



Are solar panel trackers useful?

Solar panels are a perspective source of “green” electricity. The technology is now actively developing with ever more solar panels being installed worldwide– both as industrial, commercial, and private power sources. Yet, there still are some debates on what the optimal way of using the panels is, such as the efficiency concern.

Often, the panels are mounted at a static position (as shown in Fig. 1). This may significantly reduce the power output because the panels have maximum efficiency when the sunlight hits them perpendicularly (i.e. at 0° angle of incidence). At non-zero angles of incidence, a number of effects reduce the power output:

- cosine effect: the sunlight power reaching each unit surface area of the solar panel is proportional to the cosine of the angle of incidence;
- reflective effects: at higher angles, the fraction of light reflected away by the surface of the solar panel increases;
- photovoltaic efficiency: at higher angles, photovoltaic cells may slightly reduce the efficiency of converting the sunlight that reaches them into electricity.

A possible solution to the above problem is trackers – electromechanical devices that rotate solar panels to the optimal orientation (see an example in Fig. 2). These can be single-axis or dual-axis – permitting rotation around one or two axes respectively. But it is still unclear whether the trackers are cost-effective or it is better to purchase more solar panels and install them in a simpler way, even if it means requiring more space and increasing potential cost of recycling of solar panels.



Fig. 1 Static Solar Panel (Picture from Internet)



Fig.2 Solar Panel with trackers (Picture from Internet)

Tasks

1. Build a mathematical model that will estimate and compare the cost-effectiveness of installing solar panels with a single-axis tracker, dual-axis tracker, and without any trackers. The model should take as inputs the geographic location of the solar installation, the type of installation (private, industrial, etc) and other reasonably available information. The prices of solar panels, trackers, mounts, and electricity can be assumed to be the same as in China.
2. Extend your model to other countries and areas if considering to expand the technology overseas from China. For example, price corrections for outside China would greatly improve your model.
3. As an additional option, your model may consider a “manually adjusted mount” that permits changing the panel’s position during the regular cleaning of the panel – once every 6 months.
4. So, are the trackers useful or just a toy? Formulate your results as simple recommendations or “rules” as possible.

Submission

Your solution paper should include a 1-page Summary Sheet. The body cannot exceed 20 pages for a maximum of 21 pages with the Summary Sheet and short essay inclusive. The appendices and references should appear at the end of the paper and do not count towards the 21 pages limit.

Special Note

The principles of *Honor System* of IMMC also applies to the use of LLMs (large language models) or generative AI tools. If a team uses any large language model or generative AI tool in completing the modeling tasks, from problem research, model development, programing to paper/report writing, the team must make honest, open and transparent disclosure, including making in-text citations and detailing relevant content in the "References" section. It should be recognized that although large language models or generative AI have the advantages of productivity tools, they also have obvious shortcomings and pose risks to users (such as AI-generated content containing AI hallucinations or possible plagiarism in the produced content). Whether or not using large language models or generative AI tools itself in the team’s work has no impact on judges' evaluation; the judges seriously remind every team that if any AI tool would be used, use it correctly, honestly, open and transparently.



太阳能跟踪器有用吗？

太阳能电池板是一种具有广阔前景的“绿色”电力来源。当前该技术正在快速发展，全球越来越多的太阳能电池板被安装使用——既用于工业、商业，也用于私人供电。然而，关于如何最有效地使用太阳能电池板仍存在一些争议，例如人们对效率的关切。

通常，太阳能电池板被固定安装在静态位置（如图 1 所示）。这种方式可能会显著降低发电输出，因为只有当阳光垂直照射（即入射角为 0° ）时，电池板的发电效率才达到最高。当入射角不为零时，多种效应会降低发电量：

- 余弦效应：照射到电池板单位面积上的太阳辐射功率与入射角的余弦值成正比；
- 反射效应：入射角越大，被电池板表面反射掉的光线比例就越高；
- 光伏转换效率：在较大入射角下，光伏电池将接收到的阳光转换为电能的效率也可能略有下降。

针对上述问题的一种可能解决方案是太阳能跟踪器——一种机电装置，可自动将太阳能电池板旋转至最佳朝向（见图 2 示例）。跟踪器可分为单轴和双轴两类，分别允许绕一个或两个轴旋转。但目前尚不清楚：使用跟踪器是否具有成本效益？或许更划算的做法是购买更多太阳能电池板，并以更简单的方式安装，而不惜要求更多的空间以及增加潜在的太阳能板回收成本。



图 1 静态安装的太阳能板 (图片来自互联网)



图 2 装有跟踪器的太阳能板 (图片来自互联网)

任务

1. 请构建一个数学模型，用于估算并比较不同安装方案的成本效益：使用单轴跟踪器的太阳能电池板；使用双轴跟踪器的太阳能电池板；不使用任何跟踪器（固定安装）。模型应以太阳能电站的地理位置、安装类型（私人、工业等）以及其他合理可获取的信息作为输入参数。可假设太阳能电池板、跟踪器、支架和电价均采用中国市场价格。
2. 如果考虑到技术出海，将你的模型扩展到其他国家和地区。例如，针对中国以外地区引入价格修正因子将显著提升模型的适用性。
3. 作为补充选项，你的模型还可考虑一种“手动调节支架”方案：即在定期清洁太阳能电池板时（例如每 6 个月一次）手动调整其安装角度。
4. 那么，太阳能跟踪器到底是有用的工具，还是仅仅是个“玩具”？请将你的研究成果提炼为尽可能简洁明了的建议或规则。

提交

你团队的解决方案论文应包括 1 页的摘要。正文不能超过 20 页，含摘要最多 21 页。附录和参考资料应出现在正文之后，不算在 21 页的限制之内。

特别说明

IMMC“诚信赛制”的原则同样适用于大语言模型或生成式 AI 工具的使用。如果团队在完成建模任务过程中有使用任何大语言模型或生成式 AI 工具，从问题研究、模型开发、程序编写到论文写作等建模工作的方方面面，团队必须诚实和公开透明地做披露，包括做出文内标注和在“参考文献”部分详细列出相关内容。应认识到大语言模型或生成式 AI 虽具有生产力工具的优势，亦具有明显的不足，并对使用者构成风险（例如 AI 生成的内容存在 AI 幻觉，也可能构成剽窃）。团队使用或不使用大语言模型或生成式 AI 工具本身，对评审没有影响；评委严肃地提醒团队，若果有任何 AI 工具的使用，都应当是正确、诚实和公开透明的使用。



太陽能跟蹤器有用嗎？

太陽能電池板是一種具有廣闊前景的「綠色」電力來源。當前該技術正在快速發展，全球越來越多的太陽能電池板被安裝使用——既用於工業、商業，也用於私人供電。然而，關於如何最有效地使用太陽能電池板仍存在一些爭議，例如人們對效率的關切。

通常，太陽能電池板被固定安裝在靜態位置（如圖 1 所示）。這種方式可能會顯著降低發電輸出，因為只有當陽光垂直照射（即入射角為 0° ）時，電池板的發電效率才達到最高。當入射角不為零時，多種效應會降低發電量：

- 餘弦效應：照射到電池板單位面積上的太陽輻射功率與入射角的餘弦值成正比；
- 反射效應：入射角越大，被電池板表面反射掉的光線比例就越高；
- 光伏轉換效率：在較大入射角下，光伏電池將接收到的陽光轉換為電能的效率也可能略有下降。

針對上述問題的一種可能解決方案是太陽能跟蹤器——一種機電裝置，可自動將太陽能電池板旋轉至最佳朝向（見圖 2 示例）。跟蹤器可分為單軸和雙軸兩類，分別允許繞一個或兩個軸旋轉。但目前尚不清楚：使用跟蹤器是否具有成本效益？或許更划算的做法是購買更多太陽能電池板，並以更簡單的方式安裝，而不惜要求更多的空間以及增加潛在的太陽能板回收成本。



圖 1 靜態安裝的太陽能板（圖片來自互聯網）



圖 2 裝有跟蹤器的太陽能板（圖片來自互聯網）

任務

1. 請構建一個數學模型，用於估算並比較不同安裝方案的成本效益：使用單軸跟蹤器的太陽能電池板；使用雙軸跟蹤器的太陽能電池板；不使用任何跟蹤器（固定安裝）。模型應以太陽能電站的地理位置、安裝類型（私人、工業等）以及其他合理可獲取的信息作為輸入參數。可假設太陽能電池板、跟蹤器、支架和電價均採用中國市場價格。
2. 如果考慮到技術出海，將你的模型擴展到其他國家和地區。例如，針對中國以外地區引入價格修正因數將顯著提升模型的適用性。
3. 作為補充選項，你的模型還可考慮一種「手動調節支架」方案：即在定期清潔太陽能電池板時（例如每 6 個月一次）手動調整其安裝角度。
4. 那麼，太陽能跟蹤器到底是有用的工具，還是僅僅是個「玩具」？請將你的研究結果提煉為盡可能簡潔明瞭的建議或規則。

提交

你團隊的解決方案論文應包括 1 頁的摘要。正文不能超過 20 頁，含摘要最多 21 頁。附錄和參考資料應出現在正文之後，不算在 21 頁的限制之內。

特別說明

IMMC「誠信賽制」的原則同樣適用於大語言模型或生成式 AI 工具的使用。如果團隊在完成建模任務過程中有使用任何大語言模型或生成式 AI 工具，從問題研究、模型開發、程式編寫到論文寫作等建模工作的方方面面，團隊必須誠實和公開透明地做披露，包括做出文內標註和在“參考文獻”部分詳細列出相關內容。應認識到大語言模型或生成式 AI 雖具有生產力工具的優勢，亦具有明顯的不足，並對消費者構成風險（例如 AI 生成的內容存在 AI 幻覺，也可能構成剽竊）。團隊使用或不使用大語言模型或生成式 AI 工具本身，對評審沒有影響；評委嚴肅地提醒團隊，若果有任何 AI 工具的使用，都應當是正確、誠實和公開透明的使用。