

评阅 意见			
成绩		评阅教师签名	
		评阅日期	

2023-2024-2 学期

《智慧能源概论》

结课论文

题目：双碳政策驱动下我国露天煤矿的生态转型与可持续发展

姓名：马骁

学号：07212393

班级：地理信息科学 2021-1 班

2024 年 7 月

双碳政策驱动下我国露天煤矿的生态转型与可持续发展

马 骁

(中国矿业大学 环境与测绘学院 地理信息科学 21-1 班)

Ecological Transformation and Sustainable Development of China's Surface Coal Mines Driven by Dual Carbon Policy

Ma Xiao

ABSTRACT: As an important method of coal mining, open-pit mining is characterised by high energy consumption and high greenhouse gas emissions, and is one of the priorities for energy conservation and emission reduction in the coal industry. Surface coal mining not only consumes a large amount of energy, including fuel coal, fuel oil and electricity, which leads to a large amount of greenhouse gas emissions, but also generates additional greenhouse gas emissions such as fugitive and spontaneous combustion due to the natural characteristics of coal. In addition, the coal mining process releases a large amount of coal mine gas, the main component of which is methane, the greenhouse effect of which is 25 times that of carbon dioxide, and the direct emission of untreated coal mine gas will further exacerbate the greenhouse effect. Under the background of the current "dual-carbon" policy, accelerating the development of green and low-carbon technologies and promoting the green transformation of opencast coal mines has become a priority task. The land reclamation technology of surface coal mine can not only improve the surrounding ecological environment and achieve ecological balance, but also promote the synergistic development of low carbon, through the use of advanced land reclamation technology, it can restore and improve the quality of soil and vegetation cover in the mining area, so as to effectively reduce soil erosion and degradation of the soil and improve the

ecosystem's self-healing ability, to achieve ecological transformation, so that surface coal mines to achieve sustainable development.

KEY WORDS: Dual carbon policy; Surface coal mines; Green transition; Sustainable development

摘要: 作为煤炭开采的一种重要方式,露天开采具有高能耗和高温室气体排放的特点,是煤炭行业节能减排的重点之一。露天煤矿开采不仅消耗大量能源,包括燃料煤、燃料油和电力等,从而导致大量温室气体排放,还因煤炭的天然特性,产生逸散和自燃等额外温室气体排放。此外,煤炭开采过程中释放大量的煤矿瓦斯,主要成分为甲烷,其温室效应是二氧化碳的 25 倍,未经处理直接排放将进一步加剧温室效应。在当前“双碳”政策背景下,加快绿色低碳技术的发展,推动露天煤矿的绿色转型已成为首要任务。其中,露天煤矿的土地复垦技术不仅能够改善周围的生态环境,实现生态平衡,还能促进低碳协同发展,通过采用先进的土地复垦技术,可以恢复和改善矿区的土壤质量和植被覆盖,从而有效减少水土流失和土壤退化,提升生态系统的自我修复能力,实现生态转型,使露天煤矿实现可持续发展。

关键字: 双碳政策; 露天煤矿; 绿色转型; 可持续发展

0 引言

气候变化已经越来越得到各国政府、学术界以及普通公众的强烈关注，温室气体排放量大量增加，全球气候变暖和极端天气频发使得气候变化成为目前全球关注的重大环境问题之一^[1]。虽然，露天煤矿开采具有资源回收率高、生产能力大、建设工期短、吨煤投资低、劳动效率高、利于安全生产等优点而得到迅猛长久发展，但存在着被动环境保护工作的矛盾、大量生产造成矿区可持续发展困难，以及露天煤矿资源开发土地征用与复垦的诸多问题^[2-3]。随着“双碳”目标的提出，由能源消耗引起的温室气体问题和煤炭行业节能减排、绿色转型受到越来越约到的关注^[1]。

露天煤矿的开发与建设是中国大型煤炭基地的重要组成部分，我国露天煤矿的产量由 2003 年的 0.80 亿吨增长至 2022 年的 10.57 亿吨^[4]。同时，露天煤矿也是重要的能源消耗单位，露天煤矿开采需要消耗大量的炸药、燃油、电力等能源，因此带来了大量的碳排放，露天煤矿低碳智能化开采是节能减排任务的重点之一^[5]。此外，露天煤矿开采带来的土地损毁，采煤塌陷等，严重影响了矿区的土地质量和生态平衡^[6]。因此，露天煤矿土地复垦与生态修复技术在“双碳”政策下，成为露天煤矿生态转型与可持续发展的重要一环。鉴于此，本文分析了露天煤矿碳排放现状与碳核算模型、标准以及露天煤矿如何实现绿色转型与可持续发展，可为露天煤矿高质量发展与碳减排提供参考。

1 露天煤矿发展现状与碳核算

1.1 我国露天煤矿发展概况

截止 2022 年底我国露天煤矿共有 356 处，主要分布在内蒙古、山西、新疆、云南、陕西、黑龙

江、辽宁、青海、宁夏等 15 个省^[7]。其中，内蒙古露天煤矿数量最多，主要分布在神东基地的准格尔矿区、神东矿区，以褐煤为主。我国露天煤矿总产煤能力约为 11.55 亿吨，以中型、小型居多共计 294 处，占总体的 82.58%，但产能却只占总体的 25.57%，具体见表 1。

表 1 全国露天煤矿数量及产能情况

Tab.1 Number and capacity of surface coal mines in the country

煤矿井型	数量/处	核定产能/Mt	产能占比/%
特大型	17	471	40.74
大型	45	389	33.69
中型	117	201	17.42
小型	177	94	8.15
合计	356	1155	100

1.2 露天煤矿碳排放核算

厘清露天煤矿碳排放特征是实现露天煤矿“双碳”目标的前提和基础。露天煤矿碳排放源包括直接碳排放源（能源消耗（以燃油和炸药为主）、气体逸散和非受控燃烧）和间接碳排放源（电力消耗和水消耗）两类^[8]。

科学、准确地核算碳排放量是开展碳排放相关研究、制定碳减排政策的基础性工作。为了提供统一规范的碳排放核算方法，IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）发布了《2006 年国家温室气体逸散清单指南》，提出了立足于能源消耗数据的碳排放核算方法，其核心是在核算边界内加和各类能源消耗量和对应的排放因子的乘积，得到碳排放总量^[9-10]。以此为基础，国内外科研机构先后发布了一系列露天煤矿碳核算标准和模型，为露天煤矿碳排放碳核算提供了参考标准。

表 2 《IPCC 2006 指南》煤炭开采和矿后活动排放源计算方法

Tab.2 IPCC 2006 Guidelines Source Calculation Methods for Coal Mining and Post-Mine Activities

排放源	详细描述	CH ₄ 排放计算方法	CH ₄ 缺省排放因子
露天开采	采掘过程中由于煤和相关地层的破坏、以及采场底面等泄露的温室气体，分散在露天矿的各处，可视为面源	两个层级方法：全球平均排放因子法（T1）和国家或煤田特征排放因子法（T2）	表土深度<25m，缺省因子为 0.3m ³ /t.
			25m≤表土深度≤50m，缺省因子、1.2m ³ /t
矿后活动	煤炭开采后的加工、存储和运输过程逸散的温室气体	两个层级方法：全球平均排放因子法（T1）和国家或煤田特征排放因子法（T2）	表土深度>50m，缺省因子为 2.0m ³ /t
			如缺少表土深度数据，推荐采用 1.2m ³ /t
			表土深度<25m，缺省因子为 0m ³ /t.
			25m≤表土深度≤50m，缺省因子为 0.1m ³ /t
			表土深度>50m，缺省因子为 0.2m ³ /t
			如缺少表土深度数据，推荐采用 0.1m ³ /t

其中,表2展示了《IPCC 2006》煤炭开采和矿后活动排放源排放因子缺点方法。通过下列公式计算露天煤矿开采区 CH₄ 逸散排放量:

$$q_i = b_i \times \rho \times h_i \times S \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$Q = \sum_1^n q_i \quad (2)$$

式中 q_i 表示不同逸散单元的 CH₄ 排放量 (单位为: m³), b_i 为 CH₄ 排放因子, ρ 为 CH₄ 密度 (单位为: kg/m³), CH₄ 密度取 20℃、1 个大气压下的 0.67 kg/m³, h_i 为各逸散单元所含煤层的厚度 (单位为: m), S 为逸散单元面积 (单位为: km²), Q 为开采区所有逸散单元的 CH₄ 排放总量。需要重点区分的是煤层厚度是指煤层的垂直厚度,是煤炭在地层中的厚度也就是数据中的岩石分层厚度。而逸散单元埋深是指逸散单元距离地面的垂直距离,是用来确定不同逸散单元选取的排放因子数值。

由此方法可以进行露天煤矿温室气体 CH₄ 的逸散估算,同理其它气体也可按照《IPCC 2006 指南》进行估算,得到总的露天煤矿温室气体碳排放量,并与实际统计数据进行比较,不断改正模型,进行更准确的碳排放核算。

2 露天煤矿生态转型与可持续发展

2.1 露天煤矿生态转型面临的问题

露天煤矿开采会带来多种环境、地质影响问题,露天开采“开挖式”开采过程中将对原始土地地貌、地表植被、地下含水层等带来阶段性的影响,在露天矿开采段延伸过程中采掘场会逐步形成高陡端帮边坡,同时,“开挖式”开采后大气降水会进入露天矿采掘场,造成采掘场端帮岩土体的强度下降,导致岩(土)体变形,严重时直接出现大面积崩塌,出现暴风雨等恶劣天气,采掘场区域可能出现滑坡,环山形态排土场易发生泥石流地质灾害^[11-13]。此外,露天开采的穿爆、采运排、破储等环节会产生粉尘,在一定气象及不良的自然通风方式条件下,甚至可使局部污染扩散至全矿,对大气造成了一定污染,对职工、附近居民及农作物的生长产生危害^[14]。

露天煤矿生态转型与修复面临的问题还不仅限于上述的环境和地质灾害,还涉及到社会经济和技术层面的问题。这些问题综合起来,使得露天煤矿生态转型与修复成为一项复杂而艰巨的任务。

首先,生态系统重建自维持力低。在露天煤矿开采过程中,原有的生态系统受到严重破坏,地表植被被剥离,土壤结构遭到破坏,生物多样性显著

下降。即使在恢复过程中重新种植植被,也难以恢复原有生态系统的自维持力,需要长期的人为干预和管理^[15-16]。

其次,维持成本高。露天煤矿生态修复需要大量的资金投入,包括土地复垦、植被恢复、地质灾害防治等方面的费用。此外,维护恢复后的生态系统也需要持续的投入,以防止二次破坏和确保生态系统的稳定性。

再者,采矿痕迹明显。即使经过修复,露天煤矿区的“采矿痕迹”依然明显,如巨大的采掘坑、废石堆积场等。这些地貌特征不仅难以完全恢复自然状态,还可能对生态系统的功能造成长期影响^[17]。

另外,技术挑战也是一大难题。生态修复技术复杂,涉及到土壤改良、植物选择与配置、地质灾害防治等多个方面,需要跨学科的综合应用。目前,现有的技术手段在一些极端环境和复杂地质条件下效果有限。

此外,社会经济问题也是制约因素之一。露天煤矿地区往往是经济欠发达地区,当地经济对煤矿产业依赖性强。生态转型意味着减少煤炭开采,对地方经济和就业产生影响,如何平衡生态修复与经济发展的关系,成为待解决的问题。

2.2 露天煤矿土地复垦与生态修复

生态修复是解决露天煤炭开采与生态保护矛盾的关键手段。近年来,我国露天煤矿生态修复理论与技术得到了飞速发展,形成了一批理论与技术成果。然而,由于缺乏全过程生态化设计、系统修复和动态监管,现有矿区生态修复理论与技术仍然满足不了当前露天矿区高质量发展与实践需求,例如出现修复的生态系统结构功能单一、水文功能丧失、侵蚀严重、自我维持能力低、易退化难持续、景观破碎、采矿痕迹明显等多种问题。

生态修复显著改善了矿区生态格局,为城镇开发、农田复垦和林草恢复提供了扩展空间;生态修复能够增加矿区植被覆盖度、降低地表温度、增强了生态系统健康、增进休闲游憩福祉^[18]。

徐州生态修复区的植被覆盖状况在生态修复前后发生了较大变化,分别有 45.11%和 44.82%的区域植被覆盖度发生了不同程度的降低和提高。植被覆盖度的变化与土地利用方式的变化密切相关。以贾汪采煤塌陷地治理区为例,潘安湖区域经生态修复后,由原来的农田或积水区转为湿地,使其植被覆盖度大幅降低。植被覆盖度能够影响当地的碳排

放、地表温度等，提高植被覆盖度是双碳政策下主要的任务之一。

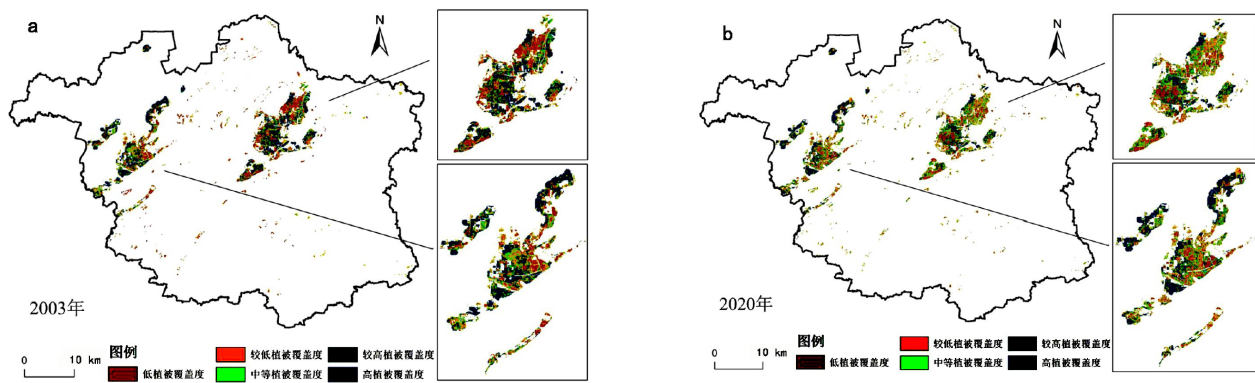


图 1 2003 年和 2020 年徐州市生态修复区的植被覆盖度

Fig.1 Vegetation cover of ecological restoration areas in Xuzhou City in 2003 and 2020

露天煤矿的生态修复与碳排放息息相关，两者在多个层面上相互影响，相辅相成。在露天煤矿开采过程中，大量的植被被清除，土壤被扰动，导致储存在植物和土壤中的碳被释放到大气中，增加了碳排放。这不仅对全球气候变化产生负面影响，还削弱了区域生态系统的碳储存能力。生态修复过程中，通过重新种植树木、草地和其他植物，可以重新吸收和固定大气中的二氧化碳，逐步恢复矿区的碳汇功能，从而在一定程度上抵消开采过程中产生的碳排放。有效的生态修复不仅能够改善矿区环境，还能为碳中和目标做出贡献。在修复过程中，可以采用生物炭技术、碳捕集与封存技术等先进手段，将碳固定在土壤或植物中，减少大气中的二氧化碳含量。同时，矿区废弃物的资源化利用和绿色能源的推广也有助于减少碳排放^[18]。

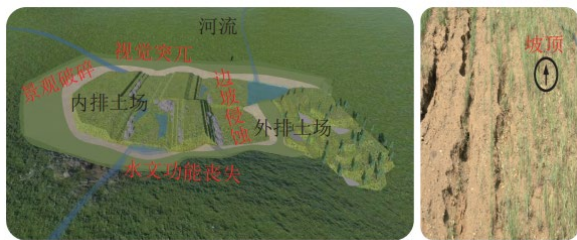


图 2 露天煤矿生态修复示例

Fig.2 Example of ecological restoration of an opencast coal mine

我国露天煤矿土地复垦技术与国外相比相对落后，国外较好的做法有：露天开采设计时，利用

CAD 或 GIS 技术设计出露采结束后的地形，M. Phillips 曾利用 DTM 模型绘制了采前与采后及复垦后的地貌；较多地使用了采掘空间作为排土场，其考虑土地保护与土地复垦的采矿工艺有倒堆法、顺序剥采复田法等。在“双碳”政策支持下，推动土地复垦技术的进步能够更好的改善露天煤矿的生态环境。

2.3 露天煤矿可持续发展—绿色矿山建设

在煤炭开采采中减少对环境的破坏，全面综合考虑煤炭经济的循环绿色发展,积极 推广绿色的采煤技术已成为新时期煤炭工业发展的重要方向。绿色矿山作为一种可持续开采模式，被广泛认为是未来矿业发展的方向之一。而绿色矿山建设是促进煤炭企业可持续发展的重要途径^[19]。通过以下几点全方位推进绿色矿山建设：

(1) 制定和完善绿色矿山标准及整体建设规划。建立完善的绿色矿山标准和规范，为整个绿色矿山建设工作奠定了坚实基础，制定出符合国家和地方相关环保和安全法规要求的、完善的绿色矿山标准,明确了各项建设工作目标,以确保实现矿山企业的“绿色、安全、可持续发展”。

(2) 做好煤炭资源的综合利用。煤炭是有限资源,需要进行科学合理的开采和综合利用。采取各种科技手段,将煤炭生产加工中的各种能量、烟气、废水、煤尘、煤灰等进行充分利用和再次加工处理,实现了煤炭资源综合利用的最大化，同时避免对环境造成二次污染。

(3) 智能矿山系统建设。在绿色矿山建设过程中, 智能矿山系统的建设至关重要。通过应用大数据、物联网、人工智能等先进技术, 构建智能化的矿山管理系统, 实现矿山生产过程的自动化和信息化管理。智能矿山系统能够实时监控矿山的开采情况, 优化生产流程, 提高生产效率, 减少资源浪费。同时, 智能系统还可以提前预警潜在的地质灾害和安全隐患, 保障矿工的安全, 减少生产事故的发生。



图3 智慧矿山管理平台示例

Fig. 3 Example of intelligent mine management platform

3 总结

在双碳政策的驱动下, 我国露天煤矿的生态转型与可持续发展取得了显著进展。本文详细分析了露天煤矿开采对环境和地质的影响, 探讨了生态修复与碳排放之间的密切关系, 强调了通过科学技术和政策支持实现绿色矿山建设的重要性。通过制定和完善绿色矿山标准, 综合利用煤炭资源, 建设智能矿山系统, 实施生态修复和环境治理, 推广绿色能源的应用, 加强科技研发和人才培养, 煤炭企业可以在降低碳排放的同时, 实现经济效益和生态效益的双赢。积极履行企业社会责任, 推动矿区社区的可持续发展, 也是绿色矿山建设的重要组成部分。总体而言, 双碳政策为我国露天煤矿的生态转型提供了有力的政策保障, 通过多方面的努力, 露天煤矿的绿色、安全、可持续发展前景可期。

参考文献

- [1] 周游. 露天煤矿温室气体核算模型构建及减排策略研究[J]. 煤炭工程, 2019, 51(7): 138-141.
- [2] 王家臣. 煤炭科学开采理论与技术浅谈[J]. 山西煤炭, 2023, 43(3): 5-7.
- [3] 付恩三, 白润才, 刘光伟, 等. “双碳”视角下我国露天煤矿的绿色可持续发展[J]. 科技导报, 2022, 40(1

9): 25-35.

- [4] 白润才, 付恩三, 马力, 等. 露天煤矿安全-绿色-高效-低碳协同开采技术体系[J/OL]. 煤炭学报, 2024, 49(1): 298-308. <https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.2023.1433>.
- [5] 才庆祥, 刘福明, 陈树召. 露天煤矿温室气体排放计算方法[J/OL]. 煤炭学报, 2012, 37(1): 103-106. <http://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.2012.01.034>.
- [6] 卞正富. 国内外煤矿区土地复垦研究综述[J/OL]. 中国土地科学, 2000(1): 6-11. <https://doi.org/10.13708/j.cnki.cn11-2640.2000.01.002>.
- [7] 杨晓伟, 王妍, 刘欣, 等. 我国露天煤矿发展现状及展望[J/OL]. 中国煤炭, 2023, 49(6): 126-133. <https://doi.org/10.19880/j.cnki.ccm.2023.06.018>.
- [8] 郑玉蓉, 王耀龙, 张飞, 等. 露天煤矿碳排放核算及碳中和实现路径: 以魏家崙煤矿为例[J]. 中国矿业, 2024, 33(5): 80-88.
- [9] Methodology and applications of city level CO₂ emission accounts in China[J/OL]. Journal of Cleaner Production, 2017, 161: 1215-1225. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.075>.
- [10] 郑玉蓉, 孙文彬, 杜宇航, 等. 煤炭企业碳排放核算方法研究综述[J/OL]. 煤炭学报: 1-13. <https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.2023.1077>.
- [11] 吴霜. 浅析矿山地质灾害类型的危险性与地质灾害勘查技术[J]. 世界有色金属, 2022(13): 136-138.
- [12] 胡松岩. 露天矿山地质灾害预防的有效措施[J]. 世界有色金属, 2020(22): 190-191.
- [13] 张赫, 孙岩. 露天矿山地质灾害成因与防治[J/OL]. 矿业工程, 2015, 13(6): 45-47. <https://doi.org/10.16672/j.cnki.kygc.2015.06.017>.
- [14] 张晋伟, 闫国杰. 露天采矿对地质环境的影响及防治对策[J]. 露天采矿技术, 2004(4): 4-5.
- [15] 夏嘉南, 李恒, 雷少刚, 等. 胜利矿区周边自然草原坡面植被分布模拟及复垦应用[J/OL]. 生态学杂志, 2021, 40(9): 3007-3016. <https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.202109.011>.
- [16] 夏嘉南, 李根生, 卞正富, 等. 露天矿内排土场近自然地貌重塑研究——以新疆黑山露天矿为例[J/OL]. 煤炭科学技术, 2022, 50(11): 213-221. <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021-0254>.
- [17] 雷少刚, 夏嘉南, 卞正富, 等. 论露天矿区近自然生态修复[J/OL]. 煤炭学报, 2024, 49(4): 2021-2030. <https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.XH23.1689>.

[18] 马骁, 朱影影, 郝绍金, 等. 矿业城市矿区生态修复的社会福祉效应评估——以徐州市为例[J/OL]. 化工矿物与加工, 2023, 52(7): 48-54. <https://doi.org/10.16283/j.cnki.hgkwyjg.2023.07.008>.

[19] 蔡美峰, 吴允权, 李鹏, 等. 宁夏地区煤炭资源绿色开发现状与思路[J/OL]. 工程科学学报, 2022, 44(1): 1-10. <https://doi.org/10.13374/j.issn2095-9389.2021.04.21.002>.

课程小结

（1）通过本课程的学习您最大的收获是什么？

通过学习韩老师的智慧能源概论，我了解到很多学科交叉，学科融合的知识。计算机、数学与能源结合，打造智慧能源系统，分布式能源系统，最后通过能源互联网（能源互联、信息通信、能源大数据结合）实现智慧能源技术的应用，走进我们的现实生活当中。通过这门课程，使我一个地理信息科学专业（GIS）的学生快速了解到能源的相关知识如分布式储能，微电网等。此外老师上课也提到了 GIS 的地形建模、空间分析技术，让我深深的体会到了各个学科在解决问题时是互相协作的，提升了我的综合素质和专业拓展能力，我的学习和思维视野得到了拓展。

此外通过小组合作分工的方式，共同完成了一个专题，加深了我对智慧能源与碳减排的认识。最后的结课报告，我选题为《双碳政策驱动下我国露天煤矿的生态转型与可持续发展》，其中部分内容引用了我大创项目的工作，《露天煤矿温室气体逸散研究与估算》，还有我在《化工矿物与加工》发表的一篇论文，名为《矿业城市矿区生态修复的社会福祉效应评估——以徐州市为例》，让我的研究内容与此次课程结合，更好的提升了我的思维和能力。

（2）您认为本课程在哪些方面做得最好？

老师通过小组分工合作，课堂汇报的方式实现了学生与课堂的积极互动，提升了每位同学的课堂参与感，不仅能够加深对知识的认识和自己的理解，还提高了课堂积极性，与传统的课堂教学方式相比，更能够吸引学生的学习兴趣。

（3）您认为本课程在哪些方面还需要改进？

首先，虽然是课堂汇报，但台下学生听的人数较少，希望老师安排每一个小组汇报时，让同学在其中设置几个问题，提高大家的听课积极性，活跃课堂氛围，让大家能够学到更多的知识。其次，老师可以在课程 PPT 中多举一些企业的实际案例，让我们了解到现在企业应用的技术，增加一些前沿性。