

智慧電錶之技術標準、頻譜規劃與政策方向

一、技術標準

IEC 62056 及 ANSI C12 為目前國際常用之能源通信標準。前者多為歐洲地區使用，後者則盛行於美洲地區。臺灣過去便是依循 ANSI C12 的標準。

世界各國雖均可針對能源通訊訂定標準，但 AMI 通訊仍有共通之規則及條件。UtilityAMI 是第一個關於 AMI 以及 DR (Demand Response) 相關規範發展的論壇，該論壇由 29 國 111 間公司組成，大多為各國能源供應商，長期致力於發展 AMI 規範。

針對 AMI 通訊標準，該論壇制定了一份概略性的 AMI 高階需求書 (high-level requirements)，讓智慧電錶廠商在設計產品時有遵循的依據。其在需求書提出的 18 項要求，整理如下表：

表 1 UtilityAMI 之 AMI 需求標準

要求	說明
標準通訊介面 (Standard Comms Board Interface)	電錶和通訊介面之間必須採用公開的標準。如此可以使用不同的通訊協定並且避免被單一廠商限制住
標準資料模型 (Standard Data Model)	電錶與使用者端交換資訊必須使用公開的資料格式標準。
安全性 (Security)	使用公開標準，在整個電錶系統中可以防止冒名 (impersonation)、修改 (modification)、重演 (replay)、中間人攻擊 (man-in-the-middle) 以及竊聽 (eavesdropping) 等攻擊。
雙向通訊 (Two-Way Communications)	電錶到客戶端的網路通訊必須雙向而且具有可靠度 (reliable)。
遠端下載 (Remote Download)	可以遠端更新整個 AMI 系統中各項設備的電錶設定、組態值、安全憑證及韌體。

要求	說明
時間電價 (Time-of-Use Metering)	電錶可以依據預設的時間間隔紀錄使用量。
雙向與淨量功能 (Bi-Directional and Net Metering)	電錶可以記錄雙向的流量並且計算淨使用量 (net usage)。
儲存長期資料 (Long-Term Data Storage)	可以儲存至少 45 天以上的資料並且最少要有兩個以上的通道。
遠端斷電 (Remote Disconnect)	可以遠端對於用戶斷電跟復電。
網路管理 (Network Management)	可以遠端偵測電錶和網路設備，並且可以監控整個 AMI 通訊網路的狀態。
自我修復網路 (Self-healing Network)	網路可以自動偵測並且復原。
家用網路閘道器 (Home Area Network Gateway)	AMI 系統可以在用戶端當成通訊閘道器。
多重客戶端 (Multiple Clients)	AMI 系統可以允許電力公司內或外的人，只要經過授權就可以讀取電錶資料。
供電品質測量 (Power Quality Measurement)	提供用戶電錶供電品質的數值和報告。
竊電分析 (Tamper and Theft Detection)	AMI 系統可以偵測並且報告竊電的狀況。
斷電偵測 (Outage Detection)	AMI 系統可以偵測並且回報因為斷電的儀表異常。
可擴展性 (Scalability)	AMI 系統的不會受到系統中某部份的設備而影響發展性。
自我定位 (Self locating)	透過 GPS 得知電錶安裝的位置。

資料來源：工業技術研究院¹

¹ 工業技術研究院，ANSI C12 與 IEC62056 分析比較，available at http://km.twenergy.org.tw/KnowledgeFree/knowledge_more?id=178，最後瀏覽日：2017/07/05

在通信標準方面，由於 AMI 通信距離較短，傳遞資料亦較小，有多種通信方式可以使用，包括有線及無線，在無線技術亦有多種使用執照頻段以及免執照頻段和技術可供選擇，各國盛行之技術亦不相同，也沒有絕對統一的通信技術標準。各國及 ITU 常用及建議使用之通信技術標準整理如下：

表 2 常見通信技術建議標準

	ITU ²	中國大陸	美國	英國	歐盟
通信技術標準	ITU-T G.9960:電力線通信 (PLC); ITU-T G.990X 窄頻電力線通信 (NB-PLC); ITU-T G.9959 窄頻數位無線通訊; 3GPP 蜂巢式網路; IEEE 802	電力線通信 (PLC); 光纖; 低功率無線射頻 (LPRF); 蜂巢式網路	電力線通信 (PLC); 光纖; 蜂巢式網路、RF Mesh、Zigbee	Zigbee; Long-Range Radio,LRR; 蜂巢式網路	PMR 網路; 固定連線網路; 機器間通訊; 商業蜂巢式網路; 短距離設備 (SRD) 皆符合 AMI 無線解決方案需求

資料來源：本會「配合 5G、IoT 等技術研發測試與導入之專用電信法規制度研究」案

二、頻譜規劃

(一) 各國 AMI 通訊技術與使用頻譜

由於 AMI 通訊對於流量及延遲性要求均不高，故其通訊方式有許多選擇，茲整理本次三個個案國家之 AMI 通訊技術與頻譜，大致可分為無線及有線兩種，如下表：

² ITU-R SM.2351-0

表 3 有線通訊方式之 AMI

有線通訊技術	傳輸距離	盛行國家
電力線通訊 (PLC)	數公里	美國、中國大陸
數位用戶迴路 (DSL)	1.5-5 公里	較不盛行
被動式光纖網路 (PON)	60 公里	美國

資料來源：Applied Science³

表 4 無線通訊方式之 AMI

無線通訊技術	頻段	傳輸距離	盛行國家
無線射頻 (Radio Frequency, RF)	902-928 MHz	由跳躍 (hops) 數量決定	美國 (902-928 MHz 為免執照頻段)
低功率無線射頻 (LPRF)	315 MHz / 433 MHz / 780 MHz / 2.4 GHz	10-50 公尺	中國大陸 (433 MHz 免執照頻段)
商用蜂巢式網路 (Cellular)	使用執照頻段	GSM 約為 1-10 公里 /3G、4G 可達 50 公里	美國、英國、中國大陸
ZigBee	868 MHz/915 MHz/2.4 GHz	10-1000 公尺	美國 (915 MHz/2.4 GHz)、英國 (868 MHz/2.4 GHz)
WIFI	2.4 GHz/5.8 GHz	10-1000 公尺	較不盛行

資料來源：Applied Science⁴

(二) 歐盟對 AMI 通訊之建議

歐盟執委會下轄的無線頻譜政策小組 (Radio Spectrum Policy Group, RSPG)，在 2013 年 11 月所公布的「策略性部門頻譜需求」報告 (RSPG Report on Strategic Sectoral Spectrum Needs) 表明，智慧電網對無線頻譜的需求，將依個別國家及網路的不同而有差異。

³ Uribe—Pérez, N.; Hernández, L.; de la Vega, D.; Angulo, I., State of the Art and Trends Review of Smart Metering in Electricity Grids. Appl. Sci. 2016, 6, 68.,

⁴ *Id.*

無線頻譜政策小組認為，在技術層面，PMR 網路（Private mobile radio）、固定網路（fixed links）、機器間通訊（M2M）、商業型蜂巢式網路（Commercial cellular networks）、短距離設備（Short range devices, SRD）皆可符合智慧電網的無線解決方案需求，故毋需給予智慧電網專用頻段。

基於這些技術，政策小組認可下列現存頻段可以用作智慧電網通訊的選項：169.4-169.8125 MHz（頻寬較其他選擇窄）、868-870 MHz、870-876 MHz 與 915-921 MHz；2.4 GHz / 5.8 GHz（範圍與穿牆能力受限）；商用網路：如 GSM、LTE；最後是無線網路點對點傳輸模式專門設置（ad hoc）的無線寬頻自用無線解決方案（Private wireless solutions）：PMR/PAMR，使用 HF 或 UHF 頻段）。

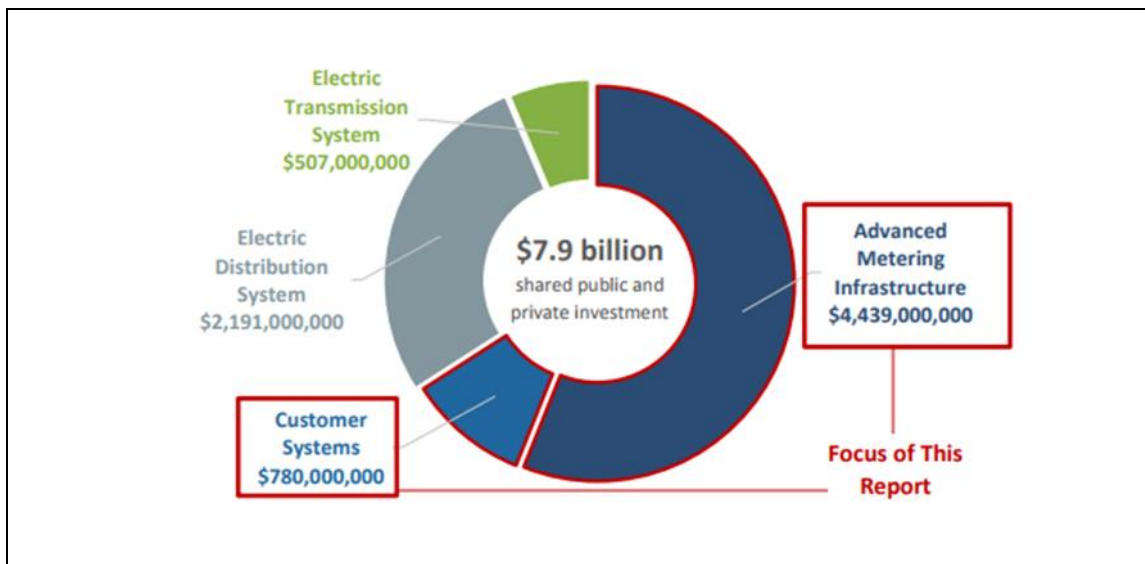
三、政策方向

（一）美國

美國在 2007 年開始進行智慧電網的政策規劃，主要由能源部負責主導。美國國會當年所通過的「能源獨立和安全法案」的第 13 條，在能源部下成立智慧電網諮詢委員會及工作小組。該法並授權能源部制定智能電網區域示範計畫；結合相關單位，發展智慧電網互通性架構；以及制定智能電網投資成本及資金。2009 年，美國聯邦政府推動的「復甦與再投資法案」（American Recovery and Reinvestment Act of 2009），更進一步提供約 35 億美元用於「智慧電網投資補助」（Smart Grid Investment Grant, SGIG）及 6.85 億美元於「智慧電網示範計畫」⁵。

智慧型電錶基礎建設（AMI）為整體智慧型電網政策（smart grid）不可或缺的一環，SGIG 計畫認為智慧電錶的功能係為智慧電網提供即時（real time）的電力消費資訊，如每 5 分鐘、15 分鐘、30 分鐘或 60 分鐘測量客戶用電、電壓水平、監控電器的開/關狀態，以及負責電網供給及需求端的雙向溝通。故智慧電錶的推展，亦是智慧電網政策的一部份。

⁵ Department of Energy（DoE），Advanced metering infrastructure and customer system.



資料來源：美國能源部⁶

圖 1 美國 SGIG 計畫用於 AMI 比例

SGIG 計畫中有約 20 億美元是用於支付全國超過 1,600 萬臺智慧型電錶的裝設補貼，該計畫預計 2012 年全美將部署 4,000 萬臺智慧電錶。到了 2014 年，SGIG 已投資 79 億美元，其中 44 億美元用於部署 1,630 萬臺智慧電錶。

不僅聯邦政府出資推動普及智慧電錶，部分州政府亦透過立法及管制手段，強制要求電力供應商必須裝設智慧電錶。在聯邦及州政府的大力推動下，美國智慧電錶的數量快速成長，2007 年智慧電網政策推動之初，全美智慧電錶數量只有約 247 萬臺，而到了 2015 年已經成長至 6,474 萬臺，約占有所有電錶的 43%。在部分州別，如加州、內華達州、緬因州等 AMI 的滲透率甚至超過 80%。

有關美國 AMI 通訊方式，AMI 通訊系統大致可分為兩段：（1）從智慧電錶（smart meter）到中間數據收集點（如變電站或通訊塔），以及（2）從中間數據收集點到電力供應商，這兩者有不同適用的通訊方式。從智慧電錶到中間數據收集點這一階段，由於資料傳輸量小、連結數量較多，多使用無線射頻（RF）、Zigbee 等方式；在而中間數據收集點到

⁶ Department of Energy (DoE), Advanced Metering Infrastructure and Customer Service – result from the smart grid investment grant program, 2016, available at https://energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/AMI%20Summary%20Report_09-26-16.pdf, (last visited Jul. 5, 2017)

電力供應商的階段，由於此段必須將數據收集點的資訊傳遞到資料中心，數據傳輸數據量較大，連接數量較少，大多會使用光纖、電力線通信(PLC)和蜂巢式網路等方式。以 SGIG 所資助建置的 AMI 系統為例，主要是以高速光纖或商用無線蜂巢式網路進行通訊。

由於美國並無規劃特定的專用電信頻段給智慧電錶，故美國智慧電錶無線通訊多使用免執照的 ISM 頻段 915MHz 及 2.4 GHz 頻段，主要通訊技術為 Zigbee 與無線射頻網狀網路 (RF Mesh)。

(二) 英國

在 2011 年 3 月以前，英國電力工業的監管機構 (Office of Gas and Electricity Markets, Ofgem) 負責智慧電錶的推動，至 2011 年 4 月改由英國能源與氣候變遷部 (Department of Energy and Climate Change, DECC) 負責管理。

2012 年，能源與氣候變遷部便開始著手推動「智慧計量錶設置計畫」(Smart Metering Implementation Programme)。該計畫目標為在 2019 年全大不列顛地區 (Great Britain) 將必須全面裝設智慧電錶及智慧瓦斯錶 (5,300 萬臺)。在能源與氣候變遷部的規劃中，整體智慧電錶系為智慧電網的一部分，智慧電錶由消費端收集資訊，經由資料與通訊商傳遞，為能源供應商所利用。以下敘明英國建置智慧電錶之推動方式、頻譜規劃以及通訊方式。

1. 英國規定能源供應商有裝設智慧電錶義務

在 2012 年當年，全英已安裝智慧電錶的家庭和小型非家用消費者共有 62.3 萬個，其中中小型非家用消費者有 36.5 萬個。為加速能源供應商裝置智慧電錶，英國能源與氣候變遷部要求在 2019 年年底以前，所有能源供應商有義務為所有消費者安裝智慧電錶，以及必須提供相關資訊的諮詢。

在「智慧計量錶設置計畫」的預期下，2014 年 3 月至 2019 年年底為智慧電錶大量佈建階段。然而，英國政府於 2013 年宣布，智慧電錶大量導入英國家庭的時程將延遲超過一年，

順延至 2015 年的秋天開始。這是由於電錶製造及佈建商需要更多的時間來設計、建造、測試智慧電錶系統，以確保具有良好的品質，因此英國政府目前智慧電網大量佈建的完成日期，將從 2019 年底延後至 2020 年底。

2.英國智慧電錶通訊規劃

在智慧電錶通訊標準方面，英國主要仍是依循歐盟所主導制定的標準。歐盟執委會 2011 年發布「智慧電網創新發展」，強調為加速發展智慧電網，應制訂技術標準，並發布「智慧電網標準化命令」，要求歐洲標準化組織應於 2012 年底提出智慧電網的適用標準。2012 年 8 月，英國已提出「智慧計量錶設備技術規範第二版」(SMETS 2)，並通知歐盟，未來將做為能源供應商裝設智慧電錶時的標準依據。

英國政府於規劃時便已將頻譜分配納入規劃之中，在 2013 年時，英國政府初步的計畫是考慮規劃 2.4GHz 頻段與 868MHz 頻段之方案，前者預計能夠覆蓋至少 70% 的智慧電錶消費者；後者則預計能夠提供超過 95% 的覆蓋率。

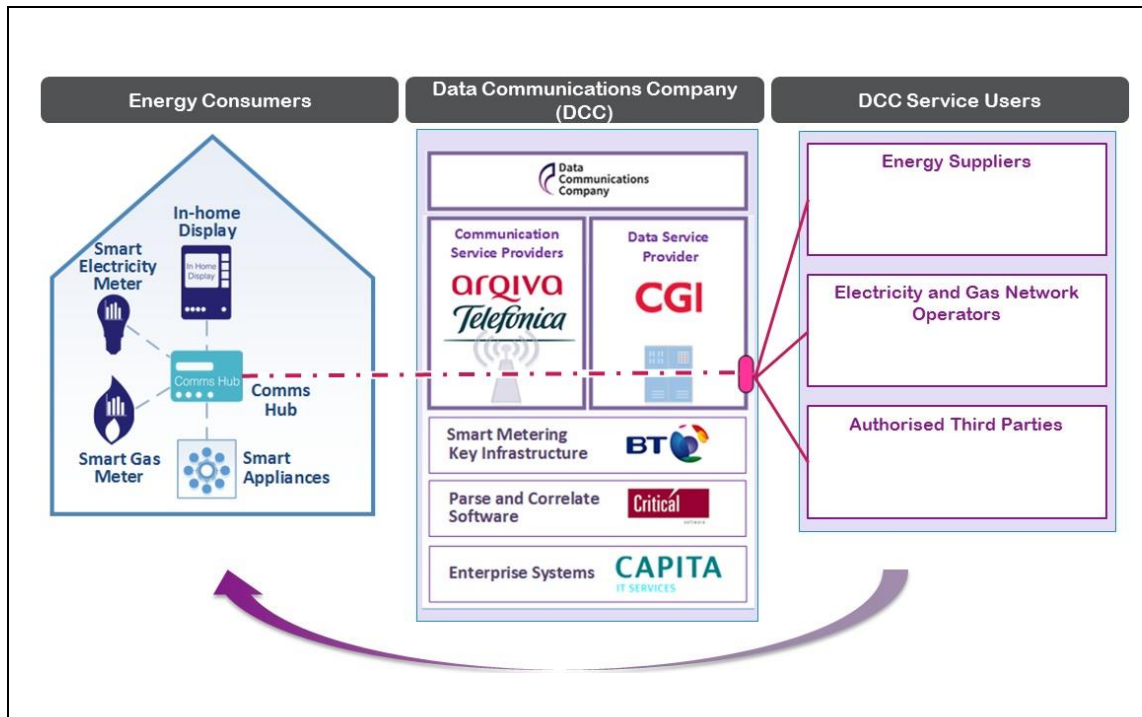
3.英國 AMI 無線通訊頻段

2013 年 1 月時，英國頻譜策略委員會 (UK Spectrum Strategy Committee, UKSSC) 決定將 870-872 MHz 和 915-917 MHz 二段頻譜釋出給通訊主管機關 OFCOM，並且註明 OFCOM 必須注意關於頻譜 870-876MHz 的需求，主要是高速鐵路與智慧電錶 (smart meter) 的頻譜需求。

由於英國智慧電網的頻譜規劃將使用 2.4GHz 及 868MHz，OFCOM 乃將 868MHz 鄰近的 870-876MHz 相容頻譜納入規劃中。其中，2.4GHz 屬「免執照」頻譜，OFCOM 對於 870-876MHz 亦決定採「免執照」方式規劃。

4.英國 AMI 通訊方式

在 AMI 通訊方面，英國所有智慧電錶都將透過 ZigBee 接入至廣域網路（WAN）。英國共將全國範圍的 AMI 廣域網路分成三區，由政府出資，民間通訊商負責提供通訊服務。



資料來源：Data Company

圖 2 英國智慧電網通訊架構

2013 年 8 月，英國能源與氣候變遷部宣布針對智慧電錶的通訊商招標結果，Telefonica 以 15 億英鎊（23.3 億美元）獲得英國中南部地區 15 年的智慧電錶通訊合約，此部分將以商用蜂巢式網路進行通訊；Arqiva 則以 6.25 億英鎊（9.69 億美元）獲得英格蘭北部及蘇格蘭地區的通訊合約，該地區 AMI 廣域網將以長程無線電（Long-Range Radio,LRR）的方式通訊，類似英國緊急服務(Emergency Service)所使用的 TETRA 網路。

（三）中國大陸

中國大陸自 2009 年底宣佈推動 AMI 建置，中國國家電網在 2009 年確定分三階段計畫建設「堅強智能電網」，擬在 2020 年完成全中國智慧電網建置的目標。在 2010 年發布的中國「十二五計畫」更將智慧電網列為邁向綠色成長的重要基礎建設與戰略性新興產業。根據中國國家電網「堅強智能電網」發展計畫，2009 年至 2010 年為規劃試點，主要工作是

制定規劃和相關標準；2011 年至 2015 年則為全面建設階段，其間投資金額逾 2 兆人民幣，而十二五計畫期（2011-2015）間國家電網建設與智慧化方面的投資便約達 1.5 兆元 人民幣。由於政策驅動的緣故，中國大陸於 2011 年開始躍升成為全球智慧電錶需求量最大的國家，該年全球市占率約 75%，2012 年更高達 86%。

中國國家電網的「堅強智能電網」計畫特別強調要「實現信息化、數字化、自動化、互動化的智能技術特徵」。為了達成此一目的，中國國家電網計畫將 AMI 建置擴展至全國，從 2009 年起便投入資金汰換舊有電子式電錶，更換為智慧電錶。智慧電錶除具備電能量計量，還可實現雙向多種費率計量、用戶端控制、雙向數據通信、防竊電等智能化功能。國家電網計畫在 2020 年前全國用戶之電錶均將轉換為智慧電錶，估計需投入人民幣 2,000 億元，至少會產生近 3 億個以上傳統電錶更換的商機。以下敘明中國大陸建置智慧電錶之推動成效以及通訊方式。

1. 中國國家電網投入資金與成效

2011 年中國國家電網公司共計採購 5,970 萬臺智慧電錶，規模達全球之冠。2014 年和 2015 年，中國國家電網的智慧電錶招標數量也都超過了 9,000 萬臺。而截至 2015 年，中國國家電網已完成招標智慧電錶 4.3 億臺，加上 2016 年的 6,000 多萬，共 5 億臺左右。其中住宅用智慧電錶佔比 85%。《國家電網公司關於全面推薦智能計量體系建設的意見》指出，2016 年，國家電網將啟動加強老舊電錶升級改造，新裝智能電能錶 6,058 萬臺，年新增智慧電錶投資 230 億元人民幣。預計到 2017 年，中國國家電網將建成國際上最大的用電信息採集系統，實現智慧電錶全國覆蓋。

目前尚不確定中國國家電網 2017 年的智慧電錶招標量，根據中國安信證券估計，當前中國大陸居民用智慧電錶需求總量約超過 4.5 億臺；考慮工業，商業等其他用途，當前智慧電錶的市場總量將可達 5.3 億臺。隨著越來越多的智慧電錶安裝，中國智慧電錶開始進入替換階段。智慧電錶一般在運行

7 年後開始替換，2009 年開始招標的第一批智慧電錶，從 2017 年起將開始替換。預計未來五年，中國將新增智慧電錶需求 4.6 億臺，總體市場超過 1,030 億元人民幣，保持近 15% 的成長率。

2. 中國 AMI 通訊方式

中國大陸 AMI 系統通訊方面，可分為本地和遠程兩階段：本地通訊用於智慧電錶與現場收集終端（如變電站）通訊，一般用戶可採用電力線通訊（PLC）、低功率無線射頻（LPRF）等通信方式連接。遠程通訊用於資料中心和現場收集終端（如變電站）之間的數據傳輸，多採用光纖專網、商用蜂巢式網路 GPRS/CDMA、3G 以及電力線通訊（PLC）等方式。在頻譜方面，中國大陸則主要使用 433MHz 免執照頻段。

四、小結

以本次研究三個案例國家觀之，僅英國由國家推動，建置廣域網專網。美國以及中國大陸則無政府建置廣域網政策。

美國之智慧電錶推動政策係由聯邦及州政府出資及立法推動，2009 年，美國聯邦政府推動的「復甦與再投資法案」，提供約 35 億美元用於「智慧電網投資補助」及 6.85 億美元於「智慧電網示範計畫」。部分州政府亦透過立法及管制手段，強制要求電力供應商必須裝設智慧電錶。直到 2015 年已經成長至 6,474 萬，約占所有電錶的 43%。在頻譜方面，美國並無規劃特定的專用電信頻段給智慧電錶，故美國智慧電錶電錶無線通訊多使用免執照的 ISM 頻段 915MHz 及 2.4 GHz 頻段。

中國大陸之智慧電錶推動政策係由國營輸電企業出資替換，中國國家電網在 2009 年確定計劃建設「堅強智能電網」，擬在 2020 年完成全中國智慧電網建置目標。2009 年至 2010 年為規劃試點；2011 年至 2015 年則為全面建設階段。截至 2015 年，中國國家電網已完成招標智慧電錶 4.3 億臺，加上 2016 年的 6,000 多萬，共 5 億臺左右，已經超過中國大陸智慧電錶需求量的九成。在無線通信的頻段安排方面，中國大陸則主要

使用 433MHz 免執照頻段。

英國的推動政策則是由政府強制能源供應商裝設，2012 年，英國能源與氣候變遷部推動「智慧計量錶設置計畫」英國能源與氣候變遷部要求在 2019 年年底以前，所有能源供應商有義務為所有消費者安裝智慧電錶，以及必須提供相關資訊的諮詢。該計畫目標為在 2019 年全大不列顛地區將必須全面裝設智慧電錶及智慧瓦斯錶（共 5,300 萬臺）。在無線通信頻段安排方面，英國 OFCOM 則規畫使用 2.4GHz 與 870-876MHz 頻段，2.4GHz 本屬「免執照」利用，對於 870-876MHz 也採「免執照」方式規劃。

表 5 AMI 國際發展比較

	中國大陸	美國	英國	歐盟
政策方向	由國營輸電企業出資更換	聯邦政府及各州透過補貼及立法誘使業者更換。	政府立法強制能源業者更換。政府建置廣域網專網。	N/A
頻譜規劃	223-235 MHz ; 433MHz ; 470-510 MHz ; 779-787 MHz ; 商用網路頻段	928-960 MHz ; 915MHz ; 2.4 GHz ; 商用網路頻段	870-876MHz ; 2.4GHz ; 商用網路頻段	169.4-169.8125 MHz ; 868-870 MHz、870-876 MHz ; 915-921 MHz ; 2.4 GHz /5 GHz ; 商用網路頻段 ; HF 或 UHF 頻段
盛行通信技術	電力線通信 (PLC) ; 光纖 ; 低功率無線射頻 (LPRF) ; 蜂巢式網路	電力線通信 (PLC) ; 光纖 ; 蜂巢式網路、RF Mesh、Zigbee	Zigbee ; Long-Range Radio,LRR ; 蜂巢式網路	PMR 網路 ; 固定連線網路 ; 機器間通訊 ; 商業蜂巢式網路 ; 短距離設備 (SRD) 皆符合 AMI 無線解決方案需求

資料來源：本會「配合 5G、IoT 等技術研發測試與導入之專用電信法規制度研究」案