Advances in Education 教育进展, 2026, 16(11), 1041-1049
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ae
https://doi.org/10.12677/ae.2026.16112472

Hans汉斯

系统思维导向的“智能电网技术”案例链教学改革与实践

——以伊比利亚大停电为例

门凡钞

广东理工学院电气与电子工程学院，广东 肇庆

收稿日期：2026年10月7日；录用日期：2026年11月6日；发布日期：2026年11月13日

摘　要

智能电网技术包括新能源并网、电力系统稳定、无功和电压控制、继电保护、调度通信等多方面技术领域，传统的按照知识点来组织教学方式容易导致各个知识点割裂开来，学生可以理解单个概念但是不能够从整体上去分析复杂的电力事件。本文以2025年4月28日伊比利亚半岛大停电为背景，基于欧洲输电运营商联盟(ENTSO-E)专家组的最终报告对事故过程进行梳理，把事故划分为九个彼此相连的环节，并将其与课程内容对应起来，从而形成一个贯穿整个教学内容的案例链。通过课前预习、课堂推演、课后反思来促使学生一直关注事故的原因，并且分析技术之间的关系并得出结论，教学过程发现，学生的课堂参与度和讨论热情提高了，在不同知识点之间联系的关注也更加明显了，在分析事故的时候也更多地考虑到了各种技术因素及其相互作用，由于目前没有严格的前后测以及长期跟踪数据，本文以课堂教学观察、教学反馈作为实践性的证据，并且学生系统思维能力实际效果需要进一步验证。

关键词

智能电网技术，案例链，伊比利亚大停电，系统思维，教学改革

Case-Chain-Based Teaching Reform and Practice for Systems Thinking in “Smart Grid Technology”

—A Case Study of the Iberian Blackout

Fanchao Men

School of Electrical and Electronic Engineering, Guangdong Technology College, Zhaoqing Guangdong

Received: October 7, 2026; accepted: November 6, 2026; published: November 13, 2026

文章引用: 门凡钞. 系统思维导向的“智能电网技术”案例链教学改革与实践[J]. 教育进展, 2026, 16(11): 1041-1049.
DOI: 10.12677/ae.2026.16112472

Abstract

Smart Grid Technology covers a wide range of technical fields, including renewable energy integration, power system stability, reactive power and voltage control, relay protection, and dispatching and communication. Traditional teaching organized mainly around individual knowledge points tends to separate these concepts, making it difficult for students to analyze complex power system events from a holistic perspective. Taking the Iberian Peninsula blackout on April 28, 2025 as a case, this study draws on the final report of the expert panel of the European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) to divide the accident process into nine interconnected stages and link them with relevant course content, thereby constructing a case chain throughout the course. Through pre-class preparation, in-class event analysis, and post-class reflection, students are guided to continuously examine the causes of the accident and the relationships among different technologies. Teaching practice showed that students' classroom participation and enthusiasm for discussion increased, and they paid more attention to the connections among different knowledge points. When analyzing the accident, students also tended to consider multiple technical factors and their interactions. As no rigorous pre- and post-test or long-term tracking data are currently available, the effectiveness of the reform is mainly supported by classroom observations and teaching feedback, while its impact on students' systems thinking ability requires further verification.

Keywords

Smart Grid Technology, Case Chain, Iberian Peninsula Blackout, Systems Thinking, Teaching Reform

Copyright © 2026 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

“智能电网技术”属于电气工程及其自动化专业的一门专业课，在电力系统、电力电子、通信、计算机及自动控制等方面均有涉及，内容广泛、抽象性强、知识更新快。伴随着新能源为主体的新一轮电力系统建设步伐加快，该课程也必须不断引入新的技术知识点[1]，目前课程一般按照智能发电、智能输电、智能变电、智能配电、智能用电和智能调度与通信等模块来编排，每一个模块都详细阐述了相关的原理和技术在工程中的应用情况，这样划分条理分明，但是在课堂教学的时候也暴露出来一些问题。

首先学生对于课程的整体掌握不够，各个模块分块讲解，学生学习完光伏发电后就可以说明光伏发电是如何工作的；学习完柔性交流输电后也可以解释线路潮流如何调控；但是当问到这两项技术在同一个电网里会发生什么样的关系时，能够回答得很好的人并不多，知识存储于学生的记忆中，更像是一条条并行不悖的分支，它们之间没有联系。

其次就是讲原理多、工程方面的问题少，学生可以列出智能电网包含哪些技术，但是无法解释出这些技术各自解决什么具体的问题，知识点没有落实到具体的工程场景当中去，学习主要是靠记忆，很多学生到了期末考试前都会集中记忆，考完之后很快就忘记了，这种情况在课堂提问以及平时的作业中比较常见。

另外现有的教学案例与学生的时代相差较大，教材、课上用到的案例大多是历史上的老事，或是典型的例子，虽然具有一定的代表性和权威性，但是由于时间久远的原因，学生很难把这些案例和目前新

型电力系统运行中遇到的实际问题联系起来，学习的代入感比较差。

围绕这些问题，国内已有一些教学探索。教师们在电力系统类的课程里引入了案例教学法，把真实的工程项目案例带到课堂上，在提高学生的参与度以及培养他们的问题分析能力方面取得了很好的效果[2]；另外一些教师则按照成果导向教育的理念来设计“智能电网技术”的教学目标和内容，并且融入到整个课堂教学过程中去[3]；还有研究表明，系统工程思维不能通过口述来形成，而是在相互联系的教学环节里慢慢养成的[4]。这些工作为本文提供了参考，但大部分研究都只围绕一个例子展开，或者停留在教学经验的总结上，对于如何把一个综合事故变成前后相连的教学链条，以及为什么这样的链条结构能够促进系统思维的发展还没有得到很好的讨论，本文选取了最近几年发生的真实事件作为案例，以因果链的方式组织教学内容，并且重点介绍案例链的设计依据和构建方法，使学生在学习技术的同时建立起对电力系统的整体认识。

2. 改革思路与理论依据

2.1. 从模块教学到案例链

案例教学要求把知识还原到实际情境中去，在分析问题的时候让学生运用并重组已有的知识[5]，但是单个案例一般只能支撑一个局部知识点，不同的案例之间仍然存在相互割裂的情况。本文所指“案例链”就是将一个综合性的工程事件按照它真实的演化过程拆分成若干个彼此相连的环节，并把各个阶段分别落实到不同的课程模块中去。“组织好以后”，学生就不再面对一两个孤立的实例了，而是面对一个需要不断地分析、判断和探究的工程项目。也有研究发现，递进式的案例链可以作为专业课中综合性问题解决的好方式[6]。

本课程改革的重点不是增加一个新的案例，而是改变知识的组织方式：以前按照智能发电、智能输电、智能变电、智能配电、智能用电和智能调度与通信等模块依次讲解，改革之后以真实事故的发展过程为主线，把原来分散的知识放在同一个问题情境里重新建立起联系。

2.2. 系统思维与课程目标

系统的思维方式重视系统整体及其组成部分之间存在的相互关系、结构以及动态变化，对于智能电网课程而言，学生不仅要明白某个技术是什么以及怎么用，还要知道不同技术之间的互相作用，并且要了解局部的变化为什么会发展成全局的结果，这与工程教育所提倡的复杂工程问题解决能力相符合[7]，因此本次改革把建立跨模块联系、分析因果关系、判断动态演化作为案例链教学的主要能力目标。

比起单纯的增加知识点而言，这样的目的则必须以连续的工程情境为基础来完成。学生只有经过多次“现象－解释－预测－验证”的过程之后，才有可能把各个章节的知识组织起来。所以案例链既承担了知识教学的任务又承担起了系统思维训练的任务。

2.3. 案例链的作用路径

案例链和系统思维之间存在以下三个方面：一、学生可以追踪到局部的变化是怎样影响之后的过程；二、各个地方或者不同的设备所作出的选择组合在一起后会产生新的结果，这使学生需要重视要素之间的关系；三、教师在关键节点时可以不公布后面的结论让学生先做出自己的判断，然后与实际发生的事情相比较，这样就把动态推理也纳入到了学习当中。因此系统思维就不再作为一种抽象的概念而单独地去讲解了，而是被融入到案例分析的整个过程中。

2.4. 案例链与相关教学方法的比较

为说明案例链在方法论上的位置，有必要把它与相近的教学方式作一比较。与项目式学习(PBL)相比，

两者都强调真实情境和学生主体，但项目式学习通常围绕一个完整的设计或制作任务展开，周期较长、产物导向明确；案例链不要求学生完成工程项目，而是以一个真实事件的因果过程为线索，重在追踪、解释和预测，占用课时较少，更适合专业课程中多个知识点的串联。

与基于问题的学习(PBL)相比，两者都以问题驱动，但典型的 PBL 问题结构不良、答案开放；案例链中的问题虽然也鼓励学生先作判断，却有一个真实发生过、并已有权威调查结论的发展过程作为“对照答案”，学生先预测、再与实际过程比较，因而在开放性之外多了一个可检验的落点。

在理论根基上，案例链与建构主义学习理论一致，都主张在真实情境中由学生主动完成意义建构；所不同的是，案例链进一步利用单一事件的因果结构，把“要素关联、动态演化、局部到整体”这几条系统思维的要求嵌入同一条叙事线索，使系统思维训练不必单独开设，而是渗透在知识学习过程中。就实施成本而言，一个权威、完整的综合事故即可贯通整门课程，相较多案例教学或长周期项目更易于在常规课时内落地。

3. 案例链的设计与构建

3.1. 案例链的设计原则

案例链的设计首先要保证事实可靠，事故环节和关键判断以官方调查报告为依据，不能为了教学需要而把内容过度简化；其次要使各个部分能够贯穿多个课程模块，并且保持因果或条件的关系；另外还要突出重点，不能让九个部分都平均地占用课堂的时间，对于报告中仍然存在解释空间的部分，保留必要的不确定性，让学生回到原始材料进行讨论，而不是由教师提前给出唯一的答案。

3.2. 案例链的构建步骤

案例链的建立要按照事实提取、关系梳理、课程映射三个步骤来完成，先在官方报告里找出事故演变的关键事实，形成时间序列；然后分析各个事实之间因果、条件及反馈的关系，并确定链条前后顺序；最后把每个环节和相应的课程模块对应起来，弄清学生需要调用的知识以及课堂讨论的问题，既可以保证事故发生的真实性，又可以将案例链作为支撑教学目的的一种方式来使用。最终形成的九个步骤包括电源结构的变化延伸到系统协同问题中，如图 1、表 1 所示。

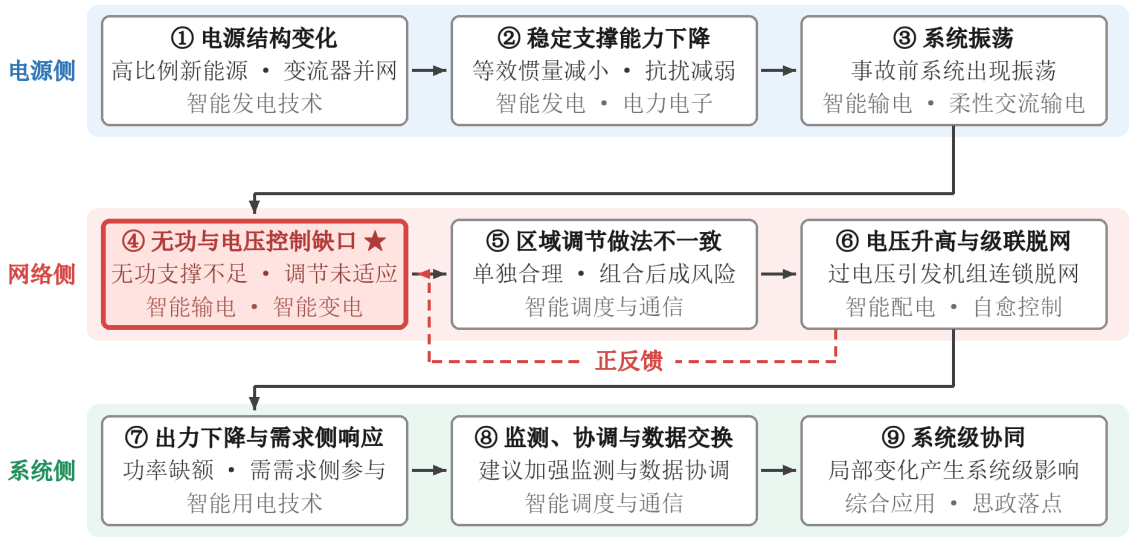


Figure 1. Schematic of the case chain and its mapping to course modules
图 1. 案例链与课程内容模块对应示意图

3.3. 九环案例链与内容映射

九个环节的完整对照见表 1，这里对其中几个关键环节加以说明。

环一到环三之间的部分构成链条的起因部分，事故发生之前西班牙电力系统的新能源占比很大，风能、太阳能等新能源通过电力电子变流器接入电网，外特性和传统的同步发电机有很大的不同(环节一，对应的智能发电)；变流器接口电源没有转动惯量，新能源比例增加使系统等效惯性减小、各区域稳定支撑能力参差不齐(环节二，对应的智能发电和电力电子)；事故前系统又出现振荡现象，其原因及防治措施可以结合柔性交流输电装置来解释(环节三，对应智能输电)。这部分教学重在帮助学生建立从“电源结构”到“稳定支撑”的因果认识，具体振荡类型以报告表述为准[8]。

环节四是全链条的技术核心，也是本设计的教学重点。无功功率不能远距离输送，电压控制主要靠就地平衡来实现，在不同的电压等级上进行分级分区配置无功补偿。报告把电压与无功控制存在缺口列为重要因素，说明高比例新能源条件下，原本主要由同步机组承担的电压支撑有所减弱，而无功补偿装置的配置与相互协调没有跟上这一变化。另有研究估计，事故中约 24 GW 已具备电压控制能力的新能源未能被及时调用[9]；已有研究也表明，高比例新能源系统中的电压问题正在从局部技术问题转变为系统性风险，需要建立分层分区、多方协同的电压治理方式[10]。此环节主要为智能输电、智能变电中无功补偿部分，应该要占用比较长的时间。

Table 1. Correspondence between case-chain stages and course modules
表 1. 案例链与课程模块对照表

环节	报告认定的相关事实	对应课程内容模块	教学落点
1	西班牙境内高比例新能源、电力电子接口	智能发电技术	新能源出力特性与并网方式
2	稳定支撑能力参差不齐	智能发电技术、电力电子技术	同步机与变流器、惯量支撑
3	系统出现振荡	智能输电技术(柔性交流输电)	振荡机理与抑制措施
4	电压与无功控制存在缺口	智能输电技术、智能变电技术	无功补偿与电压调节(重点)
5	各国电压调节做法存在差异	智能调度与通信技术	调度协调机制
6	电压快速升高导致级联脱网	智能配电技术(自愈控制)	自愈能力与连锁失稳的边界
7	机组出力快速下降与脱网	智能用电技术	需求侧响应与功率平衡
8	建议加强监测、协调与数据交换	智能调度与通信技术	广域监测与信息共享
9	市场机制与政策须与系统物理极限保持一致	智能电网概述、综合应用	系统观念(思政落点)

环节五说明，互联电网的不同区域如果采取了不同的电压调节策略和整定原则，在扰动时控制动作可能会互相抵消甚至叠加；单个区域的调节方式孤立地看是合理的，但是当它们相互组合在一起的时候就会出现问题，问题出在该环节上调度通信中的协调机制。

环节六表现出事故的非线性以及级联效应，报告中所描述的事故发生时电压迅速上升，并没有出现大家所担心的电压下降的现象，一种解释为：电压升高后新能源机组因为过电压保护而脱网，系统的无功支撑进一步减小，导致电压继续升高，形成了正反馈，具体机理见报告原文。配电网自愈控制是指在系统受扰之后能够自动恢复，在本次事故中暴露出来的就是输电网层面的连锁失稳，两者形成了鲜明对比，可以组织学生讨论二者之间的界限。高比例新能源系统运行风险分为波动大、易振荡、支撑薄弱、恢复困难四个方面[11]，并且本次事故发生可以作为具体案例来证明。

环节七到环节八的技术问题转变为应对措施，机组出力下降之后，系统依靠调频机组和需求侧响应来恢复功率平衡(环节七、对应智能用电)；加强监测、协调以及数据交换的建议直接对应于调度通信和广域感知(环节八)。这部分可说明，智能用电、智能调度不仅是便利性技术，也是系统安全的支撑，其中需求侧响应的作用可结合文献[12]讲授。

环节九收束全链。报告强调局部变化可能引起系统级后果，市场机制、监管框架与能源政策须同电力系统的物理规律相适应，这与新型电力系统建设中守住安全底线的要求一致，也说明能源转型不只是技术更替，制度框架也需要同步调整。该环节把讨论从技术问题引向运行规则与政策，与链条开端的电源结构变化相呼应，适合作为全课总结。

3.4. 案例链中的技术线索与思维线索

九个环节中有一条清晰的技术线索：无功与电压控制贯穿事故的关键阶段，也是学生较容易停留在设备层面理解的内容。另外还有一条更主要的思维路径就是以局部来分析整个系统，单个部分看似合理，但是放在一起就会互相叠加，最终产生系统性的结果，环节四中电压支撑的问题在环节六的时候又有了新的发展，正好形成了由技术问题向系统问题转变的教学转折点。课堂上的讨论也由此开始，学生渐渐地明白了，在进行工程判定的时候，并不是只需要关注某个部件或者某一次操作就可以的，还要考虑其在整个系统中的作用。

4. 教学实施

4.1. 总体安排

按照课前预习、课堂讨论、课后复习的顺序来开展教学活动，并且可以设置两个到三个小时的时间来完成整个过程。

课前一周教师把案例材料发给学生，原版为英文，篇幅较长，教师可以整理一份中文导读材料，篇幅以数页左右为宜，包括事件概况、报告认定的主要因素以及改进建议，并布置一些引导性的问题，比如报告认定了哪些因素、其中哪些与新能源占比上升有关、整条产业链中哪个环节最重要等，让学生在阅读的时候注意各个环节之间的联系。

课中，先做事件导入、事实梳理工作，在此基础上按照九个步骤一步步推进，重点放在第三到第六个步骤上，每一讲结束之后都让学生推断一下接下来可能会出现的情况；接着分组进行汇报，老师对学生的理解中出现的典型问题进行分析，最后进行总结，如果只有两节课的话，可以把环节一、二、八放在课前由学生自学，课堂上集中讨论环节三到六以及环节九。

课后留一道分析题给学生们做，题目是关于高比例新能源并网后的电网电压调控问题以及相应的解决方法；有能力的同学可以多读一些原报告中有关章节，补充具体数据。

4.2. 分层任务与讨论设计

问题难度根据学生基础的不同而有所变化，基本的问题是用来帮助学生理解一些概念的，例如“高比例新能源接入为什么会改变系统惯量”；进一步追问“各区域电压调节做法单独看都合理，为什么组合后可能产生系统性风险”；最后让学生站在调度员角度判断异常升高初期可以采取哪些措施。递进的目的不是为了增加问题的数量，而是为了让学生由对某个概念的认识逐步发展成为能够用多个知识解释一个系统的认识过程。

4.3. 关键环节的课堂实录

这里补充两段课堂实录，展示教师在关键转折点如何通过追问和组织辨析推进学生思维。

片段一：从环节三(系统振荡)到环节四(无功与电压缺口)。讲到环节三结束时，教师没有直接进入下一知识点，而是停下提问：“报告说事故前系统先出现了振荡，随后电压与无功控制出了问题。在大家印象里，振荡靠柔性交流输电装置就能抑制，那为什么把振荡抑制住以后，电压问题反而更突出了？”一名学生回答：“可能振荡抑制装置本身也要消耗无功？”另一学生反驳：“不对，柔性交流输电装置是可以发出无功的，应该是帮忙才对。”两派就此争执起来。教师没有当场评判，而是把问题转给全班：“这个分歧正好说明，同一个装置在不同工况下作用可能不一样。我们先记下这个争论，看完报告里电压是怎么一步步失控的，再回来判断。”

到环节四讲完电压支撑不足后，教师回头追问：“现在再看，刚才两派谁说得更接近？”学生自己意识到：振荡抑制是必要的，但它不能替代电压支撑；当系统里无功储备本就不足时，任何占用或调用无功的环节都会放大缺口——技术手段之间不是彼此独立的，而是相互影响的。教师顺势点出：这正是系统思维与“逐个解决问题”的区别。

片段二：环节五(各区域调节做法不一致)。教师问：“每个国家按自己的经验设定电压调节参数，单独看都没做错，为什么拼到一起就出问题？”有学生说：“这说明规则不统一。”教师追问：“那是不是把各国参数改成一样就行？”学生犹豫后回答：“也不一定，因为各国电网结构不一样，强行统一可能更糟。”教师肯定后总结：“对，局部最优的简单叠加不等于全局最优，这就是为什么需要跨区域的协调机制，也是调度通信模块存在的意义。”

4.4. 课程思政的融入

本案例的思想政治内容直接来源于事故材料，事故造成大面积停电，并对生活生产以及社会秩序产生影响，可以加深学生对电力安全在能源安全中所处地位的认识，也使他们懂得供电保障这一行业的基本职责所在。报告就局部变化和系统后果之间的关系进行分析的同时，本身也就成为了解整体与部分之间关系的生动材料，事故之后网络上一度出现很多单一化的解释，但是最终的报告里指出的是多因素相互作用的结果。这也能够引导学生去比较网上的传言和官方调查结果的不同之处，体会用证据说话的重要性。同时有助于培养学生尊重客观规律、坚持工程责任的态度。

5. 教学成效与反思

5.1. 教学实施效果

案例链教学开展之后，课堂的学习状况出现了比较大的改变。相比于按照知识模块顺序讲解的方式而言，学生们对于大停电事件的发展过程更感兴趣，在课堂讨论中也越来越多地探讨到了各个技术环节之间的相互作用，尤其是在分析事故原因、预测发展情况的时候，学生需要不断地使用以前学过的内容，使得原本分布在各个章节的知识点之间有了较为清晰的联系。

从学生的课堂参与情况来看，真实的事故情境能够很好地调动起学生们参与讨论的积极性。当案例发展到新能源出力变化、系统稳定、无功和电压控制以及保护动作等关键部分的时候，学生就会更倾向于对“为什么会出现这种情况”“前后两个环节之间有什么联系”“如果采用不同的控制方法又会怎么样”等问题进行探讨。比起单独讲述某个知识点的方式，用事故演变作为主线来组织课堂教学可以减少各知识点之间的割裂感，并且给学生提供更多的机会在具体的题目中运用所学的知识。

学习兴趣的变化也很大，大停电事件与现实电力系统的运行密切相关，案例中每一个环节都存在具体问题情境，学生在学习时既要把握已经出现的情况，又要根据当前状况推测出未来可能出现的问题，因此知识的学习不再仅仅是对概念、原理的记忆，而变成了解释真实复杂的系统运行过程的一部分。

更值得关注的是学生的视角也有所改变。前期的回答多以某一台设备或者某种技术为主，在案例链

逐步推进的过程中，有些学生也开始考虑不同的技术因素之间存在的相互关系，例如在分析新能源出力变化的时候，学生可以进一步地把问题与功率平衡、潮流变动、电压稳定和保护动作等问题联系起来；讨论事故扩大时也会尝试从前一个环节找原因，而不仅仅是对当前现象做解释。单一的知识点转变为多个环节之间相互联系的方式，在一定程度上也符合了我们本节课想要训练出的学生对知识全面、系统的把握的能力。

5.2. 教学反思与进一步改进

本次教学改革也暴露出了一些需要进一步完善的方面。首先，案例链可以很好地组织课程知识，但是真实的事故里面包含了很多专业性很强的信息，如果没有足够的知识铺垫的话，学生们很容易把注意力放在了事故的结果上，而忽视了其中的技术机制，因此，后面的教学要控制好案例信息的投放速度，并且将复杂的事故拆分成几个适合学生认知水平的问题来处理。

其次，目前对教学效果的判断主要依靠课堂观察、学生反馈以及课程学习表现等手段来完成，并不能直接说明学生系统思维能力是否发生了稳定的变化。以后的教学可以设置在知识关联、因果推理、系统性分析等方面的前测后测，在进行学生案例分析作品的过程中进行过程性的评价，从而形成更加完整的教学效果证据。

最后，案例链不限于一个大的停电事故。后续可根据课程内容积累不同类型的真实工程案例，并逐渐建立起一个案例库，使案例链从单一案例的教学尝试发展为能够长期支撑课程教学的资源体系。

5.3. 方法的可推广性与变通策略

需要承认，同时满足“覆盖全课程模块、因果脉络清晰、有权威调查报告”三个条件的理想案例并不好找，伊比利亚大停电属于较为难得的素材。为使这一方法不局限于单一案例，可采取以下变通策略。

(1) 采用多个中等规模案例组合成链。当没有单一超级事故时，可选取两三个相对独立但在技术上有关联的中等事件(如一次系统振荡、一次电压越限、一次需求响应动作)，由教师在相邻事件之间设置过渡性问题，把它们串联成一条服务于课程主线的案例链，而不必强求事件本身同源。

(2) 借助仿真平台构造虚拟综合案例。可在电力系统仿真软件(如 PSASP、BPA 或 Matlab/Simulink)中人为设置扰动、保护动作和控制逻辑，复现“扰动–响应–连锁”的演化过程，让学生在虚拟环境中推演不同措施的后果；当真实事故数据不足或过程过于复杂时，仿真案例可以起到补充和预演的作用。

(3) 建设案例库与备课支持。可按案例链的九个环节分别积累素材，每个环节配套若干小案例、关键数据和讨论题，形成可复用的案例库；同时提供标准化的中文导读材料和关键提问脚本，帮助经验不足的教师较快上手，降低方法的实施门槛。这些变通方式并不改变案例链“以因果脉络组织知识、在追踪中训练系统思维”的核心，只是在素材来源上更加灵活。

6. 结语

本文针对“智能电网技术”课程按照模块讲授后学生容易出现的知识割裂现象，以 2025 年伊比利亚半岛大停电为真实的工程案例，构建了由九个环节构成的案例链，并将事故演化的各个阶段与相应的教学内容一一对应。在教学过程中用课前预习、课中推导、课后反思的方式让学生沿着事故发展的过程不断地调用并联系不同的章节的知识点，教学实施的时候学生课堂参与度以及讨论的积极性都有所提高，对于各个知识模块之间相互关联的重视程度也明显增强，在分析事故的原因及预测未来的发展过程中，更多地是从技术因素及其之间的关系出发进行思考，从而给案例链的教学提供了初步的实践依据。同时，本文也认识到，现有教学效果主要来自课堂观察、学生反馈和课程学习表现，尚不足以直接证明学生系统思维能力已经发生稳定变化，后续还需要通过更加完整的过程性评价和前后测进一步验证。

参考文献

[1] 舒印彪, 陈国平, 贺静波, 等. 构建以新能源为主体的新型电力系统框架研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(6): 61-69.

[2] 贺颖, 武晓冬, 王正, 等. 案例教学法在电力系统分析与计算教学中的应用探索[J]. 教育进展, 2024, 14(8): 815-821.

[3] 马艺玮, 黄淼, 纪静, 等. OBE 理念下“智能电网技术”课程思政教学路径探索[J]. 工业和信息化教育, 2024(4): 62-67.

[4] 陈颖, 康锐. 以多层次一体化教学助力系统工程思维培养——以电子产品可靠性系列课程为例[J]. 北京航空航天大学学报社会科学版, 2023, 36(2): 182-187.

[5] 何克抗. 建构主义的教学模式、教学方法与教学设计[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 1997(5): 74-81.

[6] 明梦君, 矫媛媛, 潘晓刚, 等. 场景驱动的递进式案例链教学模式实践——以“军事运筹学基础”课程为例[J]. 军事高等教育研究, 2026, 49(1): 114-120.

[7] 林健. 如何理解和解决复杂工程问题——基于《华盛顿协议》的界定和要求[J]. 高等工程教育研究, 2016(5): 17-26+38.

[8] ENTSO-E (2026) Expert Panel Final Report on the 28 April 2025 Blackout in Spain and Portugal. ENTSO-E.

[9] Morão, H. (2026) The 2025 Iberian Peninsula Blackout: Lessons for Modern Power Systems and Policy Implications. REM Working Paper 0413-2026. REM. https://rem.rc.iseg.ulisboa.pt/wps/pdf/REM_WP_0413_2026.pdf

[10] 王锋华, 邵先军, 吴俊飞, 等. 构建新型电力系统电压治理体系: 挑战、实践与展望[J]. 浙江电力, 2026, 45(3): 3-16.

[11] 王涉, 梁双, 刘斯伟, 等. 西班牙 4·28 大停电事故分析及对中国电力发展的启示[J]. 中国电力, 2025, 58(11): 146-155.

[12] 高赐威, 梁甜甜, 李扬. 自动需求响应的理论与实践综述[J]. 电网技术, 2014, 38(2): 352-359.