

News & Highlights

得克萨斯州电力危机凸显其电网漏洞

Mitch Leslie

Senior Technology Writer

2021年2月，美国得克萨斯州发生了一场大规模停电事故。在此期间，一则新闻报道称，一名男子用装有发电机的福特F-150混合动力皮卡车为家里供电三天[1]。其他F-150混合动力皮卡车车主也纷纷效仿，福特公司要求得克萨斯州的经销商将这些卡车出租，以便让更多人能在长达一周的停电事故中使用这些小型发电站[2]。

一些居民不得不依靠皮卡车为家中供电，可见得克萨斯州电力危机的严重性。在平均42 h的时间里，69%的得克萨斯州居民用不上电（图1）[3]，这让许多家庭在气温降至历史最低水平的情况下不能取暖。而且由于水厂没电，大约一半的人口喝不上自来水[3]。根据得克萨斯州的数据，体温过低、一氧化碳中毒以及其他因停电而加剧的暴风雪相关原因，至少造成210人死亡[4]，但另一项分析认为死亡人数已达到700人[5]。经济损失（包括管道爆裂对家庭和企业造成的损失）可能高达2000亿美元[6]。

专家仍在分析事故原因，但他们都非常清楚导致停电的一连串故障。席卷全州的极寒天气给电网带来了巨大的

压力，电网没有做好充分准备来应对如此强烈的暴风雪。美国得克萨斯大学奥斯汀分校韦伯能源集团（Webber Energy Group at the University of Texas at Austin）的研究助理Joshua Rhodes说道：“在这种情况下出现停电事故，我一点都不惊讶。”

得克萨斯大学奥斯汀分校机电学中心（Center for Electromechanics at UT Austin）主任、美国国家标准与技术研究院前代理院长Robert Hebner表示，这场灾难凸显了美国其他地区面临的一个重要问题。每个州都必须在保护电网不受极端天气影响和保持电价低廉之间取得平衡。“在全国范围内，真正悬而未决的问题是，基于当前发生的气候变化，我们应该为多少极端天气做好防范。”

得克萨斯州的电力系统与美国其他地区的电力系统有几个不同之处。该州大部分地区的电力由得克萨斯州电力可靠性委员会（Electric Reliability Council of Texas）管理的电网提供。该电网几乎完全独立于向美国其他地区输送电力的另外两个美国电网，即东部电网和西部电网[7]。

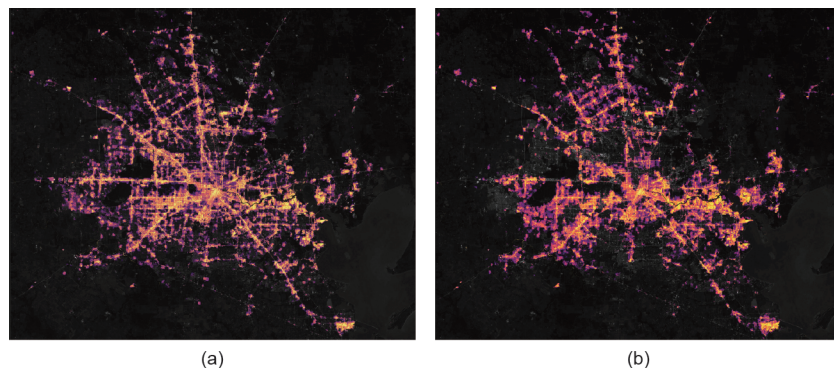


图1. 美国得克萨斯州休斯顿市在2021年2月停电之前（a）和停电期间（b）的卫星图像显示，该市大片地区断电。在危机期间，该市约有100万人在某些时间用不上电，至少有31人死于暴风雪相关原因。来源：National Aeronautics and Space Administration Earth Observatory（公共领域）。

大量电力通过其他电网在各州之间传输，但得克萨斯州电网只有少量低容量输电线与东部电网和墨西哥电网连接。通过这些输电线，得克萨斯州可进口不到其供电需求2%的电量[8]。得克萨斯州放松对电力市场的管制也让其与其他州有所不同[9]，即得克萨斯州的发电商仅因发电而获得补偿，而其储备备用电力则不会得到补偿[10]。

1989年、2003年和2011年冬季的暴风雪使电网的供电能力紧张。例如，在2011年2月一次为期4天的寒潮期间，多家燃气发电厂关闭，原因是设备故障，以及井口和天然气生产及输送系统的其他部件冻结，导致工厂燃料短缺[6]。发电量下降了4 GW [10]，迫使得克萨斯州电力可靠性委员会开始执行轮流停电措施[11]。

2021年的这场暴风雪并非得克萨斯州有史以来最冷的一次，但它对该州的影响范围更广，持续时间更长，温度比2011年寒潮期时的还低（图2），引发了前所未有的冬季电力需求激增[12]。在得克萨斯州居民打开加热器开始取暖时，却有越来越多的电源在关闭。大约50%的风力涡轮机结冰了[13]。得克萨斯州的4个核反应堆中的一个也停止了发电（由于气温低，抽水机停止工作）[14]。一些燃煤发电厂的煤冻住了，无法使用[15]。与2011年一样，为该州提供约50%电力的天然气发电厂也出现了问题[10]。极寒的天气再次扰乱了天然气的生产和输送[10]，并导致一些工厂中的设备出现故障[16]。Rhodes说道：“我们的电网需要创纪录的发电量，而我们却失去了约一半的发电能力。”



图2. 暴风雪期间，美国得克萨斯州奥斯汀市的气温降至零下14℃，降雪量超过16 cm。2021年2月17日，冰雪覆盖了奥斯汀市中心的一些棕榈树。来源：Jno. skinner (CC BY-SA 4.0)。

得克萨斯州电网的关键时刻于2021年2月15日提前到来，当时得克萨斯州电力可靠性委员会的预测显示，电力需求将很快超过供应近8 GW [17]。为此，该委员会试

图启动轮流停电措施。Hebner说道：“短暂中断供电会造成很多不便，但一般不会造成人员伤亡。”然而，Rhodes表示，由于发电量减少，而且需要为医院等设施的关键电路供电，因此很难执行轮流停电。结果并未实施轮流停电——有些人从未被断过电，而数百万人却连续数日缺电。尽管如此，得克萨斯州电力可靠性委员会还是在电网完全关闭不到5 min的时候采取了行动[18]。Hebner说道：“如果得克萨斯州电力可靠性委员会没有介入，所有人都将在更长一段时间内用不上电，可能是几个月。”

由于许多原因，得克萨斯州电网已经到了崩溃的边缘。专家一致认为，最重要的原因之一是对设施采取的防冻措施不充足。Rhodes及其同事发现，在暴风雪期间关闭的约585家发电厂中，有167家因天气相关问题而关闭，导致电网的发电量减少了30 GW [19]。由天气相关问题导致的另一个后果是，另外131家发电量为6.7 GW的发电厂因燃料不足而停止发电[20]。

2011年暴风雪过后，美国联邦能源管理委员会（US Federal Energy Regulatory Commission）和北美电力可靠性委员会（North American Electric Reliability Corporation）建议得克萨斯州的发电厂根据气候变化对其发电设施采取防冻措施，让发电设施能在最临近的城市有记录以来的最低气温下运行[20]。Rhodes表示，如果得克萨斯州的发电厂听取了这些建议，2021年暴风雪所造成的影响就会有所不同。“如果我们牢记那些教训，这次事件可能不会如此严重。”

然而，在2011年寒潮过后，得克萨斯州并没有就保护发电厂或天然气基础设施采取强制措施[10]。虽然对一些设施采取了自我保护措施，但其他设施还没为2021年的寒潮来袭做好准备。一项分析显示，在2011年因天气相关原因停产的发电厂中，约75%在2021年也停产或减产了[21]。许多评论人士都批评得克萨斯州未做好充分准备，包括休斯敦大学的能源研究员Ed Hirs。长期以来，他一直在批评得克萨斯州的电力市场。他指责那些发电商只有在为电网供电时才能获得报酬的规定，他表示，这些规定使许多发电商不愿主动承担昂贵的防冻费用。“他们没有动力，所以不会采取相关防冻措施。”

自2021年的危机以来，得克萨斯州立法机构通过了一项旨在改善发电厂冬季防冻现状的法案，尽管一些专家质疑该法案的有效性[22]。美国得克萨斯州奥斯汀市的能源分析师、得克萨斯州公共事业委员会（Public Utility Commission of Texas）和联邦能源管理委员会前顾问Alison Silverstein表示，在任何情况下，国家都需要采取更强有力的措施，保护天然气的生产与输送系统。她在自己

参与撰写的一份报告中还提出了其他十几项措施[23]，如要求为基础设施配备备用发电机组以及改造关键电路以防止轮流停电。她表示：“我们需要对这些电路进行更有效的重新设计和划分。这样我们才能有效、公平地轮流停电。”

分析人士表示，得克萨斯州还需要解决需求问题。美国洛基山研究所（Rocky Mountain Institute，美国科罗拉多州博尔德市一家专注于可持续发展的智库）的能源分析师 Mark Dyson 指出，住宅和商业建筑的建筑标准推动了2021年2月份的用电量激增。他表示，得克萨斯州直到2001年才颁布了适用于全州范围内的建筑能效要求，许多居民还住在保温性能极差、电阻加热效率低下的房子里。得克萨斯州的电网在其他时候也曾出现过电力供应接近短缺的情况，如2021年4月和6月。2021年6月14日，得克萨斯州的备用发电机组的发电量接近了15.7%的安全边际，得克萨斯州电力可靠性委员会要求消费者节约用电[24]。美国佐治亚理工学院土木与环境工程学助理教授 Emily Grubert 表示：“通过帮助提升冬季和夏季电网的稳定性，提高建筑的能源效率将会带来双重好处。她表示，制定更严格的建筑规范将大有裨益。”

一些人将此次危机归咎于几个因素，但这些因素影响甚微。与这些人的说法相反的是，结冰的风力涡轮机并没有导致停电[25]。Rhodes 表示，风力发电量下降了，但得克萨斯州电力可靠性委员会当时需要的风力发电量很少。2021年2月15日至2月19日，风电设施平均提供了4 GW 电量（得克萨斯州电力可靠性委员会计划得到7 GW）。然而，天然气设施只提供了30 GW（计划得到48 GW 电量），煤炭则提供了8 GW（计划得到14 GW 电量）[10]。得克萨斯州电网独立于其他电网也不是造成此次危机的主要原因。Hebner 表示，即使得克萨斯州可以从邻近的州引入大量电力，但也起不到任何作用。因为临近的那些州也受到了该暴风雪的影响，几乎没有多余的电力可供得克萨斯州使用。

改进得克萨斯州电网以避免另一场危机将耗资巨大，估计单为发电厂防冻就要花费200亿美元[26]。由于气候变化，恶劣天气事件的破坏性更强，发生频率更加频繁，给现有电网和其他基础设施带来更多压力[27,29]。此外，在2021年初夏美国太平洋西北部地区还出现了热浪。此次热浪可能是由气候变化造成的。在此期间，一些地区的气温飙升，比平均气温高出20℃还多[30]。如Hebner所说，面对这样的极端事件，不仅仅是得克萨斯州，每个人都面临着挑战，即在保持电网运行和提供廉价电力之间找到一个可接受的平衡点。

References

- [1] Feuer W. Some Texans use 2021 Ford F-150 hybrid pickup trucks to power homes amid winter storm [Internet]. New York City: CNBC; 2021 Feb 18 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.cnbc.com/2021/02/18/some-texans-use-2021-ford-f-150-hybrids-to-power-homes-amid-winter-storm.html>.
- [2] Yekikian N. Ford asks Texas dealers to loan out F-150 hybrids to serve as home generators [Internet]. El Segundo: MotorTrend; 2021 Feb 19 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.motortrend.com/news/ford-f-150-generator-dealer-loan/>.
- [3] Bohra N. Almost 70% of ERCOT customers lost power during winter storm, study finds [Internet]. Austin: Texas Tribune; 2021 Mar 29 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.texastribune.org/2021/03/29/texas-power-outage-ERCOT/>.
- [4] Death toll rises to 210 from February cold wave in Texas [Internet]. New York City: AP News; 2021 Jul 14 [cited 2021 Jul 14]. Available from: <https://apnews.com/article/health-government-and-politics-texas-cold-waves-9e92c2f2b55a19b7946ba0ed8f0bda88>.
- [5] Aldhous P, Lee SM, Hirji Z. The Texas winter storm and power outages killed hundreds more people than the state says [Internet]. New York City: BuzzFeed News; 2021 May 26 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.buzzfeednews.com/article/peteraldhous/texas-winter-storm-power-outage-death-toll>.
- [6] Webber ME. The Texas power crisis didn't have to happen [Internet]. New York City: American Society of Mechanical Engineers; 2021 Jun 15 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.asme.org/topics-resources/content/the-texas-power-crisis-didn-t-have-to-happen>.
- [7] Leslie M. Transmission infrastructure challenges use of renewable energy. *Engineering* 2020;6(6):587-9.
- [8] Simon M. Texas' icy disaster makes the case for uniting the US grid [Internet]. San Francisco: Wired; 2021 Feb 25 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.wired.com/story/texas-disaster-makes-the-case-for-uniting-the-grid/>.
- [9] Krauss C, Fernandez M, Penn I, Rojas R. How Texas' drive for energy independence set it up for disaster [Internet]. New York City: New York Times; 2021 Feb 21 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.nytimes.com/2021/02/21/us/texas-electricity-ercot-blackouts.html>.
- [10] Busby JW, Baker K, Bazilian MD, Gilbert AQ, Grubert E, Rai V, et al. Cascading risks: understanding the 2021 winter blackout in Texas. *Energy Res Soc Sci* 2021;77:102106.
- [11] Natter A, Dlouhy JA. Texas was warned a decade ago its grid was unready for cold [Internet]. Mumbai: BloombergQuint; 2021 Feb 18 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.bloombergquint.com/technology/texas-was-warned-a-decade-ago-its-grid-was-unprepared-for-cold>.
- [12] Goard A. Texas' power grid set a new winter peak demand record Sunday evening [Internet]. Austin: KXAN; 2021 Feb 14 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.kxan.com/news/texas/texas-power-grid-set-a-new-winter-peak-demand-record-sunday-evening/>.
- [13] Ball J. The Texas blackout is the story of a disaster foretold [Internet]. Austin: Texas Monthly; 2021 Feb 19 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.texasmnthly.com/news-politics/texas-blackout-preventable/>.
- [14] Hebner R. What the Texas-freeze fiasco tells us about the future of the grid [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2021 Feb 23 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/energywise/energy/the-smarter-grid/what-texas-freeze-fiasco-tells-us-about-future-of-the-grid>.
- [15] Blunt K, Gold R. 'A failure of Texas-sized proportions'—state debates how to overhaul its power market [Internet]. New York City: Wall Street Journal; 2021 Apr 16 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.wsj.com/articles/a-failure-of-texas-size-proportions-state-struggles-to-overhaul-its-power-market-11618565415>.
- [16] Wade W, Malik NS, Eckhouse B. Why is the power out in much of Texas? Frozen instruments at power plants, not wind farms, are the main factor [Internet]. Boston: Boston Globe; 2021 Feb 16 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.bostonglobe.com/2021/02/16/nation/why-is-power-out-much-texas-frozen-wind-farms-are-just-small-piece-puzzle/>.
- [17] Stein S. Biden's slow start [Internet]. New York City: Politico; 2021 Feb 23 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.politico.com/newsletters/politico-nightly/2021/02/23/bidens-slow-start-491861>.
- [18] Smith R. The Texas grid came close to an even bigger disaster during February freeze [Internet]. New York City: Wall Street Journal; 2021 May 27 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.wsj.com/articles/texas-electrical-grid-bigger-disaster-february-freeze-black-starts-11622124896>.

- [19] King CW, Rhodes JD, Zarnikau J. The timeline and events of the February 2021 Texas electric grid blackouts. Report. Austin: University of Texas; 2021 Jul.
- [20] Report on outages and curtailments during the southwest cold weather event of February 1–5, 2011. Report. Washington, DC: Federal Energy Regulatory Commission; 2011 Aug.
- [21] Sechler B, Jankowski P. Many power units that failed during Texas freeze also failed in 2011 storm [Internet]. Austin: Austin American-Statesman; 2021 Apr 19 [cited 2021 Jul 14]. Available from: <https://www.statesman.com/story/business/2021/04/19/many-power-units-failed-during-texas-freeze-also-failed-2011-storm/7065899002/>.
- [22] Buchele M. Texas lawmakers passed changes to prevent blackouts. Experts say they're not enough [Internet]. Washington, DC: NPR; 2021 Jun 2 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.npr.org/2021/06/02/1002277720/texas-lawmakers-passed-changes-to-prevent-more-blackouts-experts-say-its-not-eno>.
- [23] Wood P III, Gee RW, Walsh J, Perlman B, Klein B, Silverstein A. Never again: how to prevent another major Texas electricity failure [Internet]. Austin: Cynthia and George Mitchell Foundation; 2021 Jun 3 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.cgmf.org/blog-entry/435/REPORT-%207C-Never-Again-How-to-prevent-another-major-Texas-electricity-failure.html>.
- [24] O'Hanlon M. Leaders say Texas has power reserves to meet summer electricity demands; experts not as optimistic [Internet]. Dallas: Dallas Morning News; 2021 Jun 24 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.dallasnews.com/news/politics/2021/06/24/leaders-say-texas-has-power-reserves-to-meet-summer-electricity-demands-experts-not-as-optimistic/>.
- [25] Douglas E. Wind power a smaller contributor to Texas electricity crisis than initially estimated, ERCOT analysis shows [Internet]. Austin: Texas Tribune; 2021 Apr 28 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.texastribune.org/2021/04/28/texas-power-outage-wind/>.
- [26] Huffman C, Trahan J. Here's how much winterizing the Texas power grid could impact your power bill [Internet]. Dallas: WFAA; 2021 May 2 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.wfaa.com/article/news/local/investigates/texans-could-see-higher-electricity-bills-to-pay-for-power-plant-winterization-experts-say/287-5e7fd5ed-2c43-4fad-a786-a27308f9c234>.
- [27] Fletcher S, Jenkins J. As the Texas power crisis shows, our infrastructure is vulnerable to extreme weather [Internet]. Cambridge: MIT Technology Review; 2021 Mar 6 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.technologyreview.com/2021/03/06/1020389/texas-power-crisis-vulnerable-infrastructure-extreme-weather/>.
- [28] Palmer J. Anatomy of a tailings dam failure and a caution for the future. *Engineering* 2019;5(4):605–6.
- [29] Chrobak U. Adapting to climate change: what might be needed. *Engineering* 2020;6(11):1214–6.
- [30] Fountain H. Climate change drove western heat wave's extreme records, analysis says [Internet]. New York City: New York Times; 2021 Jul 7 [cited 2021 Jul 11]. Available from: <https://www.nytimes.com/2021/07/07/climate/climate-change-heat-wave.html>.