

一种跑步运动服平纹布的表面等效粗糙度预测研究

徐瑞娜¹, 穆雪莲², 王颖², 蒋代彬², 吴海军³

1. 北京体育大学运动人体科学学院, 北京100084; 2. 李宁(中国)体育用品有限公司, 北京101100; 3. 北京体育大学中国运动与健康研究院, 北京100084

一、研究目的

跑步、自行车和速度滑冰等竞速类项目直接以完成比赛时间作为判定名次的依据。在这一类项目中, 运动员受到的气动阻力一般占其所受总阻力的80%, 穿着减阻运动服以降低运动员所受气动阻力是帮助其提升运动成绩的有效途径之一。因此, 对制作运动服的面料开展减阻特性研究具有一定的理论和应用意义。本研究选取一种常用于制作跑步运动服的平纹布(图1)为研究对象, 探索采用均匀砂粒粗糙度模型(uniform sand-grain roughness)模拟平纹布表面微观形态的可行性, 从而为进一步开展研究平纹布减阻特性奠定基础。

二、研究方法

基于几何相似原则^[1], 可将跑步运动员的肢体简化为不同直径的圆柱开展运动服气动减阻研究。研究风速范围为2-12 m/s, 圆柱直径D为150 mm, 采用无限长圆柱方案。风洞试验时将平纹布包裹在圆柱表面(图2a), 使用六分量杆式天平(阻力量程: 0-25 N)测量气动阻力, 并计算出阻力系数。CFD模拟计算域如图2b所示, 对圆柱表面使用均匀砂粒粗糙度模型模拟不同粗糙度条件下圆柱的阻力系数。对比试验和CFD模拟结果, 研究粗糙度等效高度与风速之间的关系。

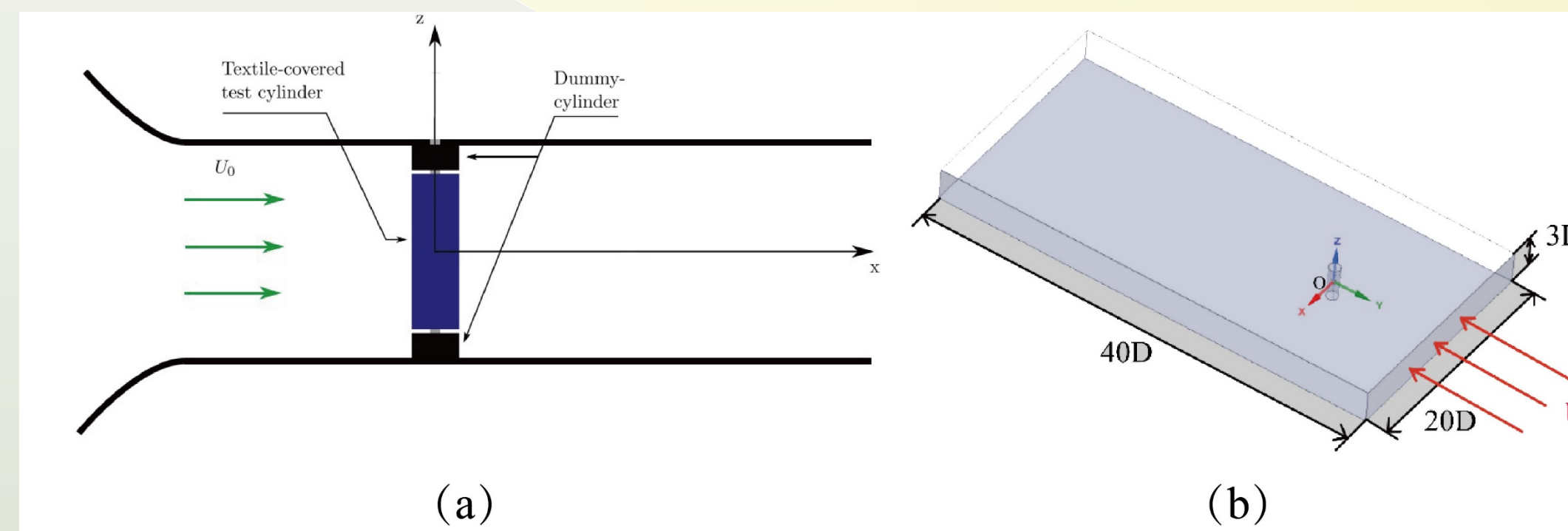


图2 研究方法 (a) 风洞试验示意图, (b) CFD模拟计算域

表面等效粗糙度高度与流速之间的关系(图3)。

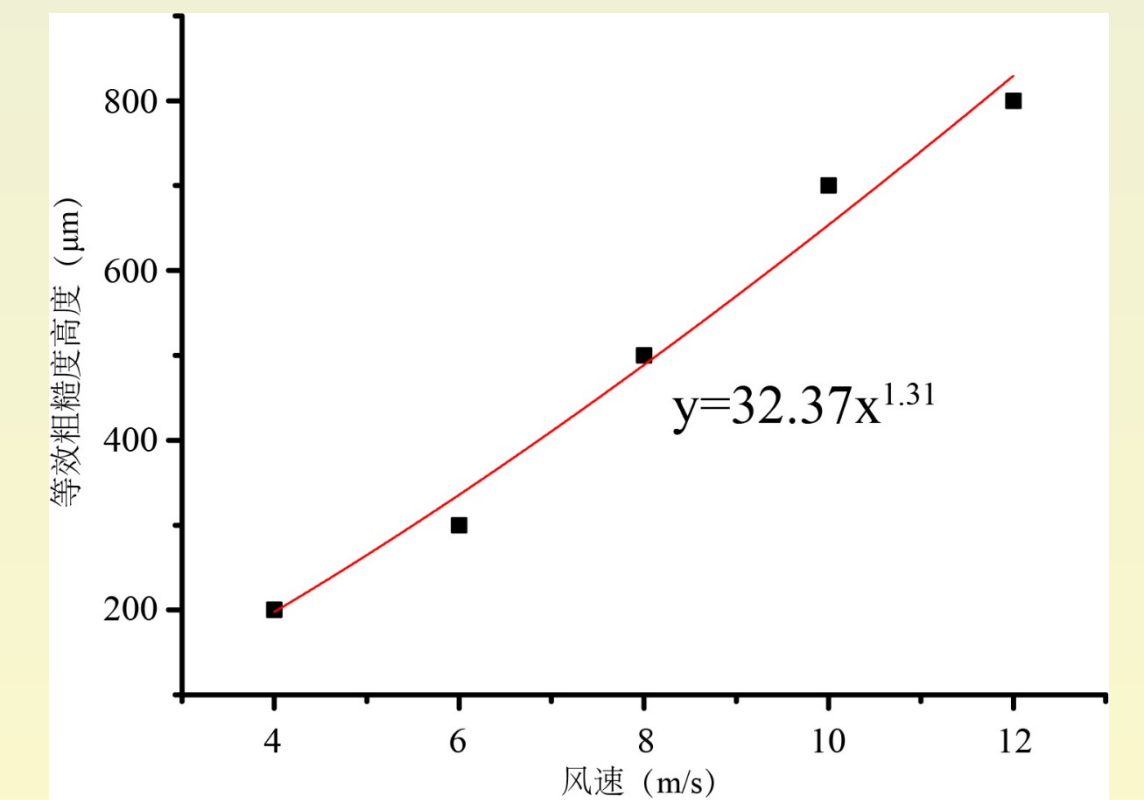


图3 均匀沙粒度模型等效粗糙度高度与来流速度之间的关系

三、研究结果

本研究CFD模拟网格数量经过敏感性测试确定。风洞试验测得的光滑圆柱阻力系数与经典试验^[2]对比, 误差小于4%。如表1所示, 每个风速选择5种不同等效粗糙度高度进行CFD模拟, 并与风洞试验结果对比, 选择合适的等效粗糙度高度, 预测出使用均匀沙粒度模型预测平纹布

表1 风洞试验和CFD模拟阻力系数对比

| 风速 (m/s) | CFD模拟等效粗糙度高度 (μm) | | | | | | | | 风洞试验 |
|----------|-------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | |
| 4 | 1.26 | 1.22 | 1.19 | 1.2 | 1.2 | 1.18 | — | — | 1.24 |
| 6 | — | 1.25 | 1.23 | 1.18 | 1.12 | 1.07 | — | — | 1.22 |
| 8 | — | 1.23 | 1.14 | 1.1 | 1.1 | 1.098 | — | — | 1.11 |
| 10 | — | 1.19 | 1.18 | 1.14 | 1.11 | 1.06 | 1.05 | — | 1.04 |
| 12 | — | — | — | 1.09 | 1.05 | 1.01 | 1 | 0.95 | 0.98 |

四、研究结论

采用均匀沙粒粗糙度模型, 通过CFD模拟和风洞试验相结合方法可以预测出平纹布表面等效粗糙度高度与来流风速之间的关系, 为进一步研究平纹布的减阻特性奠定基础。

参考文献

- [1] Brownlie L, Kyle C, Harber E, et al. Reducing the aerodynamic drag of sports apparel: Development of the Nike Swift sprint running and SwiftSkin speed skating suits[J]. Sports Eng, 2004, 7(4): 172.
- [2] Schlichting H, Gersten K. Boundary-Layer Theory[M]. Springer, Berlin Heidelberg, 2017.



图1 跑步运动服表面结构