



计算机网络基础

第一章 概述

任课教师：马婷婷



01 计算机网络在信息时代的作用

02 因特网概述

03 因特网的组成

04 计算机网络的分类

05 计算机网络的主要性能指标

06 计算机网络体系结构

07 计算机网络在我国的发展

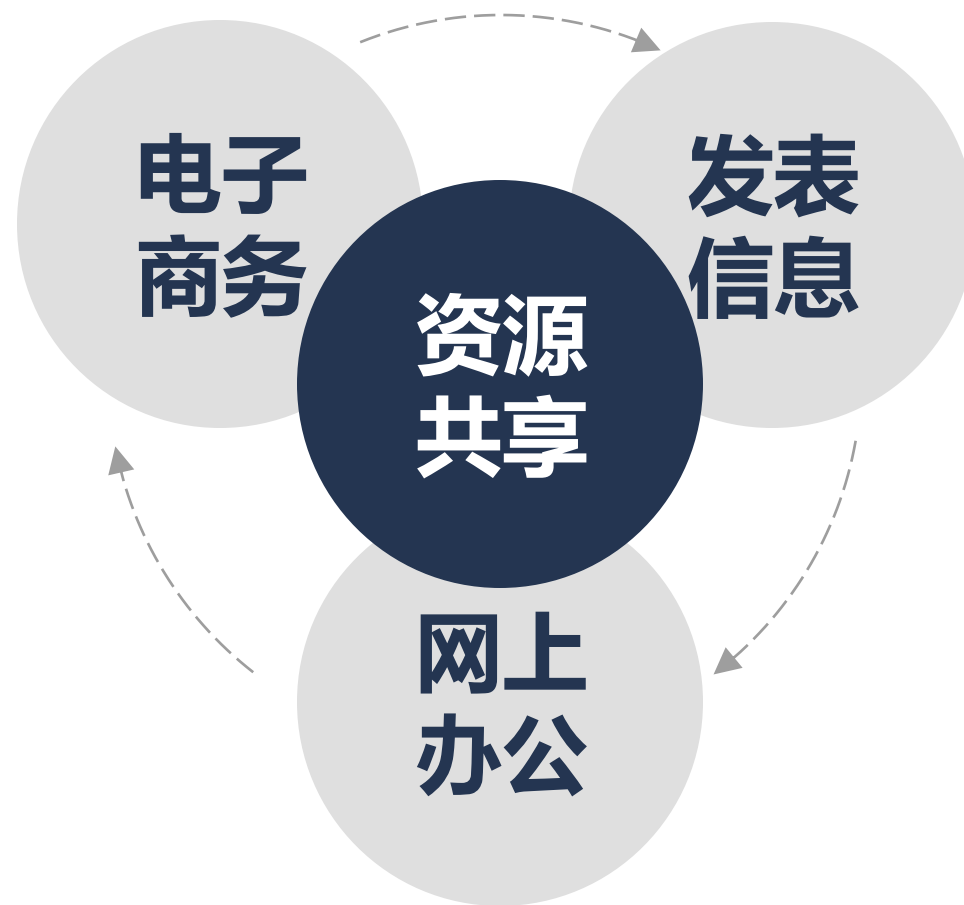
08 两个重要的新兴网络技术

第一部分 ▶

计算机网络在信息时代中的作用



1.1 计算机网络在信息时代的作用



第二部分 ▶

因特网概述



1.2.1 计算机网络

计算机网络：把分布在**不同地理位置**的多个**独立工作**的计算机、终端及附属设备在物理上互连，按照**网络协议**相互通信，由功能完善的网络软件管理，以共享硬件，软件和数据资源为目的的计算机系统。

自治：能独立运行，不依赖于其他计算机

互连：以任何可能的通信连接方式

1.2.1 计算机网络

从定义中可以看出网络的特点：

计算机网络是**计算机技术**和**通信技术**的结合。（技术上的保证）

目的是共享硬件，软件和数据**资源**。（实际应用的需要）

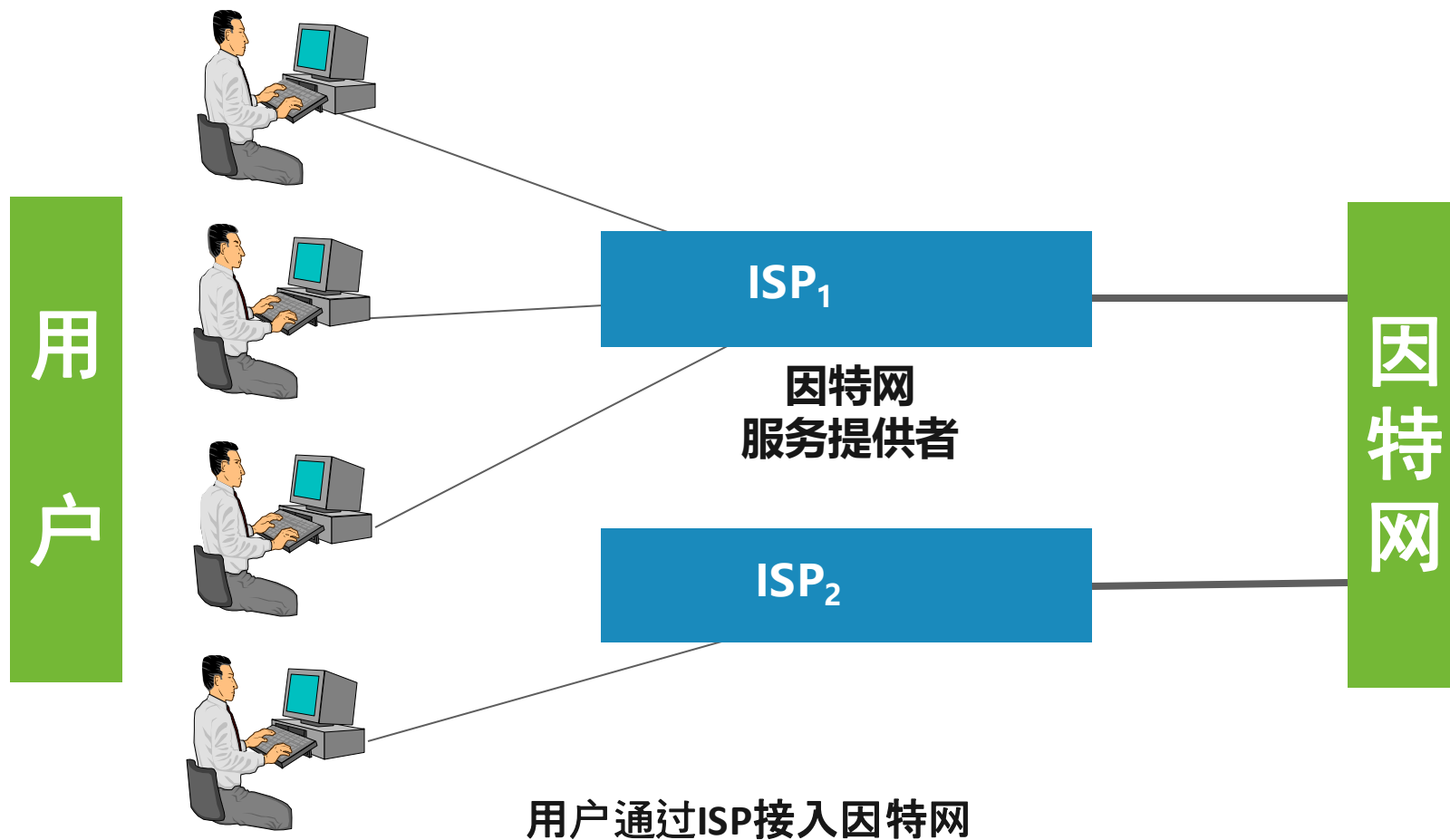
网络协议。（是计算机网络的**语言**）

1.2.2 因特网发展的三个阶段



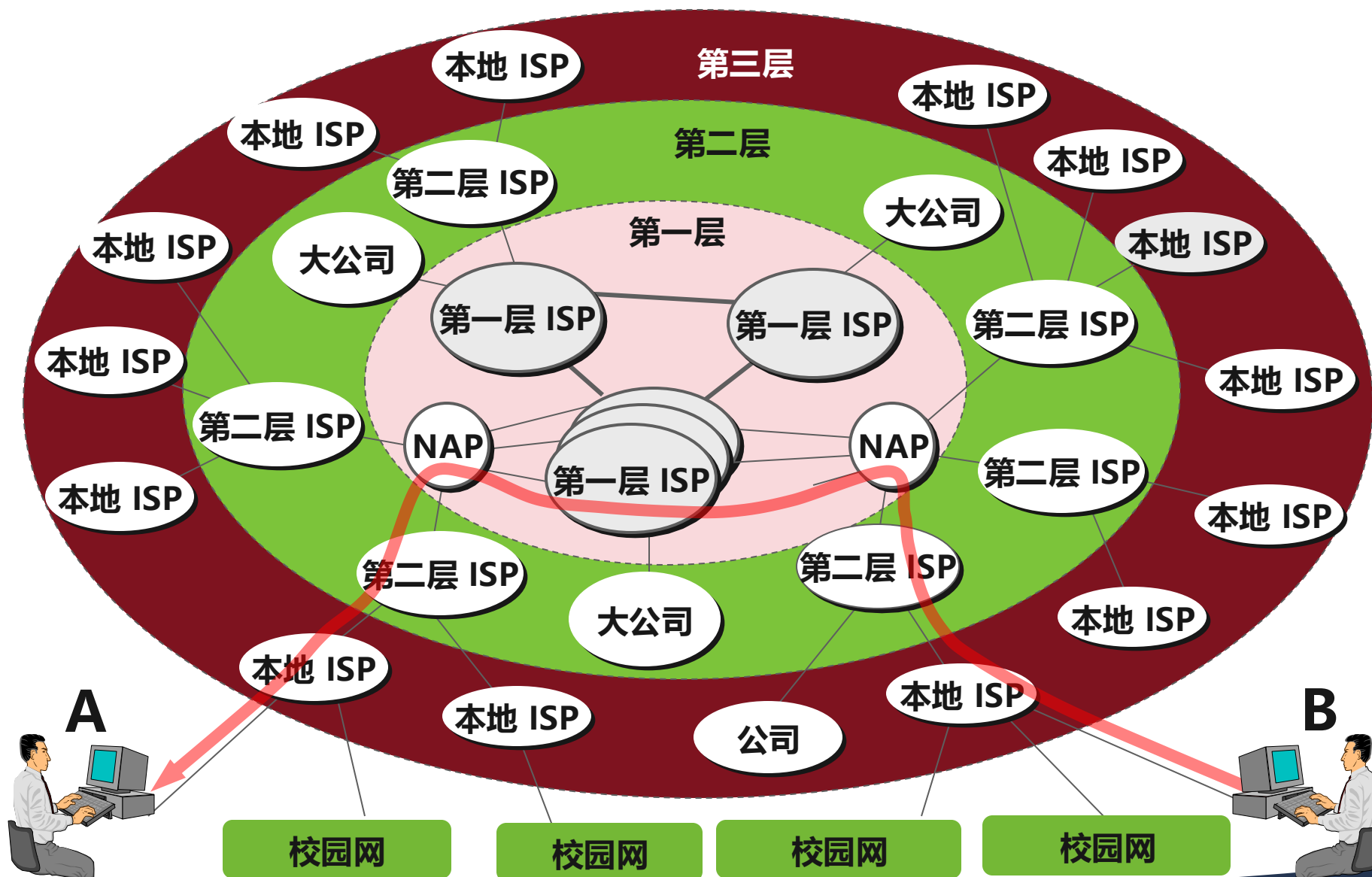
主干网、地区网和校园网（或企业网）

1.2.2 因特网发展的三个阶段

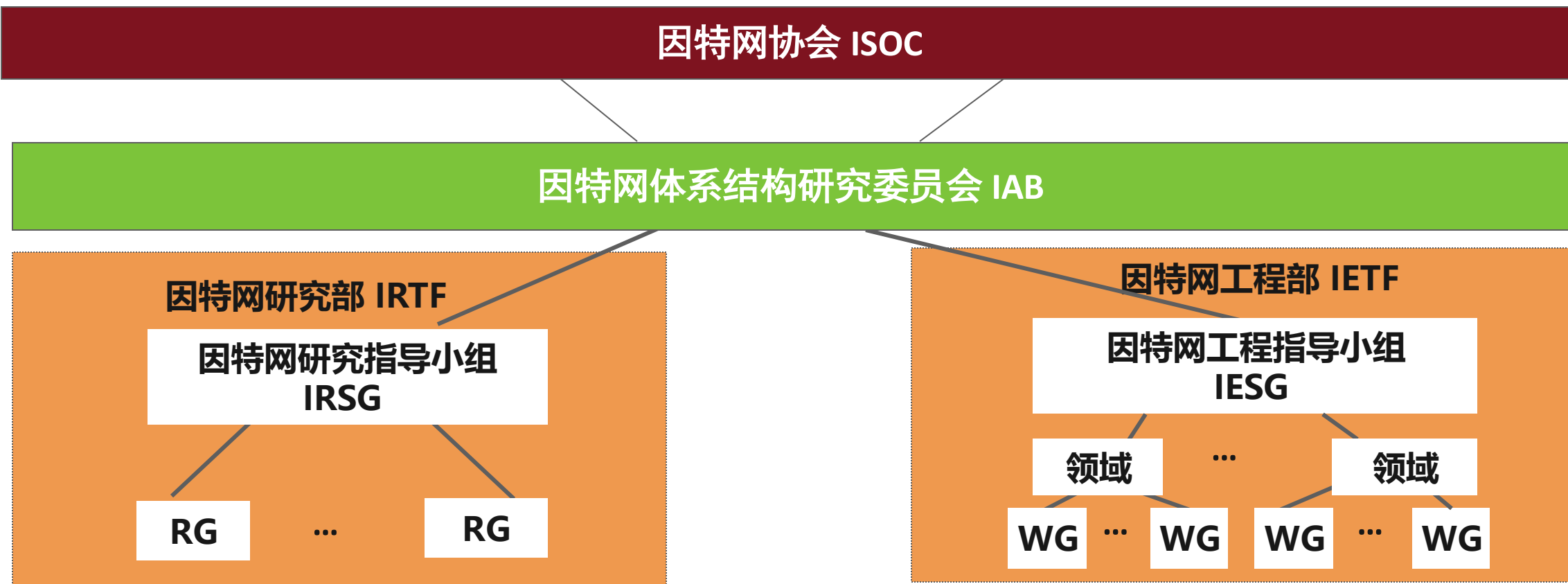


1.2.2 因特网发展的三个阶段

主机A
↓
本地 ISP
↓
第二层 ISP
↓
NAP
↓
第一层 ISP
↓
NAP
↓
第二层 ISP
↓
本地 ISP
↓
主机B



1.2.3 因特网的标准化工作



1.2.3 因特网的标准化工作

制定互联网的正式标准的4个阶段：

- 因特网草案(Internet Draft) ——在这个阶段还不是 RFC 文档。
- 建议标准(Proposed Standard) ——从这个阶段开始就成为 **RFC 文档**。
- 草案标准(Draft Standard)
- 因特网标准(Internet Standard)

第三部分 ▶

因特网的组成



1.3 因特网的组成

三种分类方法：

- 1) 从**功能组成**的角度
- 2) 从**物理组成**的角度
- 3) 从**工作方式**的角度

1.3.1 从功能组成的角度

从功能组成的角度，计算机网络主要分为资源子网和通信子网。

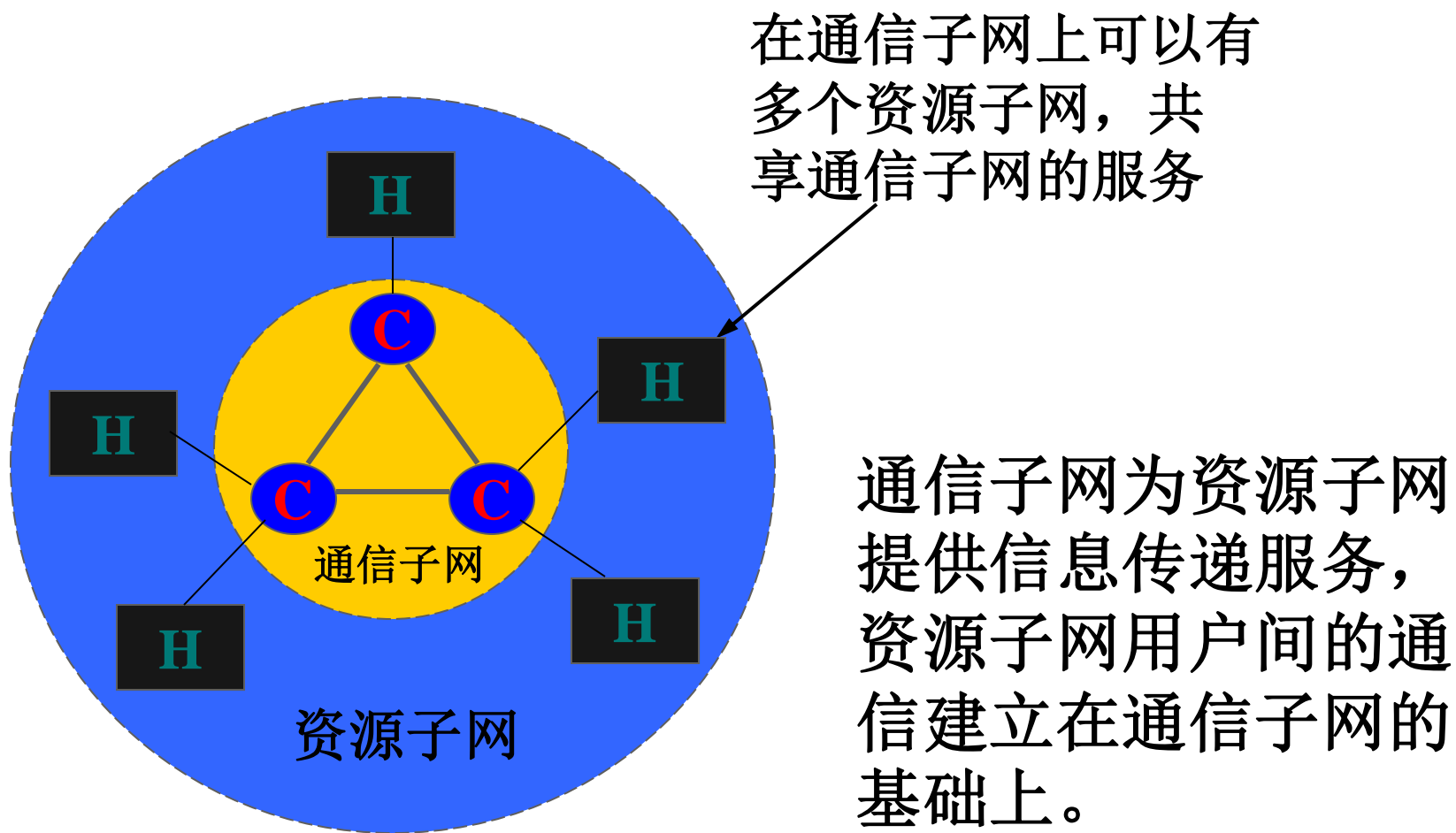
(1) 资源子网 （也称为数据处理系统）（边缘部分）

- 资源子网一般由主机、终端、相关的输入/输出设备和各种软硬件资源、数据资源组成，**负责数据处理、存储功能**。
- 相当于计算机系统。

(2) 通信子网 （也称为数据传输系统）（核心部分）

- 通信子网**负责数据通信处理**，包括网卡、线缆、集线器、中继器、网桥、路由器、交换机等设备和相应协议。
- 是为了连网的通信设备和通信线路等。
- 不同类型的网络，其通信子网的物理组成各不相同，如局域网和广域网。

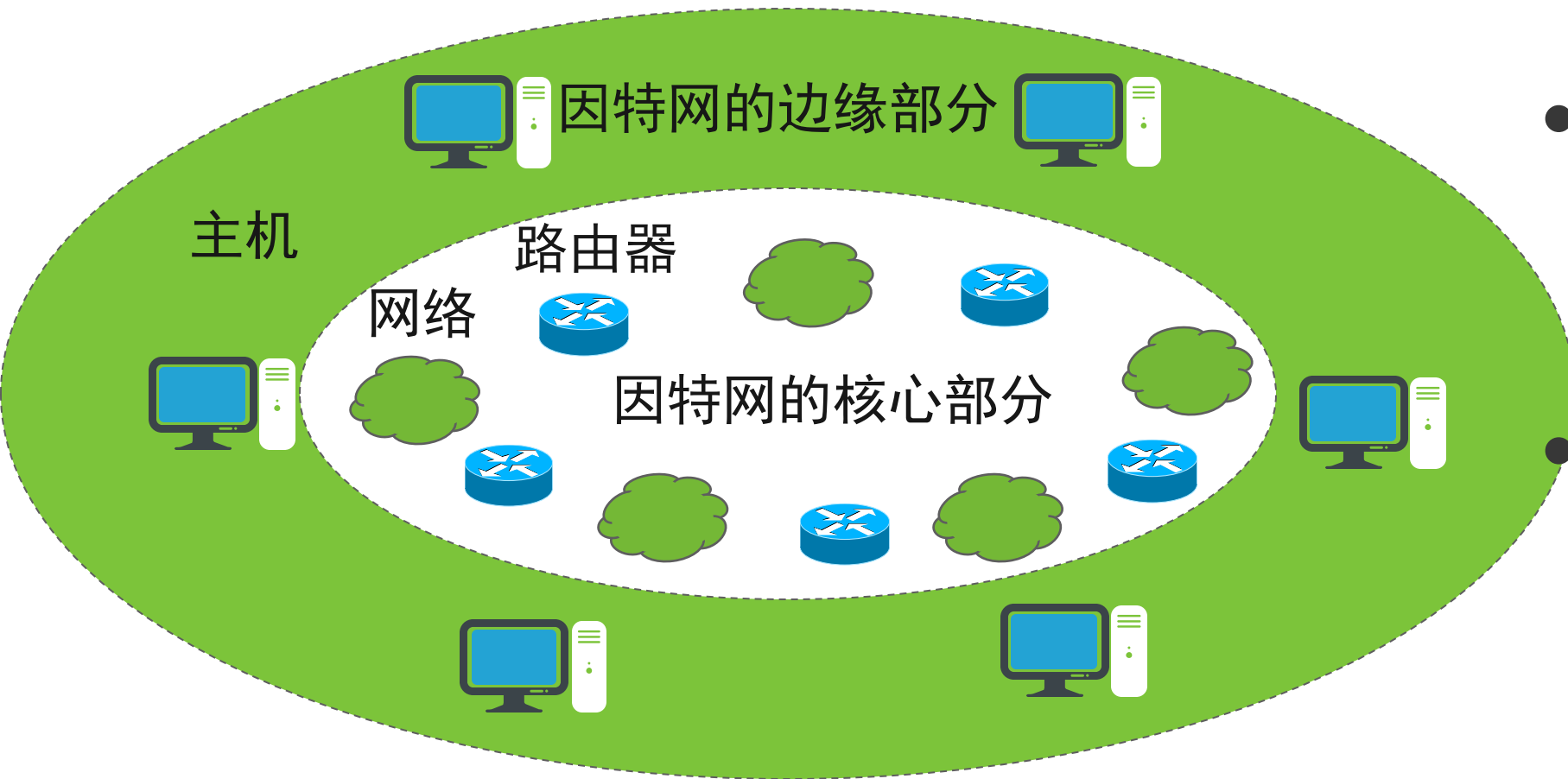
1.3.1 从功能组成的角度



两层网络的概念结构

1.3.1 从功能组成的角度

因特网的边缘部分与核心部分



- 处在因特网边缘的部分就是连接在因特网上的所有的主机。这些主机又称为**端系统**(end system)。
- “主机 A 和主机 B 进行通信”，实际上是指：“运行在主机 A 上的某个程序和运行在主机 B 上的另一个程序进行通信”。
- 即“主机 A 的某个进程和主机 B 上的另一个进程进行通信”。或简称为“计算机之间通信”。

1.3.1 从功能组成的角度

路由器

- 网络核心部分是因特网中最复杂的部分。
- 网络中的核心部分要向网络边缘中的大量主机提供连通性，使边缘部分中的任何一个主机都能够向其他主机通信（即传送或接收各种形式的数据）。
- 在网络核心部分起特殊作用的是路由器(router)。

路由器的任务：

路由器是实现**分组交换**(packet switching)的关键构件，其任务是转发收到的分组，这是网络核心部分最重要的功能。

1.3.2 从物理组成的角度

(1) 硬件

- 网络节点

- 端节点：通信的源节点和目的节点，如计算机、服务器；

- 中间节点（转接节点）：网络通信过程中起控制和转发数据作用的节点，如交换机、集中器、通信处理机、复用器、路由器、中继器；

- 通信线路：信息传输的通道

- 物理：传输介质；

- 逻辑：信道；

(2) 软件

- 通信软件（网络协议软件）；

- 网络操作系统（网络系统软件）；

- 网络管理/安全控制软件、网络应用软件；

(3) 协议

1.3.3 从工作方式的角度

- 主机被非正式地划分为：**客户机和服务器**

在网络边缘的端系统中运行的程序之间的工作方式通常可划分为两大类：

客户服务器方式（**C/S 方式**）

- 即 Client/Server方式

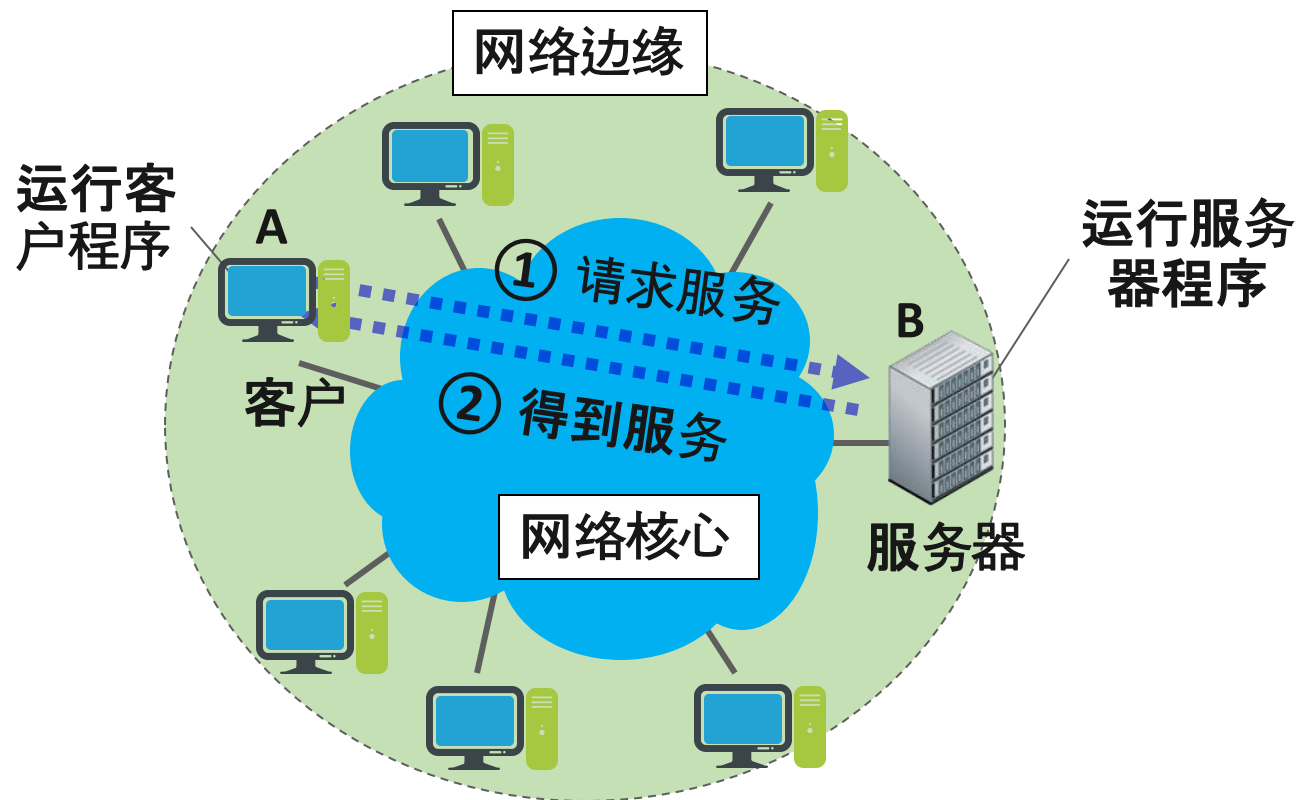
对等方式（**P2P 方式**）

- 即 Peer-to-Peer方式

1.3.3 从工作方式的角度

1) 客户服务器方式

- **客户**(client)和**服务器**(server)都是指通信中所涉及的两个应用进程。
- 客户服务器方式所描述的是进程之间服务和被服务的关系。
- 客户是**服务的请求方**，服务器是**服务的提供方**。



客户 A 向服务器 B 发出请求服务，
而服务器 B 向客户 A 提供服务。

1.3.3 从工作方式的角度

1) 客户服务器方式

客户端的特点：

- 1) 客户端被用户调用后运行，在通信时**主动**向远地服务器发起通信（请求服务）。因此，客户程序必须知道服务器程序的地址。
- 2) 可与多个服务器进行通信。
- 3) 不需要特殊的硬件和很复杂的操作系统。

1.3.3 从工作方式的角度

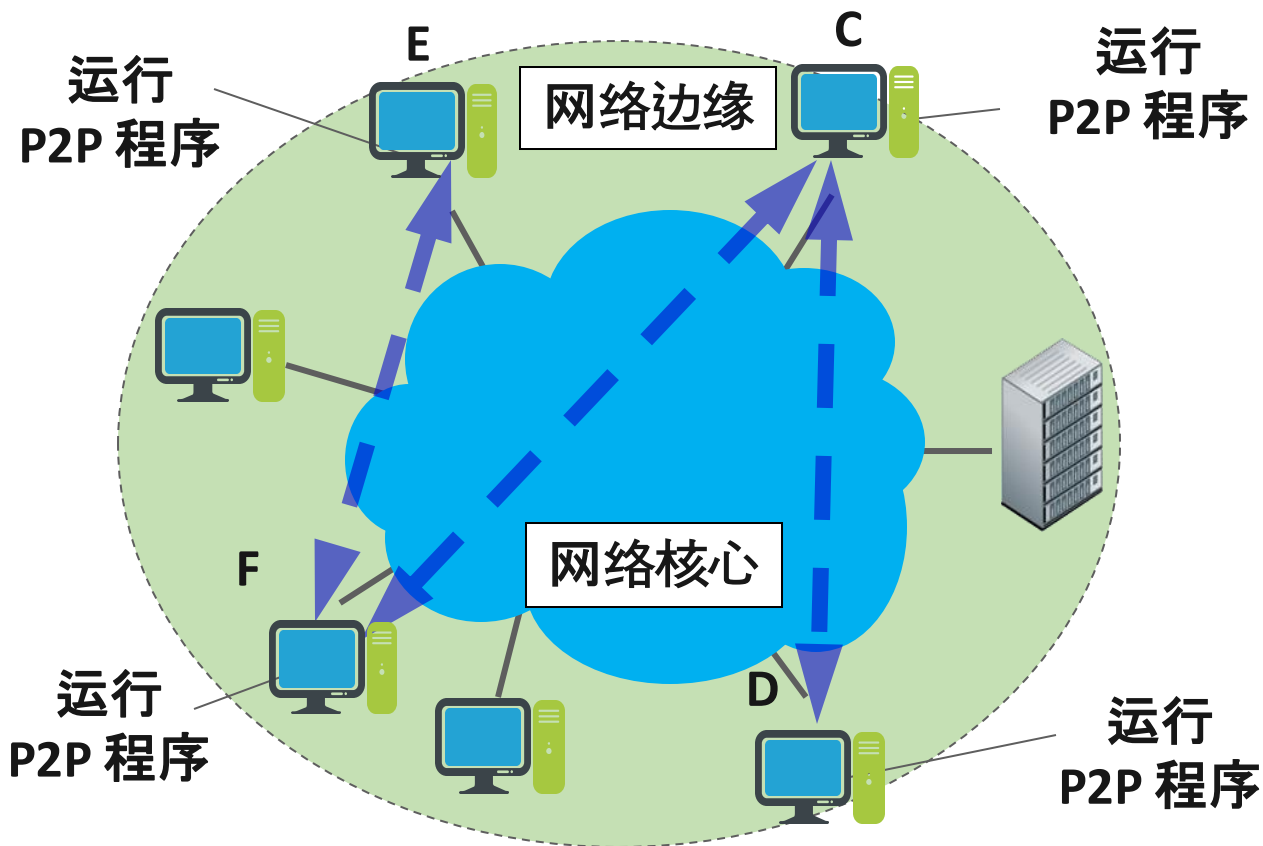
2) 对等连接方式

在**对等连接**(peer-to-peer, 简称为**P2P**) 方式的网络应用中, 通常没有固定的服务请求者和服务提供者, 分布在网络中的应用进程是对等的, 被称为**对等方**。

✓ 对等连接方式的**特点**

对等连接方式从本质上看仍然是使用客户服务器方式, 只是对等连接中的每一个主机既是客户又同时是服务器。

例如主机 C 请求 D 的服务时, C 是客户, D 是服务器。但如果 C 又同时向 F 提供服务, 那么 C 又同时起着服务器的作用。



对等方相互之间**直接通信**, 每个对等方即是服务的请求者, 又是服务的提供者



第四部分 ▶

计算机网络的分类

■ 计算机网络的分类

根据不同的分类标准，计算机网络有多种分类方法：

- 1) 按地域范围分类（广域网、局域网、城域网）
- 2) 按拓扑结构分类（星形、总线形、环形等）
- 3) 按传输介质分类（有线、无线）
- 4) 按用户分类（公用、专用）
- 5) 按网络控制方式分类（集中式、分布式）
- 6) 按网络的交换功能分类（电路、报文、分组交换）
- 7) 按网络协议分类（以太网、令牌环等）
- 8) 按信息传播方式分类（点到点、广播方式）

1.4.1 按地域范围分类

— 局域网(Local Area Network , LAN)

- 范围：小, $< 100\text{KM}$
- 速率：10-1000Mbps
- 拓扑结构：总线, 星形
- 传输技术：基带, 延迟低, 出错率低 (10^{-11})
- 广播式网络, 信道共享
- 物理、链路两层
- 优点：组网方便, 使用灵活

— 广域网(Wide Area Network , WAN)

- 范围：大, $> 100\text{KM}$
- 速率：主干已达2.5Gbps
- 拓扑结构：不规则, 点到点传输
- 传输技术：宽带, 延迟大, 出错率高
- 多路复用, 提高线路利用率
- 物理、链路、网络层
- 典型代表：ARPANET, CHINANET, CERNET等

— 城域网(Metropolitan Area Network , MAN)

- 范围：中等, $< 100\text{KM}$
- 传输技术：宽带/基带
- 设计目的：满足大量企业、公司的多个局域网互连的需要

1.4.2 按拓扑结构分类

网络的拓扑结构是指计算机网络连接使用的电缆所构成的几何形状。

1) 星形

有一个**中心节点**，其它节点与其构成点到点连接

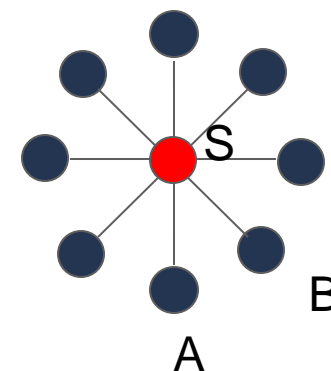
星型的特点：

网络结构简单，组网容易，易于扩充，成本低

网络延迟短，误码率低

可以同时使用多种物理介质

网络共享能力较差，线路利用率不高，中央结点负担过重

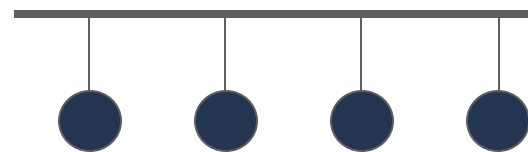


星形拓扑

1.4.2 按拓扑结构分类

2) 总线

- 所有节点挂接到一条总线上, **广播式信道**
- 需要有介质访问控制规程以防止冲突



总线形拓扑

总线的特点：

结构简单灵活, 便于扩充

价格低, 安装方便

共享资源能力强, 便于广播式工作

当节点通信量增加时, 性能会急剧下降

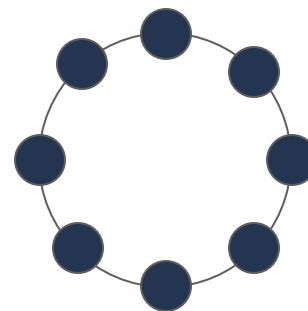
1.4.2 按拓扑结构分类

3) 环形

- 所有节点连接成一个闭合的环，结点之间为点到点连接

环形的特点：

数据在环上单向流动
路由选择相对简单
可靠性高
时间延迟确定
扩充不方便



环形拓扑

1.4.2 按拓扑结构分类

4) 树形（总线的扩展）

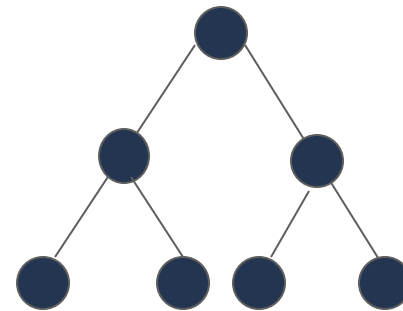
- 一个根结点、多个中间分支节点和叶子节点构成

树形的特点：

是一种层次网，扩充方便

点到点网络

有容错能力，一个分支的故障不影响另一个分支的工作



树形拓扑

1.4.2 按拓扑结构分类

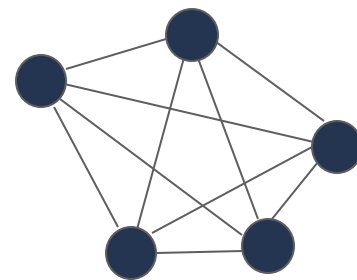
5) 全连接

- 点到点全连接，连接数随节点数的增长迅速增长，使建造成本大大提高，只适用于节点数很少的广域网中

全连接的特点：

无须路由选择，通信方便

连接复杂，适合节点少，距离近的环境



全连接拓扑

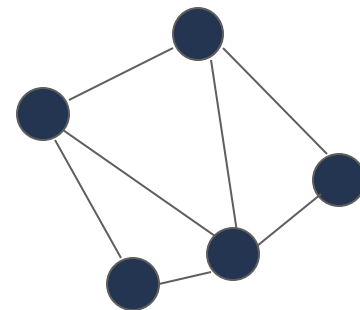
1.4.3 按拓扑结构分类

6) 不规则（网状）

- 点到点部分连接，多用于广域网，由于连接的不完全性，需要有交换节点

网状的特点：

用于大型或广域网
需要中继节点转发



不规则拓扑

1.4.3 其他分类方法

III、按传输介质分类：

- 有线网
- 无线网

IV、按用户分类：

- 公用网，电信部门建设，需交费才可以使用
- 专用网，只为拥有者提供服务，不向拥有者以外的人提供服务，比如军事、铁路、电力、教育等系统专用

V、按网络控制方式分类

- 集中式，信息处理和控制功能集中在少数节点，所有的信息流都必须经过这些节点之一
- 分布式，不存在一个控制中心，信息从一个节点到另一个节点，可以有多条路径

1.4.3 其他分类方法

VI、按网络的交换功能分类

电路交换

报文交换

分组交换

VII、按网络协议分类：

以太网（IEEE 802.3）

令牌环网（IEEE 802.5）

FDDI网

ATM网（异步传输方式）

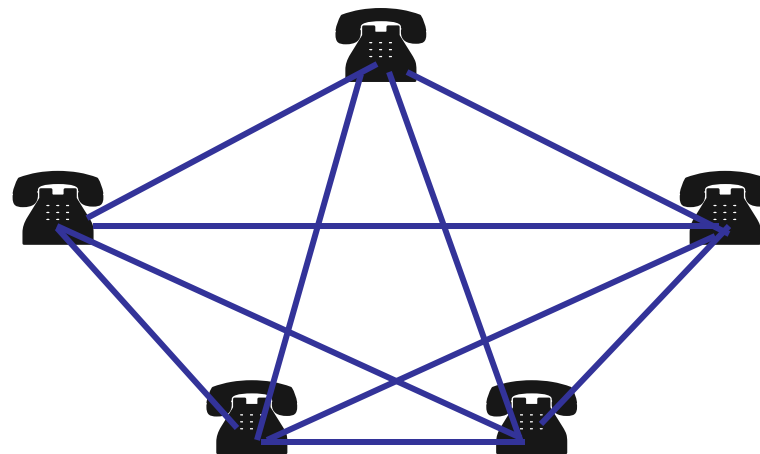
1.4.4 按网络的交换功能方法

1) 电路交换

两部电话机只需要用一对电线就能够互相连接起来。

更多的电话机互相连通

- 5 部电话机两两相连, 需 10 对电线。
- N 部电话机两两相连, 需 $N(N-1)/2$ 对电线。
- 当电话机的数量很大时, 这种连接方法需要的电线对的数量与电话机数的平方成正比。



1.4.4 按网络的交换功能方法

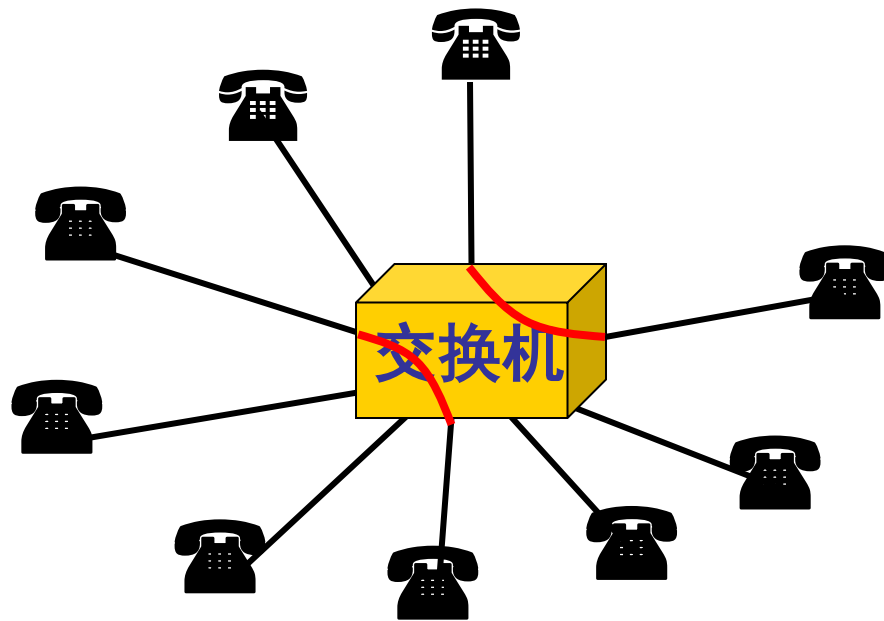
1) 电路交换

当电话机的数量增多时，就要使用交换机来完成全网的交换任务。

“交换”的含义

在这里，“**交换**”(switching)的含义就是**转接**——把一条电话线转接到另一条电话线，使它们连通起来。

从通信资源的分配角度来看，“交换”就是按照某种方式**动态地分配**传输线路的资源。



多开关的开关器

1.4.4 按网络的交换功能方法

电路交换的**特点**：

电路交换必定是**面向连接**的。

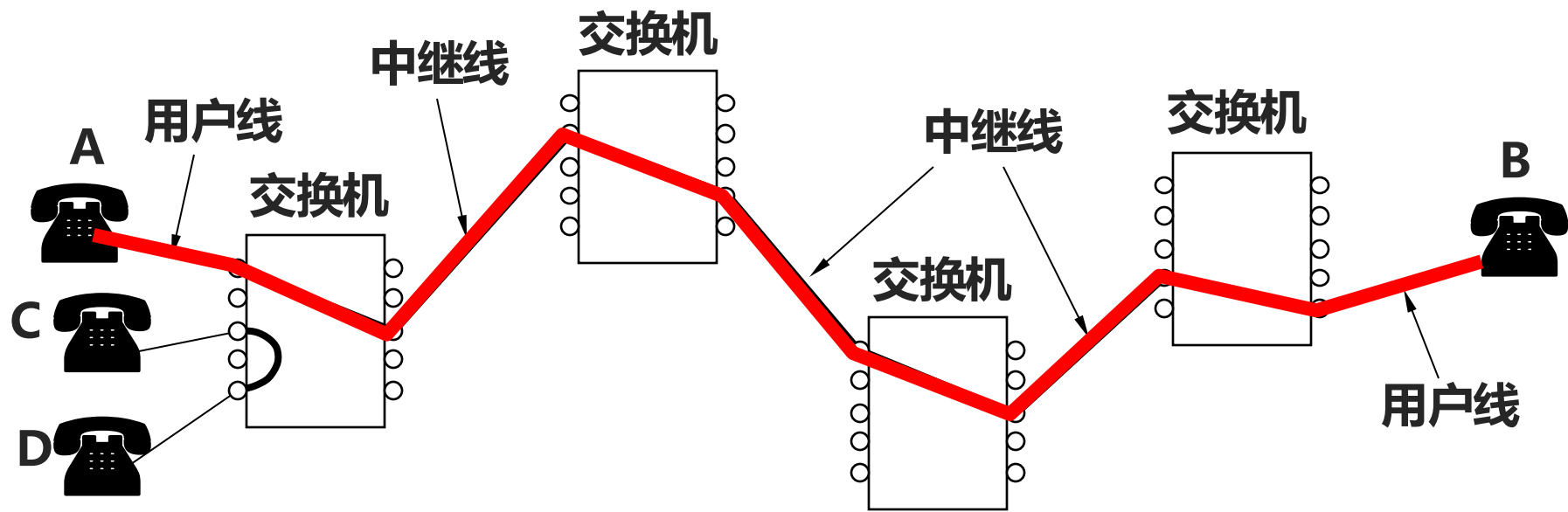
电路交换的**三个阶段**：

- ◆建立连接
- ◆通信
- ◆释放连接

1.4.4 按网络的交换功能方法

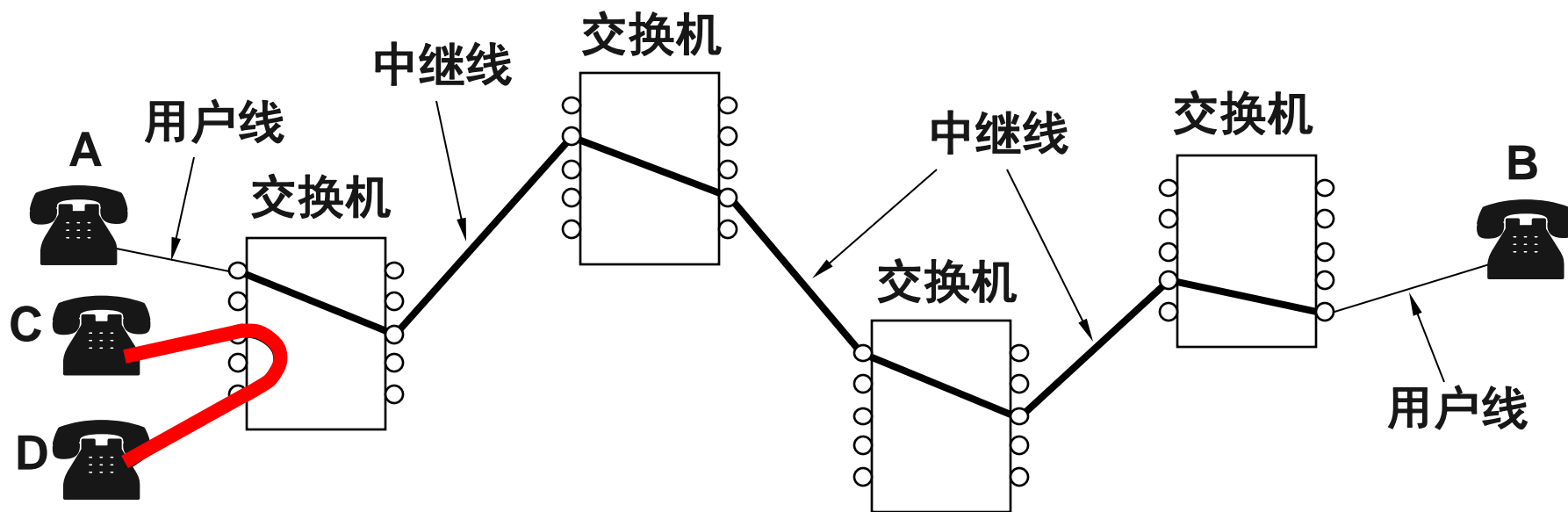
举例

- A 和 B 通话经过四个交换机
- 通话在 A 到 B 的连接上进行



1.4.4 按网络的交换功能方法

- C 和 D 通话只经过一个本地交换机
- 通话在 C 到 D 的连接上进行



1.4.4 按网络的交换功能方法

电路交换的优点：

- 由于通信线路为通信双方用户专用，数据直达，所以传输数据的时延非常小。
- 通信双方之间的物理通路一旦建立，双方可以随时通信，实时性强。
- 双方通信时按发送顺序传送数据，不存在失序问题。
- 电路交换既适用于传输模拟信号，也适用于传输数字信号。
- 电路交换的交换的交换设备（交换机等）及控制均较简单。

1.4.4 按网络的交换功能方法

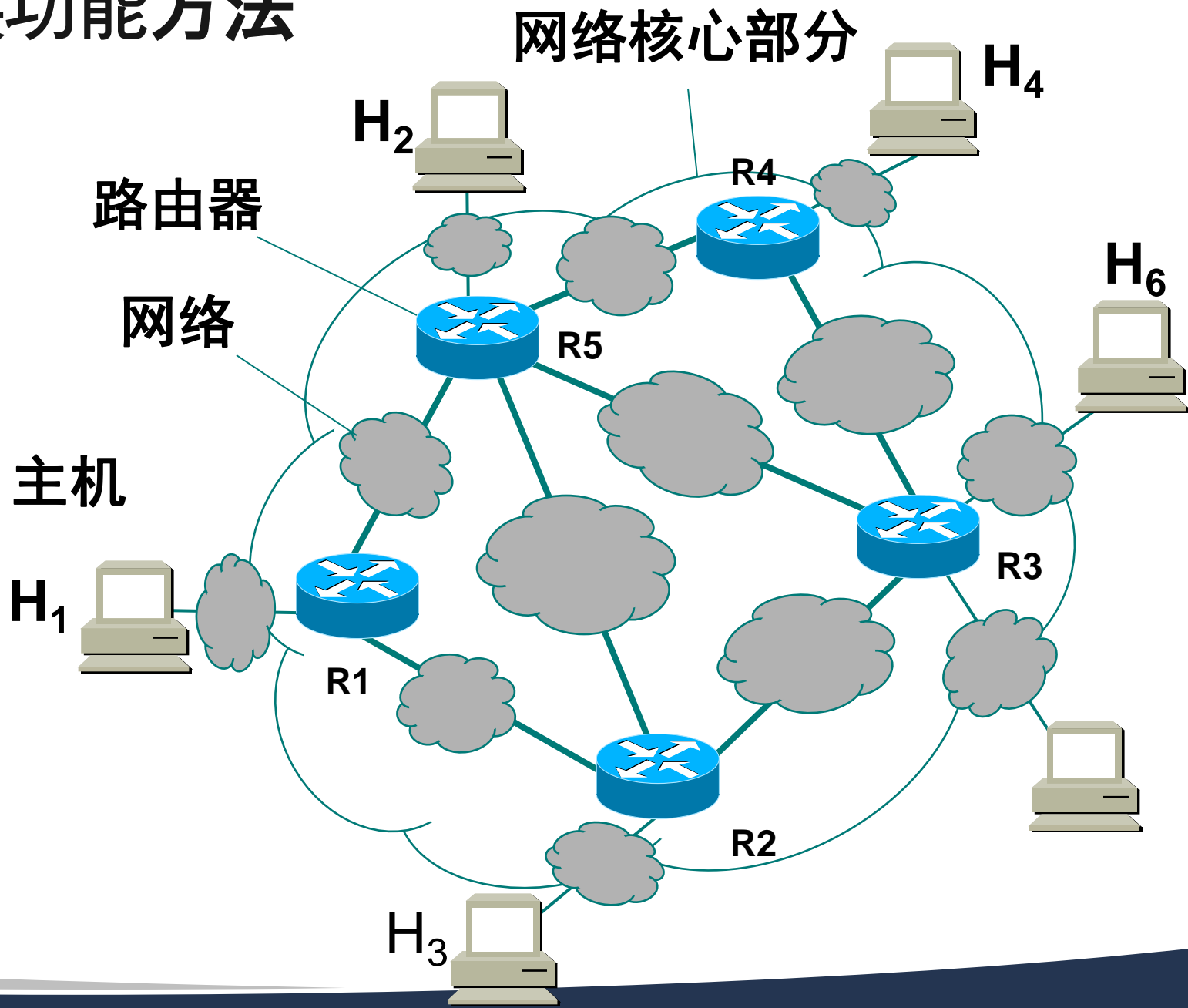
电路交换的缺点：

- 电路交换连接建立后，物理通路被通信双方独占，即使通信线路空闲，也不能供其他用户使用，因而信道利用低。电路交换的平均连接建立时间对计算机通信来说嫌长。
- 电路交换时，数据直达，不同类型、不同规格、不同速率的终端很难相互进行通信，也难以在通信过程中进行差错控制。

1.4.4 按网络的交换功能方法

2) 报文交换

- 报文: 将发送的整个数据块称为**报文**, 包括报头, 正文和报尾。
- 报文交换: 以报文为单位进行**存储交换**的技术。



1.4.4 按网络的交换功能方法

在路由器中的输入和输出端口之间**没有直接连线**。

路由器处理分组的过程是：

- 1)把收到的分组先放入**缓存（暂时存储）**；
- 2)查找**转发表**，找出到某个目的地址应从哪个端口转发；
- 3)把分组送到适当的**端口**转发出去。

1.4.4 按网络的交换功能方法

主机为用户进行信息处理，并向网络发送分组，从网络接收分组。

路由器对分组进行存储转发，最后把分组交付给目的主机。

1.4.4 按网络的交换功能方法

- 因特网的核心部分是由许多**网络**和把它们互连起来的**路由器**组成，而**主机**处在因特网的边缘部分。
- 在因特网核心部分的路由器之间一般都用高速链路相连接，而在网络边缘的主机接入到核心部分则通常以相对较低速率的链路相连接。
- **主机**的用途是为用户进行信息处理的，并且可以和其他主机通过网络交换信息。**路由器**的用途则是用来转发分组的，即进行分组交换的。

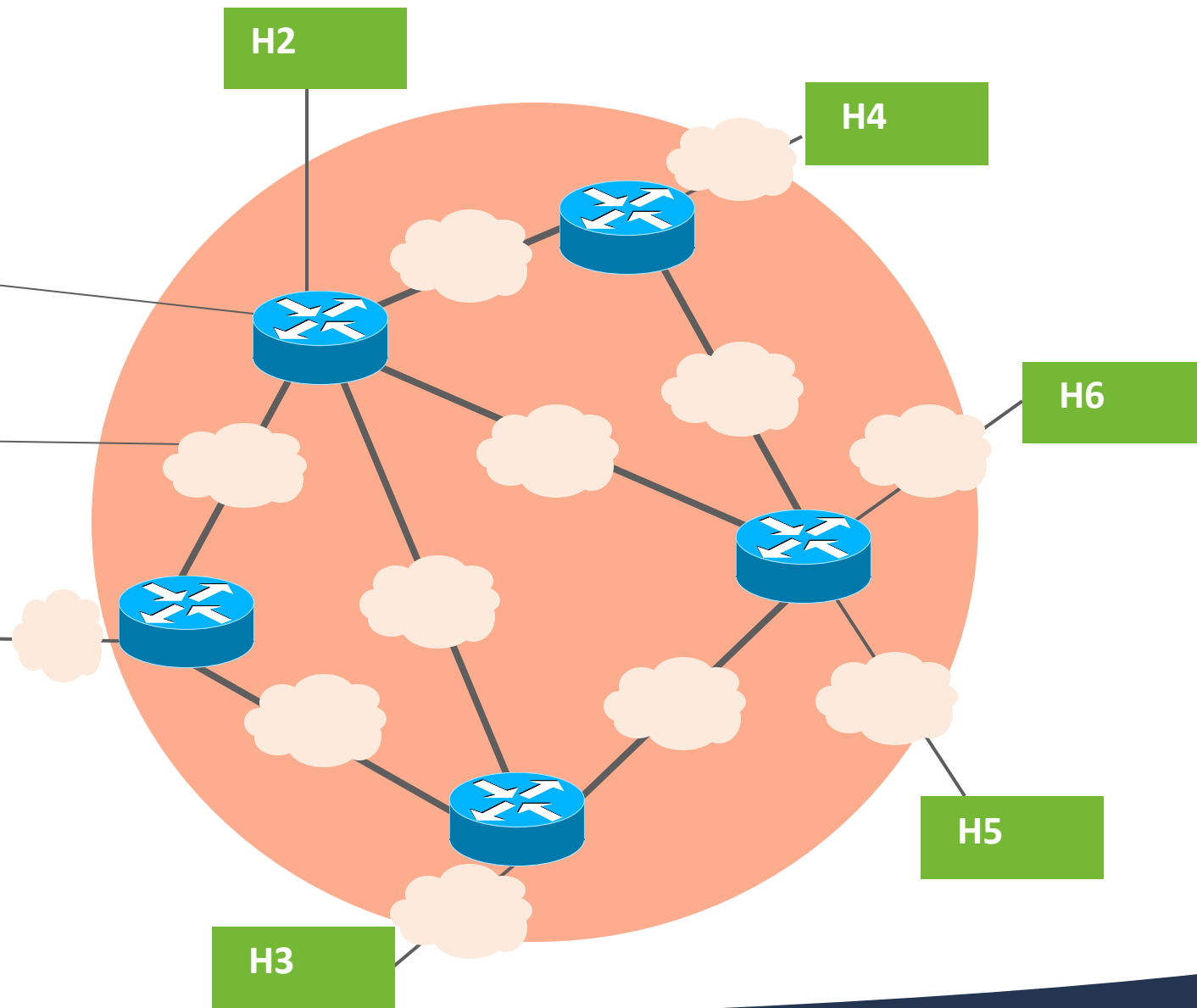
1.4.4 按网络的交换功能方法

网络核心部分

路由器

网络

主机



1.4.4 按网络的交换功能方法

报文交换的优点

1) 高效

动态分配传输带宽，对通信链路是逐段占用

2) 灵活

以报文为传送单位和查找路由。

3) 迅速

不必先建立连接就能向其他主机发送报文。

4) 可靠

保证可靠性的网络协议；分布式的路由选择协议使网络有很好的生存性。

1.4.4 按网络的交换功能方法

报文交换的缺点：

报文在各结点存储转发时需要**排队**，这就会造成一定的**时延**。

报文必须携带的首部（里面有必不可少的控制信息）也造成了一定的**开销**。

无法确保通信时端到端所需的带宽，在通信量较大时可能造成**网络拥塞**。

1.4.4 按网络的交换功能方法

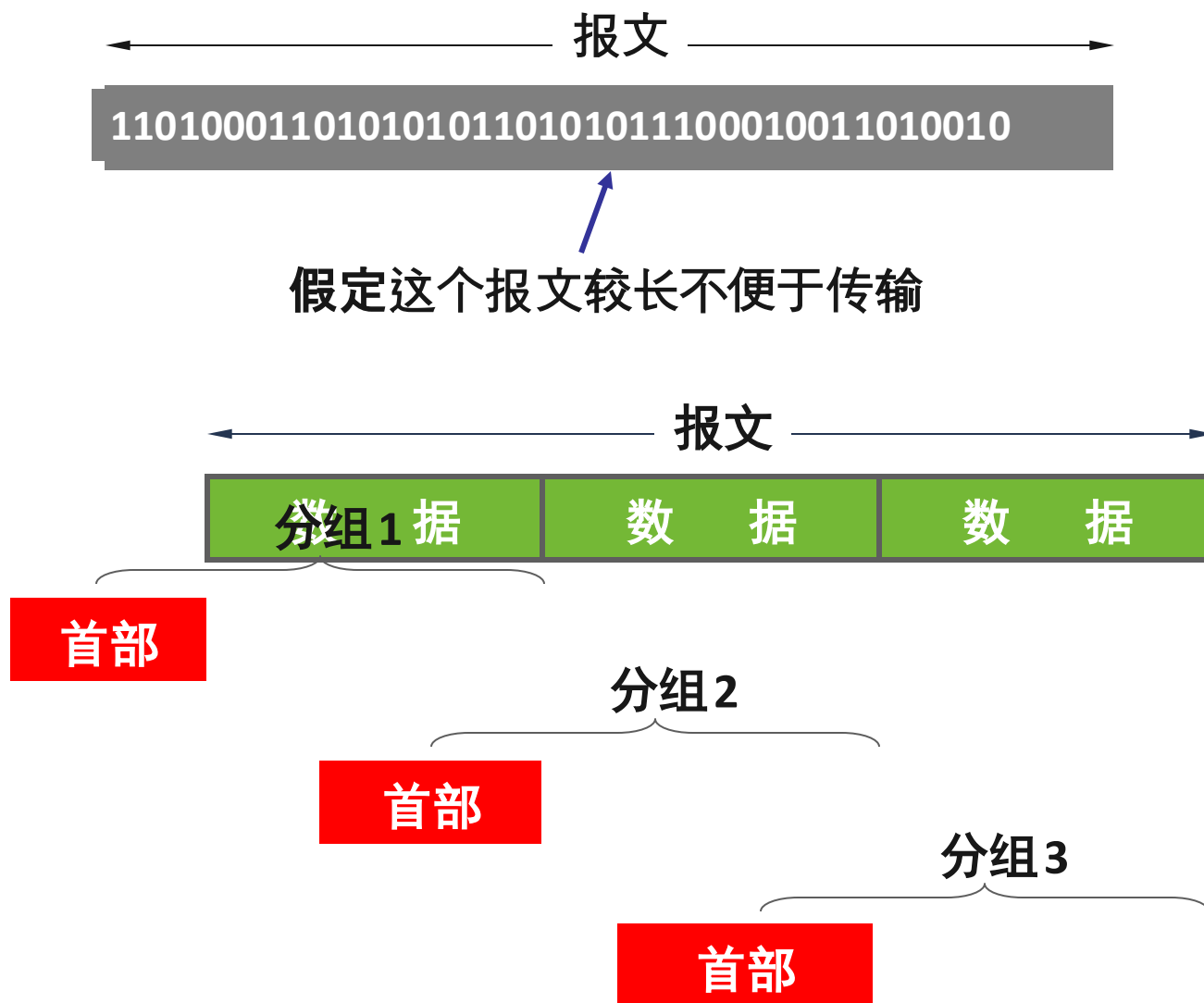
3) 分组交换

在发送端，先把较长的报文**划分**
成较短的、固定长度的数据段。

添加首部构成分组

每一个数据段前面添加上**首部**构成分组。

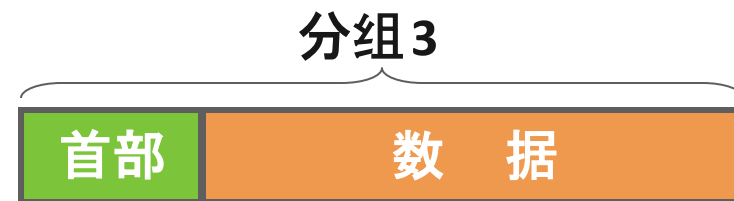
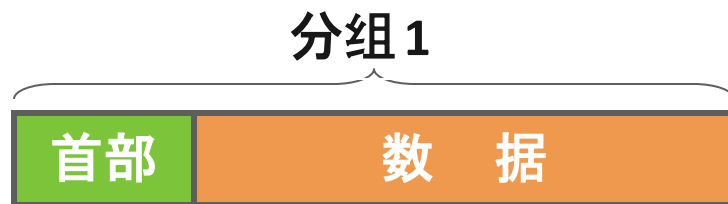
请注意：现在左边是“前面”



1.4.4 按网络的交换功能方法

分组交换的传输单元

- 分组交换网以“**分组**”作为数据传输单元。
- **依次**把各分组发送到接收端（假定接收端在左边）。



1.4.4 按网络的交换功能方法

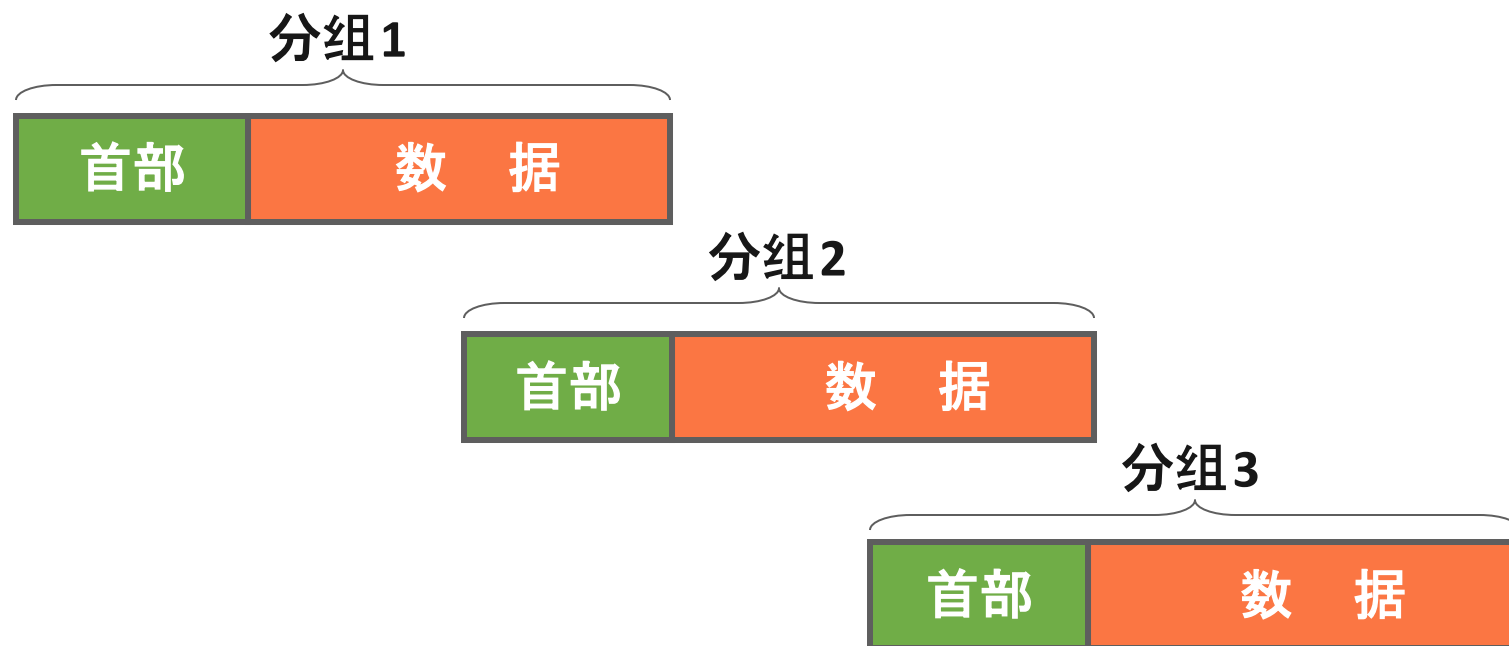
每一个分组的首部都含有地址等控制信息。

分组交换网中的结点交换机根据收到的分组的首部中的地址信息，把分组转发到下一个结点交换机。

用这样的存储转发方式，最后分组就能到达最终目的地。

1.4.4 按网络的交换功能方法

- 接收端收到分组后剥去首部还原成报文。



收到的数据

1.4.4 按网络的交换功能方法

最后，在接收端把收到的数据恢复成为原来的报文。

报文

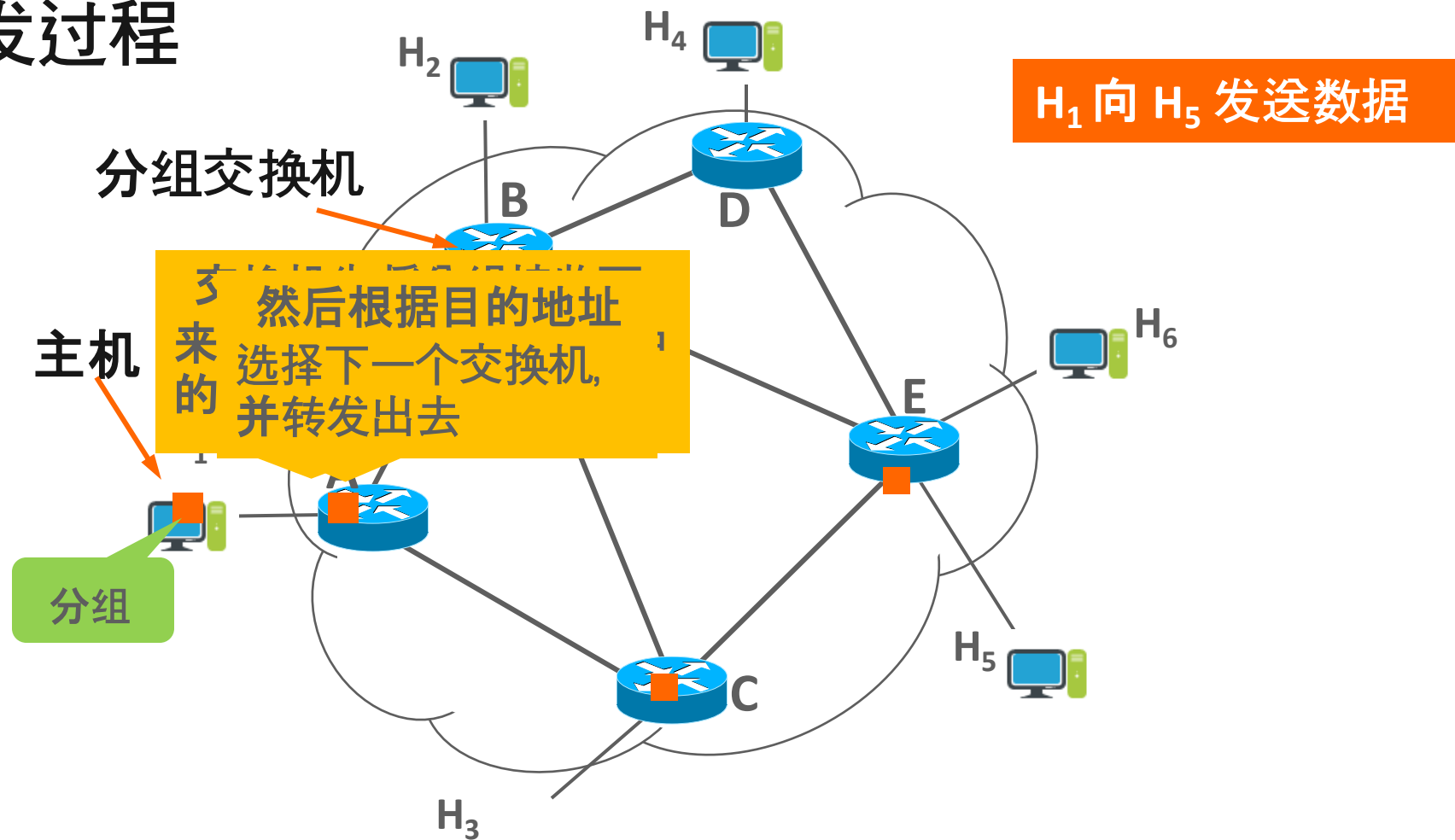


1101000110101010110101011100010011010010

这里我们假定分组在传输过程中没有出现差错，在转发时也没有被丢弃。

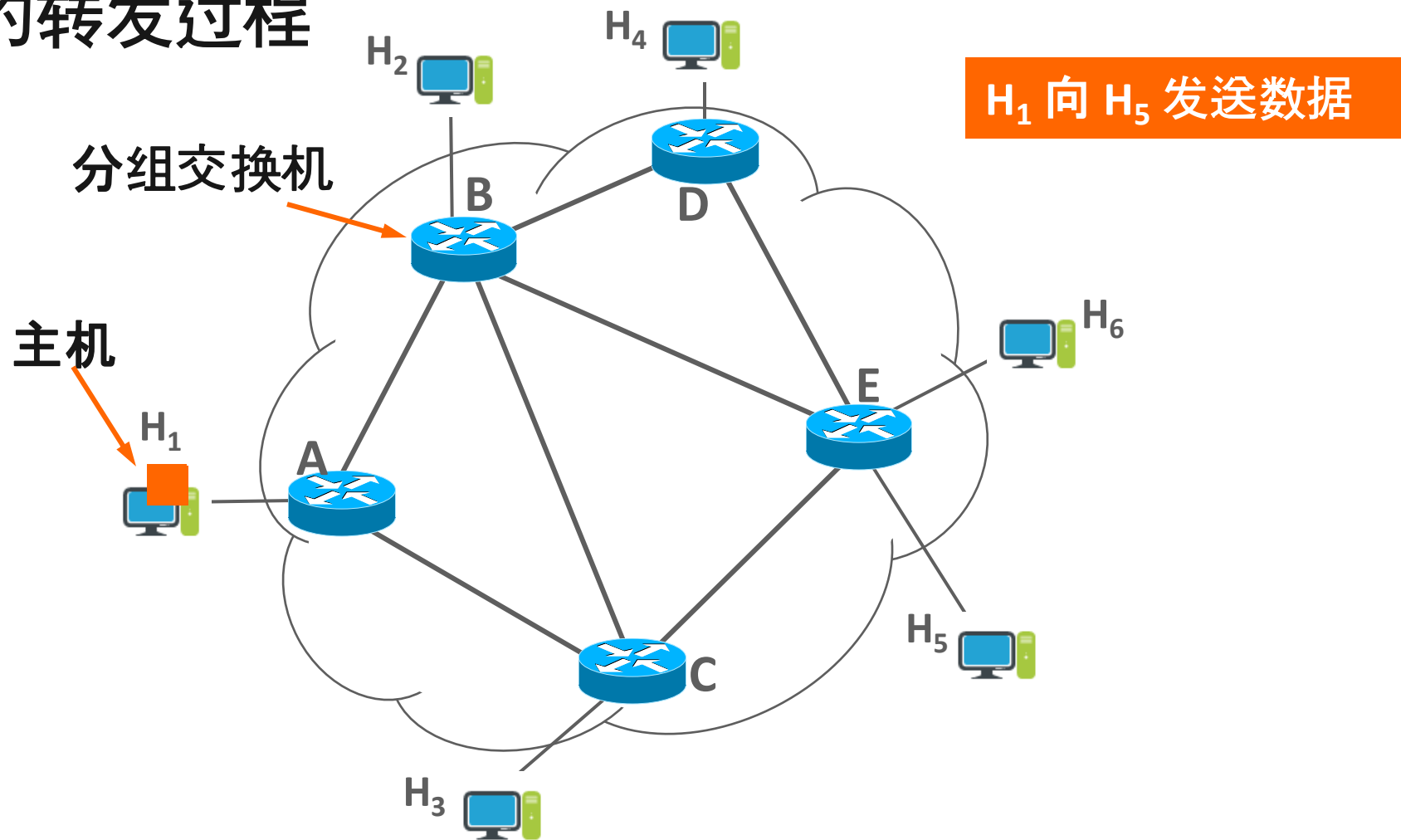
1.4.4 按网络的交换功能方法

单个分组的转发过程



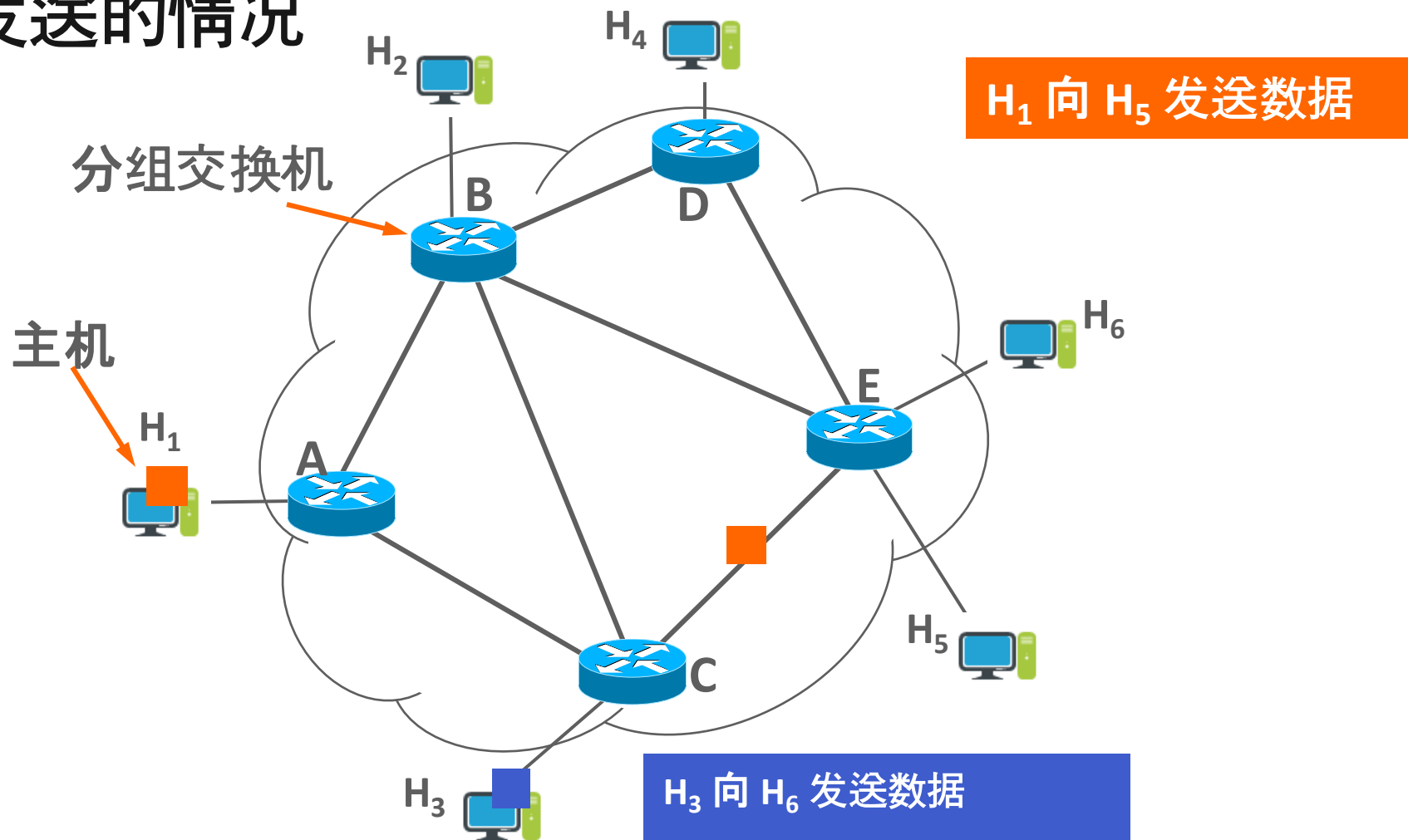
1.4.4 按网络的交换功能方法

连续多个分组的转发过程



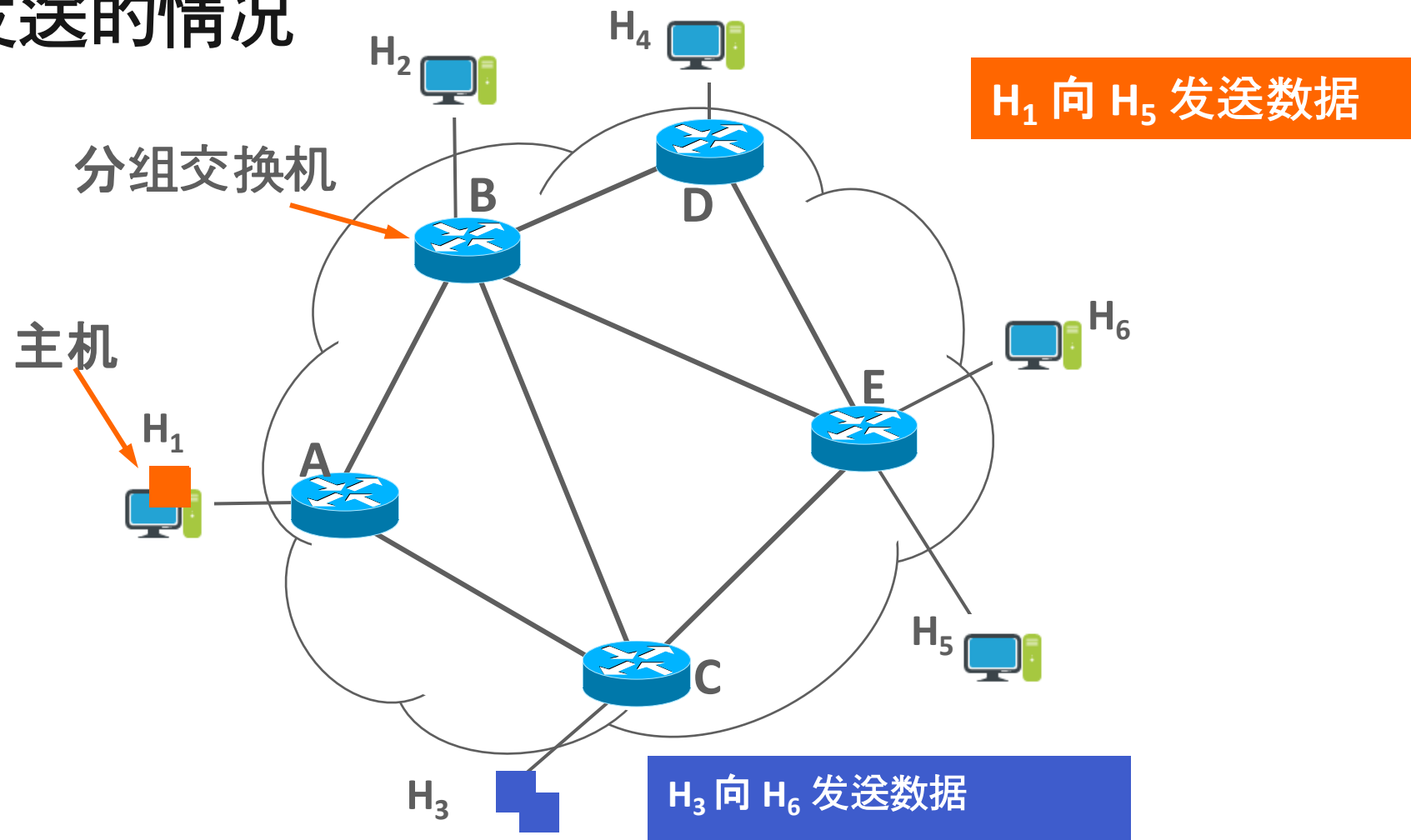
1.4.4 按网络的交换功能方法

两台主机同时发送的情况

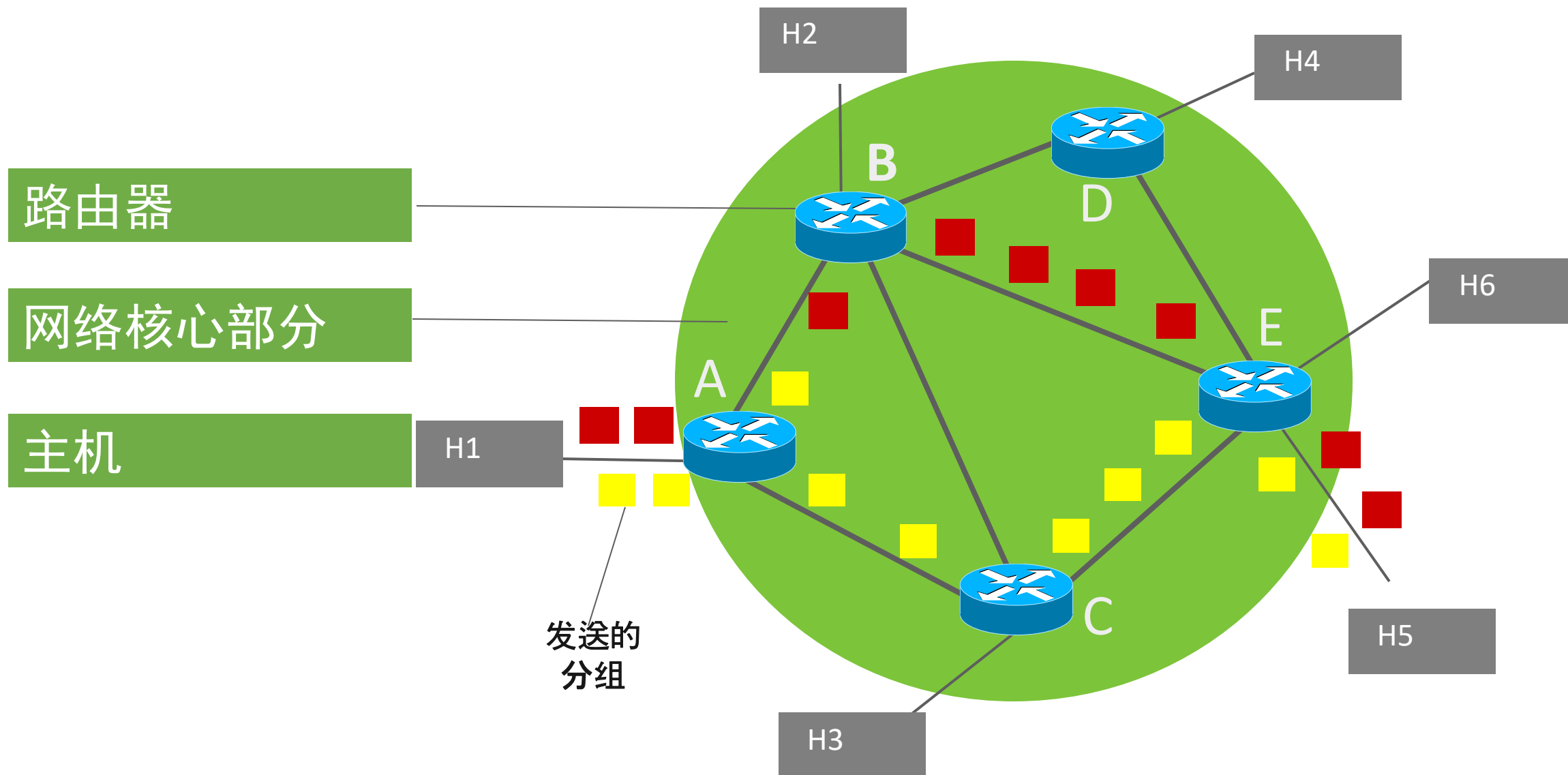


1.4.4 按网络的交换功能方法

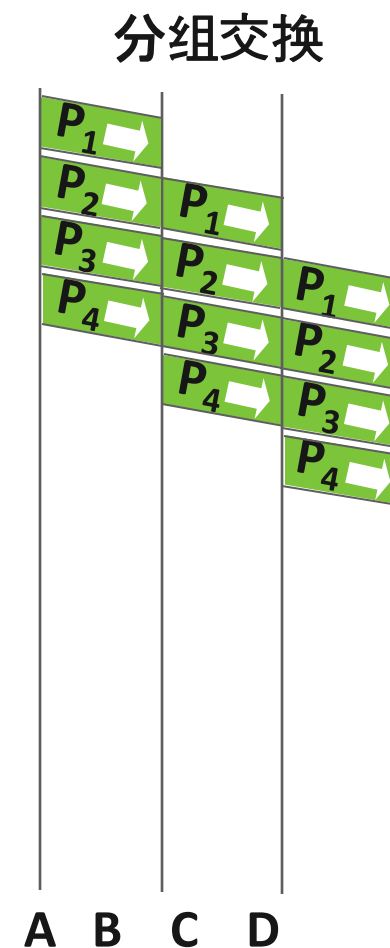
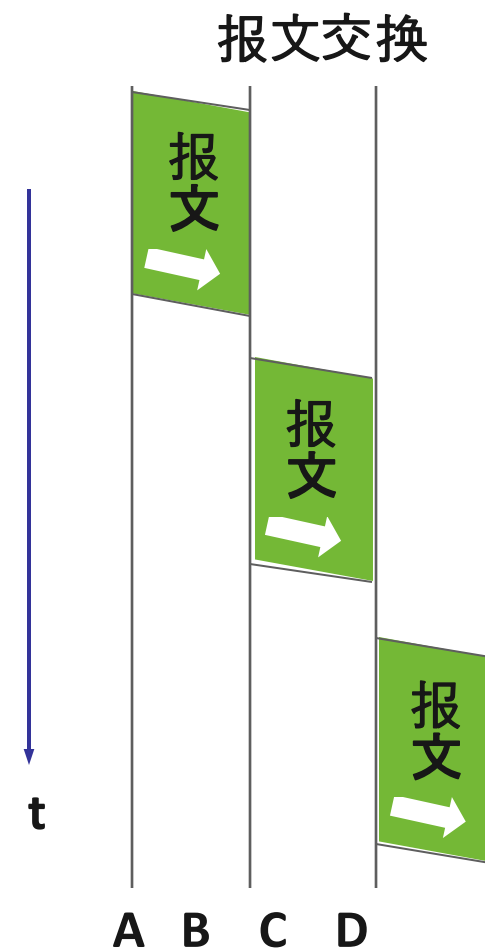
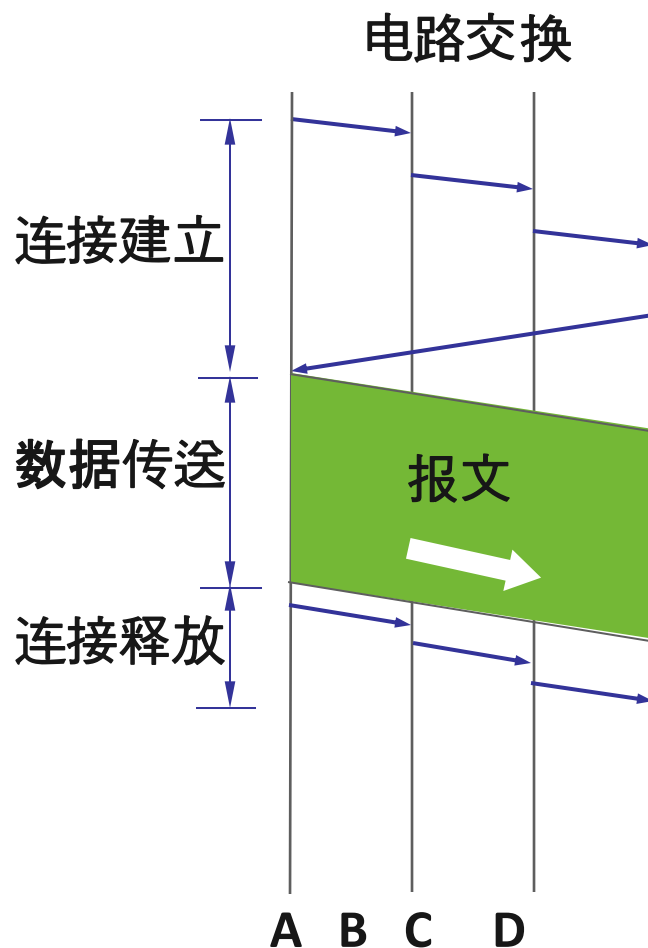
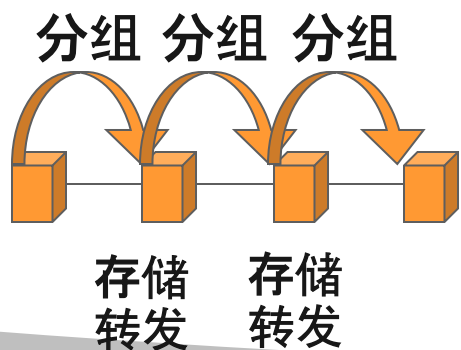
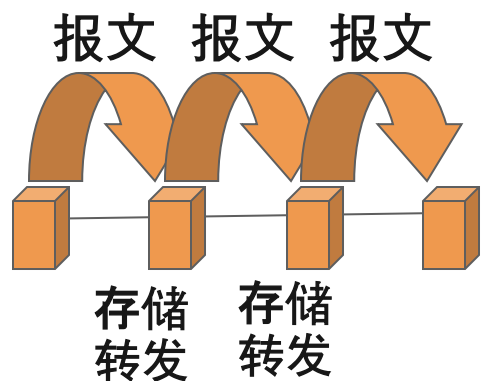
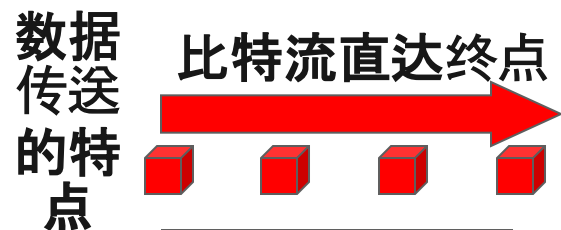
两台主机同时发送的情况



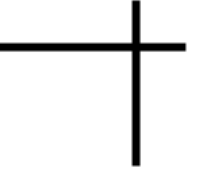
1.4.4 按网络的交换功能方法



1.4.4 按网络的交换功能方法



三种交换比较



第五部分 ▶

计算机网络的主要 性能指标

1.5.1 速率

比特 (bit) 是计算机中数据量的单位，也是信息论中使用的信息量的单位。

Bit 来源于 binary digit，意思是一个“**二进制数字**”，因此一个比特就是二进制数字中的一个 1 或 0。

速率即**数据率** (data rate) 或**比特率** (bit rate) 是计算机网络中最重要的一個性能指标。速率的单位是 b/s，或 kb/s，Mb/s，Gb/s 等。

1.5.2 带宽

- “**带宽**” (bandwidth) 本来是指信号具有的频带宽度，单位是赫（或千赫、兆赫、吉赫等）。
- 现在“带宽”是数字信道所能传送的“**最高数据率**”的同义语，单位是“比特每秒”，或 b/s (bit/s)。

1.5.3 吞吐量

- **吞吐量/吞吐率** throughput表示在单位时间内通过某个网络（或信道、接口）的数据量。
- 吞吐量更经常地用于对现实世界中的网络的一种测量，以便知道实际上到底有多少数据量能够通过网络。
- 受网络的带宽或网络的额定速率的限制。

1.5.4 时延



收费站



收费站

用汽车过收费站和在高速路上行驶两个过程，分别用的时间来对应传输时延和传播时延。

传输时延，车队交完费后，收费抬起栏杆，车队再次驶入“高速”(出链路)这个过程的耗时。(路由器将分组推送到出链路的耗时)（因为车辆是一个整体，无法体现分组是由bit组成的，也许应该用「车队」来比喻「分组」。）

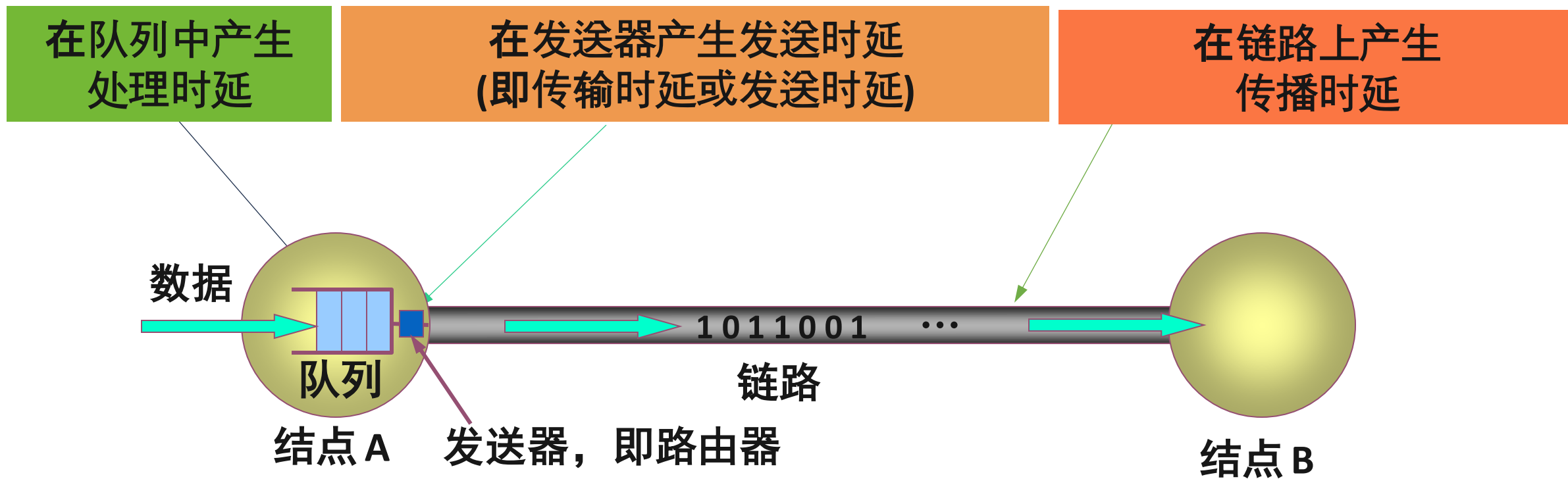
传播时延，车辆按照高速公路的限速(介质传的播速度)，从一端到另一端(两个链路节点之间的空间距离)的耗时。

处理速率，过站时收费站操作员的处理效率。(检查分组首部、bit错误的速率)。

排队时延，在收费站等候前面车辆(如果有的话)的耗时。

1.5.4 时延

从结点A向结点B发送数据



1.5.4 时延

- **发送时延**（传输时延）：发送数据时，数据块从结点进入到传输媒体所需要的时间。
- **发送速率**：通常是以信道最高数据率发送数据，因此就是**信道带宽**。

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据块长度 (比特)}}{\text{发送速率 (比特/秒)}}$$

- **传播时延**：电磁波在信道中需要传播一定的距离而花费的时间。
- **信号传输速率**（即发送速率）和信号在信道上的**传播速率**是完全不同的概念。

$$\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度 (米)}}{\text{信号在信道上的传播速率 (米/秒)}}$$

- **处理时延**：交换结点为存储转发而进行一些必要的处理所花费的时间。
- **排队时延**：结点缓存队列中分组**排队**所经历的时延。
- 排队时延的长短往往取决于网络中**当时的通信量**，随时间变化会很大。
- 分组从一个结点转发到另一个结点所经历的总时延就是以上四种时延之和。

$$\text{总时延} = \text{发送时延} + \text{传播时延} + \text{处理时延} + \text{排队时延}$$

1.5.4 时延

- 传输时延研究对象是**数据帧（如分组）**，发生地方为**机器内部**中，集齐一个分组内所有比特再进行转发所等待的时间，如路由器A等待一个分组，从比特开始传输进A到该分组存储完毕，准备转发至路由器B；
- 传播时延研究对象是**信号（如电磁波）**，发生地方为**机器外部的媒体介质**中，并不是分组了。
- 在数据从网络的一端传送到另一端的过程中，传输时延的产生是先于传播时延的。



1.5.4 时延

容易产生的错误概念

- 对于高速网络链路，我们提高的仅仅是数据的发送速率而不是比特在链路上的传播速率。
- 提高链路带宽减小了数据的发送时延。

1.5.5 丢包率

- **丢包率**即分组丢失率，是指在一定的时间范围内，分组在传输过程中丢失的分组数量与总的分组数量的比率。
- 具体：接口丢包率、结点丢包率、链路丢包率、路径丢包率、网络丢包率等。
- 在现代计算机网络中**网络拥塞**是丢包的主要原因。因此，丢包率往往反映了网络的拥塞情况。

1.5.6 利用率

- **信道利用率**: 某信道有百分之几的时间是被利用的（有数据通过）。完全空闲的信道的利用率是零。
- **网络利用率**: 全网络的信道利用率的加权平均值。
- 信道利用率并非越高越好。

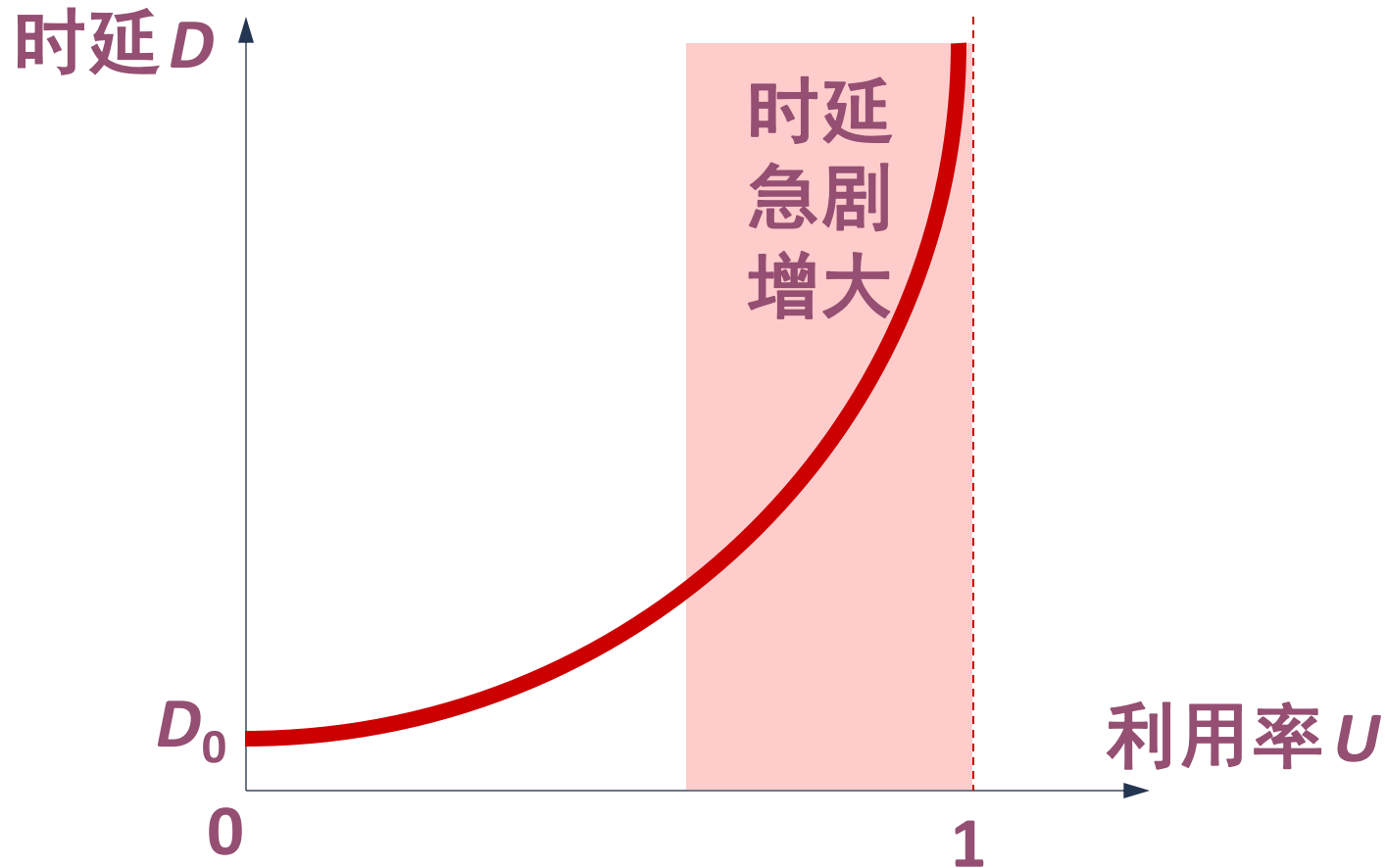
1.5.6 利用率

时延与网络利用率的关系

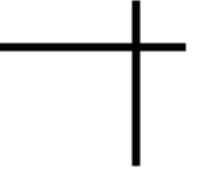
- 根据排队论的理论，当某信道的利用率增大时，该信道引起的时延也就迅速增加。
- 若令 D_0 表示网络空闲时的时延， D 表示网络当前的时延，则在适当的假定条件下，可以用下面的简单公式表示 D 和 D_0 之间的关系：

$$D = \frac{D_0}{1-U}$$

U 是网络的利用率，数值在 0 到 1 之间。



利用率到达1/2时，时延要加倍。



第六部分 ▶

计算机网络体系结构

1.6.1 网络协议

- 计算机网络中的数据交换**必须遵守事先约定好的规则**。
- 这些规则明确**规定**了所交换的数据的格式以及有关的同步问题（同步含有时序的意思）。
- **网络协议(network protocol)**，简称为**协议**，是为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定。

1.6.1 网络协议

网络协议的三要素

语法，即数据与控制信息的结构或格式。例如，地址字段多长以及它在整个分组中的什么位置。

语义，即各个控制信息的具体含义，包括需要发出何种控制信息，完成何种动作以及做出何种响应。

同步（或时序），即事件实现顺序和时间的详细说明，包括数据应该在何时发送出去以及数据应该以什么速率发送。

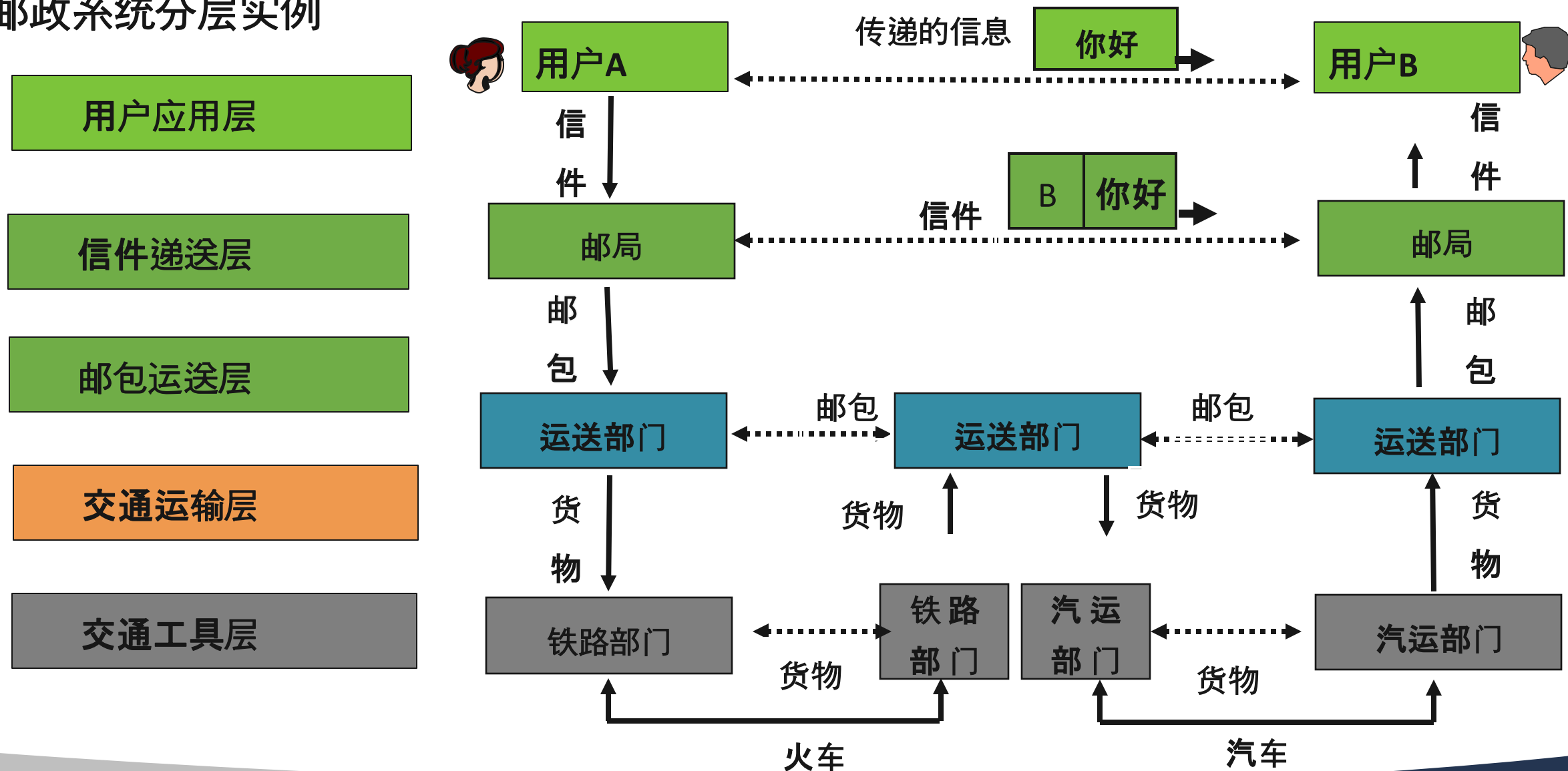
1.6.2 层次模型与计算机网络体系结构

相互通信的两个计算机系统必须**高度协调工作**才行，而这种“协调”是相当复杂的。

“分层”可将庞大而复杂的问题，转化为若干较小的局部问题，而这些较小的局部问题就比较易于研究和处理。

1.6.2 层次模型与计算机网络体系结构

邮政系统分层实例



1.6.2 层次模型与计算机网络体系结构

- 各层之间独立；
- 灵活性好；
- 结构上可分割；
- 易于实现和维护；
- 能促进标准化工作。

1.6.2 层次模型与计算机网络体系结构

若层数太少，就会使每一层的协议太复杂。

层数太多又会在描述和综合各层功能的系统工程任务时遇到较多的困难。

1.6.3 计算机网络体系结构的定义

- 计算机网络中也采用了**分层**方法。
 - 把复杂的问题划分为若干个较小的、单一的局部问题，在不同层上予以解决。
- **定义**：计算机网络中，层次及每层功能、层间接口和协议的集合被称为计算机网络体系结构。

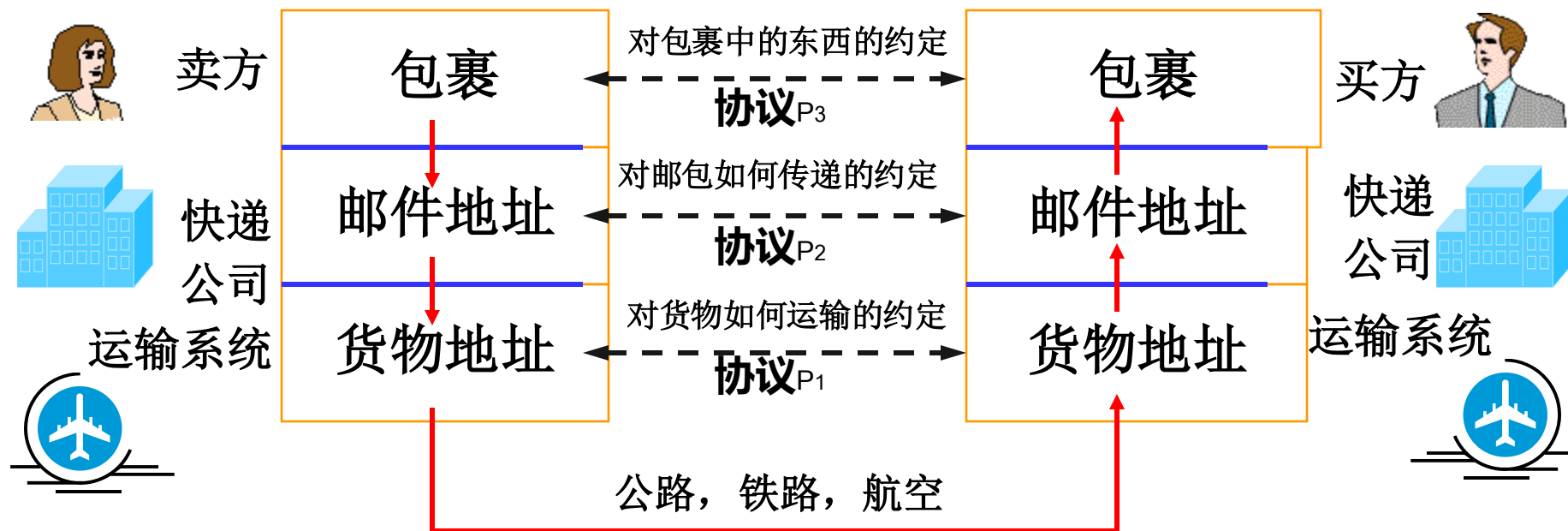
1.6.3 计算机网络体系结构的定义

✓ 计算机网络的层次结构方法要解决的问题：

- 网络应该具有哪些层次？每一层的功能是什么？（**分层与功能**）
一分而治之
- 同一个系统的各层之间的关系是怎样的？它们如何进行交互？
（**服务与接口**）一如邮箱就是发信人和邮递员之间的接口。
- 通信双方的数据传输要遵循哪些通信规则？（**协议**）一如写信的约定语言和信封格式。

1.6.3 计算机网络体系结构的定义

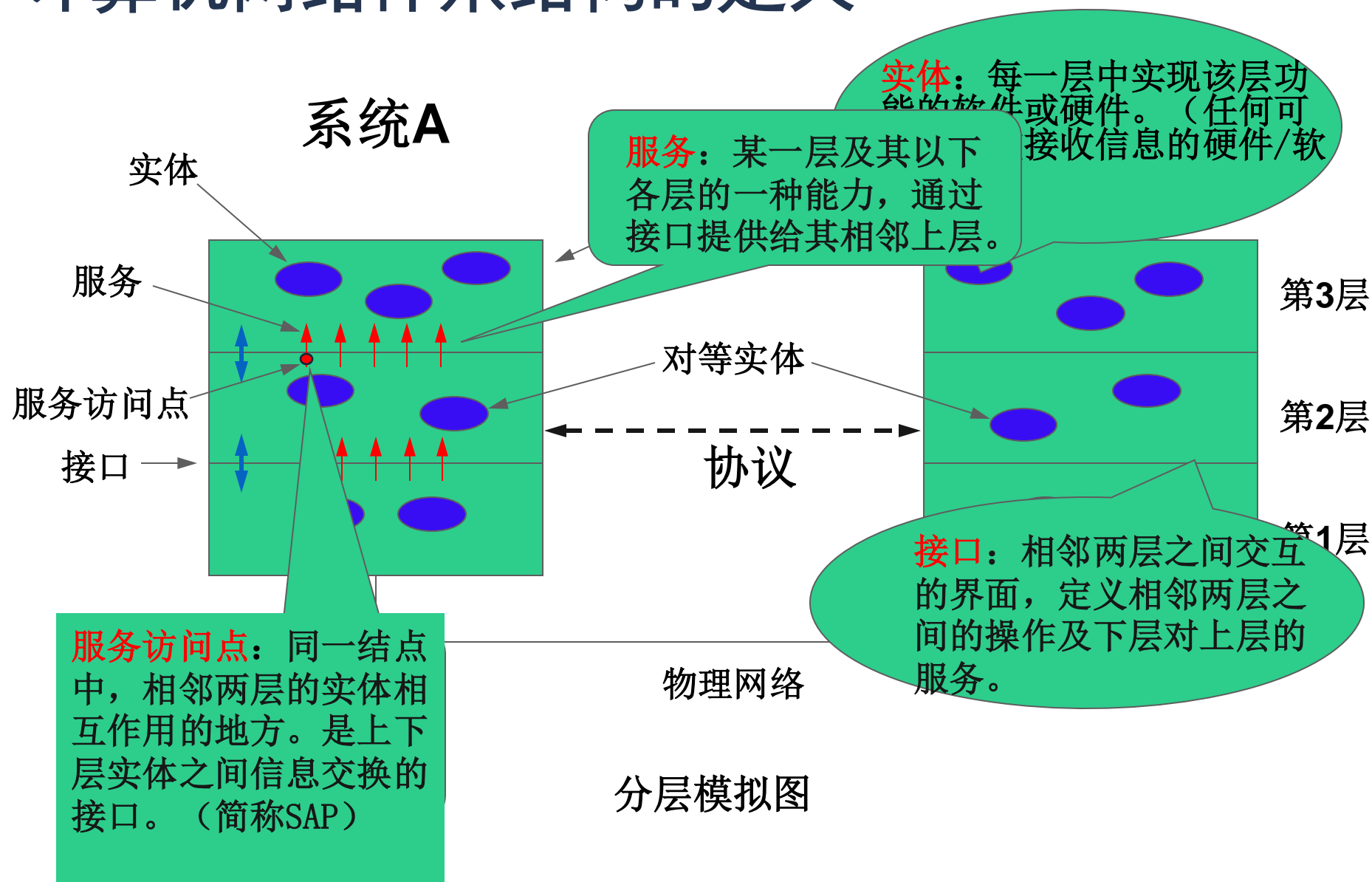
对等通信示例：两个人收发快递



想一想：

- 买方与卖方之间、快递公司之间，是在直接通信吗？
- 快递公司、运输系统各向谁提供什么样的服务？
- 快递公司、买卖双方各使用谁提供的什么服务？

1.6.3 计算机网络体系结构的定义



1.6.3 计算机网络体系结构的定义

基本概念：

纵向：

- **实体**：每一层中实现该层功能的软件或硬件。（任何可以发送或接收信息的硬件/软件进程）
- **接口**：相邻两层之间交互的界面，定义相邻两层之间的操作及**下层**对**上层**的服务。
- **服务**：某一层及其以下各层的一种能力，通过接口提供给它相邻上层。
- **服务访问点**：同一结点中，相邻两层的实体相互作用的地方。是上下层实体之间信息交换的接口。（简称**SAP**）

横向：

- **对等层**：两个不同系统的同级层次。
- **对等实体**：分别位于不同系统对等层中的两个实体。
- **协议**：通信双方在通信中必须遵守的规则。

1.6.3 计算机网络体系结构的定义

计算机网络体系结构中通信的实质

- 网络中的任何一个系统都是按照层次结构来组织的；
- 同一网络中，任意两个端系统必须具有相同的层次；
- 网络中每一层必须依靠下层提供的服务来与另一台主机的对等层通信；
 - ✓ 上层**使用**下层提供的服务——Service user(服务用户)；
 - ✓ 下层向上层**提供**服务——Service provider（服务提供者）。
 - 第n+1层是第n层的服务用户，第n-1层是第n层的服务提供者
 - 第n层的服务也依赖于第n-1层及以下各层的服务
- 通信是**对等层实体之间的通信**，但它们实现的是**虚拟的逻辑通信**；
- 实际通信在最底层通过物理线路的传输完成。

1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

(1) 1984, ISO (国际化标准组织, International Organization for Standardization) 发表了OSI (开放系统互连) 模型, Open System Interconnection Reference Model, OSI/RM), 实际上, 在制定计算机网络标准方面, 起着很大作用的两大国际组织是:

- ❖ 国际电报与电话咨询委员会 (CCITT, Consultative Committee of International Telegraph and Telephone) 主要是考虑通信标准的制定。

- ❖ 国际标准化组织 (ISO), 主要是考虑信息处理与网络体系结构。

(2) 在OSI中的“**开放**”是指希望只要遵循OSI标准, 一个系统就可以与同样遵循同一标准的其它任何系统进行通信。

1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

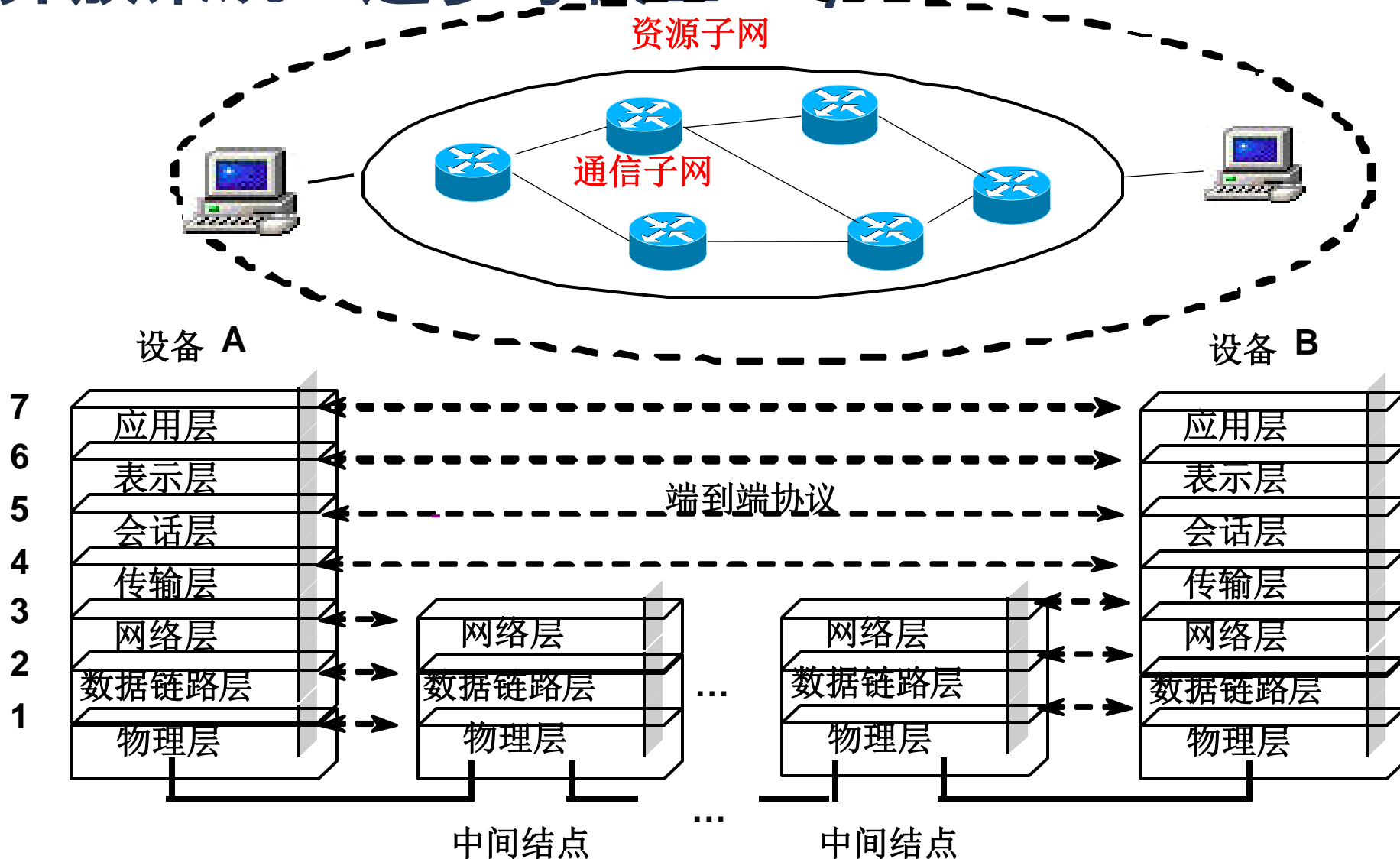


图 广域网结构与OSI参考模型的关系示意图

1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

- OSI/RM的高层(或称为上三层)构成**资源子网**，主要面向用户的应用进程，进行分布的信息处理。
 - ✓应用层(A)
 - ✓表示层(P)
 - ✓会话层(S)
- 中间的第四层为**传输层(T)**，它是计算机通信的关键层次，为高低层间提供接口与服务，起到通信两端桥梁的作用。
- 下三层，统称为低层，称为**通信子网**，构成了开放的网络通信平台，实现OSI/RM面向通信(含传输和交换)的功能。
 - ✓网络层(N)
 - ✓数据链路层(DL)
 - ✓物理层(PH)

1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

OSI/RM 参考模型的结构分为7层

7	应用层Application	—— 为网络应用提供服务
6	表示层Presentation	—— 数据表示（加密、压缩等）
5	会话层Session	—— 在用户间建立及维护会话关系
4	传输层Transport	—— 不同主机进程间的通信
3	网络层Network	—— 在主机间传输分组
2	数据链路层Data Link	—— 在节点间可靠地传输帧
1	物理层Physical	—— Bit位流的透明传输

1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

协议数据单元（PDU）

- 网络体系结构中，对等层之间交换的信息报文统称为协议数据单元（Protocol Data Unit, PDU）。
- 传输层及以下各层的PDU另外还有各自特定的名称：
 - ✓ 传输层——段（Segment）
 - ✓ 网络层——分组/包（Packet）
 - ✓ 数据链路层——帧（Frame）
 - ✓ 物理层——比特（Bit）
- PDU由协议控制信息（协议头）和数据（SDU）组成：



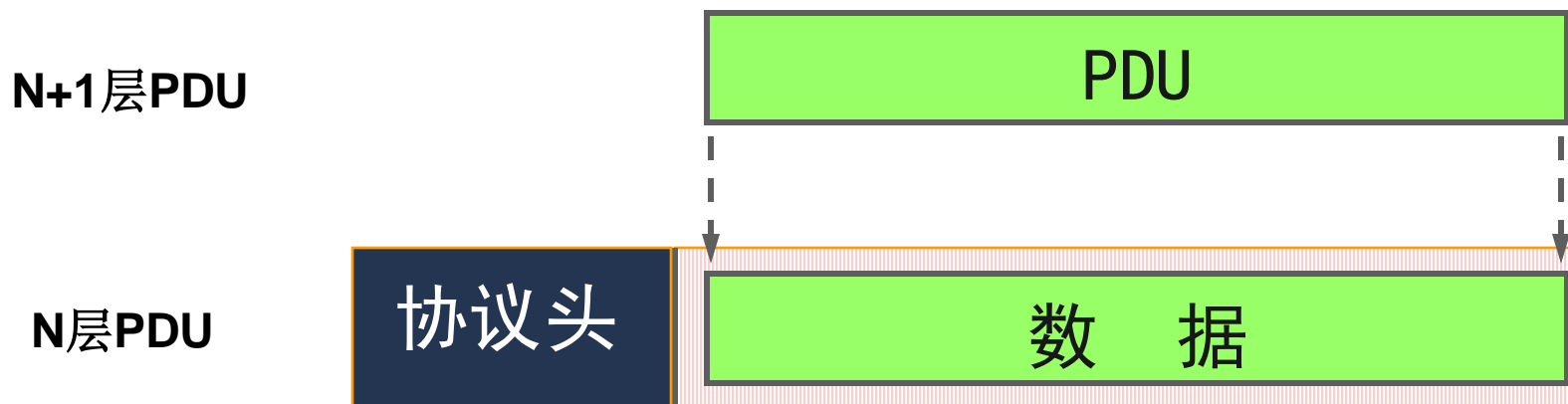
- 协议头部中含有完成数据传输所需的控制信息：
 - ✓ 地址、序号、长度、分段标志、差错控制信息.....

1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

- 下层把上层的PDU作为本层的数据加以**封装**，然后加入本层的协议头部（和尾部）形成本层的PDU。

✓ **封装**：就是在数据前面加上特定的协议头部。

✓ **解封装**：上述的逆向过程。

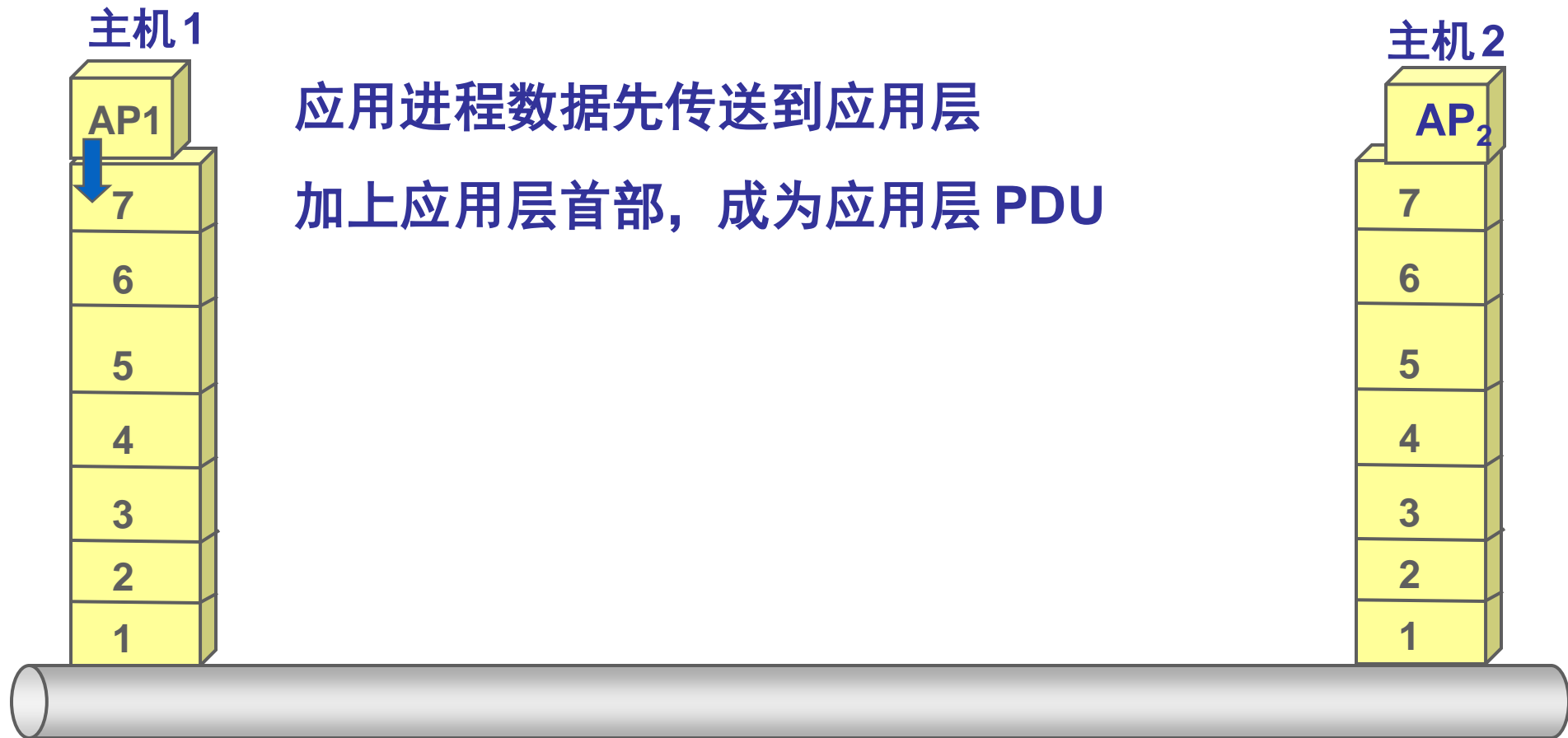


- 因此，数据在源站自上而下递交的过程实际上就是不断封装的过程。到达目的地后自下而上递交的过程就是不断拆封的过程。——**类比：发送信件**

数据在传输时，其外面实际上要被包封多层“信封”。

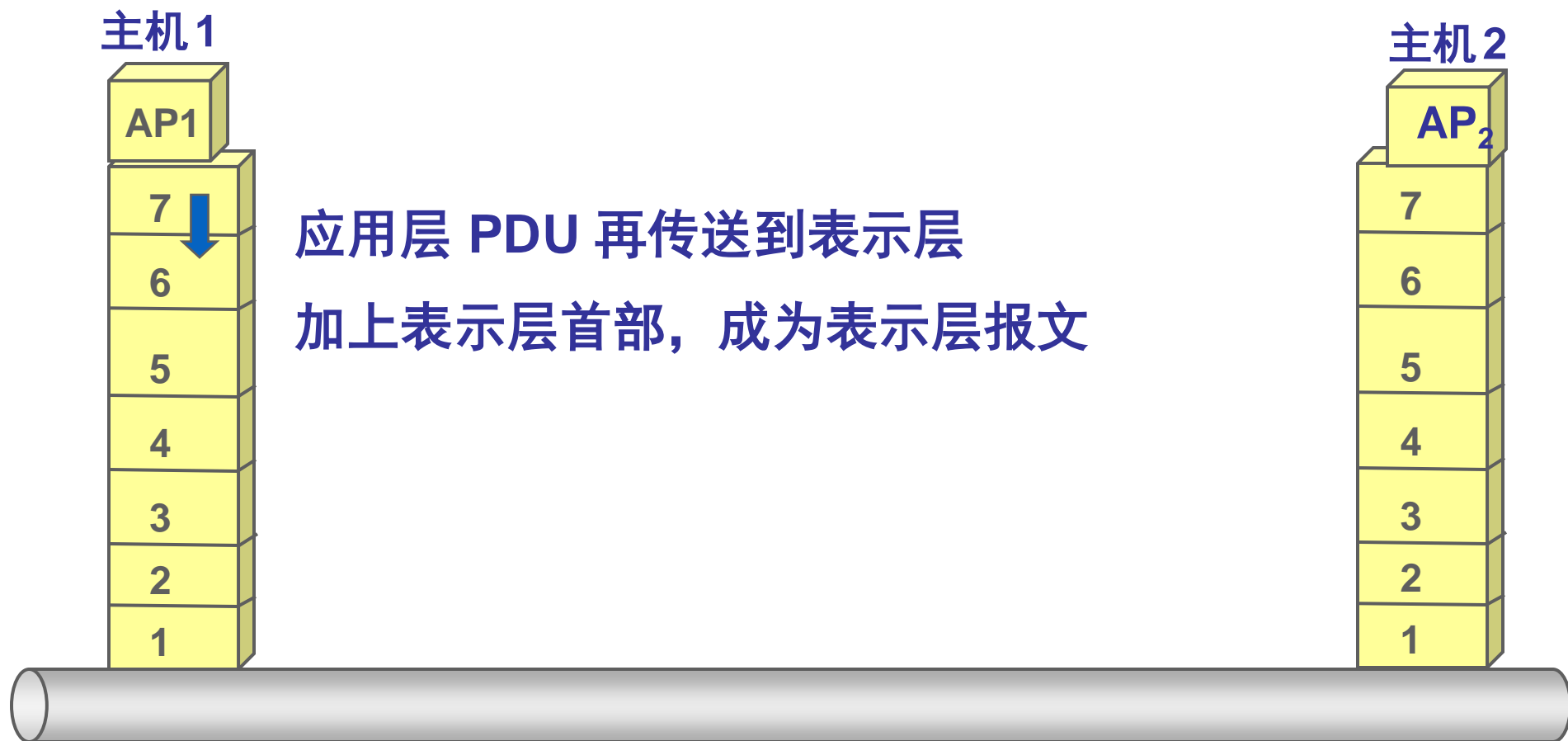
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



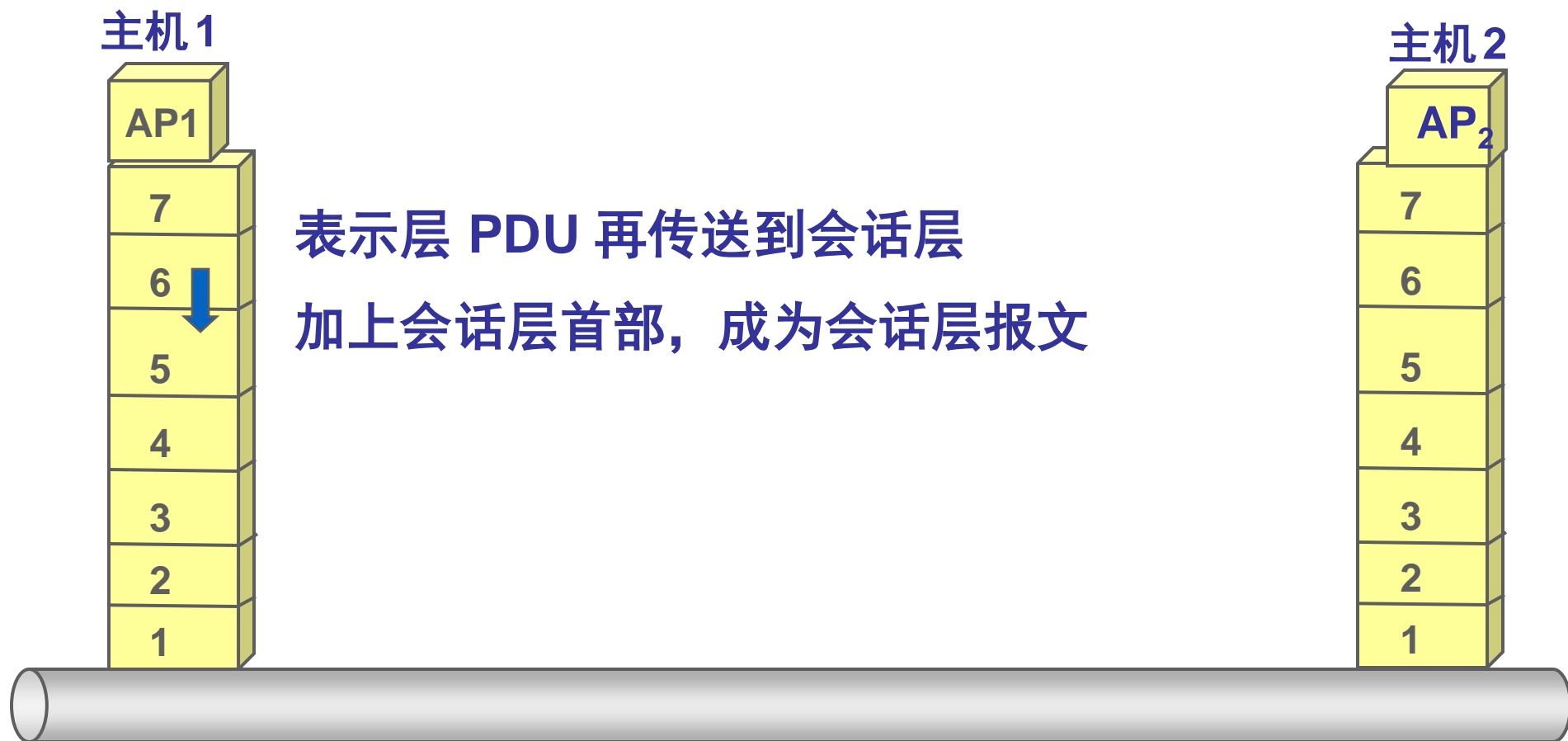
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



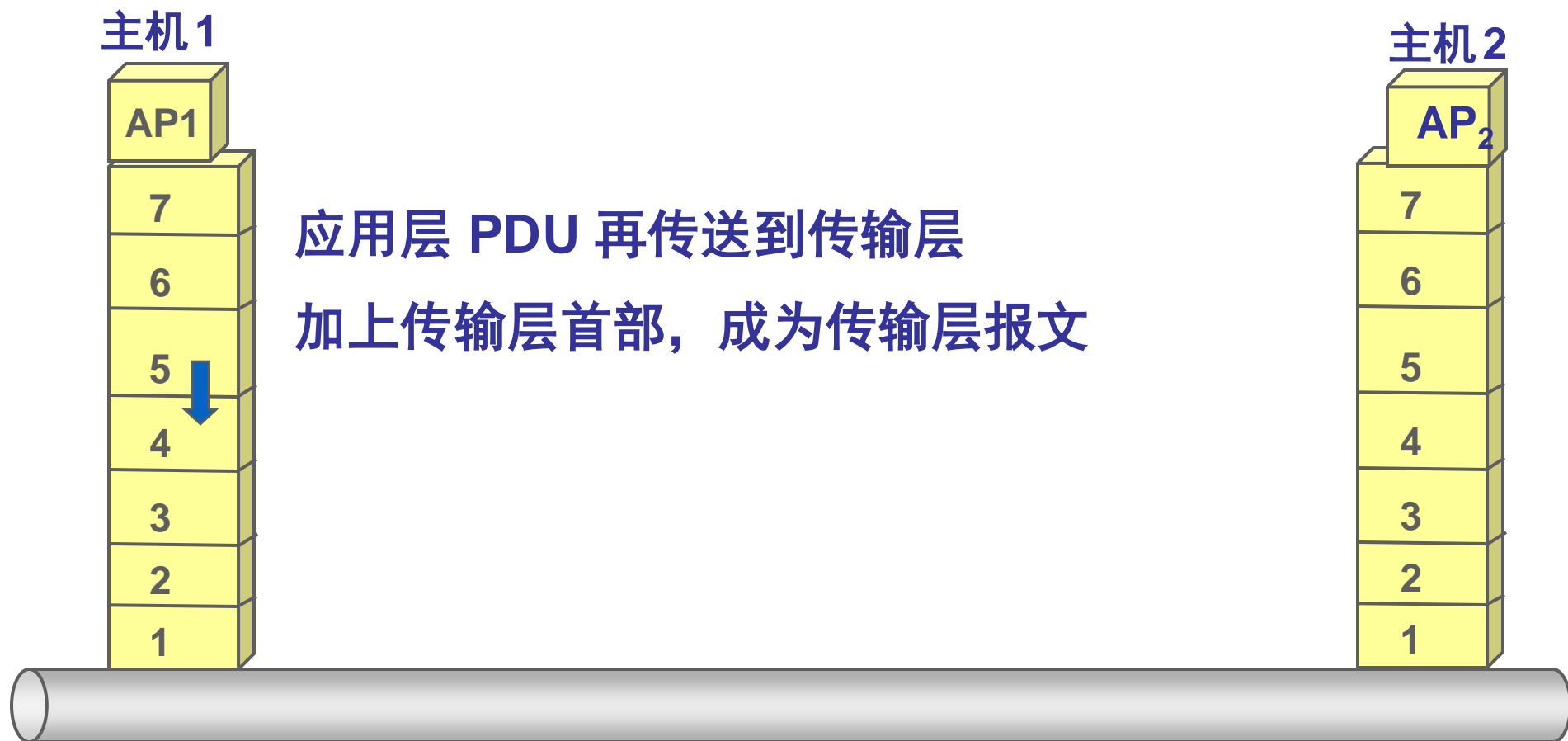
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



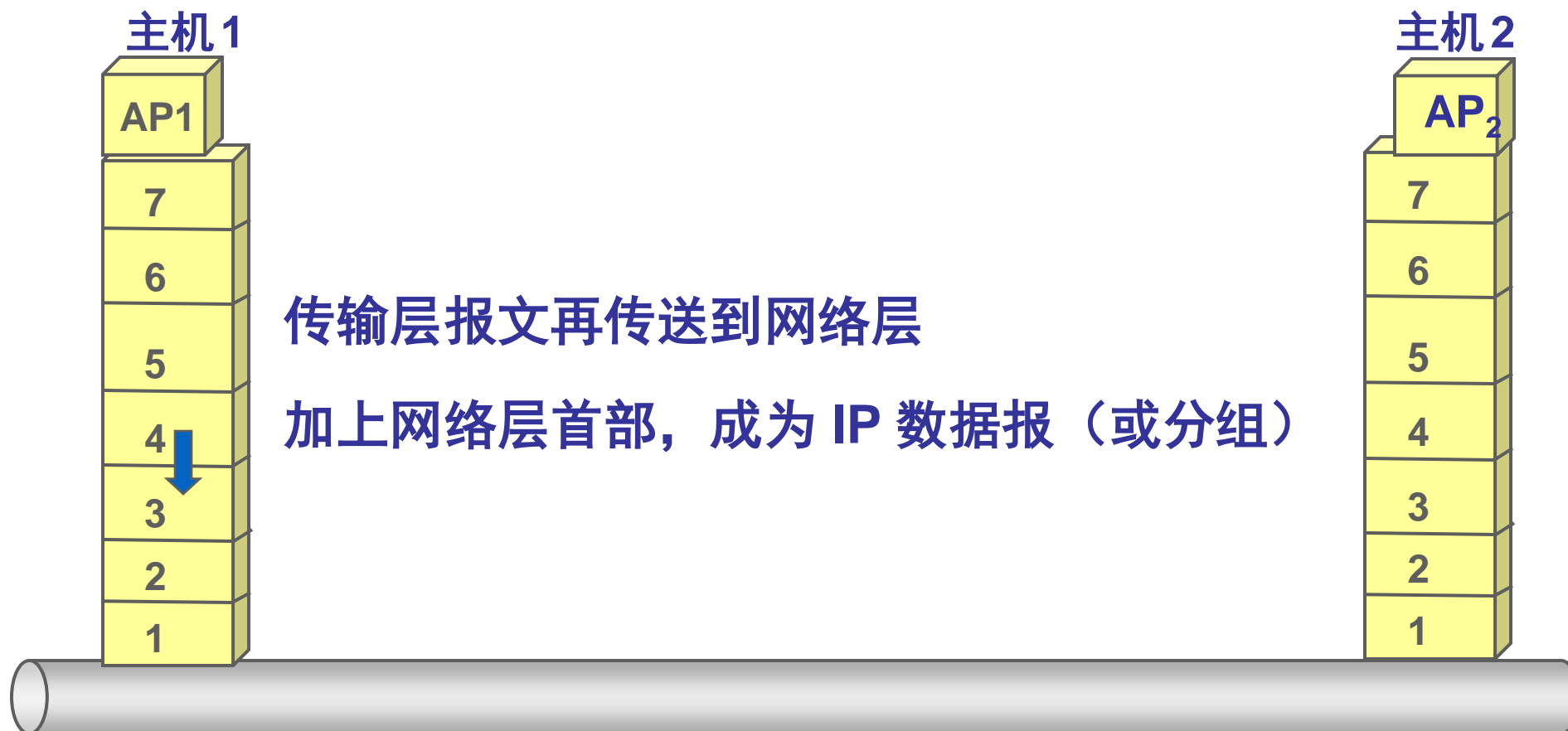
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



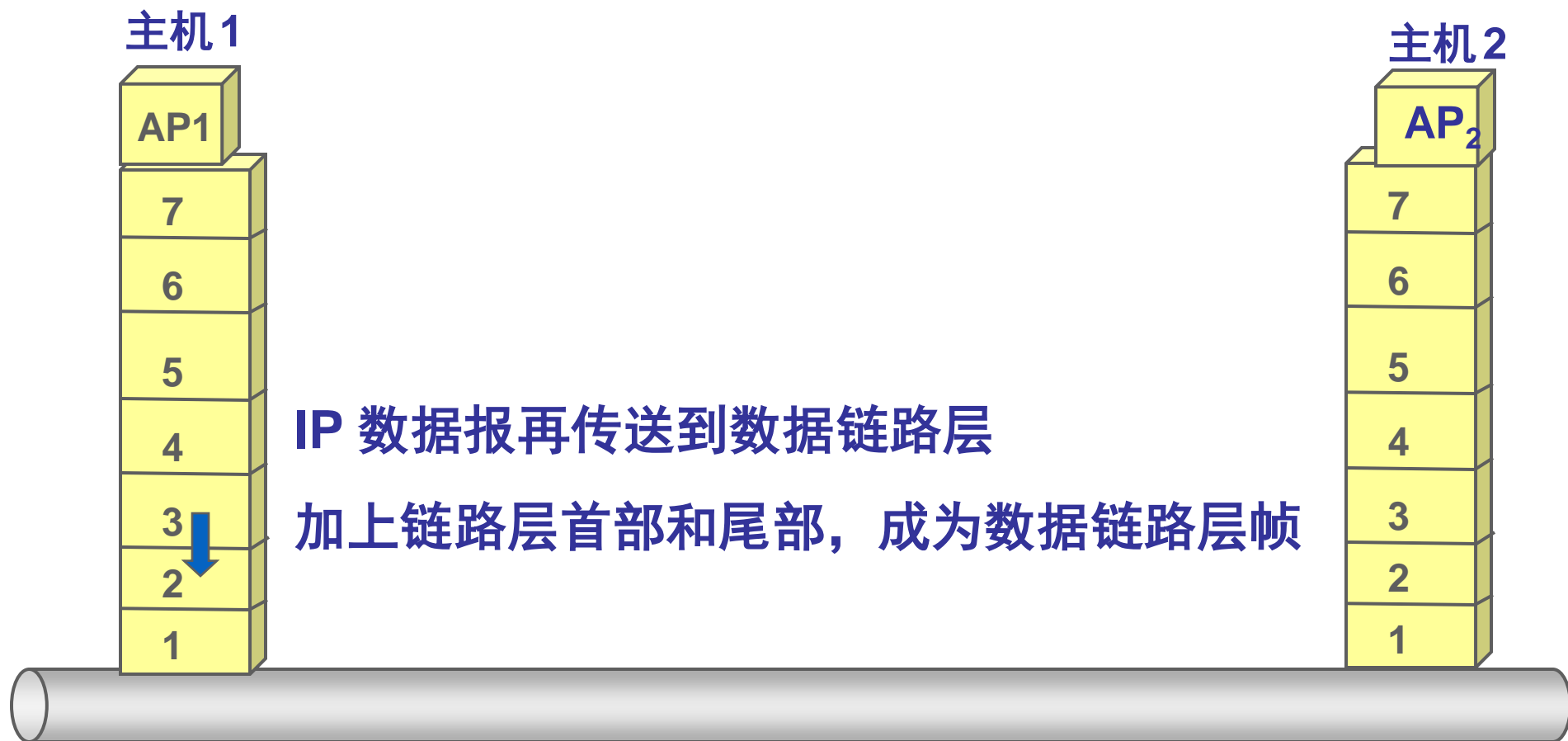
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



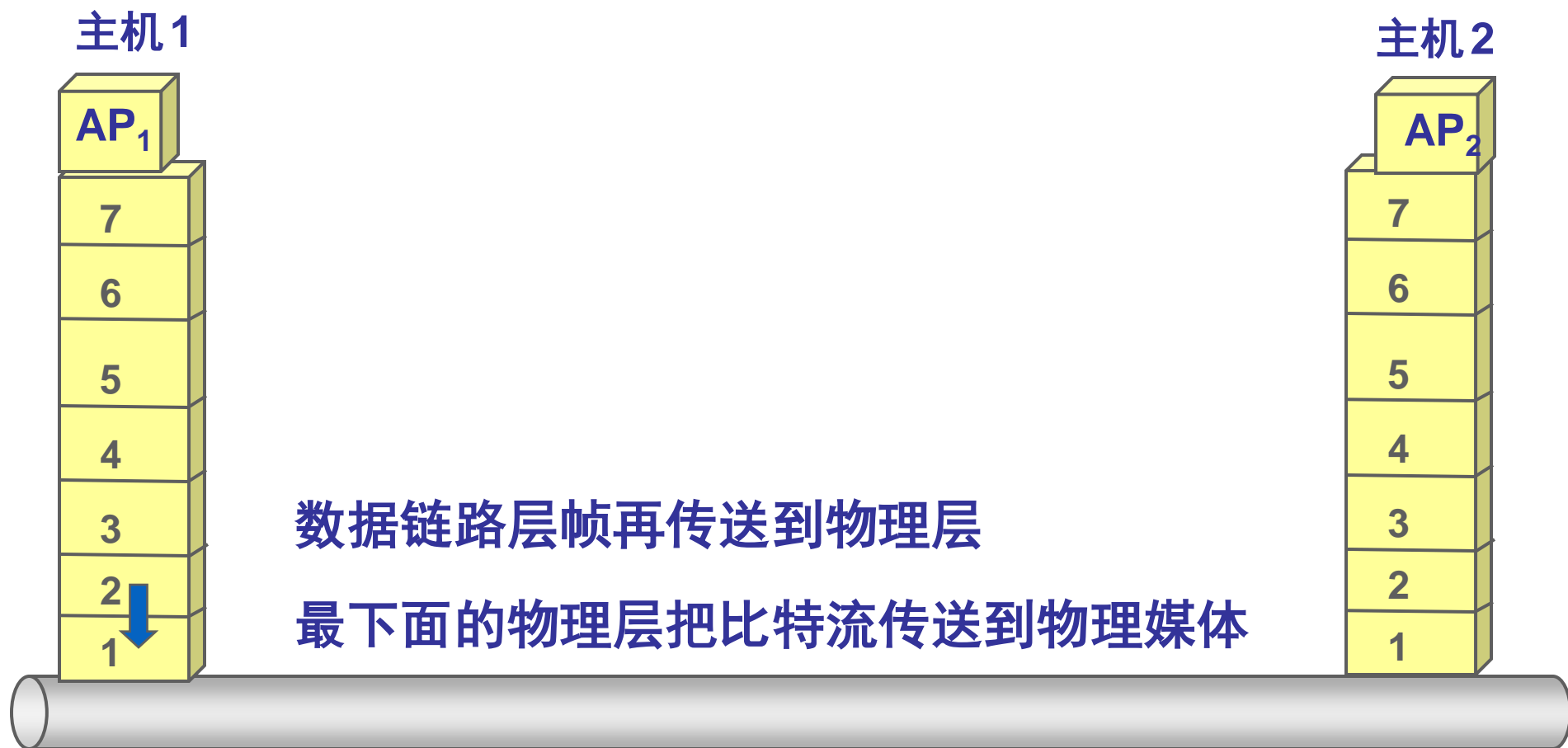
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



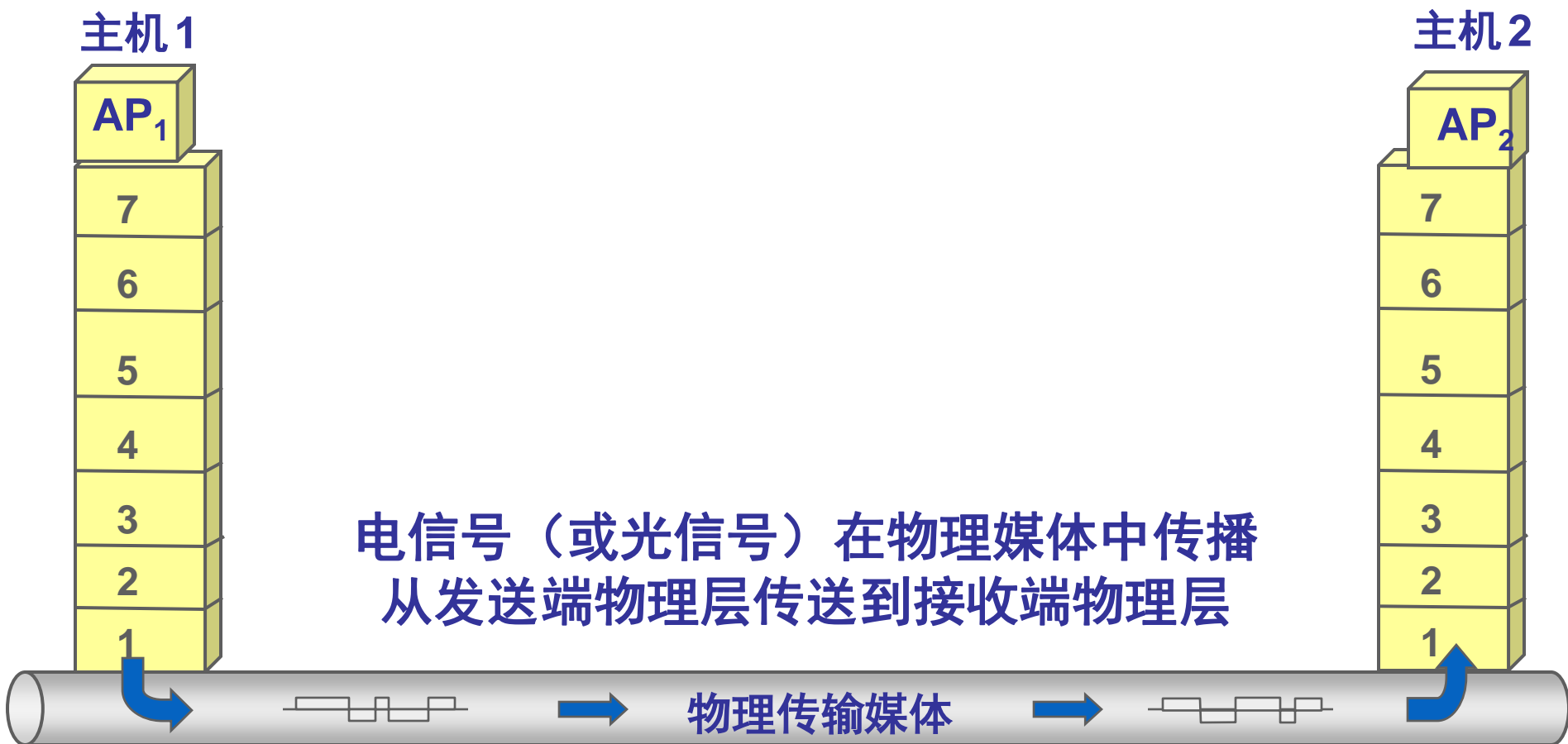
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



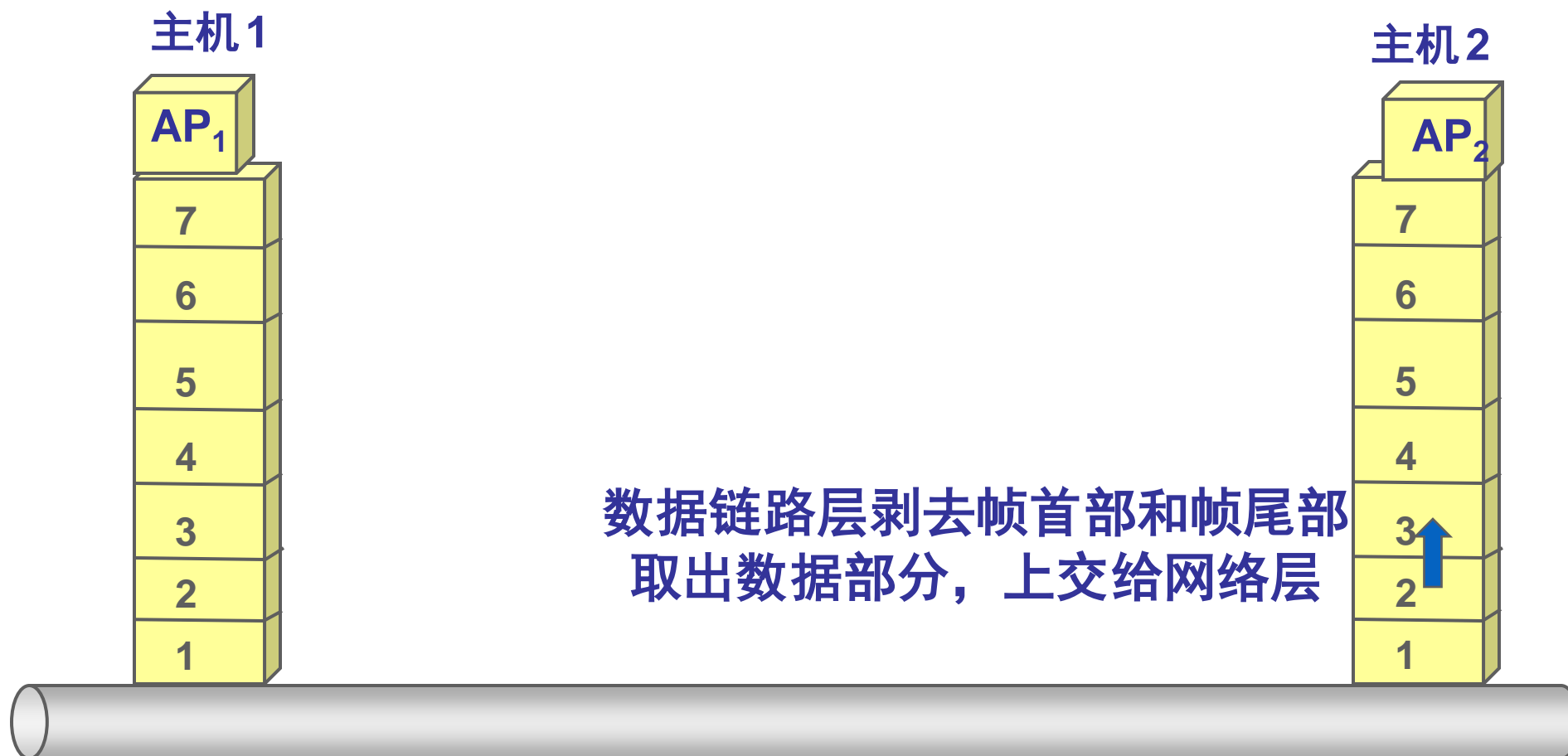
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



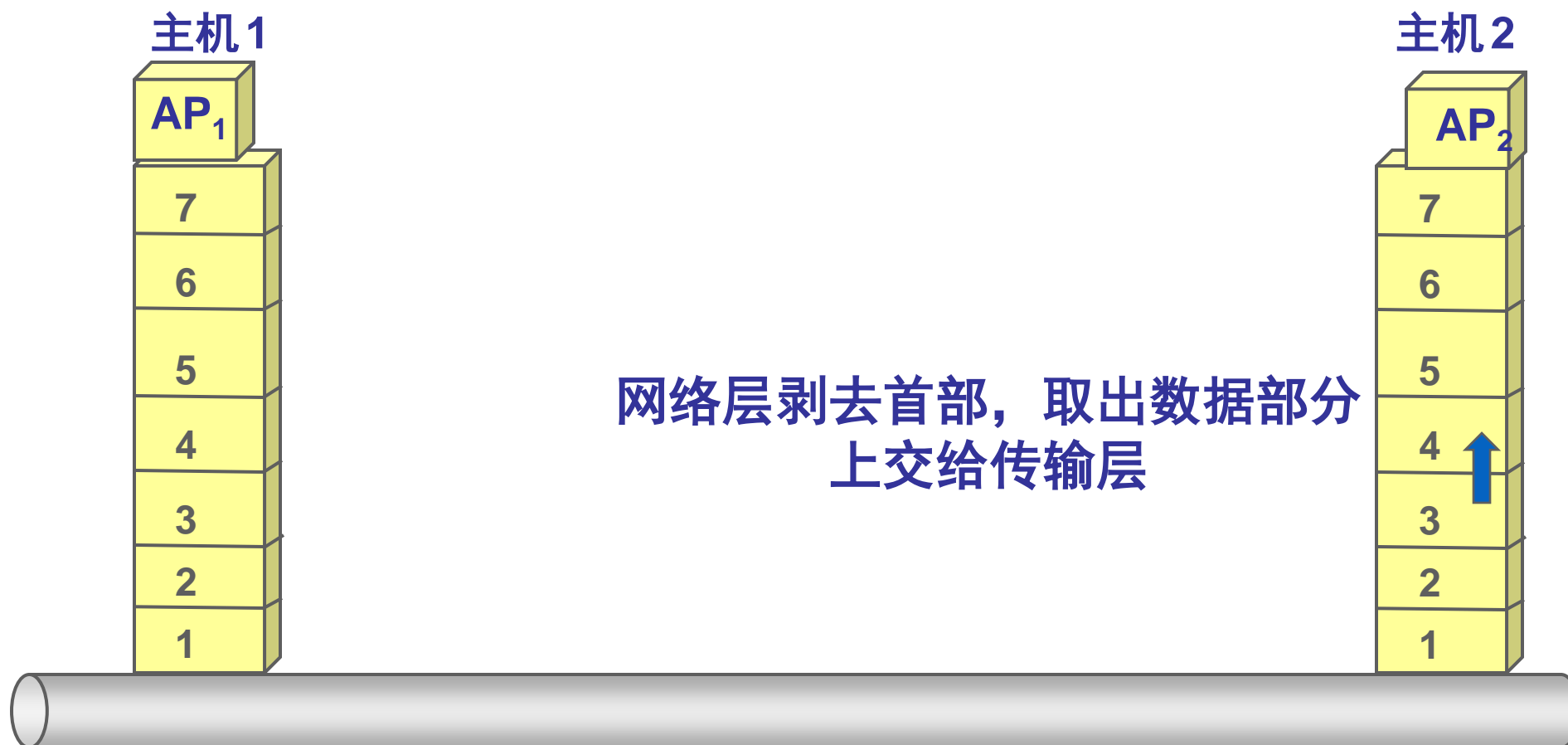
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



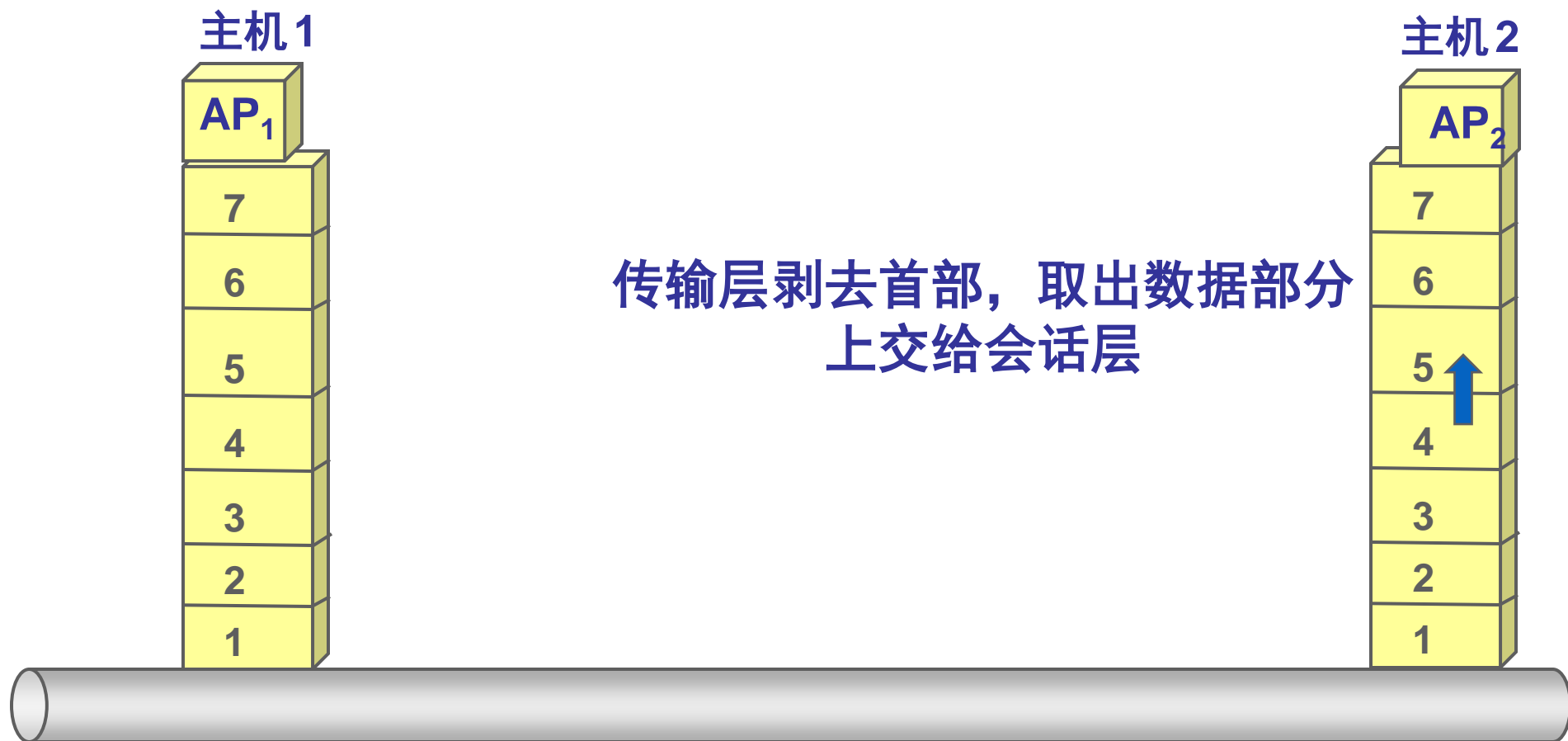
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



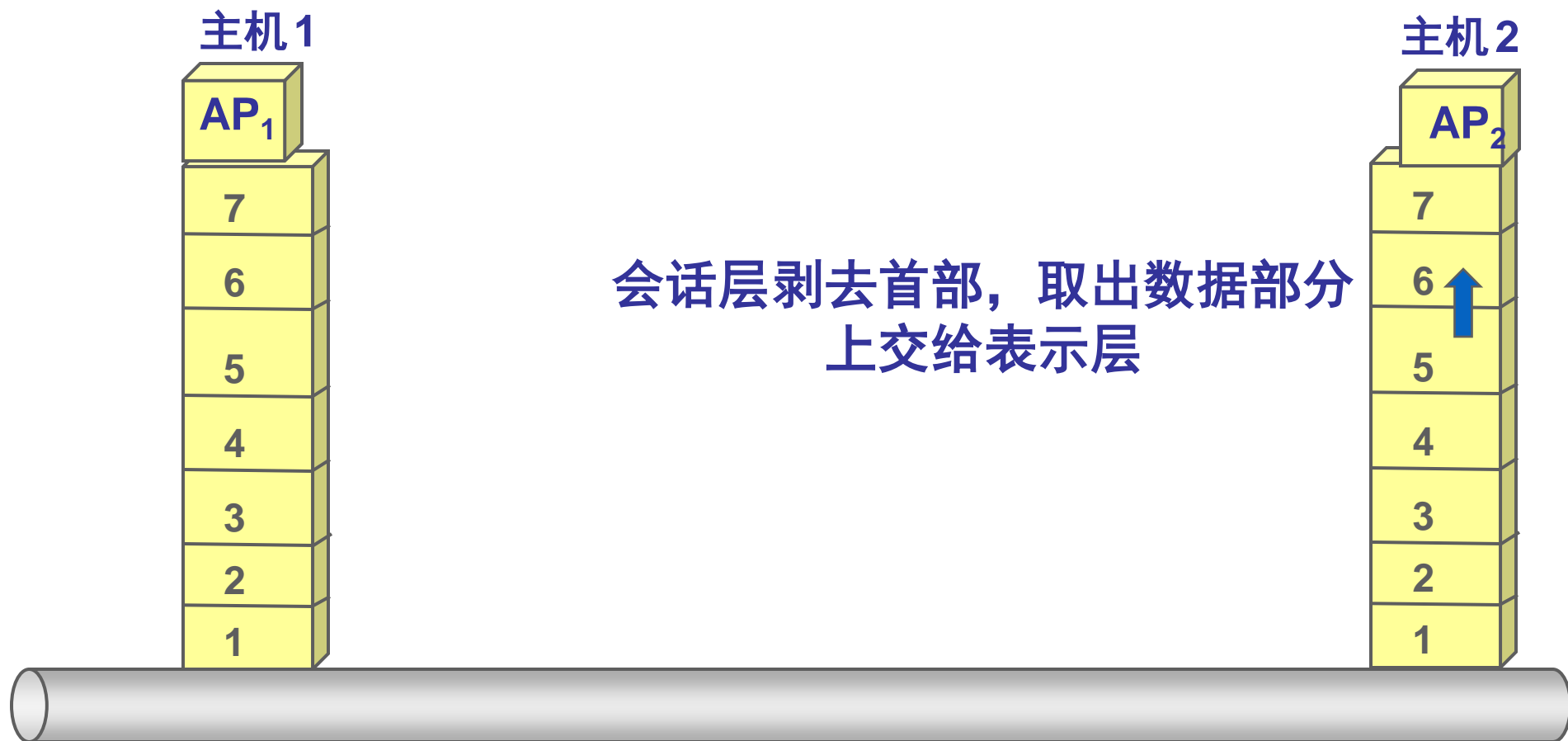
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



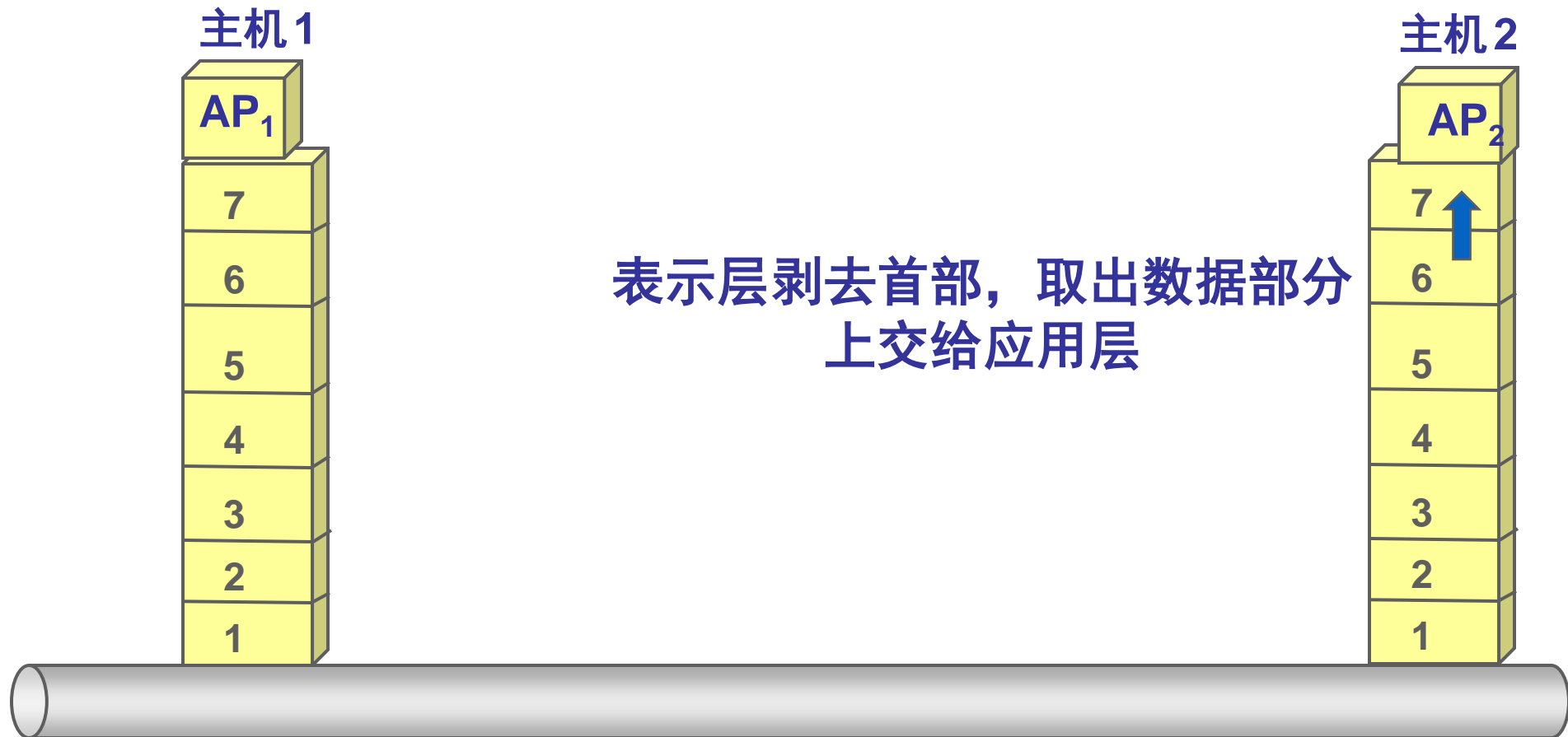
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



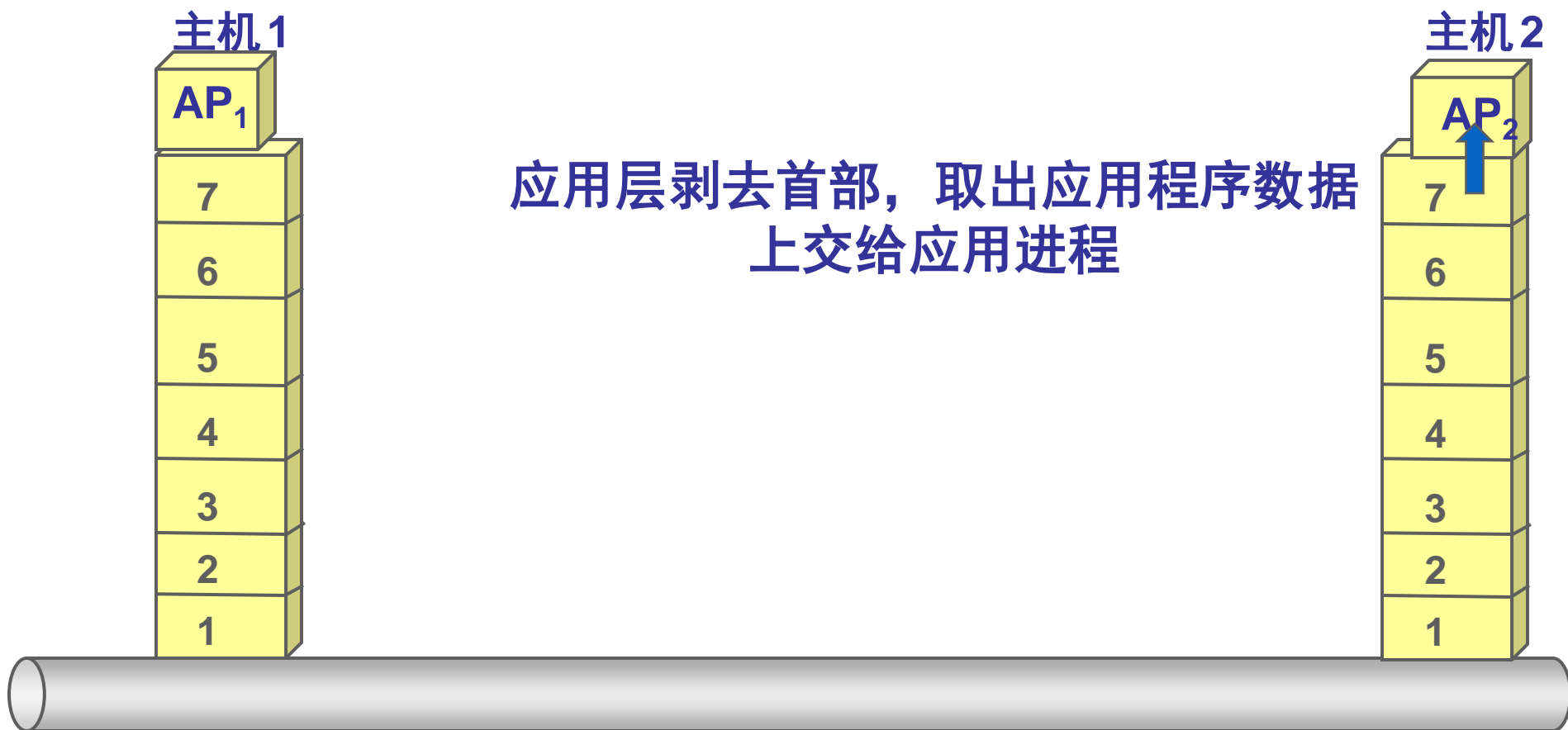
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



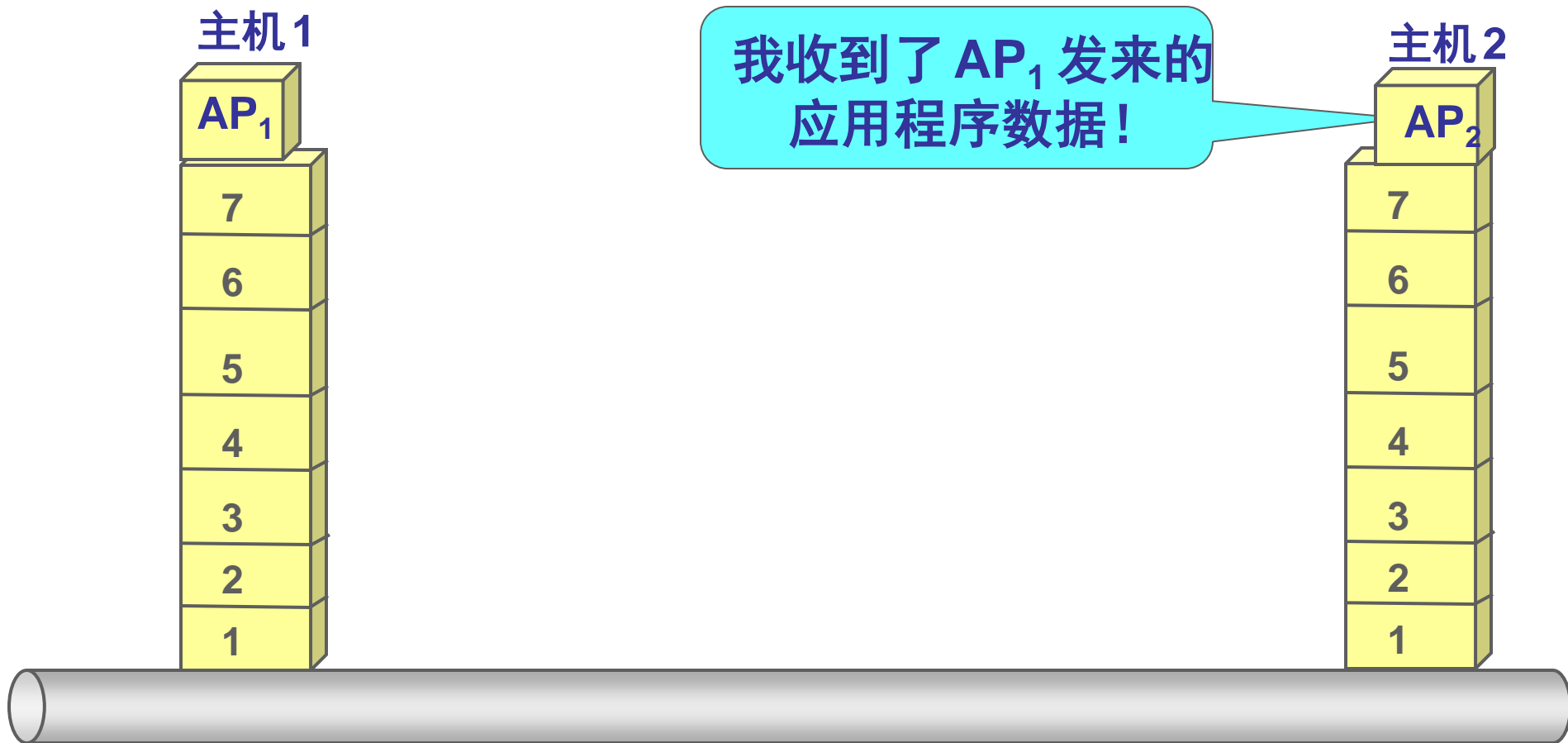
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



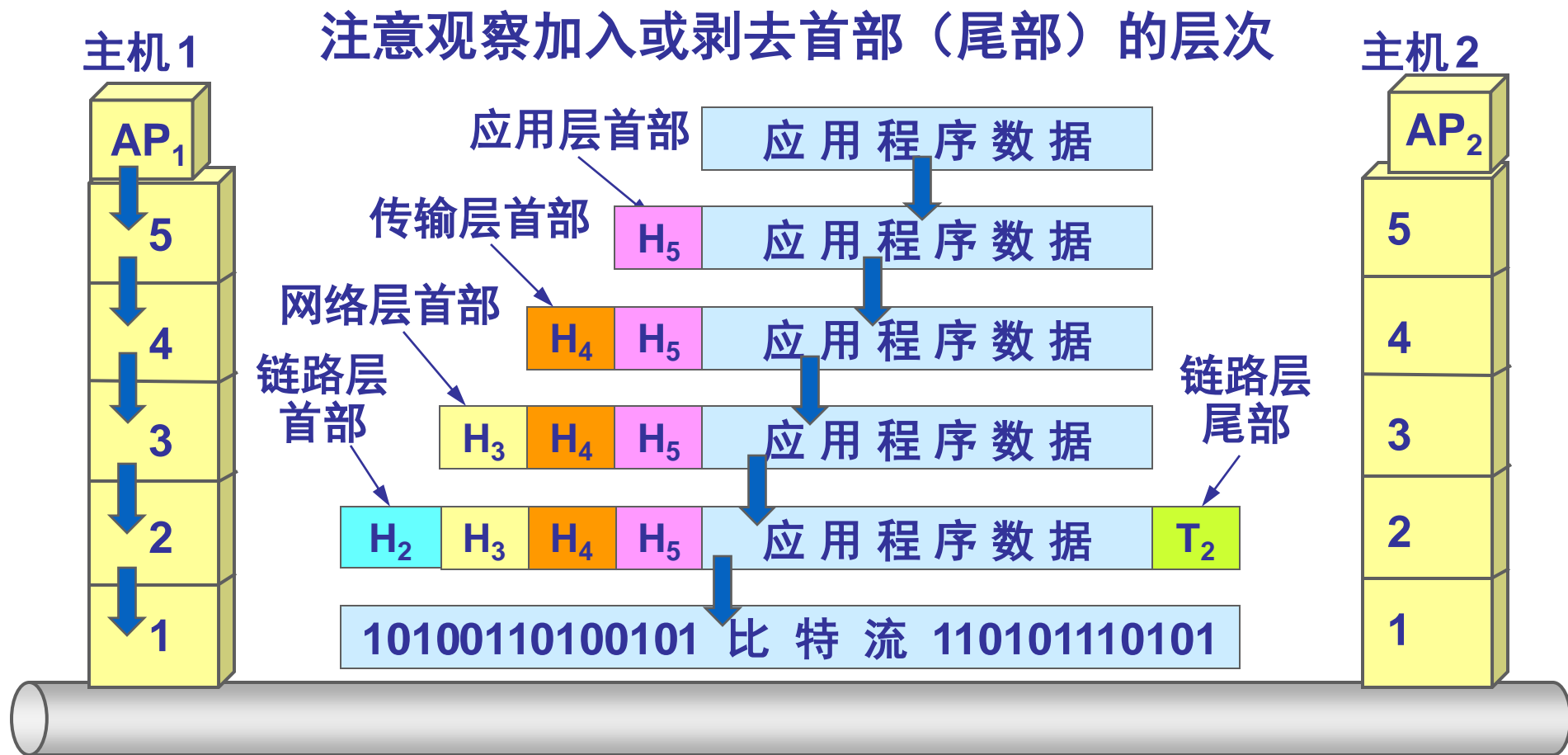
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



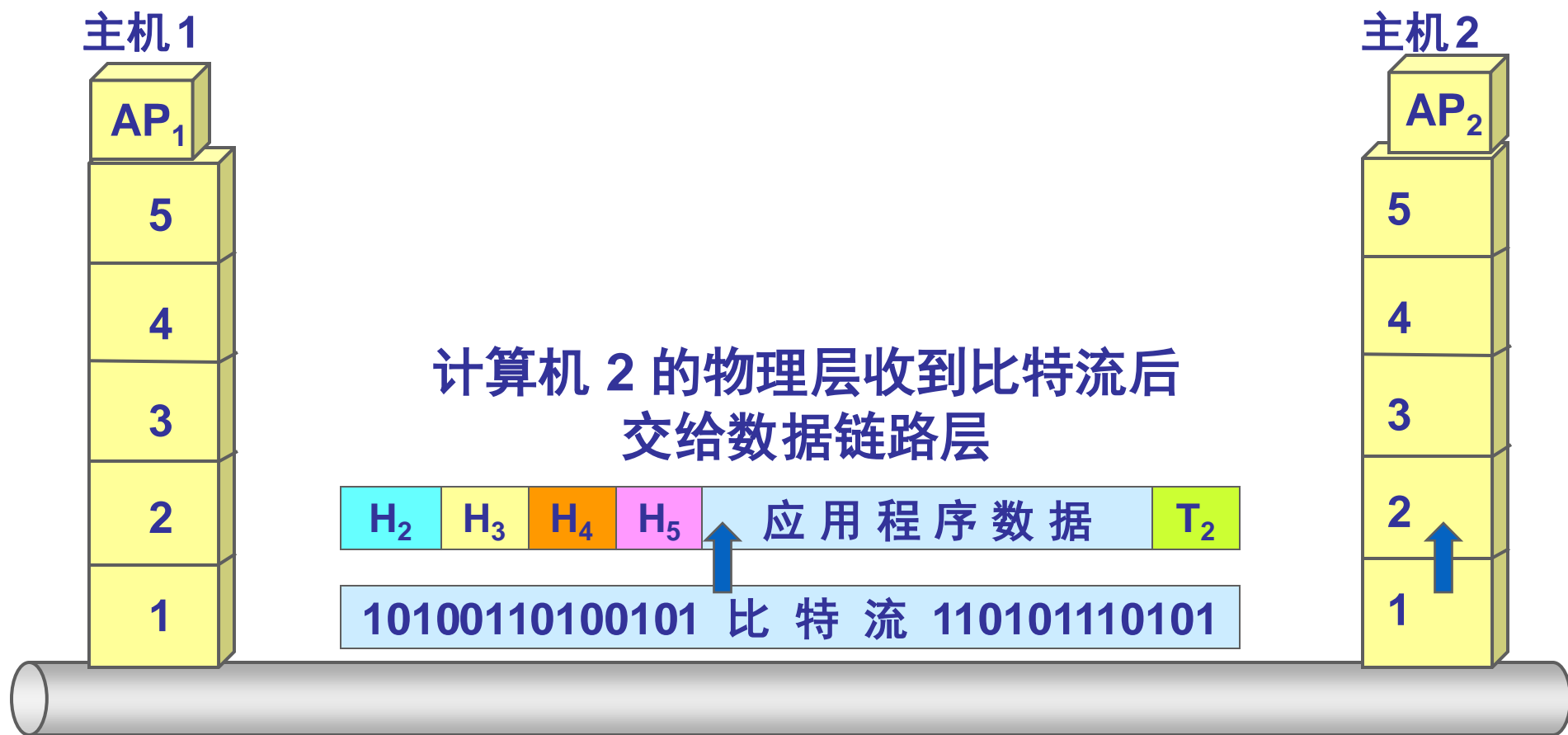
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



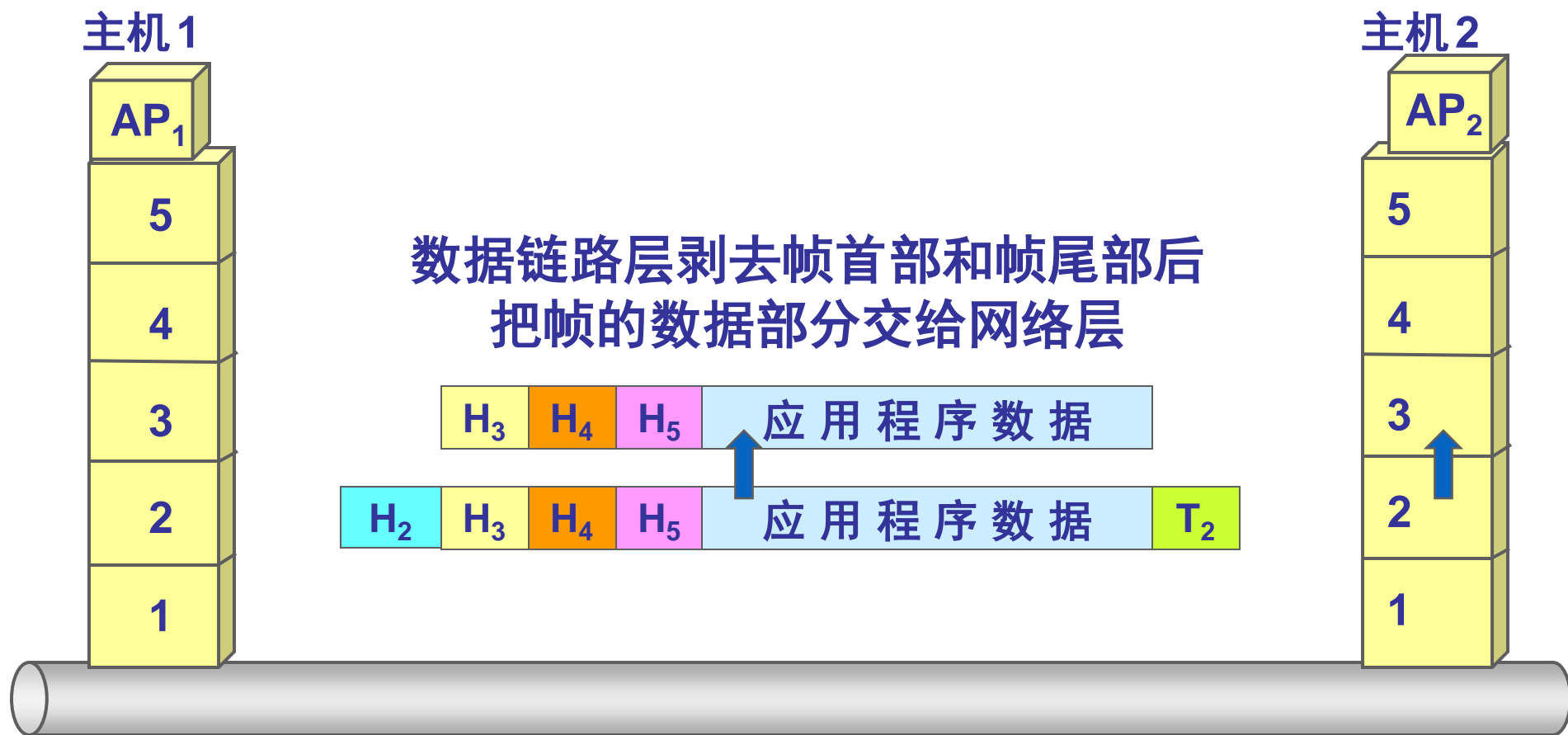
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



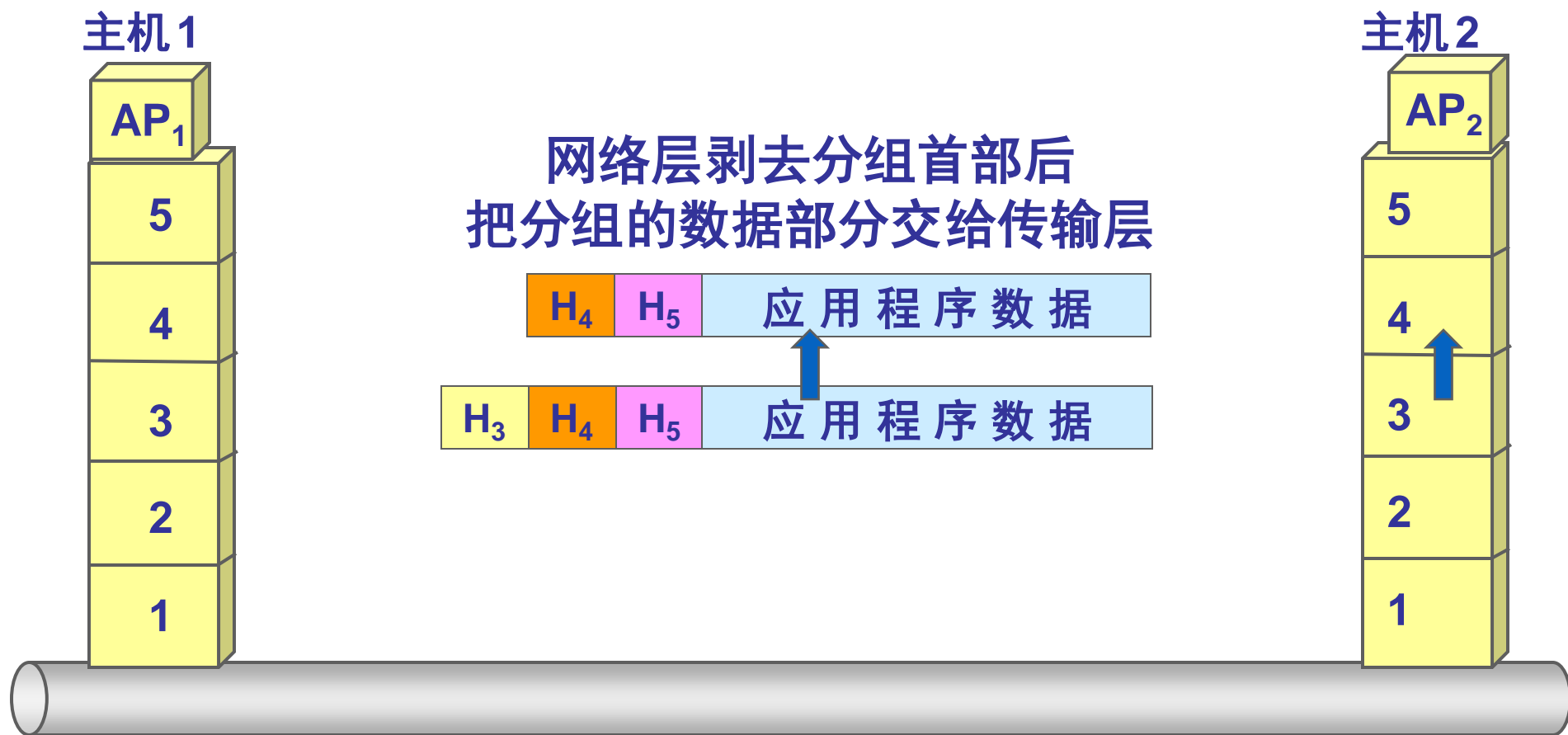
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



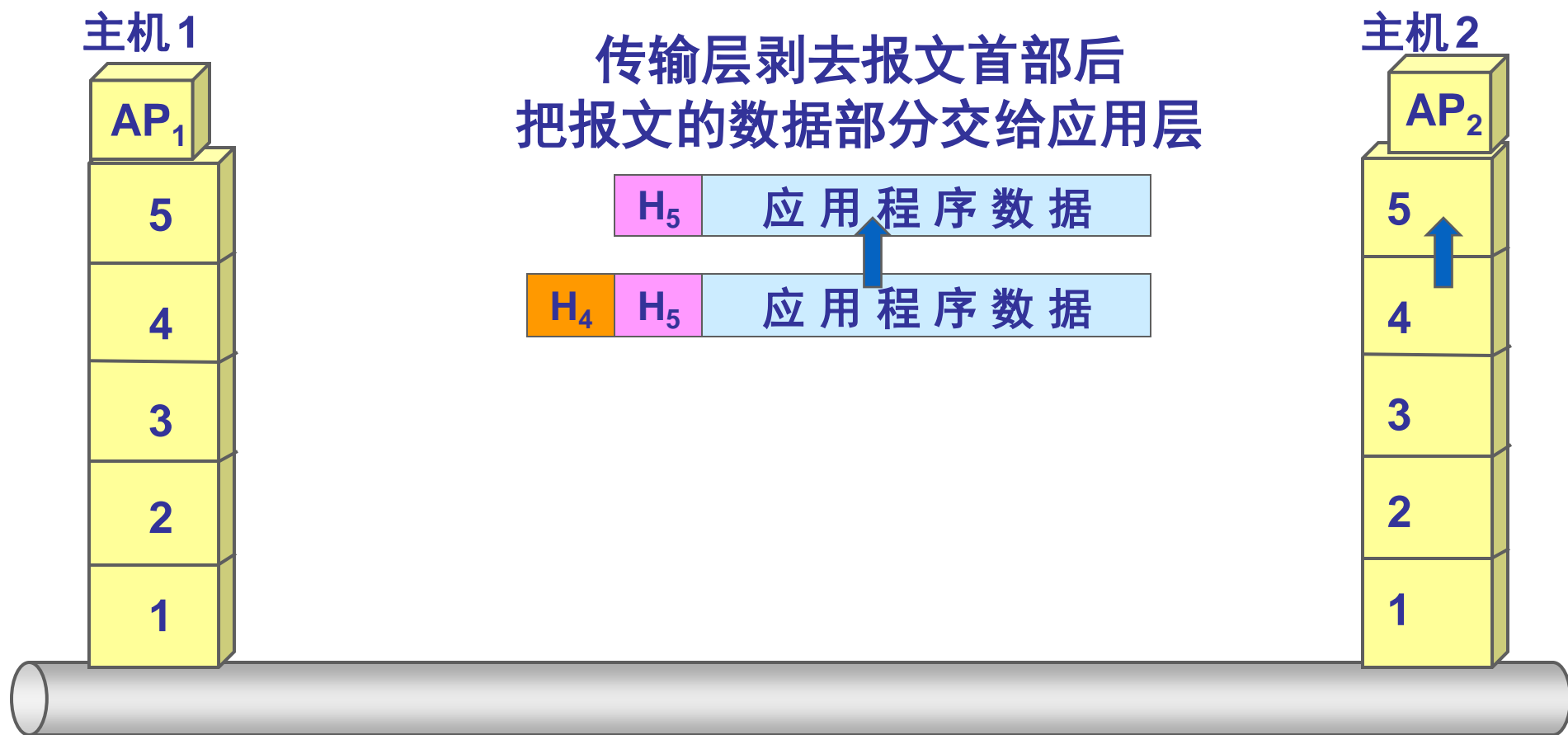
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



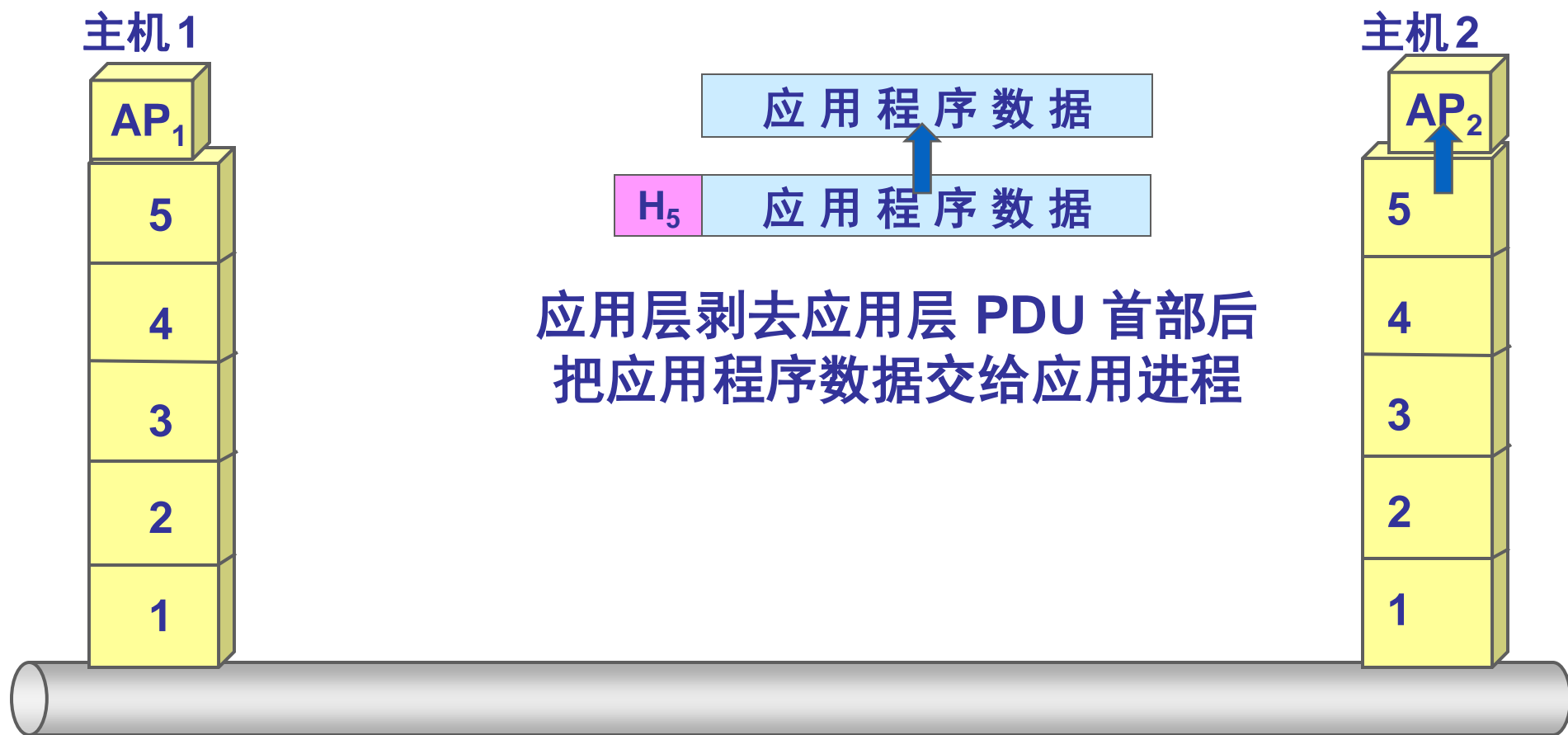
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



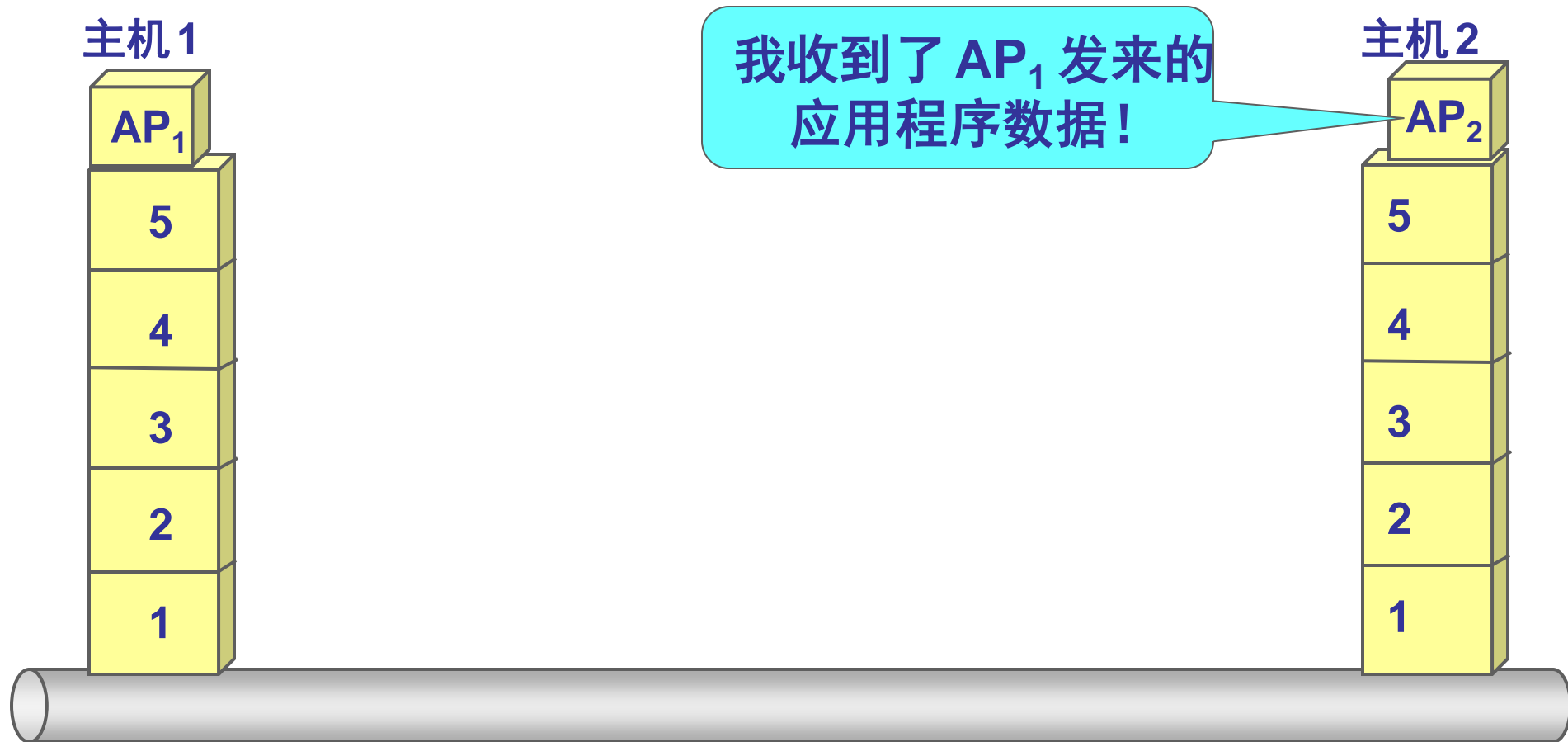
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



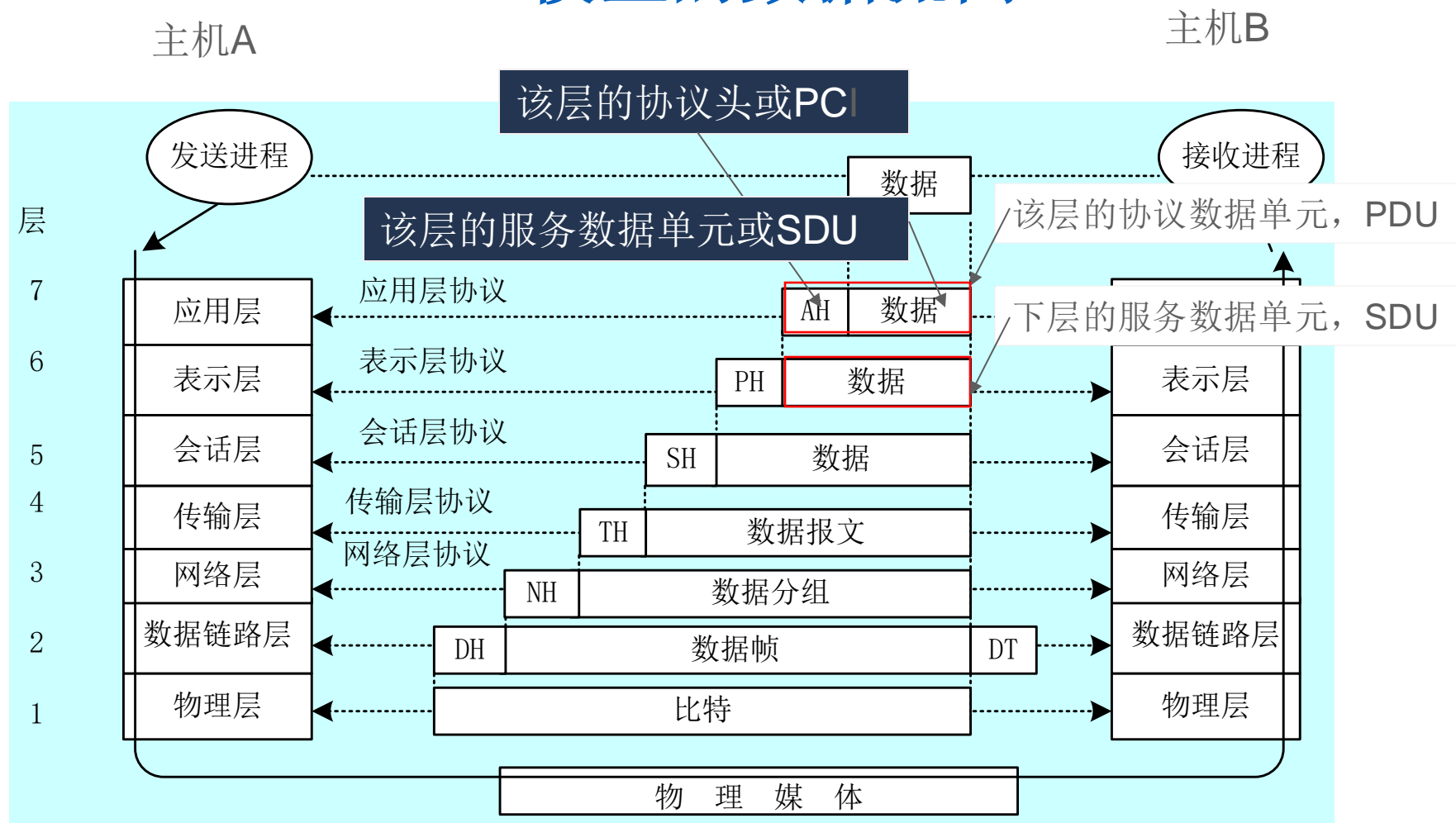
1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

主机 1 向主机 2 发送数据



1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

OSI/RM模型的数据流向



1.6.4 开放系统互连参考模型OSI/RM

OSI模型的意义和缺陷

- 提供了网络间互连的参考模型。
- 成为实际网络建模、设计的重要参考工具和理论依据。
- OSI/RM的思想为我们提供了进行网络设计与分析的方法。
- 实际的网络几乎都是分层结构，功能分层，协议分层，只是根据实际需要，层次有多有少。模块化的结构便于同时开发、升级换代、维护管理。
- OSI 模型设计亦有一定缺陷，以及与其相关的服务定义和协议极其复杂，实现起来困难且操作效率不高。

实际应用中几乎没有完全按OSI七层模型设计的产品。

1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

(一) 物理层

- 它直接与物理信道相连, 起到数据链路层和传输介质之间的逻辑接口作用
- 提供建立、维护和释放物理连接的方法。
- 任务：在物理介质上正确地、透明地传送**比特bit流**。

1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

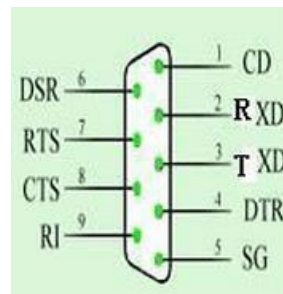
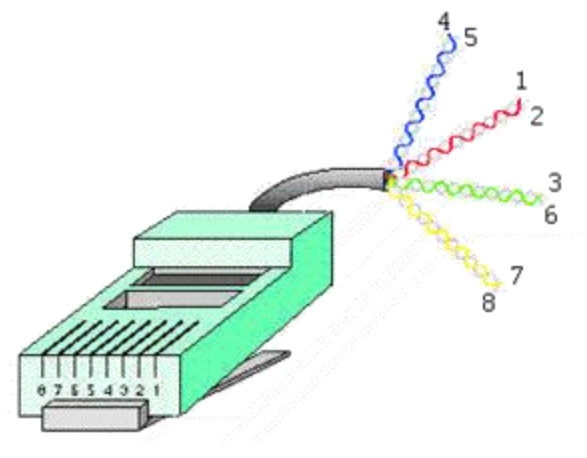
✓主要功能：

- 物理连接：点对点，点对多点
- 差错检验：奇偶错，格式错等的报错

✓服务：串行和并行

✓协议(标准)：规定了物理接口的各种特性：

- **机械**：物理连接器的尺寸、形状、规格
- **电气**：信号电平，信号的脉冲宽度和频率，数据传输速率，最大传输距离等
- **功能**：接口引（线）脚的功能和作用
- **规程**：信号时序，应答关系，操作过程
- 例：[RS-232](#)、RS-449、V.24、V.35、G.703/G.704



1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

(二) 数据链路层 (Data link layer)

- 任务：在两个相邻结点间可靠地传输数据，使之对网络层呈现为一条无错的链路。
- 在相邻结点之间建立链路；
- 传送以帧 (Frame) 为单位的数据信息；并且进行检错和纠错。
- 设计数据链路层的主要目的是在有差错的物理线路的基础上，采取差错检测、差错控制与流量控制等方法，将有差错的物理线路改进成无差错的数据链路，向网络层提供高质量的数据传输服务。

1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

✓功能：

- **链路管理**：建立与拆除数据链路连接
- **组帧**：帧封装，按顺序传送，处理返回的确认帧
- **物理寻址**：MAC地址/物理地址
- **定界与同步**：产生/识别帧边界
- **错误检测/恢复**：可靠的传输，CRC（循环冗余校验编码），ARQ（选择重传）
- **流量控制**：抑止发送方的传输速率，使接收方来得及接收

1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

✓协议：

- 面向字符的：
 - 数据以字符为单位传输，用控制字符控制通信
 - IBM的BSC规程
- 面向比特的：
 - 数据以位为单位传输，用帧中的控制字段控制通信
 - ISO的HDLC规程

✓共享信道问题(LAN or Wireless)：

- 如何控制对**共享信道**的访问？
- 将数据链路层划分为**逻辑链路控制**(Logical Link Control, LLC)和**介质访问控制**(Media Access Control, MAC)两个子层，由MAC子层解决共享介质访问控制问题。
- LAN使用的两种主要介质访问控制方法：
 - CSMA/CD (Carry Sense Multiple Access With Collision Detect)
 - TOKEN PASSING

1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

(三) 网络层 (Network Layer, Internet Layer)

- ✓ 寻址并选择合适的路由，把数据报从源端传送到目的端，在需要时对上层的数据进行分段和重组。向上面的资源子网提供服务。
- ✓ PDU：数据报 (Datagram, IP-分组Packet)
- ✓ 功能：
 - 路由选择
 - 流量控制和拥塞控制
 - 异种网络互连
- ✓ IP协议[RFC 791]

1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

路由选择

- 如何在多条通信路径中找一条**最佳路径**？
 - ✓ 依据：**速度**、**距离(步跳数)**、**价格**、**拥塞程度**
- 路由器——路由表建立与维护
 - ✓ 静态：人工设置，只适用于小型网络
 - ✓ 动态：运行过程中根据网络情况自动地动态维护
- 路由算法——建立与维护路由表的方法
 - ✓ 距离向量算法：RIP、CGP等
 - ✓ 链路状态算法：OSPF等

1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

(四) 传输层 (Transport Layer)

- ✓ 对网络层的连接进行管理，在源端与目的端之间提供可靠的、透明的数据传输，使上层服务用户不必关心通信子网的实现细节。
- ✓ 传输层的特点
 - 以上各层：面向应用，本层及以下各层：面向传输；
 - 与网络层的部分服务有重叠交叉，功能取舍取决于网络层功能的强弱；
 - 只存在于端主机中；
 - 实现源主机到目的主机“端到端”的连接
 - 在这一点上与网络层的区别是什么？
 - 网络层：为主机之间提供逻辑传输
 - 传输层：为应用进程之间提供逻辑传输

1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

✓功能：

- 地址映射：源端进程地址映射到网络地址，或反之；
- 多路复用与分割：
 - 多个传输连接共用一条网络连接；
 - 一条传输连接使用多个网络连接；
- 进行数据分段并在目的端重新组装；
- 传输连接的建立与释放；
- 提供“面向连接”和“无连接”两种服务：
 - TCP/IP协议：TCP和UDP
- 传输差错校验与恢复；
- 流量控制（滑动窗口），防止数据传输过载。

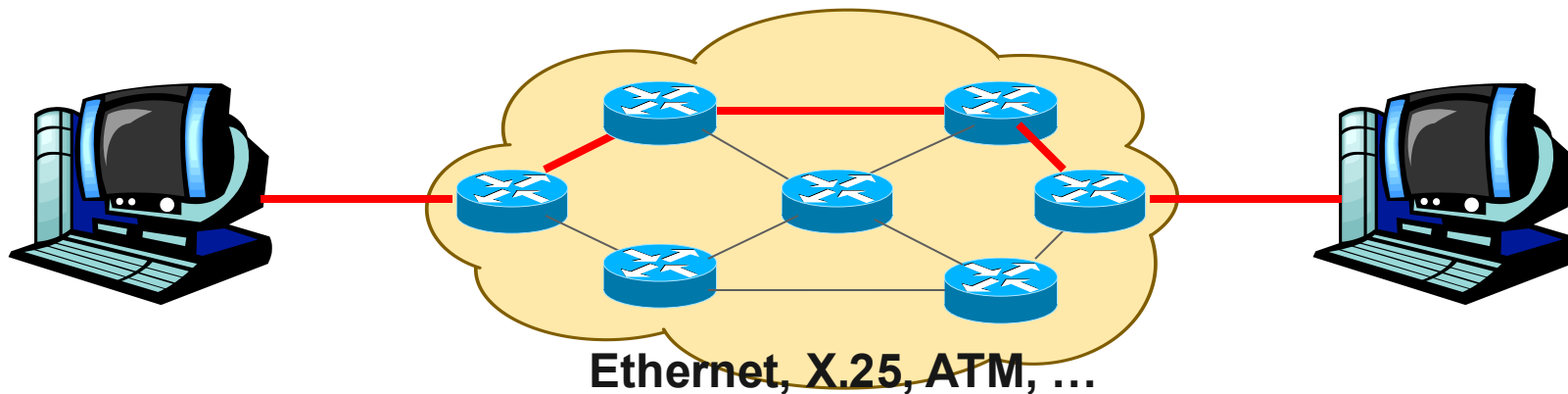
1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

- 网络层则提供网络中**主机**间的“逻辑通信”；而传输层提供主机中的**进程**间的“逻辑通信”。
- 二者之间的差别：微妙而又重要
 - ✓ 类比
 - 主机：学校的传达室
 - 进程：学校中的学生
 - 应用层报文：信件
 - ✓ 网络层协议=邮局的投递服务，只负责递送到传达室
 - ✓ 传输层协议=传达室负责人的收发服务，负责递送到每个学生

1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

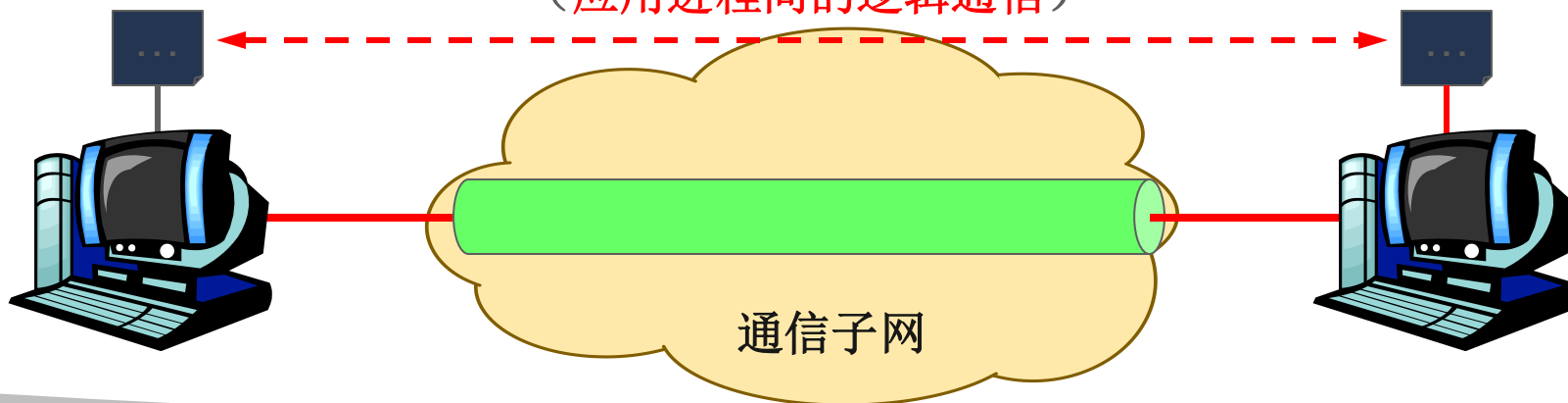
网络层的任务

沿两端点间的最佳路由传输数据
(主机间的逻辑通信)



传输层的任务

两端点间可靠的透明数据传输
(应用进程间的逻辑通信)



1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

(五) 会话层 (Session layer)

- 会话层是利用传输层提供的端到端的服务，向表示层或会话用户提供会话服务，建立、组织和协调应用进程之间的交互过程。是用户和网络的接口。
- 功能：为用户建立、引导和释放会话连接。
- 服务类型：双向同时(双工)、双向交替(半双工)和单向(单工)
- 在ISO/OSI环境中，所谓一次会话，就是两个用户进程之间为完成一次完整的通信而进行的过程，包括建立、维护和结束会话连接。即通讯的双方在正式传输前的沟通。

1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

(六) 表示层 (Presentation layer)

- 定义用户或应用程序之间交换数据的格式，提供数据表示之间的转换服务，保证传输的信息到达目的端后意义不变。它主要涉及被传输信息的内容和表示形式，如文字、图形、声音的表示。
- 功能：对源站内部的数据结构编码，形成适合于传输的比特流(符合“传输语法”)，到了目的站再进行解码，转换成目的站用户所要求的格式(符合目的站“局部语法”)，保持传输数据的意义不变。
- 服务：信息的表示方式（一般用编码的方式），不同类型计算机中内部格式的转换、密码转换和文本压缩的转换。
- 数据采用什么编码方式？是JPEG, ASCII, EBCDIC？

1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

(七) 应用层 (Application layer)

- 最直观, 是计算机网络与最终用户间的接口。
- 任务: 为用户的应用进程提供网络通信服务。
- 功能:
 - 提供各种不同的应用协议以满足应用进程的需求;
 - 识别并证实目的通信方的可用性;
 - 使协同工作的应用进程之间进行同步;
 - 为通信过程申请资源。
- 常用的网络服务包括文件服务、电子邮件服务、打印服务、集成通信服务、目录服务、网络管理服务、安全服务、多协议路由与路由互连服务、分布式数据库服务、虚拟终端服务等。Telnet, SMTP, HTTP, FTP

1.6.5 OSI/RM 参考模型的各层功能

层 次	功 能
应用层	为应用进程提供网络应用的接口服务，如电子邮件服务、文件传输服务等
表示层	数据的公共表示、数据的加密和解密等
会话层	会话管理、会话同步
传输层	向上层提供可靠、透明的传输服务。 TCP，UDP
网络层	通信子网中的路由选择、拥塞控制等。 IP，IPX
数据链路层	组帧、流量控制、差错控制。 802.3/802.2，HDLC
物理层	为数据比特流的传输提供机械特性、电气特性、规程特性和功能特性。 EIA/TIA—232，V.35

1.6.6 TCP/IP体系结构

• TCP/IP体系结构分为4层：

- 应用层
- 传输层
- 网际层
- 网络接口层
= 数据链路层 + 物理层



❖ 注：TCP/IP体系结构有时也采用5层表示方法，即用数据链路层和物理层代替网络接口层。

1.6.6 TCP/IP体系结构

OSI 的体系结构



TCP/IP 的体系结构



五层原理体系结构



1.6.6 TCP/IP体系结构

各层协议的主要功能

物理层: 如何在物理媒体上传送比特流

数据链路层: 相邻节点间分组(帧)的传输

PPP, 以太网

网络层: 如何将分组从源主机通过中间路由器传送到目的主机

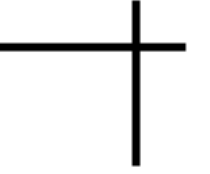
IP, 选路协议

运输层: 提供不同主机上应用程序间的数据传输服务

TCP, UDP

应用层: 如何通过应用进程间的交互来完成特定网络应用。

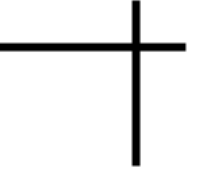
FTP, SMTP, STTP



第七部分 ▶

计算机网络在我国的发展

自学



第八部分 ▶

新兴网络技术

自学
