

電業工人
學習文選

7



霍 光 云編著

發電廠磁性探傷 的應用及實例

電力工業出版社

中国电力出版社

1

第一版 1998年

发电厂磁性探伤 的应用及实例

中国工业出版社

內 容 提 要

本書首先指出了發電廠中銅鈹金屬設備在運行中產生裂紋的原因，並介紹了利用磁性探傷的一般理論常識，對電廠中如何應用此法進行各種金屬設備的探傷工作，做了詳細的敘述，也舉出了磁性探傷的應用實例。本書可供發電廠鍋爐、汽機檢修工人參考用。

發電廠磁性探傷的應用及實例

霍 光 云編著

*

686R180

由力丁墨出版社出版北京復興門外月坛南路(敬告餘)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 1印張 * 20千字

1957年11月北京第1版

1957年11月北京第1次印刷(0001—1,600冊)

統一書號:T15036·63 定價(第9類)0.13元

目 录

緒言

第一章 鋼鉄金屬产生裂紋的原因	4
第一节 鍋爐設備管孔和鑄接口处的裂紋	4
第二节 汽輪机叶片及軸的裂紋	6
第二章 磁性檢查鋼鉄裂紋的一般理論常識	8
第三章 磁性檢查鋼鉄裂紋的方法	13
第一节 磁性鉄屑及漿糊狀磁性鉄屑的制造	13
第二节 磁化的裝置和檢查的方法	15
第三节 檢查时的安全注意事項	21
第四章 磁性檢查鋼鉄裂紋的应用实例	22
第一节 檢查鍋爐汽鼓	22
第二节 檢查过热器联箱	25
第三节 檢查汽輪机叶片和軸頸	28

緒 言

在發電廠里的鍋爐、汽輪機、水泵、風機等設備上，經常由于運行中或是製造的不合理，而使金屬本身的組織受到損傷，從而降低了金屬在運行中所應有的強度。現在只將損傷中的一種——裂紋，提出來做一些研究。

上列設備產生裂紋的現象和檢查所用的方法大多不一樣，這是因為裂紋產生的原因不同。還有的裂紋雖然其產生的原因不同，但有些現象却偶然是一樣的。有的裂紋發生在金屬表面，使用倍數稍大的放大鏡就可以很清楚的觀察出來；而有的裂紋不在金屬表面上，如果沒有完備的檢查工具和良好的方法是很难檢查出來的。

發電廠的鍋爐、汽輪機等設備在運行中產生裂紋時，它將嚴重地威脅着生產的安全。例如：一個鍋爐下汽鼓的鋼板產生了苛性脆化，如果沒有及時地發覺的話，一旦脆化的程度到了足以使鍋爐汽鼓爆裂的時候，就會使人身、設備遭受到嚴重的危害。

安全是發電廠生產的先決條件，所以做好預防性的檢查便提到了檢修工作中的首要地位。但是，檢查鋼鐵金屬裂紋的方法很多，例如：有用塗抹粉筆、煤油或鹽酸、酒精的溶液表面蝕刻的方法，有利用磁性檢查的方法和X光、 γ 射線透視的方法，以及利用超聲波的方法等。其中表面塗抹、蝕刻的方法在檢查中对微小的裂紋或存在表面下邊的裂紋，便

不能很好地發現。利用效果好、精密度較高的X光、 γ 射綫或超聲波等方法檢查時，因為設備很複雜、價格較貴，所以就不適用於一般工廠。而利用新的磁性檢查鋼鉄裂紋的方法，因其設備簡單，而且容易做，在一般工廠應用起來比較方便。這種方法對於檢查管壁、管孔、筒壁或軸頸的表面裂紋及接近表面處的裂紋，都是較有效的。但是對深達表面下數公厘的裂紋，往往不能很好地檢查出來。

為了更好地說明利用磁性檢查鋼鉄裂紋的方法，我們有必要先從裂紋在不同的設備上產生的原因談起，以便進一步地研究對不同裂紋的檢查方法。

第一章 鋼鐵金屬產生裂紋的原因

第一节 鍋爐設備管孔和銲接口處的裂紋

我國一般的鍋爐設備絕大多數是銲接的，苛性脆化就特別容易產生在這種鍋爐的銲縫和脹口上，尤其是水管鍋爐的下汽鼓上。

苛性脆化實際上是鋼鐵金屬晶粒間的腐蝕。裂紋首先產生在金屬的接觸面上，隨後裂紋便向外發展，發展到最後階段時，銲釘孔間的裂紋便連接起來。由於銲縫強度減弱，在鍋爐內部壓力的作用下，汽鼓壁不能承受這樣的應力，便從銲縫裂開而發生爆炸。

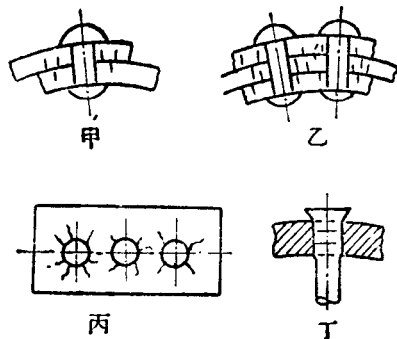


圖 1 鍋爐管孔及銲接口處裂紋圖

甲—搭接銲縫裂紋；乙—对接銲縫裂紋；
丙—管孔處裂紋；丁—環形裂紋。

鍋爐銲釘孔處的裂紋是從銲釘軋向四周呈放射狀的，裂紋的一頭都在孔邊附近；而有的裂紋還可以從孔內看出是裂

通整个鋼板厚度的。鍋爐管子脹口处的苛性脆化裂紋，都發生在和鋼板接触的管子面上，每个裂紋都佔了管子周圍的一定弧度，最后，裂紋連接起来在管子外皮上發展成为环狀，这样的裂紋叫做环形裂紋。

鍋爐由于苛性脆化所产生的裂紋，与管子、鋼板等金屬之間的接触面有很大关系。因为汽鼓鋼板对接的鉚縫比搭接鉚縫的接触面大一倍，裂紋同时在两个接触面上發展，發展的速度就比在一面产生的裂紋相对的提高了一倍。因此，在鍋爐鉚縫盖板处还没有發生过裂开事故。从一般事故發生的統計来看，鍋爐爆裂都是由于鍋爐下汽鼓鋼板裂开而引起的。

苛性脆化的裂紋發展的初期是从内部接触面向外發展的，所以不易被發現。等到能从外面看見裂紋的时候，就到了相当危險的程度了。由試驗的結果得知，裂紋發展的速度也不与時間成正比，而是加速度进行的。例如：第一个月的裂紋發展到了3公厘深，而在3个月后可發展到20公厘深，或是更快一些。

鍋爐汽鼓在有苛性脆化裂紋的地方，鋼板沒有任何变形，大小尺寸和原来一样；并不像汽鼓或受热面管子在内部积附水垢时，因板壁、管壁傳热不良，就可能产生板壁、管壁起泡、減薄等情况。

因为苛性脆化从看不見的内部接触面开始，所以在檢查时，根据它的特征也可以縮小檢查裂紋的范围：

(1)如苛性脆化的裂紋只有在水接触的部分才能产生，因此下汽鼓或泥鼓最易發生苛性脆化裂紋。一般爆炸都發生在下汽鼓，上汽鼓很少爆炸；

(2)苛性脆化的裂紋只有在鉚縫和脹口上才会發生，如果鉚縫的縱縫是对接的，橫縫是搭接的，縱縫發生苛性脆化的可能性又比橫縫大一倍，因此檢查時先从縱縫开始，然后再檢查橫縫；

(3)只有在鉚縫或脹口的漏水处才产生苛性脆化，漏水处的象征是有白色的鹽类积垢。

鍋爐設備發生苛性脆化的情况必須在下述两个条件同时存在并同时作用时才能出現。这两个条件是：

(1)高度的附加机械应力；

(2)爐水的高度氫氧化鈉(NaOH)濃度。

其中任何一个条件单独作用的时候，都不可能产生苛性脆化現象發生。

第二节 汽輪机叶片及軸的裂紋

在汽輪机設備上發生裂紋的部件，絕大部分是在叶片和軸上發生的。現把这两部分略述如下：

一、汽輪机叶片的裂紋

汽輪机叶片上有裂紋，是很严重的隱形故障。叶片發生裂紋损伤的后果，也是很严重的，它將使叶片断裂。

叶片产生裂紋的原因，可能是因为制造时的不合理；也可能是在运行时逐漸损伤而来的。运行时逐漸使叶片产生裂紋的原因，不外是銹蝕、腐蝕或叶片振动疲劳所致。叶片的銹蝕或腐蝕都是化学作用；腐蝕是一般的，而銹蝕則是腐蝕中的一种——氧化。

鋼質叶片上，由于腐蝕和本身所受的張力会产生一种裂紋，这种裂紋是將金屬的結晶顆粒扯破，漸漸延續成为髮紋

(細如毛髮的裂紋)。由於髮紋的發生，增加了葉片所受的應力，一般估計這應力可達設計應力的30倍，因此，使裂紋的擴展更為加速。

蒸汽的質量不好時，葉片表面上容易積垢，而積垢就是葉片發生腐蝕的根源。

一般鍊鋼製造的葉片因受張力腐蝕，裂紋通常都是自進口橫着延向排汽口，並且分布在整個葉片不同的高度上。張力腐蝕的裂紋又多半是在葉片凹面上，但有時凸面上也有裂紋發生。

汽輪機葉片在製造時經過冷加工後，又經過一些處理，以至有應力集中的現象存在，再加上在運行中遭受蒸汽帶來的氫氧化鈉的腐蝕作用，在運行一段時間以後，葉片受到這種張力腐蝕的後果，要使多數葉片裂斷，裂斷的葉片又要打壞了後面的各級葉片，使汽輪機被迫停止運行。

根據發生過張力腐蝕裂紋的現象分析，這種裂紋總是發生在開始進入潮濕段的葉輪級上。這是因為腐蝕劑（葉片上結垢里的氫氧化鈉是最主要的腐蝕劑）必須伴合着適度的水分才發生化學作用。當某一級的葉片上積結了腐蝕劑之後，由於汽輪機各級間的負荷分配改變了，引起潮濕段的移動。因此常使張力腐蝕又繼續在相鄰的一級葉片上發生。

葉片在運行中因為受了過高的拉應力，或者因為應力反復增減，使金屬產生疲勞作用時，也可使葉片裂斷。例如：葉片最初因受張力腐蝕發生裂紋，使殘余的有效截面積減小，單位面積應力增大，葉片改變了自然振蕩頻率，金屬失去原有的強度，最後終被拉斷。

另外，在葉片的復環與拉金上產生的裂紋，多半是在

复环的横方向鉚头处；拉金一般是在銀焊口处。

二、汽輪机軸的裂紋

鋼料在鋼厂軋輥鍛制时，由于制造不慎發生的裂紋，虽然細如毛髮，但对于高速旋轉的机軸來說是很危險的。發生了裂紋的軸，虽然不致因为材料所受的应力而扭断，但是它抵抗疲劳的性能大为減弱，常因此發生疲劳，漸漸裂断。

一般的机軸有無裂紋，只是靠着制造加工时留意，有部分的表面細紋或隱藏在鋼料内部的髮紋都不大容易發現。

虽然發生汽輪机軸損伤的机会比叶片的損伤为少，但这些机件如果損伤，它的危害程度要比叶片損伤的結果严重的多，往往由于这些机件的損伤，破壞了整个設備。

焊补过的軸常會發生疲劳裂断。因为在焊縫附近，材料因受高热冷却后而發生硬化。此外，焊縫里是很难免沒有砂眼或裂紋的。这些地方就是造成金屬疲劳的开始点。

除去上述的两个部件以外，汽輪机叶輪也有可能發生裂紋的故障，其破裂也多半是由于金屬疲劳所致。疲劳現象的产生，是振动所引起的。例如，叶輪上的均压孔如果没有修成足够的圓角，或者表面不够平滑，甚至有車伤的条紋时，这些缺陷都是使应力集中，很容易發生疲劳裂紋的。另外，由于叶片振动也可能使叶輪周圍的材料受到疲劳，而产生裂紋。

第二章 磁性檢查鋼鉄裂紋的

一般理論常識

我們从日常生活中知道：所有帶磁性的物体都有吸引鉄

制或是鋼制物体的性質。在一个磁性物体兩端的地方，它們吸引鐵制或鋼制物体的能力特別强，這兩端就叫磁極。如果把一个原来沒有磁性的鐵制或鋼制的物体放到磁極附近，它就也具有吸引鐵屑的性質，就是說它也有了磁性。这样，原来沒有磁性的物体得到了磁性的过程叫做磁化过程。当把鐵由磁極附近移开以后，它的磁性很容易消失，但是把鋼由磁極附近移开以后，它却保留一部分磁性，这是鋼与鐵一个不同的地方。

当把一个磁針移近通有电流的导綫时，这时磁針的方向即要偏轉，說明了在有电流通过的导綫周围产生了磁場。若將一根通有电流的导綫穿过一塊厚紙板，在板上撒上一層鐵屑，由于鐵屑在磁場中被磁化为小磁体，因此輕輕敲动紙板，使鐵屑可以自由轉动时，由鐵屑的分佈情况我們便可看出鐵屑圍着导綫成了很多的同心圓环。我們可以將紙板順着导綫上下移动，而鐵屑的分佈情况沒有变动。所以，在导綫周圍所产生的磁場是沿导綫全長每段都有的，并且它的强度是一致的。

当导綫有电流通过时，在它周圍的磁力綫具有下列的特性：

(1) 磁力綫的分佈是同心的許多圓环；

(2) 距离导綫愈近，磁力綫分佈的愈密；

(3) 磁力綫的方向

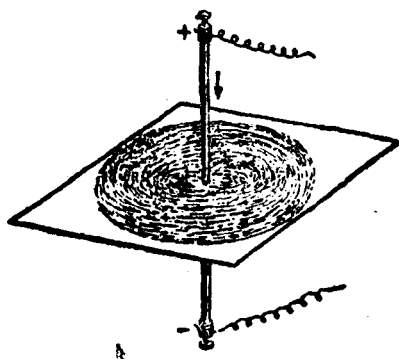


圖 2 直綫电流的磁力綫

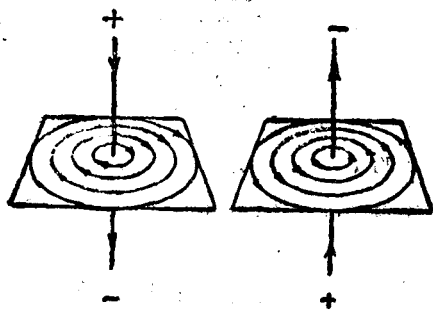


圖 3 直綫電流的磁力綫的方向



圖 4 用右手表明電流及磁力綫的方向

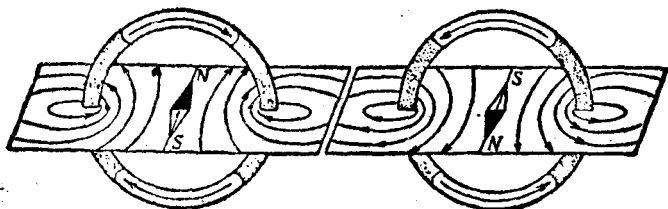


圖 5 環形電流的磁力綫的方向

決定于導綫中電流的方向。

由圖 3 中可以看出：導綫周圍的磁力綫是在跟導綫垂直的平面上，以導綫為圓心的同心圓。用磁針測定磁力綫的方向所得到的結果如圖 5 所示。

為了便于記憶磁力綫的方向和電流方向之間的關係，我們可以用右手握住導綫，如果姆指指向導綫，其餘和姆指垂直的四指就指向磁力綫的方向。

把通電的導綫卷成螺旋管，磁力綫的分佈情況即如圖

6 所示。

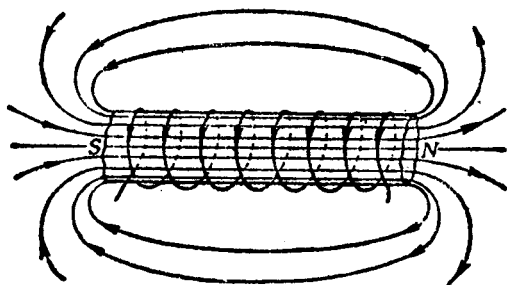


圖 6 通电螺旋管的磁力綫的方向

磁性檢查鋼鉄金屬裂紋的原理就是按照上述理論進行的。譬如檢查一個管孔時，就可將導綫垂直穿入管孔中，導綫上有一定量的電流通過，在導綫周圍撒上鐵屑，鐵屑在磁場內受到了磁化，每個鐵屑就好比是一個個的小磁鐵，以南極北極的順序排列，在管孔周圍有裂紋的地方，裂紋的一邊代表着南極，另一邊代表着北極，因而鐵屑將集中在裂紋空腔的附近。在這條裂紋的外面，好像用鐵屑划成了一條縫。又因為沿着導綫的磁場強度都是一樣，所以導綫可以連續的穿幾個孔進行檢查，其結果並沒有出入。

如果裂紋與磁力綫平行的話，磁力綫並不通過裂紋，因為磁力綫總是願意在鋼鉄的部分通過，不願意走空間，所以鐵屑就不會吸住在裂紋上了。因此，我們檢查一件鋼鉄物件，只檢查一次是

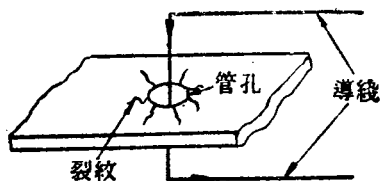


圖 7 導綫穿過管孔檢查管孔裂紋

不够的，檢查一次并不能發現所有的裂紋。譬如裂紋与磁力綫平行时就不能被發現。如果想檢查各个方向的裂紋，就要进行两种磁力綫互相垂直的方向来檢查。

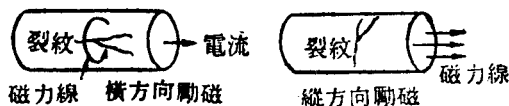


圖 8 兩種磁力綫互相垂直的勵磁

檢查鋼鉄金屬裂紋的时候，如果使用沒有磁性的鉄屑，虽然在被檢查的物体有稜角的地方沒有裂紋，也可能有鉄屑聚集，并且也只能檢查金屬的表面裂紋，对于金屬内部的裂紋就不容易显现出来了。所以利用磁性檢查鋼鉄裂紋的方法时，最好使用有磁性的鉄屑。

利用磁性檢查鋼鉄裂紋的方法并没有用 X 射綫檢驗，或是超声波探伤等方法对檢查金屬裂紋的效果更加精确。但是，这个方法对于一般电厂來說，却比利用上述几种方法来得方便、簡單、容易进行。

目前由于技术科学飞躍的进展，尤其是苏联和平利用原子能的貢獻，給探伤工作更帶來了很大的便利和極精密的效果。最近已广泛应用的 γ 綫放射性的探伤器，对檢查金屬的裂紋，操作起来和所得到的效果都是極其令人滿意的，也是磁性探伤的方法所不及的，它能探测表面下深达数公厘以上的裂紋或夾杂在金屬中間的填充物体。

第三章 磁性檢查鋼鐵裂紋的方法

第一节 磁性鉄屑及漿糊狀磁性鉄屑的制造

一、制造磁性鉄屑

磁性檢查鋼鐵裂紋所用的鉄屑制造起来很簡單，制造时所用的原料、工具不需要什么特殊的材料，一般的工厂都能自己制造。下面就是制造磁性鉄屑的方法：

(1)原料 磁性鉄屑的原料取用市場上所售的紅粉(三氧化二鉄 Fe_2O_3)，也叫鉄丹，这是一种無磁性的鉄粉。如果在市場上購買不到，也可以从廢鉄堆上收集起来長年积聚的鉄銹，把它磨成細粉后，用100目的篩子篩过即可使用。

(2)工具 制造磁性鉄屑所用的工具很簡單，只須用一个直徑50—100公厘左右的鋼管，把它做成好像一个鉄坩堝样子(如圖9)，在法蘭盤中間加上鉄墊，防备冷却时冷空气跑进。在鉄盖上留 $\frac{5}{8}$ "— $\frac{3}{4}$ "的螺絲孔。

这个工具也可以用一個25—50公厘直徑的鋼管，兩端用潮濕的黃泥堵塞，在黃泥上面打几个小孔。这两个方法通过实验証明都是很成功的。

(3)制造的方法 制造磁性鉄屑的过程是：用干燥的紅粉和煤油，重量按5比1的比例，均匀地混合起来(如將500克的紅粉做为磁性鉄屑的原料，就用100克的煤油与它掺合起来)，倒入鋼管内，上好鉄盖，盖上的螺絲孔先不要旋上螺絲(或是堵好兩端的黃泥，在黃泥上再打几个洞)。把鋼管放在地爐上加熱，2—3分鐘以后，煤油的蒸汽就从螺絲孔或泥孔中噴射出来，先是冒烟，然后冒出火来在管子外面燃

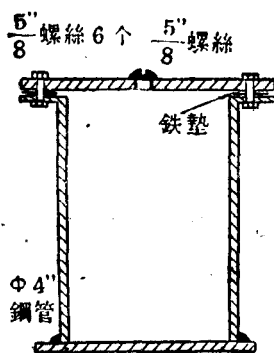


圖 9 制磁性鐵屑用的鋼管工具

燒，這樣將繼續地燃燒約20—30分鐘，燃燒完畢後，先不要把管從爐內取出，還要叫鐵屑在爐中加熱20分鐘左右。在整個加熱的過程中，每隔2—3分鐘要將管轉動90—180度，使鐵屑在管內滾動，好使它受熱均勻，完全燃燒。在加熱的後期，鋼管的外皮呈現暗櫻桃紅色到亮紅色，這時

的溫度約是650—800°C。加熱完畢以後，將鋼管的管孔馬上用螺絲或用新黃泥堵死，防備空氣鑽進去，從地爐內取出來，讓它自己冷卻。冷卻後，將管孔打開，從管中倒出黑色的鐵粉。管中的鐵粉有一部分很容易被倒出管外，有一部分附着在管壁，輕輕敲或用棒攪後也很容易被傾倒出來。將這樣的鐵粉用0.10—0.12公厘篩子篩一遍，就得到了磁性鐵屑（四氧化三鐵 Fe_3O_4 ）。

製造磁性鐵屑的道理是因為三氧化二鐵和煤油在650—800°C的溫度下燃燒，使三氧化二鐵還原為四氧化三鐵。由於煤油在燃燒時必須要吸收氧氣，在空氣不足的條件下，煤油便奪取了三氧化二鐵中的氧而燃燒，這樣便使三氧化二鐵失掉氧，還原成為四氧化三鐵，就是我們所需要的磁性鐵屑。

（4）製造時應注意的幾個問題 在製造磁性鐵屑的過程中還需要注意下面幾個問題：

1. 原料磨的愈細，磁性鐵屑的性能便愈好。在大規模製造時所用的紅粉，需要干燥的並且是經過篩選了的才好；