

彭钰翔, 刘鹏飞, 安小伟, 等. 云南地震预警基准站双链路设计与应用[J]. 华南地震, 2023, 43(3): 70–78. [PENG Yuxiang, LIU Pengfei, AN Xiaowei, et al. Design and Application of Dual-link in Yunnan Earthquake Early Warning Reference Station[J]. South China journal of seismology, 2023, 43(3): 70–78]

## 云南地震预警基准站双链路设计与应用

彭钰翔, 刘鹏飞, 安小伟, 李 振, 吕 帅, 粟 毅

(云南省地震局, 昆明 650224)

**摘要:** 为了及时预警和减轻地震灾害的影响, 建立地震预警系统至关重要。地震预警基准站是预警系统的基石和数据来源, 基于VPDN、NQA等网络技术, 设计了双链路热备的云南地震预警基准站链路传输模式, 确保基准站数据稳定、快速地传输。通过实验验证, 该系统具有较高的稳定性和可靠性, 可以有效提高地震预警的准确性和时效性, 并成功应用于云南区域预警基准站建设先行先试, 为各省预警基准站通信链路建设提供参考。

**关键词:** 地震预警; 基准站; 双链路; NQA

中图分类号: P315.75

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2023)03-0070-09

DOI: 10.13512/j.hndz.2023.03.09

## Design and Application of Dual-link in Yunnan Earthquake Early Warning Reference Station

PENG Yuxiang, LIU Pengfei, AN Xiaowei, LI Zhen, LYU Shuai, SU Yi

(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, China)

**Abstract:** In order to timely warn and mitigate the impact of earthquake disasters, it is very important to establish an earthquake early warning system. The earthquake early warning reference station is the cornerstone and data source of the early warning system. Based on network technologies such as VPDN and NQA, this article designs a dual-link hot standby link transmission mode for the Yunnan earthquake early warning reference station to ensure stable and fast data transmission at the reference station. Through experimental verification, the system has high stability and reliability, which can effectively improve the accuracy and timeliness of earthquake early warning, and has been successfully applied in the construction of Yunnan regional early warning reference stations, providing reference for the construction of communication link of early warning reference stations in each province.

**Keywords:** Earthquake early warning; Reference station; Dual-link; NQA

### 0 引言

地震预警是通过建设预警基准站, 利用地震波与电磁波的传播速度差异, 在地震发生后, 在

破坏性地震波尚未到达时, 提前几秒到几十秒发出预警, 来提前对可能造成破坏的区域提供地震预警信息。为政府决策部门提供重要参考数据, 同时也能够帮助广大民众及时采取有效措施保护自身安全, 消除民众恐慌情绪, 从而达到减少人

收稿日期: 2023-03-10

基金项目: 国家地震烈度速报与预警工程云南子项目

作者简介: 彭钰翔(1985-), 男, 工程师, 主要从事网络管理工作与信息。

E-mail: 78835297@qq.com

人员伤亡和财产损失的目的<sup>[1]</sup>。

云南省处于印度板块与欧亚板块大陆碰撞带东缘,地壳运动十分剧烈,处于造山运动的突出部位,地震活动水平较高,有着地震频度高、震级大的特点,属于中国大陆多震地区<sup>[2]</sup>。据统计,1900—2018年来,云南地区因地震共计造成30 552人死亡,直接经济损失约1361亿元<sup>[3]</sup>。2008年汶川地震之后,中国地震局提出了建设地震烈度速报与地震预警工程的建议。经过多次论证与研究,国家发改委于2015年正式批复立项,2018年启动实施,2019年7月云南省作为地震高风险区,云南地震烈度速报与预警工程项目纳入“国家地震烈度速报与预警工程”先行先试范畴。云南区域共建设202个基准站,228个基本站和1110个一般站,共1540个台站,涵盖全省重点危险区及主要断裂带。

为减小干扰,地震预警基准站选址在通讯、电力保障难度大、地震活动性较强的断裂带附近区域的山区。据历年来云南省地震行业网通讯中断情况统计,运营商故障占比可达30%左右,一旦信道线缆故障,只能被动等待运营商检修恢复。而光纤链路故障造成的故障间隔时长较长,容易对实时性要求高的预警业务造成较大影响,故探索一种稳定、快速的网络传输方案很有必要<sup>[4-5]</sup>。本文根据区域中心预警网络规划及NQA、PTN、VPDN等网络技术,设计了一种有线为主、无线为辅的双链路信道传输方案,为地震预警台站链路传输模式提供参考<sup>[6-8]</sup>。

## 1 设计原理与技术路线

### 1.1 设计原理

在云南地震预警系统中,双链路设计是指在一个系统中设置两条不同路径的数据传输线路:首先,基准站与地震监测中心之间通过有线网络建立一条主链路,以保证数据传输的实时性和稳定性。同时,在主链路出现故障时,系统会自动切换到备用链路进行数据传输,从而保证了数据传输的连续性和可靠性。

具体来说,在地震预警系统中,传统的台站链路传输模式为运营商低带宽专线,将基准站地震仪、烈度仪采集的数据通过交换机连接至运营商城域网服务器,再接入省级中心服务器。虽可以实现预警基准站地震数据传输至预警网。但基于预警基准站分布面广,且易断电断网的特点,单一联网链

路已经不能满足需要,需采用有线传输和无线传输相结合的双链路技术,才能满足预警信息的时效性和稳定性的要求,避免单一通信线路故障导致的数据传输中断问题。

### 1.2 技术路线

无线传输通过VPDN(VPDN, Virtual Private Dial Network, 虚拟专有拨号网络)虚拟专有拨号网络技术,利用4G卡将基准站地震仪、烈度仪采集的数据通过台站交换机链接至4G路由器,再通过VPDN专线接入省级中心服务器。

为了实现有线网络至无线网络的自动切换,本研究通过NQA技术,使得其存在一个检测机制,利用台站交换机的动态监测链路,以NQA(Network Quality Analyzer)网络质量分析技术为基础,结合网络路由交换知识,对云南地震预警台站链路中的网络抖动、响应时间、丢包率等网络信息进行实时探测和统计分析:①及时了解网络的性能状况,针对不同的网络性能,进行相应的处理;②对网络故障进行诊断和定位;③NQA提供的Track和应用模块联动的功能,实时监控网络状态的变化。通过实验,以目前NQA支持的11种测试类型:ICMP-echo、DHCP、DNS、FTP、HTTP、UDP-jitter、SNMP、TCP、UDP-echo、Voice和DLSw测试。经过多轮技术测试探索,通过向目的地址进行ICMP检测方式最为快捷,一旦链路中断数据无法通过有线到达省中心目的地址时,服务自动切换到VPDN设备上,采用无线传输的方式进行传输,访问省中心服务器,保证预警业务数据流的连续性。实现了主备份路由即时切换,在主路由失效时,提供备份路由,从而避免通信的中断或服务质量的降低<sup>[9]</sup>。

## 2 设计与实现

### 2.1 基准站网络设计与规划

云南省共计建设202个预警基准站,为21.X.X.X的A类地址。云南区域预警基准站有线信道和无线备份信道分别作规划,其中21.X.96.0/20共16个C类地址作为基准基本台有线信道互联IP地址段,即21.X.96.1-21.X.111.254,每个互联地址使用30位掩码,台站端使用尾数为偶数地址,省局端使用尾数为奇数地址。21.X.0.0/20共16个C类地址作为基准台无线备份信道隧道IP地址段,即21.X.0.1-

21.X.15.254, 同样基准站采用标准化台站建设模式, 配备 H3C 路由器一台, 四信 4G 无线路由器一

个, 烈度仪、地震仪各一套、台站监控一套、智能电源一套。基准站网络业务拓扑图如图 1 所示。

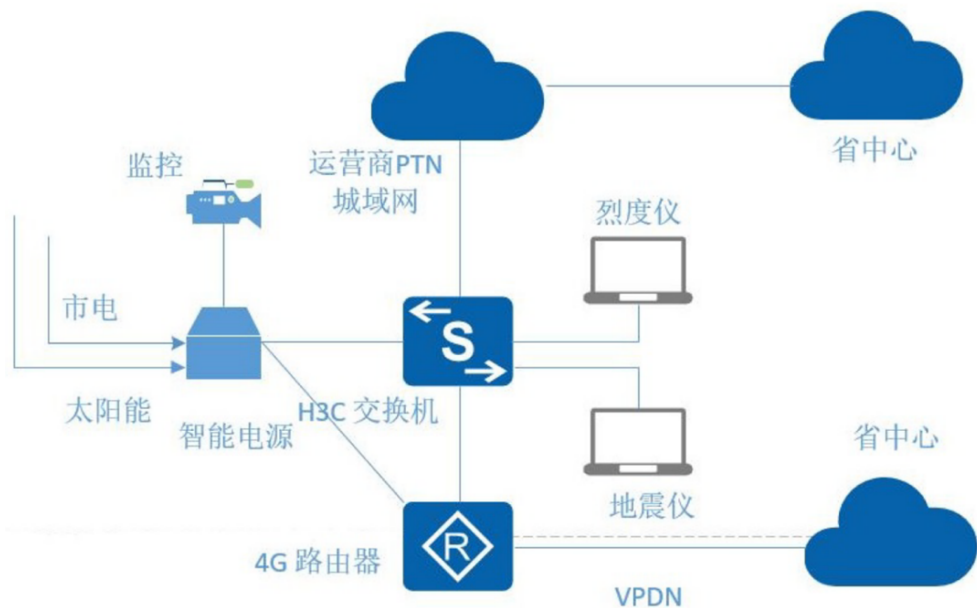


图 1 云南地震预警基准站网络业务拓扑图

Fig.1 Topological diagram of network business of Yunnan earthquake warning reference station

## 2.2 基准站与区域中心的组网方式

### 2.2.1 有线传输方式

云南省内预警台站链路有线传输方式为省级中心、州市节点、台站节点三层树型结构单独组网, 不与现有的互联网和行业网共用专线。预警网与行业网及互联网之间的数据互通通过安全设备建立 DMZ 区进行交换<sup>[10-11]</sup>, 以增加其安全性。

基准站三层交换机分别连接地震仪、烈度仪、4G 无线路由及运营商接入光纤。接入光纤采用一根 12 芯的裸光纤直接与最近的运营商机房相连, 然后通过 PTN 本地城域网和 PTN 省干专线汇聚到地震局省中心机房<sup>[12-13]</sup>。省中心机房台站核心路由再将数据传输到预警核心交换机进行数据交换, 最后传输给业务部门、中国地震局和应急部门使用。

有线传输网络配置相对简单, 首先为每个基准台规划 IP 和 VLAN 号、确定省中心互联地址、台站互联地址、子网、可用网段、路由器接口等信息<sup>[14]</sup>, 其次在省中心机房预警台站路由 SR8808 对应接口配置对应的互联地址和 VLAN, 然后再在台站路由 H3C IE4300 上配置台站互联地址和到运营商 PTN 专线的接口地址即可实现互通。

### 2.2.2 无线传输方式

无线传输采用 VPDN 的方式进行传输, 云南省地震局现已有一条用于野外流动台站及强震台网观测的行业网 VPDN 专线, 并配置了防火墙等网络安全设备, 目前野外流动台站、部分前兆台站数据等均采用 4G 卡拨号上网的方式接入运营商 VPDN 专线连入地震行业网, 行业网又通过防火墙与预警网进行数据互通<sup>[15]</sup>。

基准站无线传输方式借用已有的 VPDN 专线建立 GRE 隧道进行传输<sup>[16]</sup>, 本文以昆明市西山区海口镇基准站为例进行配置, 首先在省中心预警 VPN 路由器上配置 GRE 隧道及本端地址, 将回环地址作为源地址建立 GRE 通道<sup>[17]</sup>, 配置命令如下。

```
interface LoopBack3
description 4G JZZ back wireless
ip address 21.112.XX.18 255.255.255.255
binding tunnel gre
```

在预警 VPN 路由器相关端口下配置隧道、协议类型、源地址、目的地址:

```
Interface TunnelXXX
Description XiShanHaiKou
ip address 21.X.X.X 255.255.255.252
tunnel-protocol gre
```

source 21.X.X.X  
destination 21.X.X.X

4G 无线路由选用四信 F-R-200-L 路由器, 该设备具有 1 个 WAN 口、4 个 LAN 口及一个 SIM 卡槽。每个站点配备由运营商提供的 SIM 卡一张, 每张 SIM 卡对应一个 VPDN 平台私有 IP 地址及用户名

密码, 既保证安全性, 也方便管理<sup>[18]</sup>。四信路由器支持用户进行 VPN 配置, 在 VPN 配置里选择 GRE 隧道配置, 通过方式选择 PPP, 并将对端 WAN IP、子网、隧道 IP 及本端隧道 IP、本端子网进行配置<sup>[19]</sup>(图 2), 配置命令如下:



图2 GRE 隧道配置内容

Fig.2 Configuration content of GRE tunnel

对端 IP(省中心 sourceIP): 21.X.X.X  
对端子网: 21.X.X.0/30  
对端隧道 IP: 21.X.X.1  
本端隧道 IP: 21.X.X.2

本端子网(同对端子网): 21.X.X.0/30  
配置好后, 在省中心 VPN 路由器上 ping 对端地址, 可以 ping 通。网络拓扑图如图 3 所示。

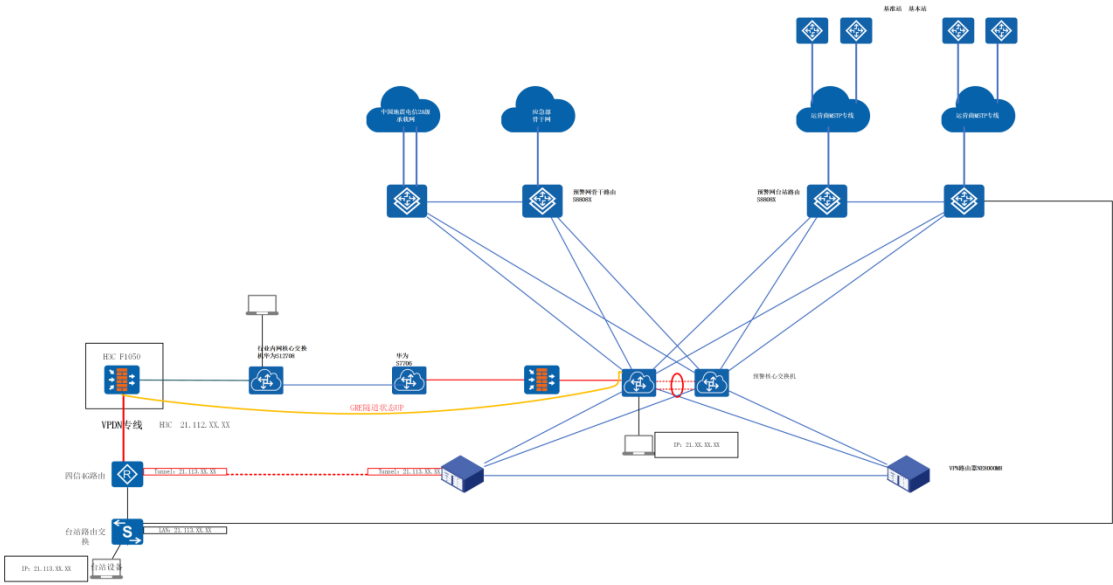


图3 网络拓扑图

Fig.3 Network topology diagram





如表1所示,NQA配置前联通率一般在80%左右水平,自2021年3月1日至2023年6月1日,NQA配置后,设备联通率达到100%,其他基准站联通率也保持在99.55%以上。

表1 设备通断统计表 2021-03-01—2023-05-05  
Table 1 Equipment on-off statistics table from March 1<sup>st</sup>, 2021 to May 5<sup>th</sup>, 2023

台站名称	IP地址	NQA配置前连通率/(%)	NQA配置后连通率/(%)	中断时间/s
漾濞鸡街基准站	21.113.XX.42	77	100	0
双柏妥甸基准站	21.113.XX.66	98	100	0
宁蒗翠玉基准站	21.113.XX.10	85	100	0
红河架车基准站	21.113.XX.62	88	100	0
保山芒宽基准站	21.113.XX.158	87	100	0

3.2 应用分析

通过部署H3C IMC网管系统,现已实现对全省监控后,先后经历了4次5级以上地震,分别为:①2021年05月21日21时48分云南漾濞M6.4地震;②2021年06月10日19时46分云南双柏M5.1地震;③2022年01月02日15时02分云南宁蒗M5.5地震;④2022年11月19日01时27分云南红河M5.0地震;⑤2023年5月2日23点27分云南保山M5.2地震。

地震发生前后48 h,是基准站地震计和烈度计数据传输的高峰,通过通过H3C IMC网管系统监控数据统计震前后48 h网络运行情况,能够测评NQA双链路技术在地震中对网络运行保障的情况。

(1)2021年05月21日21时48分云南漾濞M6.4

地震前后48 h,漾濞鸡街基准站瞬时相应时间峰值为25 ms,接收IP报文速率最大值为6.656 data-grams/s,转发IP报文速率最大值为0.073 data-grams/s,平均响应时间为19.975 ms,设备不可达比例为0。

(2)2021年06月10日19时46分云南双柏M5.1地震前后48 h,双柏妥甸基准站瞬时响应时间峰值为18.5 ms,接收IP报文速率最大值为3.315 data-grams/s,转发IP报文速率最大值为0.0 datagrams/s,平均响应时间为17.47 ms,设备不可达比例为0。

(3)2022年01月02日15时02分云南宁蒗M5.5地震前后48 h,宁蒗翠玉基准站瞬时相应时间峰值为21.9 ms,接收IP报文速率最大值为3.324 data-grams/s,转发IP报文速率最大值为0.067 data-grams/s,平均相应时间为18.399 ms,设备不可达比例为0。



图5 漾濞鸡街基准站地震前后48小时连通率变化

Fig.5 Changes of connectivity rate of the Jijie reference station in Yangbi County in 48 hours before and after earthquake



图6 双柏妥甸基准站地震前后48小时连通率变化

Fig.6 Changes of connectivity rate of the Tuodian reference station in Shuangbai County in 48 hours before and after earthquake



图7 宁蒗翠玉基准站地震前后48小时连通率变化

Fig.7 Changes of connectivity rate of the Cuiyu reference station in Ninglang County in 48 hours before and after earthquake

(4) 2022年11月19日01时27分云南红河 $M5.0$ 地震前后48 h, 红河架车基准站瞬时相应时间峰值为16.1 ms, 接收IP报文速率最大值为2.842 datagrama ms/s, 转发IP报文速率最大值为0.03 datagrama ms/s, 平均相应时间为14.658 ms, 设备不可达比例为0。

(5) 2023年5月2日23点27分云南保山 $M5.2$ 地震前后48 h, 保山芒宽基准站瞬时相应时间峰值为19.4 ms, 接收IP报文速率最大值为3.298 datagrama ms/

s, 转发IP报文速率最大值为0.01 datagrama ms/s, 平均相应时间为17.779 ms, 设备不可达比例为0。

在实际应用中, 经5次地震检验可以看出, 通过NQA技术配置网络, 在地震前后48 h内联通稳定, 设备响应时间小于20 ms, 云南地震预警系统的双链路设计已经取得了良好的效果。通过对多次地震事件的监测和分析, 系统能够及时、准确地向政府决策部门和广大民众发布地震预警信息, 为减少地震灾害损失做出重要贡献。



图8 红河架车基准站地震前后 48 小时连通率变化

Fig.8 Changes of connectivity rate of the Jiache reference station in Honghe County in 48 hours before and after earthquake



图9 保山芒宽基准站地震前后 48 小时连通率变化

Fig.9 Changes of connectivity rate of the Mangkuan reference station in Baoshan County in 48 hours before and after earthquake

4 结论与讨论

4.1 结论

通过测试,云南地震预警基准站通过双链路有线为主(裸纤直连+PTN)和无线(4G VPDN+GRE)为辅的传输方式可以有效保障链路数据的稳定性,两者切换时延约 12 s。双链路设计的优势主要体现在以下几个方面:①提高数据传输的可靠性:采用双链路设计可以有效降低单一通信线路出现故障导致数据传输中断的概率;②提高地震预警信息的实时性:通过主链路和备用链路之间的自动

切换,可以保证地震预警信息的实时传输;③降低系统维护成本:采用双链路设计可以避免因单一通信线路故障而导致的频繁维修和更换问题,从而降低了系统运维成本。此外,采用 NQA 的方式进行链路优先级检测和控制,可以有效避免重传中断链路的情况,同时通过为地震预警链路配置 NQA,可以进一步了解网络中的性能和服务质量参数,方便进行快速的故障诊断和定位,如时延抖动、传输速率等。

综上所述,该模式实现了云南区域地震预警台站有线信道和无线信道的自动切换,同时实现了台站网络链路的监控与分析,提高了链路数据传输的可靠性,可为地震预警台站链路建设和研



究提供参考价值。

## 4.2 讨论

本文主要针对云南区域的地震预警台站网络链路进行研究,此项目建设时尚处于“先行先试”阶段,从检测数据中断,到有线网络切换无线网络环节,成功的实现了预警台站链路的有线和无线自动切换,可以为其他省份的预警台站链路建设提供参考意见,但还存在以下几个问题:

(1)有线信道自动切换到无线信道时,中间会有约 12 s 的延时,分析认为可能是路由交换在重新寻址过程中造成的时延,目前是通过 OSPF 和静态路由的方式进行访问,如何优化网络结构,减少寻址时间需要更加深入的研究。

(2)无线传输模式容受到运营商 4G 无线信号的影响,在信号强的区域传输速率和连续性较好,但在无线信号较差的区域,会存在延时大或连接性较差的问题,导致路由数据交换的效果较差,对于如何在无线信号差的区域进行有效的传输,还需要进一步的研究,目前较为可行的方案主要为卫星通信传输,但其存在成本较大的问题。

(3)由于无线网络数据传输速率普遍慢于有限网络,且云南地处西南边陲,而预警发布又对时效性和可靠性要求高,5G 信号的覆盖率不是很广,在 5G 信号覆盖较广的区域,可以通过 5G 的信号进行无线模式的传输,极大的提高数据的传输速率,如何利用更加高效可靠的传输技术有待进一步的研究。

(4)预警基准站点多面广,目前只将部分基准站纳入监控,还不能做到所有站点实时监控。

## 参考文献

- [1] 陈会忠.我国地震观测历程[J].城市与减灾,2020(06):10-20.
- [2] 皇甫岗.云南地震活动性研究[D].合肥:中国科学技术大学,2009.
- [3] 汤筱麒,卢永坤,张方浩.云南省地震灾害特点和对策分析[J].城市与减灾,2019(06):52-58.
- [4] 马丽华,李云霞,蒙文,编著.光纤通信系统[M].北京:北京邮电大学出版社.2015.

- [5] Xu P, Fang X, He R, et al. An efficient handoff algorithm based on received signal strength and wireless transmission loss in hierarchical cell networks[J]. Telecommunication Systems, 2013(52):317-325.
- [6] 蒋丽君. PTN 技术与组网策略研究[D]. 北京:北京邮电大学,2011.
- [7] 符倩海. VPDN 技术及其应用的研究[D]. 南京:南京邮电大学.2013.
- [8] 王莉霞.全 IP 化城域传输网络规划设计与研究[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2014.
- [9] 董靖超. NQA 技术与应用[J]. 电脑与电信,2013(06):45.
- [10] 吕帅,李倩,武孔春,等.云南省地震行业网备份信道设计与实现[J]. 山西地震,2018(04):39-42.
- [11] Wang X K, Yang L T, Li H G, et al. NQA: a nested anti-collision algorithm for RFID systems. [J]. ACM Transactions on Embedded Computing Systems, 2019, 18(4):1-21.
- [12] 任旭明. VRRP+NQA 技术在图书馆智能网络中的应用研究[J]. 网络安全技术与应用,2021(02):144-147.
- [13] Yang Fan, Zhao Lizhen, Wu Shaoling. Research on test and control method for network performance based on NQA[J]. Journal of Applied Science and Engineering Innovation, 2016, 3(4):148-151.
- [14] 高华. 浅析 PTN 技术的组网方式分析及其在通信传输网络中的运用[J]. 科技资讯,2019, 17(30):28-29.
- [15] 顾峰,王庆刚,伊纪梁,等.基于网络流量回溯系统的网络质量分析与设计[J]. 网络安全技术与应用,2021(08):7-8.
- [16] 郭磊,卢金艳.基于 GRE 的 VPDN 网络优化方案[J]. 科技视界,2017(11):216.
- [17] Wilson D C, Ringler A T, Storm, T L, et al. Rapid station and network quality analysis for temporary deployments[J]. Seismological Research Letters, 2019, 90(4):1494-1501.
- [18] Park J, Lim Y. A handover prediction model and its application to link layer triggers for fast handover[J]. Wireless Personal Communications, 2010, 52(3):501-516.
- [19] 洪行. 基于 NQA 技术的双链路网络配置与应用[J]. 世界有色金属,2019(20):29.
- [20] 陈钻. 基于 NQA 技术优化网络性能测试方法[J]. 品牌(下半月),2014(08):33-34.