

浙江省沿海地区农村房屋抗风情况调研^{*}

黄 鹏，陶 玲，全 涌，顾 明

(同济大学 土木工程防灾国家重点实验室，上海 200092)

摘 要：对浙江省沿海地区的农村房屋抗风情况进行了调研，总结了被破坏房屋的主要结构特点。在对现有房屋的统计中发现相对不富裕地区高达 60% 以上的房屋属于抗风能力差和较差的，而一些比较富裕且受过台风袭击有过惨痛教训地区的房屋抗风能力差和较差的仅在 20% 以下。进一步研究发现抗风能力较好的房屋大都是建造年代不久，多为混凝土现浇板屋盖，上部多为框架或砖混结构，而抗风能力较差和差的大都为建造年代已久，多为小青瓦屋面，上部结构多为砖木结构或构造措施较差的砖混结构。同时对当地村民传统的“砖头压瓦”防护措施进行理论验算，得出当风速超过台风界限风速时，屋面上的砖头将会飞起，该措施应该避免。

关键词：浙江沿海；农村房屋；抗风能力

中图分类号：TU352.2 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-811X(2010)04-0090-06

0 引言

浙江省沿海地区是台风的易发地带，我国历史上多次台风曾在此登陆。历史上登陆我国大陆时风速最强的“5612 号”台风的登陆地就是宁波市象山县，此外，2002 年 8 月第 16 号台风“森拉克”在温州市苍南县沿海登陆，2004 年 8 月第 14 号台风“云娜”^[1-2]在台州温岭市登陆，2006 年 8 月第 8 号台风“桑美”^[3-4]在温州市苍南县登陆(图 1)。这些风灾均造成了大量的房屋损坏、倒塌，人员伤亡惨重，经济损失巨大。为了深入地了解浙江省沿海地区农村房屋的抗风情况，本课题组于 2009 年 6 月对浙江省温州和宁波两地区进行了为期 5 d 的调研。并对调研的结果进行了总结，对抗风措施的改进提出了建议。

1 风灾中房屋的破坏情况

1.1 温州市苍南县的破坏情况

温州市苍南县是浙江省人口第一大县，2001 年被确立为浙江省经济欠发达县，在全县 36 个乡镇中，有 25 个乡镇属于欠发达乡镇。到 2003 年底苍南县人均收入低于 1 500 元的贫困人口还有 3.1

万户，计 12.87 万人^[5]，苍南县总体上经济发展水平在温州市排倒数第三。苍南县濒临东海，海岸线长 155 km，沿海滩涂面积 97.24 km²，故而又是台风的易发之地。该县在 2002 年“森拉克”和 2006 年“桑美”台风中的损失^[3]如表 1 所示。苍南县的金乡、马站和霞关 3 个乡镇是在“桑美”台风中受灾严重的乡镇，故先是对该 3 个乡镇的房屋进行了实地查看，同时参阅了当地政府在“桑美”台风风灾现场拍摄下的照片以及民房倒塌的原因分析、倒塌结构的缺陷分析^[3-4]，总结了风灾中房屋的破坏情况(表 1)和破坏类型。

表 1 苍南县在“森拉克”和“桑美”台风中的损失表

台风名称	登陆风速/ (m/s)	倒塌房屋 /间	损坏房屋 /间	直接经济 损失/万元
“森拉克”	45	1 200	6 800	52 900
“桑美”	68	20 310	170 710	912 400

(1) 木结构房屋

该类结构房屋是 1~2 层旧民房，由木骨架承重，而围护墙大多采用空斗砖来砌，也有少数用石块。其木构架用卯榫连接，没有穿枋，纵、横向的连接均非常薄弱；围护墙体与木构架之间没有任何连接措施，未形成一个稳固的整体，墙体自身的整体性也差；加上结构老化，年久失修，屋面和墙壁被风吹走，但木骨架有些仍旧未倒，如图 2a 所示。

^{*} 收稿日期：2010-04-07
基金项目：国家自然科学基金面上项目(50708082)；国家科技支撑计划课题(2006BAJ06B05，2008BAJ08B14)
作者简介：黄鹏(1974-)，男，汉族，湖南株州人，博士，副研究员，研究方向为结构风工程. E-mail: huangtju@tongji.edu.cn



图1 几次强台风的登陆地及调研地区的地理位置

(2) 砖木结构房屋

图2b所示的是低层砖木结构, 由砖墙承重, 木楼板, 木檩条, 檩条上面铺设椽子, 椽子上面搁置小青瓦屋面。由于它们的屋盖木檩条只是简单地搁置在墙体上, 与竖向墙体之间缺少刚性连结, 故而对竖向墙体发生平面外的失稳不能起到控制作用。而小青瓦在台风中经常被风吹落, 这样屋盖檩条与竖向墙体之间的拉结就几乎完全丧失, 加上墙体在各层内采用一斗到顶的砌法, 整体性也很差, 致使竖向墙体的倒塌屡屡发生。

(3) 砖砌体结构

这类3~4层砖砌体结构是建造于20世纪80年代末90年代初的(图2c), 其在风灾中倒塌产生的危害最为严重。该类房屋的基本结构大致是: 横墙为主要承重结构, 且为立砌空斗, 厚度方向

未设眠砖, 墙体本身的稳定性差; 屋角及纵横墙交接处未设构造柱, 房屋在平面维度上没有形成统一的整体; 前后纵墙开大窗或门连窗, 墙体存留很少, 加上房屋为大进深, 横墙中间却无纵墙连接, 这样使得整个房屋在侧向抗力上存在空缺; 楼板2层或2、3层为多孔混凝土楼板, 个别有圈梁, 大部分无圈梁, 楼板直接架在横墙上, 与墙体没有形成强有力的整体; 楼板中部大开洞, 后设木楼梯, 楼梯洞口四周未设楼梯梁, 致使房屋的水平向构件抗力减弱; 顶层为木楼板, 无圈梁, 个别民房此层木楼板未设置, 形成了2层半空斗墙, 且中间无任何纵向连接; 屋面为斜屋面, 木檩条, 小青瓦。这种房屋在台风的袭击下经常出现迎风山墙的破坏导致混凝土多孔楼板的塌落, 产生的伤害极为惨重。



(a) 木结构房屋的屋面和墙壁被风吹走



(b) 砖木结构房屋的小青瓦吹走侧墙倒塌



(c) 砖砌体结构房屋的屋面吹走侧墙倒塌

图2 苍南县风灾中房屋的破坏形式

1.2 宁波市象山县的破坏情况

宁波市象山县先后荣获全国综合实力百强县、渔业生产先进县、科技进步先进县、省建筑之乡和小康县称号。2005年, 人均生产总值达到26 070元。象山县居浙江省中部沿海, 位于象山港与三门湾之间, 由象山半岛东部及沿海608个岛礁组成, 海域5 350 km², 海岸线长达800 km, 占浙江全省海岸线的1/6。由于其特殊的地理位置, 因而经常成为台风的登陆与影响地区。根据象山县民政局提供的资料, 象山县2007年台风“韦帕”和“罗莎”对其造成的损失如表2所示。风灾中倒塌

的房屋不多, 其破坏的形式主要有木结构不设端屋架, 由于墙体整体性差, 山尖墙倒塌导致端开间屋架塌落(图3a); 屋面瓦或屋面覆盖物与檩条或屋架之间缺乏有效连接, 台风下被强风卷走(图3b); 木构架围护结构年久失修, 连接性差, 台风中风毁(图3c)。

表2 象山县在“韦帕”和“罗莎”台风中的损失表

台风名称	登陆风速/ (m/s)	倒塌房屋 /间	损坏房屋 /间	直接经济 损失/万元
“韦帕”	55	69	478	7 350
“罗莎”	33	63	187	23 100



图3 象山县风灾中房屋的破坏形式

1.3 比较两地的破坏情况

通过比较两地的破坏情况可以发现，温州市苍南县在台风中倒塌和损坏的房屋要远远多于象山县。这主要是由于苍南县是经济欠发达地区，其房屋的自身质量比较差，而宁波市象山县是经济发达地区，且历史上又受到过强台风袭击有惨痛教训，其房屋的质量较好。但这些在风灾中破坏的房屋却有着结构上的共同特点，即为：小青瓦屋面，结构老化，整体性差，连接处薄弱，纵向无抗侧力体系。

2 现有房屋抗风情况简介

2.1 温州市苍南县的房屋抗风情况

浙江省为了统计出农村住房的防灾能力，以便在台风将要登陆时提前通知村民转移，2007 年对沿海地区农村的房屋逐一做了普查，按照房屋的结构形式、基础形式、所建年代、墙体类型及所处的地理位置等把房屋的抗风能力分为较好、一般、较差和差四类，制作了一个浙江省沿海地

区农村住房防灾信息管理系统。本文从该系统里选取了苍南县金乡镇 6 个行政村(河尾垟村、夏八美村、洪岭下村、夏泽村、永兴村、珠梅岭村)总共 2 415 间现存房屋评定的抗风能力进行了统计。由表 3 可见，抗风能力较好的房屋(图 4a)仅有 25% 左右，根据统计的资料发现它们均建于 2003 年后，其中 97% 是在 2006 年“桑美”台风后由政府补贴重建，仅 3% 是在 2003 年后由村民自建；抗风能力一般的房屋(图 4b)基本上属于村民自建，质量尚可，但这类房屋所占比例较小，只有 11% 左右；而抗风能力较差和差的房屋(图 4c、图 4d)所占比例却高达 63.6%。金乡镇是在“桑美”台风中伤亡的集中区，风灾后政府补贴新建房屋所占比例很大，由此可推测其它地区抗风能力较差和差的房屋所占比例可能更大。

表 3 苍南县金乡镇 6 个行政村的房屋抗风能力统计表				
	较好	一般	较差	差
房屋/间	609	270	1 168	368
所占比例/%	25. 2	11. 2	48. 4	15. 2

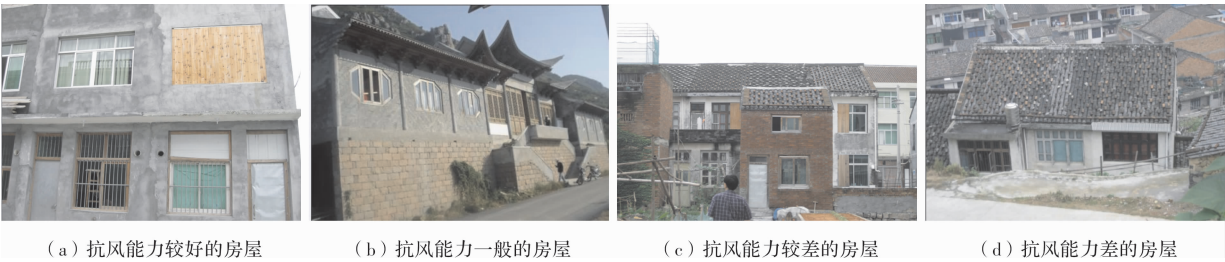


图4 苍南县各种抗风能力的房屋

2.2 宁波市象山县的房屋抗风情况

宁波市象山县则呈现出截然不同的现象。其房屋大部分是砖混或框架结构，很多是混凝土现浇屋盖，大多数有圈梁和构造柱，有些房屋构造要求甚至超过规范要求。当地业内人士介绍说这是由于 1956 年“5612”号台风给村民造成的伤害太过惨重，故而每个人都对房屋的抗风能力给予特别的重视所带来的可喜现象。象山县建设局于 2007 年对该县共

463 856. 5 间农村的房屋防灾能力进行了普查，得到了大量的有用资料，其防灾能力如表 4 所示。为了和苍南县进行比较，本文对该县高塘岛乡(临海的乡镇)的 5 个行政村(龙珠村、三五村、罗元村、渔潭村以及孝贤湾村)共 2 971. 5 间房屋进行抗风能力统计，结果如表 5 所示。可以看出抗风能力较好和一般的房屋所占比例约 80%(图 5a、图 5b)，而较差和差的房屋所占比例仅为 20% 左右(图 5c、图 5d)。

表 4 象山县农村住房防灾能力普查成果汇总

	较好	一般	较差	差
房屋/间	119 859. 5	270 042. 5	40 265. 5	33 689
所占比例/%	25. 8	58. 2	8. 7	7. 3

表 5 象山县高塘岛乡 5 个行政村的房屋抗风能力统计表

	较好	一般	较差	差
房屋/间	334. 5	2 011	369	257
所占比例/%	11. 3	67. 7	12. 4	8. 6



(a) 抗风能力较好的房屋



(b) 抗风能力一般的房屋



(c) 抗风能力较差的房屋



(d) 抗风能力差的房屋

图 5 象山县各种抗风能力的房屋

2.3 两地的房屋抗风情况比较

两地的普查结果明显地表示出象山县抗风能力较差和差的房屋占的比例远远小于苍南县，这也正给出了前面风灾中象山县破坏的房屋远远少于苍南县的主要原因。

3 现有房屋的抗风特性分析

3.1 苍南县金乡镇房屋抗风特性分析

首先对苍南县金乡镇 6 个行政村不同抗风能力房屋的所建年代、结构形式及基础形式进行具体分析。由表 6 可见，抗风能力较好的房屋全部是

1990 年后建造，实际上根据统计的资料 97% 以上都是 2006 年后建造的，这些房屋上部是框架结构，下部是钢筋混凝土基础，毫无疑问，此种结构的房屋整体性和延性均好，但造价很高。同时这些重建的房屋为了防止屋面的瓦片被风刮起，都采用平屋面，但平屋面通常存在漏水隐患，故设计出对抗风有利造价减小的坡屋面房屋对于解决农村房屋的抗风有很大的意义。同样由表 6 可知，抗风能力一般的房屋大部分是 1990 年后建的，由砖混结构和钢筋混凝土基础组成，此种砖混结构相对于前面抗风能力较好的砖混结构一般来说或是建造年代早些，或是屋面的形式不利于抗风。

表 6 金乡镇 6 个行政村各种抗风能力的房屋特性统计表

		较好		一般		较差		差	
		间数	所占比例/%	间数	所占比例/%	间数	所占比例/%	间数	所占比例/%
建造年代	1990 年前	0	0	54	20	971	83. 1	260	70. 7
	1990 年后	609	100	206	76. 3	194	16. 6	33	9. 0
	无记录	—	—	10	3. 7	3	0. 3	75	20. 3
上部结构形式	框架	529	86. 9	10	3. 7	—	—	—	—
	砖混	79	13. 0	207	76. 7	275	23. 5	28	7. 6
	砖木	1	0. 1	42	15. 6	864	74. 0	185	50. 3
	其它或无记录	—	—	11	4. 0	29	2. 5	155	42. 1
基础形式	钢筋混凝土	441	72. 4	171	63. 4	26	2. 2	—	—
	石板排铺	139	22. 8	20	7. 4	181	15. 5	15	4. 1
	毛石	—	—	66	24. 4	958	82. 0	213	57. 9
	其它或无记录	29	4. 8	13	4. 8	3	0. 3	140	38. 0

从表 6 中还可以看出抗风能力较差和差的房屋主要是由砖木结构和毛石基础建成，且从统计的房屋照片来看基本属小青瓦屋面，而这类结构恰恰是风灾中很容易受到破坏的房屋类型；这里仍有一部分是砖混结构，此类砖混结构的大部分是在 1992 年前建的，还有一些虽是 1992 年后建的，

但是墙面没有经过粉刷。且这里所说的砖混结构是砖墙承重，楼面为混凝土多孔板，实为砖砌体结构，大都无圈梁和构造柱。此类抗风能力较差和差的房屋需要经过一些防护或者构造措施来改善其抗风能力。

3.2 象山县高塘岛乡房屋抗风特性分析

再来分析象山县高塘岛乡 5 个行政村房屋的具体特性。从表 7 中不难发现各种抗风能力的房屋上部结构形式都是以砖混结构为主，只是在剩下的其它结构中，抗风能力较好的房屋主要是框架结构，而较差和差的却是乱石结构。抗风能力较好的房屋 90% 以上都是 1990 年后建造的，且 60% 以上是混凝土现浇板屋盖，钢筋混凝土、毛石和石头各基础形式所占比例相差不大；抗风能力一般的房屋也是 1990 年后建的所占比例大些，屋盖形式 70% 以上是混凝土现浇板屋盖，而基础形式是毛石占 60% 以上；与此同时，抗风能力较差的 85% 以上是 1990 年前建的，屋盖形式 65% 以上是小青瓦，基础形式约 80% 是毛石；抗风能力差的 90% 以上都是 1990 年前建的，屋盖形式 80% 以上是小青瓦，基础形式 90% 以上是毛石。这样的结

果并不难理解，房屋的建造年代越久，其整体性以及各构件间的连接都会变差，抗风能力相应越差。屋盖是混凝土现浇板这样就消除了风荷载下的最大隐患—屋盖被风刮走，从而提高了房屋的抗风能力；而屋盖是小青瓦，很易被风刮走，进而导致屋架或山墙的倒塌，降低了房屋的抗风能力。

3.3 两地的房屋抗风特性总结

从苍南县金乡镇 6 个行政村和高塘岛乡 5 个行政村房屋的抗风特性分析来看，抗风能力较好的房屋建造年代基本没有超过 20 年，屋盖为混凝土现浇板的居多，上部结构大多为框架或砖混结构，基础为钢筋混凝土或石板排铺也有毛石；而抗风能力较差和差的房屋大多数是建造年代已久，小青瓦屋面，砖木或构造措施较差的砖混结构，毛石基础。

		高塘岛乡 5 个行政村各种抗风能力的房屋特性统计表							
		较好		一般		较差		差	
		间数	所占比例/%	间数	所占比例/%	间数	所占比例/%	间数	所占比例/%
建造年代	1990 年前	23.5	7.0	947.5	47.1	314	85.1	233	90.7
	1990 年后	311	93.0	1 060.5	52.7	55	14.9	24	9.3
	无记录	—	—	3	0.2	—	—	—	—
屋盖形式	混凝土现浇板	202.5	60.5	1 462	72.7	117.5	31.8	43	16.7
	小青瓦	130	38.9	542	27.0	251.5	68.2	212	82.5
	其它或无记录	2	0.6	7	0.3	—	—	2	0.8
上部结构形式	框架	40.5	12.1	—	—	2	0.5	—	—
	乱石	6.5	1.9	174	8.7	144	39.0	96	37.3
	石板	2	0.6	33	1.6	37	10.0	29	11.3
	砖混	246.5	73.7	1 761.5	87.6	160	43.5	122	47.5
	砖墙	39	11.7	42.5	2.1	26	7.0	10	3.9
	钢筋混凝土	125	37.4	198.5	9.9	11	3.0	4.5	1.7
基础形式	毛石	113.5	33.9	1 295.5	64.4	293	79.4	232.5	90.5
	石头	92	27.5	513	25.5	65	17.6	20	7.8
	其它或无记录	4	1.2	4	0.2	—	—	—	—

4 抗风措施的建议

苍南县当地的村民普遍采用在屋面上用砖头压瓦的方法来防止台风时瓦片飞走(图 4c、图 4d)；并在窗户外加木板(图 4a)以在台风来临时封住窗户，防止台风时窗户被风致飞行物打破，内压增大，屋面掀起。

对于村民采用的砖头压瓦方法，根据风致飞行物的公式^[6]：

$$\ell = (0.5\rho_a U_f^2 C_F)/(I\rho_m g), \tag{1}$$

式中： ℓ 是将要被风吹起物体的特征尺寸； ρ_a 是空气密度； ρ_m 是将要被风吹起物体的材料密度； $C_F = F/0.5\rho_a U_0^2 A$ ，是空气动力系数，其中， F 是总的气动力， A 是参考面积(不一定是力的作用面积)； U_f 是飞行临界风速； I 是固定强度完整性系数，即移动物体所需要的力除以物体自重的倍数值； g 是重力加速度常量。则根据上述公式，可以反推飞行临界风速。

取屋面倾斜面上的面积 A 来计算升力，这时的竖直向上升力为：

$$L = 0.5\rho_a U_0^2 |C_p| A \cos\alpha, \tag{2}$$

式中: U_0 为檐口高度的风速; C_p 为垂直屋面的风压系数。则相应水平投影面积上的升力系数为:

$$C_L = \frac{L}{0.5\rho_a U_0^2 A \cos\alpha} = \frac{0.5\rho_a U_0^2 |C_p| A \cos\alpha}{0.5\rho_a U_0^2 A \cos\alpha} = |C_p|, \quad (3)$$

农村的房屋基本在 2~4 层之间, 高度 H 在 6~12 m 间居多, 屋面坡度 α 的范围基本上是 $10^\circ \sim 35^\circ$ 。根据 Holmes^[7] 给出的 $10^\circ \sim 30^\circ$ 坡度的低矮房屋整个屋面在所有风向角下的最不利负压系数 C_p 的范围基本是 $-5 \sim -2$ (除了坡度为 20° 时极端值能达到 -7), 即升力系数范围同样基本为 $-5 \sim -2$ 。

现以普通砖为例, ℓ 为 0.053 m, $\rho_m g$ 取 18 kN/m^3 , ρ_a 为 1.29 kg/m^3 , 并取 $I=1$, 这样可以算得使砖块飞起的临界速度 U_f 是 $27.2 \sim 17.2 \text{ m/s}$ 。也就是说, 当在屋面高度 $H=6 \sim 12 \text{ m}$, 风速达到 17.2 m/s 时, 在屋面最不利区域的砖块就会被风吹起; 而当风速达到 27.2 m/s 时, 在屋面任一处的砖块都可能会被刮起。而台风都是 12 级以上, 10 m 高度处的 10 min 平均风速超过 32.6 m/s , 远超过使砖块飞起的临界速度。

由此可见, 屋面上任一处的砖头在发生台风时都可能被风吹起, 生成容重很大的风致飞行物, 会产生更大的损害, 是很危险的, 应予以避免。

5 结语

通过对我国浙江省沿海地区农村房屋抗风情况的调查研究, 可得到以下结论。

(1) 风灾中破坏的房屋一般特点是: 小青瓦屋面, 结构老化, 整体性差, 连接处薄弱, 纵向无抗力体系。

(2) 一些台风易发而又相对不富裕地区现有的房屋中有 60% 以上都是抗风能力差和较差的, 以

致这些地区在风灾中会破坏大量的房屋; 而在有过惨痛教训且较富裕的地区, 由于全体村民的抗风意识提高, 只有 20% 以下的房屋是抗风能力差和较差的, 其房屋的抗风能力大大提高, 在风灾中破坏的房屋也就大大减少。

(3) 抗风能力较好的房屋绝大多数是建造年代不久, 多为混凝土现浇板屋盖, 上部多为框架或砖混结构; 而抗风能力较差和差的绝大多数为建造年代已久, 多为小青瓦屋面, 上部结构多为砖木结构或构造措施较差的砖混结构。

(4) 农村中普遍存在的“砖头压瓦”措施是危险的, 当风速超过台风的界限风速, 屋面上任一处的砖头都可能被风吹起, 产生更大的破坏, 应该避免。

致谢: 对于温州市建设局, 温州苍南县的建设局, 金乡镇、马站镇、霞关镇, 宁波象山县的交通局、建设局、民政局以及规划局的领导和同志提供的资料和帮助, 在此表示诚挚的感谢。

参考文献:

- [1] 李伟国, 丁珊胭, 杨美仙. “云娜”台风对民房危害的特征分析[J]. 浙江建筑, 2007, 4(8): 14-17.
- [2] 应天江. 沿海低层房屋风灾特点及致灾原因分析[J]. 山西建筑. 2007, 33(21): 80-81.
- [3] 葛学礼, 朱立新, 于文, 等. 浙江苍南县“桑美”台风建筑灾害与抗风技术措施[J]. 工程质量, 2006(10): 18-22.
- [4] 赵群雄. 东南沿海低层房屋抗风研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [5] 吴登靠. 苍南县西南地区贫困化问题及其对策研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [6] Holmes J D. Wind loading of structures [M]. 2nd ed. London and New York: Spon Press, 2007.
- [7] Holmes J D. Wind pressures on tropical housing [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1994, 53: 105-123.

(下转第 138 页)