

正如我们刚才学习的，客户 ISP 向它们的提供商 ISP 付费以获得全球因特网互联能力。客户 ISP 支付给提供商 ISP 的费用数额反映了它通过提供商交换的流量。为了减少这些费用，位于相同等级结构层次的邻近一对 ISP 能够对等（peer），这就是说，能够直接将它们的网络连到一起，使它们之间的所有流量经直接连接而不是通过上游的中间 ISP 传输。当两个 ISP 对等时，通常不进行结算，即任一个 ISP 不向其对等付费。如前面提到的那样，第一层 ISP 也与另一个第一层 ISP 对等，它们之间无结算。对于对等和客户-提供商关系可读性的讨论，参见 [Van der Berg 2008]。沿着这些相同路线，第三方公司创建一个因特网交换点（Internet Exchange Point, IXP）（通常在一个有自己的交换机的独立建筑物中），IXP 是一个汇合点，多个 ISP 能够在这里共同对等。在今天的因特网中有大约 300 个 IXP [Augustin 2009]。我们称这个系统为生态系统——由接入 ISP、区域 ISP、第一层 ISP、PoP、多宿、对等和 IXP 组成，这个系统作为网络结构 4。

我们现在最终到达了网络结构 5，它描述了 2012 年的因特网。在图 1-15 中显示了网络结构 5，它通过在网络结构 4 顶部增加内容提供商网络（content provider network）构建而成。谷歌是当前这样的内容提供商网络的一个突出例子。在本书写作之时，谷歌估计有 30~50 个数据中心部署在北美、欧洲、亚洲、南美和澳大利亚。其中的某些数据中心容纳了超过十万台的服务器，而另一些数据中心则较小，仅容纳数百台服务器。谷歌数据中心都经过专用的 TCP/IP 网络互联，该网络跨越全球，但仍然独立于公共因特网。重要的是，谷歌专用网络仅承载出入谷歌服务器主机的流量。如图 1-15 所示，谷歌专用网络通过与较低层 ISP 对等（无结算）尝试“绕过”因特网的较高层，采用的方式可以是直接与它们连接，或者在 IXP 处与它们连接 [Labovitz 2010]。然而，因为许多接入 ISP 通过第一层网络的承载仍能到达，所以谷歌网络也与第一层 ISP 连接，并就与它们交换的流量向这些 ISP 付费。通过创建自己的网络，内容提供商不仅减少了向顶层 ISP 支付的费用，而且对其服务最终如何交付给端用户有了更多的控制。谷歌的网络基础设施在 7.2.4 节中进行了详细描述。

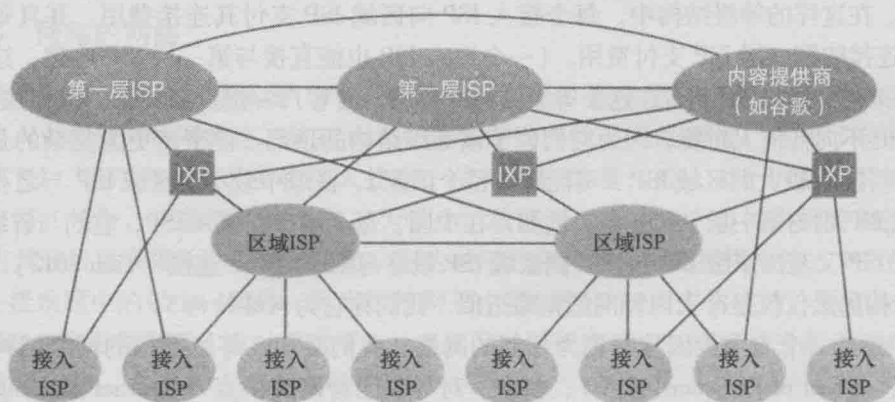


图 1-15 ISP 的互联

总结一下，今天的因特网是一个网络的网络，其结构复杂，由十多个第一层 ISP 和数十万个较低层 ISP 组成。ISP 覆盖的区域有所不同，有些跨越多个大洲和大洋，有些限于很小的地理区域。较低层的 ISP 与较高层的 ISP 相连，较高层 ISP 彼此互联。用户和内容提供商是较低层 ISP 的客户，较低层 ISP 是较高层 ISP 的客户。近年来，主要的内容提供商也已经创建自己的网络，直接在可能的地方与较低层 ISP 互联。