



T/CECS 540-2018

中国工程建设标准化协会标准

# 混凝土用氧化镁膨胀剂应用 技术规程

Technical specification for application of MgO  
expansive agent for concrete

中国计划出版社

中国工程建设标准化协会标准

混凝土用氧化镁膨胀剂应用  
技术规程

Technical specification for application of MgO  
expansive agent for concrete

**T/CECS 540-2018**

主编单位：中国建筑科学研究院有限公司

武汉三源特种建材有限责任公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2 0 1 9 年 3 月 1 日

中国计划出版社

2018 北 京

中国工程建设标准化协会标准  
混凝土用氧化镁膨胀剂应用  
技术规程

T/CECS 540-2018

☆

中国计划出版社出版发行

网址: www.jhpress.com

地址:北京市西城区木樨地北里甲11号国宏大厦C座3层

邮政编码:100038 电话:(010)63906433(发行部)

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

---

850mm×1168mm 1/32 1.75印张 41千字

2019年1月第1版 2019年1月第1次印刷

印数1—2580册

☆

统一书号:155182·0393

定价:20.00元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话:(010)63906404

如有印装质量问题,请寄本社出版部调换

## 中国工程建设标准化协会公告

第 368 号

### 关于发布《混凝土用氧化镁膨胀剂应用技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2016 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2016〕084 号)的要求,由中国建筑科学研究院有限公司、武汉三源特种建材有限责任公司等单位编制的《混凝土用氧化镁膨胀剂应用技术规程》,经本协会防水防护与修复专业委员会组织审查,现批准发布,编号为 T/CECS 540—2018,自 2019 年 3 月 1 日起施行。

中国工程建设标准化协会  
二〇一八年九月三十日

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2016 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2016〕084 号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结各地实践经验,参考有关国内外标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本规程。

本规程共分 10 章和 3 个附录。主要内容包括:总则、术语、基本规定、设计、原材料选择、混凝土技术要求、配合比、生产和运输、浇筑和养护、质量检验与验收。

本规程由中国工程建设标准化协会防水防护与修复专业委员会归口管理,由中国建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。本规程在执行过程中如有意见或建议,请将有关意见和资料寄送解释单位(地址:北京市北三环东路 30 号,邮政编码:100013),以供今后修订时参考。

**主 编 单 位:** 中国建筑科学研究院有限公司  
武汉三源特种建材有限责任公司

**参 编 单 位:** 建研建材有限公司  
长江水利委员会长江科学院  
南京工业大学  
清华大学  
中国建筑第八工程局有限公司  
中国人民解放军 61489 部队  
中交第二航局工程局有限公司  
河海大学  
江苏苏博特新材料股份有限公司  
辽宁省水利水电勘测设计研究院

广东省水利水电科学研究院  
武汉大学  
贵州师范大学  
中国水利水电科学研究院  
中国人民解放军空军工程设计局  
中央军委后勤保障部工程兵第四设计研究院  
中央军委后勤保障部建筑工程规划设计研究院  
铁路总公司工程管理中心  
北京城建集团  
山东省建筑科学研究院  
河南理工大学  
苏交科集团股份有限公司  
湖州丰盛新材料有限公司  
江西鑫盛实业有限公司  
广东粤盛特种建材有限公司

**主要起草人：**冷发光 侯维红 纪宪坤 贺 阳 王永海  
凡涛涛 王海龙 严建军 李 响 莫立武  
阎培渝 王桂玲 高 杰 张国志 陈 达  
江朝华 田 倩 王成山 杨永民 刘数华  
陈昌礼 刘艳霞 陈 欣 贺 锋 刘 玺  
雷 涛 蔡亚宁 毛 杰 王勇威 王雨利  
王宁宁 高 超 宋普涛 柴东先 李牧乐  
史发兴

**主要审查人：**刘 立 郝挺宇 黄政宇 安明喆 刘艳军  
张超琦 宋少民 周岳年 余成行

目 次

1 总 则 .....	( 1 )
2 术语与符号 .....	( 2 )
2.1 术语 .....	( 2 )
2.2 符号 .....	( 2 )
3 基本规定 .....	( 4 )
4 设 计 .....	( 5 )
5 原材料选择 .....	( 7 )
6 混凝土技术要求 .....	( 9 )
7 配合比 .....	( 10 )
8 生产和运输 .....	( 11 )
9 浇筑和养护 .....	( 12 )
10 质量检验与验收 .....	( 13 )
附录 A 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土限制膨胀率试验 方法(基准法) .....	( 14 )
附录 B 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土限制膨胀率试验 方法(代用法) .....	( 17 )
附录 C 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土安定性试验方法 混凝土压蒸法(基准法) .....	( 20 )
附录 D 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土安定性试验方法 高温养护法(代用法) .....	( 22 )
本规程用词说明 .....	( 25 )
引用标准名录 .....	( 26 )
附:条文说明 .....	( 27 )

## Contents

1	General provisions .....	( 1 )
2	Terms and symbols .....	( 2 )
2.1	Terms .....	( 2 )
2.2	Symbols .....	( 2 )
3	Basic requirements .....	( 4 )
4	Design .....	( 5 )
5	Raw materials .....	( 7 )
6	Concrete technical requirements .....	( 9 )
7	Mix proportion .....	( 10 )
8	Production and transportation .....	( 11 )
9	Casting and curing .....	( 12 )
10	Quality inspection and acceptance .....	( 13 )
Appendix A	Test method for limiting expansion rate of concrete with magnesium oxide expansion agent(reference method) .....	( 14 )
Appendix B	Test method for limiting expansion rate of concrete with magnesium oxide expansion agent(alernative method) .....	( 17 )
Appendix C	Test method for soundness of concrete with magnesium oxide expansion agent concrete pressure steaming method (reference method) .....	( 20 )
Appendix D	Test method for soundness of concrete with magnesium oxide expansion agent	

concrete pressure steaming method (alternative method) .....	( 22 )
Explanation of wording in this specification .....	( 25 )
List of quoted standards .....	( 26 )
Addition: Explanation of provisions .....	( 27 )

## 1 总 则

**1.0.1** 为规范氧化镁膨胀剂的工程应用,减少或避免混凝土结构收缩开裂,保证工程质量,做到技术先进、安全可靠,制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于氧化镁膨胀剂在工业与民用建筑、市政、交通和一般构筑物等混凝土工程中的应用。

**1.0.3** 氧化镁膨胀剂的应用除应符合本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语与符号

### 2.1 术语

**2.1.1 混凝土用氧化镁膨胀剂** magnesium oxide expansive agent for concrete

与水拌和后经水化反应生成氢氧化镁,使混凝土产生体积膨胀的外加剂,简称氧化镁膨胀剂。根据反应时间分为快速型(R)、中速型(M)和慢速型(S)。

**2.1.2 限制膨胀率** percentage of restrained expansion

混凝土的膨胀被钢筋等约束体限制时导入钢筋的应变值,用钢筋的单位长度伸长值表示。

**2.1.3 单位胶凝材料用量** binding material content per cubic meter

每立方米混凝土中使用的水泥、矿物掺合料和氧化镁膨胀剂的质量之和。

**2.1.4 氧化镁膨胀剂掺量** addition percentage of expansive agent in binding material

混凝土中氧化镁膨胀剂占单位胶凝材料用量的百分含量。

**2.1.5 膨胀加强带** expansive strengthening band

通过在结构预设的部位浇筑氧化镁膨胀剂混凝土,减少或取消后浇带和伸缩缝、延长构件连续浇筑长度的一种技术措施,可分为连续式、间歇式和后浇式三种。

### 2.2 符号

$\Delta\epsilon$  (28d-7d) —— 混凝土试件在 40℃ 水中养护条件下养护 28d 的限制膨胀率与养护 7d 的限制膨胀

率的差值；

$\Delta \epsilon (120d-90d)$  —— 混凝土试件在  $40^{\circ}\text{C}$  水中养护条件下养护 120d 的限制膨胀率与养护 90d 的限制膨胀率的差值；

$\Delta \epsilon (180d-150d)$  —— 混凝土试件在  $40^{\circ}\text{C}$  水中养护条件下养护 180d 的限制膨胀率与养护 150d 的限制膨胀率的差值；

$\epsilon$  —— 指定条件下所测龄期的限制膨胀率；

$L_1$  —— 所测龄期的试件长度测量值；

$L$  —— 初始长度测量值；

$L_0$  —— 试件基准长度；

$L_b$  —— 试件的测量标距；

$k$  —— 应变计的测量灵敏度；

$B$  —— 所测龄期的频率模数；

$B_0$  —— 初始频率模数；

$p$  —— 指定条件下所测龄期的自由膨胀率；

$\lambda$  —— 所测龄期的压蒸膨胀率

$f_{ct}$  —— 混凝土劈裂抗拉强度；

$F$  —— 试件抗压破坏荷载；

$A$  —— 试件承压面积。

### 3 基本规定

**3.0.1** 氧化镁膨胀剂可用于配制具有补偿收缩能力的混凝土,主要用于混凝土结构自防水、超长混凝土结构、大体积混凝土和工程接缝填充等工程。氧化镁膨胀剂混凝土宜在有约束且需要补偿收缩的部位使用。

**3.0.2** 氧化镁膨胀剂不宜在下列条件下使用:

- 1 中心温峰值小于  $20^{\circ}\text{C}$  的混凝土构件。
- 2 在冬期施工的最小尺寸小于  $150\text{mm}$  的混凝土构件。

**3.0.3** 对于施工期间昼夜温差超过  $20^{\circ}\text{C}$ 、日平均温度变化超过  $20^{\circ}\text{C}$  等复杂环境条件下的混凝土工程,氧化镁膨胀剂的使用应制定专项的技术方案。

## 4 设计

**4.0.1** 设计使用掺用氧化镁膨胀剂的混凝土时,应在设计图纸中明确注明不同结构部位的限制膨胀率指标要求。

**4.0.2** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的设计取值应符合下列规定:

**1** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的设计强度等级应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。用于后浇带和膨胀加强带时,设计强度等级应比两侧混凝土提高一个等级。

**2** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的限制膨胀率的设计取值应符合表 4.0.2 的规定。

表 4.0.2 限制膨胀率的设计取值

结构部位	28d 限制膨胀率(%)	$\Delta\epsilon$ (28d-7d)(%)
水平构件	$\geq 0.015$	$\geq 0.005$
竖向构件	$\geq 0.020$	
后浇带、膨胀加强带		

**3** 限制膨胀率的取值应以 0.005% 的间隔为一个等级。

**4** 对下列情况,表 4.0.2 中的 28d 限制膨胀率取值宜适当增大:

- 1) 约束程度大的构件;
- 2) 位于干燥、炎热环境下的构件;
- 3) 结构总长度大于 120m。

**4.0.3** 大体积、大面积及超长混凝土结构需设置后浇带时,可采用掺用氧化镁膨胀剂的混凝土作为膨胀加强带的措施,并应符合下列规定:

**1** 膨胀加强带可采用连续式、间歇式或后浇式等形式;

2 膨胀加强带的设置可按照常规后浇带的设置原则进行；

3 膨胀加强带宽度宜为 2000mm，并应在其两侧用密孔钢（板）丝网将带内混凝土与带外混凝土分开。

4.0.4 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的浇筑方式和构造形式应根据结构长度，按表 4.0.4 进行选择。膨胀加强带之间的间距宜为 30m~60m。约束程度大的结构宜采用后浇式膨胀加强带分段浇筑。

表 4.0.4 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的浇筑方式和构造形式

结构类别	构件长度 $L$ (m)	构件厚度 $H$ (m)	浇筑方式	构造形式
墙体	$L \leq 60$	—	连续浇筑	连续式膨胀加强带
	$L > 60$	—	分段浇筑	后浇式膨胀加强带
板式结构	$L \leq 60$	—	连续浇筑	—
	$60 < L \leq 120$	$H \leq 1.5$	连续浇筑	连续式膨胀加强带
	$60 < L \leq 120$	$H > 1.5$	分段浇筑	后浇式、间歇式膨胀加强带
	$L > 120$	—	分段浇筑	后浇式、间歇式膨胀加强带

## 5 原材料选择

5.0.1 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 或《中热硅酸盐水泥 低热硅酸盐水泥 低热矿渣硅酸盐水泥》GB 200 的有关规定。

5.0.2 氧化镁膨胀剂应符合下列规定：

1 氧化镁膨胀剂的性能应符合表 5.0.2 的规定。

表 5.0.2 氧化镁膨胀剂的性能指标

项 目		要 求		
		R 型	M 型	S 型
MgO 含量/%	≥	80.0		
烧失量/%	≤	4.0		
反应时间/s		<100	≥100 且 <200	≥200 且 <300
细度 (%)	80 $\mu$ m 方孔筛筛余 ≤	5.0		
	1.18mm 方孔筛筛余 ≤	0.5		
限制膨胀率 (%)	20℃ 水中 7d ≥	0.020	0.015	0.015
	20℃ 水中, $\Delta\epsilon$ ≥	0.020	0.015	0.010
	40℃ 水中 7d ≥	0.040	0.030	0.020
	40℃ 水中, $\Delta\epsilon$ ≥	0.020	0.030	0.040
凝结时间 (min)	初凝 ≥	45		
	终凝 ≤	600		
抗压强度 (MPa)	7d ≥	22.5		
	28d ≥	42.5		

2 氧化镁膨胀剂应单独存放,并不得受潮。当氧化镁膨胀剂在存放过程中发生结块、胀袋现象时,应严禁使用。

**5.0.3** 外加剂和矿物掺合料的选择应符合下列规定：

1 减水剂、缓凝剂等混凝土外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的有关规定。

2 粉煤灰、粒化高炉矿渣粉等矿物掺合料应符合现行国家标准《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003 的有关规定。

**5.0.4** 骨料应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的有关规定。

**5.0.5** 拌和水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定。

## 6 混凝土技术要求

6.0.1 掺用氧化镁膨胀剂混凝土的工作性、强度等级、限制膨胀率、抗渗等级和耐久性等性能应符合设计和施工要求。

6.0.2 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的限制膨胀率应符合表6.0.2的规定。限制膨胀率的试验方法应按本规程附录 A 或附录 B 进行。

表 6.0.2 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的膨胀性能

氧化镁膨胀剂类型	限制膨胀率(%)		
	7d	28d	$\Delta\epsilon(28d-7d)$
R 型	$\geq 0.010$	$\geq 0.015$	$\geq 0.005$
M 型	$\geq 0.005$		$\geq 0.005$
S 型	—		$\geq 0.010$

6.0.3 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的安定性应合格,试验方法应按本规程附录 C 或附录 D 进行。

6.0.4 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的膨胀稳定性为选择性指标,应符合表 6.0.4 的规定。

表 6.0.4 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的膨胀稳定性

氧化镁膨胀剂类型	限制膨胀率(%)	
	$\Delta\epsilon(120d-90d)$	$\Delta\epsilon(180d-150d)$
R 型	$\leq 0.005$	—
M 型		
S 型	—	$\leq 0.005$

## 7 配合比

**7.0.1** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的配合比设计,应根据本规程第6章的混凝土技术要求进行。配合比设计应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的有关规定。

**7.0.2** 氧化镁膨胀剂的类型和掺量应根据设计要求的限制膨胀率,应采用实际工程使用的原材料,经过混凝土配合比试验后确定,并应符合下列规定:

**1** 对于施工期间自混凝土浇筑起5d内环境平均温度在 $20^{\circ}\text{C}$ 及以上的混凝土,宜采用M型或S型氧化镁膨胀剂;对于施工期间自混凝土浇筑起5d内环境平均温度在 $20^{\circ}\text{C}$ 以下的混凝土,宜采用R型或M型氧化镁膨胀剂。

**2** 对于大体积混凝土,宜采用M型或S型氧化镁膨胀剂;对于普通混凝土结构,宜采用R型或M型氧化镁膨胀剂。

**3** R型和M型氧化镁膨胀剂掺量不宜大于8%,S型氧化镁膨胀剂掺量不宜大于6%。

**7.0.3** 有耐久性要求的掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的配合比设计,尚应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476的有关规定。

## 8 生产和运输

**8.0.1** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土宜在预拌混凝土厂生产,生产和运输应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

**8.0.2** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的原材料应按配合比准确称量,每盘的允许偏差应符合表 8.0.2 的有关规定。

表 8.0.2 原材料每盘称量的允许偏差

材料名称	允许偏差(%)
水泥、膨胀剂、矿物掺合料	±2
粗骨料、细骨料	±3
水、外加剂	±1

**8.0.3** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土应搅拌均匀,其搅拌时间比同等级普通混凝土的搅拌时间应延长 30s 以上。

## 9 浇筑和养护

**9.0.1** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的浇筑和养护应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 等有关标准的规定。

**9.0.2** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的浇筑应符合下列规定：

1 浇筑前应制定浇筑计划，检查膨胀加强带和后浇带的设置应符合设计要求，浇筑部位应清理干净。

2 当施工中因各种原因需留施工缝时，如混凝土已硬化，应在其上铺设 30mm~50mm 厚的同配合比无粗骨料的膨胀水泥砂浆，再浇筑混凝土。

3 当超长的板式结构采用膨胀加强带取代后浇带时，应根据所选膨胀加强带的构造形式，按规定顺序浇筑。间歇式膨胀加强带和后浇式膨胀加强带浇筑前，应将膨胀加强带内杂物等清理干净，膨胀加强带两侧面进行表面清理凿毛处理，并充分润湿。

4 水平构件宜在初凝前和终凝前分别对混凝土表面进行抹压。

**9.0.3** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的养护应符合下列规定：

1 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土浇筑完成后，应及时对暴露在大气中的混凝土表面进行覆盖养护膜、涂刷养护剂或其他保湿养护措施，养护期不应少于 14d。

2 对于裂缝控制要求较高的部位，宜同时采用覆盖保温被等保温养护措施。

3 冬期施工时，应采用有效的保温养护措施。

## 10 质量检验与验收

**10.0.1** 同一生产厂家、同一类型、同一编号且连续进场的氧化镁膨胀剂,应按不超过 200t 为一批,检查产品合格证、出厂检验报告,并应抽取实物进行进场检验,取样方法按现行国家标准《水泥取样方法》GB/T 12573 的有关规定进行,每批取样不应少于 20kg,缩分为二等份,一份由双方共同签封后密封保存 6 个月,一份由买方进行检验,进场检验包括出厂检验报告上的全部技术指标。在 90d 以内,买方检验认为产品质量不符合要求,而卖方存有异议时,则双方应将保存的另一份试样送省级或省级以上国家认可的质量监督检验机构进行仲裁检验。

**10.0.2** 对于掺用氧化镁膨胀剂的混凝土膨胀性能的检验,应符合下列规定:

1 对于配合比试配,应至少进行一组限制膨胀率试验和安定性试验,试验结果应满足本规程第 6 章的要求和配合比设计要求。

2 施工过程中,对于连续生产的同一配合比的混凝土,应至少分成两个批次取样进行限制膨胀率试验,各批次的检验结果均应满足本规程第 6 章的要求和设计要求。经混凝土生产方与使用方共同协商认为必需时,宜至少有一个批次进行安定性或膨胀稳定性试验,每个批次应至少制作一组试件,各批次的检验结果均应满足本规程第 6 章的要求。

**10.0.3** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土工程质量验收应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

## 附录 A 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土限制膨胀率试验方法(基准法)

**A.0.1** 本方法适用于人工测定掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的限制膨胀率。

**A.0.2** 试验用仪器应符合下列规定：

1 测量仪应由千分表、支架和标准杆组成(图 A.0.2-1),千分表分辨率应为 0.001mm。

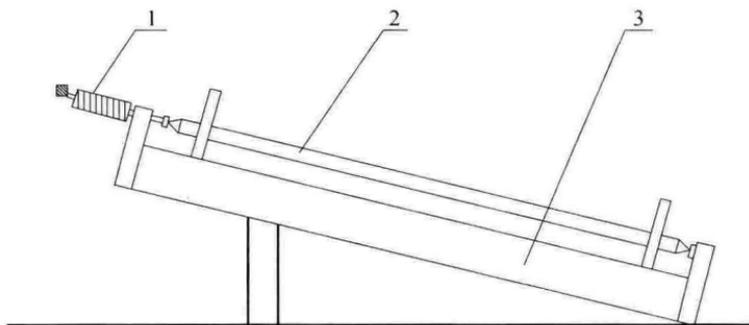


图 A.0.2-1 测量仪

1—电子千分表;2—标准杆;3—支架

2 纵向限制器应符合下列规定：

1)纵向限制器应由纵向限制钢筋与钢板焊接制成(图 A.0.2-2)。

2)纵向限制钢筋应采用直径为 10mm、横截面面积  $78.54\text{mm}^2$ ，且符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第 2 部分:热轧带肋钢筋》GB 1499.2 规定的钢筋。钢筋两侧应焊接 12mm 厚的钢板，材质应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的有关要求，钢筋两端点各 7.5mm 范围内为黄铜或不锈钢，测头呈球面状，半径

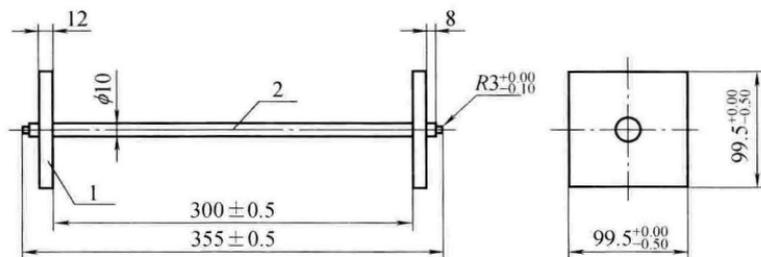


图 A.0.2-2 纵向限制器

1—端板;2—钢筋

为 3mm。钢板与钢筋焊接处的焊接强度不应低于 260MPa。

3)纵向限制器不应变形,一般检验可重复使用 3 次,仲裁检验只允许使用 1 次。

4)纵向限制器的配筋率为 0.79%。

#### A.0.3 试验室温度应符合下列规定:

1 用于混凝土试件成型的试验室的温度应为  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度不应小于 60%。

2 用于混凝土试件测量的试验室的温度应为  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度应为  $60\% \pm 5\%$ 。

3 用于养护混凝土试件的恒温水槽的温度应为  $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

4 每日应检查、记录温度变化情况。

#### A.0.4 试件制作应符合下列规定:

1 用于成型试件的试模宽度和高度均应为 100mm,长度应大于 360mm。

2 1 组限制膨胀率试件应成型 3 块,试件全长应为 355mm,其中混凝土部分尺寸应为  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 300\text{mm}$ 。

3 首先应把纵向限制器具放入试模中,然后将混凝土一次装入试模,把试模放在振动台上振动至表面呈现水泥浆,不泛气泡为止,刮去多余的混凝土并抹平;然后应把试件置于温度  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度大于 95% 的标准养护室内养护。试件表面应用塑

料布或湿布覆盖。

4 试件应在混凝土抗压强度达到 3MPa~5MPa 时立即脱模 (一般为成型后 12h~16h)。

**A.0.5** 试件测长和养护应符合下列规定:

1 测长前 3h,应将测量仪、标准杆放在标准试验室内,用标准杆校正测量仪并调整千分表零点。测量前,应将试件及测量仪测头擦净。每次测量时,试件记有标志的一面与测量仪的相对位置应一致,纵向限制器的测头与测量仪的测头应正确接触,读数应精确至 0.001mm。不同龄期的试件应在规定时间±1h 内测量。试件脱模后应在 1h 内测量试件的初始长度。测量完初始长度的试件立即放入温度 40℃±2℃ 的恒温水槽中养护。到达规定龄期后,应将试件从恒温水槽中取出,放入温度 20℃±2℃、相对湿度大于 95% 的标准养护室中自然冷却 6h,不应堆垛放置。冷却后的试件应移至温度 20℃±2℃、相对湿度 60%±5% 的试验室进行测长。测长的龄期从成型日算起,宜测量 3d, 7d, 14d, 28d, 42d, 60d, 90d, 120d, 150d 和 180d 的长度变化,也可根据需要安排调整龄期。每个龄期测长完成后应立即放回温度 40℃±2℃ 的恒温水槽中,继续养护至下一龄期。

2 养护时,应注意不损伤试件测头。试件之间应保持 25mm 以上间隔,试件支点距限制钢板两端宜为 70mm。

**A.0.6** 各龄期的限制膨胀率应按下式计算,应取相近的 2 个试件测定值的平均值作为限制膨胀率的测量结果,计算值应精确至 0.001%:

$$\epsilon = \frac{L_1 - L}{L_0} \times 100 \quad (\text{A.0.6-1})$$

式中:  $\epsilon$  —— 所测龄期的限制膨胀率, %;

$L_1$  —— 所测龄期的试件长度测量值,单位为毫米(mm);

$L$  —— 初始长度测量值,单位为毫米(mm);

$L_0$  —— 试件基准长度,300mm。

## 附录 B 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土限制膨胀率试验方法(代用法)

**B.0.1** 本方法适用于采用埋入式应变计监测掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的限制膨胀率。

**B.0.2** 试验用仪器应符合下列规定：

1 监测仪器应由振弦式应变计、电缆、测量仪表等组成。监测仪器技术参数应符合表 B.0.2 的规定。监测仪器使用前需经检验合格，监测仪器的检验应符合现行行业标准《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T 5178 的有关规定。

表 B.0.2 监测仪器的技术参数

技术项目	参数要求
应变计标距(mm)	100~150
应变测量范围( $10^{-6}$ )	-1500~1500
应变计测量灵敏度( $10^{-6}/(\text{Hz}^2 \times 10^{-3})$ )	$\leq 0.5$
应变计弹性模量(MPa)	300~1500
应变计耐水压(MPa)	$\geq 1$
应变计绝缘电阻(M $\Omega$ )	$\geq 50$

2 纵向限制器应符合本规程第 A.0.2 条的规定。

**B.0.3** 试验室温度应符合下列规定：

1 用于混凝土试件成型的试验室的温度应为  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不应小于 60%。

2 用于养护混凝土试件的恒温水槽的温度应为  $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

3 每日应检查、记录温度变化情况。

**B.0.4** 试件制作应符合下列规定：

1 用于成型试件的试模宽度和高度均应为 100mm,长度应大于 360mm。

2 1 组限制膨胀率试件应成型 3 块,试件全长应为 355mm,其中混凝土部分尺寸应为 100mm×100mm×300mm。

3 应变计使用前应记录应变计的编号、测量灵敏度等信息。

4 首先应采用铁丝将应变计绑扎在纵向限制器限制钢筋的正下方  $10\pm 2\text{mm}$  的位置(图 B.0.4),并一起放入试模中,然后将混凝土拌合物分两层装入试模,每层插捣 25 次,插捣时不得损坏应变计。顶层插捣完成后,刮去多余的混凝土并抹平;然后将试件置于温度  $20\text{℃}\pm 2\text{℃}$ 、相对湿度大于 95% 的标准养护室内养护。试件表面应用塑料布或湿布覆盖。

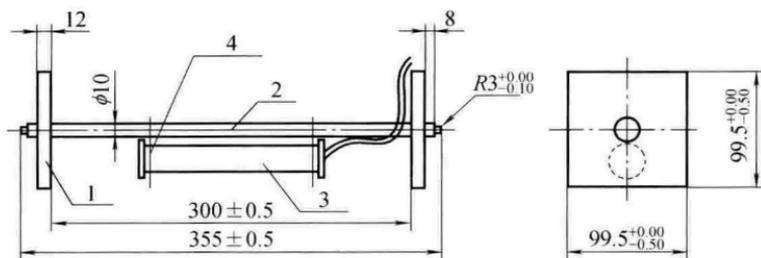


图 B.0.4 应变计绑扎位置示意图

1—端板;2—钢筋;3—应变计;4—铁丝

5 试件应在混凝土抗压强度达到 3MPa~5MPa 时立即脱模。

#### B.0.5 试件监测和养护应符合下列规定:

1 试件脱模后立即放入温度  $40\text{℃}\pm 2\text{℃}$  的恒温水槽中养护 6h 并读出初始频率模数。监测的龄期从成型日算起,宜监测 3d, 7d, 14d, 28d, 42d, 60d, 90d, 120d, 150d 和 180d 的频率模数,也可根据需要安排调整龄期,试件应在规定时间  $\pm 1\text{h}$  内测量。

2 养护时,试件之间应保持 25mm 以上间隔,试件支点距限制钢板两端宜为 70mm。

**B. 0. 6** 各龄期的限制膨胀率应按下式计算,应取相近的 2 个试件测定值的平均值作为限制膨胀率的测量结果,计算值应精确至 0. 001%。

$$\epsilon = k(B - B_0) \times 100 \quad (\text{B. 0. 6})$$

式中: $\epsilon$  ——所测龄期的限制膨胀率, %;

$k$  ——应变计的测量灵敏度,单位为  $10^{-6}/(\text{Hz}^2 \times 10^{-3})$ ;

$B$  ——所测龄期的频率模数,单位为  $(\text{Hz}^2 \times 10^{-3})$ ;

$B_0$  ——初始频率模数,单位为  $(\text{Hz}^2 \times 10^{-3})$ 。

## 附录 C 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土安定性 试验方法混凝土压蒸法（基准法）

**C.0.1** 本方法适用于测定掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的安定性。

**C.0.2** 试验用仪器应符合下列规定：

1 钉头、捣棒和比长仪应符合现行行业标准《水泥胶砂干缩试验方法》JC/T 603 的有关规定。

2 沸煮箱应符合现行行业标准《水泥安定性试验用沸煮箱》JC/T 955 的有关规定。

3 压蒸釜应符合现行国家标准《水泥压蒸安定性试验方法》GB/T 750 的有关规定。

**C.0.3** 试验室温度应符合下列规定：

1 用于混凝土试件成型的试验室的温度应为  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不应小于 60%。

2 用于混凝土试件测量的试验室的温度应为  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度应为  $60\% \pm 5\%$ 。

**C.0.4** 试件制作应符合下列规定：

1 用于成型压蒸膨胀率试件的试模应为规格  $55\text{mm} \times 55\text{mm} \times 280\text{mm}$  的长方体试模，两端圆孔装入钉头。

2 采用工程原材料和配合比，粗骨料应通过公称直径为 16mm 的方孔筛，筛除大于 16mm 的粗骨料，进行搅拌并成型。掺用氧化镁膨胀剂的对比组混凝土与不掺氧化镁膨胀剂的基准组混凝土应分别成型 1 组压蒸膨胀率试件。

3 1 组压蒸膨胀率试件应成型 2 块。

4 试件的成型与养护应符合现行国家标准《普通混凝土力学

性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定。

5 试件应在混凝土抗压强度达到 3MPa~5MPa 时立即脱模。

**C.0.5** 压蒸膨胀率试件的测长和养护应符合下列规定：

1 试件脱模后应在 1h 内测量试件的初始长度。测量完初始长度的试件立即放入沸煮箱的试架上，按照现行国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346 的有关规定进行 3h 沸煮。沸煮后的试件应继续留在沸煮箱里的热水中养护到压蒸前，养护时间应在 20h 以上。

2 沸煮后的试件应在四天内完成压蒸试验。压蒸试验应按照国家标准《水泥压蒸安定性试验方法》GB/T 750 的有关规定进行。

3 压蒸后的试件应立即置于 90℃ 以上的热水中，然后在热水中均匀地注入冷水，在 15min 内使水温降至室温，注入水时不要直接冲向试件表面，再经 15min 取出试件擦净，进行测长。如试件弯曲、过长、龟裂等应做记录。

**C.0.6** 压蒸膨胀率应按下式计算，应取 2 个试件测定值的平均值作为压蒸膨胀率值，计算值应精确至 0.01%。当测定值与平均值的差值超过平均值的 10% 时应重做试验。

$$\lambda = \frac{L_1 - L}{L_0} \times 100 \quad (\text{C.0.6})$$

式中： $\lambda$  —— 所测龄期的压蒸膨胀率(%)；

$L_1$  —— 所测龄期的试件长度测量值(mm)；

$L$  —— 初始长度测量值(mm)；

$L_0$  —— 试件的测量标距，即等于混凝土试件长度(不计测头凸出部分)减去两个测头埋入深度之和(mm)。

**C.0.7** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的安定性评价指标为：

1 混凝土压蒸膨胀率小于或等于 0.50%。

2 混凝土试件无弯曲或龟裂。

3 当本条第 1 款、2 款同时满足时，可判定掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的安定性合格。

## 附录 D 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土安定性 试验方法高温养护法（代用法）

**D.0.1** 本方法适用于测定掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的安定性。

**D.0.2** 试验用测长仪器应采用螺旋测微计或比长仪或卧式混凝土干缩仪,精度应为 0.01mm。

**D.0.3** 试验室温度应符合下列规定:

1 用于混凝土试件成型的试验室的温度应为  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度不应小于 60%。

2 用于混凝土试件测量的试验室的温度应为  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度应为  $60\% \pm 5\%$ 。

3 用于养护混凝土试件的恒温水槽的温度应为  $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

4 每日应检查、记录温度变化情况。

**D.0.4** 试件制作应符合下列规定:

1 用于成型自由膨胀率试件的试模应为规格  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 515\text{mm}$  的长方体试模,两端可埋设不锈钢的金属测头;用于成型抗压强度试件的试模应为规格  $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$  的立方体试模。

2 采用工程原材料和配合比,掺用氧化镁膨胀剂的对比组混凝土应成型 1 组自由膨胀率试件和 1 组抗压强度试件;不掺氧化镁膨胀剂的基准组混凝土应成型 1 组抗压强度试件。

3 1 组自由膨胀率试件应成型 3 块;1 组抗压强度试件应成型 3 块。

4 试件的成型和养护应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定。

5 试件应在混凝土抗压强度达到  $3\text{MPa} \sim 5\text{MPa}$  时立即脱模

(一般为成型后 12h~16h),自由膨胀率试件脱模时应注意不要损伤测头。

**D.0.5** 自由膨胀率试件的测长和养护应符合下列规定:

1 试件脱模后应在 1h 内测量试件的初始长度。测量完初始长度的试件立即放入温度  $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  的恒温水槽中养护。到达 90d 龄期后,应将试件从恒温水槽中取出,放入温度  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度大于 95% 的标准养护室中自然冷却 6h,不应堆垛放置。冷却后的试件应移至温度  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度  $60\% \pm 5\%$  的试验室进行测长。

2 养护时,应注意不损伤试件测头。试件之间应保持 25mm 以上间隔,试件支点距限制钢板两端宜为 70mm。

**D.0.6** 抗压强度试件脱模后应立即放入温度  $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  的恒温水槽中养护。到达 90d 龄期后,应将试件从恒温水槽中取出,放入温度  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度大于 95% 的标准养护室中自然冷却 6h,冷却后进行抗压强度试验。抗压强度试验按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定进行。

**D.0.7** 自由膨胀率应按下式计算,应取相近的 2 个试件测定值的平均值作为自由膨胀率的测量结果,计算值应精确至 0.001%。

$$p = \frac{L_1 - L}{L_b} \times 100 \quad (\text{D.0.7})$$

式中:  $p$  —— 所测龄期的自由膨胀率(%);

$L_1$  —— 所测龄期的试件长度测量值(mm);

$L$  —— 初始长度测量值(mm);

$L_b$  —— 试件的测量标距,即等于混凝土试件长度(不计测头凸出部分)减去两个测头埋入深度之和(mm)。

**D.0.8** 抗压强度应按下式计算,应取 3 个试件强度测值的平均值作为该组试件的测试结果,计算值应精确至 0.01MPa。

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (\text{D.0.8})$$

式中： $f_{cc}$  ——混凝土抗压强度(MPa)；

$F$  ——试件抗压破坏荷载(N)；

$A$  ——试件承压面积( $\text{mm}^2$ )；

**D.0.9** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的安定性评价指标为：

- 1 混凝土自由膨胀率小于或等于 0.060%。
- 2 对比组抗压强度与基准组抗压强度之比不小于 0.85。
- 3 混凝土试件无弯曲或龟裂。
- 4 本条第 1 款~3 款同时满足时，可判定掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的安定性合格。

## 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476
- 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003
- 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 《中热硅酸盐水泥 低热硅酸盐水泥》GB 200
- 《碳素结构钢》GB/T 700
- 《水泥压蒸安定性试验方法》GB/T 750
- 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346
- 《钢筋混凝土用钢 第2部分:热轧带肋钢筋》GB 1499.2
- 《混凝土外加剂》GB 8076
- 《水泥取样方法》GB/T 12573
- 《水泥胶砂干缩试验方法》JC/T 603
- 《水泥安定性试验用沸煮箱》JC/T 955
- 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T 5178

中国工程建设标准化协会标准

混凝土用氧化镁膨胀剂应用  
技术规程

**T/CECS 540-2018**

条文说明

目 次

1	总 则 .....	( 31 )
2	术语与符号 .....	( 32 )
3	基本规定 .....	( 33 )
4	设 计 .....	( 35 )
5	原材料选择 .....	( 37 )
6	混凝土技术要求 .....	( 38 )
7	配合比 .....	( 40 )
8	生产和运输 .....	( 42 )
9	浇筑和养护 .....	( 43 )
10	质量检验与验收 .....	( 44 )

## 1 总 则

**1.0.1** 制定本规程的目的,即规范掺用氧化镁膨胀剂的混凝土工程的设计与施工,充分发挥氧化镁膨胀剂的补偿收缩性能,有效控制收缩裂缝,从而提高结构防水防护性能,保证混凝土工程质量和耐久性。

**1.0.2** 本规程的适用范围。氧化镁膨胀剂最早在水工混凝土中得到了成功应用,随着对其性能研究的不断深入,应用技术的逐渐成熟,近些年在建筑和市政工程、交通工程中的应用也取得了良好的效果。本规程主要适用于建筑、市政、交通等一般构筑物等混凝土工程,在水工等工程中氧化镁膨胀剂的应用也可参考本规程中的有关规定,但尚应结合各自行业现行有关标准的规定。

## 2 术语与符号

**2.1.1** 本条规定了氧化镁膨胀剂的定义。当有钢筋或其他约束体约束时,氧化镁膨胀剂的膨胀将会使约束体对混凝土产生压应力,这种压应力是利用膨胀能产生的,称为自应力。本规程中,自应力按照公式  $\sigma = \varepsilon \cdot E \cdot \mu$  计算( $\sigma$  为自应力值;  $E$  为限制钢筋的弹性模量,取  $2.0 \times 10^5$  MPa;  $\mu$  为试件配筋率;  $\varepsilon$  为  $40^\circ\text{C}$  养护条件下混凝土的限制膨胀率)。氧化镁膨胀剂通过使混凝土产生一定的自应力,来补偿混凝土因收缩产生的拉应力。

**2.1.2** 通过测量配筋率已知的单向限制器具的变形可以获得限制膨胀率。氧化镁膨胀剂的限制膨胀率是其关键质量和技术指标,直接反映了其所能产生的自应力的大小。掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的限制膨胀率决定了其补偿收缩的能力,是工程应用中必须考虑的设计指标。

**2.1.3** 氧化镁膨胀剂同样参与水化反应,故单位胶凝材料用量应该为  $(C + M + A_d)$ 。其中,  $C$  为单位水泥用量,  $M$  为单位氧化镁膨胀剂用量,  $A_d$  为单位矿物掺合料用量。

**2.1.4** 氧化镁膨胀剂掺量可表示为  $M / (C + M + A_d) \times 100\%$ 。

**2.1.5** 膨胀加强带一般设在原设计留有后浇带的部位,此处收缩应力比较集中,需要采用自应力大的掺用氧化镁膨胀剂的混凝土进行强化补偿。根据工程结构特点和施工要求,膨胀加强带分为连续式、间歇式和后浇式三种构造形式。

### 3 基本规定

**3.0.1** 本条明确了氧化镁膨胀剂的用途以及掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的主要使用场合和部位。

**3.0.2** 本条规定了氧化镁膨胀剂的使用条件。研究表明,温度对氧化镁膨胀剂的性能发挥会产生至关重要的影响,40℃养护条件下掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的限制膨胀率明显高于20℃养护条件下的试件,20℃及以下氧化镁膨胀剂的水化反应较为缓慢。因此,氧化镁膨胀剂从性能特点上,更适合于在混凝土构件中心温峰值较高的条件下使用。当因各种原因,混凝土构件中心温峰值在20℃以下时,一方面该条件下混凝土的温降收缩较小,同时较低的构件内部温度也不利于氧化镁膨胀剂性能的发挥,故在此种情况下不建议使用氧化镁膨胀剂。

对于不采用保温措施的非大体积混凝土工程,混凝土内部温度通常会在3d~5d内便降至环境温度,此时氧化镁膨胀剂性能的发挥也就会受到环境温度的影响。因此,为了保证氧化镁膨胀剂性能的充分发挥,达到工程应用的良好效果,对于室外日平均气温连续5日稳定低于5℃的冬期施工时的氧化镁膨胀剂应用,给出以下建议:

(1)对于冬期施工的最小尺寸小于150mm的薄墙、薄板构件,构件内部温度会更快地降为较低的环境温度,不利于氧化镁膨胀剂的性能发挥,此种情况下不建议使用氧化镁膨胀剂;

(2)对于冬期施工的大体积混凝土结构,考虑到其即便在冬期施工时内部温升也较大,较高的内部温度有利于氧化镁膨胀剂的性能发挥,此种情况下可采用氧化镁膨胀剂进行补偿收缩,但应采取有效的保温养护等措施。

此外,研究表明,高强混凝土较低的水胶比不利于氧化镁膨胀剂的水化,会降低氧化镁膨胀剂膨胀性能的发挥,故在 C60 以上高强混凝土中,氧化镁膨胀剂在应用时应在配合比设计等环节予以注意。

**3.0.3 氧化镁膨胀剂应用方案的设计与验证**是其使用时至关重要的环节,包括氧化镁膨胀剂类型与掺量的选择、配套施工措施的确定等,都会对其工程应用效果起到决定性作用。尤其考虑到环境温度对氧化镁膨胀剂膨胀性能发挥的显著作用,故对于昼夜温差超过  $20^{\circ}\text{C}$ 、施工期间日平均温度变化超过  $20^{\circ}\text{C}$  等复杂环境条件下氧化镁膨胀剂的使用,需进行针对性的温度匹配养护试验和实体结构混凝土内部温度与应变监测等,开展专题研究,采取有效的保温保湿养护、加热养护等措施,或采用合理的氧化镁膨胀剂与氧化钙、硫铝酸钙类膨胀剂复合使用等技术手段。

## 4 设计

**4.0.1** 补偿收缩混凝土近年来得到了大量的工程应用,其限制膨胀率作为设计指标的使用已较为成熟,设计单位根据不同的结构部位、受约束程度的不同以及环境条件的不同,对于限制膨胀率的设计值取得了丰富经验。鉴于掺用氧化镁膨胀剂的混凝土与补偿收缩混凝土均以实现有效的补偿收缩为设计目标,考虑到标准间的协调性,本规程仍采用限制膨胀率作为使用掺用氧化镁膨胀剂的混凝土时的设计指标要求。

**4.0.2** 为保证氧化镁膨胀剂能够在较长龄期范围内持续发挥补偿收缩作用,故采用水中养护 28d 龄期的限制膨胀率以及其与水中养护 7d 龄期的限制膨胀率的差值作为设计指标。本条所述的限制膨胀率是指 40℃ 水中养护至相应龄期的限制膨胀率。

设计取值的范围和设计时需要考虑的因素参考了行业标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178—2009 的规定。用于补偿结构混凝土因温度与干燥收缩产生的拉应力、提高结构混凝土抗裂性能时,其自应力值一般为 0.2MPa~0.7MPa;用于后浇带、膨胀加强带以及接缝工程填充时,自应力值达到 0.5MPa~1.0MPa 时能够取得良好的效果。按照本规程的限制膨胀率测试方法,该 0.2MPa~1.0MPa 的自应力所对应的混凝土限制膨胀率约为 0.015%~0.060%,故为了保证补偿收缩效果,掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的 28d 最小限制膨胀率设计取值为 0.015%。在具体设计选取限制膨胀率时,需要综合考虑结构部位、限制(约束)程度、使用环境、结构构件总长度等因素。墙体等竖向结构构件通常养护条件相对较差,干燥收缩所引发的开裂风险更大,故竖向构件的限制膨胀率取值应适当提高。后浇带、膨胀加强带约束程度

较大,是收缩开裂的薄弱位置,应采用更大的膨胀进行补偿,故后浇带、膨胀加强带的设计取值应适当提高。此外,对于桩基础底板等约束程度大的构件,多风、湿度较低等干燥环境,夏季等高温环境以及结构构件长度较大等情况下,温降收缩应力与干燥收缩应力更大,限制膨胀率的设计取值应更高一些。

**4.0.3** 膨胀加强带是行业标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178—2009 中所提出的一种旨在提高混凝土结构抗裂性能的技术措施,其利用补偿收缩混凝土可以补偿混凝土干燥收缩的特性,代替后浇带,从而进一步简化施工工艺。掺用氧化镁膨胀剂的混凝土在补偿干燥收缩方面具有补偿持续周期更长、补偿效果更加稳定的特点,作为膨胀加强带的应用效果良好。膨胀加强带的设置参考了行业标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178—2009 的规定。

采用以掺用氧化镁膨胀剂的混凝土作为膨胀加强带时,非沉降的膨胀加强带可在两侧掺用氧化镁膨胀剂的混凝土浇筑 28d 后再浇筑,大体积混凝土的膨胀加强带应在两侧的混凝土中心温度降至环境温度时再浇筑。

**4.0.4** 本条规定了掺用氧化镁膨胀剂混凝土的浇筑方式和构造形式。按照约束弱、结构构件总长度小、结构厚度小的构件,连续浇筑的区段长,反之则短的原则进行规定。

## 5 原材料选择

**5.0.1** 水泥的矿物组成、细度、强度发展规律均会影响氧化镁膨胀剂膨胀性能的发挥,使用时应予以注意并采用工程实际用水泥开展配合比试验。

**5.0.2** 氧化镁膨胀剂的产品性能直接决定了混凝土工程的应用效果,性能指标应符合要求,严禁使用反应时间不合格的死烧氧化镁。氧化镁膨胀剂遇水受潮会发生水化,失去补偿收缩的性能,存放过程中有异常时,必须进行复检,合格后才能使用。

**5.0.3** 减水剂、缓凝剂对于氧化镁膨胀剂的性能发挥影响较小,而粉煤灰、矿渣粉的使用则会降低掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的限制膨胀率。当硅灰、沸石粉、石灰石粉、磷渣粉等其他种类的矿物掺合料,或泵送剂、防冻剂、发泡剂、速凝剂等外加剂与氧化镁膨胀剂共同使用时,应在使用前进行试验、论证。

## 6 混凝土技术要求

**6.0.1** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的使用和质量均在普通混凝土的范畴之内,故需满足普通混凝土的质量控制标准。在此基础上,还应满足设计所要求的各项指标。其中,限制膨胀率直接决定了混凝土的补偿收缩性能,是掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的关键性指标,在技术要求上应予以严格控制。

**6.0.2** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的限制膨胀率除需满足设计要求的 28d 指标以外,本规程还提出了 7d 和  $\Delta\epsilon$  (28d-7d) 的指标要求,一方面确保掺用各类型的氧化镁膨胀剂后,混凝土具备一定的早期膨胀性能,同时也保证其在 28d 内能够持续补偿收缩。指标取值上,根据不同类型的氧化镁膨胀剂的膨胀性能特点进行了分别规定。

掺用氧化镁膨胀剂的混凝土限制膨胀率的试验方法,考虑标准间的协调性,仪器和操作方面参考了行业标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178—2009 的规定,养护条件采用 40℃ 水中养护,是氧化镁膨胀剂最适宜应用的温度条件,也更有利于氧化镁膨胀剂膨胀性能的充分发挥。

**6.0.3** 本条规定了掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的安定性指标。水泥中的过量方镁石会引发安定性问题,这种氧化镁是在高温下煅烧熟料时形成的,处于死烧状态,活性非常低,常温常压下需要若干年才水化完全。水泥相关标准中对于这种氧化镁的含量进行了严格控制,并采用水泥净浆压蒸试验下的压蒸膨胀率作为控制指标。相比之下,氧化镁膨胀剂是由高活性的轻烧氧化镁制成,这种氧化镁大约在几个月内就能基本水化完全,引发安定性问题的风险要明显低于死烧氧化镁,但当掺量过高时,仍会引起安定性问

题,必须进行指标控制。

基于安全性的保守考虑,本规程提出了较为严格的混凝土压蒸法作为评价掺用氧化镁膨胀剂的混凝土安定性的基准方法,试验方法参照国家标准《水泥压蒸安定性试验方法》GB/T 750—1992 和地方标准《全坝外掺氧化镁混凝土拱坝技术规范》DB 52/T 720—2010 的有关规定。同时,本规程参考行业标准《水工混凝土掺用氧化镁技术规范》DL/T 5296—2013 的规定,将高温养护法作为评价掺用氧化镁膨胀剂的混凝土安定性的代用方法,相关单位在不具备压蒸试验条件时可以使用。

**6.0.4** 本条规定了掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的膨胀稳定性作为选择性指标。 $\Delta\epsilon$  (120d—90d)或  $\Delta\epsilon$  (180d—150d)限制膨胀率指标是为了控制掺用氧化镁膨胀剂的混凝土在一定龄期内需达到膨胀稳定,防止过掺氧化镁膨胀剂后的混凝土在后期仍大幅膨胀,引发体积稳定性不良的风险。当混凝土试件在一定龄期范围内限制膨胀率的增长量很小时,可认为膨胀基本达到稳定。考虑到 R 型、M 型氧化镁膨胀剂原则上所补偿的主要是 28d 内的温降和干燥收缩,故规定其膨胀需在 90d 之前达到稳定,即 90d 到 120d 的限制膨胀率增长值要小于等于 0.005%。而活性较低、反应时间较长的 S 型氧化镁膨胀剂通常用于补偿施工温度较高条件下的长时间范围内的温降和干燥收缩,需要在一段龄期内持续膨胀,故将其膨胀稳定的时间控制在 150d 以内,即 150d 到 180d 的限制膨胀率增长值要小于等于 0.005%。

## 7 配合比

**7.0.1** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土在配合比设计时可按照普通混凝土配合比设计原则进行,同时根据混凝土的膨胀性能要求,调整并设计各材料组分的用量,在混凝土强度满足要求的基础上,重点关注膨胀性能,保证混凝土限制膨胀率和安定性满足要求。

掺用氧化镁膨胀剂后,多数情况下新拌混凝土的坍落度偏低、坍落度损失略大,在配合比设计时,需对配合比参数和材料组分用量进行适当调整,应予以注意。

**7.0.2** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的膨胀性能受原材料性能、掺合料用量、强度等级、环境温度、构件特点等众多因素的影响,不同工程条件下的应用技术差异很大,直接采用生产厂家推荐的掺量或类型是不科学的。掺量不足,将会导致膨胀率偏低,达不到补偿收缩的目的;掺量过大,则会出现后期膨胀难以稳定,甚至引发安定性不良的安全性问题。氧化镁膨胀剂的类型选择不当,可能导致膨胀变形与收缩过程不匹配,达不到预期的补偿收缩效果。因此,氧化镁膨胀剂实际应用时的类型和掺量,必须采用工程实际原材料,通过配合比试验进行确定。本条是为方便试验而给出的推荐类型和掺量。研究表明,不同类型的氧化镁膨胀剂由于活性不同,有各自所适宜应用的环境温度条件。20℃环境条件下,活性较高的R型氧化镁膨胀剂的膨胀发挥相对更好,并且膨胀更容易稳定,而S型在这种较低的环境温度下早期膨胀缓慢,且需要很长时间膨胀才能达到稳定。但当环境温度较高时,S型氧化镁膨胀剂的膨胀效果能够很好地发挥,并且较大的膨胀能够更好地补偿高温环境下较大的温降与干燥收缩。实际应用中,配合比试验时可根据实际工程环境条件,优先参考本规程所推荐的类型和掺量进

行试验,但由于膨胀剂品质的差异,试验结果可能与推荐值不符,此时应以试验结果为主。由于氧化镁膨胀剂性能的发挥受环境条件、约束程度等众多因素的影响,条件具备时,可开展试验段,通过实体结构的温度、应变监测,验证实际工程条件下的应用效果,从而优选合适的氧化镁膨胀剂类型和掺量。

**7.0.3** 工程设计中有耐久性要求时,掺用氧化镁膨胀剂的混凝土同样要采取相应的耐久性措施,并应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的相关要求。

## 8 生产和运输

**8.0.1** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的生产应遵循普通混凝土的生产质量标准。

**8.0.2** 氧化镁膨胀剂应采用符合精度要求的计量设备,严格确保计量准确。

**8.0.3** 充分搅拌对于氧化镁膨胀剂的均匀分布至关重要,有利于提高氧化镁膨胀剂在混凝土中膨胀的均匀性,应根据生产条件适当延长搅拌时间。

## 9 浇筑和养护

**9.0.1** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的浇筑和养护应遵循普通混凝土的质量控制标准。

**9.0.2** 掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的浇筑过程与注意事项应采取与普通混凝土相同的作业标准。

**9.0.3** 充分的水养护是保障氧化镁膨胀剂性能发挥的关键措施，应予以足够重视。对于水平构件，可采取覆盖塑料膜并定时洒水、铺湿麻袋等方式进行保湿养护。对于墙体构件，可在浇筑完成后，在顶端设多孔淋水管，达到脱模强度后，可松动对拉螺栓，使墙体外侧与模板之间有 2mm~3mm 的缝隙，从而让上部淋水进入模板与墙体之间，也可采取粘贴养护膜、涂刷养护剂等方式。施工人员应根据具体工程的特点选取合适的保湿养护措施，确保混凝土早期保持表面湿润。

工程实践表明，在掺用氧化镁膨胀剂后，进行合适的保温养护对于早期收缩裂缝的控制非常有利。一方面，采取保温养护措施能够明显减缓混凝土的早期温降，降低了混凝土由于温降产生的收缩应力；同时，混凝土保持一定的内部温度也有助于氧化镁膨胀剂早期膨胀性能的发挥，能够更好地补偿混凝土的早期收缩。因此，当工程条件具备时，应尽可能采取保温养护措施，以保证氧化镁膨胀剂膨胀性能的充分发挥。

## 10 质量检验与验收

**10.0.1** 本条规定了氧化镁膨胀剂的进场检验原则。

**10.0.2** 本条规定了掺用氧化镁膨胀剂的混凝土膨胀性能的检验原则。在进行掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的配合比试配以及施工过程中的质量检查时,应重点关注混凝土膨胀性能,保证限制膨胀率结果满足本规程要求和配合比设计要求。同时,应进行掺用氧化镁膨胀剂的混凝土的安定性或膨胀稳定性试验,使混凝土具备足够的补偿收缩能力的同时,不会引发体积稳定性不良等问题,确保混凝土质量稳定。

S/N:155182·0393



9 787155 182039 >

统一书号:155182·0393

定价:20.00 元