

地震灾后人体热适应性能力的变化

蒲清平, 罗 庆, 李 纾, 解铭刚

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘 要:以地震灾后人体热适应能力为分析对象,研究了在地震灾后房屋损毁,基础设施破坏的特殊情况下,人体热适应性能力的变化。通过对汶川地震灾后实地测试和问卷工作,结合热适应性模型,分析了灾后人体热适应性能力的变化。并与常规条件下的热适应性能力比较,得出了地震灾后人体的热适应能力有增强的趋势,并对这种特殊情况下的差异性进行了分析。

关键词:地震;平板过渡房;热环境;热适应性;

中图分类号:TU831.1 文献标志码:A 文章编号:1674-4764(2011)04-0134-06

Thermal Adaptation after Earthquake

PU Qing-ping, LUO Qing, LI Shu, XIE Ming-gang

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Thermal adaptation after earthquake is analyzed under the special condition of destructed houses and fundamental facilities. Field investigation and questionnaire survey were carried out after Wenchuan earthquake. The thermal adaptation model is also used to study the capacity variation of thermal adaptation. Through the comparison with the thermal adaptation under the common condition, it shows the thermal adaptation under the special condition has improved. And the causes for the changes are analyzed.

Key words: earthquake; transition barracks; thermal environment; thermal adaptation

在 Fanger 的实验室研究中,人的背景因素没有与人的舒适性联系起来,人是环境的被动接受者。在 Humphrey 的适应性的研究中,强调人的社会属性,主动创造个体所偏好的热环境,从这个意义上说,对环境的满意就是对环境的适应。这种适应性定义为:实际建筑中的人对所处环境的逐渐趋于减小的机体反应。相关的适应性研究在各个国家都已经有了大量的研究工作^[1-10],这些工作都是在常规条件下进行的,而对于一些特殊情况,例如地震后人体的热适应性变化的研究,却没有相关的工作。由于地震灾后人们通常会在平板过渡房内度过 2~3 a 的时间,那么在这种相对简单住宿条件下,人体的热适应能力是如何调节变化的,能否适应过渡期

内的热环境,人体的心理期望是如何发挥作用的等问题都需要深入探讨。论文针对这些问题,以 2008 年的汶川地震为背景,深入灾区进行了实地测试和问卷工作,并结合热适应性模型对相关热适应能力的变化作了理论分析和对比研究。

1 现场测试研究

1.1 测试的基本情况

为了对 2008 年汶川地震灾后人体的热适应性能力变化作具体的研究,首先通过对不同安置点平板过渡房的热环境进行实地测试,掌握整个灾后平板过渡房的热环境的基本情况,并对灾民的热适应性行为和心理进行了相关的问卷调查,为后期的热适应性理论

收稿日期:2011-01-17

基金项目:国家自然科学基金(50808182);教育部博士点基金(2008061111004);国家自然科学基金重点项目(50838009)

作者简介:蒲清平(1969-),男,副教授,主要从事建筑热环境和建筑节能研究,(E-mail)puqingping@cqu.edu.cn。

分析提供数据支撑。调研时间安排在2008年7月22日至7月29日,行程从都江堰开始,经彭州、崇州、什邡、绵阳、北川等6个过渡房安置点(图1)。



图1 调研地点分布

1.2 测试对象和仪器

测试过程中,配备了室外气象站(温度、湿度、照度、风速、风向等)、室内热舒适仪(空气温度、湿度、黑球温度等)、太阳辐射强度仪、红外线测温仪、移动温湿度监测仪等仪器,对灾民安置点的室外气象参数进行测试,掌握安置点的室外热环境情况。同时,对平板过渡房的热环境进行逐时检测,分析房内温度、湿度、墙体和顶棚温度等参数的变化过程。最后,通过相关的问卷调查,了解当地人们在过渡安置房的实际热状况。



图2 平板过渡房现场照片



图3 测试房间内部



图4 室外气象站

1.3 测试结果分析

根据6个地区的测试数据得到了平板过渡房在夏季的热环境情况,图5是与人体热感觉密切相关的空气温度、墙体温度和顶棚温度等几个参数的分布,具体情况如下。都江堰选取了位于青城山镇的“太原·锦青苑”安置点,可容纳1.5~2万人入住,是成都地区当时已建成的最大的过渡房安置点。测试当天为成都地区典型的7月晴天天气,室内空气温度基本维持在 31°C 以上。由于对施工速度有很高的要求,因此平板过渡房的墙体和顶棚采用的材料为两边为0.1 cm的钢板,中间为7.2 cm的聚苯乙烯夹层。虽然中间夹层有一定的隔热作用,但是表面的钢板对太阳辐射有强烈的吸收和升温作用,因此总体的热环境并不乐观。但是,在这种特殊条件下,人们的心理期望普遍偏低,而且根据自身的实际情况,采取了一些主动的自我适应方式,因此出现了图6中的调查结果。在崇州、北川2地情况与都江堰的情况比较相似,平板过渡房的材料和建造形式相同,测试时的天气均为晴天,其室内热环境分布和人体热感受调查结果也比较接近。其不同之处在于北川位于山区,与平原城市相比,在外部气温变化和周边环境上存在一定的差异。

在彭州市选择了隆丰镇的金山社区安置点,是

一个典型的农村地区。测试当天是小雨转阴，室外气温比较舒适，由于该安置点的建筑形式和建筑材料与都江堰的情况相同，导致室内的热量集聚，室内温度比室外温度高 2~3℃，但是整体的室内热环境比较适宜，在没有任何人工降温措施的情况下，基本可以满足人体的热舒适需求。绵阳的情况与彭州类似，测试时是一个雨后转晴的天气，其不同之处在于选择的安置点是城区，其平板过渡房的室内热环境与彭州比较接近，但是人体的热感觉调查结果却相差较大，其主要原因要归结为农村地区和城市地区

的地域差异，这种差异体现在经济、生活水平、心理期望等，表现在对热环境的适应能力上，那么调查结果则表明了农村地区人体热适应能力要比城市的强。

什邡市调研地点选择在洛水镇，这里的情况比较特殊，测试和调研的时候，板房刚好完工，灾民还没有入住，全部散布在周边搭起的帐篷和临时窝棚里面，不仅对室内热环境没有保障，甚至对基本的住宿条件都比较缺乏，因此出现了图 6 中的热感觉调查结果。

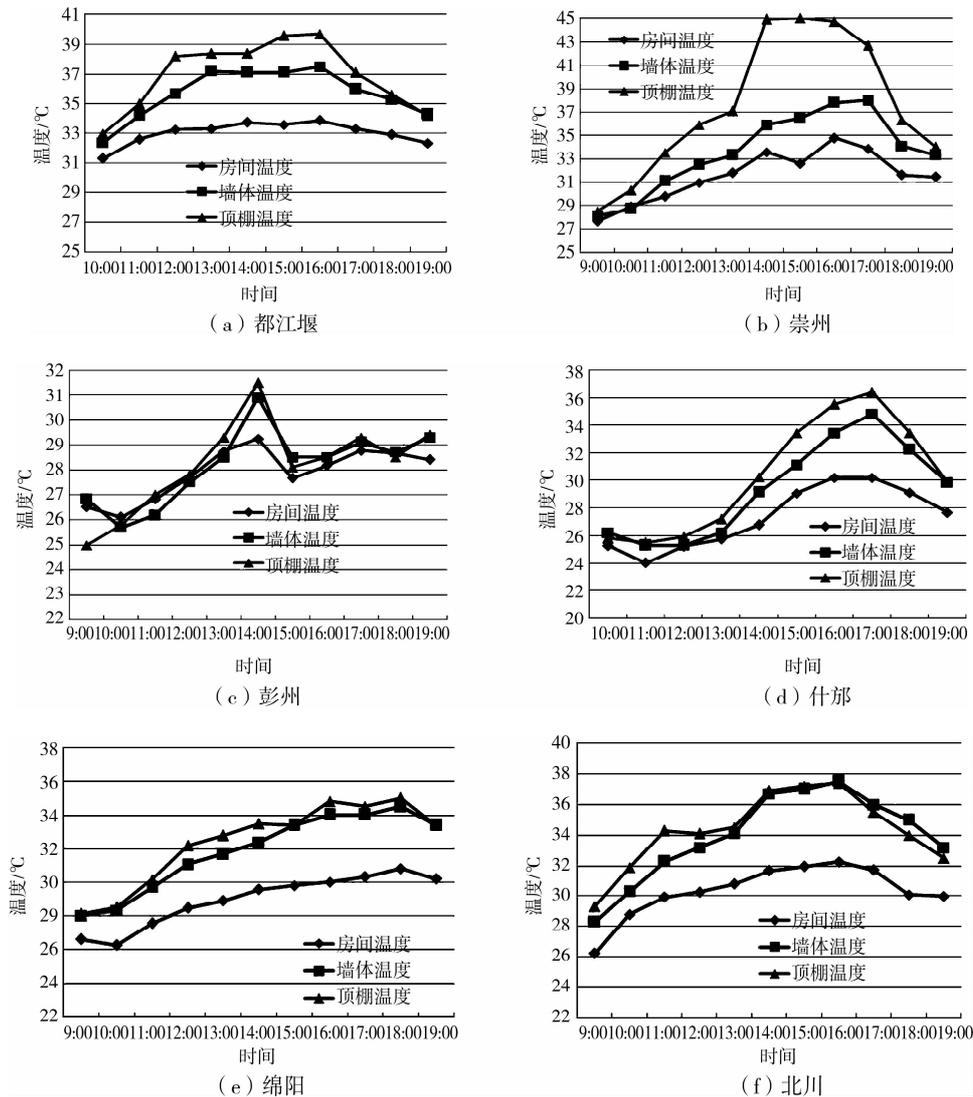


图 5 平板过渡房热环境参数分布

图 6 是对灾民的热感受问卷统计，统计中使用有效问卷为 180 份。从结果中可以看出：如果从 Fanger 的热舒适理论角度分析，很显然是得不到这样的结果的，这些统计结果充分显示了人体的自我热调节能力，而采取的主要调节方式包括窗户、衣着、活动水平和心理期望等几个方面。通过这些行

为调节后，不满意的比例得到降低，在可接受和比较满意的层次上有较大的提高，除了什邡，其他几个地区的不满意率都不超过 30%。这说明当人体面对这种地震灾后的特殊情况时，其自身的适应性对热环境的调节范围和能力更大。

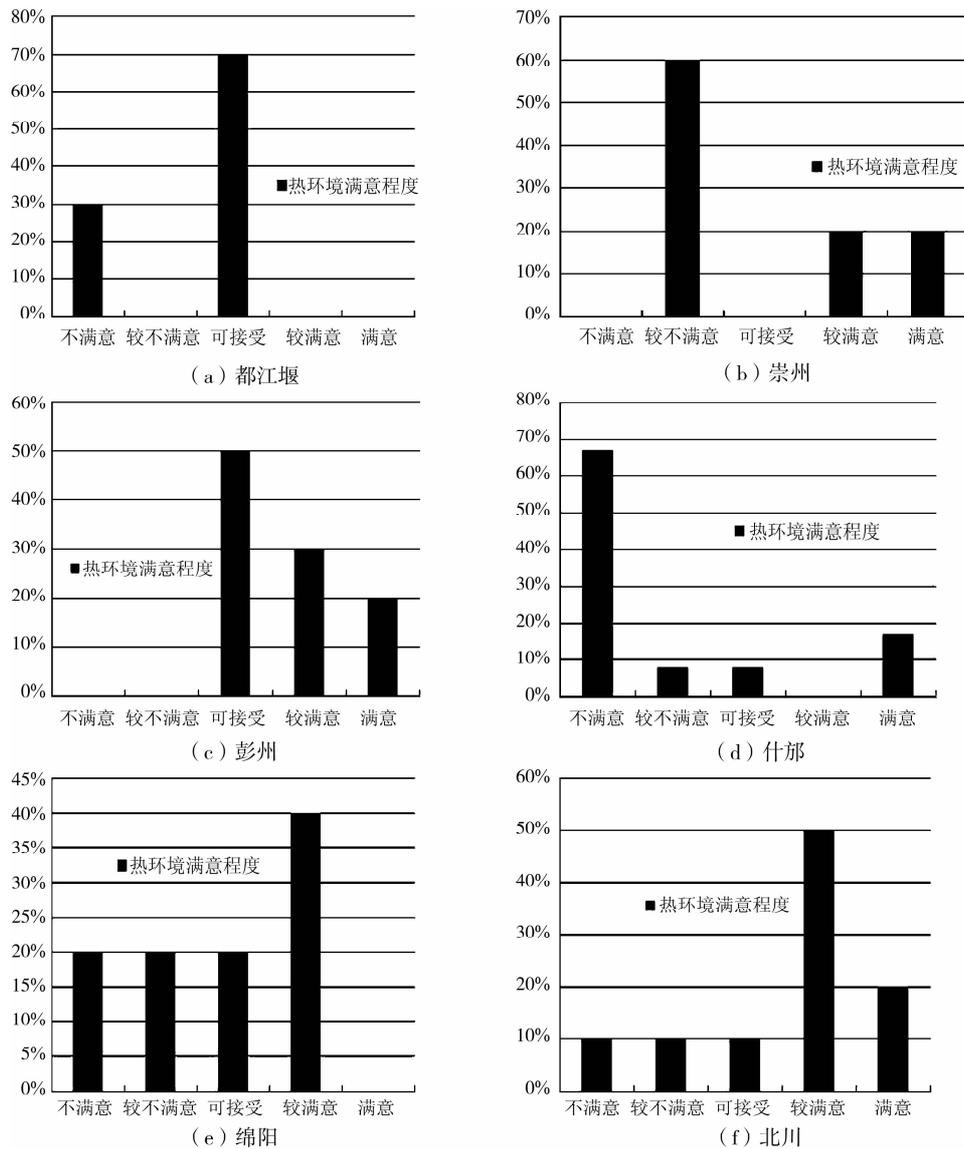


图 6 人体热感受调查结果

2 热适应性分析

2.1 热适应性理论

人体热适应的基本过程是通过对所处环境的主观评价,其结果可能是舒适,也可能是不舒适的,但经过对环境要素的调节及个人要素的行为调节,进而达到满意。另一方面,过去所经历的热环境及当地的气候条件,社会背景等对于热环境的期望值也有很大的影响,该种期望可以影响人体对当前的热环境的评价。行为调节包括所有人体有意识或无意识的采取改变自身热平衡状态的行为,这种调节可划分为个人调节(如穿上或脱掉部分衣服)^[11]、技术调节(如打开或关掉窗户)^[12]和文化习惯(如在热天午睡以降低新陈代谢率)^[13]。人体热适应的基本过

程如图 7 所示。

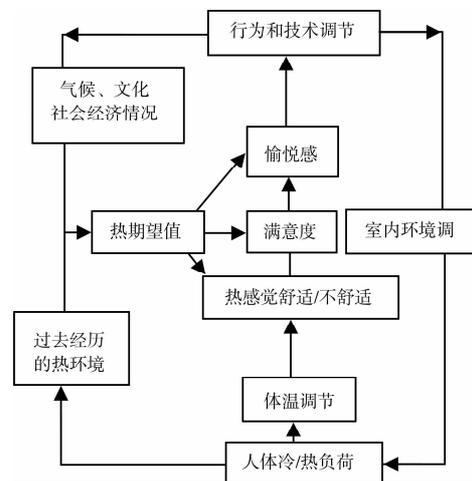


图 7 热适应性产生的机理^[14]

2.2 热适应性模型

论文利用建立在“黑箱”理论基础上的热适应调节模型^[15]来分析地震灾后人体热适应性能力的变化。该模型是将适应性平均热感觉指标(*aPMV*)与物理刺激量(δ)之间关系认为是自动控制“黑箱”中的环状负反馈,由此建立热适应模型(图 8)。

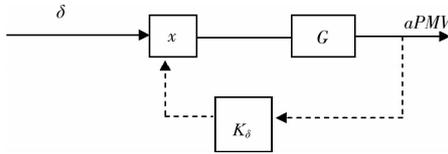


图 8 热舒适调节模型

热适应模型的数学表示式可以表达为:

$$aPMV = G \times \delta - aPMV \times K_{\delta} \times G \quad (1)$$

其中, δ 为物理刺激量; K_{δ} 为大于 0 的系数,取决于气候、季节、建筑形式及功能,社会文化背景以及其它瞬时物理环境中的相关因素; G 为人体感受量;

变形后:

$$aPMV = \frac{G \times \delta}{1 + K_{\delta} \times G} \quad (2)$$

根据“黑箱”理论,热舒适静态模型与 *PMV* 的关系如下:

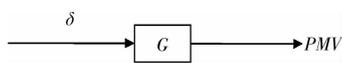


图 9 热舒适静态模型

数学表达式为:

$$PMV/\delta = G \quad (3)$$

式中:*PMV* 为预测平均投票

将式(3)代入式(2):

$$aPMV/\delta = PMV/(\delta + K_{\delta} \cdot PMV) \quad (4)$$

物理刺激量 $\delta = T_m - T_n$

T_m 为室内空气综合温度; T_n 为热中性温度。

式(4)可以写成:

$$aPMV = PMV / \left(1 + \frac{K_{\delta} \cdot PMV}{T_m - T_n} \right) \quad (5)$$

令 $\lambda = \frac{K_{\delta}}{T_m - T_n}$, 式(5)可以写成:

$$aPMV = \frac{PMV}{1 + \lambda \cdot PMV} \quad (6)$$

λ 称为热适应性系数

2.3 热适应模型结果分析

根据热适应模型的理论可以知道:热适应性系数 λ 越大,说明热适应性的调节能力越大,即计算得到的适应性平均热感觉指标 *aPMV* 偏离 *PMV* 的程

度就越大,根据本文的测试和问卷结果,整理得到 6 个地区的平均热适应性系数为: $\lambda = 0.386$ 。文献^[15]根据其调研值,整理得到在常规偏热环境下的热适应性系数为: $\lambda = 0.293$,这说明地震灾区的人体热适应性调节能力比常规热环境下的调节能力更大。在地震灾后修建的平板过渡房,由于其时间的紧迫性和施工的便捷性等原因,导致房间构造的热物理性能不佳,从而影响了板房内的热环境质量。但是,根据现场问卷分析结果可知,人体能够通过自我调节来适应相应的环境,此处的理论分析则更进一步证明了这一点。图 10 是 Fanger 理论下静态预期热感觉(*PMV*)和被调研地区的实际热感觉(*AMV*)分布,图中的实际热感觉明显偏离了静态模型下的结果。

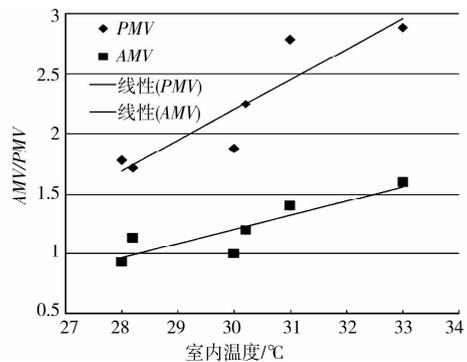


图 10 6 个地区实际热感觉(*AMV*)与静态预期热感觉(*PMV*)分布

图 11 是 6 个地区的实际热感觉与适应性平均热感觉指标分布,从图中可以看出:考虑了热适应理论后的热适应性模型的计算结果(*aPMV*)与实际热感觉(*AMV*)的分布趋势一致,说明热适应性模型对于分析特殊热环境下的人体热适应能力也具有较高的可信度。

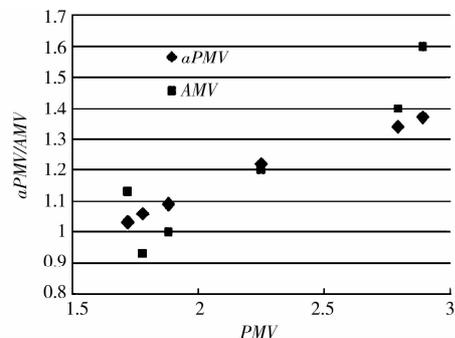


图 11 实际热感觉与适应性平均热感觉指标分布

3 结论

以汶川地震为背景,实地测试了灾区过渡板房

的热环境质量,通过问卷分析获取了人体在过渡板房内的实际热感觉指标,通过两者的比较,得出了人体通过自我热调节能力,极大程度的提高了对热环境的满意程度;结合热适应性模型,分析证明了人体在震灾后的热适应能力($\lambda=0.386$)强于常规偏热环境下的热调节能力($\lambda=0.293$)。

致谢:本研究工作得到了四川省建设厅的大力支持,同时在安置点的测试工作也得到了有关部门的大力帮助,在此对他们的工作表示衷心的感谢!同时也感谢参加调研工作的研究生!

参考文献:

- [1] RIJAL H B, TUOHY P, HUMPHREYS M A. Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings [J]. *Energy and Buildings*, 2007, 39: 823-836.
- [2] NICOL J F, HUMPHREYS M A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings [J]. *Energy and Buildings*, 2002, 34: 563-572.
- [3] JENNIFER SPAGNOLO, RICHARD DE DEAR. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia [J]. *Building and Environment*, 2003, 38: 721-738.
- [4] GAIL S BRAGER, RICHARD J, DE DEAR. Thermal adaptation in the built environment: a literature review [J]. *Energy and Buildings*, 1998, 27: 83-96.
- [5] KRZYSZTOF CENAA, RICHARD DE DEAR. Thermal comfort and behavioural strategies in office buildings located in a hot-arid climate [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2001, 26: 409-414.
- [6] 文学军,赵荣义. 动态热环境人体热感觉的模糊综合评判[J]. *清华大学学报*, 1998, 38(5): 23-27.
WEN XUE-JUN, ZHAO RONG-YI. Fuzzy comprehensive evaluation of thermal sensation in dynamic thermal environment [J]. *Journal of Tsinghua University: Science and Technology*, 1998, 38(5): 23-27.
- [7] 官燕玲. 供暖房间动态热环境及热舒适分析[J]. *西北建筑工程学院学报*, 1998, 2(6): 1-6.
GUAN YAN-LING. Analysis of indoor dynamic thermal environment and thermal comfort on heating room [J]. *Journal of Northwestern Institute of Architectural Engineering*, 1998, 2(6): 1-6.
- [8] 文学军,赵荣义. 稳态热环境人体热感觉的模糊综合评判[J]. *清华大学学报*, 1998, 38(5): 26-34.
WEN XUE-JUN, ZHAO RONG-YI. Fuzzy comprehensive evaluation of thermal sensation in steady thermal environment [J]. *Journal of Tsinghua University: Science and Technology*, 1998, 38(5): 26-34.
- [9] 李俊鹤,杨柳,刘加平. 夏热冬冷地区人体热舒适气候适应模型研究[J]. *暖通空调*, 2008, 38(7): 20-25.
LI JUN-GE, YANG LIU, LIU JIA-PING. An adaptive thermal comfort model for hot summer and cold winter context [J]. *Heating Ventilating & Air Conditioning*, 2008, 38(7): 20-25.
- [10] 陈晓春,王元. 热舒适的生理机制及其与健康的关系 [J]. *环境与健康杂志*, 2002, 19(5): 411-412.
CHEN XIAO-CHUN, WANG YUAN. Physiological mechanism of thermal comfort and its relations with human health [J]. *Journal of Environment and Health*, 2002, 19(5): 411-412.
- [11] 丁秀娟. 浅谈衣服热阻对人体热舒适的影响 [J]. *建筑节能*, 2009, 37(2): 27-29.
DING XIU-JUAN. Shallow discussion on the impact of clothing thermal resistance on human thermal comfort [J]. *Construction Conserves Energy*, 2009, 37(2): 27-29.
- [12] 韩滔. 基于动态热舒适的空调控制方案研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2006.
- [13] 潘信峰. 重庆市室内热环境下人体生理和热舒适的实验比较研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
- [14] 罗明智,李百战. 人体热适应性与热舒适 [J]. *制冷与空调*, 2005(1): 75-78.
LUO MING-ZHI, LI BAI-ZHAN. Human body's thermal adaptation and thermal comfort [J]. *Refrigeration & Air-condition*, 2005(1): 75-78.
- [15] YAO RUN-MING, LI BAIZHAN. A theoretical adaptive model of thermal comfort-adaptive predicted mean vote (aPMV) [J]. *Building and Environment*, 2009, 44: 2089-2096

(编辑 王秀玲)