

建筑屋顶形状对城市峡谷内气流和空气温度的数值研究

唐洁¹, 张双喜², 易旭憧¹

1. 测绘学院地球物理系, 武汉大学, 湖北省, 武汉

2. 地球空间环境与大地测量教育部重点实验室, 武汉大学, 湖北省, 武汉

简介:随着城市化的快速发展, 由于城乡下垫面差异导致的城市热岛效应越来越明显, 城市区域高温的出现不仅会影响城市居民的身体健康, 还会加大能源的消耗。基于雷诺平均纳维斯托克斯方程和标准k-ε方程, 针对常见的4种屋顶形状的建筑物结构以及3种典型的太阳入射角, 建立模拟街道峡谷内气流和温度分布的二维数值模型(图1)。

结果:图5-9为3种太阳入射角以及4种屋顶形状构成的峡谷内气流以及温度(温度T-空气初始温度300K)的分布。

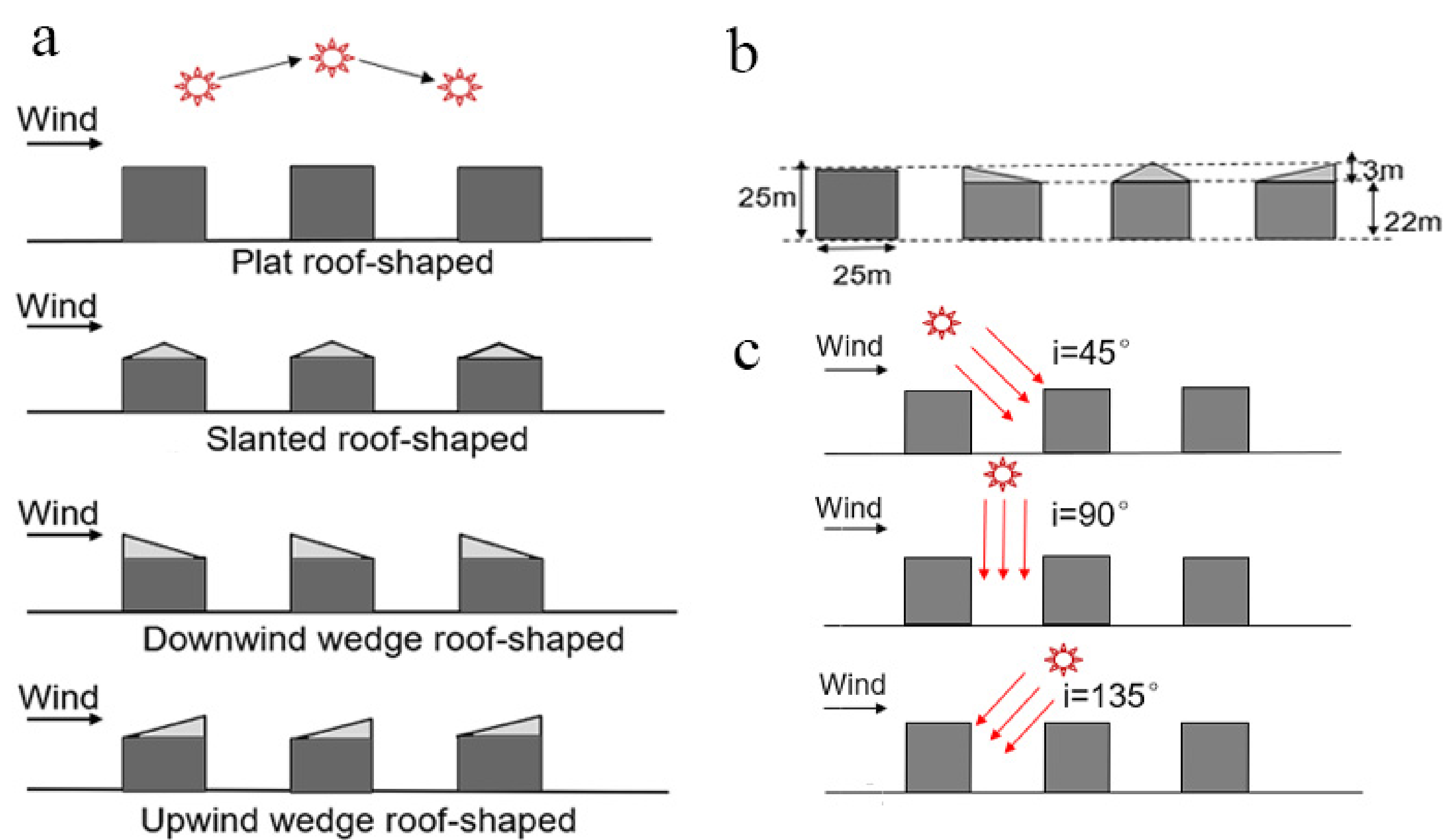


图 1. 4种屋顶形状的建筑物结构和3种典型的太阳入射角

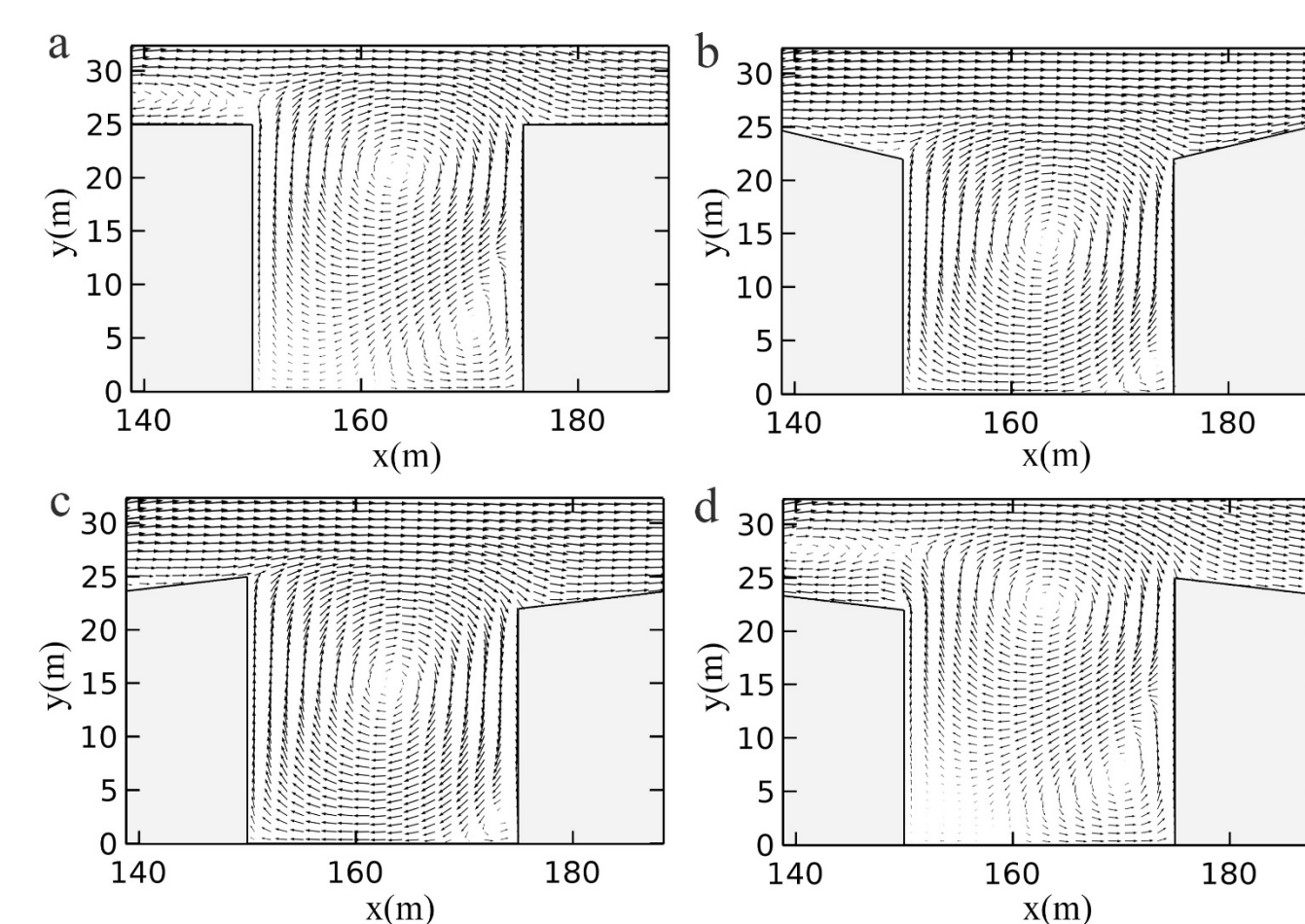


图 4. $i=45^\circ$ 峡谷内流场分布

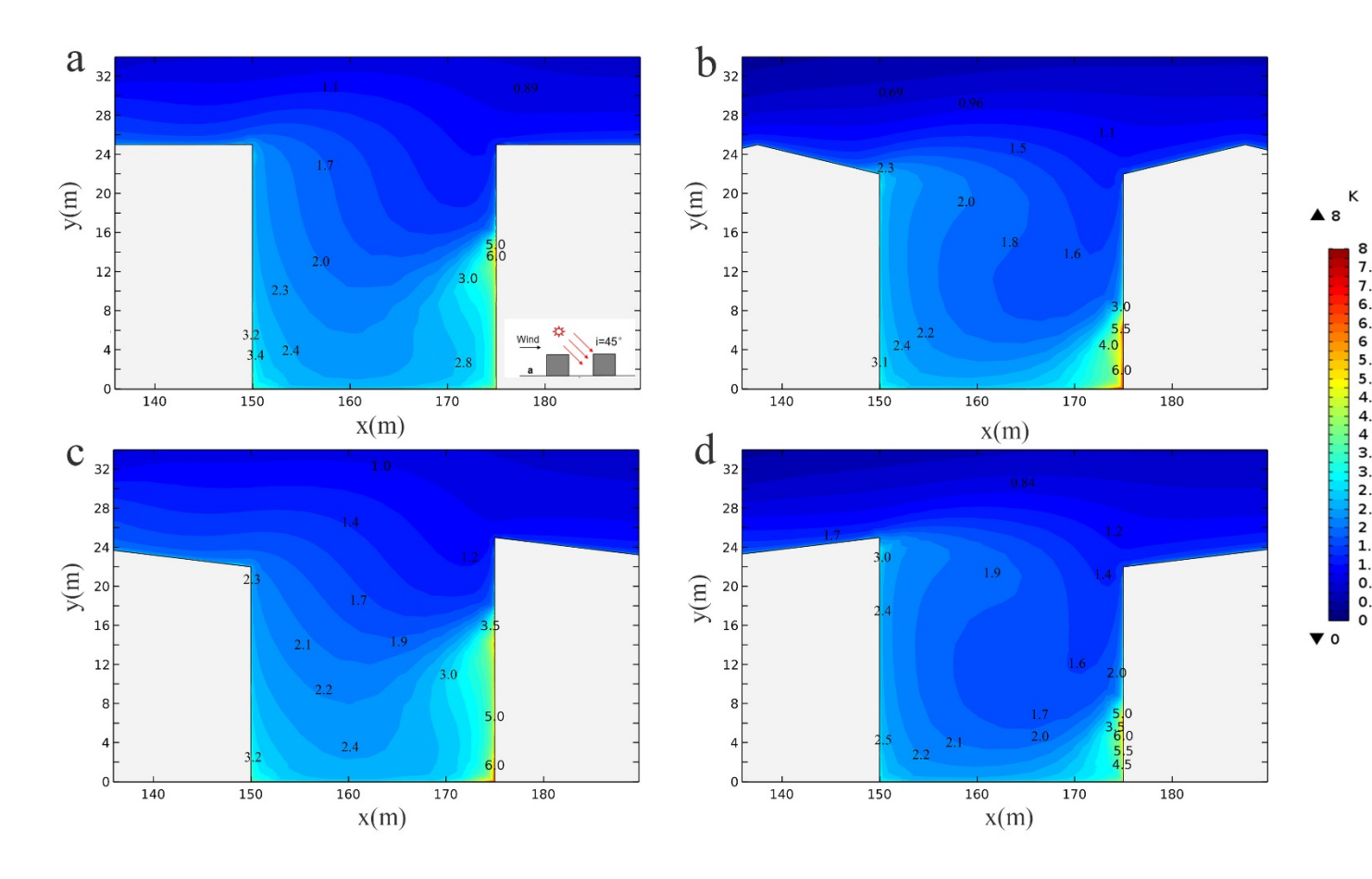


图 5. $i=45^\circ$ 峡谷内温度分布

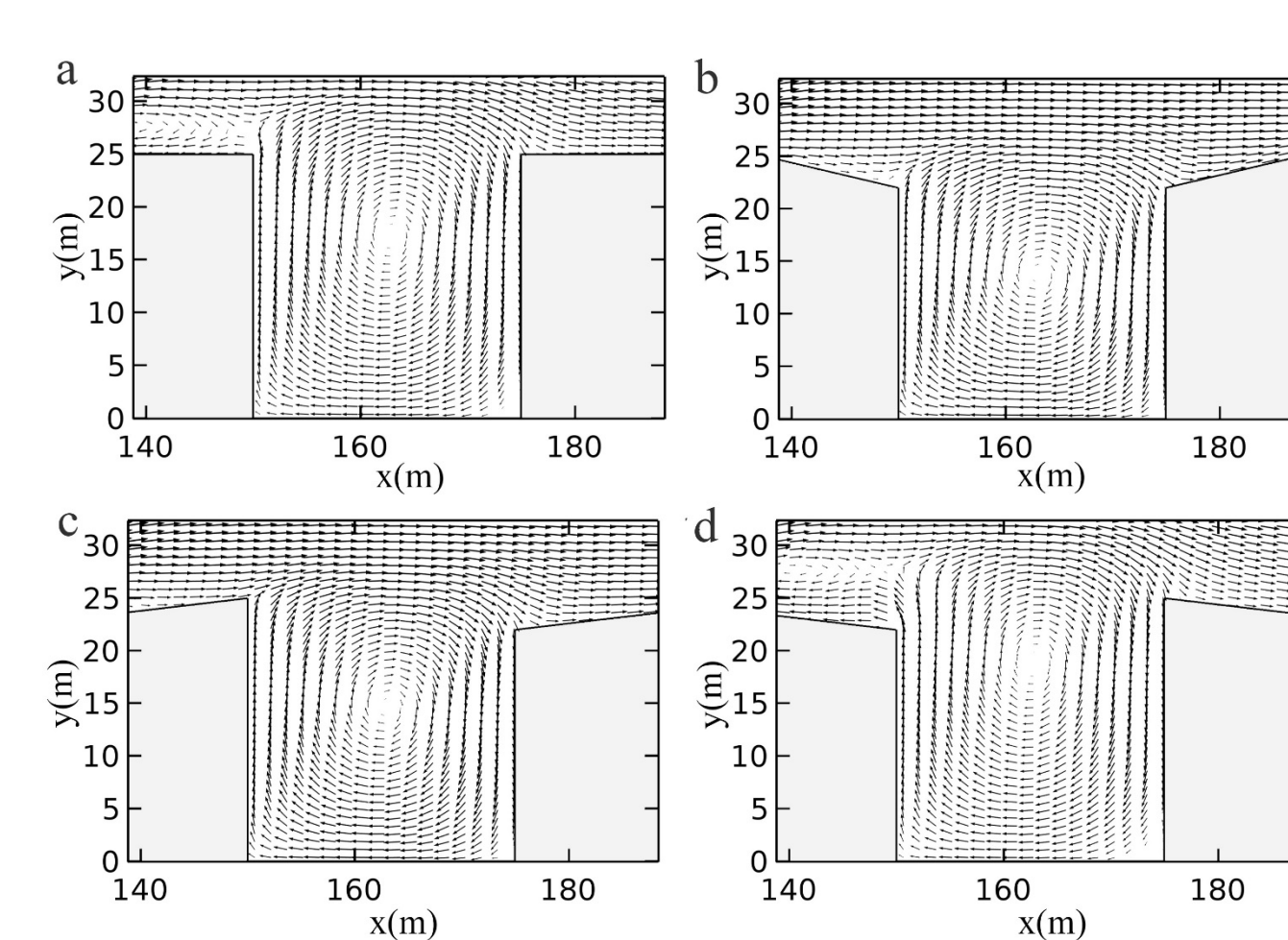


图 6. $i=90^\circ$ 峡谷内流场分布

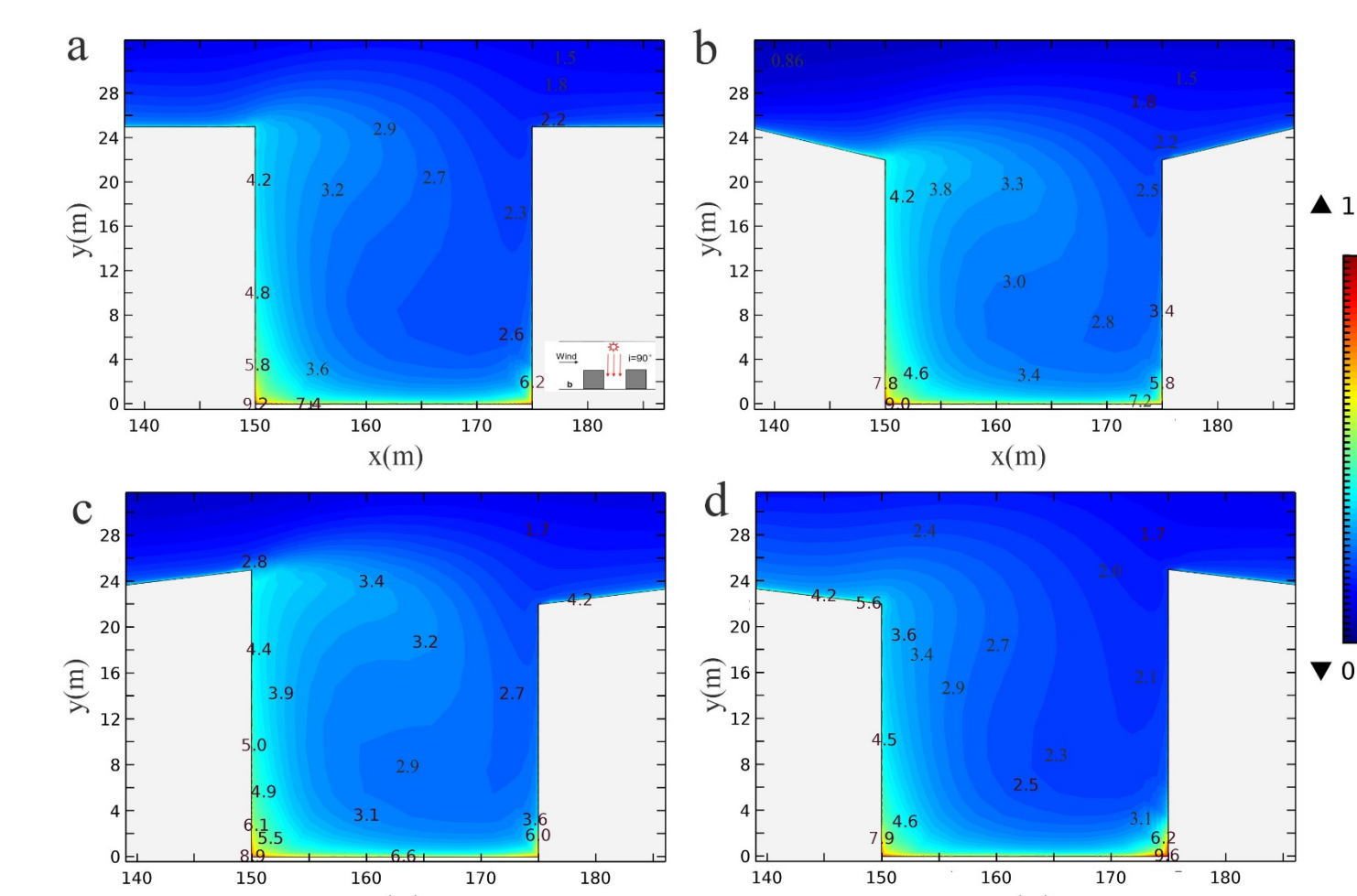


图 7. $i=90^\circ$ 峡谷内温度分布

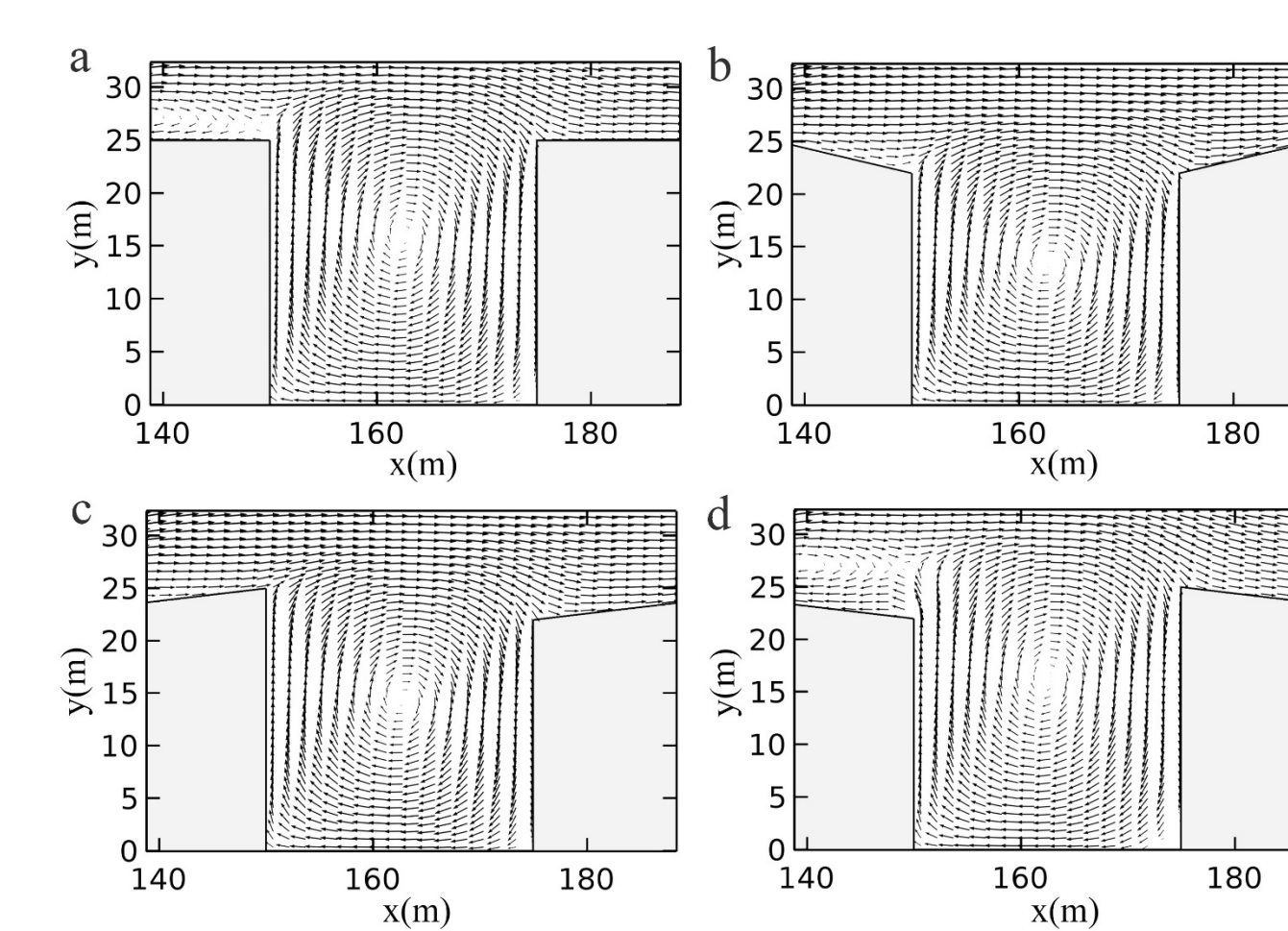


图 8. $i=135^\circ$ 峡谷内流场分布

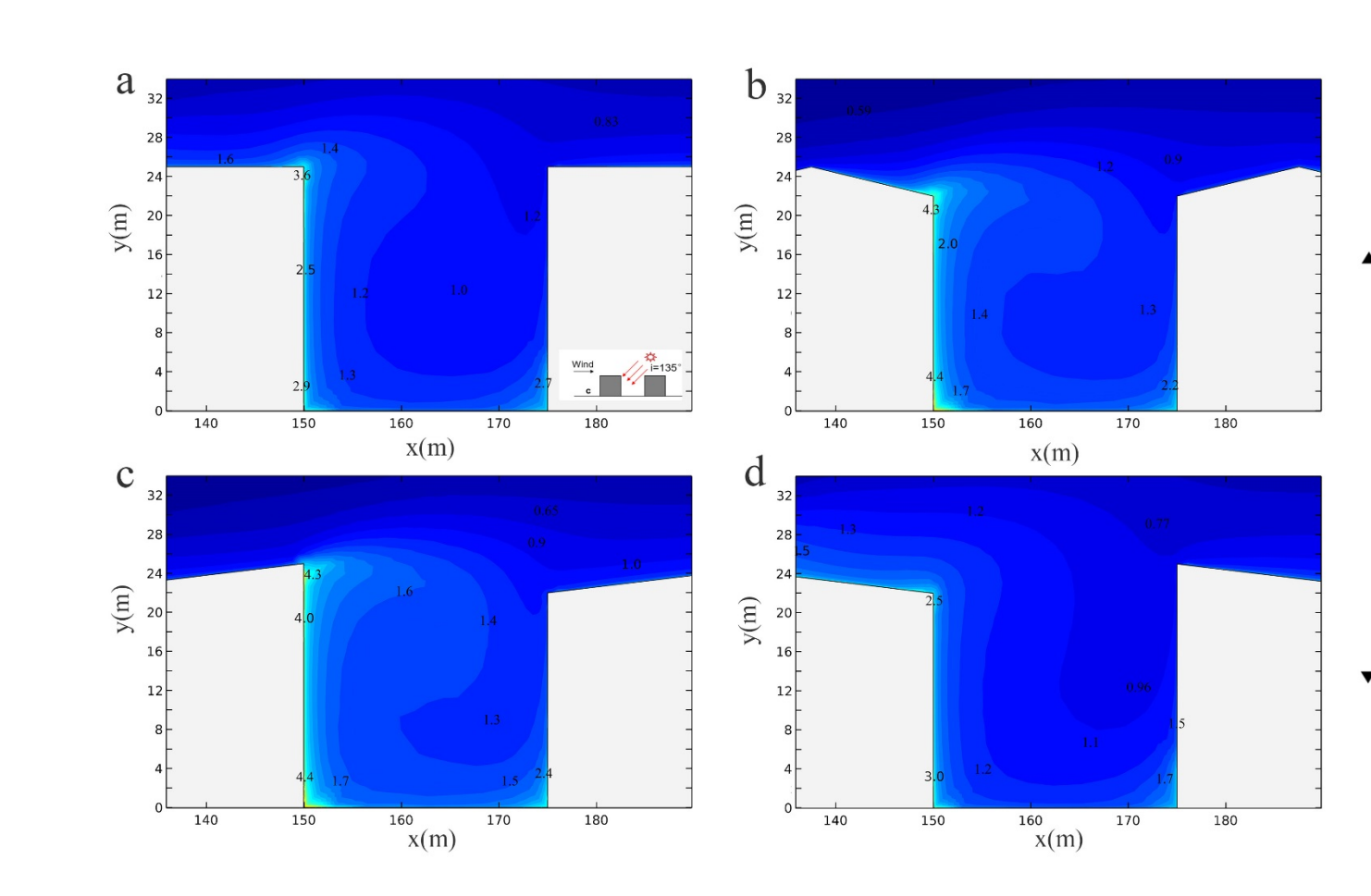


图 9. $i=135^\circ$ 峡谷内温度分布

计算方法: 采用雷诺平均纳维斯托克斯方程和标准k-ε方程。

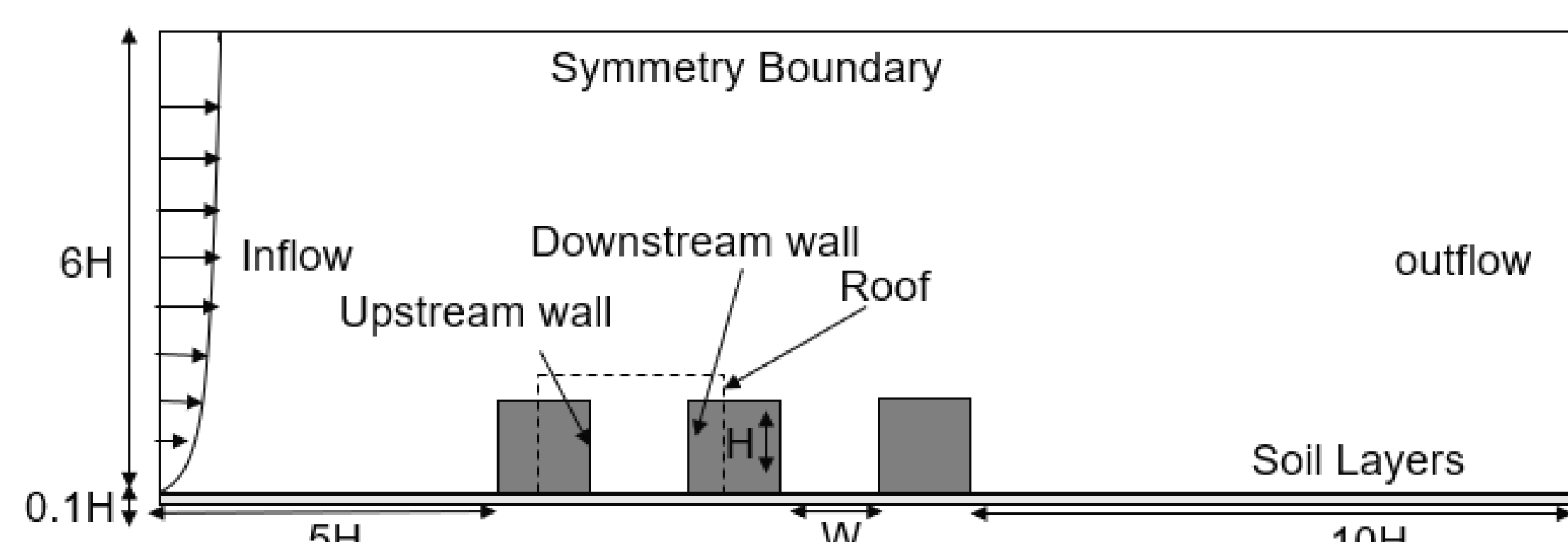


图 2. 二维模型计算域以及边界条件设置

表 1. 各壁面的物理性质

	Thickness (m)	Thermal conductivity ($Wm^{-1}K^{-1}$)	specific heat ($JKg^{-1}K^{-1}$)	Density (Kgm^{-3})	Emissivity	solar radiation absorptivity
roof	0.3	0.15	1000	1000	0.9	0.75
wall	0.2	0.15	1000	1000	0.8	0.7
asphalt	0.7	1	1680	2100	0.95	0.87
soil	1.8	0.5	1450	2050	-	-

模型验证:

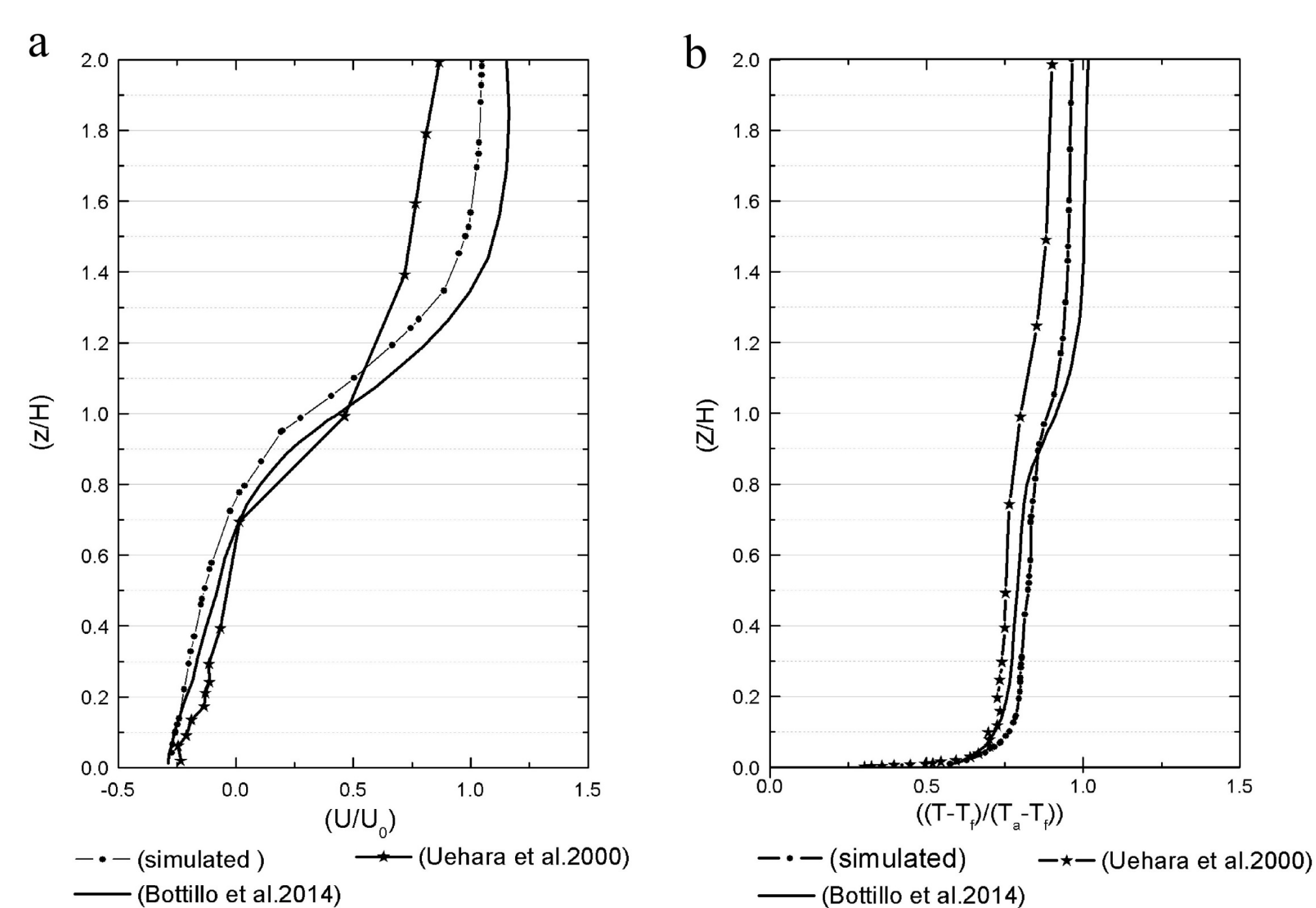


图 3. 模拟结果与Uehara (2000) 风洞试验和Bottillo (2014) 在目标峡谷中线归一化速度(a)以及归一化温度对比(b)对比。总体来说在峡谷内 $AR < 1$ 吻合较好, 模拟结果与风洞数据的差异可以归结为模拟条件和实验设置的差异。

可以发现对于不同太阳入射角平房屋顶和斜向下屋顶, 三角形屋顶和斜向上屋顶气流结构有较好的一致性, 但温度分布仍有区别。

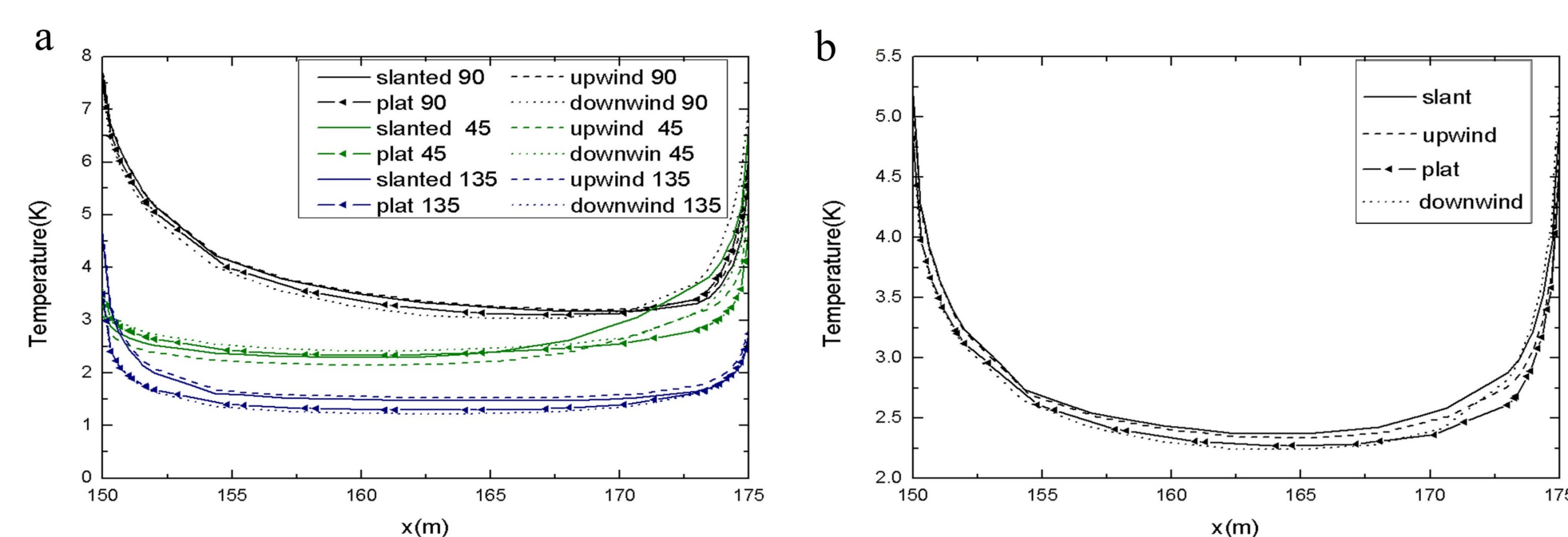


图 10. 人行高度 ($y=2m$) 处热岛强度 a 3种太阳辐射4种屋顶结构 b 三种太阳辐射情况下平均温度

结论:太阳直射于地面时, 背风面不利于热量的扩散; 同一太阳辐射强度下, 太阳直射于背风面能够有效减轻热岛效应; 等高情况下屋顶形状对峡谷内热岛效应影响较小, 但是总体来说平房屋顶更加有利于减轻峡谷热岛效应。可进一步讨论不同屋顶高度对峡谷内热效应的影响。

参考文献:

- Uehara K. Wind tunnel experiments on how thermal stratification affects flow in and above urban street canyons. *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT* 2000
- Bottillo S, De Lieto Vollaro A, Galli G, Vallati A. CFD modeling of the impact of solar radiation in a tridimensional urban canyon at different wind conditions. *SOL ENERGY* 2014;102:212-222