

专用设备真空干燥时间分析

喻杰, 张宏驰, 李耀东

四川红华实业有限公司生产运行二部, 四川 乐山

收稿日期: 2024年10月11日; 录用日期: 2024年11月18日; 发布日期: 2024年11月27日

摘要

针对专用设备真空干燥耗时较长, 严重影响专用设备启动运行进度, 提出一种缩短专用设备真空干燥时间方法。首先对已完成的真空干燥数据进行分析, 通过数据拟合与实测数据得出专用设备单台排液量与真空干燥时间方程。通过该拟合方程, 在已知前几天排液量的情况下, 可以计算出专用设备真空干燥结束时间。通过计算出的真空干燥时间, 可以合理安排后续调试启动工作。其次结合抽空系统与现场实际情况, 改进抽空线路, 缩短专用设备真空干燥时间。

关键词

真空干燥, 单台专用设备排液量, 抽空线路

Analysis of Vacuum Drying Time for Specialized Equipment

Jie Yu, Hongchi Zhang, Yaodong Li

Production and Operation Department 2, Sichuan Honghua Industrial Co., Ltd., Leshan Sichuan

Received: Oct. 11th, 2024; accepted: Nov. 18th, 2024; published: Nov. 27th, 2024

Abstract

A method is proposed to shorten the vacuum drying time of specialized equipment, which takes a long time and seriously affects the start-up and operation progress of specialized equipment. Firstly, analyze the completed vacuum drying data and obtain the equation between the drainage volume of a dedicated equipment and the vacuum drying time through data fitting and actual measurement data. By using this fitting equation, the end time of vacuum drying for specialized equipment can be calculated based on the known discharge volume in the previous few days. By calculating the vacuum drying time, subsequent debugging and start-up work can be arranged reasonably. Secondly, by combining the evacuation system with the actual situation on site, the vacuum drying time of

specialized equipment can be shortened by improving the evacuation circuit.

Keywords

Vacuum Drying, Drainage Volume of a Single Dedicated Equipment, Evacuation Circuit

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. 引言

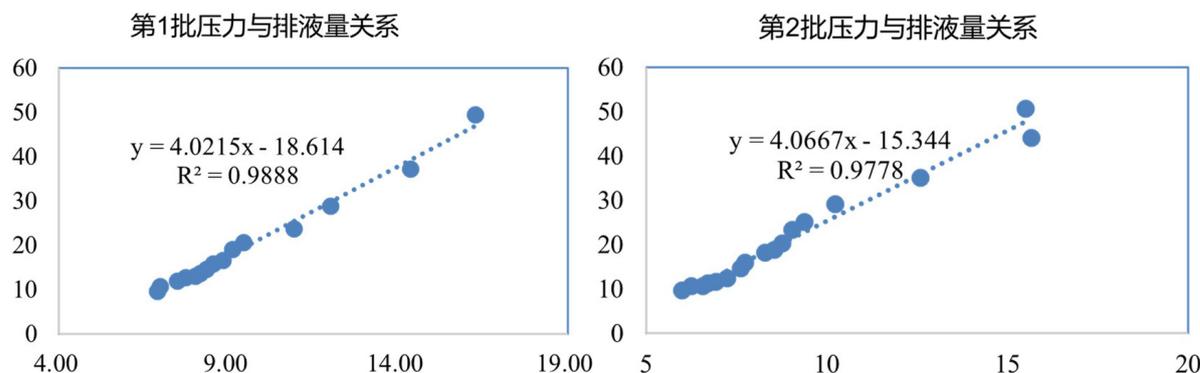
真空干燥的原理是利用真空负压条件降低水的沸点，从而在较低温度下使水分蒸发，从而排出设备中水分[1]-[3]。真空干燥将排除专用设备中大部分的水分以及其他轻杂质，在所有调试启动过程中真空干燥是耗时最长，也对后面调试启动的顺利进行起着至关重要的作用。然而实际调试过程中，由于抽空线路的问题，导致每一批预抽时间不同，其次仪器存放的时间也不同，使用的抽空系统不同并且随着时间的推移，同一套抽空装置抽空能力也不同[4][5]，因此每一批次结束时间也不同，通过真空干燥结束时间的推导计算，能更加合理地安排调试进度，达到在预期的时间节点完成调试任务。由于真空干燥耗时较长，而工程启动工期紧，因此合理安排时间和缩短真空干燥时间是调试过程中迫切需要解决的问题。

2. 建立专用设备真空干燥时间与单台排液量拟合方程

专用设备真空干燥前通过搭建封闭的塑料大棚，将专用设备封闭在其中，然后通过预热水系统将预热水通过预热水进水干管输送到专用设备的外套桶内，再经过预热水回水干管循环。专用设备真空干燥前会进行专用设备水系统排气排污，并且在水温升到 38℃ 时，对专用设备水系统进行消堵，保证预热水在专用设备系统中的畅通性。进入真空干燥计时工况要求水温 $60 \pm 1^\circ\text{C}$ ，并且压力小于 26.6 Pa。

2.1. 数据拟合

专用设备真空干燥是通过每 24 小时倒换一次抽空系统核抽空线路来收集每天的水分以及轻杂质含量。专用设备真空干燥期间主要关注的参数为每天每台专用设备的排液量和压力。根据已有的统计数据，建立压力与单台每天排液量的关系，如图 1 所示。



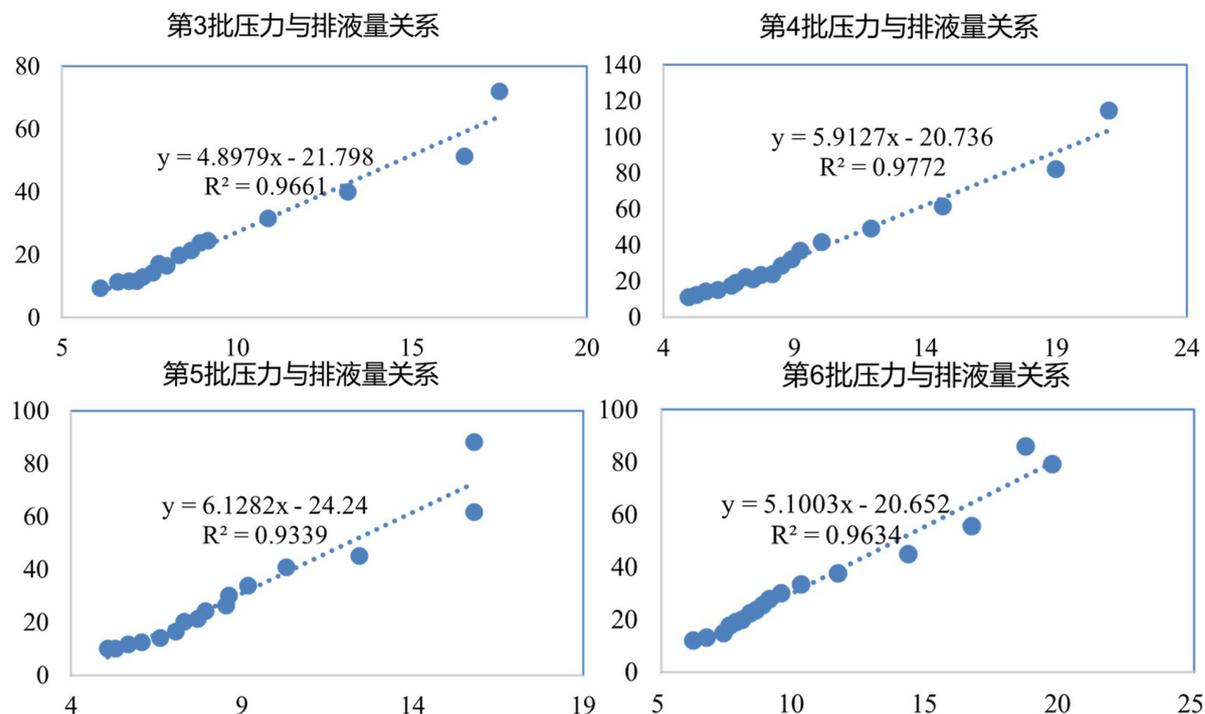


Figure 1. The relationship between pressure and drainage volume
图 1. 压力与排量关系

图 1 中横坐标为压力，单位 Pa，纵坐标为单台专用设备每天的排量，单位为 mg/24 h。由图 1 可得出单台专用设备每天的排量与压力呈线性关系。由于预抽空时间不同，进入计时工况时压力也不同，但随着排液量的减少，每一批的压力基本保持一致的下降趋势。

由于抽空线路的原因，每一批专用设备真空干燥的预抽空时间不同。第一批预抽空时间为 27 天，其中大泵 8 天，第二批预抽空时间 21 天，其中大泵 4 天，第三批预抽空 25 天，全部为小泵，第四批预抽空时间 12 天，全部为小泵，第五批预抽空时间 8 天，其中大泵 2.5 天，第六批预抽空时间 8 天，其中大泵 2.5 天。前 6 批排量数据如表 1 所示。

Table 1. Relationship between drainage volume and time of a single dedicated equipment
表 1. 单台专用设备排量与时间关系

时间/天	第一批/mg	第二批/mg	第三批/mg	第四批/mg	第五批/mg	第六批/mg
1	49.45	50.74	72.03	114.47	88.04	85.88
2	37.08	44.02	51.28	82.1	61.55	79.17
3	28.84	35.14	39.94	61.53	45.14	55.56
4	23.7	29.18	31.52	48.95	40.78	44.85
5	20.51	25.06	24.47	41.6	33.73	37.54
6	18.96	23.33	23.86	36.64	30.17	33.32
7	16.6	20.23	21.24	32.22	26.34	30.14
8	15.74	18.82	19.69	28.53	24.11	27.65
9	14.55	18.13	17.2	23.59	21.32	25.44
10	13.59	15.99	16.44	23.44	20.33	23.45
11	13.01	14.74	14.3	20.84	16.47	22.55
12	12.59	12.49	12.82	22.22	14.19	19.94

续表

13	11.91	11.66	11.67	19.01	12.41	18.93
14	10.64	11.32	11.63	17.47	11.62	17.7
15	9.52	10.61	11.38	15.15	10.13	14.89
16	8.12	10.73	9.39	14.19	10.1	13.22
17		9.63	9.34	12.3	9.45	12.07
18		8.91		11.17		11.21
19				10.3		11.1
20				9.74		10.86

由表 1 可得出单台排放量随着时间的增加逐渐降低，并且预抽空时间会影响专用设备真空干燥初始含水量。根据下降趋势选择幂指数函数、对数函数和指数函数三种函数形式进行拟合。采用幂指数函数拟合结果如图 2 所示，采用对数函数拟合结果如图 3 所示，采用指数函数拟合结果如图 4 所示。

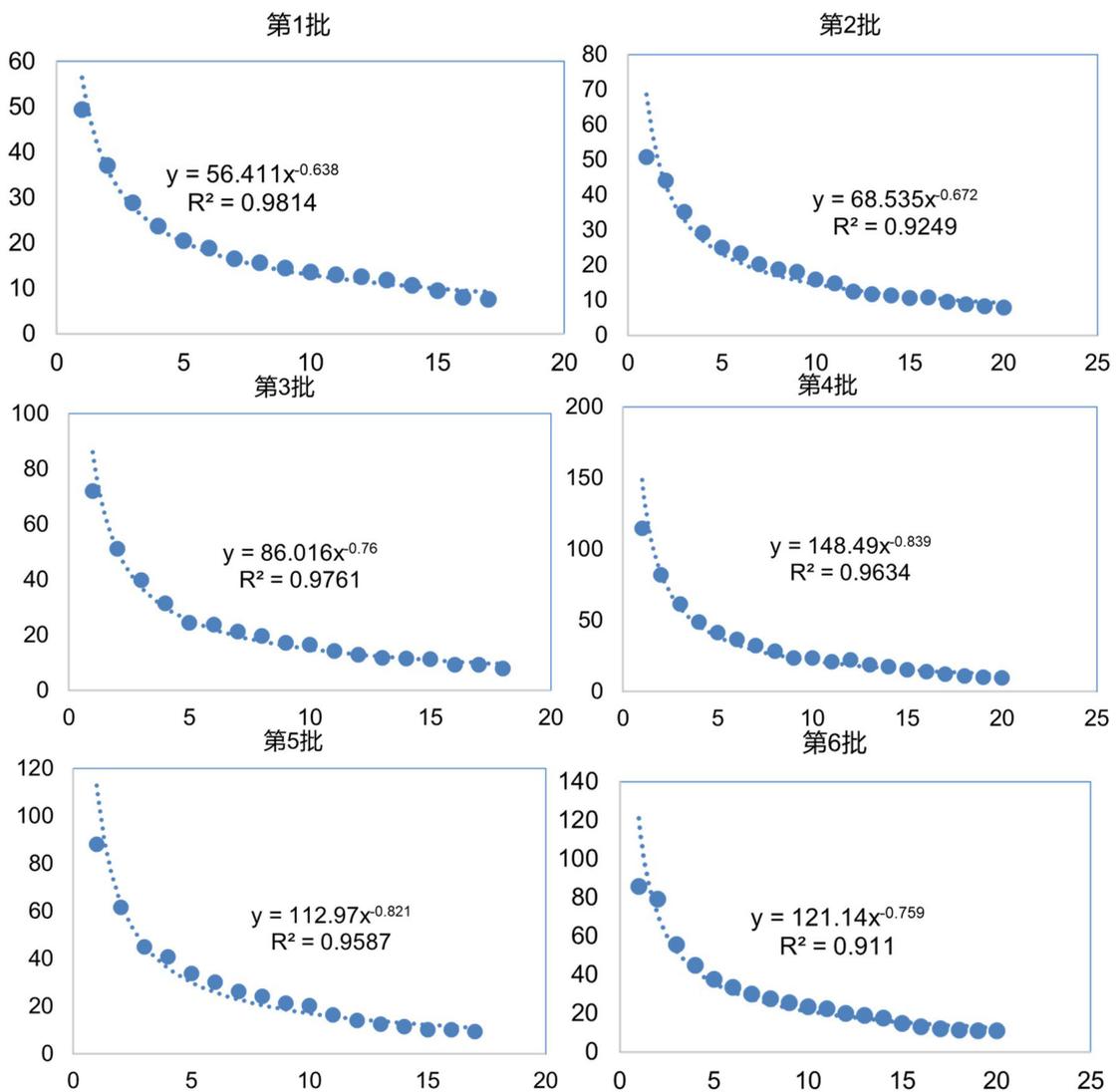


Figure 2. Power exponent fitting curve

图 2. 幂指数拟合曲线

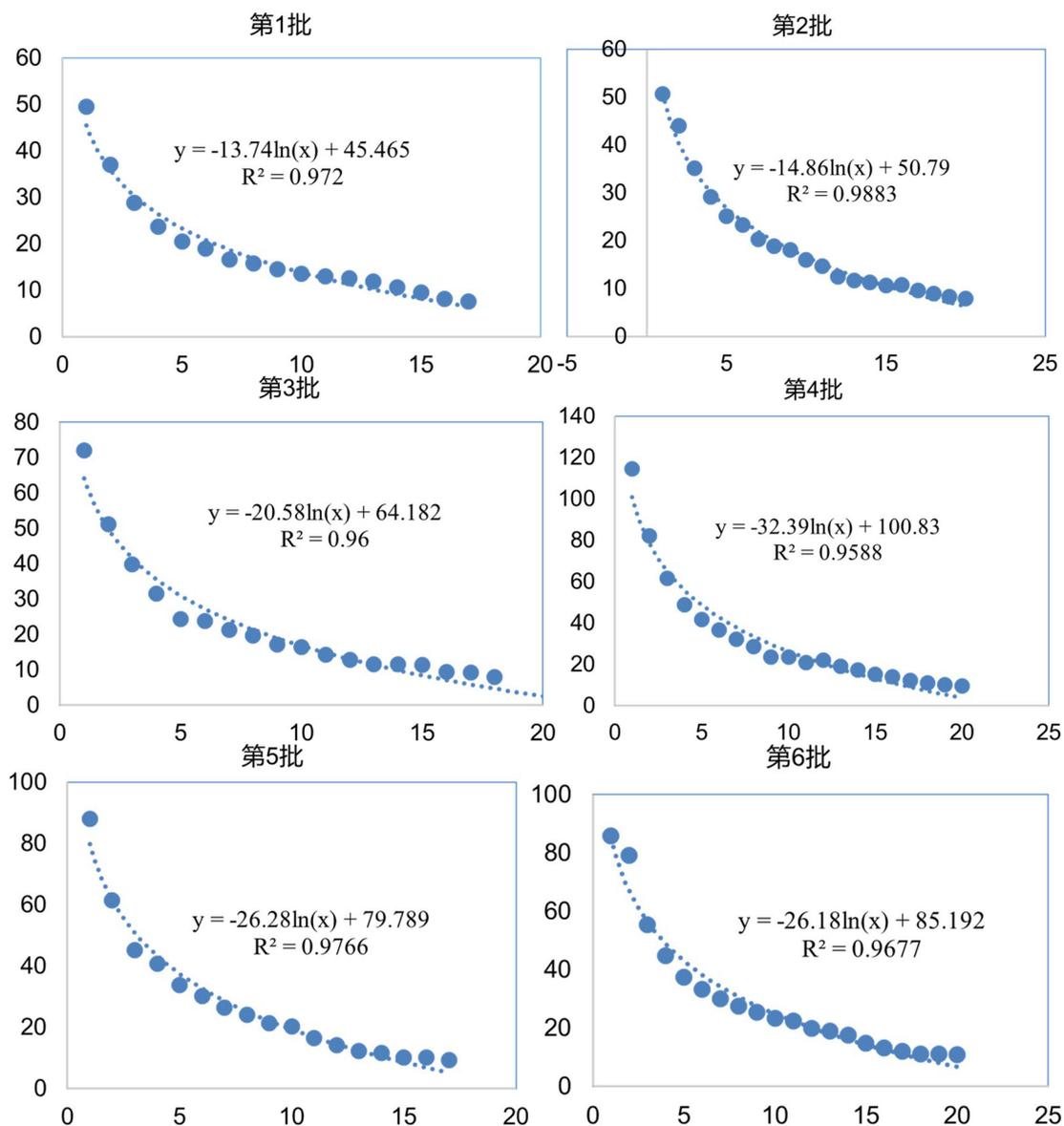
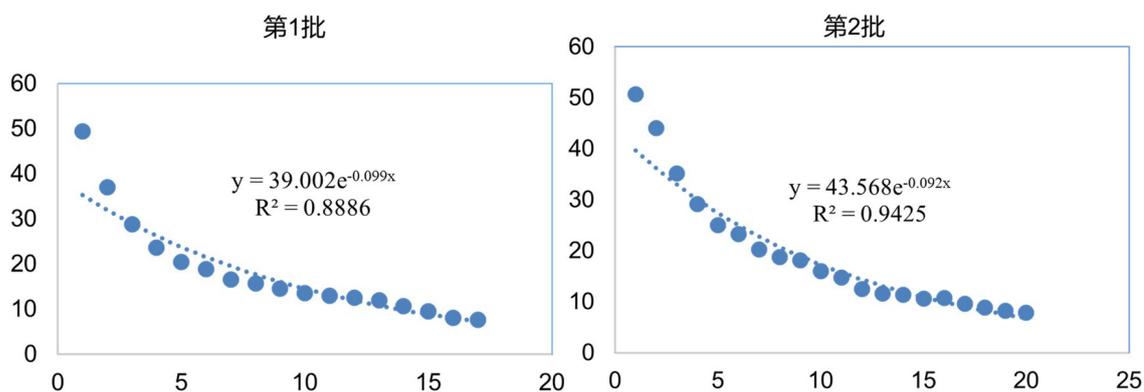


Figure 3. Logarithmic fitting curve
图3. 对数拟合曲线



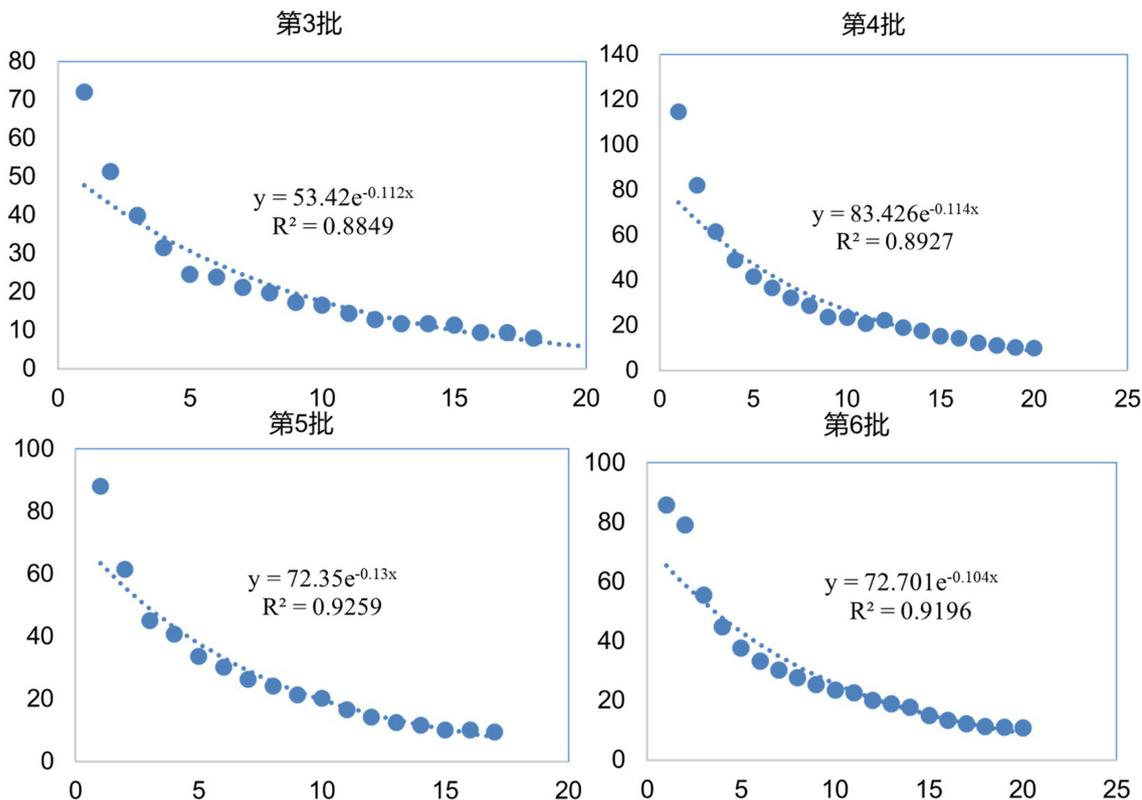


Figure 4. Exponential fitting curve
图 4. 指数拟合曲线

图 2、图 3、图 4 中 X 轴表示时间，单位为天，Y 轴表示单台专用设备每天的排液量。由图 2、图 3 可得出单台专用设备排液量与时间采用幂指数函数和对数函数拟合时， R^2 大于 0.95，而采用指数函数拟合时，效果相对较差。因此采用幂指数函数和对数函数拟合公式进行拟合与实际单台专用设备真空干燥时间进行对比。

根据公司《专用设备真空干燥规程》，专用设备真空干燥计时工况满 200 小时，单个专用设备排液量小于 10 mg/d，并且封闭测量压力不超过 1 Pa/10 min，结束真空干燥。查阅前期工程资料，实际真空干燥计时工况大于 200 个小时。因此选择前 8 天的数据作为参考，排除其中明显异常的数据，进行数据拟合。由图 2 得出单台专用设备排液量与时间的关系如式(1)所示。

$$y = a * x^b \tag{1}$$

其中 y 为单台专用设备排液量，单位为 mg/天， a 、 b 为常熟， x 为时间，单位天。

根据图 3 采用对数函数得出单台专用设备排液量与时间的关系如式(2)所示。

$$y = A \ln(x) + B \tag{2}$$

其中 y 为单台专用设备排液量，单位为 mg/天， A 、 B 为常熟， x 为时间，单位天。

2.2. 实际真空干燥时间与拟合时间

采用公式(1)和公式(2)对第 7~12 批专用设备真空干燥进行计算，并与实际单台专用设备真空干燥时间进行对比。前 8 天的排液量如表 2 所示。

Table 2. Drainage volume of a single device in the first 8 days**表 2.** 前 8 天的单台设备排液量

时间/天	第七批/mg	第八批/mg	第九批/mg	第十批/mg	第十一批/mg	第十二批/mg
1	91.92	65.21	94.01	62.05	62.83	66.9
2	75.85	51.74	48.35	49.58	47.64	71.99
3	51.11	43.44	45.03	39.55	38.62	50.91
4	39.91	34.22	36.88	31.24	33.6	44.26
5	31.78	31.24	33.04	29.22	29.79	37.2
6	27.49	27.43	27.68	26.13	28.47	33.11
7	24.13	24.17	26.25	23.74	25.7	28.13
8	22.54	22.65	24.68	21.35	22.85	25.66

根据表 2 中的数据, 采用公式(1)和公式(2)拟合结果与实际单台专用设备排液量结果如图 5 所示。

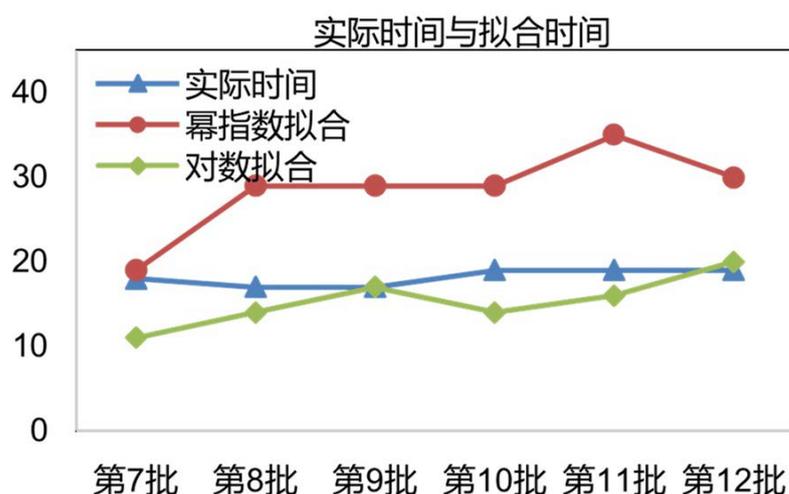
**Figure 5.** Actual time and fitting time of vacuum drying**图 5.** 真空干燥实际时间与拟合时间

图 5 中横坐标为专用设备真空干燥的批次, 横坐标为真空干燥的时间, 单位为天。由图 5 可得出采用对数拟合结果与实际时间基本一致, 第 7 批拟合时间与实际时间相差较大, 主要由于从第 7 天开始到结束与前 6 天的抽空装置不同。而采用幂指数函数拟合结果相差较大, 主要由于采用幂指数函数时, 需要采用更多的数据拟合结果才更准确。

因此得出专用设备真空干燥单台专用设备排液量与时间呈对数衰减, 由式(2)可得出 B 越小, 也就是专用设备中初始含水量, 并且 A 值越大, 则真空干燥时间越短。 A 主要由真空干燥真空泵的抽空能力和该批次的专用设备数量决定。而 B 则主要与预抽空时间以及预抽空泵的抽空能力相关。但抽空系统在工程启动时已经确定, 抽空能力也确定了(在抽空系统不出现故障时)。并且工期较紧, 越到后期越无法保证预抽空时间。因此为了缩短工期, 还得采用其他办法。

3. 抽空系统改进

目前抽空系统主要由三套装置组成, 结构如图 6 所示。抽空干管 1 用 CK1 表示, 抽空干管 2 用 CK2 表示。抽空系统有三套, 分别为 A、B、C, 其中 B 套可以预两个抽空干管相连, 而 A 和 C 分别只与其中一个抽空干管相连。并且抽空系统放置在所有专用设备的中间位置。

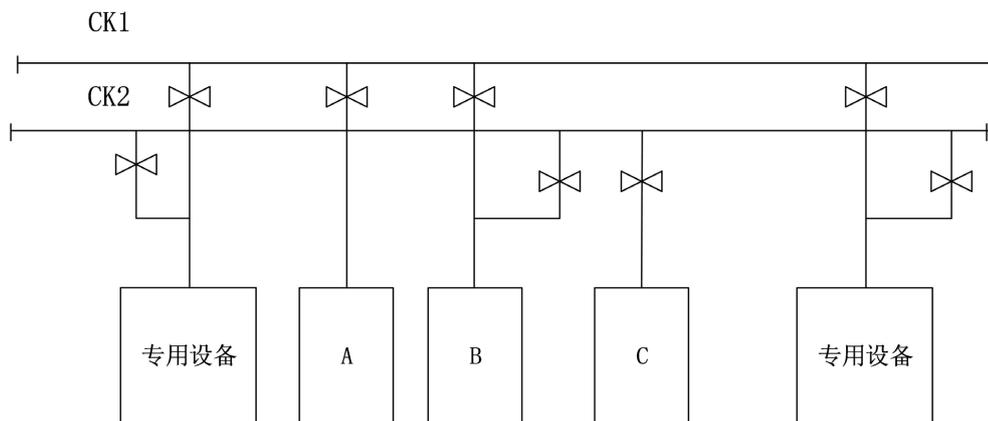


Figure 6. Original evacuation system
图 6. 原有抽空系统

图 6 中真空干管两端采用盲板截断。若按顺序进行分批次的专用设备真空干燥，采用原有抽空系统完全可以满足要求，但工期较长，按每批次 15 天，若共进行 12 次的真空干燥，则需要 180 天，而真空干燥完成后还需要进行其他调试程序，则无法在规定的时间内完成专用设备的全部投运。

结合抽空系统只在专用设备启动过程中使用，后期抽空系统的真空泵一直在进行维护，并且工程现场产品端和废料端都有空余的场地，因此考虑将前一期使用后停用但一直维护的抽空系统借用到工程中。对原有的抽空系统进行改进，改进后的系统如图 7 所示。

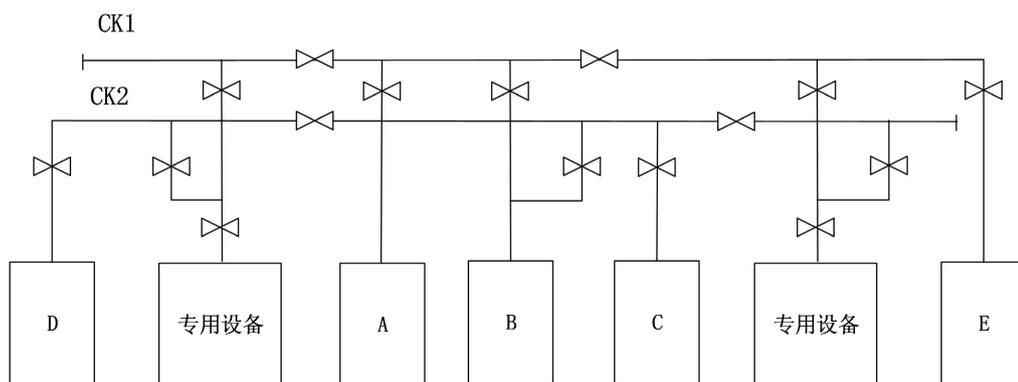


Figure 7. Improved evacuation system
图 7. 改进后的抽空系统

图 7 中分别在抽空干管 CK1 的废料端和抽空干管 CK2 的产品端增加了一套抽空系统，分别为 D 和 E。只增加抽空系统，抽空干管不改进依然不能缩短抽空时间。因此将抽空干管中间增加截断阀，由于 A、B、C 三套抽空系统在中间，因此在 A、B、C 三套抽空系统两端增加截断阀。这样可以将抽空干管截断成 4 根抽空干管。这样就可以从中间将工程分为两部分，两边可以同时进行抽空，并且若有一套系统出现问题时，B 套系统可以切换干管使用。

4. 结论

数据拟合得出专用设备真空干燥压力与排液量呈线性关系，时间与排液量呈对数关系。知道前天的数据就可以通过对数拟合公式提前预估真空真空干燥结束时间。可以通过降低专用设备真空干燥初始含

水量和采用抽空能力更强的真空泵缩短真空干燥时间。

结合工程和单位实际情况，通过改进抽空系统来达到同时进行两批次的真空干燥，缩短工程时间。改进后的线路在进行两批次真空干燥的情况下，还可以进行一批次的抽空。在进行单次真空干燥时，还可以进行三批次的抽空，提高了抽空线路的利用率。

通过预估真空干燥时间，组织两批次专用设备组同时真空干燥，最后比预期提前两个月完成了所有专用设备的投运工作，为单位节约了时间成本，提高了经济效益。

参考文献

- [1] 王政文, 张万尧, 崔建航. 真空干燥技术研究进展与展望[J]. 化工机械, 2021, 48(3): 321-325.
- [2] 徐成海. 真空干燥技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [3] 林文字. 电力电气变压器检修技术的应用研究[J]. 家电维修, 2024(10): 80-82.
- [4] 王泽宇, 周沅桢, 羊一涛, 等. 真空回潮机抽空系统改进及过程参数优化[J]. 烟草科技, 2018, 51(10): 110-114.
- [5] 杜晨亮, 庞华贤, 安海军. 抽空系统在铀浓缩厂中的应用与运行研究[J]. 工业技术, 2020, 17(1): 81+83.