

談“教科書中的錯誤—— 石墨的潤滑性”

國立台灣大學化學系 林敬二

石墨具有層面結構，而兩相鄰之層面距離依其種類或為 $3.354 \text{ \AA}$ （天然石墨）或介於 $3.354 \text{ \AA}$ 與 $3.44 \text{ \AA}$ 之間（合成石墨），因此各層面之間的作用力僅能有微弱的凡得瓦引力存在，這是無可置疑的事實。實驗上，利用X-射線繞射儀或電子顯微鏡都可以確實地觀測到其層面結構。由於各層面之間並未直接鍵結，各層面之間容易滑動而可產生潤滑效果。然而，石墨的潤滑性與其層面結構究竟真正有否關連？則是一個有趣而值得加以探討的問題。

最近牟中原教授從文獻中查到純淨的石墨與石墨摩擦在真空中測定其摩擦係數時，比在空氣中測定的數值大5至8倍；又金剛石在大氣中的摩擦係數事實上與石墨差不多；且在含有壓力為 7 mmHg 的水蒸氣的存在時，石墨的摩擦係數就可降到正常的低數值（ $0.1 \sim 0.3$ ）。基於以上的研究結果，牟教授因而認定「石墨的潤滑性係起源於它表面吸附著一層氣體分子而能減弱它與被潤滑物之間的凡得瓦引力」。且認為「石墨之作為固體潤滑劑，一般的解釋是基於石墨的平面構造，晶體內面與面之間並無共價鍵而只有較弱的凡得瓦引力，故每層面之間得以滑動，這項解釋可能是錯誤的，或至少不完整」（「科學教育」39，44，民國70年2月）。筆者認為此項敘述似乎言之過重，值得推敲，為免中學老師遽

然完全採納，並摒棄層面結構具有的特性，願提出淺見討論。

石墨研究者早於1950年前後即發現石墨的“低摩擦係數”係源於少量的氣體分子吸附於石墨層面之邊緣部位以抵消層面邊緣上碳原子的“自由價”（free valencies）。牟教授是以“潤滑性”替代“低摩擦係數”加以引用，而強調摩擦的觀點以探究石墨的潤滑性，但忽視了石墨本身特有的層面結構。石墨的潤滑性究竟應該單純地以接觸面的摩擦大小來決定呢？抑或需要同時考慮層面間的滑動？這實在是頗令人費解而須思考的問題。牟教授謂「吸附氣體分子能減弱它與被潤滑物之間的凡得瓦引力」似乎有待修正，因為氣體分子若可吸附於石墨層面時，或可減弱層面間的凡得瓦引力，但當兩物相摩擦時，摩擦面之接觸作用力應已非屬凡得瓦引力，如何能減弱石墨與被潤滑物間的凡得瓦引力？但若同時考慮層面結構之因素，則吸附氣體分子若可減弱層面間之凡得瓦引力，則可降低層面間之摩擦而幫助層面之滑動。何況在機械製造工業上，石墨薄片在水中或油中皆做為潤滑劑，此時摩擦接觸面當無氣體分子之吸附，如無層面之滑動作用，恐難產生潤滑效果。故筆者認為吸附氣體分子或許能夠減低摩擦，但層面結構應不可忽視。

石墨的性質其實與其特殊的層面結構有著密

切的關係。例如，石墨在層面的垂直方向上呈現質軟有如滑石粉的特性，但在層面上則甚堅硬，其硬度（Mohs Scale）可達9左右；同時石墨的熱膨脹在層面垂直方向上比平行方向上大30倍；況且，石墨研究者亦已證實層面結構與化學組成皆可影響摩擦行為及其相關之性質，若石墨中的“石墨含量”（graphite content）愈高，則其硬度、強度以及摩擦係數都會愈低⁽¹⁾。因此，就石墨的潤滑性而言，層面結構若不能視為最直接的因數，亦應扮演著相當重要的角色。

吸附氣體分子雖可減低石墨的摩擦係數，但並非任何氣體吸附於石墨表面時，皆有相同效果。根據文獻資料之記載⁽¹⁾，二氧化碳、氮、丙酮、苯、乙醇等氣體分子其分壓大於5 mmHg時即可降低石墨之摩擦係數，而氧則需要200-400 mmHg，但是一氧化碳、氫及氮則在任何分壓下皆無助於摩擦係數之降低。那麼，石墨在氮氣下是否就會完全失去潤滑作用？而且氣體分子的吸附若不發生於石墨晶體之邊緣位置時，亦難能降低摩擦係數，因為吸附於石墨表面之氣體分子既使在高溫及真空狀態之下亦難使其脫離表面，然

而石墨經過高溫真空處理後，其摩擦係數則已大為提高。這些現象無疑地都顯現出吸附氣體的複雜性。

如果層面結構之因素不可忽視，則石墨潤滑性之一般解釋謂「晶體內層面之間只有較弱的凡得瓦引力故每層面之間得以滑動」並無錯誤可言，因為既使因有氣體分子之吸附，其作用亦在於減弱層面間之凡得瓦引力以幫助層面的滑動。況且所吸附的氣體分子不見得必能減低摩擦。其實，到目前為止，氣體分子吸附於石墨表面上的真正效應及反應機構尚未完全瞭解，還是一個爭論的問題。全教授所報導的吸附現象雖有助於瞭解石墨潤滑作用的本性，但是石墨的層面結構應該不可被忽視，其關係猶如“皮之於毛”，似乎不可或缺。 □

參考資料

- (1) L.C.F. Blackman, Ed., "Modern Aspects of Graphite Technology", 1970 Academic Press, London.

