适合市场需求的 50 吨级矿山挖斗并进行批量化生产，服务于市场需求。

5.1 方案设计及评估

通过对 50 吨级挖斗失效问题产生原因进行综合分析并结合公司专业生产制造经验，对常规 50 吨级挖掘机挖斗进行了多处结构设计升级，如图 2 所示。

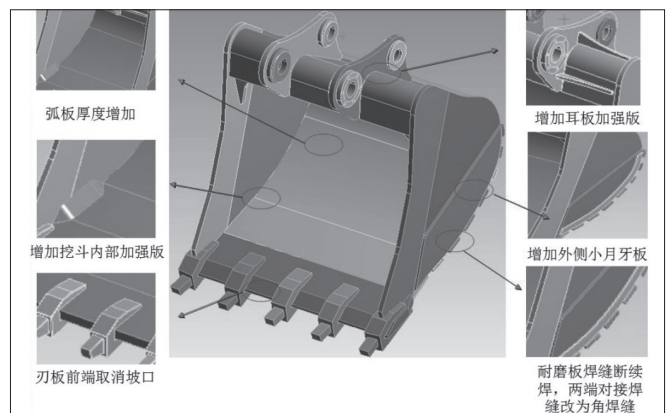


图 2 50 吨级矿山挖斗结构升级变更点

同时，为了验证新设计的 50 吨级矿山挖斗是否符合各方面使用性能的要求，技术团队使用有限元分析软件从挖斗单齿齿尖受力、挖斗单齿齿面受力、挖斗斗齿齿面均匀受力、挖斗刃板下部受力、挖斗侧向受力和挖斗侧向受力时支耳部位受力等几个方面模拟挖斗在不同使用工况下的受力情况，如图 3 ~ 图 8 所示。

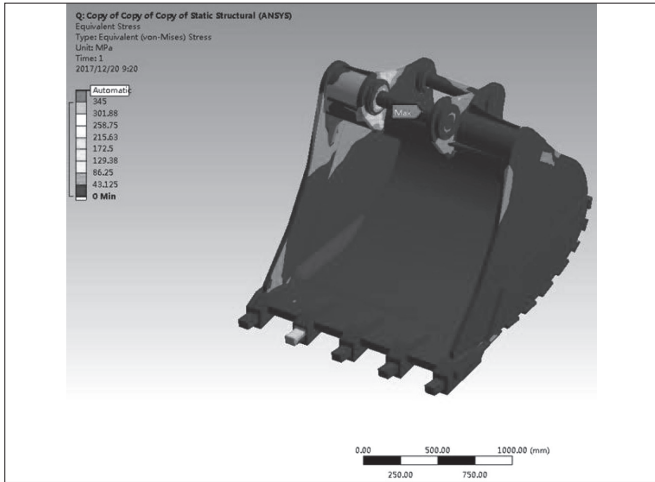


图3 挖斗单齿齿尖受力对比分析

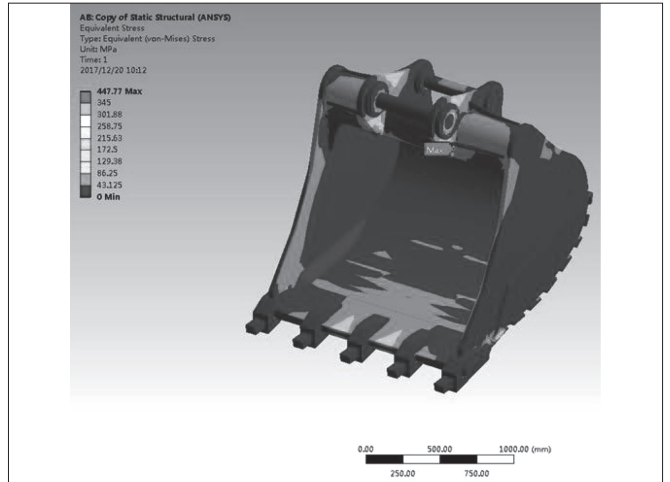


图6 挖斗刃板下部受力对比分析

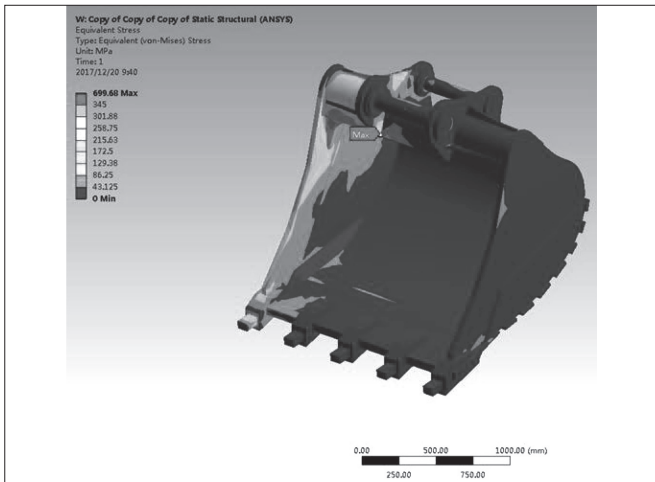


图4 挖斗单齿齿面受力对比分析

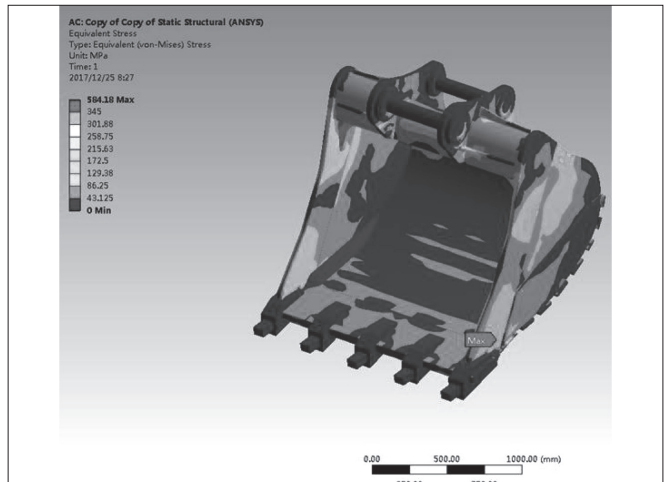


图7 挖斗侧向受力对比分析

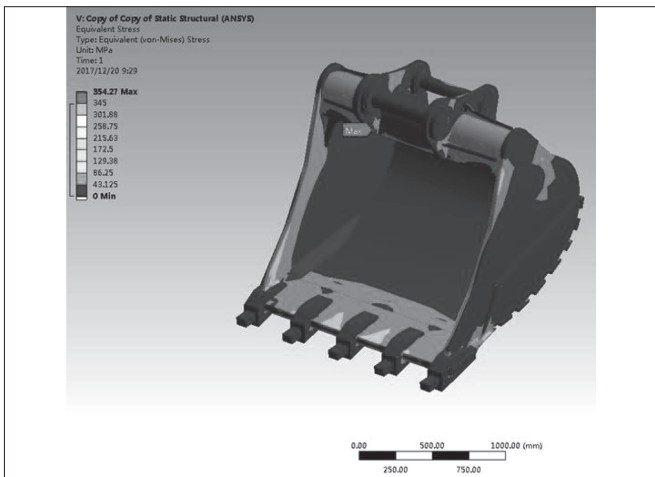


图5 挖斗斗齿齿面均匀受力对比分析

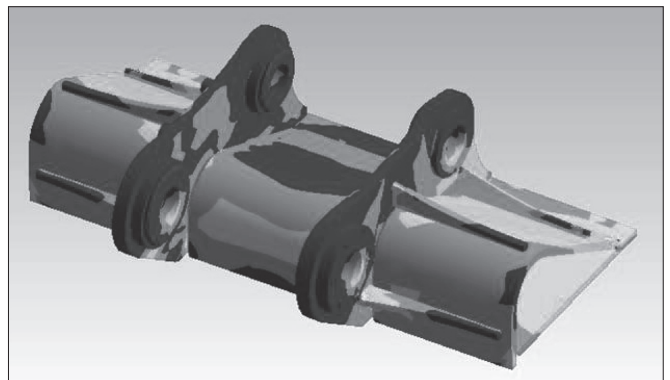


图8 挖斗侧向受力时支耳部位受力对比分析

通过有限元受力分析及综合评估，新设计的50吨级矿山挖斗在受力及使用方面较常规挖斗有大幅度的提升，各项性能指标符合前期设计要求。

### 5.2 产品生产制造

产品生产试制期间，技术团队深入现场进行生产指

导，对产品结构设计及焊接工艺方法进行跟踪及确认，同时对现场生产存在的问题及时给出整改意见，确保产品开发顺利完成。

#### 5.2.1 本项目的关键技术

- (1) 支耳结构设计的创新；
- (2) 刃板结构设计的创新；
- (3) 耐磨条结构设计的创新；

- (4) 焊接工艺设计创新;
- (5) 预热方案设计创新;
- (6) 焊接变形的控制方案设计;
- (7) 材质的选择及使用;
- (8) 检验方案的控制及实施。

5.2.2 技术创新之处

(1) 该项目通过优化关键零部件的结构设计(支耳、弧板、侧板组件等),以提高产品结构强度、减少焊接残余应力,有效改善产品的使用寿命;

(2) 关键部件采用高强钢板,耐磨易损件采用铸钢代替高强钢板,保证耐磨性的同时降低制造成本;

(3) 关键部件及总成的关键位置焊前进行预热,确保焊接区域预热到一定温度后再进行焊接,焊接区域温度均匀一致性能够减缓焊后冷却速度,减少焊缝热影响区硬度及氢致裂纹的发生,保证焊接的质量要求,提升产品的品质竞争力<sup>[1]</sup>;

(4) 关键部件通过焊后在预热炉中随炉缓冷的方式,释放焊接应力,提高了产品的疲劳强度,提高了使用寿命;

(5) 该项目通过设计制造新型拼点工装保证拼点尺寸及质量符合图纸要求,实现机械手焊接的一致性;

(6) 焊缝中的焊趾区域是应力集中较为严重的区域,因为该区域是焊接过程中常见的咬边、夹渣等焊接缺陷的主要集中区域,产品在使用过程中因不断承受交变载荷,易产生应力集中导致疲劳裂纹,然后疲劳裂纹不断扩展,最终导致结构失效该项目,通过对关键受力部件进行焊趾重熔的方式进行焊接应力的去除,避免应力集中造成失效<sup>[2]</sup>。

本项目在50吨级矿山挖斗研发过程中应用了较多的工装设计,不仅减少了制造环节的工序工时,而且大大提升了产品的尺寸稳定性及焊接质量。在制造过程中,引进了很多先进的设备及工艺,为产品的高质量开发提供了强有力的工艺保障,样件开发阶段经过反复验证及方案调整,项目组成员已熟练掌握了大吨位矿山用挖掘机斗铲的工艺开发要点。

5.3 现场使用跟踪

50吨级矿山挖斗生产制造完成后,随即投入安徽、内蒙古和新疆等地矿区进行实地测试,使用的工况主要是煤矸石、石英矿石的剥离及挖掘工作,如图9所示。

50吨级矿山挖斗在矿区进行不间断的高强度测试工作,根据终端客户的实际反馈,50吨级矿山挖斗的使用寿命较先前使用挖斗有了大幅提升,各项性能指标远超客户预期,使用过程表现优异,获得客户的高度评价。

6 项目成果

经过半年多的矿区测试,50吨级矿山挖斗以优异的表现,赢得了客户的肯定,主要的项目成果如下。

6.1 质量轻、制造成本低

50吨级矿山挖斗虽然整体强度有了较大的提升,但是挖斗的整体质量反而不增反降,较前期现场使用的挖斗质量减少8%左右,制造成本更低。



图9 50吨级矿山挖斗现场使用跟踪

6.2 使用寿命增加

50吨级矿山挖斗使用数千小时仍在继续使用,未出现明显失效现象,使用寿命较前期现场使用的挖斗提升了80%左右,整体使用寿命有了大幅提高。

6.3 客户满意度提升

通过市场验证客户对50吨级矿山挖斗给予较高的评价,认可其性能表现更加优异,证明产品设计更加成功。

6.4 设计经验得到积累

通过本次市场试验,矿山挖斗设计水平得到有效的锻炼及提升,为将来进入超大吨位矿山挖斗市场开发提供了技术积累。

6.5 加快市场开发、增加品牌收益

50吨级矿山挖斗投入市场后得到客户充分认可及褒奖,开拓了较大的矿山市场,赢得了较大的经济及品牌收益。

50吨级矿山挖斗采用独特的设计和制造工艺,通过项目技术的创新增强了企业在国内外市场的竞争能力,提升了挖掘机挖斗的技术含量,带动了国内外挖掘机挖斗属具行业的技术进步,增强了与国外先进设备的竞争力。

7 结语

对于50吨级矿山挖斗的结构设计及工艺开发,通过增加创新理念,选用当前先进的制作设备及制造工艺,提高产品质量的同时降低了制造成本,填补了当前国内大型矿山挖斗工艺的不足,符合国家产业政策的发展方向。目前,国内市场正处于开发发展初期阶段,其市场前景将十分广阔,本项目研发的大型矿山挖斗处于同行业先进水平。

参考文献:

[1] 方洪渊. 焊接结构学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.  
 [2] 霍立兴. 焊接结构工程强度 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.

作者简介: 胡树萌(1991.03-),男,汉族,山东济宁人,本科,工程师,研究方向:焊接工艺、产品工艺开发。