

ACHEMA 2009: POČÍTAČOVÁ DYNAMIKA TEKUTIN

Modelování Computational Fluid Dynamics (CFD) – počítačová dynamika tekutin – poskytuje výkonný nástroj inženýrům, výzkumníkům a jiným technickým odborníkům ke znázornění pochodů, probíhajících ve většině typů zařízení v chemické výrobě, jako jsou míchadla, potrubí a jiné typy složitých výrobních nádob. Bude to jedním z předmětů diskusí na výstavě a na mezinárodním kongresu ACHEMA 2009. Ve dnech 11.–15. května 2009 se setká více než 4000 vystavovatelů a 180 000 návštěvníků z celého světa ve Frankfurtu v Německu na nejdůležitější mezinárodní akci pro dodavatele do chemického průmyslu a všech jiných zpracovatelských odvětví. ACHEMA opět vyvolá impulsy k zaměření vývoje technologie, k celosvětovým kontaktům a novým obchodním sítím.

CFD modelování

Software počítačové dynamiky tekutin (CFD) umožňuje numerické řešení základních fyzikálních rovnic (jinak nazývaných jako Navier-Stokesovy rovnice), které popisují zachování hmoty, momentu a energie. Řešením těchto rovnic v několika tisících definovaných bodech na výpočtové síti, vytvořené tak, aby se blížila geometrii modelované složky zařízení nebo systému, jsou programy CFD schopny účinně simulovat základní děje, jako je tok tekutin, přenos hmoty a tepla a chemické reakce. A když se zkombinuje modelování CFD s jinými typy softwaru modelování (uvedenými dále), jsou uživatelé schopni nejen porozumět chování tekutin v systému, ale analyzovat a předpovídat odezvu struktury, únavu a vibraci strojního zařízení.

Modelování CFD je známé už několik desetiletí. V počátečních letech však používali techniku modelování hlavně jednotlivci v akademiích a v průmyslu, kteří měli specifický akademický základ a rozsáhlé školení, potřebné k práci s tak speciálním softwarem. Dnes však způsobil velký pokrok ve všech ohledech modelování CFD, že jsou běžné programy rychlejší, účinnější, intuitivnější a snadněji použitelné než kdykoliv dříve a s minimálním školením, a to velmi rozšířilo využívání této účinné techniky modelování.

Modelování CFD nyní používají projektanti na urychlení práce při návrhu zařízení, na zkrácení doby návrhu, urychlení uvedení výrobku na trh a omezení nákladů na výrobu zmenšením nutného rozsáhlého vývoje prototypu a jeho fyzického testování.

Obsluha procesu využívá modelování CFD na vyladění parametrů procesu k odstranění poruch a optimalizaci procesu, ke snížení emisí, k řešení problémů s vibrací, ke zvýšení výkonu a výnosu výrobu a k dalším cílům.

Jak CFD pracuje

Software poskytuje vizuální znázornění, které usnadňuje uživateli analýzu prakticky každého typu toku v reálných podmínkách, předpovídat řadu podmínek procesu, jako jsou reakční rychlosti, míchání, odtržení proudu, rozložení materiálů, rozložení teploty nebo tlaku a rozložení smykové rychlosti.

Uživatelé dále využívají stálých pokroků v přímé tvorbě sítě, která je nedílnou součástí modelování CFD, a softwaru zpracování po procesu, který se využívá na jemné doladění analýzy a vizuální znázornění výsledků modelování.

Mnoho současných softwarových programů poskytuje automatickou kontrolu chyb, která může zjistit nesrovnalosti ve vstupních datech a sestavení modelu a upozorní uživatele před přechodem k dalšímu kroku. Podobně prvek „uzdravení geometrie“ pomáhá mnohým současným řešitelům CFD automaticky zjistit „ne optimální“ vlastnosti geometrie, jako jsou malé mezery, nesprávné okraje a velmi malé plochy, čímž se zlepšuje jednotnost použité geometrie a přesnost výsledků získaných modelováním.

Řádové zvětšení rychlosti a kapacity paměti současných počítačů otevřelo dveře pro větší a složitější složky zařízení a systémy chemických procesů (které jsou obvykle charakterizovány neustáleným prouděním tekutin a vyžadují velké a neustálené soubory dat), spolehlivě modelovaných na běžných stolních počítačích a dokonce na přenosných počítačích – už není nutno používat superpočítače, které byly dříve pro modelování CFD potřebné.

Tvorba sítě

Před jakoukoliv CFD analýzou se musí vytvořit virtuální prototyp modelované složky. Aby se zjednodušil složitý výpočet, který probíhá při modelování CFD, musí se nejprve rozložit geometrie modelovaného systému nebo zařízení na síť drobných buněk. Spojením těchto samostatných buněk se přibližně vytvoří složitá geometrie modelované složky. Potom se v každé buňce řeší příslušné rovnice.

Aby se urychlila a automatizovala tvorba sítě, jsou současné programy na tvorbu sítě schopné přijímat výkresy z počítačového návrhu složky (computer-aided design – CAD) prakticky z každého komerčního CAD programu a použít je jako počáteční vstup pro tvorbu sítě. Uživatel musí určit několik základních velikostí buněk a jejich roztřídění (podle návodu uvedeného v programu) a software potom automaticky provede celou práci k vytvoření a vyhlazení sítě.

Počet buněk sítě, požadovaný k přesnému vyjádření složitě modelované geometrie, se

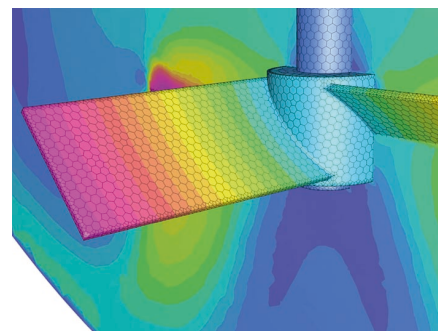
může pohybovat od statisíců do milionů. Čím je síť jemnější, tím je výpočet přesnější – ovšem jemnější síť mají obvykle větší počet buněk a konvergence modelovaných výsledků trvá déle a vyžaduje více dat.

Dnes je automatická tvorba sítě součástí většiny obchodních programů modelování CFD a jejich vývoj pokračuje. Současné síťovací programy nyní například používají předem definované stavební bloky a normalizované šablony stylů sítě, založené na různých geometrických prvcích, jako jsou šestistěnné, čtyřstěnné a mnohostěnné prvky, pyramidy, klíny, hranoly (nebo jejich kombinace).

V posledních letech zlepšila tvorbu sítí dostupnost takzvaných mnohostěnných sítí. Ve srovnání s běžnými čtyřstěnnými sítěmi mají nové mnohostěnné síť méně buněk, takže konvergence při modelování je rychlejší a tím simulaci urychluje. Tyto moderní způsoby síťování též dovolují přesné znázornění geometrie prakticky jakékoliv komplikované složky, dokonce i s takovými komplikovanými vlastnostmi jako mají palivové trysky, spleť otvory a průchody. A díky dostupnosti dnešních snadno ovladatelných rozhraní jsou uživatelé postupem tvorby sítě vedeni.

Jeden z prodejců CFD, Ansys (Canonsburg, Pa.; www.ansys.com) uvádí, že v jednom nedávném použití jeho CFD programu Fluent 6.3 se snížil potřebný počet buněk sítě pro jistý projekt z 800 000 na pouhých 150 000 použitím nejnovějších možností tvorby sítě a to umožnilo provést simulaci CFD, která dříve trvala mnoho dní nebo dokonce týdnů, za několik hodin.

Obr. – Znázornění rychlosti proudění a mnohostěnné sítě uvnitř míchacího reaktoru s použitím programu FLUENT 6.3 (Foto: ANSYS, Inc.)



Software po ukončení procesu, ke zpracování výsledků modelu

Schopnosti dnešního zpracovaného softwaru po ukončení procesu (zahrnující standardní software obsažený v mnohých CFD programech i software, vypracovaný jako samostatné programy) pomáhají výzkumníkům účinněji prozkoumat velké neustálené sady dat a smysluplněji ozřej-

mit kritická hlediska složitých simulací. Nástroje po ukončení procesu pomáhají uživateli vytvářet barevné grafy s velkým rozlišením a animace, představující veličiny jako jsou vektory rychlosti, vrstevnice tlaku a čáry konstantních vlastností v proudu tekutiny.

Uživatelé se při CFD analýzách obvykle zajímají o práci se značně menším objemem cílových dat, vztažených k jednomu zvláštnímu hledisku modelu. Je-li například předmětem určité studie CFD chování povrchového napětí, jsou pro analýzu po ukončení procesu potřebná jen data o povrchovém napětí. Typické datové výstupy zahrnují grafické prvky jako jsou izo-plochy, řezné roviny, výpočetní roviny a/nebo dráhy částic, nebo mohou být data seřazena podél určitých čar nebo povrchů, aby se mohly získat důležité délkové, plošné a hmotnostní průměry.

Spolupráce CFD s jinými způsoby modelování

V současnosti se modelování CFD stále častěji spojuje s jinými typy softwaru modelování, aby se spojilo modelování toku tekutin s jinými fyzikálními typy modelování a simulace. Když se například spojí modely CFD s jinými modely analýzy napětí do plné spolupráce, mohou uživatelé vykonat složitější analýzy interakce tekutina-struktura (fluid-structure interaction – FSI).

S použitím analýzy FSI mohou uživatelé vykonat podrobnou tepelnou a napěťovou analýzu pevných složek, nejen tekoucích proudů, a například modelovat působení vysokoteplotních plynů na složky struktury. Při znalosti takových poměrů mohou uživatelé uskutečnit odpovídající konstrukci nebo změny v provozu ke zlepšení celkového výkonu zařízení a minimalizaci rizika problémů, spojených s opotřebením, vibracemi a únavou. Uživatelé mohou například modelovat nejen tok tekutin v mísiči, ale i možnou deformaci struktury, ke které by mohlo dojít na profilech mísiče, lopatkách turbin atd. vlivem toku tekutiny a unášených částic v systému, nebo jinou aerodynamickou zátěž.

V posledních letech pracuje inženýrská obec na sloučení modelování CFD s novější metodou modelování, nazývanou modelování samostatných prvků (Discrete Element Modeling – DEM). DEM se používá k simulaci chování granulovaných pevných materiálů v široké rozdílnosti situací toku a dělá to modelováním skutečného chování statisticky významného počtu částic ve směsi pevná látka – kapalina.

Podobně jako u CFD se i DEM schopnosti významně zlepšily trvalým vývojem softwaru a přístupností rychlejších a výkonnějších výpočtů. Například nedávný pokrok v programech modelování DEM umožňuje současně modelovat chování více než milionu částic v systému.

Příklady z průmyslu

Mísiče

Inženýři v celém chemickém průmyslu se stále snaží zvolit nejlepší geometrii míchadla a podmínky míchání k zajištění požadovaných výsledků. Při jejich použití na míchání pomáhá CFD projektantům i uživatelům získat lepší znalosti o rozložení toku a rychlosti disipace energie v nádrži. Při průmyslovém míchání přispívá schopnost minimalizace tvorby nehybných míst a horkých skvrn nejen k optimalizaci doby a podmínek míchání a k zajištění rovnoměrnosti výrobku, ale snižuje též opotřebením a poškození míchacího zařízení.

V posledních letech se stalo běžným použitím CFD k modelování míchacích zařízení po celém spektru, se zahrnutím rotačních míchadel, používaných pro míchání při poměrně malých smykových rychlostech, složitějších míchadel s rotorem a statorem, používaných pro míchání při vysokých smykových rychlostech (na přípravu emulzí a disperzí a na mokré mletí nebo zmenšování částic), i statických míchadel.

Plynové turbíny a spalovací systémy:

CFD se osvědčila i jako užitečný nástroj k modelování všech typů hořáků a spalovacích systémů, zvláště těch, používaných v turbinách na výrobu elektřiny. Když se například použije CFD k charakterizaci toku tekutin, reakcí spojených s hořením a rozložení teploty ve všech zadaných průřezech, mohou uživatelé vyhodnotit možný vliv konkurujících součástí hořáků a přepážek ve spalovací komoře a vliv konkurenčních pracovních postupů.

Takové vědomosti jim umožní vykonat změny, potřebné k optimalizaci vstupní teploty vzduchu, k maximalizaci účinnosti

Obr. 2 – Rotační komůrkové čerpadlo prezentované na veletrhu ACHEMA 2006 (Foto: Dechema e.V.)



spalování, minimalizaci přehřívání lopatek turbíny, výpadků způsobených vibracemi a únavou a ke zlepšení celkového výkonu a účinnosti turbíny.

I zde byli uživatelé CFD schopni identifikovat poměrně malé úpravy v projekci nebo pracovních parametrech plynové turbíny a vidět kladné výsledky ve formě zvýšeného výkonu, snížení emisí a vibrací a snížení neplánovaných odstávek a výrobních nákladů.

Obvykle jsou náklady na zavedení simulačního softwaru ospravedlnitelné přímou návratností, způsobenou tímto softwarem, snížením nákladů a zlepšením pracovní účinnosti. Při současném širokém využití inženýrské simulace není rozhodující otázkou pro projektanty zařízení a operátory procesů, jestli použít tuto technologii, ale jak nejlépe využít mnohé možnosti, které nabízí.

Týmová práce je kritériem pro úspěšné použití CFD

Vývoj a použití CFD v technologii chemických procesů volá po týmové spolupráci specialistů z teorie a praxe – to znamená fyziků, specialistů teorie informace, procesních inženýrů, inženýrů z továren a vývojářů softwaru. Tento cíl je též základní náplní mezioborové práce technického výboru ProcessNet „Počítačová dynamika tekutin“ (www.processnet.org/FDIT), iniciovaného GVC (VDI Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen) a DECHEMA (Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie, Frankfurt am Main, Německo).

Práce technického výboru pro CFD se zaměřuje přednostně na modelování přenosových jevů v chemických procesech. K tomu vytváří fórum pro diskuse o výsledcích výzkumu a vývoje, pro výměnu vědomostí a zkušeností, pro pokračování ve vzdělání a pokroku vědců příští generace. Meziodvětvová práce vytváří mnohá spojení s jinými technickými výbory ProcessNet, jako jsou Vícefázový tok, Přenos tepla a hmoty, Míchání, Reologie, Technologie vysokých teplot, Čištění plynů.

Široký rozsah současných témat z praxe, které budou v programu kongresu ACHEMA 2009 též zdůrazněny, zahrnuje hybridní dělicí postupy, oddělování a dynamiku toku složitých směsí, moderní tekutiny, dělení biologických výrobků a dokonce mikroúrovňové separační technologie a nakonec, ale v neposlední řadě, procesy a metody, které podstatně přispívají k optimalizaci a tím ke schopnosti konkurence.

DECHEMA vydala u příležitosti veletrhu ACHEMA 2009 řadu zajímavých článků o novinkách v procesní a analytické technice Trends reports of Achema na: http://www.achema.de/en/www_dechema_de_Trendberichte.html.