

漏板配电分流在玻纤降本增效中的应用

吴桂文¹, 蒋文明²

¹重庆化工职业学院大数据与自动化学院, 重庆

²重庆化工职业学院环境与质量检测学院, 重庆

收稿日期: 2024年2月20日; 录用日期: 2024年3月8日; 发布日期: 2024年4月30日

摘要

对风电市场进行了分析后, 发现玻璃纤维中的风电产品因提产增效而存在的配电问题。本研究以F10生产线为分析样例, 对漏板三级配电情况进行了详细梳理, 并指出因提产导致的漏板配电超载问题。漏板配电超载将导致用电安全隐患, 对提产增效形成制约。在综合考虑生产需求与安全运行的基础上, 提出增设漏板配电柜以进行配电分流的有效解决措施, 满足大漏板增设的配电需求, 从而实现降本增效。

关键词

漏板配电, 用电安全, 分流, 提产, 降本

Application of Leakage Board Distribution Splitting in Glass Fiber Cost Reduction and Efficiency Enhancement

Guiwen Wu¹, Wenming Jiang²

¹School of Big Data and Automation, Chongqing Chemical Industry Vocational College, Chongqing

²School of Environmental and Quality Testing, Chongqing Chemical Industry Vocational College, Chongqing

Received: Feb. 20th, 2024; accepted: Mar. 8th, 2024; published: Apr. 30th, 2024

Abstract

After analyzing the wind power market, it was found that wind power products in fiberglass have distribution problems due to increased production and efficiency. This study takes the F10 production line as an example to analyze the three-level distribution of leakage boards in detail, and points out the problem of overload of leakage board distribution caused by increased production. Overloading of leaky distribution boards will lead to safety hazards in electricity consumption,

文章引用: 吴桂文, 蒋文明. 漏板配电分流在玻纤降本增效中的应用[J]. 电力与能源进展, 2024, 12(2): 68-76.

DOI: 10.12677/aepe.2024.122008

which will constrain production and efficiency improvement. On the basis of comprehensive consideration of production demand and safe operation, an effective solution is proposed to add a leakage board distribution cabinet for distribution diversion, to meet the distribution needs of adding large leakage boards and achieve cost reduction and efficiency improvement.

Keywords

Leakage Board Distribution, Electricity Safety, Diversion, Increase Production, Cost Reduction

Copyright © 2024 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. 背景

风电是一种清洁、绿色的可再生能源。风力发电是能源领域中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景的发电方式之一。发展风力发电对于解决能源危机、减轻环境污染、调整能源结构、实现“碳中和”等方面具有非常重要的意义[1]。随着可再生能源综合利用技术的不断提升,风力发电作为新兴能源在许多国家的战略能源结构中扮演着重要角色,推动产业高速发展[2]。根据数据显示,2020年是全球风电行业新增装机容量93 GW,同比增长53%;累计装机容量743 GW,同比增长14.29%。其中,全球陆上风电新增装机容量为86.93 GW,同比增长86%,累计装机规模达到707.93 GW;海上风电新增装机容量为6.07 GW,累计达到35.1 GW [3] [4]。2010~2020年,我国新增和累计风电并网装机容量整体保持增长。根据中国电力企业联合会统计,2020年,我国新增风电并网装机容量7167 GW,同比增长178.65%;累计风电并网装机容量28153 GW,同比增长34.61% [5]。

随着风电市场的扩大,风电玻璃纤维作为风电叶片的原材料在市场中供不应求。各玻纤企业抢抓风口,紧密配合国家能源战略,不断提产增效。提产有改扩建和技术改造两种方向。由于玻纤行业窑炉寿命周期和工业用地限制,各企业通常采取研发和增设大漏板的措施达到提升产量的目的[6]。近年来,国际主要玻纤企业采用的作业漏板也逐渐由原先的1600孔和2400孔,发展到现在的4000孔,乃至4800孔[7]。在大漏板技术研究与应用方面,美国的PPG、OC、法国圣哥班等国外著名玻纤公司均已取得了较大应用成果。在我国,中国巨石、泰山玻纤、国际复合等头部企业均加大对大功率漏板的应用投入。通过对多排多孔漏板优化设计、漏板附件的创新设计、专用浸润剂组份与配制工艺的调整、涂油器的工艺改造、隧道式微波烘干玻璃纤维技术等进行一系列关键技术攻关,在控制玻璃纤维产品的关键设备4000孔与4800孔大漏板的设计上获得了较大的突破[7]。随着大功率漏板的投入使用,原有漏板配电方案不再适用于生产需求,并且存在超载安全风险,对企业提产方案实施形成制约。出于提产增效、改扩建成本和安全运行考虑,需探索一种大功率漏板配电分流的可行性方案。基于F10生产线的生产实际,现就大功率漏板需求、漏板配电问题及解决方案进行可行性分析。

2. 提产对大功率漏板的需求分析

增设大漏板台位是提产增效的实际需求。在玻纤漏板单孔流量一定的条件下,单台漏板流量与漏板孔数呈正比关系。多排多孔大漏板的应用大大提高原丝生产率,单机日产量由原来的1000~1100 kg/台提高到了2000~2500 kg/台,提产效果显著。

漏板型号不同, 对应的额定功率不同。F10 生产线在用漏板情况如表 1 所示。

Table 1. Leakage situation of F10 line in use

表 1. F10 线在用漏板情况

漏板型号	数量(块)	漏板功率(KVA)	总功率(KVA)
DB1600	2	42	84
DB3200	4	49	196
SB2400	55	36	1980
SB3200	23	41	943
DB4000	38	53	2014
DB4800	6	56	336

由表 1 知: 同一型号漏板, 随着漏板孔数的增加, 漏板的额定功率也在增加。在 F10 生产线中, DB4000、DB4800 大漏板累计应用块数 44 块, 占生产线应用漏板的比例为 34.3%。按生产需求, 仍存在增设大漏板的空间。因此, 增设大漏板台位需考虑配电容量及配电设备的承载力。

3. 漏板配电问题分析

3.1. 漏板配电功能结构介绍

漏板配电需从其配电结构、生产影响上作整体上考虑。在玻纤生产线中, 漏板配电通常采集三级配电结构, 详情见图 1。一级配电来源于配电室, 负责生产线 120 台位漏板的配电。配电室电源来自 35 KV 配电站, 经变压器变压后经 4 个配电回路为后续用电设备配电。每个配电回路额定容量为 2500 KVA, 累计 10000 KVA。除承担漏板配电外, 还承担锅炉房、水泵房、拉丝区、窑炉风机等用电区配电。二级配电柜承担分区漏板配电, 生产线一共分为 8 个区域, 每个区域负责 15~16 台位。三级配电柜为终端配电, 每个配电柜分担 2~3 台漏板配电任务。

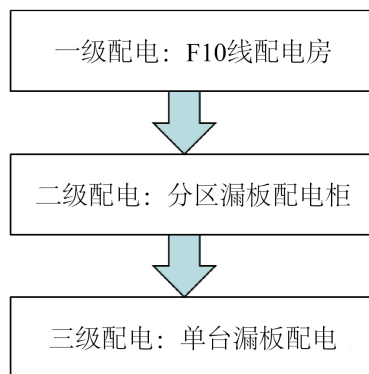


Figure 1. Schematic diagram of leakage board distribution

图 1. 漏板配电示意图

一级配电涉及整个生产线运行, 影响最大。当大功率漏板投用时, 应考虑一级配电容量。若投用漏板总功率超过配电回路容量, 将导致配电回路因超载而跳闸, 引发整个生产线停电事故。严重情况下,

将对生产线的核心装置一窑炉系统造成毁灭性损害。二级配电负责 15~16 台位漏板, 对生产影响次之。当投用漏板功率超过二级配电设施承载力时, 二级配电将跳闸自保, 引发相应生产区域停产。三级配电负责单个漏板台位配电, 当漏板功率超过三级配电设施承载力时, 三级配电将跳闸自保, 影响生产台位 2~3 台, 对生产影响最小。综上, 大功率漏板的投用应从配电结构上逐级考虑其电气特性, 以保证各级配电的承载能力能够满足正常生产需求。

3.2. 各级配电电气元件适应性分析

漏板配电电气元件主要涉及各级配电断路器及连接线缆。F10 生产线漏板各级配电 ABB 断路器电气特性如表 2 所示。在实际运用中, 为保证配电回路及设备的安全运行, 断路器安全载流量不允许超过名牌上标定的 I_u 、 I_{th} [8]。即一级配电允许载流量为 3608 A, 二级配电允许载流量为 630 A, 三级配电允许载流量为 160 A, 当带载电流超过允许值时, 将导致断路器外壳温度升高, 加剧断路器老化, 严重情况下引发断路器误动作, 从而引发生产事故[9]。

Table 2. Electrical characteristics of circuit breakers at all levels

表 2. 各级断路器电气特性表

配电分级	I_u	I_{th}
一级配电	3608 A	3608 A
二级配电	630A	630A
三级配电	160A	160A

注: I_u : 框架电流, 又称为额定不间断电流。指在规定条件下, 电器在长期工作制下, 各部件的温升不超过规定极限值时所承受的电流值。 I_{th} : 额定电流, 指在规定条件下, 能保证电器正常工作的电流值。它和额定电压、电网频率、额定工作制、使用类别、触头寿命及防护等级等因素有关。

动力线缆是电能的传输装置。其允许载流量受材质、截面、额定工作制等因素影响[10]。计算公式如下:

$$I_c = KS\sqrt{(\Delta\theta\rho/T)} \quad (1)$$

式(1)中, I_c 为电缆载流量; K 为调整系数, 一般取 0.8 到 0.9 之间; S 为电缆横截面积, 单位为 mm^2 ; $\Delta\theta$ 为电缆允许升温度, 一般取 40°C ; ρ 为电缆电阻率, 实际值可查询资料或测量得出; T 为环境温度, 一般取 25°C 。

F10 线漏板配电各段线缆采用铜制电缆, 型号为 VLV22 聚氯乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套 4 芯同轴电力电缆。其截面及允许载流情况如下表 3 [11]:

Table 3. Allowable current carrying capacity of cables at all levels

表 3. 各级电缆允许载流情况

线缆分段	连接区域	截面(mm^2)	允许载流(A)
I 段	一、二级配电柜	150 双拼	450
II 段	二、三级配电柜	150	281
III 段	三级配电至漏板	70	165

实际运用中, 实际载流量不允许超过其允许载流量。否则存在火灾、跳闸甚至人身伤害等风险。综

上, 大漏板的增设应考虑即有配电支撑条件, 即增设大漏板后, 漏板各级配电载荷均应在表 2、表 3 所示范围内。否则, 从配电安全运行条件出发, 应对配电方案与设施重新设计。

3.3. 一级配电柜载荷分析

一级配电应考虑变压器容量、配电回路容量、断路器整定电流等因素。增设大漏板后的总功率容量应在变压器容量、配电回路容量允许范围内。超过允许范围后, 则应考虑对整个生产线配电系统如变压器、母排、断路器型号等进行重新设计。断路器整定电流可按配电回路额定容量进行计算。

$$P_N = \sqrt{3}U_N I_N \cos \rho \tag{2}$$

$$I_{set} = KI_N \tag{3}$$

式(2)(3)中, P_N 为配电回路额定容量; U_N 为配电回路额定电压; I_N 为配电回路额定电流; $\cos \rho$ 为配电回路功率因素; I_{set} 为断路器长延时过电流脱扣器动作值; K 为整定系数。

在 F10 线中, 一级配电柜载荷情况如表 4 所示。实际负载电流原则上不能超过一级配电断路器的额定电流, 即整定电流的 80%。同时, 增加大漏板导致的配电增量应在配电额定容量范围内。当大漏板增加容量导致实际载流量超过整定电流的 80%时, 一级配电断路器将脱扣跳闸, 引发整个一级配电回路的跳闸, 造成窑炉助燃风机、工艺水泵房等用电设施的停电, 使生产事故进一步扩大化。

Table 4. Load situation of primary distribution cabinet

表 4. 一级配电柜载荷情况

配电回路	额定容量(KVA)	已用容量(KVA)	整定电流(A)	实际电流(A)	实际电流占比%
1B	2500	1825	4000	3152	75
2B	2500	1121	4000	1919	50
3B	2500	1688	4000	3137	75
4B	2500	1558	4000	2670	62

注: 整定电流是根据电路、电网承受能力计算出的值, 为断路器脱扣跳闸电流。

在配电回路容量及整定电流允许范围内, 可对大漏板进行增设。由表 4 知, F10 线一级配电载荷均在安全范围内, 其中 2B、4B 回路存在增设容量的空间, 预计可增设容量 1300 KVA。

3.4. 二级配电柜载荷分析

漏板二级配电应考虑二级断路器电气特性、一二级配电连接线缆特性, 及现场监视仪表特性。其中, 二级断路器整定电流可参照公式(2)(3)设定。对于连接线缆, 既要考虑其允许承载电流, 又要考虑其运行温度。线缆的允许承载电流可根据实际线缆选型进行查表得到。现场监视仪表如电流表主要用于日常巡检, 为工艺人员提供工艺数据, 因此仪表实际值应便于工艺人员观察, 符合仪表使用规范。

在 F10 线中, 漏板二级配电一共涉及 8 个区, 16 个二级配电柜。每个配电柜原则上带 9 块漏板。二级配电柜载荷及运行情况截取部分如下表 5 所示。

由表 5 知: 随着区域漏板总功率的增加, 实际载流量也在增加, 从而导致带载动力线缆的温度上升。按二级断路器 I_u 、 I_{th} 限定值及 I 段线缆允许载流量, 101~109 二级配电柜已超载, 存在安全运行隐患, 601~609 配电柜处于监视上限值附近。若 601~609 台位更换大漏板, 将导致超载, 同样存在安全隐患。在大漏板增设需求下, 其它区域, 如: 3 区、5 区、7 区, 均存在配电超载隐患问题。101~109 配电柜实际运行电流如下图 2, 其配电线缆测温如下图 3。

Table 5. Secondary distribution load and operating conditions**表 5.** 二级配电载荷及运行情况

台位区域	总功率	A 相实际电流	B 相实际电流	C 相实际电流	线缆温度(°C)
101~109	474	540	>600	520	56.5
110~116	398	390	425	520	43.6
300~308	331	440	380	380	37.6
309~316	339	490	500	520	51.2
500~508	404	580	490	510	50.3
509~516	320	360	300	390	34.0
601~609	343	580	580	560	53.3
610~616	253	450	360	380	36.7
700~708	340	440	520	500	50.1
710~716	333	540	540	430	51.8

**Figure 2.** Operating current diagram of 101~109 distribution cabinet**图 2.** 101~109 配电柜运行电流图**Figure 3.** Temperature measurement diagram of cables in distribution cabinets 101~109**图 3.** 101~109 配电柜线缆测温图

根据仪表测量原则, 仪表指示实际值不应超过仪表满度值的三分之二。从图 2 知, 二级配电柜电流表指示值已达到满度值, 不能有效反应电流实际运行情况, 不利于配电状况的实时监控。从图 3 知, 在室外环境温度只有 7°C 的情况下, 二级配电线缆温度高达 56.5°C。线缆持续高温运行, 将加速线缆老化, 加快线缆绝缘防护油层挥发, 破坏线缆绝缘特性[12]。严重情况下, 温度聚集将引发电火灾。

3.5. 三级配电载荷

三级配电为单台漏板配电, 主要考虑三级断路器电气特性、二三级配电连接线缆特性、三级配电至漏板连接线缆特性。其中, 三级断路器整定电流可参照公式(2) (3)设定。对于连接线缆, 既要考虑其允许承载电流, 又要考虑其运行温度。线缆的允许承载电流可根据实际线缆选型进行查表得到。在 F10 产线中, 其载荷按漏板型号分析如表 6 所示。

Table 6. Third level distribution load situation

表 6. 三级配电载荷情况

漏板型号	功率(KVA)	实际电流(A)
DB1600	42	130
DB3200	49	114
DB4000	53	140
DB4800	56	149.5
SB2400	36	104
SB3200	41	115

由表 6 知, 按三级断路器 I_u 、 I_{th} 限定值及 III 段线缆允许载流量, 各型号漏板载荷均在允许范围内。当漏板载荷电流超出允许范围时, 则应考虑断路器整定电流值的重新设定, 或者对断路器进行查表更换。同时, 对应的二三级配电连接线缆、三级配电至漏板连接线缆均应按计算电流值进行查表更换。

4. 漏板配电方案综合分析

4.1. 漏板配电方案

在考虑生产需求、配电容量及安全运行的基础上, 当大漏板投用后, 可从以下三个方面进行配电方案设置。

1) 当大漏板增设容量超过一级配电容量时, 应对整个产线配电方案进行重新设计, 重点在于变压器、母排, 断路器的选型设计。该措施影响范围大, 实施成本高, 实施时间应在产线冷修或新建生产线时进行。考虑到窑炉寿命周期通常在 10~12 年, 当生产需求与配电承载能力不匹配时, 从产线安全运行角度选择, 应减少大漏板的投用数量。

2) 当大漏板增设容量在一级配电容量范围内, 但又超过二级配电容量范围时, 可对二级配电进行升级改造。该方案影响范围不大, 在综合计算增产效益及停产改造成本的基础上, 可逐步分区改造。改造点主要集中于二级配电柜的升级改造、或者增设二级配电柜。其中增设二级配电柜影响最小, 原因在于原有二级配电柜可继续运行, 避免升级改造导致的长时间停电。

3) 当大漏板增设容量仅超过三级配电容量时, 可只针对三级配电柜进行升级改造或临时跨区接入。该措施对生产影响最小, 可随时进行, 一般在大漏板实验时采用。

4.2. F10 线漏板配电案列分析

由一级配电柜载荷情况表 4 知, 一级配电满足安全运行要求。二、三级配电分析如表 7。问题主要集中于二级配电柜及一、二级配电间的连接线缆配电超载。因此, 漏板配电扩容的关键在于解决二级配电问题。

Table 7. Analysis of level 2 and level 3 distribution**表 7.** 二、三级配电分析

分级	电气件	额定电流值(A)	承载最大值(A)	结论
二级	断路器	630	640	超载
	I 段线缆(300)	450	640	严重超载
	断路器	250	250	基本满足
	II 段线缆(150)	275	250	满足
三级	空开	160	150	满足
	III 段线缆(70)	165	150	满足

二级配电超载有 2 种解决方案。

方案一：漏板配电跨区腾挪，接入异区配电柜。例如：7 区漏板总功率高，5 区漏板总功率低，则将 7 区的大漏板配电接入 5 区进行置换。此方法对大漏板少量(2~3 块)更换有效，但不能满足大漏板批量集中更换需求，且存在操作安全隐患。因为漏板配电跨区接入会导致配电标识混乱，从而引发误断电，给生产造成不必要的损失[13]。

方案二：加设配电柜。1 区、6 区分别增加 1 个二级配电柜，每个配电柜预留容量 300 KVA，预计可带 6 块 4800 孔漏板。详情见表 8：

Table 8. Distribution diversion analysis of F10 line zones 1 and 6**表 8.** F10 线 1、6 区配电分流分析

分区	分流台位	分流功率(KVA)	分流电流(A)
1 区分流配电柜	107、108、109	160	240
	312、313、314	124	188
6 区分流配电柜	601、602、603	100	150
	504、505、506	156	237

方案综合对比：方案一能够解决局部增设大漏板台位容量需求，但不能满足后续提产需求。虽不加设配电柜，但跨区配电易导致标识混乱，不易管理。方案二，分流效果明显，能够满足批量增设大漏板台位需求，符合安全运行生产需要。

4.3. F10 线降本增效分析

以 DB4800 大漏板为例，按功率 50 KVA 计算，预计可直接增设大漏板 12 块。分流后，各区累计减少容量 540 KVA，考虑安全运行因素，可再利用容量 400 KVA，可间接增设大漏板 8 块。累计可实现大漏板增设 20 台位。

5. 总结

在玻纤行业中，大漏板投用是提产增效、解除生产用地限制的重要措施。对大漏板的投用应进行综合考虑，既要考虑生产需求，又要保证配电的安全运行性能。针对不同的漏板投用容量，漏板的配电方案应作针对性选择。在 F10 线案例中，增设分流配电柜为最佳方案，方案可解决漏板二级配电超载问题，为增产创造条件，同时又保证了配电系统的安全运行。解决方案所用材料全部源于废旧物资的再利用，

累计实现价值 14 万元。综上, 漏板配电分流是对企业降本增效号召的积极响应。

基金项目

重庆市教委科学技术研究项目(KJQN202204503)。

参考文献

- [1] 梁广华. 我国推进碳中和意义及路径研究[J]. 未来与发展, 2022, 46(12): 1-6.
- [2] Udeagha, M. and Muchapondwa, E. (2023) Achieving Regional Sustainability and Carbon Neutrality Target in Brazil, Russia, India, China, and South Africa Economies: Understanding the Importance of Fiscal Decentralization, Export Diversification and Environmental Innovation. *Sustainable Development*, **31**, 2620-2635. <https://doi.org/10.1002/sd.2535>
- [3] 刘海斌. 世界风电技术发展趋势和我国未来风电发展探讨[J]. 自然科学, 2021(9): 93-93.
- [4] Liu, D., Liu, M., Xu, X., et al. (2020) Future Prospects Research on Offshore Wind Power Scale in China Based on Signal Decomposition and Extreme Learning Machine Optimized by Principal Component Analysis. *Energy Science and Engineering*, **8**, 3514-3530. <https://doi.org/10.1002/ese3.761>
- [5] 谭骥, 魏榛, 谢宇丹, 等. 我国风电行业发展及区域分布分析[C]//中国农业机械工业协会风力机械分会. 中国农业工业协会风能设备分会《风能产业》. 2015.
- [6] 杜培刚, 王玉琪. 玻璃纤维生产工艺技术优化与效益分析[J]. 当代化工研究, 2023(19): 179-181.
- [7] 马晓虎, 耿怀亮, 金英杰, 等. 铂合金玻纤漏板制造技术现状及发展趋势[J]. 贵金属, 2022, 43(3): 89-96.
- [8] 孙文华. ABB 与施耐德低压断路器选配要领[J]. 电工技术, 2002(12): 38-39.
- [9] 谷国瑞. 浅谈断路器误跳闸的常见原因[J]. 农村电工, 2021, 29(12): 42.
- [10] 肖镇铭. 化工装置中电线电缆的选择和校验研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2017(11): 3899.
- [11] 员三妮. 仪表信号电缆截面积的选择与最大敷设长度的计算[J]. 石油石化物资采购, 2023(11): 205-207.
- [12] 潘国斌. 温度对电线电缆绝缘材料机械性能的影响[J]. 电工技术, 2022(5): 183-184.
- [13] 袁钦成. 配电系统故障处理自动化技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 87-91.