

BOF 转炉煤气清洗系统提升效率和废气品质的升级改造

达涅利·林茨BOF炼钢技术专家和达涅利·康力斯高炉技术市场领导合作加速研发了BOF转炉工厂的煤气清洗。该设计包含广泛应用在高炉上的改进型洗涤塔、以及改进型脱水器，与常规描述的设计相比有着显著的优点。

作者: 荷兰, 达涅利·康力斯, Matthias Meyn, Peter Klut, Ruud Herold

达涅利于2011年进军转炉业务，起初是在达涅利·林茨新设的一个业务部门。这项业务在高要求的炼钢领域快速的升起。

达涅利·康力斯在高炉炼铁领域已做得非常成功，在氧气炼钢市场同样出色；比如，在副枪系统、连同其中一个最先进的2级系统的供货方面已成为市场的领导者。达涅利·林茨整合并入达涅利·康力斯团体，为进一步开发氧气炼钢设备开启了伟大的先机。此外，这也是首次两个学科（炼铁和炼钢）的同一个设备供货商的工程师们在一个地方共同工作。在成本和资源节约方面，全面打开了优化高炉和转炉工艺的工具和软件联合开发的新时机。

在转炉废气捕获和冷却清洗领域，当前公司行动聚焦在最小化维修需求的情况下、最大化排气罩设计。这篇文章讨论了废气洗涤塔和脱水器设计的整体再开发。

废气清洗—背景

转炉炼钢是一种批处理工艺，生成的煤气状态和成份在一次冶炼期间自始至终都有变化。当吹氧时，生成大量的高温(~1750°C)、满载粉尘(70-200 g/Nm³)的煤气。该煤气在进一步处理之前必需冷却清洗(含尘量降到20 mg/Nm³以下)。工艺设备安装在转炉口的上方和旁边，进行能量回收，如同收集和回收粉尘一样。

除尘可采用湿法或者干法工艺。当前，全世界超过90%的除尘系统采用的是湿法。干法系统使用静电除尘器，含尘量可达到小于10 mg/Nm³。在湿法系统中，煤气在文丘里洗涤塔内进行清洗，洗涤塔之后紧接着是脱水器，含尘量可达到小于20 mg/Nm³。然而，ESP有很大的足迹和操作上的缺点，与防止爆炸有关。

煤气清洗所需的压降通过引风机(IDF)来产生，而引风机则通过冷却和清洗工艺输送煤气。具有代表性的是，高热值(CO > 30 vol%)清洗煤气在进一步加工处理之前存放在贮煤气柜内，而低热值的清洗煤气则燃烧掉。

这篇文章聚焦在湿法清洗系统。第一步工艺是对煤气和粉尘混合物用水进行淬火处理，主要是

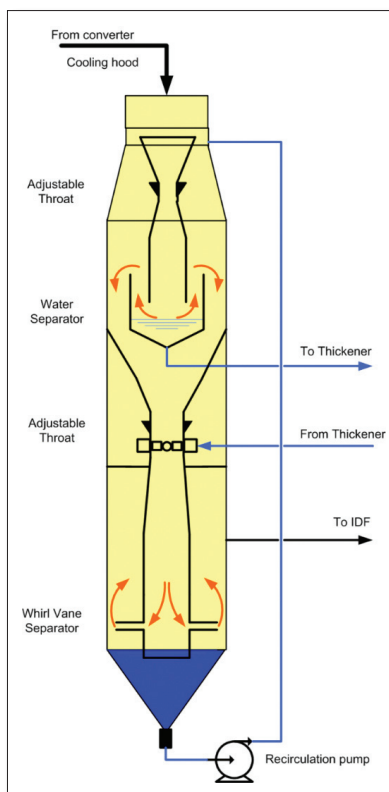


图 1 常规煤气清洗洗涤塔

降温，同时也从煤气中去除粗粉粒，并把粗粉颗粒输送到水系统内。细粉粒保留在煤气流内。第二阶段，迫使煤气流通过“窄缝”洗涤塔，在洗涤塔内细粉粒被输送到洗涤水流内。从两个阶段收集的废水流被输送到浓缩机/絮凝罐进行沉淀和固体清除[1-3]。

洗涤塔设计—基于文丘里管的洗涤塔

当前通常大多用在BOF转炉煤气清洗中的基于文丘里管的洗涤塔是“瓣式文丘里”洗涤塔，通常所说的是Baumco™型。代表性实例如图1所示。瓣片定位在可调节的喉部。

瓣式文丘里洗涤塔典型问题

虽然瓣式文丘里洗涤塔广泛使用，但还是能发现 ▶



图2 实例(a)喷嘴堵塞、实例(b)瓣式文丘里洗涤塔内损坏的清洁耙

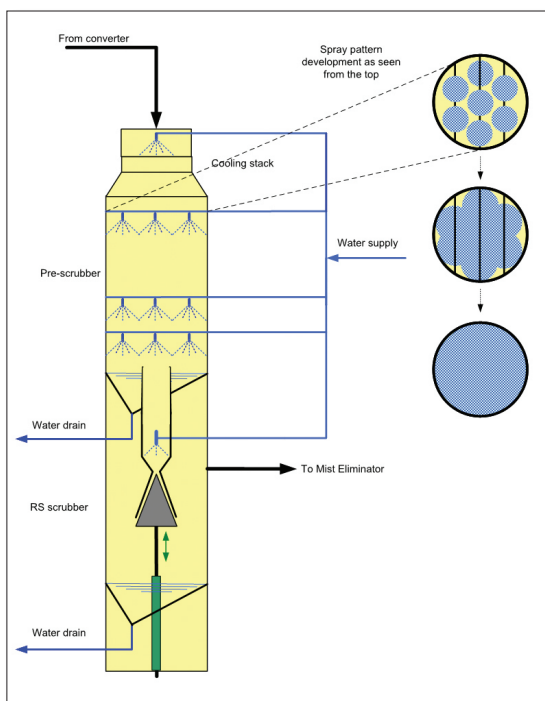


图3 RS元件洗涤塔原理图

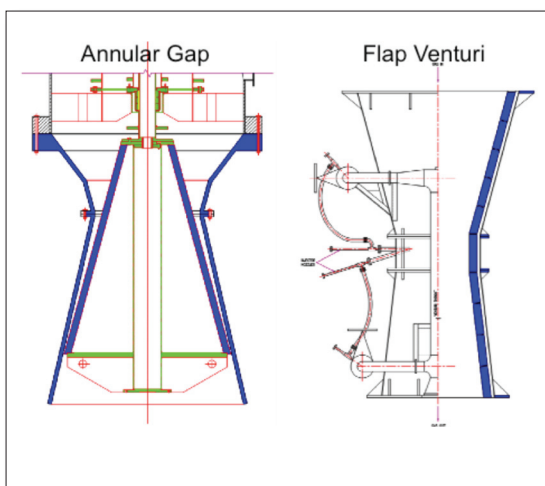


图4 Ra)环缝洗涤塔、(b)瓣式文丘里洗涤塔

它存在的一些缺点，包括：

- ❶ 在系统内的某些区域，煤气流和水流混合效率较低，导致洗涤效率较低。
- ❷ 因为内部管道内的粉尘沉积会发生内部堵塞，导致压降升高、损害系统的性能。
- ❸ 文丘里喉部具有相当复杂的设计、有许多可移动部件。
- ❹ 文丘里喉部喷水嘴会发生堵塞，导致洗涤塔效率损失；喷嘴需要进行定期维修（见图2a）。
- ❺ 清洁耙用作清除堵塞，但这些部件频繁损坏、需要更换/修理（见图2b）。
- ❻ 洗涤塔出口堵塞对淬水泵效率有不利影响、加速泵的磨损。
- ❼ 煤气在内部进行数次180°旋转，引起摩擦损失，不利于清洗效率。

改进型洗涤塔设计

达涅利·康力斯已鉴定并实现了改进型设计，称之为RS元件洗涤塔，更加严密地清除掉需要清除的粉尘，改进了操作运行的效率和成本。

洗涤塔结构

RS元件洗涤塔是两阶段式单塔结构，如图3所示。第1阶段是定位在洗涤容器上半部内的预洗涤/冷却部分。这部分是开口式设计，配备有中心布置的不堵塞型喷嘴。第2阶段包含RS元件和RS元件喷淋，定位在预洗涤/冷却部分的下部、洗涤塔容器的下半部内。通过并入水循环系统可最小化耗水量，该循环系统循环第2阶段的水至第1阶段的顶部喷嘴。第2阶段还包含一套液压控制系统，该系统用来定位RS锥体元件和控水阀（有时使用）。

RS元件洗涤塔

最近开发的能更好除尘的是环缝或RS元件洗涤塔（RS = Ring Slit环形狭缝= Annular Gap环缝）。图4(a和b)所示是两种类型之间的基本区别。

RS元件洗涤塔的优点是：使用瓣式文丘里洗涤塔能解决许多发现的问题：

- ❶ 优化水和煤气流模式，生成更有效的设计。
- ❷ 由于设计为更加耐磨，因此运行寿命更长。
- ❸ 已被许多高炉应用所证明：几乎无需维护。
- ❹ 相比于资本支出费用相同的瓣式文丘里洗涤塔系统，运行成本更低。
- ❺ 直流模式最小化了煤气的旋转。

RS元件洗涤塔包含一个RS元件，该元件可轴向调节、朝向锥体外壳形成一个环缝。喷淋到颈区的水以低气流速度流过导管、进入环缝，维持水均匀分布到环缝横截面上。煤气和水被迫穿过环缝、产生高湍流和强烈的相互作用，这样，全部

煤气流和粉尘颗粒彻底加湿、进行最大化的煤气清洗。RS元件的主要部件为了达到长寿、比如锥体外壳和主锥体本体、使用高耐磨耐蚀的材料。

RS元件出入口之间的压降主要决定了除尘的能力，如图5所示。图表所示为：为了达到煤气含尘量小于 20 mg/Nm^3 ，则要求压降大于150 毫巴。

喷嘴

在洗涤塔内，来自转炉的荒煤气、与来自一系列喷嘴的喷淋水接触，如图3所示：这些喷嘴横靠洗涤塔壳、垂直排列。每个喷嘴安装在一个穿过洗涤塔壳的喷淋臂上、连接到供水系统。通过与水接触，煤气被冷却、大部分粉尘被加湿，从而使粉尘与水混合。

尽管很牢固，在布水系统内依然有一处可改进，即：喷嘴的数目和定位、以及喷枪。更具体而言，通过改进水滴的雾化，增加水滴与煤气和粉尘颗粒接触的表面积。与开口型喷嘴相比，使用螺旋型喷头可获得这项功能，如图6(a 和 b)所示，在相同的高度、按2/3/2模式安装三个喷淋臂进行布水（只向下喷淋）。

一个标高设置7个喷嘴的优点可汇总如下：

- 水滴大小变得更小，即：平均水滴直径从空心锥体喷淋 $2500 \mu\text{m}$ 减小到螺旋型喷淋 $1250 \mu\text{m}$ ，加速了蒸发作用。
- 煤气和水滴在混合和分布方面有改进
- 较小水滴数目的增加和分布的改进极大地改进了颗粒的加湿。
- 螺旋型喷嘴能抵挡积尘量高、水流饱和。

正如同图3内所能看见的，喷淋臂依然分布在柱体上方、但所需的入口点数目显著减少。在第一层，喷淋臂用水预冷并浸透煤气。下面两层的喷淋臂加湿粉尘（捕获粗颗粒）、进一步把煤气冷却到大约 $55\text{-}65^\circ\text{C}$ 。

除了上述优点之外，使用螺旋型喷嘴还有如下附加的优点：

- 这些喷嘴相比于开口型喷嘴，不易堵塞；螺旋型喷嘴最初设计为用在烟道煤气的脱硫装置上，对煤气流注入饱和浆液。
- 喷淋模式重叠，这样能改进洗涤塔整体性能，因为极度不可能出现水覆盖面较小的区域。
- 相比于常规的洗涤塔设计，在洗涤塔内应用了多重喷嘴，可靠性增加。

脱水

在可以有效使用清洗过的煤气和捕获的粉尘之前，对洗涤工艺中所使用的水要尽可能多地脱去。脱水有多种方式：

- 洗涤塔内部初始水滴分离---代表性的是煤气流/轴向旋转。
- 外部机械水滴分离---代表性的是垂直式轴向脱水器。

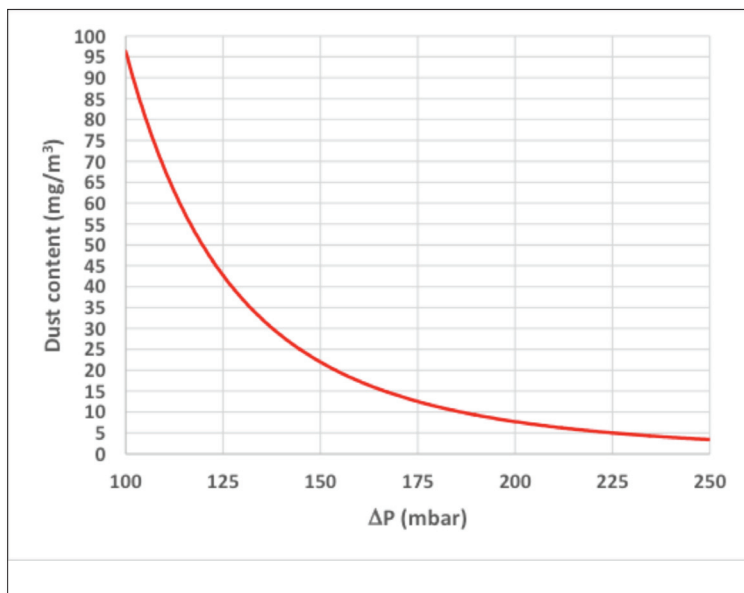


图5 典型RS元件性能与压降对比

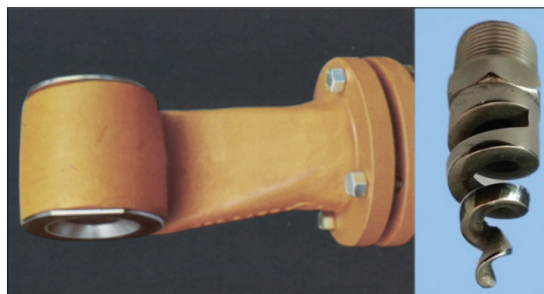


图6 R(a)开口型喷嘴和(b)螺旋型喷嘴

- 湿法静电除尘器---在板上脱水除水。

大多数BOF转炉使用的是脱水器，最普及的是轴向旋风型，使用许多导流叶片把煤气和水滴带入自旋运动，从而分离BOF转炉煤气的水滴。轴向旋风型脱水器适用于除去较大的水滴，但在除去较细小的水滴方面效率较低。

不幸的是，本设计中由于环缝元件上方的压降作用，产生大量的细水滴，据估计在环缝元件之后的含水量可高达 250 g/Nm^3 。在这方面，轴向脱水器考虑到了该问题，做的非常好，出口含水量介于 $4\text{-}5 \text{ g/Nm}^3$ 的范围、效率达99.6%。

尽管有这些技术，在引风机、贮煤气柜、和废气燃烧烟道处还是发现有大量的液态水。有些液态水来自引风机所使用的喷淋、和管道工程内的冷凝水，但从下水道的污染来看，同样清晰地表明：当前脱水器工作不能象它们应有效工作那



图 7 水平轴向式脱水器

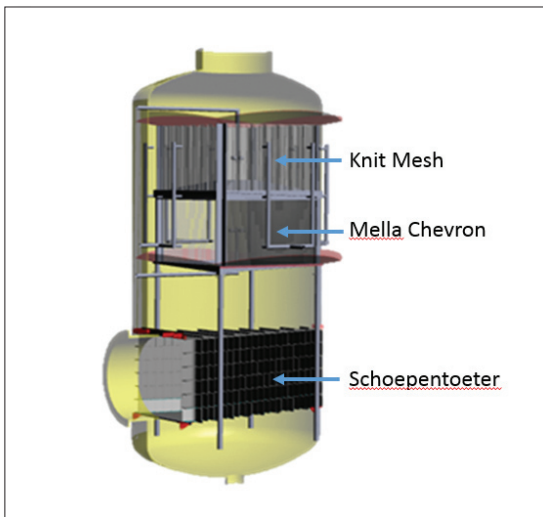


图 8 改进型脱水器设计

样，导致在废气燃烧烟道内扬尘、在冷凝池聚集饱含水的粉尘。

环缝洗涤塔内的粉尘和水激烈接触、同样产生含尘水滴。在当前的设计中，经过脱水器后、剩余的 5 g/Nm^3 水滴将被带到废气燃烧烟道、贮煤气柜、最后带到BOF燃气锅炉的燃烧器。当BOF煤气燃烧时，这将产生扬尘。

BAT BREF报告[4]表明使用文丘里型洗涤塔可获得的极限为 $5\text{-}10 \text{ mg/Nm}^3$ ，但是应注意到：这些较低的值只有在能有效去除含水滴的粉尘情况下才能获得。

由于转炉间歇式运行，必需有一个贮煤气柜来容许BOF煤气连续流向终端用户。然而，由于在贮煤气柜内有滞留时间，含尘水滴将停留在贮煤气柜内产生沉淀、需要定期清除。这同样适用于从供气管线到贮煤气柜、在虹吸中收集的水。需要除去的水和污泥由于其化学成份的特殊性，需要进行收集处理。

改进型脱水器设计

在发电厂、石油和天然气工业， 5 g/Nm^3 的水滴含量被认为含量太高，因此开发了更有效型的脱水器。它的去雾能力可获得水滴含量小于 0.1 g/Nm^3 。实例如图7所示。达涅利·康力斯已与Sulzer合作，Sulzer是石油和天然气工业分离系统一支领先的OEM（原始设备制造商），根据该设计开发脱水器、适合从环缝洗涤塔的下流、转炉煤气中除去水滴。

新型脱水器设计

开发的新型脱水器[5]依据三步法来除去水滴：

1. 入口处使用壳牌Shell Schoepentoeter™
2. 脱水器使用Sulzer Mellachevron™
3. 使用Sulzer Knitmesh™和Mellachevron™

设计第一步是分流器入口，使用 Shell Schoepentoeter™ 供给 BOF 转炉煤气并将其分配到柱体内、同时除去大部分粗水滴。第二步由一个叶片型Chevron（雪弗龙）脱水器、和Sulzer Mellachevron™ 组成，Sulzer Mellachevron™ 包含垂直定位的叶片、叶片使用惯性分离水滴。对于通过Chevron（雪弗龙）脱水器的最细小的水滴，在分离之前、需要冷凝；第三步：除去工艺，通过以被淹没的模式、运行Sulzer Knitmesh™、获得冷凝，形成水平式水滴流。产生的较大的水滴收集在另一个定位在Knitmesh™后面的Mellachevron™ 内。来自所有步骤的水滴都收集在容器的底部、返回到湿法洗涤塔。Knitmesh™的工作原理如图9所示。

脱水器清洁

使用大量喷嘴清洁脱水器的Mellachevron™ 和 Knitmesh™ 部件的表面、防止堵塞。该清洗可设定为定期清洗、或者可设定为不同差压测量。清洗水连同收集的水滴一起排出。

优点

作为与Sulzer合作的结果：现在获得了一项脱水器设计专利，能达到BOF转炉净煤气内水滴含量小于 0.1 g/Nm^3 ，折合成99.96%的脱水效率。同样它的覆盖区较小、类似CAPEX常规设计。这样能使废气燃烧烟道、BOF燃气锅炉的管道更清洁、粉尘排放低，使引风机运行无故障，使BOF贮煤气柜维修少、污泥少。

脱水器配置可选方案

在洗涤塔和引风机之间有相当可观的间距，可使用设计可选方案：脱水可分为两个独立的装置。这些由一个洗涤塔附近的便携式脱水器和一个引风机附近的冷凝式脱水器组成。可选方案的排列如表1所示。

冷凝式脱水器由一个Mellachevron™ 和一个

脱水器	位置	分离技术	排水
便携式脱水器	近邻环缝洗涤塔	Schoepentoeter™ Mellachevron™	洗涤塔下部
冷凝式脱水器	引风机前面	Mellachevron™ Knitmesh™和 Mellachevron™	冷凝收集池

表 1 分流脱水设计组件

Knitmesh™ 组成，把水滴浓度降低到小于0.1 g/Nm³。对于这些低浓度水滴，引风机运行更稳定、振动更小。预期引风机无需水洗。

设计总结

代表性煤气清洗工厂新型设计原理图如图10所示。设计改进如下：

RS元件洗涤塔设计的应用、依据的是高炉炼铁广泛应用并已证明的湿法洗涤技术。通过宽通道的直流煤气避免了改道旋转和不需要的降压。在改进型洗涤性能方面、包括改变整个洗涤塔的喷水模式和分布，通过快换螺旋型喷嘴的喷淋水容许对水质的要求不太严格。特殊内涂层的使用减少了堵塞和磨损。

新型脱水器设计比传统的轴向型效率更高。本文同样介绍了先进的多阶段式脱水器设计、该设计已证明在其他行业有业绩记录。有效的水滴分离进一步减少了颗粒物排放、有助于解决引风机的运行问题和损坏。这项精心设计比常规的轴向水滴分离器有很大的优点。改进型脱水器的应用、可使BOF转炉煤气含水量降低到小于0.1 g/Nm³，从而使废气燃烧烟道和BOF燃气锅炉的管道更清洁、粉尘排放低，使引风机运行无故障，使BOF贮煤气柜维修更少、污泥更少。MS

联系方式: Edo.Engel@danieli-corus.com

荷兰、艾依墨登、达涅利·康力斯, Matthias Meyn, Peter Klut, Ruud Herold

参考文献

[1] H.E. Hesketh; Fine Particle Collection Efficiency Related to Pressure Drop, Scrubbant and Particle Properties, and Contact Mechanism; Journal of the Air Pollution Control Association; 24 10 1974; p. 939 – 942.
 [2] Changde Li, Morris Liu; BOF primary off – gas cleaning: a new high efficiency and water-saving scrubber-Venturi system; Millennium Steel; 2008; p. 61 – 63.
 [3] Alex Lajtonyi; A gas cleaning system for blast furnaces; Steel Times International; April 2010; p. 39 – 42.

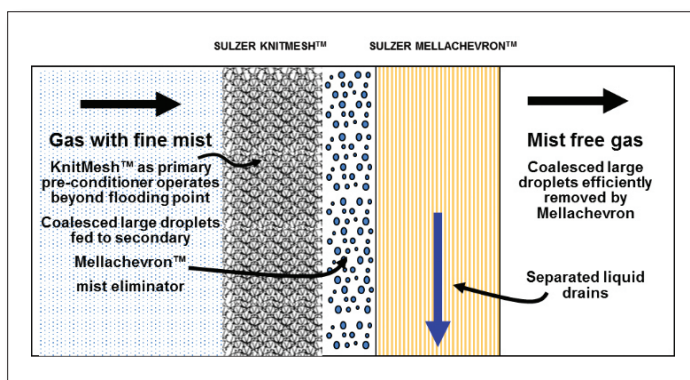


图 9 Knitmesh排列工作原理

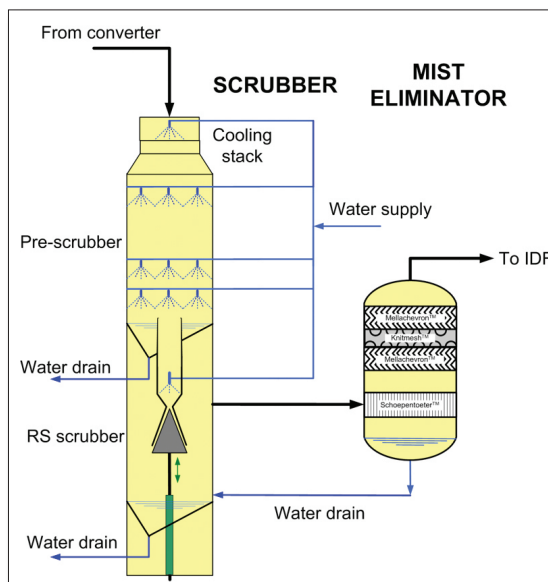


图 9 新型煤气清洗设计

[4] Rainer Remus, Miguel A. Aguado Monsonet, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho; BAT BREF Iron & Steel – JRC reference report; European Committee, Brussels; 2013.
 [5] P. Klut, W. Ewalts, R. Hink and E. Engel; Latest developments in dry and wet blast furnace gas cleaning technology; Millennium Steel India; 2016; p.31 – 35.