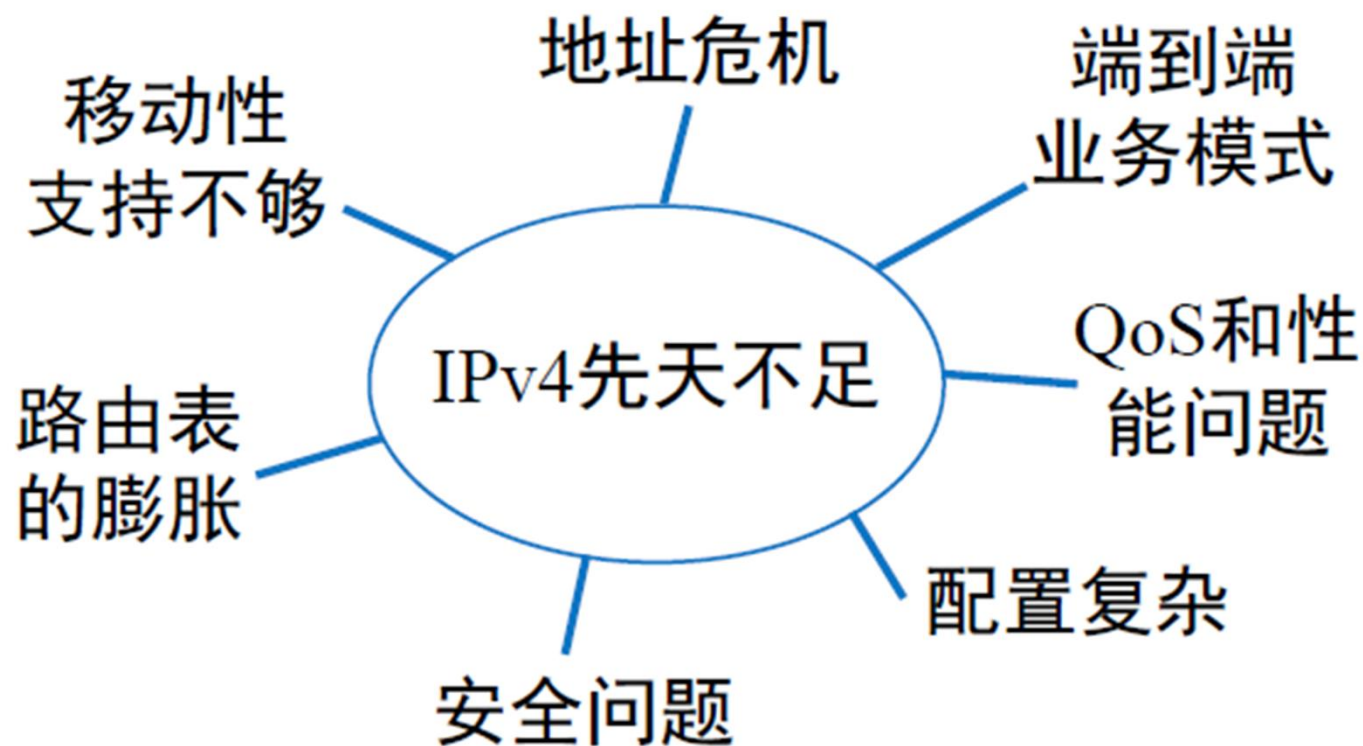


## 4.6 IPv6

- 4.6.1 IPv6 的基本首部
- 4.6.2 IPv6 的地址
- 4.6.3 从 IPv4 向 IPv6 过渡
- 4.6.4 ICMPv6

- 到 2011 年 2 月，IPv4 的 32 位地址已经耗尽。
- 我国在 2014 – 2015 年也逐步停止了向新用户和应用分配 IPv4 地址。



# IPv4解决地址短缺的方法

## ▶ CIDR

- 一定程度能节省IPv4地址空间的使用
- 不能解决IPv4地址短缺

## ▶ NAT

- 能缓解IPv4地址短缺的问题
- 一些端到端的应用，如VoIP会出问题
- 实现复杂，性能下降


## ▶ DHCP

- 通过释放一段时间不用的IP，能部分缓解IPv4地址短缺
- 不能解决IPv4的地址短缺

# IPv6的地址空间

■ 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,768,211,456个

- ✓ 连线到离地球最近的银河系仙女恒星（250万光年），每纳米140万个
- ✓ 全球人均每人 $5 \times 10^{28}$ 个
- ✓ 每平方厘米 $6.7 \times 10^{19}$ 个地址



世界上每一粒沙子都可以分到一个IP地址

## 4.6.1 IPv6 的基本首部

- IPv6 的报头在起始64比特之后是128比特的源地址和目的地址，全长为40字节

版本(4)	业务等级(8)	流标记(20)	
净荷长度(16)		下一个头(8)	跳数限制(8)
信源地址(128)			
信宿地址(128)			

版本	报头长	服务类型	数据总长度	
标识符			标志	分段偏移量
生存时间	协议		报头校验和	
信源地址				
信宿地址				
选项			填充	
数据区（可变长度）				

# IPv6与IPv4分组头的不同

## ■ IPv6丢弃了IPv4的:

- ✓ Internet Header Length ([因特网](#)报头长度)
- ✓ Type of Service ([服务类型](#))
- ✓ Identification (识别)、Flags (标志)、Fragment Offset (分片偏移量)
- ✓ Header Checksum (报头校验和) 字段

## ■ 修改了IPv4的:

- ✓ Addresses increased 32 bits -> 128 bits
- ✓ Time to Live -> Hop Limit (跳数限制)
- ✓ Protocol -> Next Header
- ✓ Type of Service -> Traffic Class (流量类别)

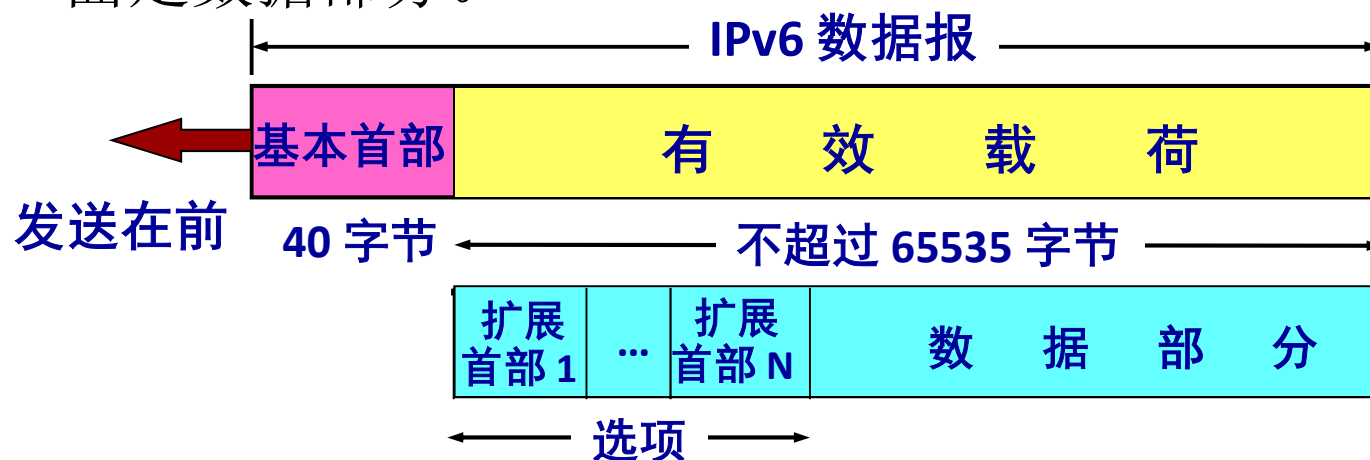
# IPv6的主要特点

- 固定长度首部，40个字节
- 支持即插即用（即地址自动配置）。IPv6 不需要使用 DHCP
- 支持资源的预分配（QoS）。IPv6 支持实时视频流等要求，保证一定的带宽和时延的应用。
- 不支持路由器分片
- 不支持差错检验

# IPv6 数据报的一般形式

## ■ IPv6 数据报由两大部分组成：

- 基本首部 (base header)
- 有效载荷 (payload)。有效载荷也称为净负荷。有效载荷允许有零个或多个扩展首部 (extension header)，再后面是数据部分。



具有多个可选扩展首部的 IPv6 数据报的一般形式

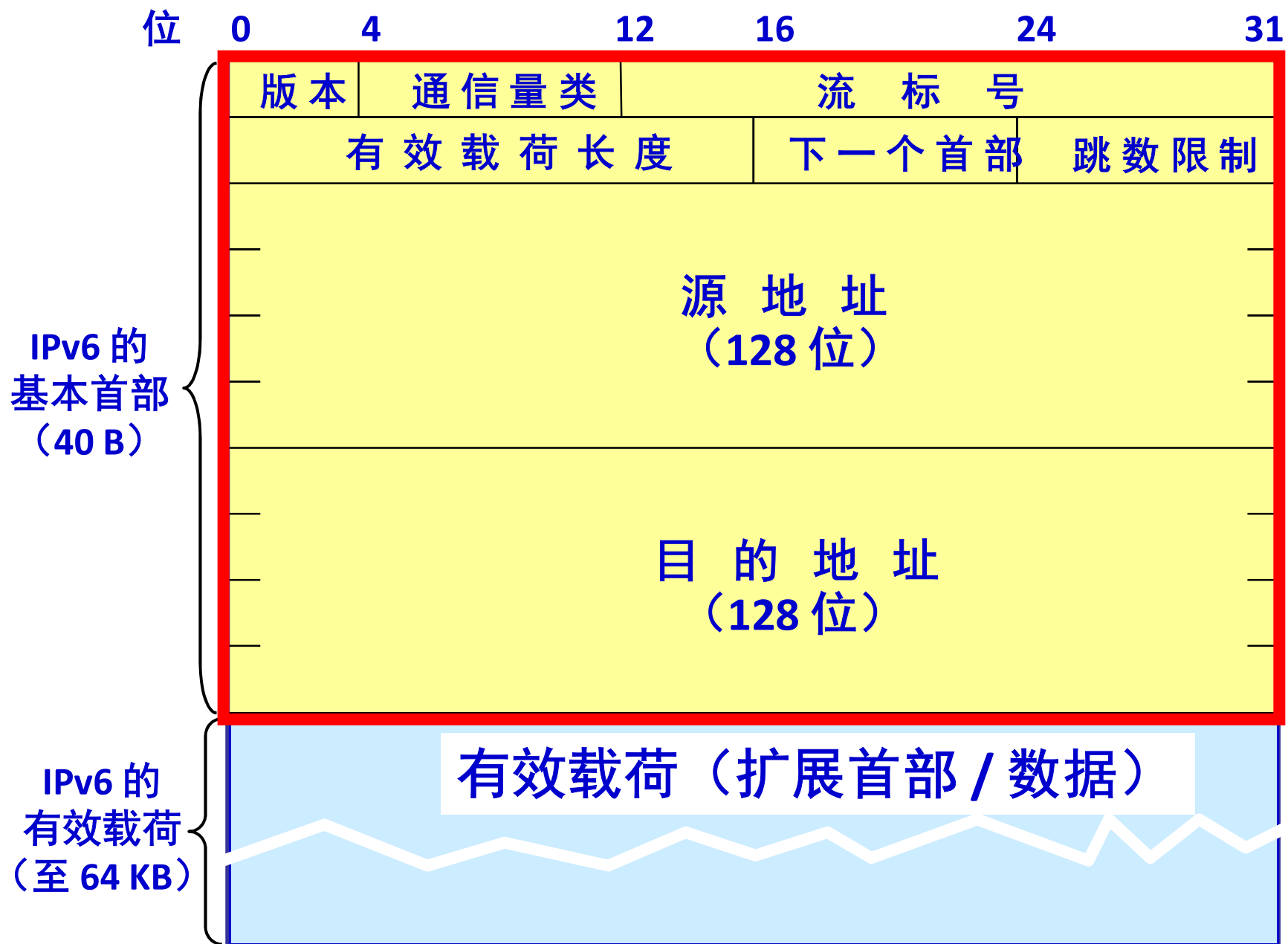


# IPv6 数据报的基本首部

- IPv6 将首部长度变为**固定的 40 字节**，称为**基本首部**。
- 把首部中不必要的功能取消了，使得 IPv6 首部的字段数减少到只有 8 个。
- IPv6 对首部中的某些字段进行了如下的**更改**：

- 取消了首部长度字段，因为**首部长度是固定的 40 字节**；
- 取消了服务类型字段；
- 取消了总长度字段，改用有效载荷长度字段；

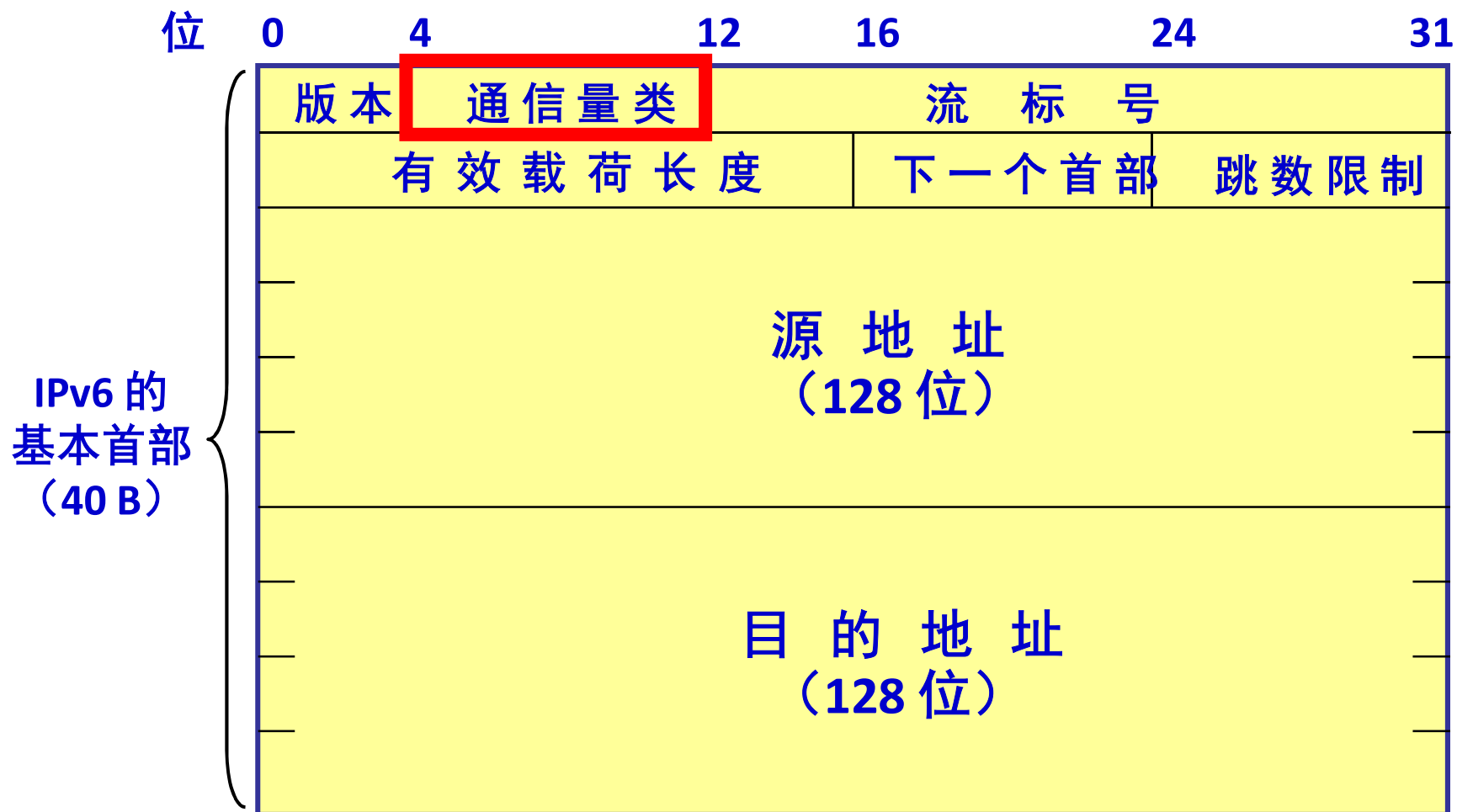
- 把 TTL 字段改称为跳数限制字段；
- 取消了协议字段，改用下一个首部字段；
- **取消了检验和字段**；
- 取消了选项字段，而用扩展首部来实现选项功能。



40 字节长的 IPv6 基本首部



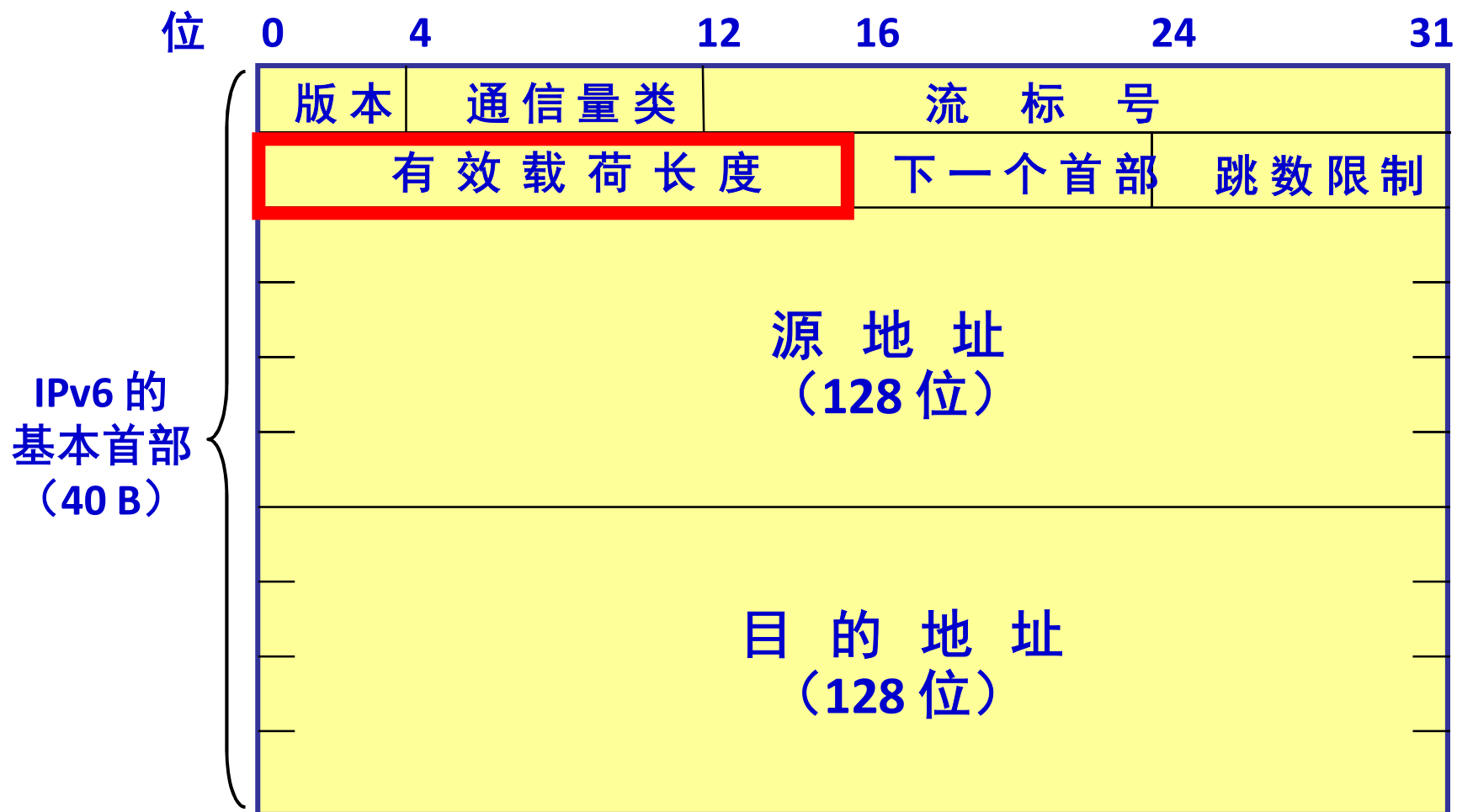
版本(version)—— 4 位。它指明了协议的版本，对 IPv6 该字段总是 6。



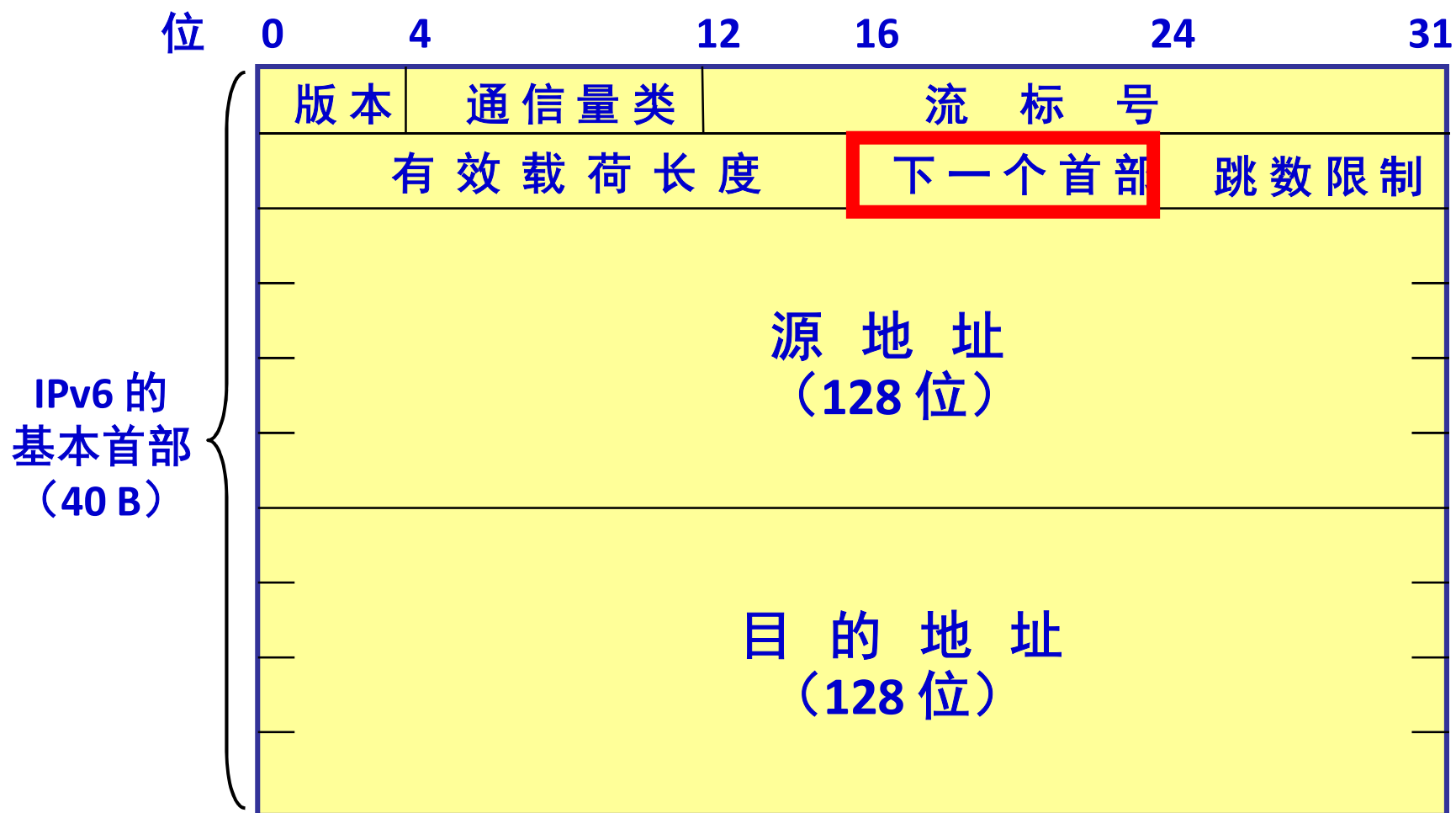
通信量类(traffic class)—— 8 位。这是为了区分不同的 IPv6 数据报的类别或优先级。目前正在进行不同的通信量类性能的实验。



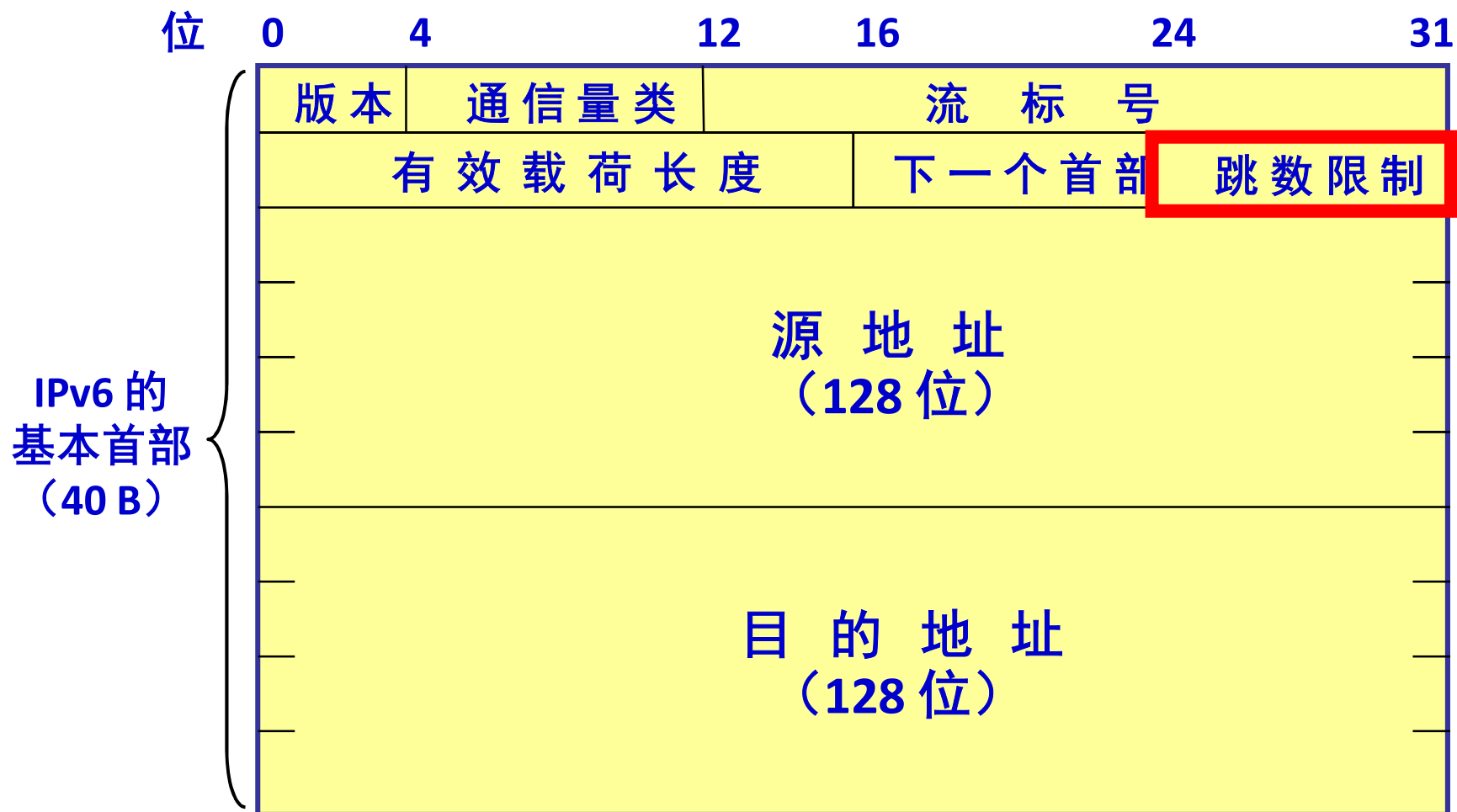
流标号(flow label)—— 20 位。“流”是互联网络上从特定源点到特定终点的一系列数据报，“流”所经过的路径上的路由器都保证指明的服务质量。所有属于同一个流的数据报都具有同样的流标号。



有效载荷长度(payload length)—— 16 位。它指明 IPv6 数据报除基本首部以外的字节数（所有扩展首部都算在有效载荷之内），其最大值是 64 KB。

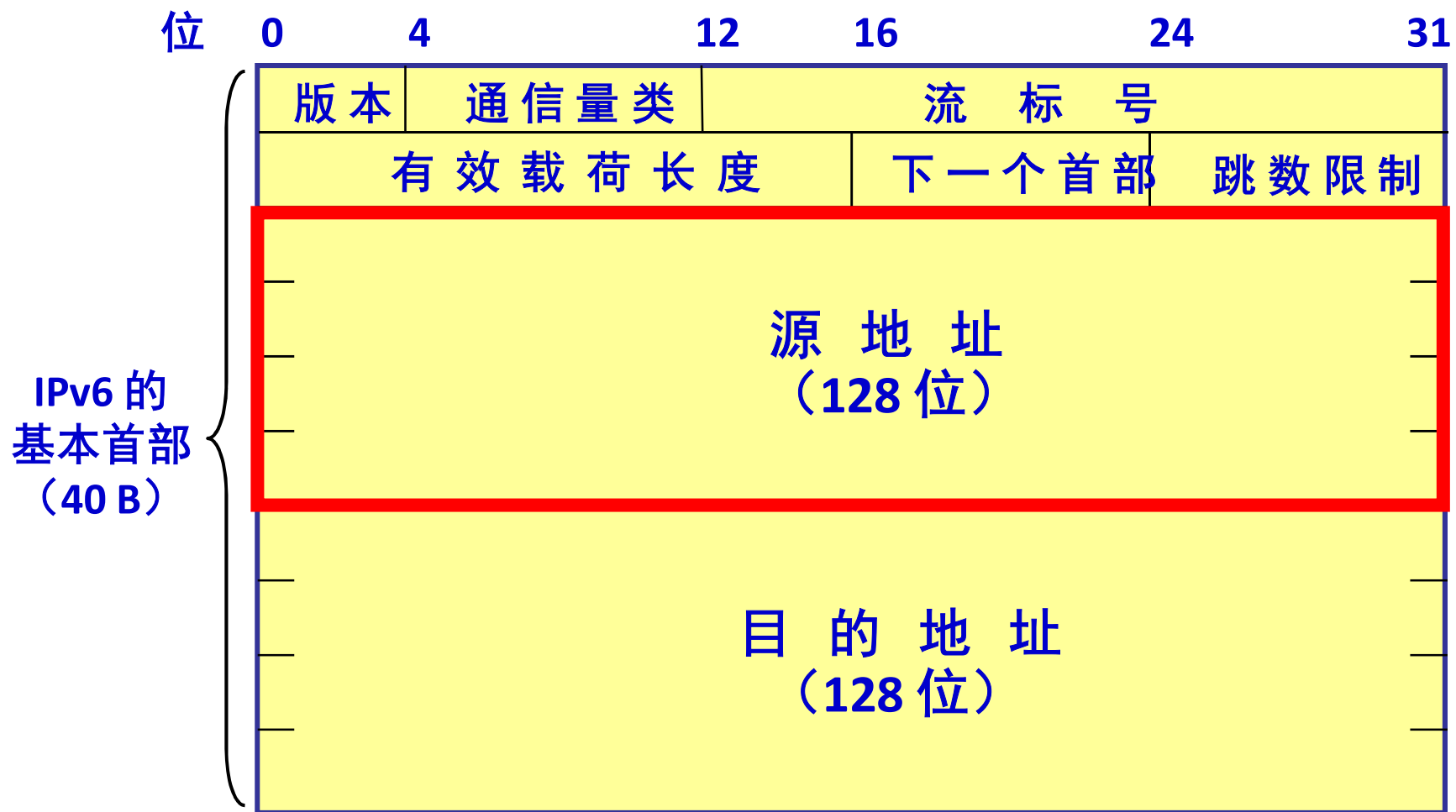


下一个首部(next header)—— 8 位。它相当于 IPv4 的协议字段或可选字段。

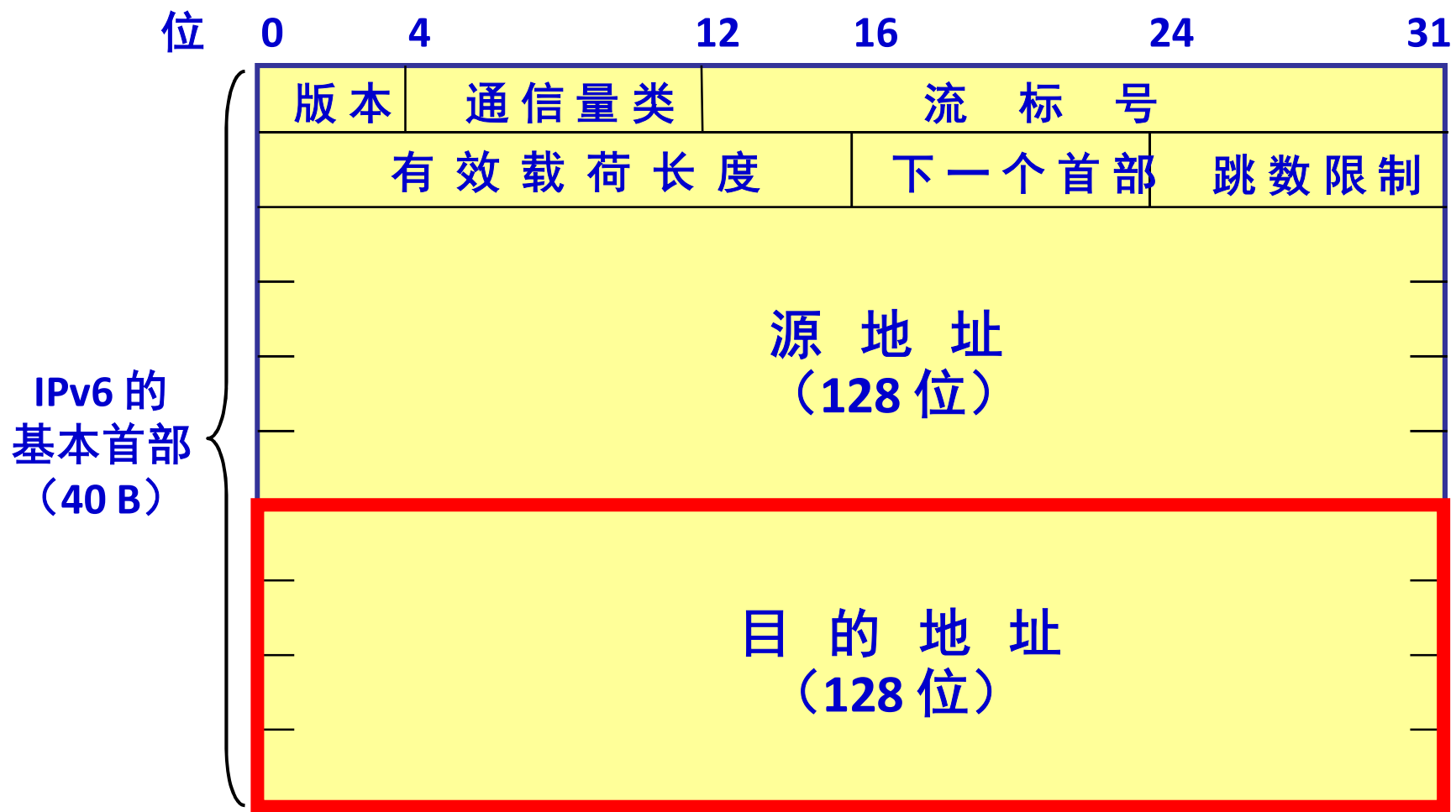


跳数限制(hop limit)—— 8 位。源站在数据报发出时即设定跳数限制。路由器在转发数据报时将跳数限制字段中的值减 1。当跳数限制的值为零时，就要将此数据报丢弃。





源地址—— 128 位。是数据报的发送站的 IP 地址。



目的地址—— 128 位。是数据报的接收站的 IP 地址。

# IPv6 的扩展首部

- IPv6 把原来 IPv4 首部中选项的功能都放在扩展首部中，并将扩展首部留给路径两端的源站和目的站的主机来处理。
- 数据报途中经过的路由器都不处理这些扩展首部（只有一个首部例外，即逐跳选项扩展首部）。
- 提高路由器的处理效率。

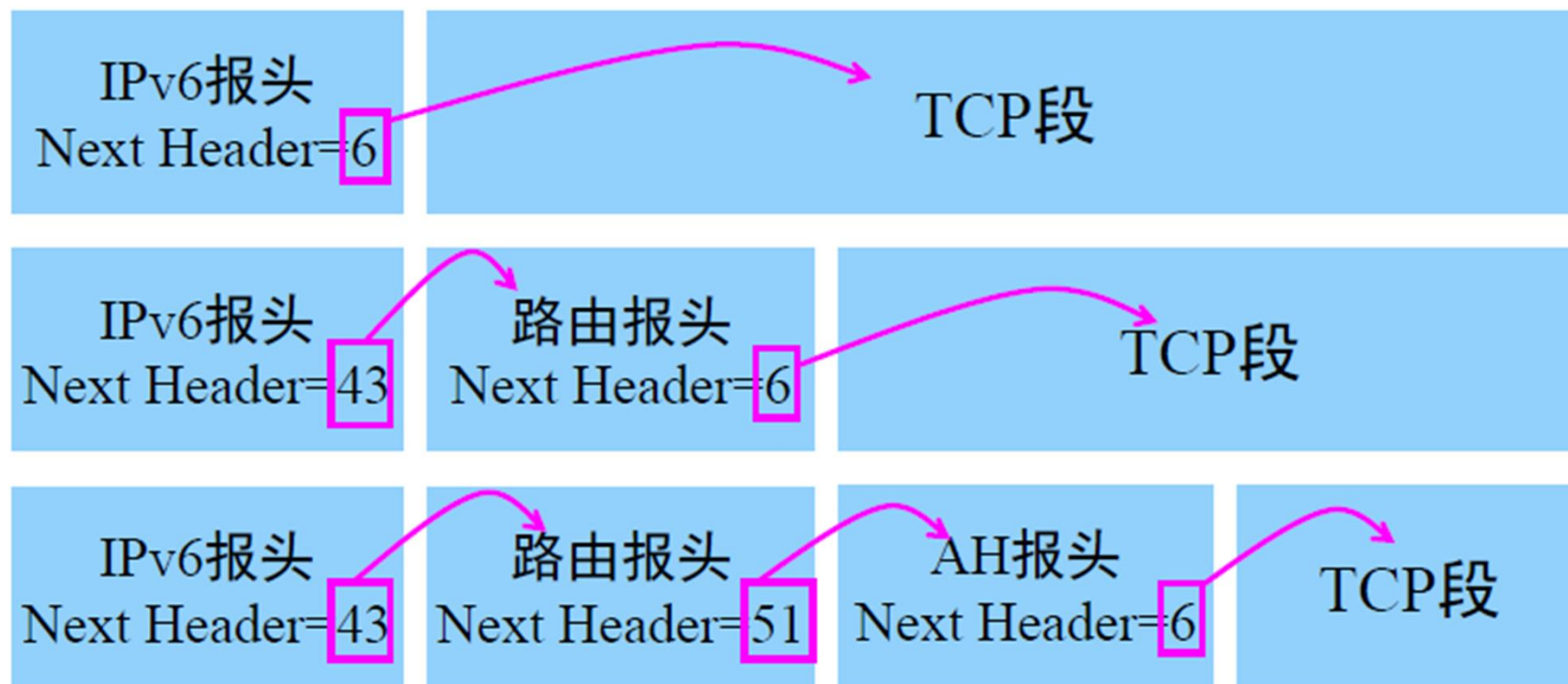
# 六种扩展首部

■ 在 RFC 2460 中定义了六种扩展首部：

- (1) 逐跳选项
- (2) 路由选择
- (3) 分片
- (4) 鉴别
- (5) 封装安全有效载荷
- (6) 目的站选项

每一个扩展首部都由若干个字段组成，它们的长度也各不相同。但所有扩展首部的第一个字段都是8位的“下一个首部”字段。此字段的值指出了在该扩展首部后面的字段是什么。

# 基本报头、扩展报头和上层协议的关系



## 4.6.2 IPv6 地址

## 4.6.2 IPv6 的地址

■ IPv6 数据报的目的地址可以是以下三种基本类型地址之一：

- (1) 单播 (unicast): 传统的点对点通信。
- (2) 多播 (multicast): 一点对多点的通信。
- (3) 任播 (anycast): 这是 IPv6 增加的一种类型。任播的目的站是一组计算机，但数据报在交付时只交付其中的一个，通常是距离最近的一个。

# 结点与接口

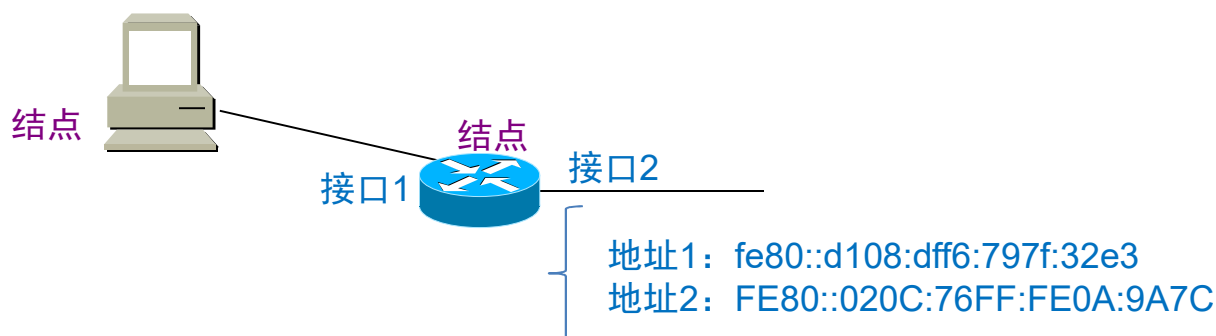
■ IPv6 将实现 IPv6 的主机和路由器均称为结点。

■ 一个结点就可能有多个与链路相连的接口。

■ IPv6 地址是分配给结点上面的接口的。

— 一个接口可以有多个单播地址。

- 其中的任何一个地址都可以当作到达该结点的目的地址。
- 即一个结点接口的单播地址可用来唯一地标志该结点。





# IPv6地址表示

## ■ v6地址与v4地址表示方法有所不同

- 点分十进制冒分十六进制
- 用十六进制表示，如：FE08:....
- 4位一组，中间用“:”隔开，如：2001:12FC:....
- 若以零开头可以省略，全零的组可用“::”表示，如：1:2::ACDR:....
- 地址前缀长度用“/xx”来表示，如：1::1/64



# 冒号十六进制记法

- IPv6 使用冒号十六进制记法(COLON HEXADECIMAL NOTATION, 简写为 COLON HEX)。
- 每个 16 位的值用十六进制值表示，各值之间用冒号分隔。例如：  
**68E6:8C64:FFFF:FFFF:0:1180:960A:FFFF**
- 在十六进制记法中，允许把数字前面的 0 省略。例如把 0000 中的前三个 0 省略，写成 1 个 0。

# 零压缩

- 冒号十六进制记法可以允许零压缩
  - 即一连串连续的零可以为一对冒号所取代。
  - **FF05:0:0:0:0:0:0:B3** 可压缩为: **FF05::B3**
- 注意: 在任一地址中只能使用一次零压缩。

# 点分十进制记法的后缀

- 冒号十六进制记法可结合使用点分十进制记法的后缀，这种结合在 IPv4 向 IPv6 的转换阶段特别有用。

- 例如：0:0:0:0:0:0:128.10.2.1

- 再使用零压缩即可得出：::128.10.2.1

- CIDR 的斜线表示法仍然可用。

- 例如：60 位的前缀 12AB00000000CD3 可记为：

- 12AB:0000:0000:CD30:0000:0000:0000:0000/60

- 或 12AB::CD30:0:0:0:0/60 （零压缩）

- 或 12AB:0:0:CD30::/60 （零压缩）

# IPv6地址分类

单播地址

(Unicast Address)

组播地址

(Multicast Address)

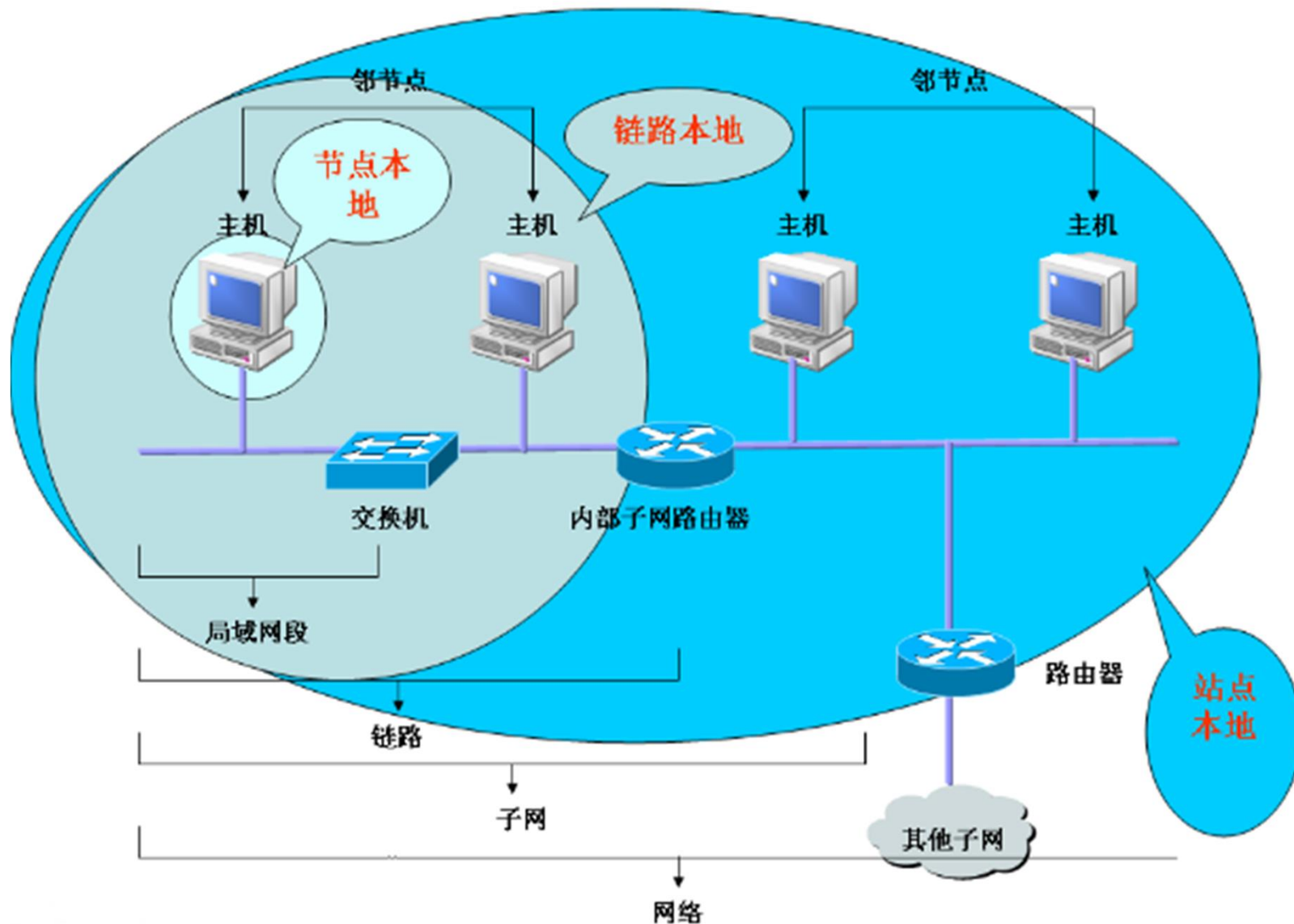
任播地址

(Anycast Address)

特殊地址

地址类型	二进制前缀	IPv6标识
未指定	00...0 (128 bits)	::/128
环回地址	00...1 (128 bits)	::1/128
组播	11111111	FF00::/8
链路本地地址	1111111010	FE80::/10
网点本地地址	1111111011	FEC0::/10
全局单播	(其他)	

# 节点本地、链路本地和站点本地



# 单播地址

## ■ 链路-本地（LINK-LOCAL）

- 用在单一链路上
- 带有链路-本地源或目的地址的数据包不转发到其它链路
- 如： **FE80**:: : 20C: 76FF: FE0A: 9A7C

## ■ 应用范围： 只能在同一本地链路节点之间使用， FE80::/64

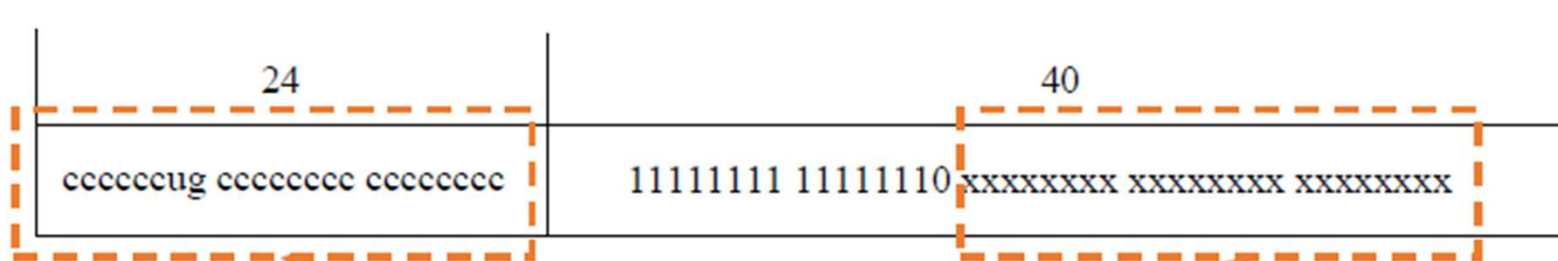
## ■ 节点启动时， 自动配置一个本地链路地址

10	54	64
1111111010	0	Interface ID



# 如何生成链路本地地址？

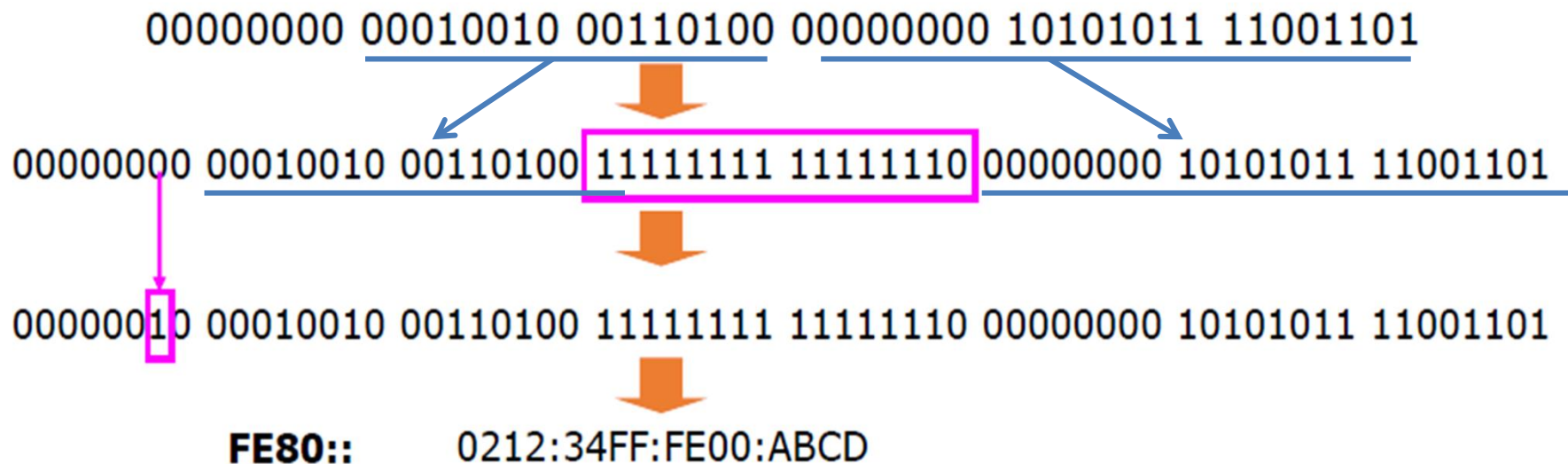
- 前64位：FE80:0:0:0
- 后64位：EUI-64地址



注意：这是MAC地址呵！

# 链路本地地址生成实例

- 一台主机的MAC地址是：0012:3400:ABCD，试求其生成的链路本地地址。
- 解：首先将MAC地址写成二进制形式：



# 站点本地地址

- 应用范围：站点内，与IPv4私人地址类似
- FEC0:0:0:SID::/64
- 不是自动生成的

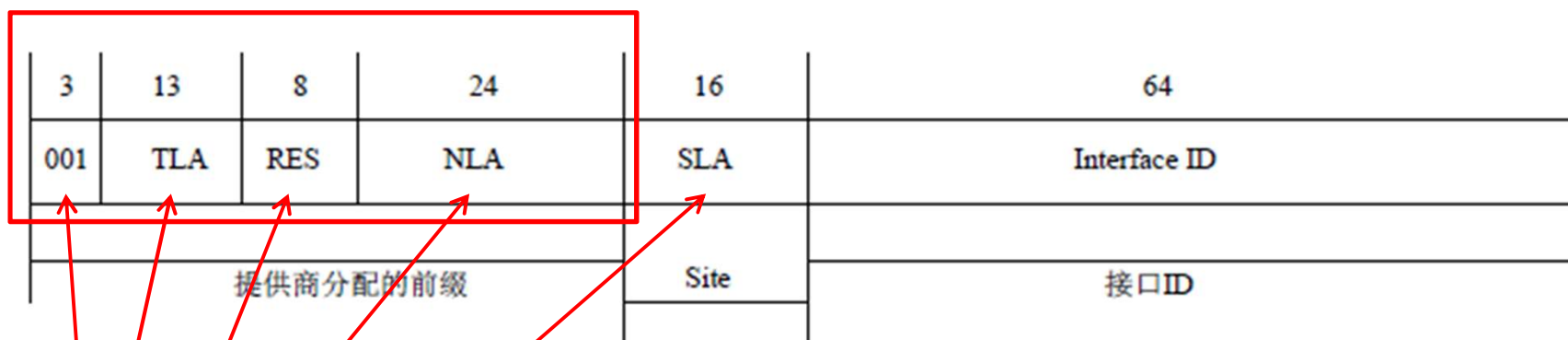
10	38	16	64
1111111011	0	Subnet ID	Interface ID

# 全球单播地址

■ ISP提供商分配的前缀: /48

■ SITE拓扑: 由组织机构划分子网

■ 接口ID: 64



首部3位001

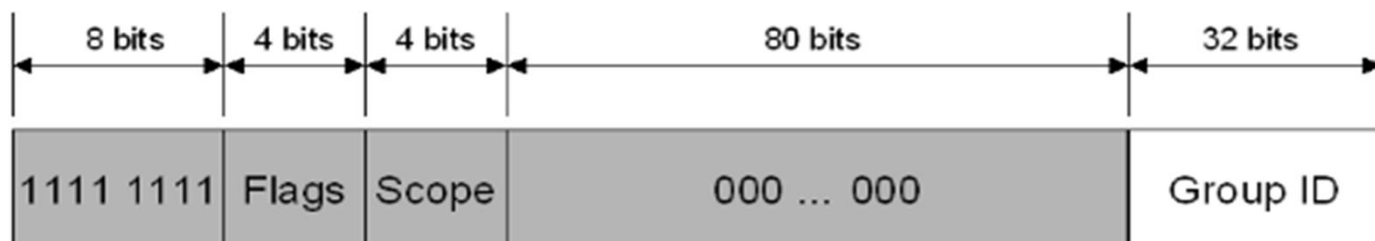
45位Global Routing Prefix可以反映全球ISP的层次结构

- TLA ID顶级汇聚标识符
- Res 为未来扩展TLA ID或NLA ID的长度而保留的位
- NLA ID下一级汇聚标识符

SLA ID 站点汇聚标识符

接口标识位64位

# 组播地址



Flags

用来表示permanent或transient组播组

Scope

表示组播组的范围

Group ID

组播组ID

Scope:

0: 预留

1: 节点本地范围

2: 链路本地范围

5: 站点本地范围

# 一些众所周知的组播地址

IPv6众所周知的组播地址	IPv4众所周知的组播地址	组播组
节点-本地范围		
FF01::1	224.0.0.1	所有-节点地址
FF01::2	224.0.0.2	所有—路由器地址
链路-本地范围		
FF02::1	224.0.0.1	所有-节点地址
FF02::2	224.0.0.2	所有—路由器地址
FF02::5	224.0.0.5	OSPFv2
FF02::6	224.0.0.6	OSPFv2
FF02::9	224.0.0.9	RIP路由器
FF02::D	224.0.0.13	所有PIM 路由器
站点-本地范围		
FF05::2	224.0.0.2	所有—路由器地址
任何有效范围		
FF0X::101	224.0.1.1	网络时间协议NTP

# IPv6地址新类型—任播（ANYCAST）

- ▶ 任播地址是IPv6特有的地址类型，它用来标识一组网络接口
- ▶ 路由器会将目标地址是任播地址的数据包发送给距离本路由器最近的一个网络接口（一对一组中的一个）
- ▶ 任播地址不能用作IPv6包的源地址
- ▶ 如果一个全局单播地址被指定给多于一个接口，那么该地址就成为了任播地址
- ▶ 源节点不需要关心如何选择最近的任播节点，这个工作由路由系统完成
- ▶ 当路由发生变化时，发往同一个任播地址的包可能会被发往不同的任播节点
- ▶ 目前，任播地址不能指定给IPv6主机，只能指定给IPv6路由器



# IPv4与IPv6地址比较

项 目	IPv4	IPv6
Broadcast	在同一个广播域中的所有主机都会受到影响,或者给予回复;可能使得整个局域网瘫痪(广播风暴)	没有广播类型, IPv4中的广播功能在IPv6中被组播取代
Multicast	有效利用了网络的带宽并且没有影响到不必要的主机	有丰富得多的组播类型
Unicast	用于一对一的通信	用于一对一的通信
Anycast	没有任播类型	用于标识一组网络接口, 目前只用于路由器



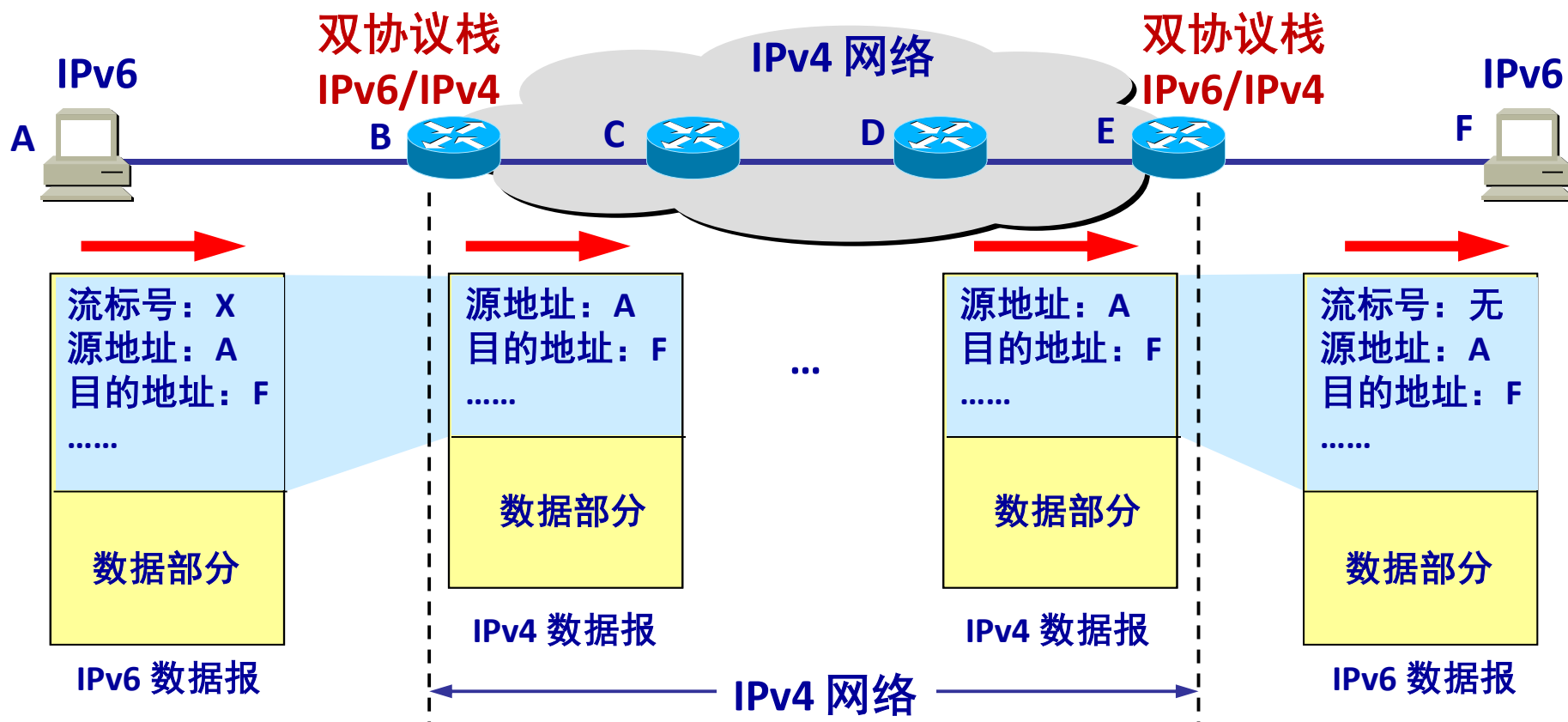
## 4.6.3 从 IPv4 向 IPv6 过渡

- 向 IPv6 过渡只能采用逐步演进的办法;
- 必须使新安装的 IPv6 系统能够向后兼容:
  - ✓ IPv6 系统必须能够接收和转发 IPv4 分组, 并且能够为 IPv4 分组选择路由。
- 两种向 IPv6 过渡的策略:
  - 使用双协议栈
  - 使用隧道技术

# 双协议栈

- 双协议栈 (DUAL STACK) 是指在完全过渡到 IPv6 之前，使一部分主机（或路由器）装有两个协议栈，一个 IPv4 和一个 IPv6。
- 双协议栈的主机（或路由器）记为 IPv6/IPv4，表明它同时具有两种 IP 地址：一个 IPv6 地址和一个 IPv4 地址。
- 双协议栈主机在和 IPv6 主机通信时是采用 IPv6 地址，而和 IPv4 主机通信时就采用 IPv4 地址。
- 根据 DNS 返回的地址类型可以确定使用 IPv4 地址还是 IPv6 地址。

# 双协议栈

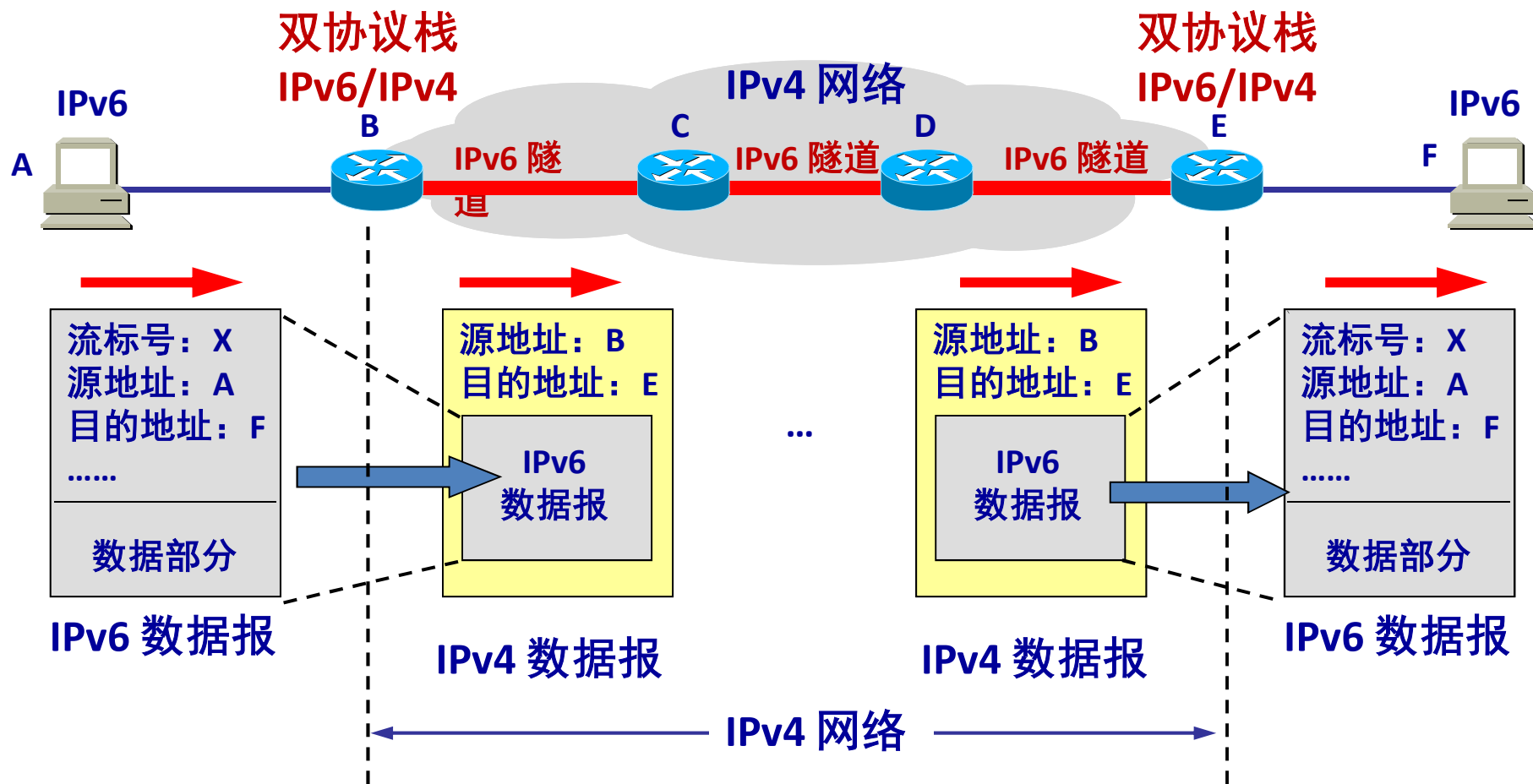


使用双协议栈进行从 IPv4 到 IPv6 的过渡

# 隧道技术

- 在 IPv6 数据报要进入 IPv4 网络时，把 IPv6 数据报封装成为 IPv4 数据报，整个的 IPv6 数据报变成了 IPv4 数据报的数据部分。
- 当 IPv4 数据报离开 IPv4 网络中的隧道时，再把数据部分（即原来的 IPv6 数据报）交给主机的 IPv6 协议栈。

# 隧道技术



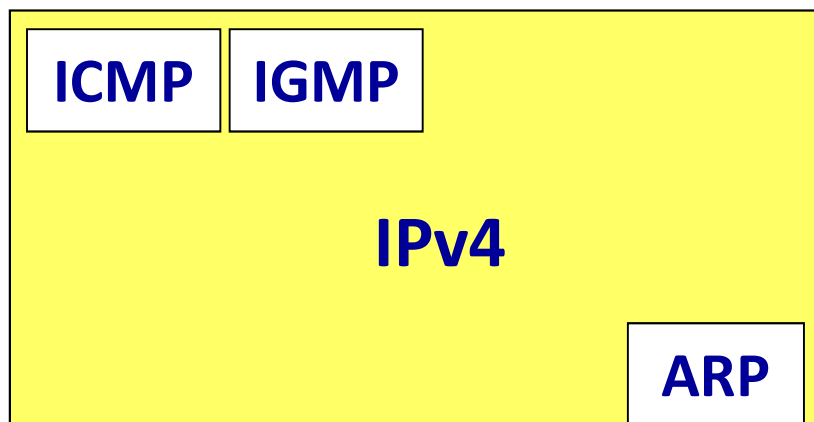
使用隧道技术进行从 IPv4 到 IPv6 的过渡

## 4.6.4 ICMPv6

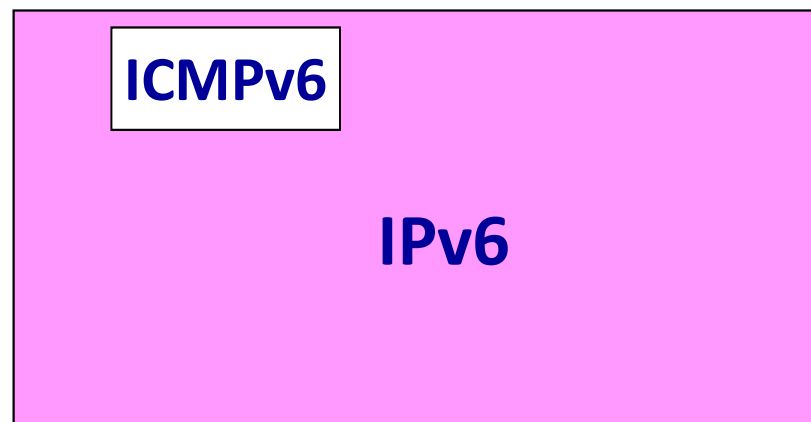
- IPv6 也不保证数据报的可靠交付，因为互联网中的路由器可能会丢弃数据报。
- 因此 IPv6 也需要使用 ICMP 来反馈一些差错信息。新的版本称为 ICMPv6。

## 4.6.4 ICMPv6

- 地址解析协议 ARP 和网际组管理协议 IGMP 协议的功能都已被合并到 ICMPv6 中。



版本 4 中的网络层

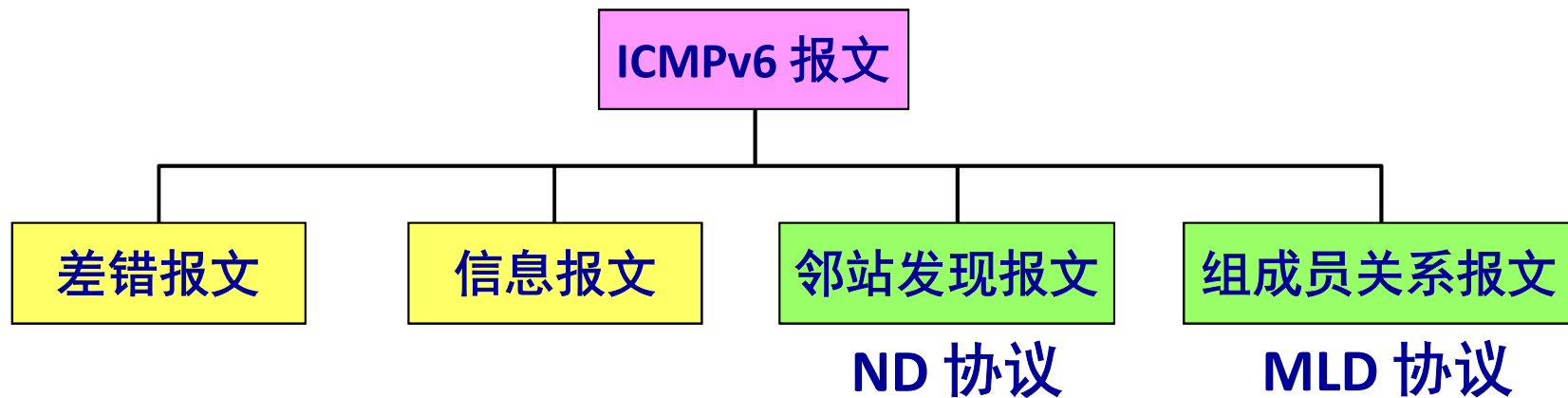


版本 6 中的网络层

新旧版本中的网络层的比较

# ICMPv6 报文的分类

- ICMPv6 是面向报文的协议，它利用报文来报告差错，获取信息，探测邻站或管理多播通信。
- ICMPv6 还增加了几个定义报文的功能及含义的其他协议。



ND (Neighbor-Discovery): 邻站发现

MLD (Multicast Listener Delivery): 多播听众交付

ICMPv6 报文的分类