

省级气象信息网络系统的整体设计与实现^{*}

马渝勇¹, 方国强¹, 向继涛¹, 李 飞²

(1. 四川省气象信息中心, 成都 610072; 2. 成都信息工程学院 网络工程学院, 成都 610225)

摘 要: 针对省级气象信息广域网系统业务需求, 结合四川省气象站网和信息网络系统实际, 采用先进成熟的网络核心技术, 提出了省级气象信息广域网系统的整体架构设计, 包括了省—市—县的宽带组网、备份网路以及 Internet 接入等主要内容, 通过在四川省气象信息广域网系统的建设与应用实践, 旨在将此设计提升为一种通用模型, 提供业界借鉴与参考。

关键词: 气象信息广域网; 整体架构设计; 通用模型; 网络路由

中图分类号: TP393.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)04-1374-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.04.048

Design and implementation of provincial meteorological information network system

MA Yu-yong¹, FANG Guo-qiang¹, XIANG Ji-tao¹, LI Fei²

(1. Sichuan Meteorological Information Center, Chengdu 610072, China; 2. School of Network Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: According to the demands of provincial meteorological service to the information network, this paper proposed an integrated architecture design for provincial meteorological information WAN system, which included three aspects as main frame: its backbone, backup route and Internet access, by adopting the sophisticated network technology. The backbone was SDH wideband network for province-city-county three-level meteorological societies with star and tree topology. The backup route was the VPN over Internet directly crossing province, cities and counties, which switched with the backbone automatically in case of emergency based on OSPF protocol. The Internet access was centralized to province and city levels with security protection of firewall. This design concept was implemented in constructing Sichuan provincial meteorological information WAN system. The common model is to be put forward as the reference for other provincial WAN.

Key words: meteorological information wide area network; integrated architecture design; common model; network route

气象信息网络是气象业务、科研、服务的基础平台^[1], 是承载和支撑现代气象业务体系的基础系统。全国气象网络的建设完成, 可满足多种新型观测资料传输需求、满足信息共享平台建设的需求、满足新型业务应用对网络的需求, 解决全国气象卫星通信系统老化的问题, 标志着气象通信网络又进入了一个新的发展阶段^[2]。省级气象信息网络系统, 在此主要是指省—市—县的气象广域网系统, 支撑着全省范围内所有观测资料的收集传输, 同时也是各种指导产品、综合气象信息以及应用向基层辐射和共享的主要路由, 是气象业务服务关键的基础系统。

由于信息收集、传输和共享等业务服务工作的性质以及需求的特点, 省—市—县的网络系统, 三个层级之间相关性极强, 构成一个有机整体。一方面, 观测资料的收集上传, 无论网络路由如何, 从网络会晤的角度而言, 一般都是由台站(县局)直接与省级收集中心交互完成; 另一方面, 大量的指导产品及其他综合气象信息, 主要从省级通过各种方式向下直接辐射到地市和台站(县局), 从效率而言, 信息共享的扁平化具有优势。近几年逐步建成的覆盖全国范围的新一代天气雷达监测网、各级区域加密自动化监测网、远程电视会议及天气会商系统等重点现代化建设项目, 上述各种新增业务带来的大量信息传输的

压力, 对各级气象信息网络系统的传输性能和稳定性都提出了更高的要求^[3]。

目前就全国各个省而言, 由于没有统一的规划和设计规范, 各省都对各自省内的气象信息广域网开展了建设和设计, 除基本上普遍采用 SDH 作为网络的主干信道方式外, 在备份路由、Internet 接入方式以及整体集成上等方面都各自采取了不同的方式, 资源占用与应用效果也不尽相同。

四川省是全国气象网站规模最大的省, 也是自然环境与条件最复杂的省份之一, 不论是从气象业务服务的需求, 还是网络规模以及直接面对的基础条件来说, 四川省的气象信息网络业务都具有典型的代表性。结合四川省的具体业务实际, 采用先进成熟的网络核心技术, 将省—市—县气象信息广域网系统作为一个有机的整体, 进行比较规范全面的系统设计和研究。

1 省级气象信息网络系统的规划设计

1.1 设计思路

1) 系统的整体性原则 省级气象信息广域网系统, 主要涉及省、市、县三个业务层级。由于业务性质以及效率的因素, 气象信息收集、传输以及共享服务系统均采用了扁平化的设

收稿日期: 2011-09-17; 修回日期: 2011-10-21 基金项目: 四川省科技厅资助项目(2011GZ0195)

作者简介: 马渝勇(1964-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为气象信息网络(mayy@cma.gov.cn); 方国强(1979-), 男, 工程师, 主要研究方向为气象信息网络; 向继涛(1961-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为气象信息网络; 李飞(1966-), 男, 教授, 主要研究方向为网络安全。

计,三个层级之间内在联系和相关性很强,不仅有大量省与市、市与县之间的传输、服务和应用的需求,而且还存在大量的省与县之间的传输、服务和应用需求。因此,省、市、县之间的网络系统不能简单地规划和设计为相互独立的省—市和市—县的网络系统,而应该作为一个整体,统筹规划设计。

2) 系统的综合性原则 作为一套实时运行的业务化网络系统,其设计不能仅仅局限于简单的宽带互通,还必须考虑系统的可靠性、稳定性,主备系统的健全和易于切换;同时,Internet 接入及其安全防护等方面的需求,也是系统规划设计必须考虑的一个重要方面;由于气象视频会议会商系统的广泛应用,网络系统对于视频流传输交换的支持也必须给予充分考虑。因此,应该综合考虑包括视频应用在内的各种业务应用支持。

1.2 省—市—县的主干网设计

考虑到系统设计的层次化和模块化结构其主干系统的结构可分为接入层、汇聚层和核心层。由于现有的分级管理体制和逐级指导的业务体制,同时考虑电信运营商 SDH 等专线在长途、本地租费等方面的政策,因此,采用以省级为核心层、地市级局为汇聚层,县局为接入层的星型与树型相结合的主干拓扑结构,这样既可以与系统运行和维护管理的组织结构相匹配,实现分级维护和管理,使网络结构清晰化、网络维护简单化,提高网络运维效率,同时还能节约线路租赁费用(线路租赁费省—市为长途、市—县为本地)。根据气象业务服务对信道的要求,以及现有电信运营商能够提供广泛覆盖的网络信道,设计采用 SDH 信道方式。

1.3 网络路由设计

1.3.1 主路由协议选择

对于省级气象广域网络系统来说,网络设备一般在两百到三百台以上,在这种情况下,全网使用静态路由协议显然是不现实的。要保证网络路由的同步性和稳定性,必须在网络系统内部启用动态路由协议。目前在动态路由协议方面有两种:IGP(内部网关协议),用于在自治系统内部交换路由信息,包括 RIP、IGRP、EIGRP、OSPF 等路由协议;EGP(外部网关协议),用于在不同自治系统之间交换路由信息,其代表就是 BGP(边界网关协议)。根据省级气象信息广域网的规模,所有网络设备可划分在一个自治系统内,使用内部网关协议,应用 RIP、IGRP、EIGRP、OSPF 等动态路由协议。在网络协议及路由规划上不仅考虑路由协议的开放性、网络的拓扑结构、网络节点数量、管理和安全上的要求,而且还要考虑路由是否按需选径,路由算法是否具有鲁棒性、快速收敛性、灵活性、路由信息安全因素和对路由交换的限制策略管理等。要满足这些需求,就目前行业内的应用效果来看,省级气象信息广域网系统内的动态路由协议选择 OSPF 比较适合,OSPF 协议承载宽带网路由内部路由,能确保网络的可达性和稳定性。

1.3.2 辅助路由协议的应用

对于一个业务量较大的信息网络系统,必要的辅助路由协议是必不可少的。对于系统外行业用户单位,需要访问气象信息资源,但是又不可能完全地把他们的网络接入气象信息广域网络内部,这时就需要应用静态路由,指定特定资源的访问路径。静态路由还有一个最大的作用就是指定默认路由,对于信息网络系统内动态路由协议生成的路由表及辅助静态路由表没有明确描述的路由,全部根据默认路由进行转发,通常应用在访问互联网资源上。

1.3.3 路由的引入

OSPF 动态路由协议还有一个非常好的功能就是路由引

入,其中最常用的就是静态路由引入。应用了静态路由引入技术,将该设备上配置的所有静态路由通过 OSPF 协议广播出去,让网络系统中所有启用了 OSPF 路由协议的设备都能收到这些静态路由信息,可以简化很多工作,提高效率。当然对于广播的内容可以按照需要进行过滤,同时 OSPF 还能广播其他动态路由信息,对于该功能的灵活应用,能够很好地解决网间通信的问题。

1.4 备用网路的设计选择

根据气象信息传输业务实时性及高时效性特点、气象信息广域网系统的可靠性要求,备份网络系统是必不可少的。而且,备份网络系统还必须具备实时热备、无缝隙切换机能,即能保证主备线路在故障发生时及排除后能迅速自动切换。

对于备份线路具有诸多可选择方案,如再建设一条 SDH 专线或者 MPLS VPN 线路作为备用线路,其中前者费用较高,而后者由于其传输带宽不是用户独享的,对流媒体应用支持不太理想,同时 MPLS VPN 普及度还不是太高,对于边远山区的台站可能无法提供接入。目前还有一种应用比较广泛、技术比较成熟的方式,即基于 Internet 的 VPN,具有性价比较高、带宽资源利用率高、接入方便、网络环路比较完善等特点,在极端灾害情况下,其受到的损害相对较少,恢复速度相对较快;缺点是带宽不够稳定、对视频会商等流媒体支持比较薄弱。

根据自身应用需求等情况,选择符合自身实际的备用线路接入方式,与主干网络充分地衔接与融合,从而提高气象信息广域网络系统稳定性和可靠性,是备用路由设计与选择的基本原则。

1.5 集约的有防护的 Internet 接入

由于业务的需求,Internet 接入是气象信息网络必要的组成部分,同时也使其面对网络安全的威胁。如何在保证网络安全的同时实现 Internet 的接入,是一个重要的课题。根据省级气象信息网络系统的客观状况,笔者确定了建立有防护的、集约化的 Internet 接入这一原则。

在具体的部署上,设计为:省气象局局域网统一从省级出口接入互联网,各市级气象局及所属县气象局、站统一从本地市级出口接入互联网。省级和各市级气象局在互联网与局域网边界处分别配置防火墙实现局域网的边界保护和互联网与局域网的逻辑隔离。同时在省局、各市局域网配置网络版杀毒软件进行病毒防护和病毒检测;县局、站接入互联网仅作为县到市气象局、省气象局 VPN 备份链路的通道,关闭与该 VPN 连接无关的互联网访问。

1.6 QoS 策略优化

随着省、市、县三级高清视频会商系统的建设和应用,对网络带宽及带宽的稳定性有了非常高的要求。省—市—县三级气象广域网络的带宽有限,承载的传输业务比较重,进行视频会议时,网络中不可避免地出现数据拥塞乃至丢包。为了解决带宽拥塞的这一问题,分析数据传输对数据丢失敏感,但对延迟没有很高的要求;音频传输对丢失率和延迟都有很高的要求;而视频传输对延迟敏感,但允许一定的信号丢失。若把弱实时保证能够嵌入到现有业务网络中,在 QoS 要求得到保证的前提下可提高网络的利用率。具有弱实时约束的会话,其分组被分为选择性分组和强制性分组两类。选择性分组可以传输也可以丢失,而强制性分组必须传输。即连续 l 个分组中至少保证 n 个强制性分组得到传输,其余 $l-n$ 个选择性分组可以丢弃。当会话的分组输入遵循漏桶模型约束时,设 λ_i 为漏

桶的尺寸, δ_i 为漏桶令牌的发送速率。令 $O_i(t)$ 为会话 i 的进入曲线函数, 且会话 i 由漏桶进行流量调节, 即

$$O_i(t) \leq \delta_i t + \lambda_i; O_i(0) = 0$$

其中: δ_i 为会话 i 的平均传输速率; λ_i 为会话 i 的突发大小。

在会商时, 为了保证业务数据按时上传, 不影响或减少影响会商视频与语音会话质量, 在带宽允许的情况下, 为了保证会商视频与语音会话强制性和选择性分组都能得到传输, 本文对 WFQ 算法进行优化。设调度器中有 K 个会话, 且每个会话的权值为 Φ_i ; 设 $H_i(s, t)$ 为会话 i 在 $[s, t]$ 时间间隔内的通信量, V 为调度器的服务速率。那么, 对于正在传输的会话 i 满足:

$$\frac{H_i(s, t)}{H_j(s, t)} \geq \frac{\Phi_i}{\Phi_j} \quad j=1, 2, \dots, K \quad (1)$$

$$\text{也有} \quad H_i(s, t) \sum_j \Phi_j \geq (t-s) V \Phi_i \quad (2)$$

而且会话 i 得到的最小服务速率为

$$g_i = \Phi_i V / \sum_{j=1}^K \Phi_j \quad (3)$$

这样每个会话的最小服务速率不受其他会话的影响, 同时最小服务速率也确定了每个会话传输延迟的上界。

2 实际的系统实现和应用

2.1 总体架构

四川省气象部门是全国气象系统内拥有市(州)级和县级台站数量最多的省份, 四川省气象信息广域网络系统建设项目, 涉及到全省 1 个省级中心系统、21 个市(州)局分中心系统和 157 个县局(台站)系统, 考虑到局站分离的情况, 共有 180 多个接入点, 站网规模相当大, 在全国省级气象信息广域网系统中位居第一。全省气象信息网络以四川省气象信息中心为中心, 21 个市(州)气象局为分中心、186 个县局(站)为终端, 整个网络呈星型与树型相结合的拓扑结构。网络中包括 SDH 主干线路和 VPN 备份线路, 主干线路组网方式为省局—市(州)局—县局(站), 备份线路组网方式为省局—市(州)局, 市(州)局—县局(站), 县局(站)—省局, 其总体拓扑结构如图 1 所示。

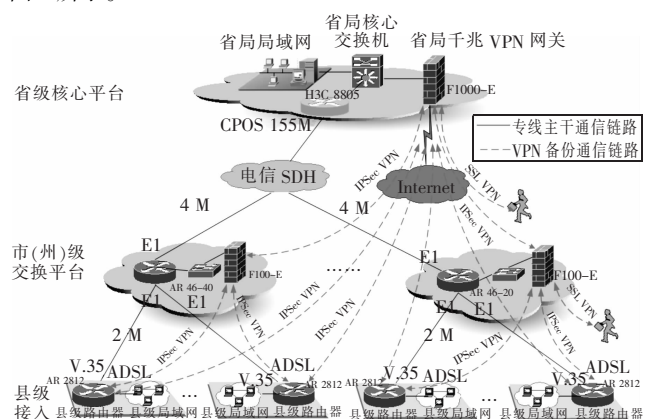


图 1 四川省气象广域网络系统拓扑结构

2.2 主体网络

四川省气象广域网络中, 为了减小 LSDB(链路状态数据库)规模, 减轻设备负载, 便于管理和路由收敛, 同时减小 OSPF 协议报文在网络中的传递, 提高网络带宽利用率, 对整个网络进行了区域划分, 整个网络划分为 1 个骨干区域和 21 个非骨干区域, 市(州)局 H3C AR46 和省局 H3C F1000-E 是网络中的区域边界路由设备 ABR; 省级系统其余所有设备都处于骨干区域 area 0, 每个市(州)局网络中其他路由设备属于一个特

定区域。同时, 为了提升网络整体的安全性, 杜绝非法网络设备接入引起网络波动的可能性, 设计建设中对 OSPF 配置了 MD5 验证, 保证了只有合法路由设备才能获取到动态路由信息。具体区域划分如表 1 所示。

表 1 OSPF 区域划分表

单位	区域号	单位	区域号	单位	区域号
省局	0	内江	7	德阳	15
成都	1	宜宾	8	攀枝花	16
甘孜	2	广安	9	巴中	17
达州	3	自贡	10	遂宁	18
凉山	4	阿坝	11	广元	19
绵阳	5	乐山	12	资阳	20
眉山	6	南充	13	雅安	21

2.2.1 路由选择设置

在网络建设过程中, 由于各 Internet 接入带宽不同、接入运营商不同, 在某些站点安装时, 其 VPN 接口 OSPF cost 值可能小于 SDH 主干线路接口 OSPF cost 值, 导致路由选择 VPN 线路为主用线路。为了避免这种情况的发生, 在建设过程中, 通过对 SDH 接口的 OSPF cost 值进行手工设置, 统一规划该接口 OSPF cost 值为 10, 人为规划主用路由选择为 SDH 线路, 保证正常情况下网络带宽的稳定性。

2.2.2 主备路由切换

当某条主干线路出现故障中断时, 在进行路由选择计算时, 将会收到该接口链路不可用, 这样即使 VPN 线路的 OSPF cost 值比较大, OSPF 也会自动地选择备份 VPN 线路作为当前主用线路, 完成路由切换。在全网实现动态路由后, 当 SDH 主干线路出现故障时, 能在很短的时间内将网络路由切换到 VPN 线路(在建设过程中, 经实际测试, 切换时间在 10 s 以内); 即使在市(州)局互联网出口和连接省局的 SDH 线路同时出现故障的极端情况下, 市(州)局网络也能自动进行路由切换, 通过市到县 SDH 线路, 连接到县局网络, 再通过县到省 VPN 线路, 完成市(州)局网络对省局网络的连接。

2.2.3 静态路由引入

虽然在四川省气象广域网络中实现了全网 OSPF 动态路由, 但是静态路由的设置同样是必要的, 如访问国家气象网络等。由于连接国家局网络的路由器 Huawei NE08 同省内路由设备之间没有启用动态 OSPF 路由协议, 要实现省内网络到国家局网络的访问, 就必须在所有涉及的网络路由设备上配置静态路由, 给数据传输作指向, 导致每新增一个业务就需要配置所有相关的路由设备。为此, 在连接 NE08 的核心三层交换机上应用静态路由引入技术, 将该台设备上配置的所有静态路由通过 OSPF 协议广播出去, 让全省所有启用了 OSPF 路由协议的设备都能收到这些静态路由信息。

2.3 主干组网

四川省气象广域网络主干链路采用电信 SDH, 整个主干网络结构清晰, 分为 1 个核心、21 个汇聚中心、157 个边缘接入点。省中心配置核心 H3C SR8805 路由器, 通过 CPOS 光纤接入, 连接市(州)局 H3C AR46 系列路由设备 E1 接口, CPOS 和 E1 协议转换在电信完成, 省到市(州)带宽为 4 Mbps; 市级局通过 H3C AR46 连接下属县级气象局站 H3C AR28, 接口为 E1, 市(州)到县级节点带宽为 2 Mbps, 其拓扑结构如图 2 所示。

对于需要 2 Mbps 以上带宽需求的 SDH 应用, 在其带宽需要又没有必要使用 E3(带宽为 34.368 Mbps)接口的数字电路时, 通常采用对 E1 链路进行捆绑扩充带宽的技术。四川省气象广域网中省到市的链路目前就是对两个 2 Mbps 的链路进行

捆绑实现 4 Mbps 带宽。对于 E1 接口链路的捆绑,虽然能够方便地扩充链路带宽,但是在进行捆绑时会损失一定有效带宽,且这种损失的比例会随着捆绑链路条数增加而增加,所以应用该技术时链路不要捆绑太多,最好不超过 4 条,即捆绑带宽不要超过 8 Mbps。

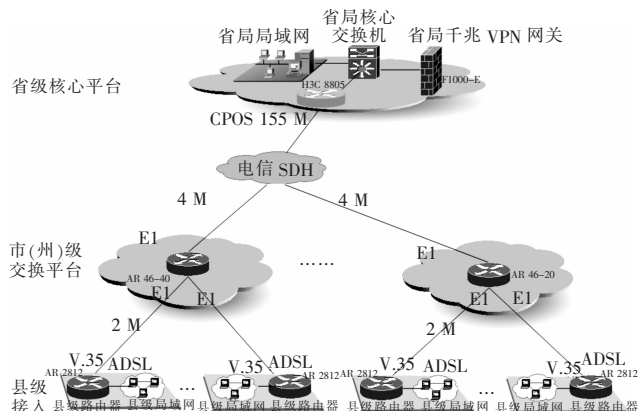


图2 四川省气象广域网主干拓扑结构

2.4 备份网络

四川省气象广域网系统中备份网络线路利用的是基于 Internet 的 VPN,当前应用比较普遍的 VPN 协议有 PPTP VPN、L2TP VPN、IPSec VPN、MPLS VPN 以及 GRE VPN。由于采用的路由协议是 OSPF 动态路由协议,在目前的 VPN 中,支持并能简单方便地实现动态路由的只有 GRE VPN。GRE VPN 的实现,是基于路由的一种隧道技术,要求在隧道两端必须各有一个固定的、能互通的 IP 地址。对于 Internet 固定 IP 地址的要求,在省、市两级能满足;但对于县级局站,其 Internet 多采用 ADSL 等低端接入,无固定 IP 地址,不支持直接通过 Internet 实现省市县三级 GRE VPN 的建立。

对此,经过研究,采用 GRE over IPSec VPN 方案来实现 VPN 备份线路的建立,即利用 IPSec VPN 首先建立一条连接,连通两个路由节点上的两个 loopback 地址,在此基础上利用这两个地址作为 GRE VPN 隧道的源、目的端地址,完成 GRE VPN 隧道的建立连通。进行通信时,先进行 GRE 封装,再对封装后的报文进行 IPSec 的加密封装,然后发送至目的路由设备,再进行反向解封,由此实现省、市、县之间基于 Internet 的 VPN 网络通信。

四川省气象广域网系统备份线路部署策略是省、市、县气象局利用防火墙 (F1000-E、F100-E) 和路由器建立基于 Internet 的省—市、市—县、省—县 VPN 备份线路,通过 OSPF 动态路由协议,实现主、备线路网络路由的选择切换,同时利用 SSL VPN 提供移动节点网络接入,其拓扑结构如图 1 所示。

2.5 Internet 接入

按照有防护的、集约化的 Internet 安全接入原则,全省气象信息网络系统的 Internet 访问出口统一集中到省级和市级系统,通过防火墙实现访问。其中省级出口负责省局局域网的 Internet 访问,各个市级的出口负责本级系统和下辖所有县局(站)的 Internet 访问接入,县级局(站)的 Internet 接入仅作为县到市(州)局和省局 VPN 备份链路的通道,关闭与该 VPN 连接无关的互联网访问。

这种接入规划的优点是控制了 Internet 访问出口的数量,有所防护,并便于后期网络安全建设时集中部署更新的安全设备,方便了网络管理人员互联网出口的管理控制,必要时可对互联网内容进行审计;其缺点是县级系统的 Internet 访问占用

了市—县 SDH 主干线路带宽,需要对业务数据进行带宽保障,必要时需考虑通过上网行为管理系统来对冗余访问进行控制。

2.6 QoS 策略应用

在网络建设优化过程中,通过多种 QoS 应用实践,最终在网络系统中应用基于类的 WFQ,对视频会商系统、实时业务数据传输、业务办公等应用进行了分类保障,保证了视频会商系统画面和声音的流畅性,保障了实时数据传输业务及行政办公等网络应用的稳定性,应用优化效果明显。

2.7 系统应用状况

基于对省级气象信息网络设计方案的研究和设计,四川省气象部门构建了集省—市—县三级结构为一体的气象信息广域网系统,其中包括星型与树型相结合的 SDH 宽带主干网络系统、基于 Internet 的 VPN 备份网络(主备路由基于 OSPF 实现了实时热备、自动切换)以及在省和市两级集约的、有防护地接入 Internet 等几个主要方面。

该系统具有高效、稳定可靠、资源利用率高以及实用性强等特点,几年来在具有较大业务量的实际业务应用中,包括在经历 5·12 汶川特大地震中的表现充分表明,作为一项不可或缺的基础保障,该系统对全省气象业务服务系统,无论是对基础数据传输、信息共享应用以及视频会议会商、行政办公系统等各个方面,都提供了强有力的支撑。

该系统的一个重要部分,基于 Internet 的 VPN 备份路由,在 5·12 汶川特大地震中,不论是在抗损毁和损毁恢复能力上都要强于 SDH 专线,作为一项有效的应急通信手段,发挥了突出的作用。但是,在视频等具有高带宽要求的综合业务更加广泛应用的将来,由于 Internet 上带宽的共享方式以及传输的不可控性,其缺陷也将日益凸显。随着业务及其需求的发展,该系统还会有其他一些问题的出现,结合网络技术的进步,系统还需要进一步改进、完善和发展,比如系统的主干和备份路由,在后续的发展中都可以根据应用需求的发展变化,考虑采用 SDH、MSTP 以及 MPLS VPN 等主流基础通信方式或未来更新的通信方式。

3 结束语

省级气象信息网络系统的研究、整体设计与实现的过程,是一个非常有益的网络技术与实际应用相结合与互动的探索过程。通过在四川省实际应用的实践和完善,这一整体设计可为其他省级气象信息网络系统,乃至其他行业或部门专用网络系统的设计和构建提供有价值的借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 中国气象局监测网络司. 气象信息网络传输业务手册[M]. 北京:气象出版社,2006:26.
- [2] 马渝勇,方国强,刘一谦,等. 从汶川大地震谈应急气象通信技术[J]. 气象,2009,35(11):123-130.
- [3] 燕东渭,陈高峰,杨银见. 基于 SDH 线路的省级气象宽带网设计[J]. 计算机系统应用,2008(3):15-18.
- [4] 田兰,史杏荣. 气象网络路由收敛的策略及 QoS 的实现[J]. 通信技术,2008,41(7):78-85.
- [5] DOYLE J, CARROLL J D. TCP/IP 路由技术[M]. 毕立波,魏亮,刘述,译. 北京:人民邮电出版社,2002:15.
- [6] 高海英,薛元星,辛阳,等. VPN 技术[M]. 北京:机械工业出版社,2006:67.
- [7] 牛从达,王峰. VPN 技术及其在地震信息广域网建设中的运用[J]. 地震研究,2004,27(4):379-384.
- [8] 孔军辉. OSPF 路由选择协议的分析与实现[J]. 商业现代化,2007(21):33-34.
- [9] 杜江,葛洛雅柯. VPN 中 IPSec 穿越 NAT 的解决方案[J]. 计算机应用,2010,30(7):1757-1759.