

磷石膏及回水输送初步设计

闫 鹏 (中蓝长化工程有限公司, 湖南 长沙 410116)

摘要: 磷石膏及回水输送系统设计, 对提高磷石膏资源输送管理水平有促进作用。因此, 结合磷石膏资源项目的实际需求, 明确本项目的设计规模以及输送工艺流程, 并设计磷石膏输送总站、中间加压泵站、回水输送系统、输送管道等, 旨在通过磷石膏及回水输送项目的初步设计, 为磷石膏资源管理与应用提供有效帮助。

关键词: 磷石膏; 回水输送; 输送方案

1 工程概述

磷石膏资源项目从 2019 年 10 月至 2022 年 7 月由湖北贮源环保科技有限公司组织项目设计及建设。在此期间, 中国五环工程有限公司先后完成并在监管部门备案了分区建设方案及不分区一次建设方案。根据宜都市气象局多年观测的资料, 其气象和水文的特点如下: ①气温: 极端最高气温 39.6℃, 极端最低气温 -13.8℃, 年平均气温 16.7℃; ②降水: 年最大降雨量 1, 775mm, 年最小降雨量 757mm, 年平均降雨量 1, 253mm, 日最大降雨量 183mm, 年平均降雨天数 103 天, 连续最长降雨天数 18 天; ③雾: 年平均雾日 30.5 天, 持续 4 小时平均雾日 3.5 天; ④风: 全年主导风向 SE 频率 13%, 强风向 NE, 历年定时最大风速 18m/s, 历年平均风速 2.9m/s。本次设计范围: 起点输送泵站、管道线路 (包括磷石膏管道线路和回水管道线路) 和回水泵站等辅助配套工程。

2 基础资料及输送方案简介

2.1 设计规模与输送工艺流程

结合磷石膏资源综合库的堆存要求: ①一期库区内每年磷石膏堆存量不能大于 400 万吨/年, 前 4 年; ②二期库区内每年磷石膏堆存量不能大于 630 万吨/年。磷石膏输送工艺流程: 本项目由起点磷石膏输送总站、中间加压泵站、管道系统组成。

2.2 设计内容组成

根据项目内容、生产需要, 由磷石膏输送系统、回水系统及配套公辅设施等组成。具体如下: ①磷石膏输送总站: 磷石膏加压泵房、回水池、搅拌槽等组成; ②中间加压泵站: 由回水泵、磷石膏加压泵、管道工程等组成; ③磷石膏管道输送系统: 管道工程、管道冲洗系统、管道泄漏监测系统等组成; ④回水管道输送系统: 管道工程、管道泄漏监测系统等组成。

2.3 基础资料

①磷石膏输送规模: $400 \times 10^4 \text{t/a}$; $630 \times 10^4 \text{t/a}$;

②磷石膏在氟硅酸等物质的作用下产生结晶现象, 通过扫描电镜, 发现不同地方磷石膏晶体的结构不是完全一样; ③磷石膏固体比重: 2.37; ④ pH 值: 2, 浆体浓度: 40% ~ 50%; ⑤总站基础标高: 85.0m, 中间加压泵站基础标高 92.0m; ⑥终点标高: 310.0m; ⑦工作时间: 330d/a、24h/d;

2.4 磷石膏浆体输送浓度

目前国内的磷石膏输送的类似工程中, 大部分的输送浓度 35% 左右, 最大的输送重量浓度 40%, 结合磷石膏浆体自身易结晶的性质, 运行期间的输送浓度可以控制在 40% ~ 50%。磷石膏浆体输送系统参数见表 1。

表 1 磷石膏输送主要参数表

名称	单位	参数
输送起点标高	m	85.0
输送终点标高	m	310.0
年工作天数	d	330
每天工作小时	h/d	24
输送浓度		40% ~ 50%
浆体密度	t/m ³	1.3 ~ 1.4
400 万吨/年	m ³ /h	1019 ~ 754
630 万吨/年	m ³ /h	1605 ~ 1188
输送设计浓度		40%
输送设计流量	m ³ /h	1605

2.5 管径与设计流速

磷石膏浆体输送量 $1605 \text{m}^3/\text{h}$, 本次磷石膏输送管采用内径 470mm 的输送管, 设计流速 2.5m/s; 管道数量: 磷石膏输送系统的管道数量为 2 根 (1 用 1 备)。

2.6 磷石膏浆体输送压力

本次磷石膏浆体输送按照 630 万吨/年的规模、重量浓度 40% 进行设计选型, 即按照最大流量要求设计, 实际生产过程中流量在一定波动范围内。本次磷石膏输送至过滤车间的缓冲槽, 中间设置加压泵站, 起点标高 85.0m, 终点标高 310.0m, 中间加压泵站标高 92.0m。

3 磷石膏输送总站

3.1 总站设备选型

根据管道计算可知，磷石膏输送系统需要的扬程 180.0m，压力 2.35MPa，本次输送系统加压泵采用两台渣浆泵串联的方式。泵房内设 4 台耐腐蚀合金材质 MH300-100 重型渣浆泵，2 台工作，2 台备用。每台渣浆泵均采用变频调速装置。一级渣浆泵组设 2 台水封泵，型号为 D12-25×5，其性能为 $Q=12.0\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=125\text{m}$ ，功率 11.0kw。

3.2 泵房及工艺水池设计

根据现场情况及原设计可知，目前已经建好的隔膜泵房长 60.0m，宽 42.0m，高 12m，泵房内已经设有 4 个隔膜泵基础和 2 个喂料泵基础，四周墙体已经完成施工。工艺回水池长 42.0m，宽 16m，高 4m，采用钢筋混凝土结构，目前已经完成施工。

3.3 管道顾问及泄漏监测系统

磷石膏管道系统由泄漏检测系统进行监视。该系统向监控和数据采集系统提供操作数据。数据包括起始泵站的流量、压力和密度测量。本项目初步设计不包括管道顾问及泄露监测系统。

4 中间加压泵站

中间加压泵站由隔膜泵房、配电室、值班房等组成，主要设备包括搅拌槽、搅拌器、喂料泵、隔膜泵、回水泵、污水泵等。

4.1 中间加压泵站的设备选型

根据管道计算可知，磷石膏输送系统需要的压力 3.5MPa，本次输送系统加压泵采用隔膜泵。

搅拌槽 $D=12.0\text{m}$ ， $H=12.0\text{m}$ ，数量 1 个。搅拌槽的顶部与液面相距 300mm，搅拌器安装在高于槽底 1.5m 处。搅拌槽为钢结构（现场制作），搅拌器安装搅拌电机。搅拌槽总容积约 785.0m^3 ，有效容积 745.75m^3 ，约提供 0.5 小时的渣浆储存时间。基本满足系统正常运行切换及小设备检修所需时间。

4.2 中间加压泵站设计

中间回水泵站设有隔膜泵房、配电室、值班室、备品备件室、卫生间等。根据隔膜泵的基础大小，本次隔膜泵房长 78.0m，宽 30.0m，高 12.0m，泵房内设有 4 个隔膜泵基础和 4 个喂料泵基础，1 个搅拌槽和 2 个回水泵基础。

5 回水输送系统设计

5.1 回水输送系统组成

磷石膏回水系统是将调节池的水和过滤车间的水输送至总站，由回水管道、回水加压泵。

5.1.1 回水水量

回水量由两部分组成，第一部分是调节回水池的回水，第二部分是压滤车间的滤液，具体情况如下：

①回水量应根据的水平衡计算而定，调节回水池总容积 $133.17 \times 10^4 \text{m}^3$ ；②压滤车间压滤后的磷石膏含水率 20%；③总回水量计算，见表 2。

表 2 回水量计算表

规模及重量 名称	400×10 ⁴ t/a	630×10 ⁴ t/a	
	32%	40%	50%
浆体流量 (m ³ /h)	1350.65	1605.26	1187.64
压滤车间滤液量 (m ³ /h)	1020.83	1085.79	668.18
调节回水池最小量 (m ³ /h)	168.14	168.14	168.14
总回水量 (m ³ /h)	1188.97	1253.93	836.32

根据表 2 可知，根据不同的运行工况，最大回水量 $1253.93\text{m}^3/\text{h}$ ，最小回水量 $836.32 \text{m}^3/\text{h}$ ，因此本次设计回水量 $1253.93\text{m}^3/\text{h}$ 。

5.1.2 回水线路

回水泵站到总站回水管线总长约 6.30km，从过滤车间至中间加压泵站线路总长 2.70km。

5.1.3 回水管设计

①从中间加压泵站至总站采用已经购买的 $D500 \times 45.4\text{HDPE}$ 管，热熔连接，管道数量 1 根，管道压力等级 1.6MPa；③从中间加压泵站至回水池，根据输送介质的性质及流量，采用钢丝网增强聚乙烯复合管 $D330 \times 15$ ，管道采用法兰连接，管道压力等级 2.5MPa。回水管数量为 1 根，无备用管道。

5.1.4 调节池与回水泵房连接

调节池位于下游，调节池由挡水坝、山体及尾矿库初期坝四面围成，其底部标高 89.0m，挡水坝坝顶标高 100.0m。

5.2 回水工艺设计

表 3 磷石膏输送主要参数表

名称	单位	参数
过滤车间滤液出水口标高	m	292.0
加压泵基础标高	m	86.0m
磷石膏总站地面标高	m	85.0m
磷石膏总站工艺水池池顶标高	m	90.0
年工作天数	d	330
每天工作小时	h/d	24
输送设计流量	m ³ /h	1253.93

回水系统主要参数见表 3。在过滤车间的滤液水先泵送至高位回水池，然后自流至磷石膏总站附近；调节回水池的水通过回水泵加压至磷石膏总站工艺回水池。因此在中间泵站附近的回水管处设一个三通，将中间泵站的回水支管和自过滤车间的回水支管与总回水管连接，简称回水汇集点。

通过水力计算，回水汇集点的压力 1.1MPa，为了

防止回水倒流，回水泵的压力不能小于 1.1MPa，因此回水泵设计扬程 115.0m，设计流量 168.14m³/h。①水泵型号：耐腐蚀泵 LB150-630A；②台数：2 台，1 台工作，1 台备用；③其性能为：流量 Q：170.0m³/h；扬程 H：115.0m；轴功率：151.19kW；电机功率：185.0kW。

6 输送管道设计与选择

6.1 输送主管道材质

本次磷石膏输送项目分两个泵站，分别是总站和中间加压泵站，总站的管道压力等级 4.0MPa，中间加压泵站管道压力等级 10.0MPa，根据不同的压力等级进行管道选型。由于本项目输送介质 pH 值为酸性，必须增加内衬防止介质腐蚀钢管内部，本项目站内钢管采用 2205 双向不锈钢管；野外管道采用钢内衬超高分子聚乙烯管，压力等级 10MPa 的钢管采用直缝高频电阻焊钢管，钢管标准为 API Spec 5L PSL2，钢级为 X52M，材质规格 D508×8.44；压力等级 4.0MPa 的钢管采用直缝钢管，材质规格 D530×10，材质 Q235B。

6.2 管型

综合所述，本工程线路用管采用国产直缝电阻焊钢管 (ERW)。

6.3 管道强度校核

本项目输送管道外径 508mm，最薄壁厚 8.4mm，设计最大内压力 10MPa，假设管道闭合时的大气温度为 0℃，输送渣浆的温度为 20℃。

$$\sigma_a = 0.3 \times 8.4 \times (0.508 - 2 \times 0.0084) \div 2 \div 0.0084 + 2.05 \times 10^5 \times 1.2 \times 10^{-5} \times (0 - 20) = 38.51 \text{ MPa}$$

$$\sigma_h = (0.508 - 2 \times 0.0084) \times 10 \div 2 \div 0.0084 = 292.38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e = \sigma_h - \sigma_a \leq 0.9 \sigma_s$$

σ_e ——当量应力 MPa； σ_s ——钢管的最低屈服强度 MPa；

本工程选用钢管 API 5L X52 最低屈服强度为 360MPa。

$$\sigma_h = Pd/2\delta = 10 \times 508 \div 2 \div 0.0084 = 292.38 \text{ MPa}$$

$\sigma_e = 292.38 - 38.51 = 253.87 < 0.9 \sigma_s = 0.9 \times 360 = 324$ ，满足要求。

7 磷石膏输送管道及回水线路

7.1 管道线路

磷石膏输送管道起点位于总站，地坪标高约 85.0m，管道终点为磷石膏资源集中库附近的过滤车间，沿途设有中间加压泵站，最终排放点标高约 310.0m，管道整体走势为东-西走向，本次拟定磷石膏输送管线铺设方案里程约 9.0km。①管沟开挖：本项目磷石膏输送管道与回水管道共沟敷设，三根管道

水平并排布置，管道净距 $\geq 300\text{mm}$ 。②管沟回填：当管道下沟之后，须用细土和砂（最大粒径不得超过 2.5mm）回填至管顶以上 0.3m 后，方可用原状土回填，但回填土的岩石和碎石块最大粒径不得超过 250mm。管沟回填之后需要对原地貌进行恢复，并保护根植层，防止水土流失和积水。③管道转角：当管道为了适应地形变化而改变平面走向或纵向坡度时，采用弹性弯曲、冷弯管、热煨弯头。优先采用弹性敷设来实现管道方向改变，以减少沿途摩阻损失和增加管道的整体柔韧性。④施工作业带：施工作业带包括管道材料堆放、管沟挖土堆放、施工机具堆放与通行等。本项目磷石膏管道与回水管道共沟敷设，设置施工作业带最小宽度 25.0m。⑤管道连接：工艺评定的目的在于验证用此工艺能否得到具有合格力学性能，如强度、塑性、韧性和硬度等的完好焊接接头。

7.2 专家系统

专家系统应能满足管道输送系统工艺要求，做到数据读取与分析，对管道内部任一点压力实时建模，对加速流、管道超压进行预警，并及时调整设备的工作状态，降低系统运行风险，保证系统安全、稳定生产。

7.3 仪表、设备故障

①记录。系统需设置独立数据存储服务，数据存储采用 MSSQL 或者 MySQL。报警信息以及实时采集的数据存储在数据库中，存储周期不大于 2s；②测漏测堵。专家系统的测漏测堵功能利用部分或全部的测量数据，如温度、粘度、密度、流速、浆体声速和界面位置等。通过这些数据可推断计算管道内浆体流动状态；③系统配置。输送管线进入压滤车间站场前的主管路上设 1 个压力变送器、1 个流量计、1 个浓度计，针对磷石膏的结垢特性，流量计推荐选用声纳流量计。

7.4 清管及试压

清管：①施工期。管道在分段试压之前需进行清管，即清除遗留在管道内的铁屑、铁锈、焊渣、尘土、水分和其他污物，以免这些杂物随流体沿着管道流动时堵塞管道，损坏阀门和设备仪表。清管次数不少于 2 次，以开口端不再排出杂物为合格；②运行期——管道清洗球系统。设置管道清洗球系统，投球除垢装置，磷石膏浆体输送系统投入使用以后，清洗管道。

试压：管道试压分为强度试压和严密性试压，可连续进行，先进行强度试压，强度试压合格后将压力适当下降，接着做严密性试压。

作者简介：

闫鹏（1981—），本科，工程师，主要从事设计工作。