

doi: 10.7690/bgzd.2025.01.015

# 基于区块链的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储方法

叶宏, 王卓瑜, 孙勇

(国网新源控股有限公司, 北京 100761)

**摘要:** 针对监测抽水蓄能电站发电电动机运行数据存在冗余问题, 致使存储数据延迟时间长, 提出基于区块链的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储方法, 通过存储数据身份验证维护存储数据安全。数据层运用数据采集平台获取抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据, 采用变更数据捕获 (change data capture, CDC) 算法消除采集数据冗余, 并通过发送终端将消冗后数据传输至分布式存储层; 分布式存储层的区块链按时间戳的顺序确定数据区块的存储顺序, 通过身份注册验证待上传的数据身份; 分布式存储数据库采用 HBase 技术对通过身份验证数据进行多维排序映射存储; 通过应用层客户端展示存储结果并提供数据共享服务。实验结果表明: 该方法的数据消冗效果较好, 可实现电动机运行监测数据存储, 且存储数据延迟时间短, 上传数据时的身份注册开销比较稳定, 可保障存储数据安全。

**关键词:** 区块链; 抽水蓄能电站; 发电电动机; 运行监测数据; CDC 算法; HBase 技术

**中图分类号:** TM769 **文献标志码:** A

## Operation Monitoring Data Storage Method of Generator Motor in Pumped Storage Power Station Based on Blockchain

Ye Hong, Wang Zhuoyu, Sun Yong

(State Grid Xinyuan Holding Co., Ltd., Beijing 100761, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of redundancy in monitoring the operation data of the generator motor of the pumped storage power station, which results in a long delay in storing the data, a blockchain-based storage method for monitoring the operation data of the generator motor of the pumped storage power station is proposed, and the security of the stored data is maintained through the authentication of the stored data. A data lay acquires operation monitor data of a generator motor of a pumped storage power station by using a data acquisition platform, eliminate that redundancy of the acquired data by using a change data capture (CDC) algorithm, and transmits the redundancy-eliminated data to a distributed storage layer through a sending terminal; The distributed storage database uses HBase technology to store the data that has passed the authentication in a multi-dimensional sorting and mapping way; the application layer client displays the storage results and provides data sharing services. The experimental results show that the data redundancy elimination effect of this method is good, the storage of motor operation monitoring data can be realized, and the storage data delay time is short, the identity registration cost is relatively stable when uploading data, and the storage data security can be guaranteed.

**Keywords:** blockchain; pumped storage power station; generator motor; operation monitoring data; CDC algorithm; HBase technology

## 0 引言

随着科技的发展, 对各个电站的电力负荷要求也逐渐提高。现有的抽水蓄能电站发电电动机功能虽已逐渐完善, 但仍存在运行安全问题, 从而造成重大电力事故<sup>[1]</sup>。以往管理员们只注重监测抽水蓄能电站发电电动机的静态数据, 忽视该电动机的运行数据, 导致抽水蓄能电站发电电动机存在安全问题。且抽水蓄能电站发电电动机常年无休止的运行, 容易出现老化情况, 导致无法正常输送电力, 影响人们的正常生活<sup>[2]</sup>; 因此, 需要实时监测抽水蓄能电站发电电动机运行数据, 避免出现运行安全问题。

抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据量较大, 除了需要较大的存储空间之外, 如何安全、高效地存储大量抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据备受人们关注<sup>[3]</sup>。

王鹤等<sup>[4]</sup>运用分布式压缩感知法得到测量的电动机运行监测数据之间的联系, 根据数据之间的联系进行压缩, 对压缩后的数据进行边缘计算, 存储至相应的数据库中, 完成电动机运行监测数据的压缩存储。张利华等<sup>[5]</sup>运用联盟链平台存储电动机运行监测数据, 在运用 Redis 数据库将每个联盟链连接, 在该联盟链上运用 Hot-stuff 共识方法, 维护数

收稿日期: 2024-07-07; 修回日期: 2024-08-09

第一作者: 叶宏(1968—), 男, 浙江人。

据存储安全。但上述 2 种方法增加存储数据的冗余度，在存储数据时的迟延时间较长，无法保证所有的数据不会被篡改。

区块链是指每个区块按照时间顺序相连的一种链式结构<sup>[6]</sup>。每个区块中都有比特币网络的交易信息，区块链具有分布式账本，可以共享数据库、可以存储或者查看各个数据。区块链可以防止各种攻击，维护数据安全、保证数据不被篡改<sup>[7]</sup>；因此，笔者提出基于区块链的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储方法，维护存储数据的安全。

## 1 发电电动机运行监测数据存储

### 1.1 基于区块链的发电机运行监测数据存储架构

笔者研究的基于区块链建立抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储架构如图 1 所示。

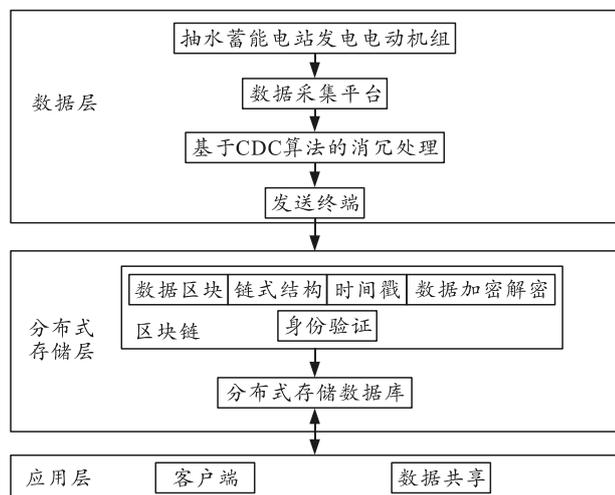


图 1 基于区块链的电动机运行监测数据存储架构

数据层：该层的数据采集平台通过监控机实时获取抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据，经变更数据捕获(CDC)算法将采集的数据进行消冗处理后，由发送终端传输处理后的数据至分布式存储层。分布式存储层包括区块链和分布式存储数据库，其中区块链按照时间戳的顺序为分布式存储数据库提供存储电动机运行监测数据区块的存储顺序，对待上传的数据进行身份验证，保障上传数据安全。分布式存储数据库采用 HBase 技术对通过身份验证的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据进行多维排序映射存储。应用层显示存储结果，为所有客户提供存储数据共享服务。

### 1.2 采集抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据

为确保抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储的存储效果，设置数据层的数据采集平台，使

其更好的完成抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据的采集，计算出该平台采集电动机运行监测数据过程中运用的监测指标  $\partial$ ，其计算式为：

$$\partial = \sqrt{H} / \lambda \times \sqrt{v} \quad (1)$$

式中： $H$  为监视的抽水蓄能电站发电电动机运行数据的标准值； $\lambda$  为测量的电动机运行监测数据标准值； $v$  为经过分析的电动机运行监测数据标准值。

通过上述监测指标辨识出相应的参数，增加采集抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据的准确性，在该电动机运行数据采集平台中输入本文中监测对象，设置抽水蓄能电站发电电动机运行时应辨别相关功率、频率等参数，设置其特征参数，最后设定采集该电动机运行监测数据的方式，撰写相应的采集指令<sup>[8]</sup>。数据采集平台通过监控机实时获取该电动机运行监测数据。

### 1.3 电动机运行监测数据消冗处理

为保证存储的每个抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据都是唯一的，不存在重复的电动机运行监测数据，降低该运行监测数据的存储空间；因此，在存储抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据之前，需要对采集的数据进行消冗处理<sup>[9]</sup>。数据层运用 CDC 算法检测采集的电动机运行监测数据中重复的监测数据，任意选择一个未存储的运行监测数据包，通过滑动窗口搜索整个数据包，该滑动窗口中抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据的指纹值用  $f(B)$  表示，其具体表达式为：

$$f(B) = B \bmod P \quad (2)$$

式中： $B$  为电动机运行监测数据的二进制串； $P$  为一个既约多项式。

若通过式(2)得到的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据指纹值符合预设条件，则此时滑动窗口位于该电动机运行监测数据块的边界。按照上述过程，搜索整个数据包，得到多个抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据块，运用哈希函数得到该数据块内电动机运行监测数据的哈希值，用  $h(x)$  表示哈希值，其表达式为：

$$h(x) = f(x)m \quad (3)$$

式中： $x$  为该电动机运行监测数据； $f(x)$  为哈希函数； $m$  为比特串长度。将抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据哈希值存储到哈希表中，将其与已经存储的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据哈希表中的哈希值进行比较，若 2 个电动机运行监测数据的指纹值和哈希值都相同，说明该抽水蓄能电站发电

电动机运行监测数据文件中是重复的监测数据<sup>[10]</sup>, 记录该重复电动机运行监测数据的特征信息为  $F$ , 其表达式为:

$$F = \langle \text{NOR}, \text{FYH} \rangle. \quad (4)$$

式中: NOR 为该电动机运行监测数据块重复的次数; FYH 为重复的电动机运行监测数据块的大小。将预设条件和重复的电动机运行监测数据信息特征进行比较, 若该数据信息特征未达到预设条件, 运用已经存储的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据包指针替代此文件。最后将不重复的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据重新归档, 等待后续存储。

### 1.4 基于区块链的电动机运行监测数据存储

#### 1.4.1 分布式存储层的电动机运行监测数据存储结构

分布式存储层利用区块链和分布式数据库共同实现抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储, 分布式存储层结构如图 2 所示。

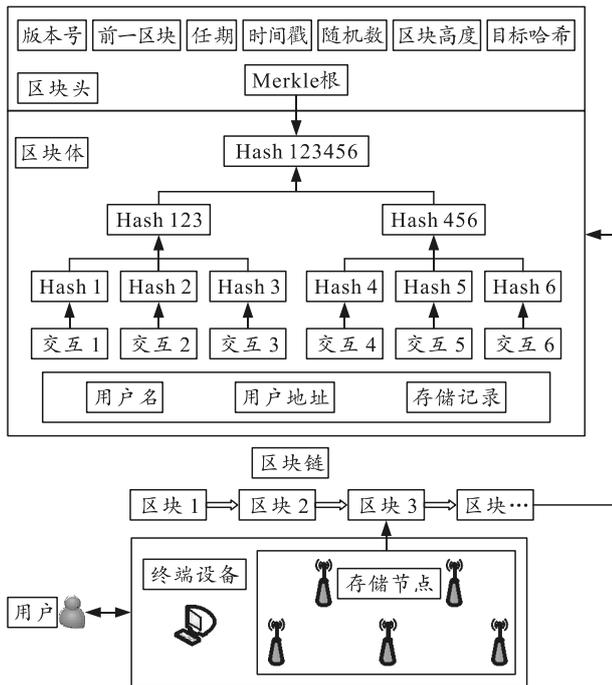


图 2 分布式存储层结构

分布式存储层包括区块链和分布式存储数据库, 分布式存储数据库为区块链提供存储空间, 区块链为分布式存储网络提供安全防护。用户向终端设备发送抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储请求, 终端设备接受该请求后将其传输至各个存储节点, 在区块链中记录整个存储过程<sup>[11-12]</sup>。

分布式存储数据库只在区块体中存储用户名、IP 地址以及存储记录, 运用 HBase 技术将消冗处理

后的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据脱链存储在终端设备的存储节点中, 并在存储该电动机运行监测数据时对待上传至区块链进行存储的数据进行身份验证。

数据存储的步骤如下:

1) 用户向终端设备发送存储抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据请求, 从终端设备中选取一个存储节点存储该电动机运行监测数据, 在固定时间内用户发送的存储请求均由该存储节点接收。

2) 终端设备的存储节点接收存储请求后向用户回复存储响应以及提供存储该电动机运行监测数据的服务序号, 用户接收到存储响应并表示确认后, 终端设备的存储节点开始存储抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据。

3) 终端设备存储节点存储完毕后, 将存储记录上链至区块中, 区块链的每个区块包括区块头和区块体<sup>[13]</sup>。

#### 1.4.2 数据安全存储工作机制

经过消冗处理后的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据, 若想存储在终端设备的存储节点中, 需保证存储数据自身具备安全性; 为此, 需要对待上传的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据进行身份验证后才能存储, 通过数据上传、数据验证、数据存储 3 个步骤实现抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据的安全存储。

##### 1) 数据上传。

采集并经过消冗处理后的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据想要作为数据上传节点加入区块链节点网络中, 需要注册身份获得假名集合及证书。假名集合及证书用  $(DK, PK_{C_{ij}}, SK_{C_{ij}}, Cert_{C_{ij}})$  表示, 主要用于加密抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据<sup>[14]</sup>。其中区块链中  $i$  区域的第  $j$  个数据上传节点为  $C_{ij}$ , 该节点的加密密钥为  $DK$ 、实体公钥为  $PK_{C_{ij}}$ 、私钥为  $SK_{C_{ij}}$ , 节点中心为  $Cert_{C_{ij}}$ 。 $C_{ij}$  运用加密密钥  $DK$  加密待提交的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据  $Data_{C_{ij}}$ , 然后用私钥对已加密的电动机运行监测数据  $Data_{E_{C_{ij}}}$  进行签名, 最后运用密钥加密该电动机运行监测数据的存储记录, 获取存储该电动机运行监测数据请求  $Request$ , 数据上传节点将存储请求传送至节点组中的数据采集主基站  $C_{i1}$  中, 其具体过程如下:

$$\text{Request}_{(C_{ij} \rightarrow C_{ij})} = E_{\text{DK}}(\text{Data}_{E_{C_{ij}}} \parallel \text{Cert}_{C_{ij}} \parallel \text{PK}_{C_{ij}} \parallel \text{Sig}_{\text{Sign}_{C_{ij}}} \parallel \text{timestamp}); \quad (5)$$

$$\text{Data}_{E_{C_{ij}}} = E_{\text{DK}}(\text{Data}_{E_{C_{ij}}} \parallel \text{timestamp}); \quad (6)$$

$$\text{Sig}_{\text{Sign}_{C_{ij}}} = \text{Sign}_{\text{sk}_{C_{ij}}}(\text{Data}_{E_{C_{ij}}}). \quad (7)$$

式中： $E_{\text{DK}}(\cdot)$ 为密钥的加密信息； $\text{Data}_{C_{ij}}$ 为数据上传节点  $C_{ij}$  包含的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据；时间戳为  $\text{timestamp}$ ； $\text{Sign}_{\text{sk}_{C_{ij}}}(\cdot)$ 为运用传数据上传节点的私钥对已加密的发电机运行监测数据  $\text{Data}_{E_{C_{ij}}}$  进行哈希运算后的签名数据。

### 2) 数据验证。

数据采集主数据基站  $C_{il}$  接收到传感器节点上传的电动机运行监测数据  $\text{Request}$  后进行验证， $C_{il}$  运用密钥解密该  $\text{Request}$  并提取出  $\text{Request}$  中的  $\text{Cert}$  字段，运用该字段验证电动机运行监测数据的身份信息<sup>[15]</sup>，判断该数据是否来自数据上传节点。该电动机运行监测数据通过身份验证后，提取其数字签名，再运用公钥解密该数字签名，还原出哈希值，计算出已经加密的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据的哈希值。通过上述流程获取的哈希值与数据上传节点发送的已解密的数字签名的哈希值相比，若两者的哈希值相同，则说明该电动机运行监测数据通过验证；若两者的哈希值不同，则说明该数据没通过验证，忽略不计。

运用密钥解密  $\text{Request}$  的具体过程用  $\text{DK}(\text{Request})$ 表示，其表达式如下：

$$\text{DK}(\text{Request}) = (\text{Data} \parallel \text{Cert} \parallel \text{Sig} \parallel \text{timestamp})。 \quad (8)$$

运用公钥解密数字签名的过程为  $D_{\text{PK}_{C_{ij}}}(\text{Sig})$ ，其表达式如下：

$$D_{\text{PK}_{C_{ij}}}(\text{Sig}) = \text{Hash}(\text{Data})。 \quad (9)$$

### 3) 数据存储。

将通过身份验证的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储到分布式存储数据库中，由于存储该电动机运行监测数据需要大量的存储空间。因此，运用 HBase 技术存储抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据。首先建立一个 HBase 多维排序映射表，其逻辑关系如表 1 所示。抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据分为功率、电流、电压、转数 4 种数据；因此，多维排序映射表中有 4 个行键，4 种行键分别对应上述 4 种电动机运行监测数据。时间戳表示不同时间段得到的电动机运行监测数据，按照

时间戳将抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据进行排序。该映射表均有 8 个列族和列键，两者之间的映射属性和关系属性分别为  $Z$  和  $V$ 。将抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据映射到多维排序映射表中，按照数据属性进行分类。

表 1 HBase 多维排序映射表逻辑关系

行键	时间戳	列族	列键
1	$t_1$	$Z_{1:1}$	$Z_{1:2}$
	$t_2$	$Z_{2:1}$	$Z_{2:2}$
2	$t_3$	$Z_{3:1}$	$Z_{3:2}$
	$t_4$	$Z_{4:1}$	$Z_{4:2}$
3	$t_5$	$V_{1:1}$	$V_{1:2}$
	$t_6$	$V_{2:1}$	$V_{2:2}$
4	$t_7$	$V_{3:1}$	$V_{3:2}$
	$t_8$	$V_{4:1}$	$V_{4:2}$

将分类后的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据上传至终端设备的存储节点，该存储节点的存储空间有限，为合理运用存储节点空间，合理分配该存储节点资源。存储抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据应符合下列条件：

$$W_a + W_d + W_n + W_u = 1。 \quad (10)$$

式中： $W_a$ 为符合抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储空间维数； $W_d$ 和  $W_n$ 分别为存储该运行监测数据的时长以及损耗的资源； $W_u$ 为未存储的发电机运行监测数据包数量。

$W_u$ 个未存储的发电机运行监测数据包用  $G$ 表示，其表达式为：

$$G = g[J_1, J_2, \dots, J_u]。 \quad (11)$$

式中： $g$ 为独立的行向量； $J$ 为抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据源。

设  $g$ 为独立取值，则  $g$ 元素界定分布  $\beta$ 为：

$$\beta(g = \gamma) = \begin{cases} a \ln k / k, & \gamma = 1 \\ 1 - a \ln k / k, & \gamma = 0 \end{cases}。 \quad (12)$$

式中： $\gamma$ 为 2 个存储节点间的距离； $k$ 为存储节点的总概率； $a \ln k$ 为该储存节点是抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储节点的概率。通过式(12)界定存储节点的分布，得到各个节点的存储概率，存储节点根据存储概率由大到小的顺序排列，先将抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据传送至第 1 个节点，直到该存储节点空间已满，在将其余的电动机运行检测数据输送到下一个节点，按照此顺序，直到存储完全部的发电电动机运行监测数据，实现抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储。

## 2 实验分析

笔者以某市抽水蓄能电站发电电动机作为本次实验对象，该市电动机运行监测数据包共计 6 000 个，

数据总量可达 24.31 CB，存储该数据的存储节点有 10 个。从 6 000 个数据包中随机选取 5 个电动机运行监测数据包作为实验数据，5 个电动机运行监测数据包分别用  $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $Y_4$ 、 $Y_5$  表示，这 5 个数据包中分别包含 2 000、4 000、6 000、8 000、10 000 条抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据。

首先分析文中方法运用 CDC 算法的数据压缩率，设定压缩率阈值为 9%，压缩率越小说明 CDC 算法的消冗效果越好。以数据量最少的  $Y_1$  和数据量最多的  $Y_5$  为例，运用 CDC 算法进行压缩，压缩结果如图 3 所示。

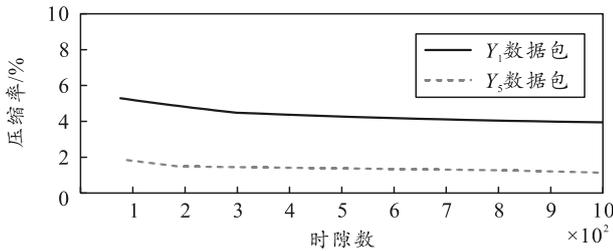


图 3 文中方法消冗效果

分析上图可知：文中方法运用 CDC 算法对  $Y_1$ 、 $Y_5$  电动机运行监测数据包的压缩率均不超过 9%。虽然上述 2 个电动机运行监测数据包的数据量相差 8 000 个，但两者之间的压缩率相差不超过 4%；随着时隙的增加，2 组电动机运行监测数据包的压缩率下降约 1%。实验结果证明：文中方法运用 CDC 算法处理抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据的消冗效果较好，避免重复的电动机运行监测数据占用存储空间。

以数据量较多的  $Y_3$ 、 $Y_4$ 、 $Y_5$  电动机运行监测数据包为例，验证文中方法上传该电动机运行监测数据包过程中身份注册开销，将 3 组电动机运行监测数据包平均分 4 次上传，统计电动机运行监测数据上传过程中的数据身份注册开销，统计结果如图 4 所示。

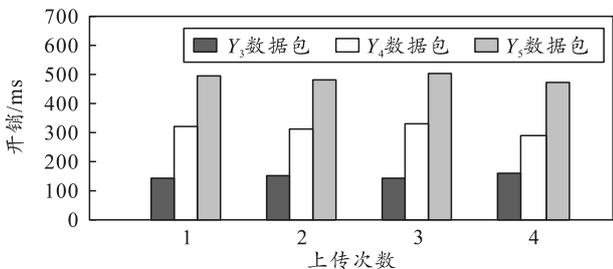


图 4 身份注册开销

分析上图可知：文中方法上传  $Y_3$ 、 $Y_4$ 、 $Y_5$  抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据包过程中，3 组电动机运行监测数据包每次上传数据的身份注册开

销较为接近。其中， $Y_3$  电动机运行监测数据包的身份注册开销平均值约为 151.51 ms， $Y_4$  和  $Y_5$  电动机运行监测数据包的加密开销平均值分别约为 304.25 和 489.25 ms；由于  $Y_5$  电动机运行监测数据包中数据量大于其他 2 组数据包，因此  $Y_5$  数据包的身份注册开销比  $Y_3$ 、 $Y_4$  的身份注册开销高。实验结果证明：文中方法上传抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据包的过程中，对于每次上传数据包的身份注册开销较为稳定，且上传的数据量越多，其身份注册开销越大，但上传包含 10 000 条抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据的数据包  $Y_5$  时的身份注册开销也未超过 500 ms，数据上传过程中的身份注册开销较小。

延迟时间是评价文中方法存储效果的重要指标，当终端设备数量分别为 300、500、700 时，文中方法存储 5 个电动机运行监测数据包的延迟时间结果如图 5 所示。

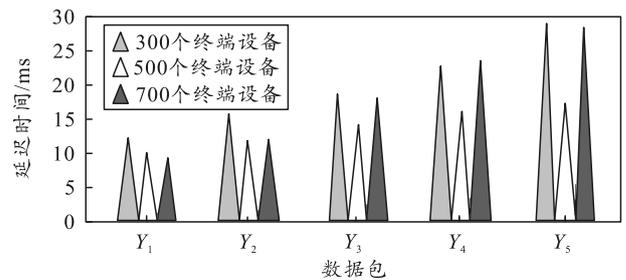


图 5 终端设备数量不同时存储的延迟时间

分析上图可知：在不同终端设备数据量下，随着数据包规模的增加，文中方法存储抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据包的延迟时间逐渐增加。文中方法在存储  $Y_1$ 、 $Y_2$  电动机运行监测数据包时，500 个终端设备和 700 个终端设备存储数据包的延迟时间几乎一致；当存储数据量更多的  $Y_3$ 、 $Y_4$  和  $Y_5$  电动机运行监测数据包时，500 个终端设备存储这 3 个数据包的延迟时间最短；由此可知，终端设备数量超过一定个数时，增加存储抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据的延迟时间，降低存储效率，浪费存储资源。实验结果证明：运用文中方法存储抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据时，应当选择 500 个终端设备，其存储该电动机运行监测数据延迟时间最短，其存储效果最好。

为验证本文中方法存储数据的安全性能，选用 5 台电脑进行抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储，并将重放攻击、消息篡改攻击、冒名攻击、数据泄露攻击和抵赖攻击 5 种行为对存储后的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据进行攻击，并分

析文献[4]方法、文献[5]方法以及文中方法的存储数据的安全性，实验结果如图 6 所示。

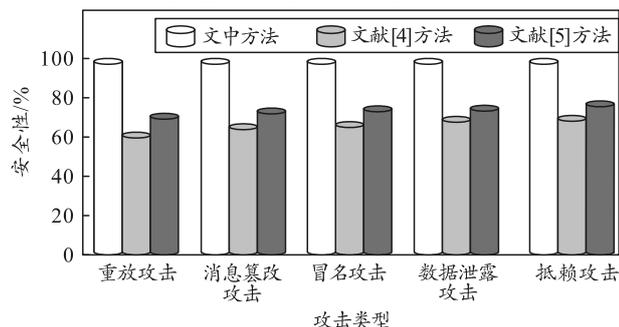


图 6 文中方法存储数据的安全性

分析上图可知：文中方法能 100% 防御上述 5 种攻击，保护抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据不被篡改，而文献[4]方法能 70% 防御 5 种攻击，文献[5]方法能 80% 防御 5 种攻击。实验说明，文中方法安全性能较好。

运用文中方法存储抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据，验证文中方法的实用性，并通过该市运行数据管理系统呈现本次抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储结果，如图 7 所示。

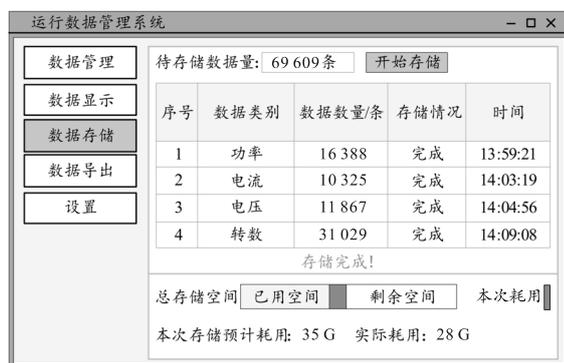


图 7 存储结果

分析上图可知：运用文中方法能够将 69 609 条抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据划分至相应的类别中，在 10 min 之内便能存储完所有的电动机运行监测数据，本次存储节约 7 G 的存储空间。实验结果证明：文中方法实用性较优。

### 3 结论

笔者提出基于区块链的抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据存储方法，并通过实验验证电动机运行监测数据的消冗处理效果、上传数据的身份注册开销、数据存储延迟时间、安全性以及实用性。实验结果表明：该方法运用 CDC 算法消冗处理抽水蓄能电站发电电动机运行监测数据的效果较好，去除重复的电动机运行监测数据；上传电动机运行

监测数据的身份注册开销较为稳定；终端设备数量为 500 个时，存储效果较好，节约存储资源；能够 100% 的防御各种类型的攻击，保证存储的电动机运行监测数据不被篡改，具有较高的安全性能；能够在短时间内存储所有的电动机运行监测数据，实用性较优。

### 参考文献：

- [1] 高雄, 陈伟, 周浩琪. 海南琼中抽水蓄能电站计算机监控系统[J]. 水力发电, 2019, 45(1): 77-81.
- [2] 鄢军军, 罗茜, 周铁柱. 五岳抽水蓄能电站下水库洪水调度规则研究[J]. 水力发电, 2020, 46(3): 91-93.
- [3] 孙士涛, 雷雨, 张杰, 等. 变速抽水蓄能用双馈发电电动机的无功 V 形曲线研究[J]. 电机与控制应用, 2022, 49(8): 66-72.
- [4] 王鹤, 李石强, 于华楠, 等. 基于分布式压缩感知和边缘计算的配电网电能质量数据压缩存储方法[J]. 电工技术学报, 2020, 35(21): 4553-4564.
- [5] 张利华, 张赣哲, 曹宇, 等. 基于联盟链的泛在电力物联网数据存储方案[J]. 计算机工程与设计, 2022, 43(9): 2415-2422.
- [6] 余斌, 李晓风, 赵赫. 基于区块链存储扩展的结构化数据管理方法[J]. 北京理工大学学报, 2019, 39(11): 1160-1166.
- [7] 赵丙镇, 陈智雨, 闫龙川, 等. 基于区块链架构的电力业务交易数据隐私保护[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(17): 20-26.
- [8] 李俊楠, 李伟, 李会君, 等. 基于大数据云平台的电力能源大数据采集与应用研究[J]. 电测与仪表, 2019, 56(12): 104-109.
- [9] 陈君宝, 李捷, 刘永, 等. 基于数据采集卡的瞬时转速测量方法研究[J]. 机床与液压, 2020, 48(13): 26-29.
- [10] 武球, 樊海红. 移动终端冗余运营数据迭代消除仿真研究[J]. 计算机仿真, 2019, 36(7): 445-448, 458.
- [11] 冯蕴雯, 刘奎剑, 薛小锋, 等. 基于 Markov 过程的冗余系统备件与冗余度联合优化[J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(4): 921-930.
- [12] 宋智, 徐晓莉, 张常亮, 等. 应用分布式存储技术优化省级 CIMISS 数据服务能力[J]. 气象科技, 2019, 47(3): 433-438.
- [13] 卢继哲, 阿辽沙·叶, 刘宣, 等. 基于区块链技术的分布式电能计量数据采集及安全机制研究[J]. 电测与仪表, 2021, 58(6): 13-20.
- [14] 田有亮, 杨科迪, 王缙, 等. 基于属性加密的区块链数据溯源算法[J]. 通信学报, 2019, 40(11): 101-111.
- [15] 郑东, 朱天泽, 郭瑞. 基于区块链的多用户环境中公钥可搜索加密方案[J]. 通信学报, 2021, 42(10): 140-152.