

作品名称：

黑启动对于灾后经济恢复的影响研究  
—基于 2005 年海南省电力系统崩溃的实证分析

作品类别：学术论文类

作者团队：

王越（上海理工大学管理学院本科二年级）

贺传晖（上海理工大学能源与动力学院本科二年级）

指导教师：魏文栋（上海理工大学管理学院）

# 黑启动对于灾后经济恢复的影响研究—基于 2005 年海南省电力系统崩溃的实证分析

**摘要：**能源经济时代的高速发展催生了社会对于电力系统的高度依赖性，然而非线性、动态化的电网结构决定了其脆弱性的特点，因此对于电力系统受损后恢复方案的探讨具有十分重要的意义。本文以 2005 年海南省遭遇“达维”台风后第一次进行黑启动为例，利用非正常投入产出模型，通过对各产业部门间接经济损失的分析，对比无黑启动下的间接经济损失假设，量化探讨黑启动对于灾后经济恢复的影响。结果显示，黑启动下的电力负荷恢复速度呈现急速增长趋势，对应的每日间接经济损失占比大幅度下降，损失多集中在第二产业区域，电力事故对于第一与第三产业部门的影响相对较小。黑启动方案无论是在恢复过程的安全性还是在控制损失的经济性上都体现出显著的可取性。

**关键词：**海南；“达维”台风；黑启动；非正常投入产出模型；间接经济损失

## 1 引言

2005 年 9 月 26 日清晨 1 时左右，第 18 号台风“达维”在海南登陆。作为自 1973 年“7314 号强台风”之后海南遭受的最强烈台风，“达维”风力强劲，波及范围广泛，持续时间长久，其强度之大导致部分电厂连续跳机解列，最终引发了海南电网的全面崩溃，自此，海南进入了全“黑”状态。面对如此重大电力受灾情况，海南电网首次启用黑启动方案，这也是中国迄今为止第一次进行黑启动操作。方案发布后，系统通过具有自启动能力的机组启动以及外来电源的使用，带动无自启动能力的机组重启，电力系统恢复范围逐渐增大，最终实现了整个电力系统的恢复。

对于电力的高度依赖性是社会快速发展的特点之一，大容量机组、长距离输送线路，复杂多变的电力系统工程给电力安全稳定运行带来了众多的挑战。此外，局部小电网问题的处理不当也有可能形成连锁反应波及广大电力系统，从而形成电力系统崩溃的局面。而所谓黑启动就是指整个系统因故障停运后，不依赖于别的网络支持，而通过系统中具有自启动功能的机组运行，带动无自启动的机组恢复，以点带面式实现整个系统的恢复。1978 年法国巴黎大停电，由于采取了适时有效的黑启动方案，几个小时内电力问题得到了解决并基本恢复至正常水平，及时遏止了由于“全黑”导致的直接与间接经济损失<sup>[1]</sup>。与此相反的是 1999 年的台湾地区大面

积停电事件，自始至终并未采取任何黑启动措施，导致一周时间还未完全恢复。由此可见，黑启动作为电力系统安全运行的保障之一，在电力系统瘫痪重启领域发挥着举足轻重的作用。

黑启动问题自 20 世纪 80 年代被美国学者提出起，引发了国内学者以及各地区电网的广泛关注。我国国家科技部在 1998 年正式引入这一概念，将电力恢复方案作为科研项目的子课题之一<sup>[2]</sup>，我国黑启动研究自此拉开序幕。近年来，黑启动问题逐渐成为对于电网安全性考核的一项重要指标，各电网纷纷将目光转移到黑启动上来，逐步加大了对于黑启动项目的投资，制定了一系列切实有效的黑启动方案，各地区积极组织黑启动项目演练，在不断调整完善中提升电网的安全性能。如今，能源结构不断丰富完整且呈现出多样化趋势，新能源发电占比越来越大，复杂多变的电力系统工程为黑启动项目的应用提供了广阔的发展前景与无限的发展动力，为电力系统安全提供了崭新的思考方向。

对于黑启动问题，不少学者也进行了相关的研究与讨论。如高远望等（2004）对黑启动方案的生成做出了一系列研究，并且在黑启动决策支持系统下开发了黑启动方案的自动生成与评估系统<sup>[3]</sup>；刘艳等（2006）提出了一种基于数据包络分析模型的黑启动方案，并对其进行了相应评估<sup>[4]</sup>；林济铿等（2012）提出了基于熵权模糊综合评价模型的电力系统黑启动方案评价方法，从而对黑启动方案进行了有效评估与排序<sup>[5]</sup>。然而，现阶段对于黑启动问题的讨论都是有关黑启动理论与布局，又或是致力于对于方案评估排序，至今未有人从定量的角度对于黑启动的经济效应做出相应的研究与讨论。

经济部门产业变动对于整体经济的影响研究，现在主要有数据回归法和投入产出法两种类型。如王瑛（2008）运用 Eviews5.0 统计软件具体分析了包括电力在内的中国可再生能源消费与实际 GDP 之间的协整关系和 Granger 因果关系<sup>[6]</sup>；赵文会等（2013）利用自回归分布滞后模型(ARDL)和基于误差修正模型的 Granger 因果关系检验方法,对我国风电发展与经济增长的关系进行了验证和分析<sup>[7]</sup>；王维军等（2013）结合数据序列稳定性检验、协整分析理论及 Granger 因果关系检验基本原理分析了我国煤电产业发展与经济增长之间的协调关系<sup>[8]</sup>。数据回归分析是通过历史数据的回归研究电力与经济发展的因果关系，具体的电力和经济间的机制并不清晰。而投入产出法能够从经济结构上研究某个部门对整体经济的综合影响，如吴先华等（2016）利用 ITIM 模型评估了 2012 年中日"钓鱼岛事件"对于产业经济带来的经济损失，并筛选出对此较为敏感的产业<sup>[9]</sup>；魏本勇等（2016）利用投入产出分析法对汶川地震造成的部门产业关联间接经济损失进行了初步分析<sup>[10]</sup>；Iñaki Arto 等（2015）通过投入产出法分析了 2011 年 3 月日本地震以及随之而来的海啸和核危机，对于汽车行业造成的破坏在全球范围内的经济影响<sup>[11]</sup>；Yang Xia 等

（2019）结合投入产出模型和假设提取法，针对 2015 年英国约克的“圣诞节”洪水灾害对于 IT 服务业的完全摧毁情况，评估了其对整体经济的综合损失<sup>[12]</sup>。为了综合测定 2005 年海南黑启动对海南整体经济的影响，本文选择应用非正常投入产出模型对经济损失进行评估。

本文以 2005 年海南省第一次黑启动为例，结合非正常投入产出模型，量化讨论了此次电力灾害对于 42 部门的间接经济损失，并与假设完全不采取黑启动方案下的间接经济损失作对照，由此深入探讨黑启动对于经济恢复的作用。

## 2 研究方法数据来源

在本文中，我们使用非正常投入产出方法来估计电力崩溃的总体经济影响。之所以选择非正常投入产出方法，是因为它能够捕获崩溃的电力部门的供应链上游和下游经济部门的相互依赖性。图 2.1 显示了本文的主要研究思路，从“达维”台风袭击海南导致电力崩溃开始，结合黑启动和正常方案，定量分析了黑启动对于灾后经济恢复的特点与优势。

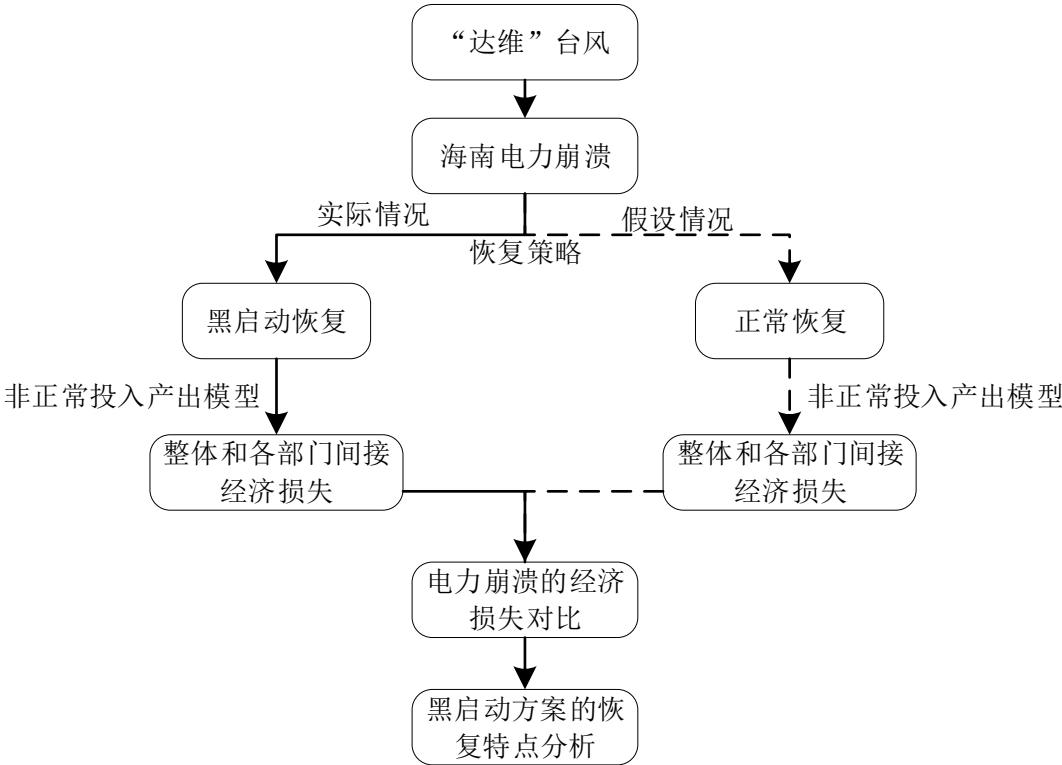


图 2.1 研究思路

### 2.1 间接经济损失评估模型

本文对于海南黑启动的实证分析，是基于对于国民经济系统各个产业部门的间接经济损失评估实现的。间接经济损失，Burrus 定义其为因为商业遭到破坏或者

中断导致经济产量下降产生的损失。电力，作为众多产业部门的生产动力，与之构成了密不可分的生产供应关系链。电力系统的崩溃，导致产业链条的中断，经济运作受到极大影响，自此，间接经济损失便产生了。

西方经济学家 Wassily Leontief 提出的投入产出模型经典地刻画了经济系统各产业部门之间投入与产出之间的数量依存关系，其基本关系如下：

$$X = AX + Y \quad (2.1)$$

其中  $X$  表示总产出列向量， $Y$  表示最终产出列向量， $A$  被称为直接消耗系数矩阵，其公式为：

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \left( \frac{x_{ij}}{x_j} \right)_{n \times n} \quad (2.2)$$

其中  $a_{ij}$  表示生产单位第  $j$  部门的产品对于第  $i$  部门产品的直接消耗量，因此直接消耗系数又被称为技术系数、投入系数。影响直接消耗系数数值的三个重要因素分别为：各部门技术水平、各部门管理水平以及部门内部的产品结构。

$n$  个部门间的直接消耗系数矩阵  $A$  表示如下：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

由直接消耗系数的性质可知  $A$  为非负元素矩阵且矩阵  $A$  的列和小于 1，又根据数学性质，可证  $I - A$  可逆。故由公式 (2.1) 可得：

$$X = (I - A)^{-1} Y \quad (2.4)$$

其中  $(I - A)^{-1}$  被称为列昂惕夫逆矩阵，其元素反映了生产单位个  $j$  部门产品对于  $i$  部门的消耗量，该消耗量既包括直接消耗量又包括间接消耗量，故列昂惕夫逆矩阵又被称为完全消耗矩阵。

我们把系统功能下降程度定义为非正常程度，其反映了在极端事件发生干扰后各产业部门系统功能水平下降状况，我们用  $Q$  来表示。根据公式 (2.1) 和公式 (2.4)，我们可以得到基于电力供应下降的非正常投入产出模型：

$$Q = A^* Q + Y^* \quad (2.5)$$

$$Q = (I - A^*)^{-1} Y^* \quad (2.6)$$

其中  $Q$  是由于最终需求的变动导致产量变化的非正常程度， $Y^*$  表示最终需求

的变动量， $A^*$  是通过投入产出数据计算得出的关联矩阵，其计算公式如下：

$$A^* = \text{diag}(\hat{x})^{-1} \cdot A \cdot \text{diag}(\hat{x}) \quad (2.7)$$

另外  $Q$  和  $Y^*$  公式如下：

$$Q = \text{diag}(\hat{x})^{-1} \cdot (\hat{x} - \tilde{x}) \quad (2.8)$$

$$Y^* = \text{diag}(\hat{x})^{-1} \cdot (\hat{Y} - \tilde{Y}) \quad (2.9)$$

其中  $\hat{x}$  表示产量的正常水平， $\tilde{x}$  表示产量变动后的产量，同理， $\hat{Y}$  表示最终需求的正常水平，而  $\tilde{Y}$  表示产量变动后最终需求的退化水平向量。

1958 年，Ghosh 在列昂惕夫模型的基础上提出了投入产出模型的对偶模型，其利用直接分配系数反应最初投入与总产出之间的关系，故又被称为供应驱动的投入产出经济模型。该模型的技术系数矩阵  $H$  的定义：

$$H = (h_{ij})_{n \times n} = \left( \frac{x_{ij}}{x_i} \right)_{n \times n} \quad (2.10)$$

则列向平衡方程如下所示：

$$X = H^T X + V \quad (2.11)$$

其中  $X$  表示部门的投入向量， $H^T$  表示技术矩阵，它的每个元素  $h_{ij}^T$  表示生产单位个  $j$  部门的产品， $i$  部门的投入量，而  $V$  表示初始投入（如劳动力，工资，税收，租金等）列向量。

通过投入产出模型的对偶模型，供应驱动的非正常投入产出模型公式为：

$$P = (I - H^{T*})^{-1} V^* \quad (2.12)$$

其中  $P$  是由于初始投入的变动而使得成本价格发生变化的非正常程度， $V^*$  表示初始投入的变动量， $H^{T*}$  是通过投入产出数据计算得出的关联矩阵，其演算公式如下：

$$H^{T*} = \text{diag}(\hat{x})^{-1} \cdot H^T \cdot \text{diag}(\hat{x}) = \text{diag}(\hat{x})^{-1} \cdot (A^*)^T \cdot \text{diag}(\hat{x}) \quad (2.13)$$

间接经济损失是指受到极端事件影响导致产业经济下降所导致的损失，由此可估计间接经济损失：

$$LOSS = \sum_i x_i p_i \quad (2.14)$$

其中  $x_i$  表示  $i$  部门的总产出， $p_i$  表示  $i$  部门的非正常程度， $LOSS$  为极端事件导致的总损失。

## 2.2 数据来源

投入产出表数据来自于国家统计局国民经济核算司，由于缺乏 2005 年的投入产出表，故采用的是最接近 2005 年部门产业状况的 2007 年 42 部门投入产出表<sup>[13]</sup>；海南省实施黑启动方案状态下的电力负荷数据来源于文献<sup>[14,15]</sup>；由于数据所限，本文假设未使用黑启动方案部分的电力负荷数据根据线性关系估算。

## 3 结果分析

### 3.1 黑启动下电力崩溃总损失

本文对于黑启动后的灾后恢复分析，是基于 2005 年海南省的第一次黑启动所产生的间接经济损失而展开的。该电力灾害起始于 2005 年 9 月 26 日，历时 14 天，至 2005 年 10 月 9 日，电力系统基本恢复完全，其间产生间接经济损失总计 3021122.2 万元。由于具有丰富的模拟黑启动演练经历，海南电网在当晚电力受灾后，当即采取了适时有效的黑启动方案。命令下达 1 个小时 25 分钟后就有电厂宣布黑启动实施成功，此后，电网恢复状况呈现扩散效应，电力负荷逐步回升至灾前水平，且受灾直至完全恢复期间的每日间接经济损失水平呈现逐步递减趋势（图 3.1）。具统计分析，2005 年 9 月 26 日受灾第一天由于台风“达维”的大肆入侵，导致海南电网逐个崩溃直至到达全黑状态，故第一天所产生的间接经济损失最高，达总损失的 47.4%，此后黑启动方案实施，随着电力恢复区域的不断扩大，统调电力负荷逐渐恢复正常，间接经济损失呈现出极速递减的趋势。仅受灾次日，电力负荷已恢复至原最高负荷的 80%，间接经济损失总计 1814201.1 万元，约占总损失的 60%，9 月 29 日，受灾后的第 4 天，电力负荷恢复至灾前最高负荷的 90%，海南省大部分地区均已摆脱“全黑”状态，间接经济损失得到有效控制，总计 2291622.4 万元，高达总损失的 75%。此后各电网逐步恢复正常运作，而后 10 月 3 日时电力负荷恢复至受灾前的 95%，直至 10 月 9 日整个电力系统恢复完全，海南第一次黑启动自此告一段落。

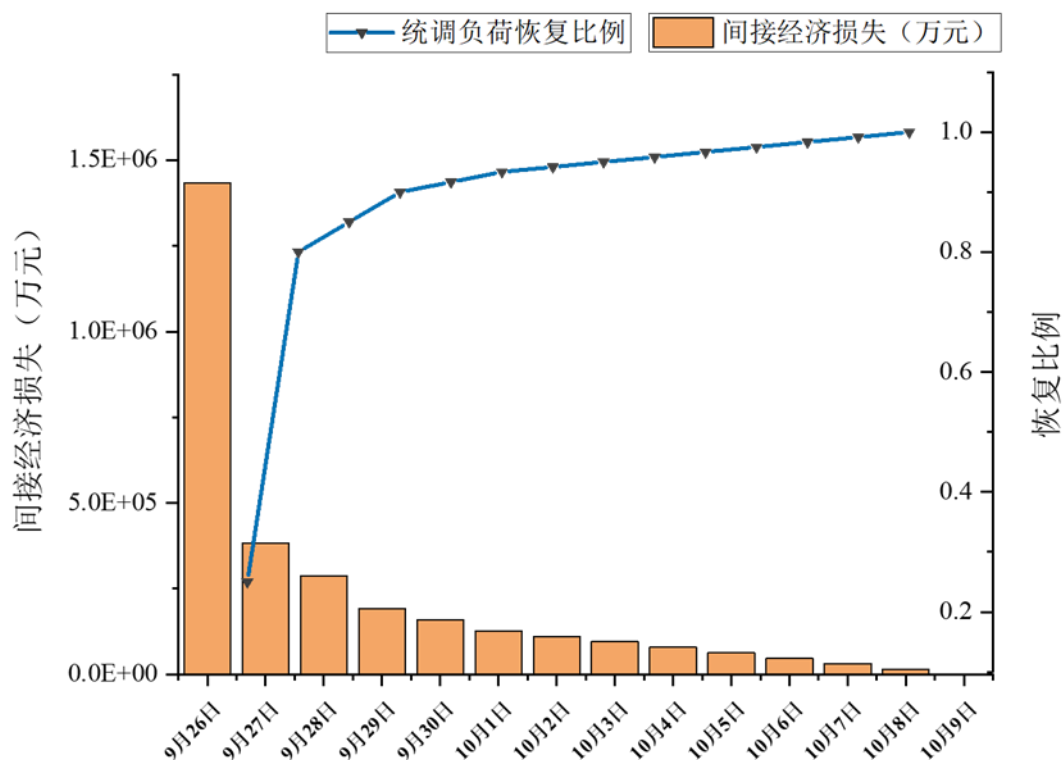


图 3.1 黑启动方案落地后海南省统调负荷恢复百分比和每日间接经济损失

### 3.2 黑启动下电力崩溃对各部门的影响

电力产业非正常程度用由于受灾而损失的电力负荷与此前最大电力负荷的比值来计算，而其他产业部门的非正常程度利用列昂惕夫逆矩阵求得，而后通过非正常投入产出模型计算各部门的间接经济损失。在黑启动实施情况下由于电力灾害导致产生间接经济损失排名前十的产业分别是：电力热力的生产和供应业、建筑业、交通运输设备制造业、石油加工炼焦及核燃料加工业、化学工业、住宿和餐饮业、交通运输及仓储业、金属冶炼及压延加工业、农林牧渔业、非金属矿物制品业（图 3.2）。



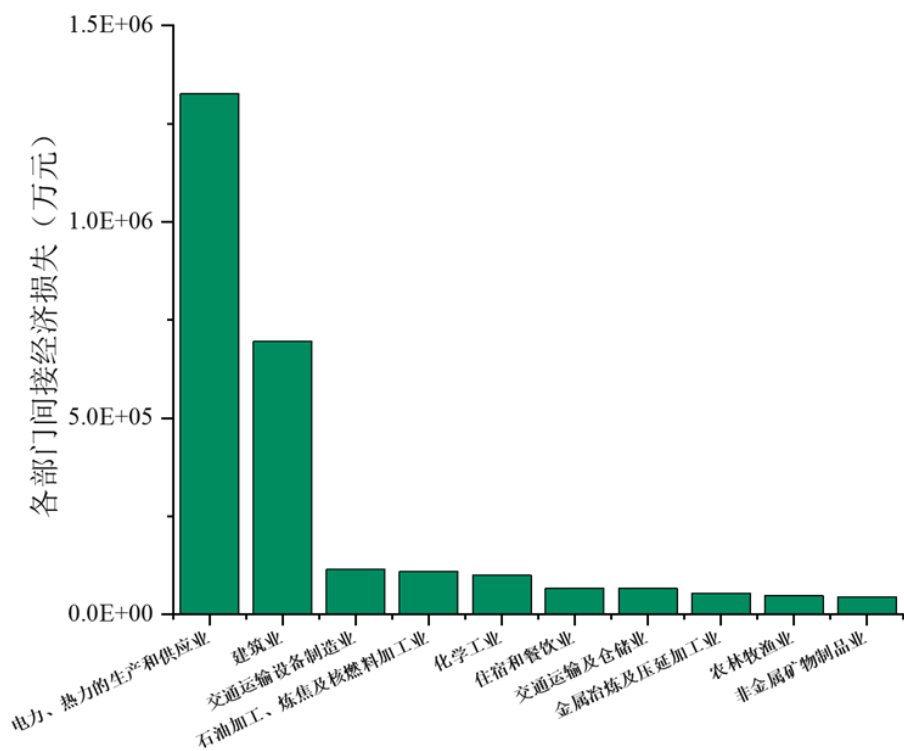


图 3.2 电力供应故障导致海南省部分产业部门间接经济损失（前 10 位）

此外海南电力系统崩溃对于各产业结构的影响也是不尽相同的，对于电力供应产业所在的第二产业影响尤为显著，其间接经济损失高达 2616136.556 万元，占比总间接经济损失 87%，相比较而言，此次海南电力灾害事故对于第一产业的影响微乎其微，损失 47047.47 万元，仅占比 1%左右，另外第三产业次之，其间接经济损失占总损失的 12%（图 3.3）。

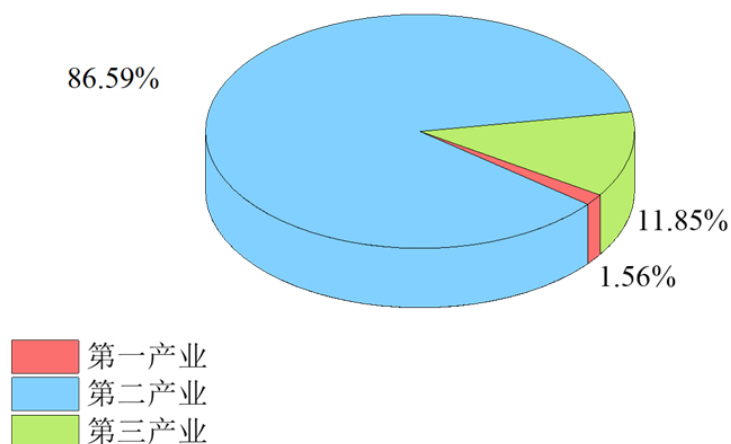


图 3.3 各产业结构间接经济损失占比

### 3.3 有无黑启动的经济损失对比

2005 年 9 月 26 日清晨，由于黑启动方案的实施，海南电网崩溃事件恶化得到了有效的控制，从崩溃到全网恢复历时仅 14 天。据海南电网预测，若缺乏黑启动技术，而只采用正常修复电网的方法，恢复需要 25 天之久，故我们假设恢复速度是呈现线性关系的，即每日恢复统调负荷的 4%，25 日恢复完全。根据非正常投入产出模型进行计算，得无黑启动状态下的海南各产业部门由于缺乏电力供应，25 天里共产生 22916224 万元的间接经济损失，相较于黑启动方案下的 3021122.2 万元的损失，增加了 658.53%。由于我们假设统调负荷恢复速度呈现线性趋势，故相比于黑启动状态下的次日恢复 80%，无黑启动状态下电力负荷恢复至原最高负荷的 80%需要 20 日。依据数学关系可知，无黑启动状态下的每日各产业部门间接经济损失亦呈现出线性递减关系，各日累计总损失值达总损失值的 75%需要 12 天，而黑启动背景下仅需要其时长的 1/3（图 3.4）。

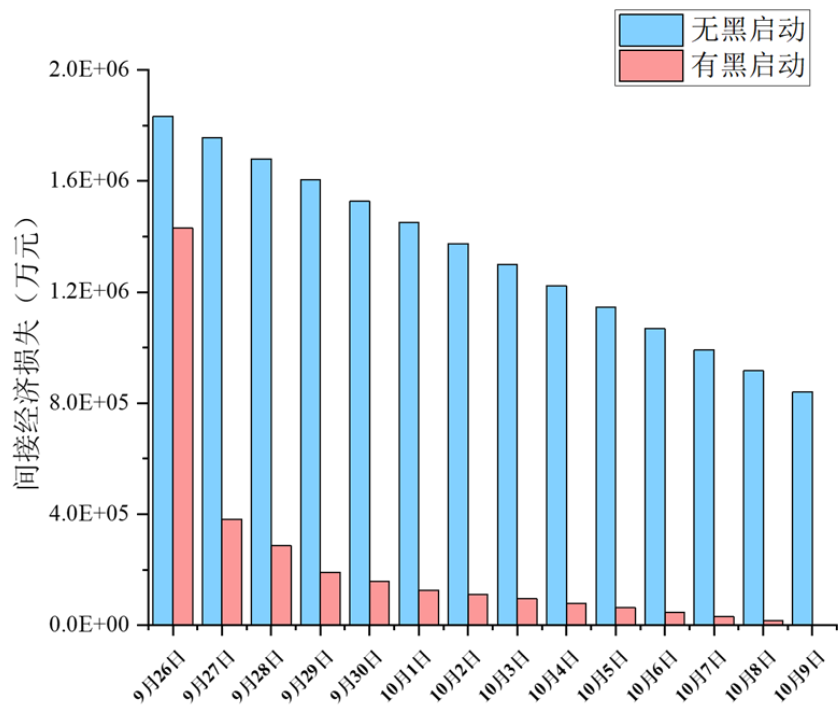


图 3.4 有无黑启动状态下的海南灾后各日间接经济损失对比图

## 4 讨论

### 4.1 黑启动方案加速灾后恢复

能源经济时代的到来使得电力逐渐成为当下社会的主要生产动力，对其的高

度依赖性催生了具有非线性、动态化等特点的复杂化电网结构，电力系统的准入门槛更高，电力系统的维护与整修也就变得更加困难。传统的电力维修方式难以克服这一困难，极易由于电力信息的掌握不完全，调度人员的经验欠缺以及各种灾害导致的非人为因素的干扰而迫使灾后维修速度大大减慢。本文对于 2005 年海南省电力受灾后的电力负荷以及各产业损失进行分析，对比基于海南电网无黑启动假设下的预计恢复数据，发现黑启动方案对于灾后恢复、灾后重建具有显著的加速作用。不同于传统的电力恢复，黑启动是一种以点带面式的扩散型恢复方法，借助具有自启动能力的机组恢复以及部分外部电源的帮助，带动无自启动能力的机组完成恢复，从而使得输电范围不断扩大，直至最终完全修复。该方案具有以下两个特征：

- 1.恢复时间短，海南省电力恢复的实例表明黑启动下的恢复时长仅为无黑启动协助下的 2/3，借助多个子系统，实现点面式电力恢复，最终实现并网，避免了不必要的时间浪费。
- 2.恢复过程相对稳定，对于海南电力负荷的分析表明电力负荷呈现稳定甚至是急速上升趋势。电网的错综复杂性要求电力恢复过程的稳定性与秩序性，随着黑启动技术的逐步成熟，是否具有完备黑启动方案将成为考量一个电网安全性的重要指标。故 2005 年的“达维”台风破坏电力系统事件，由于海南电网事前进行过多次黑启动方案模拟演练，具有丰富的黑启动经验以及相关技术人才储备，电力灾害发生过后仅 1 个小时 25 分钟就摆脱了“全黑”状态，部分电网宣布电力重启成功。

#### 4.2 黑启动方案减少产业部门间接经济损失

当今社会，电力产业作为经济社会运作的能源动力支柱产业，一旦电力系统受损或是崩溃，对于整个经济体系的打击都是不言而喻的。而本文所提及的间接经济损失就是用来衡量直接经济损失之外的由于电力中断供应，而导致的各产业部门的经济损失。根据相关数据计算，我们发现本次海南省电力事故造成的间接经济损失高达约 300 亿元，由于较高的产业关联度，对建筑业、交通运输设备制造业等相关第二产业的影响尤为显著。本文对于无黑启动方案下的海南间接经济损失也进行了假设评估，计算得出无黑启动状态下的间接经济损失约为黑启动下的 7 倍之多，即约为 2300 亿元人民币。黑启动相对于传统方案，具有针对性、严谨性、稳定性等特点，在时长、耗资、秩序等方面具有显著的卓越性。分析结果可知，电力恢复周期越长，其产生的间接经济损失越多，无论是每日经济损失还是经济损失总量，黑启动下的电力修复都体现出绝对的优势，同时又因为其点面式的恢复特征，损失多发生在恢复周期的前几天，随后的间接经济损失则占比较小。反观无黑启动状态下的电力恢复，由于并没有实际数据，只能根据恢复习性进行相关的假设和估算。从相关数据中，我们观测得出传统的电力恢复方案每日损失的下降速度远不及黑启动下的快速，且完全恢复时间相比而言具有明显的滞后性，带来了不必要的经

济损失。2005 年海南省黑启动，作为除去模拟训练之外的第一次黑启动实操，极大地降低了社会经济损失，一定程度上提高了社会经济效益。

#### 4.3 黑启动方案实现电力恢复安全性与经济性的高效统一

电力系统部门，作为关系民生问题的核心产业部门，一旦发生电力事故，其带来的危害与损失都是巨大且不可逆转的。因此，如何优化电网恢复方案一直是相关电网乃至整个经济社会长期关注并致力解决的问题。传统的电力恢复机制，具有安全性与经济性不可兼得的特点。电力系统错综复杂，恢复过程需要因地制宜地制定相关方案、调度人员对于该区域电网大量的信息储备，丰富的处理经验以及优秀的心理素质。当然，恢复方案框架的搭建势必是要以时间作为代价的，间接经济损失的不断流失，经济性恢复的无法掌控都会在受灾时间的不断延长中应运而生。同理，过度追求恢复方案经济性，极大压缩间接经济损失的恢复措施，其急功近利性必然会导致不安全性极大上升。一旦整修过程发生失误，必将构成负反馈型的维修事故。相比较而言，黑启动方案，为恢复过程的安全性与经济性的统一提供了可能性。当然，黑启动方案的实施也是要建立在对缜密的事故分析与具体方案制定的基础上的，但是其以点带面，层层推进扩大恢复范围最终实现并网恢复的特征极大缩短了恢复周期，同时具体详细的黑启动方案以及多次模拟操作的经验一定程度上给调度人员的实际操作降低了难度，由此，恢复过程的安全性与企业部门的经济性便实现了高效统一。

## 5 结论与展望

为分析黑启动方案对于灾后经济恢复的影响，本文基于 2005 年海南第一次黑启动的实例，利用非正常投入产出模型估算海南省每日间接经济损失与各部门经济损失总量，与假设线性恢复下的无黑启动恢复进行比较，对比得出以下几点结论：

（1）黑启动方案对于灾后电力恢复周期的控制具有显著作用。

（2）黑启动通过降低恢复失误率与恢复时长，有效控制了各产业部门的间接经济损失。

（3）黑启动为电力系统恢复中安全隐患的降低与经济效益的提升提供了统一的可能。

本文着重分析了黑启动对于海南电力事故的影响，提出黑启动在灾后恢复过程中实施的可行性。但对于经济影响，本文只考虑了由于电力供应减少对经济的损害，而实际上电力影响还应包括电力设施损坏等方面影响。另外，对于无黑启动状态下的恢复速度采用线性假设，欠缺实际数据的支撑，相关比较还有待进一步的研究。

## 参考文献

- [1] Burghetti A., Besanger Y., Voropai N.I.. Handbook of electrical power system dynamics: Modeling, stability and control[M], Edited by M. Eremia, M. Sbahi dehpour. N.Y., Wiley, 2013, 1072 p.
- [2] 卢强. "我国电力大系统灾变防治和经济运行的重大科学问题的研究"项目简介[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(1).
- [3] 高远望, 顾雪平, 刘艳, 苏德生, 雷少锋, 董连武. 电力系统黑启动方案的自动生成与评估[J]. 电力系统自动化, 2004(13): 50-54+84.
- [4] 刘艳, 顾雪平, 张丹. 基于数据包络分析模型的电力系统黑启动方案相对有效性评估[J]. 中国电机工程学报, 2006(05): 32-37+94.
- [5] 林济铿, 李童飞, 赵子明, 郑卫洪, 刘涛. 基于熵权模糊综合评价模型的电力系统黑启动方案评估[J]. 电网技术, 2012, 36(02): 115-120.
- [6] 王瑛. 中国可再生能源消费与经济增长的时间序列分析——以水电、核电、风电为例[J]. 工业技术经济, 2008(11): 96-99.
- [7] 赵文会, 丁会凯, 施泉生, 谢品杰. 中国风电发展与经济增长的协整分析[J]. 中国电力, 2013, 46(03): 1-4+13.
- [8] 王维军, 刘彤, 王敏楠. 我国煤电产业发展与经济增长的协整性分析与研究[J]. 陕西电力, 2013, 41(01): 11-14.
- [9] 吴先华, 朱薇薇, 杨灵娟, 王莹莹. 基于 ITIM 模型的政治争端事件对产业经济系统的影响评估[J]. 中国管理科学, 2016, 24(02): 27-37.
- [10] 魏本勇, 苏桂武. 基于投入产出分析的汶川地震灾害间接经济损失评估[J]. 地震地质, 2016, 38(04): 1082-1094.
- [11] Arto I, Andreoni V, Rueda Cantuche J M. Global impacts of the automotive supply chain disruption following the Japanese earthquake of 2011[J]. Economic Systems Research, 2015, 27(3): 306-323.
- [12] Xia Y, Guan D, Steenge A E, et al. Assessing the economic impacts of IT service shutdown during the York flood of 2015 in the UK[J]. Proceedings of the Royal Society A, 2019, 475(2224): 20180871.
- [13] 国家统计局国民经济核算司. 中国地区投入产出表. 2007[M]. 中国统计出版社, 2011.
- [14] 殷伍金, 黄启辉. 铁肩担重任 巨手挽狂澜——南方电网海南电网抗击强台风“达维”纪实[J]. 广西电业, 2005(10): 9-10.
- [15] 海南电网“9·26”大面积停电事故的分析与总结[J]. 电力系统自动化, 2006(01): 1-7+16