

# 制糖工艺学原理

第 二 卷

下 册

〔荷〕霍 尼 编

中国财政经济出版社

PDG

# 制糖工艺学原理

## 第二卷

下 册

〔荷〕霍 尼 编

楊 倬 吳广礼 译

李伟强 校

中国财政经济出版社

1963年·北京

## 內 容 介 紹

“制糖工艺学原理”第一卷中譯本上下冊，由原輕工业出版社分別于1958年和1960年出版。該書第二卷共十四章，現仍分上下冊出版。上冊已于1962年7月出版。本書是下冊，共七章。主要講述用热传递間接測定糖汁粘度及过饱和度的方法，制糖結晶工艺，結晶过程中的蒸发和循环，糖膏的助晶方法、条件、处理以及提高低級糖膏的糖份收回等。

本書可供制糖工业技術人員、研究人員以及高等院校有关专业師生的参考。

# 目 录

## 第八章 测定热的传递作为一种测定工厂糖汁的粘度

### 及过饱和度的间接方法..... 9

1. 导言..... 9
2. 粘度与过饱和度的关系.....10
3. 热传递的测定.....12
4. 电仪器的原理.....14
5. 静止状态的热传递.....15
6. 运动状态的热传递.....17
7. 粘度与循环速度的关系.....18
8. 热传递记录器.....20
- 参考文献.....21

## 第九章 蔗糖结晶工艺.....23

1. 导言.....23
2. 砂糖的结晶工艺.....28
3. 蔗糖结晶的目的.....30
4. 糖膏的可得糖率及非糖份的循环.....31
5. 蔗糖结晶工艺的发展.....34
6. 由一系列相关联的设备所组成的结晶装置.....41
7. 煮糖实践的基础.....44
8. 循环对过饱和度的重要性.....49
9. 真空罐入料.....50
10. 末段糖膏的结晶.....52
11. 电导控制在结晶过程中的应用.....56
12. 工厂糖汁在饱和点时的电导率.....58
13. 工厂糖汁结晶的过饱和度.....61
14. 工业用的电导控制仪表.....67

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| 15. 真空罐的蒸发面积 .....                               | 70        |
| 16. 结晶过程的工艺试验 .....                              | 71        |
| 参考文献 .....                                       | 75        |
| <b>第十章 结晶过程中的蒸发及循环 .....</b>                     | <b>76</b> |
| 1. 导言 .....                                      | 76        |
| 2. 有效的推动力 .....                                  | 77        |
| (1) 蒸发 .....                                     | 77        |
| (2) 结晶 .....                                     | 78        |
| (3) 循环 .....                                     | 78        |
| 3. 有效的阻力 .....                                   | 79        |
| (1) 蒸发 .....                                     | 79        |
| (2) 结晶 .....                                     | 80        |
| (3) 循环 .....                                     | 81        |
| 4. 温度对结晶及循环的效应 .....                             | 83        |
| 5. 真空罐循环的测定 .....                                | 85        |
| 6. 循环图型的测定 .....                                 | 87        |
| 7. 循环图型及其意义 .....                                | 90        |
| 参考文献 .....                                       | 98        |
| <b>第十一章 真空罐内的自然循环和机械循环 (附操作<br/>与测试记录) .....</b> | <b>99</b> |
| 1. 真空罐内的循环 .....                                 | 99        |
| (1) 导言 .....                                     | 99        |
| (2) 汽鼓式真空罐的降液管和管子 .....                          | 99        |
| (3) 旋管式真空罐 .....                                 | 101       |
| (4) 环形汽鼓 .....                                   | 101       |
| (5) 罐底的形状 .....                                  | 103       |
| (6) 加热面上通蒸汽的一面 .....                             | 103       |
| (7) 浮式汽鼓 .....                                   | 106       |
| (8) 补充排气口 .....                                  | 106       |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| (9) 自然循环的速度.....                        | 107 |
| (10) 真空罐内的温度状况 .....                    | 108 |
| (11) 60純度物料的沸点升高 .....                  | 110 |
| (12) 静压头的损失.....                        | 111 |
| (13) 熬煮的温度图.....                        | 112 |
| (14) 熬煮精糖糖膏的温度-压力图 .....                | 114 |
| (15) 观察罐温度所得到的重要事实.....                 | 117 |
| (16) 罐温度的研究.....                        | 117 |
| (17) 自然循环的真正的机理 .....                   | 122 |
| (18) 糖膏的热传导率 .....                      | 123 |
| 2. 机械循环的改进 .....                        | 124 |
| (1) 导言 .....                            | 124 |
| (2) 旧式循环器 .....                         | 124 |
| (3) 机械循环的必要性 .....                      | 126 |
| (4) 设计的基础 .....                         | 126 |
| (I) 試驗循环器的数据   (II) 位移的数据   (III) 遇到的困难 |     |
| (IV) 进一步的发展   (V) 进料的控制                 |     |
| (5) 所需的轉速和动力 .....                      | 130 |
| (6) 机械循环的好处.....                        | 131 |
| (7) 比較速度曲綫.....                         | 133 |
| (8) 晶体的質量 .....                         | 134 |
| (9) 結論 .....                            | 135 |
| 3. 滿意的真空罐操作所需的设备和操作条件 .....             | 135 |
| (1) 导言 .....                            | 135 |
| (2) 稳定的操作条件 .....                       | 136 |
| (3) 真空度控制 .....                         | 136 |
| (4) 稳定的蒸汽压力 .....                       | 136 |
| (5) 仪表控制 .....                          | 136 |
| (6) 过饱和度的控制.....                        | 137 |

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| (7) 蒸汽流量计 .....                                                | 137 |
| (8) 结晶 .....                                                   | 137 |
| (I) 自然起晶   (II) 刺激起晶   (III) 投种起晶                              |     |
| (9) 对真空罐操作的重要观察 .....                                          | 142 |
| (I) 初生晶核的均匀度   (II) 小晶粒长得更快   (III) 晶粒的<br>养成   (IV) 临界点       |     |
| (10) 真空罐的测定 .....                                              | 147 |
| (I) 罐的描述   (II) 装备   (III) 对这种设计的评价<br>(IV) 测定实绩   (V) 测定结果的评价 |     |
| 4. 世界制糖工业中应用的机械循环器 .....                                       | 160 |
| 参考文献 .....                                                     | 161 |
| <b>第十二章 糖膏的冷却助晶</b> .....                                      | 163 |
| 1. 导言 .....                                                    | 163 |
| 2. 蔗糖在纯溶液和不纯溶液中的溶解度 .....                                      | 164 |
| 3. 蔗糖的结晶速度 .....                                               | 172 |
| 4. 助晶工序的历史 .....                                               | 178 |
| 5. 助晶箱型式及冷却装置 .....                                            | 179 |
| 6. 冷却元件的结构材料和形状 .....                                          | 184 |
| 7. 各类糖膏的传热系数 .....                                             | 184 |
| 8. 适用于各类糖膏的冷却元件的转速 .....                                       | 186 |
| 9. 助晶箱的传动和功率消耗 .....                                           | 187 |
| 10. 助晶箱的管理和控制仪器 .....                                          | 188 |
| 11. 助晶箱内冷却装置的维护 .....                                          | 190 |
| 12. 各种糖膏有效地冷却所需的时间 .....                                       | 191 |
| 13. 甲糖膏使用快速冷却以减少糖膏总量。简化的<br>煮糖系统 .....                         | 192 |
| (1) 四段煮糖系统 .....                                               | 192 |
| (2) 三段煮糖系统 .....                                               | 194 |
| 14. 助晶箱内二次结晶的生成 .....                                          | 197 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 15. 助晶箱的装设、糖膏泵的使用 .....            | 198 |
| 参考文献 .....                         | 199 |
| <b>第十三章 糖膏在助晶箱中的处理</b> .....       | 201 |
| 1. 导言 .....                        | 201 |
| 2. 过饱和度 .....                      | 202 |
| (1) 过饱和系数 .....                    | 202 |
| (2) 饱和温度 .....                     | 203 |
| (3) 饱和仪的用法 .....                   | 203 |
| (4) 助晶箱实际操作中的过饱和度 .....            | 204 |
| 3. 粘度 .....                        | 205 |
| (1) 糖蜜和糖膏的流变学 .....                | 206 |
| (2) 非糖物组分对粘度的效应 .....              | 207 |
| (3) 总干固体对糖蜜粘度的效应 .....             | 207 |
| (4) 温度对糖蜜粘度的效应 .....               | 209 |
| (5) 糖蜜的纯度与粘度的关系 .....              | 210 |
| (6) 还原物—灰份比与粘度的关系 .....            | 212 |
| 4. 晶体的含量和大小 .....                  | 213 |
| (1) 晶体含量 .....                     | 214 |
| (2) 晶体的大小 .....                    | 214 |
| 5. 晶体的运动 .....                     | 216 |
| 6. 冷却 .....                        | 216 |
| 7. 再加热和稀释 .....                    | 219 |
| 8. 电导率控制 .....                     | 220 |
| 9. 糖蜜的提净率 .....                    | 221 |
| 10. 摘要和结论 .....                    | 222 |
| 参考文献 .....                         | 224 |
| <b>第十四章 从低级糖膏中收回最大量的结晶蔗糖</b> ..... | 227 |
| 1. 导言 .....                        | 227 |
| 2. 相律的研究 .....                     | 230 |



|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| (1) 低共熔混合物对饱和的 (介稳的) 蔗糖溶液 ..... | 238 |
| (2) 卡尔斯荷芬的計算最終糖蜜中細小晶体的方法 .....  | 239 |
| 3. 水合糖-盐化合物 .....               | 241 |
| 4. 含非蔗糖成份溶液中的蔗糖溶解度 .....        | 243 |
| 5. 不纯溶液中蔗糖的结晶速度 .....           | 243 |
| 6. 某些实际的問題 .....                | 246 |
| 7. 最终糖蜜的提淨率 .....               | 247 |
| (1) 統計的标准純度 .....               | 250 |
| (2) 根据提淨試驗判断最終糖蜜純度的方法 .....     | 257 |
| (3) 粘度与提淨率 .....                | 261 |
| (4) 糖蜜提淨的进展 .....               | 274 |
| 参考文献 .....                      | 276 |

## 第八章 測定热的传递作为一种測定工厂糖汁的粘度及过飽和度的間接方法

波茲窩尔斯 (R.C.L. Bosworth) 著

(澳大利亚, 新南威尔士工业大学物理化学教授)

### 1. 导 言

煮糖的目的在于生产一种晶粒十分均匀的砂糖。为了达到这个目的, 首要的条件是要控制好晶体长大时的结晶速度。原则上, 保持在溶液中的晶体表面, 只有当溶液的浓度超过饱和浓度时, 才会长大起来。这样的溶液称为过饱和溶液。

若过饱和溶液的过饱和度保持不变时, 则在该溶液中, 晶体表面的生长速度也是恒定的。早期的晶体生长动力学的研究, 证明了这种速度是与过饱和度成正比的 (已于第4章中解释)<sup>1</sup>。麦克开贝 (McCabe)<sup>2</sup> 进一步发现了在体积上的生长速度与晶体的表面积成比例。一个晶子保持在过饱和溶液之内, 在初期, 每单位时间内只有比较少量的糖份加在晶体上, 但是, 由于晶子的表面积增大了, 因此晶体的生长速度也加快。

要控制生长速度就必须控制过饱和度。某些控制过饱和度的方法是一个比较直捷的过程。加快与结晶速度有关的蒸发速度时, 从溶液中除去水份的速度远比糖份的结晶速度为快, 这样, 就可提高溶液的过饱和度。在过饱和溶液中, 加入任何一种饱和或未饱和溶液或水时, 其过饱和度必然下降。因此, 若我们能指出煮糖操作在任何阶段的过饱和度, 同时能指出在实践时最适的过饱和度; 则煮糖过程将很容易了然。结晶速度只能通过直接的

或间接的过饱和度的测定来加以控制。

虽然过饱和度是有规则地随浓度的增加而增大，但是浓度的直接测定不能代替过饱和度的测定，因为溶液的饱和浓度是随其温度和纯度的变化而改变的。幸而粘度的特性与过饱和度的测定有相当密切的关系，因此，粘度的测定，或某些与粘度密切关联的物理性质的测定，例如热的传导及电导，可以作为测定过饱和度的一种间接的方法。

## 2. 粘度与过饱和度的关系

在任何固定的浓度下，糖液的粘度随温度的升高而迅速下降。在一定的温度下，溶液的粘度随浓度的增大而迅速上升，特别是在浓度较大的范围内。在任何固定的浓度下，过饱和度随温度的上升而下降，因为温度的上升提高了溶解度。从总的效果来看时，若固定溶液的过饱和度而改变其温度，则可以得到两种相反的效应。现假定温度是升高的。于是粘度会因温度较高而趋于降低，但是，在较高的温度下，为了保持相同的过饱和度，溶液的浓度必须较大，这时粘度又趋于增大。从总的效果来说，过饱和度固定在一定的水平时，温度引起粘度的变化是不大的。米切利及德·古来<sup>3</sup>曾经发表了一系列在固定过饱和度下的粘度—温度曲线。图 8/1 所示是这两位作者所获得的一些数据。这些曲线是粘度—温度曲线。实线表示固定浓度而虚线则表示固定过饱和度。图 8/1a 是从纯蔗糖溶液所获得的数据，图中指出了在过饱和度固定时，粘度随温度的升高而有所降低，但是，温度在 60°至 80°C 之间时，粘度则趋于稳定。其余 b、c 及 d 图的数据都是取自工厂的不同纯度的糖汁，这些图指出了，在工作的温度范围内粘度—温度曲线有一个最低值。

这些曲线在物理学上是意味着，粘度的测定或任何其他与粘度有直接关系的特性的测定，可以用来决定在任何温度下的过饱和度和，而在这温度范围内，曲线是明显地平行于温度座标的。

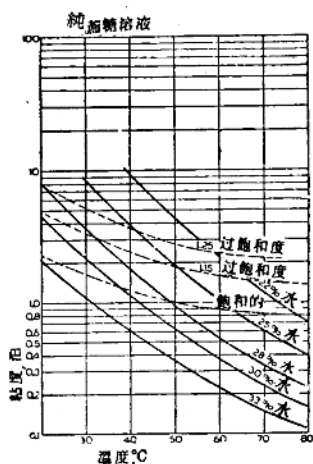


图 8/1a 粘度与过饱和度之间的关系 (1)

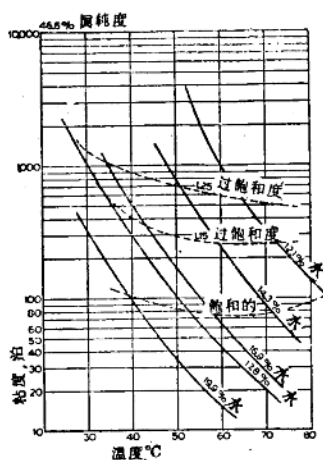


图 8/1b 粘度与过饱和度之间的关系 (2)

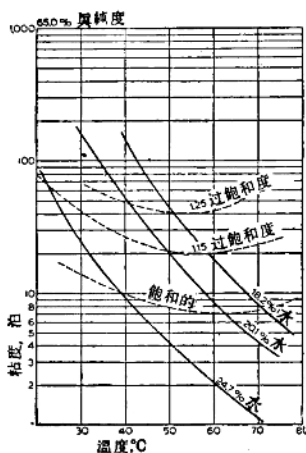


图 8/1c 粘度与过饱和度之间的关系 (3)

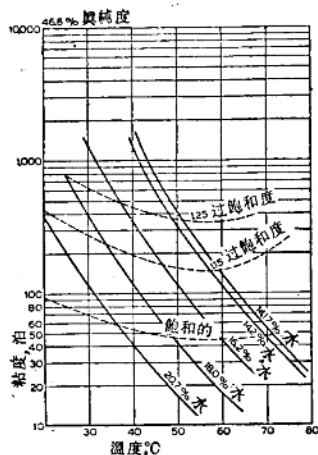


图 8/1d 粘度与过饱和度之间的关系 (4)

测定粘度的最方便的间接方法之一是电导测定法。对于含一定数目带电荷离子的液体，影响其电导率的决定性因素是这些离子在电力的作用下能够移动的速度。而离子的移动速度又受液体粘度所产生的摩擦力所控制，从而也受过饱和度的控制。根据米切利及德·古来所得出的关系。这种关系在工业上的应用已于第7章内叙述。本章的目的只需指出，电导率的控制与其他间接测定类似粘度方法的控制有关，特别是与那些决定于热传导测定的方法有关。

### 3. 热传递的测定

在一个标准固体表面与所要测定的糖膏之间的总传热系数是一种比较容易测出的物理量，它主要是受糖膏的粘度所支配，同时从上述的观点来看，它又受过饱和度所支配。

可是，在我们探索过饱和度与传热系数之间的关系之前，必须最先考虑到在不同的操作条件下相对传热系数的实际测定的方法。

传热系数 ( $h$ ) 可以用在单位时间内于单位总温度差之下所通过单位面积的热量来测出，即：

$$h = \frac{1}{A\theta} \cdot \frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

式中：

$\frac{dQ}{dt}$  —— 热的流动速度

$A$  —— 面积

$\theta$  —— 温度差

用仪器测定或记录  $h$  时，将热量送于固定尺寸的固体上（或从固体上除去）；而固体与流体之间的温度差则在固定的输入热量速度之下记取。可以交替调节热量的输入（正的或负的），以达到预定的温度差。在任何情况下，传热系数是与下列比率成比例的：

在杜兰甫 (Tromp)<sup>4</sup> 所描述的沸腾热传递记录器中, 用蒸汽将位置适当的小的铜制器皿加热至恒温, 热量通过加热面的流动速度是与蒸汽在器皿内的冷凝速度成比例的。冷凝水用一个汽穿排出并计量之。在单位时间内所收集的冷凝水容积是与传热系数成正比的; 若糖膏的温度变动较大, 必要时可通过调节冷凝水的容积予以校正。

在笛特马尔·詹西 (Ditmar Jansse)<sup>5</sup> 所描述的一种改良过的仪器中, 测定的器皿用流动的冷水来冷却, 加入的冷水保持恒定的温度及恒定的流量。这时热量自液体传至固体, 引起水在固体内循环时的温度上升, 同时由于水的流量保持不变, 这热量与温度上升成正比。

波兹窝尔斯 (Bosworth) 及杜罗依 (Duloy)<sup>6</sup> 曾经描述了一系列测定相对传热系数的电仪器。图8/2 (见281页) 所示是这些仪器的两种型式, 图8/3 (见281页) 是第三种型式。图8/2中右边的那种型式是最原始的。

这个仪器是安装在一个用胶合的酚醛型塑料绝缘物制的管塞上, 以便旋入1吋外径的管子而插进煮糖罐内。四根电线穿过酚醛型塑料管塞。用一对短的 (约2厘米) 标准线规为23的镍铬合金V的导线通入电流以加热。在这导线中段的银焊处 (用最少量的焊剂) 是一个小的标准线规为32的铜-康铜热电偶。热电偶的第一个接头吸收了电热线的温度。第二个接头与第一个接头相距约5毫米, 在照片中清楚地看出它好象是一个球体, 它吸收导线周围流体 (或糖膏) 的温度。通入电流将镍铬合金线加热至任何所需要的温度时, 热电偶所示的读数将与固体至液体之间的温度差 $\theta$ 成比例。

图8/2左边的仪器 (中央是它的剖视图) 是一个改进过的间接

加热的仪器。电加热器是绕在一个双孔瓷球上的细小的镍铬合金线圈，如中央的图所示。这线圈是垂直地通过空的蒙涅尔合金小囊的末端引出，并用云母片将它作电的而不是热的绝缘如中央的图未绕线的部分所示。热接头是在内部焊接于小囊的头部，而冷接头则在外部焊接于小囊的底部。所用的热电组合是蒙涅尔-铜，它的热电能力与康铜-铜相差不大。

图8/3所示是一种形式比较紧凑的间接加热仪器的外表及其详细结构。在这两种形式的仪器中，用来有效地测定传热系数的热接头是放在加热面的内部。当发现加热面上有易于缠着纤维、带毛等等不正常现象时，必须采用这种结构，否则缠着物会构成不大确定的热的性能。

#### 4. 电仪器的原理

因为加热的导线或加热器的线圈是用合金电阻线构成的，它的电阻几乎不因温度的变化而改变。以 $R$ 表示电阻，当电流 $I$ 通过加热器时，则每单位时间内消耗的电量或产生的热量（亦即公式

(1) 中的  $\frac{dQ}{dt}$ ) 为  $I^2 R$  瓦。

对于任何固定的仪器， $R$ 可以认为是不变的。这样，单位时间内所产生的热量及最后消散于加热体周围的流体中的热量是与  $I^2$  成比例。

其次，电流表的偏转角 ( $G$ ) 与温度差  $\theta$  成正比。因此，所需的传热系数与  $I^2/G$  成比例。

对于性质未知的流体，其传热系数可用上述任何一种形式的仪器，将其  $I^2/G$  值与某些标准液体的  $I^2/G$  值相比较而测出。

进行这些测定所用的附属装置很简单，它包括：

- (1) 一个降压的变压器，输出大约32伏的交流电压；
- (2) 一组热检波器真空管，附有开关，以便在较长期间中控制电流在一组固定的数值内；

(3) 一个交流安培表(0~12安的标尺)以测定加热电流;

(4) 一个灵敏的电流表以测定热电偶所产生的小的电动势。

加热电热线仪器所用的电源,交流电胜于直流电,否则在热电偶与电热线的焊接处,任何不对称都会使热电偶线路中增加假的直流电动势,而当加热电流反转时,电动势的符号则改变。在间接加热的仪器中,热电偶线路与加热器线路是电绝缘的,因此无论是交流电或直流电均可用来加热。

由于间接加热导线的热容量较大,因此无论在改变加热电流或改变浸没仪器的流体的性质之后,需要较长的时间才能达到热平衡。图8/2中的直接加热的导线,不需20秒钟便可达到热平衡。间接加热的小囊则需要10分钟。在进行真空罐控制时,较长的延滞时间是一个特殊的优点,因为它可消除由于气泡通过测定仪器而引起的混乱的波动。

## 5. 静止状态的热传递

当一个固体放在静止流体中加热或冷却时,只要加热不太强烈以致引起沸腾或者冷却不太强烈以致引起结冰,则传热的速度可以从简单的自然对流公式求得。对于长的圆柱体水平地保持在和糖膏的对流模数一样低的流体中,这个公式具下列的形式:

$$\frac{hd}{k} = 0.49 (ad^3\theta)^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

式中:

$a$ ——流体的对流模数

$k$ ——流体的导热系数

$d$ ——固体物的直径

$\theta$ ——温度差

数量 $a$ 又可用较易于寻求的特性来表示:



$$\alpha = \frac{c_P \rho^2 g \beta}{\eta k} \quad (3)$$

式中：

$c_P$ ——在恒压下的比热

$\rho$ ——密度

$\beta$ ——立体膨胀系数

$\eta$ ——粘度

$g$ ——重力加速度

以公式 (3) 代入公式 (2) 时，可得：

$$h = 0.49 (d^{-\frac{1}{4}} k^{\frac{3}{4}} \rho^{\frac{1}{4}} c_P^{\frac{1}{4}} g^{\frac{1}{4}} \beta^{\frac{1}{4}} \eta^{-\frac{1}{4}}) \theta^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

同时这个因数是与前节所讨论的电仪器的  $I^2/G$  值成比例的。

首先必须指出， $h$  随  $\theta$  的变化而增加甚慢，因此，在静止流体中测定热之传递，严格来说只能在取可比较的  $\theta$  值下进行。

传热系数除了决定于  $\theta$  及  $d$  之外，还与  $k$ ,  $\rho$ ,  $c_P$ ,  $\beta$  及  $\eta$  等特性有关，这些特性中的每一种，均受过饱和度的影响，而可能不受温度及纯度的影响。可是，若考虑了这些特性彼此之间的已知的关系时，可能把问题简化。

例如，立体膨胀系数 ( $\beta$ ) 可以表示为：

$$\beta = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$$

式中的  $\frac{d\rho}{dT}$  是在恒定成份时密度对温度的变化，对于蔗糖溶液，它可从温度对糖锤度读数的改正表中读出，同时对于我们感兴趣的温度及密度范围内， $\frac{d\rho}{dT}$  几乎与浓度无关，从而也与过饱和度无关。

在公式 (4) 中除去那些常数因素时，可得：

$$h \propto (k^{\frac{3}{4}} \rho^{\frac{1}{4}} c_P^{\frac{1}{4}} \eta^{-\frac{1}{4}}) \theta^{\frac{1}{4}}$$