

出國報告（出國類別：開會）

參加 2023 年國際大壩委員會
第 91 屆年會及研討會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：營建處專員 李華怡

派赴國家：瑞典

出國期間：112 年 6 月 9 日至 17 日

報告日期：112 年 8 月 2 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

參加 2023 年國際大壩委員會第 91 屆年會及研討會

頁數 13 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

翁玉靜/台灣電力公司/人資處/專員/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

李華怡/台灣電力公司/營建處/專員/02-23666959

出國類別：1 考察2 進修3 研究 4 實習5 開會6 其他

出國期間：112 年 6 月 9 日至 112 年 6 月 17 日

派赴國家/地區：瑞典

報告日期：112 年 8 月 2 日

關鍵詞：

內容摘要：

國際大壩委員會(International Commission on Large Dams,ICOLD)成立於 1928 年，為一非政府之國際專業組織，成立之宗旨為提供有關大壩工程之知識與經驗交流平台，以確保大壩在施工與營運階段能符合經濟、效率及環境永續之目標。ICOLD 第 91 屆年會及研討會，2023 年 6 月 11 日至 6 月 15 日於瑞典哥德堡舉辦，主辦單位為瑞典大壩委員會(the Swedish National Committee of ICOLD)。研討會主要內容包括 1.大壩的安全管理 2.大壩的定期檢查、監測及評估 3.大壩數值模擬及決策 4.大壩的修復 5.氣候變遷及環境適應 6.創新技術等六項議題，另主辦單位亦安排水利設施技術參訪。本公司部分水壩已完工運轉多年，部分材料已出現老化、甚至劣化現象，如何強化監測系統，確保大壩安全，為重要課題。另部分水庫已面臨嚴重淤積問題，清淤與防淤策略亦須審慎探討，以發揮水庫原有功能。再者，因應氣候變遷及能源轉型，須建立更靈活智慧的用水/發電協商機制與調控模式，並訂定逐年恢復水庫有效蓄水量的長期計畫與經費編列。透過本次研討會吸取先進國家之技術與經驗及未來發展，對本公司壩工技術、水庫營運及水力發電之發展有所裨益。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

摘要

國際大壩委員會(International Commission on Large Dams,ICOLD)成立於 1928 年，為一非政府之國際專業組織，成立之宗旨為提供有關大壩工程之知識與經驗交流平台，以確保大壩在施工與營運階段能符合經濟、效率及環境永續之目標。ICOLD 第 91 屆年會及研討會，2023 年 6 月 11 日至 6 月 15 日於瑞典哥德堡舉辦，主辦單位為瑞典大壩委員會(the Swedish National Committee of ICOLD)。研討會主要內容包括 1.大壩的安全管理 2.大壩的定期檢查、監測及評估 3.大壩數值模擬及決策 4.大壩的修復 5.氣候變遷及環境適應 6.創新技術等六項議題，另主辦單位亦安排水利設施技術參訪。

本公司部分水壩已完工運轉多年，部分材料已出現老化、甚至劣化現象，如何強化監測系統，確保大壩安全，為重要課題。另部分水庫已面臨嚴重淤積問題，清淤與防淤策略亦須審慎探討，以發揮水庫原有功能。再者，因應氣候變遷及能源轉型，須建立更靈活智慧的用水/發電協商機制與調控模式，並訂定逐年恢復水庫有效蓄水量的長期計畫與經費編列。透過本次研討會吸取先進國家之技術與經驗及未來發展，對本公司壩工技術、水庫營運及水力發電之發展有所裨益。

目錄

一、目的.....	1
二、會議概述.....	1
三、研討會摘要及心得.....	4
四、結論與建議.....	10
附件 1-會議日程表.....	11
附件 2-ICOLD TECHNICAL COMMITTEES 28 個主題.....	12
附件 3-研討會相關照片.....	13

一、目的

藉由赴瑞典參加 ICOLD 第 91 屆年會及研討會，汲取針對大壩安全管理之案例研究、技術和創新的資訊，以維護或提高大壩的安全性及其相關效益。藉由參加國際性研討會，期能與先進國家進行研究及蒐集與壩工有關之寶貴資料，例如大壩的安全管理、大壩生命週期思維下之監測系統規劃之觀念演進及氣候與環境適應…等，汲取先進技術與經驗及未來發展趨勢，密切關心壩工安全、管理、改善等議題，以期回饋至本公司乃至全台各水庫之永續經營發展方向。

二、會議概述

1. 會議地點：瑞典-哥德堡(英文：Gothenbur，瑞典語: Göteborg)，哥德堡位於瑞典西南部的西海岸，由眾多群島組成，是瑞典第二大城市，北歐國家第五大城市，人口數約 60 萬人，大都會區約有 110 萬居民。由於墨西哥灣流經過，該市氣候溫和，降水量適中，夏季溫暖宜人，平均高溫約在攝氏 22~26 度，最低溫度約在攝氏 12 至 15 度。市區交通便利，開會地點位在瑞典展覽與會議中心(Svenska Mässan) 是斯堪的納維亞半島最大、最先進的貿易展覽會的場地，內有會議廳及多個小型會議廳及小型討論室，可供各項會議討論使用。
2. 過程說明：

- (1) 出國行程：

- 6 月 9 日~6 月 10 日 出發前往瑞典哥德堡

- 6 月 11 日~6 月 15 日 研討會

- 6 月 16 日~6 月 17 日 返程

- (2) 會議日程：會議日程為 6 月 11 日~15 日(詳附件 1-日程表)，其中 6 月 11、12 日為技術委員會所舉辦的研討會，旨在介紹和討論技術委員會在

各項目執行啟動階段的新工作內容及成果，共有 28 個主題(詳附件 2)。6 月 13~15 日，為研討會論文演講、展覽開放以及技術導覽，相關照片詳見附件 3。

(3) 技術導覽：

這次技術導覽是參觀 Lilla Edet 水力發電廠。這是約塔阿爾夫運河(the river Göta Älv)上四個水力發電廠之一，Lilla Edet 的發電量為 42MW，始建於 1913 年，並於 1926 年投入運營。依據 2015 年至 2017 年的可行性研究，為了因應氣候變遷的改變及提高大壩安全，確保發電廠的安全運營，專家學者評估需增高混凝土壩高並增加溢洪道的排放量，經評估需增加 4 個溢洪道及增高壩高為 120 公尺。目前 Lilla Edet 水力發電廠正在進行改建，先將水位放水到正常水位下，進行圍堰工程，藉以進行新設溢洪道施作。



上圖為 Lilla Edet 水力發電廠現場施工照片

參觀完 Lilla Edet 水力發電廠後，又前往位於約塔阿爾夫運河(the river Göta Älv)附近的特羅爾海坦 (Trollhättan) 市。約塔阿爾夫運河全長有 82 公里，共有六個船閘，其中四個位於 Trollhättan，該運河上所使用的船閘於 1916 年啟用，預計 2030 年前會更換新船閘。平均每天有 10 艘船通過運河，載重約 11,500 噸，如果要在陸地上近相同的運輸量，則需要大約 500 輛的運輸卡車，可以了解到運河對該地區經濟生活和就業的重要性甚為重大。



上圖為特羅爾海坦市其中 2 座船閘現況

三、研討會摘要及心得

本次 ICOLD 研討會由瑞典國家大壩委員會承辦，來自有 81 個國家的 1200 多名代表和專家參加會議，其中地主國瑞典出席人數 202 人最多，依次美國 79 位、日本 61 位、中國 59 位、印度 53 位、法國 51 位、英國 47 位、加拿大 47 位…等，台灣不知是否受限非國際大壩委員會組織成員或其他因素，僅筆者 1 位出席。會議中舉辦的演講有 30 幾場、電子論文展出 59 篇，規模非常盛大，以下摘要本次研討會主題及心得。

本次研討會的涵蓋六大主題分別為：

- **主題一：大壩的安全管理**

從立法和管理層面來探討大壩的安全管理。以瑞典為例，瑞典沒有一部專門為大壩安全制定的法律，瑞典是在《環境法》及《民防法》中頒布了關於大壩安全的明確規定。Svenska kraftnät（瑞典國家電網公司）是獨立機關，負責大壩安全監管和調查。Svenska kraftnät 根據可能破壞的後果將大壩進行分類，並根據不同的破壞後果，制訂大壩安全監管指南，規定大壩的管理者需要進行大壩安全的自我監管，管理者需要每年向 Svenska kraftnät 報告大壩安全狀況，並且向 County administrative boards 支付監督檢查費用，而這些費用可用作 Svenska kraftnät 中贊助研究、開發新項目、教育訓練，以及在潰壩或洪水等緊急情況下的準備工作。藉此方式加強大壩的安全監管、支持大壩管理者對大壩的安全維護工作並且規定大壩安全的要求，以預防大壩破壞。

- **主題二：大壩的定期檢查、監測及評估**

定期進行水庫全面安全檢查，包括結構、閘門、洩洪設施等；定期對大壩結構物進行監測和評估，包括測量水位、壓力、位移和震動等參數，以及對土壤和岩石穩定性的評估。這有助於及早發現潛在問題並採取必要的修復措施。會中分享了土耳其的阿塔土爾克大壩(Ataturk Dam)所使用的安全監測方法，該大壩為世界第三大壩，有關單位透過多時域雷達干涉技術(Multi Temporal

InSAR)，將衛星長期拍攝累積的雷達觀測資料進行處理，SAR 衛星採集可以覆蓋大面積區域，利用地表目標物與衛星之間距離的改變所造成的雷達回波微小差異進行長期多時相分析，瞭解大壩設施是否有出現變形、異狀。

● 主題三：大壩的數值模擬及決策

大壩安全有關的數值模擬有(1)水文模擬:模擬不同時序內的降雨和逕流情況，這有助於預測大壩能面臨的洪水事件，並評估大壩的防洪能力。(2)水理模擬:模擬水流在大壩和水庫內的運動情況，像是對排洪隧道進行三維流場數值模擬可以確保運轉時的安全性，並且據以決定洩洪方式。(3)土壤力學模擬:藉由數值模擬分析，探討壩體若出現缺陷或裂縫時可能出現與滲流相關的異常問題。(4)風險評估模擬:模擬不同災害情境下的大壩安全風險，這有助於確定大壩可能面臨的風險和潛在災害影響，可用於制定適合的風險管理計畫及緊急應變計畫。例如:Celsia 是哥倫比亞的主要水電公司之一，負責管理四個大型水壩：Salvajina (315 MW, 140 m high)、Alto Anchicayá (355 MW, 140 m high)、Prado (51 MW, 90 m high) 和 Calima (132 MW, 115 m high)。(薩爾瓦伊納、上安奇卡亞、普拉多和卡利馬)。自 2020 年以來，Celsia 根據最佳國際標準，對每座大壩的水文、水力、岩土和結構安全的進行全面審查，以 HEC-RAS 2D 的下游區域水力模型和 iPresas Calc 軟體的定量風險模型兩種數值模擬方式，進行氣候變化的影響所造成的風險評估，來制定大壩安全管理計畫，例如改進監測方式和新的閘門操作規則，以最大程度地降低下游洪水風險。

● 主題四：大壩的修復

大壩的修復取決於損害的類型和程度，若大壩結構出現破損則需要進行修復，包含修復混凝土壩體裂縫、修復損壞的支撐結構等；若因泥沙淤積降低水庫庫容並減少發電效能，則需進行水庫清淤；若大壩的運營可能對周遭的生態環境影響，則需要進行環境修復措施，如:生態監測、植被保護；然而除了採取物理措施外，有時也會通過政策、管理等方面來提高大壩的安全性。

研討會中的學者提出以印尼 Sempor Dam 和 Mrica Dam 進行大壩沉積管理案例之分享，由於沉積物導致水庫淤積，影響了水庫的庫容，縮短了水庫的壽命，該案例研究依涉及大壩管理單位提供的資料進行數據分析，以 Kondolf 在 2014 年提出的大壩沉積物管理的策略類型（DSM）共有三種(Figure1)，分別為 DSM 1-減少沉積物產量、DSM 2-最小化沉積物沉積和 DSM 3-增加或恢復體積作為研究方法。

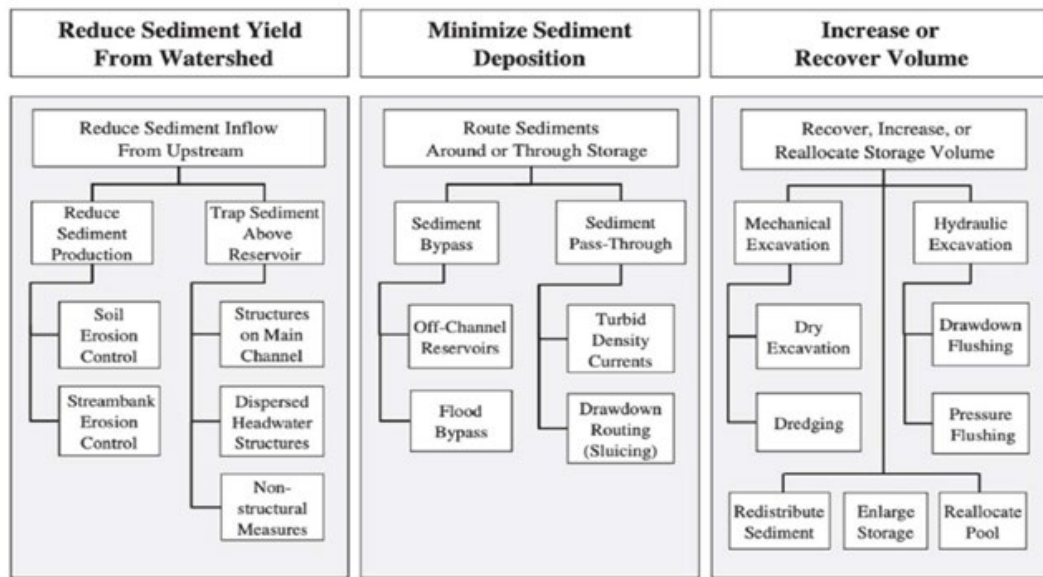
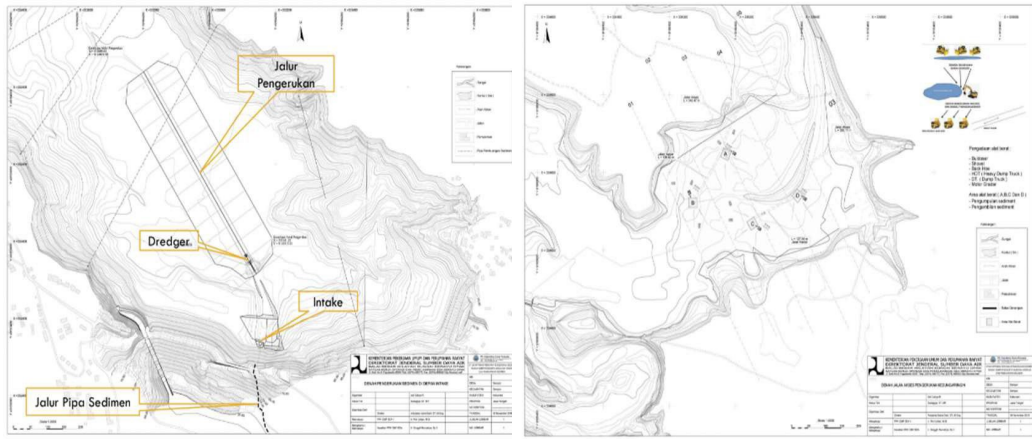


Figure1. Classification of Dam Sediment Management (Kondolf, 2014)

經由程式分析，可得知 Sempor Dam 適合採用 DSM1 和 DSM3 方法，因為設計的原因，沒辦法進行洩降及閘門洩水，因此以增加安全控制基礎設施，如檢查水壩、疏濬及抽砂作為替代方案。開始時使用推土機鋪設一條從進水口到水庫中心的道路，接著在水庫中心及取水口使用反鏟挖土機進行疏濬。最後利用運輸卡車將疏濬後的沉積物運送至堆置區(Figure2.)。而對庫容內的沉積物亦進行管道抽砂，將庫容沉積物藉由抽砂流向下流的棄土區(Figure3.)。



Gambar 7.18 Jalur Pengerukan Depan Intake

Gambar 7.12 Area Pengerukan Sedimen BPS Kedungwringin

Figure 2. Recommended Dredging Route: left at intake and right at Kedungwringin Check Dam

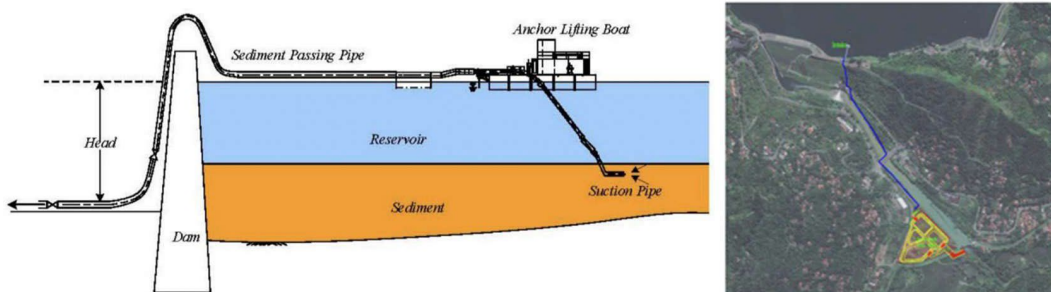


Figure3. Hydro-suction: left section of the dam and right sediment pipe trajectory

而 Mrica Dam 則採用 DSM2 和 DSM3 方法，藉由洩降涵洞來清除沉積物 (Figure4.)，再以挖泥船疏濬(Figure5.)。

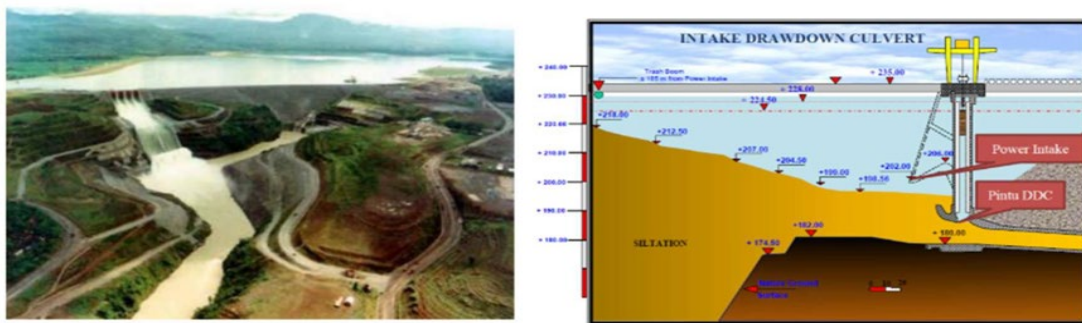


Figure 4. Draw Down Culvert (Indonesia Power, 2021)



Figure 5. Left to right: location, dredger, excavator, and trash boom (Indonesia Power, 2021)

經由分析討論後，通過應用 DSM 方法有利於恢復大壩功能及延長大壩壽命，而使用的 DSM 越多，且依照 1 至 3 的優先順序，沉積物的控制就越有效。

- **主題五：氣候與環境適應**

氣候變遷導致了全球的氣溫上升、降水模式的變化以及更頻繁、更強烈的極端氣候事件發生。氣候變遷可能導致降雨量和融雪增加，增加了洪水事件發生的頻率和強度，這可能會對大壩及水庫的承載力及穩定性造成威脅。再者，氣候變遷可能導致乾旱加劇、減少水源供應，這可能對大壩的運作和效率產生負面影響。以「氣候變化下韓國 Soyang gang 壩旱澇災害風險評估」研究為例，韓國學者以氣候變化情境和模型評估氣候變化對大壩的影響及乾旱分析下 Soyang gang 壩儲水量的變化，藉此分析低水位及洪水位時水庫的運營方式。經由研究結果顯示，因氣候變遷導致降雨季節的峰值能會從 7、8 月移動到 8、9 月，因此需應對降雨的變化和水供應需求的波動來優化水庫的運營方式。

- **主題六：創新技術**

在巴黎協定的推動下，世界正邁向無碳能源，暗示化石燃料時代將結束。因此學術界、產業界及公共部門涵蓋前述五大主題作發想，合作開發跨學科研究和創新的解決方案來加強水力發電的開發與管理，提高發電效率和可再生能源的比重，有助於實現能源轉型。研討會中提出利用先進的監測技術，如：無人機監測、InSAR 等，配合大數據、人工智慧演算法(如類神經技術等)及統計方法，應用 GIS、BIM 及 3D 建模空間分析，可以監測大壩結構的變形，針對監測儀器之測讀數據研擬最適分析方法、訂定管理值，分析大壩潛在危險。亦可利用人工智慧預測大壩運行中可能出現的問題，提前進行預警和修復。以義大利學者提出「Monitoring of large slow rock-slope deformations interacting with hydroelectric plants through Robotized Inclinometer System」為例，DSGSD 是 Deep-Seated Gravitational Slope Deformation 的縮寫，中文為深層重力邊坡變形。它是一種地質災害，通常發生在山區或陡峭的斜坡上，是由於

地層內部的滑動和變形所引起的。DSGSD 通常是一個緩慢的過程，但在某些情況下，它可能會導致大規模的山崩和地滑，對人類和環境造成威脅和損害。因此，在大壩周邊監測 DSGSD 的技術和方法對於預測和減少大壩破壞所帶來的災害至關重要。義大利學者提出為了監測 DSGSD 所造成的影響，開發機器人測斜儀系統以獲取鑽孔部位的地基變形。該系統的鑽孔允許使用單個測斜儀探頭測量水準變位。這種創新儀器結合了傳統手動測量的優勢和機器人化方法，可在一定時間內提供高精度、可重複性及高頻率的測量數據，以便更深入的分析 DSGSD 現象與大壩安全的交互作用。總體而言，機器人測斜儀系統對於大壩周遭崩坍監測是有用的創新工具，以便實施更好的風險評估和緩解策略。

四、結論與建議

1. 本公司大多數水力電廠水壩均已歷史悠久、完工運轉多年，近年來陸續面臨水庫泥砂淤積問題。為了解決泥砂淤積問題，公司訂定逐年恢復水庫有效蓄水量的長期計畫與經費編列。例如：目前正在執行「霧社水庫防淤工程計畫」及「武界壩排洪設施改造工程計畫」，藉由防淤隧道施作及排洪設施的改造，以維持庫容及水庫壽命。另德基水庫目前亦辦理「德基水庫含砂水流運移與水庫減淤操作試驗研究」，期能建立經濟有效水庫減淤操作模式。在研討會中印尼學者提出以 Kondolf 在 2014 年提出的大壩沉積物管理的策略類型 (DSM)，此研究方法亦可供公司處理水庫面臨淤積問題的評估方式時參考。
2. 在既有蓄水設施經營管理面上，建議公司積極協調林務與河川主管單位，加強上游集水區環境保育、減少土地超限利用、以減少集水區土砂進入水庫。並評估應用 InSAR 技術監測集水區邊坡沖蝕變化的可行性，可即時反映整體水庫集水區之沖蝕狀況，評估水庫土砂淤積量及建立邊坡崩塌警示系統。
3. 因應氣候變遷與極端事件對水庫安全的危害，除每 5 年一次的水庫安全評估調查外，建議配合 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change 聯合國政府間氣候變化專門委員會)最新發布的氣候變遷情境，考量因應氣候變遷對既有水庫安全風險與改善對策。
4. 公司可鼓勵員工積極參與國內外相關壩工技術研討會，藉由參加研討會可與產官學界不同領域之專家學者分享及汲取經驗，精進專業職能，亦可掌握國內外最新壩工技術及水庫營運管理之發展趨勢，並構思可能應用之方式，強化本公司之專業能力及提升形象。

附件 1-會議日程表

DAY	GENERAL PROGRAM	TECHNICAL EXHIBITION	SOCIAL PROGRAM	SWEDCOLD WORKSHOPS & SHORT COURSES
June 6-10	Pre Conference Tours			
Friday June 9	Meeting of ICOLD Board			
Saturday June 10	Meeting of ICOLD Board, morning + early afternoon Meeting of ICOLD Board and Chairpersons Tech.Com, late afternoon		Guided city tour	WS1 – All day SC1 & SC2 – All day
Sunday June 11	Techn. Com. WS, morning + afternoon Regional Clubs, late afternoon	Opening of exhibition, afternoon	Guided city tour Welcome Reception in Exhibition hall	SC3 – All day
Monday June 12	Meeting of Tech. Committees Francophone meeting, late afternoon YPF meeting, late afternoon	Exhibition all day		
Tuesday June 13	Symposium 8:00-17:30, Women Mentor ship – Panel session, 13:00-14:00	Exhibition all day	Cultural Evening at Liseberg	
Wednesday June 14	Symposium half day am Young Professionals Forum, evening event	Technical Excursions Exhibition closes, pm	Networking event for Young Professionals	SC4 – AM WS2 & WS3 – PM
Thursday June 15	General Assembly	Technical Excursion	Farewell Dinner at Svenska Mässan	WS4 & WS5 – AM WS6 & WS7 – PM
June 16-20	Post Conference Tours			

附件 2 – ICOLD TECHNICAL COMMITTEES 28 個主題

A	Computational aspects of analysis and design of dams (2020-23)	M	Operation, maintenance and rehabilitation of dams (2020-23)
B	Seismic aspects of dam design (2020-23)	N	Public awareness and education (2021-24)
C	Hydraulics for dams (2021-25)	O	World register of dams and documentation (2021-24)
D	Concrete dams (2021-24)	P	Cemented material dams (2020-25)
E	Embankment dams (2020-23)	Q	Dam surveillance (2017-22)
F	Engineering activities with the planning process for water resources projects (2014-22)	RE	Resettlement due to reservoirs (2021-24)
G	Environment (2020-25)	S	Flood evaluation and dam safety (2020-24)
H	Dam safety (2021-24)	TRS	Tropical residual soils (2020-23)
HWS	Historical water structures (Water Heritage) (2021-24)	T	Prospective and new challenges for dams and reservoirs in the 21st century (2020-23)
I	Public safety around dams (2016-25)	U	Dams and river basin management (2021-24)
J	Sedimentation of reservoirs (2020-23)	V	Hydro mechanical equipment (2016-25)
K	Integrated operation of hydropower stations and reservoirs (2015-23)	X	Financial and advisory (ad hoc committee)
L	Tailings dams & waste lagoons (2020-23)	Y	Climate change (2021-23)
LE	Levees (2018-24)	Z	Capacity building and dams (2021-24)

附件 3-研討會相關照片

