

# 从“黑灯工厂”到“无人工地”：制造业智能化经验对工程建设机器人建造的启示

高攀

北京建筑大学 城市经济与管理学院，中国·北京 100044

**摘要：**制造业“黑灯工厂”的智能化转型，为工程建设行业提供了重要的技术参照与经验借鉴。然而，工程建设能否以及是否应该走向“完全无人工地”，是一个需要从自然辩证法视角深入审视的问题。本文基于自然辩证法的理论框架，系统分析了制造业“黑灯工厂”的技术范式及其自然观基础，考察了工程建设对制造业经验的“可迁移”与“不可迁移”之处，并重点探讨了“人的解放”这一核心议题。研究发现：工程建设可以从制造业学习精益建造理念、预制化生产模式与数字孪生方法，但由于建筑产品的独特性、施工环境的非结构性与社会系统的复杂性，完全照搬“无人化”模式既不现实也不可取。真正的“人的解放”不是将工人排除在工地之外，而是通过人机协同、技术-社会协同，使工人从重复性、危险性劳动中解放出来，转向更高阶的创造与管理。工程建设行业应坚持“适度自动化+人机协同”的辩证路径，在借鉴制造业经验的同时，尊重工程的自然条件与社会生态，实现技术理性与价值理性的统一。

**关键词：**自然辩证法；黑灯工厂；建筑机器人；人机协同；人的解放

## From "Dark Factories" to "Unmanned Construction Sites": How Smart Manufacturing Can Inspire Robotics in Construction

Gao Pan

Beijing University of Civil Engineering and Architecture, School of Urban Economics and Management, China Beijing 100044

**Abstract:** The intelligent transformation of "dark factories" in manufacturing has provided valuable technical references and practical experiences for the construction industry. However, whether construction should—or even can—move toward "fully unmanned sites" is a question that needs a deep look from the perspective of dialectics of nature. Based on this theoretical framework, this paper systematically analyzes the technical paradigms and the nature philosophy behind "dark factories" in manufacturing, examines what in these experiences is "transferable" or "non-transferable" to construction, and focuses on the core issue of "human liberation." The study finds that construction can learn from manufacturing in lean construction concepts, prefabricated production models, and digital twin methods. But because of the uniqueness of buildings, the unstructured nature of construction sites, and the complexity of social systems, fully copying the "unmanned" model is neither realistic nor desirable. True "human liberation" doesn't mean excluding workers from sites but freeing them from repetitive and hazardous tasks through human-machine collaboration and tech-social coordination, letting them focus on higher-level creativity and management. The construction industry should follow a balanced path of "moderate automation and human-machine cooperation," borrowing from manufacturing while respecting natural conditions and social ecology, achieving a balance of technical and value rationality.

**Keywords:** Dialectics of nature; Dark factory; Construction robots; Human-machine collaboration; Human liberation

## 0 引言

当前，全球制造业正经历一场深刻的智能化变革。以“黑灯工厂”（Lights-Out Factory）为代表的智能制造模式，已在汽车、电子、家电等领域实现规模化应用。所谓“黑灯工厂”，是指生产线完全由机器人自主运行、无需人工

干预的制造场所——机器人在黑暗中精准地完成焊接、装配、检测、包装等全流程作业，人类仅承担远程监控与系统维护。这一模式不仅大幅提升了生产效率与产品质量，更重要的是，它似乎预示着一个“机器替代人”的技术乌托邦正在成为现实。

与此同时, 工程建设行业正面临严峻挑战。据统计, 2022 年我国建筑业从业人数约 5232 万人, 但建筑工人平均年龄已超过 40 岁, 50 岁以上从业人员占比持续攀升, 年轻劳动力补充严重不足<sup>[1]</sup>。建筑工人老龄化、用工荒、安全事故频发等问题, 迫使行业寻求转型升级之路。在此背景下, “像造汽车一样造房子” “建筑机器人替代人工” 等口号日益响亮, 许多企业开始探索建筑机器人的研发与应用。中建科工已建成全国首条建筑钢结构智能生产线, 节省人工达 70%<sup>[2]</sup>; 碧桂园旗下的博智林机器人公司开发了覆盖混凝土施工、墙面装修、地坪施工等工序的四十余款建筑机器人, 并在凤桐花园等项目开展试点应用<sup>[3]</sup>。

然而, 一个根本性的问题随之浮现: 工程建设能否复制制造业 “黑灯工厂” 的成功经验, 走向 “完全无人工地”? 如果能够实现, 这是否意味着工人的 “彻底解放”? 如果不能, 那么工程建设应该从制造业学习什么、不能学习什么? 这些问题不仅关乎技术路线的选择, 更触及自然辩证法的核心议题——技术如何改变人与自然、人与工具、人与社会的关系。

## 1 制造业 “黑灯工厂” 的技术范式及其自然观基础

### 1.1 “黑灯工厂” 隐含的科技观与技术决定论倾向

“黑灯工厂” 的本质, 是以机器人、物联网、人工智能等技术为支撑, 实现生产过程的全自动化、无人化运行。其技术特征可概括为加工对象的标准化、生产环境的受控性、和作业流程的可分解性三方面。

从自然辩证法的视角看, “黑灯工厂” 的成功实践隐含了一种特定的科技观——技术决定论。技术决定论认为, 技术是自主的、自驱动的力量, 它按照自身的逻辑发展, 并单向地塑造社会结构与人的生活方式。在 “黑灯工厂” 的叙事中, 技术被描绘为 “解放者”——机器人替代了工人的重复性劳动, 人工智能优化了生产流程, 物联网实现了全要素的实时监控。这种叙事暗含了一个预设: 技术越先进, 人就越自由; 自动化程度越高, 社会就越进步。

然而, 技术决定论遮蔽了一个关键问题: 谁在设计技术? 谁在从技术中获益? 正如马克思在《资本论》中所指出的, 机器本身并不剥削工人, 但在资本主义生产关系下, 机器成为资本剥削劳动的工具<sup>[4]</sup>。“黑灯工厂” 中的工人, 并没有因为机器人的引入而获得更多的自由时间与创造性劳动; 恰恰相反, 他们要么失业, 要么沦为机器人的 “附庸”。这种 “解放” 的实质, 是劳动者从 “被机器替代” 变为 “被机器支配”。

### 1.2 马克思异化劳动理论视角下的 “无人化” 生产

马克思在《1844 年经济学哲学手稿》中提出了异化劳动的四重规定: 劳动者与劳动产品的异化、劳动者与劳动活动的异化、劳动者与类本质的异化、人与人的异化<sup>[5]</sup>。用这一理论审视 “黑灯工厂”, 可以发现一个悖论式的现象:

表面上, 机器人替代了工人的体力劳动, 工人似乎从 “苦役” 中解脱出来。但实际上, 工人与劳动过程的联系被彻底切断——他们不再参与产品的创造, 不再需要运用自己的技能与判断, 仅作为系统的 “看管者” 而存在。劳动不再是个人的自我实现, 而沦为一种外在的、被迫的活动。正如有学者所指出的, 工人的技能在 “黑灯工厂” 中不是被提升, 而是被 “掏空”——他们从 “工匠” 变成了 “按键工”, 甚至从 “按键工” 变成了 “失业者”<sup>[6]</sup>。

这一分析提示我们: “人的解放” 不等于 “人的退出”。真正的解放, 不是让劳动者从劳动过程中消失, 而是让劳动者在劳动中实现自己的本质力量——运用智慧、技能与创造力, 从事有意义的生产活动。因此, 当我们思考工程建设能否走向 “无人工地” 时, 必须超越 “技术能否实现” 这一工具性追问, 进入 “技术应该导向何种社会关系” 这一价值性追问。

## 2 工程建设对制造业经验的 “可迁移” 与 “不可迁移”

工程建设能否学习制造业的智能化经验? 答案是肯定的, 但前提是要明确 “学什么” 与 “不学什么”。以下从可迁移与不可迁移两个维度进行分析。

### 2.1 可迁移之处: 精益建造、预制化与数字孪生

第一, 精益思想的迁移。制造业的精益生产理念已经被证明可以有效应用于工程建设领域, 形成了 “精益建造” 的理论与方法体系。精益建造强调减少浪费、优化流程、提高价值, 这与制造业的精益思想一脉相承。

第二, 预制化与装配式建造模式。制造业的 “工厂预制 + 现场装配” 模式, 已经催生了装配式建筑的快速发展。将建筑构件在工厂中标准化生产, 然后运至现场进行装配式安装, 可以大幅缩短工期、减少现场湿作业、降低环境影响。中建科工的发展战略明确提出 “像造汽车一样造房子”, 其钢结构智能生产线已经实现了从原材下料到成品发运的全过程智能化管理<sup>[7]</sup>。

第三, 数字孪生与虚拟建造。制造业的产品生命周期管理与数字孪生技术, 可以被迁移到工程建设领域, 形成以 BIM 为核心的 “数字建筑平台”。通过 BIM 建立建筑物

的三维数字模型，可以在虚拟环境中进行施工过程模拟、碰撞检查、进度优化，从而在实体建造之前发现并解决问题。广联达提出的“数字建筑平台”概念，正是试图将制造业的数字化方法论引入建筑业，实现“数字生产线驱动物理生产线”的协同作业<sup>[7]</sup>。

## 2.2 不可迁移之处：自然对象、环境条件与社会系统的差异

然而，工程建设与制造业存在本质性差异，这些差异决定了“无人工地”难以简单复制“黑灯工厂”的经验。

第一，自然对象的差异。制造业加工的是标准化的人造材料，而工程建设面对的是自然地基，每一块土地的土质、水文、地质结构都是独特的、不可重复的。即使在同一工地上，不同位置的岩土条件也可能存在显著差异。这意味着建筑机器人无法像工厂机器人那样“刻板重复”相同的动作，而必须根据现场条件实时调整作业参数。正如恩格斯在《自然辩证法》中所言，我们不能像“征服者统治异族人那样”统治自然——技术必须尊重自然的复杂性与不确定性<sup>[8]</sup>。

第二，环境条件的非结构性。“黑灯工厂”的运行依赖于高度受控的环境，而建筑工地恰恰相反，它暴露在露天环境中，面临风雨、温差、扬尘、光照变化等不可控因素的持续干扰。建筑工地的地面不平整、空间狭小、障碍物密集，机器人的定位、导航与避障面临巨大挑战。正如张宇婷指出的，建筑机器人的环境感知与定位技术仍是制约其自主化水平提升的关键瓶颈——SLAM 算法依赖于环境特征的稳定性，而工地的布局和结构随着施工进度不断变化，给机器人的实时定位带来极大困难<sup>[9]</sup>。

第三，社会系统的复杂性。工程建设不是单纯的技术活动，而是嵌入在复杂社会关系中的生产活动。一个工程项目涉及业主、设计院、总包单位、分包单位、劳务公司、材料供应商、监理单位等数十个参与方，各方之间存在合同关系、利益博弈与信息不对称。完全“无人化”的工地意味着摧毁现有的劳务生态。正如杨天举指出的，建筑业的根本矛盾在于“行业属性”与“产业属性”的失衡——行业属性强调定制化空间服务，产业属性要求标准化规模化生产<sup>[10]</sup>。这种内在张力决定了工程建设不能简单照搬制造业的“标准化+规模化”逻辑。

## 2.3 制造业与建造业的本质差异：从“重复生产”到“独特项目”

从哲学层面看，制造业与建造业最根本的差异在于：制造业是“重复生产”，而建造业是“独特项目”。

制造业的生产对象是同质化的批量产品。生产流程被反复执行，每一次迭代都可以优化、改进。这种“重复性”使得制造业可以采用“试错-学习-优化”的循环，逐步提升自动化水平。

而工程建设的每一个项目都是独特的。即使是相同户型的两栋住宅楼，由于地基条件、施工季节、材料批次的不同，实际建造过程也会存在差异。这种“独特性”意味着工程建设难以形成像制造业那样的“标准化作业程序”，建筑机器人必须具备高度的自适应能力，而这恰恰是当前技术水平的短板。

有学者将这一差异概括为：制造业是“生产产品”，建造业是“生产现场”。制造业可以在工厂中不断优化生产线，而建造业的“生产线”就是工地本身，每一次都要重新搭建、重新调试、重新磨合。这一本质差异，决定了“无人工地”的实现难度远高于“黑灯工厂”。

## 3 “人的解放”是神话还是可能？——对“无人工地”的辩证分析

### 3.1 马克思“人的解放”思想的再解读

在讨论“无人工地”能否实现“人的解放”之前，有必要回到马克思的原著，重新理解“解放”的内涵。

在《1844 年经济学哲学手稿》中，马克思指出：劳动是人的“类本质”，人通过劳动改造自然、创造对象世界，在劳动中确证自己的本质力量。劳动不是一种“被迫的苦役”，而是人的“自由自觉的活动”。异化劳动之所以是“异化”的，不是因为劳动本身让人疲惫，而是因为劳动者丧失了对自己劳动的控制权，劳动成为一种外在的、强制的、不属于自己的活动<sup>[11]</sup>。

由此可以推论：真正的“人的解放”不是让劳动者退出劳动过程，而是让劳动者重新成为劳动的主人，运用自己的智慧、技能与判断力，从事有意义的、创造性的生产活动。解放的目标，不是“不劳动”，而是“自由地劳动”。

这一判断可以用于分析“无人工地”。如果工地只是用机器取代工人的体力劳动，却没有同时给出技能升级和承担复杂工作的机会，那么所谓解放就停留在表面，劳动者原先受机器支配，之后则可能被排除在生产过程之外。

### 3.2 建筑机器人应用的实证观察：替代还是赋能？

目前，建筑机器人已经在一些工序中投入使用，但“替代”还是“赋能”仍有争论。

美国 SAM 砌砖机器人能自动铺砂浆、砌砖，效率约为人工的 3—5 倍。不过，它并不能独立完成全部工作，仍

需工人清理砂浆、处理边角和修正偏差。从实际效果看，工人从砌砖工变成机器人助手，技能要求、工资和职业认同都下降了<sup>[9]</sup>。这一过程没有带来技能提升，反而造成去技能化。

中建科工的钢结构智能生产线把下料、焊接等环节连成自动化流程，节省人工 70%。但这 70% 并不等于 70% 的工人失业，其中一部分经过培训转为机器人操作员、维护工程师或路径规划师。剩下 30% 的岗位仍然保留，而且对技能要求更高。这种安排更接近赋能。

凤桐花园项目使用测量机器人，借助 AI 算法检测墙面平整度和垂直度，数据实时上传云端。测量工人的岗位没有被取消，工作内容从带着靠尺在现场来回测量，转为数据分析、质量预判和问题溯源。段瀚等人提到，建筑机器人应用还产生了机器人运维师、数据分析师等岗位，占 28%<sup>[12]</sup>。

这几个案例放在一起看，建筑机器人会带来什么结果，与技术本身关系不大，更取决于它被怎样使用。若按替代逻辑使用，可能带来失业和技能退化；若按赋能逻辑使用，则可能促进技能升级和岗位转型。所以，问题不在于是否使用机器人，而在于如何安排人与机器的分工。

### 3.3 技术性失业与技能重构

从更大范围看，建筑机器人普及后，技术性失业可能难以避免。以往经验也显示，技术革命会消灭一批岗位，同时创造另一批岗位。真正棘手的是转换过程：旧岗位消失后，工人能否顺利转到新岗位，培训能不能跟上。

建筑行业目前就有这个短板。智能建造需要跨行业知识，但现有人才大多只熟悉单一专业，复合型人才很少<sup>[13]</sup>。因此，即使机器人带来新岗位，原有建筑工人也很难靠短期培训胜任。

技能重构需要时间，教育体系调整又慢于技术变化。恩格斯说过：“不要过分陶醉于我们对自然界的胜利，对于每一次这样的胜利，自然界都报复了我们。”<sup>[14]</sup> 技术提高了生产力，也会改变社会结构。“创造性破坏”会带来短期就业压力，如果缺少应对，就可能变成社会问题。

所以，讨论建筑机器人时，效率和安全是一个方面，就业和技能差距是另一个方面。推动技术应用的同时，培训体系和社会保障网也要跟上。目标应是让技术支撑人，而不是把人挤出去。

## 4 工程建设借鉴制造业经验的路径

从以上分析看，工程建设借鉴制造业智能化经验，既不能照搬，也不能闭门造车。下面讨论三条路径。

### 4.1 避免技术乌托邦与技术恐惧

围绕“无人工地”，有两种极端看法。一种可称为技术乌托邦，认为无人工地很快会实现，工人将被彻底替代。这种看法低估了工程建设的技术难度和社会复杂性，也没有认真对待建筑工人的权利和发展需求。把“解放”直接等同于“替代”，仍是技术决定论。另一种是技术恐惧或保守主义，认为建筑机器人做不成，传统人工施工无法替代，因此拒绝技术变革。这种看法忽略了建筑行业工人老龄化、用工荒和安全事故频发等现实。比较稳妥的态度，是同时看到技术潜力和它的限度。

### 4.2 “适度自动化 + 人机协同”的管理思路

工程建设借鉴制造业经验，可以走“适度自动化 + 人机协同”的路子。第一，适度自动化。自动化有边界，不是所有工序和项目都适合上机器人。可以优先考虑三类场景：（1）“3D 工作”，也就是脏、险的工序；（2）重复性高、精度要求高的工序；（3）劳动力短缺严重的地区和工序。至于需要现场判断、灵活应对和人际协调的工序，仍应保留人工。第二，人机协同。要建立人机协作体系。建筑业的人机协作大致有四种模式：操作员控制、指挥员执行、协作者互助、人体增强。它们各有适用场景，智慧工地一般不会只采用一种模式。第三，管理角色转变。建筑机器人进入现场后，项目经理不能只监督工人，还要协调人机系统，负责任务分配、流程优化、异常决策和技能培训。这对管理者的工程、技术和管理能力都提出了更高要求。

### 4.3 恩格斯自然观对工程建设的启示

恩格斯的自然辩证法强调，人是自然的一部分，技术活动要遵循自然规律。工程建设与工厂制造不同，它直接作用于自然，会改变地形地貌、扰动地质结构、影响水文循环。无人化方案必须考虑地基承载力、边坡稳定性、地下水分布和气候影响，这些条件不是技术可以随意绕开的约束。

工程建设还受社会条件约束。建筑工人就业、分包企业生存、城乡劳动力流动等，构成工程建设的“社会自然”，技术变革不能不考虑这些条件。建筑业高质量发展，需要把数字技术与产业规律、社会条件结合起来：既要发挥数字技术的赋能作用，也要尊重建筑业的产业规律和社会属性。

## 5 结语

本文从自然辩证法视角，讨论制造业“黑灯工厂”经验能否以及如何迁移到工程建设行业。研究得到以下认识：

第一，制造业“黑灯工厂”依赖加工对象标准化、生产环境受控和作业流程可分解。对其中的技术决定论倾向，需要保持警惕。技术并不自主、自驱动，它融入在社会关系之中。

第二，工程建设可以从制造业学习精益建造理念、预制化生产模式与数字孪生方法，但由于建筑产品的独特性、施工环境的非结构性与社会系统的复杂性，完全照搬“无人化”模式既不现实也不可取。

第三，“人的解放”不等于“人的退出”。真正的解放不是将工人排除在工地之外，而是通过人机协同、技术－社会协同，使工人从重复性、危险性劳动中解放出来，转向更高阶的创造与管理。建筑机器人的社会后果取决于技术的社会应用方式——在“替代逻辑”下导致失业与去技能化，在“赋能逻辑”下推动技能升级与岗位转型。

第四，工程建设学习制造业的合理路径是“适度自动化＋人机协同”，既要反对技术乌托邦的盲目乐观，也要反对技术恐惧的消极保守。未来的“智慧工地”将是“人机共舞”的场所，而非“机器独舞”的舞台。

展望未来，随着建筑机器人技术的不断成熟与产业生态的逐步完善，工程建设行业必将迎来深刻的变革。但变革的方向不应是“无人工地”的技术乌托邦，而应是“以人为本”的技术－社会协同进化。正如恩格斯所言：“自由不在于幻想中摆脱自然规律而独立，而在于认识这些规律，从而能够有计划地使自然规律为一定的目的服务”<sup>[4]</sup>。同样，工程管理的自由不在于幻想摆脱工人而独立，而在于认识技术与社会的辩证规律，从而能够使技术真正服务于人的解放与全面发展。

#### 参考文献：

[1] 戴立先. “钢结构＋”智能建造的探索与实践[J]. 施

工企业管理, 2023(10):95-96.

[2] 新型建筑工业化引领建筑业高质量发展的思考与探索[J]. 施工企业管理, 2024(04):106-109.

[3] 段瀚, 张峰, 陈高虹等. 建筑机器人驱动下的智能建造实践与发展[J]. 建筑经济, 2022,43(11):5-12.

[4] 马克思. 资本论（第1卷）[M]. 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局, 译. 北京：人民出版社, 2018.

[5] 马克思. 1844年经济学哲学手稿[M]. 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局, 译. 北京：人民出版社, 2018.

[6] 吴言杰, 朱旭峰, 向少杰. 建筑机器人重塑施工企业未来竞争力[J]. 施工企业管理, 2025(11):26-28.

[7] 李晓军. 跨越智能建造与智能制造的鸿沟[J]. 中国建设信息化, 2020(20):34-36.

[8] 恩格斯. 自然辩证法[M]. 马克思恩格斯选集（第4卷）. 北京：人民出版社, 2012.

[9] 张宇婷, 崔晗, 陈嘉宇. 建筑业人机协作研究综述[J]. 土木与环境工程学报（中英文）, 2025,47(05):23-37.

[10] 杨天举. 产业思维数据驱动——建筑业高质量发展创新路径探析[J]. 中国勘察设计, 2026(01):75-78.

[11] 马克思. 1844年经济学哲学手稿[M]. 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局, 译. 北京：人民出版社, 2018.

[12] 段瀚, 宣勇, 曾思博. 以建筑机器人为新质生产力的工程价值链建构研究[J]. 建筑经济, 2026,47(04):16-25.

[13] 王美华. 加强跨行业协作推动智能建造高质量落地[J]. 施工企业管理, 2022(04):50.

[14] 恩格斯. 反杜林论[M]. 马克思恩格斯选集（第3卷）. 北京：人民出版社, 2012.