

文章编号:1007-6069(2018)01-0152-14

山地小城市抗震避灾空间结构 评价体系研究—以昆明市东川区为例

曾德强, 王培茗, 陈宣先, 方 硕

(云南大学 建筑与规划学院, 昆明 650504)

摘 要:通过查阅文献和相关规范遴选出避灾空间结构的相关评价指标,运用李克特量表法、层次分析法等方法构建了山地小城市抗震避灾空间结构评价体系,结合 GIS 软件空间分析,以地震灾害较为典型的昆明市东川区为实例进行评价研究,研究发现其避灾空间存在以下问题:尽管容灾总量满足城市避灾总需求,但存在分布不均衡、重复服务覆盖率高,导致服务无法全覆盖;避灾空间选址未与地质和次生灾害易发区保持一定安全隔离距离;内部布局、建设方式未考虑到多功能属性(自身、景观、避灾、安全)相关规范要求;不同区域避灾空间与避灾需求点、医疗等设施联系便捷性参差不齐;未划定避灾空间类型,只重视固定避灾空间布局和指引标识建设,忽视紧急避灾空间建设。

关键词:避灾空间;评价;层次分析法;山地小城市;东川区

中图分类号:TU984

文献标志码:A

Research on the evaluation system of urban earthquake disaster avoidance space structure-taking dongchuan of Kunming for example

ZENG Deqiang, WANG Peiming, CHENG Xuanxian, FANG Shuo

(School Architecture and Urban Planning, Yunnan University, Kunming 650504, China)

Abstract: By referring to literature and relevant codes, the relevant evaluation indexes of the structure of disaster avoidance space were selected, using the likert scale method, seismic methods such as analytic hierarchy process (AHP) to construct the evaluation system of urban earthquake disaster avoidance space structure, combining GIS software space analysis, and then take Dongchuan City as the research object, which is a typical area of earthquake disaster. the study found that the space around the following problems: although total disaster city around the total demand, but there is uneven distribution, high repeat service coverage, all service can't cover; The location of the disaster zone is not in a safe distance from the geological and secondary disasters. The internal layout and construction methods fail to take into account the requirements of the multi-function attribute; Different regions avoid disaster space and avoid disaster demand points, medical facilities and other facilities. The space type of avoiding disaster is not delimited, only the space layout and the guide sign of the fixed disaster prevention space should be paid attention to, and the construction of emergency shelter space should be neglected.

Key words: Disaster Avoidance Space; Evaluation; Analytic Hierarchy Process; Small Mountainous cities; Dongchuan district

收稿日期:2017-02-16; 修订日期:2017-03-13

基金项目:国家自然科学基金项目(地区项目,项目批准号:41361092)

作者简介:曾德强(1988-),男,硕士研究生,从事城市与区域规划和防灾减灾研究. E-mail:627847513@qq.com

通讯作者:王培茗(1966-),女,教授,主要从事城市与区域规划和防灾减灾研究. E-mail:492887860@qq.com

引言

近年来,城市灾害频发,地震灾害已成为我国危害最大和分布最广的城市灾害类型。我国是一个以山地为主的国家,山地城镇数量约占全国总数的 50%,山地区域地质结构多样复杂,往往是自然灾害多发的区域,而且山地城市本身建设用地的普遍不足,避灾空间布局往往见缝插针建设,很难与城市实际人口分布吻合。

针对城市避灾空间体系的评价,日本^[1]及美国^[2]对其较为完善,但大多以定性为主。国内定量研究较为丰富,主要对单或多个固定避灾空间评价,从自身安全性、适宜性、可达性、应急能力中的一方面或多方面构建评价指标体系,由于选取评价指标具有特定性,评价结果只反映部分问题,且未能把紧急和固定避灾空间作为一个体系进行综合全面评价研究。避灾空间是城市灾时的应急生命保障线,综合全面评价是城市避灾空间体系合理化的前提,构建一套针对山地城市的综合全面避灾空间结构评价体系显得尤为必要和紧迫,基于评价结果得出山地城市避灾空间结构存在的问题,进而提出解决策略来提高山地城市抵御灾害的能力。

1 山地小城市抗震避灾空间结构评价体系的构建

1.1 评价指标的提取及筛选

根据国内外避灾空间相关评价文献梳理以及参考《城市抗震防灾规划标准》(GB 50413 - 2007)^[3]、《地震应急避难场所:场址及配套设施》(GB21734 - 2008)^[4]及中华人民共和国消防条例,结合研究对象,主要从避灾空间自身有效性、可达性、安全性和国家标准规范的要求等方面总结了山地小城市抗震紧急避灾空间 15 项评价指标和固定避灾空间 16 项评价指标(见表 1)。

表 1 紧急/固定避灾空间评价指标项一览表

Table 1 List of emergency and fixed disaster avoidance space evaluation indicators

紧急避灾空间评价指标项	平均值	标准差	固定避灾空间评价指标项	平均值	标准差
紧急避灾空间的最邻近指数	2.12	0.846	固定避灾空间的最邻近指数	2.12	0.846
距中心避灾空间的平均距离	2.15	0.732	距中心避灾空间的平均距离	2.15	0.732
最邻近紧急避灾空间平均距离	2.22	0.715	最邻近固定避灾空间平均距离	2.22	0.715
避灾需求点与最近紧急避灾空间之间可达性	4.27	0.516	避灾需求点与最近固定避灾空间之间可达性	4.28	0.524
紧急避灾空间与最近固定避灾空间之间可达性	4.17	0.642	固定避灾空间之间可达性	4.15	0.633
紧急避灾空间与最近医疗救灾设施之间可达性	4.20	0.576	固定避灾空间与医疗救灾设施之间可达性	4.20	0.576
紧急避灾空间连接道路的有效性所占的比例	4.12	0.585	固定避灾空间连接道路的有效性所占的比例	4.07	0.548
紧急避灾空间内部容灾面积总有效率	4.20	0.659	固定避灾空间内部容灾面积总有效率	4.15	0.633
紧急避灾空间服务总覆盖率	4.47	0.503	固定避灾空间服务总覆盖率	4.47	0.503
紧急避灾空间数量服务总有效利用率	4.32	0.567	固定避灾空间数量服务总有效率	4.32	0.567
紧急避灾空间总重复利用率	3.88	0.640	固定避灾空间总重复服务覆盖率	3.97	0.663
紧急避灾空间服务人口配置缺口	4.23	0.563	固定避灾空间服务人口总配置缺口	4.23	0.563
人均可达紧急避灾空间服务面积	4.43	0.497	人均可达固定避灾空间服务面积	4.43	0.500
与地质隐患地段保持安全距离的紧急避灾空间所占比例	4.78	0.415	与地质隐患地段保持安全距离的固定避灾空间所占比例	4.82	0.390
与重大危险源保持安全距离的紧急避灾空间所占比例	4.68	0.469	与重大危险源保持安全距离的固定避灾空间所占比例	4.72	0.454
			固定避灾空间内坡度低于 12% 的地块所占比例	4.30	0.619

根据李克特量表5级分类:非常不同意(1分)、不同意(2分)、一般(3分)、同意(4分)和非常同意(5分)做成评价指标选取问卷调查表对上述总结的15项紧急评价指标和16项固定评价指标进行筛选,研究共发放80份专家问卷,回收60份,有效份数60份(专家基本情况见表2)。对收集的专家问卷调查表进行汇总统计,再对各评价指标项的均值与标准差的进行描述性统计分析,我们发现,在紧急避灾空间的15项评价指标中,“紧急避灾空间的最邻近指数”、“距中心避灾空间的平均距离”和“最邻近紧急避灾空间平均距离”这3项指标的专家评价均值都低于2.4,根据选取标准(见表3),因此将其删除,剩余12个指标。同理删除了“固定避灾空间的最邻近指数、距中心避灾空间的平均距离和最邻近固定避灾空间平均距离”这3个指标,剩余13个指标。

表2 指标选取问卷专家详情一览表

Table 2 List of indicators selection questionnaire expert details

专家类型	入选因素	地域分布	专业研究方向
规划设计研究院工程师及以上职称	在一线防灾规划实战经验	西部地区	城市规划
建筑设计研究院工程师及以上职称	有房屋抗震加固实战经验	西部地区	工程结构
高校副教授职称及以上	有防灾减灾相关研究经验	全国	防灾减灾
高校硕士研究生及以上学历	有防灾减灾相关研究经验	全国	防灾减灾

1.2 指标因素分析

对筛选之后的指标进行KMO测度和Bartlett球形检验,只有KMO值在0.6以上时,各评价指标项之间才适合进行因素分析,根据KMO测度和Bartlett球形检验结果(见表4),确定其适合进行因素分析。

表3 李克特量表5级分类数据选取标准一览表

Table 3 List of criteria for classification data of 5-level likert scale

均值分类区间	选取标准
1~2.4	反对
2.5~3.4	中立
3.5~5	赞同

表4 紧急和固定避灾空间评价指标项KMO和Bartlett的检验

Table 4 Evaluation indexes of emergency and fixed disaster prevention space KMO and Bartlett test

		评价指标项(紧急)	评价指标项(固定)
取样足够度的 Kaiser - Meyer - Olkin 度量		0.812	0.811
	近似卡方分布	390.799	403.233
Bartlett 的球形度检验	自由度	66	78
	显著性	0.000	0.000

然后采用主成分分析法提取紧急避灾空间布局评价指标的共同因子,因SPSS内设定是根据特征值大于1以上的作为主成分保留的标准,紧急避灾空间评价指标项抽取结果中特征值大于1共有3个,因此紧急避灾空间评价指标项都被归为3个共同因子;考虑到紧急评价指标之间都有相关存在,就采用斜交旋转法;确定共同因子1包括:紧急避灾空间分别与避灾需求点性、最近固定避灾空间、最近医疗救灾设施之间可达性以及紧急避灾空间连接道路的有效率等4项评价指标;共同因子2包括:紧急避灾空间的有效面积服务率、有效面积服务覆盖率、数量服务有效利用率、总重复利用率、服务人口配置缺口以及人均可达紧急避灾空间服务面积等6项评价指标;共同因子3包括:紧急避灾空间分别与地质隐患地段、重大危险源保持安全距离所占比例2项评价指标。同理确定的固定避灾空间有3个共同因子,因子1包括固定避灾空间分别与避灾需求点与固定避灾空间、最近医疗救灾设施等之间可达性、固定避灾空间连接道路的有效率等4项评价指标;因子2包括固定避灾空间的有效面积服务率、有效面积服务覆盖率、数量服务有效利用率、总重复利用率、服务人口总配置缺口以及人均可达固定避灾空间服务面积等6项评价指标;因子3包括固定避灾空间分别与地质隐患地段和重大危险源保持安全距离所占比例以及固定避灾空间内坡度低于12%的地块所占比例3项评价指标。

确定共同因子以后,以Cronbach α 系数对12项紧急避灾空间和13项固定避灾空间的评价指标项进行信度测量,Cronbach α 系数大于0.6即表明指标具有良好的信度,根据测量结果表明:紧急和固定避灾指标

均具有较好的信度(结果见表 5)。

表 5 紧急和固定避灾空间评价指标项信度统计量

Table 5 Reliability statistics of emergency and fixed disaster avoidance space indicators

	Cronbach's Alpha 值	以标准化项目为准的 Cronbach's Alpha	项目的个数
紧急避灾空间评价指标项	0.867	0.691	12
固定避灾空间评价指标项	0.859	0.678	13

再对紧急避灾布局空间评价指标项共同因子进行解释和命名。共同因子 1 的指标都涉及到避灾空间分布的关联方面,将其共同因子命名为紧急避灾空间分布的关联强度;共同因子 2 的指标都涉及到评价避灾空间是否满足避灾需求人口的要求,主要是体现在避灾空间服务方面,将其共同因子命名为紧急避灾空间分布的服务强度;共同因子 3 的指标都涉及到避灾空间分布的安全方面,因此将其共同因子命名为紧急避灾空间分布的安全强度。固定避灾空间评价指标项的共同因子命名与紧急避灾空间同理。

1.3 层次结构模型的建立

分别将初步拟定的紧急和固定避灾空间结构评价因子构建做成 AHP 专家问卷形式发给相关专业的专家,AHP 专家问卷目的主要对评价因子进行修订和确定评价因子的权重,其中发出 AHP 专家问卷调查 35 份,收回专家问卷 28 份,有效的问卷 21 份;根据专家的反馈修改意见,固定避灾空间有效容灾面积有效率已经包含了坡度低于 12% 地块的这个指标因素,因此删除固定避灾空间内坡度低于 12% 的地块所占比例评价指标,同时应增加对固定避灾内部应急设施的评价,因而增加固定避灾空间内部应急设施数量总有效利用率评价指标;最后,根据修订评价因子构建山地小城市抗震紧急避灾空间布局评价的层次结构模型^[5],如图 1 所示。同理可得固定避灾空间评价的层次结构模型,如图 2 所示。

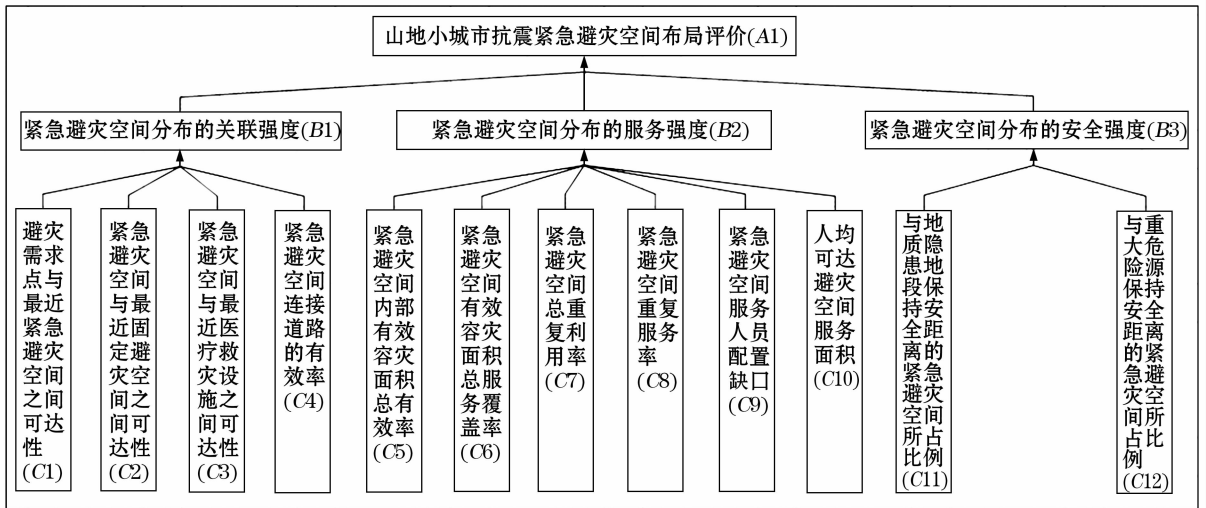


图 1 山地小城市抗震紧急避灾空间布局评价的层次结构模型

Fig. 1 Hierarchical structure model of urban earthquake emergency disaster avoidance space layout evaluation

1.4 指标的权重及评估准则评分

通过 AHP 专家问卷调查,对评价指标之间相对重要程度进行两两比较,基于比较的数据构造专家判断矩阵;再进行层次单排序(对于上一层准则层而言,本准则层中各因子层的重要性排序)及相应的判断矩阵一致性检验($CRK1 < 0.1$);再进行层次总排序(所有因子层对于目标层相对重要性的排序权值过程)及相应的判断矩阵一致性检验($CRK2 < 0.1$);基于各个专家的判断矩阵,确定各个专家对各个评价指标的权重,最后进行群组权重综合,得出紧急避灾空间各项指标的相对权重值与绝对权重值^[6]。再对各个评价因子评价标准进行细化分析,总结出的评价标准按照 4 等平均划分,确定各项评价因子相应的评估准则,最后做成专家打分问卷形式并继续对群组专家发出打分问卷调查,以取得各个专家对评价因子各个评估准则的评分,其中专家打分问卷调查共发出 30 份,收回 20 份。再对群组专家的各项评价因子评分进行综合加权平均,得出紧急避灾空间的评分细则,结果见表 6。同理可得固定避灾空间指标的权重和评分细则,见表 7。

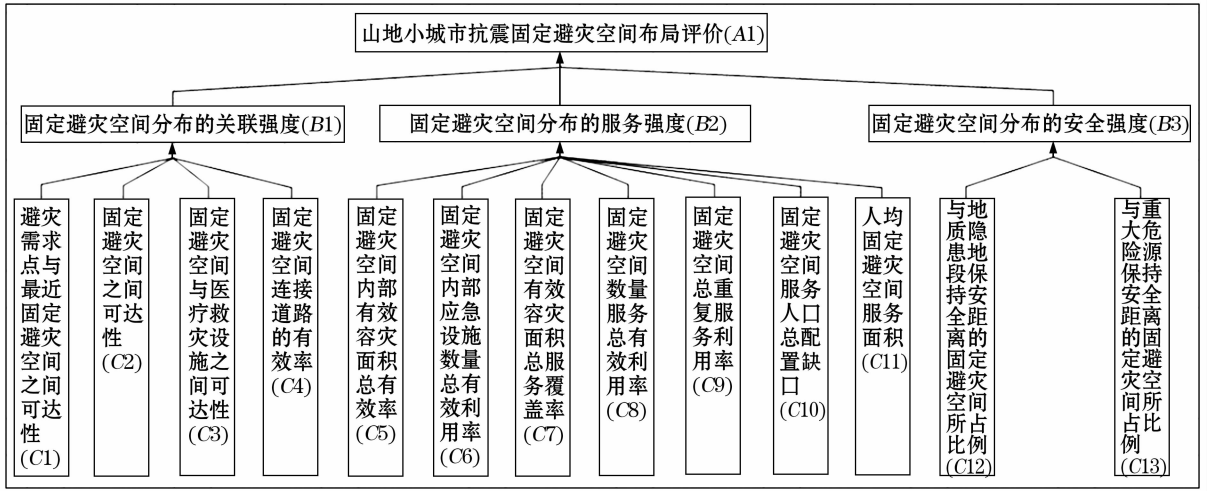


图2 山地小城市抗震固定避灾空间布局评价的层次结构模型

Fig. 2 Hierarchical structure model of urban earthquake fixed disaster avoidance space layout evaluation

表6 紧急避灾空间布局评价中各项评价因子权重、评价细则及其评分标准一览表

Table 6 Evaluation factor weights, evaluation rules and scoring criteria of emergency shelter space layout evaluation

准则层(权重值)	因子层(权重值)	评价细则	评分
关联强度 (0.2709)	避灾需求点与最近紧急避灾空间之间可达性(0.1272)	平均步行时间 0 ~ 5min	10
		平均步行时间 5 ~ 10min	8
		平均步行时间 10 ~ 20min	6
		平均步行时间 20min 以上	4
	紧急避灾空间与最近固定避灾空间之间可达性(0.0257)	平均步行时间 0 ~ 10min	10
		平均步行时间 10 ~ 20min	8
		平均步行时间 20 ~ 30min	6
		平均步行时间 30min 以上	4
	紧急避灾空间与最近医疗救灾设施之间可达性(0.0634)	平均车行时间 0 ~ 2.5min	10
		平均车行时间 2.5 ~ 5min	8
		平均车行时间 5 ~ 7.5min	5
		平均时间 7.5min 以上	3
	紧急避灾空间连接道路的有效性所占比例(0.0546)	90% ~ 100%	10
		70% ~ 90%	8
		50% ~ 70%	6
		50% 以下	4
服务强度 (0.3066)	紧急避灾空间内部容灾面积总有效率(0.0483)	80% 以上	10
		60% ~ 80%	8
		40% ~ 60%	5
		40% 以下	3
	紧急避灾空间总服务覆盖率(0.0785)	90% ~ 100%	10
		70% ~ 90%	8
		50% ~ 70%	6
		50% 以下	3
	紧急避灾空间服务数量总有效利用率(0.0607)	90% ~ 100%	10
		70% ~ 90%	8
		50% ~ 70%	6
		50% 以下	4

表 6 紧急避灾空间布局评价中各项评价因子权重、评价细则及其评分标准一览表(续表)

Table 6 Evaluation factor weights, evaluation rules and scoring criteria of emergency shelter space layout evaluation

服务强度 (0.306 6)	紧急避灾空间总重复服务 覆盖率(0.021 8)	10% 以下	10
		10% ~ 30%	8
		30% ~ 50%	6
		50% 以上	3
	紧急避灾空间服务人口 总配置缺口(0.043 4)	配置缺口人数 1 000 以下	10
		配置缺口人数 1 001 ~ 2 000	8
		配置缺口人数 2 001 ~ 5 000	5
		配置缺口人数 5 000 以上	3
	人均紧急避灾空间服务面积 (0.053 8)	1 m ² 有效避灾面积以上	10
		0.6 ~ 1 m ² 有效避灾面积	8
		0.4 ~ 0.6 m ² 有效避灾面积	6
		0.4 m ² 有效避灾面积以下	4
安全强度(0.422 5)	与地质隐患地段保持安全距离的 紧急避灾空间所占比例(0.232 1)	90% ~ 100%	10
		70% ~ 90%	8
		50% ~ 70%	6
		50% 以下	3
	与重大危险源保持安全距离的 紧急避灾空间所占比例(0.190 4)	90% ~ 100%	10
		70% ~ 90%	8
		50% ~ 70%	6
		50% 以下	3

表 7 固定避灾空间布局评价各项评价因子权重、评价细则及其评分标准一览表

Table 7 Evaluation factor weights, evaluation rules and scoring criteria in the evaluation of fixed disaster avoidance space layout

准则层(权重)	因子层(权重)	评价细则	评分
关联强度 (0.270 9)	避灾需求点与最近固定避灾空间 之间可达性(0.127 2)	平均步行时间 0 ~ 30min	10
		平均步行时间 30 ~ 45min	8
		平均步行时间 45 ~ 60min	6
		平均步行时间 60min 以上	4
	固定避灾空间之间可达性(0.025 7)	平均步行时间 0 ~ 30min	10
		平均步行时间 30 ~ 45min	8
		平均步行时间 45 ~ 60min	6
		平均步行时间 60min 以上	4
	固定避灾空间与医疗救灾设施 之间可达性(0.063 4)	平均车行时间 0 ~ 5min	10
		平均车行时间 5 ~ 10min	8
		平均车行时间 10 ~ 20min	5
		平均时间 20min 以上	3
	固定避灾空间连接道路 的有效性所占比例(0.054 6)	90% ~ 100%	10
		70% ~ 90%	8
		50% ~ 70%	6
		50% 以下	4

表7 固定避灾空间布局评价各项评价因子权重、评价细则及其评分标准一览表(续表)

Table 7 Evaluation factor weights, evaluation rules and scoring criteria in the evaluation of fixed disaster avoidance space layout

服务强度 (0.3066)	固定避灾空间内部容灾 面积总有效率(0.0434)	80%以上10	
		60%~80%	8
		40%~60%	5
		40%以下	3
	固定避灾空间内部应急设施数量 总有效利用率(0.0418)	90%~100%	10
		70%~90%	8
		50%~70%	6
		50%以下	4
	固定避灾空间总服务覆盖率(0.0673)	90%~100%	10
		70%~90%	8
		50%~70%	6
		50%以下	3
	固定避灾空间数量服务总有效 利用率(0.0481)	90%~100%	10
		70%~90%	8
		50%~70%	6
		50%以下	4
固定避灾空间总重复服务 覆盖率(0.0187)	10%以下	10	
	10%~30%	8	
	30%~50%	6	
	50%以上	3	
固定避灾空间服务人口总配置缺口(0.0372)	配置缺口人数1000以下	10	
	配置缺口人数1001~2000	8	
	配置缺口人数2001~5000	5	
	配置缺口人数5000以上	3	
人均固定避灾空间服务面积(0.0501)	2 m ² 有效避灾面积以上	10	
	1~2 m ² 有效避灾面积	8	
	0.5~1 m ² 有效避灾面积	6	
	0.5 m ² 有效避灾面积以下	4	
安全强度 (0.4225)	与地质隐患地段保持安全距离的固定 避灾空间所占比例(0.2321)	90%~100%	10
		70%~90%	8
		50%~70%	6
		50%以下	3
	与重大危险源保持安全距离的固定避灾 空间所占比例(0.1904)	90%~100%	10
		70%~90%	8
		50%~70%	6
		50%以下	3

1.5 山地小城市抗震避灾空间结构评价计算公式及评价等级与标准

(1) 紧急或固定避灾空间布局评价体系总得分的计算公式

$$W_1 = \sum J_n D_n \quad (1)$$

$$W_2 = \sum J_m D_m \quad (2)$$

式中: J_n 表示紧急避灾空间布局评价指标对应权重; D_n 表示紧急避灾空间指标所得相应分值; J_m 表示固定避灾空间布局评价指标对应权重; D_m 表示固定避灾空间指标所得相应分值。

(2) 山地小城市抗震避灾空间结构评价体系的评价等级与标准

紧急和固定避灾空间体系所呈现的功能作用反映在地震发生后不同时间阶段,对城市来说一样至关重要,因此紧急和固定避灾空间两者在避灾空间结构评价中同等重要,比重各为 50%。山地小城市抗震避灾空间结构评价得分 W 的计算公式:

$$W = 50\% \cdot W_1 + 50\% \cdot W_2 \tag{3}$$

结合实际,对避灾空间结构的评价等级划分为 4 个等级,定出相应的等级的评价分数,并提出相应评价结果的应提供相应的建议。

2 东川区避灾空间布局的评价

2.1 研究区范围界定及数据来源

研究范围与东川区总体规划(2007 - 2020)中心城区规划范围线一致。基于收资资料和现状实地调研,构建东川区城区避灾空间、人口、现状道路、医疗设施、地震断裂带和泥石流和重大危险源分布等 GIS 数据库,如图 3 所示。

研究区地势呈东高西低;集义路以北的区域为待建区,集义路以南和石羊东路以北的区域为老城区,石羊东路以南的区域为新建区,北部新建区道路建设不完善,主要是联系村庄道路,与老城区相联系只能通过唯一的凯盛北路;老城区道路建设完善,南部新建区道路相对完善,但东西向道路建设较少;紧急和固定避灾空间以及医疗救灾设施主要集中分布在老城区和南部新建区,北部新建区分布较少。

表 8 山地小城市抗震避灾空间结构评价等级与标准
Table 8 Evaluation level and standard of urban earthquake disaster avoidance space structure in small mountain cities

评分等级划分	评价标准	避灾空间结构评价价值	建议
A	优秀	$9 \leq W < 10$	保持
B	良好	$7 \leq W < 9$	适当加强
C	一般	$6 \leq W < 7$	加强
D	较差	$W < 6$	急需加强

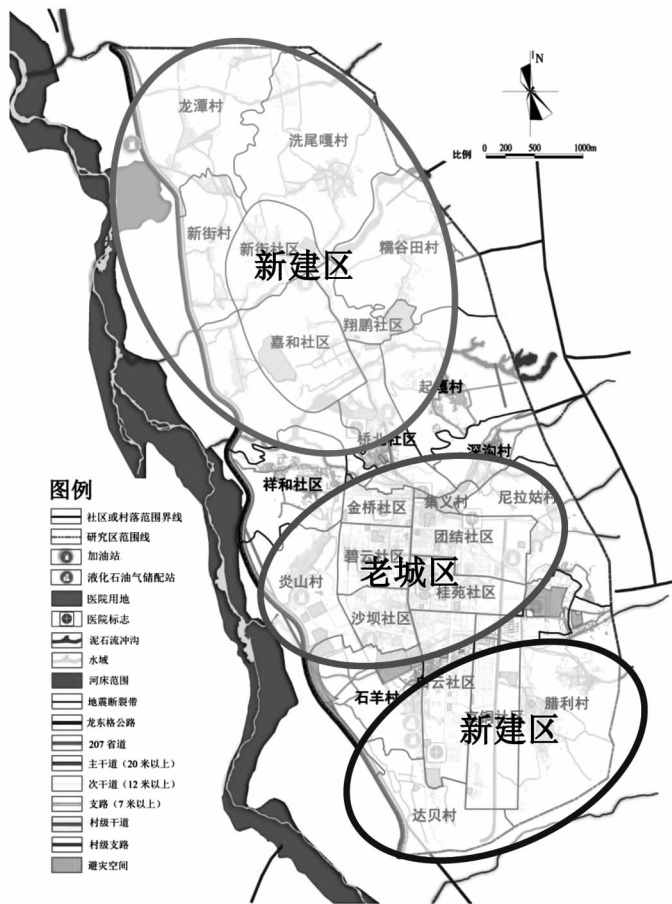


图 3 东川区城区研究区范围图

Fig. 3 Scope of study area of Dongchuan district

2.2 东川区避灾空间布局评价

紧急/固定避灾空间分布关联强度、服务强度和安全强度的具体运算公式和原理详见表9。

表9 东川区抗震避灾空间布局评价运算一览表

Table 9 List of evaluation operations of urban earthquake disaster avoidance space

类型	指标	运算模型	模型内涵
关联强度	避灾需求点与最近紧急避灾空间之间可达性	$A_i = C_{ij}$ $A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i)$	基于最近设施点(路径)可达性评价模型: A_i 网络内节点 i 的可达性; A 网络内各个节点到其最近设施点可达性的平均值; C_{ij} 节点 i 到其最近设施点 j 的步行(车行)时间(路径)
	紧急避灾空间与最近固定避灾空间之间可达性		
	紧急避灾空间与最近医疗救灾设施之间可达性		
	避灾需求点与最近固定避灾空间之间可达性	$B_i = d_{ij}$ $B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (B_i)$	基于最小阻抗的可达性评价模型 : B_i 网络内节点 i 的可达性; d_{ij} 节点 i, j 间的最小阻抗; B 整个交通网络的可达性,即网络内各个节点可达性的平均值
	固定避灾空间与最近固定避灾空间之间可达性		
	固定避灾空间与最近医疗救灾设施之间可达性		
紧急/固定避灾空间连接道路的有效率	$C_4 = \frac{\sum SD}{\sum D} \times 100\%$	C_4 为避灾空间连接道路有效率, $\sum SD$ 为满足连接道路的有效性的避灾空间之和, $\sum D$ 为避灾空间总数目	
服务强度	紧急/固定避灾空间内部有效容灾面积总有效率	$C_5 = \frac{\sum SE}{\sum E} \times 100\%$	C_5 为避灾空间内部有效容灾面积有效率, $\sum SE$ 为各个避灾空间有效容灾面积之和, $\sum E$ 为各个避灾空间的总占地面积
	紧急/固定避灾空间有效容灾面积总服务覆盖率	$C_6 = \frac{\sum SF}{\sum F} \times 100\%$	C_6 为避灾空间有效容灾面积总服务覆盖率, $\sum SF$ 为各个避灾空间有效容灾面积服务覆盖范围之和(不包括重复覆盖面积), $\sum F$ 为研究区范围线内用地面积
	紧急/固定避灾空间数量服务有效利用率	$C_7 = \frac{\sum SG}{\sum G} \times 100\%$	C_7 为有效的避灾空间数目, $\sum SG$ 为各个有效的避灾空间数目之和, $\sum G$ 为避灾空间总数目
	紧急/固定避灾空间总重复利用率	$C_8 = \frac{\sum SH}{\sum H} \times 100\%$	C_8 为避灾空间总重复服务利用率, $\sum SH$ 为各个避灾空间重复利用面积之和, $\sum H$ 为各个避灾空间有效服务面积
	紧急/固定避灾空间服务人口配置缺口	$C_9 = \sum SI - \sum SJ$	C_9 为避灾空间服务人口总配置缺口, $\sum SI$ 为研究区需避灾空间的服务人数, $\sum SJ$ 为各个避灾空间有效服务避灾需求的人数之和(不包括:重复服务人口)
	人均紧急/固定避灾空间服务面积	$C_{10} = \frac{\sum SK}{\sum L} \times 100\%$	C_{10} 为人均避灾空间服务面积, $\sum SK$ 为各个紧急避灾空间有效容灾面积之和, $\sum L$ 为各个紧急避灾空间有效服务避灾需求的人数之和
	固定避灾空间内部应急设施数量总有效利用率	$C_{13} = \frac{\sum SR}{\sum G} \times 100\%$	C_{13} 为固定避灾空间内部应急设施数量总有效利用率, $\sum SR$ 为固定避灾空间内部应急设施有效数目之和, $\sum G$ 为固定避灾空间总数目
安全强度	与地质隐患地段保持安全距离的紧急/固定避灾空间所占比例	$C_{11} = \frac{\sum SM}{\sum SN} \times 100\%$	C_{11} 为与地质隐患地段保持安全距离的避灾空间所占比例, $\sum SM$ 为与地质隐患地段保持安全距离的各个避灾空间有效容灾面积之和, $\sum SN$ 为各个避灾空间占地面积之和
	与重大危险源保持安全距离的紧急/固定避灾空间所占比例	$C_{12} = \frac{\sum SP}{\sum SQ} \times 100\%$	C_{12} 为与重大危险源保持安全距离的避灾空间所占比例, $\sum SP$ 为与重大危险源保持安全距离的各个避灾空间有效容灾面积之和, $\sum SQ$ 为各个避灾空间占地面积之和

根据表 8 分别运算出东川区抗震紧急/固定避灾空间布局评价中各个评价指标项数据,再前面的评分准则确定其相应得分,结果见表 10 和表 11。

表 10 东川区紧急避灾空间各项评价指标数据和得分统计表

Table 10 The evaluation index data and score statistics of emergency disaster avoidance space

评价指标	指标数据	标准得分
避灾需求点与最近紧急避灾空间之间可达性	5.25 分钟	8
紧急避灾空间与最近固定避灾空间之间可达性	10.8 分钟	8
紧急避灾空间与最近医疗救灾设施之间可达性	3.18 分钟	10
紧急避灾空间连接道路的有效性所占比例	100%	10
紧急避灾空间内部容灾面积总有效率	53.6%	5
紧急避灾空间数量服务总有效利用率	100%	10
紧急避灾空间总服务覆盖率	29.6%	3
紧急避灾空间总重复服务覆盖率	66.7%	3
紧急避灾空间服务人口总配置缺口	52138	3
人均紧急避灾空间服务面积	4.43	10
与地质隐患地段保持安全距离的紧急避灾空间所占比例	50%	6
与重大危险源(保持安全距离的紧急避灾空间所占比例	66.1%	6

表 11 东川区固定避灾空间各项评价指标数据和得分统计表

Table 11 The evaluation index data and score statistics of fixed disaster avoidance space

评价指标	指标数据	标准得分
避灾需求点与最近固定避灾空间之间可达性	14.1 分钟	10
固定避灾空间之间可达性	49.8 分钟	6
固定避灾空间与医疗救灾设施之间可达性	9.78 分钟	8
固定避灾空间连接道路的有效性所占比例	75%	8
固定避灾空间内部有效容灾面积总有效率	49.5%	5
固定避灾空间内部应急设施数量总有效利用率	50%	6
固定避灾空间数量服务总有效利用率	100%	10
固定避灾空间总服务覆盖率	79.3%	6
固定避灾空间总重复服务覆盖率	86.4%	3
固定避灾空间服务人口总配置缺口	3622	5
人均固定避灾空间服务面积	8	10
与地质隐患地段保持安全距离的固定避灾空间所占比例	46.8%	3
与重大危险源保持安全距离的固定避灾空间所占比例	67.5%	6

根据紧急/固定避灾空间指标权重和表 9、表 10 的得分,利用公式(1)计算出东川区抗震紧急避灾空间布局评价体系总得分为 6.76 分;利用公式(2)计算出东川区抗震固定避灾空间布局评价体系总得分为 6.3 分;利用公式(3)计算出东川区抗震避灾空间结构评价体系总得分为 6.53 分。

将以上数据结合 GIS 技术进行可视化运算,得出东川区紧急避灾空间评价可视化结果,如图 3 - 图 5 所示。

基于 GIS 的东川区固定避灾空间评价可视化结果,如图 6 - 图 9 所示。

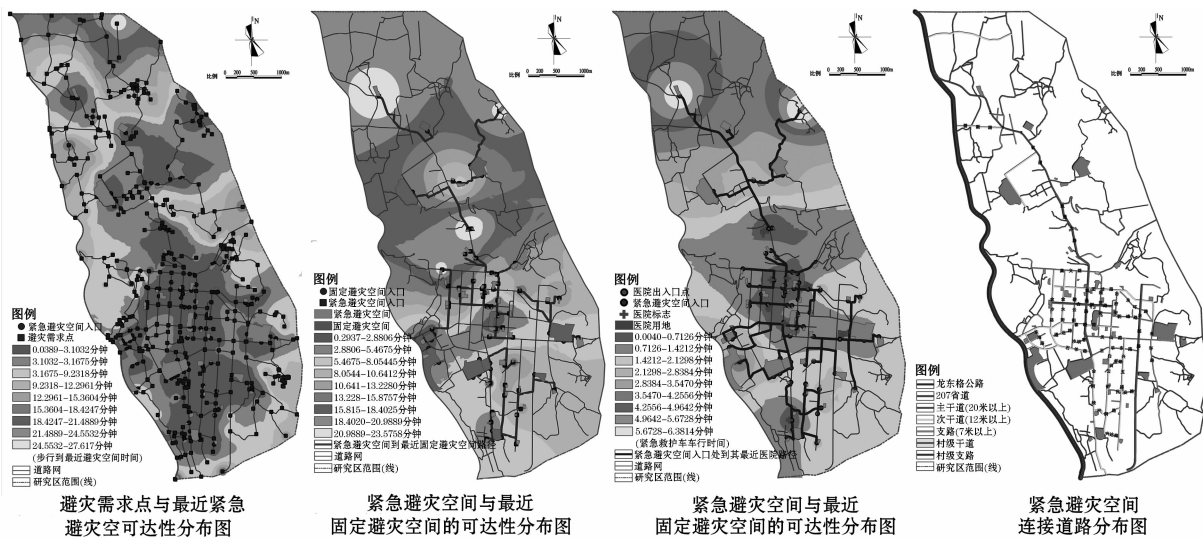


图4 东川城区紧急避灾空间分布的关联强度评价图

Fig. 4 Intensity evaluation map of the spatial distribution of emergency disaster avoidance space

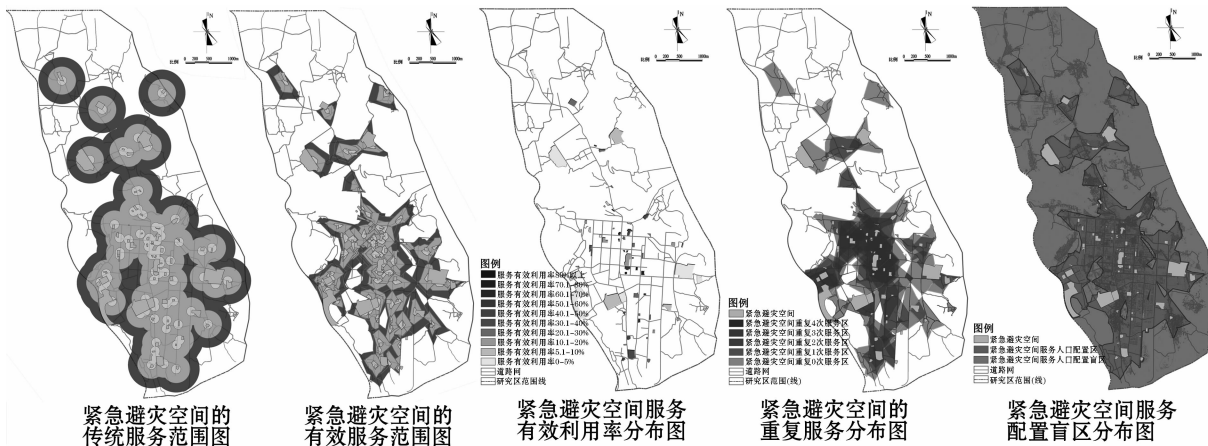
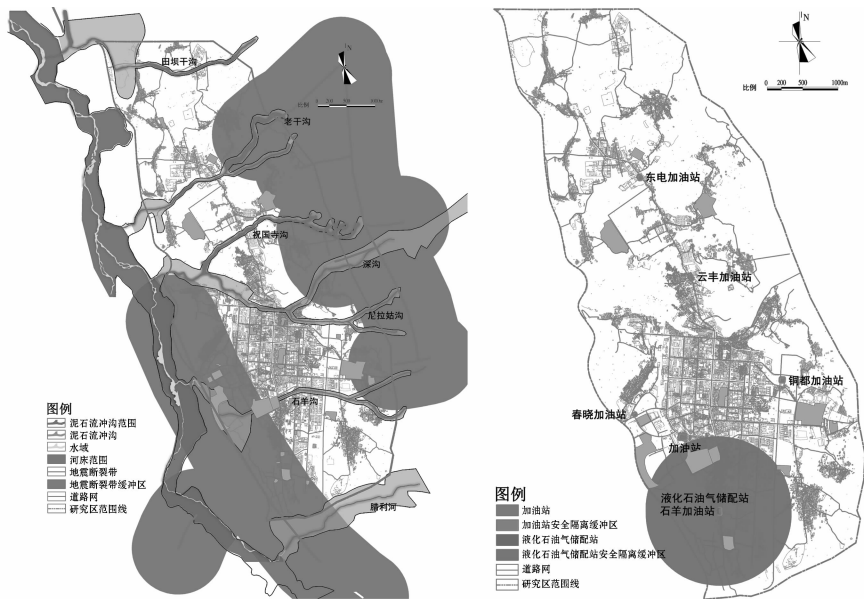


图5 东川城区紧急避灾空间分布的服务强度评价图

Fig. 5 Evaluation map of the service intensity distribution of emergency disaster avoidance



地质隐患地段缓冲区与紧急避灾空间叠加分析图 重大危险源缓冲区与紧急避灾空间叠加分析图

图6 东川城区紧急避灾空间分布的安全强度评价图

Fig. 6 Safety intensity evaluation map of emergency disaster avoidance space distribution

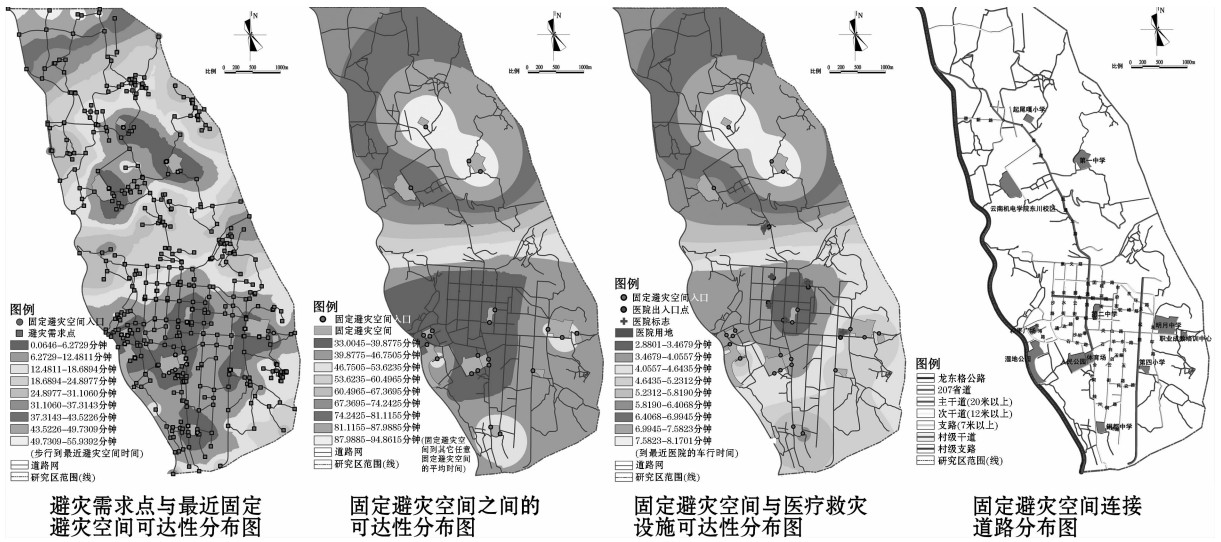


图 7 东川城区固定避灾空间分布的关联强度评价图

Fig. 7 Correlation strength evaluation map of fixed disaster avoidance space distribution

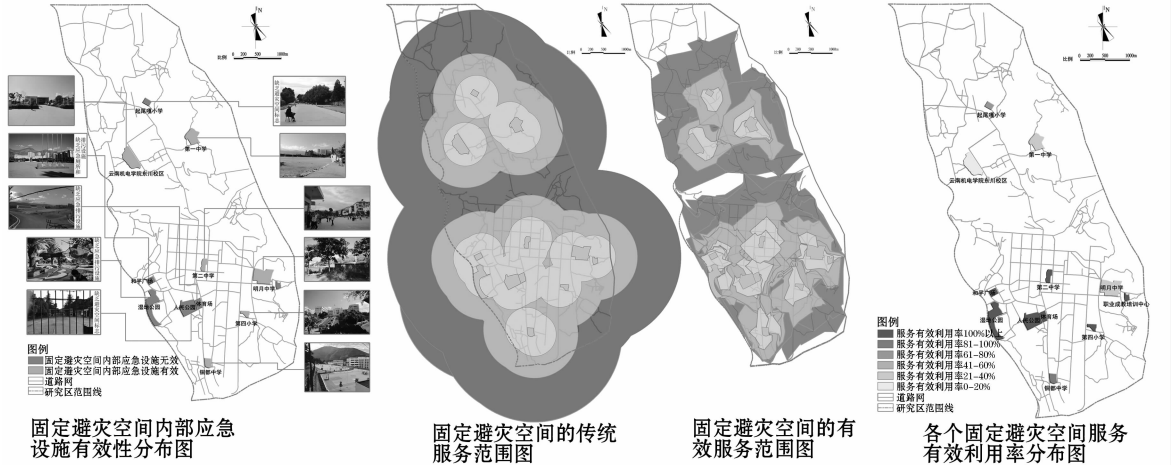


图 8 东川城区固定避灾空间分布的服务强度评价图 (1)

Fig. 8 Service intensity evaluation map of fixed disaster avoidance space distribution(1)

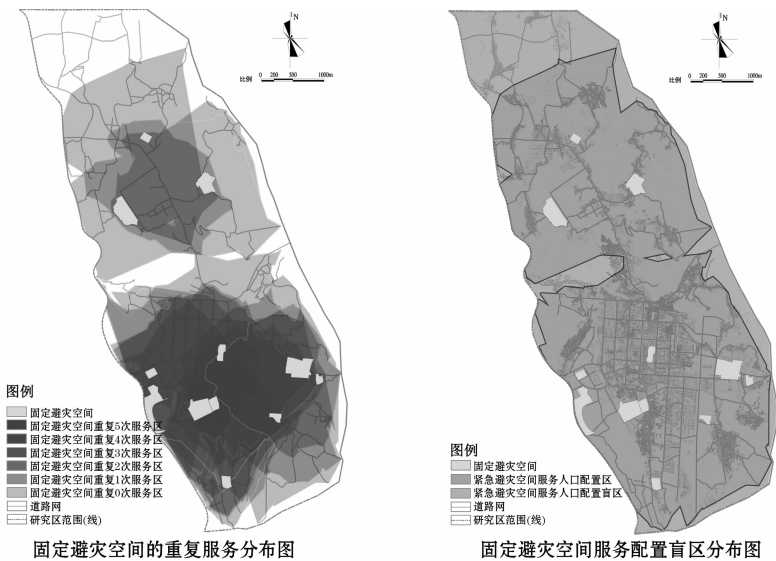


图 9 东川城区固定避灾空间分布的服务强度评价图 (2)

Fig. 9 Service intensity evaluation map of fixed disaster avoidance space distribution(2)

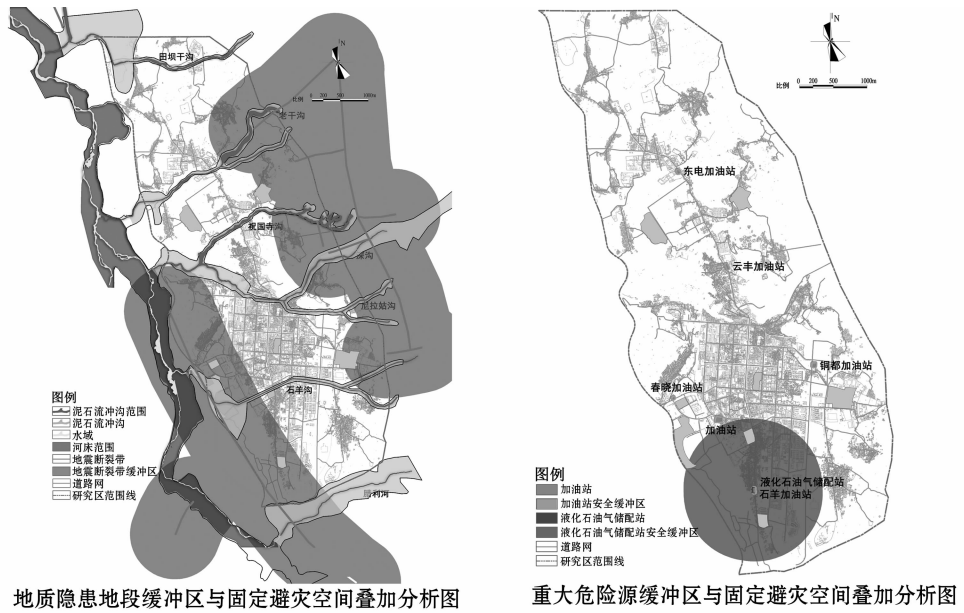


图 10 东川城区固定避灾空间分布的安全强度评价图

Fig. 10 Service intensity evaluation map of fixed disaster avoidance space distribution

3 结论与分析

3.1 东川区抗震避灾空间结构评价结论

东川区抗震避灾空间结构评价体系总得分为 6.53 分,为 C 评价等级,其评价结果为一般,避灾空间结构存在较大问题:城市南北部和东端的避灾空间分布关联强度和服务强度较差,部分避灾空间处于地质隐患地段和重大危险源的安全隔离区内。

避灾空间分布关联强度方面:老城区和新建成熟区的避灾空间分布关联强度较好,但在其他区域较差;由于老城区和新建成熟区集中分布紧急/固定避灾空间和医疗救灾设施且道路建设比较完善,而其它分布较少且道路建设比较滞后,导致老城区和新建成熟区的避灾空间与避灾需求点、避灾空间、医疗救灾设施之间交通便捷性较好,但城市南北部较差,如在山上的洗尾嘎村、起嘎村、腊利村等。

避灾空间分布服务强度方面:老城区和新建区(建设成熟区)的避灾空间分布服务强度较好,但其他区域较差;主要由于避灾空间集中分布在老城区;人均紧急/固定避灾空间服务面积虽然远远满足规范要求,但避灾空间重复覆盖率高(紧急/固定避灾空间分别有重复覆盖率),造成部分浪费,同时避灾空间服务达不到全覆盖(紧急/固定避灾空间分别有 70.4% 和 20.7% 的服务覆盖盲区),覆盖不了的区域就是服务配置缺口(紧急/固定避灾空间分别是 52138 人和 3622 人)主要分布在城市北部和老城区的东端以及新建区的最南端,其次由于避灾空间内部布局和建设问题,内部受到水系、较大坡度的坡地、灌丛等布局因素影响,避灾空间容灾面积有效率不高((紧急/固定避灾空间分别有 46.4% 和 50.5% 不能作为有效容灾面积),其中湿地公园尤为突出,固定避灾空间内部缺乏配套的应急服务设施,可能会由于缺乏导致救灾活动受阻。

避灾空间分布安全强度方面:部分避灾空间存在一定的安全隐患,紧急/固定避灾空间分别有 50% 和 53.2% 处于地质隐患地段的隔离区上,如和平广场以及湿地公园、铜都中学全部区域以及第一中学和明月中学部分区域等,紧急/固定避灾空间分别有 33.9% 和 32.5% 处于重大危险源的隔离区上,如人民公园、铜都中学等全部区域以及湿地公园、第四小学部分区域等。

3.2 山地小城市抗震避灾空间结构存在共性问题

通过东川区实例研究,结合山地小城市自身特征和实际情况,发现在避灾空间在容灾总量、整体布局、选址、内部布局、建设方式以及与其他避灾需求点、医疗设施等联系便捷性、指引标识等方面存在和山地小城市较多共性现象和问题:

A. 避灾空间的容灾总量往往能满足山地小城市避灾总需求的(人均紧急/固定避灾空间服务面积能满足规范要求),但现状避灾空间布局较多考虑城市发展需求和地形条件,缺乏整体统筹考虑,导致避灾空间

分布不均衡、重复服务覆盖率高、服务区达不到全覆盖;

B. 部分避灾空间选址未能与山地城市地质和次生灾害易发区保持一定安全隔离距离;

C. 避灾空间内部布局、建设方式重视自身使用和景观功能(只提供避灾场地,其他都没有),忽视避灾功能相关规范和山地条件对避灾功能的影响(坡度大于12%的区域不适宜作为避灾空间)以及不同类型避灾空间建设及其结构特征等要求,将导致避灾空间在地震发生时起的作用大打折扣;

D. 不同区域避灾空间与其他设施联系便捷性参差不齐,主要受到山地地形、避灾空间连接和周边道路建设完善程度和医疗设施分布等因素影响;

E. 未划定避灾空间类型(中心、固定、紧急),不同类型避灾空间布局和指引标识建设重视程度不一(只重视固定避灾空间,忽视紧急避灾空间);

以上的分析为改善避灾空间布局提供一定的参考依据。东川区仅是一个典型案例的研究,在我国类似东川这类山地城镇比比皆是,从2008年汶川地震的经验教训就可以知道,山地小城市一旦发生强烈地震,避灾空间十分有限,加之次生山地灾害往往非常严重,其后果往往不堪设想,不是简单的房屋抗震设防加固就能够解决的。因此,我们应以绝对重视的态度来看待山地城市避灾空间存在的问题,有关管理部门应加强对避灾空间的完善建设和持续管理。

参考文献

- [1] 阮梦乔,翟国方. 日本地域防灾规划的实践及对我国的启示[J]. 国际城市规划. 2011,26(4):16-21.
RUAN Mengqiao, ZHAI Guofang. The practice of regional disaster prevention planning in Japan and its enlightenment to China [J]. International Urban Planning. 2011,26(4):16-21. (in Chinese)
- [2] 张翰卿,戴慎志.《美国的综合防灾规划及其启示》[J]. 国际城市规划. 2007,22(4):58-64.
ZHANG Hanqing, DAI Shenzi. American urban comprehensive disaster prevention plan and its enlightenment[J]. International Urban Planning. 2007,22(4):58-64. (in Chinese)
- [3] GB21734-2008 地震应急避难场所:场址及配套设施. 中国国家标准化管理委员会. 2008.
GB21734-2008. Earthquake Emergency Shelters: Sites and Facilities. Chinese National Standardization Management Committee. 2008. (in Chinese)
- [4] GB 50413-2007. 城市抗震防灾规划标准. 中华人民共和国建设部. 2007.
GB 50413-2007. Urban Earthquake Disaster Prevention Planning standards. People's Republic of China Ministry of construction. 2007.
- [5] EFTEKHARI M, HATAMNIA A, BITARAFAN M. Evaluating prefabrication level of shelters using hierarchical analysis method (AHP)[J]. American Journal of Advanced Scientific Research (AJASR), 2012, 1(2).
- [6] SAATY T L. The Analytic Hierarchy Process[M]// Decision Aids for Selection Problems. Springer New York, 1996:49-68.