

# 烟气的电气净化

Б.П. 什涅尔松 著  
罗守礼 謝克倫 译



冶金工業出版社

統一書號：15062·508

定價：1.20

# 烟 气 的 电 气 淨 化

斯 大 林 獎 金 獲 得 者

Б. Л. 什涅尔松 著

罗守礼 謝克倫 譯

冶 金 工 業 出 版 社

本書闡明从工藝过程產生的烟氣中，以及从通風空气中用電收塵器收集灰塵的理論和实际。叙述所採用的电气設備的構造，發現其故障的方法，及其檢修方法；並載有電收塵器的操作規程。

本書可作为冶金、机械制造、化学和动力工業部門工程技術工作人員的实际工作指南。

---

Лауреат Сталинской премии  
Б. Л. ПЕНБЕРСОН  
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА  
ГАЗОВ

Металлургия (Москва-1950)

\* \* \*

烟气的电气淨化

罗守礼 謝克倫 譯

冶金工業出版社（北京市灯市口甲45号）出版

北京市書刊出刊業營業許可証出字第093号

\* \* \*

冶金工業出版社印刷厂印

一九五六年十月第一版

一九五六年十月北京第一次印刷（1-3,540）

850×1168 ·  $\frac{1}{32}$  · 181,000字 · 印張6  $\frac{10}{32}$  定价(10) 1.20元

書号 0503

\* \* \*

發行者 新華書店

## 目 錄

序言	( 5 )
緒論	( 7 )
电收塵器的物理原理	( 10 )
电場、电場强度、电位	( 10 )
游离、电量、电极形状的影响	( 16 )
气体中懸浮顆粒的荷电、荷电顆粒的运动	( 29 )
电收塵器的理論收塵率	( 34 )
实际的电收塵器、收塵机构、反电量	( 38 )
电量闭塞、湿度的影响、电收塵器中的分类收集	( 38 )
电收塵器的电气設備	( 47 )
TY-200 型整流机組	( 47 )
AΦ-18型整流机組	( 62 )
真空整流管整流	( 67 )
半波整流	( 68 )
三相整流	( 70 )
电机室	( 74 )
电收塵器 ( 收塵室 )	( 78 )
概述	( 78 )
煙气的預先处理	( 83 )
收塵率	( 89 )
有色冶金和化工企業中煙气的电气淨化	( 92 )
煙塵和煙气的性質	( 92 )
煙塵 —— 煙气系統的特性	( 93 )
在有色冶金和化工企業中收集煙塵和煙霧所採用的	
电收塵器	( 98 )
XK-45 型电收塵器	( 99 )
ГK30-Г 型收塵設備	( 106 )

CC 6 型收塵設備 .....	(114)
XP型 收塵設備 .....	(117)
收集霧沫用的电收塵器 .....	(119)
由热煙气中收集硫酸用的电收塵器 (K型) .....	(123)
<b>高爐爐气的淨塵</b> .....	(126)
概述及淨化系統 .....	(126)
爐气的干式电气淨化 .....	(129)
爐气的濕式电气淨化 .....	(135)
<b>鍋爐煙气中灰塵的收集</b> .....	(141)
概述 .....	(141)
煙气淨化托辣斯的 ДВМ 型收塵設備 .....	(145)
ДВП 型收塵設備 .....	(149)
由發生爐煤气和焦爐煤气中收集焦油用的电塵器 .....	(157)
<b>由干燥器的煙气中收集粉塵用的电收塵器</b> .....	(159)
<b>空气的細致淨塵</b> .....	(165)
<b>电收塵器的維護</b> .....	(169)
A. 电收塵器整流所的維護規程 .....	(169)
B. 电收塵器裝置的維護規程 .....	(183)
B. 电收塵器維護的技術保安規程 .....	(191)
<b>电收塵器維護表報制</b> .....	(192)
<b>中俄名詞对照表</b> .....	(195)
<b>参考文献</b> .....	(201)

---

## 序 言

強大的蘇維埃工業企業將千百萬立方公尺的煙氣排於大氣中。這些煙氣帶走了大量而非常貴重的煙塵。往往有這樣的生產過程，在那一生產過程中所有的產物是完全被煙氣所吸收的。懸浮狀物質的干燥，有色金屬冶煉企業中用昇華方法處理金屬時的還原熔煉等，都屬於這種生產過程。

顯然，企業的正常工作是要求將所有有價值的煙塵完全加以收集的。

在某種情況下，例如硫酸生產，高爐生產等等，煙氣具有主要價值。但是，如果在事先不將煙氣中所含的灰塵仔細淨除，就不能加以利用。

就衛生和保健的意義上說，收集廢氣中的煙塵及煙霧也是必需的，因為發散出來的大量煙塵能毒化企業周圍的空氣，傷害眼睛並遮蔽陽光。

收集微細的顆粒是相當困難的。最有效的收塵方法之一，有時甚至於認為唯一的收塵方法就是電氣收塵。

在蘇聯，煙氣電氣淨化的非常複雜的物理過程已獲得最全面的理論研究。毫不奇怪，例如，大大地降低了成本、簡化了生產過程並能把煙氣淨化到任何清潔程度的高爐爐氣濕式電氣淨塵，已被研究成功並首先在我們的工廠里廣泛採用了。

僅僅在最近幾年，以蘇聯經驗為基礎，濕式電氣淨塵才應用到美國工廠的實際工作中，而代替了分離器淨塵。

我們大多數的工業企業配備了大型的、按照最新技術製造出來的收塵設備。然而，這種設備並不是在所有的工業企業中都十分令人滿意地工作着。除開收塵率達到 97—99% 的企業外，也有一些企業的收塵設備工作得很不能令人滿意。

收塵設備工作得不好的主要原因之一，就是工業企業中缺少足夠數量的、經過相當訓練的幹部。敘述收塵問題的書籍的缺乏

又加深了这一情况。

电收塵器在操作上並不算是特別复雜的收塵設備。然而，在电收塵器中煙塵的沉積过程則是非常复雜的，故需要一些具有專門知識的运轉人員，这些人員必須清楚地懂得在实际工作中所遇到的一些現象。

本書几乎完全不闡述有关下列問題的研究，如煙塵的一般性質，煙塵在煙气介質中运动的規律，煙气含塵率及細度（дисперсность）的測定方法。

本書中几乎也不涉及其他非电气的收塵方法。

本書为工程技術人員將煙气的电气淨塵理論作了一簡單的論述，根据煙塵特性，給出了各种工藝过程中的煙气的电气淨塵方法，以及叙述了所採用的設備。

在書末載入电收塵器維護的指導性資料。这一章是在作者主編下，由工程师 Н·耶戈罗夫、М·薩莫欣和 И·伏斯托科夫諸同志合寫成。

---



## 緒 論

与煙气的机械收塵比較，在很多情況下，电收塵具有許多巨大的优点，有时甚至於成为唯一可用的收塵方法。旋渦收塵器對於微細顆粒的收塵率不高，它的应用受到限制。而布袋收塵器的应用又为煙气的溫度（不能超过 70—80°C，也不能低於煙气的露点）和煙气的化学性質所限制。而湿法淨塵（在許多情況下，这种淨塵方法根本不能採用）又需消耗很大能量。

当煙气用电气淨塵时，可以得到任意的收塵率，这种收塵率为其他收塵器所不能达到。这种完全淨塵的合理性在於它具有的經濟意义。电收塵器由於需要的电流和它对煙气的阻力都很微小，所以淨塵所消耗的能量一般也不大。將穩定的霧（如硫酸酸霧）完全收淨，只有在电收塵器中才有可能。电收塵器可以很容易地用防酸材料作成，因此，当其淨化腐蝕性煙气时不至於损坏。

在許多情況下，电收塵器能在很高的溫度下淨化煙气。

电收塵器的裝置費用有时可能比机械收塵設備的裝置費用要高，並且电收塵器只有在主要工藝过程十分穩定不变时才能可靠地工作；而它的維護需要比較熟練的工作人員。但由於有以上所述的优点，此种收塵和收霧方法的应用範圍得到了很快地擴展。

然而，电收塵器並不是無条件通用的收塵設備。在二十世紀三十年代里，当对收塵机械研究得还非常不够时，过度地醉心於电收塵器的結果曾使得，甚至於裝置布袋收塵器（如在某些情況下收集鋅的氧化物）更为合理的場合都裝置了电收塵器，或者裝上了不合適的收塵裝置。

还在前一世紀初期，电流对懸浮於煙气中灰塵的运动發生作用的可能性就已为人所知。十九世紀九十年代，英國一个煉鉛工厂中，在一位物理教授罗德夏（Лоджа）的参加下，進行了一次

电收塵器应用於工業的不成功的試驗。

然而，随着技術的总的發展上，当高压整流电流能簡易而可靠地獲得的时候，当煙气中含塵量增大到就經濟和衛生意义上看都必須將被煙气帶走的固体微粒或液体微粒收集起來的时候，电气淨塵才实际出現了。

在苏联，第一套管式电收塵器是列寧格勒「紅色选民」工厂在1925年按照 IO·B·拜馬科夫教授的設計制造的。差不多在同时，作者進行了一些試驗性的研究工作，並於1926年在「工人勝利」工厂中作成了板式电收塵器。

此后，随着國家迅速地工業化，在一系列的工業部門中廣泛地推廣了电收塵設備。当然，研究工作也与此相应地發展了，由於这些研究工作，在电收塵器中發生的复雜現象得到了解釋，因而使电收塵設備的設計更易掌握。

所有的电收塵器基本上由兩部分組成：一部分是收塵室，煙气通过它时進行必要的淨塵；另一部分是高压設備，用它將交流电綫路电压（220，380 或 500 伏特）变为高压直流电（90000 伏特），送到电收塵器的收塵室去。

在收塵室中，或者懸掛平行的金屬平板，在其間緊拉細導綫；或者懸掛金屬管子（直徑为 150--300 公厘），在其軸心处同样緊拉細導綫。

在導綫和平行板間，（或導綫和管子間）加以高压直流电流。在联接負極（陰極）的導綫的周圍形成一個游离气体区域；在这区域里，充滿了負电子和气体的正离子及負离子。因为導綫帶負电，所以正离子被吸引至導綫，而負离子被排斥到管壁或板壁上，並充滿於电收塵器中整个空間。沿着运动路徑，正負离子和电子附着到煙气中的懸浮塵粒上，並与这些塵粒一起被吸引或排斥。气体的离子層發光，並發出微弱的嗤嗤声。这一离子層称为「电量区」，或簡称为「电量」。在其周圍形成电量的導綫称为电量電極，而在其上沉積了大部分灰塵的平板或管子則称为收塵電極。

收集的煙灰按時振落於積塵漏斗中。

電收塵器中發生的現象是非常複雜而多種多樣的，並且可能由一種現象形成另一種現象，所以理想條件便不能與實際相吻合。直到現在為止，還不能進行電收塵器的一般計算。但是，如果不了解每一個這樣的現象和這些現象對各種不同煙氣和灰塵的淨化率的影響，則不可能對電收塵器進行精確的護理，不可能達到高度的淨化率。這一點尤其重要，因為到現在為止還沒有一種能在任何收塵器中不斷指示淨化率的儀器；收塵器在某指定時刻的工作效率只能根據間接的指示器來確定。還須考慮到，發生在主要的工藝過程中的一些變化（煙氣量、溫度、含塵率和濕度等的變化），如果不對這些變化採取相應措施的話，就會影響到電收塵器的收塵效率。因此，主要工藝過程進行中的不均衡性將使電收塵器的操作變複雜，而須對它特別加以注意。

---

## 电收塵器的物理原理

### 电場、电場强度、电位

电荷  $Q_0$  在自己周圍形成电場。电場的存在可以这样來确定：即所有進入电場的其他电荷  $e_0$  或者被吸引到第一电荷（如果电荷是異性），或者被第一电荷所排斥（如果电荷是同性）。电荷  $Q_0$  作用在电荷  $e_0$  上的力，按庫倫定律，是反比於此兩电荷間的距离，並决定於介質的性質：

$$F = \frac{Q_0 e_0}{\epsilon r^2}, \quad (1)$$

式中： $\epsilon$ ——电荷放於其中的介質的介电常数（对气体而言， $\epsilon$  实际上等於 1，以后不再引証）。

假如  $e_0$  是一个單位正电荷，那么电荷  $Q_0$  在电場內任意一点作用於  $e_0$  的力称为此点的电場强度：

$$E = \frac{Q_0}{r^2} \quad (2)$$

和

$$F = E e_0. \quad (3)$$

假如力用达因來表示，那么电場强度  $E$  用絕對單位來度量（必須將 [伏特/公分] 表示的强度或电場强度与 [伏特] 表示的电压区别開來，后者有时称为电位或电位差）。

進入电場的正电荷將在电場中沿某一曲綫运动，运动曲綫的方向与此点的力（即电場强度）的方向相重合。單位正电荷运动的假想軌道称为 [力綫]。

因为同性的电荷相排斥，故力綫将从荷正电的电極出來而進入荷負电的电極；或者，換言之，所有的力綫开始於正电荷而終止于負电荷。

电場强度的圖解利用力綫表示最为方便。在力綫上面的箭头表示作用於正电荷的力的方向（或者电場强度的方向，都一样）。

假如用垂直通过一平方公分面积所画力线的多少来表示电场强度的大小，那么，计算力线数目就可以知道某点的电场强度。

在图 1 及图 2 中，表示正电荷和负电荷所形成的电场。异性电荷如果相隔无限远，那么可以认为力线是辐射出来的。愈靠近电荷，力线就愈密，电场强度就愈大。

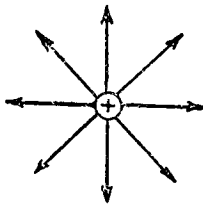


图 1 正电荷的电场

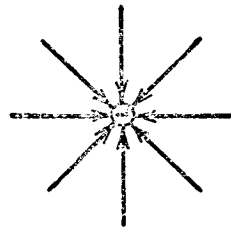


图 2 负电荷的电场

在图 3 及图 4 中表示两个同性及两个异性电荷所形成的电场。应当记住：力线从电荷向所有方向发出，而不限于图的平面上。

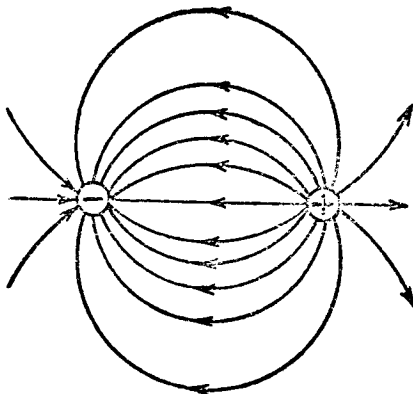


图 3 两异性电荷的电场

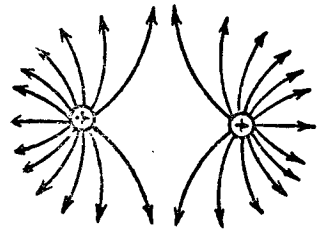


图 4 两同性电荷的电场

表示在图 1 至图 4 中的电场称为不均匀电场，因为在不同的点上的电场强度是不一样的（力线的密度不一样）。

从电荷发出的所有力线，称为力线流。力线流的大小，可以

用下列方法決定。

圍繞電荷  $Q_0$  作半徑為  $r$  的球面，在球面上的電場強度（或者說通過一平方公分球面上的力線數量），按公式（2）等於：

$$E = \frac{Q_0}{r^2} .$$

而經過面積為  $4\pi r^2$  的球面的總力線數為：

$$N = 4\pi r^2 E = \frac{4\pi r^2 Q_0}{r^2} = 4\pi Q_0 \quad (4)$$

（上式應用於放置在氣體中的電荷，氣體的介電常數  $\epsilon = 1$ 。假如  $\epsilon$  不等於 1，則  $N = \frac{4\pi Q_0}{\epsilon}$ ）。

因此，力線流與球的半徑無關。

假如將電荷  $+Q$  拿到表面面積為  $S$  的金屬平板上，則在其單位面積上的電荷等於（圖 5）：

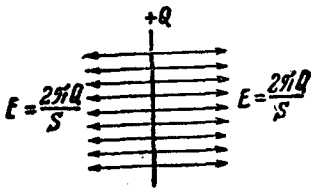


圖 5

$$q = \frac{Q}{S} .$$

力線的方向總是垂直於導体的表面。在這種情況下，按照對稱條件力線也互相平行（當平板的面積是無窮大時）。

因此，從平板的每一面的每一平方公分上發出的力線為：

$$E = \frac{4\pi q}{2} = 2\pi q = \frac{2\pi Q}{S} \quad (5)$$

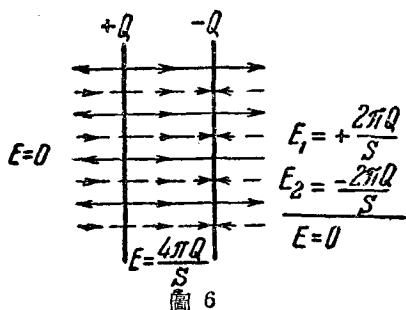
在電場中任何一點的電場強度都是相等的，因為按式（5），某一點的  $E$  值不決定於該點與平板的距離，因此電場是均勻的。假使兩塊互相平行的平板，第一塊帶電荷  $+Q$ ，第二塊帶電荷  $-Q$ ，那麼，在每一塊平板附近形成恒定的均勻的電場，電場強度的絕對值  $E = \frac{2\pi Q}{S}$ ，但其符號相反。

因為電場強度是一種力，而力是可以相加的，因此，在空間任一點的電場強度將由每塊板上的電荷所產生的電場強度組成。由圖 6 可以看出，在兩塊板間的区域內，每塊平板所產生的電場

强度都有相同的方向，故可以加起來：

$$E = \frac{4\pi Q}{S} \quad (6)$$

在平板外的区域中，每塊平板所產生的電場强度，絕對值相等，而方向相反，合成電場等於零。



在均勻的電場中放置一單位正電荷，力  $F = E$  作用於其上，沿着力線且與電場力作用相反的方向，從點 1 到點 2 將電荷移動距離  $x$ 。這樣作要消耗功，這個功等於力與沿力的作用方向的行程之乘積，稱為點 1 和點 2 的電位差。

命它為  $V_{1,2}$ 。

$$V_{1,2} = -Ex, \text{ 故 } E = -\frac{V_{1,2}}{x} \quad (7)$$

負號表示功被消耗了。很明顯，從點 1 到點 2 移動電荷所消耗的功不決定於電荷的行程，因為與力線成某一角度的所有運動可以分解成與力線垂直的運動和順着力線方向的運動；與力線垂直的運動是不消耗功的（因為力與位移互相垂直）。

單位正電荷從無限遠到點 1 和點 2 所消耗的功，為點 1 和點 2 的絕對電位。電位差以伏特數來量度（一個絕對單位電位差等於 300 伏特）。

在均勻的電場中每一點的電場强度都是相等的。在不均勻的電場中，我們可以認為互相無限靠近的點的電場强度是不變的，以微分形式表示即為：

$$E = -\frac{dV_{1,2}}{dx} \quad (8)$$

平行平板所形成的電場，其電場强度按公式（6）為：

$$E = \frac{4\pi Q}{S} = -\frac{dV_{1,2}}{dx}$$

$$V_{1,2} = - \int_{x_1}^{x_2} \frac{4\pi Q}{S} dx = \frac{4\pi Q}{S} (x_1 - x_2) .$$

將一塊平板接地，我們得到確定兩塊平板間( $x_1 = d, x_2 = 0$ ) 电位差的式子：

$$V = \frac{4\pi Q}{S} d = Ed ,$$

而平板間任意一點的電場強度：

$$E = \frac{V}{d} . \quad (9)$$

假如通過點 1 及點 2 (圖 6) 各作一與荷電表面平行的平面，則每一平面上所有的點將有相等的电位，這個平面稱為等位面。顯然，從平面 1 到平面 2 轉移電荷所消耗的功不決定於電荷的行程，因為僅當沿力綫移動時才會消耗功。

讓我們來研究由半徑為  $r$ ，長度為  $l$ ，荷電  $Q$  的導電圓筒所形成的電場 (圖 7)。

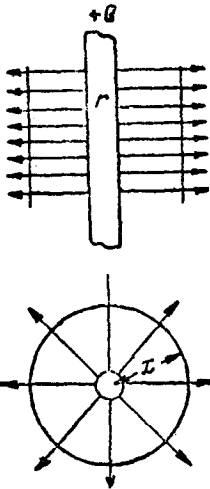


圖 7

從圓筒的外表面輻射出力綫，形成電場。在導體內部，不論導體是實心的還是空心的，都不可能存在力綫，而導體內部的電場強度等於零，因為電荷互相排斥而移動到導體的表面上。

十分明顯，對於圓筒導體而言，等位面與導體同軸。圍繞導綫畫一半徑為  $x$ ，長度為  $dl$  的圓筒形表面；表面面積等於  $2\pi x dl$ 。通過這個面的總力綫流等於  $E 2\pi x dl$ 。

在長  $dl$  的導綫上，電荷等於  $\frac{Q}{l} dl$ ，命它為  $Q_0$ 。按公式 (4)，電荷  $Q_0$  所產生的總力綫流等於  $4\pi Q_0$ ，因而

$$E 2\pi x dl = 4\pi Q_0 .$$



由此

$$E = \frac{4\pi Qdl}{l2\pi xdl} = \frac{2Q}{lx}, \quad (10)$$

也就是說，某处的電場強度與該處距導線的距離成反比例。

假如半徑為  $R$  的同軸表面是導體，並且也荷電，那麼它將不改變導線所形成的電場之值；因為分布在圓筒上的電荷在圓筒內部不產生電場（不論它是實心的還是空心的），因此在導線和圓筒間，距導線為  $x$  處的電場強度等於：

$$E_x = -\frac{dV}{dx} = \frac{2Q}{lx}, \quad (11)$$

$$V = -\int \frac{2Q}{lx} dx = -\frac{2Q}{l} \int \frac{dx}{x} = -\frac{2Q}{l} \ln x + C;$$

在導線表面上：

$$V' = -\frac{2Q}{l} \ln r + C;$$

在圓筒表面上：

$$V'' = -\frac{2Q}{l} \ln R + C.$$

導線與圓筒間的電位差：

$$V = V' - V'' = -\frac{2Q}{l} \ln r + \frac{2Q}{l} \ln R = \frac{2Q}{l} \ln \frac{R}{r}. \quad (12)$$

將式 11 中的  $Q$  代入：

$$E_x = \frac{2Vl}{lx2\ln\frac{R}{r}} = \frac{V}{x\ln\frac{R}{r}}. \quad (13)$$

如果  $V$  用伏特表示，那麼  $E_x = \frac{dV}{dx}$  用伏特/公分表示。

在上述情形中，電場是不均勻的，同是電場強度在  $x=r$  處（圖 8）為最大。命導線表面的電場強度為  $E_0$ ，即得

$$E_x = E_0 \frac{r}{x}. \quad (14)$$