

新能源储能在盾构机的应用前瞻

侯志德

中国铁建投资集团有限公司 北京 100855

摘要: 随着全球“双碳”目标的快速推进,新能源储能技术在工程机械领域的应用将逐步成为推动绿色施工的关键之一。本文聚焦盾构机这一地下工程核心装备,系统分析新能源储能在其供电系统优化、能效提升及安全施工中的应用前景。结合2025年储能技术趋势与盾构机行业动态,提出混合动力、智能管理、微电网集成等创新方向,并探讨固态电池、氢能等前沿技术的应用前景。通过案例分析与技术经济性评估,为盾构机低碳化转型提供研究方向。

关键词: 新能源储能; 盾构机; 电力供电

1 引言

盾构机作为隧道工程的核心设备,目前供电主要是城市电网长输供电,应急发电则依赖柴油发电机,存在高能耗、碳排放高及应急能力不足等问题。新能源储能技术(如锂离子电池、液流电池、氢燃料电池)凭借高能量密度、快速响应和环境友好性,成为革新盾构机供电模式的关键方向。2025年中国储能行业进入“高质量规模化”阶段,技术迭代加速,政策体系完善,为盾构机绿色转型注入新动能。

2 新能源储能技术概述

2.1 新能源储能技术的基本原理

新能源储能技术是将可再生能源如太阳能、风能等间歇性产生的电能或其他形式的能量储存起来,以供在需要时释放使用。这一技术通过物理、化学或电磁过程将能量转换为可存储的形态,例如将电能转化为化学能(如锂离子电池)、机械能(如压缩空气储能)或电磁能(如超级电容器)。在需要能量时,再将这些存储的能量转换回电能或其他所需形式,从而确保能源的连续供应和高效利用^[1]。

2.2 新能源储能技术的种类及特点

(1) 锂离子电池储能。锂离子电池是目前应用最广泛的新能源储能技术。其原理是在充电过程中,正极释放锂离子,经电解液传递到负极并嵌入其中;放电时,负极中的锂离子又通过电解液回到正极。锂离子电池具有高能量密度、长寿命和低自放电率等优点,广泛应用于电动汽车、移动设备及电网储能等领域。(2) 超级电容器储能。超级电容器利用电极表面形成的双电层或法拉第赝电容来储存电荷。它具有极快的充放电速度、

高功率密度和长循环寿命等特点,特别适用于需要快速响应和高功率输出的场合,如电力系统的调峰和调频。

(3) 压缩空气储能。压缩空气储能是一种大容量、长寿命的物理储能技术。它利用非用电高峰时段的过剩电力驱动压缩机,将空气压缩并储存于地下洞穴或大型储罐中。在电力需求高峰时,释放压缩空气推动透平发电机发电。该技术具有环保、选址灵活和寿命长等优点,适用于电力调峰和大规模可再生能源并网^[2]。

2.3 新能源储能技术在工业领域的应用现状

新能源储能技术在工业领域的应用日益广泛。在电动汽车领域,锂离子电池已成为主流储能技术,推动了电动汽车续航能力的显著提升。在电网领域,新能源储能技术被用于电网调峰、调频和应急备用,增强了电力系统的稳定性和可靠性。此外,随着可再生能源的快速发展,新能源储能技术还被广泛应用于风电、光伏等新能源发电系统,以实现能源的存储和平衡。如图1:



图1 储能电站示范工程

3 盾构机的基本工作原理

盾构机是一种先进的隧道掘进设备,广泛应用于地铁、水利、矿山等工程领域。其基本工作原理可以概括为:一个圆柱体的钢组件(即护盾)沿隧道轴线边向前推进边对土壤进行挖掘。护盾在挖掘过程中起着临时支

作者简介: 侯志德(1989年11月),男,汉族,湖北武汉,本科,中国铁建投资集团有限公司,职员,高级工程师,研究方向:轨道交通机电设备系统建设管理。

撑隧洞段的作用，承受周围土层的压力，有时还需承受地下水压并将地下水挡在外面。挖掘、排土、衬砌等作业均在护盾的掩护下进行，确保施工过程的安全和效率。在推进过程中，盾构机通常配备有切削系统、液压系统、推进系统等关键部件。切削系统通过旋转刀盘或切削头

对土壤进行破碎，液压系统提供动力支持盾构机的推进和转向，而推进系统则负责驱动盾构机沿隧洞轴线前进。此外，盾构机还配备了精密的控制系统，用于实时监测和调整施工参数，确保挖掘过程的精准和稳定^[3]。如图2：

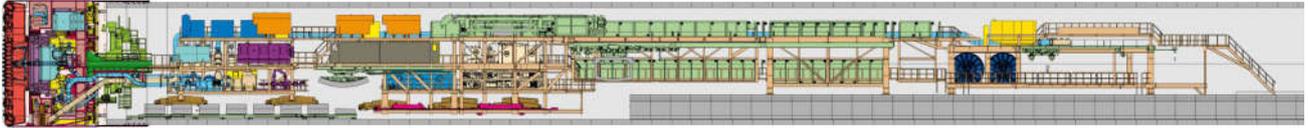


图2 盾构机整体结构图

4 新能源储能在盾构机中的应用现状

4.1 应急电源与能量回收

超级电容器和锂电池组在盾构机突发断电时实现毫秒级切换供电。此外，刀盘制动能量回收技术通过飞轮储能或超级电容器捕获短时高功率能量，效率可达85%以上。例如，某专利技术利用盾构机刀盘旋转动能驱动内置发电机，实现自供电并支持刀具磨损监测系统的长期运行。

4.2 分布式储能与微电网

偏远地区隧道工程中，盾构机可依托“光伏/风电+储能”微电网实现离网供电。内蒙古鄂尔多斯300MW级压缩空气储能项目已验证多场景协同的可行性，系统效率提升至65%，为盾构机供电模式提供参考。

4.3 直接供电应用案例

某城市地铁建设项目中，盾构机采用了新能源储能系统进行供电。该项目地质条件复杂，施工环境恶劣，对盾构机的供电和掘进效率提出了极高要求。在该项目中，选择了高性能的锂离子电池储能系统作为主要供电设备，并辅以超级电容器储能系统以提高瞬时响应能力。储能系统通过智能控制系统进行实时监测和调整，确保盾构机在不同工况下都能获得稳定可靠的电能供应。

经过实际应用和评估，新能源储能系统在盾构机施工中取得了显著效果。首先，工作效率得到了显著提高。由于储能系统能够平滑地提供电能，减少了电压波动和电流冲击，盾构机的掘进效率提高了约20%。同时，能耗也降低了约15%，为项目节约了大量能源成本。其次，环保性能得到了显著提升。新能源储能系统采用清洁的电能作为能源，显著降低了盾构机的排放水平。在施工过程中，未检测到有害气体和颗粒物的排放，符合环保要求，为城市地铁建设项目的绿色发展做出了贡献。此外，盾构机的可靠性和稳定性也得到了显著提高。在地质条件复杂、施工环境恶劣的情况下，储能系统通过智能控制和能量分配，确保了盾构机的持续稳定

运行。未出现因电力故障或电网波动导致的停机情况，提高了施工效率和质量^[4]。

5 未来应用前瞻

5.1 全固态电池驱动的绿色盾构机

固态电池因高安全性（耐高温至200℃）和长循环寿命（超15000次）成为下一代储能技术核心。清陶能源计划2025年投产10GWh固态电池产线，其能量密度达430Wh/L，适配盾构机极端工况需求。预计2030年，固态电池在工程机械领域渗透率将进一步突破。

5.2 氢能-电池混合系统

氢燃料电池（零排放、续航长）与锂电池的混合系统可满足盾构机高强度作业需求。日本小松集团已推出氢能挖掘机原型，欧洲通过“氢能战略”推动工程机械脱碳，未来技术成熟后有望扩展至盾构机领域。

5.3 智能能量管理平台

基于数字孪生与物联网的智能系统可实时优化储能充放电策略。例如，中铁十二局在太原地铁项目中部署AI运维平台，结合盾构机运行数据预测能耗峰值，动态调节储能输出，整体能效提升约12%。

5.4 长时储能技术集成

液流电池（如全钒液流电池）和压缩空气储能（300MW级项目落地）可支持盾构机连续作业。2025年，4小时全钒液流电池系统成本有望降至2元/Wh，经济性显著提升，适用于新能源大基地配套的盾构工程。

6 技术挑战与对策

6.1 成本与寿命问题

当前锂电池储能系统成本约0.25-0.35元/kWh，但盾构机恶劣工况导致电池寿命衰减加速。需通过材料创新（如硅基负极）和热管理优化延长寿命，同时推动钠离子电池的工程化应用。

6.2 安全性与标准化

锂电池热失控风险仍需防范。对策包括研发耐冲击封装技术（如远景能源的8MWh系统三级消防设计）和AI

实时监测（故障预警提前30分钟）。此外，行业需制定储能-盾构机适配标准，推动设备兼容性认证。

6.3 政策与市场机制

各省“十五五”能源规划需明确储能配比要求（如三北地区配储15%~20%×4h），并通过容量电价（50-100元/kW·年）和碳积分交易（1MWh折算0.5吨CO₂减排）激励企业投资。

7 结论与展望

新能源储能技术将推动盾构机从“中低碳耗能”向“零碳智能”转型。未来，固态电池、氢能等技术的突破，结合智能微电网和长时储能，可实现盾构机全生命周期减排效果。政策层面需强化产业链协同（如宁德

时代、比亚迪等龙头企业的技术输出），加速技术产业化。通过“技术-政策-市场”三重驱动，新能源储能有望在未来不久引领盾构机领域绿色革命。

参考文献

[1]陈琦.新能源电池在盾构机上的几种应用.通信电源技术,2023年第6期.

[2]陈少林,孙恒,杨钊,黎继雄,李贤贵,罗利平,黄新森,杨云,张红伟,李杰华.盾构机土仓内发电充电储能装置与方法与流程.专利公开号CN116231960A.

[3]国网能源研究院《新型储能发展分析报告2024》

[4]芯流新能源：2025储能行业八大预测