

钢铁企业冲渣沟设计选型计算探讨

张 蓊

中冶京诚工程技术有限公司, 北京 100176

[摘要]冲渣沟作为冶金企业连铸、轧钢水系统乃至工艺主线的重要的构筑物,担负着浊环水及氧化铁皮的传输作用,但目前的设计中还存在一些不尽如人意的地方。本篇文章从分析冲渣沟的用途及氧化铁皮特点入手,进而从冲渣沟的选型设计、水力计算、断面高度计算等方面层层展开,将冲渣沟的设计选型计算进行了多角度的阐述,并对设计手册等设计指导文件中的未提及的部分进行了补充说明。

[关键词]冶金工程;浊环水系统;冲渣沟;设计

DOI: 10.33142/ec.v4i9.4451

中图分类号: TQ172.63

文献标识码: A

Discussion on Design and Type Selection Calculation of Slag Gully in Iron and Steel Enterprises

ZHANG Ji

MCC Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd., Beijing, 100176, China

Abstract: As an important structure of continuous casting, steel rolling water system and even process main line in metallurgical enterprises, slag gully undertakes the transmission of turbid circulating water and iron oxide scale, but there are still some unsatisfactory places in the current design. This paper analyzes the purpose of the slag gully and the characteristics of iron oxide scale, and then unfolds layer by layer from the aspects of type selection design, hydraulic calculation and section height calculation of the slag gully, expounds the design and type selection calculation of the slag gully from multiple angles, and supplements the parts not mentioned in the design guidance documents such as the design manual.

Keywords: metallurgical engineering; turbid circulating water system; slag gully; design

引言

冲渣沟作为冶金企业连铸、轧钢水系统乃至工艺主线的重要的构筑物,担负着浊环水及氧化铁皮的传输作用,在各个手册、规范中都有详细的设计要求,但在企业的生产活动中,频频反馈发生各类问题,有的甚至关乎生产安全。笔者经过分析研究,认为还是设计中有考虑不周的地方,而手册规范中也有缺漏以及不够明确之处。鉴于此,本文主要针对冲渣沟在选型计算的方方面面需要考虑的问题进行阐述,将手册规范中的问题进行明确和补充,希望能够对相关设计人员有所帮助。

1 冲渣沟的用途及氧化铁皮特点

冲渣沟,亦称铁皮沟或氧化铁皮沟,是冶金企业中用于收集传输使用后的浊环无压排水以及排除生产线上产生的氧化铁皮的专有设施。在冶金生产流程中,连铸、轧钢生产线都会产生氧化铁皮。氧化铁皮是钢坯高温下接触空气中的氧气形成的氧化层,在钢坯被加热时即形成氧化,生成一次氧化铁皮,在后续的输送、轧制等过程中,一次氧化铁皮会发生脱落,在其脱落的钢坯表面,还会形成一定量的二次氧化铁皮。一般情况下连铸车间中沿连铸机中心线,以及轧钢车间沿轧制线均布置有氧化铁皮沟,上述氧化铁皮会随着连铸二次喷淋冷却水、切割机、火焰清理设备、设备直接冷却水等排水,以及轧钢车间轧辊、剪子、除磷等直接冷却水排水带入氧化铁皮冲渣沟,排入一次沉淀处理设施(如旋流沉淀池)进行初步沉淀处理。

氧化铁皮的成分为 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 和 FeO ,其位层组成大致如表1所列。氧化铁皮颗粒大小与主线设备种类等因素有关,大的厚度近几个厘米,长宽到几十厘米,小颗粒铁皮的粒径仅几个微米。由于灼热的氧化铁皮进入冲渣沟时遇水快速冷却并有一定的高度落差撞击,因此冲渣沟中的铁皮颗粒比刚从铸件、轧件上脱落时要小。氧化铁皮的容重与原料品种、主线设备种类、铁皮含水率等因素有关,参见表2。氧化铁皮随着连铸、轧钢的生产进行持续产生,氧化铁皮产生量与生产节奏和成品产量成正比。连铸产线生产1t合格铸坯,产生的氧化铁皮量为2~5kg,如果包括火焰清理的话产生氧化铁皮量为10~15kg;轧钢产线生产1t合格成品,产生的氧化铁皮量约为0.5~1.5kg。

表 1 氧化铁皮的位置组成

氧化铁皮的成分	位层	厚度百分比 (%)
Fe ₂ O ₃	铁皮表层	2
Fe ₃ O ₄	铁皮中间部分	18
FeO	铁皮内层	80

表 2 氧化铁皮的容重

主线名称	氧化铁皮容重 (t/m ³)	
	湿容重	干容重
连铸机	2.2~3.0	1.8~2.4
大型轧机	3.0~3.3	2.7~2.8
钢板轧机	2.5~3.0	2.0~2.1
中小型轧机	2.3~2.5	1.9~2.0
线材轧机	2.2~2.5	1.8~1.9

可以看出,氧化铁皮有产量大,容重高,颗粒不均匀且存在大颗粒等特点,对于氧化铁皮的水力输送,主要依靠流槽中的水流速度和水深,因此对铁皮沟流槽进行正确的选型设计和水力计算具有很重要的意义。

2 冲渣沟的选型设计

2.1 分类

根据氧化铁皮沟设置的部位,通常将氧化铁皮沟分为:

- (1) 主要铁皮沟:由出炉辊道到第一架轧机前后的沟段,各架轧机下,以及和处理构筑物连接的铁皮沟。
- (2) 次要铁皮沟:上述沟段以外的铁皮沟。

2.2 断面设计

氧化铁皮沟水流部分的断面应设计成圆形,在水面以上留适当的保护高度。常用圆底矩形断面(图1)及圆底梯形断面(图2)两种。

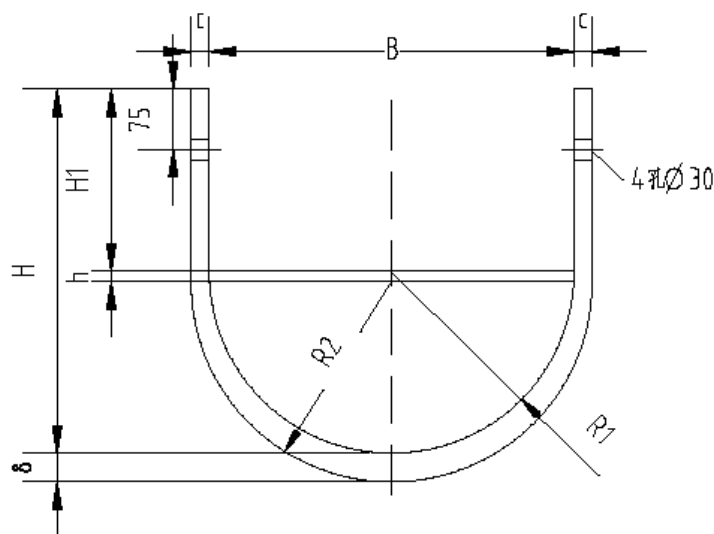


图 1 圆底矩形断面

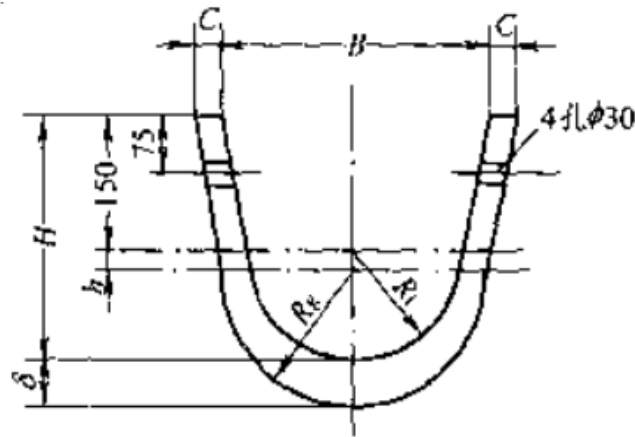


图2 圆底梯形断面

圆底矩形断面在设计中最为常用，特点是计算相对简单，布置上平面宽度比圆底梯形断面要小，沟槽一次断面利用率高，不需要填充大量混凝土。

圆底梯形断面在设计中使用较少，其计算相对复杂，布置上平面宽度比圆底矩形断面要大，沟槽一次断面一般为矩形，因此梯形内衬与矩形外框之间需要填充大量混凝土。

在一些国外工程中，外方轧机公司习惯设计一种V型断面渣沟，看似是圆底矩形断面的一种极端变形，但实际设计理念有很大差别，且计算取值有所不同，最重要的一点是，V型沟水流部分的断面不再是圆形部分。笔者通过计算分析，认为这种渣沟在大流量系统中存在一定的优势，主要归功于V型断面的自身特点，当水量增加越大时液面上升反而越慢，有利于降低渣沟高度，而反过来，当渣沟起点位置水量很小时，又能形成较高的液位水面，保证冲渣沟对于氧化铁皮的水力输送能力。可以说V型断面在水利条件方面来说是很有优势的，但V型断面在具有优势的同时，也将平面宽度大，沟槽一次断面利用率低的缺点体现到了极致，因此结合工程中主体工艺地下总体空间布置及投资造价等综合因素考量，V型断面冲渣沟在实际工程应用中并不常见。

2.3 内衬材质

氧化铁皮沟常用的材料有铸铁、钢、铁屑混凝土(耐磨混凝土)及辉绿岩铸石砌块等。上述几种材料中，铸铁溜槽由于表面粗糙、不耐磨、经济性差等原因，应用较少。钢管溜槽一般仅作为局部使用，例如某些冲渣沟与旋流池连接处等。辉绿岩铸石具有不耗金属、耐磨、经济性好和表面光滑等特点，优势较为明显。但其采购安装相对来说比较费时费力，另外由于铸石质地较脆、不耐急冷和急热，部分业主反馈现场长时间运行后有易脱落的问题，影响使用且不易维修。铁屑混凝土(耐磨混凝土)的粗糙度、经济性等条件介于铸铁溜槽与铸石溜槽之间，但因其施工相对简便可靠，不易脱落等特点，也被很多业主选择。因此建议在设计之初提前与业主沟通好冲渣沟内衬材料的选择，以避免设计返工。

3 冲渣沟的水力计算

本文以较为常用的圆底矩形断面为例，计算过程为：

过水能力

$$Q = \omega v \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

式中： ω —过水断面 (m^2),

由公式 $\omega = \alpha \pi \times R_1^2 / 360 - R_1^2 \times \sin(\alpha \pi / 360) / 2$ 计算可得；

v —断面平均流速；

α —水面中心角 ($^\circ$)，

由公式 $\alpha = 360 \times \arccos((R_1 - h) / R_1) / \pi$ 计算可得。

$$v = C \sqrt{Ri} \quad (\text{m/s}) \quad (1)$$

式中： R —水力半径 (米)，指某输水断面的过流面积与水体接触的输水管道边长 (即湿周) 之比，与断面形状有关，由公式 $R = \omega / S$ 计算可得；

i— 沟底坡度，边沟的高度与宽度之比；

S—湿周 (m)，是指过流断面上流体与固体壁面接触的周界线，由公式 $S=\alpha\pi\times R_1/180$ 计算可得；

C—流速系数，由下式计算求得；

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (2)$$

式中： n—粗糙系数，即相对粗糙度，与氧化铁皮流槽所选用的材料有关，辉绿岩铸石流槽的粗糙系数为 $n=0.012$ ，耐磨混凝土溜槽的粗糙系数为 $n=0.013$ ，铸铁溜槽的粗糙系数为 $n=0.014$ ；

y—指数。

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.10) \quad (3)$$

计算结果见表 3

表 3 计算输入/输出量表

序号	名称	符号	单位	备注
1	过水流量	Q'	m ³ /h	输入量
2	流槽宽	B	m	输入量
3	设计水深	h	m	输入量
4	沟底坡度	i	%	输入量
5	粗糙系数	n		输入量
6	流槽内半径	R ₁	m	中间量
7	水面中心角	α	°	中间量
8	过水断面	ω	m ²	中间量
9	湿周	S	m	中间量
10	水力半径	R	m	中间量
11	指数	y		中间量
12	流速系数	C		中间量
13	断面平均流速	v	m/s	中间量
14	过水能力	Q	m ³ /h	输出量

结算结果，若计算过水能力实际过水流量，则此沟的设计满足要求。

上述计算中，最重要的是设计水深或者设计充满度的选取，根据笔者多年设计经验及部分钢铁企业运行反馈，建议氧化铁皮沟水流部分应该在圆形部分范围内，考虑到部分轧钢厂水量较大的情况，综合建议冲渣沟水流充满度在 0.4~0.6 之间，水量小时取小值，超大水量时取大值。

另外在冲渣沟断面完成计算选型后，还应该对于冲渣沟起点水深进行校核，各类冲渣沟的最小水深和最小充满度要求见表 4。前文已多次提到了冲渣沟对于氧化铁皮的水力输送，主要依靠流槽中的水流速度和水深，无论连铸机还是各类轧机，在冲渣沟起点位置都没有足够的油环水量，因此设计中会从一次沉淀设施后引一路冲渣水回至冲渣沟起点，提供初始水流动力。工程中可以用冲渣水量来进行校核，对于部分项目尤其是水量较大的系统，最小充满度可能较难实现，那么建议用最小水深最为主要控制参数。

表 4 冲渣沟起点参数

主线名称	最小水深 (m)	最小充满度 h/B	最小断面宽度 (mm)
连铸机	60	0.35	200
大型轧机	80	0.3	200
中厚板轧机	75	0.35	200
薄板及中小型轧机	50	0.35	150

4 冲渣沟的断面保护高度计算

冲渣沟在进行上述水力计算后，主要确定了断面形式和沟宽，但是对于高度，尤其是超高部分，还应该进行计算和校核，而该部分是非常容易被忽略的，也是实际工程中发生渣沟涌水事故的主要原因。

在《钢铁工业给水排水设计手册》中，对于冲渣沟超高的描述是水面以上保护高度 150~200mm，有的设计人就是按照此数值来确定冲渣沟高度的，然而笔者认为这个保护高度是远远不够的，或者说应该换一个思路去理解，应该是在考虑了所有液位超高可能性之后，再增加的保护高度。笔者认为，冶金企业冲渣沟需要考虑的超高因素主要有两点，转弯处及格栅处。

4.1 转弯处

冲渣沟内的水流速度较高，一般在 3~6 m/s 之间，因此在转弯时，冲渣沟外侧的水面由于离心现象将会有所升高。这不仅使得冲渣沟外侧有强烈冲刷，还有可能将铁皮冲到人行道上，对人员和通道造成伤害和破坏。而冲渣沟内侧则会因为水流液位降低，在冲渣沟中产生氧化铁皮沉积。因此在设计中，需要尽量减少冲渣沟转弯所造成的不利影响，尽量保持水面平稳，但冲渣沟转弯处水面高度变化问题只能减少而不能完全避免，所以需要设计人员在设计中进行计算，并保证冲渣沟的深度可以满足使用要求。具体计算公式如下：

内侧水面降低值：

$$h_1 = \frac{v^2}{g} \left[1 - 2.3 \frac{R_1 + B}{B} \lg \left(1 + \frac{B}{R_1} \right) \right]$$

外侧水面升高值：

$$h_2 = \frac{v^2}{g} \left[1 - 2.3 \frac{R_1}{B} \lg \left(1 + \frac{B}{R_1} \right) \right]$$

(4)

式中：v—断面平均流速，m/s

g—重力加速度，9.81m/s²

R₁—流槽内侧壁转弯半径，m

B—流槽宽度，m

由上述计算公式可知，冲渣沟在转弯处的液位变化，只与水流速度v，以及溜槽内侧壁转弯半径与溜槽宽度的比值有关，简单来说，流速越大、转弯越急则液面波动越剧烈。影响流速v的因素较多，且冲渣沟需要流速来提供水流的冲渣能力，因此工程中只能通过调整转弯半径与溜槽宽度的比值来控制转弯处液面变化，一般要求 R₁ ≥ 5B。而在《钢铁企业给水排水设计规范》GB 50721-2011 中将该数值放宽，规定冲渣沟流槽的转弯半径不宜小于流槽宽度的 3 倍，即 R₁ ≥ 3B。为方便大家对转弯处液位变化高度有直观的理解，特将上述两种情况下部分流速的液位变化计算结果列出，详见表 5。

表 5 转弯处内外侧水面变化值 (m)

R ₁ /B	v (m/s)									
	3		3.5		4		4.5		5	
	-h ₁	h ₂	-h ₁	h ₂	-h ₁	h ₂	-h ₁	h ₂	-h ₁	h ₂
3	0.137	0.125	0.187	0.171	0.245	0.223	0.310	0.283	0.354	0.323
5	0.086	0.082	0.118	0.112	0.153	0.147	0.195	0.186	0.222	0.212

由表 5 的计算结果可见，即使将转弯半径与溜槽宽度的比值控制在 5 倍，当流速超过 5m/s 时，转弯处冲渣沟外侧的水面上升也超过 200，已经超过了《钢铁工业给水排水设计手册》中要求的 150~200mm 保护高度。

4.2 格栅处

冶金企业冲渣沟在进入一次沉淀设施前通常会设置格栅，该格栅与常见的污水厂格栅有很大不同。污水厂格栅的主要作用是拦截雨水、生活污水和工业废水中较大的悬浮物及杂质，起到净化水质、保护水泵的作用，也利于后续处理和排放。而冶金企业冲渣沟本身传输的是氧化铁皮，其容重高且颗粒度较大，在后续沉淀设施中已经充分考虑了沉淀物的性状，包括沉淀后除渣方式都是按照抓斗抓取的形式，因此对于前端格栅拦截较大的悬浮物及杂质的需求并不高。笔者认为，钢铁企业冲渣沟一直延续设置格栅的原因主要是为了安全防护，防止人员误入冲渣沟，在高流速大水

量的冲刷下无法自救最终冲入沉淀设施造成严重后果。基于以上考量，铁皮冲渣沟格栅的栅条应该具有足够的强度，且栅条间距不宜过大。根据《钢铁企业给水排水设计规范》GB 50721-2011 中规定，栅条间隙宜为 100mm~150mm。

这里要强调的是，即使按照上述规范中要求的间距进行设计，设计人员也应该进行过栅水头损失计算，并将计算结果计入渣沟必要超高尺寸。水头指任意断面处单位重量水的能量，等于比能(单位质量水的能量)除以重力加速度，含位置水头、压力水头和速度水头，单位为 m。水流在运动过程中单位质量液体的机械能的损失称为水头损失。水流经过格栅时，因栅条产生的阻力而损失一部分能量，称为过栅水头损失。参考污水厂粗格栅的计算，并结合冲渣沟格栅的特点，最终笔者总结其计算过程如下：

不同形状的栅条在相同的水力条件下会产生不同的阻力。栅条产生的阻力与栅条断面形状有关，通常用形状系数 β 和阻力系数 ξ 表示。对于锐边矩形， $\beta=2.42$ 。阻力系数 ξ 可通过下式计算得到：

$$\xi = \beta * (S/b)^{4/3}$$

正常水头损失的计算公式为：

$$h_0 = \xi * (v^2/2g)$$

当格栅受污染物堵塞后，水头损失往往成倍增加，增加的倍数通常用 k 表示。一般 $k=3$ 。此时，正常过栅水头损失为：

$$h_1 = h_0 * k$$

各式中 v —过栅流速，m/s

g —重力加速度， 9.81 m/s^2

S —栅条宽度，设计参数，一般在 0.01~0.02 m 之间

b —栅条间隙，设计参数，按规范宜为 100~150mm。

我们按照规范要求的参数分别试算一下，当栅条间隙为 100mm，栅条宽度 10mm 时，正常过栅水头损失为 180mm，当栅条间隙为 150mm，栅条宽度 10mm 时，正常过栅水头损失为 100mm。

由计算结果可以看出，即使按照上述规范中要求的间距进行设计，过栅水头损失仍不可忽略，需要设计人员在设计渣沟高度时中注意考虑该部分超高的问题。而实际工程中，由于图纸套用等原因，很多冲渣沟格栅都设计的过密，有的栅条间隙仅有 80mm、60mm 甚至 50mm，通过计算其对应的正常过栅水头损失为 250mm、390mm、530mm。笔者认为这正是冲渣沟发生涌水事故的主要原因之一，也是设计人员不应该忽视的重要一环。

5 其他设计注意事项

(1) 由一次沉淀设置送回冲渣沟端头的冲渣水通常采用连续、低压的给水方式，并在冲渣沟的起点、变坡、拐点处加设冲洗水点。(2) 冲渣沟分为通行地沟及浅沟两类。通行地沟的起点净空高度，一般不小于 2 m，其人行通道的宽度，不小于 0.7m。沟宽及起点深度，需根据轧机类型、设备基础布置、铁皮沟类别、地下水水位和维护检修等情况，与有关专业共同确定。(3) 当支沟和主沟连接时，为减少支沟的深度，可采用跌水的方式，但在结合处应尽量使支沟满足最小转弯半径的要求，且应满足主沟流速大于支沟流速以及主沟水面低于支沟的要求。(4) 当两条流向相对的流槽汇合时，为避免因水流的碰撞产生沉淀，在条件可能时，可将两流槽的轴线错开。(5) 冲渣沟的人行通道应设置出入口和栏杆，通道净宽度不得小于 0.7m。敞开支沟的人行通道上部宜设置挡渣板。(6) 为了进行正常的清理和维护，冲渣沟内应考虑照明。为安全起见，要求采用不大于 36V 的安全电压

6 结束语

冶金作为我国工业体系的一大重要门类，总的来说，其复杂程度在诸多工业门类中也是比较高的，这就对我们设计工作者提出了更高的要求。给水排水系统作为冶金设计体系的一个辅助系统，承担着相当于人体心血管系统的作用，其重要性和技术要求可见一斑。作为一名设计人，要时刻保持高度责任心，对典例不盲从，对问题不放过，切实的保证设计的准确性和先进性，为公司、业主乃至整个行业的高质量发展贡献一份力量。

[参考文献]

[1]王笏曹. 钢铁工业给水排水设计手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.

[2]中国冶金建设协会. 钢铁企业给水排水设计规范 GB 50721-2011[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012: 8-11.

作者简介: 张蓓 (1981.4-), 男, 毕业院校: 北京工业大学, 建筑工程学院 给水排水工程专业, 当前工作单位: 中冶京诚工程技术有限公司, 职务: 总经理助理, 职称: 高级工程师。