



California EMF Program



Gray Davis
州長
加利福尼亞州

Grantland Johnson
署長
健康與人類服務署

Diana M. Bonta
註冊護士、公共衛生學博士
部長
健康服務部

學校接觸評估

總結

本文件總結了學校接觸評估調查報告，該報告名稱是「加州公立學校環境中輸電和配電線路以及非線路電場和磁場接觸來源評估」¹

學校接觸評估調查

人們對與電場和磁場（EMF）接觸可能產生的相關風險非常關切，涉及兒童的潛在風險尤為如此。因此，1996 年加州 EMF 計畫聘請 Enertech Consultants 進行了學校接觸評估調查 — 這是一項為期三年關於加州公立學校的磁場水平的研究。

該調查的主要目標是：

- 確定加州公立學校的 EMF 水平
- 評估減少加州公立學校中 EMF 接觸的成本
- 使用該項目生成的資訊和資料為制定關於學校 EMF 水平和來源的政策提供參考

測量內容

雖然在調查中測量了 EMF 的不同方面，大部分精力用於確定 60Hz（工頻）磁場（MF），因為大多數證據表明此類磁場最有可能產生健康危害。在分析減少磁場的成本時，僅僅包括了「局部來源」（例如輸電和配電線路、學校電源電纜、取暖設備和變壓器）產生的 60Hz 磁場。對源於點或「操作者來源」（例如電動鉛筆刀或電腦顯示器）導致的磁場沒有進行降低成本分析，因為此類磁場的強度較弱，不值得進行此類分析。調查的其他 EMF 方面包括 60Hz 磁場的諧波、交流電源、或穩定的磁場（包括地磁場）、²瞬態³和工頻電場。

學校選擇

為取得資料，對 89 所加州公立學校作了調查。這 89 所學校是經過一個複雜的抽樣程序產生，以確保具有統計穩定性的結果能夠反應全加州公立學校的 EMF 接觸狀況。調查沒有採取完全隨機的抽樣方法。這一點很重要，因為完全隨機抽樣可能無法充分反映在統計上佔少數卻靠近高壓輸電線路的學校之情形。因此，在選中的 89 所學校中，25 所靠近輸電線路，50 所靠近三箱配電線路。最終對校區中 5403 個場所作了測量，其中 3,193 個場所是教室。

選定學校後，調查人員向學校發送一組材料，幫助學校決定是否參加研究。該套材料包括說明性文件，解釋為什麼要對該校進行測量以及為誰測量，另外還附有一盤顯示如何測量的錄影帶。亦曾安排與校方會晤。

加州電場和磁場計畫

加州健康服務部和公共健康研究所項目

測量規程

測量總共需要兩天時間，在正常上課時間進行。調查人員制定了測量規程，確保在測量時儘量不影響學校的正常活動，同時對所有學校進行同樣細緻、完整和優質的測量。該規程包括下列各項：⁴

- 在校園中每一個場所的許多個點對磁場作系統測量。測量高度為距離地面大約一米（約 3 英尺 4 英寸）
- 在選定的戶內地點（包括五座教室）進行 24 小時磁場測量
- 確定不超過三個產生磁場的「局部來源」
- 發現和測量每一個區域中的所有「操作者來源」
- 測量所有靠近學校的輸電和配電線路磁場橫斷面
- 將線路及配接的導體製圖和照相
- 測量戶外最大電場，通常靠近高空線路，另外測量五座教室中的最大電場
- 測量所有教室中心位置的直流（DC）、60Hz 交流（AC）和諧波磁場
- 記錄（草圖、照相、特別測量）調查過程中確定的局部來源

在測量後，向參加調查的校區發送一份測量報告，該報告包括學校總體統計數字、具體區域統計數字、發現的 EMF 來源和可能的減少接觸策略。

加州公立學校 EMF 調查資料庫

調查過程中收集的資料輸入「加州公立學校 EMF 調查資料庫」，該資料庫包含無數個表格，包括：

- 描述每一所學校概況的表格

- 「加權」表格闡述在把資料用於推算全加州公立學校的估計數字時對每一所參加調查的學校應當分配的權數（權數表示每一所參加調查的學校代表的加州公立學校數目）
- 就每一所學校編制「電場」和「佈線規則」⁵資訊表
- 包含學校中每一個場所和調查磁場來源資訊的表格
- 描述不同測量場所磁場類型的表格（即空間分佈、時間變化、直流和諧波、瞬態計數和操作者來源等）
- 描述局部來源特徵的表格（即線路特徵、淨電流、配電盤、熒光燈、變壓器、辦公設備、電纜、主要供水管道）

資料庫的局限性

- 成本估算以 1997 年美元為單位
- 電腦程式所允許的某些方案雖然可行，但不一定被廣泛接受、符合電力操作慣例或加州公用事業委員會（CPUC）規則
- 用於取得結果的目標水平並不代表建議的適當磁場水平
- 改變線路或校內來源的成本系基於經驗豐富的諮詢人所作的最佳判斷。但是，如果用戶不同意諮詢人的判斷，程式還允許用戶修改成本。

磁場測量中具有顯著性的結果

實際測量的校內場所僅 5,403 個。但是，基於這些場所的資料對全加州的學校作了估算。調查中具有統計顯著性的結果列入下表。

表一：磁場超過規定值的場所數目（總共 456,519 個估算的場所）

平均磁場	占場所百分比	場所數目	95% C.I.
1 mG	20.1	91,600	77,700-108,000
2 mG	6.9	31,500	24,700-40,100
5 mG	1.1	4,900	2,900-8,400
10mG	0.15	680	260-1,800

表二：磁場超過規定值的教室數目（總共 268,256 座估算的教室）

平均磁場	占教室百分比	教室數目	95% C.I.
0.5 mG	39.4%	105,700	92,200-122,000
1 mG	16.9%	45,300	36,000-57,000
2 mG	5.7%	15,300	11,300-20,000
5mG	0.63%	1,700	700-4,200

表三：不同來源導致平均磁場大於規定值的教室數目（總共 268,300 座估算的教室）

磁場來源	>0.5mG	>1mG	>2mG	>5mG
淨電流	64,000	32,000	11,000	1,450
配電線路	11,700	3,550	1,300	0
輸電線路	2,300	1,100	140	115
配電盤	6,800	1,300	500	120
辦公設備	5,500	2,600	100	0
電纜	1,950	720	410	8
變壓器	1,700	680	120	0
主要供水管道電流	150	0	0	0
熒光燈	11,800	380	0	0
空調機	530	0	0	0

表一顯示了大約 80% 學校場所的平均磁場強度低於 1mG，這意味著大約 20% 的加州學校場所的平均磁場強度超過 1mG。上述資料的置信區間（C.I.）是 95%，這意味著大於 1mG 之場所比例在 17% 至 23.6% 之間（77,700–108,000 個場所）。表一還顯示僅有 1.10% 的學校場所的平均磁場大於 5mG。表二顯示了磁場超出規定值的教室數目。總體來看，在被測量的所有學校中，49% 的學校至少有一座教室的磁場水平高於 2mG，該水平高於平均值。因此，如果任何時候確定超出平均磁場強度的接觸產生健康風險，那麼將近一半加州公立學校必須降低磁場水平。

本次 EMF 調查還包括磁場來源確認和定性。該資訊顯示每一個磁場來源在單獨作用時在具體場合產生的磁場強度。表三顯示了不同來源導致平均磁場強度超過規定值教室之數目。例如，在 268,300 座被估計的教室中，有 64,000 座教室中的淨電流產生大於 0.5mG 的磁場。有 1,450 座教室中淨電流產生大於 5mG 的磁場。另一方面，在 268,300 座被估計的教室中，僅 530 座教室中的空調機產生大於 0.5mG 的磁場。在任何一座被調

查的教室中，空調機產生的磁場都沒有大於 5mG。

其他磁場測量

對戶外和戶內場合的電場作了測量。測量資料顯示 50% 的學校中測得的最高戶外電場低於 7.5V/m。只有 5% 的學校中最高測得電場強度超過 56V/m。1.3V/m 和 100V/m 之間的電場來源是輸電線路或配電線路。高於 100V/m 的電場源于輸電線路。測得的最高電場強度是 1,000V/m。

在 50% 的教室中，戶內電場強度沒有超過 0.5V/m。只有 5% 的教室電場強度超過 4V/m。電場強度超過 2V/m 的原因是靠近熒光燈。一個例外情況是輸電線路靠近教室，導致電場強度達到 3.5V/m。戶內測得的最高電場強度是 15V/m。下面用一個具體的例子說明。在身體表面測量時，500kV 的高壓輸電線路下面的電場強度大約為 800-12,000V/m。普通電器 — 例如通常在近距離使用的烤麵包機 — 在身體表面產生的電場約為 5-80V/m⁶。另外，請記住，電場隨距離迅速減弱，很容易被物體屏蔽，無論是樹還是建築物的牆壁。

調查人員在戶外區域以及所有參加調查的教室中對地磁場（地球自然產生的直流磁場）作了測量。調查結果顯示，教室內部測得的直流磁場僅略低於戶外測得的地場，很可能該差別源於建築物中的金屬對地磁場的扭曲。

加州減少 EMF 接觸需要的成本

電腦程式

學校接觸評估的一項結果是建立了一個電腦程式，幫助評估在加州公立學校中減少磁場接觸的成本，以及基於某項特定成本評估可能減少的接觸。

該電腦程式內容十分廣泛，包括：⁷

- 加州公立學校 EMF 調查資料庫
- 適用於所有局部來源的磁場減弱技術清單以及和每一項技術相關的磁場減弱算法
- 適用於每一項磁場減弱技術的成本等式和成本係數表
- 按照學校細分的成本估算，此項內容可用于分析成本的相關性
- 按照磁場來源類型（如輸電線路、熒光燈）和磁場減弱技術細分的成本估算
- 基於特定成本對某一來源作出改進，在加州公立學校中能夠減少的磁場接觸總量

為計算磁場減弱成本，必須把需要的磁場水平輸入資料庫。但是，目前尚未確定理想的磁場水平。該程式的用戶可將其自行決定的目標磁場值輸入程式，最低可為 0.5mG（本次調查沒有包括在該強度之下的磁場來

源）。該程式將為用戶提供把磁場降低至輸入的目標值所需要的估計成本。

磁場減弱成本數字和表格

學校接觸評估包含無數反映減弱磁場可能導致的成本數字和表格。此等數字和表格被用於「在全加州解決公立學校磁場問題的政策依據」。⁸ 請查閱該文件中關於全加州的最新成本估計。

具有經濟效益的磁場減弱技術

該電腦程式的設計還能夠計算基於某項成本所能減弱的磁場，該功能在資金有限時非常有用。另外，該程式比較了減少不同來源 EMF 接觸的成本。此類比較顯示，消除淨電流⁹是減少磁場的最有效方法，因為電路管線在校內線路中的淨電流是異常強磁場的最常見來源。事實上，大多數改進淨電流的成本與電工勞動力時間相關。因為必要的材料成本相對較低，幾乎可以忽略不計。¹⁰改進配電線路是在教室中減少磁場接觸的第二有效的方法。改進校內來源的成本遠遠高於改進線路成本。欲獲得減弱磁場的「無成本和低成本」技術清單，請查閱 EMF 計畫的「校建築物和地面施工 EMF 對照表」（亦可在我們的網站上查閱）。¹¹

附錄

項目報告包含下列附錄：學校抽煙材料；學校挑選表格；測量樣本資料集；具體來源空間分佈；空間 — 時間磁場分佈；線路配置草圖；EMF 調查學校選擇隨機數字清單；解釋 EMF 測量結果的資訊表。

¹ 「加州公立學校環境中輸電和配電線路以及非線路電場和磁場接觸來源評估」，加州 EMF 計畫和 Enertech Consultants。（2000 年 1 月）

² 地磁場是地球產生的穩定磁場。我們在使用磁羅盤時即可檢測到此類磁場。

³ 瞬態指磁場的突然變化。

⁴ 同上，S-3。

⁵ 線路規程是根據附近線路類型和距離將住宅（在本項研究中為教室）分類的方法。

⁶ 「源於電力的磁場」，卡內基梅隆大學工程和公共政策部（1995）：5。

⁷ 「加州公立學校環境中輸電和配電線路以及非線路電場和磁場接觸來源評估」，加州 EMF 計畫和 Eneritech Consultants。（2000 年 1 月）：S-11。

⁸ 「在全加州解決公立學校磁場問題的政策依據」，加州 EMF 計畫、Brock Bernstein 和 H. Keith Florig（2001）。

⁹ 淨電流的來源是錯誤的接線，可能導致火災和電擊。

¹⁰ EMF 諮詢人 Karl Riley 與加州 EMF 計畫及 Southern California Edison 合作，製作了解決學校建築物中的淨電流問題的錄影帶。

¹¹ 「校建築物和地面施工 EMF 對照表」，加州 EMF 計畫和 Brooks Cavin, III.（1996）。