

探测器组盲区 CAD 分析与 重叠角计算公式

卫丕昌 杨洪波

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文目的是计算探测器的盲区。文中提出了一种圆锥体与球体相贯求盲区的方法; 用 CAD 技术给出了直观图和精确的数据。最后, 推导了方位视场重叠角的计算公式, 并验证之。

关键词: 探测器组盲区; 视场重叠角

1 前言

探测激光的设备, 如图 1 所示, 由热相仪、鱼眼物镜和 4~5 个探测器构成。鱼眼物镜有 2π 球面度的视场角, 为水平面以上的半球空间。4~5 个探测器, 沿圆周分布, 其顶角为 100° 的圆锥形空间, 指示激光的所在相限或大致方位, 实现粗略定向。这个延伸向无穷远的圆锥体 (如图 3 所示) 它像张开的伞, 伞把与地面成 $20^\circ \sim 25^\circ$ 指向天空。象这样沿圆周分布的 4~5 个探测器, 希望能复盖水平面以上, 尽可能多的空间。实际上能复盖多少? 有多少未被复盖的区域? 这未被复盖的区域, 就是盲区。借助 CAD, 迅捷的取得了精确的数据和非常直观的盲区图。

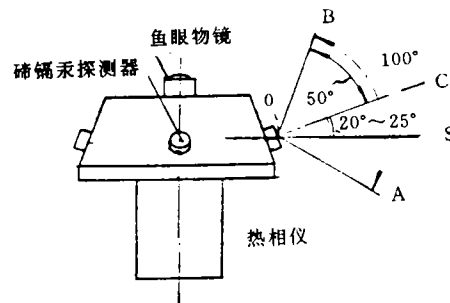


图 1 激光探测设备

2 碲镉汞探测器

碲镉汞探测器如图 2 所示。该探测器有 100° 视场角, 这视场角是摸不着, 更看不见。为了便于计算, 特将其具体化为一个如图 3 所示的圆锥体。

3 实体模型

为便于计算，将探测器的 100° 视场角具体化为有 100° 平角的圆锥体，如图3所示。图中，除中心线（点划线）外，所有直线都在图面内；图面代表铅垂面。其中， OD 为水平面与铅垂面相交的迹线。 OC 为圆锥体的轴线，由图可见其 OD 的夹角 $\angle COD=20^\circ$ （或 25° ）。这种姿态就是探测器在设备上的安装姿态，参见图1；该探测器在设备上，沿圆周分布4~5个。可想而知，他们的视场必然互相重叠；用俯视图来表示，参见图4。为便于计算，把这些能互相“渗透”的圆锥体的顶点都置于图4的 O 点处。（附带说一句，没有这种“渗透”性，硬的锥体，是不能构成图4的）。为图面简明，只画出相邻三个圆锥体互相重叠的图形，在 100° 范围内，两边各有 28° 重叠区；另外两个，没有画。

图4中的圆，代表天球的水平投影，令球的半径为1。

4 定义与公式

计算盲区，是求盲区的立体角，其单位为球面度。球面度的定义是：“以球心为顶点，在球的表面切割等于球半径平方的面积的立体角”。整个球构成的立体角等于 4π 球面度。对平角为 α 的圆锥体，其立体角为

$$\omega = 2\pi(1 - \cos\alpha/2)$$

式中 α 可用“度”或“弧度”为单位。

由上面的定义可知，令球体的半径等于1，带来了计算的方便；即求出盲区在球面上的面积就是盲区对应的立体角的球面度值。

5 CAD数据与讨论

将上述实体模型的数据输入计算机，用CAD技术实现圆锥体与球体相贯。锥体与球体相贯的共有部分是激光探测设备的可探测空域；非共有部分，即球体上的剩余部分，就是碲镉汞探测器组的盲区。CAD给出的三组数据如下：

1 沿圆周分布四个探测器的盲区

沿圆周分布四个探测器，如图1所示，其光轴对水平面的仰角为 20° 。CAD绘出的一组盲区图，如图5中的A、B、C和D所示。

图B为图A的俯视图，C为B的W向视图，D为立体图。B图中的虚线大圆为通过球心

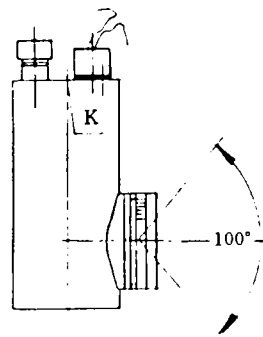


图2 碲镉汞探测器

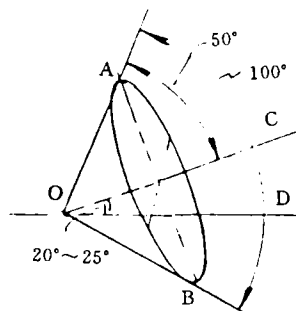


图3 视场角→圆锥体

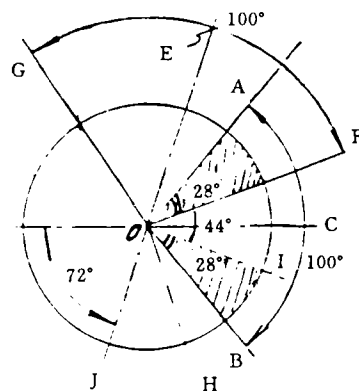


图4 重叠的视场

的水平面与球面的交线；A 图中的水平点划线代表水平面，C 图中的点划线亦代表水平面，它们都通过球心。

从图 A、C 和 D 中可见，水平面上、下只有两块实体。水平面以上实体的球面就是四个探测器的盲区；从 B 图，可见盲区的形状为小四边形，边为弧线。从 B 图右上角的一组数据可知：

- 小四边形的面积为 $A = 0.5341$ ，即盲区的立体角为 0.5341 球面度；
- 小四边形内切圆的面积为 $A_1 = 0.3728$ 球面度；
- 小圆与四边形之间的三角形面积为 $A_{2\sim5} = 0.0403$ 球面度；
- W 向视图的 64° 是四边形对角线，对球心的张角； 173° 角，说明水平面以下， 3.5° 范围内，还是可探测区域；
- 水平面以下的盲区，是水平面以下实体的球面，如图 B 中的大四边形。

2 沿圆周分布五个探测器的盲区

沿圆周分布五个探测器，有两种情况。一种是光轴的仰角仍为 20° ；另一种的仰角为 25° 。

a)、光轴仰角为 20° 时的盲区

仰角为 20° 时的盲区和数据如图 6 所示。B 图为 A 图的 P 向视图，C 图为立体图。

由图可见，水平面以上的盲区为五边形，其面积为 0.4643 ，即盲区的立体角为 0.4643 球面度；

- 五角形 D 点至天顶的角度为 26°

• 水平面以下有 15.5° 的可探测区域，与图 5 相比，增大了 $12^\circ (=15.5^\circ - 3.5^\circ)$ ；从俯视图 A (图 6) 中大圆不再与大五边形相接，显示了这种关系。

- 水平面以下的盲区亦为五边形的表面，如 A 图中的大五边形；与图 5 的 B 图的大四边形相比，大五边形向球心收缩了，即盲区缩小了。

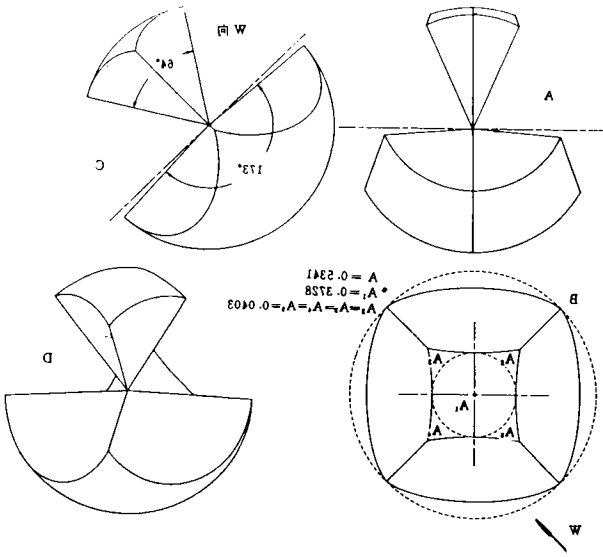


图 5 探测器的告警盲区

b) 光轴仰角为 25° 时的盲区

仰角为 25° 时的盲区图和数据，如图 7 所示。

• 俯视图 (A) 中的五边形与图 6 中的相比，大五边形远离球心，向外膨胀了；这表明水平面以下盲区加大了。这是光轴仰角由 20° 增加到 25° 的结果。

- 水平面以下的角度，也降低到 11° 。
- 小五边形顶点 D 对天顶的张角，亦减小到 19° 。
- 小五边形的面积为 0.2577 ，即盲区的立体角为 0.2577 球面度。

将以上数据归纳入表 1，表内符号说明如下：

- α —光轴仰角 (度);
- N —探测器数量;
- M —盲区立体角 (球面度);
- $P(\%)$ —盲区占半球立体角的百分比;
- β —盲区对天顶的最大张角 (度);
- γ —最大方位视场重叠角 (度)。

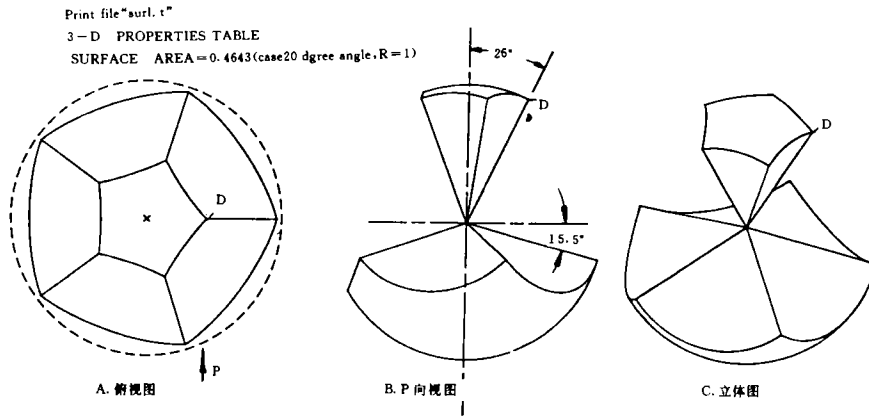


图 6 五个探测器的盲区

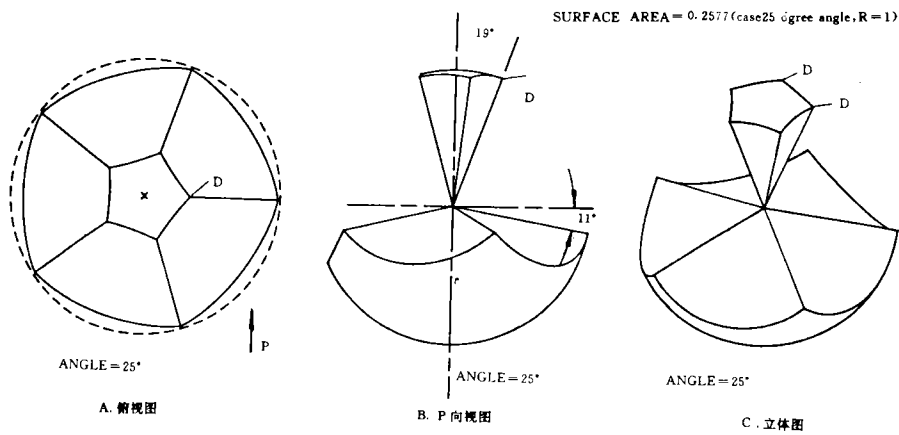


图 7 5 个圆锥体与球相贯的盲区

表 1 盲区特征值

N	α°							
	20°				25°			
	M	P (%)	β°	γ°	M	P (%)	β°	γ°
4	0.5431	8.5	32	10	—	—	—	—
5	0.4643	7.4	26	28	0.2577	4.1	19	28

由表 1 可见,增加探测器,也增加了方位视场重叠角,近三倍;即由 $\gamma=10^\circ$ 增加到 $\gamma=28^\circ$ 。不改变光轴仰角 ($\alpha=20^\circ$),对降低盲区立体角效果不大,即由 $M=0.5431$ 只降到 $M=0.4643$;仅降低 1.1%。增大光轴仰角 ($\alpha=25^\circ$),对降低盲区效果最大;即 $M=0.4643$ 降到 $M=0.2577$,下降了 3.3%。当既增加探测器数量,又增大光轴仰角时,则 $P(\%)$ 值降低了 4.4%;而两盲区面积相比,相当于降低了 52%。

结论是五个探测器,其光轴仰角 25° ,效果较好。

6 方位视场重叠角计算公式的推导

探测器的视场角为 2α ,其光轴对水平面的仰角为 γ ,求其在水平面内的方位视场角 2β ;当在圆周上,分布 N 个探测器时,求水平面内视场的重叠角 C° 。

[已知] 设①图 8 为圆锥体与球相贯,得以 O' 为心的圆,圆上点到球心 O 为球之半径,且 $R=1$ 。

② OGC 为水平面, $\angle O'OD=\gamma$, $\gamma=20^\circ$ 或 25° 。

③ $\angle AOE=\angle BOF=2\alpha$ (100°)。

④ OO' 为锥体的轴线。

[解] 实质是求 $\angle GOC=2\beta=?$

$\because OG=OC, \therefore \triangle GOC$ 为等腰三角形。 OD 为其高,

$\therefore \angle GOC = 2 \angle GOD = 2\beta$ 问题转为求 $\angle GOD=?$

在图 8 中,有如下三角形,分画如下:

1) 在 $\triangle AO'O$ 中 (见图 9), $OA=R=1$,

$$OO' = R \cdot \cos\alpha = \cos\alpha \quad (1)$$

2) 在 $\triangle DO'O$ 中 (见图 10), 并将 (1) 式值代入

(2):

$$OD = \frac{oo'}{\cos\gamma} = \frac{\cos\alpha}{\cos\gamma} \quad (2)$$

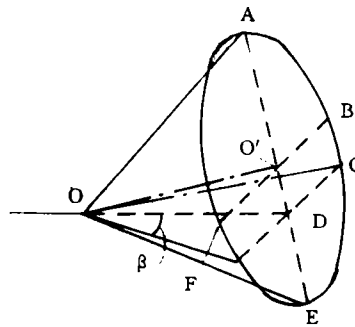


图 8 锥与球相贯

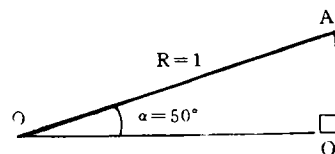


图 9

3) 在图 8 的 $\triangle GOC$ 中, OD 为等腰三角形 GOC 的高。即 $OD \perp GC$ 。所以有直角 $\triangle GDO$, 如图 11。在 $\triangle GDO$ 中, 将 (2) 代入 (3) 式:

$$\cos\beta = \frac{OD}{OG} = \frac{\cos\alpha/\cos\gamma}{R} = \frac{\cos\alpha}{\cos\gamma} \quad (3)$$

由 (3) 式可知，求水平面内的视场角的公式为： $2\beta = 2 \cdot \arccos(\cos\alpha/\cos\gamma)$ (A)

参见图4可知，在圆周上分布 N 个探测器，相邻探测器的视场重叠角 C° ，可用下式计算：

$$C^\circ = \frac{360^\circ}{N} - 2\beta \quad (B)$$

7. 讨 论

1 公式 A 的讨论：

用两个特殊值，马上就可知 2β 值是多少；从而证明公式正确无误。

例如：

1) 当探测器的光轴对水平面的仰角 $\gamma=0^\circ$ 时，根据 (A) 式可以知道，探测器在水平面内的视场角 2β 与探测器的视场角 2α 相等。

即：

将 $\gamma=0^\circ$ 代入 (A) 式：

$$2\beta = 2 \cdot \arccos(\cos\alpha/\cos\gamma) = 2\alpha$$

2) 当探测器的光轴，对水平面的仰角 $\gamma=50^\circ$ 时；可知，探测器在水平面内的视场角 $2\beta=0^\circ$ 。即：

当 $2\alpha=100^\circ, \gamma=50^\circ$ 时，

$$2\beta = 2 \cdot \arccos(\cos\alpha/\cos\gamma) = 0^\circ$$

3) 对 $\gamma=20^\circ$ 和 25° ，求探测器在水平面内的视场角 2β ，列如表2。

当探测器视场 $2\alpha=100^\circ$ 时：

表2

α	20°	25°
2β	$93^\circ 40' 47''$	$89^\circ 39' 15''$

4) 当圆周上分布 $N=5$ 个探测器时，水平面内视场重叠角 C° ，用 (B) 式代入表2的 2β 值计算，列入表3

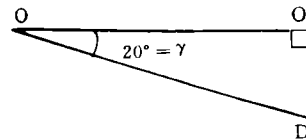


图 10

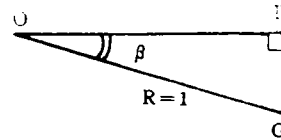


图 11

表3

α°	20°	25°
- C	21°40'47"	17°39'15"

5) (B) 式的讨论:

- a) 当 $C < 0^\circ$ 时, 有重叠区;
- b) 当 $C \geq 0^\circ$ 时, 无重叠区。

本人工作一直得到12室 CAD 组同志们的协助, 在此特致谢意。

参 考 文 献

- [1] 索洛多夫, 宇航技术工程手册, 科学出版社, 1982

The CAD Analysis Used for the Blind Zone of a Set of Detectors and the Formula of Calculating Over-lapping Angle

Wei Pichang

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

The aim of this paper is to calculate the detector's blind zone. A sort of new method using the intersection of solid cone and solid sphere is presented. By means of CAD technique, the visual solid modeling and the exact data can be gotten. Finally, the formula of calculating over-lapping angle for azimuth view field has been derived and verified.

Key words: Detector blind zone; View field over-lapping angle