

换装汽轮机叶片的方法

阜新发电厂編

目 录

一、概說.....	2
二、装叶片的一般要求.....	3
三、换装叶片的准备工作.....	7
四、需要更换的工作叶片的拆卸.....	10
五、装叶片的过程.....	24
六、叶片在叶根槽內的装配方法.....	25
七、組合叶片时在軸向位置的整平或修整.....	34
八、拉筋的穿入.....	36
九、复环的划綫安装及固定.....	43
十、鉚头的捻鉚.....	51
十一、鎖金的制造、安装及其結構.....	54
十二、拉筋与叶片相銀焊的方法.....	64
十三、焊剂的配制.....	68

一、概 說

汽輪機轉子換裝葉片，是一種最複雜和需要高度熟練技術的工作，也是發電廠檢修人員不可避免地要遇到的工作。因此，對於換裝葉片的各種要求、工作順序以及在換裝葉片時不可違反的事項，不僅每一個領導者和技術員，就是所有參與換裝葉片的鉗工，都是應該很好知道的。

工作葉片與導向葉片是汽輪機最重要的零件之一，當這些葉片有損壞的情況時，通常會引起嚴重的事故，並且往往使汽輪機長期停用。

在電廠的實際工作中，經常發現有葉片過早損壞的情況，這是由於在換裝葉片的工作質量上不合格所引起來的。

在換裝葉片的工作中，最常見到的缺陷有幾種：

1. 在工作葉片裝到葉根槽內去的時候，如果所有的葉片與隔金的整個高度貼合不嚴密，在隔金的高為50公厘和大于50公厘時，則使葉片組上固有的頻率散亂，並超過允許限度，使其共振轉速提早。

2. 將工作葉片套裝到葉輪的梳齒上去的時候，如葉片與葉輪的梳齒套合的嚴密性不平均，也會得出上述的同樣結果。

3. 特別是斷面寬的葉片，其下部貼合處加厚，在不帶隔金時，如將其過緊地裝到葉輪的葉根槽內去，則由於在裝葉片時用錘來敲打，故當葉片進到葉根槽中去時，也會在支承面即葉片邊緣的角處產生裂縫現象。

4. 鎖金的封閉不合格，以及鎖金的結構不正確，例如阿依

格(AET)制造厂出品的鎖金是紅銅的，是在運轉時葉片松馳的主要原因。

5. 复环上装葉片鉚頭用的孔眼划綫不正确，是葉片上增加應力的原因。

6. 在焊接時，用大號火咀來加熱葉片和不正確的焊接葉片的拉筋，使得葉片的蒸汽出口邊會燒壞，特別是反动式汽輪機，在具有很大有效長度與薄斷面的葉片上，當拉筋直徑為10公厘時，也可將葉片材料燒壞，是造成孔眼周圍裂紋的原因。

從上面所敘述的情況來看，已很明顯，如果違反裝葉片工作的各種要求，就會減少工作葉片的使用期限，並給電廠帶來很嚴重的材料上的損失。因為各種汽輪機的容量差別很大，所以各種葉片的斷面寬度及其高度，都具有很大的差別。

很明顯，誰也不會用容量1,000瓩汽輪機轉子上第一級高40公厘的葉片，去換裝容量為50,000瓩汽輪機轉子上最後一級高900公厘以上的葉片。同時，各個制造廠汽輪機葉輪與輪鼓上葉片本身的固定法，在結構上是很不相同的。

因此，在葉片高度不同和葉片固定結構形式不同時，換裝葉片的方法也不一致。我們不僅要研究一般裝葉片的方法，還要研究適用於各種類型葉片的裝配方法。

二、裝葉片的一般要求

由於葉片的工作延續性在很大程度上決定於葉片的組合，因此，任何一級葉片的套裝工作，都要很仔細地進行。特別要留心最後幾級負荷重的葉片的套裝，以及卡梯斯輪上葉片的套裝。在這些地方如果套裝的質量不好，就會由於金屬的疲勞而引起葉片提早損壞。

为了使叶片能可靠地工作，汽轮机制造厂研究制定許多原則性的要求。这些要求在組合新叶片时必须經常遵守。

1. 在工作叶片及导向叶片磨光的表面上，不允許有毛刺、銹、划印及其他机械損坏。

2. 隔金与叶片的貼合表面应相互仔細地研合好，叶片与隔金之間应沿整个周边貼合。

3. 带有隔金的个别叶片，在蒸汽出口边的貼合程度，一定要达到 $\frac{1}{2}$ 周边及 $\frac{1}{2}$ 周边，也可能有間隙，但是这个間隙不得大于0.05公厘。在叶片貼合处加厚而无隔金时，則蒸汽出口边側也允許在两相邻叶片間有 $\frac{1}{2}$ 貼合周边的間隙，但不得超过0.1公厘。

4. 叶片的支承表面，只应按貼合处的实际情况来进行研合。

5. 已按实际情况被研合好的叶片，在穿到叶根槽中去或者被裝置到叶輪梳齿上去以后，应当很紧，沒有松动不穩的情况。

6. 安装在徑向的叶片，在装叶片时，其支承表面用銼刀或刮刀来研合。

7. 有效长度超过200公厘的叶片应装成这样：使得叶片在徑向安装的位置与規定的位置的偏斜誤差，不超过要求数值。

有效长度在200公厘以下的叶片，偏傾誤差为 ± 0.5 公厘。

有效长度在300公厘以下的叶片，偏傾誤差为 ± 1.0 公厘。

有效长度在400公厘以下的叶片，偏傾誤差为 ± 1.5 公厘。

有效长度在500公厘以下的叶片，偏傾誤差为 ± 2.0 公厘。

在徑向位置的个别叶片，誤差允許超过所列举的数值，但是只能偏向轉子的旋轉側。在叶片有效长度的每100公厘上，

其差值只能在 0.5 公厘範圍內。

8. 在軸向位置，即在蒸汽流通方向的叶片应装成这样：在完全装好的級上，叶片的偏傾誤差不得大于下面所指出的数值：

有效长度在 100 公厘以下的叶片，偏傾誤差为 ± 0.2 公厘。

有效长度在 200 公厘以下的叶片，偏傾誤差为 ± 0.5 公厘。

有效长度在 300 公厘以下的叶片，偏傾誤差为 ± 1.0 公厘。

有效长度在 500 公厘以下的叶片，偏傾誤差为 ± 1.5 公厘。

如果在完全装好的級上的拉筋已焊好，在檢查时发现叶片向蒸汽出口边偏傾，其偏傾度在叶片有效长度的每 100 公厘以上不超过 0.5 公厘时，則这种叶片的邊緣可以稍稍銼去一点，并将棱角改成园角即可。

在偏傾誤差数值太大时，应将叶片与拉筋焊开，并重新找正焊好。

9. 根据复环测量出的，或者根据叶片頂部所测出的各叶片間距的誤差，在叶片有效长度每 100 公厘上的允許数值为 ± 0.5 公厘。

有效长度在 100 公厘以下的叶片，其間距誤差为 ± 0.5 公厘。

有效长度在 200 公厘以下的叶片，其間距誤差为 ± 1.0 公厘。

有效长度在 300 公厘以下的叶片，其間距誤差为 ± 1.5 公厘。

有效长度在 400 公厘以下的叶片，其間距誤差为 ± 2.0 公厘。

有效长度在 500 公厘以下的叶片，其間距誤差为 ± 2.5 公厘。

有效长度在 500 公厘以上的叶片，其間距誤差为 ± 3.0 公厘。

厘。

10. 在鎖金处, 叶片的正常間距大于15公厘时, 則不应超过正常間距的1.2倍。在叶片正常間距小于15公厘时, 則不应超过正常間距的1.5倍。

11. 如果鎖金間距与上面所指的設計图紙有誤差, 需要将其加以糾正, 使得到所需要的鎖金尺寸。正常間距在20公厘以下时, 可允許不大于正常間距的5%, 在正常間距超过20公厘时, 則可允許不大于正間距的4%。

如上面所講的, 为了得到必需的鎖金間距, 也可在叶片与隔金的研合处安装垫片。叶輪上有两个鎖金或更多的鎖金时, 調整叶片只能在封鎖級的一个鎖金处进行。

12. 装置靠鎖金的叶片应成这样: 应使其自叶根槽內高出鎖金切口1~2公厘。

13. 鎖閉叶片組內的叶片数, 不应与設計图紙数有出入, 即使有出入, 也不得多过一个叶片。

14. 在用叶片及隔金装置各級时, 如支承表面的形状为齿状, 則根据叶根槽的齿与叶片及隔金的支承表面貼合光泽来进行檢查。

叶根槽的个别齿与叶片或隔金齿之間, 可允許在工作面有間隙, 但不得大于0.05公厘。具有这样間隙的叶片或隔金的齿数, 不应超过每一面齿数的25%。

叶根槽的个别齿与叶片或隔金齿之間, 自非工作面的間隙不应超过0.15公厘, 而具有这样間隙的齿数, 不允許超过总齿数的一半。

15. 在装置叶輪上的叶片时, 如叶片系套装到叶輪的梳齿上, 則根据图紙捻叶輪时, 不允許在叶片的支承面与叶輪的梳齿之間留有間隙。

在捻叶輪时，鎖金下面不捻。

16. 拉筋应能活动地通过叶片上的眼孔，不使眼孔折卷。

17. 复环应能活动地戴到叶片的鉚头上，不使叶片折弯，不允許鉚头上有磨痕、复环上有撞凹下去和弄弯了的情况。

18. 在捻鉚鉚头时，开鉚了的及破裂了的叶片，不允許用焊接的方法来糾正，同时在发现复环上眼孔与叶片鉚头之間的間隙，大于圖紙上規定允許范围时，也不允許用焊接方法来糾正鉚头。

19. 实际安装在級上的叶片数目，不应有大过設計数目2%的誤差。

在装置叶片时，应經常注意遵守上面所列举的各项要求。

三、換装叶片的准备工作

〔在作汽机檢修准备工作的同时，应进行換装叶片的准备工作。在停机檢修前的几天內，如果需要鑄新叶片及隔金的邊緣与毛刺时，可将其按級来放置，用火油清洗，并清点每一級上的叶片及隔金数量。〕

在按級拆卸叶片时，需要注意的是帶調整抽汽汽輪机的叶片高度，在抽汽后的要比抽汽前的低些，这种情况会引起装叶片时将一級的叶片誤装到另一級上去。

某些汽輪机如烏瑪哥 (BYMAT) 制造厂出品的汽輪机各級上的叶片高度，彼此相差只有0.5公厘，在按級来拆卸叶片时需要加以特別注意。

有穿拉筋孔的叶片，在按級拆卸下来以后，要用样板来檢查。所有的叶片上都要有眼孔，并且这些眼孔應該分布在同一高度上。此外，这些眼孔要經過复查，使得級上各叶片的孔，

是一样大小。

同时也要检查，使已有的拉筋能活动地通过叶片上的各个眼孔，通常叶片上孔徑要比拉筋直徑大 $0.10 \sim 0.35$ 公厘，如果拉筋很紧地通过叶片上的眼孔，則用銑刀将孔徑扩大到需要的尺寸。

检查孔徑及按高度检查孔部位的样板，如图1所示。

在检查新叶片的同时，应检查拉筋与复环，通常复环应比叶片寬一些，最少每边也要寬出 0.5 公厘，便于在换装叶片后加工之用。

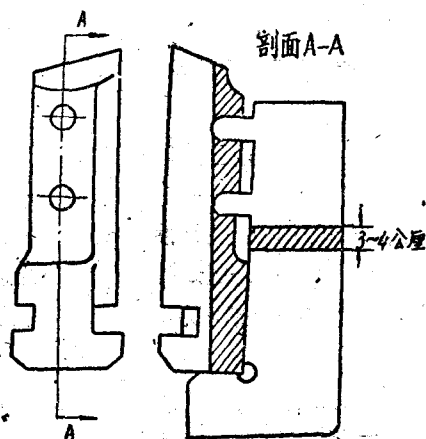


图1

新叶片检查和校驗完毕以后，輕型断面的隔金和叶片，在叶片有效长度为 200 公厘以上者，則需要称其重量，称时用普通秤，以每十个叶片或以每一叶片組为单元来称，并根据称出的重量配置叶片，使直徑相对的每十个叶片或叶片組的重量均相同，在組合叶片时，如不計算其重量，会使轉子严重地失去平衡性。

貼合处加厚的重型断面叶片且沒有隔金时，以每十个叶片或一組叶片为单元，自有效长度为 100 公厘的开始称起。

重型断面的相同叶片，其有效长度为 350 公厘及大于 350 公厘，理想的是一个叶片称一次，如果可能的話，可用力矩天平

来称。

每一个叶片在称过以后，再按所称的重量配置，然后在蒸汽入口边缘的端头标上顺序号。

不论转子是用力矩天平称过的叶片来装配，或是用普通秤称过的叶片来装配，转子上失去的不平衡性并未发现有显著的区别。但是，直到现在，当换装有效长度大的工作叶片时，力矩天平还没有被广泛地采用。

后几级叶片具有很大的有效长度，在按个地将其称了以后，根据称出的重量，将其配置并编制序号。有些电厂在开始换装叶片之前，先进行检查，并将叶片彼此相贴合处稍微加铰，具体方法如下所述。

拿两个叶片，在第一叶片的凹面上涂上薄薄的一层红油，再将两个叶片以蒸汽进口边缘放置到验平板上去，并使叶片彼此压紧。将一个叶片顺着另一个叶片移动1~2公厘，这样便使第二个叶片的突面从第一个叶片上得到红油痕印。

如果第二个叶片上的红油痕印在整个贴合表面都很明显，则将第一叶片就位，再用同样方法检查第二与第三个叶片，如果得出的不是上述情况，则第二个叶片的凹面应稍铰，直至由第一个叶片所得到的红油印痕成点状分布为止。这些点虽然很少，但只要分布在整个贴合面即可，就这样顺着次序，一个接着一个地调整所有叶片的贴合表面。

这里，需要牢牢地记住：在研合贴合处时，自叶片蒸汽进口边上角处，在任何情况下都不允许铰。因为该处是贴合基点，除此以外，贴合处所有表面均可加铰。如果我们将蒸汽进口边上角处加铰，则不仅会减小叶片之间的间距，使其不一致，同时在叶根槽内的叶片位置也不能相同。在铰隔金时也需要记住上述要求，关于这一点以后还要提到。

要使在叶片貼合表面上部的紅油印比下部即叶根部稍稍重一些，这样，在装叶片时，叶片互相間的上部分，会更紧密的压貼在一起；同时，在进行叶片振動試驗时，叶片組上頻率紊乱情况会减小。

这样来預先研合叶片的貼合处，給我們有可能大大地加速結束級上的換装叶片工作。通常这样便可結束換装叶片的准备工作了。

由于在大多数情况下装叶片所用的工具是很简单的，同时制造起来也不需很多時間。因此，通常在拆裝級上的叶片时，当发现有必要并能确定所需工具尺寸时，方才制造所需的工具。

四、需要更換的工作叶片的拆卸

在汽輪机揭大盖以后，当轉子尚未从汽缸內吊出之前，推力軸承仍处在組合状态时，应測量通汽部分的間隙。尤其是应注意檢奪需要更換叶片的那几段通汽間隙。

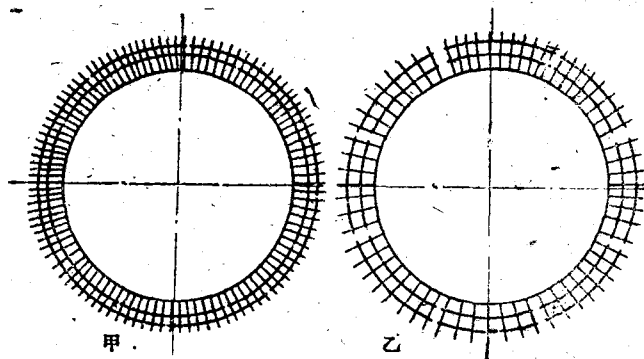
測量軸向及徑向間隙时，沿叶輪或輪鼓圓周上取四点測量即可，所測出的結果，应与前一次檢修时的記錄相比較。

轉子吊出后一定要清点每段的叶片数、叶片組数及每一組的叶片数。

在有兩排拉筋的情况下，应将排列成棋盘状，或排列成束状形式，如图 2 所示。

进行上面这些必要的工序，主要是为了便于在安裝复环时，如果制造新叶片的工厂沒有其他要求，能够按照原来的装叶片情况进行裝置叶片。

根据叶片頂部来測量鎖金間距，以便在換装叶片时不致使



(甲)——拉筋交錯配置圖；

(乙)——拉筋接組平行配置圖。

图 2

該間距大于原間距，同時也不使復環的負荷增加，而使鎖閉的葉片工作條件惡化。

在拆卸級上的葉片之前，需制模板，以便測量軸向與徑向安裝的葉片。如果是反動式汽輪機的轉子，則應制作測量工作葉片各排之間尺寸的直尺。

用于裝在徑向位置上，有效長度為 200 公厘的工作葉片的徑向直尺及零件，如圖 3 所示。

根據原來所裝葉片的情況測出的尺寸“A”“B”應予以記錄，並做為新葉片的安裝尺寸。

由于有效長度小于 200 公厘的工作葉片的出口邊緣，要根據葉尾的錐狀來安裝，因此，在安裝沖動式汽輪機的葉片時，只能利用直尺校驗蒸汽出口邊緣，將葉片裝到軸向位置上去，軸向直尺如圖 4 所示。

在使用直尺時，應以尺的工作面對着葉輪的輪緣，尺寸“A”等于輪緣到葉根的出口邊緣，并用“A”來測量葉片頂部的

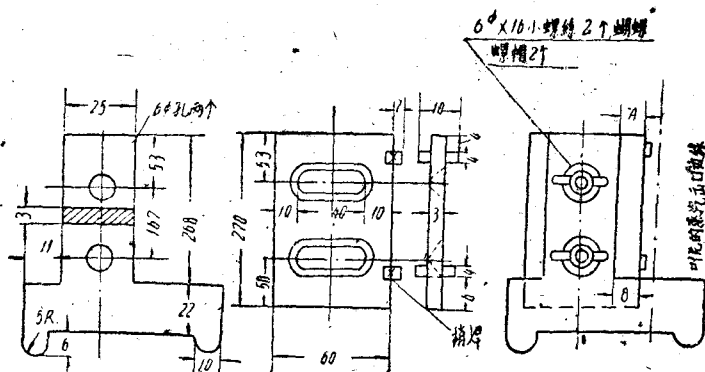


图 3

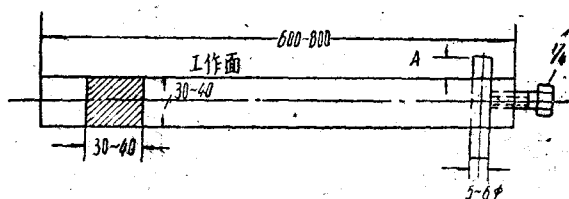


图 4

出口边缘。如果叶片在轴向位置装得很正确时，则尺寸“A”在叶片顶部与叶根部均为一样。

总之，冲动式汽轮机，需借助于直尺校正蒸汽出口边缘，将工作叶片装到轴向位置上去。反动式汽轮机，则借助于样板校正蒸汽入口边缘，将工作叶片找正，装在轴向位置上去。此外，还需要用另一个样板来检查叶片各排之间的间距，使得沿轮鼓圆周上各叶片排之间的距离相等。

反动式汽轮机的工作叶片，在轴向位置安装时所用的样板，如图 5 所示。检查工作叶片各排间距所用的样板，如图 6 所示。

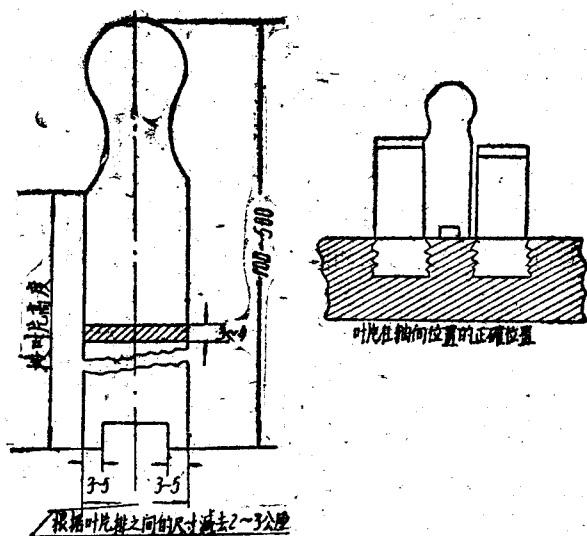


图 5

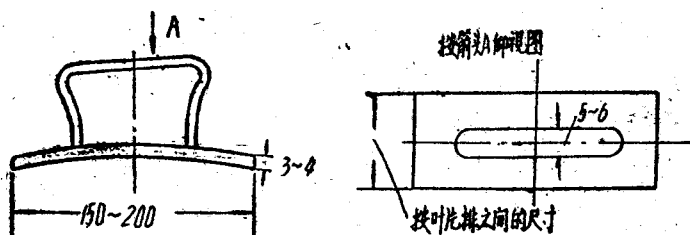


图 6

在制作样板的同时，可制作我們所需要的专用工具。往钻头上焊一加长部分，并将它钎好，以便将鑽金钻出来。制作所需长度的洋冲尖錐刀及平錐刀。如果有复环时，可制鉤杆，以便用来拆卸叶片組上的复环。

在样板和工具制好之后，便可着手取掉拉筋和复环。在拆卸级上的叶片时，最好不要一下将所有的复环和拉筋都取下来。取拉筋时，用撬刀将锁闭在一个叶片组上的叶片，自每个叶片的凸出侧将固定着的拉筋撬开。而在取复环时，为了保存复环，将锁闭在一个叶片组上的叶片铆头边缘，用撬刀沿铆头孔的周围撬开，热后再用钩杆或冲子撬住，用手锤打击，即可将复环取下。钩杆的形状如图 7 所示。

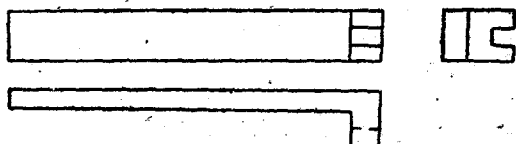


图 7

从锁闭的叶片组上取下的复环，放在木板上面整平并保存起来，以便根据复环上的眼孔装冲具。同时，在向新复环上打眼孔时，也便于安装冲床上的导向板。

保存原来的复环是一件很重要的工作。尤其是斜形复环，保存起来更为重要，在锁闭着的复环被取下来之后，便可开始将锁金钻出来。

在锁金间距等于叶根的宽度而且叶片又薄又长时，靠近锁金的边缘叶片，可用异形冲头将它拨到一边去。在锁金间距小于叶根槽的宽度时，将边缘处的叶片用撬刀撬去一点，使其与隔金水平一致，如叶片厚，可用瓦斯火割去。

这样做，只有在这种条件下进行，即边缘处的锁闭叶片妨碍钻头通过，通常在反动式汽轮机上容易产生这种情况。为了能将锁金从叶根槽内钻出来，应根据叶根槽的宽度来选择这样直径的钻头，即使得钻头不要触动叶轮或轮鼓叶根槽的壁，同时

也一定要使鎖金被鉗成兩半，以便減輕鉗孔的沖力。因此，如果葉根槽的寬度允許的話，鉗頭的直徑應該是等於鎖金間距。

利用直尺測量鎖金的中部，并用加長了沖臂的沖子在鑽孔的部位打上中心。同時，根據新隔金的高度用粉筆在鎖頭上划上鑽孔的深度，以防止鑽到葉輪或輪鼓內部去。然後便可開始鑽出鎖金。當鎖金剛被鉗透分成兩半時，即可停鑽，將鎖金鑽剩下的側邊，用沖子借手錘沖打，將其移到槽子的端部，槽子的中間也予清理干淨。

原來鎖金的剩余部分应尽量設法保存下來做樣子，便于制作新鎖金。

將鎖金取下來之後，轉動轉子，使鎖金葉片組向上方，通過鎖金槽向槽內注火油。然後將鎖金葉片組內的葉片打出來，並將葉根槽內的水垢及銹清除出去，在取鎖金時槽壁上所撞的凹陷及毛刺，亦應銼去。

取掉葉片的空葉根槽，並應加以全面仔細檢查，確信可以往里面裝新葉片及隔金。同時，如果發現可能妨礙按技術要求裝葉片的所有其他缺陷，也應設法消除。

在裝葉片時，要使隔金與葉片，以及葉片與葉片間彼此嚴密的貼合，避免在臨時再來研合。通常是採用紅鉛油來使隔金與葉片、葉片與葉片間貼合嚴密的。

有時由於寄發的葉片樣品不對，結果使製造廠做出來的葉片與隔金斷面不合要求，在裝葉片時完全無法來補救，例如在葉片的安裝處做得非常松弱，或者將隔金做成完全是另一種斷面。

在這種情況下，可將從葉根槽內取出的舊葉片與隔金，仍裝到原來的葉片組中去，并用鎖金鎖閉。在製造廠未將需要的新葉片做來以前，只有將換裝葉片工作暫停下來。

如果只是隔金的断面不合适；而叶片适合于装置，则需要设法利用旧隔金，这在实际上经常是行得通的。新叶片与隔金的检查工作，按下列顺序来进行。

首先将新叶片及隔金的断面与旧的相比較，将新叶片沿着旧隔金放置，而新隔金貼着旧叶片放置。如果新叶片的边缘高出隔金齿，这是使得叶片隔金貼合不严的原因之一。在这种情况下，靠叶根处的边缘应当銼成锥形，而隔金应銼成的高度如图 8 所示。

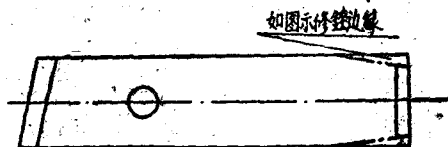


图 8

銼叶也不需銼得太往上，否则会在隔金顶部造成很大的間隙。然后，将装到叶片叶根槽中去的叶片，用手上下移动一下，也就是說檢查在叶輪叶根槽与叶片的支承面之間是否有紧力。

檢查紧力的方法如下：

阿依格(AEI)制造厂制造的冲动級叶片，在装到叶輪的叶根槽中以后，用手将它上下試移动，以确定在叶片与叶輪的支承表面之間有无間隙或紧力。

比比西(BBC)制造厂制造的反动級叶片 在装到叶輪的叶根槽中去以后，檢查方法是这样：将一个隔金装到叶根槽中以后，装一个叶片，紧接着这个叶片装第二个隔金，在隔金接近叶片处用銅棒打一打，使得該叶片在叶根槽处的两个隔金之間被很穩地夹住，但不为两个隔金所压挤。