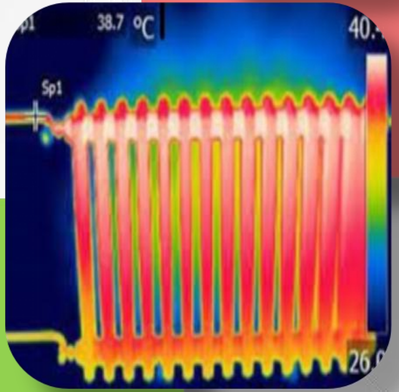


传热学

辐射传热III

授课老师：苗雨

目录

CONTENTS

01

课前回顾及导引

课前回顾及导引

1 实际物体的辐射力E总是 小于 同温度下黑体的辐射力E_b

2 随着温度升高，热辐射中可见光中短波的比例不断 增加 。

3 定向发射率又叫什么？ 定向黑度

4 以下哪种气体没有发射和吸收辐射能的能力？A. 氢气 B. 二氧化硫 C. 氨气 A

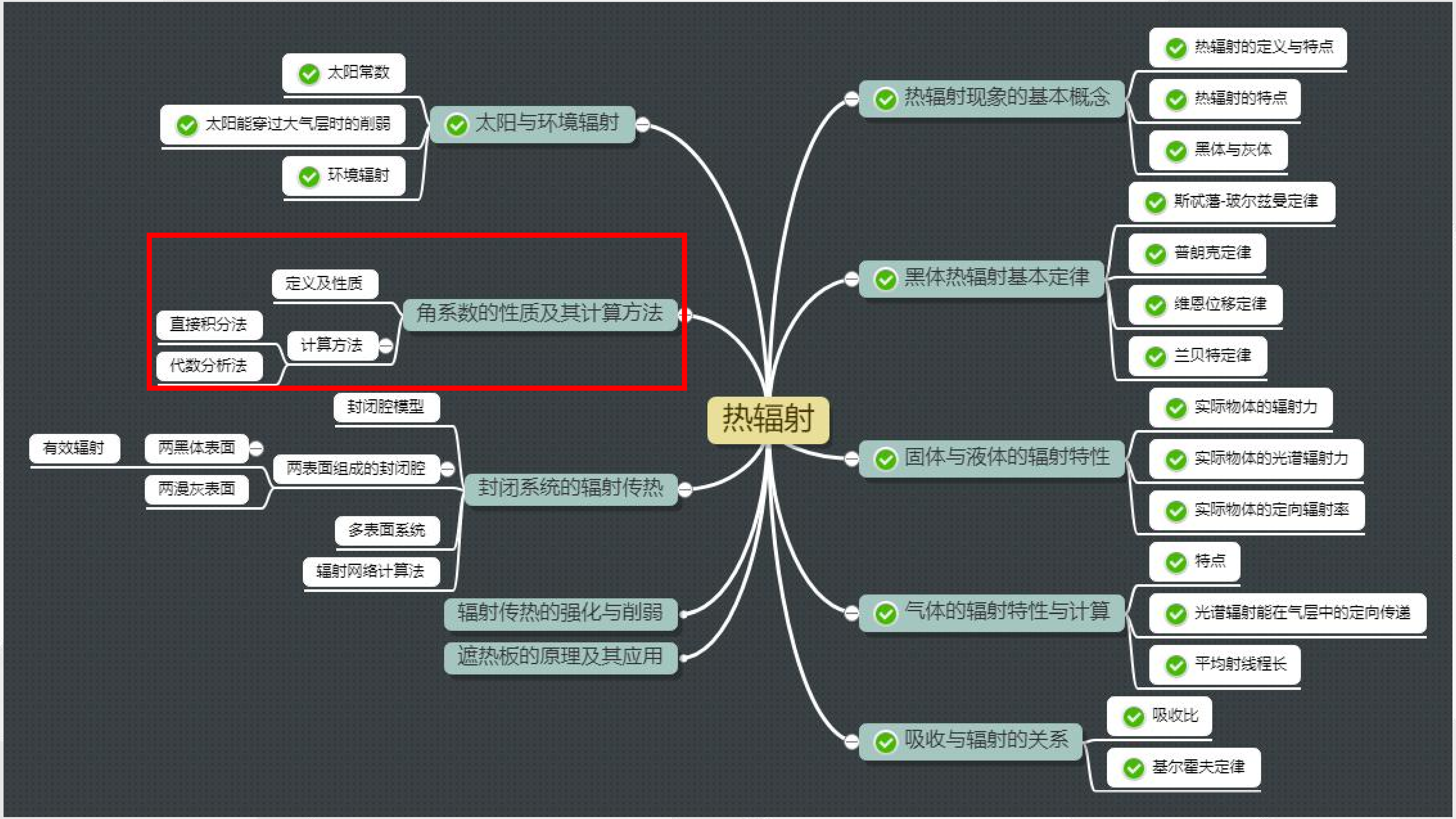
5 判断题：气体在所有波长区段都有辐射和吸收能力 错

6 对于 半球 气体容积，各个方向的射线程长都是一样的，即半径R；对于其他气体形状，可采用 当量半球 来处理

7 基尔霍夫定律有哪三个限制？
（1）整个系统处于热平衡状态
（2）只有在同一温度下，物体的吸收比才等于发射率
（3）投射辐射源必须是同温度下的黑体

8 太阳辐射在大气层时受到 吸收 和 散射 两种削弱作用

课前回顾及导引



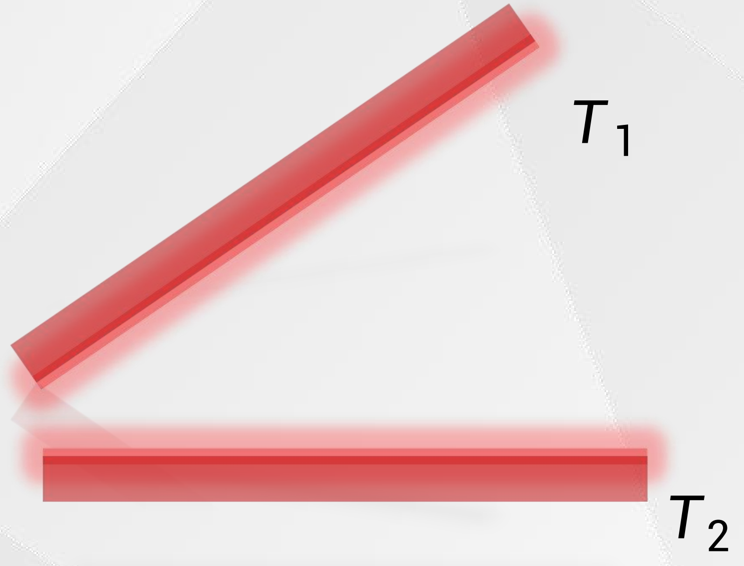
热辐射
热辐射现象的基本概念
热辐射的定义与特点
热辐射的特点
黑体与灰体
黑体热辐射基本定律
斯忒藩-玻尔兹曼定律
普朗克定律
维恩位移定律
兰贝特定律
固体与液体的辐射特性
实际物体的辐射力
实际物体的光谱辐射力
实际物体的定向辐射率
气体的辐射特性与计算
特点
光谱辐射能在气层中的定向传递
平均射线程长
吸收与辐射的关系
吸收比
基尔霍夫定律
太阳与环境辐射
太阳常数
太阳能穿过大气层时的削弱
环境辐射
角系数的性质及其计算方法
定义及性质
计算方法
直接积分法
代数分析法
封闭系统的辐射传热
封闭腔模型
两表面组成的封闭腔
两黑体表面
有效辐射
两漫灰表面
多表面系统
辐射网络计算法
辐射传热的强化与削弱
遮热板的原理及其应用

02

角系数的性质及其计算方法

- 角系数的定义及计算假定
- 角系数的性质
- 角系数的计算方法

角系数的定义及计算假定



表面1发出的辐射能中落到表面2上的百分数，
称为表面1对表面2的**角系数**，$X_{1,2}$

$$X_{1,2} = \frac{\text{离开表面1直接到达表面2的辐射能}}{\text{离开表面1的总辐射能（表面1的有效辐射）}}$$

同样，也可以定义$X_{2,1}$

角系数的应用假设：

- 物体表面为**漫射表面**
- 离开所研究表面的**辐射热流密度是均匀的**

注意：

1. 角系数是一个几何因子，方便计算，与两个表面的温度和发射率 ε 没有关系

2. 研究角系数时把物体作为黑体来处理，结论对于漫灰表面均适合

角系数的定义及计算假定

两表面无限接近，
相互间换热量很大

两表面位于同一平面上，
相互间辐射换热量为零

两表面之间的辐射换热量与两个表面之间的相对位置有很大关系

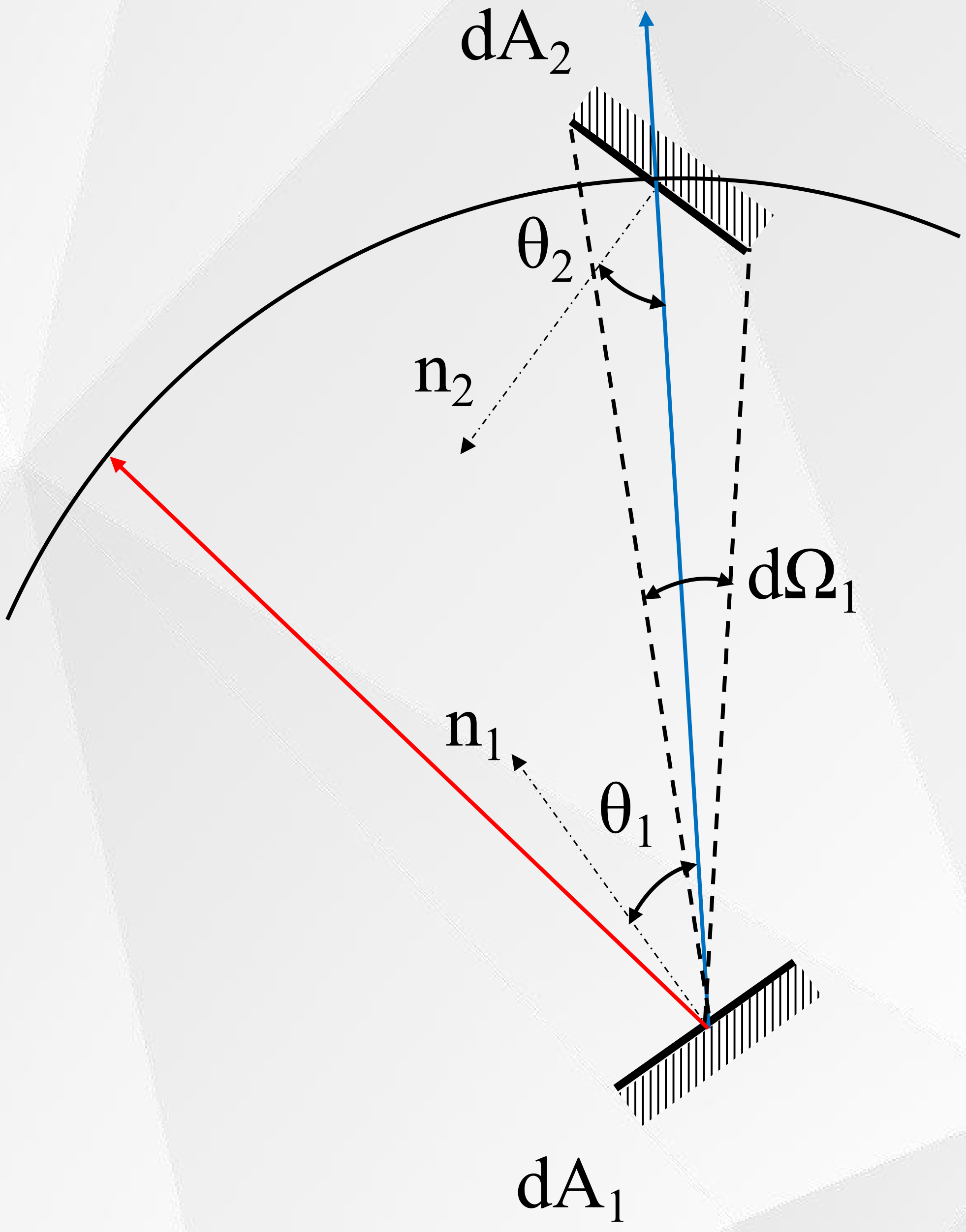
角系数的性质

角系数的性质

相对性

从一个微元表面dA_1到另一个微元表面dA_2的角系数，$X_{d1,d2}$

$$X_{d1,d2}=\frac{\text{落到}dA_2\text{上由}dA_1\text{发出的辐射能}}{dA_1\text{向外发出的总辐射能}}=\frac{d\Phi_{1\to2}}{d\Phi_1}$$



相对性

根据定向辐射强度的定义 $I_{b1} = \dfrac{d\Phi_{1\to2}}{dA_1 d\Omega_1 \cos\theta_1}$

$$d\Phi_{1\to2} = I_{b1} dA_1 d\Omega_1 \cos\theta_1$$

辐射能的定义 $d\Phi_1 = E_{b1} dA_1$

黑体辐射力与定向辐射强度的关系 $I_{b1} = \dfrac{E_{b1}}{\pi}$

立体角的定义 $d\Omega_1 = \dfrac{dA_2 \cos\theta_2}{r^2}$

$$X_{d1,d2} = \frac{d\Phi_{1\to2}}{d\Phi_1} = \frac{I_{b1} \cancel{dA_1} d\Omega_1 \cos\theta_1}{E_{b1} \cancel{dA_1}}$$

$$= \frac{dA_2 \boxed{\cos\theta_1 \cos\theta_2}}{\boxed{\pi r^2}}$$

$$X_{d2,d1} = \frac{d\Phi_{2\to1}}{d\Phi_2} = \frac{I_{b2} \cancel{dA_2} d\Omega_2 \cos\theta_2}{E_{b2} \cancel{dA_2}}$$

$$= \frac{dA_1 \boxed{\cos\theta_1 \cos\theta_2}}{\boxed{\pi r^2}}$$

微元表面角系数相对性

$$\boldsymbol{X_{d1,d2} dA_1 = X_{d2,d1} dA_2}$$

角系数的性质

相对性

$$d\Phi_{1\to2} = I_{b1} dA_1 d\Omega_1 \cos\theta_1$$

根据定向辐射强度的定义

$$d\Phi_{1\to2} = \frac{E_{b1}}{\pi} dA_1 \frac{dA_2 \cos\theta_2}{r^2} \cos\theta_1$$

黑体辐射力与定向辐射强度的关系

立体角的定义

$$d\Phi_{1\to2} = \frac{E_{b1}\cos\theta_1\cos\theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2$$

$$\Phi_{1\to2} = E_{b1}\int_{A_1}\int_{A_2}\frac{\cos\theta_1\cos\theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2$$

角系数的定义　　辐射能的定义

$$X_{1,2} = \frac{\Phi_{1\to2}}{\Phi_1} = \frac{\Phi_{1\to2}}{A_1 E_{b1}}$$

$$X_{1,2} = \frac{1}{A_1}\int_{A_1}\int_{A_2}\frac{\cos\theta_1\cos\theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2$$

$$X_{2,1} = \frac{1}{A_2}\int_{A_1}\int_{A_2}\frac{\cos\theta_1\cos\theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2$$

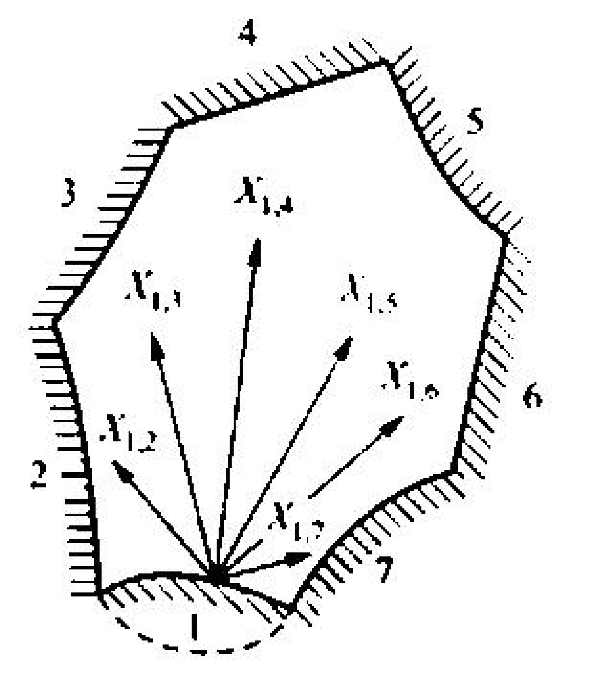
有限大小表面角系数相对性

$$X_{1,2}A_1 = X_{2,1}A_2$$

角系数的性质

完整性

对于由几个表面组成的封闭系统，据**能量守恒原理**，从任何一个表面发射出的辐射能必全部落到封闭系统的各表面上



$$X_{1,1}+X_{1,2}+X_{1,3}+\dots+X_{1,n}=\sum_{i=1}^{n}X_{1,i}=1$$

表面1为非凹表面

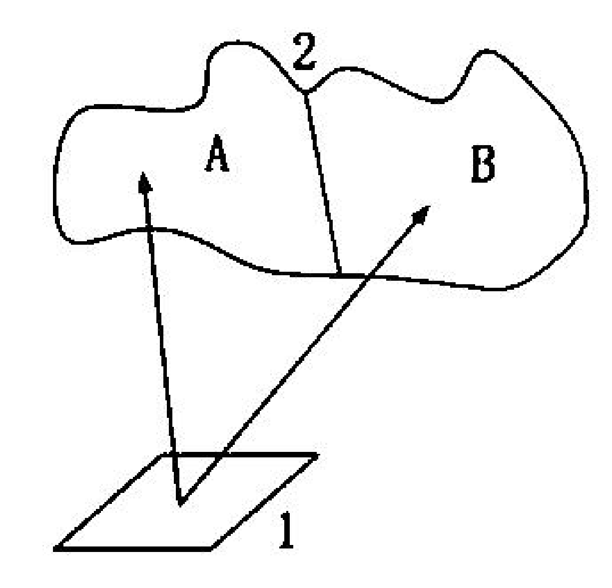
$$X_{1,1}=0$$

表面1为凹表面

$$X_{1,1}\neq 0$$

角系数的性质

可加性



从表面1落到表面2上的总能量等于落到表面2上各部分的辐射能之和

$$A_1E_{b1}X_{1,2} = A_1E_{b1}X_{1,2A} + A_1E_{b1}X_{1,2B}$$

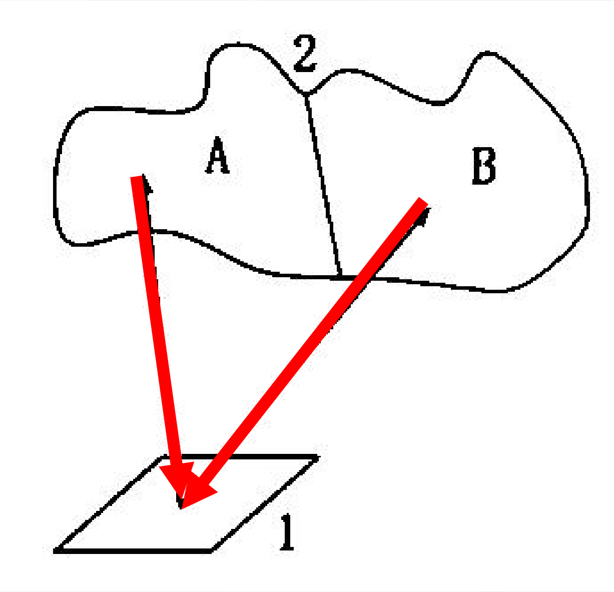
$$\boxed{X_{1,2} = X_{1,2A} + X_{1,2B}}$$

$$X_{1,2} = \sum_{i=1}^{n} X_{1,2i}$$

角系数的性质

可加性

$$\boxed{X_{1,2} = X_{1,2A} + X_{1,2B}}$$



注意：只对第二个角码可加，第一个角码不存在类似关系

$$A_2 E_{b2} X_{2,1} = A_{2A} E_{b2} X_{2A,1} + A_{2B} E_{b2} X_{2B,1}$$

$$A_2 X_{2,1} = A_{2A} X_{2A,1} + A_{2B} X_{2B,1}$$

$$X_{2,1} = \frac{A_{2A}}{A_2} X_{2A,1} + \frac{A_{2B}}{A_2} X_{2B,1}$$

角系数的计算方法

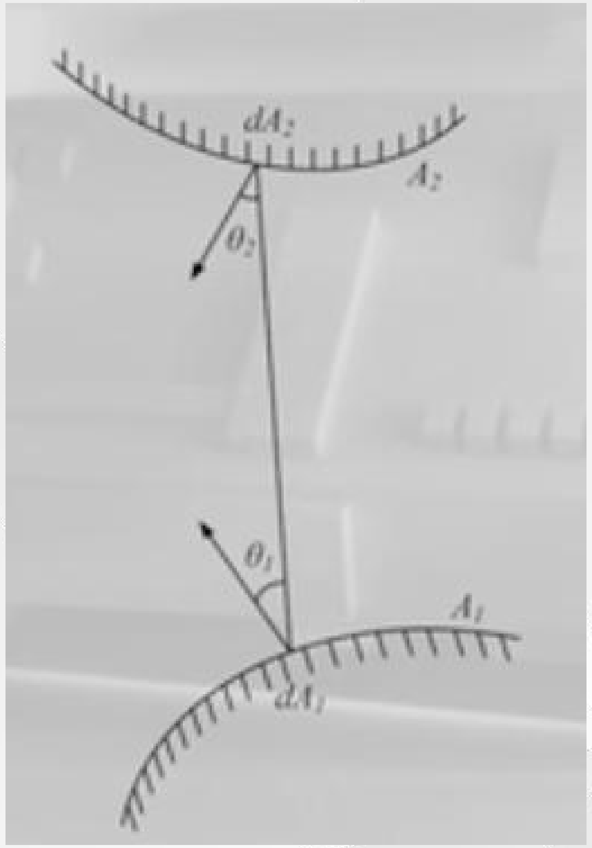
角系数的计算方法
- 直接积分法
- 代数分析法

角系数的计算方法

直接积分法：按角系数的基本定义通过求解多重积分而获得角系数的方法

微元dA_1和dA_2之间的角系数 $$X_{d1,d2}=\frac{dA_2\cos\theta_1\cos\theta_2}{\pi r^2}$$

微元dA_1和有限空间A_2之间的角系数 $$X_{d1,2}=\int_{A_2}\frac{\cos\theta_1\cos\theta_2}{\pi r^2}dA_2$$



有限空间A_1和A_2之间的角系数

$$A_1X_{1,2}=\int_{A_1}\left(\int_{A_2}\frac{\cos\theta_1\cos\theta_2}{\pi r^2}dA_2\right)dA_1$$

$$X_{1,2}=\frac{1}{A_1}\int_{A_1}\int_{A_2}\frac{\cos\theta_1\cos\theta_2}{\pi r^2}dA_1dA_2$$

角系数的计算方法

直接积分法

$$X_{1,2}=\frac{1}{A_1}\int_{A_1}\int_{A_2}\frac{\cos\theta_1\cos\theta_2}{\pi r^2}dA_1dA_2$$

由于这是一个四重积分，不少情况下会遇到一些数学上的困难

工程上已将大量几何结构角系数的求解结果总结成计算公式或绘制成图线

- 表9-1，9-2
- 图9-7，9-8，9-9

角系数的计算方法

代数分析法：利用角系数的相对性、完整性及可加性，通过求解代数方程而获得角系数的方法

以三个非凹表面组成的封闭系统为例，面积分别为A_1，A_2和A_3

相对性 $\left\{\begin{aligned} A_1X_{1,2} &= A_2X_{2,1} \\ A_1X_{1,3} &= A_3X_{3,1} \\ A_2X_{2,3} &= A_3X_{3,2} \end{aligned}\right.$

完整性 $\left\{\begin{aligned} X_{1,2}+X_{1,3} &= 1 \\ X_{2,1}+X_{2,3} &= 1 \\ X_{3,1}+X_{3,2} &= 1 \end{aligned}\right.$

$$X_{1,2}=\frac{A_1+A_2-A_3}{2A_1}$$

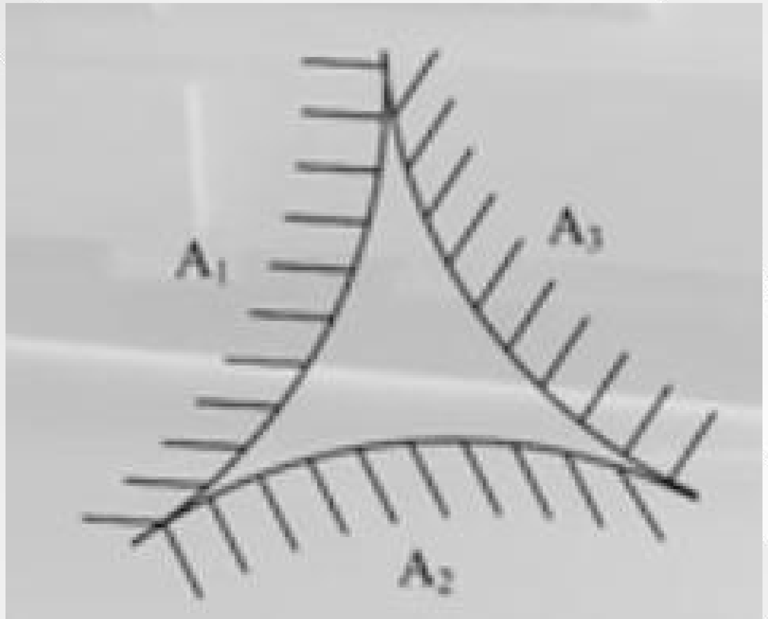
$$X_{1,3}=\frac{A_1-A_2+A_3}{2A_1}$$

$$X_{2,1}=\frac{A_1+A_2-A_3}{2A_2}$$

$$X_{2,3}=\frac{-A_1+A_2+A_3}{2A_2}$$

$$X_{3,1}=\frac{A_1-A_2+A_3}{2A_3}$$

$$X_{3,2}=\frac{-A_1+A_2+A_3}{2A_3}$$



角系数的计算方法

代数分析法

$$\left.\begin{aligned} A_1X_{1,2} &= A_2X_{2,1} \\ X_{2,1}+X_{2,3} &= 1 \end{aligned}\right\} A_1X_{1,2} = A_2(1-X_{2,3}) = A_2 - A_2X_{2,3}$$

$$\left.\begin{aligned} A_1X_{1,2} &= A_2 - A_2X_{2,3} \\ A_2X_{2,3} &= A_3X_{3,2} \end{aligned}\right\} A_1X_{1,2} = A_2 - A_3X_{3,2}$$

$$\left.\begin{aligned} A_1X_{1,2} &= A_2 - A_3X_{3,2} \\ X_{3,1}+X_{3,2} &= 1 \end{aligned}\right\}$$

$$\Rightarrow A_1X_{1,2} = A_2 - A_3(1-X_{3,1}) = A_2 - A_3 + A_3X_{3,1}$$

$$\left.\begin{aligned} A_1X_{1,2} &= A_2 - A_3 + A_3X_{3,1} \\ A_1X_{1,3} &= A_3X_{3,1} \end{aligned}\right\} A_1X_{1,2} = A_2 - A_3 + A_1X_{1,3}$$

$$\left.\begin{aligned} A_1X_{1,2} &= A_2 - A_3 + A_1X_{1,3} \\ X_{1,2}+X_{1,3} &= 1 \end{aligned}\right\}$$

$$\Rightarrow A_1X_{1,2} = A_2 - A_3 + A_1(1-X_{1,2}) = A_1 + A_2 - A_3 - A_1X_{1,2} \quad \Rightarrow X_{1,2} = \frac{A_1+A_2-A_3}{2A_1}$$

角系数的计算方法

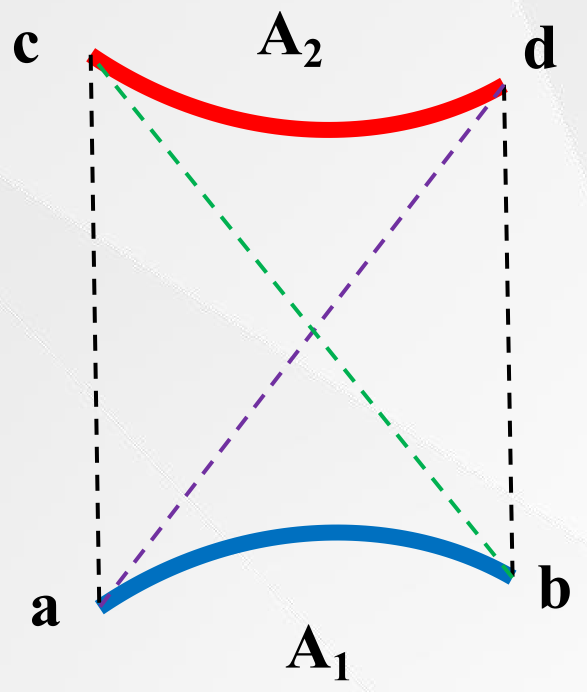
$$X_{1,2}=\frac{A_1+A_2-A_3}{2A_1}$$

代数分析法

欲求表面A_1和A_2之间的角系数，假定在垂直于纸面的方向上表面的长度是无限延伸的

连接ac和bd，根据角系数的完整性，

$$X_{ab,cd}=1-X_{ab,ac}-X_{ab,bd}$$



连接bc和ad，则可把abc和abd看成由三个表面组成的封闭的系统

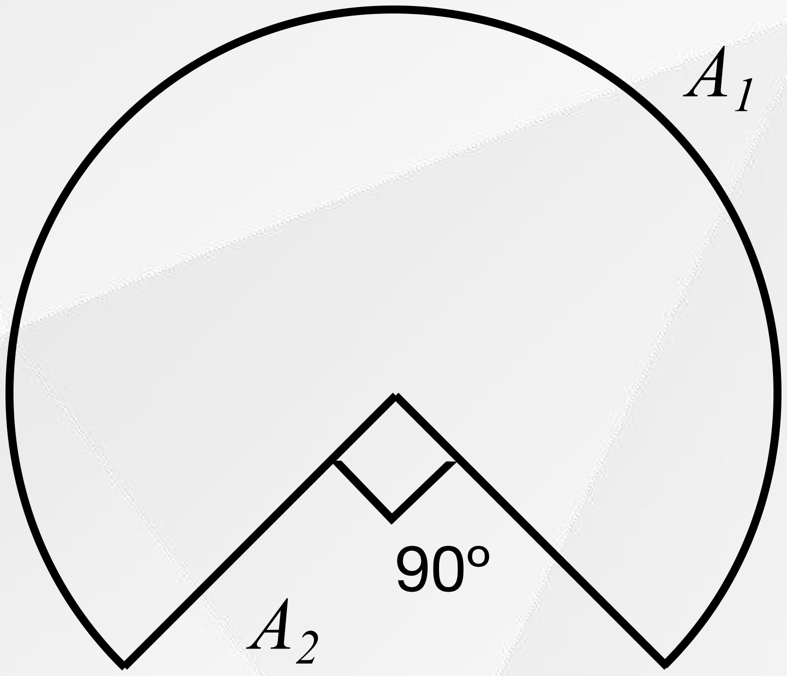
$$\left.\begin{aligned} X_{ab,ac}&=\frac{ab+ac-bc}{2ab} \\ X_{ab,bd}&=\frac{ab+bd-ad}{2ab}\end{aligned}\right\} X_{ab,cd}=\frac{(bc+ad)-(ac+bd)}{2ab}$$

$$X_{1,2}=\frac{\text{交叉线之和}-\text{不交叉线之和}}{2\times\text{表面}A_1\text{断面长度}}$$

交叉线法

角系数的计算方法

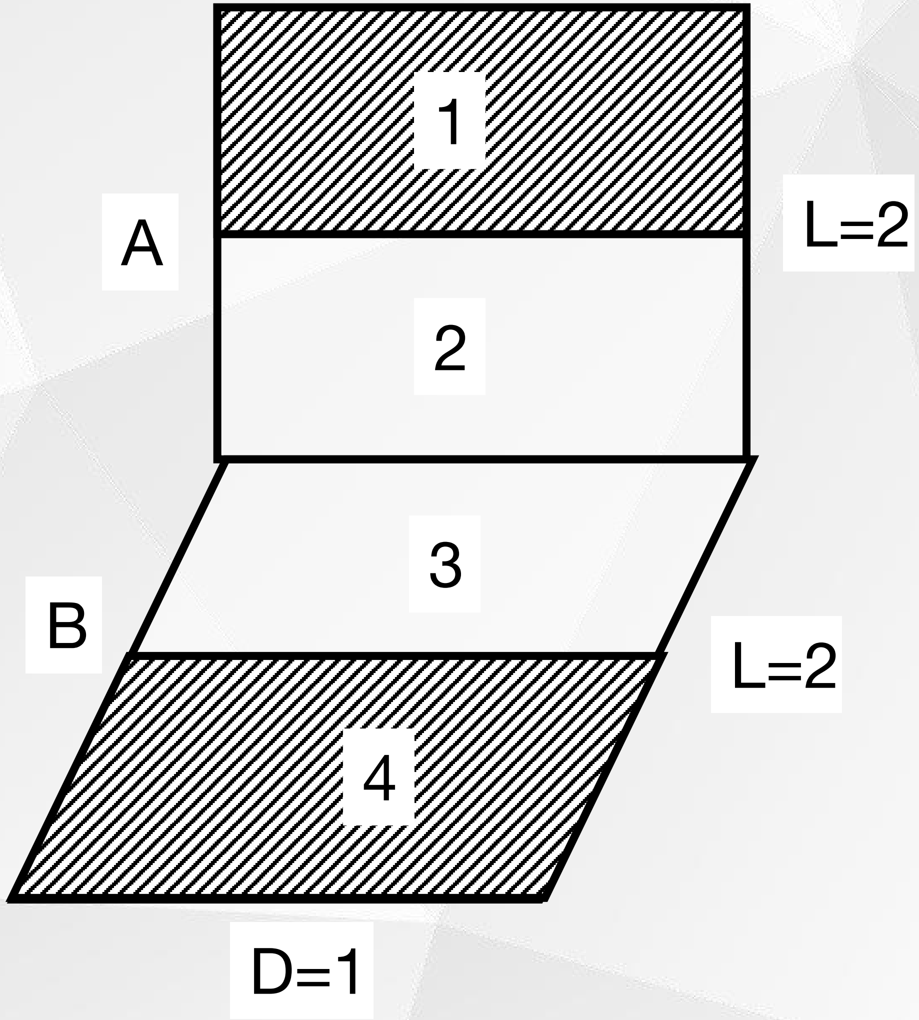
例题1：求下列图形中的角系数 $X_{1,2}$。



A_2为直角面

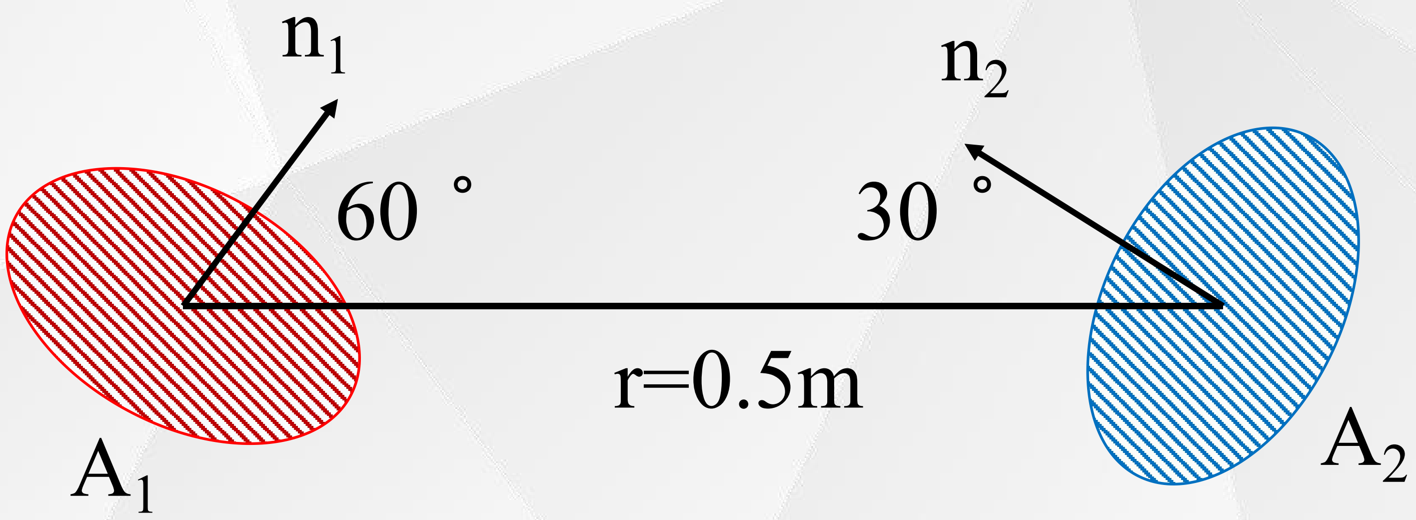
角系数的计算方法

例题2：已知：表面A、B分别被平均分成表面1、2和表面3、4。表面B与表面1的角系数$X_{B,1}=0.5$，表面3与表面1的角系数$X_{3,1}=0.2$，求图中表面1、4间的角系数$X_{1,4}$。



角系数的计算方法

例题3：设有如下图所示的两个微小面积A_1、A_2，$A_1=2\times10^{-4}m^2$、$A_2=3\times10^{-4}m^2$。A_1为漫射表面，辐射力$E_1=5\times10^4W/m^2$。试计算由A_1发出而落到A_2上的辐射能。



角系数的计算方法

例题4：求下列图形中的角系数$X_{1,2}$。