某铁矿选矿厂给水系统设计与循环水利用实践

谢瑞桃 [1,2]
1.中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司，安徽 马鞍山 243000
2.金属矿山开采安全与灾害防治全国重点实验室，安徽 马鞍山 243000

[摘要]细粒嵌布磁铁矿选矿厂中存在着新水取用量偏大、尾矿回水水质出现波动，进而造成选别指标不稳定的难题。以 300 t/h 的原矿处理量作为基准，依据各工序的用水需求、矿浆浓度核算了各个环节的用水量以及对应的水质控制标准，搭建起新水、环水、尾矿库回水、设备冷却水等四套闭路循环系统，而且配套建设了各类水池与变频泵组，同时还校核了枯水、暴雨工况下所需的调节容积。系统投运之后可以看到，全厂总用水量为 915m³/h，其中新水用量 65m³/h，水循环利用率达到 92.9%，即吨原矿取水量 0.22m³，生产废水可以全部回用而不外排，因此每年能够节约新水约 104 万 m³。稳定控制回水悬浮物、落实分质供水，就是有效保障水循环回用率与选矿选别指标的核心要点。

[关键词]铁矿选矿；给水系统；循环水；水量平衡；分质供水
DOI：10.33142/ec.v9i11.20725 中图分类号：TD928.6 文献标识码：A

Design of Water Supply System and Practice of Circulating Water Utilization in a Certain Iron Ore Beneficiation Plant

XIE Ruitao [1,2]
1. Sinosteel Maanshan General Institute of Mining Research Co., Ltd., Ma'anshan, Anhui, 243000, China
2. National Key Laboratory of Mining Safety and Disaster Prevention in Metal Mines, Ma'anshan, Anhui, 243000, China

Abstract: There are problems in the fine-grained embedded magnetite beneficiation plant, such as excessive new water intake and fluctuations in tailings return water quality, which lead to unstable separation indicators. Based on the raw ore processing capacity of 300 t/h, the water consumption of each link and the corresponding water quality control standards were calculated according to the water demand of each process and pulp concentration. Four sets of closed circuit circulation systems, including new water, circulating water, tailing pond return water, and equipment cooling water, were built. In addition, various pools and variable frequency pump sets were built. At the same time, the required regulating volume under low water and rainstorm conditions was checked. After the system is put into operation, it can be seen that the total water consumption of the whole plant is 915 m³/h, of which 65 m³/h is new water, and the water recycling rate reaches 92.9%, that is, 0.22 m³ of raw ore water is extracted per ton. The production wastewater can be fully reused without being discharged, thus saving about 1.04 million m³ of new water per year. Stable control of suspended solids in the return water and implementation of differentiated water supply are the core points to effectively ensure the water recycling rate and mineral selection indicators.

Keywords: iron ore beneficiation; water supply system; circulating water; water balance; quality based water supply

引言

在矿山生产的各类用水环节中铁矿选矿属于核心的一环，即磨矿分级、磁选、尾矿输送等工序都要以水作为介质，处理每吨原矿会消耗 3～5m³ 的水，而且大部分产生的废水都可以回收再利用[1]。传统选矿厂大多采用按需取水、就近排放的运行模式，不仅取用的新水量偏多，回水利用率也偏低，因此受本地水资源条件制约，相关举措难以匹配区域层面水资源管控落地实施要求。华东该省整体水资源禀赋偏弱，省内淮北片区缺水矛盾最为凸显。该区域地表径流偏少、地下水开采压力大，水资源供需缺口长期存在。伴随产业发展与城镇用水持续增长，区域用水刚性需求不断抬升，进一步加剧水资源承载压力。该省内蕴藏了丰富的铁矿资源，矿石大多属于细粒嵌布磁铁矿，这类矿石需要开展细磨深选的加工工艺，工艺对应的耗水量也就更大，用水需求和水资源约束之间凸显出了尖锐矛盾[2]。文章以省内一座 300t/h 细粒嵌布磁铁矿选矿厂作为

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

研究案例，介绍了给水系统的设计思路、循环水利用方案以及现场实测得到的运行数据，可以为国内同类矿山项目提供相应的参考。

1 建设条件与设计约束

1.1 区域水资源与气候条件

在江淮丘陵岗地建设的这片厂区，并没有大流量的过境河道，生产用水的来源，即邻近水库的地表水为主、井下涌水只是作为补充而已。取水总量受到许可水量的严格管控，而且区域跨季调蓄的能力偏弱。既然上游水库的兴利库容比较有限，取水规模又是按照枯水年的条件核定的，在遭遇连续枯水年份时，需对取水量实施压缩管控。由此，储水池的调度调节周期、备用水源供水保障能力，成为制约本工程方案可行性的核心要素。区域降水的年际差别较大，到了枯水期，来水量会出现锐减的情况，取水保证率即首要的约束条件，生产储水池可以承担长周期调节的任务。当地冬季的低温能够达到-10℃，在室外布设的管线、阀门都要做好防冻保温的处理，冷却塔也需要防范结冰问题，可以增设旁通管路，或者选用闭式冷却塔，有效规避低温冻害带来的运行风险[3]。

1.2 矿石性质与工艺用水特征

原矿的全铁品位大约为 32%，金属矿物即主要是磁铁矿，而且矿物的嵌布粒度很细，处在 0.02～0.1mm 之间，因此要通过两段闭路磨矿，将矿石磨至-0.074mm 占 85% 以上，才可以有效实现矿物的单体解离。生产过程选用阶段磨选-磁选联合工艺开展选矿作业，可产出产率约 30%、品位 66%的合格铁精矿。选矿工序产生的尾矿物料，先送入浓缩设备进行浓缩脱水，处理完成后输送至尾矿库堆存保存。磨矿分级工序的耗水占全厂总耗水的半数，该工序对水质的要求较为宽松，磁选作业却容易受到回水里面细泥的干扰，因此冷却水需要配套独立的系统，有效避免管道结垢、堵塞等问题[4]。

1.3 取用水与排放约束

确定三项控制性指标，即：在新建企业定额的基础上，吨原矿取水量按 0.65m³/t 控制，而且可以力争低于 0.55m³/t；全厂生产废水做到不外排，事故废水进入事故池后可回抽利用；回水悬浮物实施分质管控，因此该指标可以作为水量平衡与设备选型的边界条件。

2 给水系统设计

2.1 用水量核算与水质分级

以各工序设计水量指标为基础，结合矿浆浓度反算稀释与输送水量，再按同时使用系数折算为小时水量，见表1。

表 1 选矿厂主要用水环节水量与水源构成

用水环节	用水量/（m³h⁻¹）	新水量/（m³h⁻¹）	循环水量/（m³h⁻¹）	水质控制指标
磨矿分级	480	40	440	悬浮物≤150mg/L
磁选及冲水	150	0	150	悬浮物≤100mg/L
精矿浓缩与过滤	90	8	82	悬浮物≤50mg/L
尾矿浓缩与输送	120	0	120	悬浮物≤300mg/L
设备冷却	45	12	33	悬浮物≤20mg/L，总硬度≤450mg/L
地坪冲洗、除尘及化验	30	5	25	悬浮物≤200mg/L
合计	915	65	850	—

注：水量为设计工况小时平均值，年运行 8000h；水质指标以悬浮物为主。

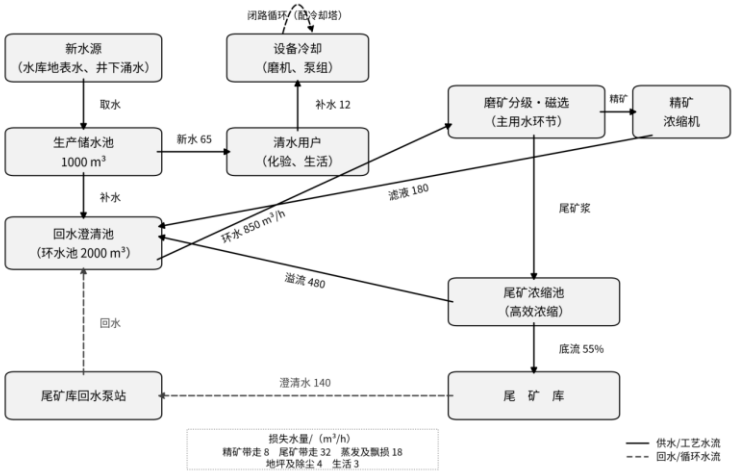


图 1 选矿厂给水系统与循环水利用流程

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

由表 1 可见，全厂每小时的总用水量为 915m³，其中循环水量 850m³，即仅 65m³ 为新水。在用水供给上可以划分成一级清水、二级环水、三级高浊回水等三类水质：一级清水供给冷却补水、化验及生活的用水；二级环水供给磨矿、磁选及地坪冲洗工序；三级高浊回水水质较差，仅可用于尾矿浓缩输送，不得挪作其他生产用水[5]。既然采用了这套分级供水的模式，就不用统一拉高回水的处理标准，因此可以用较低的成本，有效实现较高的回用率。

2.2 系统构成与流程

给水系统由新水、环水、尾矿库回水与设备冷却水闭路四套子系统构成，流程如图 1 所示。

在整个新水系统由取水泵站、生产储水池以及新水泵组等设施构成。原水会通过取水泵输送到生产储水池，而且水池内部设置了浮船取水口，可以有效阻挡池底淤积的淤泥，新水泵组采用变频恒压供水的方式，能够分别向环水池与清水用户完成补水作业。环水系统是以回水澄清池作为核心，在收集各类溢流水、沉淀出水之后，经过混凝澄清处理，即可供给磨矿、磁选工序使用，形成了厂区内部的主循环。尾矿库回水配套了独立的泵站与管线，在枯水期的时候，可以作为关键的补水水源。设备冷却水系统采用闭式循环运行方式，系统水体基本在管路内循环复用，仅因蒸发、渗漏等产生少量损耗，日常只需补充少量清水，即可维持系统正常水位与稳定运行。整套系统落实了清污、雨污分流的要求，各类污水可以分开进行收集，厂区雨水再经过初期弃流的单独处置，因此能够有效降低回水处理的负荷[6]。

2.3 调节容积与泵组配置

在确定调节容积时，要按照不利的工况来开展计算。生产储水池的容积为 1000m³，即可以储备约 15h 的新水用量，因此能够应对枯水期取水间断以及检修停水的情况。回水澄清池为 2000m³，可容纳约 2.3h 的循环水量，既保障了混凝澄清所需的停留时间，而且可以有效缓冲磨选工序的流量波动。事故池容积 400m³，能够收集初期雨水、检修废水及加药故障废水等，收集后的废水可以后续回抽处理。泵组采用 3 用 1 备的配置，搭配变频调速控制，在运行中可依据液位联动启停，兼顾枯水、汛期两类工况，因此既能实现节能，还可以有效防止单泵出现过载的问题。

2.4 水量平衡校核

在进行水量平衡校核时，新水量即等于各项损失水量的总和。在设计工况之下，精矿、尾矿带走的水量，还有蒸发飘损、地坪除尘及生活用水等，合计达到了 65m³/h，和新水补给量保持一致，因此这套系统没有外排废水。循环水利用率可以达到 92.9%，吨原矿取水量为 0.22m³/t；项目在年内运行 8000h，年取用新水约 52 万 m³，而且相比新建企业的定额，每年可以有效减少约 104 万 m³ 的取水量。尾矿库回水与井下涌水的水量会随季节产生波动，水量平衡计算选取了枯水期的不利条件，汛期富余水量通过削减新水取用消纳。

3 循环水利用实践

3.1 尾矿与精矿回水

在选矿厂的厂前回水体系里，尾矿浓缩属于核心的环节。磁选产生的尾矿，浓度大约为 25%，会送入高效浓缩池内，在池中投加阴离子聚丙烯酰胺来促进颗粒沉降，即底流的浓度可以提升到 55%以上，再输送至尾矿库；浓缩池产生的溢流，悬浮物控制在了 200mg/L 以内，会以 480m³/h 的流量送入回水澄清池，而且这部分水量占到循环总水量的近六成。尾矿库也具备沉淀、调蓄的作用，库内的澄清水可以按 140m³/h 的流量回送至厂区，其悬浮物低于 80mg/L，是水质最优的回水，因此优先供给磁选、精矿相关的工序使用。精矿浓缩溢流以及过滤滤液的总流量为 180m³/h，这类回水的水质较好，单独接入澄清池的前段位置，可以避免其被高浊度的尾矿溢流所污染，而且这套方式能够有效实现选矿废水的高效回用，甚至做到废水的全量回用。

3.2 设备冷却水闭路循环

在这套闭式循环的冷却系统里，设备冷却水量为 45m³/h，即冷却水可以供给磨机主轴承、磁选筒体及泵组填料函等设备使用；冷却水换热升温之后会送入冷却塔降温，实现循环回用，因此系统仅需要补充蒸发、排污带来的 12m³/h 的水量损失。在气温较低的工况下，可以启用电伴热与旁通管路，而且当气温低于 0℃时，会切换为闭式运行模式，有效防范管路出现结冰的问题。

3.3 回水水质控制

长期稳定维持回用率，回水水质是核心的关键。在生产运行当中存在了两类问题：即磨矿分级产生的次生细泥会进入回水体系，悬浮物含量超过 300mg/L，这会让磁选精矿的品位降低 0.6 个百分点；而且添加水玻璃之后，细泥的静电斥力有所增大，会抑制沉降过程，造成澄清池的出水持续浑浊。因此我们将平流式澄清池改造为斜管沉淀设施，在系统内增设磁混凝区并投加 PAC、PAM，可以把出水悬浮物稳定控制在 80～120mg/L，同时管控调整剂在回水里面的累积，对高浊回水进行单独储存、限量回用。相关研究表明，回水并不是越清澈越好，需要匹配本厂对应的工艺区间。澄清池产生的排泥水在浓缩之后随尾矿外

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

排，即可以有效阻断细泥在系统内部的循环，控制悬浮物不断累积。

3.4 运行效果

在系统投运满一年之后，实测得到的各项数据和设计值基本是吻合的：总用水量约 920m³/h，新水量 68m³/h，循环水的利用率达到 92.6%，吨原矿取水量为 0.23m³/t，即全部指标均已经达标了。回水悬浮物的年均值为 105 mg/L，磁选精矿品位 66.3%、回收率 88.2%，和采用新水工况的差值≤0.3 个百分点。全厂的生产废水实现了零外排，而且生活污水经过处理之后可以用于绿化回用。这套系统每年能够节约新水 104 万 m³，在扣除新增的电耗成本之后，年综合费用可以降低约 300 万元。增设澄清池之后，回水悬浮物得到了显著的下降，磁选回收率提升了 1.8 个百分点，因此回水处理工艺可以有效改善矿石的选别指标。

4 存在问题与改进方向

当前系统在运行方面，仍然存在着多处的薄弱环节。既然要保障系统稳定运行，就要逐项落实整改举措：一是在汛期时段来水较为富余，暴雨来袭时尾矿库、沉淀池的来水规模会超出回用能力，仅依靠事故池来调蓄而已，因此建议增设雨水截流、分质储存等设施，有效阻隔高浊雨水进入环水系统。二是在极端低温的冬季工况下，尾矿库回水管道已经发生了两次局部冻堵的情况，冬季防冻工作存在明显短板，因此可以增设电伴热装置，而且同步优化停泵泄空的作业流程。三是闭路循环运行模式，会让回水里面的盐类与药剂持续累积，即出现电导率逐步升高的现象，带来了管道结垢的风险，可以增设旁流处理单元，依据电导率指标管控对应的排污量。四是人员对于分质供水相关要求掌握不到位，已经出现了错接回水的问题，因此完善管路标识与作业规程，有效规避同类失误再次发生。五是工序分区计量设施有所缺失，计量调控的精度不足，因此可以在主要工序加装流量计，接入在线监测的数据，实现泵组的自动调度。

5 结论

省内的水资源总量、人均占有量都偏低，而且降水在时空上的分布并不均匀，加之细粒嵌布磁铁矿具备的用水强度高的特点，因此选矿厂的给水工程可以采用“取水-配水-回水-处理”的一体化设计。在这套方案里，水质分级配置系统可以有效经济地提升水的回用率，即把用水划分为清水、环水、高浊回水等三级，针对性提高敏感环节的处理标准，循环水的利用率能够达到 92%以上。尾矿浓缩溢流、库内澄清水以及精矿溢流滤液等是主要的回水来源，这类水量占了循环水的九成以上，分股收集、分质回用而已，更利于水质的稳定。在将回水悬浮物控制在 120mg/L 以下后，磁选指标可以接近新水工况，吨原矿取水为 0.22m³，每年节约了 104 万 m³ 的新水，该指标优于取水定额的先进值。

[参考文献]

[1]焦秋娥.第十八届建筑给水排水大会 2026 建筑给水排水优秀论文选编[C].北京:中国建筑设计研究院有限公司,2026.

[2]陈永攀.第十八届建筑给水排水大会 2026 建筑给水排水优秀论文选编[C].北京:中国建筑设计研究院有限公司,2026.

[3]李忠新.第十八届建筑给水排水大会 2026 建筑给水排水优秀论文选编[C].北京:中国建筑设计研究院有限公司,2026.

[4]肖祖容,陈建利.浅谈铁矿选矿厂循环水深度处理[J].矿业工程,2020,18(3):59-61.

[5]郭川,朱立刚,李雪生,等.PLC 控制技术在铁矿供水管理中的应用[J].中国金属通报,2019(9):161-163.

[6]刘雪美.金龙铁矿给排水系统优化设计研究[D].合肥:合肥工业大学,2017.

作者简介：谢瑞桃（1992—），女，安徽芜湖人，汉族，研究生，中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司，中级工程师，从事矿山给排水设计工作。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.