

绿色施工背景下空分装置机电配管优化策略

段雪莲 温慧玲

黑龙江龙维化学工程设计有限公司杭州分公司 浙江 杭州 310000

【摘要】：空分装置机电配管施工环节的降耗降碳是工业项目绿色施工推进的重点领域。当前配管施工普遍存在材料全生命周期损耗管控覆盖不全、管线空间布局与装置运行需求适配性不足的问题。相关优化需先锚定绿色施工指标与配管作业的对应关系，严守空分装置运行安全底线，匹配现有施工技术的落地门槛，最终从材料选控、管线布局、全流程管控三个层面形成可落地的执行方案。

【关键词】：空分装置；机电配管；绿色施工；配管优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.041

引言

工业领域绿色施工标准的持续完善，对石化、空分等高危高能耗装置的机电安装环节提出了更精细的降耗降碳要求。空分装置作为工业气体供应的核心基础设施，其机电配管的施工质量、资源消耗水平不仅直接影响项目建设阶段的成本与能耗，还关系到装置投用后的长期运行效率与碳排放水平，是绿色施工要求落地的关键管控节点。现有配管施工模式多侧重安全与功能达标，对全生命周期的降耗、降碳考量不足，难以契合当前绿色施工的管控要求。针对这一现状，围绕空分装置机电配管的现存问题开展适配性分析，提出可落地的优化策略，可为同类项目的绿色施工落地提供实操层面的参考。

1 绿色施工背景下空分装置机电配管现存问题

1.1 材料全生命周期损耗管控存在短板

本次调研国内3个已投用空分装置的配管施工台账，统计管材、保温材料以及连接件等各类物资的损耗率，对比绿色施工降耗10%的基准要求，梳理出采选标准不匹配、余料回收不到位等核心问题。采选阶段没有把绿色施工降耗要求纳入物资评价的核心指标，选用的材料规格冗余度偏高，下料阶段产生的余料大多无法匹配后续小尺寸构件的加工需求。施工环节没有开展余料分类归集的管理工作，零散的小规格管材、边角保温材料大多直接当作施工垃圾处理，也没有建立余料跨工序调拨的流转机制，不同施工班组的剩余物资难以实现互通调配。目前的损耗管控覆盖环节仅涉及采买以及现场领用，没有延伸到下料加工、余料复用、报废处置的全流程，管控体系存在明显的覆盖盲区，最终测算下来整体材料损耗率比绿色施工基准要求高出7%至9%。

1.2 管线空间布局适配性不足

当前配管布局中普遍存在交叉作业多、管线绕行距离长的问题，前期规划阶段没有结合空分装置的设备排布特性进行管线走向的统筹设计，不同系统的管线设计各自独立，没有开展跨系统的走线协同工作，导致现场施工阶段不同工种的交叉作业频次明显增加，额外产生的施工能耗占配管施工总能耗的

12%左右。同时管线绕行的长度超出最优走线方案的15%至20%，不仅加大了管材的消耗量，还提升了管线运行阶段的冷量、热量损耗，额外产生的碳排放占配管全生命周期碳排放的8%左右。布局不合理的问题直接影响绿色施工的资源节约、碳排放控制等核心指标的达成，也会给后续装置运行阶段的节能降耗工作带来额外的阻力，难以契合绿色施工对施工全流程以及装置运行全周期的降耗要求。

2 绿色施工背景下空分装置机电配管优化适配性分析

2.1 绿色施工指标与配管要求的匹配逻辑

把《绿色施工导则》中涉及节材、节能以及降碳的通用指标开展逐项梳理工作，针对配管作业的全流程，把宏观层面的管控要求拆解为选材、布局以及施工三个核心环节的具体执行标准，明确各个环节需要满足的量化阈值。节材维度要划定材料整体损耗率、余料回收率的管控区间，节能维度要明确施工阶段临时能耗、运行阶段介质输送能耗的压降要求，降碳维度要确定配管从生产到报废全生命周期的碳排放控制基准。同时搭建指标与配管作业的对应关联关系，把每一项绿色施工指标对应到配管作业的具体执行节点，比如选材环节对应材料可回收利用率指标，布局环节对应管线冗余度指标，施工环节对应余料分类归集率指标，确保后续所有优化动作都能契合政策导向，不会偏离绿色施工的核心要求，让所有配管环节的优化都有明确的指标作为校验依据。

2.2 空分装置运行特性对配管的约束条件

结合空分装置介质易燃易爆、低温高压的运行特性，明确配管优化过程中不能突破的安全以及性能底线，不能为了达成绿色降耗的指标牺牲装置运行的稳定性。针对介质易燃易爆的特性，配管的密封性必须满足相应的等级要求，选材环节不能为了降低损耗选用适配性不足的密封材料以及连接构件，管线走向也要避开热源以及易出现摩擦碰撞的区域。针对低温高压的特性，配管的耐压等级必须符合装置长期运行的参数要求，布局过程中不能为了缩短走线距离忽略管线的热胀冷缩预留

空间,也不能随意降低管材的壁厚规格来减少材料消耗量。所有优化动作都要先经过安全性能校验,把运行安全作为所有优化工作的前置条件,在完全满足运行约束的前提下开展降耗设计,避免给后续装置投产运行埋下安全隐患。

2.3 现有施工技术条件的可落地性评估

对当前国内机电安装领域常用的施工技术以及工具开展全面调研工作,重点评估预制装配以及建筑信息模型建模两类技术在空分装置配管施工中的适用场景、改造成本以及实施门槛。针对预制装配技术,评估其在标准化管材下料、构件预制环节的降耗效果,核算引入预制生产线的投入成本与降耗收益的差值,判断中小规模空分项目是否具备应用条件。针对建筑信息模型建模技术,评估其在管线碰撞检查、走向优化环节的实操效果,明确技术应用的人员能力要求以及软件投入成本,筛选出适配不同规模空分项目的技术工具,不要为了追求技术先进性引入超出项目承载能力的施工方案,同时要结合不同项目的施工团队能力、预算额度进行灵活调整,不要设置统一的技术应用标准,保证后续提出的所有优化策略都能够直接落地实施。

3 绿色施工背景下空分装置机电配管落地优化策略

前文针对绿色施工背景下空分装置机电配管的现存问题、优化适配逻辑开展了系统梳理,所有优化策略的提出均以绿色施工导则的相关要求为核心依据,同时严格遵循空分装置介质易燃易爆、低温高压的运行特性约束,充分考虑现有施工技术的落地门槛与适配场景,能够适配不同规模空分项目的配管施工需求,既不会突破装置运行的安全底线,也不会增加超出项目承载能力的成本投入。接下来从材料管控、布局设计、流程管控三个维度提出具体的可落地优化策略,切实解决当前配管施工中存在的材料损耗过高、布局适配性不足、管控覆盖有盲区等问题,助力绿色施工降耗目标的顺利达成。

3.1 低损耗材料选控体系构建

把绿色施工的节材要求纳入物资采选评价的核心维度,针对不同介质的管线明确选型优先级,低温介质管线优先选用壁厚冗余度适中、可回收利用率高度的管材,易燃易爆介质管线优先选用密封性能达标、适配性强的连接构件以及密封材料,避免过度追求高性能导致材料规格冗余问题。采选阶段还要同步梳理不同施工环节的材料需求清单,针对小尺寸构件加工的用料需求提前预留对应规格的材料,减少下料阶段产生的不可复用料。开展余料分类归集的管理工作,针对零散的小规格管材、边角保温材料按照材质、规格进行分类存放,同时建立余料跨工序调拨的流转机制,不同施工班组的剩余物资定期进行互通调配,把下料加工、余料复用、报废处置全流程纳入损耗管控范围,消除传统管控体系的覆盖盲区。针对不同规格的材料制定明确的领用标准,施工班组领用材料时要提前提交用

料规划,避免多领、错领导致材料浪费,同时针对余料复用率较高的班组给予对应的激励,充分调动施工人员主动参与余料回收的积极性。对于确实无法复用的报废材料,要按照环保要求开展分类处置工作,优先选择可回收的处置渠道,减少材料报废阶段的碳排放。《机电安装工程施工组织与管理》课程的配管施工实训模块,可加入材料损耗测算实训环节,实训过程中先给定不同类型空分装置的配管施工用料清单,引导参训的施工人员完成从采选评估、下料规划到余料归集的全流程操作,并且设置损耗率考核指标,让参训人员在实操过程中直观感受到不同选控方案对材料损耗率的影响,引导其建立降耗管控意识,在实际施工过程中主动落实材料选控的各项要求,从材料端降低配管全生命周期的不必要损耗。

3.2 低碳管线布局方案设计

基于空分装置的设备排布特性开展管线走向的统筹设计,打破不同系统管线独立设计的壁垒,开展跨系统的走线协同工作,尽可能减少管线绕行距离以及不同工种的交叉作业频次。布局过程中要在满足管线热胀冷缩预留空间、避开热源以及易摩擦碰撞区域的前提下,优先选用最短路径的走线方案,同时提前规避不同管线的碰撞问题,避免施工阶段临时调整走线导致的材料浪费以及能耗提升。借助建筑信息模型建模技术开展管线碰撞检测以及走向优化工作,把不同系统的管线模型纳入统一的建模空间,逐一排查管线交叉、碰撞的点位,并且针对问题点位同步给出调整方案,在设计阶段就完成布局的优化调整,减少现场施工的变更成本。布局调整过程中还要同步测算管线长度变化对运行阶段介质输送能耗的影响,在满足安全要求的前提下尽可能降低管线的整体长度,减少运行阶段的冷量、热量损耗,降低配管全生命周期的碳排放水平。跨系统协同设计过程中要组织不同专业的设计人员开展联合评审工作,确保调整后的管线布局能够满足各个系统的运行要求,避免出现局部优化影响整体运行性能的问题。《建筑信息模型(BIM)应用技术》课程的机电建模实训中,可加入空分装置配管优化专项训练,实训过程中先给定未经优化的空分装置初始配管模型以及装置运行的安全约束条件,引导参训的技术人员完成碰撞排查、路径调整、成效测算的全流程操作,并且设置管线冗余度、交叉作业频次两类考核指标,让参训人员在实操过程中掌握低碳布局的设计方法,在实际项目的规划阶段就能够主动落实降耗的布局要求,同时保障管线布局契合空分装置的运行安全要求,兼顾降耗目标与装置运行稳定性。

3.3 全流程施工管控机制优化

建立配管施工前方案碳排放预评估、施工中动态调整、施工后降耗成效复盘的全流程管控机制,明确各环节的责任主体以及考核标准。施工前要对配管的选材、布局以及施工方案的整体降耗成效开展预评估,把材料损耗率、施工能耗、全生命周期碳排放三类指标纳入评估核心维度,未达标的方案要及时

进行调整,从源头保障方案契合绿色施工的要求。施工过程中要安排专人开展损耗管控的动态巡检工作,针对余料归集不及时、施工操作不规范导致的材料浪费问题要马上进行纠正,同时根据现场施工的实际对现有方案进行灵活调整,进一步降低施工环节的损耗以及能耗。管控过程中还要明确各岗位的降耗责任,把降耗指标的达成情况纳入岗位考核的核心内容,针对未按要求落实管控举措的责任主体要给予对应的督促整改要求,保障各项管控举措能够落到实处。针对施工过程中探索出的可复制的降耗管控经验,要及时进行整理沉淀,在同类项目中推广应用,逐步扩大降耗举措的覆盖范围。施工结束后要针对本次配管施工的降耗成效开展复盘工作,梳理管控过程中存在的短板,并且把复盘结果纳入后续项目的管控参考依据,逐步优化管控体系的覆盖范围以及执行标准。《绿色施工管理》课程的案例教学模块,可引入空分装置配管施工的真实案例,教学过程中先还原项目的施工背景、现存问题以及管

控流程,引导参训的管理人员开展问题排查、管控方案设计、成效验证的全流程分析,并且设置管控流程合理性、降耗指标达成率两类考核指标,让参训的管理人员在案例分析过程中掌握全流程管控的具体方法,在实际项目管理过程中能够严格落实各环节的管控要求,保障绿色施工的降耗目标得以实现,同时逐步提升配管施工的整体管控水平。

4 结语

空分装置机电配管的绿色施工优化是兼顾建设环节降耗、运行阶段节能的系统性工作,所有优化举措的落地都要以保障装置运行安全为前提,不能为了追求降耗指标突破性能底线。相关管控逻辑可延伸至其他高危高能耗工业装置的机电安装领域,结合不同装置的运行特性调整优化方向,逐步完善工业机电安装领域的绿色施工标准体系,为全行业的降耗降碳目标落地提供坚实的实操支撑。

参考文献:

- [1] 丁虎,丁庆军,李朝,林皓望,张珍,左新军.绿色建造下的泵送混凝土全过程施工优化[J].混凝土,2025,(10):127-133.
- [2] 李开树.超高层建筑机电工程施工重难点分析与优化对策[J].中国建筑金属结构,2024,23(12):180-182.
- [3] 张宇航.浅析建筑机电系统节能优化设计要点[J].安装,2024,(S2):6-7.