

鉻化砷酸銅防腐劑在電桿材中之分佈

林亞立

國立宜蘭技術學院森林系教授

摘要

經試驗分析 6m 及 9m 長 CCA type B 處理柳杉電桿各一支得知：

1. 液態防腐劑注入木材以縱向滲透為主，橫向滲透極少。
2. 柳杉邊材滲透性良好，且外側邊材優於內側者。
3. 柳杉心材滲透性不良，於離端 5 公分處滲透率即降至 50%，由端面向內吸收量梯度大。
4. 電桿材中各部位之 CCA 成分比例並不一致，應為木材內部組織結構、細胞狀態及化學成分比例不均勻所致。
5. 台灣廠商目前常用之處理程序，易導致 CCA 成分中 CuO 及 As₂O₅ 等毒性物質的沉澱，應儘速改善，以確保環境安全。

關鍵詞：鉻化砷酸銅處理電桿、木材防腐劑分佈

The Distribution of Chromated Copper Arsenate Preservative in Utility Poles

Ya-Lih Lin¹

1. Professor, Department of Forestry, National I-Lan Institute of Technology

Abstract

Two CCA type B preservative treated utility poles (*Cryptomeria japonica*; 6m and 9m in length, separately) were picked and analyzed to reveal the retention and the CCA components distribution along and across the poles. Results indicated that water borne preservative penetrated mainly longitudinally along the pole while no obvious radial penetration occurred. The sapwood showed excellent penetration property while the heartwood possessed poor penetration in comparison with sapwood. The longitudinal depth of penetration of the heartwood went less than 20 cm from the end and after 5 cm depth from the end, the penetration rate dropped to less than 50%. No retention gradient was found along the sapwood, however, the heartwood expressed a steep gradient on the CCA retention. The ratios of the CCA components varied from part to part of the poles both longitudinally and radially. This result could be explained by the variation of the structure, the cell condition and chemicals make up of the wood texture in the poles. The treating process applied by the pole manufactures rendered extra precipitation of CuO and As₂O₅ from the CCA treating solution which should be corrected in no time to produce safer products for the user and the environment.

Key Words: CCA treated utility poles, distribution of wood preservatives

一、前言

木材防腐劑在處理材中所能發揮的效果，除防腐劑本身之防蟲與抗腐特性外，藥劑在處理材中的分佈範圍與吸收量為決定處理效果的主要因子。〔1〕藥劑在處理材中的分佈範圍與吸收量取決於被處理材之藥劑注入特性、藥劑注入處理程序、藥劑在處理材中之分佈梯度、藥劑濃度及藥劑與被處理材間之交互作用等。其中最不易控制者為處理材之藥劑注入特性。依 Mills 等之研究〔2〕指出，影響木材藥劑注入的因子包括木材滲透性、比重、尺寸、含水率、組織結構、春秋材比例、邊材厚度及表面積與體積比等。Colley〔3〕則進一步指出，除了各處理材間的性質差異會影響注入量外，單一處理材的各個部位之藥劑分佈與吸收量也呈現著顯著的差異。因此在品管時樣本所得之結果，僅能代表該樣本所取樣部位之藥劑分佈與吸收量情形，並不能做為整支處理材的代表。

木材經防腐劑處理後，在木材外側形成保護層，保護層的厚度視處理材料種類、尺寸、使用環境及用途而異。相關處理標準皆依前述條件，對防腐劑在處理材中的分佈範圍與吸收量有所規範。然而依新修訂之中國國家標準(CNS 3000 木材之加壓注入防腐處理方法)〔4〕僅對處理材橫向滲透深度及邊材滲透率加以規範，並未提及處理材端面向內滲透之標準。依早期研究〔5,6〕指出，腐朽菌等生物劣化因子主要侵入木材的管道為橫切面之細胞腔開口。因此，處理材於端面亦應具有一定深度之保護層，方能有效防止生物劣化因子的侵入。

除了足夠的滲透深度及吸收量外，防腐劑的效果也取決於注入木材中的藥劑是否能保持應有的成分比例。以台灣地區目前常用的鉻化砷酸銅防腐劑(Chromated Copper Arsenate, CCA)B 型藥劑為例，其主要成分的鉻、銅及砷三個元素以 CrO_3 、 CuO 及 As_2O_5 等氧化物計算，比例應為 33.0-38.0%、18.0-22.0% 及 42.0-48.0%。而處理材中此三者之比例亦應與上述比例相符，方能達到有效的防腐功能〔7,8〕。

本試驗目的在於藉由分析由台灣地區防腐廠商所取得的二支電桿木中防腐劑(CCA type B)的分佈與成分比例，以了解防腐劑在木材中的滲透與分佈及端面滲透深度。由分析結果推估端面應有的合理滲透深度，目前廠商處理程序之合理性及 CCA 在木材滲透與吸收過程中的情形。

二、材料與方法

(一) 電桿材

本試驗分析之電桿材為 6m 及 9m 長者各乙支，皆由防腐廠商之貯貨場隨意抽取經鉻化砷酸銅 B 型防腐劑(CCA type B)處理之電信公司電桿用材。6m 者之首末徑分別為 22.0 及 16.2 公分；9m 者之首末徑分別為 26.2 及 19.1 公分，6m 及 9m 電桿材之邊材平均寬度及佔直徑之百分比分別為 7.8 公分 (41%) 及 8.2 公分 (22.7%)。此二電桿分別由南投及宜蘭廠商處取得。

(二) 防腐劑在電桿材中之分佈

將電桿材由中央縱剖，分為兩支半圓桿材。以鉻離子顯色劑(0.5g Diphenylcarbazide in 50 ml Isopropyl alcohol and 50 ml H_2O)塗佈於其中一支半圓桿材之剖面，呈紅棕色部分為 CCA 防腐劑滲透注入之部位。

(三) 吸收量測定

於未塗佈之另一半圓桿材之每 1 公尺處鋸切厚 5 公分之半圓盤，做為桿材中段分析樣塊。另分別由首端及末端至離端 30 公分止，切製 5 公分厚半圓盤各 6 個，做為兩端吸收量分析用樣塊。以各樣塊鋸切之中點位置與首端之距離及電桿長度為樣塊編號，依此將 6m 及 9m 電桿樣塊的編號與取樣位置列於表 1，以利閱讀。6m 及 9m 電桿分別切製 17 及 20 個樣塊。每個樣塊由外側向髓心分為 4 區 (編號 1~4)1、2 區為邊材外側及內側，3、4 區為心材外側及內側，如圖 1 所示。將樣塊依分區切開，各區試樣依 AWP A9-97 標準〔9〕以 X-光元素分析儀(X-ray fluorescence, XRF; ASOMA 200/400)，分析試樣中鉻、銅及砷離子之濃度，並依結果計算試樣中 CCA 各成分(CrO_3 、 CuO 、 As_2O_5)之吸收量、防腐劑總吸收量及各成分之相對比例。

三、結果與討論

(一) CCA 在電桿材中之分佈

由電桿材剖面顯色範圍可了解，CCA 在電桿材中之滲透與分佈情形。顯色果發現，6m 及 9m 電桿之邊材完全為 CCA 所滲透，心材則由首末端的橫切面向內滲透，不似邊材般均勻，呈狹長滲透帶，如圖 2 所示。剖面上邊材與心材呈現明顯分界，顯示防腐劑的滲透以縱向為主，在心材部分不會產生橫向滲透。由此可知，若需處理材外側不具有邊材或邊材厚度不足(未達 CNS 規範所需保護層厚度)應於處理前施作刺縫處理(incising)以使處理材橫向滲透深度達到所需之深度。心材由縱向滲透之深度與諸多因子有關(如前言所述)，Eaton 及 Hale〔10〕歸納前人研究與經驗指出，

各材種之滲透性質雖可由其基本性質推測，但實際滲透情形仍需經實作分析方能確定。經實際量測 6m 及 9m 柳杉電桿材首末端剖面心材部分狹長帶狀，滲透最深者為 9m 末端之 18 公分，其次為 6m 首端(16 公分)及 9M 首端(15 公分)，最淺者為 6m 末端的 11 公分。而由圖 2 之示意可知，心材縱向滲透達 50% 之部位，僅在由端部起向內約 5 公分止之範圍內方能達到。由此可知，水溶性防腐劑由柳杉心材縱向注入深度不深，而相對於台灣地區目前常用的其他材種，柳杉心材已屬較易注入的心材。因此，台灣學者[11]給內政部“心材取樣為離端 10 公分處”之建議並不適當，似宜改為於 5 公分處 50% 之滲透率，或小於 5 公分處，較為恰當。

(二) CCA 吸收量

電桿各部位 CCA 吸收量及各成分相對百分比的原始資料參見附錄 1 及 2。平均值整理於表 2。依中華電信公司對 CCA 處理電桿之標準為邊材完全滲透，且邊材部分 CCA 吸收量需超過 $9.8\text{kg}/\text{m}^3$ 。由結果可知此二電桿材邊材滲透率與吸收量皆符合標準，而 9m 電桿邊材之吸收量($21.76\text{kg}/\text{m}^3$)較 6m 者($11.74\text{kg}/\text{m}^3$)高出許多，如此差異應與廠商處理程序及使用藥劑濃度有關。此外，二支電桿材邊材所吸收藥劑之成分比例與處理藥劑 CCA type B 之成分比例(CrO_3 :33-38%, CuO :18-22%, As_2O_5 :42-48%)有明顯差異。 CrO_3 比例皆偏低， CuO 比例皆偏高，而 6m 電桿邊材 As_2O_5 之比例則偏高。此現象與廠商處理程序及使用不同供應商之藥劑有關。依正常處理程序，CCA 加壓注入處理應於達預定注入量後即停止加壓並減壓以回收多餘藥劑，通常約需加壓 4-8 小時。[12]而台灣廠商為求達所需吸收量，通常於加壓結束後在不減壓的狀態下將處理材於處理槽中留置過夜。依前人經驗 [13] 指出 CCA 藥劑在停止注入木材後即開始於木材中產生化學反應使 CuO 及 As_2O_5 以錯合物或沉澱形式析出，堆積於木材細胞腔中，因此導致處理材中 CuO 及 As_2O_5 之比例升高。而依筆者了解，處理 6m 電桿廠商有重覆處理已處理材的現象，事實上，除非第一次處理效果不佳，否則再次的重覆處理，只能促使 CuO 及 As_2O_5 ，尤其是 As_2O_5 的沉澱。此外，二廠商藥劑來源並不同，處理 6m 電桿之廠商所使用的藥劑經筆者於現場觀察及採樣分析結果得知，較處理 9m 電桿者所使用的藥劑易產生沉澱，且沉澱物以 As_2O_5 為主。以 CCA 藥劑毒性而言， CuO 及 As_2O_5 為主要毒性效果成分， CrO_3 則為攜帶媒介。因此過量的 CuO 及 As_2O_5 應有更好的防腐效果。然而木材中的過量藥劑易流失，導致環境污染，在著重環保的前提下，實不應再使處理材含有過量(超過規範需求)藥劑。

(三) 部位差異

將電桿各部位吸收量及各成分比例循縱向比較，可知心材藥劑吸收量由端面向內呈現極大的梯度，而邊材各部位則無顯著差異。明顯可見，柳杉邊材滲透性良好而心材則差許多。若比較 CCA 各成分於縱向各部位比例，則發現各部位成分比例皆有些許差異。此現象應與電桿內部細胞結構狀態及化學成分有關。[13]

在橫向差異上，因心材部分資料不多，僅以 paired t-test 檢定相同縱向部位之邊材內側與邊材外側在吸收量及成分比例上是否有顯著差異。結果顯示在 95% 顯著水準下，僅 CuO 比例不具顯著差異。邊材內外側的吸收量、 CrO_3 比例及 As_2O_5 比例皆有顯著差異(附錄 3)。邊材外側的吸收量及 CrO_3 比例高於內側者，而 As_2O_5 比例則相反，此現象推測與內側邊材滲透性較外側者差有關。

四、結論

經試驗分析 6m 及 9m CCA type B 處理柳杉電桿各一支得知：

1. 液態防腐劑注入木材以縱向滲透為主，橫向滲透極少。
2. 柳杉邊材滲透性良好，且外側邊材優於內側者。
3. 柳杉心材滲透性不良，於離端 5 公分處滲透率即降至 50%，由端面向內吸收量梯度大。
4. 電桿材中各部位之 CCA 成分比例並不一致，應為木材內部組織結構、細胞狀態及化學成分比例並不均勻所致。
5. 台灣廠商目前常用之處理程序，易導致 CCA 成分中 CuO 及 As_2O_5 等毒性物質的沉澱，應儘速改善，以確保環境安全。

五、參考文獻

1. Nicholas, D. D., and J. F. Siau (1973), "Factors Influencing the Treatability of Wood", in *Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatment* (ed. Nicholas, D.D.) .pp.299-338, Syracuse University Press, New York, USA.
2. Mills, G. B., W. G. Neil, and C. Streetman (1965), "Report on Project 9/64", *Proc. Am. Wood-Preservers' Assoc.* 61:140-157.
3. Colley, R. H. (1966), "Assaying retention in Creosoted Southern Pine Poles by Sample Borings", Appendix B, Report of Committee p2 *Proc., Am. Wood Preservers' Assoc.* 62:223-235.
4. 標準檢驗局 (2001) "CNS 3000 木材之加壓注入防腐處理方法", 經濟部。

5. Banerjee, A. K. and J.F. levy (1971) , “Fungal Succession on Wooden Fence Posts “, Material Und Organismen , 6:1-27.
6. Corbett, N. H. and J.F. levy (1963) , “Ecological studies on fungi associated with wooden fence posts” , Brit. Wood Pres. Ass. News Sheet , No.27, 1-3; No.28, 1-10.
7. Nicholas, D. D. and R. Cockcroft (1982) , “Wood Preservation in the USA” , pp.20-34, Styrelsen for Teknisk Utveckling , Information No. 288-19802, Sweden.
8. 標準檢驗局 (2001) , ”CNS 14495 木材防腐劑” , 經濟部。
9. American Wood-Preservers` Association (1998) , Standards A9-97, Texas, USA.
10. Eaton, R. A. and M.D.C. Hale (1993) , ”Wood Decay, Pests and Protection” , pp.373-390, Chapman & Hall, New York, USA.
11. 林亞立 (2001) , ”木料生物劣化防治處理” , 古蹟保存科學架構與應用之基礎研究 (二) , pp.33-54 , 內政部八十九年度研究報告。
12. Richardson, B. A. (1993) ”Wood Preservation” ,2ed., pp.66-92, Chapman and Hall , New York ,USA.
13. Arsenault, R. D. (1973) “Factors Influencing the Effectiveness of Preservative Systems” in Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatment (ed. Nicholas, D. D.) , pp.216-223, Syracuse University Press, New York, USA.

91 年 09 月 30 日投稿

91 年 10 月 23 日接受

表 1 樣塊編號與樣塊中央位置與電桿首端距離

Table 1 Sample numbers and the distance measured from the middle of the samples to the bottom end of the pole.

6m 電桿		9m 電桿	
編號	中央與首端距離(cm)	編號	中央與首端距離(cm)
6-5	2.5	9-5	2.5
6-10	7.5	9-10	7.5
6-15	12.5	9-15	12.5
6-20	17.5	9-20	17.5
6-25	22.5	9-25	22.5
6-30	27.5	9-30	27.5
6-1M	100	9-1M	100
6-2M	200	9-2M	200
6-3M	300	9-3M	300
6-4M	400	9-4M	400
6-5M	500	9-5M	500
6-30E	572.5	9-6M	600
6-25E	577.5	9-7M	700
6-20E	582.5	9-8M	800
6-15E	587.5	9-30E	872.5
6-10E	592.5	9-25E	877.5
6-5E	597.5	9-20E	882.5
		9-15E	887.5
		9-10E	892.5
		9-5E	897.5

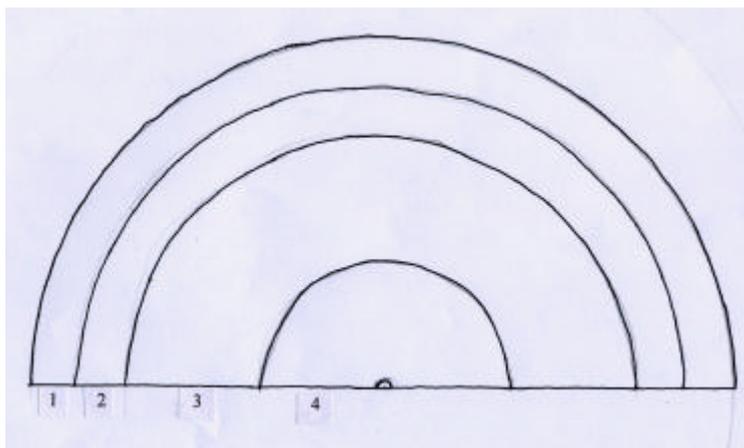


圖 1 樣塊分區示意圖。1：邊材外側，2：邊材內側，3：心材外側 4：心材內側。

Fig.1 Indication of the sampling zone from the sample disk. 1:outward sapwood, 2:inner sapwood, 3:outward heartwood, 4:inner heartwood.

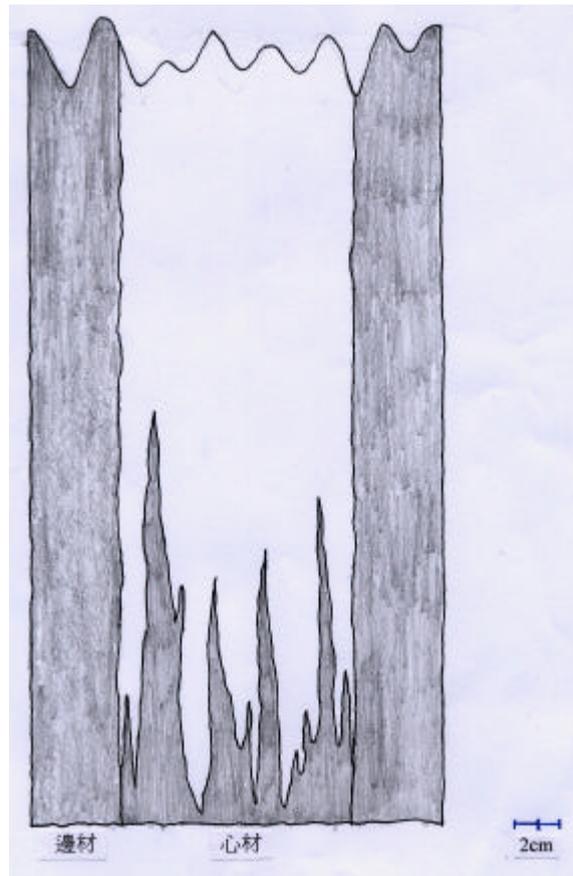


圖 2 CCA 於電桿材中縱向分布示意圖

Fig.2 Illustration of the longitudinal distribution of CCA in the poles.

表 2 電桿各部位 CCA 吸收量及成分相對百分比

Table 2 CCA retentions and preservative components' relative percentages in sampling parts of the poles.

電桿	部位	心材內側	心材外側	邊材內側	邊材外側	邊材平均	
6m	CCA 吸收量(kg/m ³)	4.14	4.59	9.65	13.43	11.54	
	成 分 比 例 (%)	CrO ₃	22.6	23.3	17.8	23.8	20.8
		CuO	27.4	28.3	26.2	23.3	24.8
		As ₂ O ₅	50.0	48.3	56.6	52.8	54.7
9m	CCA 吸收量(kg/m ³)	7.71	7.04	17.21	25.93	21.57	
	成 分 比 例 (%)	CrO ₃	26.3	24.9	20.5	27.9	24.2
		CuO	29.6	26.8	35.4	30.6	33.0
		As ₂ O ₅	44.1	48.4	44.3	41.5	42.9

六、附錄

附錄 1 6m 電桿各樣點 CCA 吸收量(kg/m³)App.1 The CCA retention (kg/m³) of the sample specimens from the 6m pole.

編號	心材內側	心材外側	邊材內側	邊材外側
6-5	14.34	12.47	12.72	12.60
6-10	5.47	5.89	12.36	14.59
6-15	2.21	2.26	10.00	19.05
6-20	0.59	1.59	10.50	16.64
6-25	0.00	0.00	8.89	16.19
6-30	0.00	0.00	9.26	14.50
6-1M	0.00	0.00	11.00	16.55
6-2M	0.00	0.00	11.90	12.80
6-3M	0.00	0.00	8.95	11.98
6-4M	0.00	0.00	8.96	10.46
6-5M	0.00	0.00	10.68	15.73
6-30E	0.00	0.00	7.68	12.00
6-25E	0.00	0.00	8.46	11.50
6-20E	0.00	0.00	9.42	12.97
6-15E	0.99	0.73	10.25	13.24
6-10E	2.09	1.08	10.98	14.51
6-5E	6.46	12.70	12.16	15.18
平均.	4.14	4.59	10.05	13.43

附錄 2 9m 電桿各樣點 CCA 吸收量(kg/m³)

App.2 The CCA retention (kg/m³) of the sample specimens from the 9m pole.

編號	心材內側	心材外側	邊材內側	邊材外側
9-5	28.42	22.23	39.20	42.75
9-10	2.41	1.49	35.11	37.71
9-15	1.32	0.52	25.69	39.53
9-20	0.00	0.00	24.29	32.55
9-25	0.00	0.00	27.05	38.46
9-30	0.00	0.00	20.85	27.88
9-1M	0.00	0.00	17.18	26.51
9-2M	0.00	0.00	21.05	25.99
9-3M	0.00	0.00	16.30	30.20
9-4M	0.00	0.00	16.08	25.97
9-5M	0.00	0.00	13.52	25.34
9-6M	0.00	0.00	15.41	23.92
9-7M	0.00	0.00	20.39	24.16
9-8M	0.00	0.00	16.14	23.43
9-30E	0.00	0.00	16.17	24.11
9-25E	0.00	0.00	21.94	24.73
9-20E	1.73	1.30	17.68	18.25
9-15E	1.83	1.08	13.64	14.29
9-10E	3.63	6.70	17.24	19.57
9-5E	21.66	22.17	27.06	23.01
平均.	7.71	7.04	17.59	25.93

附錄 3 邊材外側與邊材內側各測量值成偶 t 檢定結果

App.3 The *p*-value of paired t-test on the measurements between outward and inner sapwood layers.

電桿	檢定	P-值
6m	CCA 吸收量	1.78×10^{-6}
	CrO ₃ 成分比例	1.99×10^{-6}
	CuO 成分比例	5.26×10^{-1}
	As ₂ O ₅ 成分比例	3.16×10^{-4}
9m	CCA 吸收量	1.29×10^{-5}
	CrO ₃ 成分比例	3.90×10^{-9}
	CuO 成分比例	9.85×10^{-2}
	As ₂ O ₅ 成分比例	5.09×10^{-3}