

航空摄影机的 快门

[苏维也 札卡兹诺夫 著]

科学出版社

航空摄影机的快门

[苏] H. П. 扎卡兹诺夫 著

李德熊 译

科学出版社

1974

内 容 简 介

本书主要介绍各种结构的航空摄影快门的设计计算原理,论述了用解析法和图解分析法计算快门动力的问题,并提出了对快门的使用要求和改进方向。

全书共分七章:快门的型式和对航摄快门提出的使用要求;中心式航摄快门动力弹簧的分析计算法;百叶窗式快门和卷帘式快门的理论和计算;航摄快门曝光时间的调节;航摄快门的图解分析计算法;快速中心式航摄快门;改进快门的方向。

本书可供光学机械工厂设计部门、科学研究所的工程技术人员阅读,也可供测绘院校仪器制造和航测专业的学生阅读。

本书还可作为设计计算普通相机快门和各种摄影记录仪快门的参考书。

ЗАТВОРЫ АЭРОФОТО- АППАРАТОВ

Н. П. Заказнов

Издательство “Недра” 1965

航空摄影机的快门

[苏] Н. П. 扎卡兹诺夫 著

李德熊 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1974 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1974 年 9 月第一次印刷 印张: 3 1/2

印数: 0001 3,650 字数: 75,000

统一书号: 15031·88

本社书号: 411·15-4

定价: 0.38 元

译 序

航空摄影是为测地制图准备原始资料的一种重要方法，也是军事侦察的一种重要手段。从本质上来讲，航空摄影机和一般摄影机并无大的区别。但是由于它的特殊使用条件，例如载体（飞机、气球、火箭、卫星等）是在不断运动之中，拍摄目标距离较远等等，为了获得数量大而质量高的摄影资料，航空摄影机从工作原理到结构都有它的特点。

目前应用的航空摄影机主要有分幅、缝隙和全景三种。后两种原理主要还只是用于军事侦察，它们与一般摄影机在结构上的差别稍大一些。但是它们的快门部分却要简单得多。

本书主要讨论的是分幅航空摄影机的快门。

对于快门来说，需要满足的要求是：最短曝光时间、曝光时间的变化范围、通光效率、完成一次工作（从上紧到完成曝光）所需的时间以及对像片质量的影响等。此外，还有重量、体积、通光孔径大小等等要求。快门工作对像片质量的影响，包括由于衍射、振动等引起像片鉴别率的下降、快门造成像片各部分照度的不均匀以及快门所导致的像变形（畸变）等等。

要评价一种快门结构的好坏，除了单独分析它的优缺点之外，还需要从航空摄影机的整个技术要求以及它与其它各个部件之间的配合（如镜头口径大小，光组间的间隙大小，像片幅面大小以及有无减振部件、像移补偿部件等等）出发作全面的考虑。如果要求从这个角度来讨论航空摄影机的快

门的话，那么这本小书远远没有完成这个任务。本书实际上只是详细地讨论了快门中的一个细节的设计计算问题，那便是，在根据战术技术要求确定了航空摄影机的快门结构之后，如何根据最短曝光时间和曝光时间变化范围的要求来确定一个快门重要零件（动力弹簧）的结构参数。这样比较集中地介绍这个具体设计计算方法，并且所介绍的设计计算方法又有着一定的实用价值，这就是译者所以不避拙陋，将这本小书介绍给从事这方面工作的读者以供参考的一点缘由。但限于译者水平，译文中错误缺点一定不少，切望读者提出批评指正。

• II •

前 言

航空摄影是最有效的技术手段之一，它应用于许多部门为各种不同的需要服务。

航空摄影所面临的任务的成功解决，在很大程度上取决于反映科学技术最新成就的最完善的航空摄影机的使用。

快门，是航空摄影机的主要部分之一，它对所得航空象片的摄影质量和精度有着重要的影响。

同时，虽然现有的快门有着各种不同的定型结构，但是它们的设计计算理论和方法却探讨得很不够。

本书总结了作者所完成的关于航空摄影快门设计和参数计算的研究工作，其中部分曾在一些专门性的杂志上发表过。许多问题在本书中是第一次阐述。在本书的编写中还利用了作者在莫斯科大地测量、航摄和制图工程学院所用的讲稿。

作者对审阅者 В. А. Сикачев 和编辑 С. П. Шокин 表示深切谢意，感谢他们对原稿所给予的很大的改进。

目 录

译序	i
前言	iii
第一章 快门的型式. 对航摄快门提出 的使用要求	1
§ 1. 航摄快门的基本型式	1
§ 2. 各种航摄快门的主要计算参量	9
§ 3. 对航摄快门的使用要求	11
第二章 中心式航摄快门动力弹簧的分析算法	14
§ 4. 利用动能方程的计算法	14
§ 5. 列出运动微分方程的计算法	21
第三章 百叶窗式快门和卷帘式快门的 理论和计算	29
§ 6. 百叶窗式航摄快门	29
§ 7. 卷帘式航摄快门	38
第四章 航摄快门曝光时间的调节	51
§ 8. 曝光时间的调节方法	51
§ 9. 空气活塞式调节器的计算	53
第五章 航摄快门的图解分析算法	57
§ 10. 中心式航摄快门的图解分析算法	57
§ 11. 卷帘快门的航空摄影机中画幅曝光 时间分布的改善	69
§ 12. 确定航摄快门效率的作图法	83
第六章 快速中心式航摄快门	85
§ 13. 快速中心式快门结构概述	85

§ 14. 快速中心式航摄快门的传动计算	91
§ 15. 快速中心式航摄快门电机的图解选择法	92
§ 16. 快速中心式航摄快门圆盘的临界速度	96
§ 17. 曝光量的自动调节	97
第七章 改进快门的方向	100
§ 18. 快门最新结构的缺点	100
§ 19. 新的结构解决的可能性	101
参考文献	102

第 一 章

快门的型式. 对航摄快门 提出的使用要求

§ 1. 航摄快门的基本型式

快门是在一段给定的时间内允许从被拍摄物体来的光线通过它落到感光层上去的一种机构。

根据结构的不同, 用于现有的航空摄影机中的快门可分三种基本型式——中心式、百叶窗式和卷帘式。

从中心向外打开物镜有效光孔的快门叫做中心式快门, 它能保证照片的全部面积同时曝光。

这种快门一般有几个叶片(圆盘), 它们绕与物镜主光轴平行的轴旋转, 用它们的协同运动打开和关闭物镜的有效光孔。也还有所谓条带型的中心式航摄快门。在这种快门中叶片是用带切口的条带所代替了^[15, 16]。

中心式快门放在物镜的光组之间光束最细的地方。这是因为对很短的曝光时间来说实际上很难做成大孔径的快门。这也就是焦距大于 200 毫米的物镜很少应用中心式快门的原因。图 1 中是一种中心式航摄快门的叶片运动机构原理图。这种快门的曝光时间是 $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{100}$ 和 $\frac{1}{200}$ 秒, 效率是 0.65—0.75(见 § 2)。

航摄快门的四个叶片 1 由装在绕轴 13 旋转的发条盒 16 内的蜗形发条 11 来带动。发条盒的下部和有端面圆柱环的小

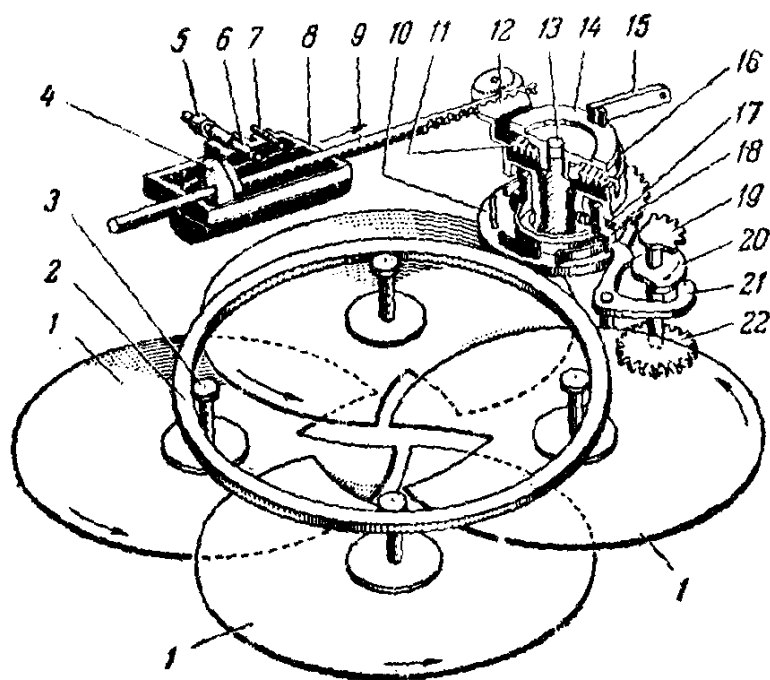


图 1

齿轮 10 相连接,圆柱环上有五个均匀分布的槽.小齿轮 10 始终和齿圈 2 啮合.当发条 11 放松时齿圈 2 通过小齿轮 3 使带切口的四个叶片 1 旋转,从而打开和关闭物镜的有效光孔。

为了改变曝光时间和减小快门工作终端时的撞击负荷的影响,用了一个气动调节器。快门释放时发条盒 16 上的扇形齿轮 12 使带活塞 4 的杆 9 移动。活塞 4 将空气从汽缸 8 的一个室内通过通道压到另一个室内,通道的截面积可用气门 6 来改变。调节量决定于轴 5 的转角。调节器的校正由调整针 7 来保证。

气动调节器的缺点是工作不稳定,它与随飞机的不同飞行高度发生的压力和温度的变化有关。

航摄快门的上紧和释放是在齿轮 22 的一转之内进行的,齿轮 22 带动扇形齿轮 19 和凸轮 20 旋转。上紧发条 11 的起点是在扇形齿轮 19 和发条盒 16 的扇形齿轮 18 开始啮合的瞬间。起初发条盒将运动传给叶片 1,因为活动齿 17 在齿轮

10 的端面环的槽内,使它和发条盒相连接。叶片向它们的工作运动相反的方向旋转。在发条盒转过 12° 后,凸轮 20 所控制的叉形杆 21 将齿 17 从槽中推出同时将齿轮 10 锁住。在这段时间里叶片 1 的切口已经到了原始位置。发条盒继续旋转至 72° ,扇形齿轮 19 脱离啮合,活动齿 17 在弹簧的作用下进入齿轮 10 的柱形环的下一个槽内。航摄快门上紧完毕。

气动调节器也处于原始位置。发条的内端这时靠挡块 15 挡住盖 14 的凸起而被管住。凸轮 20 继续旋转,从齿轮 10 的槽内推出叉形杆 21,快门释放开始。

在各种不同结构的中心式航摄快门的机构中总是可以分成叶片运动机构和运动零件停止时消除撞击的机构。

近年来所设计的快速中心式航摄快门,不同的特点是应用电机使叶片连续旋转。用电机来代替发条,可以在增大快门孔径的同时,向缩短的方面扩大曝光时间范围。

用动力弹簧的中心式航摄快门,有效曝光时间的变化范围只能到 $\frac{1}{250} - \frac{1}{300}$ 秒,而用电机的(快速快门)则可达 $\frac{1}{1000}$ 秒甚至更短。

中心式航摄快门的效率很高(约到 0.9)。它的大小决定于叶片切口的形状,叶片数目(一般 3 或 4 个)和它们的运动规律。关于这个问题的详细研究见[12]。

百叶窗式航摄快门用几个扉板的协同运动来打开和关闭物镜的有效光孔。

每一块扉板均绕其位于垂直于物镜主光轴的平面内的轴转约 180° 角。这就保证可在很短的曝光时间时($t_{\text{爆}}$ 至 $\frac{1}{1200}$ 秒)用大的有效光孔(直径至 150—200 毫米)。

图 2 示一种百叶窗式航摄快门的扉板运动机构原理图。

快门机构有带小齿轮的扉板 2,齿条 3,摆杆 6,带轴的导

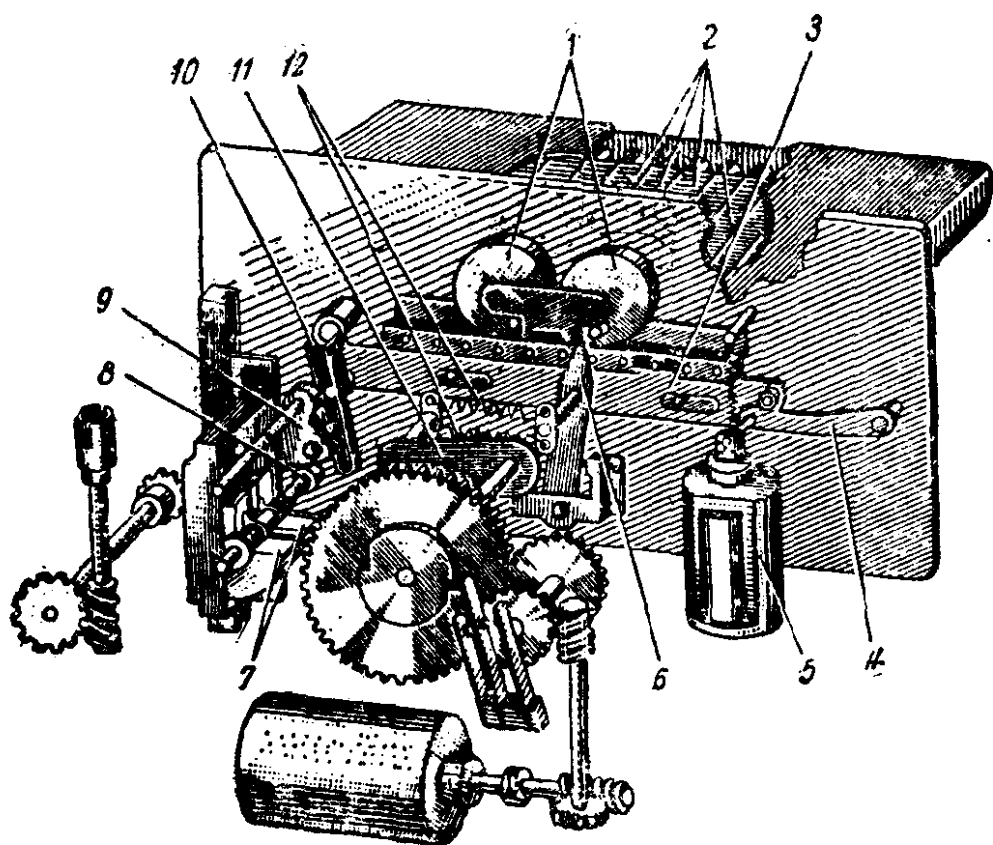


图 2

杆 11 和两个工作弹簧 12。

电机的旋转通过减速器后传至导杆 11 的轴，工作弹簧 12 的一端固定在导杆 11 上。弹簧的另一端用架子固定在摆杆 6 上，摆杆 6 的销子插在齿条 3 的槽内。

上紧快门时齿条保持不动——它靠和电磁铁 5 的铁芯相连的释放杆 4 的齿制动住，而导杆 11 则转过半转，拉紧了弹簧 12，即上紧了快门。当电磁铁 5 工作时，释放了的齿条在弹簧 12 的作用下运动，迫使扉板 2 转过一个约 180° 的角，同时打开有效光孔。

为了减轻快门工作时扉板之间的撞击，在结构中预先考虑有两个用弹簧相连的减震垫圈 1。在扉板 2 互相撞击之前摆杆 6 的端部先和其中一个垫圈的凸起撞击。

曝光时间的改变是靠扉板运动机构中接入由两个垫圈 7 所组成的附加惯量来进行的。附加惯量靠变速比的凸轮机构接入。这个机构由肘杆 10 和两个销子组成,一个销子固定在齿条 3 上,另一个在和 小齿轮 8 啮合的扇形齿轮 9 上。小齿轮 8 和惯性垫圈 7 固定在同一根轴上。

传动比的改变是靠改变肘杆 10 的摆动轴和扇形齿轮 9 的销子之间的距离来达到的。

各种不同的百叶窗式航摄快门的区别仅仅在于驱动装置的结构形式和传动到快门扉板的传动方式。

百叶窗式航摄快门和中心式快门一样,大多数是放在物镜光组之间。当物镜光组之间的间隔太小不能放下快门时,快门放在物镜的后面,因为扉板位于会聚或发散光束中,所以这自然要引起象的边缘的照度显著下降。百叶窗式快门用于长焦距、入射光瞳直径较大和视场角不大 (2β 至 70°) 的物镜。

百叶窗式快门的效率不高,并且对不同倾角的光束效率也各异(例如,对 $\beta=30^\circ$ —— η 小于 0.4,对 $\beta=0^\circ$ —— η 至 0.6)。

缝隙式航摄快门中用得最多的是卷帘快门。在缝隙式快门中还包括盘式快门,它的狭缝开在旋转圆盘上。

在卷帘式航摄快门的活动零件(卷帘)上有固定或可变宽度的狭缝,它的长度等于感光层(画幅)的长度。

卷帘放在垂直于物镜主光轴的平面内。它只能保证航空象片的一部分面积同时曝光。

卷帘式航摄快门和中心式及百叶窗式相比有某些优点,但它也有某些严重的缺点。

卷帘式航摄快门的优点是,这些快门的结构较简单,可以在足够宽的范围时得到很短的曝光时间(至 $\frac{1}{1600}$ 秒),具有很

高的效率,并可用于有效孔径大的物镜。

卷帘式航摄快门的缺点是:在航空摄影或拍摄运动目标时这类快门给象带来明显的线变形和角变形,它们使象的摄影密度不同,并且不能保证快门可靠工作(特别是当温度低于零度时,卷帘的弹性降低)。

在航空象片的幅面较小时,上述缺点对它的质的影响显著减轻。

为了使航空象片的摄影密度均匀,在狭缝为固定宽度时采用了保证卷帘匀速运动的机构。

航空摄影时卷帘快门给象带来的变形量 Δ 可按 [3] 中所介绍的公式来计算

$$\Delta = l \frac{f_k}{e} \cdot \frac{W}{H} t_{\text{效}} \left(1 - \frac{h}{f_k}\right),$$

其中 l ——垂直于狭缝移动方向的象片边长¹⁾;

f_k ——航空相机的焦距;

W ——飞机的地速;

$t_{\text{效}}$ ——有效曝光时间;

h ——由卷帘到焦平面的距离;

H ——飞机的飞行高度;

e ——卷帘的狭缝宽度。

为了得到短的曝光时间和增大效率,卷帘得靠近感光层。

图 3 示一种卷帘式航摄快门的结构原理图,它的曝光时间的改变是靠改变卷帘速度实现的。

快门有两根轴——弹簧轴 4 和上紧轴 13,上紧快门时,带狭缝的卷帘 12 绕在上紧轴 13 上。

¹⁾ 应为“狭缝移动方向的边长”。——译者注

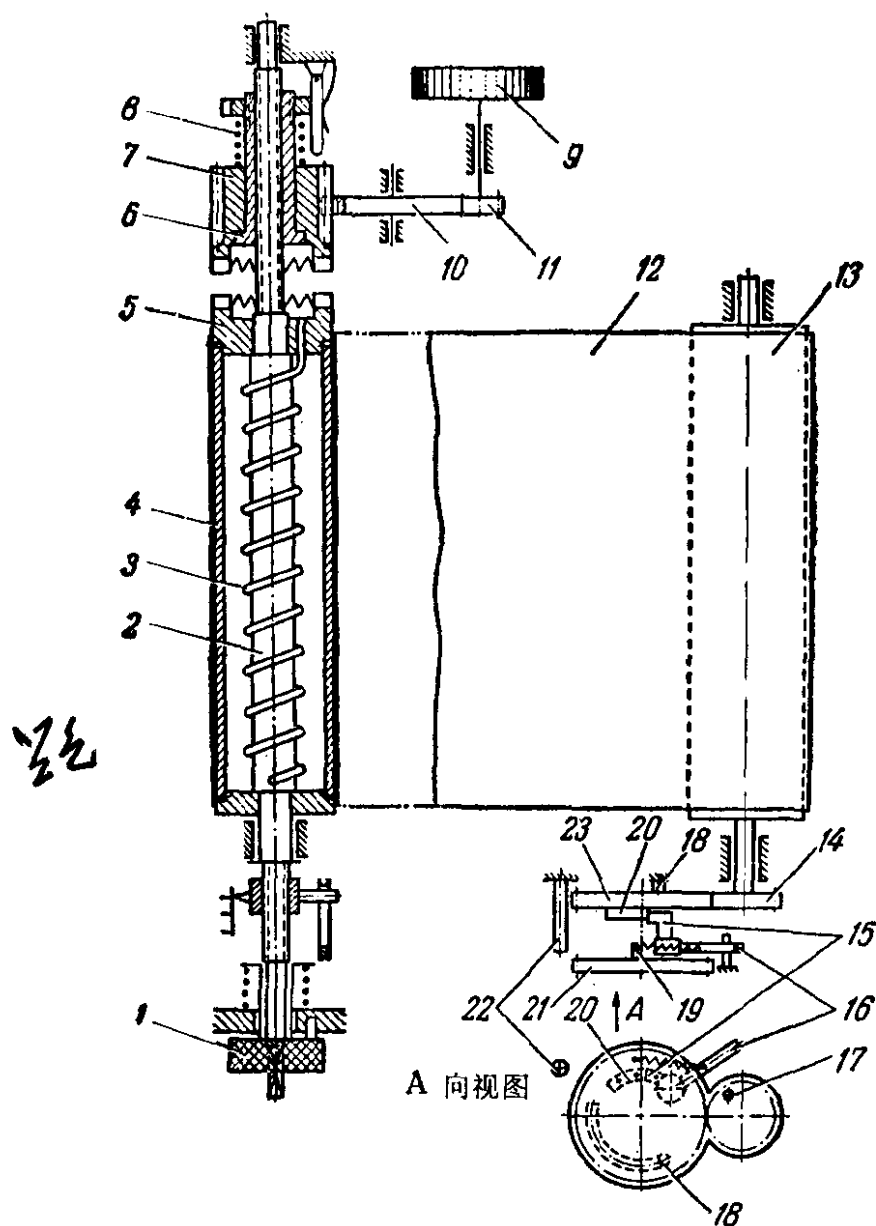


图 3

轴 4 里面放了一根圆柱形螺旋弹簧 3，在释放快门时它卷绕卷帘。这根弹簧一端固定在轴 4 的齿形离合器 5 上，另一端固定在轴 2 上，这样使轴 4 和 2 之间形成弹性的联接。

在轴 2 上拧了一个螺纹套筒 6，当轴旋转时它作往复的移动。在套筒 6 上固定了一个在弹簧 8 作用下的端面离合器 7。轴 2 的一端有一个小手轮 1，用以装定有效曝光时间的规定值。

小手轮 1 作反时针旋转时增加弹簧 3 的预扭紧，这在释放快门时使卷帘的移动速度增大。小手轮 1 作顺时针旋转是减小卷帘的运动速度，再继续沿这方向旋转小手轮使齿形离合器 5 咬合，于是将飞轮 9 接入。

为此在离合器 7 的圆柱部分切出齿来，用它通过齿轮 10 和小齿轮 11 同飞轮 9 相联。离合器 7 可相对于螺纹套筒 6 旋转。当离合器结合而接入惯性机构时使卷帘的运动速度进一步减小。弹簧 8 是可调节的；改变它的压力时就改变它的端面和离合器端面之间的摩擦力矩，因此也就改变了卷帘的速度。

在快门上紧之前卷帘 12 卷绕在轴 4 上，并且狭缝处在左边。顺时针方向转动上紧轴 13 以上紧快门。等到狭缝到了轴 13 旁边时上紧完毕*。在这之后如迅速释放轴 13，则带狭缝的卷帘在弹簧 3 的作用下，自右向左移动，于是实现了曝光过程。

上紧快门时上紧轴 13 的转动是由齿轮 14，23 和 21 传来的。在齿轮 21 上有带杠杆 16 的棘爪 15，杆 16 上有弹簧 19 的作用力。棘爪和杠杆可相对于齿轮 21 旋转。当齿轮 21 旋转时，棘爪 15 被齿轮 23 上的凸起 20 挡住，便带着它作同向转动。和齿轮 23 啮合的齿轮 14 带动上紧轴 13 作顺时针转动。这样一直到上紧快门为止。

当齿轮 21 继续转动时，杠杆 16 被固定柱销 22 所挡住，引起杠杆和棘爪转动，这时棘爪和齿轮 23 上的凸起 20 脱离啮合。这样被释放的齿轮 23 在上紧弹簧 3 的作用下开始作反向旋转，一直到由固定挡销 18 进入齿轮 23 的切口所决定的原始位置为止。这样就完成了快门释放。棘爪 15 和凸起

* 上紧快门时光束用专门的光闸遮挡住。

20 的结合是靠固定挡销 17 挡住杠杆 16 来保证的。

卷帘快门在某些不是用于测地的航空摄影的航空摄影机、地面摄影的折叠式相机和摄影记录仪器中应用。

§ 2. 各种航摄快门的主要计算参量

任何型式的航摄快门的主要参量都是：曝光时间大小和范围，效率和决定于物镜有效光孔的快门光孔直径。

感光层上给定点接受曝光的那段时间叫做曝光时间。

航摄快门逐渐地打开和关闭物镜的有效光

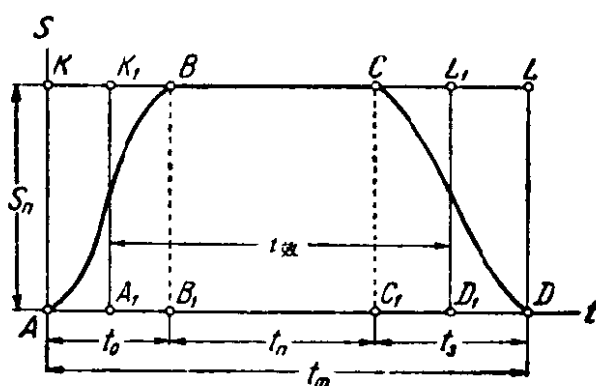


图 4

孔。图 4 中画的是快门工作一个循环的特性曲线。图上表示了物镜有效光孔面积 S 随时间 t 的变化。快门的打开阶段对应于 ABB_1 部分 (t_0 ——快门的打开时间)，快门全开阶段 (当纵座标为 S_n)—— B_1BCC_1 部分 (t_n ——快门的全开时间)，关闭阶段—— C_1CD 部分 (t_s ——快门的关闭时间)。

t_0, t_n, t_s 的和等于 t_ϕ ，它决定了感光层给定面积的曝光时间。这个时间 t_ϕ 叫做实际曝光时间。

在时间 t 的每一瞬间通过航摄快门的光能量和面积 S 成正比，而落到感光层上的总的光能量则和整个轮廓 $ABCD$ 的面积成正比。

如果假想快门是在一刹那间打开和关闭的 ($t_0=t_s=0$)，则要在感光层上积累同样多的光能量的曝光时间需要减少。这个减小了的曝光时间值决定于面积等于轮廓 $ABCD$ 和高度