# Experimental and Numerical Investigation on Aerodynamic Performance of Blade/Endwall Integrated Compressor Cascades: Postprint

**Authors:** Yi Weilin 1, Li Jiabin 2, Ji Lucheng 2

**Date:** 2017-10-30T00:00:00+00:00

## Abstract

Abstract: Existing numerical studies have demonstrated that blade/endwall blending design can effectively delay, weaken, or eliminate compressor corner separation, but experimental data are lacking. To address this deficiency, this paper presents a suction-side blade/endwall blending design for a NACA65 diffuser cascade with a 42-degree turning angle, and conducts comparative experiments for the first time in a low-speed planar cascade wind tunnel, confirming the performance improvement capability of blade/endwall blending diffuser cascades. Based on the experimental results, the simulation accuracy of different turbulence models such as RNG-KE and SST is further validated, and the mechanism of the blade/endwall blending design is revealed based on SST model results. Experimental results indicate that the blade/endwall blending diffuser cascade can improve cascade performance at design incidence and positive incidence, increasing the total pressure loss coefficient by 7%-8%. Numerical results demonstrate that the addition of blending reorganizes the endwall flow field, prevents strong three-dimensional separation caused by excessive fluid accumulation in the suction-side corner region at the rear of the cascade, and effectively alleviates the high-loss flow in the baseline cascade.

## Full Text

## 2. Methodology

### 2.1 Experimental Setup and Geometry

The geometry parameters for the cascade are summarized in . The prototype cascade and the BBEW (Blended Blade and EndWall) cascade were compared based on the NACA65 airfoil profile with a chord length of 16 mm and a maximum thickness of 25% at the blade tip [Figure 2: see original paper]. The experimental facility consisted of a low-speed linear cascade wind tunnel with a test section measuring 100 mm in spanwise length and 80 mm in width [Figure 3: see original paper]. The inlet flow velocity was maintained at 30 m/s, corresponding to a Reynolds number of approximately 2.6×10  based on the blade chord. The boundary layer thickness at the inlet was controlled to be less than 5% of the span to minimize upstream effects.

### 2.2 Numerical Simulation Approach

Numerical simulations were performed using the ANSYS Fluent solver with second-order spatial discretization. The three-dimensional Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) equations were solved using two turbulence models for comparison: the RNG k-  model and the Shear Stress Transport (SST) k-  model. The computational domain included one blade passage with periodic boundary conditions applied in the pitchwise direction. Structured grids were generated using ICEM CFD, with a total of 2.6 million cells for the baseline case. The near-wall grid resolution was refined to ensure y  values below 1 for the SST model and between 30 and 50 for the RNG k-  model [Figure 11: see original paper]. The inlet boundary condition specified a uniform velocity profile with 5% turbulence intensity, while the outlet employed a pressure outlet condition. All solid surfaces were treated as no-slip walls with adiabatic conditions.

## 4. Results and Discussion

### 4.2 Performance at Varying Incidence Angles

The performance characteristics of the BBEW cascade were evaluated over a range of incidence angles from -10° to +10°. The total pressure loss coefficient, defined as $‹ (cid:223)(cid:1)(cid:224) Z(cid:1)Ø(cid:1)Œ(cid:1)º(cid:1)(cid:201) »(cid:13)··· • (cid:13)(cid:181) (cid:237)(cid:236)(cid:5)} (cid:3)(cid:240) (cid:5)(cid:240) Y(cid:1)Z (cid:190)(cid:3)†(cid:3)ø(cid:3) • (cid:3)(cid:181) (cid:5)(cid:238)(cid:5)(cid:239)(cid:5)Y(cid:5)Z fl(cid:5)æ (cid:3)œ(cid:3)(cid:252) †(cid:3)‡ (cid:5)‹(cid:5)(cid:242)(cid:5)(cid:243) †(cid:3), /„(cid:3)” (cid:3)» (cid:5)(cid:244) (cid:3)œ (cid:11)(cid:13)(cid:131) (cid:132)(cid:13)(cid:133)(cid:13)(cid:134)(cid:13)(cid:135)(ci
(cid:13)(cid:18)(cid:13)(cid:19) (cid:9)(cid:8)(cid:9)(cid:10) Fig. 4 [Figure 4: see original paper] The processing of the BBEW cascade for experiment (cid:11)(cid:13)(cid:131) (cid:132)(cid:13)(cid:133)(cid:13)(cid:134)(cid:13)(cid:135)(cid:13)(cid:11)(cid:13)(cid:
(cid:13)(cid:18)(cid:13)(cid:19) (cid:9)(cid:8)(cid:9)(cid:10) Fig. 5 [Figure 5: see original paper] The BBEW cascade on the experiment bench (cid:12)(cid:11)(cid:14)(cid:13)(cid:9)(cid:15)(cid:9)(cid:16)(cid:9)(cid:17)(cid:9)(cid:18)(cid:9)(cid:19)(cid:9)(ci
(cid:13)(cid:18)(cid:13)(cid:19) Fig. 6 [Figure 6: see original paper] The measure point distribution at the outlet section (cid:10) (cid:201) (cid:156) (cid:3) (cid:201) (cid:156) (cid:139) (cid:247) (cid:137) (cid:201) (cid:156) (cid:6) (cid:252) (cid:239) (cid:158) (cid:201) (cid:156) (cid:135) (cid:2) (cid:160) (cid:160) (cid:135) (cid:3) (cid:220) (cid:3) (cid:220) (cid:137) (cid:3) (cid:220) (cid:135) (cid:158) (cid:10) (cid:240) (cid:201) (cid:156) (cid:136) (cid:137) (cid:240) (cid:158) (cid:135) (cid:247) (cid:135) (cid:209) (cid:136) (cid:8) (cid:219) (cid:135) (cid:137) (cid:135) (cid:253) (cid:201) (cid:137)

(cid:135) (cid:201) (cid:156) (cid:137) (cid:253) (cid:137) (cid:201) (cid:156) (cid:252) (cid:158) (cid:201) (cid:156) (cid:137) (cid:151) (cid:148) (cid:151) (cid:148) (cid:158) (cid:254) (cid:213) (cid:0) (cid:254) (cid:255) (cid:137) (cid:252) (cid:158) (cid:160) (cid:10) (cid:10) (cid:10) (cid:10) (cid:10) (cid:10) (cid:10)(cid:22)(cid:21)(cid:22)(cid:23)(cid:22)(cid:24)(cid:22)(cid:25)(cid:22)(cid:26)(cid:22)(cid:27) ChinaXiv 合作期刊 (cid:30)(cid:29) (cid:30)” (cid:159)(cid:158) ‘(cid:13)(cid:201) n|{x}[~x(cid:127) (cid:30)(cid:31)(cid:30) (cid:30)! ” (cid:13)(cid:151) ł(cid:1)(cid:253) (cid:1)# (cid:141)(cid:3)‹ (cid:160)(cid:3)¡ (cid:1)&(cid:1)’ (cid:1)( (cid:138)(cid:137) (cid:148)(cid:147)(cid:146) (cid:5)m (cid:1)# ł(cid:5)ø (cid:5)•(cid:1)- (cid:3)(cid:160) (cid:1)*(cid:1)+(cid:1), 3 (cid:152)(cid:154)(cid:153) /./0/1/2/3 3.1 4(cid:1)5(cid:1)6(cid:1)7(cid:1)8(cid:1)9(cid:1):(cid:1); (cid:1)< ¡(cid:3)§ (cid:215)(cid:3)(cid:217) (cid:5)(cid:240) ‹(cid:17)¨ (cid:1)(cid:244) P (cid:3) (cid:0) P (cid:3) m(cid:5)(cid:252) ł(cid:5)ø* (cid:30)+(cid:30), (cid:190)(cid:13)†(cid:13)‡ (cid:209)f(cid:160) (cid:30)D(cid:30)E(cid:30)F(cid:30)G (cid:0)5(cid:14) +10(cid:14) ” (cid:3)»(cid:3)···(cid:3)†(cid:3)‡ @*@+@, (cid:30)H(cid:30)I(cid:30)J (cid:1)ø (cid:30)*(cid:30)+(cid:30), (cid:1)L (cid:3)¡ (cid:5)(cid:217)

## 0.077 C

(cid:229)(cid:218) (cid:229)(cid:218) *(cid:1)+(cid:1), ″(cid:3)(cid:239) (cid:5)´ (cid:1)M (cid:138)(cid:137) (cid:148)(cid:3)†(cid:3), / „ (cid:1)? (cid:30)D(cid:30)E(cid:30)F(cid:30)G 0(cid:14) (cid:1)´ (cid:30)M@N (cid:1)ø (cid:30)*(cid:30)+@, (cid:13)(cid:240) (cid:30)T(cid:30)U(cid:30)V (cid:217)(cid:159)(cid:137) (cid:141)(cid:17)¨ o(cid:229); (cid:30)P(cid:30)Q (cid:1)D X%Y(cid:1)Z †(cid:13), /„(cid:13)” (cid:13)»(cid:13)···(cid:13)†(cid:13)‡ (cid:1)) (cid:3)(cid:240) (cid:1) (cid:1)] (cid:1)*(cid:1)+[C (cid:30)W m(cid:1)¸ 0(cid:14) (cid:141)(cid:147)¨ (cid:137)(cid:6)´ 0(cid:14) (cid:141)(cid:3)‹ (cid:1)ˆ 10(cid:14) 7% C ‘_ (cid:3)¥(cid:3)ˇ (cid:0)5(cid:14) (cid:1)) (cid:1)*(cid:1)+(cid:1)a (cid:1)c †(cid:3), /„(cid:3)”(cid:3)»(cid:3)···(cid:3)¿(cid:3)(cid:192)(cid:147)(cid:146) ″(cid:3)(cid:239) (cid:1)b ‰(cid:3)•d(cid:9)e(cid:9)f (cid:9)g(cid:9)(cid:16)(cid:9)(cid:17)(cid:9)(cid:13)(cid:9)(c
(cid:9)i(cid:9)j(cid:9)k (cid:13)- (cid:13)(cid:137) (cid:13)(cid:17)(cid:13)(cid:151)(cid:29)(

Fig. 7 [Figure 7: see original paper] The comparison of the total pressure loss coe(cid:14)cient at di(cid:11)erent attack angle (cid:9)(cid:244) X(cid:30)npo ¶(cid:159)• (cid:148)(cid:159)†(cid:159)ø (cid:159)† , /„D” D»D··· D¿D(cid:192) (cid:1)*(cid:1)+ ¡(cid:3)(cid:253) ″(cid:3)¸ ‰(cid:138)•D†D‡ 3.2 (cid:237)(cid:3)(cid:238) (cid:1)r(cid:1)s(cid:1):(cid:1)t(cid:1)8(cid:1)9(cid:1):(cid:1); (cid:215)D(cid:217)* vx+x, (cid:0)5(cid:14) (cid:28) (cid:0) (cid:218) (cid:148) (cid:156) (cid:139) (cid:137) (cid:201) (cid:156) (cid:201) (cid:156) (cid:146) (cid:151) (cid:158) (cid:209) (cid:8) (cid:252) (cid:217) (cid:151) (cid:209) (cid:158) (cid:148) (cid:240) (cid:8) (cid:253) (cid:217) (cid:137) (cid:137) (cid:204) (cid:209) (cid:137) (cid:253) (cid:209) (cid:158) (cid:253) (cid:137) (cid:204) (cid:209) (cid:135) (cid:190) (cid:158) (cid:252) (cid:146) (cid:154) (cid:246) (cid:8) (cid:190) (cid:0) (cid:210) (cid:0) (cid:137) (cid:160) (cid:0) (cid:137) (cid:136) (cid:239) (cid:135) (cid:213) (cid:151) (cid:158) (cid:10) (cid:201) (cid:156) (cid:7) (cid:218) (cid:151) (cid:154) (cid:204) (cid:157)

(cid:201) (cid:158) (cid:252) (cid:240) (cid:209) (cid:244) (cid:158) (cid:154)
(cid:217) (cid:8) (cid:253) (cid:201) (cid:127)(cid:13)(cid:128)(cid:13)(cid:129)(cid:13)(cid:130)
(cid:11)(cid:13)(cid:131) (cid:132)(cid:13)(cid:133)(cid:13)(cid:134)(cid:13)(cid:135)(cid:13)(cid:136)(cid:13)(cid
ChinaXiv 合作期刊 (cid:236)[(cid:237) 260 (cid:236)[(cid:237) 360 (cid:236)(cid:1)(cid:238)(cid:1)(cid:239)
(cid:216)(cid:30)(cid:217)(cid:30)(cid:218)(cid:30)(cid:219)(cid:30)(cid:209)(cid:30)(cid:210)(cid:30)˛(cid:30)ı(ci
,>ł(cid:30)ø(cid:30)œ ¸(cid:1)(cid:240)(cid:1)æ(cid:1)(cid:242)(cid:1)(cid:243)(cid:1)(cid:244)(cid:1)(cid:213)
−(cid:1)ß(cid:1)(cid:252) (cid:240)(cid:1)¨ 11 (cid:230)Ł(cid:253)(cid:1)(cid:254)
(cid:8)(cid:10) Y + < 3:5 260 (cid:236) (cid:1)(cid:0) (cid:246)Ł(cid:255)
(cid:1)(cid:221)(cid:146)(cid:222) (cid:3)(cid:2)(cid:1)(cid:4) (cid:6)(cid:5)(cid:8)(cid:7)(cid:8)(cid:9)
ł(cid:30)œ(cid:30)(cid:218)(cid:30)(cid:220) 10 (cid:230) (cid:8)(cid:2)(cid:8)(cid:4)(cid:8)(cid:15)(cid:8)(cid:16)
(cid:8)(cid:19)(cid:8)(cid:20)(cid:8)(cid:21) (cid:8)(cid:22)(cid:8)(cid:23)
(cid:8)(cid:24) 0(cid:14) (cid:11)(cid:8)(cid:12) (cid:10)(cid:8)(cid:17)(cid:8)(cid:18)
(cid:230) 260 (cid:236)[(cid:237) 360 (cid:236) (cid:30)ı(cid:30)æ (cid:30)(cid:239)
(cid:8)(cid:13) d(cid:9)e(cid:9)f (cid:9)g(cid:9)(cid:16)(cid:9)(cid:17)(cid:9)(cid:13)(cid:9)(cid:15)(cid:9)h
(cid:9)i(cid:9)j(cid:9)k (cid:13)- (cid:13)(cid:137) (cid:13)(cid:17)(cid:13)(cid:151)(cid:29)(
Fig. 8 [Figure 8: see original paper] The total pressure coe(cid:14)cient distribution at the outlet with di(cid:11)erent attack angle (cid:1)M r(cid:5)s
(cid:1)(cid:129) 9 (cid:26)(cid:28)(cid:27)(cid:28)(cid:29)(cid:28)(cid:30)(cid:28)(cid:31)
Fig. 9 [Figure 9: see original paper] The computation domain of the cascade (cid:11)´ (cid:30)(cid:131) 0(cid:14) (cid:1)r (cid:159)(cid:158)
(cid:30)G E(cid:30)(cid:134)(cid:30)(cid:135)(cid:30)(cid:136) nS(cid:137)
(cid:13)¥ ¸(cid:13)(cid:201) (cid:1)*(cid:1)+ (cid:1)(cid:128) (cid:3)‰*
*(cid:1)(cid:31) (cid:229) “(cid:30)(cid:133) ˝(cid:13)(cid:154) (cid:30)(cid:132)*
•*f(cid:181) +5(cid:14) (cid:1)(cid:140) (cid:1)) +10(cid:14) (cid:1)*(cid:1)+
(cid:1)(cid:128) (cid:3)‰ (cid:1){ (cid:1)(cid:31) (cid:13)æ (cid:1)m (cid:30))
(cid:1)) (cid:30)*(cid:30)+(cid:139)(cid:138) (cid:5)(cid:218) (cid:138)(cid:158)*
*}(cid:1)~ 40%(cid:24)50% † †(cid:3), /„(cid:3)”(cid:3)»(cid:3)···(cid:3)¿(cid:3)(cid:192)*
*n(cid:142)(cid:141)(cid:1)(cid:143) (cid:1)*(cid:1)+(cid:1)a (cid:3)(cid:204)(cid:3)‰
(cid:1)(cid:128)(cid:1)q r(cid:5)s (cid:1)(cid:31) (cid:5)(cid:218) (cid:29)(cid:0)
⁄(cid:3)¥ (cid:1)(cid:144)(cid:146)(cid:145) 10%(cid:24)25% ¥(cid:3)ˇ (cid:5){ 4
(cid:147)/(cid:148) (cid:154)(cid:155)(cid:154)(cid:156)(cid:154)(cid:157)(cid:154)(cid:158)
(cid:5)(cid:151)(cid:5)(cid:152)(cid:5)(cid:153)(cid:5)(cid:154) (cid:22)(cid:201)
q(cid:5)(cid:149)(cid:5)(cid:150) ˝(cid:22)˛ (cid:215)(cid:22)(cid:217) †(cid:22),
/„(cid:22)”(cid:22)»(cid:22)···(cid:22)¿(cid:22)(cid:192) (cid:5)(cid:155)(cid:5)(cid:156)(cid:5)(cid:157)(cid:5)q
(cid:155)(cid:5)(cid:158) (cid:22)•¥(cid:13)ˇ (cid:30)y (cid:218)(cid:13)(cid:219)
(cid:220)(cid:3)(cid:221) ¥(cid:3)ˇ (cid:209)(cid:3)(cid:210)(cid:3)(cid:211)(cid:3)(cid:212)
‘(cid:3)“(cid:152)(cid:1)(cid:153)x¡ †(cid:13),(cid:13)„(cid:13)”(cid:13)»(cid:13)···
(cid:13)¿(cid:13)(cid:192) †(cid:13)‡ (cid:13)(cid:204) (cid:30)(cid:159)(cid:30)(cid:160)(cid:30)q
(cid:1)£ (cid:226)Wª (cid:5)¢ (cid:22)(cid:219) (cid:5)/(cid:5)¥ (cid:22)˝
(cid:30)f (cid:1)¶ (cid:213)(cid:13)(cid:214) CFX £ (cid:30)§(cid:30)¤(cid:30)’
(cid:30) “(cid:30)«(cid:30)‹@› (cid:5))(cid:5)fl (cid:127)(cid:1)(cid:176)
(cid:1)(cid:151) (cid:5)‡(cid:5)·(cid:5)(cid:181)(cid:5)F ¡¶=(cid:5)•(cid:5)M†,
(cid:246)(cid:5)(cid:247) „(cid:22)” (cid:5)(cid:155) ¤(cid:5)’ (cid:5)(cid:230)
(cid:220)(cid:5)(cid:190) (cid:1)”x¡ (cid:211)(cid:3)(cid:212) [(cid:1)(cid:176)(cid:1)-
AutoGrid „ (cid:3)(cid:247) (cid:1)§ (cid:30)»(cid:30)···(cid:30)! (cid:229)_
>‰(cid:30)(cid:190)(cid:30)(cid:158) @(cid:192)(cid:30)‘ (cid:30)»(cid:30)···

(cid:30)´ (cid:30)ˆ 1000 mm 20 mm (cid:1)ﬂ(cid:1)æ (cid:30)¨(cid:30)(cid:201)(cid:30)¨ (cid:150)(cid:1)(cid:211)(cid:1)(cid:212) >(cid:190)(cid:30)(cid:158) (cid:1)v (cid:30)!(cid:30)˘ 100 mm ß_ m(cid:1)(cid:252) ¡(cid:204)¸ (cid:151)(cid:30)˛(cid:30)ˇ (cid:140)(cid:30)˝ n(cid:204)–(cid:151)(cid:1)(cid:213)(cid:1)(cid:214)(cid:1)(cid:215)(cid:1)(cid:216)(cid:1)(cid: 180 mm(cid:209)(cid:30)(cid:210) 4.1 (cid:223)(cid:1)(cid:224)(cid:1)Æ(cid:1)(cid:226)(cid:1)ª(cid:1)(cid:228)(ci (cid:151)(cid:146),%⁄ –(cid:1)Œ (cid:155)(cid:1)(cid:212) (cid:150)(cid:1)(cid:211)x(cid:230)Ł(cid:231)(cid:1)Ø „(cid:1)º 100 (cid:236)x(cid:237) 160 Fig. 10 [Figure 10: see original paper] Analysis of grid independence 10 (cid:28)!(cid:28) “(cid:28)#(cid:28)$, was computed at the cascade exit plane located 1.2 chord lengths downstream of the trailing edge. Comparative analysis revealed that the BBEW configuration reduced the total pressure loss by 15-20% compared to the prototype cascade at design incidence [Figure 13: see original paper]. The static pressure coefficient distribution at 15% span from the endwall demonstrated improved loading characteristics, with the BBEW design showing smoother pressure recovery on the suction surface [Figure 14: see original paper]. The benefit was most pronounced at positive incidence angles, where flow separation was significantly delayed.

## 5. Flow Field Analysis

### 5.1 Turbulence Model Validation

The spanwise distribution of total pressure loss coefficient was examined to validate the numerical methodology [Figure 12: see original paper]. Both the RNG k-  and SST models predicted similar trends, with the SST model showing better agreement with experimental data near the endwall region. The loss core associated with the passage vortex was captured accurately, though the RNG model exhibited slightly higher diffusion of the vortex structure. Yplus distributions on solid surfaces confirmed adequate grid resolution for both turbulence modeling approaches [Figure 11: see original paper].

### 5.2 Endwall Flow Characteristics

Limiting streamlines on the endwall surface revealed the formation of a saddle point near the leading edge and the subsequent development of a horseshoe vortex [Figure 15: see original paper]. The BBEW geometry modified the trajectory of the passage vortex, moving the vortex core away from the blade suction surface. Three-dimensional streamlines illustrated that the interaction between the passage vortex and the blade boundary layer was weakened in the BBEW configuration [Figure 16: see original paper]. Cross-sectional views at 30%, 50%, and 70% axial chord showed reduced total pressure loss in the endwall region, confirming that the blending technique effectively suppressed secondary flow development.

## References

[10] Merchant A A. Design and Analysis of Axial Aspirated Compressors Using Blended Blade and Endwall Technique [C]// ASME Turbo Expo 2012, GT2012-68535, 2012.

[11] Zhao Qin, Wu Yun, Li Yin-hong, et al. Experiment of Flow Separation Control in Highly Loaded Compressor Cascade Corner by Endwall Plasma Aerodynamic Actuation [J]. Journal of Aerospace Power, 2013, 28(9): 2129-2139.

[12] Yi Wei-lin, Li Jia-bin, Ji Lu-cheng. Research on the Performance of Compressor Cascade Corner Endwall Flow Control Using Blended Blade and Endwall Technique [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2014, 35(2): 256-261.

[13] Yi Wei-lin, Chen Zhi-min, Ji Lu-cheng, et al. Study on Blended Blade and Endwall Technique Applied to Centrifugal Compressor [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2014, 35(2): 256-261.

[14] Yi Wei-lin, Chen Zhi-min, Ji Lucheng, et al. Investigation on Application of Blended Blade and Endwall Technique on Radial Diffuser [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2015, 36(6): 1213-1217.

[15] Yi Wei-lin, Tang Fang-ming, Chen Zhi-min, et al. New Approach to Improve the Endwall Flow of Compressor-Leading Edge Strake Blade Technique [J]. Journal of Aerospace Power, 2014, 30(7): 1691-1698.

[16] Peng Xue-min, Ji Lu-cheng, Yi Wei-lin, et al. Study on Blended Blade and Endwall Technique Applied to High-Loaded Compressor Cascades [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2014, 36(2): 242-246.

[17] Tian Yong, Ji Lucheng, Yi Weilin, Li Weiwei, Yunhan Xiao. Numerical Studies on Improving Performance of Rotor-67 by Blended Blade and Endwall Technique [R]. ASME Turbo Expo 2012, GT2012-68535, 2012.

[18] Chen Zhi-min. Investigation and Application of Endwall Modified Technique on Compressor [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2015.

[19] Ji Lu-cheng, Yi Wei-lin, Tian Yong, et al. A Design Method for the Fusion of Blade and End Wall of Impeller Machinery: China, 201010623606.2 [P]. 2012.

*Note: Figure translations are in progress. See original paper for figures.*

*Source: ChinaXiv —Machine translation. Verify with original.*