

2024 年 5 月 27 日會議
討論文件

立法會環境事務委員會

2024 年中華電力有限公司電力事故

目的

就中華電力有限公司（下稱「中電」）在 2024 年的五宗電力事故，政府已收到中電向機電工程署（下稱「機電署」）署長所提交的調查報告。有關電力事故為：

- （一）1 月 1 日青衣牙鷹洲街變電站電力事故¹；
- （二）1 月 7 日青衣長安邨安湄樓電力事故；
- （三）3 月 19 日元朗凹頭導引線下垂事故；
- （四）3 月 30 日輸電系統電壓驟降事故；及
- （五）4 月 6 日輸電系統電壓驟降事故。

2. 政府已在 2 月 26 日向委員會提交資料文件匯報上述事故（一）和（二）報告的主要內容、事故成因和改善措施（見附件一）。本文件旨在向委員會匯報此兩宗事故跟進工作的最新進展，以及其餘三宗事故（即上述事故（三）、（四）和（五））報告的主要內容、跟進工作和改善措施。

背景

3. 政府根據《電力條例》（第 406 章）（下稱《條例》）監管電力公司的運作，以確保本港的電力供應安全可靠。《條例》闡述供電商的權力和責任，包括須在電力意外發生後向機電署署長提交報告，說明意外的起因，以及已經採取或將會採取的補救行動，以防再次發生意外。

¹ 引致電壓驟降

4. 政府非常關注中電在 2024 年首四個月相繼發生的五宗電力事故，影響市民日常生活和令公眾對電力的穩定供應感到憂慮。機電署在每宗事故後，均立即派員到現場調查和與中電跟進事態發展，督促中電盡快完成修復工作，並要求中電查明整件事故和成因，以及在有關事故的四星期內²提交調查報告。

5. 機電署在 1 月 27 日、1 月 20 日、4 月 15 日、4 月 26 日和 5 月 3 日分別收到中電就（一）1 月 1 日青衣牙鷹洲街變電站電力事故、（二）1 月 7 日青衣長安邨安湄樓電力事故、（三）3 月 19 日元朗凹頭導引線下垂事故、（四）3 月 30 日輸電系統電壓驟降事故，以及（五）4 月 6 日輸電系統電壓驟降事故所提交的報告。報告交代事故詳情、事故成因和改善措施。事故（一）和（二）的報告文本載於政府在 2 月 26 日向委員會提交的資料文件（見附件一），而其餘三宗事故（即事故（三）、（四）和（五））的報告文本分別載於附件二、附件三和附件四。

事故成因和改善措施

事故（一）：1 月 1 日青衣牙鷹洲街變電站電力事故和事故（二）：1 月 7 日青衣長安邨安湄樓電力事故

6. 中電就事故（一）的報告指出，裝設於青衣牙鷹洲街 132 千伏變電站室外的 132 千伏電纜終端內物料有瑕疵，令電纜終端的絕緣層效能隨著使用時間降低，最後令電纜終端出現短路故障和引發霧煙。事故引致短暫電壓驟降，但期間電力供應沒有中斷。中電就事故（二）的報告指出，長安邨安湄樓的中電變電站內一條 11 千伏地下電纜的電纜接頭物料較早老化，導致該接頭防水功能失效，濕氣因而進入接頭腐蝕內部部件，最終引致絕緣層破損，導致安湄樓部分電力供應中斷，影響 388 個用戶。

² 除要求中電就 1 月 7 日青衣長安邨安湄樓電力事故於兩星期內提交調查報告外，其餘四宗電力事故中電均須在四星期內提交調查報告。

7. 至於事故（一）和（二）的改善措施和跟進工作，中電已應機電署要求分別在 1 月內完成檢查青衣區的電力供應系統和在 2 月內完成其他地區裝有同類型電纜接頭和電纜終端的相關檢查工作，確定有關電纜接頭和電纜終端處於正常運作狀態。機電署亦已對該項檢查工作進行抽查，並沒有發現不正常的情況。此外，機電署會繼續跟進中電落實各項改善措施的情況，包括檢討全港輸配電系統的維修保養安排、審視和加強其採購管理、就同類型電纜接頭和電纜終端制定絕緣層良好性的狀態評估工作計劃，以及探討採用創新科技方案進行線上狀態監測。機電署要求中電在 2024 年內分階段完成上述各項改善措施，並就有關進展定期向機電署匯報。

事故(三)：3 月 19 日元朗凹頭導引線下垂事故

8. 中電就事故（三）的報告(附件二)指出，中電的承辦商於當日下午約 12 時 21 分為一組不帶電的 40 萬伏特架空線路進行更換架空電纜工作期間，一條非帶電的導引線下垂至行車天橋橋面，最終影響附近的 1 萬 1 千伏特供電系統，並導致 68 個客戶停電，事故中無人受傷。中電的調查結果顯示由於中電的承辦商在施工時未有依據施工方案採用物料防墮裝置和現場承辦商工作人員協調不足，因而導致有關事故發生。

9. 機電署參考了獨立第三方專家的意見後，原則上確認事故（三）報告內的事故成因。為杜絕同類型事故，中電承諾會加強監察涉事承辦商，以確保承辦商妥善執行工地安全措施和改善工地的協調工作，並會引進創新科技和數碼技術提升工地的管理。政府認為事故（三）的成因完全基於人為錯誤，雖然有關工程由中電的承辦商執行，但是中電未有適切地監察涉事承辦商，應當承擔工程倡議人的主體責任。機電署在審視報告後，認為中電未能有效地監察承辦商和工地的安全管理，已責成中電制訂機制，以確保其所有外判合約的承辦商在進行高風險工作時必須採取妥善的安全措施、必須安排中電員工為所有外判合約的高風險工作，作出足夠的現場監察，以及採用安全智慧工地的相關技術提升工地安全和工作質素。機電署亦就事故向中電發出警告信，告誡和要求中電在進行高風險工作時，須嚴格執行妥善的安全措施，

以免危害公眾安全。

事故(四)：3月30日輸電系統電壓驟降事故

10. 中電就事故(四)的報告(附件三)指出，一組連接荔枝角至元朗的40萬伏特架空電纜線路受元朗十八鄉的山火影響，引致有關線路在當日下午約12時28分發生故障。事故引致短暫電壓驟降，但期間電力供應沒有中斷。中電調查後相信事故由當日發生於元朗十八鄉的山火引起。為避免事故再次發生，中電會繼續採取預防措施減低山火造成電壓驟降的機會和影響，包括在山火較多的季節加強農林巡邏和以小型無人機評估設備狀況，加強與消防處就山火個案和電壓驟降事故的溝通，並會透過社區聯絡活動提高市民對電壓驟降的認識。機電署參考了獨立第三方專家的意見後，原則上確認事故(四)報告內的事故成因和改善方案。

事故(五)：4月6日輸電系統電壓驟降事故

11. 中電就事故(五)的報告(附件四)指出，龍鼓灘發電廠內的供電設備於當日下午約1時29分發生故障。事故引致短暫電壓驟降，但期間電力供應沒有中斷。中電調查後相信事故由當日的雷擊引起。為避免事故再次發生，中電會加強相關發電和輸電設備抵禦雷擊的能力，包括為避雷系統和相關接地系統進行全面測試和檢討。機電署現正聯同獨立第三方專家就事故(五)仔細審視調查報告所述事故的成因，以及評估建議的改善措施是否適切。如有需要，機電署會要求中電釐清報告內容和提供進一步資料。

12. 針對中電近期相繼發生的一連串事故，除加強就變電站和供電設備的巡查外，機電署已要求中電全面檢視其供電系統相關的資產管理系統，包括發電和輸配電設備在維修保養安排、抵禦外在因素影響的能力和判合約管理等要求，以提升其供電可靠性和電力安全方面的表現。

未來路向

13. 機電署會密切跟進中電落實上述報告中提出的各項改善措施，以及機電署在審視報告後提出的額外建議措施，以防止同類事故再次發生。同時，為減低電壓驟降事故對市民生活的影響，機電署會在得悉事故時要求各註冊升降機承辦商調配人手到受影響地區，協助升降機受困的乘客和重置升降機運作。

14. 鑒於中電近期頻繁電壓驟降事故，引致相當數目的升降機被困事件，以及社會各界有意見認為中電應就電壓驟降事故承擔責任，環境及生態局已與中電舉行會議並提出應就重大電壓驟降事故設立懲罰方案，以納入現行與中電的《管制計劃協議》的懲罰機制。目前中電仍在考慮有關建議。

環境及生態局

機電工程署

2024 年 5 月

資料文件

立法會環境事務委員會

2024 年 1 月中華電力有限公司青衣電力事故

目的

政府於 2024 年 1 月 20 日及 27 日分別收到中華電力有限公司(下稱「中電」)向機電工程署(下稱「機電署」)署長就 1 月 7 日青衣長安邨安湄樓電力事故及 1 月 1 日青衣牙鷹洲街變電站電力事故所提交的調查報告(下稱「報告」)。本文件旨在向委員會匯報報告的主要內容，並概述就兩宗事故的跟進工作和改善措施。

背景

2. 政府根據《電力條例》(第 406 章)(下稱《條例》)監管電力公司的運作，以確保本港的電力供應安全可靠。《條例》闡述供電商的權力及責任，包括須在電力意外發生後向機電署署長提交報告，說明意外的起因，以及已經採取或將會採取的補救行動，以防再次發生意外。

3. 政府非常關注中電於短時間內在青衣發生的兩宗非因惡劣天氣等外在原因導致的電力事故，影響市民生活及令市民感到憂慮。機電署於兩宗事故後，均立即派員到現場調查及與中電跟進事態發展，督促中電盡快完成修復工作，並要求中電盡快查明整件事故和成因，以及分別在有關事故的四星期及兩星期內提交調查報告。

4. 其後，機電署於 1 月 8 日與中電進行特別會議，要求中電立即加強檢查青衣區的電力供應系統，並在 1 月內完成，以及安排檢查各區同類型的涉事組件，即電纜接頭和電纜終端。機電署亦敦促中電全面檢討全港輸配電系統的維修保養安排，確保供電的可靠性及防止同類事故再次發生。

5. 機電署於 1 月 20 日及 27 日分別收到中電就 1 月 7 日青衣長安邨安湄樓電力事故及就 1 月 1 日青衣牙鷹洲街變電站電力事故提交的報告。報告交代事故詳情、事故成因及改善措施，其文本分別載於附件一及附件二。

事故成因

6. 就 1 月 1 日青衣牙鷹洲街變電站電力事故，中電的報告(附件二)指出，裝設於青衣牙鷹洲街 132 千伏變電站室外的 132 千伏電纜終端在當日下午約 3 時 13 分發生故障，對電纜終端造成損毀及引發霧煙，而有關電力自動保護系統即時隔離故障部分。事故引致短暫電壓驟降，但期間電力供應沒有中斷。中電調查後相信該事故是由於有關電纜終端內物料有瑕疵，令電纜終端的絕緣層效能隨著使用時間降低，最後令電纜終端出現短路故障。

7. 就 1 月 7 日青衣長安邨安湄樓電力事故，中電的報告(附件一)指出，長安邨安湄樓的中電變電站內一條 11 千伏地下電纜的電纜接頭在當日上午約 9 時 38 分發生故障，導致安湄樓部分電力供應中斷，影響 388 個用戶。中電隨後於上午約 11 時 04 分完成恢復所有用戶的電力供應。中電調查後相信是次事故涉及有關電纜接頭物料較早老化，導致該接頭防水功能失效，濕氣因而進入接頭腐蝕內部部件，最終引致絕緣層破損，導致事故發生。

8. 經中電與其所聘請的獨立第三方的電機工程專家深入調查及審視，確認兩宗事故發生於兩個不同電壓的供電系統，屬於獨立事件。

改善措施

9. 應機電署要求，中電在 1 月內已完成檢查青衣區的電力供應系統，包括巡查青衣區內的 4 間 132 千伏變電站及 370 間 11 千伏變電站內的供電設備，並檢查青衣區內的其他同類型 11 千伏電纜接頭和 132 千伏電纜終端，確定有關設備處於正常運作狀態。機電署對該項檢查工作進行抽查，並沒

有發現不正常的情況。此外，機電署正跟進中電於 2 月內完成其他地區裝有同類型電纜接頭及電纜終端的相關檢查工作，並會進行抽查。

10. 中電的報告提出，為進一步加強維修保養，中電會針對同類型電纜接頭制定絕緣層良好性的狀態評估工作計劃，以及探討採用創新科技方案進行對電纜終端的線上狀態監測。在考慮報告後，機電署認為中電應就同類型電纜接頭和電纜終端兩者均制定絕緣層良好性的狀態評估工作計劃，並探討採用創新科技方案進行線上狀態監測。機電署亦會加強相關變電站及供電設備的巡查，以監察和確保其供電可靠性及電力安全方面的表現。

11. 此外，中電在報告指出，已應機電署要求聯同獨立專家顧問檢討全港輸配電系統的維修保養安排，確保香港的供電安全及可靠性。在考慮報告後，鑒於兩宗事故均與裝置的物料有關，機電署要求中電審視及加強其採購管理，特別就採購電力系統內的重要部件，確保供電設備附合國際標準及相關技術要求。

總結

12. 機電署在考慮兩份報告內的相關理據及調查結果後，原則上確認報告的事故成因和改善方案，並會密切跟進中電落實報告中提出的各項改善措施，以及機電署在審視報告後提出的額外建議措施（見上文第 10 和 11 段）。

環境及生態局
機電工程署
2024 年 2 月

2024 年 1 月 7 日
青衣安湄樓
電力供應中斷事故

事故調查報告

提交報告者：

[簽字]

羅卓恆先生
總監 - 資產管理

日期：二零二四年一月二十日

本中文版報告為英文版本譯本，僅供參考。如中、英文兩個版本有任何抵觸或不相符之處，應以英文版本為準。

報告摘要

2024 年 1 月 7 日，中華電力一條為青衣長安邨安湄樓客戶變電站（安湄樓 'B' 變電站）提供電力供應的一萬一千伏特變壓器饋電線路，於上午 9 時 38 分發生故障，導致對安湄樓 388 個客戶的電力供應中斷。

安湄樓共有 808 個客戶，由兩個客戶變電站供電。安湄樓 'B' 變電站發生的事故影響當中 388 個客戶，佔客戶總數的 48%。經中華電力緊急維修小組到場調查後，發現安湄樓 'B' 變電站內一個一萬一千伏特三芯分支轉換電纜接頭¹（「三芯電纜接頭」）出現故障。中華電力立即將該故障三芯電纜接頭隔離，以便作出維修，同一時間與長安邨屋邨管理處進行協調，安排將客戶方的電力設備切換至中華電力另一供電源，盡快為受影響客戶恢復電力供應。電力供應於當天上午 11 時 04 分全面恢復。相關的三芯電纜接頭亦於同日傍晚時分完成更換，重新恢復通電。

發生故障的三芯電纜接頭於 2000 年開始使用，已經在系統中使用了約 23 年。調查顯示三芯電纜接頭物料異常提早出現老化，導致防水功能失效，令絕緣層隨時間過去而破損，導致事故發生。

安湄樓 'B' 變電站內的三芯電纜接頭按 IEC-60502 標準設計。該三芯電纜接頭的原設備製造商（OEM）自 1998 年起向中華電力供應同類型的接頭。目前共有 26 套三芯電纜接頭在系統中的變壓器饋電線路中使用。根據紀錄，相同三芯電纜接頭在安湄樓 'B' 變電站事故前發生過一次故障，這次是 25 年以來的第二次事故。

然而，為釋除青衣區居民的疑慮，中華電力已即時採取額外措施，包括對另 1 條裝有相同三芯電纜接頭的變壓器饋電線路進行局部放電測試，以及巡查青衣區內共 370 個客戶變電站，對電力設備進行局部放電測試及紅外線測量。以上措施已於 2024 年 1 月 18 日完成，沒有發現任何異常情況。

中華電力亦會繼續對其餘裝有相同三芯電纜接頭的變壓器饋電線路進行局部放電測試，並根據測試結果制定相應的資產狀況評估計劃。這些測試預計將於 2024 年 2 月完成。

長遠措施方面，中華電力將全面檢討供電系統的維修保養安排。此外，為加強與受停電影響客戶的溝通，中華電力除會加強與物業管理公司的聯繫，以改善事故應變的協調外，亦會與社區領袖（包括民政事務專員、區議員、鄉事委員會成員等）保持緊密聯繫，確保能夠適時發放資訊。

¹ 三芯分支轉換電纜接頭設計用於將一組三芯電纜接駁上另一組單芯電纜

目錄

1. 前言	3
2. 設備故障事故及復電安排	4
3. 調查結果	4
4. 事故原因分析	5
5. 系統中該設施的使用情況	6
6. 跟進行動	7
7. 附件	8

1. 前言

2024 年 1 月 7 日上午 9 時 38 分，青衣長安邨安湄樓內的安湄樓'B'變電站發生供電中斷事故。據中華電力的實時操作系統顯示，一條供電給安湄樓'B'變電站（即安湄樓內兩個變電站的其中一個）的一萬一千伏特變壓器饋電線路懷疑發生故障。自動保護系統隨即啟動，將故障部分隔離。該事故導致安湄樓的 388 個客戶電力供應中斷。

安湄樓共有 808 個客戶，由兩個客戶變電站供電。安湄樓'B'變電站發生的停電事故影響當中 388 個客戶，佔客戶總數的 48%。經中華電力緊急維修小組到場調查後，發現安湄樓'B'變電站內一個一萬一千伏特三芯分支轉換電纜接頭（「三芯電纜接頭」）出現故障。中華電力立即將該故障三芯電纜接頭隔離，以便作出維修，同一時間與長安邨屋邨管理處進行協調，安排將客戶方的電力設備切換至中華電力另一個供電源，為受影響客戶恢復電力供應。電力供應於當天上午 11 時 04 分全面恢復。相關的三芯電纜接頭亦於同日下午 7 時 17 分完成更換，重新恢復通電。

事故發生後，中華電力立即採取行動展開修理工作及調查；同時在青衣區加強預防措施，以防止客戶受到進一步停電影響。

2. 設備故障事故及復電安排

發生故障的設備是一個一萬一千伏特三芯電纜接頭，將一組 150 平方毫米三芯紙絕緣鋁電纜與另一組 95 平方毫米單芯交聯聚乙烯銅電纜連接起來。該三芯電纜接頭於 2000 年開始使用。

事故中沒有任何傷亡，除了相關的三芯電纜接頭外，沒有財物受損。

居住於安湑樓的 808 個客戶當中有 388 個客戶受到停電影響。一萬一千伏特系統的電壓驟降維持了約 0.22 秒。

以下是 2024 年 1 月 7 日的事件時序：

- 上午 9 時 38 分，警報顯示一條為青衣長安邨名為「安湑樓'B'變電站」的客戶變電站供電的一萬一千伏特變壓器饋電線路疑似發生故障。中華電力緊急維修小組被召到場。
- 上午 9 時 58 分，中華電力緊急維修小組抵達現場並開始檢查變電站，發現安裝在安湑樓'B'變電站線坑內的一個一萬一千伏特三芯電纜接頭發生故障。該一萬一千伏特電纜線路隨即被隔離及接地。
- 中華電力即時與長安邨屋邨管理處協調，安排註冊電業工程人員在客戶方的低壓總掣櫃進行切換操作，為受影響的客戶恢復供電。
- 上午 11 時 04 分，屋邨管理處安排的註冊電業工程人員抵達現場，在客戶方的低壓總掣櫃完成切換操作。電力供應透過中華電力另一供電源全面恢復。
- 下午 7 時 17 分，完成更換發生故障的三芯電纜接頭，變壓器線路重新通電。
- 2024 年 1 月 8 日上午 10 時 10 分，屋邨管理處安排的註冊電業工程人員在客戶的低壓總掣櫃重設切換開關，回復原來供電安排。

3. 調查結果

3.1 設計及維修紀錄

1. 事故中發生故障的三芯電纜接頭，用於將一組來自安湑樓'A'變電站的 150 平方毫米三芯紙絕緣鋁電纜，連接到安湑樓'B'變電站內另一組 95 平方毫米單芯交聯聚乙烯銅電纜，以接駁安湑樓'B'變電站內變壓器。
2. 故障的三芯電纜接頭於 2000 年開始使用，已經在系統中使用了約 23 年。該接頭安裝在安湑樓'B'變電站內以鋼板覆蓋着的線坑內。
3. 該三芯電纜接頭的 OEM 自 1998 年起向中華電力供應同類型的三芯電纜接頭。目前共有 26 套來自該 OEM 的一萬一千伏特三芯電纜接頭正在系統中類似的變壓器饋電線路中使用。
4. 該三芯電纜接頭乃按照 IEC-60502 標準（即「額定電壓在一千伏特至三萬伏特的擠壓絕緣電力電纜及其配件」）設計。

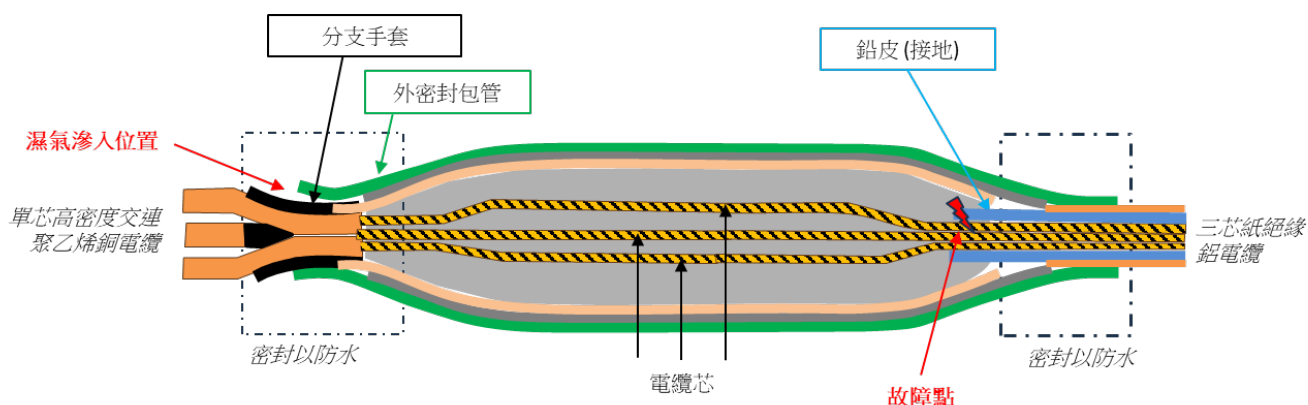
5. 對於該類型三芯電纜接頭，OEM 沒有指明特定的維修要求。此外，根據電力行業慣例，電纜接頭亦沒有特定的維修要求。中華電力一般每隔兩年檢查客戶變電站內的設備。上一次檢查在 2022 年 7 月進行，並沒有發現任何異常情況。
6. 根據紀錄，該類型三芯電纜接頭自 1998 年引入中華電力系統後，在 2015 年發生過一次故障，因此，這次是 25 年以來發生第二次的同類設備故障事故。

3.2 調查結果

繼現場檢查後，中華電力於 2024 年 1 月 8 日在設備工場對故障三芯電纜接頭進行解剖以作詳細調查。

調查顯示，三芯電纜接頭的防水能力失效。外密封包管及分支手套，原應無縫套緊以發揮防水功能，但調查發現交連聚乙烯（XLPE）電纜那邊的外密封包管出現剝落痕跡，留有罅隙讓濕氣進入。

三芯電纜接頭內金屬部分出現鏽跡，證明接頭內部存有濕氣。調查過程中亦發現絕緣物料功能減弱，特別在紙絕緣（PILC）電纜的鉛皮接地位置出現一個弱點，令絕緣層隨時間過去而破損，最終導致三芯電纜接頭發生故障。



4. 事故原因分析

調查結果顯示，三芯電纜接頭物料異常提早出現老化，外密封包管退化引致其防水功能受損。

一般在陸地安裝的電纜接頭，包括三芯電纜接頭的設計，主要靠電纜外密封包管與分支手套之間無縫套緊，以承受正常水壓發揮其防水功能。

然而，由於防水功能失效，濕氣穿透罅縫進入接頭，然後滲入三芯電纜接頭內部，令包括鉛皮在內的所有內部部件直接暴露於濕氣而產生腐蝕作用。最終，令絕緣層完整性隨時間過去而破損，導致絕緣失效。

排除其他可能原因

調查包括分析及排除其他電纜接頭的常見故障原因，以支持調查結論：

1. **電力過載**：根據過去 5 年（截至事故當日為止）的負荷記錄，該線路負荷一直不超過 40 安培，遠低於電纜的額定負載能力（240 安培）。該線路在正常條件下運行，因過載而引致過早老化的可能性不大。
2. **第三方干擾**：三芯電纜接頭上沒有發現壓痕或受外在干擾跡象，可合理地排除因受第三方干擾而導致三芯電纜接頭損壞的可能性。
3. **工藝質量**：詳細調查並沒有發現工藝質量方面出現缺漏的跡象。故障點位於 PILC 電纜的鉛皮內，該位置並非處於轉彎位置，或其他有機會承受額外壓力的地方。當解剖電纜接頭時，根據電纜接頭安裝指引和拆卸電纜接頭的預期力度進行對照，並未發現任何偏差以顯示有組裝不當、連接位置鬆動、密封膠帶繞包不恰當或其他工藝質量的缺漏。

5. 系統中該設施的使用情況

事故中涉及的一個一萬一千伏特三芯電纜接頭，用於將一組 150 平方毫米三芯紙絕緣鋁電纜連接到另一組 95 平方毫米單芯交連聚乙烯銅電纜。該一萬一千伏特三芯電纜接頭於 2000 年開始使用。相關 OEM 自 1998 年起向中華電力供應同類型的三芯電纜接頭，電纜接頭按照國際標準設計。目前共有 26 套來自同一 OEM 的一萬一千伏特三芯電纜接頭正在系統的變壓器饋電線路中使用。

紀錄顯示，在此次事故之前，同類型三芯電纜接頭發生過一宗故障事故。這次是 25 年以來安裝在這樣配置中的三芯電纜接頭的第二次故障事故。根據現行的中華電力維修安排，對於一萬一千伏特三芯電纜接頭並沒有特定維修要求，這與電纜接頭 OEM 的維修保養建議及電力行業的慣例一致。

國際大電網委員會（CIGRE²）指出 PILC 電纜系統在正常運行條件下一般預期可使用 50 至 60 年。該委員會亦指出，糾正性維修（即修理或更換故障設備）是對中壓（即一千伏特至三萬六千伏特）電纜系統普遍採用的維修策略。

儘管中壓電纜系統沒有特定維修慣例，中華電力每隔兩年便會為客戶變電站進行一次例行巡查。例行巡查包括檢查變電站的環境條件，以及對中壓開關櫃及電纜接駁終端進行局部放電測試，以識別任何異常情況。儘管對於發現隱性問題存在局限，此維修安排與行業標準看齊。

² CIGRE（國際大電網委員會）成立於 1921 年，是一個專注於高壓電力的全球非牟利組織，由來自 90 多個國家和 1250 個成員組織的數千名專業人士組成，其中包括該領域中的頂尖專家。

6. 跟進行動

降低風險措施的建議

為釋除客戶的疑慮，中華電力已即時採取額外措施巡查青衣區的所有客戶變電站，以減低區內客戶電力供應中斷的風險。

提升青衣區供電可靠性的措施

- i. 巡查青衣區內一共 370 個客戶變電站，包括對低壓配電盤進行紅外線測量及對一萬一千伏特開關櫃進行局部放電測試。
已於 2024 年 1 月 17 日完成。沒有發現任何異常情況。
- ii. 對青衣區內裝有同類型三芯電纜接頭的變壓器饋電線路進行局部放電測試。
已於 2024 年 1 月 18 日完成。沒有發現任何異常情況。
- iii. 加強巡視青衣區內的建築地盤，防止地下電纜受第三方損壞。

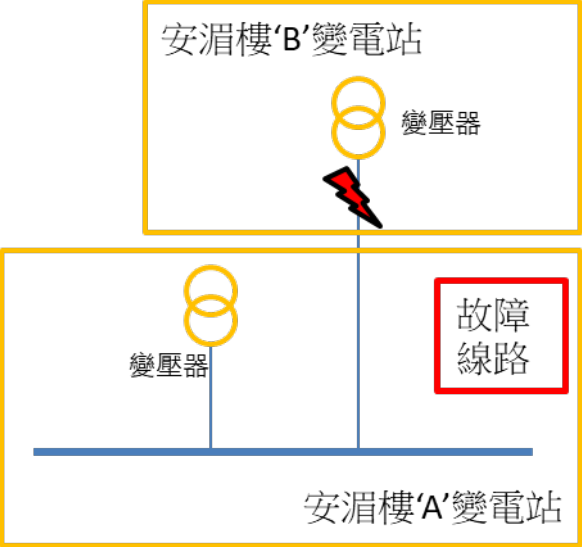

監察三芯電纜接頭的措施

- iv. 繼續對其他各區裝有同類型三芯電纜接頭的變壓器饋電線路進行局部放電測試以便作狀況評估。
其他各區共有 24 個，預計將於 2024 年 2 月完成。
- v. 針對裝有同類型三芯電纜接頭的變壓器饋電線路，與客戶協調電力設備的停電安排以制定進一步狀況評估工作計劃。

長期措施

- vi. 全面檢討供電系統的維修保養安排。
- vii. 為加強與受停電影響的客戶的溝通，中華電力除會強化與物業管理公司的聯繫以改善事故應變的協調外，亦會與社區領袖（包括民政事務專員、區議員、鄉事委員會成員等）保持緊密聯繫，確保能夠適時發放資訊。

7. 附件

1.	 <p>安湄樓'B'變電站</p> <p>變壓器</p> <p>故障線路</p> <p>變壓器</p> <p>安湄樓'A'變電站</p> <p>故障線路一萬一千伏特網絡圖</p>
2	 <p>安湄樓'B'變電站的環境</p>

2024 年1月1日 牙鷹洲街變電站 電壓驟降事故

事故調查報告

提交報告者：

[簽字]

羅卓恆先生
資產管理總監

日期：二零二四年一月二十七日

本中文版報告為英文版本譯本，僅供參考。如中、英文兩個版本有任何抵觸或不相符之處，應以英文版本為準。

報告摘要

2024 年 1 月 1 日，中華電力發生一宗電壓驟降事故，該事故涉及中華電力一個位於青衣區牙鷹洲街的十三萬二千伏特變電站內的電力系統組件故障，事故期間電力供應並無中斷。

下午 3 時 13 分，中華電力的實時操作系統偵測到牙鷹洲街變電站內一條連接環網開關 (RMU) 到變壓器的十三萬二千伏特的電纜出現異常狀況，中電的自動保護系統隨即啟動將該線路隔離。經中華電力緊急維修小組到場調查後，發現一個安裝在戶外與環網開關 L3 相位連接的電纜終端發生故障，導致電壓驟降（L3 相位的電壓下降至 25%，歷時約 0.08 秒）。由於十三萬二千伏特供電網絡採用 N-1 設計，電力供應得以通過自動開關切換至另一替代供電線路，因此電力供應並無中斷。

有目擊者報稱在現場見到變電站冒出白煙和聽到一聲巨響。白煙在中電緊急維修小組於下午 3 時 40 分到達現場前已散去，當時消防處及警務處人員已在現場。現場沒有火警跡象。

進一步調查顯示，發生故障的電纜終端金屬零件沒有腐蝕跡象。檢查從現場收集到的絕緣體碎片時發現，電纜終端內部物料的絕緣功能失效，附近亦發現有放電跡象。

調查推斷是次電纜終端發生故障的原因為物料出現瑕疵，令電纜終端的絕緣層隨時間降低性能，導致發生放電情況，最後令電纜終端出現故障。由於該電纜終端的絕緣體由開始使用以來一直完全密封及從未被打開，因此調查無法確定物料瑕疵的起源。

由於現場並無火警跡象也沒有發現任何被燒熔的碎片，現場報告曾出現的白煙有可能是由矽油（電纜終端內的絕緣油）在高壓下揮散所致。

該電纜終端已經在系統中使用了約 26 年。中華電力有對環網開關進行定期維修和定期檢查變電站，當中包括檢查電纜終端。上一次檢查牙鷹洲街變電站是在 2023 年 11 月進行，沒有發現任何異常情況。

牙鷹洲街變電站內的電纜終端按 IEC-60859 標準設計。此類型電纜終端自 1991 年起引入中華電力的供電系統，目前共有 74 套同類型電纜終端在系統中使用，至今沒有任何相關的故障報告。因此，2024 年 1 月 1 日發生的電纜終端故障為一宗個別事件。

該事故發生後，中華電力已即時採取額外措施，包括檢查青衣區內共四個十三萬二千伏特變電站及對站內所有電纜終端進行局部放電測試，結果顯示沒有異常情況。此外，其他各區的同類型電纜終端檢查報告亦顯示狀態正常。

中華電力亦會繼續對其他各區的同類型電纜終端進行局部放電測試，以評估絕緣狀態。這些評估預計在 2024 年 2 月內完成。

長遠措施方面，中華電力將全面檢討供電系統的維修保養安排，並且探討採用創新科技方案進行線上狀態監測。

目錄

1. 前言	3
2. 故障事故	4
3. 復電安排	4
4. 事故調查	4
5. 事故原因分析	6
6. 系統中該組件的使用情況	7
7. 跟進行動	8
8. 附件	9

1. 前言

2024 年 1 月 1 日下午 3 時 13 分，中華電力發生一宗電壓驟降事故，該事故涉及中電一個位於青衣區牙鷹洲街的十三萬二千伏特變電站內的電力系統組件故障。中華電力的實時操作系統偵測到牙鷹洲街變電站內一條連接環網開關 (RMU) 到變壓器的十三萬二千伏特電纜發生異常狀況，中華電力的自動保護系統隨即啟動，將該線路從供電系統中隔離。由於電力供應通過自動開關切換至另一替代供電線路，電力供應並無中斷，但事故導致電壓驟降，L3 相位電壓下降至 25%，歷時約 0.08 秒。



有目擊者報稱在現場見到變電站冒出白煙及聽到一聲巨響。白煙在中電緊急維修小組於下午 3 時 40 分左右到達前已散去，當時消防處及警務處人員已在現場。現場並無火警跡象。

經初步調查後，中華電力緊急維修小組報告指牙鷹洲街變電站內安裝在 1 號環網開關以接駁變壓器的 L3 相位電纜終端發生故障，該組件下稱「十三萬二千伏特環網開關 L3 相位電纜終端」。

中華電力立即展開修理工作及調查，同時在青衣區加強預防措施，檢查區內所有十三萬二千伏特變電站及對站內的所有環網開關電纜終端進行局部放電測試，以確保區內的供電穩定性並防止類似事件再次發生。

2. 故障事故

發生故障的組件是一個十三萬二千伏特電纜終端，用於將一條 500 平方毫米的單芯交聯聚乙烯銅電纜連接到牙鷹洲街變電站一個十三萬二千伏特的環網開關。該電纜終端於 1998 年開始使用。

事故中沒有任何傷亡，除了相關的電纜終端外，沒有財物受損。

以下是 2024 年 1 月 1 日的事件時序：

- 下午 3 時 13 分，中華電力系統控制中心收到有關環網開關線路跳閘的警報。中電緊急維修小組被召到場。
- 下午 3 時 20 分，消防處通知中華電力的保安部，表示有報告指牙鷹洲街變電站發出聲響，保安部於是將訊息轉達中華電力系統控制中心。
- 下午 3 時 29 分，中華電力根據既定通報機制將事故通報機電工程署。
- 下午 3 時 40 分，中華電力緊急維修小組抵達牙鷹洲街變電站，與消防處及警務處人員展開現場調查。現場並無火警跡象。
- 初步現場調查顯示有油跡散佈在 1 號環網開關間隔內，並發現 L3 相位的電纜終端已破損。

3. 復電安排

中華電力自動保護系統偵測到故障後隨即將故障線路隔離。然而，十三萬二千伏特水平的故障仍導致電壓驟降，L3 相位電壓下降至 25% 的水平，歷時約 0.08 秒。有報導指葵青區有人困軋和火警鐘誤鳴。

由於十三萬二千伏特供電網絡採用 N-1 設計，電力供應得以通過自動開關切換至另一替代供電線路，因此電力供應並無中斷。

經現場檢驗及測試後，相關的環網開關確認狀態良好，發生故障的電纜終端計劃於 2024 年 1 月 31 日完成更換，客戶無須停電。

4. 事故調查

4.1 設計及維修紀錄

1. 發生故障的組件是一個十三萬二千伏特的電纜終端，用於將一條 500 平方毫米的單芯交聯聚乙烯銅電纜連接到一個十三萬二千伏特環網開關。有關的電纜終端於 1998 年開始使用，已經在系統中使用了約 26 年。該電纜終端的額定負載能力為 150MVA，該線路並沒有過載紀錄。

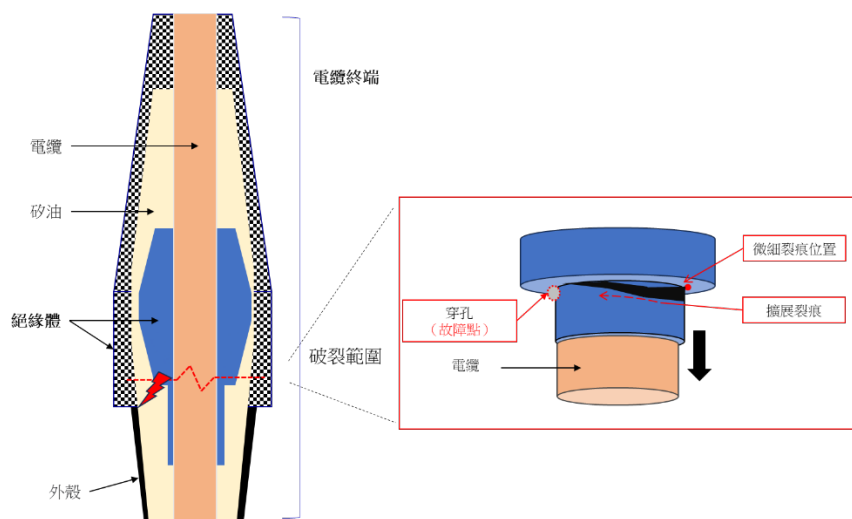
2. 該類型的電纜終端採用矽油作為絕緣油，用以填補絕緣體內的空間。
3. 同類型的十三萬二千伏特電纜終端自 1990 年代後期由同一供應合同供應。目前共有 74 套同類型的電纜終端正在系統中使用。
4. 該電纜終端乃按照 IEC-60859 標準（即「額定電壓為 72,5 kV 及以上的氣體絕緣金屬封閉開關設備的電纜連接 - 充液和擠壓絕緣電纜 - 充液和乾式電纜終端」）設計。
5. 對於該類型電纜終端，原設備製造商(OEM)沒有指明特定的維修要求。中華電力的維修保養安排一般每隔 6 年對環網開關進行一次例行維修保養和每隔 6 個月檢查一次變電站，當中均包括檢查電纜終端狀況。上一次牙鷹洲街變電站的例行檢查是在 2023 年 11 月進行，並沒有發現任何異常情況。
6. 根據紀錄，同類型電纜終端從未發生過故障。

4.2 調查結果

在 2024 年 1 月 1 日進行的現場調查，發現只有環網開關的 L3 相位電纜終端破損，而其他組件經檢查後確認狀態良好。電纜終端附近除發現絕緣體的碎片外，絕緣油的油跡亦散佈在環網開關間隔的牆上，其水平與電纜終端損壞部分的安裝高度一致。

中華電力於 2024 年 1 月 8 日及 1 月 9 日在設備工場對故障電纜終端進行詳細解剖調查。發現絕緣體內的絕緣油已完全洩漏。絕緣體亦破裂且下半部分已分離。

絕緣體下半部發現一條微細裂痕，該裂痕橫向擴展至一個穿孔，在穿孔正下方的電纜顯示有放電跡象，故推斷為故障點。另外兩個相位，即連接到同一環網開關的 L1 相位和 L2 相位電纜終端也被解剖，並無發現類似的裂痕或其他異常情況。



十三萬二千伏特環網開關 L3 相位電纜終端

5. 事故原因分析

調查推斷是次電纜終端發生故障的原因為電纜終端內物料出現瑕疵。

出現在該電纜終端絕緣體中的微細裂痕的起源無法確定。於電器設備安裝期間預料不會出現該裂痕，而且電纜終端由開始使用以來一直完全密封及從未被打開，所以不能確定裂痕是在何時形成。中華電力現行的安裝程序規定須進行檢查和投產測試以確保設備安裝質素，因此可合理推斷該微細裂痕是在電纜終端開始使用後才形成。對另外兩個 L1 和 L2 相位電纜終端的調查沒有發現類似的微細裂痕，這證實該物料瑕疵並非同一類別缺陷而是一宗個別事件。

電纜終端在電器設備運行期間會持續承受溫度循環變化和壓力。這溫度變化及壓力會導致組件移動，組件上如出現較薄弱位置，例如絕緣體上發現的微細裂痕位置更會承受額外的壓力，細小裂痕隨時間受壓力移動而擴大，因而降低絕緣層的性能，最終導致放電繼而令電纜終端發生故障。

其他相關調查結果

5.1 白煙

根據報導，牙鷹洲街變電站在事發期間曾冒出白煙及在短時間內消失。由於現場沒有火警跡象也沒有發現任何被燒熔碎片，可以排除因高溫燃燒導致白煙的可能性。

電纜終端內有用以填補內部空間及提供絕緣和防潮作用的矽油。作為一種無害物質，矽油在行業中被普遍用作絕緣介質。

在發生故障時，電纜終端內部有可能形成高壓，導致絕緣體破裂。絕緣體周圍形成小裂痕，而矽油通過這些像噴嘴般的裂痕以輕霧形式噴出及被空氣帶走，形成被報導的白煙。

5.2 對電纜終端進行油板測試

另外亦對 L1 和 L2 相位電纜終端的矽油進行了取樣測試，包括溶解氣體分析 (DGA)，水分、電壓、酸度和顏色的分析。實驗室化驗結果滿意。

5.3 排除其他可能的原因

調查包括分析及排除其他電力設備的常見故障原因，以支持調查結論：

1. **電力過載**：根據過去 5 年（截至事故當日為止）的負荷紀錄，該線路負荷一直不超過 35MVA，遠低於該線路的額定負載能力（150MVA）。可以排除因過載而導致電纜終端發生故障的可能。

2. **第三方干擾**：發生故障的電纜終端有屏障封閉，在解剖過程中沒有觀察到壓痕或第三方干擾的跡象。可以排除因第三方干擾而導致故障的可能性。維修紀錄顯示電纜終端未曾被打開或外露。
3. **環境因素**：發生故障的電纜終端並非位於環境惡劣的地區，也沒有發現腐蝕或氧化跡象。因此，可合理地排除因環境因素而導致故障。
4. **工藝質量**：詳細調查並沒有發現工藝質量方面出現缺漏的跡象。與電纜終端安裝指引進行對照，電纜終端的組裝與預期一致，並沒有發現任何偏差、連接位置鬆動、密封程度不恰當或其他工藝質量的缺漏。
5. **受潮**：解剖顯示電纜終端內沒有受潮跡象。如果曾經受潮，應會出現絕緣層退化、腐蝕及出現漏電路徑引致絕緣失效的跡象。不過，在調查過程中沒有觀察到這種情況，因此可以排除受潮而導致故障的可能。
6. **維修**：根據國際大電網委員會(CIGRE¹)就高壓電纜系統提供的建議，目視檢查是對電纜終端最普遍採用的維修安排，可有效地識別異常情況。在對電纜終端的絕緣狀態存疑時，可考慮採用局部放電偵測的方式作進一步狀態檢查。因此，以往的維修安排與國際行業標準看齊。

6. 系統中該組件的使用情況

事故涉及的一個十三萬二千伏特油浸式電纜終端，用於連接一條於 1998 年開始使用的 500 平方毫米單芯交聯聚乙烯銅電纜，已經使用了約 26 年。這類型的電纜終端自 1991 年起引入中華電力。目前共有 74 套在系統中使用。

對於該類型電纜終端，OEM 沒有指明特定的維修要求。中華電力為電纜終端安排定期檢查，這項檢查已包括在環網開關的定期維修和變電站的定期檢查範圍之內。根據紀錄，對上一次變電站檢查是在 2023 年 11 月進行，並沒有發現異常情況。

CIGRE 指出交聯聚乙烯電纜系統在正常運行條件下一般預期可使用 40 至 50 年。目視檢查是對電纜終端最普遍採用的維修安排。此乃一套被廣泛認可、能有效地檢測各種異常情況的檢測方法。CIGRE 建議每年至少進行一次目視檢查。

至今為止，同類型的電纜終端從未發生故障，這表示此類電纜終端的故障率極低。

¹ CIGRE（國際大電網委員會）成立於 1921 年，是一個專注於高壓電力的全球非牟利組織，由來自 90 多個國家和 1250 個成員組織的數千名專業人士組成，其中包括該領域中的頂尖專家。其技術手冊 825「高壓電纜系統的維修」為高壓電纜系統的維修策略提供建議。

7. 跟進行動

為釋除客戶的疑慮，中華電力已即時採取額外措施以進一步減低青衣區內及其他各區客戶電力供應中斷的風險。

提升青衣區供電可靠性的措施

- i. 巡查青衣區內一共四個十三萬二千伏特變電站，包括對電器設備進行絕緣氣體測試，同時檢查電纜油壓及一萬一千伏特局部放電監測系統。

已於 2024 年 1 月 25 日完成。沒有發現任何異常情況。

- ii. 對青衣區內四個十三萬二千伏特變電站內所有十三萬二千伏特環網開關電纜終端進行局部放電測試。

已於 2024 年 1 月 19 日完成。沒有發現任何異常情況。

監察同類型十三萬二千伏特電纜終端的措施

- iii. 對其他各區餘下的 70 套十三萬二千伏特電纜終端進行檢查，以確認任何矽油洩漏、電纜移動，以及其他潛在問題的異常跡象。

已於 2024 年 1 月 6 日完成。沒有發現任何異常情況。

- iv. 繼續對其他各區餘下的 70 套十三萬二千伏特電纜終端進行局部放電測試，以確認同類型設備的狀況。

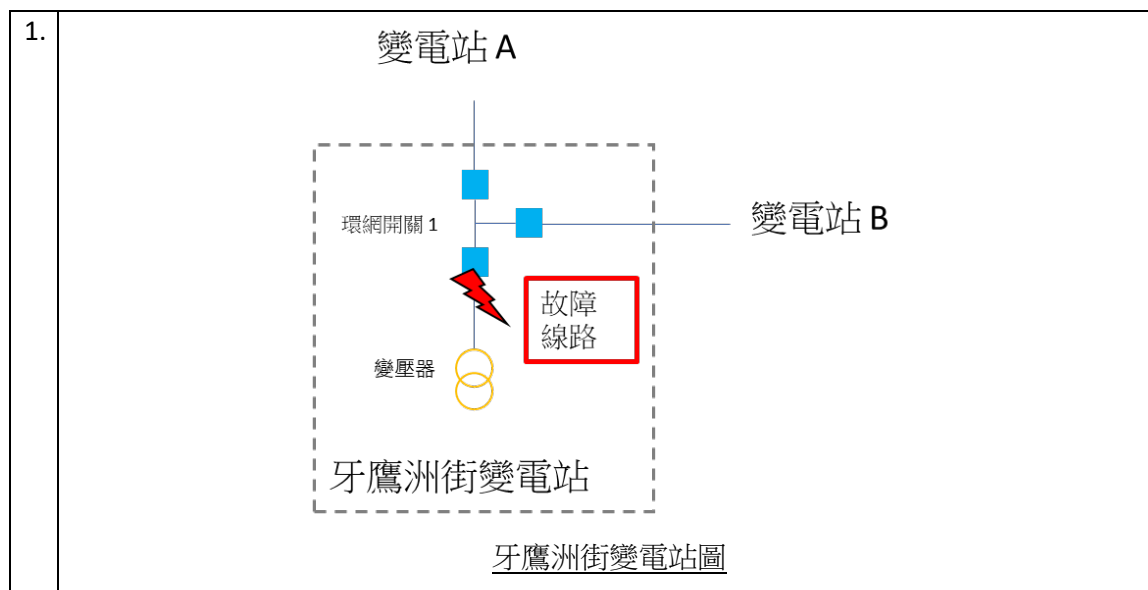
預計將於 2024 年 2 月內完成。

- v. 對裝有同類型十三萬二千伏特電纜終端的變電站進行更頻密的檢查。

長期措施

- vi. 全面檢討電力供應系統的維修保養安排。
- vii. 探討採用創新科技方案進行線上狀態監測。

8. 附件



中文譯本

2024 年 3 月 19 日
元朗凹頭
架空輸電線路塔導引線下垂事故

事故調查報告

提交報告者：

[簽字]

羅卓恆先生
資產管理總監

日期：二零二四年四月十五日

本中文版報告為英文版本譯本，僅供參考。如中、英文兩個版本有任何抵觸或不相符之處，應以英文版本為準。

報告摘要

2024年3月19日，為進行輸電線路提升工程，中華電力有限公司（「中華電力」）之承辦商吉林省送變電工程有限公司（「吉林工程」）於元朗凹頭為一組不帶電的四十萬伏特架空線路（深圳-元朗1號線路）進行更換架空電纜及光纖地線工作。線路提升工程於2022年12月開展，而其中1號架空線電塔（「1號塔」）至9號架空線電塔（「9號塔」）之間的更換架空電纜及光纖地線工作擬定於2024年2月至4月進行。

當天下午約12時21分，吉林工程的人員在更換一條具有避雷及通訊雙重功能的光纖地線期間，一條用於協助拉動光纖地線之導引線突然於2號架空線電塔（「2號塔」）至3號架空線電塔（「3號塔」）之間過度下垂至下方行車天橋橋面。該條沒有帶電的導引線其後被一輛行駛中的車輛向前拖行大約10米，造成兩支街燈的燈柱損壞，並干擾鄰近一支一萬一千伏特電力設備杆。事故中無人受傷。

由於一萬一千伏特電力設備杆受到干擾，附近68個客戶的電力供應中斷。中華電力及吉林工程人員於當天下午12時30分抵達現場，即時採取行動升起下垂之導引線及盡快為受影響客戶恢復電力供應。其中47個客戶於當天下午1時09分恢復供電，而餘下的21個客戶亦於當天下午2時01分全面恢復電力供應。

事故發生後，中華電力立即下令吉林工程暫停所有更換架空電纜工作，並對事故展開調查以制定有效改進方案。調查顯示，吉林工程於事故發生時，未有在進行光纖地線更換工作時安裝「雙滑輪裝置」，而該裝置是進行橫跨高速公路的架空電纜更換工作時所須的一個防墮裝置。

調查亦顯示，更換架空電纜工作由吉林工程安排的瞭望員負責監察架空電纜的拉動操作及架空電纜下垂程度，換線機操作員曾在沒有瞭望員的指示下調校換線機的拉動張力。由於瞭望員缺乏一個明確的指揮員角色幫助按現場情況協調拉動張力，因此於工地現場未能達致最佳的協調安排。

事故發生後，中華電力已立即採取行動，對吉林工程再次審視工作程序，安全措施實施情況，以及工地的現場監督，以調查事故原因。為確保工地安全，中華電力已指示吉林工程加強其工地督導，包括 (1) 委派指定人員負責核實及監察安全措施及正當工作程序之實施情況，包括於高風險地段安裝「雙滑輪裝置」以進行更換架空電纜及光纖地線工作，(2) 增設總指揮員角色，負責發出及確認一切給予換線機操作員的操作指示，及(3) 引入閉路電視系統，以協助總指揮員於進行高風險工序期間能有效地督導工地情況。

除了吉林工程所承諾有關工地督導的改善措施外，中華電力亦已加強監察吉林工程的工地活動，以確保吉林工程有效執行已承諾的改善措施。當更換架空電纜及光纖地線工作復工後，中華電力將增加工地例行抽查，並安排中華電力安全主任額外檢查於工地進行的關鍵工序。中華電力亦會就本報告所建議的總指揮員角色及閉路電視系統進行實地檢查，以確認吉林工程能有效督導及協調工地活動。

目錄

1. 前言	3
2. 事故及復電安排.....	4
3. 調查結果	5
4. 事故原因分析.....	8
5. 跟進行動	8

1. 前言

2024 年 3 月 19 日，為進行輸電線路提升工程，中華電力之承辦商吉林省送變電工程有限公司（「吉林工程」）於元朗凹頭為一組不帶電的四十萬伏特架空線路（深圳-元朗1號線路）進行更換架空電纜及光纖地線工作。吉林工程的工作團隊於當日被指派更換一條位於1號架空線電塔（「1號塔」）至9號架空線電塔（「9號塔」）之間具有避雷及通訊雙重功能的光纖地線。

當天下午約12時21分，在進行更換光纖地線工作期間，一條用於協助拉動光纖地線之導引線突然於2號架空線電塔（「2號塔」）至3號架空線電塔（「3號塔」）之間過度下垂至元朗凹頭交匯處上方之行車天橋橋面。該導引線其後被一輛行駛中的車輛向前拖行大約10米，造成兩支街燈的燈柱損壞，並干擾鄰近的一支一萬一千伏特電力設備杆。事故中無人受傷。

由於一萬一千伏特電力設備杆受到干擾，導致線路跳閘，附近68個客戶的電力供應中斷。其中47個客戶於當天下午1時09分恢復供電，而餘下的21個客戶亦於當天下午2時01分全面恢復電力供應。

2. 事故及復電安排

事故發生前，深圳-元朗1號線路已停電以進行更換架空電纜及光纖地線工作。



以下是2024年3月19日的事件時序：

- 上午9時30分，吉林工程工作團隊開展1號塔至9號塔之間的光纖地線更換工作。
- 同日早上，中華電力監察人員於1號塔及9號塔位置檢查換線機之重置安排。
- 下午12時18分，吉林工程的換線機操作員在沒有瞭望員指示下調校換線機的拉動張力。
- 下午約12時20分，位於2號塔至3號塔之間的瞭望員留意到導引線過度下垂，並通過對講機提醒操作員增加拉動張力。
- 下午12時21分，導引線過度下垂至行車天橋橋面，並被一輛行駛中的車輛向前拖行大約10米，造成兩支街燈的燈柱損壞，並干擾鄰近的一支一萬一千伏特電力設備杆，導致68個客戶的電力供應中斷。事故中無人受傷。
- 下午約12時30分，中華電力監察人員、吉林工程工作團隊及警方抵達事發現場。
- 中華電力監察人員檢查現場以確認導引線的狀況，並指示吉林工程工作團隊升起過度下垂之導引線。
- 下午12時57分，中華電力緊急維修小組抵達現場檢查受干擾的一萬一千伏特電力設備杆。
- 下午1時09分，中華電力隔離受干擾的一萬一千伏特電力設備杆，恢復其中47個客戶的供電。
- 下午2時01分，中華電力更換該電力設備杆損壞的保險絲後，餘下21個受影響客戶全面恢復電力供應。

- 下午2時30分，2號塔至3號塔之間下垂的導引線被全面升起，恢復到原來位置。
- 下午3時15分，中華電力下令吉林工程暫停所有更換架空電纜及光纖地線工作，直至另行通知。

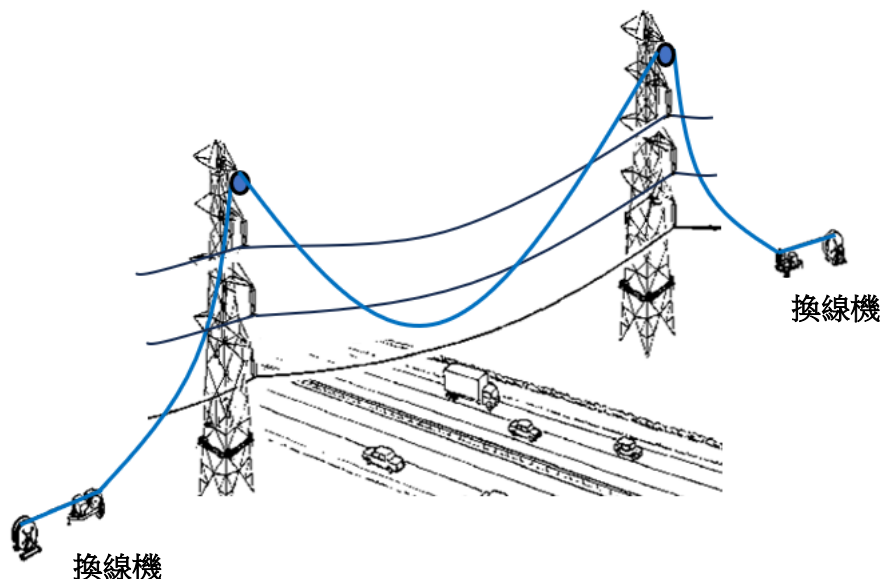
3. 調查結果

3.1 背景

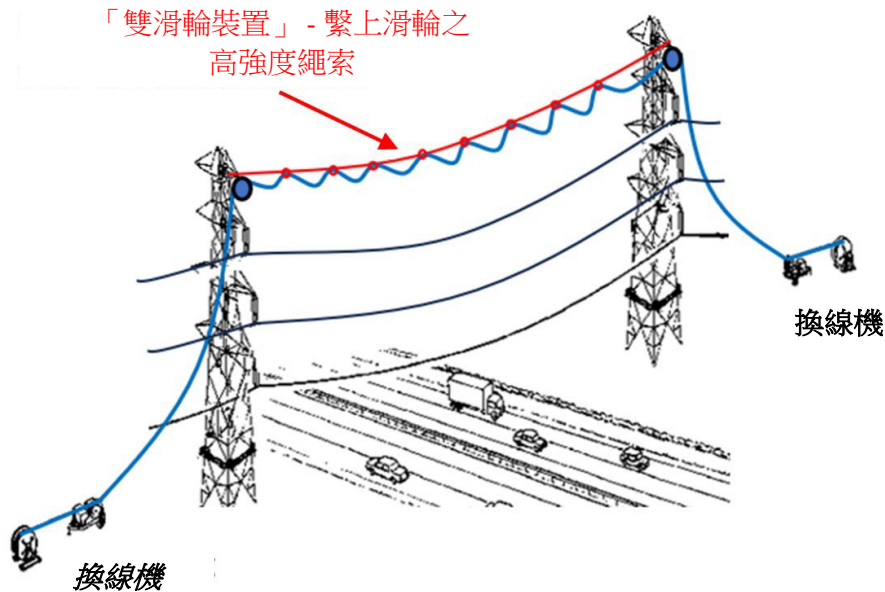
中華電力通過嚴謹的招標程序，並考慮吉林工程於香港境內外相關的架空線路工程表現而決定委任吉林工程為輸電線路提升工程項目的承辦商。

該工程項目於2022年12月開展，目標為多組四十萬伏特架空線路進行提升工程，工作範圍包括為深圳-元朗1號線路更換架空電纜及光纖地線。吉林工程作為中華電力的承辦商，負責制定施工方案、風險評估和工作程序，並提供項目所需的工作人員、物料及工具。事故中涉及1號塔至9號塔之間的更換架空電纜工作擬定於2024年2月至4月進行。

更換架空電纜及光纖地線的施工方案及風險評估由吉林工程制定、並經中華電力審閱。文件要求更換架空電纜時若要橫跨高風險地段如高速公路及鐵路，吉林工程須安裝「雙滑輪裝置」以提供防墮保護。「雙滑輪裝置」由一條繫上滑輪之高強度繩索組成，當架空電纜失去張力而下垂時提供防墮後備支援，其運作原理如下圖所示。不論於日間或夜間進行橫跨高速公路的架空電纜更換工作時，該「雙滑輪裝置」均能安全及實際地防止架空電纜墮下，為行內普遍採用的防墮保護裝置。儘管晚上公路的交通流量較少，於夜間進行高空更換架空電纜工作會因能見度下降而導致工人面對較高從高處墮下的風險，因此工作團隊沒有安排在夜間於相關地點進行更換架空電纜工作。



沒有實施「雙滑輪裝置」下導引線過度下垂的狀況



實施「雙滑輪裝置」後導引線過度下垂的狀況

就1號塔至9號塔之間的更換架空電纜工作，吉林工程委派四名工地督導員負責督導現場工作，中華電力則派遣監察人員進行額外工地抽查以評估承辦商之安全表現及查找任何須改善的地方。於事故發生前數天，吉林工程的工作團隊於相同線路段更換架空電纜，中華電力監察人員於該線路段進行檢查時確認承辦商有安裝「雙滑輪裝置」。

3.2 事故及調查結果

2024年3月19日，吉林工程工作團隊按計劃開展1號塔至9號塔（相隔大約3公里）之間的光纖地線更換工作。當日早上，為確保當天的光纖地線更換工作能夠安全展開，中華電力監察人員分別在1號塔及9號塔位置檢查換線機之重置安排。在確認換線機設定妥當後，換線工作隨即展開。大約於中午時段，一條用於協助拉動光纖地線之導引線突然於2號塔至3號塔之間過度下垂至下方行車天橋橋面，其後被一輛行駛中的車輛向前拖行。

中華電力為導引線過度下垂事故進行調查。調查顯示於事故發生時，2號塔至3號塔之間並沒有安裝所須的「雙滑輪裝置」。因此，當時並無有效防止導引線過度下垂的防墮措施。

為監察換線時的拉動操作及架空電纜下垂程度，吉林工程在每個橫跨的高風險地段均指派一名瞭望員負責監察架空電纜離地面的安全距離及指示操作員調校換線機的拉動張力。

調查發現，於換線期間，位於1號塔的換線機操作員受到當時導引線看似過度拉緊的影響，在沒有瞭望員的指示下錯誤決定調校換線機的拉動張力。

此外，位於2號塔至3號塔之間的瞭望員所處的觀察位置亦非最理想，導致其未

能準確判斷導引線與地面距離。當瞭望員留意到導引線過度下垂並透過對講機要求增加拉動張力時，已無法及時補救導引線過度下垂的問題。



2024年3月19日，2號塔至3號塔之間線路路段的瞭望員所在位置



2號塔至3號塔之間線路路段的瞭望員所在位置景觀

4. 事故原因分析

調查結果顯示事故原因為：

- (1) 吉林工程當天在事發地點工作的團隊由於過分自信，沒有安裝於風險評估及施工方案中所要求的「雙滑輪裝置」作為橫跨高風險地段如高速公路及鐵路的有效防墮措施。假如能有效實施該裝置，過度下垂的導引線應繫掛於「雙滑輪裝置」上。
- (2) 更換架空電纜工作由瞭望員負責監察架空電纜的拉動操作及架空電纜下垂程度，換線機操作員曾在沒有瞭望員的指示下調校換線機的拉動張力。
- (3) 由於瞭望員缺乏一個明確的指揮員角色幫助按現場情況去協調拉動張力，工地現場未能達致最佳的協調安排。

5. 跟進行動

即時行動

中華電力即時採取行動，對吉林工程評估工地狀況以確保發生事故地點安全，並釋除進一步安全風險。中華電力亦立即下令吉林工程實施以下工作：

- 1) 升起過度下垂之導引線至原來位置，以確保與行車天橋保持足夠安全距離。
- 2) 暫停所有更換架空電纜工作，直至完成事故調查並得出事故原因。
- 3) 於事故發生翌日舉行反思會，重新審視安全意識文化。

改善措施

事故發生後，中華電力已立即對吉林工程再次審視工作程序，安全措施之實施情況，以及工地的現場監督，以調查事故原因。針對調查結果，中華電力已指示吉林工程採取措施以確保工地安全措施得以實施，以及改善工地現場的協調工作。同時，中華電力亦已加強監察吉林工程的工地活動，以確保吉林工程有效執行已承諾的改善措施，措施包括：

1) 確保於工地執行安全措施及工作程序

吉林工程獲指示委派指定人員負責核實及監察安全措施及工作程序之實施情況，包括於高風險地段如高速公路及鐵路進行更換架空電纜工作時須安裝「雙滑輪裝置」。吉林工程須為其工作團隊加強訓練以強調執行安全措施及程序的重要性。

2) 增設總指揮員

吉林工程獲指示委任一名總指揮員，負責發出及確認一切給予換線機操作員的操作指示。

3) 有效督導工地狀況

吉林工程獲指示引入閉路電視系統，以協助總指揮員於高風險工序進行期間能有效地督導工地情況。

更換架空電纜工作復工後，中華電力將增加工地例行抽查，並安排中華電力安全主任額外檢查於工地進行的關鍵工序，以確保有效實施上述3項改善措施。所有上述改善措施會於本報告提交後一個星期內完成。

長遠措施方面，中華電力將引進創新科技及數碼技術，以提升管理承辦商督導工地的表現，並藉加強訓練及回饋提高工地的安全意識。

中文譯本

2024 年 3 月 30 日 元朗十八鄉山火期間的 四十萬伏特電壓驟降事故

事故調查報告

提交報告者：

[簽字]

羅卓恆先生
資產管理總監

日期：二零二四年四月二十六日

本中文版報告為英文版本譯本，僅供參考。如中、英文兩個版本有任何抵觸或不相符之處，應以英文版本為準。

版權所有 © 2024
中華電力有限公司（「中華電力」）。版權所有。

報告摘要

2024 年 3 月 30 日，中華電力發生一宗電壓驟降事故，該事故涉及中華電力連接元朗至荔枝角的四十萬伏特架空電纜系統，事故期間電力供應並無中斷。電壓驟降事故源於當天一宗發生於元朗十八鄉的山火。

當天下午 12 時 28 分，中華電力的實時操作系統偵測到荔枝角至元朗一組四十萬伏特架空電纜線路（荔枝角 – 元朗 2 號線路）發生故障。中華電力的自動保護系統隨即啟動將該線路隔離以清除故障。由於四十萬伏特輸電網絡採用 N-1 設計，所以電力供應得以維持，而相關線路亦隨即透過四十萬伏特架空電纜系統的自動重合功能復電。該故障導致約 0.07 秒的電壓驟降（L3 相電壓下降至 18%）。

下午 12 時 35 分，消防處通知中華電力，表示有人報稱元朗十八鄉的中華電力架空線電塔附近發生山火。中華電力隨即安排架空線路巡邏隊前往山火現場，並證實該山火已波及荔枝角 – 元朗 2 號線路的 50 號電塔至 52 號電塔之間的架空電纜路段。巡邏隊在現場候命以監察山火的發展，同時中華電力派出直升機進行巡查，以評估山火對附近四十萬伏特架空電纜線路的影響。

下午約 6 時，當該架空電纜路段的山火熄滅後，中華電力立即檢查架空電纜設施，以確保該等設施均處於安全運作狀態。翌日，小型無人機進行的架空電纜巡查結果顯示，受山火影響範圍的 51 號電塔附近，一條 L3 相導線發現一處閃絡痕跡，這與中華電力的故障定位系統所識別的故障位置相符。中華電力除了發現大面積的燒焦植物外，該範圍並沒有飛行物件殘骸的痕跡。實驗室分析也發現，從 50 號至 52 號電塔高位所採集的依附物存在高含碳量，顯示導線附近曾經積聚燒焦粒子，因此中華電力相信 2024 年 3 月 30 日發生的架空電纜線路故障與當天的山火有關。

為確保荔枝角至元朗架空電纜及四十萬伏特輸電系統能持續穩定、安全地運行，中華電力在山火後數天繼續對該架空電纜線路作進一步爬塔檢查和徹底清潔。

目錄

1. 前言	3
2. 山火期間的電壓驟降事故	3
3. 火災後調查及結果	5
4. 事故原因分析	7
5. 跟進行動	7
6. 附件	9

1. 前言

2024 年 3 月 30 日下午 12 時 28 分，中華電力一組連接元朗至荔枝角的四十萬伏特架空電纜系統（荔枝角 – 元朗 2 號線路）發生故障，中華電力的自動保護系統隨即啟動，將該線路隔離以清除故障。由於四十萬伏特輸電網絡採用 N-1 設計，所以電力供應得以維持，而相關線路亦隨即透過四十萬伏特架空電纜系統的自動重合功能復電。該故障導致約 0.07 秒的電壓驟降（L3 相電壓降至 18%）。

由於消防處接報元朗十八鄉發生山火，中華電力派出架空線路巡邏隊前往山火現場，證實山火已波及荔枝角 – 元朗 2 號線路的 50 號電塔至 52 號電塔之間的架空電纜路段。巡邏隊在現場候命以監察山火的發展，同時中華電力派出直升機進行巡查，以評估山火對附近四十萬伏特架空電纜線路的影響。下午約 6 時，當該架空電纜路段的山火熄滅後，中華電力架空線巡邏隊立即於安全距離下檢查架空電纜設施。檢查顯示沒有明顯的損壞，局部放電量度的結果亦反映該等設施處於可接受的運作水平。

為確保荔枝角至元朗架空電纜線路及四十萬伏特輸電系統能持續穩定、安全地運行，中華電力在山火後數天繼續對該架空電纜線路作進一步爬塔檢查和徹底清潔。

2. 山火期間的電壓驟降事故

中華電力於 2024 年 3 月 30 日下午 12 時 28 分錄得短暫電壓驟降，L3 相電壓降至 18%，歷時約 0.07 秒。以下是事件的時序：

2024 年 3 月 30 日：

- 下午 12 時 28 分，荔枝角 – 元朗 2 號線路跳閘並且成功自動重合。
- 下午 12 時 35 分，消防處通知中華電力，表示接獲一名崇山新村的居民來電，報稱元朗十八鄉的中華電力架空線電塔附近發生山火。
- 下午 12 時 42 分，中華電力根據既定通報機制將電壓驟降事故通報機電工程署。
- 下午約 1 時，中華電力分析來自故障定位系統的數據，以評估可能的故障位置。中華電力架空線路巡邏隊也出動前往山火現場，以確認受影響的線路。
- 下午 2 時，中華電力架空線路巡邏隊與現場相關政府部門協調後，在安全情況下靠近荔枝角 – 元朗 2 號線路的 50 號至 52 號電塔之間的受影響架空電纜路段。
- 下午 4 時，中華電力安排直升機進行空中巡查，以評估山火對附近四十萬伏特架空電纜線路的影響。巡查沒有發現明顯的損壞，巡邏隊在現場候命以監察山火的發展。
- 下午 5 時 49 分，故障定位分析顯示，故障發生在 50 號與 52 號電塔之間的位置，與山火範圍相符。
- 下午約 6 時，當該架空電纜路段的山火熄滅後，巡邏隊在地面量度 50 號、51 號和 52 號電塔上絕緣子的局部放電狀況，局部放電量度結果顯示該等設施處於可接受的運作水平及可繼續運作。

2024 年 3 月 31 日：

- 上午 8 時，中華電力安排小型無人機沿着線路進行更詳細的空中巡查和量度局部放電狀況。結果在 51 號電塔附近一條 L3 相導線發現一處閃絡痕跡。

2024 年 4 月 2 日及 3 日：

- 中華電力對荔枝角 – 元朗 1 號和 2 號線路的 50 號、51 號及 52 號電塔作進一步爬塔檢查和徹底清潔電塔上的絕緣子。

2.1 山火及故障位置

香港天文台曾於 2024 年 3 月 30 日發出「黃色火災危險警告」，生效時間由上午 10 時 30 分至下午 6 時。當天雖然錄得微量降雨，但沒有行雷閃電報告。2024 年 3 月 30 日是清明節前的復活節長週末，鄉郊地區在這段時期有不少拜祭先人的活動。

據媒體報導，元朗十八鄉於 2024 年 3 月 30 日中午左右發生山火。山火覆蓋範圍約 50 米乘 60 米，火線伸延大約 200 米。山火在 2024 年 3 月 31 日凌晨約 1 時 30 分才被撲滅。身處山火現場的中華電力架空線路巡邏隊表示，山火曾燒越荔枝角 – 元朗 2 號線路的 50 號至 52 號電塔之間的架空電纜路段。

故障定位分析顯示，故障發生在距離元朗四十萬伏特變電站約 2.4 公里 \pm 0.2 公里之處，該位置正處於 50 號至 52 號電塔之間的架空電纜上，這與影響荔枝角 – 元朗 2 號線路的山火範圍相符。



圖 1: 受山火影響的範圍

3. 火災後調查及結果

3.1 火災後架空電纜巡查

2024 年 3 月 31 日待山火撲滅後，中華電力安排小型無人機及爬塔隊分別在當天及 2024 年 4 月 2 至 3 日沿着 50 號至 52 號電塔進行了深入的巡查。

巡查顯示，受影響架空電纜與下方的植物有足夠距離，附近除了大面積的燒焦植物外，並無飛行物件如風箏線或金屬氣球等殘骸。50 號至 52 號電塔附近範圍有不少山墳，估計該處曾有拜祭先人的活動。

根據架空電纜設施的局部放電量度結果及近距離巡查，均無顯示任何損壞情況。然而，在距離 51 號電塔 18 米處的 L3 相導線（最底層導線）線上卻發現一處閃絡痕跡（圖 2）。閃絡痕跡下方有一棵燒焦的樹，距離最底層導線約 7 米（圖 3）。



圖 2：51 號電塔附近 L3 相導線線上的閃絡痕跡



圖 2：L3 相導線閃絡痕跡下方燒焦的樹

3.2 維修紀錄

中華電力為四十萬伏特架空電纜系統進行定期巡查及維修，包括定期清潔絕緣子和定期進行地面巡邏以便作出狀況評估。上一次於荔枝角 – 元朗2號線路相關架空電纜路段進行的絕緣子清潔及地面巡邏工作，分別在2023年1月及2024年2月完成，兩次都沒有發現任何異常情況。

3.3 實驗室分析

中華電力從 50 號、51 號及 52 號電塔高位所採集的依附物樣本進行實驗室化驗。成分分析顯示，依附物中存在高碳含量，很可能來自有機物質燃燒後的殘留物。與從鄰近的 48 號至 49 號電塔及 53 號至 54 號電塔所採集到的樣本相比，50 號、51 號及 52 號電塔所得樣本中的碳含量特別高，顯示圍繞着 50 號至 52 號電塔的空間曾經受嚴重燒焦的環境影響，空氣中有高濃度的碳粒子，足以籠罩着架空電纜線路的導線。

3.4 故障點

故障定位分析顯示，距離元朗四十萬伏特變電站約 2.4 公里 \pm 0.2 公里之處曾發生故障，這與距離 51 號電塔 18 米之處的導線線上發現的閃絡痕跡位置相符，該處距離元朗四十萬伏特變電站約 2.2 公里。

一般而言，架空電纜與樹木之間需要維持一段 4.5 米的安全距離，以防止閃絡引發線路故障。山火後進行的架空電纜巡邏發現，最底層導線（L3 相導線）的閃絡痕跡正下方有一棵燒焦的樹，距離最底層導線約 7 米。

雖然導線與樹之間有維持足夠的安全距離，可是在山火期間，周遭空氣的高碳含量可使空氣導電，加上山火火焰加速空氣離子化能有條件造成短路路徑，導致導線與樹之間發生閃絡。

4. 事故原因分析

根據調查結果，2024 年 3 月 30 日發生於荔枝角 – 元朗 2 號線路的故障導致電壓驟降，該故障是由元朗十八鄉同日發生的山火所觸發。

在該線路的 51 號電塔附近，最底層導線線上發現的閃絡痕跡，與中華電力的故障定位系統分析得出的故障位置相符。閃絡痕跡正下方 7 米處有一棵燒焦的樹。雖然導線與樹之間有維持足夠的安全距離，可是實驗室測試證明，山火期間 51 號電塔附近存在高濃度的碳粒子，加上山火火焰加速空氣離子化，結果造成短路路徑，引致導線與樹之間發生閃絡，所造成的故障觸發了 2024 年 3 月 30 日的電壓驟降事故。

5. 跟進行動

即時行動

中華電力即時採取行動，確保山火期間供電系統安全運行以持續供電：

- 荔枝角 – 元朗 2 號線路透過四十萬伏特架空電纜系統的自動重合功能即時復電。
2024 年 3 月 30 日電力供應沒有中斷。

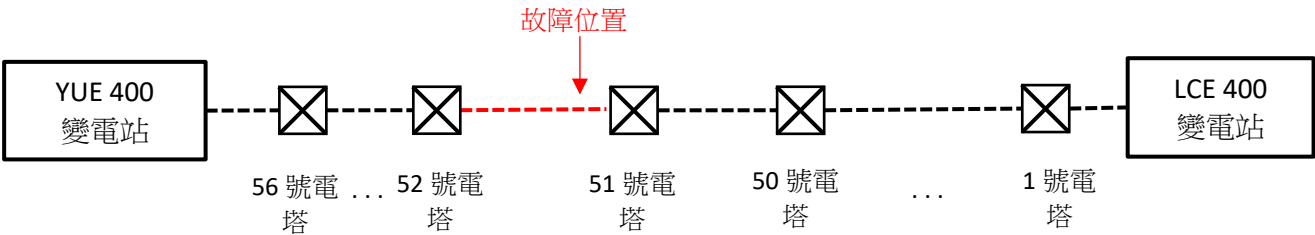
- 當 50 號、51 號及 52 號電塔架空電纜路段的山火熄滅後，巡邏隊同日立即在地面量度電塔上絕緣子的局部放電狀況，以評估四十萬伏特線路安全及持續運作的條件。
- 翌日即安排小型無人機沿着受影響電纜線路進行了詳細的空中巡查及量度局部放電狀況，檢查電纜線路的完整性和調查故障成因。
- 2024 年 4 月 2 至 3 日期間，進一步對荔枝角–元朗 1 號及 2 號線路 50 號、51 號及 52 號電塔上的絕緣子進行清潔，清除山火灰燼。

改善措施

戶外架空電纜系統容易受到外來干擾導致電壓驟降，故此中華電力會繼續採取預防措施，減低外在因素例如山火等造成電壓驟降的機會，並提高公眾意識，使客戶了解可緩解電壓驟降影響的方案：

- 在掃墓時節及山火季節之前及期間，透過更頻密的農林巡查，並利用小型無人機進行局部放電測量以評估設備狀況，提升對高風險地區架空電纜線路的監察。
- 繼續加強與消防處的溝通，及時通報山火個案和電壓驟降事故的資訊。
- 支援教育及社區聯絡活動，以提高市民對電壓驟降的認識及了解有效緩解電壓驟降影響的方案。

6. 附件



LCE – YUE 2 號線路

圖例	
LCE400 變電站	荔枝角四十萬伏特變電站
YUE400 變電站	元朗四十萬伏特變電站
LCE – YUE 2 號線路	荔枝角 – 元朗 2 號線路
— — — —	架空電纜

荔枝角 – 元朗 2 號四十萬伏特線路示意圖

中文譯本

2024 年 4 月 6 日 雷暴警告期間的 四十萬伏特電壓驟降事故

事故調查報告

提交報告者：

_____[簽字]_____

張帆先生

業務策略總監（發電業務部）

日期：2024 年 5 月 3 日

本中文版報告為英文版本譯本，僅供參考。如中、英文兩個版本有任何抵觸或不相符之處，應以英文版本為準。

報告摘要

2024 年 4 月 6 日下午約 1 時 29 分，四十萬伏特輸電系統發生連續兩次瞬間電壓驟降事故，電力設備亦出現由雷擊引致的接地放電現象。兩次電壓驟降發生時間相距約 10 秒，期間電力供應沒有中斷。

下午 1 時 29 分 26 秒，兩台龍鼓灘發電廠的發電機組（C5 和 C2 機組）跳閘停止運作。約 10 秒後，另一台發電機組（C6 機組）亦跳閘停運。該三台停運的發電機組當中，其中兩台機組（即 C5 和 C6 機組）所連接的四十萬伏特輸電系統，啟動其保護裝置以隔離接地放電情況。

中華電力隨即增加系統內其他機組的發電量，以應付客戶的用電需求。同時，我們對事故展開調查。經現場檢查及評估後，因應在 C2 機組未發現異常情況，而且其跳閘線路可以重置，因此中華電力於 2024 年 4 月 6 日下午 3 時 08 分恢復 C2 機組的運作。至於 C6 和 C5 機組，我們進行全面電氣測試，確認機組的測試結果滿意及結構完整後，分別於 2024 年 4 月 11 日及 2024 年 4 月 12 日恢復兩台機組運作。除了更換輕微受損的軟連接導體外，C6 和 C5 機組無需進行其他維修。

根據調查所得，中華電力總結是次電壓驟降因雷擊所致，而非設備故障引起。

在電壓驟降期間，雷暴警告正在生效，龍鼓灘發電廠附近地區亦錄得雷擊。而龍鼓灘發電廠配備設計符合國際標準的避雷系統，用以保護發電及輸電設備。

根據閉路電視錄像片段，C5 和 C6 機組的主變壓器區域及附近範圍，在 10 秒內接連出現雷擊或接地放電現象；根據內部紀錄，這情況以往從未發生。中華電力相信雷擊引致 C5 和 C6 機組發生接地放電情況，因而導致四十萬伏特輸電系統出現電壓驟降。而雷擊引致的放電情況，亦觸發 C5 和 C6 機組的主變壓器啟動接地故障保護裝置，自動切斷所連接的四十萬伏特輸電斷路器，以清除放電情況，從而保護發電及輸電設備。

我們的紀錄顯示，龍鼓灘發電廠投產至今，除了上述事故，發電廠內這細小範圍遭到連番雷擊，實屬前所未見，這可能顯示出現更多極端天氣的情況機會增加。目前有關避雷杆裝置和地極檢驗坑已完成測試，中華電力未來將進一步對現有避雷系統進行更詳細的檢測，並探討和研究提升電力系統的避雷能力。

目錄

1. 前言	4
2. 事故經過	5
3. 復電安排	7
4. 調查	8
5. 事故原因分析	12
6. 避雷系統的安裝狀況	14
7. 跟進行動	15

1. 前言

龍鼓灘發電廠自 1996 年起分階段投產，設有 10 台聯合循環燃氣渦輪發電機組（C1 至 C8 機組，和 D1 及 D2 機組）。

每台 C1 至 C8 機組，均有獨立的發電設備，所產生的電力會經主變壓器及其他輔助設備，傳輸到四十萬伏特供電網絡。

C1 至 C8 每台機組的主變壓器及輔助設備設於戶外，分別安裝在各自分隔的主變壓器區域。

龍鼓灘發電廠的避雷系統依照國際標準建造，每個戶外的主變壓器區域各裝設 4 組避雷杆裝置，為區域內的設備提供避雷保護。有賴現有的避雷系統，發電設備受雷擊的風險已在合理可行範圍內減至最低。



圖 1. 龍鼓灘發電廠的佈局

2. 事故經過

位於龍鼓灘發電廠的四十萬伏特輸電變電站錄得的兩次電壓驟降之間相距約 10 秒，每次歷時約 0.1 秒。

中華電力沒有接獲事故引起受傷的報告。除了 C5 和 C6 主變壓器區域內有軟連接導體輕微受損，未有發現其他資產損毀。

以下是 2024 年 4 月 6 日第一次電壓驟降的事件時序：

- 下午 1 時 29 分 26.825 秒，於 L1 相錄得第一次四十萬伏特電壓驟降。
- 下午 1 時 29 分 26.926 秒，C5 因其主變壓器保護系統啟動而跳閘，所連接位於四十萬伏特輸電站內的四十萬伏特斷路器（註 1）也自動切斷。
- 下午 1 時 29 分 26.935 秒，C2 發生機組跳閘，但沒有切斷所連接的四十萬伏特輸電斷路器。

以下是 2024 年 4 月 6 日第一次電壓驟降約 10 秒後，發生的第二次電壓驟降之事件時序：

- 下午 1 時 29 分 36.150 秒，於 L1 相錄得第二次四十萬伏特電壓驟降。
- 下午 1 時 29 分 36.245 秒，C6 因其主變壓器保護系統啟動而跳閘，所連接位於四十萬伏特輸電站的四十萬伏特斷路器也自動切斷。

透過閉路電視錄像片段，觀察到在兩次電壓驟降之間有以下情況：

- 下午 1 時 29 分 26 秒，C5 主變壓器區域發生放電現象。
- 下午 1 時 29 分 33 秒，觀察到 C6 主變壓器區域附近有雷擊。
- 下午 1 時 29 分 36 秒，C6 主變壓器區域發生放電現象。

中華電力有限公司
2024 年 4 月 6 日雷暴警告期間的四十萬伏特電壓驟降事故
事故調查報告

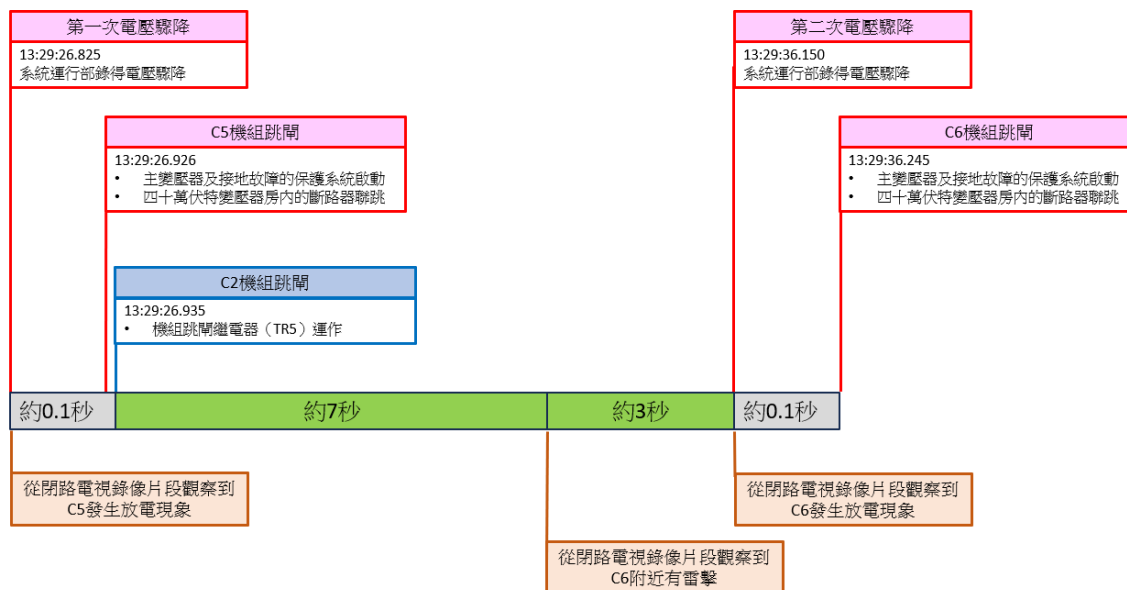


圖 2. 事發經過的時間順序

註 1：斷路器是一種電氣裝置，用以將電氣故障隔離，從而保護電氣設備及電力系統

3. 復電安排

在已跳閘的 3 台發電機組當中，其中兩台發電機組（即 C5 和 C6 機組）所連接的四十萬伏特輸電保護系統啟動，以隔離放電情況。C2 機組因跳閘繼電器運作而跳閘，但沒有切斷連接的四十萬伏特輸電斷路器。

中華電力隨即增加其他機組的發電量，以應付客戶的用電需求。這次事件中電力供應沒有中斷。

龍鼓灘發電廠的工程人員同時亦展開調查。經現場檢查及評估後，未有在 C2 機組觀察到異常情況，而其跳閘線路亦可以重置。C2 機組遂於 2024 年 4 月 6 日下午 3 時 08 分恢復運作。

從 C5 和 C6 機組觀察到其主變壓器高壓出口（註 2）的部分軟連接導體有發生輕微閃絡及金屬受損，在附近的電氣部件（例如跳線、末端環等）上有金屬熔解痕跡。輕微受損的軟連接導體已被更換，相關電氣部件經檢查及採集樣本後，亦已進行清潔。

與此同時，工程人員對 C5 和 C6 機組的主變壓器及四十萬伏特電纜進行測試。在確認機組結構完整和其測試結果滿意後，C6 和 C5 機組分別於 2024 年 4 月 11 日和 2024 年 4 月 12 日恢復運作。

註 2：高壓出口是主變壓器連接四十萬伏特電纜之間的高壓裝置

4. 調查

4.1 調查結果

直至發電機組跳閘和發生四十萬伏特電壓驟降之前，龍鼓灘發電廠發電機組的輸出電量穩定，而且當時並沒有在主變壓器及四十萬伏特輸電站進行維修工程或開關的操作。

當時正值雷暴警告生效期間，龍鼓灘發電廠附近地區錄得雷擊情況。從閉路電視錄像片段觀察到，在 C5 和 C6 主變壓器區域，觀察到發生了兩次與雷擊跡象相關的放電情況，這與 C5 和 C6 保護系統的啟動時間脛合。此外，在 C6 跳閘前約 3 秒，也觀察到 C6 主變壓器區域附近有另一道強光閃過。由於當時出現強光的位置附近沒有進行任何工程，因此相信強光是主變壓器區域附近的雷擊。



圖 3. C5 主變壓器區域出現為時約 0.6 秒的放電情況



圖 4. 觀察到在 C6 放電前約 3 秒，C6 主變壓器區域附近出現雷擊



圖 5. C6 主變壓器區域出現為時約 0.8 秒的放電情況

在電壓驟降和機組跳閘後，工程人員立刻檢查設備，未有發現在 C5 和 C6 主變壓器區域內有碎屑或洩漏絕緣油情況。



圖 6. 4 月 6 日電壓驟降後
C5 主變壓器區域



圖 7. 4 月 6 日電壓驟降後
C5 主變壓器區域



圖 8. 4 月 6 日電壓驟降後
C6 主變壓器區域



圖 9. 4 月 6 日電壓驟降後
C6 主變壓器區域

C2 機組跳閘

經現場即時檢查及評估，未有發現 C2 機組有異常情況。事故中沒有保護繼電器被觸發，但發現一個下游跳閘繼電器被觸發，並隨後可以重置。C2 機組於 2024 年 4 月 6 日下午 3 時 08 分恢復運作。

事故發生後，在原廠設備製造商的支援下，中華電力對 C2 機組的主變壓器保護線路進行詳細檢查。分析確認，保護繼電器當時處於正常狀態，沒有跡象顯示其曾經指令下游跳閘線路啟動。下游跳閘繼電器被觸發，相信是由於偵測到第一次電壓驟降引起的干擾所致，從而導致機組跳閘。

C5 和 C6 機組跳閘

事故後，中華電力對 C5 和 C6 機組各自的主變壓器區域內的避雷杆裝置和地極檢驗坑進行測試，確認其狀況正常。

翻查紀錄，龍鼓灘發電廠投產超過 25 年，直至這次事故之前，並沒有錄得主要電氣設備遭直接雷擊的情況。

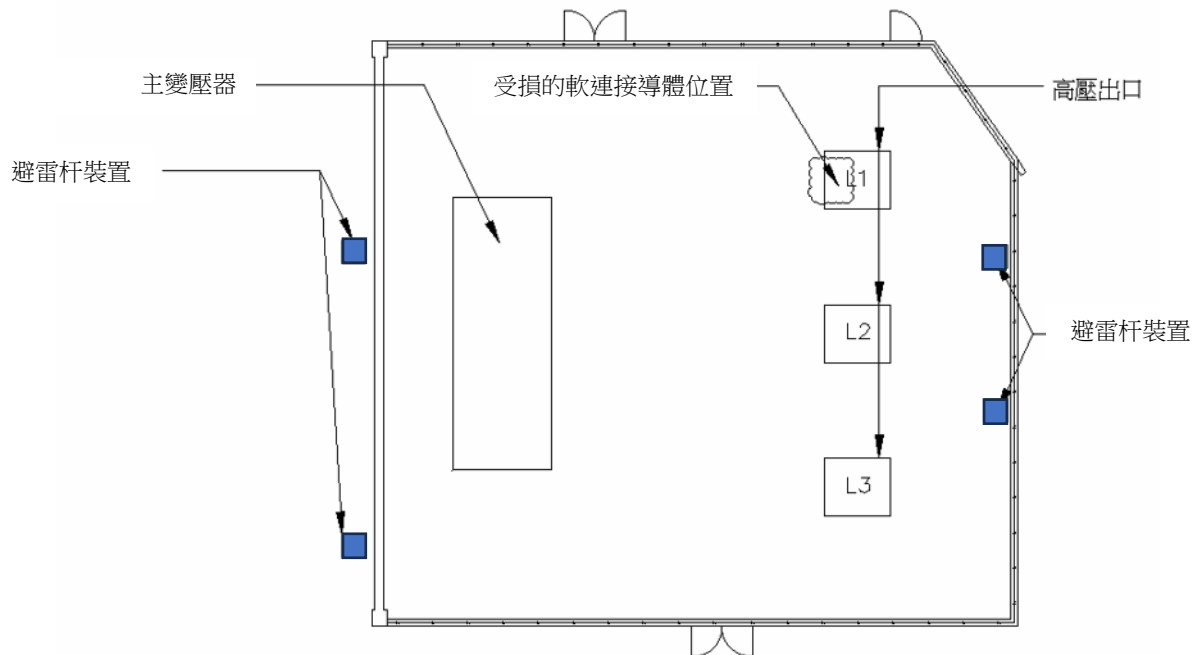


圖 10. 主變壓器區域電氣設備佈局平面圖

現場視察顯示，除了位於 C5 和 C6 機組 L1 相的主變壓器高壓出口的部分軟連接導體，有發生輕微閃絡及金屬受損，及在附近的電氣部件找到一些熔解金屬外，主變壓器區域內其他設備和裝置並沒有損壞。

經中華電力實驗室作出的冶金分析，軟連接導體表面的輕微閃絡痕跡，確認因鋁（即軟連接導體物料）受到局部釋放的高能量熔解所造成。由於軟連接導體沒有顯著的物理或機械損壞，及閃絡痕跡集中於表面，相信金屬輕微受損是由於外部雷擊或放電造成的結果，而非設備故障引致。

此外，C5 和 C6 的主變壓器及電纜經詳細測試，確認除了軟連接導體輕微受損並已更換外，其餘組件結構完整。在完成全面測試，並確認機組表現令人滿意後，C6 和 C5 機組分別於 2024 年 4 月 11 日和 2024 年 4 月 12 日恢復運作。



圖 11. 輕微受損的 C5 軟連接導體



圖 12. C5 高壓跳線表面的金屬熔解痕跡



圖 13. 輕微受損的 C6 軟連接導體



圖 12. C6 連接器頭表面的金屬熔解痕跡

5. 事故原因分析

根據調查結果，總結電壓驟降並非源於設備故障，而是受雷擊所致。

儘管設有避雷系統，但閉路電視錄像片段清楚顯示，在 C5 和 C6 機組的主變壓器區域或附近範圍，在 10 秒內接連發生雷擊及放電情況，這情況以往從未發生。相信雷擊引致相關區域發生接地放電情況，因而導致四十萬伏特輸電系統出現電壓驟降。雷擊引致的放電情況，亦觸發 C5 和 C6 機組主變壓器的接地故障保護裝置啟動，切斷所連接的四十萬伏特輸電斷路器，以清除放電情況，從而保護發電及輸電設備。

由於 C2 機組的保護繼電器（P643）並未運作，因此沒有證據證明 C2 機組曾發生電壓驟降或故障。C2 機組跳閘是由於在下午 1 時 29 分 26 秒左右，其中一個跳閘繼電器（TR5）偵測到第一次電壓驟降引起的干擾所致。

5.1 電壓驟降的直接起因：

根據國際標準，避雷系統基於概率方法設計，當中考慮到雷擊時最可能發生的情景，而由於雷電是一種複雜多變的自然現象，這意味着在某些罕有的情況下，雷擊仍然可能會繞過避雷系統。儘管有避雷系統，C5 和 C6 主變壓器區域內仍出現雷擊，此情況自龍鼓灘發電廠投入運作以來從未發生。

然而，除了 C5 和 C6 的部分軟連接導體有輕微受損之外，未有發現其他明顯的受損位置，因此未能確定雷擊點的確實位置。縱使雷擊的位置未能確定，當時潮濕的空氣可能令現場產生更導電的路徑，能讓四十萬伏特系統接地，引致放電情況。

C5 和 C6 機組因其接地故障保護系統運作而跳閘，以清除放電情況和保護設備。

相信電壓驟降是由雷擊引致的理由如下：

- i) C5 和 C6 發電機組跳閘，是由於它們各自的接地故障保護系統運作所致。根據保護系統的設計，放電情況須在主變壓器的高壓側與四十萬伏特變電站的斷路器之間發生。
- ii) 根據電氣測試及實驗室測試結果，主變壓器及四十萬伏特電纜的狀況均正常，並無設備故障跡象。
- iii) 閉路電視錄像片段清楚顯示，兩次放電情況，與 C5 和 C6 發電機組各自的跳閘時間幾乎是同一瞬間。在 C5 和 C6 兩次放電情況之間，在附近範圍曾出現另一次雷擊。
- iv) 根據香港天文台的資料，在同一時段屯門區有雷擊紀錄。
- v) C5 和 C6 機組高壓出口 L1 相的軟連接導體只有輕微受損及局部發生過閃絡的痕跡。因為沒有發現顯著的物理或機械損壞情況，而金屬熔解只出現於導體的表面，所以相信受損由雷擊或放電情況所致，並非源於設備故障。



圖 15. C5 機組高壓出口軟連接導體
的受損痕跡



圖 16. C6 機組高壓出口軟連接導體
的受損痕跡

5.2 排除其他可能起因

經分析以下其他潛在起因後，分析結果支持上述調查結論：

1. **避雷系統故障：**發電廠有按照維修計劃進行例行檢查。此外，事故調查期間，工程人員亦已檢查避雷杆裝置及地極檢驗坑的效能，確認它們狀況正常。避雷系統故障的可能性很低。
2. **第三方干擾：**在事故發生前，發電機的電氣系統沒有進行維修工程或運行開關的操作，因此可以排除第三方干擾之可能性。
3. **故意損壞：**翻查事故發生之際及之前的閉路電視片段及維修工作紀錄，均無發現異常情況，因此可以排除故意損壞之可能性。
4. **工藝：**在調查過程中，沒有觀察到重大的電力設備故障，所有電氣及實驗室測試都確認設備在電壓驟降後處於健康狀態，因此可以排除工藝問題之可能性。
5. **負荷過載：**根據事發時間的系統紀錄，發電機組於跳閘前的輸出發電量，並非滿載負荷狀態，因此可以排除主變壓器因負荷過載而出現故障之可能性。
6. **上游或下游位置發生故障：**保護系統的運作情況顯示，放電現象發生在主變壓器的高壓側與四十萬伏特變電站的斷路器之間，因此可以排除上游和下游位置發生故障之可能性。
7. **設備內部故障：**主變壓器、四十萬伏特電纜及四十萬伏特斷路器的所有電氣測試及實驗室測試結果均顯示它們狀況正常。部分軟連接導體表面的輕微受損，相信由外在雷擊或放電所致，而非源於內部設備故障。設備故障之可能性很低。
8. **保護系統錯誤運作：**在調查中未有發現 C5 和 C6 機組的保護系統曾發生故障。

6. 避雷系統的安裝狀況

龍鼓灘發電廠的避雷系統是根據國際標準設計和建造。圍繞每個主變壓器區域設有 4 組避雷杆裝置（每組裝置超過 18 米高，約為所保護的電氣設備高度之兩倍），為安裝在主變壓器區域內的設備提供避雷保護。避雷杆裝置的底部連接到地下接地墊，當雷電擊中避雷杆裝置時，能量得以引領到地面。主變壓器的中性線接地方式為單獨接地。中華電力一直按照既訂的維護計劃，定期對避雷系統進行檢查。

主變壓器是根據國際標準設計。

C5 主變壓器於 1996 年製造。上一次翻新工作以及狀況評估在 2020 年進行。翻新工作基於設施生命週期評估結果，由原廠設備製造商進行，工作主要包括更換機械部件，例如墊圈、管道及冷卻風扇系統等。

C6 主變壓器於 1996 年製造。2018 年進行了翻新及評估，工作範圍與 C5 的相似。

自上次維修以來，C5 和 C6 的主變壓器的運作表現為滿意，未有出現重大缺陷或故障。

7. 跟進行動

電壓驟降事故發生後，C5 和 C6 主變壓器區域的避雷杆裝置及地極檢驗坑已進行測試，並未有發現異常情況。

儘管這次事件罕見，中華電力將會探討和研究進一步提升發電及輸電設備的韌性，透過全面測試及檢討避雷及其接地系統，研究進一步提升相關發電及輸電設備的抵禦雷擊能力。

C2 機組在第一次電壓驟降期間，因感應干擾而受影響。儘管 C2 機組的保護系統已經過原設備製造商的檢查並確認運作正常，為防止 C2 機組未來因受干擾而觸發下游跳閘繼電器，發生跳閘情況的可能性，中華電力將進一步與原設備製造商研究，如何在確保適時保護發電設備與減少干擾觸發跳閘之間取得平衡。