

Měření stopové vlhkosti plynů

(dokončení z předchozího čísla)

Tlak

Parciální tlak vodní páry se mění s celkovým tlakem měřeného plynu. Každý parciální tlak odpovídá určité teplotě rosného bodu. Také teplota rosného bodu se mění s tlakem měřeného plynu: čím větší je tlak, tím vyšší je teplota rosného bodu.

Protože efekt adsorpce a desorpce se zvětšuje s klesající teplotou rosného bodu, mělo by být měření umístěno pokud možno v místě nejvyšší teploty rosného bodu, tzn. tam, kde je největší tlak. Jsou ovšem opodstatněné výjimky. Jde o případy, kdy:

- rozdíl mezi teplotou rosného bodu a teplotou plynu je malý,
- pracuje se s korozivními plyny.

V uzavřené soustavě vede expanze plynu, tj. snížení jeho tlaku, k poklesu teploty. Nižší teplota vede k silnému zvýšení adsorpční tendence vodní páry. Proto se doporučuje místo, kde dochází k expanzi, vyhýbat.

Za každým místem expanze se má před místem odběru ponechat délka potrubí 1,5 až 2 m pro uklidnění turbulentního proudění, které by mohlo způsobit zpětné nasátí vzduchu z okolí do měřicí komůrky.

V principu je měřená vlhkost závislá na tlaku plynu. To znamená, že sonda měří skutečnou teplotu rosného bodu v místě měření. Toto měření se nazývá měření tlakového rosného bodu. Přepočítání teploty rosného bodu na atmosférický tlak (měření atmosférického rosného bodu) se v technické praxi používá spíše výjimečně.

Teplota vzorkovacího potrubí, měřicí komůrky a měřicí sondy

Adsorpční schopnost vodní páry je silně závislá na teplotě, tzn. že adsorpční efekt je možné snížit vyhříváním vzorkovací soustavy.

Nicméně teplota plynu ani teplota v okolí měřicí sondy by neměly trvale překročit +50 °C. Při vyšších teplotách se převodní charakteristika senzoru vlhkosti s oxidovým dielektrikem zplošťuje a zhoršuje se jeho citlivost. Při teplotách nad +70 °C může dojít k destrukci dielektrické vrstvy vlhkoměrného senzoru. Je velmi důležité udržovat teplotu vzorkovací soustavy co nejvíce konstantní, protože každá změna teploty má za následek změnu adsorpčních podmínek, a tím i dočasnou změnu v naměřených hodnotách.

Malá vlhkost, malá rychlost proudění, znečištěné potrubí, špatné odebírání vzorku

a nevhodný materiál potrubí mohou v extrémních případech vést ke změnám naměřených hodnot s časovými konstantami i několika dnů a k tzv. „24hodinovému jevu“ (naměřené hodnoty vlhkosti se mění denně v rytmu změn okolní teploty). V těchto případech často pomáhá tepelná izolace celé vzorkovací soustavy.

Jestliže se má měřit vlhkost plynu o teplotě vyšší než +50 °C, je nutné do měřicího traktu zařadit chladič (např. spirálový). Požadované teploty plynu v místě měření se dosáhne regulací rychlosti proudění plynu v chladiči škrticím ventilem.

Je-li rozdíl mezi teplotou rosného bodu měřeného plynu a okolní teplotou velmi malý, tzn. že relativní vlhkost plynu je vysoká, může v pórech dielektrika senzoru vlhkosti kondenzovat vodní pára a následkem toho jsou naměřené hodnoty nereprodukovatelné. Aby tento stav nemohl nastat, musí být rozdíl mezi teplotou rosného bodu a teplotou plynu minimálně 10 K.

Kondenzující vodní pára v principu nezmění vlastnosti senzoru. Například senzor vlhkosti s dielektrikem z oxidu hliníku může být krátkodobě ponořen do destilované vody a po určité době sušení opět získá svoji původní kalibrační charakteristiku. Je ovšem nutné dát pozor, aby se na vnějším povrchu měřicí sondy neobjevila kondenzace vodní páry v průběhu měření, protože to by vedlo k nesprávným hodnotám vlhkosti. To se stává v případě, že sonda je montována na studeném potrubí, např. v blízkosti místa expanze (expanzní ochlazení). Teplota plynu může v tomto případě klesnout dokonce až pod teplotu rosného bodu okolního vzduchu, takže na povrchu průtočné komůrky nebo tělese sondy vzniká z kondenzovaná voda nebo i led. V tomto případě ale ani použití povrchové ochrany sondy nevede k úspěchu, protože kondenzuje i vodní pára uvnitř měřicí komůrky. Řešením je ohřátí komůrky nebo vzorkovacího potrubí.

Jestliže z kondenzovaná voda působí na sondu po delší dobu, může proniknout dovnitř a způsobit chybu v měření změnou vodivosti mezi kontakty vakuové průchodky senzoru sondy.

Měřicí sonda teploty rosného bodu obvykle bývá kalibrována při teplotě +21 °C. V rozsahu teplot mezi +10 až +30 °C může být případný teplotní koeficient vlhkoměrného senzoru vlhkosti sondy ve většině případů zanedbán. Při teplotách silně odlišných od kalibrační, má-li být měření přesné, je nutná teplotní korekce.

Vlivy znečištění měřicího traktu

Nečistoty v potrubích (např. olej, saze) je nutné považovat za přídavné adsorpční činidla, které vedou k prodloužení doby odezvy. Při extrémním znečištění potrubí je v podstatě nemožné měřit velmi nízké teploty rosného bodu plynu. V takovýchto případech je třeba potrubí vyčistit.

V mnoha případech jsou vhodnými prostředky freon 114, trichlorethylen nebo benzen. Případ od případu je však nutné vyzkoušet, který prostředek je pro dané znečištění vhodný. Po čištění se potrubí suší po delší dobu suchým plynem (např. vzduchem).

Jestliže se po vyčištění měřicího traktu naměří jiná teplota rosného bodu než původní, ukazuje to, že čištění bylo účinné. Obecně je nově změřená teplota rosného bodu nižší než původní. Jestliže se nepodaří odstranit nečistoty změnami v technologickém postupu nebo pomocí filtrů, je nutné čištění periodicky opakovat. Přípustný rozdíl měřených hodnot před čištěním a po něm určuje frekvenci opakování čištění.

Je třeba uvážit, že nové potrubí často obsahuje zbytky oleje z výroby. Také je známo, že v mnoha zařízeních se objevuje silné znečištění při uvádění do provozu. V takovýchto případech je nutné měřicí sondy instalovat až po uvedení zařízení do provozu.

Znečištění samotného senzoru sondy ovlivňuje dobu odezvy. Senzor lze vyčistit jakoukoliv čistou a bezvodou uhlovodíkovou kapalinou.

Znečištění pevnými částicemi může být zachyceno sintrovaným kovovým filtrem z bronzu nebo korozivzdorné oceli, samostatně montovaným před měřicí komůrkou. Je vhodné volit porozitu filtru asi 10 μm. Většinou však v měřicí komůrce měřicí sondy bývá našroubována vlastní krytka ze sintrovaného bronzu nebo korozivzdorné oceli, která zastane funkci filtru nečistot. Je však třeba uvážit, že každý filtr i krytka způsobují prodloužení doby odezvy, zvláště když jsou zanesené.

V případě, že plyn obsahuje mikrokapky vody, popř. glykol nebo olej, je vhodné do měřicího traktu zapojit odlučovač aerosolů (separátor).

Média způsobující korozi

Měřicí sonda a její senzor vlhkosti jsou sestaveny převážně z materiálů, jako je korozivzdorná ocel, korundová keramika, oxidy kovů (hliníku, tantalu apod.) a zlato.

Protože senzor vlhkosti obsahuje dielektrikum převážně tvořené oxidy kovů, nesmí se dostat do kontaktu s látkami, které tuto vrstvu poškozují.

V mnoha případech je senzor chemicky rezistentní, dokud je měřený korozivní plyn velmi suchý, a koroze senzoru se objeví jen tehdy, když měřený plyn absorbuje vlhkost.

Obvykle je měřicí sonda před instalací do průtočné komůrky vystavena okolnímu vzduchu, a mnoho molekul vody proto zůstane na povrchu senzoru. Kdyby byl nyní k senzoru přiveden korozivní plyn, ihned dojde ke korozi.

Z tohoto důvodu je nutné senzor vlhkosti dříve, než se k němu zavede měřený korozivní plyn, vysušit suchým vzduchem.

Před demontáží měřicí sondy z komůrky je nutné ji znovu propláchnout suchým vzduchem nebo inertním plynem. Tím se zabrání tomu, aby se zbytky korozivní látky na povrchu senzoru vlhkosti dostaly do styku s okolním vlhkým vzduchem; to by totiž opět vedlo ke korozi.

Korozivní schopnost plynu je možné podstatně snížit měřením za nižšího tlaku (např. měří-li se teplota atmosférického rosného bodu místo tlakového rosného bodu). Při snížení tlaku je totiž ve stejném objemu méně molekul plynu, a proto je i rychlost koroze pomalejší.

Vlivy netěsností

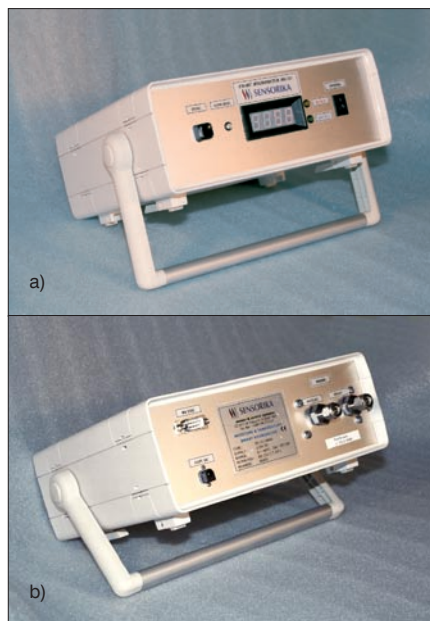
Protože vlhkost vzduchu je několikanásobně větší než vlhkost měřeného suchého plynu, i nejmenší netěsnosti způsobují chybná měření. Vlivem velkého rozdílu parciálních tlaků vodní páry vně a uvnitř potrubí může vlhkost snadno difundovat i potrubím, které je pod tlakem. Také je možné, že se vlhkost dostane do měřicí komůrky z jejího výstupu proti směru proudění měřeného média. Proto musí být při nízkých teplotách rosného bodu ponecháno alespoň 1,5 m až 2 m potrubí mezi měřicí komůrkou a výstupem plynu do okolního prostředí.

Všechny tlakové sondy vlhkosti jsou uzpůsobeny pro měření s extrémními požadavky na těsnost. V obtokovém systému nesmí být rychlost úniku netěsnostmi větší než $10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$.

Netěsnosti v potrubí jsou za běžných podmínek konstantní, takže změna vlhkosti vlivem netěsností se mění s rychlostí proudění. Vzrůstající vlhkost při snížení rychlosti proudění plynu ukazuje na možnost netěsnosti.

Doba odezvy

Doba odezvy nezávisí pouze na vlastní měřicí sondě, ale na celém měřicím traktu,



Obr. 5. Inspekční hygrometr HG 311: a) z čelní strany, b) ze zadní strany, s vnitřní měřicí sondou HTP-2503230 a měřicí komůrkou MK20NS; vstup a výstup plynu šroubením

ve kterém je sonda instalována. Hlavními vlivy na dobu odezvy mají:

- materiál měřicího traktu (potrubí, měřicí komůrka, sonda, ventily apod.),
- rychlost proudění měřeného plynu,
- teplota vzorkovacího potrubí,
- znečištění měřicího traktu,
- velmi rychlé (skokové) změny vlhkosti.

Skoková změna vlhkosti se projevuje tak, že čím nižší je teplota rosného bodu plynu, tím výraznější je vliv adsorpce a desorpce vlhkosti. Proto se měření při skokové změně z teploty rosného bodu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ustá-

lí mnohem rychleji než při změně z $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Dobu odezvy lze exaktně určit pouze tehdy, jsou-li známy základní okrajové podmínky měření. Vlastní doba odezvy t_{63} většiny měřicích sond používajících senzory vlhkosti s oxidovým dielektrikem se reálně pohybuje okolo 20 až 30 s, a to při skoku teploty rosného bodu z $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ za absolutního tlaku $p_{\text{abs}} = 100\text{ kPa}$, teploty $t = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ a při objemovém průtoku přepočteném na normální podmínky $Q_N = 4\text{ l/min}$. Obrácný skok z $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ při stejných podmínkách je charakterizován dobou odezvy t_{63} přibližně 10 s.

Závěr

Příkladem použití popsaných prvků měřicího traktu v reálném přístroji je inspekční hygrometr HG 311 (obr. 5, výrobce: Sensorika, s. r. o., kontakt viz inzerát na str. XX) s autonomním napájením, určený pro měření teploty tlakového rosného bodu -80 až $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teploty 0 až $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ neagresivních plynů. Ve své konstrukci využívá měřicí komůrku a šroubení z korozivzdorné oceli DIN 1.4571. Napojuje se do měřicího traktu trubičkami z korozivzdorné oceli $\varnothing 6\text{ mm}$ a umožňuje měřit vlhkost plynů s přetlakem do 5 MPa.

Zásady pro měření stopových vlhkostí plynů popsané v tomto článku je nutné brát v úvahu při projektování nových a rekonstrukci již existujících technologických celků. Jde zejména o zařízení v chemickém a farmaceutickém průmyslu, při výrobě polovodičů, optických zařízení, v energetice a všude tam, kde se pracuje se suchými technickými a vzácnými plyny.

Literatura:

- [1] CHYSKÝ, J.: *Vlhký vzduch*. SNTL, Praha, 1977.
- [2] Endress+Hauser: *General hints for moisture measurement in the trace moisture range*. Firemní literatura, Maulburg, 1995.
- [3] KLASNA, M.: *Humistar – měření vlhkosti a teploty plynů*. Automa, 2005, roč. 10, č. 6, s. 44–45.

Ing. Miloš Klasna,
CSc., Sensorika, s. r. o., Praha