

某沟谷型尾矿库回水系统布置方案探讨

唐飞¹,张涛²,郄永波³,崔旋³

(1. 云南铜业股份有限公司矿山研究院,昆明 650033;

2. 云南思茅山水铜业有限公司,云南普洱 665000;

3. 矿冶科技集团有限公司,北京 100160)

摘要:针对国内某沟谷型尾矿库地形陡峭的特点,提出了两种回水系统的布置方案,分别为浮船泵站一级回水和缆车泵站+岸坡泵站二级回水,开展了方案技术经济对比分析。研究表明,对于多雨地区采用水量平衡法计算回水量更符合实际,两种布置方案均可行,但采用浮船泵站一级回水,技术成熟度高,更易于管理。研究可为类似工程提供参考。

关键词:尾矿库;回水系统;缆车泵站;浮船泵站

中图分类号:TD926.4

文献标志码:A

文章编号:1671-4172(2022)05-0129-05

Discussion on scheme arrangement of backwater system in a valley tailings pond

TANG Fei¹, ZHANG Tao², QIE Yongbo³, CUI Xuan³

(1. Mining Institute of Yunnan Copper Co., Ltd., Kunming 650033, China;

2. Yunnan Simaoshan Copper Industry Co., Ltd., Puer Yunnan 665000, China;

3. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China)

Abstract: Given the steep terrain characteristics of valley tailings pond inland, two different return water systems are proposed, the one-stage return water system of floating ship pumping station and the two-stage return water system of cable car pumping station + bank slope pumping station, techno-economic comparison, comparing its technical and economic. Research shows that the water balance method is more suitable for the calculation of return water in rainy areas. Both schemes are feasible, however, the technology of the one-stage return water system of the floating ship pumping station is more mature and easier to manage. The research can provide a reference for similar projects.

Key words: tailings pond; backwater system; cable car pumping station; pontoon pump station

矿山行业普遍高能耗、高投入、高污染,在矿山生产中,耗水量巨大,使水资源环境受到巨大挑战^[1]。以铜矿山为例,磨矿和浮选时每吨矿石一般用水量 $3\sim 7.5\text{ m}^3$ ^[2]。随着矿山行业的技术进步,生产方式逐渐由粗放型转向节约型,《有色金属企业节水设计标准》(GB 51414—2020)要求:新建、扩建和改建有色金属矿山企业选矿水重复利用率不应小于85%,现有有色金属矿山企业选矿水重复利用率

不应小于80%^[3-4]。根据安全、环保、节水等方面的要求,尾矿库需配备回水系统,将尾矿水返回选厂循环利用^[5]。本文主要针对国内某沟谷型尾矿库地形陡峭的特点,提出了两种回水系统的布置方案,并从技术性、经济性、运行管理方便性等方面进行了对比分析探讨,研究可为类似工程提供参考。

1 工程概况

国内某铜多金属矿现有两座选矿厂,合计生产规模为 $5\,500\text{ t/d}$,尾矿产率为76.91%,浓度约为25.00%。根据规划拟新增一座生产规模 $3\,000\text{ t/d}$ 的选矿厂,尾矿产率为81.26%,重量浓度为

收稿日期:2022-07-25

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC1801703)

作者简介:唐飞(1974—),男,高级工程师,采矿工程专业,主要研究方向为矿山安全管理。

20.82%。矿山生产规模扩大后仍利用现有服役的尾矿库堆存尾矿,但原有回水设施回水能力较小,为了方便统一进行管理,需要根据扩大后的规模新建库内回水设施。矿山现有尾矿库总坝高134 m,总库容2 728万 m^3 ,为二等库。尾矿库库区长度约1.8 km,沟谷切割深度大,多呈V字型,沟床宽度约8~10 m,主沟沟床比降一般7%~12%,两岸山坡基本对称,库尾两岸原始地形陡峭,岸坡坡度38°左右,给回水设施布置及施工带来一定难度。

2 水文气象条件

尾矿库所在地区属于准热带气候类型,无冰冻期,夏季5~6个月;夏季炎热多雨,冬春温和干燥,年平均气温17.7℃,年平均降雨量1 534.7 mm,年降雨量主要集中在6~9月,多以阵雨、暴雨形式降落,雨季降雨量1 337.5 mm,占年降雨量比重大。尾矿库所处区域多年平均降水量和蒸发量逐月分配情况见表1。

表1 区域多年平均降水量和蒸发量

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
降雨量	14.9	19.0	24.0	51.1	150.9	219.6	324.3	309.6	167.9	125.7	74.4	21.2	1 502.6
蒸发量	111.4	142.8	203.8	206.3	183.8	137.0	119.1	125.1	119.8	110.7	89.3	86.7	1 635.8

3 回水量计算分析

由于尾矿库地处西南多雨地区,巡库道路截水沟以下库内汇水面积约2.4 km^2 ,汇水面积较大,库内回水量计算需考虑库区降雨、汇流、蒸发等因素的影响,尤其是降雨带来的外部水源补给对尾矿库回水量影响最大,同时全年降雨存在不均衡性,因此按全年周期采用水量平衡计算法^[6]。水量平衡计算法根据入库总水量、尾矿库截留水量、尾矿库渗漏水量并结合当地多年平均降雨量、蒸发量等资料,综合计算得出回水量,回水系统的回水量需能够基本满足尾矿库库内水量盈亏平衡。尾矿库内的水量盈余情况按下式进行计算:

$$(W_j + W_w) - (W_z + W_s + W_k) - W_x = \pm \Delta W \quad (1)$$

式中, W_j 为尾矿库降雨径流量; W_w 为尾矿浆带入水量,合计915.04 m^3/h ; W_z 为尾矿库水面蒸发量; W_s 为尾矿库库区渗漏水量,按照入库总水量的5%; W_k 为尾矿库沉积尾矿的截留水量; W_x 为需要回水量; $\pm \Delta W$ 为尾矿库中水的盈亏量。

按照式1进行逐月水量平衡计算,计算结果详见表2,则库内回水总量为:

$$W_x = (W_j + W_w) - (W_z + W_s + W_k) = 961 \text{ m}^3/\text{h}$$

考虑10%的矿浆流量波动系数,库内回水系统的回水量为1 057 m^3/h 。

表2 库内水量平衡计算表

月份	降水量/ mm	来水量 $W_1 = (W_j + W_w)/\text{万 m}^3$			损失水量及回水量 $W_2 = (W_z + W_s + W_k)/\text{万 m}^3$					$W_1 - W_2/\text{万 m}^3$	
		径流量 $W_j/\text{万 m}^3$	尾矿带入 $W_w/\text{万 m}^3$	小计 $W_1/\text{万 m}^3$	蒸发 $W_z/\text{万 m}^3$	渗漏 $W_s/\text{万 m}^3$	截留 $W_k/\text{万 m}^3$	回水 $W_x/\text{万 m}^3$	小计 $W_2/\text{万 m}^3$	+	-
1	14.9	2.55	61.55	64.10	8.36	3.08	6.20	64.63	82.26		-18.16
2	19.0	3.25	55.59	58.84	10.71	2.78	5.60	58.37	77.46		-18.62
3	24.0	4.10	61.55	65.65	15.29	3.08	6.20	64.63	89.19		-23.54
4	51.1	8.74	59.57	68.30	15.47	2.98	6.00	62.54	87.00		-18.69
5	150.9	25.80	61.55	87.35	13.79	3.08	6.20	64.63	87.69		-0.34
6	219.6	37.55	59.57	97.12	10.28	2.98	6.00	62.54	81.80	15.32	
7	324.3	55.46	61.55	117.01	8.93	3.08	6.20	64.63	82.84	34.17	
8	309.6	52.94	61.55	114.49	9.38	3.08	6.20	64.63	83.29	31.20	
9	167.9	28.71	59.57	88.28	8.99	2.98	6.00	62.54	80.51	7.77	
10	125.7	21.49	61.55	83.05	8.30	3.08	6.20	64.63	82.21	0.84	
11	74.4	12.72	59.57	72.29	6.70	2.98	6.00	62.54	78.22		-5.93
12	21.2	3.63	61.55	65.18	6.50	3.08	6.20	64.63	80.41		-15.23
全年合计	1 502.6	256.94	724.71	981.66	122.69	36.24	73.01	760.95	992.88		-11.23

通过库内回水系统的回水量计算,可知对于多雨地区尾矿库,采用水量平衡法按全年周期计算的回水量要高于按经验回水率(80%~85%)确定的回水量,回水系统设备需按水量平衡法计算的回水量进行配备,并预留一定富裕,才更符合多雨地区的工程实际。从安全角度,尾矿库在满足防洪要求的条件下,应充分利用调节库容,尽可能多回水。

4 回水系统方案探讨

4.1 回水系统布置原则

1)技术可靠:各方案布置时,应考虑尾矿库整个使用期的尾矿水澄清距离的要求,并充分结合地形施工相对方便,选用设备成熟可靠。

2)经济合理:方案经济指标包括建设投资和运行成本,应尽量选用建设投资少、运营成本低的方案,并考虑充分利用库中水头的可能性,以减少选厂供水电费。

3)管理方便:主要考虑库尾地形坡度较陡,泵站内设备检修维护及运行过程中需随库内水位进行取水点抬升及向库尾方向移动,要求维检和管理较方便。

4.2 尾矿库回水形式选择

湿排工艺尾矿库回水系统一般分为坝下回水和库内回水两种方式,如果尾矿库相对选厂地势较高,坝下回水方式能基本实现自流回水,通常采取坝下回水方式,反之,从节能、提高取水效率、提升回水量稳定性角度考虑,通常考虑采取库内回水方式^[7]。

目前尾矿库库内水位标高 1 072 m,尾矿库最终标高 1 138 m,尾矿坝外坡脚标高 890 m,选厂高位水池标高 1 260 m,相较于坝下回水,库内回水泵送扬程小、距离近,更经济,因此采用库内回水方案。考虑尾矿库库尾山坡实际地形坡度较陡,从工程施工及运营维护便利角度,一种是采用岸坡泵站,一种是采用浮船泵站,下文对两种形式方案进行对比分析。

4.3 方案一(缆车泵站+岸坡泵站二级回水)

二级回水方案采用库内设置缆车泵站取水。分两期运行:初期在库尾设置 1 座缆车泵站,缆车斜坡道(标高 1 070 ~ 1 105 m),在 1 105 m 标高设置二级岸坡加压泵站泵送回水至 1 260 m 标高的高位水池;后期随着尾矿库滩面的升高,待库水位接近 1 105 m 标高时,将 1 105 m 平台的二级回水泵站及

缆车泵站的绞车房整体迁移至 1 140 m 标高。库尾重新修建斜坡道(标高 1 105 ~ 1 140 m),斜坡台车搬迁至新建斜坡道。方案一平面布置见图 1。

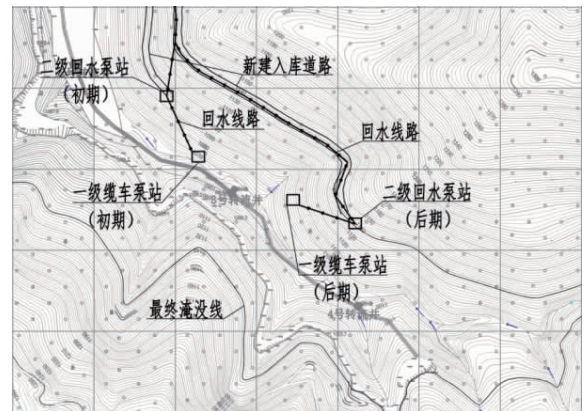


图 1 方案一平面布置图

Fig. 1 Layout plan sketch of first scheme

1)一级缆车泵站:库内设置滑轨缆车泵站进行取水,缆车泵站由绞车房、斜坡道、斜坡台车组成,绞车房采用钢结构可拆卸厂房,初期设置在标高 1 105 m,尺寸 7.5 m×6 m×5.5 m,内置一台 DJ-4 型调度绞车;斜坡道底坡 1:2,宽 4 m,底部至库内水面(标高 1 070 m),斜坡道顶部与绞车泵房相连(标高 1 105 m);斜坡台车配置 3 台 WQ 型潜水泵,型号 200WQ350-40-75(流量 $Q=350\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H=40\text{ m}$,电机功率 $P=75\text{ kW}$)。潜水泵备用 1 台,置于绞车房内。每台潜水泵接 1 根 DN250 输水软管沿岸坡敷设至岸坡回水泵站与 DN500 mm 无缝钢管主管相连。缆车泵房剖面见图 2。

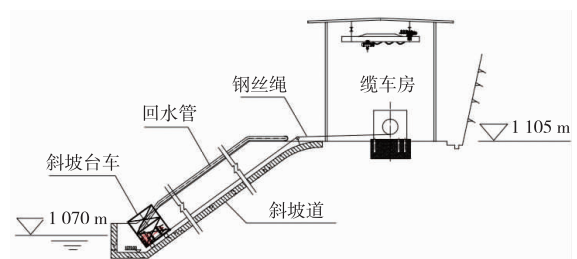


图 2 方案一缆车泵站(一期)剖面图

Fig. 2 Pump station sketch of first scheme

2)二级岸坡泵站:在尾矿库库尾 1 105 m 标高修建二级岸坡回水泵站。泵房采用可拆卸重复使用的钢结构厂房,泵房尺寸 22.5 m×7.5 m×6.5 m;泵房内布设 3 台多级离心泵(两用一备),型号为:MD550-50×4,流量 $Q=550\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H=200\text{ m}$,电机功率 $P=450\text{ kW}$ 。

4.4 方案二(浮船泵站一级回水)

浮船泵站一级回水方案采用库内设置一座大型浮船,库内取水后一级泵送至1 260 m 标高的高位水池。设计在尾矿库库尾设置浮船泵站一座,内安装3台多级离心泵(2用1备),将尾矿水直接输送至标高1 260 m 的高位水池。方案二平面布置见图3。

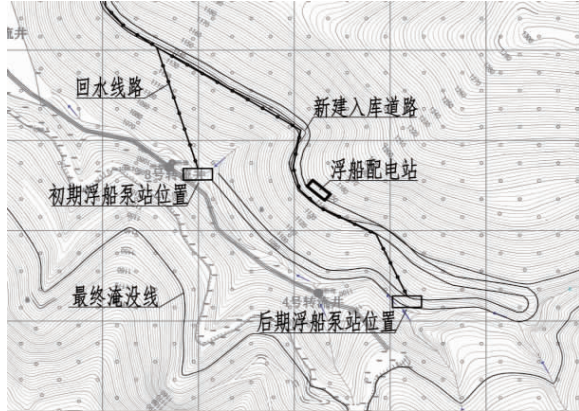


图3 方案二平面布置图

Fig. 3 Layout plan sketch of second scheme

浮船泵站尺寸为: $L \times B \times H = 22.5 \text{ m} \times 7.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$;泵房内布设3台多级离心泵(型号为MD550-50 \times 5,流量 $Q = 550 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H = 250 \text{ m}$,电机功率560 kW,两用一备)。同时泵房内需布置2台真空泵(一用一备)用于从尾矿库内引水,真空泵型号SZ-2($P = 7.5 \text{ kW}$)。浮船泵站至新建入库道路修建踏步并敷设回水管路,踏步底坡1:2,宽3 m,浮船泵房方案见图4。库内浮船经浮桥与岸坡固定端联通,每台离心泵通过1根DN300 mm 无缝钢管与DN500 mm 无缝钢管主管相连。

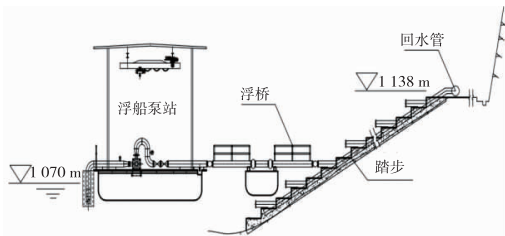


图4 方案二浮船泵站剖面图

Fig. 4 Pump station sketch of second scheme

4.5 方案比较和讨论

针对两种回水系统布置方案:方案一(缆车泵站+岸坡泵站二级回水)和方案二(浮船泵站一级回水),以下从技术、经济及运行管理等角度进行比较讨论:

1)从技术角度分析,方案一、方案二的泵为常规泵型,泵送能力及回水管路均能满足所需回水量需要,从技术上均是可行的方案。但从技术可靠程度比较,方案一因采用二级回水,设备主要包括4台200WQ350-40-75潜水泵、3台MD550-50 \times 4离心泵及1台DJ-4型调度绞车,设备数量多,管道连接部位多。方案二采用浮船泵站一级回水,设备主要为3台MD550-50 \times 5离心泵,设备数量少,管道连接部位少,浮船、浮桥、接头、阀门等技术成熟,国内浮船回水案例很多。因此,方案一的技术可靠程度低于方案二。

2)从施工角度分析,考虑库尾两岸原始地形陡峭,岸坡坡度38°(1:1.25)左右,大面积开挖山体将带来次生边坡安全问题,因此回水设施布置需考虑避免大开挖施工。方案一、方案二均选采用分散布置方式:方案一缆车泵站位于斜坡道底部,岸坡泵站及缆车房位于岸坡建设。方案二浮船泵站位于库内,为减小浮船泵站尺寸,节约投资,将浮船配电房布置在新建入库道路位置,兼顾前期后期浮船泵站供电。对比施工难度,两方案陡坡段斜坡道及踏步施工难度相当,但方案一需修建岸坡二级泵站及缆车房,局部开挖山体边坡较高,因此方案一的施工难度大于方案二。但对比山体开挖量,由于方案二采用浮船泵站一级回水,考虑浮船设备的安装及检修,需修建沿库尾至水区的入库道路,方案二的山体开挖量要大于方案一。整体来看,方案一施工难度大但山体开挖量小,方案二施工难度小但山体开挖量大。

3)从经济性角度分析,主要包括建设投资和运营投资。从建设投资比较,方案一因采用分期实施,一方面岸坡泵站建设投资小于库内浮船泵站,另一方面初期无需修建库尾的入库道路,方案一的初期建设投资比方案二约低150万元。但后期泵站整体迁建一次及建设库尾入库道路后,总投资与方案二相当。从运营费用比较,因回水总扬程相同,但一级泵站的能量利用率要高于二级泵站,方案二能耗较方案一低约8%,年节约电费约60万元。整体来看,方案一初期建设投资虽小于方案二,但后期运营费用高于方案二。

4)从运行管理角度分析,方案一为二级泵站+缆车房,设备数量及连接部位较多,缆车泵站检修需将潜水泵提升至缆车泵房内,潜水泵与管道连接需要在斜坡道内作业,运营管理相对复杂。方案二为一级泵站,设备数量少,浮船与岸坡连接管路随水面

上升沿踏步逐级抬升即可,运营管理相对简单。因此,方案一运营管理的简便性不如方案二。

综合分析来看,方案一优点是初期建设投资较低,但从施工难度、总建设投资、运营费用方面均不如方案二,因此针对本工程可优先考虑方案二。但考虑工程具有特殊性,针对其它类似工程,需结合工程特点进行具体分析。

5 结论

本文针对国内某沟谷型尾矿库地形陡峭的特点,提出了两种回水系统的布置方案,从技术、经济及运行管理等角度进行比较讨论,研究结论如下:

1)对于多雨地区,降雨入库水量较大,回水量计算采用水量平衡算法更符合实际。

2)从节约水资源角度,矿山生产过程中应充分利用尾矿库回水,可有效减少补充新水量。当尾矿坝高度较高且无法采用自流回水方式时,回水设施布置时应考虑充分利用库中水头标高的优势,优先采用库内回水方式,可以减少运营成本。库内回水可考虑采用缆车泵站+岸坡泵站分级回水或浮船泵站一级回水等方式,经技术经济比较确定。

3)对于库区自然山坡较陡的地区,缆车泵站施工难度一般大于浮船泵站,但因无需采购大型浮船,利于降低初期投资。但采用浮船泵站后期运营费用低,管理较方便,适宜作为优先考虑方案。但考虑工程具有特殊性,需结合工程特点进行具体分析。

参 考 文 献

- [1] 缪建成. 以无废采选创绿色生态[J]. 中国有色金属, 2014(16): 35, 38.
MIU Jiancheng. Creating green ecology by nonwaste mining and selection[J]. China Nonferrous Metals, 2014(16): 35, 38.
- [2] 张黎. 矿山工程中废水处理与利用分析[J]. 冶金管理, 2020(9): 205-206.
ZHANG Can. Analysis on treatment and utilization of waste water in mine engineering[J]. China Steel Focus, 2020(9): 205-206.
- [3] 李松, 李徽文. 浅论有色金属选矿厂排出尾矿浓度与尾矿回水率的关系[J]. 有色冶金节能, 2020, 36(5): 72-75.
LI Song, LI Xiwen. Discussion on the relationship between concentration of tailings discharged and tailings backwater rate in non-ferrous metal concentrators [J]. Energy Saving of Nonferrous Metallurgy, 2020, 36(5): 72-75.
- [4] 杨玮, 曹欢, 张凯, 等. 新疆某铜锌矿选矿废水回用对浮选指标的影响研究[J]. 有色金属工程, 2019, 9(12): 69-75, 88.
YANG Wei, CAO Huan, ZHANG Kai, et al. Study on the effect of reusing wastewater of a copper-zinc mine in xinjiang on flotation index[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2019, 9(12): 69-75, 88.
- [5] 王秋衡, 王雪舟, 张利军, 等. 湖南有色金属矿山废水污染的安全评价[J]. 有色金属(矿山部分), 2007, 59(1): 39-42.
WANG Qiuheng, WANG Xuezhou, ZHANG Lijun, et al. The safety evaluation of wastewater pollution in Hunnan non-ferrous metalmines [J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2017, 59(1): 39-42.
- [6] 《尾矿设施设计参考资料》编写组. 尾矿设施设计参考资料[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980.
《Reference Materials for Tailings Pond Facility Design》Writing Group. Reference materials for tailings pond facility design[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1980.
- [7] 胡祥群, 高峰. 德兴铜矿5号尾矿库回水方案选择的经验探讨[J]. 有色设备, 2020, 34(6): 14-18.
HU Xiangqun, GAO Feng. Talk about the selection of backwater scheme of No. 5 tailings pond of Dexing copper mine[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2020, 34(6): 14-18.
- [9] 张志沛. 勉宁公路沿线边坡软岩力学特性及其稳定性研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2009.
ZHANG Zhipei. Study on mechanical characteristics of soft rock and stability of slope along Mian-Ning Freeway [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2009.
- [10] 王豫皖, 李梦坤. 回弹仪在煤的坚固性系数测定中的应用[J]. 煤矿机械, 2017, 38(8): 119-121.
WANG Yuwan, LI Mengkun. Application of rebound hammer in determination of firmness coefficient of coal[J]. Coal Mine Machinery, 2017, 38(8): 119-121.
- [11] 王凯笛. 岩石强度的回弹法测试与分析[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020.
WANG Kaidi. Test and analysis of rock strength by rebound method[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2020.
- [12] BUYUKSAGIS I S, GOKTAN R M. The effect of Schmidt hammer type on uniaxial compressive strength prediction of rock[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2006, 44(2): 299-307.
- [13] 李杨, 张超, 宋卫东, 等. 海底金矿岩石弹性纵波与孔隙率特性[J]. 中国矿业大学学报, 2021, 50(2): 239-247.
LI Yang, ZHANG Chao, SONG Weidong, et al. Elastic longitudinal wave and porosity of subsea gold deposits [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2021, 50(2): 239-247.

(编辑: 郭文晶)

(上接第 121 页)

(编辑: 周叶)