

煤矿立井50 t提煤箕斗关键技术研究

王洪磊, 申 婕, 刘 禹

(天地科技股份有限公司 高新技术事业部, 北京 100013)

摘 要: 为了满足大型矿井立井对50 t提煤箕斗的使用需求, 针对50 t箕斗研制过程中存在的关键技术问题进行了研究, 在综合分析井筒断面利用率、物料流动性等因素的基础上, 提出了箕斗截面尺寸及高度的确定方法, 利用有限元计算分析方法对箕斗斗箱强度进行了仿真分析, 确定了斗箱最大应力点位于斗箱中下部, 根据动力学公式分析计算了闸门开启阻力和导轨冲击载荷, 为大型箕斗结构设计提供依据。结合某矿井实际工况, 确定了50 t箕斗截面长×宽为3.37 m×1.55 m, 高度为23.2 m, 有效容积为58 m³, 并完成了样机试制。

关键词: 矿井提升; 提煤箕斗; 斗箱强度; 导向机构

中图分类号: TD53

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2015)05-0091-04

Research on key technology of 50t coal skip for vertical shaft of coal mining

WANG Hong-lei, SHEN Jie, LIU Yu

(High and New Technology Department, Tiandi Science and Technology Company Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: In order to meet requirement of 50 t skip used in large mining vertical shaft hoisting system, key technology of 50 t skip in manufacture process was researched. Based on utilization rate of shaft section and material flowability in skip, calculation method of skip section size and height was proposed, and also strength of skip was analyzed by finite element analysis method, the maximum stress appeared in lower side of the skip. The gate open resistance and guide rail impact load were calculated by the dynamic formulae, which could be provided for designer as reference. The section size(3.37 m×1.15 m), height(23.2 m) and effective volume(58 m³) were designed based on the working condition of mine, and also prototype machine manufacture of 50 t skip was finished.

Key words: mine hoist; coal skip; skip tank strength; guide mechanism.

0 引 言

随着国民经济的快速发展, 煤炭需求量与日俱增, 大型、安全、高效的生产模式已经成为当前煤矿生产的主要发展方向。矿井提升装备的性能和提升能力是决定矿井生产能力的重要因素, 作为煤矿立井提升系统关键设备之一的提煤箕斗在满足大吨位提升要求时, 其本体结构的设计是否合理将直接影响矿井的安全生产和生产效益^[1-3]。韩延伟等^[4]针对40 t箕斗的使用工况给出了研制方案; 马明燕^[5]对40 t箕斗的本体结构进行了有限元分析并给出了设计依据; 赵爱玲等^[6]通过总结大型提煤箕斗的使用问题, 给出了结构设计改进的思路。目前国内外

已有的煤矿用提煤箕斗最大提升载荷为45 t, 上述学者对于箕斗的设计研究方法也是基于中小型箕斗提出, 而对于50 t的大型提煤箕斗则缺少必要的理论支撑, 因此, 笔者在总结已有箕斗设计方法的基础上, 结合50 t箕斗特殊的工况条件对其关键技术进行了研究, 为50 t箕斗结构改进提供参考依据。

1 50 t 箕斗斗箱结构设计

随着箕斗载质量的增加, 箕斗斗箱结构尺寸也随之增大, 大型箕斗断面尺寸的选取对确定箕斗斗箱结构至关重要。针对某矿井设计生产能力13 Mt/a, 一个井筒内采用2套提升系统, 提升容器采用2对50 t箕斗的工艺要求, 箕斗在井口内的布置方

收稿日期: 2014-10-12; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2015.05.023

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA06A404)

作者简介: 王洪磊(1983—), 男, 辽宁丹东人, 博士, 助理研究员。Tel: 13426326657, E-mail: whl2821655@163.com

引用格式: 王洪磊, 申 婕, 刘 禹. 煤矿立井50 t提煤箕斗关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(5): 91-94.

WANG Hong-lei, SHEN Jie, LIU Yu. Research on key technology of 50 t coal skip for vertical shaft of coal mining[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(5): 91-94.

式采用平行布置^[7](图 1)。为确定较优的箕斗平行布置方案,可建立以箕斗断面长度或断面宽度为自变量的数学模型(式(1)),在此基础上引入“井筒断面利用率”的概念,其含义是井筒中所有设施在符合规程、规范的前提下,设施所占有的面积总和与井筒断面积之比,此比值越大,利用率 K 越高,说明其布置相对合理,经济性好。

$$K = 4nLW/(\pi d^2) \quad (1)$$

式中: n 为箕斗数量; L 为箕斗断面长度; W 为箕斗断面宽度; d 为井筒直径。

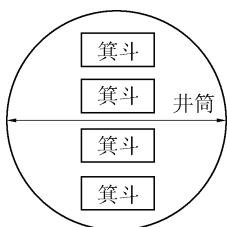


图 1 箕斗平行布置示意

箕斗平行布置方式有 3 种: ①箕斗断面长 \times 宽为 2 970 mm \times 1 350 mm, 对应井筒直径 8 600 mm; ②箕斗断面长 \times 宽为 3 170 mm \times 1 450 mm, 对应井筒直径 9 100 mm; ③箕斗断面长 \times 宽为 3 370 mm \times 1 550 mm, 对应井筒直径 9 600 mm。

箕斗 3 种布置方案的井筒断面利用率见表 1, 由表 1 可知, 方案 3 井筒断面利用率最高。井筒断面利用率是充分利用井筒断面, 提高其经济性的参考数据, 但不是唯一参数, 还要考虑对物料卸载时间的影响。为此, 可利用离散元理论建立 50 t 箕斗内的物料流动模型, 并对不同断面尺寸下的物料卸载时间进行分析, 计算结果如图 2 所示^[8]。

表 1 箕斗 3 种布置方案的井筒断面利用率

布置方案	箕斗断面长/mm	箕斗断面宽/mm	井筒直径/m	井筒断面面积/m ²	利用率/%
1	2 970	1 350	8.6	58.09	27.61
2	3 170	1 450	9.1	65.04	28.26
3	3 370	1 550	9.6	72.38	28.87

根据分析计算结果, 综合考虑井筒断面利用率和物料卸载流动性等因素, 可将 50 t 箕斗断面宽度定为 1 550 mm, 长度定为 3 370 mm, 其长度与宽度比值为 2.2。

在选定箕斗断面尺寸之后, 还要考虑箕斗的有效载荷高度, 通常情况下, 有效载荷高度与断面宽度比值为 6 ~ 10 较为合适^[9]。由于原煤松散密度较小, 约为 0.85 t/m³, 为满足 50 t 装载要求取箕斗本

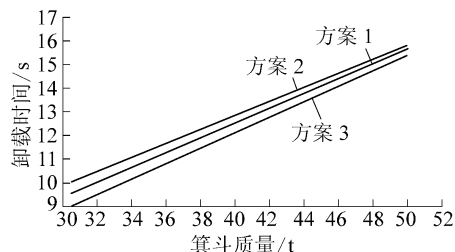


图 2 箕斗 3 种布置方案物料卸载时间曲线

体高度 23.2 m, 有效载荷高度 16 m, 箕斗有效载荷高度与断面宽度比值为 10.3。为了保证箕斗在使用过程中安全可靠, 还需要对箕斗斗箱强度进行校核。建立箕斗斗箱的有限元计算模型, 获得箕斗斗箱在满载 50 t 物料时的应力云图如图 3 所示, 最大应力为 179 MPa, 出现在斗箱中下部, 满足材料的许用应力要求^[10]。



图 3 箕斗斗箱在满载 50 t 物料时的应力云图

2 50 t 箕斗卸载方式及闸门结构设计

目前, 常用的箕斗卸载方式主要有曲轨卸载和外动力卸载, 曲轨卸载具有结构简单, 卸载快速平稳、安全可靠等高等优点, 但卸载滚轮进入曲轨的瞬间会产生大的冲击力, 当箕斗吨位、卸载速度等增大时, 冲击力将急速增大, 如果设计强度不足会引起曲轨和套架损坏变形、箕斗损坏^[11-12]。而外动力卸载方式的特点是闸门开启时间短, 闸门阻力小, 运动轨迹不超出箕斗断面, 能够自锁, 工作可靠。由于 50 t 大型提煤箕斗载质量大, 提升速度快, 采用曲轨卸载时会对曲轨产生较大冲击力, 曲轨受力不均衡, 容易造成曲轨、滚轮过早磨损, 设备关键部位变形。因此, 50 t 箕斗设计时可采用外动力上开式扇形门卸载方式。

为确保闸门关闭后在其自重和煤对闸门的压力作用下不会自动打开, 满足闸门开闭运行安全可靠的要求, 在进行闸门结构设计时, 要建立闸门力学模型, 计算闸门开启阻力。在闸门开启瞬间, 扇形闸门受力状态如图 4 所示。

箕斗在未打开之前, 扇形闸门在 T_n 、 f 及其自身重力作用下处于闭合状态, 不会出现半路漏煤现象, 闸门进入外动力卸载框架后, 液压缸推动曲轨水平移动, 在闸门将要打开的一瞬间, 以图 1 中 O 点为

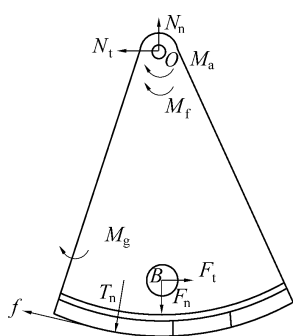


图4 箕斗闸门受力示意

T_n —箕斗中的煤作用在闸门上的法向力; f —箕斗中的煤作用在闸门上的摩擦力; M_g —闸门自重对回转轴阻力矩; M_a —闸门转动产生的惯性力矩; M_f —作用在转轴处的综合摩擦力矩; N_n 、 N_t —箕斗与闸门之间的相互作用力; F_n 、 F_t —滚轮与曲轨之间的相互作用力

图4 箕斗闸门受力示意

参考点进行受力分析,可以得到式(2)。

$$F_t(L_{AB} - \mu_1 D/2) = \lambda(T_n \mu_2 R_0 + M_g + M_a + M_f) \quad (2)$$

式中: L_{AB} 为滚轮杆的长度; μ_1 为闸门回转轴处的摩擦因数; D 为回转轴直径; λ 为闸门开启时的附加阻力系数,取1.2; μ_2 为闸门弧形板与煤的摩擦因数; R_0 为闸门弧形板至回转轴的平均距离。

在分析过程中,假定作用在回转轴的力都经过回转轴中心,煤作用在闸门的法向力也都经过回转轴的中心,为了消除带来的误差,增加了一个附加阻力系数。

1) $T_n = \sigma_n A$, 式中: σ_n 为煤对闸门的法向作用力; A 为扇形门圆弧板的面积。

2) $M_g = \sum W_g r = W_z r_0$, 其中: W_g 为闸门每一部分的质量; r 为闸门每一部分的重心与回转轴的水平距离; W_z 为闸门自重; r_0 为闸门重心对回转轴的水平距离。

$$3) M_f = \mu_1 D(T_n + W_z)/2。$$

4) $M_a = \varepsilon J$, 其中: ε 为闸门转动的角加速度; J 为闸门的转动惯量;对于形状不规则的闸门来说,可以通过 Pro/E 软件分析模块中的质量特性分析功能来确定 J 。

5) 开启闸门所需的力等于滚轮与曲轨之间的水平作用力,即 $F_t = \lambda(T_n \mu_2 R_0 + M_g + M_a + M_f) / (L_{AB} - \mu_1 D/2)$ 。

利用上述理论计算模型,针对 50 t 提煤箕斗的扇形闸门进行计算,其结果如下: R_0 、 L_{AB} 、 r_0 、 D 分别为 1 910、1 650、1 500、80 mm, $\mu_1 = 0.25$, $\mu_2 = 0.3$, $A = 2.3 \text{ m}^2$, $\sigma_n = 0.07 \text{ MPa}$, $W_z = 10 650 \text{ N}$, $\varepsilon = 0$ 。将闸门相关参数代入式(3)可得 $F_t = 80.49 \text{ kN}$ 。闸门开闭装置及布置如图 5 所示。

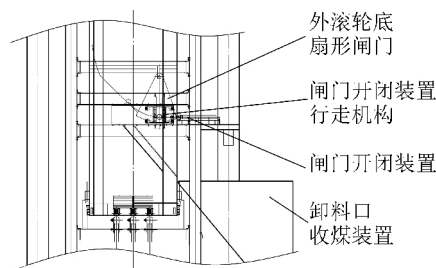


图5 闸门开闭装置及布置

3 50 t 箕斗导向机构设计

导向装置的主要功能是确保箕斗在井筒运行中位置合理,减少与罐道的冲击碰撞,使箕斗能够平稳、安全通过井筒,其结构由底座、摆转臂、滚轮、缓冲器组成。对于 50 t 提煤箕斗,滚轮磨损速度相对于中小型箕斗会变快,且磨损后滚轮位置和缓冲器预紧力不易调整,摆架有倾倒可能^[13]。因此,50 t 提煤箕斗的滚轮材料需要采用高耐磨的聚氨酯材料,考虑 50 t 提煤箕斗高度大于 20 m,需要在容器上下两端设 4 组滚轮罐耳,每组滚轮罐耳由 3 个带有液压缓冲器的滚轮组成,其具体结构及布置形式如图 6 所示。

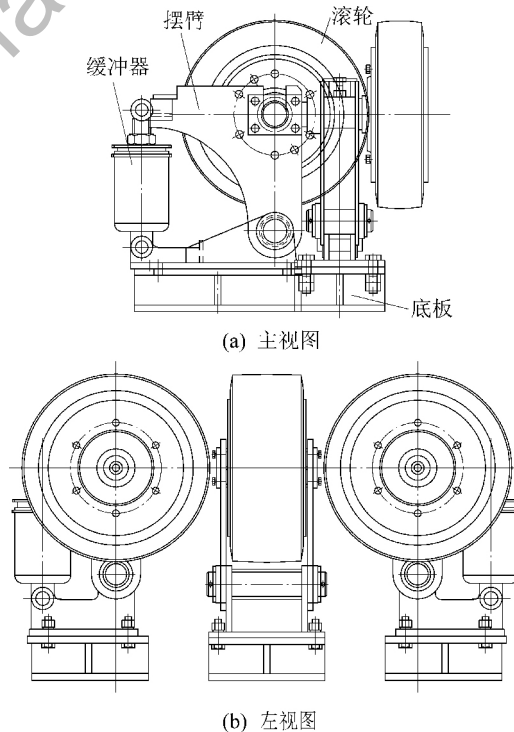


图6 滚轮罐耳结构布置形式

当箕斗在提升过程中受到水平冲击力作用时,导向装置需要承受相应的冲击载荷。滚轮罐耳与罐道之间的接触应力 σ 计算方法如下^[14-15]。

$$\sigma = \sqrt{2P / [\pi^2 L D_1 (k_u + k_s)]}$$

$$k_u = (1 - \mu_u^2) / (\pi E_u)$$

$$k_s = (1 - \mu_s^2) / (\pi E_s)$$

式中: P 为滚轮罐耳装置在工作中承受罐道传来的横向冲击载荷,其值约为终端载荷的 $1/10 \sim 1/12$,即: $P = (1/10 \sim 1/12) (Q_f + Q_m)$, Q_f 为箕斗自重, Q_m 为箕斗载重。 D_1 为实际罐耳直径; L 为罐耳与罐道实际接触长度,即滚轮宽度; E_u 、 E_s 分别为滚轮和罐道的弹性模量; μ_u 、 μ_s 分别为滚轮和罐道的泊松比。

考虑箕斗载质量为 50 t,箕斗自重约 80 t,实际

罐耳直径设为 425 mm,滚轮宽度为 156 mm,代入上式计算可得滚轮与罐道的接触应力约为 163 MPa。

4 50 t 箕斗整体方案确定及样机试制

基于上述关于 50 t 箕斗关键结构的分析计算,结合正在建设的煤矿设计工艺要求,确定了 50 t 提煤箕斗的设计方案如图 7 所示。箕斗截面长×宽为 3 370 mm×1 550 mm,斗箱高度为 16.75 m,溜煤板倾角为 55° ,卸载方式采用上开式底扇形闸门和外动力卸载,箕斗有效容积为 58 m^3 。样机目前已经完成出厂性能测试,并将进行现场工业性试验。

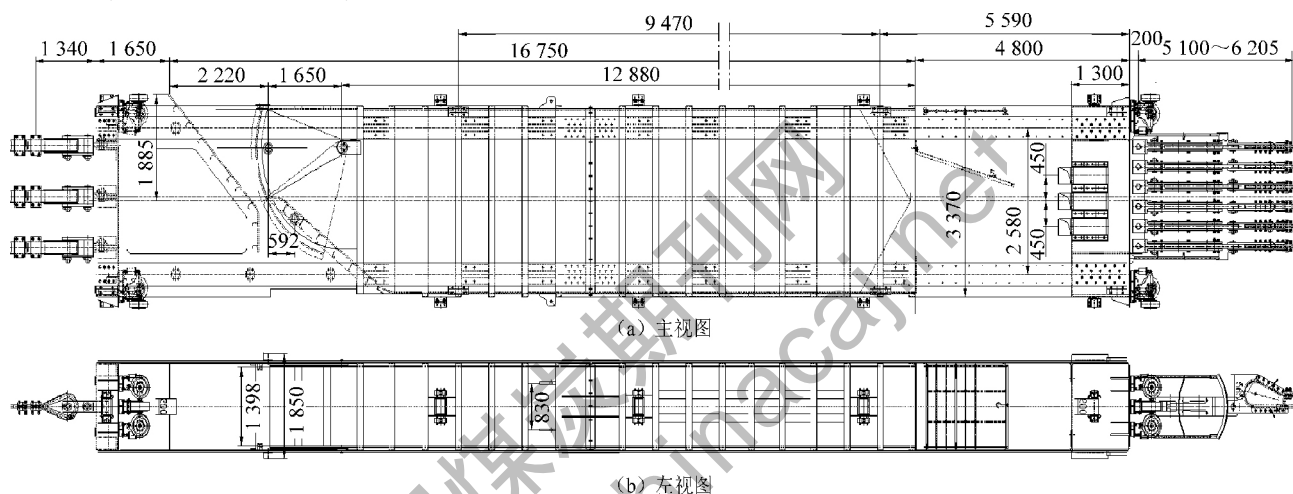


图 7 50 t 提煤箕斗整体结构

5 结 论

笔者结合正在建设中的某矿井实际工艺情况,提出了 50 t 大型箕斗斗箱截面尺寸确定方案,研究了不同截面尺寸对物料卸载时间的影响,确定了合理的箕斗斗箱结构形式,并对箕斗斗箱结构进行了强度校核。分析计算了 50 t 箕斗闸门开启阻力,并给出了导向机构冲击载荷的计算方法。综合分析计算结果确定了 50 t 箕斗整体结构方案并完成了样机试制。

参考文献:

- [1] 李军风,张 炜. 浅谈煤矿立井提升箕斗的发展现状及前景[J]. 中州煤炭,2006(5): 30-31.
- [2] 孙如海,孙明玲. 大型箕斗罐笼的研究[J]. 采矿技术,2006,6(3): 465-467.
- [3] 侯国文. 立井特窄型大吨位箕斗的设计[J]. 煤矿机电,2012(2): 38-39.
- [4] 韩延伟,张 新,王树志,等. 立井 40t 大型箕斗的研制[J]. 煤矿机械,2003,24(8): 72-73.
- [5] 马明燕. 大型箕斗本体结构强度设计的有限元分析[C]//第六

届全国煤炭工业生产一线青年技术创新文集. 北京: 中国煤炭学会,2011.

- [6] 赵爱玲,郝敬华,孙玉红,等. 大型立井提煤箕斗结构设计的技术改进[J]. 煤矿机械,2011,30(10): 188-189.
- [7] 王旭东,张 举,宋 静. 葫芦素矿井主井生产系统设计[J]. 煤炭工程,2011(9): 1-3.
- [8] 秦 强,吴焱明,赵 韩. 箕斗卸煤过程分析与卸载时间预测[J]. 煤炭科学技术,2006,34(2): 76-77.
- [9] 唐大根. 大型箕斗断面尺寸的选取[J]. 煤矿设计,1992(12): 22-23.
- [10] 王洪磊,孙如海,刘竞雄. 离散元和有限元法相结合的大型提升箕斗强度分析[J]. 煤矿机械,2013,32(11): 94-96.
- [11] 孙如海. 大型箕斗卸载方式的探讨[J]. 矿山机械,2010,38(5): 50-52.
- [12] 秦 强,吴焱明,赵 韩. 立井箕斗装卸载协同性分析[J]. 煤炭工程,2007(5): 15-17.
- [13] 冯宝华. 浅谈大型箕斗及配套设备的技术进展[J]. 中州煤炭,2012(7): 69-70.
- [14] 谭廷帅,王海峰. 滚轮罐耳缓冲行程解析方法[J]. 煤矿机械,2013,34(1): 105-107.
- [15] 曾宪桃,郭晋蒲,许文进. 立井复合材料罐道耐腐蚀与耐磨损试验研究[J]. 煤炭学报,2000,25(5): 491-495.