

粮油贮藏学

郑州粮食学院粮油贮藏教研室

一九八三年十一月

第一章 粮油贮存的物理变易因素	1
第一节 粮堆的组成、粮堆的生物成分 与非生物成分	1
第二节 粮堆的物理性质	3
第三节 贮藏水分、温度及其变化关系	25
第四节 露点、结露测定与预防	37
第二章 贮存期间粮食的生理变化	42
第一节 贮存期间粮食的生理变化	42
第二节 呼吸作用	42
第三节 后熟作用	55
第三章 粮食的化学组成与贮存期间的品质变化	63
第一节 粮食化学成分与贮存的关系	63
第二节 贮存期粮食的品质变化	64
第三节 品质劣变指标	95
第四节 贮存期中粮食的品质控制	106
第四章 粮食的发热霉变	107
第一节 粮食发热的定义	107

第二节	粮食发热的主导因素学说	108
第三节	促进发热霉变的条件	109
第四节	发热霉变的类型	113
第五节	发热霉变的过程	115
第六节	发热霉变的后果及预防	116
第五章	常规贮粮	127
第一节	仓房类型与贮粮性能	127
第二节	堆放方式	130
第三节	常规贮粮管理	139
第四节	常规贮粮检查	142
第五节	常规贮粮技术	144
第六章	低温贮粮	159
第一节	国内外贮粮低温的进展	159
第二节	低温贮粮依据	161
第三节	自然低温	168
第四节	机械通风低温	177
第五节	机械制冷	187
第六节	低温粮库的设计	210

第七节 制冷贮粮效果	219
第七章 缺氧贮粮	225
第一节 自然缺氧保粮	225
第二节 充氮保粮	232
第三节 充二氧化碳保粮	239
第四节 脱氧贮粮	245
第八章 地下贮粮	258
第一节 地下贮粮发展概况	258
第二节 地下贮粮原理	261
第三节 地下粮仓的隔热防潮	264
第四节 贮粮性能与品质	268
第五节 地下仓的贮粮管理	275
第九章 化学保粮	278
第一节 化学保粮的作用	279
第二节 常用化学保粮剂概述	283
第十章 廐粮贮粮	295
第一节 稻谷贮粮	296
第二节 小麦贮粮	316

第三节	玉米贮藏	327
第四节	高粱贮藏	343
第五节	谷子贮藏	347
第六节	豆类贮藏	348
第七节	油料贮藏	351
第十一章	成品粮的贮藏	368
第一节	大米贮藏	368
第二节	面粉的贮藏	386
第十二章	油品贮藏	396
第一节	油品在贮藏中的变化	396
第二节	影响油品变质的环境因素	397
第三节	油品的贮藏管理	400
第十三章	薯类贮藏	411
第一节	薯干贮藏	411
第二节	甘薯(鲜薯)贮藏	416
第十四章	种子贮藏	428
第一节	种子品质应具备的基本条件	428
第二节	种子贮藏期间的生理特性	429
第三节	影响种子寿命的因素	429

第一章 粮油贮藏的物理变异因素

第一节 粮堆的组成、粮堆的生物成分与非生物成分

粮食颗粒堆聚而成群体叫做粮堆。一斤稻谷约 20000 粒，小麦 15000 粒，玉米约 1500—2000 粒，蚕豆约 400—600 粒，菜籽最多约 17000—240000 粒，一般仓房堆粮如以一百万到五百万斤计称，组成的粮粒就会达到一个相当大的数目。

堆积而成的粮堆经过检验就可明显地看出它是由许多部分组成的，生物成分与非生物成分。包括：

- 一、基本粮粒——粮堆最基本的组成部分
- 二、有机与无机杂质
- 三、一定数量和种类的微生物
- 四、已感染粮食的贮粮昆虫与螨类
- 五、粮粒间孔隙中的空气。

由生物成分与非生物成分组成的粮堆，有它自己固有的生物特性与物理特性。粮食贮藏中所发生的一些变化与影响都是发源于并受制于生物和非生物变异因素及其相互作用，粮堆的物理与生物的主要性质概要如下图示（1—1）。影响粮食安全贮藏或粮食变质的主要物理性质为粮食的散落性和自动分级分层的趋向，粮粒间的空间（孔隙度），对于各种蒸汽和气体的吸收、吸附和解吸能力，热传导，“热湿传导”与热容量等。所有粮堆还都具有若干基本生物性质每一种性质都可以影响许多物理、化学与生物的变异因素或者这种性质受这些变异因素的影响，这些性质包括寿命、生活力、呼吸作用与代谢生理，后熟以及在贮藏中的发芽，这些物理和生物性质在贮藏中都很重要。

图 1—1 粮堆的物理与生物性质对粮食的影响和主要环境

• 2 •

变 另 因 素 对 粮 堆 性 质 的 形 响。

这个分类是根据许多工作者的资料汇编的，根据 *Grain storage* "1973"。

1. 体 积、弹 性、表 面 状 态、下 脚、垂 另、水 分。

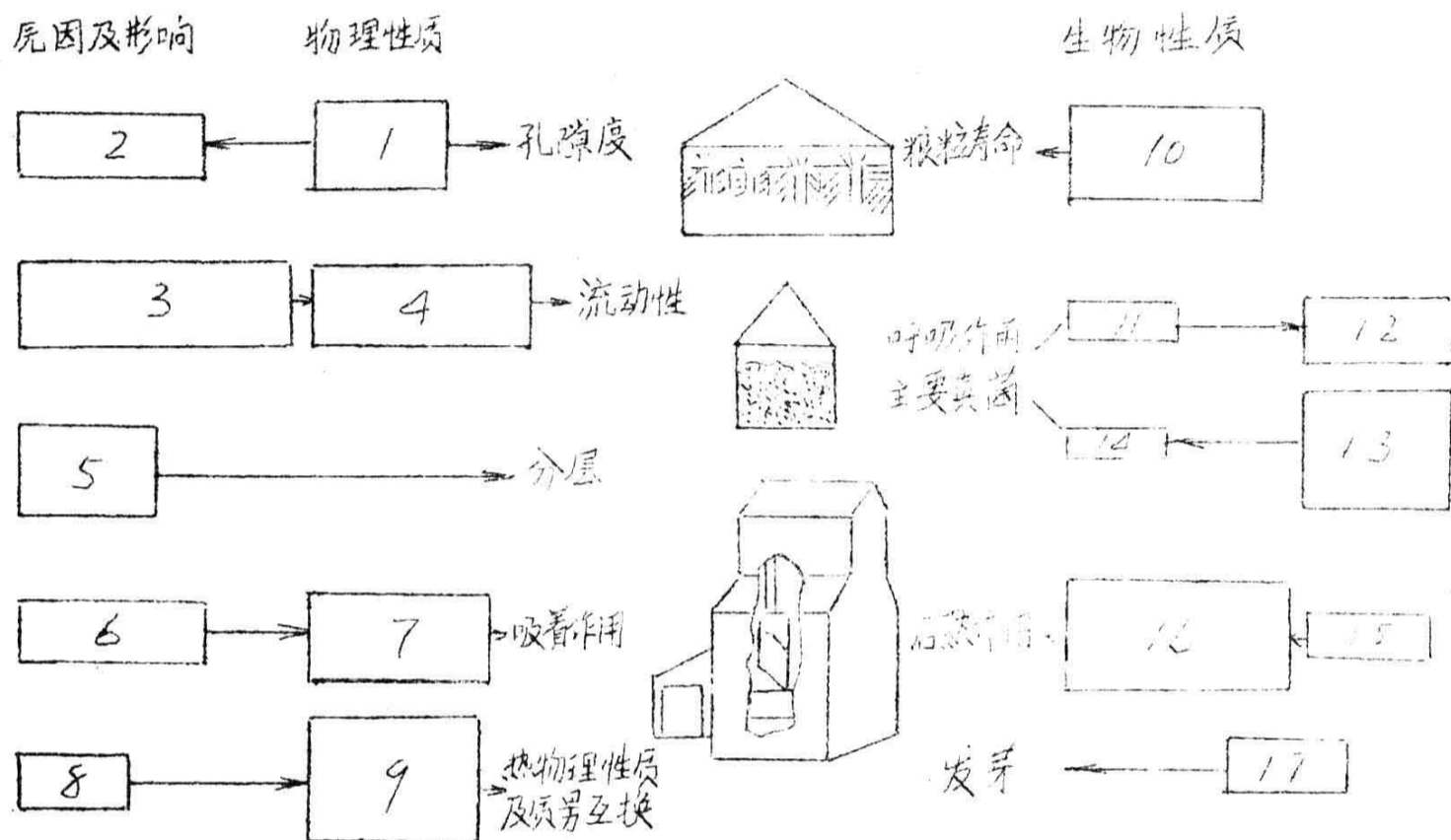


图 1 — 1

2. 空气流动，热的移动，水分的移动，粮食的健康
3. 体积（大小及形状），下脚质量另和故另（表面形状与状态），水分、粮粒（性质与状况）
4. 内摩擦角、摩擦角，内摩擦系数，摩擦系数。
5. 散落性、仓房体积，固体的异质性，水分。
6. 运输、粮食的孔隙度，粮粒间的空隙
7. 解吸作用，吸收作用，毛细管凝结吸附，化学吸着。
8. 体积、气候，粮种。
9. 热容量、传导、辐射，对流蒸发凝结吸附，扩散
10. 时间、蛋白质、退化、粮种、低温及水分微生物菌落。

11. 厌气、好气，
12. 垂另损失、水分、粮粒间空气中的二氧化碳，温度升高
13. 水分、温度、通气、成熟度、收获及销售、大小及形状良好状态、种与品种。
14. 强度
15. 温度、通风、水分。
16. 发芽能力，淀粉酶的活度，蛋白质合成，非蛋白质氮、呼吸作用、对虫害侵染的易损失性。
17. 温度、通风、水份。

第二节 粮堆的物理性质

粮堆具有主要的五个物理性质，这些物理性质互相关连，同时影响别的或者被的物理和生物的变另因素所影响。

一、孔隙度：

孔隙度是由粮粒本身的胶体性质与粮堆中存有粮粒间的空间所造成的，孔隙度的大小随粒的形状和大小，弹性表凸状态，杂质多少，重量、坚实程度，储藏期限以及粮堆内水分的分布等而有所不同，这些物理性质又影响空气、热能、水分在粮堆内的流通。它们综合在一起影响粮食贮藏的稳定性。

粮堆内存在孔隙，它是构成粮堆内外气体交换的基础。在粮堆总体积中孔隙所占的体积的百分数称为孔隙度。粮堆除去孔隙度所占体积，剩下的粮粒与杂质所占的体积百分数称为密度。所以整个粮堆的体积就是孔隙体积和粮粒、杂质体积的和。

粮粒形态、大小、表凸状态、含水另，杂质的特征与数量，仓库的特征与规模、入仓条件、堆高、贮藏条件等都能影响粮堆的孔隙度和密度。粮粒大、完整、表凸毛糙的孔隙度就大、反之粒小、破碎粒多，表凸光滑的，孔隙度就小。含细小杂质多的，

..4..

可降低粮堆孔隙度。对于一个粮堆来讲，各部位之间的孔隙度是不均衡的。特别是自动分级很明显的情况下，更为突出。粮堆底层所受压力大，则孔隙度较小，此外，粮堆吸湿膨胀以后，也会造成孔隙度降低。

粮食的密度和孔隙度都用百分率表示。可根据粮食的容重和比重来推算：

$$\text{密度} = \frac{\text{容重}}{\text{比重}} \times 100\%$$

$$\text{孔隙度} = \left(1 - \frac{\text{容重}}{\text{比重}}\right) \times 100\%$$

$$\text{或} = (1 - \text{密度}) \times 100\%$$

表 1-1 几种主要粮食的孔隙度

粮 种	孔 隙 度 (%)
小 麦	35 ~ 55
百 粉	40 ~ 60
初 谷	50 ~ 65
大 米	43
玉 米	35 ~ 55
玉 米 面	20 ~ 40
高 粱	30 ~ 35
黄 豆	38 ~ 43
粟	30 ~ 50

粮食的密度与孔隙度在粮食贮存上有很大的意义。粮堆中孔隙度是保证粮堆内气体与外界气体交换的必要条件，是粮粒正常生命活动的环境，孔隙中的空气流通，粮堆内的温湿度易于散发粮食或耐贮。如果孔隙度小，气体交换不足，温湿度高时，粮堆

的湿热郁积不易散发，就易引起发热、霉变、降低发芽力。所以粮堆中有一定的孔隙，能保证粮食气体交换是必要的。

孔隙度大的粮堆，使用熏蒸药剂杀虫时，有利药剂渗透，杀虫效果好，同时散气也较快。

孔隙度小能节省仓容，孔隙度大的粮食则相反。

粮堆机械通风就是利用粮堆中有孔隙，能与外界进行气体交换的原理。根据孔隙度，就能确定孔隙中空气的容积，从而按照实验需要的空气交换次数（整个粮堆中孔隙的空气的体积等于通风时交换一次），计算风量。

二、散落性

组成粮堆的粮粒是一种散粒体。由于粮食颗粒小，内聚力小，绝对重量不同等原因，在移动时表现出各种不同的流动性，在自然形成粮堆时，向四面流动成为一个圆锥体，这种性质称为粮食的散落性。各种粮食的散落性不同，通常用静止角表示。

静止角就是粮食不受任何阻挡或限制，因重力落下，自然形成的圆锥体，以圆锥体的斜面线和底面直径所组成的角度。粮食的散性越大，静止角越小，反之，则静止角越大。

粮粒停留在圆锥体的斜面上，不继续落下，是由于下述原因，粮粒在圆锥体斜面上受重力 G 的作用，重力 G 可分解为 P 及 N 两个分力， P 是使粮堆下落的力， N 是粮粒对圆锥体斜面的压力，粮粒间的摩擦系数是 f ，所以 $N \times f$ 即粮粒间的摩擦力 F ， F 是沿圆锥体向上的力，阻碍粮粒下滑。如 $P > F$ 时粮粒继续下滑，如 $P \leq F$ 时粮粒停留在斜面上。

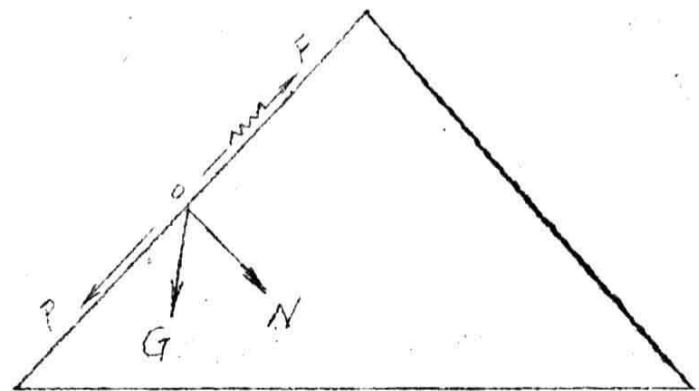


图 1—2 散落性图

自流角是粮粒在不同材料的斜面上，开始移动的角度，也就是粮粒下滑的极限角度。所以自流角与粮食的散落性有关。

表 1—2 主要粮种的静止角

粮 种	静止角(度)		变 动 范 围 (度)
	起	止	
小 麦	23	38	15
大 麦	28	45	17
玉 米	30	40	10
初 谷	37	45	8
大 米	23	33	10
糙 米	27	28	1
黄 豆	24	32	8
豌 豆	22	28	6
黍	20	25	5
芝 麻	24.70	30.50	5.8
油 菜 籽	20.50	27.60	7.10

影响粮食散落性的因素

粮粒的大小、形状、表面光滑程度、比重、杂质含量、均对粮食的散落性有影响。大粒、饱满、粒形圆、比重大、表面光滑杂质少的粮食散落性大；反之则散落性较小。如豌豆粒圆光滑，散落性比初谷大，粮食中含有谷壳、叶片时，散落性会降低，此种粮食水分含量对散落性也有影响，水分增大，粮粒之间的摩擦力增大，因而散落性就会降低。

表 1—3 粮食含水率与静角的关系

粮 种	水分 (%)	静止角(度)
水 初	13.7	36.4
	18.5	44.3
小 麦	12.5	31
	17.6	37.1
玉 米	14.2	32
	20.1	35.7
大 豆	11.2	23.3
	17.7	25.4
豌 豆	17.4	26.0
	18.2	28.0

粮食散落性在生产实践中的应用：在粮食贮存过程中，由水分增大、或发生发热、霉变、结块现象时，散落性会降低。严重的发热霉变结块粮食常形成 90° 的直壁状，完全丧失了散落性。因此，散落性在一定程度上可以反映粮食贮存的稳定性。

散落性大的粮食，在运输装卸过程中，容易流散，对于装车装船、入仓坐用，以及出仓卸粮，操作都较方便，节省劳力与时间。

由于不同粮食的散落性不同，对仓壁的侧压力不同，所以堆装时也应考虑粮食的散落性。散落性大的粮种，如豌豆、大豆等应适当降低堆装高度，如初谷、大麦等散落性小的粮种，可以适当增加高度，充分利用仓容。

在生产实践中，在什么情况下，用静止角的最小值，什么情况下，用最大值，要视其应用的目的而定。在计算粮食对仓库的侧压力时，就要应用最小值。如初谷 34° ，小麦 28° ，以保证安全。

所以初谷仓改装小麦，就要降低装粮高度。在确定仓库容量时或在输送粮食安装淌管时，则应用其最大角度。因粮食静止角愈小对仓壁侧压力愈大，堆放过高，能使仓壁倾裂甚至倒塌。同时，在输送中不至由于静止角小的粮食不能流下。

三. 自动分级

粮食在移动时，同类型颗粒和杂质集中在粮堆的某一部分，引起粮堆组成成分的重新分布，这种现象称为自动分级，例如小麦在形成粮堆时的自动分级现象，是从顶口到底口各口位的品质呈现了有规律分布。破碎粒，轻浮夹杂物，杂草种籽，瘪粒等底部较顶部为多。（表1-4）。

表1-4 小麦的自动分级

品质指标	在圆锥堆的顶部	在圆锥堆的底部
容重 (克/升)	70.7	66.7
绝对重量 (干物质、克)	16.3	15.2
破碎的种籽 (%)	1.84	2.20
各种轻的混杂物 (%)	0.51	2.14
杂草种籽	0.32	1.01
砂粒	0.13	0.49
瘪粒	0.09	0.47

粮食产生自动分级的原因：主要是粮堆具有各种不同状态的颗粒（大小不同、成熟度不同、完整与破碎），与各类夹杂物，它们的散落性各不相同，以及这些粮食与夹杂物的比重和落下时，受空气气流的浮力与流动方向的影响不同的综合作用而引起的。

粮食进仓时的自动分级现象，一般房式仓用人工进粮，没有

明显的自动分级现象。如用输送机械进仓时，就会有明显的自动分级现象。这是因为粮食下落距离大，饱满的粮粒和沉重的杂质汇集在输送机落下粮堆的中央部分，而沿输送机退出的两侧，粮堆中就有较多的瘦小破碎粮粒，草杆等轻浮杂质；如在露天情况下，用输送机装露天垛囤固时，瘦小破碎粮粒轻浮杂质等集中在下风部位，呈现明显的自动分级现象；圆筒仓进粮，粮食通过平运输送带倒入30米高的筒仓中；发生明显的自动分级现象。由于空气对仓壁形成漩涡运动，把瘦小粮粒及轻浮杂质抛向筒仓四周墙壁处，同时也有一些沿着已落下的粮粒顺粮堆表面滑下，所以在筒仓四周粮食质量较差。

表1—5 谷粒与杂质在筒仓中分布情况

(0₁ 为中心P位、0₅ 为边P)

样品号故 取样P位	容重	野草种籽 (%)	死有机物 (%)	漂浮夹杂 物 (%)	破碎粒 (%)	瘪粒 (%)
0 ₁	704.1	0.32	0.14	0.55	1.84	0.09
0 ₂	706.5	0.34	0.04	0.51	1.90	0.13
0 ₃	708.5	0.21	0.04	0.36	1.97	0.11
0 ₄	705.5	0.21	0.04	0.35	1.99	0.10
0 ₅	677.5	1.01	0.65	2.14	2.20	0.47

粮食出仓时的自动分级现象；如用人工出仓，在粮堆上用撮子往下取粮，取粮的回溜处多聚集轻浮杂质，回溜四周斜口中腰部分则灰尘较多。如果通过筒仓平运输送带出粮时，流出的顺序呈现着一定的规律性，先由中央开始，再由上而下的从两边先后流出。所以流出的粮食质量在不同时间内发生很大差异。开始流出的质量较好，以后渐渐下降，直至最后流出的粮食更差。

此外，粮食在运输过程中，如用输送带输送或车辆输送，在

不断运动的情况下，同样也会发生自动分级，轻的杂质移在上层，重的杂质则下压。

粮食的这种自动分级现象，可以用来清理粮食。如利用风力扬场、风车等去除粮食中的糠灰、杂质和不完善粒等。

自动分级现象与贮藏的关系：自动分级造成了粮堆组成成分的不均一性。杂草种子、破碎粒、不实粒等含水高、吸湿性大，生理活性强。这些杂质聚集在一起，很易引起害虫和微生物活动，造成发热霉变生虫；同时杂质聚集，使局部透气性降低，造成湿热郁积和熏蒸时药剂难于渗入的现象。

防止自动分级的最积极办法是事先清理粮食。此外，可以在入粮口下安装锥形分散口，使粮食均匀向四周散落，减轻产生自动分级现象。

四、导热性

(一) 粮食导热系数和导温系数

导热系数的公式：

$$\lambda = \frac{Q \cdot S}{F \cdot T \cdot (t_1 - t_2)} \text{ 仟卡/公尺·小时}^\circ \text{----- (1)}$$

式中 λ —— 导热系数； Q —— 热量(仟卡)； S —— 厚度

$(t_1 - t_2)$ —— 温度差； F —— 传热面积(公尺)²；

T —— 时间(小时)

导温系数的公式：

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot G} \text{ (公尺)}^2 \text{/小时} \text{----- (2)}$$

式中： a —— 导温系数； G —— 粮食的容重

c —— 粮食的热容量

热容量的计算公式：

$$C = \frac{C_0(100 - W) + W}{100} \text{ 仟卡/公斤} \cdot ^\circ\text{C} \quad \text{--- (3)}$$

式中：C —— 某种水分粮食的热容量

C_0 —— 粮食干物质的热容量 (干淀粉 0.37, 油 0.49)

W —— 粮食的含水量。

导热系数是粮堆的物理性质之一。这个系数值说明：在等温面垂直距离一公尺处，其温差为 1°C 时，由于热传导而在每小时内通过一平方公尺面积的热量。

导温系数是粮堆的又一个物理性质；导温系数 (a) 表示粮堆的热惰性。

粮堆的 λ 值与 a 值都很小。因为粮堆的导热性是包括谷粒本身的热性和谷粒间隙的空气导热性的总和，所以预计导热性并不大，因空气的 λ 值为 0.02 仟卡/米·小时 $^\circ\text{C}$ 。粮堆的实际 λ 值在 0.1 ~ 0.2 仟卡/公尺·小时 $^\circ\text{C}$ 之间， a 值为 $0.15 \times 10^{-4} \sim 6.85 \times 10^{-4}$ 公尺²/小时。

(二) 粮堆的导热性

低的导热系数和低的导温系数，决定了粮堆是个热的不良导体，粮堆对热的传入和传出，以及粮食变热与冷却的速度都很缓慢。

在粮堆中间部分，放入加热到 85°C 的粮食的情况下观察粮堆各层温度变化的实验，其结果如下表。

表 1—6 在粮堆中间部分有热流的情况下
粮堆各层温度的变化

粮 层	粮层深度	实验开始温度 °C	经过下列时间后温度的变化 (分钟)										
			10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
室温的粮食	3cm	18	18	19	19	20	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5	25	26
	6	18	21	27	30	33	34.0	35.5	36.5	37.5	38.5	39	39
加热粮食的中层	12	85	85	84	83	81	79.0	77.0	75.5	73.5	71.5	70.5	69
室温的粮食	18	18	18	19	20	21	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.0	24.5
	21	18	18	18	18	19	19.5	20.0	21.0	21.5	—	—	—

这种普通实验材料也说明：从加热中层散热是很慢的。实验证实粮堆里很难导热。

当粮堆局部发热时，由于粮堆的不良导热性，接近发热层处粮食的温升比发热层中心处得多。

在距离发热层中值百 1.5 米和 2 米处，分别须经 10 和 20 昼夜才开始明显温升，而距离 2.5 米，要经 30 昼夜；距离 3 米处，甚至经 30 昼夜，也察觉不到温升所以在检查粮情，测定粮温时要多设置和合理配置粮温点。

在生产实践中，贮粮温度变化的幅度在正常情况下总是比外温变化的幅度小，在冷天，粮食的温度比外温高，在热天粮温比外温低。

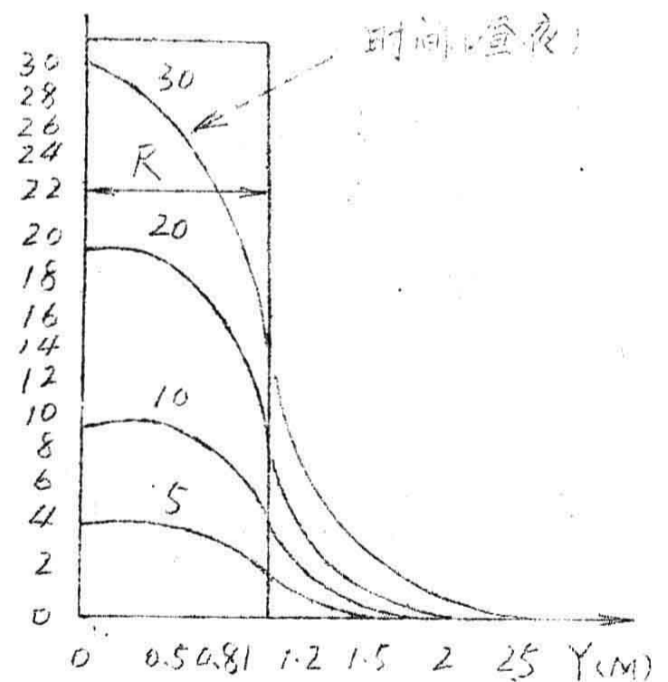


图 1—3 温升与离发热层中值距离的关系

$$AQ = Q - Q_0 (C^{\circ})$$