

附件 5

《铜镍钴采选废水治理工程技术规范》

(征求意见稿)

编 制 说 明

《铜镍钴采选废水治理工程技术规范》编制组

2015 年 6 月

项目名称：铜镍钴采选废水治理工程技术规范

项目统一编号：2012-GF-005

承担单位：北京矿冶研究总院

编制组主要成员：金尚勇 高文谦 刘 芳 杨晓松 汪 靖 林星杰

标准所技术管理负责人：姚芝茂

标准处项目管理人：范真真

目 录

1 任务来源.....	82
2 标准制定必要性.....	82
3 主要工作过程.....	92
4 国内外相关标准研究.....	92
5 同类工程现状调研.....	94
6 主要技术内容及说明.....	102
7 标准实施的环境效益和经济技术分析.....	114
8 标准实施建议.....	114
9 征求意见处理情况说明（送审稿）	114
10 技术审查工作情况说明（报批稿）	114

1 任务来源

2012 年环境保护部下达了《关于开展 2012 年度国家环境技术管理项目计划工作的通知》（环办函[2012]328 号），其中提出了制定《铜镍钴采选废水治理工程技术规范》（项目编号 2012-GF-005）行业标准的任务。北京矿冶研究总院承担该标准的编制工作。

2 标准制定必要性

2.1 国家及环保主管部门的相关要求

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》提出：实施主要污染物排放总量控制。实行严格的饮用水水源地保护制度，提高集中式饮用水水源地水质达标率。加强造纸、印染、化工、制革、规模化畜禽养殖等行业污染治理，继续推进重点流域和区域水污染防治，加强重点湖库及河流环境保护和生态治理，加大重点跨界河流环境管理和污染防治力度，加强地下水污染防治。推进火电、钢铁、有色、化工、建材等行业二氧化硫和氮氧化物治理，强化脱硫脱硝设施稳定运行，加大机动车尾气治理力度。加强重金属污染综合治理，以湘江流域为重点，开展重金属污染治理与修复试点示范。加大持久性有机物、危险废物、危险化学品污染防治力度，开展受污染场地、土壤、水体等污染治理与修复试点示范。

《重金属污染综合防治“十二五”规划》要求对 5 大重点防控行业和 4452 家重点防控企业实行多方面的有效监控。到 2015 年，重点区域重点重金属污染物排放量比 2007 年减少 15%，非重点区域的重点重金属污染物排放量不超过 2007 年的水平。重点防控的重金属污染物包括铅（Pb）、汞（Hg）、镉（Cd）、铬（Cr）和类金属砷（As）等。

《有色金属产业调整和振兴规划》提出：根据产业发展状况，修订完善《产业结构调整指导目录》及相关产业发展政策，重点提高技术装备、能耗、水耗、污染物排放、资源利用率等准入条件，严格用地标准，制定深加工产品分类细则等。

《铜镍钴工业污染物排放标准》（GB25467-2010）规定：自 2012 年 1 月 1

日起,所有铜镍钴企业执行新建企业水污染物排放浓度限值及单位产品基准排水量,在国土开发密度已经很高、环境承载能力开始减弱,或环境容量较小、生态环境脆弱,容易发生严重环境污染等问题而需要采取特别保护措施的地区,执行水污染物特别排放限值。

国家环保部等九部委《关于 2011 年深入开展整治违法排污企业保障群众健康环保专项行动的通知》(环发[2011]41 号)提出:在 2010 年对重金属排放企业排查整治的基础上,按照国务院批复的《重金属污染综合防治“十二五”规划》的总体要求,对已确定的涉重金属重点区域和重点行业,进一步加大督查督办力度,加强土壤重金属污染防控,落实整治措施,切实消除环境污染隐患。要加大对环境违法行为的处罚,坚决淘汰达不到环保要求的小型有色金属矿山采选及冶炼企业,严格电镀、制革、化工等工业园区监管,禁止偷排偷放,加强涉重金属化工企业的生产全过程监管,督促企业完善各类突发事件应急预案并加强演练,防止发生次生环境污染事件。督促重金属排放企业开展清洁生产审核,公开环保不达标企业的污染物排放和环境管理情况。要严格环境准入,按照有关规定编制环评文件,严禁擅自降低评价等级审批环评文件,进一步严格环境保护“三同时”验收,凡不符合验收要求的,不得通过竣工环保验收。各地要结合实际工作,确定一批损害群众健康的突出环境问题,作为重点内容,开展集中整治。

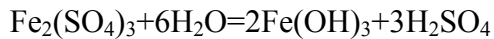
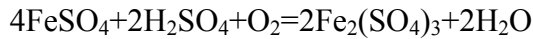
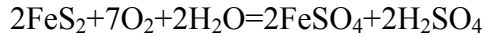
2.2 行业发展带来的主要环境问题

2.2.1 采矿废水的产生及治理

2.2.1.1 采矿废水的来源

采矿废水主要是指矿坑水、废石堆渗透水、洗矿水和采场废水,以矿坑水为主。采矿废水多为酸性。采矿废水的形成与矿床类型、结构、地质、水文、气候、开采方式等因素有关。在金属硫化矿床内多含有硫化铁矿,简单地说硫化铁矿的氧化过程就是矿坑酸性水的形成过程。在硫化铁的氧化过程中,形成硫酸、硫酸高铁,他们又进一步使矿石中的金属生成硫酸盐类,从而生成含多种金属离子的酸性废水。从 pH 值的变化看,可分为三个阶段:即第一阶段 pH 值接近 4.5,第二阶段 pH 值为 2.5-4.5,第三阶段 $\text{pH} \leq 2.5$,在各阶段中硫化矿物、水、氧是参与反应的物质,而微生物(细菌)、氧化还原电位、温度等是反应条件。

主要的反应方程式如下:



(1) 废石堆场废水

废水堆场废水主要由降雨淋溶含硫化矿废石产生，可根据降雨量、汇水面积和径流系数计算确定。一般，废石堆场设有废水调节库，还应进行调洪计算，以确定外排的废水量。

废石堆场废水水质，受废石成分、块度、废石堆的几何形状、雨型降雨强度和历时长短及气温等因素的影响。

(2) 矿坑废水

矿坑废水量，因坑道地理位置、标高、围岩结构、开采作业方法、自然降水量和地下水位不同而异，一般，根据水文地质资料和有关数据计算确定。矿坑废水水质受以下诸因素影响：

1) 对同一矿体言，其矿坑废水的 pH 值，一般随着开采深度的延深、矿石氧化程度的减弱而增高；重金属含量随之而减少。

2) 当坑道掘进开始时，废水的 pH 值较高，金属离子含量较低；随着开采继续延伸，矿体裸露，氧化作用加剧，溶解作用加强，pH 值下降，金属离子含量逐渐增加。

3) 坑内废水泵出地面后，水质会有所改变，随着流径距离增加， Fe^{3+} 会增加； Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 有所减少； Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 变化不大。

2.2.1.2 采矿废水的特点

(1) pH 值低、含多种金属离子

采矿废水多为酸性，pH 值在 2~4 左右，重金属离子的含量为每升几毫克至几百毫克范围，也有高达数千毫克的情况，有的还含有一定数量的铜、锌、锰、砷和二氧化硅等，若不采取手段进行回收，则直接造成矿产资源浪费。

(2) 水量大、污染时间长

矿山废水水量大，据统计，每开采 1 t 矿石，废水的排放量约为 1 m^3 ，不少矿山每天排放数千至数万 m^3 的废水。矿山废水主要来源于地下水和地表降水，

矿山开采完毕，这些水仍然继续流出，如果不采取措施，对环境将造成长期的不利影响。

（3）水量、水质波动大

矿山废水的水量与水质随着矿床类型、赋存条件、采矿方法和自然条件的不同，有很大的差异，其水质、水量波动很大，水的成分和含量变化也大。同一类型矿藏，由于矿石组成、形成的条件等因素的差异，使形成废水的组成及其浓度均不同。

2.2.1.3 采矿废水的危害

采矿废水对矿业生产、生态环境造成负面影响，是采矿业面临的最严重的环境污染之一。因其 pH 值低、酸度大，而且含有大量的重金属，该类废水能够导致矿区周围水体的严重污染，引起鱼类、藻类、浮游生物等绝大多数水生生物死亡，也能破坏土壤的团粒结构，使土地板结，农作物枯黄；在缺氧状态下，酸性矿山废水中大量 SO_4^{2-} 受脱硫菌属的作用，所产生的 H_2S 气体对生物体具有严重的毒害作用；酸性废水对水泵配件、管材、坑道设备产生强烈的腐蚀破坏作用，致使设备维修频繁，更会直接危害矿工的安全。

永平铜矿含 Cu、Fe、F、Be 废水污染交集河、桐木江，在污水入口下游 250 米处水质分析为 pH 4、Cu 13.0mg/L、Zn 0.97mg/L、Fe 27.0mg/L、Be 3.77 mg/L，入桐木江河口处 pH 4.8、Cu 5-6mg/L、Fe 1.0 mg/L、F 1.0 mg/L、Be 1.74 mg/L，使河中鱼虾绝迹，水草不生。

东乡铜矿废水对周围水系污染严重，1981 年对矿区附近水系中水质和底泥进行了调查，离矿山 5 公里之汝河两岸冲击物中含铜量很高，总铜达 500-850ppm，有效铜 300-500ppm。东乡铜矿受污染农田总铜、有效铜平均值分别为未污染农田的 12.36、25.42 倍，且受污农田团粒结构被破坏，造成板结，出现盐霜。土壤 pH 值下降 0.2-0.5，使水稻减产，根、茎叶、稻米均不同程度受到重金属污染。

2.2.1.4 采矿废水的治理

目前国内外对于酸性废水使用的处理技术有传统石灰中和、石灰中和—铁（铝）盐沉淀法、高密度泥浆法（HDS）、离子交换法、铁氧体处理技术、生物氧化法等，每种方法有其独特的适用对象，应针对不同企业的相关问题而提出和选用。一般而言，石灰中和及其衍生（改进）方法比较适合废水单纯处理达标排

放或回用；离子交换、铁氧体处理技术、吸附、生物硫化法和生物氧化法等方法及其相互结合比较适用于废水中有价金属回收与处理达标排放或回用的情况。目前最常使用的是石灰中和及其衍生（改进）方法，工程使用率占 90% 以上，其中国内大部分厂家采用传统的石灰中和法，国外主要采用对传统石灰法的改进技术—高密度泥浆法（HDS）。目前治理矿山酸性废水的方法比较见表 2。

表 2 传统处理矿山酸性废水方法列表

方法	作用机理	主要优点	主要缺点
传统中和法	投加碱中和剂，利用酸碱中和反应调节 pH 值，同时生成难溶的氢氧化物沉淀，净化污水	可以处理任何浓度、任何性质的酸性废水，操作简单，管理方便，处理费用低	处理后生成硫酸钙渣较多，且脱水难，加上生成的氢氧化物在酸性环境下易分解，不处理易造成系统流域二次污染
石灰中和-铁（铝）盐沉淀	处理含砷、氟等酸性废水	回收有价成分，尤其是处理有毒金属	与石灰法相比工程投资和运行费用会增加
高密度泥浆法（HDS）	底泥回流的改进石灰中和法，适合石灰法改进	减少石灰消耗量 5%~10%；沉淀污泥含固量可达到 20~30%；减低污泥输送费用和运行费用；管道不容易结垢	与石灰法相比需要补加污泥回流设施
电化学处理	在外电流作用下生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 或 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，这些微粒对水中胶体粒子的凝聚和吸附性很强，可以用来处理污水中的有机或无机胶体	设备简单、占地小、操作方便、有效回收有价金属	耗电量大、废水处理量小
离子交换法	利用重金属与离子交换树脂发生离子交换过程，达到富集重金属离子、消除或降低废水中重金属离子的目的	处理容量大、出水水质好、能回收水	交换树脂需频繁再生，操作费用很高
生物氧化法	利用微生物生理特性吸附，吸收并沉淀重金属，同时消耗废水中的硫酸根离子，同时降低废水中	成本低、适应性强、能吸收或吸附重金属，还可以分解生成重金属硫化物沉淀予以回收	处理时间长，微生物选择性强，在处理有些废水时需要预处理，有时会生成 H_2S 气体污染
膜分离技术	废水资源回收、深度处理	技术成熟、稳定，运行费用低，占地面积小，操作简单。	对进水水质要求严格，更换膜费用高
人工湿地系统	利用自然湿地系统中物理、化学、生物的协同作用，通过沉淀、吸附、阻隔、微生物同化分解、硝化、反硝化以及植物吸收等途径去除悬浮物、有机物、N、P 和重金	低投入、低能耗、低管理费用、抗冲击能力强、有机污染物降解能力强	占地面积大，处理程度受环境影响很大，而且处理后部分残余 H_2S 会从土壤中逸出

	属等		
传统硫化物沉淀浮选法	向污水中投加硫化剂，使污水中金属离子形成硫化物沉淀，然后用浮选沉淀物的方法回收有价金属	可回收部分金属，重金属去除比较彻底	需加入过量硫化物，试剂成本高，容易生成 H_2S 气体，造成二次污染
铁氧体处理技术	利用铁氧体法沉淀废水中的重金属离子，在一定的 pH 范围将酸性废水加热至 $60^{\circ}C$ 而沉淀出铁氧体	生成的铁氧体稳定性好，沉淀物易于用磁选法回收和能去除掉废水中绝大多数二价金属离子	需对有 Al、Si 的废水进行预处理，且反应时间较长
膜分离	利用膜分离技术选择性截留、浓缩重金属离子，便于有价金属回收	技术成熟、稳定，运行费用低，占地面积小，操作简单。	对进水水质要求严格，更换膜费用高

每种方法都有其各自的特点和适用对象，其中，有价金属回收技术是国家重点鼓励发展的技术；高密度泥浆法（HDS）是石灰中和法中处理达标排放的最佳工艺。膜分离技术在我国的应用呈现出日益扩大的趋势，特别是在有色矿山和金属冶炼领域中用于废水资源回收利用和深度处理方面前景十分广阔。

2) 发展趋势

一是回收污水中的有价金属。通常可采用铁置换，萃取—电积等方法来回收污水中铜等有价金属。

二是提高废水回用率，将采矿废水送往选矿厂代替硫酸调整 pH 值。铜矿石的选矿，大多采用优先浮选工艺，浮选过程需用硫酸调低矿浆 pH 值，来实现铜硫分离。因此，用采矿酸污水代替硫酸，具有良好的经济效益。

三是充分利用选矿过程产生的碱性物质。选矿厂产生的精矿脱水、尾矿浆和尾矿库回水等均含有碱性物质，如能用来代替石灰作采矿酸性污水的中和剂，将起到以废治废、降低成本的效果。

2.2.2 选矿废水的产生及治理

2.2.2.1 选矿废水的来源

铜镍钴选矿过程产生的废水统称为选矿废水，包括尾矿废水、精矿废水和其它废水（指选矿车间地面冲洗水、湿法除尘废水等）。

(1) 尾矿废水

选矿厂浮选、重选等产生的工艺排水，一般与尾矿一起排入尾矿库，经尾矿库沉淀澄清、自然降解后部分返回选矿工艺回用，多余部分排放；也有部分矿山采用浓密池沉淀澄清后进行厂前回水，浓密池底流进入尾矿库。

（2）精矿废水

精矿浓密池沉淀过程产生的溢流水或脱水过程产生的废水，一般回用于选矿工艺，也有部分选矿厂与尾矿水一起排入尾矿库。

（3）其它废水

包括选矿破碎、筛分车间、皮带走廊及矿石转运站的地面冲洗水和湿法除尘排水，主要污染物为含原矿粉末状的悬浮物，一般经沉淀回收有用矿石粉末后回用或排放。

2.2.2.2 选矿废水的特点

（1）水量大

通常处理 1t 矿石浮选法用水 $4\sim 7\text{m}^3$ ，重选用水 $20\sim 26\text{m}^3$ 、浮磁联选用水 $23\sim 27\text{m}^3$ ，重浮联选用水 $20\sim 30\text{m}^3$ ，除厂前回水循环利用少部分外，其余全部随尾矿排入尾矿库，经尾矿库沉淀澄清后部分回用，其余外排；雨季情况下，尾矿废水外排更多。

（2）水质复杂

选矿废水水质与矿石有较大关系，通常含有大量重金属、悬浮物，而浮选废水中，还含有浮选过程加入的各类捕收剂、起泡剂、有机和无机的活化剂、抑制剂等，且选矿药剂与重金属在环境中形成复合污染。

2.2.2.3 选矿废水的危害

选矿废水中主要有害物质是重金属离子、矿石浮选时用的各种有机和无机浮选药剂，选矿废水中的污染物主要有悬浮物、酸碱、重金属和砷、选矿药剂、化学耗氧物质以及其他的一些污染物如油类、酚、铵、磷等等。重金属如铜、铅、锌、铬、汞及砷等离子及其化合物的危害，已是众所周知。其他污染物的主要危害如下：

（1）悬浮物：水中的悬浮物可以发生诸如阻塞鱼鳃、影响藻类的光合作用来干扰水生物生活条件，如果悬浮物浓度过高，还可能使河道淤积，用其灌溉又会使土壤板结。如果作为生活用水，悬浮物是感官上使人产生不舒服的感觉一种物质，而且又是细菌、病毒的载体，对人体存在潜在的危害。甚至当悬浮物中存在重金属化合物时，在一定条件下(水体的 pH 下降、离子强度、有机螯合剂浓度变化等)会将其释放到水中。

(2)黄药：即黄原酸盐，为淡黄色粉状物，有刺激性臭味，易分解，嗅味阈为 0.005mg/L。被黄药污染的水体中的鱼虾等有难闻的黄药味。黄药易溶于水，在水中不稳定，尤其是在酸性条件下易分解，其分解物 CS 可以是硫污染物。因此，我国地面水中丁基黄原酸盐的最高容许浓度为 0.005mg/L，而前苏联水体中极限丁基黄原酸钠的浓度为 0.001mg/L。

(3)黑药：以二羟基二硫化磷酸盐为主要成分，所含杂质包括甲酸、磷酸、硫甲酚和硫化氢等。呈现黑褐色油状液体，微溶于水，有硫化氢臭味。它也是选矿废水中酚，磷等污染的来源。

(4)松醇油：即为 2#浮选油，主要成分为萜烯醇。黄棕色油状透明液体，不溶于水，属无毒选矿药剂，但具有松香味，因此能引起水体感官性能的变化。由于松醇油是一种起泡剂，易使水面产生令人不快的泡沫。

(5)硫化物：一般情况下，S、HS⁻ 在水中会影响水体的卫生状况，在酸性条件下生成硫化氢。当水中硫化氢含量超过 0.5mg/L，对鱼类有毒害作用，并可觉察其散发出的臭气；大气中硫化氢嗅觉阈为 10mg/m。此外，低浓度 CS，在水中易挥发，通过呼吸和皮肤进入人体，长期接触会引起中毒，导致神经性疾病夏科氏(Charcot)二硫化碳癔病。

(6)化学耗氧量：化学需氧量是水中的耗氧有机物的量化替代性指标，在选矿废水中的耗氧量，主要是残存于水中的选矿药剂。

2.2.2.4 选矿废水的治理

目前，国内铜、镍、钴选矿厂废水的治理方法，主要有自然净化法、混凝法、中和法和重复利用法等。

(1) 自然净化法

自然净化法是当前普遍使用的方法。其构筑物主要是沉淀池和尾矿库，使选矿废水中的主要污染物—悬浮物被除去。经自然净化(特别是尾矿库)净化后的选矿废水，多数可以达到重复利用和现行排放标准的要求。

(2) 混凝法

混凝法是指使用有机或无机絮凝剂使分散体系聚结脱稳过程的方法。它不仅适用于含悬浮物质、胶体物质及可溶性污染物废水的处理，也适用于含重金属离子废水的处理。混凝法具有适应性强、技术可行和经济合理等优点。因此，在选矿废水的处理中仍占重要的地位。

（3）中和法

用中和法处理铜、镍、钴选矿废水存在两种情况，一是对选矿废水中呈酸性的洗矿水用中和法进行处理；二是与酸性的采矿废水进行相互中和处理。

（4）重复利用

是将经自然净化、混凝和中和处理后的选矿废水重新用于选矿作业。这种方法有三个优点：一是可以减少废水的外排量、二是可以减少选矿作业新水的用量、三是可以适当降低处理的要求。

（5）发展趋势

一是提高选矿作业的水重复利用率。许多选矿厂的实践证明，将选矿废水重复用于选矿作业，不但能保证选矿生产的正常运行，而且可减少选矿废水的外排量和减少选矿作业的新水用量。因而，有明显的环境和经济效益。

二是充分发挥尾矿库的作用。目前，我国铜、镍、钴矿山的尾矿库在处理矿山废水的过程中主要发挥了如下作用：一是使绝大部分的选矿废水得到处理，并使之达标或基本达标；二是基本成为选矿用水的第二甚至第一水源地；三是有的矿山将采矿酸性废水送往尾矿库，使之实现酸、碱大中和。为此，应在确保尾矿库安全的前提下，进一步发挥尾矿库保护环境的作用。

三是采用膜分离等新技术，提高水重复利用。

2.3 遏制重金属污染事故的需求

2010 年 7 月，福建紫金矿业紫金山铜矿湿法厂发生铜酸水泄露事故，近万吨废水顺着涵洞流入汀江，事故造成汀江部分河段污染及大量网箱养鱼死亡；2012 年 1 月，广西龙江河拉浪水电站网箱养鱼出现少量鱼死现象被网民曝光，龙江河宜州拉浪码头前 200m 水质重金属镉超标 80 倍，使得沿岸及下游居民饮水安全遭受严重威胁。

重金属污染事故频发，对人民生活造成了严重威胁，在国内外造成了不良影响。国家环保部数据显示，2009 年重金属污染事件致使 4035 人血铅超标、182 人镉超标，引发 32 起群体性事件。数据还显示，全国每年因被重金属污染的粮食高达 1200 万吨，相当于广东一年的粮食产量，可以养活常住珠三角的 4000 万人口。自 2008 年以来，先后发生广西河池市砷污染饮用水事件、云南高原九大明珠之一的阳宗海发生严重砷污染事件、陕西宝鸡血铅超标事件、浏阳镉超标

事件、湖南娄底铬废渣事件、云南曲靖铬渣非法倾倒事件等。2011 年 4 月，环保部等九部委联合发布通知，要求在 2012 年深入开展整治违法排污企业保障群众健康环保专项行动。环保部部长周生贤表示，要以最严厉的措施整治重点行业重金属排放企业环境污染问题。

铜镍钴采选行业属五个重金属污染重点防控行业之一，再加上部分企业存在违法开采、超标排污等问题，对环境的重金属污染不可忽视。《重金属污染综合防治十二五规划》、《铜镍钴工业污染物排放标准》等的颁布要求铜镍钴采选废水治理必须遵循相应的规范、标准，才能保证重金属污染物的稳定达标排放。

2.4 采选废水治理工程的需求

随着铜镍钴采选行业的发展，对地表水体的污染和其它环境的污染也随之加剧，铜、镍、钴污染是重金属污染中危害较为严重的环节之一，铜镍钴采选过程产生的废水，是造成环境污染的重要来源。近几年来国内重金属污染事件频发，给人民群众的生命财产造成了重大损失。

铜镍钴采选过程中产生的大量废水，其中主要污染物为总铅、总镉、总镍、总砷、总汞和总钴等。所排放的废水直接污染了土壤、水体和农作物，造成不可逆的危害。因此，在废水治理的同时，也同时控制了通过废水所造成的重金属污染。

控制铜镍钴采选废水污染，要遵循“源头控制、多措并举”的方针，严格控制污染物的产生和排放，要加强执法力度，坚决淘汰落后工艺和产能，严格相关标准、规范，依法关闭环保不达标企业。现有和新建的铜镍钴采选企业除采用新的采选工艺或对现有工艺进行更新改造外，对采选产生的废水进行高标准综合治理也是很重要的。

因此，从工程技术规范角度约束铜镍钴采选行业的建设和生产行为，规范和强化铜镍钴采选废水治理行为，也将会为遏制废水中重金属污染提供有力支持。

根据我国铜镍钴采选废水排放治理的具体情况和的发展趋势，需要参照国外技术状况及相关标准，建立一套既符合我国国情又能与国际接轨的铜镍钴采选废水治理工程的技术标准，规范我国铜镍钴采选废水治理工程技术的设计、施工、验收、运行和维护等过程的行为准则；促进我国铜镍钴采选废水治理工程技术进步和可持续发展，改善环境质量、保护生活环境、生态环境和人体健康，为我国铜

镍钴采选行业健康可持续发展提供技术支撑。

可以看出,随着我国铜镍钴采选行业的发展,对企业废水排放的标准日益严格。因此,迫切需要根据我国铜镍钴采选废水排放治理的具体情况和发展趋势,参照国外技术状况及相关标准,建立一套既符合我国国情又能与国际接轨的铜镍钴采选废水治理工程的技术标准,规范我国铜镍钴采选废水治理工程技术的设计、施工、验收、运行和维护等过程的行为准则;促进我国铜镍钴采选废水治理工程技术进步和可持续发展,改善环境质量、保护生活环境、生态环境和人体健康,为我国铜镍钴采选行业健康可持续发展提供技术支撑。

由此,针对铜镍钴采选行业的废水污染特点,制定铜镍钴采选废水治理的工程技术规范,使铜镍钴采选废水治理更符合我国铜镍钴采选工业发展的要求,是非常必要和迫切的。

3 主要工作过程

根据国家环境保护部下达的《关于开展 2012 年度国家环境技术管理项目计划工作的通知》(环办函[2012]328 号),北京矿冶研究总院于 2012 年 4 月成立项目编制组,填报了计划任务书,签订了任务合同书。

经过对铜镍钴采选行业生产及污染防治的相关法律、法规及现行技术的文献调研,于 2012 年 12 月编制完成了《铜镍钴采选废水治理工程技术规范开题报告》。2013 年 1 月 7 日,环境保护部科技标准司在环境保护部主持召开了《铜镍钴采选废水治理工程技术规范开题报告》论证会,并形成了报告论证意见。

会后,编制组成员根据开题论证会审查意见,经过书面函调、现场调研,于 2013 年 6 月完成《铜镍钴采选废水治理工程技术规范(征求意见稿)》和《铜镍钴采选废水治理工程技术规范(编制说明)》。

2014 年 4 月、2015 年 4 月、5 月,编制组组织行业专家对征求意见稿进行了讨论、修改;2015 年 5 月正式将征求意见稿及编制说明提交至环境保护部科技标准司,拟就相关司局、具有铜镍钴采选生产及采选废水治理工程经验的铜镍钴矿山企业、科研院所、高校,公开征求意见。

4 国内外相关标准研究

环境工程技术规范制定工作在国外已经开展多年,国际标准化组织和美国、法国、德国、日本等发达国家已经颁布了数百项环境工程技术规范,各国与环境

工程服务相关的技术标准是面向产品或服务的资源型标准，其中技术标准类型主要包括：基础标准、环境质量和污染物监测分析方法标准、产品与设施性能分析测试标准、环境工程服务技术标准以及环保产品标准等方面。国际标准化组织（ISO）与环境工程服务标准很少，几乎无工程建设和管理类标准。美国国家标准（ANSI）中的工程建设和运行管理标准约占环境工程服务技术标准的 22%，如《城市地下排水系统设计准则 ANSI/ASCE 12-92》、《超声波水处理系统 ANSI/NSF 55-2002》。德国国家工业标准（DIN）的系统性较强，以污水处理厂为例，分别建立了工程设计和配套设备两个系列标准，共计 20 多项，包括了污水预处理到污泥处置全过程的主要单元工艺和设备、材料的要求。其中的设备标准主要为设计结构原理和与其它通用设备不同的特殊结构要求，如《污水处理厂，第一部分：总的施工原则 DIN EN 12255-1-2002》、《污水处理厂，第 3 部分：预处理（包括技术勘误 AC-2000）DIN EN 12255-1-2002》。此外，日本工业标准（JIS）、法国国家标准（NF）、英国国家标准（BS）等发达国家标准体系中也都有设计工程建设和管理类标准和规范。

从目前掌握的资料来看，国外有关环境工程的技术标准具有几个特点：首先，与环境工程服务相关的标准在 ISO 和各发达国家标准体系中所占比例较小，总的数量不大。国外的环境工程服务类标准也还处理发展过程中；其次，国外环境工程服务类标准中环境监测分析方法标准和产品标准较多，而特定的工程建设和运行管理标准较少，涉及铜镍钴采选废水治理工程的标准更是没有。

在我国，原来的建设部、化工部、机械部等多部为都在各自的行业内制定并颁布了一些与环境工程相关的技术规范，包括国家标准和部颁行业标准，但这些标准数量并不多。从上世纪 90 年代末期至今，建设部在环保标准方面做出了大量的工作，但主要是在污水、工业废水、垃圾处理等领域发布了较多的工程设计标准和验收规范。目前，环境保护部已颁布环境保护标准 1800 余项，其中与环境工程相关的技术规范仅有 59 项，远远不能满足环境工程服务业发展和环境管理的要求。近年来，我国环境工程服务业发展迅猛，但目前已发布的与环境工程相关的技术规范数量少，不能满足我国环境工程建设与管理的需要。

环境工程技术规范在我国发展处于起步阶段，导致我国环保工程连续稳定达标运行率低，工程建设质量差，技术性能不可靠，造成市场秩序混乱。严禁、完

善的环境工程技术规范体系是促进环境工程行业健康发展的必要基础。我国的环境工程技术规范体系现在还不完善，目前尚有大量环境工程技术还没有标准可以依据，一些应该废止的、旧的工程技术规范存在着技术分类不科学、设计范围窄、技术落后等问题，迫切需要对这些标准进行规范和重新编制，而另外还有大量环境工程技术需要通过制定标准来统一技术要求。因此，从行业发展角度看，我国的环境保护工程技术规范还有待大力发展。

5 同类工程现状调研

5.1 铜镍钴采选废水水质及治理情况

我国部分铜镍钴矿山采矿废水及选矿废水水质指标见表 1、表 2。

表 1 我国部分铜镍钴矿山采矿废水水质指标

矿山	水量	Cu	pb	Zn	Fe	Cd	As	F	Ca	Cr	SO ₄ ²⁻	pH
永平铜矿	/	15.8-270	0.8-0.47	2.86-22.1	/	/	/	34-58	73.84	/	1298-4570	2.3-2.8
东乡铜矿	7964	9-78.4	0.1-0.25	0.28-1.77	6-201.9	0.02-0.49	0.005-1	/	/	0.004	/	2-5.2
武山铜矿	/	1-982	0.5-1.2	19-149	20-6360	0.5-7	0.1-38.75	0.6-11.98	/	/	/	2-4.5
铜官山铜矿	12000	13.0	0.48	6.15	22.2	0.048	0.14	/	246.93	0.083	379.44	5
德兴铜矿	615	224	/	/	746	/	505	/	310	/	/	2.55
七宝山矿	5550	0.1-112.18	0.2-2.0	0.7-2220	/	0.015-5	0.01-0.4	/	/	0.056-0.29	/	2.5-6.35
金川公司	/	0.474	0.0008	/	/	0.0005	0.01	/	/	0.024	/	8.6-9.2

表 2 我国部分铜镍钴矿山选矿废水水质指标

矿山	废水来源	pH	SS	Cu	Ni	Pb	As	Zn	Cd	Cr ⁶⁺	S ²⁻	耗酸	COD
德兴铜矿	尾矿库排水	7.17	83	<0.010	/	0.159	/	0.101	0.018	0.010	0.100	48.13	13.53
	尾矿库回用水	6.83	68	0.026	/	0.178	/	0.152	0.021	0.028	<0.010	33.48	15.04
	尾矿浆	11.69	/	<0.010	/	/	/	/	/	/	/	182.33	258.6
	精矿溢流水	12.43	351.0	<0.010	/	/	/	/	/	/	17.10	1102.86	526.3
吉恩镍业	尾矿库出水	8.77	80.5	/	0.636	0.01	0.003	/	0.001	/	/	/	30.6
金川集团	尾矿库出水	8.7	31-110	0.073-0.61	0.07-0.63	0.01-0.41	0.003-0.27	/	0.008-0.053	0.026-0.08	/	/	/

目前，我国部分铜镍钴矿山废水处理技术情况见表 3。

表 3 我国部分铜镍钴矿山废处理技术情况

序号	单位名称	废水来源	治理工艺	设计能力
1	德兴	露采坑、废石场	高浓度泥浆法	40000m ³ /d
			硫化法	24000m ³ /d
2	永平	采场	二段石灰中和	1100m ³ /d
3	白银	采选	石灰中和	1500m ³ /d
4	狮子山	采选	自然沉淀	3500m ³ /d
5	凤凰山	采选	石灰中和	12500 m ³ /d
6	红透山	采选	石灰中和	43170 m ³ /d
7	东乡	采选	石灰中和	12000 m ³ /d
8	武山	废石堆	铁屑置换	300 m ³ /d
9	金口岭	采选	石灰中和	2000 m ³ /d
10	吉恩镍业	精矿废水	酸水中和	2400m ³ /d
11	金川集团	尾矿废水	/	/

5.2 典型铜镍钴采选废水治理技术

5.2.1 硫化法

德兴铜矿是世界级特大型低品位斑岩铜矿之一，目前德兴铜矿日处理矿石 10 万 t，入选品味 0.35%左右。排土场每日增加（0.2%以下）低品位废石 10 万 t，废石在细菌和雨水的作用下产生含铜酸性废水。德兴铜矿产生的酸性废水总量为 1529.3 万 m³/a，主要来自富家坞采矿场、祝家废石场、大坞头老窿、杨桃坞废石场和水龙山废石场，其中富家坞采矿场产生量 607 万 m³/a，占总产生量的 39.7%；祝家废石场 202.9 万 m³/a，占总酸性废水排放量的 26.4%；大坞头老窿水 232.3 万 t/a，占总酸性废水产生量的 15.2%；杨桃坞废石场 102 万 m³/a，占总酸性废水产生量的 13.2%；水龙山废石场 84.1 万 m³/a，占总酸性废水产生量的 5.5%。

为提高企业资源综合利用水平，德兴铜矿与加拿大百泰公司合作，引进化学硫化技术，与 2007 年 7 月开始建设日处理酸性水 24000 吨的硫化铜厂，主要处理堆浸厂萃余液、富家坞采矿场和杨桃坞废石场含铜酸性废水。从含铜酸性废水中回收铜，既解决了矿山酸性废水对环境的污染，也实现了综合利用。硫化铜厂于 2008 年 4 月建成投用，年处理废水 1030 万吨，回收铜金属量 1200 吨，回收

率达到 93.5%，硫化铜泥饼含铜达到 35.5%。硫化法进出水水质指标见表 4。

表 4 德兴铜矿硫化铜厂进出水水质指标

污染物	Cu^{2+}	pH	Fe^{3+}	TSS	SO_4^{2-}
进水	102	2.2-2.4	836	160	16878
出水	0.2	3.8	152	20	10053

德兴铜矿硫化技术应用包括除铁和铜回收两个阶段。除铁阶段，在酸性废水中添加电石渣乳，与 Fe^{3+} 反应生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀去除，以减少 Fe^{3+} 对回收铜的影响，降低硫化剂的耗量；铜回收阶段即为化学硫化过程，在密封反应池内硫化剂与除铁后上清液铜反应，生成硫化铜沉淀，经压滤形成高品位的硫化铜产品。生产过程中的酸碱度、药剂用量、絮凝剂用量、污泥回流比和液位等均采用 PLC 控制。其工艺流程见图 1。

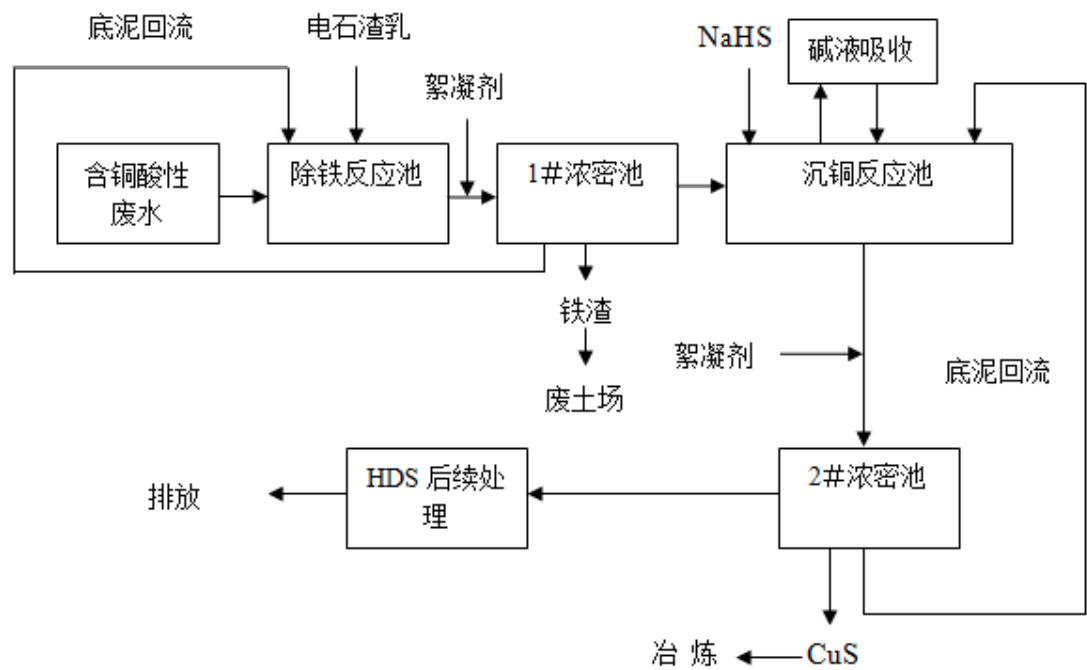


图 1 德兴铜矿硫化法工艺流程

(1) 除铁工艺

矿山酸性废水自高位水池进入一级除铁反应池，通过添加除铁浓密池中的底渣及电石渣，根据 pH 设定值，通过 PLC 控制电石渣的添加量，去除废水中大部分 Fe^{3+} 及硫酸钙沉淀去除。除铁后废水投加絮凝剂后进入除铁浓密池，底渣部分回流，其余泵送至废石场堆存，上清液进入铜回收阶段。

(2) 铜回收工艺

除铁后上清液与调节池中已充分混合的硫化铜沉渣和硫化剂溶液，共同汇入

硫化铜反应池，生成硫化铜沉淀。硫化剂的投加量由反应池内的氧化还原电位和 pH 值由 PLC 控制。硫化铜混合液自流入沉铜浓密池，底渣部分回流，其余泵送至板框压滤机压滤后送冶炼车间。

(3) HDS 工艺

铜回收后上清液进入后续 HDS 工艺处理达标后排放。

(4) 技术应用结果

2008 年 4 月至 2009 年 10 月，德兴铜矿硫化铜厂利用硫化法处理矿山酸性废水，铜回收率达到 93.5%，硫化铜泥饼铜品位达到 35.5%；回收铜金属量 1250t，产值达 5600 万元（铜价 4.5 万元/t），利润达 2540 万元，吨铜回收成本仅 1.5 万元/t；硫化工艺可去除酸性废水中 90%以上的 Fe^{3+} 和 95%以上的铜，可大幅降低后续石灰中和法石灰耗量，减少污泥产生量及后续处理处置费用，较原石灰中和法相比，成本降低 2.0 元/ m^3 水。

5.2.2 HDS 工艺

高密度泥浆法（HDS）处理废水新技术，是常规低浓度石灰法（LDS）的革新和发展。北京矿冶研究总院开发的 HDS 处理有色金属酸性废水新技术获得 2006 年度有色科技进步二等奖。“高浓度泥浆法（HDS）处理重金属废水技术”列入[2010 年国家鼓励发展的环境保护技术目录（重金属污染防治技术领域）]。HDS 处理重金属先进技术北京矿冶研究总院近 3 年来完成了多项同类工程的设计、试验和工程实施。主要有：江西铜业集团公司德兴铜矿废水处理站 HDS 改造（日处理能力 4 万 m^3 ）；安徽铜化集团新桥矿业废水处理站 HDS 改造（日处理能力 4.5 万 m^3 ）；辽宁有色金属集团公司葫芦岛锌厂污酸废水 HDS 新建工程（日处理污酸废水 2000 m^3 ）；广东云浮硫铁矿酸性废水清污分流与治理工程（日处理能力 10000 m^3 ）等。

(1) 高密度泥浆法工艺流程

高密度泥浆法典型工艺流程见图 2。

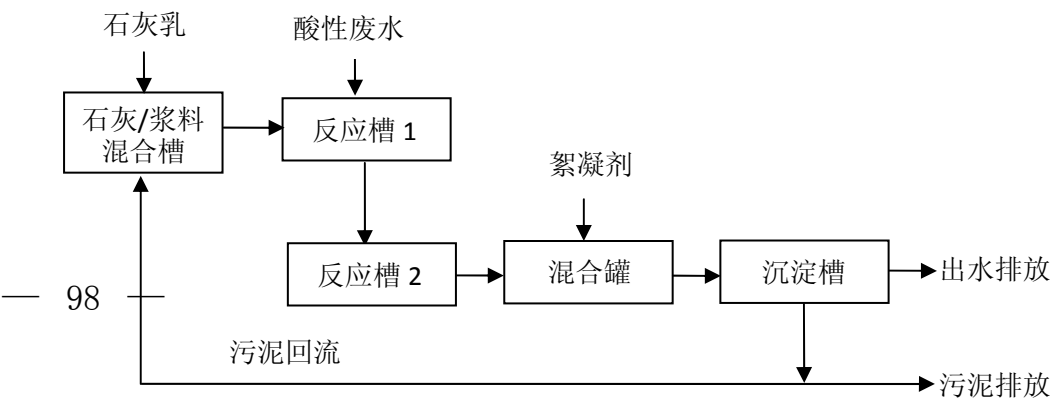


图 2 高密度泥浆法（HDS）典型工艺流程图

（2）HDS 法与传统石灰法工艺比较

HDS 法与传统石灰法（LDS 工艺）相比具有很大的优越性，比较见表 4。

表 4 HDS 法与传统石灰法（LDS 工艺）比较

内容	HDS 处理工艺	LDS 处理工艺
处理概念	①金属废水加入石灰浆进行 pH 调整； ②加入絮凝剂，在浓密池中进行固液分离，清水回用或排放。部分底浆返回反应池。	①金属废水进行中和，并加入石灰浆进行 pH 调整； ②加入絮凝剂，在浓密池中进行固液分离，出水排放。底渣进入尾矿库。
处理工艺	①部分底浆返回反应池进行再处理，降低了石灰的消耗量； ②由于沉降底泥中的颗粒大，加快沉降和分离速度； ③有效减少结垢现象，保证了设备正常运行； ④不需要增加浓密池，但扩大了处理量。	①由于底浆中有部分石灰没有反应，造成浪费； ②由于沉降浆中的颗粒小，降低了沉降和分离的速度； ③有结垢现象，每月需清垢一次； ④处理能力一般不能达到设计要求。
自动化	①实现全自动控制水量、加入药剂和 pH； ②有效减少结垢现象延长仪表的使用寿命。	由于结垢，仪表容易损坏，完全依靠手动控制
设备维修周期	结垢现象少，每年只要处理结垢问题 1-2 次	结垢现象严重，每月都要清垢
出水水质	所有的项目符合铜镍钴工业污染物排放标准（GB25467-2010）。	出水不稳定，有时超出排放标准

（3）HDS 工艺特点

①HDS 工艺使石灰得到充分的利用，同常规石灰法比较，处理同体积酸性废水可减少石灰消耗 5%~10%；

②在原有水处理设施基础上，将常规石灰法改造为 HDS 法，可提高水处理能力 50%以上，并且易于对现有的石灰法处理系统的改造，改造费用低；

③HDS 法产生污泥含固率高，通常其含固率可达 20%~30%，同常规石灰法产生含固率 1%左右的污泥比较，污泥体积是其 1/20~1/30，可以节省大量的污泥处置或输送费用；

④HDS 法能够大大减缓设备、管道的结垢现象。常规石灰法通常 1 月停产

清垢一次，而采用 HDS 法通常 1 年停产清垢一次，节省大量设备维护费用，并能大大提高了设备的使用率；

⑤常规石灰法通常为手动操作，而 HDS 法可实现全自动化操作，药剂投加更加合理、科学，可有效降低运行费用。

(4) 典型工程—德兴铜矿废水处理站改造工程

“十五”期间，北京矿冶研究总院对德兴铜矿工业水处理站进行了设计、改造、调试，成功建立了德兴铜矿工业水处理站 HDS 改造示范工程。

通过 HDS 改造工程的运行评估，具有以下综合效益：

1)在不增加占地面积和不改变主体处理设施的前提下，采用 HDS 工艺废水酸性废水处理能力由 0.86 万 t/a 提高 1.5 万 t/a，提高近 1 倍，并有效地节省了工程投资；

2)有效地减缓了处理设施的结垢现象，操作维护更加方便。改造前一般每个季度清垢 2~3 次（每次为期 3~5 天，每年需要清垢维护费用 30 多万元），而改造后 HDS 法有效地延缓设备、管道的结垢现象，预计 1 年才清垢一次，每年需要清垢维护费用仅 3 多万元，为改造前的 1/10，大大地节省了维护管理费用，并且增加工程设施有效运行天数 40 多天，提高了设备运转率；

3)减少石灰消耗量的 10%~15%，节约了药剂费用，运行费用低。改造前石灰费用为 $9.0\text{kg}/\text{m}^3$ 酸性水，改造后石灰用量为 $8.0\text{kg}/\text{m}^3$ 酸性水，石灰价格按照 255 元/t 计算，可节省石灰投加费用 120 多万元；

4)污泥浓度由原来的 1%提高到 20%，在处理同样 4 万 t/d 水量的情况下，按照 1m^3 水产生 0.4m^3 的污泥、 1m^3 污泥的输送费用为 0.8 元、1 年运行 330 天计算，节省污泥输送费用为：401.3 万元。

由此可见，德兴铜矿采用 HDS 工艺对现有废水处理站进行改造后，工程占地面积不增加，投入 1500 多万元改造费用，废水处理能力提高近 1 倍，运行费用降低 21.3%，每年由节省运行费用、节约新水费用等方面的优化产生综合经济效益 940 多万元，综合效益显著。

5.2.3 生化法

冬瓜山铜矿是铜陵有色公司下属采选联合骨干企业，选矿生产规模 13000t/d，选矿废水产生量 6 万 m^3/d ，其中厂前回水 4.0 万 m^3/d 、尾矿库回水 1.1

万 m³/d，其余 0.9 万 m³/d 贮存于老鸦岭尾矿库，因尾矿库库容有限，选矿废水在尾矿库中停留时间偏短，造成出水悬浮物、COD、重金属等不能稳定达标排放。为延长尾矿库使用年限，确保出水稳定达标排放，冬瓜山铜矿委托北京矿冶研究总院开展了生化法处理选矿废水试验研究，并依据试验参数进行 1.5 万 m³/d 选矿废水处理工程设计。

针对冬瓜山铜矿选矿废水中 COD、硫化物、悬浮物高、碱性强、重金属含量低的特点，北京矿冶研究总院采用物化预处理+生化处理工艺进行了生化法中试试验研究，结果表明：

(1) 生化法处理工艺可有效去除选矿废水中的主要污染物，硫化物的去除率基本在 90%左右，COD 的去除率可达到 80%，出水可稳定达到《铜、镍、钴工业污染物排放标准》（GB 25467—2010）要求。

(2) 生化法处理选矿废水药剂费用约为 0.8~1.2 元/吨水，生化部分直接费用仅约为 0.4 元/吨水左右（主要为电费），处理成本远低于其它方法处理的费用。

目前，北京矿冶研究总院正在进行冬瓜山铜矿 1.5 万 m³/d 选矿废水治理工程设计。选矿废水设计工艺流程见图 3。

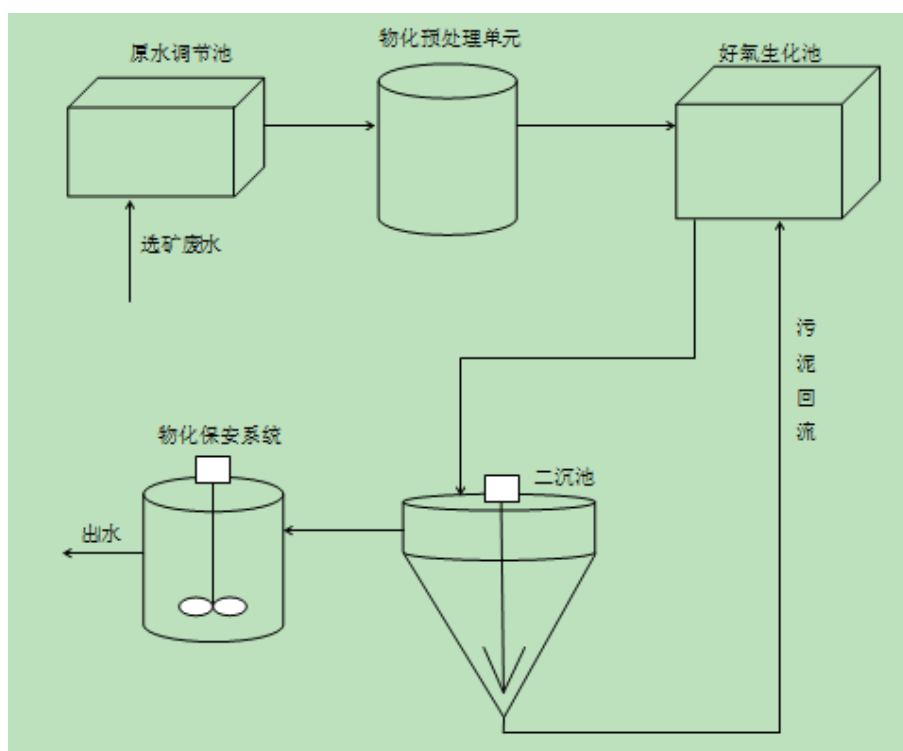


图 3 选矿废水生化法处理工艺流程图

6 主要技术内容及说明

6.1 适用范围

规定了本标准的主要内容和适用范围,明确了标准对铜镍钴采选废水治理工程全过程的技术指导作用,明确了本标准主要适用于铜镍钴采选过程中产生的外排生产废水,不适用于生产过程中循环使用的回水。

6.2 规范性引用文件

本标准引用了相关的法规、规范和标准,包括铜镍钴工业污染物排放标准、固废相关标准、环境保护工程技术规范、环保产品技术要求、在线监测技术规范等。

现行的废水治理及工业企业环保类标准是制定本标准的法律依据,其中有关条文是本标准的技术基础,引用此类文件,是标准具有合法性和权威性。

铜镍钴采选废水治理工程主体工艺与现有城镇污水和工业废水治理有许多共同点,工程中关于工艺、设备、管配件等方面的规定引用了现行的国家及部级标准和技术规范。同时,有关建设工程涉及配套专业和工程施工、安装、调试、验收规范均为本标准的引用文件。

6.3 术语和定义

本标准规定了铜镍钴采选废水治理工程技术规范涉及到的有关术语及定义,给出了铜镍钴采选、采选废水、酸性废水 3 个术语,并进行了定义和解释。

6.4 污染物与污染负荷

本节主要介绍了铜镍钴采选废水的来源及分类,废水水量及水质的确定。根据国内典型铜镍钴采选企业废水水质水量的调研情况,各矿山受地理位置、矿石成分影响,水量、水质差异较大,给出的参考水量、水质在实际工程中指导性不强。因此,本标准仅提出铜镍钴采选废水水量及污染负荷的确定方法。

6.4.1 废水来源及分类

铜镍钴采选废水主要包括采矿废水和选矿废水。

采矿废水主要为矿坑(井)涌水和排土场、废石场淋滤水,其中矿坑(井)涌水一般较清洁,主要污染物为悬浮物,排土场、废石场淋滤水由于铜镍钴矿山

多为硫化矿，硫化铁氧化后容易生成硫酸、硫酸盐等，重金属在酸性条件下溶出，因此主要污染物为重金属。

选矿废水主要指选矿生产活动产生的废水，主要污染物为重金属及选矿药剂，偏碱性；同时选矿车间地面冲洗水及降雨形成的初期雨水，也容易含有重金属及部分选矿药剂。

6.4.2 废水水量

(1) 采矿废水

新建矿山水质可参照可行性研究报告及环境影响评价文件确定，也可根据产品品质、采矿工艺、矿石成分、性质、元素赋存状态相近的企业类比确定；现有矿山采矿废水水质还可根据实测确定。

(2) 选矿废水

选矿废水水量可根据选矿试验、水量平衡和产排污系数进行估算，也可根据生产规模、工作制度和管理水平相近的企业类比确定；现有选矿废水水量还可根据实测确定。

6.4.3 主要污染物与浓度

(1) 采矿废水

新建矿山水质可参照可行性研究报告及环境影响评价文件确定，也可根据产品品质、采矿工艺、矿石成分、性质、元素赋存状态相近的企业类比确定；现有矿山采矿废水水质还可根据实测确定。

(2) 选矿废水

选矿废水水质可根据选矿试验、产排污系数进行估算，现有选矿废水水质还可根据实测确定。

6.5 总体要求

本节主要介绍了铜镍钴采选废水治理工程的总体要求，包括一般规定、清洁生产（源头控制）、工程构成、建设规模和工程选址与总平面布置。

6.5.1 一般规定

一般规定主要介绍了铜镍钴采选废水治理工程的共性、基本要求，具体包括4项：

(1) “三同时”原则。新建矿山采选工程，其废水治理工程应与主体工程同

时设计、同时施工、同时投入使用。

(2) 一致性原则。铜镍钴采选废水治理工程的建设规模和工艺配置应与企业生产系统相协调，分期建设的应满足矿山总体规划要求。

(3) 事故应急设施。铜镍钴采选废水处理设施应设置事故应急防范设施，防止事故状态下超标废水外排。

(4) 在线监测装置。废水处理站应按《排污口规范化整治技术要求》设置规范化排污口，安装计量和在线监测系统，并符合 HJ/T 353、HJ/T 354、HJ/T 355 和 HJ/T 212 的要求。

6.5.2 清洁生产

本节主要从源头控制、过程管理、清洁生产方面针对铜镍钴矿山提出要求，包括：

(1) 总原则：铜镍钴矿山应推行清洁生产，通过源头控制、过程管理提高水循环利用率、有价金属回收率，减少外排废水量。

(2) 源头控制：铜镍钴矿山应在露采场、排土场、废石场、尾矿库周边建设截、排洪设施，实现清污分流、雨污分流。

(3) 分质处理、回用，优先回收有价金属：铜镍钴采选废水宜分类收集、分质处理、分质回用，宜优先回收废水中有价金属。

(4) 初期雨水收集：铜镍钴矿山应考虑对选矿车间初期雨水、地面冲洗水进行收集、处理。

(5) 选矿回水：选矿废水宜在厂前回水；处理单位矿石生产废水排水量应符合标准要求，水重复利用率应达到国家相关规定要求。

6.5.3 工程构成

介绍了铜镍钴采选废水治理工程的三大构成：废水处理构筑物与设备、辅助工程和配套设施等。

废水处理构筑物与设备包括：废水收集、调节、处理、回用与排放、污泥浓缩与脱水、药剂配置与投加、自动检测控制等；

辅助工程包括：供配电、给排水与消防、供暖通风及厂（站）区道路、围墙、绿地；专用的化验室、控制室、仓库、维修车间、污泥临时贮存场所等；

配套设施包括：办公室、休息室、浴室、卫生间等。

6.5.3 工程选址及总平面布置

对铜镍钴采选废水处理站从工程选址、总平面布置、管线、通道设置、设备排列及管道保温、废水处理药剂存放场所、污泥临时贮存场地、跑冒滴漏废水收集、建筑造型及场地绿化、辅助构筑物设置、围墙及工房大门尺寸等方面做出了比较细致和具体的规定。

6.5.4 建设规模

本节主要介绍了废水治理工程的建设规模、关键设施的建设规模。

(1) 总体建设规模，根据 4.1.2 确定的水量，放大 1.1-1.2 倍，满足企业总体规划和生产波动要求。

(2) 收集和调节单元：需与主体工艺单元相匹配。参照《有色金属工业环境保护设计规范》，采矿废水调节池容积宜高于 25 年一遇频率降水量和汇水面积计算并经过水量平衡后确定；选矿废水调节池容积应能收集 6-12h 废水量。

(3) 事故池：事故池有效容积应能收集最大液体泄漏量和消防水量。

6.5.5 工程选址及总平面布置

本节主要规定了废水治理工程选址及总平面布置的要求。

(1) 废水治理工程选址与总平面布置应符合 GB50014、GB50187 的规定。

(2) 废水治理工程宜充分利用高差，尽量使废水自流入废水处理站，处理后的废水有良好的回用或排放条件。

(3) 废水治理工程构（建）筑物与工艺设备宜按处理流程和废水性质分区布置，设备、装置排列整齐合理，便于操作和维修。寒冷地区，其室外管道和装置应保温。

(4) 废水处理站应设置生产辅助建筑物，并满足处理工艺和日常管理需要，其面积应根据处理站规模、处理工艺、管理体制等结合实际情况确定。

(5) 废水处理站是否设置围墙视具体需要确定，围墙高度宜高于 2m；处理站大门尺寸应满足最大设备进出需要，并设置废渣、化学药品外运侧门。

6.6 工艺设计

本节主要规定了铜镍钴采选废水治理工程工艺设计的一般规定、工艺选择、污泥处理和药剂配制与投加。

6.6.1 一般规定

本节主要介绍了工艺设计的共性要求，铜镍钴采选废水治理工艺设计应遵循以下 5 个方面的要求：

（1）工艺设计前，应对水质、水量及变化规律进行全面的调查，并进行必要的分析检测。

（2）处理工艺的选择应根据废水的水质特征、处理后水的去向、排放标准，优先考虑回收有价金属并进行技术经济比较后确定选择一种或两种以上组合处理工艺。

（3）连续处理的废水处理设施应设置废水调节池，并根据水质采取相应的防腐、防渗措施。废水调节池应考虑清泥措施，宜采用机械清淤。

（4）废水处理站应设地面冲洗水和设备渗漏水收集系统，并排入废水调节池。

（5）废水处理所用的材料、药剂等应根据需要设置存放场所，不宜露天堆放。

6.6.2 工艺选择

本节主要介绍了 7 种常用的铜镍钴采选废水处理工艺，介绍了各处理工艺的适用范围、原则工艺流程及主要技术要求。

6.6.2.1 混凝沉淀法

混凝沉淀法一种较简单的废水处理工艺，适用于污染程度较低的矿坑（井）用水和选矿废水，可用作其它处理工艺的预处理。

大多数铜镍钴矿山的矿坑（井）用水都比较干净，主要含有部分悬浮物，一般在矿井下设置水仓或地面上设置沉淀池，投加混凝剂沉淀后回用于选矿；选矿中尾矿废水通常在进入尾矿库前加入混凝剂，然后利用尾矿库作为沉淀池进行处理；此外，混凝沉淀法也可作为膜分离法的预处理。

本标准介绍了常用混凝剂，给出了混凝沉淀法原则工艺流程，并从以下 7 个方面对混凝沉淀法技术条件提出要求：

- （1）混凝剂种类及投加量应根据原水水质、污染物性质试验确定；
- （2）混凝剂投加宜采用一体化配制投加设备；
- （3）混凝工艺应设置 pH 自动控制设备，并与加药计量泵耦合；

(4) 完成混凝反应的 pH 值根据投药品种和投药量有较大差别, 最佳 pH 值宜为 7.0~8.5;

(5) 宜采用机械混合, 混合时间宜为 10~30s, 搅拌速度梯度 G 一般为 600~1000s⁻¹; 混合设施与后续处理构筑物连接管道的流速宜采用 0.8~1.0m/s;

(6) 反应池宜采用机械搅拌, 反应时间 T 一般控制在 15~30min, 反应池平均速度梯度 G 一般取 70~200s⁻¹ 之间, GT 值应为 104~105;

(7) 反应池应尽量与沉淀池合建, 沉淀池宜采用机械清淤, 定期清理。

6.6.2.2 石灰中和法

石灰中和法是采矿酸性废水最常用的方法, 对水质有较强的适应性; 90%以上的矿山酸性废水采用石灰中和法, 中和剂除石灰外, 还可使用电石渣、石灰石等。其优点在于对水质有较强的适应性; 工艺流程短、设备简单、石灰就地可取、价格低廉、废水处理费用低; 缺点是处理后出水浊度较高, 污泥过滤脱水性能差, 组成复杂, 含重金属品位低, 综合回收利用与处置难, 易造成二次污染。

本标准介绍了石灰中和法的适用范围、原则工艺流程和主要技术条件等。

(1) 中和反应后废水宜采用溜槽输送, 并定期清理防止结垢;

(2) 中和反应 pH 值宜控制在 8.0~10.0;

(3) 当废水中含砷时, 需增加铁盐除砷工艺, 除砷 pH 宜控制在 8.0~10.0; Fe/As 比宜控制在 5~10, 并根据试验确定;

(4) 中和反应时间宜控制在 15~30min, 铁盐除砷反应时间宜控制在 15~30min;

(5) 沉淀池宜采用机械刮泥, 且泥斗坡度宜大于 0.05;

(6) 沉淀池表面负荷宜为 0.5~1.0m³/m²·h;

(7) 沉淀时间宜大于 2.5h;

(8) 当采矿废水中含有 Fe²⁺、As 时, 反应池需增设曝气系统, 气水比宜控制在 2~5。

6.6.2.3 高浓度泥浆法

高浓度泥浆法是常规石灰中和法的革新和发展, 与石灰中和法相同, 其适用于处理采矿酸性废水, 尤其适用于对现有常规石灰中和法的技术改造。其最大优势在于可以通过污泥回流, 使稀疏底泥颗粒出现比较显著晶体化、粗颗粒化现象,

改进沉淀物形态和沉淀污泥量，将底泥含固率从石灰中和法底泥浓度由 1-2%提高到 20-30%，大幅降低污泥体积，降低污泥处置费用；同时可减少石灰消耗，易于实现自动化控制，延缓设备、管道结垢现象，降低运行、维护费用低。

目前国内应用的实例如江西铜业集团公司德兴铜矿废水处理站 HDS 改造（日处理能力 4 万 m^3 ）；安徽铜化集团新桥矿业废水处理站 HDS 改造（日处理能力 4.5 万 m^3 ）；辽宁有色金属集团公司葫芦岛锌厂污酸废水 HDS 新建工程（日处理污酸废水 2000 m^3 ）；广东云浮硫铁矿酸性废水清污分流与治理工程（日处理能力 10000 m^3 ）等。

本标准介绍了高浓度泥浆法的适用范围、原则工艺流程及技术条件等。

（1）石灰乳、絮凝剂投加量应根据试验确定，石灰乳投加泵应配备变频装置，投加量应根据反应 pH 自动调节；

（2）当废水中含砷时，需增加铁盐除砷工艺，除砷 pH 宜控制在 8.0~10.0，Fe/As 比控制在 5~10，并根据试验确定；

（3）中和反应时间 15~30min，铁盐除砷反应时间宜控制在 15~30min；

（4）沉淀池宜采用机械刮泥，且泥斗坡度宜大于 0.05；

（5）沉淀池表面负荷宜设计为 1.0~1.5 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ；

（6）沉淀时间宜大于 1.5h；

（7）污泥浓度宜控制在 20~30%；

（8）污泥回流比宜控制在 3~30:1，并根据试验确定；

（9）当废水中含有 Fe^{2+} 、As 时，中和反应需增设曝气装置，气水比宜控制在 2~5，并根据试验确定。

6.6.2.4 硫化法

硫化法适用于含铜浓度较高的酸性废水，主要用于有价金属的回收。一般要求含铜浓度大于 80mg/L，方可采取硫化法回收铜，回收后铜（硫化铜）可送火法冶炼。硫化法在酸性条件下处理效果优于碱性条件下，因此硫化法回收有价金属后出水一般还需采用其他方法处理方可达标，大多情况下与石灰中和法、高浓度泥浆法联合使用。德兴铜矿与加拿大百泰公司合作利用硫化法处理矿山含铜酸性废水，回收废水中铜金属，效果显著。但由于硫化法回收铜属其核心机密技术，硫化反应最佳 ORP 无法获得，因此在本标准中建议通过试验确

定。

本标准规定了硫化法的适用范围、原则工艺流程及工艺技术条件等。

- (1) 硫化剂的投加宜采用氧化还原电位(ORP)自动控制;
- (2) 硫化反应最佳 ORP 值应通过试验确定;
- (3) 硫化反应时间宜控制在 30~60min;
- (4) 硫化底泥宜回流, 回流率 10~50%, 并根据试验确定; 底泥浓度宜小于 25%;
- (5) 硫化反应池须密闭, 反应过程中生成的 H₂S 应采用碱液吸收。
- (6) 废水中含 Fe²⁺时, 需增加曝气除铁工艺, 采用石灰调节 pH 至 3.0~4.0;
- (7) 除铁反应时间应为 30-60min;
- (8) 除铁底泥宜回流, 回流率 10~50%, 并根据试验确定; 底泥浓度宜小于 15%;

6.6.2.5 膜分离法

膜分离法适用于铜镍钴采矿酸性废水中有价金属的回收, 一般要求含铜浓度大于 80mg/L。含铜酸性废水经膜分离法处理后, 浓水中含铜浓度可提高 2-4 倍, 可直接用于湿法炼铜或后续采用硫化法生成硫化铜渣送火法冶炼; 紫金矿业采用膜分离法处理矿山酸性废水, 浓水含铜高达 300mg/L 以上, 直接送湿法浸铜工序。

本标准规定了膜分离法的适用范围、原则工艺流程及使用技术条件等。

- (1) 膜分离系统产水总回收率 η_t 根据进水水质和处理要求确定, 一般宜大于 75%;。
- (2) 膜元件选择应根据进水水质和处理要求参考膜厂家设计导则, 必要时进行试验筛选和验证。
- (3) 预处理方法应根据原水特点及膜组件的性能特点, 必要时根据试验确定。
- (4) 各工艺装置宜设置自控系统, 监控项目包括流量、压力、电导率及 pH 值等;
- (5) 膜系统宜设置在线加药系统, 投加药剂种类及投加量应根据进水水质计算, 并根据试验确定。

(6) 膜系统应设置化学清洗装置, 化学清洗程序和药剂宜参考产品说明书, 必要时需进行试验验证后确定。

(7) 膜分离浓水宜采用硫化法或送湿法冶金工艺回收有价金属, 并处理达标后排放。

(8) 膜分离化学清洗水应收集、处理达标后排放。

(9) 膜分离系统反冲洗水应收集并回用。

6.6.2.6 生化法

生化法适用于铜镍钴选矿废水的处理, 主要去除选矿废水中选矿药剂等有机污染物。通常选矿废水经过厂前回水、尾矿库回水后基本不外排, 但对于多金属矿, 由于选矿药剂的差异及多金属矿自身成分复杂, 回水中残留选矿药剂、重金属可能会对选矿回收率有一定影响; 因此需处理后方可回用。铜陵有色冬瓜山铜矿采用生化法处理选矿废水, COD 去除率可以达到 80%, 出水可稳定达标排放; 目前已完成现场中试和初步设计, 设计规模 15000m³/d。

本标准规定了生化法的适用范围、原则工艺流程和主要技术要求等。

(1) 预处理宜采用格栅、混凝沉淀池等, 当选矿废水 BOD₅/COD 小于 0.3 时, 宜采用提高废水可生化性的措施;

(2) 生化反应 pH 值宜控制在 6.0~8.0;

(3) 生化反应水力停留时间 (HRT) 宜控制在 6~30h, 应根据试验确定, 并考虑经济性;

(4) 生化反应须曝气, 气水比根据试验确定, 溶解氧宜控制在 1~4mg/L。

6.6.2.7 吸附法

吸附法适用于铜镍钴采选废水的深度处理。《重金属污染防治“十二五”规划》实施以来, 国家对重金属排放要求越来越严; 对部分重金属总量饱和地区禁止含重金属废水外排, 或要求处理后出水达到地表水环境质量标准后方可排放。该方法在铜镍钴矿山尚无应用案例, 但在铅锌行业已有成功应用。广西华锡集团车河选矿厂采用“以纳米复合材料强化吸附为核心的重金属废水深度处理与回用集成技术”(专利号 ZL 200710191355.3; 200910184528.8; PCT/CN2009/000905) 处理选矿废水, 处理规模 1200m³/d, 出水可达到《地表水环境质量标准》III类要求。

本标准规定了吸附法的适用范围，原则工艺流程及主要技术要求等。

(1) 废水在进入重金属离子吸附柱前，需进行预处理，预处理系统所采用的工艺包括混凝沉淀法、石灰中和法、HDS 法、硫化法等。

(2) 重金属离子吸附剂中所填装的吸附剂类别应根据废水需要深度处理的污染物存在状态来选择。当污染物为阳离子型重金属（如 Ti^+ 、 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 等），宜选用阳离子型复合纳米吸附剂等。当污染物为阴离子型重金属（如 AsO_4^{3-} 、 AsO_3^{3-} 、 $\text{Sb}_2\text{O}_7^{4-}$ 等），宜选用阴离子型复合纳米吸附剂等。吸附剂类型的选择应参考产品说明书，必要时需进行试验验证后确定。

(3) 重金属离子吸附柱的进水 pH 宜控制在 6.0~9.0 之间，悬浮物（SS）浓度宜小于 5 mg/L，活性氯浓度宜小于 0.2 mg/L，COD 浓度宜小于 30 mg/L，总硬度宜小于 500 mg/L，As、Cd、Pb 和 Sb 等重金属污染物浓度不超过《铜、钴、镍工业污染源排放标准(GB25467-2010)》1~2 倍。在吸附柱进水水质不能满足上述要求下，可能会降低吸附剂的处理效果与使用寿命，具体应根据试验确定。

(4) 重金属离子吸附柱的滤速宜控制在 10~20m/h 之间。

(5) 重金属离子吸附柱内吸附剂的填装高度宜控制在 2.2~2.5m 之间。

(6) 阳离子型重金属吸附柱的再生宜采用 3%~5% 的盐酸或硝酸，阴离子型重金属吸附柱的再生宜采用 3%~5% 的氢氧化钠溶液，具体应根据试验确定。

(7) 脱附液经中和沉淀处理后，中和出水应返回预处理系统前端的调节池进行处理。

6.6.3 污泥处理

本节主要规定了污泥综合利用或安全处置、防治二次污染的要求。

(1) 污泥处置需遵循资源化、减量化、无害化原则，优先资源回收，不能回收的需安全处置；

(2) 需根据鉴定结果确定污泥的综合回收和安全处置方式；

(3) 污泥脱水设备的选择应考虑过滤强度和污泥含水率要求，根据试验或类比确定；

(4) 脱水设备配置应考虑连续性、临时贮存和污泥外运通道的要求；

(5) 污泥脱水及机械冲洗水应收集处理。

6.6.4 药剂配制与投加

本节主要规定了药剂配制与投加的要求。

铜镍钴采选废水治理工程中常用的药剂包括中和剂（石灰、石灰石、电石渣等）、硫化剂（硫化钠、硫酸氢钠等）、混凝剂、絮凝剂、酸碱等，应根据药剂种类和处理系列分别设置药剂配制与贮存投加装置，选择不同材质输送设备及管道；药剂贮存应考虑配制、投加便利，贮量根据药剂用量和供应条件合理确定，一般不少于 15d 的投药量。

为改善现场环境条件，降低工人劳动强度，建议石灰采用气力输送和螺旋输送；为防止结垢，石灰乳宜采用溜槽输送，并定期清理。

石灰乳、硫化剂配制浓度宜控制在 10~15%，为减少污泥产生量，石灰有效氧化钙宜大于 80%。

投加 PAM、石灰乳等高粘度或易结垢药剂的计量泵，宜选用螺杆泵，泵管道出口应配备有脉冲阻尼装置。

PAM 宜采用一体化配制投加装置；石灰乳、硫化剂投加宜采用 pH/ORP 自动控制，投加泵宜配备变频装置。

硫化剂配制与贮存装置应密闭。

酸、碱等危险药剂应配备安全管道阀及配套回路。

6.7 主要工艺设备及材料

本标准对主要工艺设备和材料的选型提出了技术要求，设备和材料的选型首先应根据设计工艺和特点，主要设备材料的性能应能满足废水处理的系统要求，在满足系统可靠性和经济性的同时，还应符合国家现行的产品标准。

需要设置备用的设备，本标准规定了应该工艺单元提出设备的备用形式和要求。在本标准中，对铜镍钴采选废水处理工艺中的水泵、曝气设备、污泥输送与脱水设备、刮泥机、压滤设备、搅拌设备等在选型和选用中应遵循的标准规范提出了具体要求。

6.8 检测与过程控制

本标准规定了铜镍钴采选废水处理站应根据工艺要求，在调节池、中间水池、污泥浓缩池、清水池等水池设置液位控制仪，并满足自动及手动控制泵启停的要求；规定了废水治理工程的处理水量控制方式、加药系统通过 pH 计、ORP 控制

加药量；规定了自动控制系统的配置和基本要求；按照国家环保要求和有关规定，规定废水处理站应安装废水在线自动监测系统及安装位置，并对废水在线自动监测系统及安装、系统的运行维护以及数据传输做出了相应的规定。

6.9 辅助工程

工程配套设施是铜镍钴采选废水治理工程的重要组成部分，是实现工艺目标的辅助手段。根据工艺要求，标准规定了配套的供配电系统、给排水和消防系统、采暖通风、建筑、结构、道路与绿化等方面的技术要求，规定了应该符合的相关标准和规范。

6.10 劳动安全与职业卫生

铜镍钴采选废水治理工程在建设、运行过程中会产生各种二次污染及安全隐患，标准要求严格执行国家现行环境保护、劳动安全、职业卫生方面相关标准。

6.11 施工与验收

工程施工及验收时废水治理工程建设的重要环节。本标准规定了工程设计、施工单位的资质条件，施工程序和管理，建筑、安装工程应遵守的施工技术条件，使用设备、材料、器件与国家相关标准和产品质量验证文件等的要求。

标准强调废水治理设施应与生产工程同时验收，现有废水治理设施升级改造应单独进行验收，要求工程竣工验收和环境保护验收分阶段进行，规定了工程验收和环境保护验收需提交的技术资料。

6.12 运行与维护

运行达标是治理工程的目的，维护和管理是保证系统长期正常运转的关键。

本标准在工程运营单位的资质、技术力量配置、上岗人员的技能培训、营运及关停的报批、运行目标、运行维护应达到的技术管理指标等方面进行了明确的规定，要求运行部门或单位应制定一系列操作规程和巡检制度，建立系统运行记录制度，明确应记录的主要内容，规定了记录格式、填写和管理要求。运行人员应按照制度履行好自己的职责，确保系统经济稳定运行。标准同时规定了建立突发事件应急预案和突发事件的解决和上报要求。此外，为确保系统稳定可靠地运行，标准规定必须加强工程的管理和维护，废水治理从工程的维修保养应与全长的维修保养计划统筹安排。

7 标准实施的环境效益和经济技术分析

本标准的实施对铜镍钴采选废水治理工程的设计、施工、安装、运行、管理等各环节提出要求,对我国铜镍钴采选废水治理工程的建设和管理具有较强的指导意义和实用价值,同时有利于环保部门进行相关的管理和验收工作。铜镍钴采选废水治理工程建设、运行、管理的规范化是铜镍钴矿山环境保护的重要内容,其效益主要体现在社会效益和环境效益上。

本标准的实施将有效提高铜镍钴采选废水回用率,减少废水排放量及污染物(尤其是重金属)排放量,确保铜镍钴采选废水达标排放;对水环境的治理和可持续发展起到有力的保障作用,进而保障社会经济的可持续发展,促进人与环境的和谐发展。

8 标准实施建议

本标准为首次制订,由于铜镍钴采选废水的治理技术将随着环境保护管理有求而不断发展与创新,目前技术上不成熟、应用上不广泛的技术在将来会不断发展,不断投入使用。因此,本标准中的相关技术、工艺会发生相应的变化,相应的技术要求也应随之进行相应的调整。

建议在本标准实施过程中,广泛听取和收集各方面的意见与建议,根据实际应用情况,对本标准进行不断的修订和完善,使其实用性和可操作性与时俱进,不断满足环境管理和环保设施工程建设需要。

9 征求意见处理情况说明(送审稿)

10 技术审查工作情况说明(报批稿)