

Factors affecting the hemispheric emissivity of reflective thermal insulation coatings

Zhen Wang - INTER CHINA / Fabio Stolzi - DEIMOS GROUP

INTRODUCTION

Hemispherical emissivity is an important physical property parameter of materials. Its test theory is based on Kirchhoff's radiation law, which points out that under the equilibrium condition, the ratio of radiation power and radiation absorption rate of all objects at certain temperature is the same. And is equivalent to the radiation power of a black body at the same temperature ^[1].

The test principle of the emissivity meter is that the detector measures the temperature difference between high and low radiation zones and outputs a voltage signal, which is linearly related to the hemisphere emissivity of the sample coating. By comparing the voltage signal output of the measured sample with the standard plate of high and low hemisphere emissivity, it is possible to obtain the hemisphere emissivity value of the measured sample. ^[2]

Test according to GB/T 25261-2018 «Reflective heat insulation coatings for building». After coating, the test boards were tested at standard environmental conditions of temperature (23±2) °C and humidity (50±5) % for 7 days after curing.

RESULTS AND DISCUSSION

The reflective heat insulation coating prepared in this paper is a composite coating of reflection and radiation. According to the test standard of reflective heat insulation coating, the hemispherical emissivity is ≥ 0.85 , and its value is better in the field of reflective heat insulation coating. The greater the emissivity the greater the ability of the coating to radiate heat. In this paper, the factors affecting the hemispherical emissivity of coating are analyzed from the composition of architectural coating and the state of coating film.

The effective composition of coating is the most direct factor to determine the hemispherical emissivity. The active

Fattori che influenzano l'emissività emisferica dei rivestimenti isolanti termici riflettenti

INTRODUZIONE

L'emissività emisferica è un importante parametro di proprietà fisica dei materiali. La teoria del test si basa sulla legge di radiazione di Kirchhoff, sottolineando che in condizioni di equilibrio, il rapporto tra potenza di radiazione e tasso di assorbività della radiazione di tutti gli oggetti a una certa temperatura è la stessa ed è equivalente alla potenza di radiazione di un corpo nero alla stessa temperatura ^[1].

Lo scopo del test dell'emissimetro è che si misuri la differenza di temperatura tra le zone di radiazione alta e bassa per emettere un segnale di tensione, che è correlato linearmente all'emissività emisferica del rivestimento campione. Confrontando l'uscita del segnale di tensione del campione misurato con la piastra standard di alta e bassa emissività emisferica, è possibile ottenere il valore di emissività emisferica del campione misurato ^[2].

Test secondo GB/T 25261-2018 «Rivestimenti termoisolanti riflettenti per edilizia». Dopo essere stati rivestiti, i pannelli di prova sono stati testati in condizioni ambientali standard di temperatura (23±2) °C e umidità (50±5)% per 7 giorni dopo l'indurimento.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Il rivestimento isolante termico riflettente preparato a cui si fa riferimento in questo articolo, è un rivestimento composito di riflessione e radiazione.

Secondo lo standard di prova del rivestimento isolante termico riflettente, l'emissività emisferica di $\geq 0,85$ è il valore migliore nel campo del rivestimento isolante termico riflettente. Maggiore è l'emissività, maggiore è la capacità del rivestimento di irradiare calore.

In questo articolo, i fattori che influenzano l'emissività emisferica del rivestimento vengono analizzati dalla

components of coatings, especially architectural coatings, are mainly powder materials and binder, and the emissivity of these powder materials (non-metallic inorganic materials) is generally above 0.8. The powder material of high emissivity coating is mainly composed of carbonates and metal oxides with high heat resistance, usually SiO₂, CuO, Fe₂O₃, MnO₂, Cr₂O₃, ZrO₂, Al₂O₃, ZnO, CO₂O₃, graphite and so on. The binders of high emissivity coatings are divided into organic polymers and inorganic substances [3].

INFLUENCE OF SYNTHETIC RESIN EMULSION ON HEMISPHERIC EMISSIVITY

Commonly used synthetic resin emulsions, such as silicon-acrylic emulsion, styrene-acrylic emulsion and pure acrylic emulsion, were used to make aluminum-based coating films separately, and their hemispheric emissivity was tested, as shown in the Figure 1.

Resin Emulsion	Hemispheric emissivity
Styrene acrylic	0.838
Silicon acrylic	0.857
Pure acrylic	0.843

Fig. 1 Emittance of emulsion of aluminium-based synthetic resin
Emissività dell'emulsione della resina sintetica a base di alluminio

Select the base materials for commercial architectural coatings, and conduct sample preparation and board preparation tests according to the formula shown in Figure 2.

Coating	Hemispheric emissivity
Styrene acrylic	0.887
Silicon acrylic	0.892
Pure acrylic	0.890

Fig. 3

composizione del rivestimento architettonico e dallo stato del film di rivestimento.

L'effettiva composizione del rivestimento è il fattore più diretto per determinare l'emissività emisferica.

I componenti attivi dei rivestimenti, in particolare i rivestimenti architettonici, sono principalmente materiali in polvere e leganti

Raw material	Additive amount%
Water	21.97
Cellulose	0.3
Dispersant	0.7
Defoaming agent	0.38
Titanium dioxide	18
IR-1000	3
Packing	24
Thickener	0.5
Emulsion	30
Film-forming agent	1.0
Preservatives	0.15

Fig. 2 Coating formula table
Tabella con formula del coating

e l'emissività di questi materiali in polvere (materiali inorganici non metallici) è generalmente superiore a 0,8.

Il materiale in polvere del rivestimento ad alta emissività è principalmente composto da carbonati e ossidi metallici con elevata resistenza al calore, solitamente SiO₂, CuO, Fe₂O₃, MnO₂, Cr₂O₃, ZrO₂, Al₂O₃, ZnO, CO₂O₃, grafite e così via.

I leganti dei rivestimenti ad alta emissività si dividono in polimeri organici e sostanze inorganiche [3].

According to the formula table test board in Figure 2, the test results are shown in Figure 3.

The results show that the hemispherical emissivity of different resin emulsions is different, but it does not influence so much the coating itself. The reason is that most emulsion films are transparent or that the translucent layer is the main film forming material, playing the role of binder. It gives the basic characteristics of the coating and it contributes little to the hemispherical emissivity.

INFLUENZA OF PIGMENT VOLUME CONCENTRATION ON HEMISPHERIC EMISSIVITY OF COATING

Pigment volume concentration refers to the ratio of the volume of pigments in the coating to the total volume of all non-volatile fractions (including emulsion solids, pigments and fillers) in the formula.

Different pigment volume concentration represents different pigment filler content and resin volume ratio. We can point out that with the increase of pigment volume concentration, the hemispherical emissivity of the sample coating is improved (Fig. 4). The reason is that the contribution of the hemispheric emissivity of the coating mainly comes from the pigment filler in the coating. A coating with a high P.V.C has a slightly higher emissivity.

Pigment volume concentration, %	Hemispheric emissivity
30	0.900
40	0.902
50	0.908

Fig. 4 Comparison of emissivity of different volume concentrations
Confronto dell'emissività di diverse concentrazioni di volume di pigmento

INFLUENZA OF COATING THICKNESS ON HEMISPHERIC EMISSIVITY

Hemispherical emissivity is a measure of a coating's ability to radiate heat. The relationship between the emissivity of the coating and the thickness of the coating is more complex, presenting a "∩" type. The hemispherical emissivity is mainly affected by the surface of the test object, so when the film is coated on the metal plate, the emissivity of the

INFLUENZA DELL'EMULSIONE DI RESINA SINTETICA SULL'EMISSIVITÀ EMISFERICA

Emulsioni di resine sintetiche comunemente usate nel mercato, come l'emulsione silicone-acrilica, l'emulsione stirene-acrilica e l'emulsione acrilica pura, sono state utilizzate per realizzare separatamente film di rivestimento a base di alluminio ed è stata testata la loro emissività emisferica (Fig. 1).

Dopo la selezione dei materiali di base per i rivestimenti architettonici in commercio e aver preparato il campione, si sono eseguiti i test di preparazione del pannello secondo la formula in Figura 2.

Secondo la scheda di prova della formula in Figura 2, vengono mostrati i risultati in Figura 3.

I risultati mostrano che l'emissività emisferica di varie emulsioni di resina è differente, ma non influenza così tanto il rivestimento stesso. Il motivo è che la maggior parte dei film in emulsione è trasparente o che lo strato traslucido è il principale materiale che forma il film, svolgendo il ruolo di legante; ciò conferisce le caratteristiche di base del rivestimento e contribuisce ben poco all'emissività emisferica.

INFLUENZA DELLA CONCENTRAZIONE DEL VOLUME DEL PIGMENTO SULL'EMISSIVITÀ EMISFERICA DEL RIVESTIMENTO

La concentrazione del volume del pigmento si riferisce al rapporto esistente tra il volume dei pigmenti nel rivestimento e il volume totale di tutte le frazioni non volatili (compresi i solidi dell'emulsione, i pigmenti e i filler) nella formula.

Il diverso P.V.C. rappresenta il diverso contenuto di riempitivo del pigmento ed il rapporto del volume della resina. Si noti che con l'aumento del P.V.C., l'emissività emisferica del rivestimento campione è migliorata (Fig. 4). Il motivo è che il contributo dell'emissività emisferica del rivestimento proviene principalmente dal riempitivo pigmentario nel rivestimento. Il campione con un'elevata P.V.C. contiene più particelle di riempitivo pigmentato nel rivestimento per unità di area dopo la preparazione del film, migliorando così l'emissività del rivestimento pertanto, un rivestimento con un alto P.V.C. ha un'emissività leggermente superiore.

INFLUENZA DELLO SPESSORE DEL RIVESTIMENTO SULL'EMISSIVITÀ EMISFERICA

L'emissività emisferica è una misura della capacità di un rivestimento di irradiare calore. La relazione tra l'emissività del rivestimento e lo spessore del rivestimento è più complessa, presentando un tipo "∩". L'emissività emisferica è principalmente influenzata dalla superficie dell'oggetto in prova, quindi quando il film riveste una piastra metallica,

coating reaches more than 0.8 when the film thickness is only 20 microns. At the same time, the hemispherical emissivity increases with the increase of coating thickness. But the balance is basically reached after the coating reaches a certain thickness. As the thickness continues to increase, its emissivity decreases. The Figure 5 shows the change of hemispherical emissivity of the same coating for many times. It can be seen from the figure that the emittance of the film is relatively low after the first coating. The reason may be that the surface temperature of the coating is relatively high due to the thin coating, and the heat radiated by the radiometer can reach a thermal equilibrium state quickly due to the thin coating, since the hemispherical emissivity of nonmetallic surfaces decreases with the increase of surface temperature. Therefore, the emissivity at this time is low. Emissivity is basically stable until the thick base is around 150 microns. The hemispherical emissivity of the coating decreases when the film thickness is over 500 microns. The reason may be that the thickness of the coating prevents heat conduction to the interior of the coating, which indirectly leads to the increase of the temperature of the coating surface and directly shows the decrease of the hemispherical emissivity.

INFLUENCE OF SURFACE ROUGHNESS ON THE HEMISPHERICAL EMISSIVITY OF COATING

The principle of the emissivity of the coating at room temperature measured by the emissivity meter is based on Kirchhoff's law. The hemispherical emissivity of the coating at room temperature increases with the increase of surface roughness. The following

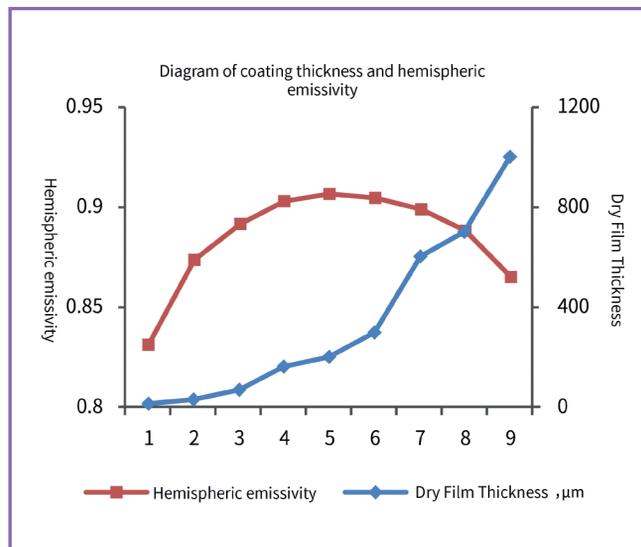


Fig. 5 Relationship between coating thickness and hemispheric emissivity
Relazione tra spessore del rivestimento ed emissività emisferica

superficiale del rivestimento è relativamente alta a causa del rivestimento sottile e il calore irradiato dal radiometro può raggiungere rapidamente uno stato di equilibrio termico a causa del rivestimento sottile, poiché l'emissività emisferica delle superfici non metalliche diminuisce con l'aumento della temperatura superficiale. Pertanto, l'emissività in questo momento è bassa. L'emissività è sostanzialmente stabile fino a quando la base spessa è di circa 150 micron. L'emissività emisferica del rivestimento diminuisce quando lo spessore del film è superiore a 500 micron. Il motivo potrebbe essere che lo spessore del rivestimento impedisce la conduzione di calore all'interno del rivestimento, che indirettamente porta all'aumento della temperatura della superficie del rivestimento e mostra direttamente la diminuzione dell'emissività emisferica.

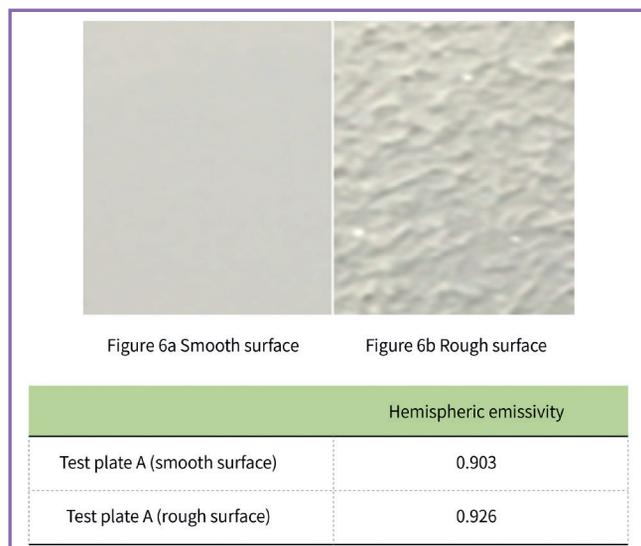


Fig. 6 Comparison of hemispherical emissivity test on different surfaces
Confronto della prova di emissività emisferica su diverse superfici

l'emissività del rivestimento raggiunge più di 0,8 quando lo spessore del film è di soli 20 micron. Allo stesso tempo, l'emissività emisferica aumenta con l'aumento dello spessore del rivestimento. Ma l'equilibrio viene sostanzialmente raggiunto dopo che il rivestimento ha raggiunto un certo spessore. Man mano che lo spessore continua ad aumentare, la sua emissività diminuisce.

La Figura 5 mostra la variazione dell'emissività emisferica dello stesso rivestimento.

Si può vedere dalla figura che l'emittanza del film è relativamente bassa dopo il primo rivestimento. Il motivo potrebbe essere che la temperatura

INFLUENZA DELLA RUGOSITÀ SUPERFICIALE SULL'EMISSIVITÀ EMISFERICA DEL RIVESTIMENTO

Il principio dell'emissività del rivestimento a temperatura

figure shows the scattering of incoming and outgoing light due to different surface roughness. Using the same method and the same coating, paint test board A and B with the same thickness were prepared respectively. The paint test board B was treated by flaring to make the coating surface structure relatively rough, and then the hemispherical emissivity test was carried out.

From the perspective of active temperature measurement, the reason for this phenomenon is that the rough surface structure of the coating (FIG. 6b) enhances the multiple scattering, the capture and the absorption of infrared radiation on the coating surface [4]. Secondly, from the perspective of radiation, the uneven surface increases the relative radiation area of the radiator, thus increasing the radiation energy and improving the absorption rate of infrared radiation of the coating. Therefore, the hemispheric emissivity of the rough surface is also improved from the perspective of active temperature measurement and passive measurement.

INFLUENCE OF SURFACE TEMPERATURE ON THE HEMISPHERICAL EMISSIVITY OF COATING

Surface temperature is also one of the most complicated factors affecting the hemispherical emissivity of the coating. The lattice energy in nonmetals is large and electrons cannot move freely, so the coating has a high hemispheric emissivity, and generally it decreases with the increase of surface temperature. Two test plates C and D were prepared respectively. The film making difference between the two test plates is that C uses hollow glass beads as the heat insulation medium coating, because the instrument has the heating function, so to obtain a relatively high surface temperature.

As can be seen from Figure 7, the hemispherical emissivity of test plate C, which uses hollow glass beads as middle coating, is lower than that of test plate D. Because glass beads are hollow structure, the use of glass beads as filler can reduce the thermal conductivity of the coating, and can prevent heat transfer to the substrate or the internal space of the building, so that the heat of the coating is radiated outwards, so that the temperature of the coating surface is improved, and the hemispheric emissivity of the test plate is reduced. However, due to the limitation of testing instruments, it is still impossible to obtain the relationship between emissivity and temperature.

	Hemispheric emissivity <i>Emissività emisferica</i>
Test C (Medium coating-hollow glass beads)	0.900
Test D (Ordinary medium coating)	0.906

Fig. 7 Hemispherical emissivity test of different medium coatings
Test di emissività emisferica di diversi rivestimenti

ambiente misurata dall'emissimetro si basa sulla legge di Kirchhoff. L'emissività emisferica del rivestimento a temperatura ambiente aumenta con l'aumento della rugosità superficiale. Utilizzando lo stesso metodo e lo stesso rivestimento, sono state preparate rispettivamente i test A e B con un coating dello stesso spessore. Il pannello di prova B con il coating è stato trattato mediante svasatura per rendere la struttura superficiale del rivestimento relativamente ruvida, successivamente è stato eseguito il test di emissività emisferica (Fig. 6). Dal punto di vista della misurazione della temperatura attiva, la ragione di questo fenomeno è che la struttura superficiale ruvida del rivestimento (Fig. 6b) migliora la diffusione multipla e migliora anche la cattura e l'assorbimento della radiazione infrarossa sulla superficie del rivestimento [4]. In secondo luogo, dal punto di vista della radiazione, la superficie irregolare aumenta l'area di radiazione relativa del radiatore, aumentando così l'energia di radiazione e migliorando il tasso di assorbimento della radiazione infrarossa del rivestimento. Pertanto, l'emissività emisferica della superficie ruvida è migliorata anche dal punto di vista della misurazione della temperatura attiva e della misurazione passiva.

INFLUENZA DELLA TEMPERATURA SUPERFICIALE SULL'EMISSIVITÀ EMISFERICA DEL RIVESTIMENTO

La temperatura superficiale è anche uno dei fattori più complicati che influenzano l'emissività emisferica del rivestimento. L'energia reticolare nei non metalli è grande e gli elettroni non possono muoversi liberamente, quindi il rivestimento ha un'elevata emissività emisferica e l'emissività dei non metalli generalmente diminuisce con l'aumento della temperatura superficiale. Sono state preparate rispettivamente due piastre di prova C e

D. La differenza tra le due piastre di prova è che C utilizza sfere di vetro cave come film di rivestimento come mezzo di isolamento termico, poiché lo strumento ha la funzione riscaldante, in modo da ottenere una temperatura superficiale relativamente elevata.

Come si può vedere dalla Fig. 7, l'emissività emisferica della piastra di prova C, che utilizza sfere di vetro cave come rivestimento intermedio, è inferiore a quella della piastra di prova D. Poiché le sfere di vetro sono a struttura cava, il loro uso come riempitivo può ridurre la conduttività termica

CONCLUSION

Through the above experiments, it can be found that the hemispherical emissivity is mainly affected by the inherent characteristics of the filler (crystal structure, particle morphology, etc.), the surface condition of the coating and the thickness of the coating. Therefore, the coating with high emittance must start from these aspects to improve its emittance. At the same time, the coating with high reflection ratio and low thermal conductivity is combined with each other to ensure the thermal insulation performance of the coating, meet the requirements of energy saving and emission reduction, in order to achieve the goal of reducing energy consumption.

REFERENCES:

- [1] Cao Dinghan, «Kirchhoff radiation Law and Its Application»
- [2] Ji zhongxiang, «Design of Portable Hemispherical Emissivity Tester»
- [3] Zhang Jianxian et al., «Research and Application status of High Emissivity Coatings»
- [4] Junfeng Li, Zhengping Luo, «Effect of surface roughness on emissivity of high radiation coatings».

del rivestimento e può impedire il trasferimento di calore al substrato o allo spazio interno dell'edificio. Questo comporta che il calore del rivestimento venga irradiato verso l'esterno, e che quindi venga migliorata la temperatura di superficie, riducendo l'emissività emisferica della piastra di prova. Tuttavia, a causa della limitazione degli strumenti di prova, è ancora impossibile ottenere la relazione tra emissività e temperatura.

CONCLUSIONE

Attraverso gli esperimenti di cui sopra, si può riscontrare che l'emissività emisferica è principalmente influenzata dalle caratteristiche intrinseche del riempitivo (struttura cristallina, morfologia delle particelle, ecc.), dalla condizione superficiale del rivestimento e dallo spessore del rivestimento. Pertanto, il rivestimento ad alta emittanza deve partire da questi aspetti per migliorarne l'emittanza. Allo stesso tempo, il rivestimento con alto rapporto di riflessione e bassa conducibilità termica è combinato tra loro per garantire le prestazioni di isolamento termico del rivestimento, soddisfare i requisiti di risparmio energetico e riduzione delle emissioni, al fine di raggiungere l'obiettivo di ridurre il consumo energetico.