



哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



# 计算机网络之网尽其用

主讲人：李全龙

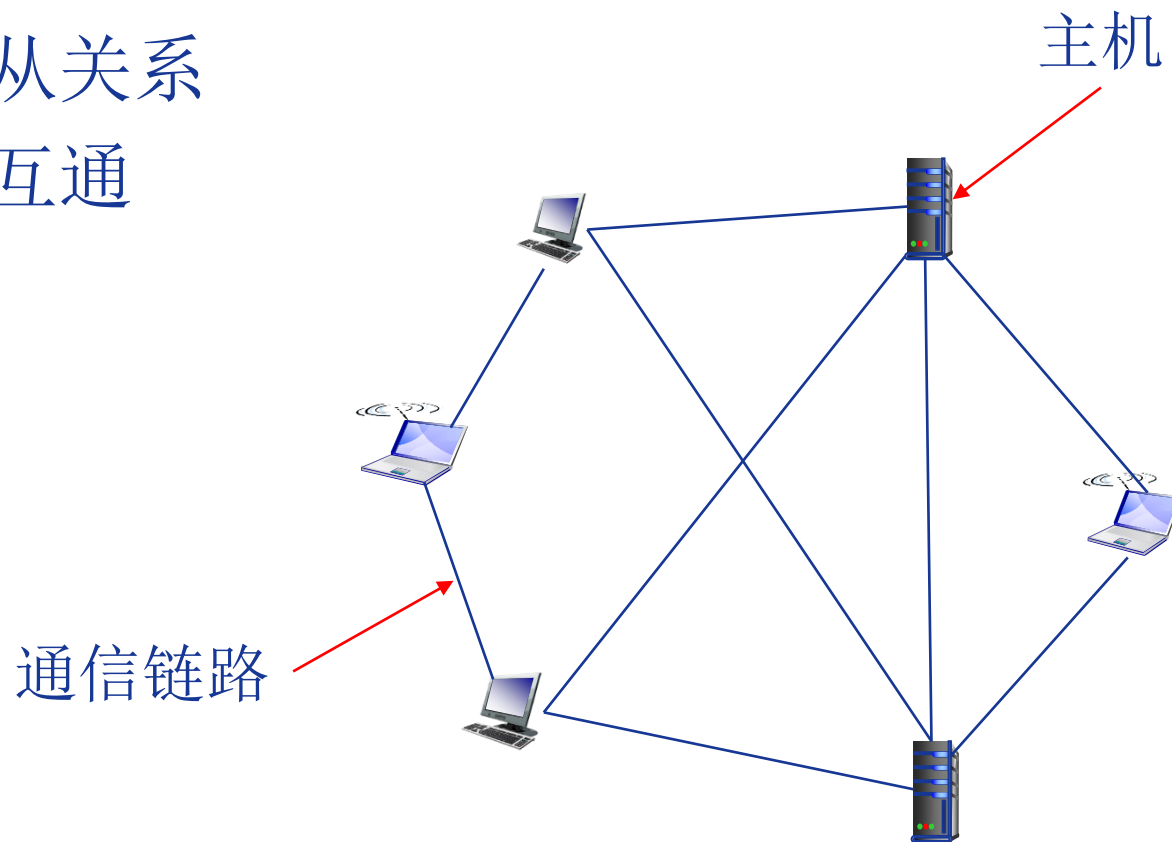
# 本讲主题

## 第1章 小结



# 计算机网络？

- ❖ 定义：计算机网络就是互连的、自治的计算机集合。
- ❖ 自治-无主从关系
- ❖ 互连-互联互通
  - 通信链路



# 什么是Internet?

## ❖ 全球最大的**互连网络**

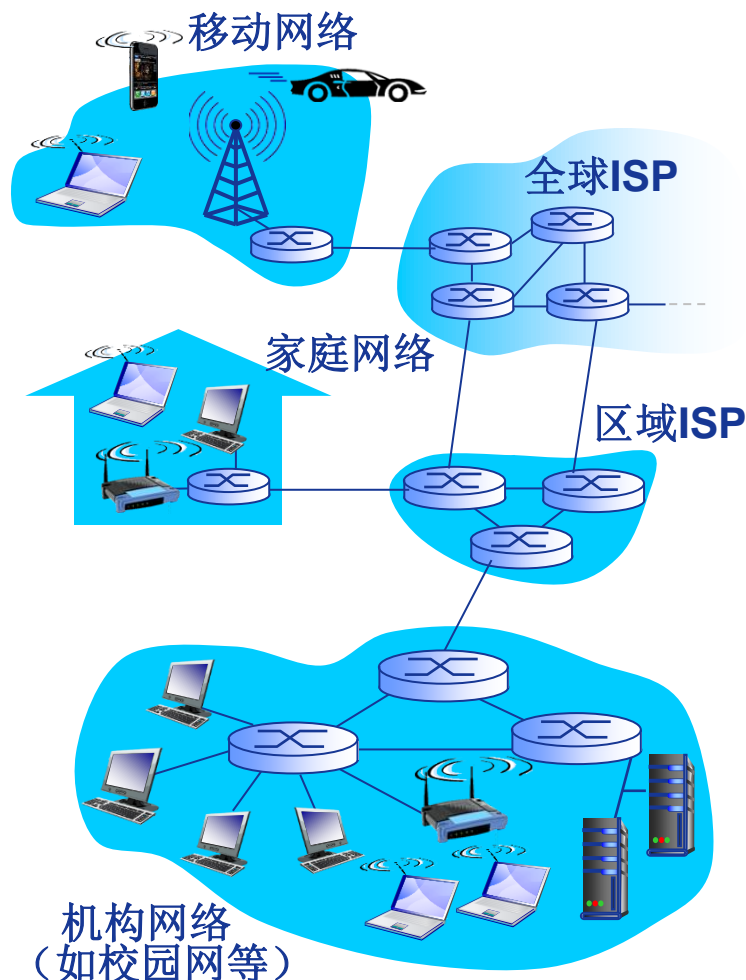
- ISP网络互连的“**网络之网络**”

## ❖ 组成细节角度:

- 数以百万计的互连的**计算设备**集合:
  - **主机(hosts)**=端系统 (end systems)
  - 运行各种网络应用
- **通信链路**
  - 光纤, 铜缆, 无线电, 卫星.....
- **分组交换**: 转发分组 (数据包)
  - 路由器(routers) 和交换机(switches)

## ❖ 服务角度:

- 为网络应用提供通信服务的**通信基础设施**



# 什么是网络协议？

- ❖ 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
- ❖ 协议的三要素：
  - 语法 (Syntax)
  - 语义 (Semantics)
  - 时序 (Timing)



# 计算机网络结构

## ❖ 网络边缘:

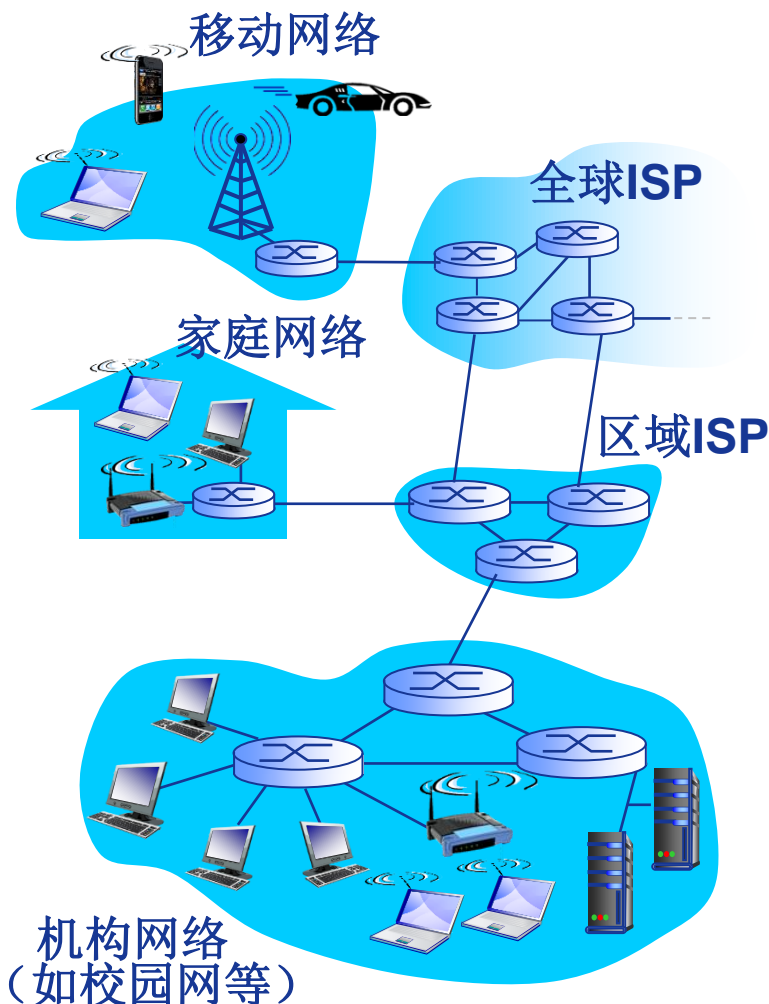
- 主机
- 网络应用

## ❖ 接入网络，物理介质:

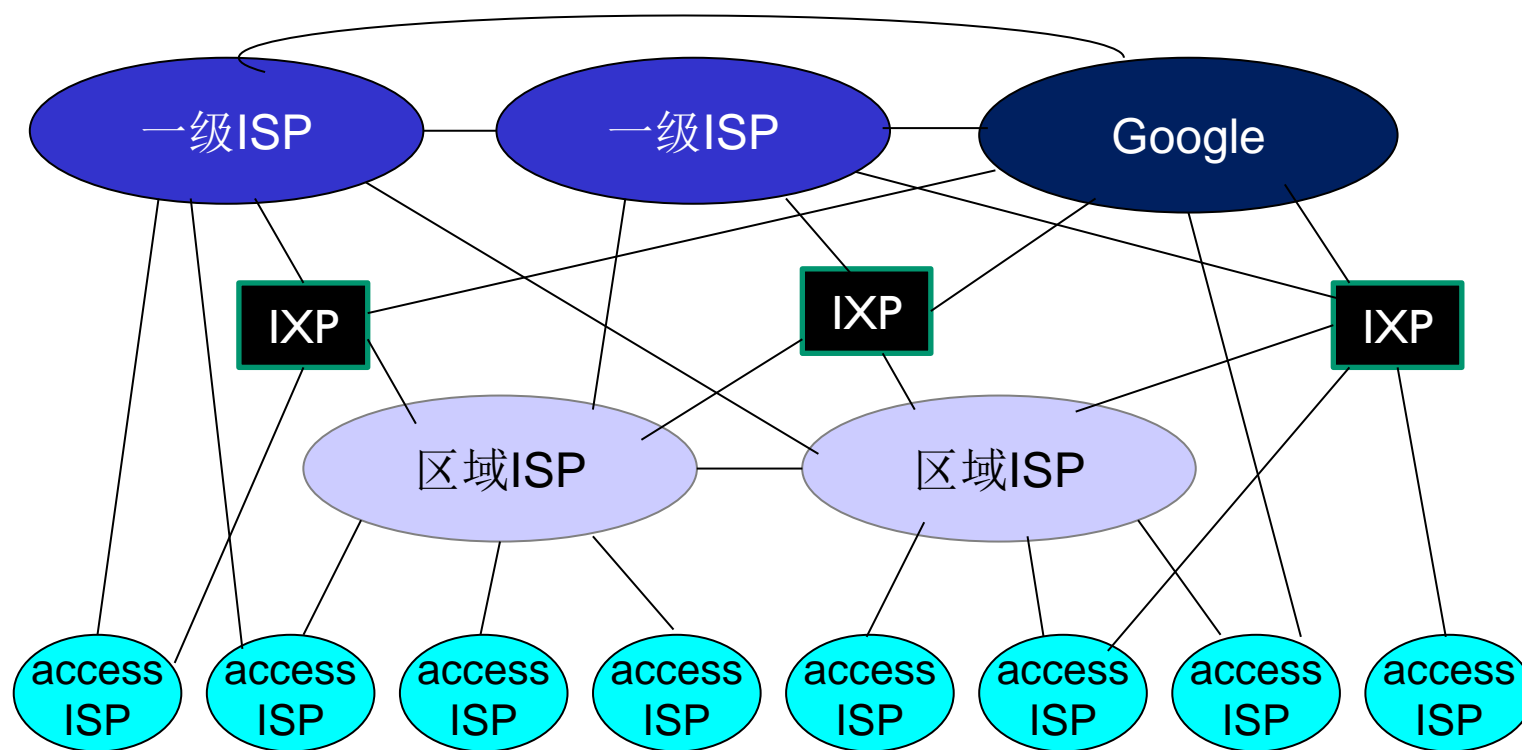
- 有线或无线通信链路

## ❖ 网络核心（核心网络）:

- 互联的路由器（或分组转发设备）
- 网络之网络



# Internet结构: 网络之网络



## ❖ 在网络中心: 少数互连的大型网络

- “一级” (tier-1) 商业ISPs (如: 网通、电信、Sprint、AT&T), 提供国家或国际范围的覆盖
- 内容提供商网络 (content provider network, 如: Google): 私有网络, 连接其数据中心与Internet, 通常绕过一级ISP和区域ISPs



# 数据交换

- ❖ 电路交换
- ❖ 报文交换
- ❖ 分组交换





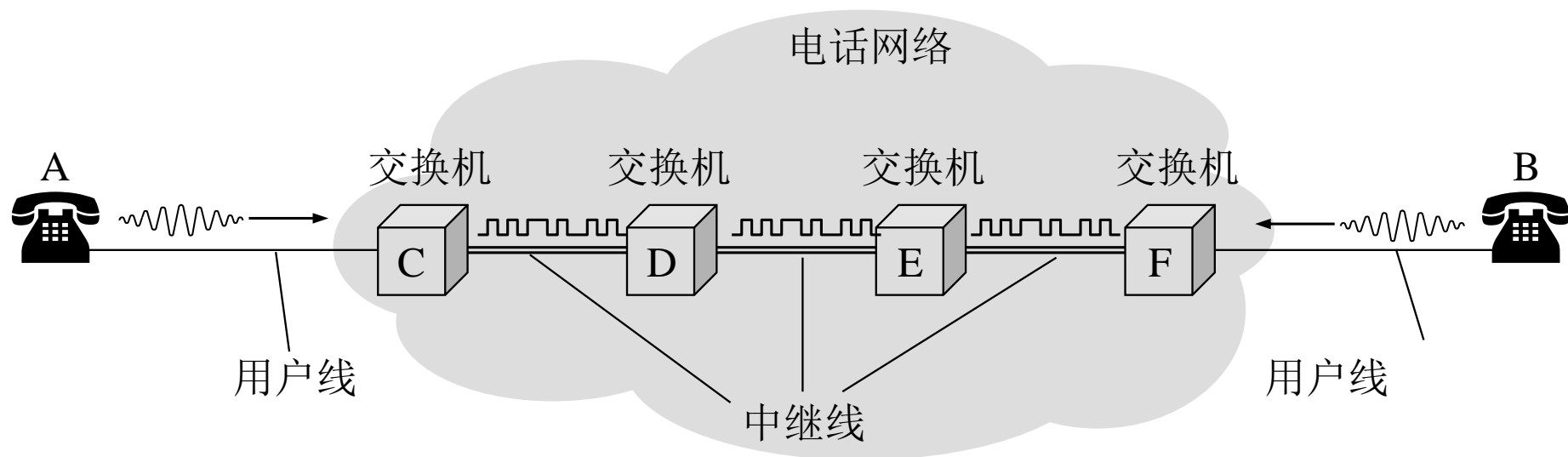
# 电路交换的特点

❖ 最典型电路交换网络：电话网络

❖ 电路交换的三个阶段：

- 建立连接（呼叫/电路建立）
- 通信
- 释放连接（拆除电路）

❖ 独占资源



# 多路复用？

多路复用(Multiplexing):  
链路/网络资源（如带宽）划分为“资源片”

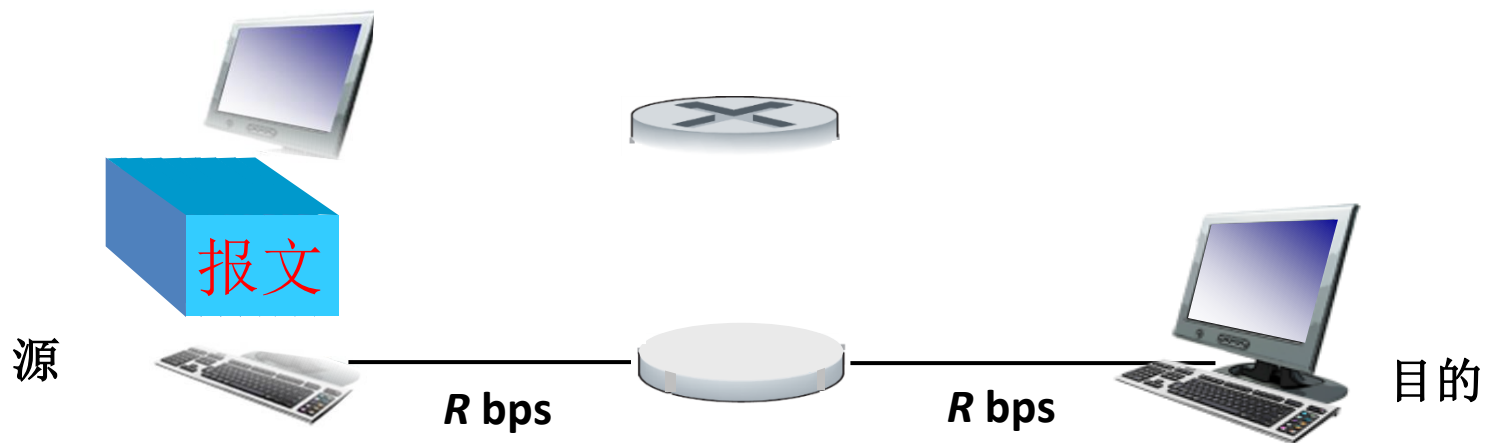
- ❖ 将资源片分配给各路“呼叫”（calls）
- ❖ 每路呼叫**独占**分配到的资源片进行通信
- ❖ 资源片可能“**闲置**”（*idle*）（无共享）

典型多路复用方法:

- ❖ 频分多路复用( frequency division multiplexing-**FDM** )
- ❖ 时分多路复用( time division multiplexing-**TDM** )
- ❖ 波分多路复用(Wavelength division multiplexing-**WDM**)
- ❖ 码分多路复用( Code division multiplexing-**CDM** )

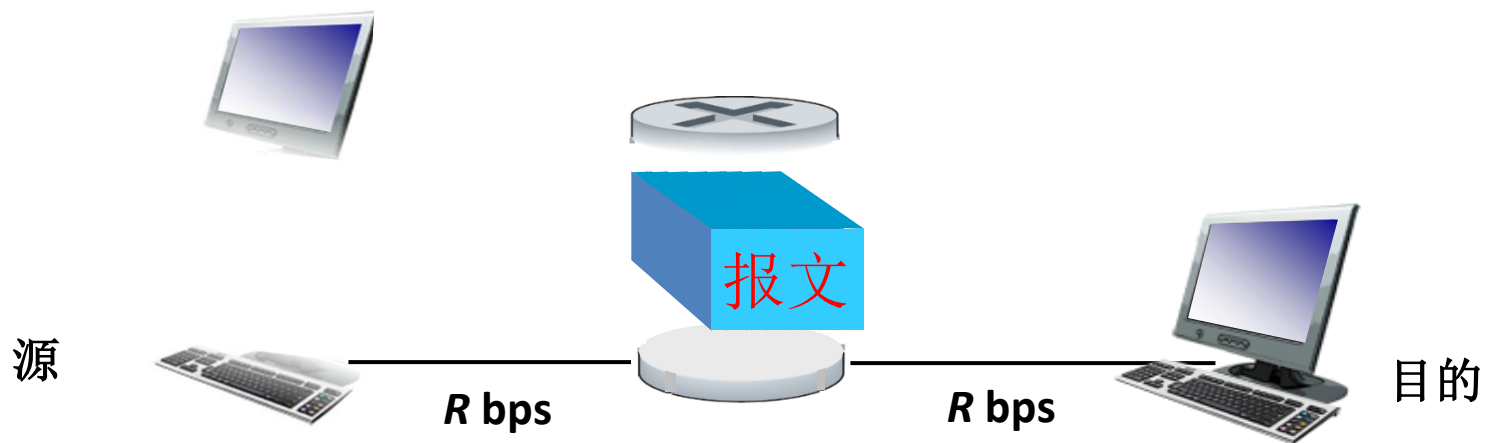
# 报文交换 (message switching)

- ❖ 报文：源（应用）发送信息整体
  - 比如：一个文件



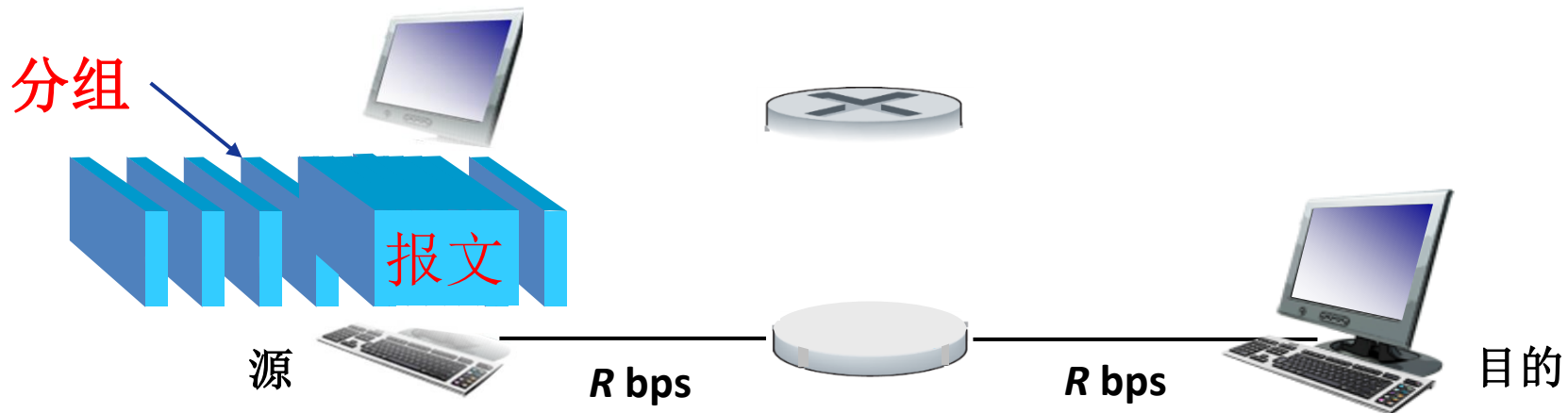
# 报文交换 (message switching)

- ❖ 报文：源（应用）发送信息整体
  - 比如：一个文件



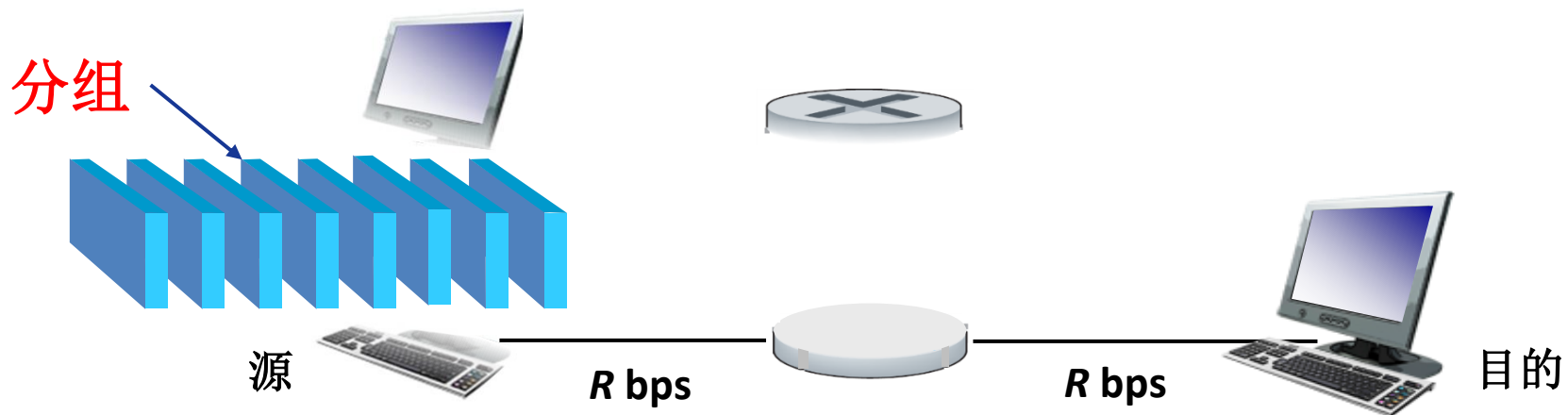
# 分组交换 (package switching)

- ❖ **分组**: 报文分拆出来的一系列相对较小的数据包
- ❖ 分组交换需要报文的**拆分**与**重组**
- ❖ 产生**额外开销**



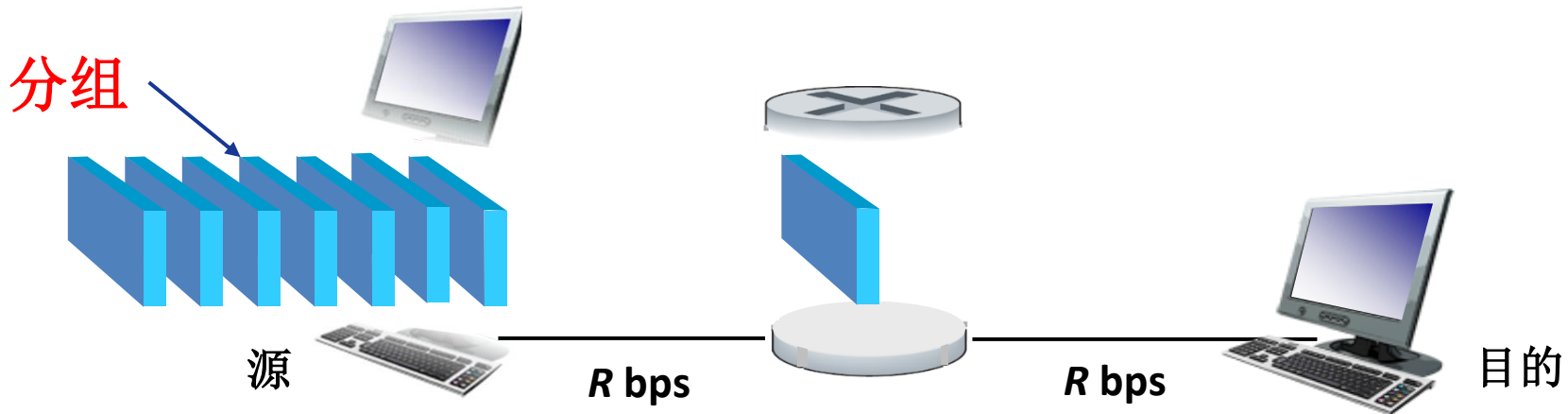
# 分组交换 (package switching)

- ❖ **分组**: 报文分拆出来的一系列相对较小的数据包
- ❖ 分组交换需要报文的**拆分**与**重组**
- ❖ 产生**额外开销**



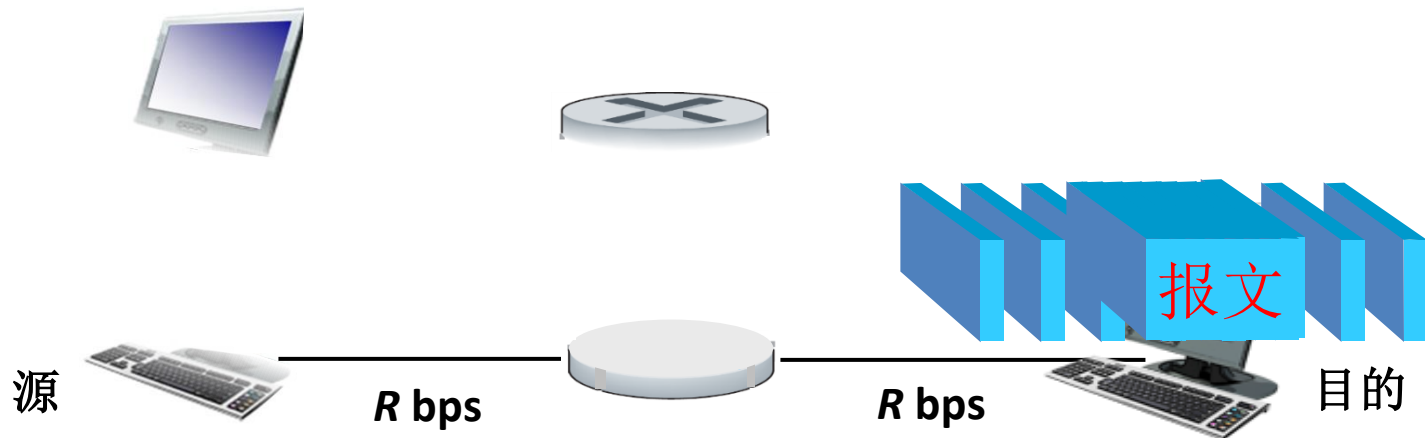
# 分组交换 (package switching)

- ❖ **分组**：报文分拆出来的一系列相对较小的数据包
- ❖ 分组交换需要报文的**拆分**与**重组**
- ❖ 产生**额外开销**



# 分组交换 (package switching)

- ❖ **分组**：报文分拆出来的一系列相对较小的数据包
- ❖ 分组交换需要报文的**拆分**与**重组**
- ❖ 产生**额外开销**





# 报文交换 vs 分组交换？

## ❖ 相同：

- 均采用存储-转发交换方式

## ❖ 区别：

- 报文交换以完整报文进行“存储-转发”
- 分组交换以较小的分组进行“存储-转发”

## ❖ 性能差异：

- 报文交换慢（串行工作），  
分组交换快（并行工作）
- 报文交换的交换节点需要较大缓存，  
分组交换的交换节点需要较小缓存
- 报文交换不公平  
分组交换较公平



# 分组交换 vs 电路交换？

- ❖ 分组交换：适用于**突发**数据传输网络
  - 资源充分共享
  - 简单、无需呼叫建立
- ❖ 电路交换：适用于**连续流**数据传输网络
  - 保证带宽和实时性
- ❖ 分组交换：可能产生**拥塞**（congestion）
  - 分组延迟和丢失
- ❖ 电路交换：**独占**资源
  - 可能产生资源**闲置**

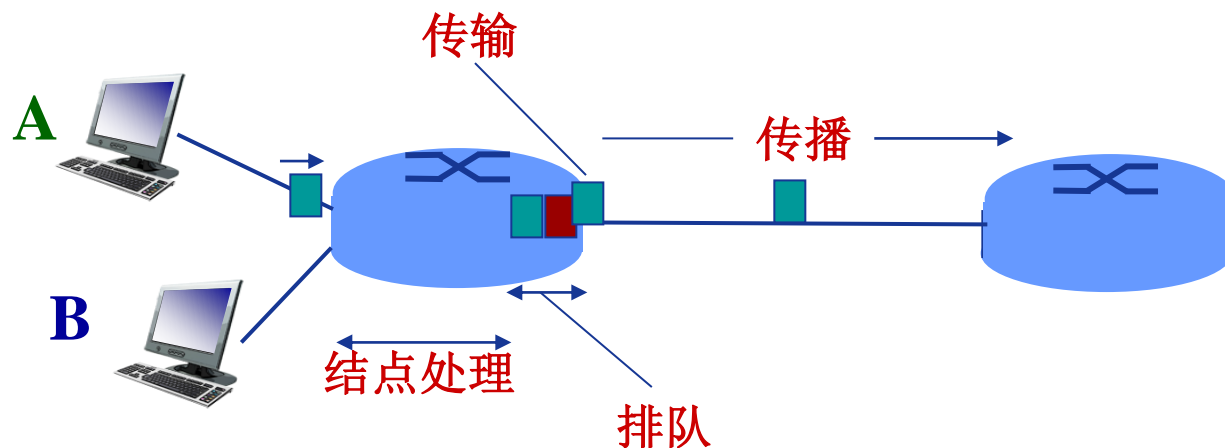


# 计算机网络性能

- ❖ 速率即数据率(data rate)或称数据传输速率或比特率(bit rate)
- ❖ 网络的“带宽”(bandwidth)通常是数字信道所能传送的“最高数据率”,单位:(bps)
  - “带宽”原本指信号具有的频带宽度,即最高频率与最低频率之差,单位是赫兹(Hz)



# 计算机网络性能-分组延迟



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

$d_{\text{trans}}$ : 传输延迟

- $L$ : 分组长度(bits)
- $R$ : 链路带宽 ( $\text{bps}$ )
- $d_{\text{trans}} = L/R$

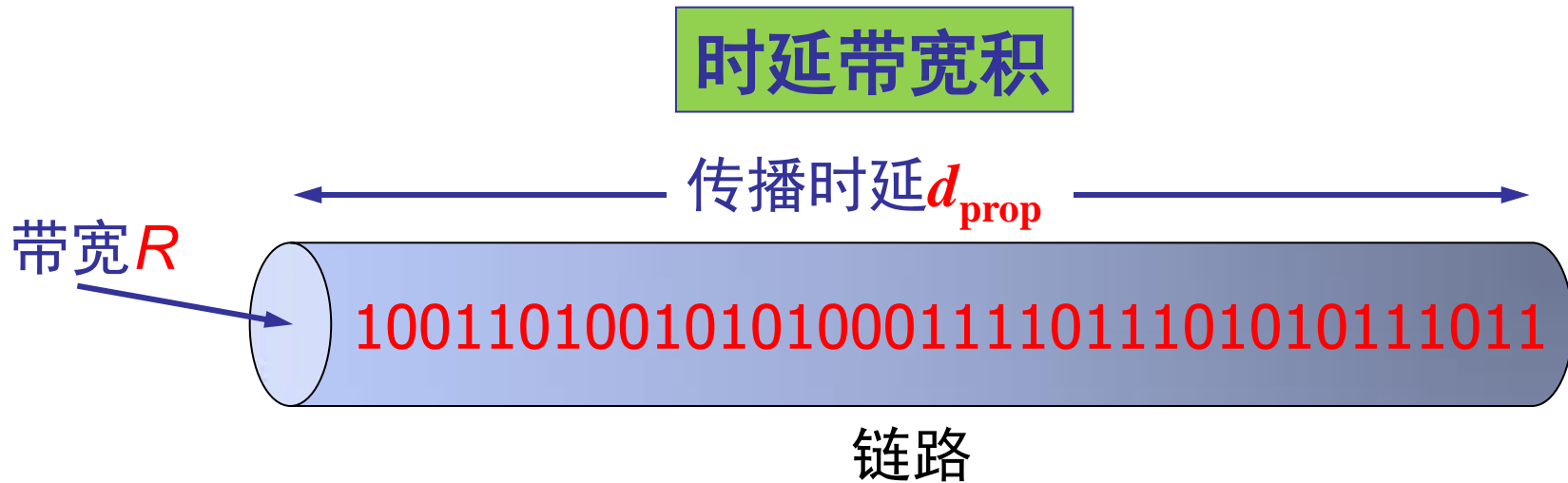
$d_{\text{prop}}$ : 传播延迟

- $d$ : 物理链路长度
- $s$ : 信号传播速度
- $d_{\text{prop}} = d/s$



# 计算机网络性能-时延带宽积

$$\begin{aligned}\text{时延带宽积} &= \text{传播时延} \times \text{带宽} \\ &= d_{\text{prop}} \times R \quad (\text{bits})\end{aligned}$$

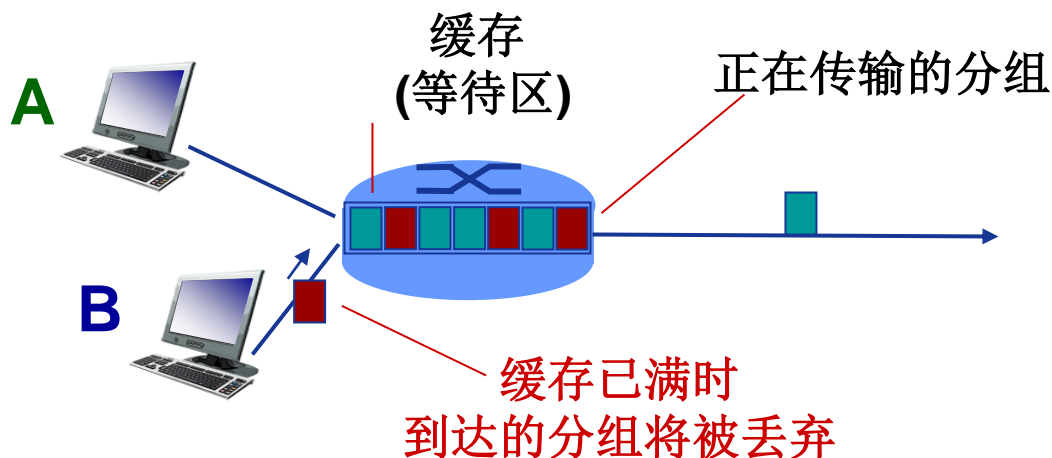


❖ 链路的时延带宽积又称为以比特为单位的链路长度



# 计算机网络性能-分组丢失（丢包）

- ❖ 队列缓存容量有限
- ❖ 分组到达已满队列将被丢弃 (即丢包)
- ❖ 丢弃分组可能由前序结点或源重发（也可能不重发）

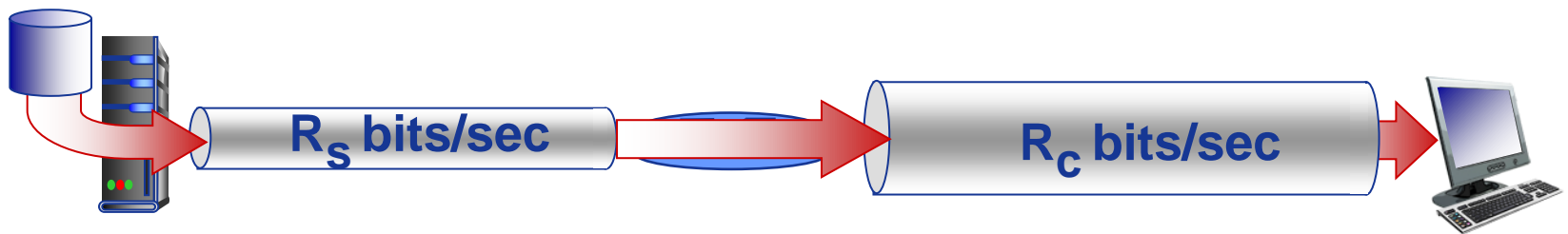


$$\text{丢包率} = \frac{\text{丢包数}}{\text{已发分组总数}}$$



# 计算机网络性能-吞吐量/率

- ❖ **吞吐量**: 表示在发送端与接收端之间传送数据速率 (b/s)
  - **即时吞吐量**: 给定时刻的速率
  - **平均吞吐量**: 一段时间的平均速率



## 瓶颈链路 (bottleneck link)

端到端路径上, 限制**端到端**吞吐量的链路。



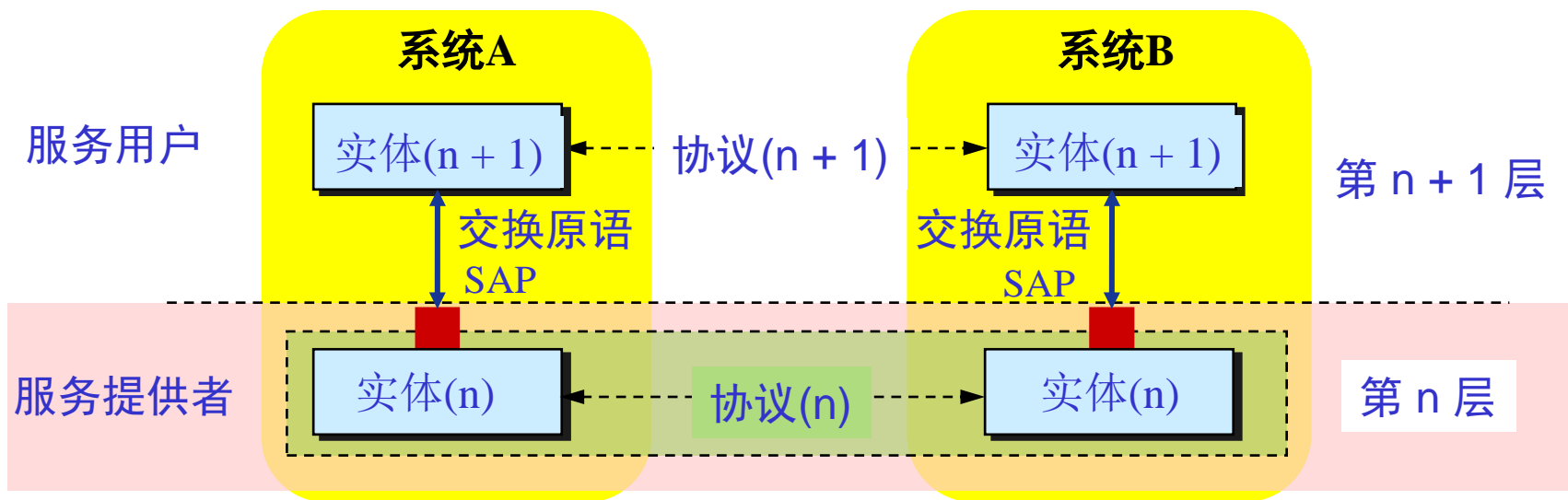
# 计算机网络的体系结构？

- ❖ 网络体系结构是从**功能上**描述计算机网络结构
- ❖ 计算机网络体系结构简称网络体系结构 (network architecture) 是**分层结构**
- ❖ 每层遵循某个/些**网络协议**完成本层功能
- ❖ **计算机网络体系结构**是计算机网络的各层及其协议的集合
- ❖ 体系结构是一个计算机网络的功能层次及其关系的**定义**
- ❖ 体系结构是**抽象的**





# 分层网络体系结构基本概念

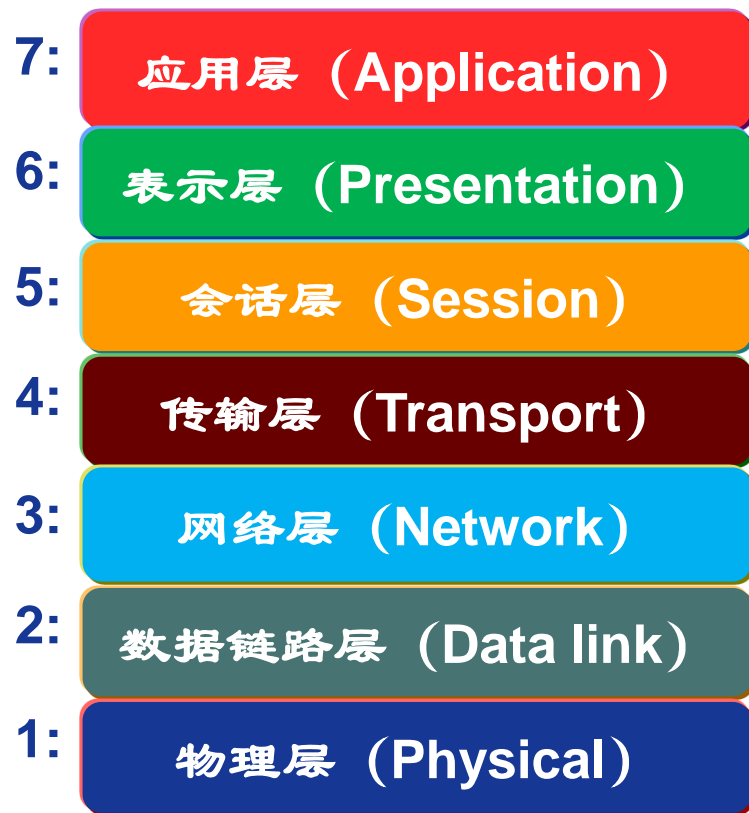


- ❖ **实体(entity)** 表示任何可发送或接收信息的硬件或软件进程。
- ❖ 协议是控制**两个对等实体**进行通信的规则集合，协议是“**水平的**”。
- ❖ 任一层实体需要使用**下层**服务，遵循本层协议，实现本层功能，向**上层**提供服务，服务是“**垂直的**”。
- ❖ 下层协议的实现对上层的**服务用户**是**透明**的。
- ❖ 同系统的相邻层实体间通过**接口**进行交互，通过**服务访问点 SAP (Service Access Point)**，交换**原语**，指定请求的特定服务。

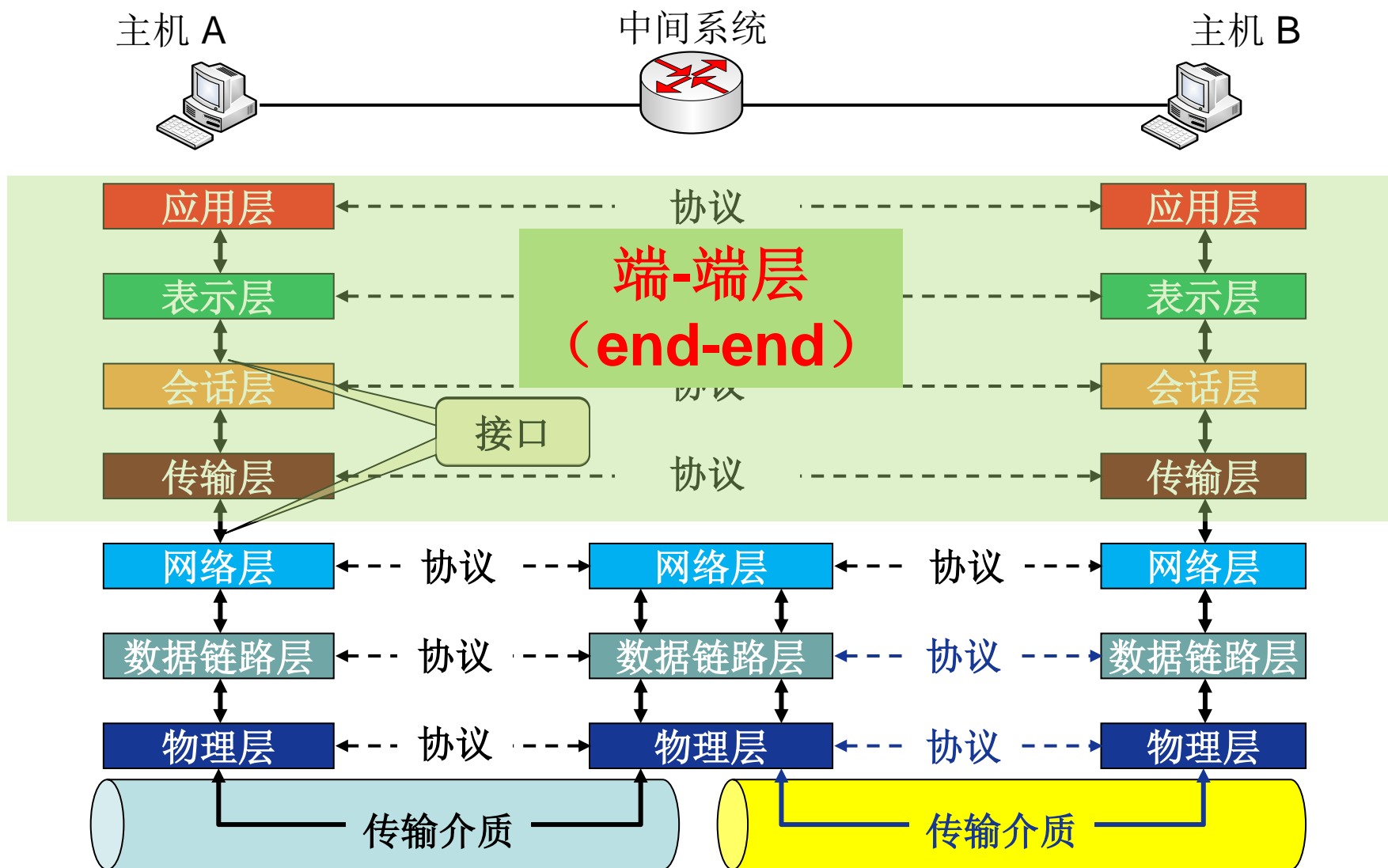


# OSI参考模型

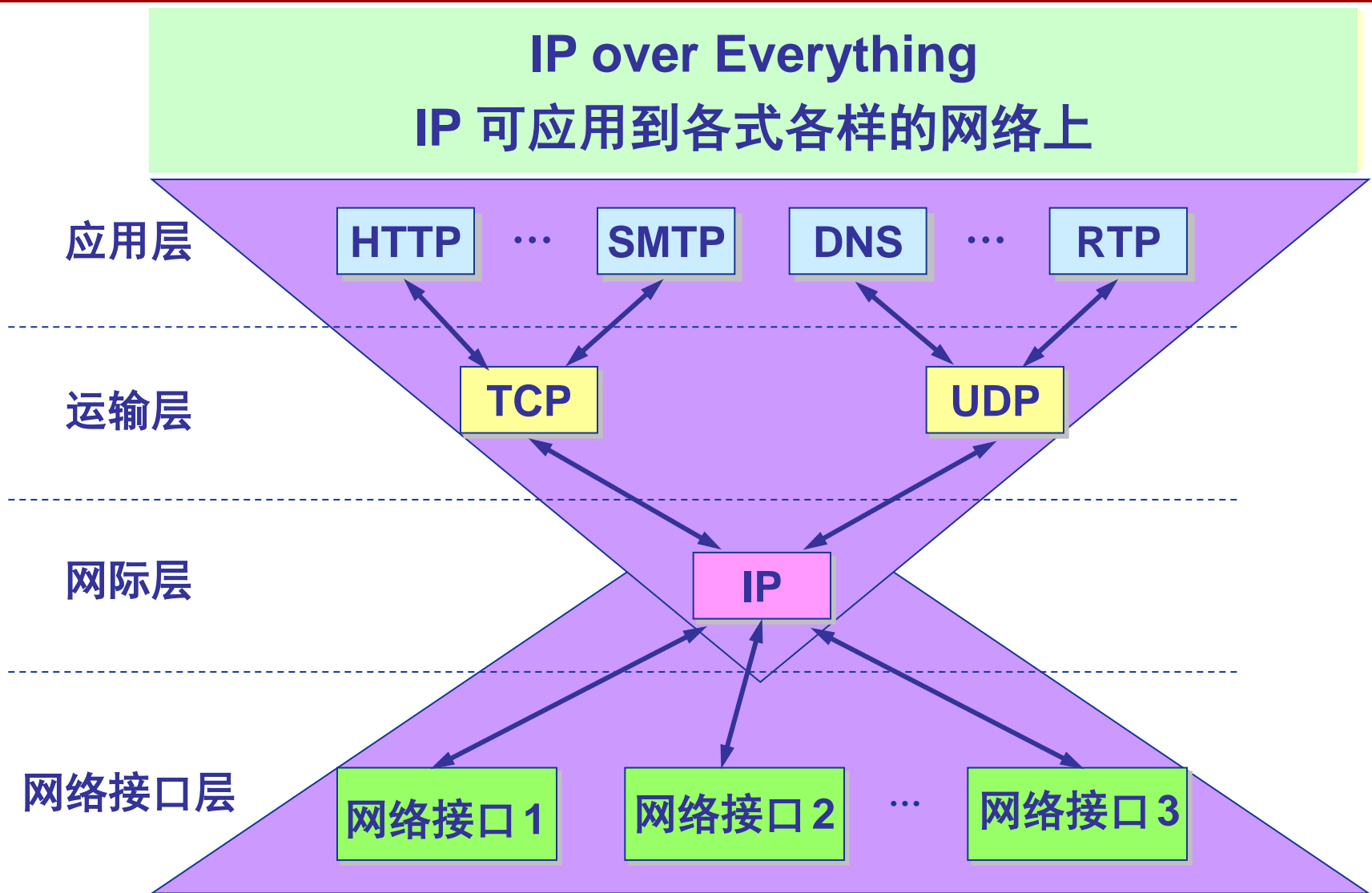
- ❖ 开放系统互连 (OSI)参考模型是由国际标准化组织 (ISO) 于1984年提出的分层网络体系结构模型
- ❖ 目的是支持异构网络系统的互联互通
- ❖ 异构系统互连的国际标准
- ❖ 理解网络通信过程的最佳学习工具（理论模型）
  - 理论成功，市场失败
- ❖ 7层（功能），每层完成特定的网络功能



# OSI参考模型解释的通信过程



# TCP/IP参考模型

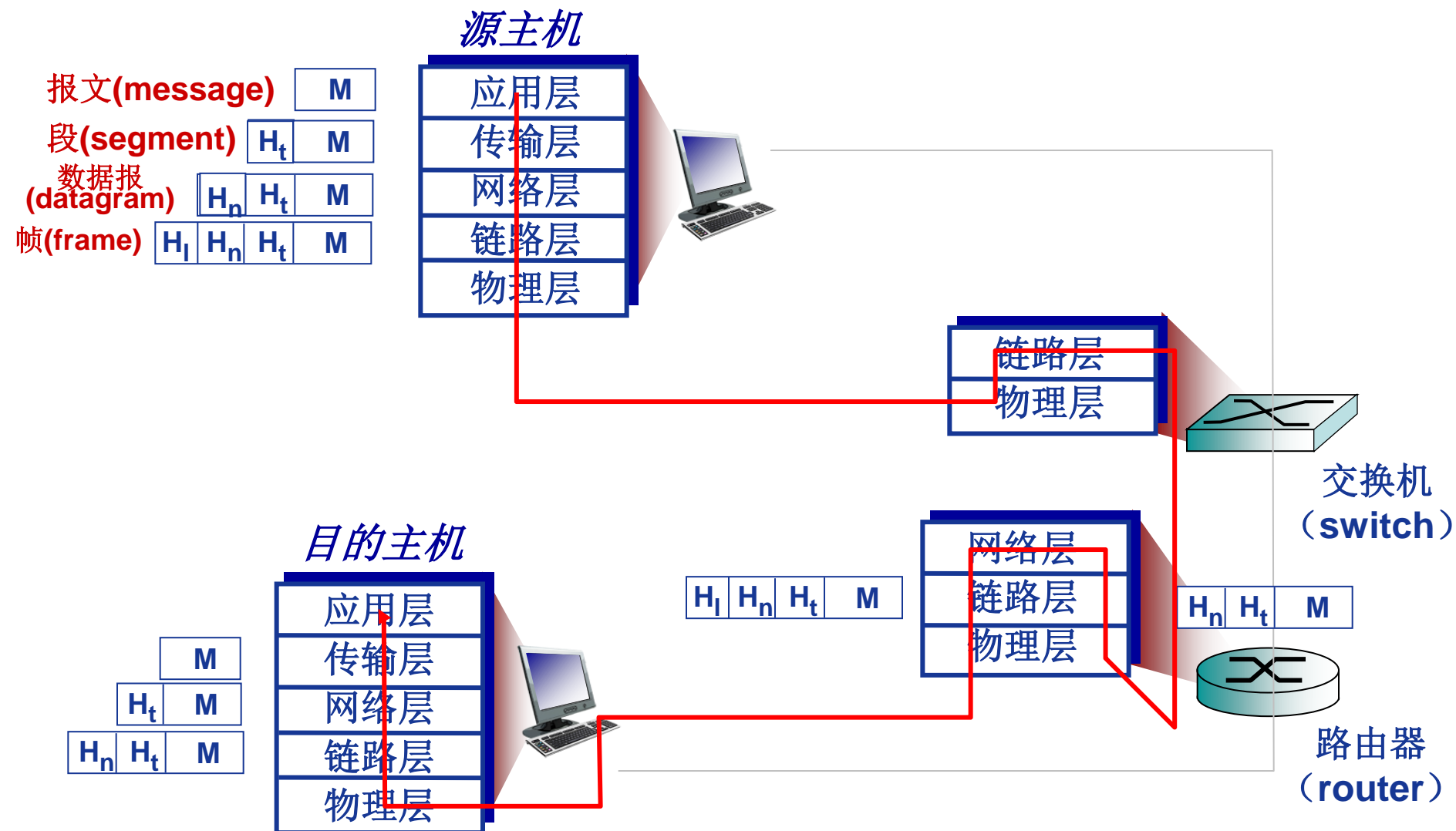


# 5层参考模型

- ❖ 综合 OSI 和 TCP/IP 的优点
- ❖ **应用层**: 支持各种网络应用
  - FTP, SMTP, HTTP
- ❖ **传输层**: 进程-进程的数据传输
  - TCP, UDP
- ❖ **网络层**: 源主机到目的主机的数据分组路由与转发
  - IP协议、路由协议等
- ❖ **链路层**: 相邻网络元素（主机、交换机、路由器等）的数据传输
  - 以太网（Ethernet）、802.11 (WiFi)、PPP
- ❖ **物理层**: 比特传输



# 5层模型的数据封装



# 计算机网络与Internet发展历史

**1961-1972:** 早期分组交换原理的提出与应用

**1972-1980:** 网络互连, 大量新型、私有网络的涌现

**1980-1990:** 新型网络协议与网络的激增

**1990, 2000's:** 商业化, Web, 新应用

**2005-今**

- ❖ ~7.5亿主机
- ❖ 宽带接入的快速部署
- ❖ 无处不在的高速无线接入快速增长
- ❖ 出现在线社交网络:
- ❖ 服务提供商 创建其自己的专用网络
- ❖ 电子商务、大学、企业等开始在“云”中运行自己的服务







哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY



立足航天，服务国防，面向国民经济主战场

谢谢！