

林伟, 谢剑波, 刘少文. 广东省地震预警台网建设规划[J]. 华南地震, 2018, 38 (S1): 101-107. [LIN Wei, XIE Jianbo, LIU Shaowen. Construction Plan of Earthquake Early Warning Network in Guangdong[J]. South China journal of seismology, 2018, 38(S1): 101-107]

广东省地震预警台网建设规划

林伟, 谢剑波, 刘少文

(广东省地震局, 广州 510070)

摘要: 介绍了珠江三角洲地震预警台网规划设计的过程, 重点突出预警台站分布的设计依据及其方案, 并对不同的台站布局方案及其作用进行了分析和阐述。在现有测震台网、已完工的珠三角预警台网的基础上, 规划广东预警台网建设, 满足广东省陆区和海域地震预警的需求。

关键词: 广东; 地震预警; 规划

中图分类号: P315.75 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662(2018)S1-0101-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.S1.016

Construction Plan of Earthquake Early Warning Network in Guangdong

LIN Wei, XIE Jianbo, LIU Shaowen

(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China)

Abstract: This paper introduces the planning and design process of the earthquake early warning network in the Pearl River Delta, highlights the design basis and scheme of the distribution of early warning stations, and analyzes and elaborates the layout schemes and their roles of different stations. Based on the existing seismic network and the completed Pearl River Delta early warning network, the paper planned the construction of the Guangdong early warning network, which meets the needs of earthquake warning in the land and sea areas of Guangdong Province.

Keywords: Guangdong; Earthquake early warning; Planning

收稿日期: 2018-03-28

作者简介: 林伟(1966-), 男, 高级工程师, 现主要从事数字观测研究。

E-mail: 273846807@qq.com.

0 引言

珠江三角洲地震预警台网建设项目是广东省防震减灾“十二五”重点规划项目——地震安全基础能力建设的重点项目,该项目计划新建 100 个地震观测台站,实现珠江三角洲地区地震预警和地震烈度速报,建设成广东省第一个地震预警台网和烈度速报网。这 100 个地震台站的布局规划是根据广东省陆海区域(含滨海地带)潜在震源区的划分、场地地震地质与地貌、交通等条件为主要依据,在目前广东地震台网现有台站的基础上,充分利用现有的地震观测资源,综合规划,合理布局,精心施工,最终建设成为广东省第一个地震预警台网。该台网的运行将对可能发生在广东省境内及其周边潜在震源区的破坏性地震进行有效的监测,有能力为珠江三角洲地区提供有效的预警服务。在此基础上,为下一步建设覆盖全省陆、海区域范围的广东全省预警台网,实现整个广东省范围的地震预警服务这一目标,对如何进行规划和设计,提出合理化建议和可行性设想^[1-3]。

1 规划依据

1.1 地震背景

广东陆区及沿海近百年来,发生震级最大、破坏性最强的地震事件是 1918 年 2 月 13 在粤东汕头南澳海域发生的 $M 7.3$ 级大地震。地震震中位于南澳岛东北约 10 km 的海底,即北纬 23.5° ,东经 117.2° ,震中烈度为 X 。这次大地震不但摧毁了南澳的旧县城深澳镇,还造成附近多个县、市遭受严重破坏,几乎整个华南地区都感受到震动,该震不但是有历史记载以来广东最严重,造成伤亡最大的地震。也是自 1604 年 12 月 29 日泉州 8 级大地震以来,我国东南沿海再次发生的最大地震。

无论是泉州大地震,还是南澳大地震,它们的震中都位于我国华南沿海地震带上,主要的发震构造为东北向的滨海断裂带。该断裂带位于太平洋板块与亚欧板碰撞带的边缘地带,是华南沿海地震带的强震发生的主要的断裂带构造。许多地震专家学者认为,华南沿海地震带未来潜在的大震也将在滨海断裂带的中南段发生,即从台湾海峡一直延伸到琼州海峡。

由于整个粤东地区、特别是潮汕和梅州地区有多条北东向和北西向活动断裂,这些断裂控制

了整个粤东地区地震的发生,在历史上多次发生中强与有感地震。最大的一次是 1962 年 3 月 19 日在新丰江发生的 $M 6.1$ 地震。无论是地震频度还是地震强度,粤东地区的地震活动水平明显高于广东内其他地区^[4-5]。

由上可见,将台湾海峡、粤东地区视为将发生严重影响我省范围的强烈地震潜在与首要的震源区,是完全必要的。将该区域划为我省甚至我国地震重点监视区,在该区域建成高密度的地震观测站,将为实现广东珠江三角洲经济发达地区及其他地区(包括邻省地区)的地震预警奠定基础。

1.2 预警原理

地震预警是根据地震发生地附近地震台站(通常是四个及以上)观测到的地震波初期信息,快速计算地震参数,估计并预测地震波对周边地区的影响。并根据地震初始 P 波传播速度大于后继破坏性地震波(S 波和面波)传播速度的规律,利用电磁波传播速度远远大于地震波传播波速以及抢在破坏性地震波到达震中周边地区之前,发布地震影响地区的地震动强度和到达时间的预警信息。使企业和公众能够提早采取地震应急处置措施,进而减轻地震人员伤亡和地震灾害损失。对于一个特定的预警目标区,从发出预警信息到破坏性地震波到达的时间差通常称为预警时间。地震监测台站越密集、预警目的地距离震中越远,预警时间就越长。而预警时间越长,则供企业和公众实施应急处置措施的时间就越及时、越充分,减灾效果就越显著。

$$\Delta T = T_p - T_{\text{预}}$$

式中: ΔT 为地震预警时间, T_p 为地震 P 波到时, $T_{\text{预}}$ 为地震预警发布到时。

(1) 当 $T_p > T_{\text{预}}$ 时, $\Delta T > 0$, 为有效地震预警,可在 P 波与 S 波到达之前采取避震措施。

(2) 当 $T_p = T_{\text{预}}$ 时, $\Delta T = 0$, 为无效预警,属地震警报,有可能在 S 波到达之前采取避震措施。

(3) 当 $T_p < T_{\text{预}}$ 时, $\Delta T < 0$, 为无效预警,属地震速报或快报,无法采取避震措施。

1.2.1 台站密度

包围震中区的测震台站密度越大(台间距越小),即震中距越小, P 波的到时与发震时刻的时间差则越小,从而使震中周围各测震台观测记录到地震的初期信息的时间则越短。利用无延时的数据传输技术,实时将信号传输到数据处理中心,及时完成地震参数的测定。由此可见,震中区测

震台站的密度大小,直接关系到快速测定参数所需时间的长短。因此,在潜在震源区建设的测震台越多,台站密度越大,当大震发生时,快速测定出地震参数的结果则越快。就理论而言,似乎台间距越小越好,但实际操作上是有困难的,一是投资过于庞大;二是台站太密时,会导致同一方向上相同震中距台站的出现。一方面造成不必要的建设浪费,另一方面对于快速测定结果也没有什么帮助。因此,合理、适当的台间距才真正有利于地震参数的快速测定^[6]。

台站的密度应该多大,台间距应该多少公里才比较合理呢?作者认为,除以投资规模与建设区域来合理规划测震台站的布局外,还应该以潜在震源区历史地震平均震源深度值为参考依据,当平均震源深度小于 10 km 时,台间距可控制在 10 km 以内,当震源深度小于 20 km 时,台间距可放宽至 15 km 左右。震源深度在 30 km 以内时,台间距可为 20 km 左右。

1.2.2 台阵形态

由监测区域的地理环境和监测的对象及目的来确定规划地震台阵的形态,是地震台站布局规划的通常做法。在预警台网建设规划中,不但要沿用通常的做法,还要根据如何实现地震预警的这目标为前提,更有针对性的进行规划布局。作者通过参与多个测震台网布局规划、野外流动台的布设和多项海陆联测科研项目陆地观测站布设等实际工作,经验总结出预警台网台阵形态布局应参考下面几点:

(1) 预警观测区域大小与形态。如果地震预警监测区所监控的范围及面积特别大(可扩大到一条地震带,如南北地震带),面积为几十万至上百万平方公里时。通常是根据监测区域的大小与几何形状,地形地貌等特征,按照等间距的办法,以方格网状来规划台站布局(图 1)。方格可以是正方形的,也可以是菱形的。台间距一般设计为 50 km 以下,又小又好,能达到 10~15 km 最好。

如果地震预警监测区所监控的范围及面积特别小(小到一座火山的地震,如日本富士山),面积只有几十至上百平方公里时。通常以监测区为一原点(往往以火山口)按照同心等径、夹角均分的办法进行圆环形状的规划设计,第一个圆环的半径与平均的震源深度基本一致,外围圆环的半径将成倍增长。如图 2 所示,即假定一环圆半径为 5 km,二环的半径则为 10 km,相应三环的半径为 15 km....相应的台站数量 1, 4, 8, 12,。

通过计算,每个环内的台站间距都将小于 10 km,环与环之间上台站的间距最大也不超过 10 km。由此可见,只要地震发生在圆环网内,无论在那一个角落,其周边至少有 4 个震中均小于 10 km 的台站参与地震参数的快速测定,保证地震的快速测定及预警的实现。

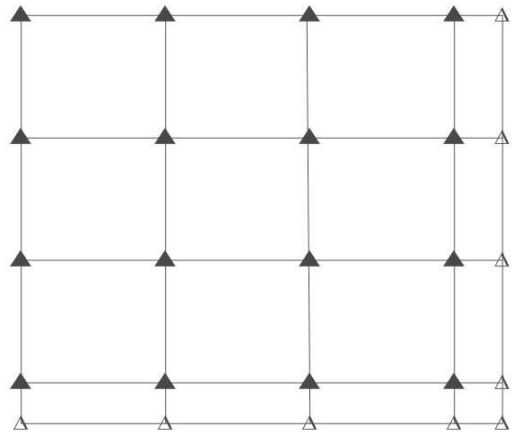


图 1 方格网状台阵示意图

Fig.1 Schematic diagram of the square grid array

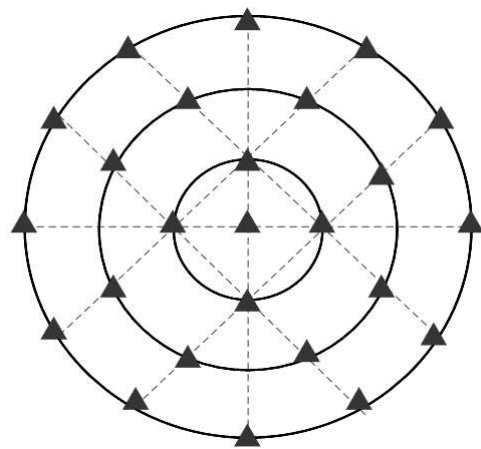


图 2 圆形环状台阵示意图

Fig.2 Schematic diagram of the circular ring array

(2) 预震观测区域地震构造特征。观测区域地震地质构造特征,主要是发震构造、活动性断裂、小震活动范围及形态特征、震源深度等,在预警台网规划设计中必须重点考虑。通常按照主要活动断裂的走向、断裂与断裂之间的距离来设计整个预警台网的布局和形态。

(3) 现有地震观测资源的利用。通过几十年来投资建设,每个市至少有一个测震台站,在一些重点监视区,如汕头市辖区范围,每个县境内

都有 1 个测震台。广东台网中国家台、区域台就有 50 多个,加上周边邻省联网和地方各市台网的台站,台站总数已经上百个了。因此,在预警台网的规划设计中,首先必须将现有台站纳入规划中,将每个正在运行的台都尽可能规划到台阵的具体网格点位上。目的是一是充分利用现有的观测资源,避免重复建设和浪费,二是可加快预警台网建设的速度,减少投资规模。

2 台站规划

根据广东省地震地质构造特征、潜在震源区及其地震活动性情况;在充分利用现有测震、强震台站资源的基础上,按照一定形态、间距要求和填补监测空区等原则;在广东省粤东地区和珠江口规划建设地震预警台站。

2.1 珠江口预警台阵

担杆列岛潜在震源区位于担杆列岛以南海域,呈北东东向展布。该潜在震源区附近有珠江口外海的担杆列岛、万山群岛诸海岛,综合考虑这些岛屿的交通条件及广东省“十五”期间建成的担杆岛测震台,拟设计在桂山岛、万山镇、外伶仃及庙湾四岛新建地震台,此四台点可根据勘选时地面试记背景地噪声情况考虑采用地面或井下观测,并在三灶机场、横琴岛原强震台址新建井下观测地震台。台站规划的布局如图 3 所示,呈现东北向 3 线、北西向 2 线,台间距均小于 50 km 的网格状台阵,如果与珠江口陆区(含香港、澳门)所有台站联系起来,将成为珠江口区域的一个大的网状预警台网,将更好地监测珠江口及外海域震源区发生的地震,为实现地震预警奠定基础



图 3 珠江口预警台规划图

Fig.3 Early warning station planning map of the Pearl River Estuary

2.2 粤东网格台阵

东部的潮汕盆地潜在震源区位于揭西、普宁、韩江平原直至饶平一带。为有效监测该区域及南海海域滨海断裂潜在震源的地震活动并提供预警,结合粤东地区的活动断裂构造及地貌特征,同时考虑到广东地震台网在该区域已有的 10 多个测震台的点位,设计基本以北东向约 15 km 间距与接近正交的北西向约 14 km 间距分布之网格形状布设台站(图 4)。由于预警台站密度大,布局形态与台间距要求较高,而整个规划区域大部分属平原之地,城市林立、镇村相连、道路四通八达,地

面干扰水平高,因此预警台主要以井下观测为主。规划建设的 70 多个预警台,将与现有 15 个测震台站形成粤东大网格预警台阵。设计要求,大网格台阵完全覆盖了粤东地区陆地上最受关注的潜在震源区,如果在该区域发生强烈破坏性地震,以台阵 15 km 的台间距,基本可保证地震预警事件触发时间误差约 1 s 以内,震中位置及震源深度的计算也可获得相当高的精度^[7]。

由于近年来新丰江水库地区震情又趋活跃,为改善该区域地震监测台网布局状况,设计在新丰江水库西北方向新增 3 个测震台,布设短周期

地震计。规划的台站建成后将与水库区现有的 14 个台站构成台间距小于 10 km 的台阵,该台阵不

但为新丰江水库地震的预警服务,还为开展水库地的观测与研究、分析与预报地震奠定了基础。

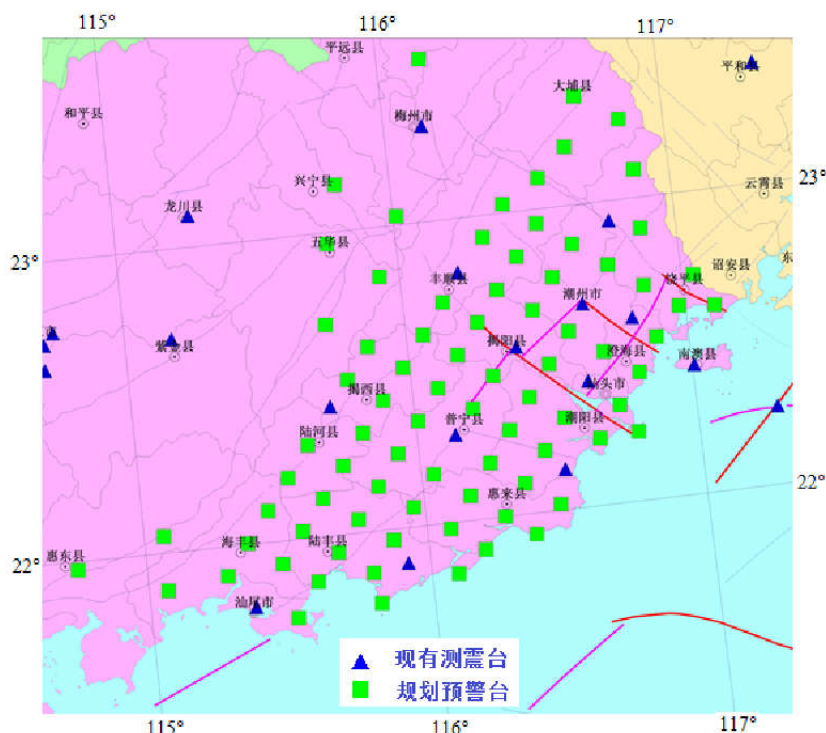


图 4 粤东地区预警台规划图

Fig.4 Early warning station planning map in east Guangdong

3 规划实施

3.1 台站遴选

粤东预警台网建设自 2012 年开始初选以来,经过一年半的时间。在广东省地震局的领导下,在粤东各市县地震部门以及当地政府的大力支持和配合下,首先完成了预警台站场址的初选。专业遴选队伍经过半年的时间完成了所有预警台的遴选、测试、处理、分析和报告的编写工作,并通过了广东省地震局组织的验收。

(1) 因南澳小孔径台阵由 9 个子台变更为 1 个预警台。因此,预警台总数由 100 个变成了 92 个,实际完成了 92 个预警台的遴选,圆满完成规划所需的目标和数量。其中,60 个位于学校、幼儿园内;16 个位于村委大院或附近;16 个位于政府大院、部门及有关单位内、野外山上及海岛上。虽各台的交通、供电、供水、通讯、安全和施工等条件有所不同。但总体情况都比较好,且便于建成运行后的管理和维护。

(2) 95%以上预警台站候建点位置位于规划遴选的范围内,粤东地区台站布局呈现东北—西南

和西北—东南两个方向上的线性等间距排列,达到了规划设计的要求。粤东地区预警台的建设后,将与现有测震台组成粤东预警台网,台站总数将超过 100 个,平均台间距 15 km 左右。

(3) 遴选结果表明 90%预警台为井下台,少数基岩地面台。通过地质调查、钻探资料收集和分析,在 83 个井下台中,钻井深度深浅呈现浅少(30~49 m 约 24 个),中多(50~80 m 约 44 个),深少(80 m 以上约 15 个)的格局,平均钻井深度为 60~70 m,且满足入中微风化 10 m 的技术要求。

(4) 噪声测试计算结果表明:拟建地面台的台址地面噪声为 II 级(国标 II 级环境地噪声水平: $3.16 \times 10^{-8} \leq E_m < 1.00 \times 10^{-7}$); 拟建井下台的地面噪声一般在 IV~V 级(国标 IV~V 级环境地噪声水平: $3.16 \times 10^{-7} \leq E_m < 3.16 \times 10^{-6}$) 水平,少数台站低于 IV 级或高于 V 级水平。

3.2 台站建设

2013 年 10 月广东省地震局通过公开招标“珠江三角洲地震预警台网建设项目台站设备及相关服务采购”项目,珠海泰德企业有限公司中标,

合同要求建设 80 个地震预警台站。项目于 2013 年 11 月 15 日正式开工,截至 2015 年 4 月 30 日,整个项目完成 78 个预警台站建设。其中:

(1) 地面台 4 个,74 个井下观测台站。钻井总进尺 4 663 m,平均井深 63 m;最浅井是 31 m (陆丰甲东东地震台);最深的观测井是 175.1 m (揭西凤江地震台)。

(2) 新建观测房台站 3 个,现场提供观测房式台站 10 个,室外机柜式台站 65 个。

(3) 78 个预警台站建设(含钻井、观测房、地网等工程)及设备安装工程均已完成。

2016 年 4 月底,该项目通过了建设单位组织的有关专家的验收。

2015 年底新丰江水库区西北面建设的 3 个地震预警台站也顺利完成了设备的安装。

截至 2016 年 6 月止,已经完成了 81 个预警台站的建设任务,其中 60 多个台已经实现了光纤网络传输。目前,各台站设备运转正常,信号传输正常、观测数据已经汇集到台网中心。预警台站建设的顺利完成为我省粤东地区和珠江口区域的地震观测发挥了积极的作用,为实现珠江三角洲地区的地震预警做好了准备。

4 远景规划

4.1 建设和完善粤东预警台网

在珠三角预警台网台站建设任务中,粤东网格台阵中仍有 8 个预警台没有列入建设计划。这些台是为国家预警台网建设预留的台站。因此,这些未建台位于网格内,造成部分台间距为 15 km 的 2 倍。这些空白的存在将影响整个预警台网的快速定位速度。因此,应加快所有网络上预警台的建步伐,使台阵趋于完善。

另外,在梅州、河源(除水库区域外)、惠州 3 市现有测震台密度远远不够,平均台间距在 50 km 以上,与 15 km 的规划要求相距甚远。目前,在河源东源县水库区西北面正新建设 3 个预警台,这些台站的建成将使新丰江水库台阵台间距控制在 10 km 左右,大大提高水库地震的观测能力,并实现预警的目标。惠州市除在惠东境内新建设 2 个预警台外,当地各县、区政府还将自筹新建 6 个预警台,这将大大改变目前惠州境内地震观测薄弱的现状,将在只有 1 个测震台基础上新增加 8 个井下预警台,将使该地区台间距控制在 40 km 左右。从而提高惠州地区的地震监测能力,为地震

预警目标的实际奠定了基础。

整个粤东地区要实现台间距为 15 km 的高密度预警台覆盖目标,是一项任重而道远的艰巨任务,除国家必须加大投入外,地震部门和地方政府也将共同参与,一起努力才能完成的。

4.2 建立“三位一体”的预警监测体系

4.2.1 将预警范围扩大至全省

广东正在建设的预警台网,之所有称之为粤东预警台网主要有 2 种含义,一是以粤东地区潜在震源区可能发生的地震为监测目标,二是为粤中部(珠江三角洲地区为主)、西部和北部地区提供预警服务。因此,如果要想实现整个广东地区,特别是珠三角潜在震源区、阳江震源区,以及北部粤西与北部湾潜在震源区地震的监测,实现全省范围内的地震预警,将是一项巨大的工程和任务,特别是要在实现全省台间距 15 km 的目标,将新增加几百,甚至上千个预警台。虽然任务是艰巨的,目标是远大的。但唯有通过加大建设,增加预警台密度,在全省范围内实现预警才是可能的。

4.2.2 建立“三位一体”的预警监测体系

广东的陆地总面积 17.98 万平方公里,而海域面积则有 46 万平方公里。在长达 3 千多公里海岸线上有 30 多个市、县和区;有 700 多个岛屿,其中有 11 个岛面积在 20 平方公里以上;通常沿海地区均是我省经济比较发达和人口较稠密的地区。因此,在预警监测体系中,只考虑陆区潜在震源区的地震监测是远远不够的。特别是如何实现滨海断裂带上潜在大震的监测和预警,是实现广东省地震预警的最大难题。而逐步建立地面—地下一水下“三位一体”的地震监测系统(图 5),是解决这一难题的根本出路。

(1) 发展井下地震观测。随着测震台站数量的增多,台站密度的增大。特别是要按照一定形状和相应固定的台间距来布设台站,如果还按以往建设基岩地面台的办法根本是行不通。因此,预警台网的建设也标志着地震观测已经从地面观测转向井下观测。近几年来,随着地震观测技术与设备的发展,越来越多的井下观测已经开展起来。广东地区在开展预警台网项目之前,就已经有 2 个井下地震台。预警台网建成后,井下观测将占有台站的太多数。随着预警范围的扩大,台站数量的增多,将来在陆地上将建设更多的几十米的浅井、几十~百米左右的中深井、百米以上~几百米的深井观测预警台。这是地震观测发展

的必然,也是实现地震预警的前提。

(2) 开展海洋地震观测。虽然在海岛上可建设地面或井下预警台,但对于浩瀚的南海区域范围而言,对于布台必须按一定形状和台间距的要求而言,岛上所能建的台站数量是远远不能满足

需求。因此,必须向海洋进军,开展海洋地震监测,充分利用和发展现有国际与国内最先进的海底地震观测技术和设备,逐步在广东所辖的海域建立海底地震观测站和海底深井地震观测站,并形成海域地震观测网。

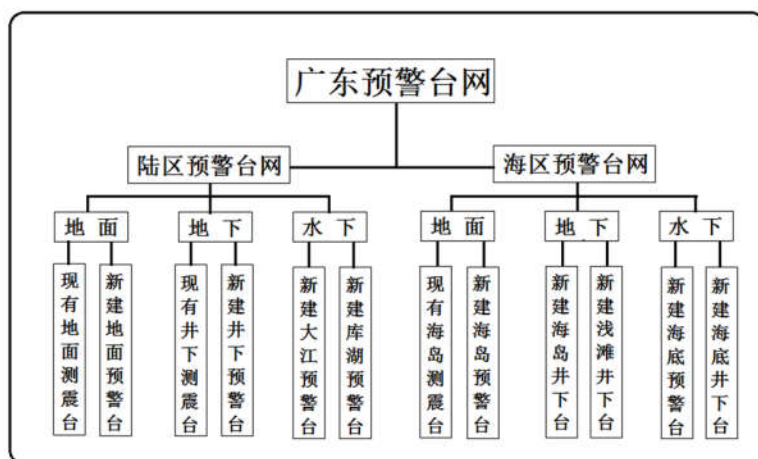


图5 广东预警台网规划设想图

Fig.5 Early warning station planning map in Guangdong

5 结语

广东预警台网建设规划是在“十五”、“十一五”和“十二五”期间建设的所有地面和井下测震台基础上,规划覆盖广东陆区和海域的地震预警台网。充分结合国家烈度速报与预警工程项目广东分项目的规划设计要求,改造和新建71个基准站(测震+强震台)和201个基本站(强震台),在华南沿海预警区(约占三分之二陆区范围)新建900个一般站(烈度台)。逐步实现地震预警台站间距小于15 km,建立“三位一体”的预警监测体系目标。虽然目标远大,任务艰巨;但随着我国经济的深入发展,科学技术的不断进步,这一目标的实现也就为期不远了^[8-9]。

参考文献:

- [1] 吕金水,叶春明,黄剑涛,等. 广东数字地震遥测地震台网的建设[J]. 华南地震,2000,20(4):2-15.
- [2] 郭德顺,谢剑波,吴华灯,等. 广东省数字强震动台网建设介绍[J]. 华南地震,2006,26(2):89-97.
- [3] 陈建涛,叶春明. 建立南海地震海啸监测预警系统的构思[J]. 华南地震,2010,30(S1):145-152.
- [4] 刘军,黄文辉. 测震台网业务交换平台[J]. 华南地震,2016,36(1):36-43.
- [5] 吴叔坤,胡文灼. 广东台网地震资料产生的存储方式探讨[J]. 华南地震,2016,36(3):51-55.
- [6] 叶繁英,欧阳龙斌. 地震台网机房不间断电源系统的完善和维护[J]. 华南地震,2016,36(3):116-121.
- [7] 黄玲珠,林彬华,王士成. 测震台网实时波形数据质量自动监控[J]. 华南地震,2017,37(4):20-25.
- [8] 陈建涛,苏柱金,黄腾浪. 基于地震自动速报和 COMCOT 模式的南海地震监测与海啸模拟平台开发[J]. 华南地震,2017,37(3):55-62.
- [9] 黄文辉,沈玉松,吕作勇,等. 地震超快速报系统试运行结果评估[J]. 华南地震,2016,36(4):1-7.