

500 kA 级铝电解槽内外补偿母线配置磁场及经济性对比

李伟波

(广元中孚高精铝材有限公司, 四川 广元 628017)

[摘要] 近年来,随着电解槽的大型化,500 kA 级铝电解槽已逐渐成为新建电解铝项目的主流;而 500 kA 电解槽的母线配置主要分为自补偿和外补偿两种,分析其各自磁场及经济性的优劣,对新建项目采用哪种母线配置方式具有很好的指导作用。本文通过对 500 kA 铝电解槽自补偿及外补偿母线配置的磁场进行仿真模拟,将其磁场计算结果进行对比,分析了各自的优劣;并结合工程实际建设中的母线用量及厂房占地面积,对其经济性做进一步的分析,得出结论。

[关键词] 磁场;自补偿技术;外补偿技术;大型铝电解槽

[中图分类号] TF821

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2021)06-0106-04

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.06.023

0 概述

目前国内 500 kA 电解槽技术,母线的配置形式有两种:自补偿和外补偿母线配置。

(1) 自补偿母线配置

即通过电解槽槽周围母线系统的合理设计,使得电解槽槽内的磁场达到合理分布,从而保证电解槽的稳定运行。由于磁补偿都通过槽周围母线本体进行平衡,因此业内称这种形式为“自补偿”。

(2) 外补偿母线配置

即除了槽周围母线以外,还需要额外的母线来通过电流,使电解槽槽内磁场达到合理分布。这一段额外的母线通过的电流仅用于磁场补偿,不参与产铝,因此业内称这种形式为“外补偿”。

在目前 500 kA 电解槽投产越来越多的背景下,对以上两种 500 kA 电解槽的母线配置形式进行包括磁场及经济性的对比分析及评价,得出一定的结论,具有较大的研究及实用价值。

1 500 kA 电解槽磁场计算结果及分析

1.1 磁场计算方法

铝电解槽的磁场分为三个主要部分:一是母线的磁场;二是阳极、阴极、铝液、电解质的磁场;三是槽壳等铁磁材料的磁场。

对于母线的磁场,可认为各母线为线单元,应用 Biot-Savart 定律的线积分形式计算。

对于阳极、阴极、铝液、电解质的磁场,阳极、阴极、铝液、电解质可认定为体单元,采用 Biot-Savart 定律的体积分形式计算。

对于槽壳等铁磁材料的磁场一般采用表面磁荷法来计算。

1.2 铝电解槽的磁场计算

1.2.1 恒定电流导体磁场

Biot-Savart 定律线积分形式为:

$$H = \frac{1}{4\pi} \int_A \frac{Idl \times r}{r^3} \quad (1)$$

式中 H —待求场点 $P(x, y, z)$ 处的磁场强度; I —电流强度; r — P 点到电流元 dl 的距离。

1.2.2 阴极、阳极、铝液和电解质所产生磁场的计算

这三部分产生的磁场主要采用体积分形式进行计算,由于铝电解槽中这部分导体都为长方体,所以有必要推导出矩形导体所产生磁场的计算公式。

[收稿日期] 2021-08-22

[作者简介] 李伟波(1981-),男,河南郑州人,工程师,硕士,主要研究方向为铝电解工艺。

[引用格式] 李伟波. 500 kA 级铝电解槽内外补偿母线配置磁场及经济性对比[J]. 有色设备,2021,35(6):106-109.

Blot-Savart 定律的体积分形式为:

$$H = \frac{1}{4\pi} \iiint_v \frac{J \times r}{r^3} dV \quad (2)$$

式中 H —待求场点 $P(x, y, z)$ 处的磁场强度; J —导体中通过的电流密度; r —源点到场点 P 的距离。

1.3 500 kA 电解槽自补偿磁场计算结果

按照图纸建立仿真模型, 计算得出的某厂 500 kA 电解槽自补偿母线的磁场结果如表 1 所示。

表 1 某厂 500 kA 电解槽自补偿母线磁场计算结果

磁场值	BX 均值	BY 均值	BZ 均值
全槽均值(GS)	99.005	8.633	4.495

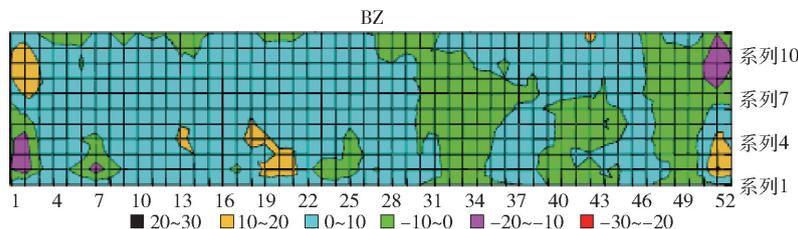


图 1 自补偿磁场 BZ 分布云图

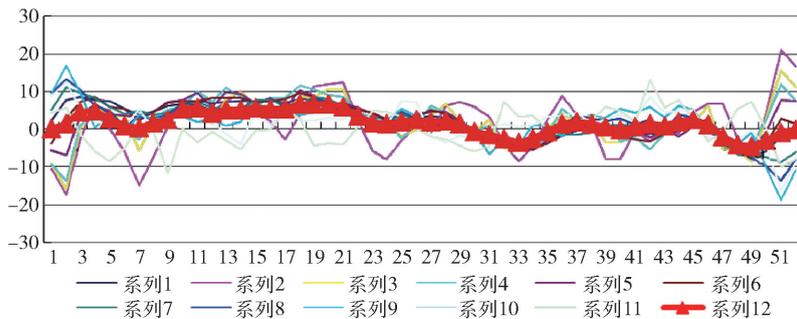


图 2 自补偿磁场 BZ 曲线分布

于相对较好的区间。

1.4 500 kA 电解槽外补偿磁场计算结果

按照图纸建立仿真模型, 计算得出的某厂 500 kA 电解槽外补偿母线的磁场结果如表 3 所示。

表 3 某厂 500 kA 电解槽外补偿母线磁场计算结果

磁场值	BX 均值	BY 均值	BZ 均值
全槽均值(GS)	91.521	6.955	4.771

表 4 某厂 500 kA 电解槽外补偿母线磁场四象限分布

磁场 BZ 四象限值(GS)	
2 象限	1 象限
4.00	5.46
3 象限	4 象限
4.14	5.18

表 2 某厂 500 kA 电解槽自补偿母线磁场 BZ 四象限分布

磁场 BZ 四象限值(GS)	
2 象限	1 象限
3.61	3.44
3 象限	4 象限
6.04	4.78

从以上图表可以看出, 整体分布较为均匀, 磁场值 BZ 在两个端头稍高, 但曲线较为平滑, BY 均值 8.633 GS, BZ 均值 4.495 GS。

从四象限分布的结果来看, 1、2 象限的结果较好, 3、4 象限的结果相对偏高一点, 但是整体结果处

从以上图表可以看出, 整体分布较为均匀, 磁场值 BZ 在两个端头稍高, BY 均值 6.955 GS, BZ 均值 4.771 GS。

从四象限分布的结果来看, 1、4 象限的结果较好, 2、3 象限的结果相对偏高一点, 但是整体结果处于相对较好的区间。

1.5 500 kA 铝电解槽磁场计算结果对比

自补偿及外补偿的磁场计算结果汇总如表 5 所示。

从表 5 以及各自的 BZ 分布云图可以看出, 自补偿与外补偿的垂直磁场 BZ 相差不大, 在 0.3 GS 左右, 且四象限分布也相对较为均匀; 而 BY 均值, 两者相差了约 1.7 GS, 外补偿相对较好; 降低 BY, 能

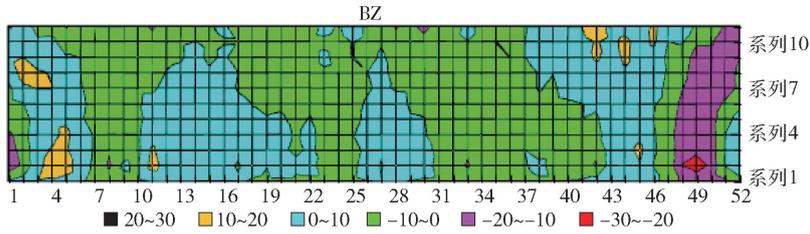


图3 外补偿母线磁场分布云图

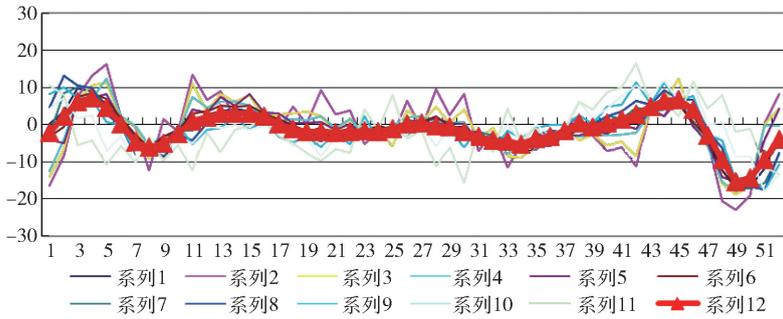


图4 外补偿母线磁场 BZ 曲线分布

表5 磁场计算结果对比表

	BX 均值(GS)	BY 均值(GS)	BZ 均值(GS)
外补偿	91.521	6.955	4.771
自补偿	99.005	8.633	4.495

表6 自补偿和外补偿配置母线用量对比表
(平均到单槽,单位:kg)

	自补偿(槽间距 6.8 m)	外补偿(槽间距 6.6 m)
铝母线	65 936	67 324
铝软带	6 391	6 733
铝焊片	5 732	5 850
合计	78 059	79 907

降低铝液流速,减少界面波动,在此外补偿具备一定优势。

2 500 kA 电解槽自补偿及外补偿经济性分析

在工程建设期间,母线配置对工程建设成本的影响主要包括两个方面,一是母线本身用量所直接导致的材料成本;二是母线配置对电解车间的面积大小间接导致的建筑成本,下文分别就母线用量及电解车间所占面积等方面对 500 kA 自补偿电解槽和外补偿电解槽进行经济性分析。

2.1 母线用量

自补偿母线配置及外补偿母线配置在 500 kA 电解槽项目实际的母线用量,选取相同的电解槽槽数,产量 50 万 t,且母线电流密度基本一致的条件,进行对比。包含系列母线、过道临时母线、槽周围母线、立柱母线、阴极软带、外补偿母线,不含阳极母线、阳极导杆,其结果如表 6 所示。

从表 6 可以看出,外补偿母线配置平均单槽

比自补偿母线配置多 1.848 t。一个产量 50 万 t 共 366 台 500 kA 电解槽的建设项目,外补偿母线配置合计会增加母线用量 676.368 t。

2.2 电解车间厂房面积

由于外补偿母线配置的特点,可以大幅简化槽周围母线的配置,因此采用外补偿配置,电解槽的槽间距能得到有效缩短,两种母线配置的槽间距对比如表 7 所示。

表7 自补偿和外补偿母线配置槽间距对比表

项目	槽间距/m
自补偿	6.8
外补偿	6.6

以单期 50 万 t 电解系列配置 366 台电解槽,每栋厂房配置 183 台。按照通廊的长度一致计算,外

补偿配置每台电解槽槽间距比内补偿少 0.2 m, 则厂房长度比内补偿配置少 $183 \times 0.2 = 36.6$ m。按照厂房跨度 32 m 计算, 采用外补偿配置, 比自补偿配置厂房面积减少 $4\,684.8\text{ m}^2$ 。

2.3 投资对比

根据以上厂房占地及母线用量, 对自补偿母线

配置及外补偿母线配置的项目建设投资差异进行对比(按 50 万 t 366 台电解槽计算), 铝母线单价接近三年的铝价取 14 000 元/t。厂房建筑成本按 1 500 元/ m^2 计价, 征地成本按 15 万/亩计价, 则各自的投资差异如表 8 所示。

表 8 自补偿和外补偿母线配置投资对比表

投资分项	自补偿(槽间距 6.8 m)	外补偿(槽间距 6.6 m)	投资差异/元
合计母线投资/元(母线单价 14 000 元/t)	399 974 316	409 443 468	-9 469 152
合计建筑成本/元(1 500 元/ m^2)	242 838 000	236 394 000	6 444 000
征地成本(150 000 元/亩)	36 425 703.64	35 459 103.55	966 600
合计	679 238 019.6	681 296 571.5	-2 058 552

从表 8 可以看出, 外补偿相对自补偿, 由于母线用量的增加, 投资会增加约 947 万元, 土建包含征地减少费用 741 万元, 整体增加投资 206 万元。

3 结论

(1) 针对 500 kA 电解槽自补偿及外补偿两种母线配置形式进行了磁场仿真模拟计算, 得出如下结论: BZ 两种形式相差不大, 外补偿的 BY 有一定降低, 相差了约 1.7 GS, 降低 BY 有助于降低铝液流速, 减少界面波动;

(2) 母线用量方面, 外补偿母线配置平均单槽比自补偿母线配置多 1.848 t; 一个产量 50 万 t 共 366 台 500 kA 电解槽的建设项目, 外补偿母线配置合计增加母线用量 676.368 t。

(3) 电解车间厂房占地方面, 由于槽间距的减少, 采用外补偿配置, 比自补偿配置厂房面积减少 $4\,684.8\text{ m}^2$ 。

(4) 建设一个 50 万 t 366 台槽的电解项目, 外补偿相对自补偿, 由于母线用量的增加, 投资会增加约 947 万元, 土建包含征地减少费用 741 万元, 整体

增加投资 206 万元。

(5) 外补偿母线配置形式和自补偿母线配置形式, 从磁场结果来说, 具有一定的优势, 但不明显; 外补偿母线配置形式的母线用量有较大提升, 厂房占地有一定减少; 投资相对有一定的增加; 所以采取哪种母线配置形式需要综合衡量。

[参考文献]

- [1] 梁学民. 论现代火型铝电解槽的母线设计[J]. 轻金属, 1990(1): 20-26.
- [2] 姚世煥. 200 kA 预焙槽的设计构思[J]. 轻金属, 1998(5): 27-29.
- [3] 张瑞祥, 范玉华. 大型预焙阳极铝电解槽母线配置及磁场的分析[J]. 轻金属, 1985(3): 24-28.
- [4] 冯亚伯. 电磁场理论(第一版)[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1995.
- [5] 倪光正, 钱秀英. 电磁场数值计算[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996.
- [6] 许永兴. 电磁场理论及计算(第一版)[M]. 上海: 同济大学出版社, 1994.

(下转第 113 页)

China ENFI “MIM +”: Provides a Chinese Plan for Improving the Management and Control of Global Mining Projects-written on the Occasion of the Accelerated Construction of the Kamo-a-Kakula Copper Mine

FENG Zhi-qiang, SUN Ming-jun, BIAN Chao

Abstract: The challenges of global mining project management are superimposed on the new crown epidemic, which has brought more difficulties to project management. Based on the MIM + solution, ENFI built a digital integrated project execution system, which was successfully applied in the Kamo-a-Kakura Concentrator Project. China's solution is provided to improve the management and control level of global mining projects.

Key words: mining engineering management; engineering digitization; MIM + solutions



(上接第 109 页)

Magnetic Field and Cost-effectiveness Contrast of Self-compensating and External Compensating Busbar Configuration in 500 kA Aluminum Electrolytic Cell

LI Wei-bo

Abstract: With large-scale electrolytic cells developed in recent years, 500kA aluminum electrolytic cells have gradually become prevalent in new electrolytic aluminum projects and their busbar configuration is mainly divided into self-compensation and external compensation. The magnetic field and cost-effectiveness of these two compensation methods are analyzed so as to provide guidance for new projects on selecting busbar configuration method. This paper has simulated the magnetic field of self-compensating and external compensating busbar configuration in 500kA aluminum electrolytic cells, compared calculation results, and analyzed strengths and shortcomings of these two compensation methods. In addition, this paper has further analyzed the cost-effectiveness of these methods and drawn a conclusion based on busbar consumption and plant footprint in actual project construction.

Key words: magnetic field; self-compensation; external compensation; large-scale aluminum electrolytic cell

