



提高建物結構耐久性之膨脹劑

混凝土暨鋼筋混凝土科學研究所專案管理組
科技博士 L. A. Titova、工程師 M. I. Beilina、M. Yu. Titov

建築方式與用途不同之建築物皆希望提高其耐久性，進而推動特殊膠結劑與混凝土之發展。20 世紀 70 年代，混凝土暨鋼筋混凝土科學研究所（Concrete and Reinforced Concrete Research Institute, CRCRI）深入研究自應力混凝土及補償收縮用混凝土，以改善建物之水密性、耐寒性與抗裂性，確保建物結構。上述混凝土以波特蘭水泥（Ordinary Portland Cement, OPC）和膨脹劑（Expansion Agent, EA）為主要原料。膨脹劑則利用工業生產廢料以煅燒或其他技術製成。俄國眾多具專利權之膨脹劑中，硫酸鹽——鋁酸鹽和氧化鋁類添加物之利潤最豐，其各類組合物由鋁酸鹽及硫鋁酸鈣以水合和硬化作用形成，或與矽酸鹽和硫酸鹽結合而成。利用天然材料和大量工業廢料作為膨脹劑之原料，可節省建築資源且有利於環保。

當產製水泥時，將膨脹劑加入研磨機中；或產製預拌混凝土時，則將膨脹劑加入混凝土攪拌機。混凝土加入之膨脹劑可調整混凝土之膨脹率或收縮率，製成適用於各式建物之混凝土，如補償收縮用混凝土及自應力混凝土，以確保成品品質。

第三類侵蝕，亦即因結晶鹽生成或水份結冰而在混凝土孔隙中形成膨脹壓。此現象促使在產製混凝土過程中加入膨脹劑。當硫酸鹽類侵蝕發生時，上述現象與含鋁及硫酸鹽物質之相互作用的過程類似，最初數天內與水化作用並行而產生硫鋁酸鈣水合物。在此階段，混凝土結構具變形可塑性，不因硫鋁酸鈣水合物而毀損。

在建築結構中使用自應力混凝土或補償收縮用混凝土時，必須利用鋼筋或端面限制混凝土膨脹範圍。硫鋁酸鈣水合物所產生之拉力不具威脅性，反而靠混凝土之壓縮使結構更加穩固。此外，產生於孔隙和新生物表面之硫鋁酸鈣晶體增強了水泥的緻密性。為討論硫鋁酸鈣成分之黏結性，表一呈現各種膠結料水化過程之研究結果。



表一、水、三氧化硫及鈣礬石結晶之黏結動力學

水泥中膠結料	齡期	化合水含量 (%)	游離三氧化硫含量 (非鍛燒物質) (%)	含量 (%)	
				化合三氧化硫	鈣礬石
OPC	乾燥拌合物	1.35	2.22	-	-
	1 日	10.56	1.00	1.22	6.38
	28 日	15.81	0.42	1.80	9.41
OPC+EA (自應力)	乾燥拌合物	2.20	3.90	-	-
	1 小時	5.37	2.52	1.30	7.21
	3 小時	5.41	2.41	1.30	7.84
	1 日	8.80	1.83	1.53	10.98
	7 日	13.16	0.29	3.60	18.82
	28 日	17.67	0.20	3.65	19.35
OPC+EA (補償收縮)	乾燥拌合物	2.10	3.73	-	-
	1 小時	5.60	2.12	1.61	8.42
	3 小時	5.75	2.10	1.63	8.57
	1 日	9.80	1.22	2.51	13.12
	7 日	14.75	0.33	3.40	17.81
	28 日	17.76	-	3.70	19.51



表一數據顯示，以水調和波特蘭水泥及膨脹劑為原料之混凝土，水泥分子的表面很快產生水合作用之膠狀物；而頭幾個小時，硫鋁酸鈣水合物會大量形成針狀結晶，使水泥分子緊密接合。

約第 7 天，石膏開始緊密連結；28 天後，由波特蘭水泥和膨脹劑構成之混凝土中的鹽類（鈣礬石）較一般波特蘭水泥多 2 倍以上。這對混凝土結構的強度和密度皆為不可或缺。

外界環境長時間的侵蝕作用影響下，剩餘的鋁酸鹽會產生少量結晶鹽（鈣礬石、氯化鋁酸鹽等）。在限制變形的環境下，甚或在材料成形期，這亦會引起混凝土膨脹。上述現象不具危險性，僅引起鋼筋中額外之自應力。當添加膨脹劑時，由於結晶鹽類增加水泥之強度，減少了混凝土的毛細孔，並提高其緻密度。

可由其水密性和耐寒性判斷含多成分膠結料之混凝土（OPC+EA）的耐久性。

表二 補償收縮用混凝土使用特性

混凝土	混凝土配比		耐寒性 (循環數)	強度 (kgf/m ²) (壓縮 / 彎曲)	水密性等級 W
	膠結料 (kg/m ³)	水泥/水			
一般 (OPC)	400	1.99	270	370 / 63	6
	470	2.53	300	486 / 68.5	8
自應力	400	2.31	300	485 / 68.7	12
	470	2.47	500	698 / 89.7	16
補償收縮	400	2.0	500	647 / 73	14
	470	2.35	600	715 / 89.3	18



表二顯示，在混凝土配比中使用波特蘭水泥和膨脹劑製成之膠結料可改善混凝土的使用特性。等量膠結料使用下，加入膨脹劑可顯著提昇混凝土之壓縮及彎曲強度，同時加強耐寒性和水密性。

添加多成分膠結料之混凝土結構密度大且水密性強；在彎曲力和拉力之作用下，若輔以高強度係數之自應力鋼筋混凝土，此類混凝土抗裂性亦佳。因此添加膠結料之混凝土可廣泛運用至各種建築結構——工業建築之無縫地板、各種用途之容器、運動設施等。

工業建築、運動及其他設施之地板覆蓋物相對需要較薄之地板，多半在地面上直接施作混凝土地基或以鋼筋混凝土樓板製成。

除抗磨、耐侵蝕、防靜電及無塵等特殊需求之外，混凝土地面還須達到抗裂性和水密性之要求。

由於溫差收縮和外部負荷，混凝土覆蓋物之抗裂性取決於地基硬度，需兼顧可塑性，同時避免產生裂縫。

一般混凝土之伸展性有限，因溫差和濕度的變化，鋪設混凝土覆蓋物時須有固定間距，以避免接縫變形。混凝土地面會以地毯類的特殊隔絕層或其他方式補強其水密性。採用聚合物類或其他添加劑可增加混凝土地面之韌性及水密性，但也將影響其他係數。

使用補償收縮用混凝土或自應力混凝土可提高地板材料之抗裂性，並確保其水密性。覆蓋物之抗裂性取決於預應力，在覆蓋物中使用補償收縮用混凝土可獲得此應力，或者利用由圍邊週長限制膨脹之混凝土。

預應力之計算取決於膨脹劑活性、混凝土配比、鋼筋等級與特性及圍邊之可塑性。

工業建築和無表面防水之車庫最適合以上述混凝土作為地板材料，不僅可完成地板之無縫結構，亦可減少膨脹所導致的收縮與相應之拉力。此外，加入鋼筋支撐後，



膨脹劑將帶來結構自應力，可增加彎曲扭轉之強度，減少地板結構斷面，特別是與墊層結合之覆蓋物。

「KampoMos」肉品公司於 1992 年所建造之 2 千平方公尺廠房地板，迄今已超過 10 年未進行重大整修。肉品乳製品工業車間之混凝土地板需具備抵抗侵蝕之特殊條件。為確保地板覆蓋物之耐久性，需在混凝土中加入殺菌劑。僅加入膨脹劑（不含殺菌劑）亦可達到耐久性之需求。

肉品加工、屠宰間和冷藏設備之車間地板的使用經驗及相關研究認可大量運用波特蘭水泥與膨脹劑結合之補償收縮用之混凝土。

今日，「KampoMos」、「Mikoms」、「Lianozovo」及「Velkom」等莫斯科肉品加工公司已建起超過 2 萬平方公尺的地板覆蓋物。

CRCRI 深入研究膨脹劑、自應力水泥及自應力混凝土、補償收縮用混凝土等相關技術文件。根據各單位之需求，針對個別建物推薦適用之混凝土，並提供必要之添加劑。

翻譯：李鴻儀／校稿：楊景鼎