



21 世纪的水泥工厂：绿色互联



本文由刘寅、唐红科、侯文皓、王嘉骏、Eleftherios Charalambous、Thomas Czigler、Sebastian Reiter 和 Patrick Schulze 合作撰写，代表麦肯锡化学品及农业事业部观点。

当下正是水泥价值链的核心——水泥工厂建立韧性的关键时期。2020年，水泥行业深受新冠疫情影响，全球需求下降了约 7%-8%——但各地区所受影响不尽相同【1】。在疫后复苏较好的中国，水泥行业也面临着限产和减排的压力。尽管工厂只是水泥价值链上的一个环节，但在引导行业应对颠覆性趋势、推动企业取得未来成功方面却是至关重要。

前方的道路非常清晰：拥抱数字化和可持续发展。将这两个趋势置于未来规划的首位，关键在于要一边建立高效的数字化工作新模式，一边提升水泥企业面对颠覆时的韧性。

未来水泥工厂的运营模式将与现在迥然不同。在本文中，我们将描绘有韧性、敏捷、绿色、高效的未来工厂愿景，探讨其商业价值，以及高层在确立发展路线时应考量的战略要素。

未来的水泥工厂将通过优化能效、配方和产能来降低运营成本，提升资产价值，借助更具针对性的有效维护延长设备的运行周期。每家工厂的环境足迹都降至最低，以确保在其运营的地区都能获得经营许可。工厂根据实时客户数据动态调整生产和物流，以满足客户所需。无附加值的工作实现自动化，员工可以将工作热情倾注于增值活动中。各层级管理者远程即可获取实时信息，以更好地制定决策。

未来已来。我们的分析显示，数字化和可持续抓手将是水泥工厂大幅提高产能和效率的关键举措（表 1）。它们可以将每吨水泥的利润提升 3-6 美元【2】，让工厂的成本曲线升至同等技术装备工厂中排名前 25% 的水平。（详见“今天的水泥工厂”）

表 1:

同时应用数字化和可持续抓手能够将每吨水泥的利润提升**3-6美元**¹

每吨水泥的潜在降本，%

增值类别/抓手	先进分析 ²	过程数字化	自动化和机器人	传统抓手 ³	创新 ⁴	总计
碳排放 ⁵						
物效、能效、产量	6-12%			2-6%		8-18%
原材料	1-3%					1-3%
MRO ⁶	5-8%	~5%	1-5%			11-18%
人效		10-15%	10-15%			20-30%

资本支出

5万 美元
1亿 美元

1. 假设平均制造成本为每吨水泥35-40美元；不考虑创新设备对减排的影响
 2. 包括资产优化和可靠性
 3. 包括燃料配给优化、能源效率和熟料替代
 4. 包括碳捕获、利用和封存，太阳能发电，物流和移动设备电气化及微藻培育等
 5. 目前，免费的碳分配对水泥玩家已经足够，因此没有直接与碳减排相关的成本，但未来这一情况可能改变
 6. 维护、修复和检修

资料来源：麦肯锡分析

实现转型所需的资金数额取决于所采取的举措。例如，为回转窑设置先进分析试点【3】需要专家工作 2-3 个月，以收集并分析历史数据，建模和训练系统；投资替代燃料装置需要高达数百万乃至上千万美元的资金，

以及长达一年的试运行时间；更为激进创新的方案则需要更多的资金和时间。除此之外，业内常见的卓越运营或合规性要求，以及其他一些规定也都需要资金投入。

今天的水泥工厂

在想象未来的水泥工厂时，首先需要了解今天典型的水泥工厂。我们参考的工厂使用六级预热器-预分解炉，包括辊压式生料磨和两个水泥磨，年产熟料 200 万吨，能够生产多种类型的产品。工厂设备的平均利用率为 90%，最多可以用 15% 的替代燃料。

近期，工厂使用先进流程控制工具来管理回转窑、生料及水泥磨。工厂设有中控室全面监督运营，作业员每天集中检视数字屏上的班次结果。设备部门将每日检查日志记录到可靠性管理工具中，确保下次设备检查时点检员能够了解情况。在这样一家工厂，每吨水泥的成本在 35-40 美元之间。

和其他行业相比，水泥行业尚处于全面数字化转型的初级阶段。在 54 家被认为是“灯塔”（即应用工业 4.0 技术的领先者）的制造工厂中，没有一家是水泥工厂（详见“制造 4.0：世界经济论坛定义的灯塔工厂”）。然而，监管趋严、需求降低，以及建筑生态系统发生的广泛变化，使得水泥行业迫切需要应用工业 4.0 技术以确保竞争力。

在未来的水泥工厂中，价值（而不见得是产量）至关重要。基于数据

实时进行决策将是常态，工厂会通过持续的调整适应生态系统的变化。产品组合增至现有规模的 5-10 倍，通过动态的约束条件和目标寻优来管理运营，并同步调整相应的生产参数。数字孪生（Digital twins）模拟并优化了外部变化对运营的整体影响，将从燃烧等复杂工艺到维护等更结构化的活动都囊括在内。

必须留在工作现场的员工进一步减少，互动式线上仪表盘让管理者可以通过远程合作解决问题，他们能够根据全面的信息与团队一起快速决策。设备工程师会被及时告知设备故障或即时维护工单，并在增强现实的帮助下，按照操作指南一步步进行修复。

强大的技术基础将推动水泥价值链全面整合，包括不同职能之间的融合。先进分析算法改善了物耗、产量、质量、能效以及熟料掺加量【4】。通过对设备综合利用率（OEE）损失的自动追踪以及先进分析赋能软件，可以定制设备管理策略，提升设备可靠性并延长使用寿命（表 2）。

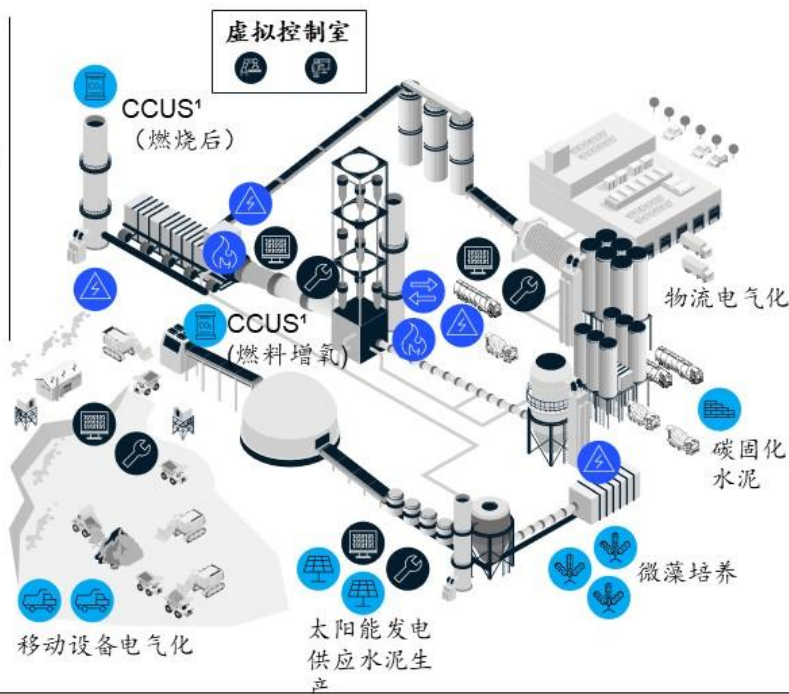
表 2:

未来水泥工厂将融合经过验证的最新数字化和可持续技术及做法

水泥厂综合的数字孪生赋能端到端的控制和运营优化

数字化抓手

- 数字化资产优化
- 数字化操作员和技师旅程
- 数字资产可靠性
- 端到端流程自动化



传统抓手

- 能效
- 熟料替代
- 替代燃料

创新抓手

- 新技术：碳捕集、利用与封存¹，电气化、太阳能等
- 替代性建筑材料

1. 碳捕集、利用与封存

资料来源：麦肯锡分析

制造 4.0：世界经济论坛定义的灯塔工厂

自 2018 年起，世界经济论坛与麦肯锡合作研究先进的制造领军企业（或称“灯塔”）不同于业内其他企业的特质。世界经济论坛将“灯塔”定义为有能力应用第四次工业革命（工业 4.0）技术，通过工厂、价值链和业务模式的转型来实现财务和运营影响的制造企业。灯塔的概念并不局限于工厂本身，也代表了各种工厂模式的可复制性以及价值链整合程度。

截至 2020 年 9 月，世界经济论坛灯塔网络囊括了工业 4.0 中的 54 家领先工厂。新的端到端灯塔利用数字互联来推广工厂内的数字化运营，同

时为价值链中的各职能消除阻碍。此外，端到端灯塔也持续推动技术扩展边界，超越工厂属性，迅速提升效益并重塑客户旅程¹。

注释：

1. Kate Whiting, 《这十座新的“灯塔”工厂展示了制造业的未来方向》，世界经济论坛，2020年9月17日，weforum.org

2017年，水泥生产为全球贡献了7%的二氧化碳排放量。持续收紧的排放标准，以及社会和政府共同脱碳目标都将对行业产生重大影响，可能会颠覆整体价值链。水泥制造商需要重新审视其产品、投资组合及合作伙伴，并努力实现碳中和。

根据我们的分析，到2050年，水泥行业的碳排放量将较2017年减少75%。其中，约20%来自运营进步，如能效提升和熟料替代；另10%来自替代燃料——然而，各地区替代燃料的可得性不同，钢铁、电力等相关行业在脱碳方面的进展情况也有所不同。天然火山灰、工业副产品【5】等熟料替代品也面临类似情况。

预览已结束，完整报告链接和二维码如下：

https://www.yunbaogao.cn/report/index/report?reportId=1_33987

