

BUCHANG SHOUSUO HUNNINGTU

YINGYONG JISHU GUICHENG SHISHI ZHINAN

补偿收缩 混 凝 土

应用技术规程实施指南

赵顺增 游宝坤 编著

中国建筑工业出版社

补偿收缩混凝土应用技术 规程实施指南

赵顺增 游宝坤 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

补偿收缩混凝土应用技术规程实施指南/赵顺增等编著.
北京: 中国建筑工业出版社, 2009
ISBN 978-7-112-11228-9

I. 补… II. 赵… III. 膨胀混凝土-技术操作规程-学习参考资料 IV. TU528.55-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 151586 号

补偿收缩混凝土应用技术规程实施指南

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京千辰公司制版
北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 8% 字数: 240 千字

2009 年 9 月第一版 2009 年 9 月第一次印刷

定价: 20.00 元

ISBN 978-7-112-11228-9
(18510)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换
(邮政编码 100037)

本书为《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178—2009 的实施指南。全书共分为 13 章，包括：1 总则，2 术语，3 基本规定，4 设计原则，5 原材料选择，6 配合比，7 生产和运输，8 浇筑和养护，9 施工缝、防水节点和施工缺陷的处理措施，10 验收，11 补偿收缩混凝土技术应用及实例，12 膨胀剂和补偿收缩混凝土常见知识问答，13 相关标准及规范。

本书对于从事补偿收缩混凝土设计和施工应用及混凝土膨胀剂生产的有关人员，了解膨胀剂和补偿收缩混凝土，正确理解和应用该标准起到一定的指导作用。

* * *

责任编辑：张伯熙 郭 栋

责任设计：崔兰萍

责任校对：王金珠 梁珊珊

前 言

补偿收缩混凝土是一种性能优越、具有膨胀性能的优质混凝土，其补偿收缩理论是混凝土科学的一个重要组成部分。

国外对膨胀水泥、膨胀剂及补偿收缩混凝土的研究较早。1943 年苏联研制不透水膨胀水泥，1958 年美国研制 K 型膨胀水泥，1962 年日本研制 CSA 混凝土膨胀剂。美国混凝土协会于 1977 年颁布《使用补偿收缩混凝土的推荐做法》，日本土木学会于 1978 年颁布《膨胀混凝土设计和施工实施细则》，又于 1993 年修订为《膨胀混凝土设计施工指南》。

我国自 1956 年开始研制膨胀和自应力水泥，1976 年研制混凝土膨胀剂，1992 年颁布建材行业标准《混凝土膨胀剂》JC 476—92 和《UEA 补偿收缩混凝土防水工法》YJGF 22—92，2003 年重新修订了国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 中有关膨胀剂的专章。

在我国，补偿收缩混凝土广泛应用于钢筋混凝土结构，并在以下三个方面取得了良好效果：（1）补偿收缩、减轻或消除有害裂缝的产生；（2）结构自防水技术；（3）减免伸缩缝、实现混凝土连续浇筑。目前，我国混凝土膨胀剂年用量在 100 万 t 左右，约合补偿收缩混凝土 3000 万 m^3 。无论在产品用量，还是在混凝土应用技术开发及其工程应用领域，我国已走在世界的前列。由于我国膨胀剂生产成本低，价格便宜，未来膨胀剂的产量有望达到 1000 万 t，约占水泥产量的 10%，可配制补偿收缩混凝土约 2.4 亿 m^3 ，数量巨大。

补偿收缩混凝土的应用涉及设计、施工、材料及监理等多个方面，任何一个环节出现纰漏，都可能影响其效果。为指导补偿

收缩混凝土的工程应用,2008年,在总结20多年补偿收缩混凝土的应用基础上,制定了《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178—2009,同时重新制定了《混凝土膨胀剂》产品标准GB 23439—2009,将其由行业标准上升为国家标准。由于《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178—2009是一部新标准,缺乏相应的宣贯材料,因此,我们根据长期研究成果和制订标准时相关的试验验证报告,以及相关背景资料,并参考国内外的资料,编写了《补偿收缩混凝土应用技术规程实施指南》。

本书共分为13章,其中第1章至第10章、第12章、第13章、第12章中的11.2节内容、11.4节至11.9节内容由赵顺增撰写,第12章中的11.1节内容、11.3节内容和11.10节内容由游宝坤撰写。本书在编写过程中,得到刘立、李乃珍、雷丽英、林常青、丁威、陈彬磊、刘加平、鲁统卫、李光明等同志的支持和帮助,谨致衷心的感谢。

本书的出版,对于从事补偿收缩混凝土设计和施工应用以及混凝土膨胀剂生产的有关人员,了解膨胀剂和补偿收缩混凝土,正确地理解和应用标准会起到一定的指导作用。

由于我们水平有限,书中疏漏和不当之处,敬请读者指正,我们不胜感谢。

目 录

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	5
4	设计原则	8
5	原材料选择	16
6	配合比	18
7	生产和运输	21
8	浇筑和养护	23
9	施工缝、防水节点和施工缺陷的处理措施	26
10	验收	28
附录 A 限制状态下补偿收缩混凝土		
	抗压强度检验方法	30
11	补偿收缩混凝土技术应用及实例	32
11.1	混凝土膨胀剂及补偿收缩混凝土	
	应用技术现状与发展方向	32
11.2	补偿收缩混凝土的基本性能	46
11.3	补偿收缩混凝土的结构设计	78
11.4	膨胀混凝土干燥收缩落差研究	89
11.5	补偿收缩混凝土工程应力——应变实测情况	102
11.6	混凝土干燥收缩开裂评价及其试验新方法	108
11.7	补偿收缩混凝土应用的注意事项	120
11.8	《混凝土膨胀剂》GB 23439—2009 编制说明	132
11.9	《混凝土膨胀剂》国家标准制订研究与验证试验报告	141

11.10	补偿收缩混凝土工程应用实例介绍	171
12	膨胀剂和补偿收缩混凝土常见知识问答	209
13	相关标准及规范	235
13.1	《混凝土膨胀剂》GB 23439—2009	235
13.2	《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119—2003 膨胀剂部分节选	248
	参考文献	256

1 总 则

1.0.1 为规范补偿收缩混凝土的工程应用，减少或消除混凝土收缩裂缝，提高混凝土结构的防水性能，保证工程质量，制定本规程。

【1.0.1 解析】制定本规程的目的，即规范补偿收缩混凝土工程的设计与施工，突出补偿收缩混凝土结构的防水性能，从而保证补偿收缩混凝土工程的质量。

1.0.2 本规程适用于补偿收缩混凝土的设计、施工和验收。

【1.0.2 解析】本规程的适用范围。本规程的直接服务对象是设计和施工人员。

1.0.3 补偿收缩混凝土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。

【1.0.3 解析】补偿收缩混凝土源于普通混凝土，二者在制备工艺、施工工艺、工作性能与强度性能等诸方面基本相同，又确无必要一一列入本规程。因此，补偿收缩混凝土在应用过程中，除执行本规程的规定外，同时要符合国家现行有关标准的规定。本规程的有关内容，将随着建筑技术和新材料开发的进步以及工程实践经验的不断积累，得到补充和完善。

2 术 语

2.0.1 混凝土膨胀剂 expansive agents for concrete

与水泥、水拌合后经水化反应生成钙矾石、氢氧化钙或钙矾石和氢氧化钙，使混凝土产生体积膨胀的外加剂，简称膨胀剂。

【2.0.1 解析】本规程所指的膨胀剂，包括水化产物为钙矾石（ $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ ）的硫铝酸钙类膨胀剂、水化产物为钙矾石和氢氧化钙的硫铝酸钙—氧化钙类膨胀剂、水化产物为氢氧化钙的氧化钙类膨胀剂，不包括其他类别的膨胀剂。氧化镁膨胀剂虽然在大坝混凝土中已有使用，但由于技术原因，目前还没有在建筑工程中应用，进行的研究也比较少，因此不包括在本规程中。

2.0.2 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。

【2.0.2 解析】通过测量配筋率一定的单向限制器具的变形可以获得限制膨胀率。膨胀剂的限制膨胀率是膨胀剂产品的关键质量和技术指标，按照现行行业标准《混凝土膨胀剂》JC 476 规定的方法测定。补偿收缩混凝土的限制膨胀率是工程设计指标，按现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 规定的方法测定。

2.0.3 自应力 self-stress

混凝土的膨胀被钢筋等约束体约束时导入混凝土的压应力。

【2.0.3 解析】补偿收缩混凝土膨胀时，会对其约束体施加拉应

力，根据作用力与反作用力原理，约束体会对其产生相应的压应力，由于此压应力是利用混凝土自身的化学能（膨胀能）张拉钢筋或其他约束体产生的，有别于外部施加的机械预应力，所以称为自应力。自应力按照公式 $\sigma = \varepsilon \cdot E \cdot \mu$ 计算（ σ —自应力值； E —限制钢筋的弹性模量，取 $2.0 \times 10^5 \text{MPa}$ ； μ —试件配筋率），对于钢筋混凝土而言，在一定范围内，配筋率与自应力值成正比关系；配筋率一定时，限制膨胀率高，自应力值就大。

2.0.4 补偿收缩混凝土 shrinkage-compensating concrete

由膨胀剂或膨胀水泥配制的自应力为 $0.2 \sim 1.0 \text{MPa}$ 的混凝土。

【2.0.4 解析】按膨胀能大小可以将膨胀混凝土分为补偿收缩混凝土和自应力混凝土两类，其中补偿收缩混凝土的自应力值较小，主要用于补偿混凝土收缩和填充灌注，用于补偿因混凝土收缩产生的拉应力、提高混凝土的抗裂性能和改善变形性质时，其自应力值一般为 $0.2 \sim 0.7 \text{MPa}$ ，用于后浇带、连续浇筑时预设的膨胀加强带以及接缝工程填充时，自应力值为 $0.5 \sim 1.0 \text{MPa}$ ，在这两种情况下使用的膨胀混凝土，由于自应力很小，故在结构设计中一般不考虑自应力的影响。

日本研究人员认为当膨胀混凝土经过干燥收缩后尚残留压应力，称为自应力混凝土，否则为补偿收缩混凝土。我国所称的自应力混凝土的自应力值较大，在结构设计时必须考虑自应力的影响，自应力混凝土主要用于制造自应力混凝土压力输水管。

以前是使用膨胀水泥拌制膨胀混凝土，自从膨胀剂问世后，由于其成本低，使用灵活方便，现在基本上都使用膨胀剂拌制膨胀混凝土，鉴于两种工艺拌制的补偿收缩混凝土性质大致相同，因此使用膨胀水泥拌制补偿收缩混凝土时，本规程也具有一定参考性。

2.0.5 单位胶凝材料用量 binding material content

每立方米混凝土中使用的水泥、矿物掺合料和膨胀剂的质量之和。

【2.0.5 解析】因为膨胀剂与水泥一样，参与水化作用，属于胶凝材料，所以单位胶凝材料用量应该为 $(C + E + F)$ 。此处 C 表示单位水泥用量， E 表示单位膨胀剂用量， F 表示除膨胀剂以外的掺合料（如粉煤灰、磨细矿渣粉等）的单位用量。

2.0.6 膨胀剂掺量 addition percentage of expansive agent in binding material

混凝土中膨胀剂占胶凝材料总量的百分含量。

【2.0.6 解析】膨胀剂掺量是指膨胀剂用量与水泥、膨胀剂和矿物掺合料等胶凝材料总量的百分比，即 $E / (C + E + F)$ 。

2.0.7 膨胀加强带 expansive strengthening band

通过在结构预设的后浇带部位浇筑补偿收缩混凝土，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。

连续式膨胀加强带是指膨胀加强带部位的混凝土与两侧相邻混凝土同时浇筑；间歇式膨胀加强带是指膨胀加强带部位的混凝土与一侧相邻的混凝土同时浇筑，而另一侧是施工缝；后浇式膨胀加强带与常规后浇带的浇筑方式相同。

【2.0.7 解析】膨胀加强带一般设在原设计留有后浇带的部位，收缩应力比较集中，需要采用自应力大的补偿收缩混凝土对两侧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 补偿收缩混凝土宜用于混凝土结构自防水、工程接缝填充、采取连续施工的超长混凝土结构、大体积混凝土等工程。以钙矾石作为膨胀源的补偿收缩混凝土，不得用于长期处于环境温度高于80℃的钢筋混凝土工程。

【3.0.1 解析】本条明确了补偿收缩混凝土的主要使用场合。对膨胀源是钙矾石的补偿收缩混凝土使用条件进行了规定。因为钙矾石在80℃以上可能分解，所以从安全性考虑，规定膨胀源是钙矾石的补偿收缩混凝土使用环境温度不高于80℃，膨胀源是氢氧化钙的补偿收缩混凝土不受此规定的限制。

3.0.2 补偿收缩混凝土的质量除应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定外，还应符合设计所要求的强度等级、限制膨胀率、抗渗等级和耐久性技术指标。

【3.0.2 解析】掺入膨胀剂的补偿收缩混凝土仍属普通硅酸盐体系的混凝土，其使用也在普通混凝土的范围之内，故需满足普通混凝土的质量控制标准，但是掺入膨胀剂后，与普通混凝土相比，在多数情况下新拌补偿收缩混凝土的凝结时间略快、坍落度偏低、坍落度损失略大，在确定其工作性指标时，应予以注意。

3.0.3 补偿收缩混凝土的限制膨胀率应符合表3-1的规定。

补偿收缩混凝土的限制膨胀率

表 3-1

用 途	限制膨胀率 (%)	
	水中 14d	水中 14d 转空气中 28d
用于补偿混凝土收缩	≥0.015	≥ -0.030
用于后浇带、膨胀加强带和工程接缝填充	≥0.025	≥ -0.020

【3.0.3 解析】限制膨胀率指标是依据现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规程》GB 50119 的规定确定的。其中用于后浇带、膨胀加强带和工程接缝填充的混凝土限制膨胀率，根据最新的研究结果调整至 -0.020% ，根据补偿收缩混凝土的定义，自应力为 $0.2 \sim 1.0\text{MPa}$ 时，相应的限制膨胀率约为 $0.015\% \sim 0.060\%$ ，故最小限制膨胀率取 0.015% 。

3.0.4 补偿收缩混凝土限制膨胀率的试验和检验应按照现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的有关规定进行。

【3.0.4 解析】本条规定了补偿收缩混凝土限制膨胀率的试验和检验方法。

由于本规程制订时，新的《混凝土膨胀剂》GB 23439—2009 也在制订过程中，但未颁布实施，故本规程还引用原行业标准《混凝土膨胀剂》JC 476 的规定。新国家标准《混凝土膨胀剂》GB 23439—2009 将于 2010 年 3 月 1 日实施，届时现行行业标准《混凝土膨胀剂》JC 476 将废止，在新国家标准附录中规定了膨胀剂的限制膨胀率和补偿收缩混凝土的限制膨胀率的测量方法，与现行行业标准《混凝土膨胀剂》JC 476 和现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 规定的方法完全相同。另外，本规程颁布实施之后，彻底规范了补偿收缩混凝土应用技术体系，为避免在不同修订期内，不同技术标准对同一内容规定和解释之间相互矛盾，未来修订国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 时，宜删除有关膨胀剂应用技术的章节。

3.0.5 补偿收缩混凝土的抗压强度应满足下列要求：

- 1 对大体积混凝土工程或地下工程，补偿收缩混凝土的抗压强度可以标准养护 60d 或 90d 的强度为准；
- 2 除对大体积混凝土工程或地下工程外，补偿收缩混凝土

的抗压强度应以标准养护 28d 的强度为准。

【3.0.5 解析】本条规定了补偿收缩混凝土抗压强度的检验龄期。

对于大体积混凝土工程或地下工程，出于降低水化热、节约胶凝材料资源和提高混凝土的耐腐蚀性考虑，鼓励掺用粉煤灰和磨细矿渣粉等活性矿物掺合料，充分利用这种混凝土后期强度高的特性，故规定可以采用标准养护 60d 或 90d 的强度设计。其他混凝土仍然按照标准养护 28d 的强度设计。

3.0.6 补偿收缩混凝土设计强度不宜低于 C25；用于填充的补偿收缩混凝土设计强度不宜低于 C30。

【3.0.6 解析】本条规定了补偿收缩混凝土的最低抗压强度设计等级。

补偿收缩混凝土的有效膨胀必须建立在一定的强度基础之上，强度太低，不可能获得性能优良的补偿收缩混凝土。

3.0.7 补偿收缩混凝土的抗压强度检验应按照现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 进行。用于填充的补偿收缩混凝土的抗压强度检测，可按照本规程附录 A 进行。

【3.0.7 解析】本条规定了补偿收缩混凝土的抗压强度试验方法。对膨胀较小的补偿收缩混凝土，按照现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 检测。对用于填充的补偿收缩混凝土，有时因膨胀过大会出现无约束试件强度明显降低的情况，按照本规程附录 A 进行，使试件在试模中处于限制的状态，比较符合实际使用情况。

4 设计原则

4.0.1 设计使用补偿收缩混凝土时，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。

【4.0.1 解析】随着国内建设的高速发展，现浇大体积、大面积和超长混凝土得到大量应用，同时其开裂情况显著增多，补偿收缩混凝土是一种较好的解决手段。本条是对补偿收缩混凝土设计的一般规定。不同的结构部位受约束的程度不同，因此补偿收缩时需要的膨胀能也不一样，需要明示限制膨胀率取值范围。膨胀剂掺量不能准确反映混凝土的膨胀能，规定了限制膨胀率后，可以根据限制膨胀率经过配合比试验确定膨胀剂的准确掺量。由于导入混凝土的自应力值很小，在计算补偿收缩混凝土的设计轴向压缩极限应力和设计弯曲拉伸极限应力时，可不考虑膨胀的影响。

4.0.2 补偿收缩混凝土的设计取值应符合下列规定：

1 补偿收缩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 的规定。用于后浇带和膨胀加强带的补偿收缩混凝土的设计强度等级应比两侧混凝土提高一个等级。

【4.0.2-1 解析】在胶凝材料用量和水胶比相同的条件下，补偿收缩混凝土的 28d 强度与普通混凝土相当；在限制充分的状态下，强度高于普通混凝土；无约束试件 60d 龄期强度一般比 28d 增长 15% 以上。从过去的研究结果和工程实践来看，我国的膨胀剂配制的补偿收缩混凝土，在中等强度等级（C25 ~ C40）的水平上较适于体现膨胀的有益作用，因此需要注重膨胀与强度的

协调问题,不宜过大追求混凝土的富余强度。但是高强度混凝土是混凝土的发展方向,应该努力探究提高混凝土的补偿收缩能力的新措施。后浇带和膨胀加强带的部位收缩应力一般比较大,故在强度设计时作适当提高。

2 限制膨胀率的设计取值应符合表 4-1 的规定。使用限制膨胀率大于 0.060% 的混凝土时,应预先进行试验研究。

限制膨胀率的设计取值

表 4-1

结 构 部 位	限制膨胀率 (%)
板梁结构	≥ 0.015
墙体结构	≥ 0.020
后浇带、膨胀加强带等部位	≥ 0.025

【4.0.2-2 解析】本条所述限制膨胀率设计取值,是指 3 章规定的水中 14d 龄期限制膨胀率。

根据补偿收缩混凝土的定义,自应力为 0.2 ~ 1.0MPa 时,相应的限制膨胀率约为 0.015% ~ 0.060%,故补偿收缩混凝土的最小限制膨胀率为 0.015%,最大限制膨胀率为 0.060%,限制膨胀率大于 0.060% 的混凝土可归为自应力混凝土,所以如果在特殊条件下需要使用自应力混凝土时,事前应进行必要的试验研究,重点研究膨胀稳定期、强度变化规律等。

同一结构的不同部位的约束程度和收缩应力不同,其限制膨胀率的设计取值也不相同,养护条件的差别会影响混凝土限制膨胀率的发挥,也是设计取值的考虑因素,因此,墙体结构的限制膨胀率取值高于水平梁板结构。大的限制应该用大的膨胀进行补偿,故后浇带、膨胀加强带的取值要高一些。

板梁和墙体结构部位,限制膨胀率的取值主要考虑结构长度、约束程度和混凝土强度,结构长度小、约束较弱、混凝土强度较低的情况下,可取低些,反之则取高些。

后浇带、膨胀加强带等填充部位,限制膨胀率的取值主要考