

## 能源諮詢委員會

### 二零零三年九月二十三日發生在瑞典南部和丹麥東部的停電事故

二零零三年九月二十三日在瑞典南部和丹麥東部發生了停電事故。瑞典的輸電系統營運機構 Svenska Kraftnät 和丹麥東部的輸電系統營運機構 Elkraft 對此做了調查。本文旨在將其調查結果<sup>1</sup>向各委員報告。

#### 背景

2. 在瑞典，400千伏和220千伏輸電網由 Svenska Kraftnät (SVK) 公司擁有及營運。該公司是一家國營電網公司，為瑞典電力輸電系統的營運機構。瑞典的總裝機發電容量約為3,200萬千瓦。瑞典中部及北部的輸電網與挪威和芬蘭聯網，總輸電容量分別約為420萬千瓦和170萬千瓦。瑞典南部的輸電網亦與丹麥東部聯網，總輸電容量約為170萬千瓦。此外，瑞典電網也和丹麥西部，德國和波蘭聯網，各聯網的總輸電容量分別約為60萬千瓦。

3. 在丹麥，供電系統分為西部系統與東部系統兩個獨立的系統（即兩個系統是沒有直接聯網），分別由兩家獨立的輸電系統營運機構 Eltra 和 Elkraft 營運。西部系統總裝機發電容量約為700萬千瓦。東部系統覆蓋了哥本哈根市，總裝機發電容量約為520萬千瓦。除了以上所提到的丹麥與瑞典南部聯網外，丹麥東部系統亦與德國聯網，輸電容量約為60萬千瓦。

4. 在這兩個國家，一些主要輸電線路以及發電機組的定期維修通常安排在冬季需求高峰來到之前進行。在事故發生之前，兩條連接瑞典中部和南部的400千伏輸電線路因定期維修而暫停運作。瑞典至德國和瑞典至波蘭的聯網線路亦由於年度檢查和一些小維修而暫停運作。幾條丹麥東部系統內的400千伏和132千伏輸電線路以及與德國連接的聯網線路亦因維修而暫停運作。此外，在瑞典和丹麥東部有一些發電機組由於需要大修而暫停運作。兩國的輸電系統營運機構在評估運行計劃時，已考慮了這些定期維修所需的暫停運作安排。

---

<sup>1</sup> 根據 Svenska Kraftnat 和 Elkraft 分別於二零零三年十月二日和二零零三年十一月四日發表的調查報告。

## 事故

5. 在事故發生前，瑞典和丹麥的電力系統運行狀態穩定，符合運行可靠性標準。瑞典和丹麥東部的電力系統需求量在中等水平，分別約為1,500萬千瓦和185萬千瓦。丹麥東部系統當時正在輸出約40萬千瓦電力予瑞典南部地區。

### 第一個故障

6. 二零零三年九月二十三日下午十二時三十分，瑞典南部的 Oskarshamn 核電站3號機組由於給水系統內部閘門的一些技術問題發生了跳擊，使瑞典電力系統的可用發電容量減少了約120萬千瓦。北歐電力系統的設計是可以承受單一發電機組停機而不引起供電中斷的<sup>2</sup>。通過自動啟動其他發電站的備用發電容量，電力系統得以穩定在正常運作範圍內。瑞典南部電網電壓有輕微下降，但未造成重大影響。

### 第二個故障

7. 正當恢復電力系統至正常狀態的行動還在進行時，於下午十二時三十五分（即第一個故障發生後5分鐘）在瑞典南部的 Horred 電力站（一個主要的400千伏電力站）發生了一個雙匯流排故障<sup>3</sup>。故障原因是由於匯流排隔離器<sup>4</sup>接頭損毀，使到匯流排隔離器翻倒而碰觸到鄰近匯流排，引起兩條匯流排間的短路。保護裝置探測到故障，並按照其設計功能使所有連接的電路跳擊。

8. 第二個故障的結果是，四條與該電力站連接的400千伏輸電線路跳擊，使兩台位於 Ringhals 發電站的90萬千瓦發電機組，以及瑞典中部與南部之間的一些重要輸電線路斷開了。進一步令到瑞典電力系統減少了約180萬千瓦的發電容量，並削弱了瑞典中部與南部之間的輸電能力。

---

<sup>2</sup> 雖然電力系統能承受單一故障發生，但運轉儲備可能不足以將電力系統恢復到正常運作狀態。因此，任何另外的意外事故，將可能導致供電中斷。根據北歐國家採用的可靠性標準，如果必要的話，輸電公司需要在發生單一故障後十五分鐘內通過啟動備用容量來恢復電力系統的正常運作。

<sup>3</sup> 匯流排是電力站中一種用作連接電線、變壓器和其他設備在一起的電導體或導管。根據不同的設計，電力站可以安裝單一套或兩套平行排列的匯流排。由於匯流排安裝在電力站內，匯流排故障比其他供電元件故障，如電纜損壞更少見。雙匯流排故障（故障發生在兩套匯流排之間）更是非常罕見的。

<sup>4</sup> 隔離器是電力站內一種開關設備，其功能是控制兩個導電端點間的連接與斷開。匯流排隔離器是用來控制設備與匯流排間的連接和斷開的。

## 停電

9. 兩個故障導致瑞典南部總共損失了約300萬千瓦的發電容量，因此該地區必須依賴瑞典中部和北部以及丹麥東部的電力輸入來維持電力供應/需求平衡。由於要增加電流量來支持瑞典南部電網，結果令到瑞典中部和南部之間餘下的輸電線路出現了超載。同時，因為瑞典南部發電容量下降使電網系統電壓變得難以保持並開始下降，最終啟動了瑞典中部與南部之間餘下輸電線路的保護裝置。這些裝置使電路跳掣，導致瑞典南部和中部電網的連接斷開了。

10. 由於有當地的發電設施支持，丹麥東部的電壓下降程度相對不太嚴重。因此瑞典南部和丹麥東部的電網仍保持相互連接，但卻與整個北歐電力系統的其他部份分離。因為發電容量嚴重不足，這個分離出來的區域內餘下的發電機不能滿足需求，也不能支持系統電壓。在非常短的時間內，所有餘下的發電機組都因它們保護裝置的啟動而跳掣，使整個區域停電。

11. 這次停電是北歐電力系統過去二十年中最嚴重的供電事故之一。在停電後幾分鐘，系統的恢復工作便根據已建立的應急系統恢復程序開始了，以重新啟動輸電線路/電力站和發電機組。除了少數用戶由於其位處地區的特殊原因，直到晚上十時左右才恢復電力供應外，瑞典和丹麥幾乎所有的電力供應都在當天晚上大約七時左右恢復。

## 調查結果

12. 根據北歐國家採用的可靠性標準，電力系統的設計一般都能夠承受單一故障，並需要在15分鐘內恢復電力系統的正常運作，即使隨後發生另一次故障，也不會導致供電中斷或系統癱瘓。調查結果顯示，這次停電的主要原因是當120萬千瓦發電機組停機後，僅幾分鐘就隨即發生了既罕見又嚴重的雙匯流排故障。因為電力系統在第一次故障後還未恢復到正常狀態，加上在第二次故障發生後，關鍵輸電線路的跳掣嚴重削弱了電網輸電能力，以及另外喪失了180萬千瓦的發電能力。這已超出了電力系統原有設計所能夠承受的最嚴重程度。

## 跟進措施

13. 為使未來發生類似事故的風險減到最小，有關國家正考慮以下的措施：
  - (a) 檢討 Nordel（北歐國家的電力系統營運機構合作組織）採用的運行及規劃標準和協議；
  - (b) 分析供電安全架構；
  - (c) 根據是次事故的經驗，檢討電力系統營運機構的電網運作和加強對重大電力系統事故的應變準備；以及
  - (d) 檢查整套系統的運行和保護機制。

## 觀察要點

14. 這次事故是由於主要發電機組停機後，在很短的時間內發生了另一個既罕見又嚴重的雙匯流排故障引發的。這樣的雙重故障給電力系統增加了負擔，並超過了正常系統設計和運行可靠性標準的水平。以一般規劃標準設計的電力系統是不能應付此類情況的。

15. 第二個故障與在開敞式電力站<sup>5</sup>內的匯流排隔離器機械故障有關。該故障導致一個主要電力站的雙匯流排故障。在香港，由於電力站設計<sup>6</sup>有所不同，因此出現雙匯流排故障的可能性極低。不過該事故反映了對電力系統關鍵部份作定期檢查和預防性維修的重要性。

16. 由於連接瑞典中部和南部輸電線路跳掣，那些供電正常的區域與發生故障的區域被隔離開，北歐電網的其他部份因此未受到影響。如果瑞典南部和丹麥東部之間的聯網線路也同時斷開，丹麥東部也許不會受到影響，這次停電便可能僅限於瑞典南部。根據調查，這樣的措施需要一些具有先進測量和控制能力的保護系統，而這樣的系統還沒有完全開發出來。

---

<sup>5</sup> 在開敞式電力站，包括匯流排和隔離器等開關設備的導電零件是暴露在空氣中的。

<sup>6</sup> 在香港，幾乎所有輸電電力站都安裝了氣體絕緣開關設備。這種開關設備的匯流排在氣體絕緣室內。雖然有少數 132 千伏電力站仍安裝了開敞式開關設備，但這些電力站的匯流排隔離器與瑞典電力站中發生故障的隔離器的設計是不同的。

## 徵詢意見

17. 請各委員留意本文的內容。

經濟發展及勞工局  
二零零四年九月