

基于模糊评价法的甚高频通信台址评价研究

徐亚军, 曾葆鸿, 吴红洪, 高田露

(中国民用航空飞行学院空中交通管理学院, 四川 德阳 618000)

摘要: 对多因素的甚高频通信台站模糊评价模型进行了研究, 并模拟选址的综合评价过程。首先, 阐述了甚高频覆盖范围评价的现实意义。其次, 构建了所需的数据库, 并在此基础上建立了综合考虑居民点距离、区域覆盖率、航路覆盖率、土壤类型等多因素的评价模型。随后, 通过层次分析法对该模型进行优化, 以使其更加合理。最后, 用模糊评价法对西藏地区现有的通信台址进行评价得出结论, 为之后研究通信台站选址提供决策支持。

关键词: 通信覆盖; 甚高频; MATLAB; 模糊评价法; 台址选址模型

中图分类号: TN92; V35 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)02-0187-05

随着疫情政策的放开, 民航事业迎来迅猛发展。伴随着飞行流量的不断增大, 对交通管制部门的要求也日益提高。甚高频(Very High Frequency, VHF)通信系统作为航空器与空中交通管制、通信的重要手段。甚高频通信台站要提供良好的通信质量, 因此, 前期的选址工作至关重要。

VHF 通信台站的选址是综合考虑多种因素的过程。《民用航空导航台建设指导材料》指出, 导航台的选址应需要满足导航设备的工作环境、地方规划、投资规模等因素。南宁区域管制中心 VHF 地空通信建设方案的研究也提到了需另建设新台址时, 建设过程中仍需考虑选站的交通、供电等方面因素是否符合规范要求^[1]。在甚高频领域, 大多数研究都集中在 VHF 的覆盖模型范围上, 而忽略了其他符合规范的因素。

由于民航领域的其他选址研究已经在综合评价法方面取得了进展, 例如基于层次分析法的飞行服务站选址^[2], 但由于甚高频台站有其独特的电磁模型覆盖范围特性, 仅依赖层次分析法是难以全面解决选址问题的。因此采用层次分析法与模糊评价法相结合的隶属度函数方法, 有效地解决了甚高频台站选址的问题。这种综合方法为甚高频台站选址提供了新的评价参考, 并为 VHF 领域的后续研究开辟了新的研究方向。

1 VHF 通信系统

甚高频通信系统是一种无线通信系统, 其工作

频率范围通常为 117.975~137 MHz。由于该频段的电波在大气中的传播特性良好, 可以提供相对较长的通信距离, 广泛应用于航空通信。准确求解出 VHF 通信地面站在各个高度上的覆盖图, 可以为 VHF 台站设备选址决策提供有力的图形和数据支持, 具有重要意义。

计算 VHF 通信地面站覆盖区域时, 传统方法为选定地点进行障碍物高度测量, 再按照规范使用简化公式计算, 代入相关障碍物高数据及目标覆盖高度, 计算求出无线电理论覆盖距离^[3]。VHF 计算公式主要采用以下两种模型。

1.1 视距传播模型

VHF 通信采用的是视距传播, 视距传播是指电磁波在直线传播路径上的传输, 不受地球曲率、地球大气层等因素的影响, 而仅受到传输距离和障碍物的影响的一种传播方式。根据地球的球形及其半径, 一般得出视距传播的距离公式为

$$d = 3.57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (1)$$

式中: h_1 为接收天线的高度, m; h_2 为发射天线的高度, m; d 为视距的传播距离, km。但是由于现实中, 甚高频的传播总要考虑大气折射的影响, 大气折射会使得电磁波的传播轨迹有一定程度上的弯曲, 并且以一定角度凹向地面, 这些影响相当于地球半径增大了 $\frac{4}{3}$ 倍或者视距传播的 1.15 倍, 考虑在该因素下, 系数可以修正为 4.12。因此, 视距传播的极

收稿日期: 2023-10-13

基金项目: 中央高校基本业务费基金项目(ZHMH2022-007); 四川省科技计划重点研发项目(2022YFG0353)

作者简介: 徐亚军(1970—), 女, 四川成都人, 教授, 硕士, 研究方向为通信导航监视; 曾葆鸿(1997—), 男, 海南海口人, 硕士研究生, 研究方向为通信导航监视。

限距离为

$$d = 4.12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (2)$$

1.2 自由空间传输损耗模型

甚高频通信作为一种电磁波通信在空气中传播时会随着传播距离的增大引起能量自然传播的损耗。信号的辐射场强及损耗决定了无线电信号的到达距离,无线电信号经过天线辐射进入自由空间后就会有损耗。而自由空间传输损耗公式为

$$L_{\text{VHF}} = 32.45 + 20\lg f + 20\lg d \quad (3)$$

式中: L_{VHF} 为损耗程度,dB; f 为工作频率,MHz。 d 为作用距离,km^[4]。

从上面公式可以得知,当工作频率一定的时候, d 比较小的时候,自由空间的损耗值相对较大。而当 d 较大时,自由空间的损耗基本为固定值。

2 VHF 通信台站选址的多因素评估

选址中需考虑众多因素。根据民航局标准,主要因素分为技术与成本两大类:技术方面主要包括航线和区域覆盖率;成本方面则涉及土壤类型、交通条件和居民区距离。依托这些因素,构建相应数据库,为模糊评价模型及西藏通信台站的案例分析奠定基础。

2.1 技术评价因素

2.1.1 区域覆盖率

针对我国 VHF 通信布址选址研究的不足,参考与其传播特性相似的雷达和移动基站布站评价指标。借鉴雷达布站的常见评价标准如区域覆盖率、区域双重覆盖率和区域多重覆盖率(三重及以上),为 VHF 通信系统性能评估提供了关键指标参考^[5]。

区域覆盖率:

$$R_{\text{区}} = \frac{S_{\text{单}} + S_{\text{双}} + S_{\text{多}}}{A_{\text{总}}} \quad (4)$$

双重覆盖率:

$$R_{\text{双}} = \frac{S_{\text{双}}}{A_{\text{总}}} \quad (5)$$

多重覆盖率:

$$R_{\text{多}} = \frac{S_{\text{多}}}{A_{\text{总}}} \quad (6)$$

式中: $R_{\text{区}}$ 为单重覆盖率; $R_{\text{双}}$ 为双重覆盖率; $R_{\text{多}}$ 为多重覆盖率(三重及其以上); $S_{\text{单}}$ 为 VHF 通信单重覆盖区域面积; $S_{\text{双}}$ 为 VHF 通信双重覆盖区域面积; $S_{\text{多}}$ 为 VHF 通信三重及其以上覆盖区域的面积; $A_{\text{总}}$ 为管制区域总面积。

将相关数据代入以上三个公式后,得出西藏通信台站的区域覆盖率为 22.76%,区域双重覆盖率为 5.9%,区域多重覆盖率为 2.44%。

2.1.2 航路覆盖率

甚高频通信监视台站主要为航空器服务。因此,在新站址建设中,必须考虑管制区域内的航路覆盖率。为确保评估的全面性和准确性,评价模型引入航路覆盖率、双重航路覆盖率和多重航路覆盖率评估指标。

依据《中国民用航空空中交通管理规则》规定,航路的宽度确定为 20 km。为便于计算,将航路视为一个宽度为 20 km 的矩形区域。基于此,航路覆盖率、双重航路覆盖率及多重航路覆盖率的计算公式如下。

航路覆盖率:

$$L_{\text{路}} = \frac{S_{\text{路单}} + S_{\text{路双}} + S_{\text{路多}}}{T_{\text{总}}} \quad (7)$$

双重航路覆盖率:

$$L_{\text{双}} = \frac{S_{\text{路双}}}{T_{\text{总}}} \quad (8)$$

多重航路覆盖率:

$$L_{\text{多}} = \frac{S_{\text{路多}}}{T_{\text{总}}} \quad (9)$$

式中: $L_{\text{路}}$ 为航路的覆盖率; $L_{\text{双}}$ 为双重航路的覆盖率; $L_{\text{多}}$ 为多重航路的覆盖率,特别是三重或更高层次的覆盖; $S_{\text{路单}}$ 为 VHF 通信单重覆盖航路区域的面积; $S_{\text{路双}}$ 为 VHF 通信双重覆盖航路区域的面积; $S_{\text{路多}}$ 为 VHF 通信在三重或更高层次上覆盖的航路区域面积; $T_{\text{总}}$ 为总的航路区域面积。

将相关数据代入以上三个公式后,得出西藏通信台站的航路覆盖率为 95.54%,航路双重覆盖率为 17.61%,航路多重覆盖率为 13.52%。

2.2 成本评价因素

根据《民用航空通信导航监视台(站)设置选址技术审查办法》,选址遵循的流程为图上预选、实地勘察、现场测量和技术分析。在实地勘察阶段,特别强调了对土壤、交通及周边环境的考察。据此,特定选取土壤类型、交通状况及距最近居民点的距离三项关键成本指标进行评估。

2.2.1 土壤类型

根据相关规章制度,选址工作中必须综合考虑土壤和地质情况,避免选择易发生塌方、滑坡和断层的地区。特别是在地理环境复杂的西藏地区,土壤类型多达几十种,这些土壤的性质直接影响台址建设的成本 and 安全性。基于这些土壤类型,可以制

定更为科学和合理的选址策略。

2.2.2 交通条件

依照《中华人民共和国无线电管理条例》,无线电台(站)的使用者需定期维护,以确保其符合国家标准和管理规定。同时,民航局明确了通信系统的维护周期要求。交通条件在通信台站的建设和维护中占有重要地位,它直接影响初期建设及后期维护的成本。良好的交通在初期建设中可节约成本,并降低后期维护的时间开销。

因此,交通条件关乎维护效率和项目经济性,作为选址评价指标之一。以通信监视台站至最近空管站的通勤时间作为交通便利性指标,利用百度地图开发者平台获取确切的通勤时间数据,据此进行选址决策。如表1所示,可知各个通信台站的通勤时间,从而对它进行评价。

表1 各通信台站到最近维修站的通勤时间

通信监视台站	岗巴通信监视台	林芝机场通信监视台	洛隆通信监视台	曲松通信监视台
通勤时间/min	269.8	12.3	254.7	291.3

2.2.3 居民点距离

在确定通信导航台站的位置时,站点距离居民区的远近是一个主要的决策因素。《民用航空导航台建设指导材料》中强调供电、维护、维修及值班人员生活需求的重视^[6]。这些需求直接与站点距离居民区的关系密切相关。站点靠近居民区有一系列的优点。首先,邻近居民区的位置为台站提供优越的生活基础设施及稳定的水电供应;其次,这样的位置有助于更为有效地满足驻站人员的日常需求。

在日常工作中,甚高频台站对电磁环境的要求极高。如果其位置离居民区太近,有可能受到民用电台或其他电磁设备的干扰。综上,选择适宜的站点位置至关重要,不仅要确保基本的供水供电需求得到满足,同时还要确保台站不受到电磁干扰。

3 模糊评价法

3.1 概述及应用

模糊评价法是基于模糊数学理论的多元决策方法,适用于处理复杂问题中的不确定、不完全或模糊情况,特别是对多指标存在关联的情况非常有效。在模拟导航台站选址评价中,尤其合适。

在通信监视导航台址的选择工作中,包含若干复杂步骤:①分析台(站)的运行需求;②进行电磁环境分析;③分析地理环境;④预选台(站)址的设备信号覆盖分析;⑤分析建站条件(如供电、通信);

⑥进行综合比选^[7]。每个步骤都需要对台站的各种条件进行综合评估,而这些评估往往依赖于专家的主观判断和分析。由于这种对专家主观判断的依赖,模糊评价法十分契合。它可以模拟综合比选过程,有效地处理指标的不确定性、不完全性和模糊性,同时考虑各指标间的相关性。

3.2 构建甚高频站台选址评价指标体系

根据《民用航空通信导航监视台(站)设置选址技术审查办法》,在甚高频通信监视站的选址过程中,必须综合考虑技术、成本和运行需求等多方面的因素。这一过程将生成一系列备选台站,然后通过综合比较,最终确定站址。

依据民航规章要求,研究从技术与成本角度出发,建立一个二级评价指标体系。此外,通过层次分析法并结合领域专家意见,确定各评价指标的权重,使评价体系更为合理,更贴近实际的综合比选需求。评价指标体系如图1所示。

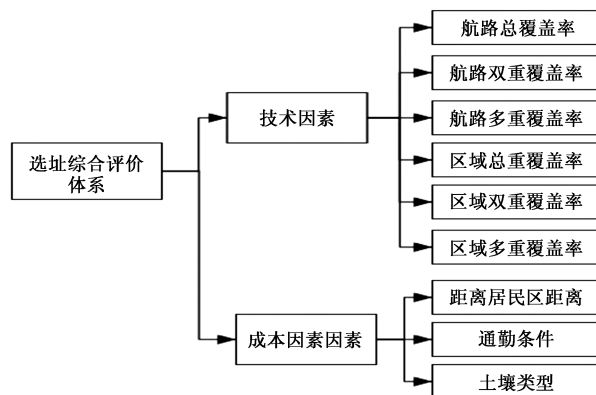


图1 甚高频通信台站选址评价指标体系

3.2.1 层次分析法

为了得到一个科学合理的评价矩阵,将采用层次分析法作为决策支持工具。这一过程包括对15位专家进行问卷调查,以收集他们对不同选址指标重要性的评估。随后,所收集的数据将按照层次分析法的原理进行处理分析,以构建出最终的评价矩阵。具体步骤如下。

第一步:确定问题。弄清楚所要研究的问题,该问题要考虑的因素,并明确各因素之间的关系,从而建立全面的信息体系^[8]。

第二步:构建层次。为了实现客观与合理的评价,研究中选用层次分析法。指标被分为三个层次,最高层次仅有一个元素。即台站选址综合评分;中间层为一级指标,即技术因素、成本因素。而一级指标下面包括二级指标。技术因素下的二级

指标有航路覆盖率、航路双重覆盖率、航路多重覆盖率、区域覆盖率、区域双重覆盖率、区域多重覆盖率。成本因素下的二级指标有交通条件、距离居民点距离、土壤类型^[9]。

第三步:构建判断矩阵。在权重计算及单层次排序过程中,采用了0-10的标度法进行调查问卷设计,进而构建比较矩阵。在此标度中,0代表最低水平,意味着该指标在评价中被完全排除;10代表最高水平,表示该指标在评价中受到高度关注。在评分过程中,收集了15位在通信领域有经验的专家的调查问卷,对收集的问卷调查进行数值提取,然后进行权重计算。

第四步:层次总权重排序:研究根据搜集到的问卷调查数据进行了层次总排序工作,据此计算得到了各评价指标相对于上一层的重要性权重。为了防止个别专家的评价偏差影响到最终的结果,所有专家的评分均要进行均处理。基于综合分析,所计算的权重更能客观地揭示实际情况,不易受到个别评价的过大偏见。通过对问卷数据进行分析,计算得到每个指标的平均权重评分。给定的二级指标权重计算公式如下:

$$C_{ij} = C_i \frac{T_{ij}}{\sum T_{ij}} \quad (10)$$

式中: C_{ij} 为第 i 个一级指标下的第 j 个的二级指标; C_i 为对应的第 i 个一级指标。 T_{ij} 为第 i 个一级指标下的第 j 个二级指标的平均权重评分; $\sum T_{ij}$ 为第 i 个一级指标下的所有二级指标的平均权重评分求和。

例如,目前根据问卷调查可以知道成本因素的权重值 $C_2 = 0.3587$,而成本因素底下对应的二级指标的平均权重评分为土壤类型为6分、距离居民点距离为4.93分、交通条件为6.27分。因此,可以得出交通条件的二级指标的权重值为 $C_{21} = 0.3587 \times \frac{6.27}{6 + 4.93 + 6.27} \approx 0.131$ 。根据该公式可以得出各个二级指标的权重值。如表2和表3所示,可以得知技术因素与成本因素下各个子因素的权重。这为后续的评价工作提供了一个明确和合理的基础。

表2 技术因素下的各个指标的相关权重

技术因素 $C_1 = 0.6413$	航路覆盖率 $C_{11} = 0.1328$
	航路双重覆盖率 $C_{12} = 0.0929$
	航路多重覆盖率 $C_{13} = 0.0828$
	区域覆盖率 $C_{14} = 0.1398$
	区域双重覆盖率 $C_{15} = 0.1102$
	区域多重覆盖率 $C_{16} = 0.0827$

表3 成本因素下的各个指标的相关权重

成本因素 $C_2 = 0.3587$	交通条件 $C_{21} = 0.1252$
	距离居民点距离 $C_{22} = 0.1028$
	土壤类型 $C_{23} = 0.1308$

3.2.2 评价函数设计

鉴于甚高频选址的独特性,为确保评价模型的科学性和准确性,需根据各指标的性质制定相应的评价函数。对于航路覆盖率、航路双重覆盖率、航路多重覆盖率、区域覆盖率等技术指标而言。这些指标越接近百分之百,则选址效果越好。然而,这在现实中不仅在技术上难以实现,而且过高的多重覆盖还会导致资源浪费,增加维护和建设成本。因此,在对这些指标进行评价时,不宜设定过于严格的标准。当这些指标达到国内主要管制区的平均水平时,即可视为达标并予以最高评分。

对于土壤类型的评价指标,考虑到西藏地区土壤类型的多样性,具体的土壤参数需要通过实地考察来确定。基于此,目前仅进行了初步的分类,并将其划分为适宜建设、建设成本较高、建设时安全性可能受限及不宜建设四个类别。这四个类别的评分标准分别是100分、80分、60分和0分。如表4所示,可以很观察到各通信台站的土壤分类,从而进行评价工作。

表4 西藏地区各通信监视台址的土壤类型

通信监视台站	岗巴通信监视台	林芝机场通信监视台	洛隆通信监视台	曲松通信监视台
土壤分类	可以建设但建设成本高	适宜建设	可以建设但建设成本高	可以建设但建设成本高

居民点距离甚高频站台并非越近越好。尽管近距离便于供水、供电和人员需求,但是由于甚高频站台的特殊性,需要远离一些民用广播电台,避免引发不必要的干扰。对于与居民点的距离这一评价指标,通过问卷调查确定一个参考区间。在此区间内,该指标被视为达标并予以最高评分;若超出此区间,评分将按照一定比例递减。

交通条件好坏关系则日常维护的路程时间成本也影响初期站台建设成本。依据城市规划中“一小时通勤圈”的理念,通勤时间小于60 min的交通条件被赋予100分评价。参照国内关于疲劳驾驶的规定,当通勤单程时间超过240 min时,交通条件的评分为0分。对于60~240 min的通勤时间,则采用线性递减的评价函数进行评分。

3.3 实例分析

通过以上操作已构建甚高频模糊评价模型,并采用西藏地区站台指标进行评分。分数分为5个档次,每20分为一档,依次为优秀、良好、合格、差、很差。

根据模型分析的结果如表5和表6所示,将各评分乘以相应的权重即可得出西藏甚高频通信台站组的评估得分为52分,即为合格档。此结果指出该台站组在进一步的优化和提高方面仍有潜在空间。主要体现在区域覆盖率不足方面,也侧面反映西藏地区建设新台站的迫切需要,为之后的工作奠定实验基础。

表5 技术因素下各指标的评分

指标	评分
区域覆盖率	22.9
区域双重覆盖率	10.3
区域多重覆盖率	14
航路覆盖率	99.7
航路双重覆盖率	35.6
航路多重覆盖率	49.89

表6 成本因素下各指标的评分

指标	评分
交通条件	74.3
土壤条件	85
距离居民点距离	83

4 结论

从成本和技术考量出发,模型引入了多个次级指标。针对每一指标,已设计相应的评估函数,从而构建甚高频通信站点选址的模糊评估模型。然后根据专家问卷调查的打分情况,进行层次分析法,对每个二级指标赋予不一样的权重,使得后面评价过程更加专业合理。最后,代入西藏地区通信台站组的指标数据进行评价得出结论。

(1)在综合评分中,航路覆盖率得分较高。这表明西藏地区现有的甚高频覆盖在满足航路需求方面表现良好。

(2)反观区域覆盖率的较低评分,显示西藏地区在某些区域内仍然存在不少通信盲区。反映未来西藏地区建址需求。

(3)交通条件的低评分反映出西藏地区在交通便利性方面存在明显的不足。由于自然地理条件限制,给日常维修带来挑战。

这些综合评分和分析结果为未来西藏地区通信台站的建址提供了重要的决策支持。它们不仅揭示了现有通信网络覆盖的优势,也指出了需要改进的关键区域。

参考文献

- [1] 杨奕堂. 南宁区域管制中心 VHF 地空通信建设方案研究[J]. 电子质量, 2022(11): 91-93.
- [2] 方策, 冯晓磊. 基于层次分析法的飞行服务站选址[J]. 中国科技信息, 2022(08): 38-40.
- [3] 冯克涛, 李晓毅, 曲晨等. 基于 DEM 的民航地空 VHF 通信有效覆盖仿真研究[J]. 系统工程与电子技术, 2022, 44(2): 684-695.
- [4] 欧阳杰. 民航 VHF 地空通信传播距离研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2020, 32(24): 168-169.
- [5] 李彪. 基于遗传粒子群组合算法的 ADS-B 地面站选址分析及仿真[D]. 天津: 中国民航大学, 2017.
- [6] 徐光. 新建民用运输机场选址阶段飞行程序设计工作研究[J]. 民航管理, 2017(3): 30-31.
- [7] 林立孚. 民航空管工程项目管理模式探讨[J]. 科技创新报, 2017, 14(32): 155-156.
- [8] 孙斯. C 商业银行营业网点选址决策优化研究[D]. 广州: 广东财经大学, 2017.
- [9] 陈衍含. X 连锁咖啡商场门店选址评价研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2021.

Research on Evaluation of VHF Communication Station Site Based on Fuzzy Evaluation Method

XU Yajun, ZENG Baohong, WU Honghong, GAO Tianlu

(Civil Aviation Flight University of China, Deyang 618000, Sichuan, China)

Abstract: The study focuses on a comprehensive evaluation model for very high-frequency (VHF) communication stations considering multiple factors and simulating the site selection process. Firstly, the practical significance of evaluating VHF coverage range was elucidated. Secondly, the necessary database was constructed and an evaluation model that takes into account various factors such as distance from residential areas, regional coverage rate, flight route coverage, soil type, and more was established. Subsequently, the model was optimized using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to enhance its rationality. Finally, fuzzy evaluation was employed to assess existing communication station locations in the Tibet region, providing decision support for future communication station site selection. This research offers valuable insights into the evaluation and optimization of VHF communication station placement, contributing to informed decision-making in the field.

Keywords: communication coverage; VHF; MATLAB; fuzzy evaluation method; site selection mode