

電業工人
學習文選

16



王瑞華 童銳剛編著

怎樣防止煤粉製造 設備的爆炸事故

電力工業出版社

內 容 提 要

本書列举实例說明了煤粉爆炸后所引起的严重后果，并分析了煤粉爆炸的原因；着重結合現場的实际操作和根据一些發電厂的反事故經驗，詳細地說明如何防止制粉系統的爆炸，介紹了防爆方面的一些具体措施。本書可供具有高小以上文化程度的鍋爐工人閱讀，也可作为技工学校鍋爐專業的參考讀物。

怎样防止煤粉制造設備的爆炸事故

王瑞华 童銳剛編著

*

787R207

電力工業出版社出版(北京復興門外教參路)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082号

北京市印刷一厂排印 新华書店發行

*

787×1092毫米开本 * 1印張 * 22千字

1958年4月北京第1版

1958年4月北京第1次印刷(0001—2,600册)

統一書号: T15036·80 定价(第9类)0.13元

目 录

第一章 制粉系統爆炸的危害性.....	(1)
第二章 制粉系統爆炸的原因.....	(3)
第三章 怎样防止制粉系統的爆炸.....	(9)
第一节 运行方面的措施.....	(9)
第二节 对制粉系統的要求和检修中应注意的事項.....	(26)
第三节 制粉系統改进的措施和对防爆門的要求.....	(29)

第一章 制粉系統爆炸的厄害性

成堆的燃煤，若存放的时间較长，同时通风不良，它就会发热；这发热的溫度到达了煤的着火点，就会自己燃燒。这是常見的事。煤粉的顆粒比煤块小得多，如果存放的条件和煤块一样，那么，它自燃着火就会更快一些。

煤粉和空气混合以后，一旦和火接触，不管那个地方是密閉的或不是密閉的，都会发生爆炸。一般來說，发生爆炸差不多都是由于懸浮在空气中的煤粉很剧烈地燃燒而引起的。因为当煤粉燃燒的时候，能在很短的时间內产生大量的气体，它的溫度很高，体积膨脹得很快；这样，它的压力就很大，以致把火焰推向四周，並以每秒鐘几千公尺的速度向周圍扩散。如果这个过程是在密閉系統內进行（制粉系統可以算作密閉系統），扩散受到限制，那么，这个系統內部的总压力就会升高，普通是2~2.5表压力，最高可以达到7~8表压力。这样大的压力，完全可以使系統中某些部件遭到破坏或損伤；同时，火焰还会从被损坏的地方噴射出来。

在制粉系統中，如果沒有安全裝置（如防爆門），突然发生爆炸，就会使整個系統遭到破坏，而影响鍋炉的正常燃燒和运行。輕微时，就是汽压下降、灭火、炉內打乾枪（短时间的爆发），結果就使鍋炉負荷減低，影响供汽；严重时，就会造成停炉，甚至中断供电。

制粉系統內发生爆炸，不仅有上述危害，而且对人身安

全的威脅也是非常大的。因為發生爆炸的時候，如果火焰噴射出來，它所噴射的面積很廣，速度也很快，在附近的工作人員會來不及躲避，在這種情況下，就很可能被火燒傷或燒死。更嚴重的是：廠房內如有易燃物品，當火勢擴大而又滅火不及時，就會造成毀滅性的災害。

下面分別列舉幾個單位式制粉系統、儲藏式制粉系統（包括中間儲藏式和全儲藏式的）和豎井式制粉系統所發生過的爆炸實例，以便進一步說明制粉系統發生爆炸的危險性。

例1:

解放前，某電廠的單位式制粉系統，燃用煙煤。由於磨煤機入口處堆積煤粉，沒有及時清理，以致引起自燃。燃燒着的气粉混合物從磨煤機的两端飞快地噴出（磨煤機出入口有水平段，為了清除積粉，兩側均設有清掃門），當時磨煤機室內有三名工人值班，火焰射滿了通道，結果燒死了兩名工人，另一名被燒傷。

例2:

解放前，某電廠的單位式制粉系統，有一次當鍋爐啟動點火時，因為操作不當，給粉過多，送風量太大而吸風量又不足，致使火焰倒回到制粉系統內。气粉混合物被引燃後發生爆炸，火焰從磨煤機出入口噴出，燒傷工人一名。

例3:

解放前，某電廠的全儲藏式制粉系統，曾因細粉分离器處積存煤粉，引起自燃，發生爆炸。當時這個系統由於沒有防爆門裝置，爆炸時壓力很大，結果把細粉分离器鼓破變形，扭成螺旋狀，以後只得重新更換。

例4:

1954年，某电厂的中間儲藏式制粉系統，由于煤粉仓的結構及保溫不良，在煤粉仓的內壁上粘有很多湿粉，經過長時間以后便发生自燃。同时因为煤粉仓建筑得很簡陋，孔洞不少，漏风很严重。当可逆式螺旋給粉機向儲粉仓內送粉时，发生爆炸，从儲粉仓內噴出了强烈的火焰及气浪，火焰大約在半分鐘以后熄灭。由于爆炸的威力很大，儲粉仓頂部复蓋的两块洋灰板都被冲起（儲粉仓頂部有防爆門），移动了200~300公厘，两个防爆門也同时被震破。当时有运行人員四人在場，他們一听到爆炸的声音以后，隨即伏臥在地上。其中有一人因伏臥的位置比較高些，火焰从他的后脑掠过，稍被燙伤；其他三人幸未受伤。爆炸后，鍋炉被迫停下。停炉清扫时，发现煤粉仓內有煤粉自燃后結成的焦子，体积約0.5立方公尺，並且这些焦子还在燃燒状态。

例5:

某电厂的中間儲藏式制粉系統，曾以烟气和空气混合物来乾燥燃料，磨煤機入口的溫度比較高。1955年，有一次当停止磨煤機运行时，入口溫度为 330°C 。由于运行人員操作不当，沒有調节好溫度就停止了原煤的供給，当切断原煤后不久，就发生爆炸。因为防爆門所用的鉄板比較厚，动作不迅速，因此气浪就把排粉機入口的混合风門崩碎，碎片掉入排粉機內，将排粉機的叶輪打坏。

第二章 制粉系統爆炸的原因

制粉系統中的气粉混合物为什么有时会发生爆炸呢？造

成爆炸的主要原因又是什么呢？根据許多爆炸的例子来看，归納起来分析一下，就可以得出这样一个結論：造成爆炸的原因，主要是在制粉系統中有燃燒着的火焰。如果沒有火焰，爆炸是不可能发生的。

火焰的来源有两种：一种是內在的，另一种是外来的。在制粉系統內，如果煤粉堆积了一段較长的時間，並和热空气接触(或热的烟气和空气的混合物)，就会发生自燃。苏联的科学家曾作了一些很有意义的研究，他們把斯捷洛夫斯基煤（参看表1）放在一定的溫度下加热，当溫度升到 231°C 时，煤粉並不着火。当溫度升到 238°C 时，經過25分鐘以后，煤粉就着火了。当溫度再升到 323°C 时，經過4分鐘以后，煤粉就着火了。而烏克蘭褐煤（参看表1），当溫度才升到 150°C 时，煤粉就开始着火了。

表 1

煤 种	工作質水分 %	工作質灰分 %	可燃質揮發 分 %	低位發熱量 大卡/公斤
斯捷洛夫斯基煤	8.0	9.0	20.0	6620
烏克蘭褐煤	40.0	21.0	55.0	2040

从这一試驗里可以看出，溫度是煤粉自燃的一个很重要的因素。我們知道，把燃煤磨制成煤粉的过程是需要进行乾燥的；这样，可以使得燃煤中的水分蒸发掉一部分，磨起来就会容易一些。因此，对制粉系統就要求通入热风或者是热风和烟气的混合物。一般热风的溫度是 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ ，比較高的有 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$ 。烟气和空气混合物的溫度就更高，烟气的溫度大約是 $800\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ，混合以后的溫度也在 $400\sim 600^{\circ}\text{C}$

之間。这样高的溫度，如果控制得不合适，煤粉自燃就会很快地发生。过去制粉系統发生爆炸或着火，往往发生在启动或停止制粉的时候，尤其常发生在停止运行的时候。因为在启动或停止运行时，在操作上是很容易疏忽了給煤量的控制。如果給煤量少了，而乾燥所用的风量还是那么多，結果要吸收的热量少了。因此，磨煤機出入口的溫度相差很少，由于出口溫度較高，就会引起煤粉的自燃。

很多的煤粉自燃現象，是由于制粉系統中的某些部分，在設計或施工中考慮得不週到，使有些部位可能积存煤粉而造成的。最常見的大約有下列的这些地方：

1. 磨煤機出入口的联接部分。旧式的制粉系統，这一段都是水平的，两边留有檢查孔，作为清除积存煤粉用。在这种情况下，堆积煤粉、煤粒是很难避免的；一时照顧不周，就会着火自燃。

2. 在輸粉管路及一次风箱的設計或施工时，由于考慮得不好，使某些部分形成水平状态或者坡度不够，煤粉在这些部分就不易全部流动。另外，在變更直徑部分的管路也有堆积煤粉的可能。施工中，管道焊接不良，內部焊渣很多，有的內壁有凸出部分，或者接有岔管。煤粉流动时，很容易停留和积存在这些地方。

3. 儲粉仓表面不光滑，牆壁接縫处成稜角形，壁面傾斜度很小，不到 60° ，这都会造成积粉現象。

4. 制粉系統里的溫度比外界溫度要高，如果保溫不良，不但增加散热的損失，更重要的是会在管內凝聚水珠，引起煤粉粘結堆积。

制粉系統停止运行后，如果較長時間不將煤粉清除干淨，

也同样会引起自燃。因为煤粉都是比较細的，表面积很大，氧化的机会自然就多一些，經過了一段时间以后，就很容易发火。如果不加注意，事先也不作檢查，那么，当制粉系統投入运行后，很有可能立即发生爆炸。

火焰的外部来源，大致有这样三种情况：

1. 启动、停炉时操作得不好，炉膛内呈現正风压，将火焰压入制粉系統，引起爆炸。

2. 其他機件檢修时，用电焊进行修补或切割，使火星落入运行中的制粉系統中。

3. 在燃煤中混有易燃品（如木片、雷管等），或者是混入了油質，很容易着火。

煤粉的爆炸不一定有了火源就会爆炸，同时还需要有其他的因素：

1. 燃煤的揮发分 当燃煤的可燃質揮发分^①低于10%的时候，实际上爆炸的可能性是非常小的；如果燃用无烟煤，在一般情况下，制粉系統是不会产生爆炸的。当可燃質揮发分大于25%的时候，那爆炸的危險就大了。燃用揮发分大的褐煤的时候，特別容易引起制粉系統的爆炸事故。

为什么揮发分大就容易引起爆炸呢？这主要是因为：揮发分的着火溫度只有300~400°C，而炭的着火溫度是700~800°C；而且当溫度高时，揮发分有一部分是以气体的形式存在的，很容易引燃。油庫边上不准吸烟及划火柴，也就是这个道理。

2. 煤粉的濃度 当气粉混合物中煤粉的濃度达到一定值

$$\text{①可燃質揮发分} = \frac{\text{工作質揮发分}}{100 - (\text{工作質水分} + \text{工作質灰分})}$$

时，爆炸的危險性就很大。如果濃度很稀薄，即使有一些地方着了火，因为顆粒与顆粒之間的距离很远，一下子傳不过去，因此，在它的周圍就不会随着着火；即使着了火，它的威力也不大。如果濃度很大，有一部分着了火，虽然能很快地傳到其他顆粒，但因为气粉混合物中煤粉多、空气少，起不了帮助燃燒的作用，所以即使有了爆炸，它的威力也不会大。

根据研究，当煤粉濃度在0.3~0.6公斤/立方公尺时，爆炸的压力可以达到最大值。爆炸的压力和煤粉濃度的关系，一般的如图1所示。

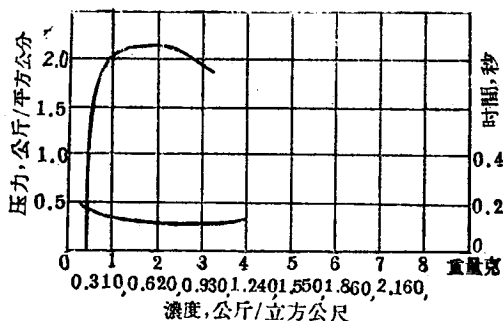


图1 煤粉浓度与爆炸压力关系曲线

在很多情况下，制粉系统中的濃度，差不多都在这个范围内，儲粉仓内如果构造容积太大，也很容易达到这种比例的濃度。

前述的“例4”就是这种情况，該儲粉仓是利用原有煤斗改造的，煤斗高10公尺，而平日运行中的煤粉高度一般都保持在5公尺左右，这样剩下的5公尺高度就變成了煤粉的懸浮空間。从儲粉仓上部下粉多的时候，往往就会造成适合爆炸的濃度。正是由于这一緣故，該儲粉仓时常发生爆炸，其中可逆式給粉機送粉时发生爆炸的次数最多。但在另一个电厂，是儲藏式制粉系統，1954年以前的几年內从来没有清扫

过儲粉仓时，仓内有自燃现象，煤粉仓顶部的鉄板有时摸上去还烫手，但是几年中並沒有发生过儲粉仓的爆炸事故。这是因为这个儲粉仓的高度是5.5公尺，而煤粉高度經常在5公尺左右，这样煤粉发生懸浮和飞揚的空间很少，所以就不能达到适合于爆炸的濃度。

3.必須有充足的氧气 煤粉自燃，需要有氧气使它表面逐渐氧化，氧化的同时放出热量。氧气不够，即使是自燃了，燒一会也就会自行熄灭。氧气充足，火源才能愈着愈旺盛。

根据苏联的試驗，当气粉混合物中含氧量降到17.3%，二氧化碳含量为3.2%时，即使煤粉很乾、很細，而且有强烈的引燃火源，煤粉空气混合物也不会着火爆炸。

因此，如果採用高温的炉烟和空气混合来乾燥燃料，安全性就大些，因为气体在这种情况下，除了进入一部分二氧化碳以外，还夹带着水蒸汽，这样就降低了含氧的濃度。所以，这种乾燥法要比用同样温度的热空气来乾燥同样湿的燃料安全得多。

空气中的含氧量是21%，这和17.3%还差一段距离。我們平时大力提倡堵塞制粉系統的漏风，这和降低含氧量是有关系的。因为漏进了冷风，会使气粉混合物中的含氧量增加；这一点，在用烟气作乾燥的系統中是最为明显的。至于用热风乾燥燃煤，由于燃煤中的一部分湿分被蒸发了，變成水蒸汽，这部分水蒸汽就使气粉混合物中的含氧量相对的降低；但是，漏进来的冷风含有的湿度却是极小的，因此会使总的含氧量有所增加。这也說明了为什么有时磨煤機出口温度高时，打开冷风門降温会突然发生爆炸的原因。

4.煤粉的水分过高或过低 煤粉水分低于煤的固有水分

就很容易引起爆发。因为水分能吸收热變成水蒸汽，如果水分太少了，这种作用也就很小。

煤粉湿分大一些，可以減輕它的爆炸性。但是湿分过大，就会降低磨煤机的出力，影响燃燒和降低經濟性。同时，很容易在較冷的地方結露，使煤粉粘結，发生堆积，堆积的煤粉如果長時間受着热风的燻烤，很容易自燃。所以，不論是过乾或过湿都是不好的。

5.煤粉太細会引起爆炸 煤粉粗一点，它的总表面积就小；煤粉細一些，它的表面积会增加好几倍，这样引燃着火的速度就会快得多，因此，就会在短時間內发生很强烈的爆炸。如果煤粉粗一点，爆炸就可以小一些。所以，在可能条件下不要使煤粉的顆粒过細；这不但可以节省厂用电，而且可以避免或減輕爆炸事故。

第三章 怎样防止制粉系統的爆炸

第一节 运行方面的措施

一、正常运行的措施

根据上一章的分析，我們可以看出，要防止爆炸，从运行的角度上来说，就需要掌握三个因素，即气粉混合物的溫度，煤粉細度和煤粉湿度。至于燃煤的揮发分，要通过化学分析来掌握它的特性，不是我們主觀願望能叫它變大變小的。煤粉的濃度，除了儲粉仓以外，系統中差不多都在0.3~0.6公斤/立方公尺的範圍內，要使它增大或减小都是很困难的。

制粉系統必須要有完備的表計，这就是：磨煤機入口溫度表、磨煤機出口溫度表以及各部风压表，要用它們来进行

調整和判斷上述三個因素。

磨煤機出口氣粉混合物溫度的高低，是決定制粉系統正常运行時是否會自燃的主要因素，對於不同種類的燃料和制粉系統，有不同的要求。對於鋼球大罐式制粉系統，有下面一些規定：

(1) 不論何種燃料，如果進入磨煤機前的濕分小於25%時：

1. 儲藏式的制粉設備，可以允許磨煤機出口氣粉混合物的溫度達到70°C；

2. 單位式制粉設備，可以允許磨煤機出口氣粉混合物的溫度達到80°C；

3. 如在磨煤機前裝有蒸汽乾燥設備的制粉系統，磨煤機出口氣粉混合物的溫度，可以允許達到70°C。

(2) 不論何種燃料，如進入磨煤機前的濕分大於25%時，磨煤機出口氣粉混合物溫度可允許稍高一些（約比前邊數值大10°C）。

(3) 含揮發分少的煤，可以允許磨煤機出口氣粉混合物的溫度達到100°C。

(4) 如果是無煙煤，磨煤機出口氣粉混合物的溫度不受限制。

對於帶豎井式磨煤機的制粉系統，允許磨煤機出口氣粉混合物的溫度，有下列規定：

(1) 磨制煙煤時，可以達到130°C；

(2) 磨制褐煤時，可以達到100°C；

(3) 磨制泥煤時，可以達到80°C。

豎井式磨煤機的制粉系統的允許溫度可以比較高一些，

是由于它的系統简单，堆积煤粉的可能性少，它要求的煤粉細度也比较粗，所以可以相应地提高溫度。

儲粉仓也应该有溫度表，以便經常監視，一般不得超过 60°C 。

煤粉的細度，单位式制粉系統是随負荷變动的；儲藏式的制粉系統需要做試驗来确定，一般也可按下列公式求出：

$$R_{70} = 5 + 0.6 \left(\frac{100 - A_{np}}{100} \right) V_r \%,$$

$$A_{np} = \frac{A_p}{Q_H^p} \times 1000.$$

式中 R_{70} —— 残留在70号篩子上的煤粉量，%；

V_r —— 燃料可燃質揮发分，%；

A_p —— 燃料工作質灰分，%；

Q_H^p —— 燃料工作質低位发热量，大卡/公斤。

豎井式的煤粉細度，一般要求为：

$$R_{70} \approx V_r, \%$$

細度标准定出以后，在运行中需要經常保持这个数值，不应有很大的出入。

煤粉的湿度，它的总水分应接近于燃煤的固有水分，但不应低于固有水分。

为了监督煤粉的細度和湿度，需要进行取样和化驗工作，最好能在4小时内进行一次，化驗完毕后得出的数字，要记录在运行日誌上。

下面再介紹一下各种不同的系統应该怎样来操作。

(1) 单位式制粉系統的操作

单位式制粉系統分两类。

当电厂用多水分燃料时（如泥煤等），使用图2乙所示的系统较多；燃料水分不大时，大多采用图2甲所示的系统。

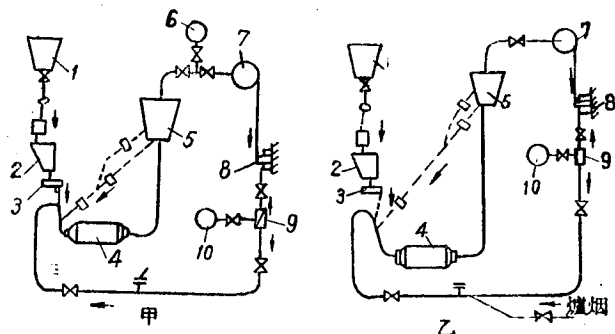


图 2 单位式煤粉系统

甲—用热风干燥的 乙—用热风、炉烟混合干燥的。

1、2—煤斗；3—给煤机；4—磨煤机；5—粗粉分离器；

6—各炉间煤粉空气混合物总管；7—排粉机；8—预燃机；

9—热风箱；10—各炉间热风总管。

从两个系统的布置上来看，好像区别不大，但从运行上来看却是不一样的。

甲、采用热风干燥系统的操作

如图2甲所示，燃料经过煤斗1，到转向闸板，再经过自动煤秤，进到原煤斗2中，从原煤斗落下的燃料，进入给煤机3，然后落入磨煤机4和来自空气预热器的热风混合（一般在 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 之间）；燃料在磨煤机内干燥磨碎后，煤粉和热风混合物同时被吸至粗粉分离器5，在粗粉分离器内进行分离，粗颗粒煤粉由回煤管返回到磨煤机内重新磨制，合格的煤粉，则通过排粉机7送到炉膛去燃烧。

图2所示的系统，在我国很多电厂中都有，这种制粉系统

发生过的爆炸事故，从运行上分析大致有以下几种：

1. 鍋炉点火过程中由于煤粉質量、溫度不合格，或炉膛溫度不足，引起炉內煤粉爆炸，有的就波及到制粉系統。

2. 单位式制粉系統的运行，直接受鍋炉运行情况的影响，当鍋炉負荷變化时，給煤控制得不好，使磨煤機出口溫度升高，引起煤粉在磨煤機入口管路或出口管路上的爆炸。

3. 如果制粉系統的給煤機是刮板式的，运行中往往会由于保險銷子断裂或給煤管堵塞等原因而中断了給煤，引起爆炸。

制粉系統在运行中，当鍋炉負荷突然降低时，排粉機的开度也随着减小；如果没有适当地减少給煤，那么，磨煤機出口堵塞了很多的煤粉，一时抽不出去，这样就非得减少給煤量，来恢复正常的运行状态。磨煤機磨出的煤粉，並不是完全合格的，它还要在粗粉分离器裡分离出一些較粗的顆粒，再返回到磨煤機里去，如果煤給得少了或者中断了給煤，在这一个循环的系統里边都是乾而細的煤粉，高温的热风直接和它們接触，就为爆炸創造了良好的条件。

为了防止上述現象，我們要先了解这种系統在运行上的特点：

1. 煤粉細度的大小随鍋炉負荷的高低而改變，当鍋炉負荷低时煤粉較細；負荷高时，煤粉較粗。

2. 排粉機的开度，随負荷的改變而改變，因此，通过磨煤機的空氣量也有改變。

3. 給煤機的給煤量也随着負荷大小而變動。

要使制粉系統經常处在很正常的状态，在操作时，須根据上述特点掌握两个原則：

1. 鍋爐运行时要把負荷保持得穩定些，当負荷變化的时候，要預先調整給煤機的給煤量和磨煤機进口的風門，然后再逐漸地調整排粉機的開度。

2. 随着鍋爐負荷的大小，保持一定的磨煤機出入口風壓差和磨煤機出口氣粉混合物的溫度。

为了滿足这两个要求，最适当的措施是通过調整試驗（或者是根据运行統計数据），找出磨煤機出口氣粉混合物的溫度，在各种不同負荷下的磨煤機入口風壓，出口風壓，排粉機入口風壓，給煤機開度（包括閘板高度），磨煤機入口風門開度等，列入“制粉系統运行操作指示表”（如表2），作为运行操作的根据。

在制訂操作指示表的时候，要考虑煤种的問題。如电厂中燃用的煤种是固定的，或者變化不大，这时指示的数值是很准确的。但如果改變了煤种，那就应修訂指示的数值。

表 2

項 目	单 位	鍋爐負荷 吨/小时				备 註
		70%	80%	90%	100%	
1. 磨煤機入口風壓	公厘水柱					
2. 磨煤機出口風壓	公厘水柱					
3. 磨煤機風壓差	公厘水柱					
4. 排粉機入口風門開度	%					
5. 排粉機電流	安培					
6. 磨煤機入口熱風門開度	%					
7. 磨煤機入口混合風溫	°C					
8. 給煤機的閘板開度	%					
9. 給煤機電流	安培					
10. 磨煤機出口氣粉溫度	°C					
11. 煤粉水分	%					