

化学工业过程及设备实验

(讲义)

华东化工学院化学工程学教研组

化工过程设备实验室编

高等教育出版社



化学工业过程及设备实验

高等教育出版社

本书系由华东化工学院化学工程学教研组化工过程及设备实验室所编写的“化学工业过程及设备实验”讲义整理而成。书中只收入了经过多年操作的比较基本的部分实验。

各实验中除说明了实验目的和原理外，对所用设备亦作了简单的介绍。至于操作步骤数据的整理以及实验报告，则只指示了要点，具体安排由同学自行考虑。

本书可作为高等学校化工院系“化学工业过程及设备实验”的教学参考书。

化学工业过程及设备实验

(讲义)

华东化工学院化学工程学教研组
化工过程及设备实验室编

高等教育出版社出版 北京宣武门内大街26号

(北京市书刊出版业营业许可出字第054号)

京华印书局印刷 新华书店发行

统一书号 13010.603 开本 850×1168 $1/32$ 印张 2 10/16
字数 59000 印数 0001—8,500 定价(7) 0.40
1959年5月第1版 1959年5月第1次印刷

目 录

緒論	1
(一) 流体动力过程	7
实验一 管路与其零件的了解与拆装	7
实验二 流体流动情况的测定	9
实验三 管路阻力的测定	10
实验四 流量测定仪器的校核	15
实验五 离心泵的示性曲线	20
实验六 压滤机过滤常数的测定	26
实验七 迴轉过滤机的操作	31
(二) 热过程	35
实验八 液体液体热交换时傳热系数和給热系数的测定	35
实验九 蒸汽冷凝时傳热系数和給热系数的测定	40
实验十 单效或双效蒸发器的操作与傳热系数的测定	45
实验十一 热泵蒸发器的操作与傳热系数的测定	49
(三) 傳质过程	54
实验十二 常压式干燥器的操作与干燥速度曲线的测定	54
实验十三 减压式干燥器的操作与干燥速度曲线的测定	56
实验十四 精餾塔的連續操作与塔板效率的测定	58
实验十五 填料吸收塔的操作与吸收系数的测定	63
(四) 机械过程	70
实验十六 粉碎机的操作与篩析	70
附录	73
附录 I. 管路及管件的单线标志	73
附录 II. 管路的油漆顏色	74
附录 III. 水煤气管的尺寸和重量	74
附录 IV. 最經濟管徑的選擇	74
附录 V. 单位換算	77
附录 VI. 英制单位換算到公制单位	78

緒 論

1. 目的与要求

化学工业过程及设备的实验是本课程教学中的重要环节之一。它与讲课、习题课及课程设计等教学方式密切连系着，是不可缺少的有机组成部分。

化工实验的目的在于：

1. 将已学过的理论知识运用到实践中去，用实践去证实这些定理和原理，并且获得进一步的认识与了解；
2. 掌握化工设备的构造、性能及操作技术；
3. 提高实验技巧，培养整理数据而获得结论的能力，为将来独立研究及解决实际问题打好基础；
4. 在实验工作中发挥同学的创造精神。

为了达到上述目的，要求同学们做到以下各点：

1. 在实验前要有充分的准备，根据实验讲义及指定参考材料进行预习，明确此一实验的目的何在，与哪些理论知识有关，实验进行的具体步骤又是怎样的？

2. 要主动地进行实验。如果仅是按照规定，记录一些仪表的读数，是得不到什么收获的。只有细心地发掘问题，很好地安排时间，整理并检查所得数据是否合理，主动地深入考虑，才能使认识有所提高。

3. 要周密地观察事物，对实验装置的排列和安装，以及实验中发生的各种现象，都要进行钻研，并希望尽量提出问题及意见。

4. 要有坚毅不怕困难的精神。假使实验中发生问题，或数据不符，则应找出原因，设法解决。这样由发现问题而解决问题的过程是很宝贵的经验。同时，要树立劳动观点，实验室技巧只有通过实际劳动才能

获得。

II. 实验规程

1. 实验前同学必须认真预习。在实验开始时教师进行预问。无准备的同学，不得进行实验。进入实验室后应仔细了解本实验的注意事项及操作规程。

2. 根据教师的指示(或根据讲义说明)，每小组由专人向管理室领借所需的工具和仪器。使用仪器时应注意爱护，对电表、停表、筛子、温度计等更须小心。实验完毕后，清理交回。

3. 实验开始时，同学应对工作进行合理分工，并且合理地按排轮换，使每一同学对整个操作方法及数据记录等，都有完整的概念。

4. 同学应先检查设备及装置，必须注意安全(如注意电路接线、传动皮带等)。在得到指导教师允许后，方可进行操作，记下数据及现象。

5. 每次实验应记录数据一式二份，一份供写作报告之用，一份留实验室。

6. 同学应准时到达实验室，不得迟到，未到规定下课时间，不得早退(倘在下课时间前，已经做好实验，并已完成本次实验的报告，则在交出报告，取得教师同意后，可先行离开实验室)。

7. 实验报告如能当时完成，即可交与指导教师。如果尚未计算完毕，则应在课外时间完成之，而于下次实验时交给指导教师，不可再行迟延。实验报告须独立写作。

8. 实验室内各种设备仪器都是人民财产，须加意爱护。如有损坏，应立即报告指导教师。对水、电、药品及材料要注意节约，所有仪器设备要保持整齐清洁。

9. 实验设备及进行步骤需要不断改进，希望同学多提意见与建议。

III. 安全及防火条例

1. 如发现马达有发热或响声不正常及受潮现象，应立即关闭马达，停车检查。

2. 机器开动前应檢查潤滑情况。
3. 如遇誤触电源时, 在旁人員应立即切断电路。
4. 如发现綫路有火花現象, 即通知教师, 并即关闭閘刀設法处理之。
5. 所有蒸汽閥及水閥, 一般均宜逐漸开大或关小, 以免发生冲击現象。

6. 实验室内所有白色管路均系蒸汽管, 切勿用手去摸以免灼伤。
7. 实验室内不得存放易燃物及危險品, 且不得吸烟。
8. 消防用具須存放一定地点, 不得任意移动。
9. 实验室内备有急救箱, 受伤时可按使用办法进行救治。

IV. 实验报告的制作

制作实验报告的目的在于整理所得数据, 加以分析与运算取得結論, 从而証实理論知識, 并可把这些結論推广到实际操作中去。

要想将报告写得又快又好, 有三个关键問題: 1. 理論知識的了解; 2. 实验数据的精确与完整; 3. 必要的数学方法的熟悉。

1. 关于理論知識的了解, 其重要性自不待言。倘不掌握理論頂多只会依样画葫芦, 而不会独立解决問題。

2. 关于实验数据的精确与完整, 因为报告是根据这些記錄数字整理出来的, 倘使实验进行得不好, 或是記錄不够精确与完整, 就很难得到正确的結論。必須知道, 任何仪器的准确度都是有一定的限度的, 因此每一个記錄数字仅表示一定程度的准确性。为了获得最好的計算結果, 記錄数据时須注意下列各点:

1) 多取一些数据, 数据愈多, 則最終計算結果的可能誤差愈小, 因此要求每一讀数必須重复一遍。

2) 应尽量利用仪器的准确度, 通常讀数可比仪器的刻度多出一位, 这末一位是估計得出的。

3) 实验数据不可修改, 只可整理(必要时可以摒弃不正确的数据)。

4) 記錄必須清楚, 列成表格, 以免記錯或看錯。

5) 記錄完畢後, 須檢查一遍, 有無遺漏可疑之處。

3. 關於數學方法的熟悉, 因為從數據到結論, 包括着一些運算過程, 數學方法不僅影響運算的速度, 也決定結果正確與否。下面就數據的整理方法、標繪方法、有效數字三個問題作一些說明:

1) 數據的整理方法:

i. 要將數據及計算結果等列表寫出, 附以舉例的計算。因為實驗獲得的數據很多, 列成表格後, 就容易比照, 並由此得出結論。至於舉例計算, 其目的是表明各項間之關係, 便於看懂(倘將全部計算列出, 則耗時太多, 亦無此必要)。

ii. 運算時可盡量利用轉化因數, 以求節省時間。例如, 在管路阻力的測定中, 實驗時讀取的是流量及壓力計的液面差, 在寫報告時要化成流速 w [米/秒] 及壓頭 h [米]。因為數據很多, 逐一轉化很是不便, 所以可先算出 1 [米³/分] 的流量相當於多少 [米/秒] 的流速。將此常數定在算尺滑片的一端, 把每次的流量計讀數乘上, 很快地就可以轉化過去。同樣地、再算出壓力計液面差 1 [厘米] 相當於多少 [米] 的壓頭, 作為轉化因數, 也可很快地將壓力計讀數轉化過去。因此, 利用轉化因數, 可較逐一計算節省很多時間。

iii. 整理的最終結果, 通常有三種方式表示: 第一是得出常數或系數(利用標繪得出常數, 要比個別地標出簡捷而準確); 第二是繪成圖表; 第三是與理論數值或理論曲綫相比照。

2) 標繪方法:

i. 較常用的標繪方法有普通標繪、半對數標繪和對數標繪三種。適合於方程式 $y = ax + b$ 者用第一法, 適合 $y = e^{ax}$ 者用第二法, 適合於 $y = ax^n$ 者用第三法。通過三種方法, 分別都可得出直綫。

ii. 在選擇標繪方法時, 要注意到: 對數標繪法的偏差, 表示一定百分率的偏差, 而普通標繪法的偏差表示一定數值的偏差。

iii. 对于标度(比例尺)应作适当选择。座标上一个单位等于变数的几个单位应在图上表明。选择时,一方面要注意方便(通常是 $1\times$ 、 $2\times$ 、 $5\times$ 、 $10\times$ 等等,不可弄成坐标上一个单位等于变数的不整齐的倍数,如 7 、 7.1 等等),同时要使数据均匀地分布于图纸上。要尽量利用坐标纸,不要仅用图纸的一隅。

iv. 各数据点要用 $\odot$ 、 $\triangle$ 、 $\square$ 或 $\times$ 等符号明白标出。先标出各数据点再繪曲綫或直綫。决不可先繪曲綫,再填各数据点。从所得曲綫又可估量实验数据的准确性,对偏差特别大的各点,可設法解釋或說明。

v. 依照一般的习惯,取独立变数作X軸,依变数作Y軸。

vi. 用普通坐标时,求取直綫斜率,通常是在直綫两端各取一点計算之。

vii. 用对数紙时要注意,依据 $y = ax^n$,則 $\log y = \log a + n \log x$,当 $x=1$ 时Y軸的讀数即为 a ($\because \log 1 = 0$)。直綫的斜率是 n ,但要注意 $n = \frac{\log y_2 - \log y_1}{\log x_2 - \log x_1}$ 而不是 $\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$,因此不管标度(比例尺)是什么(只要对数紙的纵坐标与横坐标的每周有等同的长度), n 是二点在Y軸的距离(不是讀数差)与在X軸的距离(不是讀数差)的商。

3) 有效数字: 这里須温习一下有效数字的意义和定則。

前面已經說过仪表的讀数仅有一定的准确度。通常讀数的数字应較仪表的刻度多出一位。这末位数字是估計出来的,故有一定的誤差率。例如,溫度計的刻度为 1°C ,但我們取讀数时,可估計到 0.1° 。如在 60° 与 61° 之間,我們可能估計出是 60.3° 。在这种情况下,我們說有效数字有三个。

在数据中,除了作定位用的0不是有效数字外,其他数字都是有效的。如 0.0165 ,有三个有效数字;而 30.00 有效数字就有4个。对于0我們必須特別小心在意,50克不一定是50.00克。为了不致混淆起見,遇到万、千、百、十时,最好用 $\times 10^4$ 、 $\times 10^3$ 、 $\times 10^2$ 及10来表示。

从数据到整理的結果,其准确度应尽量保持,沒有方法将它更为提高(随意添加有效数字是一种錯誤)但亦不应将它縮小,所以我們必須遵守有效数字的定則:

i. 当几个数值相加或相減时,它們的有效数字的最末一个可能分列在小数点前后不同的位数,在得出結果时,应从其中最前者为准,有效数字不能再推延下去。

ii. 当几个数值相乘或相除时,有效数字的个数应从其中最少者为准,不能再多。

iii. 在取对数时,对数的定值部分应与原数有相等的有效数字个数,而定位部分不計入內。

iv. 在划去多余的无效数字时,四舍五入。

v. 不含誤差的数值(如倍数),可假定它們的有效数字位数是无穷的,不受上列定則的限制。

(一) 流体动力过程

实验一 管路与其零件的了解与拆装

I. 目的

1. 認識各种常用管件及其用途。
2. 学会在管上割制螺紋及管路的拆装法。
3. 測定所装管路的耐压极限。

II. 說明

1. 接管的方法: 管路是由直管和管件組合而成, 直管和管件的接合方法很多, 茲分述如下:

1) 插套接合: 生鉄管或較大尺寸之管常用, 在接合处用麻繩嵌紧再用熔鉛澆入插套內, 亦有用石棉和水泥, 效果很好;

2) 焊接: 紫銅或黃銅管子常用錫焊或銅焊接合;

3) 突緣接合: 适用于較大口徑的管路或特殊要求时;

4) 熔焊接合: 适用于高温高压条件下;

5) 螺紋接合: 一般低压管路常用, 比較便利; 本实验即采用螺紋接合的管路。

2. 各种管件的用途: 为了要使管路变更方向, 或延长、分路、汇流、縮小及扩大等等, 就必须用各种不同管件。如轉弯处用肘管(弯头), 分路或汇流用 T 字管(三通)、十字管、或 Y 字管等。縮小及扩大时用变徑管或内外牙(卜申或补心), 閉塞管路用管帽或塞头, 延长管路用内牙管联接。而須特別注意在連接成一封閉管路时, 在其最后接合处必須使用活管接(由任)或突緣, 否則无法装配。一般在 50 (毫米)管徑以下者用活管接, 大于 50 (毫米)管徑則常用突緣。

III. 設備描述

一般常用之管件，其內壁的陰螺紋均已攻好，管上的陽螺紋則需自行割制。割螺紋常用的工具是螺絲鑊。螺絲鑊的中間鑲有四塊可調節的鋼質絞板，螺絲鑊的外緣裝有握柄。割螺紋時可將握柄按順時針方向旋進。旋進的長度視所需之螺紋數目而定。割好後將絞板放鬆（螺絲鑊上另有手柄控制），再將工具退出。如果用棘輪式的螺絲鑊，則割螺紋時可將握柄一推一回，比較省力。

將管和管件接合時，為了避免漏泄，常用粘合劑。在輸送水或氣體的管路中用麻絲和厚白漆。在輸送蒸汽管路中常用紅丹粉和甘油。

IV. 實驗步驟

1. 觀察一些常用的管和管件、各種材料及螺絲鑊等工具。
2. 按照指定之管路系統，將管子鋸成適當之尺寸（包括螺紋旋進所需之長度）。
3. 將鋸好的管子夾緊用螺絲鑊割制螺紋。螺紋之深度要先淺後深，約絞三四次，再用管件套上去試。
4. 試好後在螺紋上塗白漆，順着螺紋方向繞上麻絲，接上所需之管件，用管子鉗扳緊。
5. 測量所安裝之管路尺寸是否與原規定之尺寸相符合。
6. 將所裝好之管路用手壓水泵進行耐壓極限試驗。一般水管可耐壓 $8-10$ [千克/厘米²]，並須維持 15 分鐘。

V. 實驗報告

1. 畫出所聯接的管路系統圖。
2. 注明原定與實際尺寸及耐壓極限。

VI. 參考書刊

1. 巴克蘭諾夫著、王承明譯 化工管路（重工業出版社）。
2. 本書附錄 I、II、III。

实验二 流体流动情况的测定

I. 目的

观察流体的层流与湍流两种流动情况,并测定临界雷诺准数。

II. 原理及说明

1. 层流时,流体质点作直线运动且互相平行。湍流时,流体质点呈紊乱地向各方面作不规则运动,但对流体主流则仍可看成是向某一规定方向流动。

2. Re 准数是决定粘性流体运动类型的准数。层流开始变为湍流时的中间流动情况称为过渡流。在层流变为过渡流以及过渡流变为湍流的临界状况的 Re 值称为临界雷诺准数,也简称为临界值。

III. 设备描述

本实验整套装置(如图 2-1 所示)须固定于坚实的底座上,并应避免一切震动的影响,方可获得满意的实验结果。图中 A 与 B 都系水箱,以一根粗玻璃管(玻璃管须平直,其内外径要力求均匀)相连接。水箱 A 中要不断加水使其中水位维持恒定。在水箱 A 内装有挡板,以防止水加入时发生震动,并保证一恒定的压头。在水箱 B 中装有调节阀 D 或溢流槽以控制水出口时的流量。在玻璃瓶 C 中装以红色或蓝色墨水,通过旋塞以控制流量。墨水经过毛细管喷嘴而进入玻璃管内,由此可观察墨水流线。

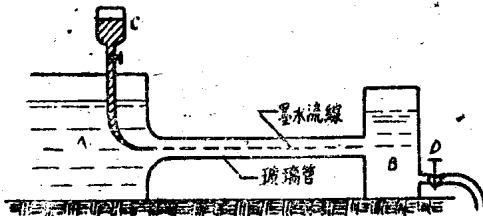


图 2-1. 雷诺实验。

IV. 实验步骤

1. 开启閥 D , 使水緩緩流經粗玻璃管, 开始时流速宜小。
2. 再开启墨水瓶 C 的旋塞, 使墨水自毛細噴嘴管流出。
3. 調节閥 D , 使水維持层流状况。此时之墨水成一水平流綫流过玻璃管全长。再逐漸开大閥 D , 观察墨水流綫开始有波动或成断續状时, 記錄此时水的流量。
4. 繼續增大流速, 当墨水細流完全与主流混淆时, 再記錄水的流量。
5. 再由較大流速变为小流速, 重复記取以上各項数据。
6. 記錄水温、玻璃管内徑等数据。

V. 实验报告

根据水的流量及有关数据算出临界 Re 数。

VI. 参考书刊

1. 清华大学水利教研組編“普通水力学讲义”。
2. 張洪沅等編著“化学工业过程及设备”上册(高等教育出版社)。

实验三 管路阻力的測定

I. 目的

1. 測定流体通过直管时的摩擦阻力, 并确定 λ 与 Re 的关系。
2. 測定流体通过管件时的局部阻力, 并求出阻力系数 ζ 。

II. 原理及說明

流体在管路中流动时, 由于粘性剪应力和渦流的存在, 不可避免地会引起压强損耗, 流体在流动时所遇到的阻力有两种, 即直管摩擦阻力与局部阻力。

流体在通过直管时的压强損耗可用下式計算:

$$h_f = \frac{\Delta p}{\gamma} = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2g} \quad (3-1)$$

式中: l ——直管的长度, [米];

d ——直管的內徑, [米];

w ——流体的流速, [米/秒];

γ ——流体的重度, [千克/米³];

Δp ——压强差, [千克/米²];

g ——重力加速度, [米/秒²];

λ ——摩擦系数, 层流时 $\lambda = \frac{64}{Re}$; 湍流时 λ 与 Re 的关系須由实

驗求得, 且受管壁的影响。

由于在任何直綫上, 由两个有一定間距的測压孔測出的压强差即代表液体在通过該段长度直管时的压强損耗。因为在一般情况下, 直管是水平的, 同时截面积又是相等的, 因此根据柏努利定理可知, h_n 即可直接由液柱压强計讀数算出。

流体通过管件时的压强損耗可用下式計算:

$$h_n = \frac{\Delta p}{\gamma} = \zeta \frac{w^2}{2g} \quad (3-2)$$

式中: ζ ——阻力系数。

在測定管件的局部阻力时, 由两边測压孔測出的压强差, 即可視作它的局部阻力。因为, 由于两边測压孔間的直管而引起摩擦阻力甚小 (与局部阻力相比較), 可以忽略不計, 因此 h_n 值亦可由液柱压强計讀数算出。

表示流体通过管件时的阻力的方法, 也可利用当量长度的概念, 故式(3-2)又可表示成下列形式:

$$h_n = \frac{\Delta p}{\gamma} = \lambda \frac{l_e}{d} \frac{w^2}{2g} \quad (3-3)$$

式中: l_e ——管件的当量长度, [米];

λ ——直管的公認摩擦系数数据。

流体在导管中由于驟然扩大而引起的局部阻力, 亦可用类似的方法

法計算之，所不同者仅两边截面大小不等而已。

流体在管路中流动时阻力损耗的大小意味着生产费用的大小。很显然，管路的直径愈小，其设备费用亦愈小，但是在规定的生产任务中，减小导管的直径，势必增大流体的流动速度，而增加流体在管内的能量消耗，因而增大了生产费用。所以管路的经济程度具有重大的意义(关于最经济管路的选择，见附录 IV)。

III. 设备描述

系统包括有四根不同口径或不同材料的直管，此处管的材料为白铁(亦可用其他材料)，管径分别为 $1\frac{1}{2}$ "、 $1\frac{1}{4}$ "、1"、 $\frac{3}{4}$ "，每根管子可分别测定通过阀、直管、扩大或缩小的流体阻力(图 3-1)。直管测压孔间距分别为 $1\frac{1}{2}$ " 管 3.47[米]， $1\frac{1}{4}$ " 管长 3.47[米]，1" 管 2.77[米]， $\frac{3}{4}$ " 管 1.68[米]。测压孔间连接液柱压强计用以测定静压强，用转子流量计测定流速。

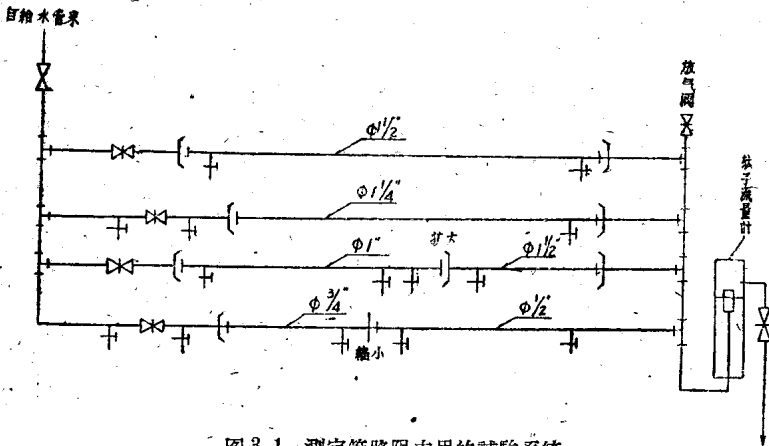


图 3-1. 测定管路阻力用的试验系统。

所采用的仪表的类型如下：

1. 液柱压强计；

1) 水銀—水 (測定閥的阻力及擴大或縮小部分用);

2) 四氯化碳—水 (測定直管用);

3) 空氣—水 (測定直管用)。

2. 轉子流量計。

3. 溫度計 ($10-50^{\circ}\text{C}$)。

IV. 實驗步驟

1. 計取實驗數據前的准备工作:

1) 首先將通往液柱壓強計的測壓孔旋塞關閉, 並打開液柱壓強計上的平衡閥 (注意平衡閥與放氣閥的使用), 然後將水送入各管路, 開啓管路右上角的放氣閥, 以排除管路系統中所積聚的空氣 (對於空氣—水的液柱壓強計則開啓二端測壓孔調節二液面至同一高度)。

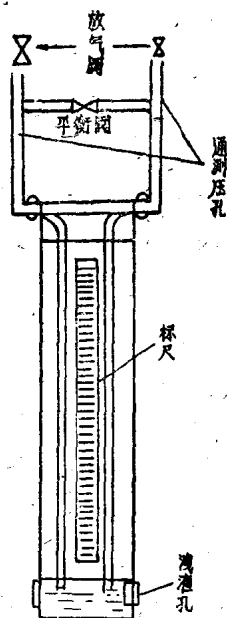


圖 3-2. 液柱壓強計。

2) 關閉不做實驗的各列管路分閥, 並將需要測阻力的直管上的測壓孔旋塞打開, 並使積聚在測壓導管中空氣亦驅出 (對於空氣—水的液柱壓強計則不需排氣)。

3) 將液柱壓強計上的平衡閥關上, 記錄液柱壓強計的原始 (零位) 讀數。

2. 計取讀數時應注意的事項:

1) 調節出口處的控制閥, 使流量逐漸增大, 在流量變化的整個幅度內, 可取 6—8 個讀數, 每次在流動情況穩定後, 讀取數據。

例如, 流体通过直管的摩擦阻力測定: (見下頁上欄的表)

2) 在達到最大流量後, 將控制閥逐漸關小再重複取一次讀數, 以資校核。當閥完全關閉時, 零位讀數應與原來一樣, 否則, 管路中恐有空氣存在, 應重作試驗。

3. 實驗結束後的檢查工作: