

論文

手孔作業與局限空間之相關性研究 ——以台電嘉義區設施為例

郭政雄¹ 錢葉忠²

¹ 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系碩士班；台灣電力股份有限公司嘉義區營業處

² 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系

摘要

依據勞工安全衛生設施規則之定義，局限空間係指非供勞工在其內部從事經常性作業，勞工進出方法受限制，且無法以自然通風來維持充分、清淨空氣之空間，但其並未規定須達多少深度或多大空間才屬之；就環境條件而言，電力手孔與人孔同屬埋設於道路地面下，故均符合局限空間自然通風不易維持之特性，而兩者最大差別在於其埋設深度與內部大小。本研究針對開啟後之三類電力手孔（共322座），以直讀式四用氣體偵測器（氧氣、硫化氫、一氧化碳、可燃性氣體），對其內部空氣進行量測，以評估其分佈特性。結果發現，640、810及1650型手孔出現缺氧(氧氣含量<18%)的比例分別為8.3%、1.6%及3.6%，總平均為3.4%，如未做任何通風及防護措施便進入其內部作業，勞工有發生缺氧危險之虞。而其他3項氣體指標則無異常。

本研究針對1650型手孔的環境參數，如孔內積水深度、孔內水溫、孔蓋溫度、孔內接頭溫度、道路寬度、離路緣線距離等對孔內氧氣濃度進行複線性迴歸分析，結果顯示迴歸模式之解釋力(r^2)僅10%，且個別自變數之迴歸係數均未達到統計上之顯著性。

手孔作業時，應盡量減少孔內作業之必要性，如人員必須進入手孔，本研究建議將電力手孔列為局限空間作業，執行各項防制作業，並特別注意承攬商執行現場管理之有效性及記錄保存。

關鍵詞：手孔、局限空間、缺氧、氧氣濃度

民國102年8月19日投稿，民國102年11月18日修改，民國103年1月30日接受。

通訊作者：錢葉忠，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系，電子信箱：ycchien@yuntech.edu.tw。

序言

因為都會地區對景觀的要求，輸配電線路地下化已成為趨勢，然而一捲電力導線長度僅約300公尺，銜接時需要施作高低壓電纜接頭，這時管路在設計時免不了就需要裝置人孔 (Man-hole) 與手孔 (Hand-hole)，以便於日後導線銜接。電力人孔目前於實務與法規認定上均屬於局限空間[1,2]，但對於電力手孔，因過去採用的小型手孔（俗稱640型手孔，表1），其內部大小及深度，不足以容納施工人員進入，作業時僅需將導線拉出手孔外施作，完工後再將接頭移回手孔內部，因此，並無缺氧發生之條件及案例。然而目前裝設的手孔（俗稱810及1650，圖1），因尺寸較大，人員可以也常需要進入其內部作業，因此，有發生缺氧之虞。

現行使用的低壓手孔共有2種型式（即810及1650方型），而原有的手孔尚包括640圓型與800方型等2種。現行電力手孔均採預鑄式，經台電公司認定合格之工廠，先分成數個單元生產製造完成後，再吊運至工地現場埋設。新設配電手孔設置時會依據環境地形、負載及街道、路口等分布情形，依市區及郊區狀況檢討設計，手孔間距以30至100公尺為原則，並依現況，拉長孔距，以減少新設手孔數量。另手孔設置於偏遠或濱海等低負載密度地區除考量適度拉長距離外，亦視負載需求情況，個案檢討設置之必要性，例如初期先不埋設，配合新增設用電需求，再適度增加埋設密度。手孔內導線原則上盡量避免接頭，惟因供電需要須做接頭者（如用戶申請新設用電），其接頭數量最多以不超過表1之回路數為原則。

表1 各類型電力手孔特性

俗稱	手孔種類			
	640	800	810	1650
外部尺寸 (長、寬、高, mm)	640φ×1,100	1,200×800 ×900	1,210×810 ×1,100	1,650×1,000 ×1,700
低壓電纜回路數	3	8	8	12
台電設施數	1066	3565	3860	13059



圖1 810型預鑄方型手孔內部構造及外部孔蓋

依據勞工安全衛生設施規則之定義，局限空間係指非供勞工在其內部從事經常性作業，勞工進出方法受限制，且無法以自然通風來維持充分、清淨空氣之空間，但其並未規定須達多少深度或多大空間才屬之。國內外相關研究中，均無認定手孔是否為局限空間之文獻[3-12]。以1650手孔為例 [13]，其外部長度、寬度及深度分別為1,650mm、1,000mm及1,700mm，此空間足以容納中等身材之男性工作人員2人入內作業，但台電內部電力作業相關標準作業程序書中，亦無標準明確認定其為局限空間，導致各項缺氧危害防制作為，並未執行。

本研究針對目前存在的三類電力手孔

(640、810及1650型手孔)，進行內部空氣之量測，以了解氧氣、硫化氫、一氧化碳、可燃性氣體之濃度分佈特性，評估其潛在之危害性，並同步紀錄相關環境因子，探討可能之影響因子。

研究方法

本研究利用台電嘉義區處101及102年度發包工程-人手孔內部點檢之計畫排程，配合承攬商領班及施工人員，待手孔開啟後檢點前，使用四用氣體偵測器進行氣體濃度量測，並同步紀錄相關環境因子，以進行後續之統計分析。

1. 量測對象及時間

本量測分為兩階段進行，第1次量測（101年07月30日至08月27日）主要針對158座手孔（640型11座；810型42座；1650型105座）內之4類氣體進行量測，而第2次量測（102年06月04日至06月17日；共164座：640型1座；810型20座；1650型143座）除4類氣體外，亦針對孔內積水深度、孔內水溫、接頭溫度、道路寬度、離路緣線距離等因子進行量測與記錄，以便進行影響因子分析。

2. 量測儀器

本研究使用市面常用的四用氣體直讀式儀器（廠牌：ISC、型號：M40），取樣幫浦流量為250cc/min，各物質之量測範圍如表2，儀器定期送公正單位校正。

表2 四用氣體偵測儀量測範圍及解析度

氣體種類	量測範圍	解析度
一氧化碳(ppm)	0-999 ppm	1 ppm
硫化氫(ppm)	0-500 ppm	1 ppm
氧氣(%)	0-30% vol	0.10%
可燃性氣體(%LEL)	0-100% LEL	1%LEL

3. 採樣流程

- (1) 選定欲量測的手孔後，置放交通引導牌及警示措施。
- (2) 四用氣體偵測器使用前，先進行歸零/校正。
- (3) 使用人手孔開孔器開啟手孔。
- (4) 手孔開啟後立即使用導管，一端連接於四用氣體偵測器抽氣孔，含濾嘴之另一端，迅速降至靠近手孔最底端，以不碰觸積水為原則，將孔內氣體藉由導管引至偵測器量測，因導管長度約2.5米，約需10~12秒後，數值方會開始變化。
- (5) 每一孔量測1次，時間2~5分鐘。

4. 統計分析

將量測結果鍵入Excel軟體，並以敘述統計方式呈現。三種類型手孔間氧氣濃度差異使用變異數分析(ANOVA)進行檢定。第2次量測中1650型手孔143座之相關參數，並應用複線性迴歸進行影響因子分析，第一型錯誤(α)的機率定為0.05。

結果與討論

1. 現場量測結果

本研究兩階段現場量測，共完成322座手孔之量測，其中包括罕見的640型共12座(4%)，810型共62座(19%)，及最常見的1650型共248座(77%)。硫化氫、一氧化碳及可燃性氣體量測結果均與背景值相近，顯示相關危害風險不大。氧氣濃度(%)量測結果發現，最低濃度20%以上共277座(佔86%)，19%以上未滿20%的有28座(佔8.7%)，18%以上未滿19%的有6座(佔1.9%)，而未滿18%(缺

氧)的有11座(佔3.4%) (表3及圖2)。三種類型手孔間氧氣濃度並無統計上顯著差異($p>0.05$)。

值得注意的是, 1650型手孔之平均氧氣濃度雖非三類最低, 但其最小值(9.4%)卻低於其他兩類, 而在此濃度下可能造成之危害, 也被認為遠高於另兩類型手孔之最低氧氣濃度(15%或以上)。

表3 三種類型手孔內氧氣濃度(%)、分布(n=322)

統計量	640型	810型	1650型
量測座數(n)	12	62	248
最大值	20.90	20.90	20.90
第75百分位數	20.28	20.90	20.90
中位數	20.00	20.90	20.70
平均數	19.80	20.50	20.30
標準差	0.87	0.81	1.37
第25百分位數	19.40	20.50	20.38
最小值	17.70	15.40	9.40
缺氧座數(比例)	1 (8.3%)	1 (1.6%)	9 (3.6%)

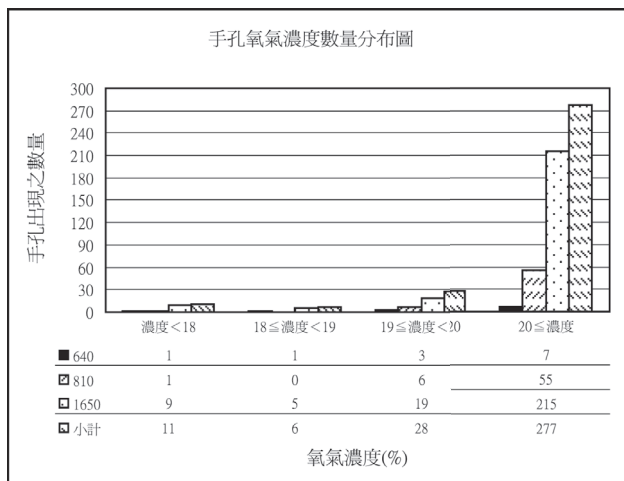


圖2 三種類型手孔氧氣濃度次數分配 (n=322)

在640型手孔部分(共12座, 圖3), 氧氣濃度20%以上的數量為7座(佔59%); 19%以上未滿20%的數量為3座(佔25%); 18%以上未滿19%的數量為1座(佔8%), 而未滿18%的數量為1座(佔8.3%)。

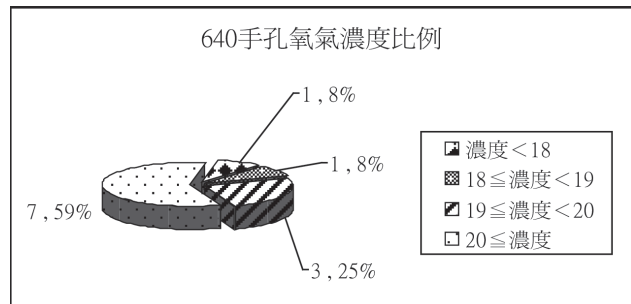


圖3 640型手孔氧氣濃度分布比例 (n=12)

在810型手孔部分(共62座, 圖4), 氧氣濃度20%以上的數量為55座(佔88%); 19%以上未滿20%的數量為6座(佔10%); 18%以上未滿19%的數量為0座, 而未滿18%的數量為1座(佔1.6%)。

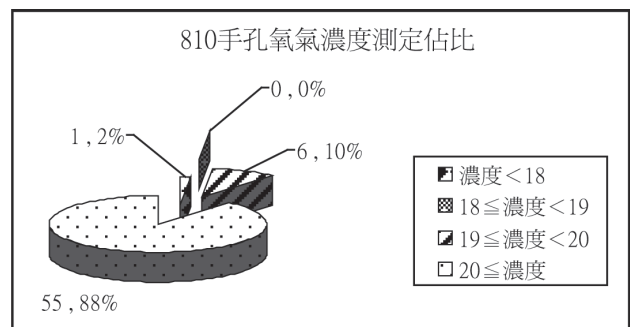


圖4 810型手孔氧氣濃度分布比例 (n=62)

在1650型手孔部分(共248座, 圖5), 氧氣濃度20%以上的數量為215座(佔86%); 19%以上未滿20%的數量為19座(佔8%); 18%以上未滿19%的數量為5座(佔2%), 而未滿18%的數量為9座(佔3.6%)。

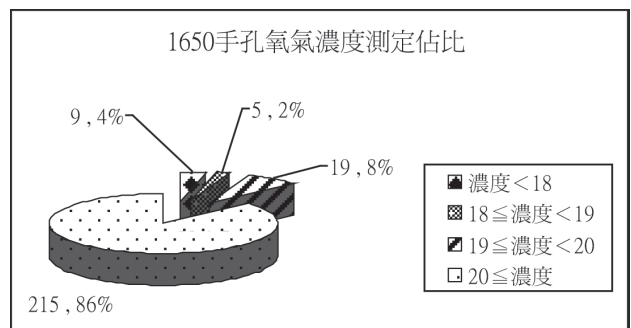


圖5 1650型手孔氧氣濃度分布比例 (n=248)

上述量測結果顯示，640、810及1650型手孔出現缺氧的比例分別為8.3%、1.6%及3.6%，總平均為3.4%。就640手孔的大小及深度而言，工作人員並無法進入其內部作業，因此只要避免將頭伸入其內部進行拉線或接線作業，應無發生缺氧之虞。但就810手孔的大小（長1,210×寬810×深1,100mm）而言，工作人員是可以進入其內部且蹲下作業，因此，發生缺氧危害的機率較640型手孔增加。而1,650型手孔的尺寸更大（長1,650×寬1,000×深1,700mm），其內部可容納2名工作人員進入，並同時蹲下作業，此一情境，更增加缺氧危害發生之機率。

本研究量測的過程中也發現，手孔作業時，工作人員均先將孔蓋完全開啟，以便後續之施作，也因為對外開口面積增大，加速空氣之流通，因此，數分鐘後，孔內的氧氣濃度幾乎與大氣中的濃度相同，例如1650型手孔打開後，經過約195秒（3~4分鐘）後，孔內的氧氣濃度可回復至大氣濃度（表4）。但需注意的是，本研究在量測時，是藉助同一長度之延伸導管，伸至手孔最底端（但不碰觸手孔內之積水）進行採樣，由於各手孔的深度（體積）不同，導致孔外空氣之稀釋效果有差異，因此，也造成氧氣濃度到達最低點及延續的時間，和回復至20.9%的時間均不同，所以本研究所測得之孔內氧氣濃度，為經外部空氣稀釋後之結果，因此有高估之情形。

表4 手孔內氧氣濃度量測時間變化（秒）

手孔類型	到達最低點時間	最低點延續時間	回復至20.9%的時間
640	30	5	70
810	45	10	110
1650	85	14	195

這些結果再次顯示，自然通風不佳的空間內，可能產生潛在缺氧危害，即使如本研究中調查之各型工作手孔，仍有發生缺氧之可能，因此，如人員必須入內工作，則需嚴格遵守局限空間危害防制之一切必要作為。

2. 缺氧原因分析探討

局限空間缺氧形成之原因主要是氧氣的消耗或缺氧氣體進入置換[3,5,8]，以手孔內的環境條件而言，孔內積水中微生物繁殖之呼吸作用、鍍鋅槽鋼生鏽氧化、支撐孔內未拆除的過牆管木材腐敗及樹根鑽入產生之呼吸作用均可消耗孔內的氧氣，造成缺氧，例如，依據台電現場工作人員之經驗，嘉義地區的人手孔裡，經常出現積水，下雨天過後開啟更可能接近滿水位。本研究調查也發現，640、810及1650型手孔出現積水的比例分別為67% (=8/12)、58% (=36/62)及86% (=213/248)，因此，可因積水中微生物之呼吸作用消耗孔內之氧氣，造成缺氧。而由手孔與手孔之間（或手孔與用戶間）的連通管路流入的不明氣體，則可造成置換性缺氧。

由於許多上列參數不易量測（例如微生物之呼吸作用或金屬槽鋼生鏽氧化程度），本研究針對第二次量測中1650型手孔 (n=143) 的部份環境參數，如孔內積水深度、孔內水溫、孔蓋溫度、孔內接頭溫度、道路寬度、離路緣線距離等潛在因子進行量測記錄，再藉複線性迴歸分析可能之影響及其程度。結果發現，迴歸模式之解釋力(r^2)僅10%，且個別自變數之預測力（模式之預測係數）均未達到統計上之顯著性，但孔內積水深度、孔內水溫、孔蓋溫度及道路寬度等四項因子之係數為負值，顯示其數值昇高時，孔內氧氣之濃度會隨之降低。此一結果，也符合前述假設，認為孔內積水中的微

生物會消耗氧氣，特別是溫度較高時，惟此需要後續更深入的研究來證實。

3. 工作流程檢討改進

手孔是指可容納及方便工作人員手部操作之空間，理論上並非缺氧危害易發生之處所，因此，台電現行的作業規範中，並未將手孔作業視為局限空間作業，也導致局限空間作業必要的危害防制流程均付之闕如。但就實務而言，目前常用的810及1650型手孔的尺寸均可容納工作人員進入，並蹲下作業，而本研究量測結果顯示，手孔內出現缺氧的比例平均為3.4%，因此，除非訂定嚴格有效之管理機制，禁止人員入內工作，否則仍有局限空間相關危害發生之風險。

本研究建議手孔作業時，應採取下列之方式以保障作業人員的安全：

- (1) 如人員必須進入手孔作業，應比照人孔作業規定，將電力手孔列為局限空間作業，執行各項防制作業，例如工作前制定危害防止計畫及辦理作業人員（各級承攬商）危害認知教育訓練、工作時之作業管理（包括濃度量測、通風及監控等），及事故應變（包括應變搶救器材及通報機制等）。
- (2) 手孔電纜佈放時應預留足夠之長度，以便後續施做接頭時，藉操作棒將其拉出手孔外從事施工，減少孔內作業之必要性。
- (3) 孔蓋開啟後，應至少經過10分鐘之自然換氣（或機械通風），禁止於孔蓋開啟不久即探頭查看孔內管線分布，而吸入原存於孔內之空氣。
- (4) 孔內有積水時應先予以抽除，避免感電或溺水。

除此之外，本研究也針對手孔作業提出其他勞工安全衛生改進建議，包括：

- (1) 人因工程議題：孔蓋常因久未開啟或孔蓋周圍生鏽等因素，常導致無法單以人力開啟，此時可利用改良之槓桿工具配合千斤頂來開啟。另外，也盡量2人搭配，並配合使用圓型鐵管，或是裝起重吊架，以達省力的效果，避免1人獨自開啟作業，造成肌肉拉傷及腰部扭傷。
- (2) 道路安全議題：電力手孔接線作業，無可避免地需面臨各類交通危害，因此，作業前應妥善放置警告標示，如交通錐、車輛改道牌／工程告示牌與電動旗手等，提醒用路人減速慢行，並要求作業人員配戴安全帽、穿著顏色鮮明之施工背心，並配合使用交通錐連桿，以避免機車騎士闖入。而孔蓋開啟後，暫時不進入作業時應蓋上柵狀護蓋，以防止墜落。

4. 研究限制

本研究以台電嘉義區營業處轄區內之電力手孔為對象，並無針對其他區域內之手孔進行探討，亦未探究季節及時間差異對手孔內氧氣及其他氣體濃度之影響。

結論

電力手孔主要用於銜接低壓電纜，進行家戶供電，過去採用的小型640型手孔，其內部大小及深度，不足以容納施工人員進入，作業時僅需將導線拉出手孔外施作，完工後再將接頭移回手孔內部，因此，並無缺氧發生之條件及案例。然而目前採用的810及1650型手孔，因尺寸較大，人員可以也常需要進入其內部作業，因此，有發生局限空間危害之虞。

本研究共完成322座手孔之量測，其中硫

化氫、一氧化碳及可燃性氣體量測結果均與背景值相近，顯示相關危害風險不大。而氧氣濃度(%)量測結果發現，最低濃度20%以上共277座（佔86%），19%以上未滿20%的有28座（佔8.7%），18%以上未滿19%的有6座（佔1.9%），而未滿18%（缺氧）的有11座（佔3.4%，其中640、810及1650型缺氧的比例分別為8.3%、1.6%及3.6%）。因此，如未先通風即進入手孔內部作業，可能發生缺氧危害。而連續檢測結果也發現，開孔後氧氣濃度回復至20.9%的時間在640、810及1650型手孔分別為70、110及195秒。另外，針對部份143座1650型手孔的環境參數，如孔內積水深度、孔內水溫、孔蓋溫度、孔內接頭溫度、道路寬度、離路緣線距離等對孔內氧氣濃度進行複線性迴歸分析，結果顯示迴歸模式之解釋力(r^2)僅10%，且個別自變數之迴歸係數均未達到統計上之顯著性，因此，真正造成缺氧的原因，尚待後續之研究證實。

施做接線作業時，可藉操作棒將電線拉出手孔外施工，減少孔內作業之必要性。如人員必須進入手孔，本研究建議將電力手孔列為局限空間作業，執行各項防制作為，例如工作前應制定危害防止計畫及辦理作業人員（特別是各級承攬商）危害認知教育訓練、工作時之作業管理（包括濃度量測、通風及監控等），及事故應變（包括應變搶救器材及通報機制等）。而工作交付承攬時，應訂出合理之工作量，避免承攬商為了趕工而忽視必要的安全操作流程，並應特別重視現場管理之有效性及記錄保存。

致謝

台電嘉義區營業處之各級主管及現場領班於研究期間給予之協助，使本研究得以順利進

行，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] 行政院勞工委員會。缺氧症預防規則 1998；第2條。
- [2] 行政院勞工委員會。勞工安全衛生設施規則 2007；第19-1條。
- [3] 賈台寶、陳瀛洲：侷限空間安全工作計畫指引。勞工安全衛生研究所；2001。
- [4] 賈台寶、陳瀛洲：侷限空間安全工作要項探討。勞工安全衛生研究季刊 2002；10：241-51。
- [5] 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所。侷限空間氣體危害預防手冊。台灣省新北市；2004。
- [6] 姚文典：人孔作業危害防範對策。工業安全衛生科技 2004；52：8-15。
- [7] 湯大同：侷限空間作業災害案例及相關法規探討。工業安全衛生科技 2004；52：3-7。
- [8] 曾文旺。電信人孔作業危害預防管理之研究—以某電信公司為例[碩士論文]。斗六市：國立雲林科技大學；2005。
- [9] 林壯宇。國內侷限空間職災特性研究[碩士論文]。苗栗市：國立聯合大學；2006。
- [10] 行政院勞工委員會。侷限空間重大職災案例彙編。第一版；2007。
- [11] 吳世雄：侷限空間作業之安全衛生檢查。工安環保報導 2004；19：主題報導。
- [12] 中檢所：102年侷限空間作業宣導會（教材）。下載專區 2013。
- [13] 台灣電力股份有限公司（臺灣）。台灣電力公司材料標準。預鑄鋼筋混凝土手孔；2000。

Research Articles

Should Hand-holes Be Considered as Confined Spaces — A Case Study in the Chia-Yi Branch of Taiwan Power Company

Cheng-Hsiung Kuo¹ Yeh-Chung Chien²

¹ Graduate Master Program in Safety, Health, and Environmental Engineering, Department of Safety, Health, and Environmental Engineering, National Yunlin University Science and Technology; Chia-Yi Branch of Taipower Power Company

² Department and Graduate school of Safety Health and Environmental Engineering, National Yunlin University of Science and Technology, Taiwan

Abstract

According to the Taiwan Labor Safety and Health Installation Regulation, confined space is defined as a space that has restricted access and inadequate nature ventilation for clean air, and is not intended for routine work. However, the size of the space is not specified.

The hand-hole and man-hole for electricity utility, both were constructed underground but different in size and depth, fit in the nature of confined space. Herein, a total of 322 hand-holes of three types (640, 810 and 1650) were measured for oxygen, hydrogen sulfide, carbon monoxide and flammable gas using a direct-reading instrument.

The results indicate that 8.3%, 1.6% and 3.6% (overall mean of 3.4%) of the hand-holes measured had minimal oxygen level less than 18%. Such anoxia condition is hazardous to workers if ventilation is insufficient or lack of proper air supply. The other three gas levels were within the normal ranges, indicating minimal risks.

Accepted 30 January, 2014

Correspondence to: Yeh-Chung Chien, Department and Graduate school of Safety Health and Environmental Engineering, National Yunlin University of Science and Technology, E-mail: ycchien@yuntech.edu.tw

Multiple linear regression analysis indicate that water level within the hand-hole, internal temperature, wire temperature, temperature of the cap, road width and distance from road edge were not statistically significant regressors for the oxygen level, with the regression coefficient (r^2) of 0.1.

It is suggested to work outside the hand-hole. However, if entry is necessary, strict safety procedures for confined space should be followed, with an extra caution on the effectiveness of management and record keeping from the contractor

Keywords: Hand-hole, Confined space, Anoxia, Oxygen concentration.