

66116 4 824939

210

微膨胀混凝土刚性防水屋面

卫 亮 著



116

10

江苏科学技术出版社

微膨胀混凝土刚性防水屋面

卫 亮 著

江苏科学技术出版社

内 容 提 要

本书系统地阐述微膨胀混凝土刚性防水屋面的材料性能、防水原理、防水层的设计和施工。并对这种防水屋面的检验与维护、保温隔热、使用效果、经济效益以及国内外平屋面防水情况作了介绍。

本书可供从事建筑设计、施工和基建单位人员参考。

微膨胀混凝土刚性防水屋面

卫 亮 著

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：高淳印刷厂

开本787×1092毫米 1/32 印张4.5 字数95,000

1987年5月第1版 1987年5月第1次印刷

印数1—5,000册

书号：15196·219 定价：0.90元

责任编辑 孙广能

前 言

平屋面防水有刚性和柔性两种。传统使用的沥青、油毡柔性屋面，短期内虽可防水，但易老化，使用期短，且沥青供应也很紧张。用高档的合成橡胶防水卷材施工的柔性屋面，虽然使用期比传统柔性屋面长，但造价较高，不能大量采用。用普通混凝土做的刚性屋面，由于混凝土固有的收缩缺陷，易裂、易漏，防水性能差。因此，这两种平屋面漏水的比例很大。据调查，当前建筑工程的质量问题中，屋面漏水约占60%，直接影响着人民生活 and 生产的正常进行。

微膨胀混凝土刚性防水屋面解决了平屋面的漏水问题。它具有防水效果好、造价低、使用期长等优点，是国内首创的科学成果。在有配筋等条件限制下的微膨胀混凝土，有以下特点：抗裂性好；抗渗性好；自密性强；能弥补施工缺陷；在干燥与遇水的条件下，有胀缩可逆性，起到了“以水治水”的独特作用。该科研成果，1979年1月通过部级技术鉴定，曾先后荣获全国科学大会奖、江苏省重大科技成果奖，并列为城乡建设环境保护部和江苏省科技推广项目。微膨胀混凝土刚性防水屋面的文章，曾在1982年联合国亚太地区低造价住宅国际协调会和1984年英国召开的国际平屋面学术会议上交流。该项技术已在100万平方米屋面上得到应用，深受建筑业的欢迎。为了满足生产建设需要，使科研成果更好地变为生产力，本人根据十多年来从事研究和推广微膨胀混凝土刚性防水屋面所累积的一些经验，撰写了

本书，以供从事土建设计、施工和基建单位人员参考。

本书承南京工学院李荫余教授审阅，在此表示衷心感谢。每个科研项目的成功都是集体劳动的结晶，为此趁本书出版的机会，特向支持这一科研成果的江苏省建筑科学研究所领导和上级部门表示由衷的感谢；同时对参加这一科研试验并付出了一定心血的同志致以热诚的谢意。限于作者水平，如有不当之处，希读者指正。

卫 亮 1985.1.

目 录

一、国内外概况	1
1. 微膨胀水泥及其混凝土	1
2. 平屋面防水	4
二、微膨胀混凝土刚性防水屋面使用的材料和材料试验方法	7
1. 原材料	7
2. 试验方法	8
三、微膨胀水泥的配制及其性能	8
1. 微膨胀水泥的配制	8
2. 微膨胀水泥的性能	12
3. 微膨胀水泥的膨胀机理	16
四、微膨胀混凝土的配制和膨胀率的控制	20
1. 微膨胀混凝土的配制	20
2. 微膨胀混凝土的膨胀率	20
3. 影响微膨胀混凝土膨胀率的因素	23
五、微膨胀混凝土的性能	41
1. 微膨胀混凝土的抗裂性	41
2. 微膨胀混凝土的抗渗性	46
3. 微膨胀混凝土能补偿收缩	51
4. 微膨胀混凝土的限制膨胀	51
5. 微膨胀混凝土的抗冻性	61
6. 微膨胀混凝土的弹性模量与泊桑比	61

7.微膨胀混凝土的钢筋防锈问题	62
8.微膨胀混凝土和易性	62
六、微膨胀混凝土屋面防水层的设计	63
1.防水层配筋	64
2.分仓缝	64
3.非承重墙、连系梁的处理	67
4.花篮梁	68
5.檐口节点	70
6.女儿墙节点	85
7.其他	91
七、微膨胀混凝土屋面防水层的施工	95
1.施工前的准备	96
2.微膨胀混凝土防水层的施工	97
3.保证混凝土需要的膨胀率	100
4.微膨胀混凝土防水层的夏季施工	101
5.微膨胀混凝土防水层的冬季施工	102
6.认真细致地填嵌接缝材料	102
7.施工中容易发生的问题	105
八、微膨胀混凝土刚性防水屋面的防水效果	110
九、微膨胀混凝土刚性防水屋面的经济效益	111
十、微膨胀混凝土刚性防水屋面的检验与维护	115
十一、微膨胀混凝土刚性防水屋面的保温隔热	116
1.架空隔热板	116
2.加气混凝土保温隔热层	118
十二、推广好微膨胀混凝土刚性防水屋面的体验	122
十三、其 他	123

1.微膨胀水泥空气搅拌工艺和设备·····	123
2.微膨胀混凝土配比试验·····	126
3.施工机具与工具·····	129
4.微膨胀混凝土刚性防水屋面使用情况报告·····	130
5.微膨胀屋面施工流程·····	133

一、国内外概况

1. 微膨胀水泥及其混凝土

自1824年发明硅酸盐水泥以来，已经有一百多年的历史了。水泥混凝土一直是重要的建筑材料之一。回顾水泥混凝土的发展，它经历了两次重大的技术突破：第一次是十九世纪中叶，法国花匠莫尼埃观察棕榈树的根部时发现，发达的根系能和土壤牢牢地结合在一起，他用铁丝模仿棕榈的根，以水泥模仿土壤，将扎成花坛骨架的铁丝包裹起来，便发明了钢筋混凝土。这个发明被当时的法国工程师兰勃特发现，就成功地应用到建筑工程中去。钢筋混凝土解决了素混凝土抗拉很差的问题，在工程中得到广泛的应用。第二次是二十世纪初发明了膨胀水泥，可以配成膨胀水泥混凝土。膨胀水泥混凝土不但解决了普通混凝土固有的收缩问题，而且是一种理想的结构防水材料。

膨胀水泥按膨胀大小或自应力值多少，分为大膨胀率的自应力水泥和小膨胀率的微膨胀水泥。配成混凝土的技术指标如下：

自应力混凝土：自应力值为 $30\sim 50\text{kg/cm}^2$

微膨胀混凝土：自应力值为 $2\sim 7\text{kg/cm}^2$

目前世界上共有五类膨胀水泥（或膨胀剂），即硫铝酸钙类；氧化钙类；氧化铁类；氧化镁类和铝粉膨胀剂。其中用得最多的是硫铝酸钙类。

微膨胀水泥在国外称为收缩补偿水泥，也有称为不收缩水泥。膨胀水泥国外研究得较早，但应用发展缓慢，至本世

纪六十年代后半期，才达到实用阶段。硫铝酸钙类膨胀水泥产生膨胀的主要成分为钙矾石，它是由氧化钙、氧化铝、二氧化硫及水四种成分化合而成；除水以外，其他是可溶性的或至少是微溶性的，全可用于配制膨胀水泥。因此，钙矾石可以来自多种反应物，便有不同类型的膨胀水泥。目前美国主要生产三种微膨胀水泥：

(1) K型 是由硅酸盐水泥、无水硫铝酸钙($4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3$)、硫酸钙(CaSO_4)和石灰组成的一种混合物。

(2) M型 是由普通水泥、矾土水泥和硫酸盐混合磨制而成。

(3) S型 是在一种含铝酸钙(C_3A)较高的普通水泥中，掺入超过普通水泥常用量的大量石膏而制成。

三种水泥以含氧化铝不同而区别(K型含4.8%，S型含8.8%，M-X型含7.7%)。

1965年日本开始使用微膨胀混凝土，他们以生产膨胀剂为主，其产品主要有电气化学工业公司生产的“电化CSA”，小野田水泥公司生产的石灰系膨胀剂，日本水泥公司生产的“阿萨诺吉普卡”和佳友水泥公司生产的“萨克斯”。其中CSA系以铝土矿、石灰和石膏经配料煅烧粉磨而成，是一种无水硫铝酸钙膨胀剂；石灰系膨胀剂系以石灰石、粘土和石膏经配料、混合磨细后用迴转窑烧成的；后两种也都是经过煅烧后制成的。苏联有两种膨胀水泥，一种作抢修和防水用，另一种是自应力水泥。米哈伊洛夫式的水泥用于抢修工程，它将高铝水泥、石膏和铝酸四钙的水化物混合粉磨制成。自应力水泥是用硅酸盐水泥、高铝水泥和石膏按一定配比混合磨制而

成。苏联在七十年代前，以自应力水泥为主，七十年代后，以应用微膨胀水泥为主。

国外膨胀水泥研究的重点是微膨胀水泥。微膨胀水泥混凝土能避免或减少混凝土的开裂，故多用于屋面、路面、大坝、水池、制品及各种构件。美国、日本近10年来，已将微膨胀水泥推广使用到各种工程中。1971年美国建成110层的世界贸易中心摩天楼，其中13万多立方米混凝土是用微膨胀水泥配制的。

我国自1956年开始研究膨胀水泥，主要是大膨胀率的自应力水泥，用于自应力水泥管。小膨胀率的微膨胀水泥的研究工作是由我负责，于1973年首先在江苏试验成功。1974年开始应用于防水屋面。在国内，微膨胀水泥除用于屋面外，还用于地下工程、地脚螺丝嵌缝、梁柱接头和预制钢筋混凝土储水池后浇缝等，效果良好。1975年，建材研究院用明矾石膨胀水泥配制混凝土建了一座长52.3米、宽12米、净高2.6米的钢筋混凝土地下人防建筑，现浇钢筋混凝土底板、墙、柱与无梁顶板。水泥用量380公斤/米³，28天混凝土强度300公斤/厘米²，抗渗达B₂₀号，至今效果良好。江苏省南通市用微膨胀水泥混凝土修补漏水的普通钢筋混凝土地下室，也取得很好效果。安徽省建筑科学研究所用庐江县天然明矾石和无水石膏或二水石膏，按比例共同磨细成明矾石混凝土膨胀剂，已于1980年12月通过了技术鉴定。并用这种膨胀剂配制成微膨胀混凝土，用于刚性屋面防水、自防水和蓄水池等。1976年浙江省肖山县建成容量为1000立方米的砖砌轻油罐，用明矾石水泥1:2砂浆制作厚2~2.5厘米的内壁防渗层，抗油渗压力12公斤/厘米²。微膨胀水泥混凝土，从七十年代后期，逐

步地应用到水利工程中。如福建省南峡阳拱坝工程, 1980年试用明矾石微膨胀水泥混凝土砌毛石防渗层, 代替原来设计的钢筋混凝土刚性防渗墙。长江流域办公室长江水利科学研究院首先对低热微膨胀水泥进行了研究。浙江大学、建筑材料科学研究院、华新水泥厂和富春江水泥厂共同协作, 用大坝熟料、矿渣和石膏混磨, 藉减少必要的熟料来获低热; 提高必要的粉磨料比表面积来保证强度; 控制适量的三氧化硫含量使它产生适当的微膨胀, 生产出了低热微膨胀水泥, 并用于水利工程的大坝建筑中。上述国内三种(硅酸盐、明矾石和低热)微膨胀水泥和一种明矾石膨胀剂, 皆属硫铝钙类膨胀水泥(膨胀剂)。

2. 平屋面防水

屋面通常分为坡屋面和平屋面。坡度小于5% (即小于 $2^{\circ}51.67'$)的屋面, 称为平屋面; 坡度大于5%的屋面, 称为坡屋面。随着钢筋混凝土结构的发展, 可以用钢筋混凝土做成现浇或预制的屋面板; 自二十世纪初期开始蒸馏原油以来, 将沥青及其油毡用在钢筋混凝土屋面板上, 作防水材料, 平屋面就日益广泛地在建筑中得到应用。从第一、第二届国际屋顶和屋面会议和国际平屋面会议来看, 国外平屋面建筑已经普及。

平屋面防水, 分为柔性和刚性两种。柔性防水较多, 刚性防水一般用防水混凝土和防水砂浆, 如日本、美国用硫铝酸钙掺合料作构件自防水。柔性防水屋面采用有机材料。近年来, 在沥青中加上聚酯、合成橡胶等改善沥青性能, 发展改性沥青; 用石棉纤维、玻璃纤维或合成纤维做胎基, 改进油毡的弯曲特性; 并发展弹性体材料, 如各种橡胶

片材和橡胶塑料片材等。弹性体材料的最大延伸率，可以从100%到800%。片材的质量还以耐磨性、抗破裂性和铺设时不易损坏的要求来决定。但是，有机材料存在着一个老化问题，老化后就要翻修。

国外对屋面方面的科研工作很重视，发达国家除研究单位研究屋面外，还有屋面和屋面材料方面的一些委员会或协会，里边还设立技术委员会，研究和处理屋面方面的问题。他们除研究防水材料外，还研究防水层的性能规律，如温度、湿度对防水层的影响，更多的注意到温度的影响。研究屋面板、隔热层和防水层三层的三种位置：①隔热层放在屋面板下面。②隔热层紧贴在屋面板之上和防水层之下。③隔热层在屋面板和防水层上面。在屋面节点设计上，国外还采取预制装配法。如联邦德国在平屋面节点构造方面用金属铝、塑料材料，生产预制女儿墙、檐沟和天窗，作为商品出售，安装在平屋面预埋好的螺栓上。

在屋面防水工程方面，国外也非常重视，他们认为从使用功能观点看，屋面是建筑设计中一个困难部位，尤其是平屋面处理更为困难。所以，设计、施工、生产各方面都必需确保防水工程质量的绝对可靠性。

我国解放初期，多采用坡屋面，随着钢筋混凝土预制构件和现代化城市建设的发展，平屋面的比例逐步增加，今后的比例将更大。目前，无论大、中城市还是小城镇，皆较普遍地使用平屋面。所以平屋面防水是普遍引起重视和需要妥善解决的问题。五十年代初期，平屋面防水皆是传统的两毡三油做法。以后学习罗马尼亚经验，部分地区平屋面一度采用了“捷罗克”防水层，但平屋面防水基本上仍是卷材做法。

六十年代初,在华东,如江苏常州等地,开始试用刚性的普通钢筋混凝土做平屋面防水层,在刚性防水层上留伸缩缝,伸缩缝上盖脊瓦。由于盖脊瓦防水性能差,以后用油膏或石棉漆嵌伸缩缝,代替盖脊瓦,就形成了普通钢筋混凝土刚性防水屋面的做法。对于普通混凝土防水屋面,由于混凝土的固有收缩性能和没有摸清设计好防水层节点的规律,因而易裂易漏,成为防水技术上的一个“老大难”问题。在此基础上,我们以微膨胀混凝土代替普通混凝土;用性能好的聚氯乙烯胶泥代替油膏;经过广泛调查和反复的工程实践,总结出一套符合防水规律的防水层节点设计,解决了“老大难”,发展成今天的微膨胀混凝土刚性防水屋面成套技术。为了提高屋面防水能力,国内少数地方的平屋面采用双防水,即柔性防水层上加刚性防水层。如湖南省长沙地区用卷材防水和刚性防水相结合,实现了双防水。但是,双防水也必须保证每一道防水层的质量,否则效果不大。双防水的造价比单一防水层约增加一倍。

目前,国内外正在研究和采用橡胶、塑料类弹性和抗老化性好的材料用于屋面防水,它可提高使用期,但是价格昂贵,不符合我国绝大多数建筑工程的要求。微膨胀屋面防水效果好,使用期不低于橡胶、塑料类材料所做的防水屋面,而它的造价约相当橡胶、塑料类材料所做防水屋面的五分之一。因此,微膨胀屋面是具有我国特点的一种价廉物美的防水屋面,深受大家欢迎。

二、微膨胀混凝土刚性防水屋面使用的材料和材料试验方法

1. 原材料

水泥：325[#]、425[#] 普通水泥和矿渣水泥。郑州 50[#] 厂的325[#] 矾土水泥。

石膏：二水石膏。

砂：中砂和中细砂。

石子：最大粒径①1.2cm；②1.5cm的碎石。

表1 水泥和石膏化学成分表

材料名称		SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	烧失量	备注
425 [#] 硅酸盐水泥	1	31.05	4.61	1.01	5.14	52.5	1.85	1.95	第一批
	2	20.38	7.01	1.86	4.53	59.94	1.65		第二批
	3	26.72	6.67	1.8	3.15	57.29	1.98		第三批
325 [#] 硅酸盐水泥		26.72	6.67	1.8	3.15	57.29	1.98		
矾土水泥	1	9.49	53.84	0.21	3.98	32.1		0.35	第一批
	2	3.81	57.72	0.58	1.86	33.73		0.44	第二批
	3	6.23	54.39	1.82	1.59	30.89			第三批
石膏粉	1		0.59		0.14	30.58	46.51		第一批
	2		0.78	0.21	0.12	32.41	43.8		第二批
	3	3.49	0.49	0.91	0.45	36.69	52.59		第三批

2. 试验方法

(1) 试验用微膨胀水泥的配制，有球磨机和人工两种拌和方法(凡书中未注明球磨机拌和的皆为人工拌和)。

(2) 制作微膨胀混凝土试件采用震动成型；成型后，静置一昼夜拆模；试件放20℃水中养护。以一天龄期试件的长度为基数，每天测膨胀值，量至最大值。

$$\text{膨胀率} = \frac{\text{最大膨胀值}}{\text{一天龄期试件长度}} \times 100\%$$

(3) 膨胀试件尺寸：30×30×270mm

强度试件尺寸：100×100×100mm

三、微膨胀水泥的配制及其性能

1. 微膨胀水泥的配制

微膨胀水泥由普通水泥或矿渣水泥、矾土水泥和石膏粉按一定比例充分拌和而成。普通水泥或矿渣水泥主要产生强度，称为“强度组分”；矾土水泥和石膏粉主要产生膨胀，称为“膨胀组分”。矾土水泥：石膏粉=1：1(重量比。如膨胀组分14%时，矾土水泥、石膏粉各占7%)。几种材料相混合，计算配比的方法有内掺法和外掺法。试验时，用内掺法计算微膨水泥配比。因此，推广应用中也应用内掺法(即三种材料之和为100%)。设若将按内掺法计算并通过试验而获得的配比，误当外掺法(即强度组分为100，另加膨胀组分，则三种材料之和大于100%)使用，则膨胀组分的绝对值就降低

注：书中未注明限制膨胀率的，为自由膨胀率。

了。例如膨胀组分同为14%的配比，按内掺法计算，每100公斤微膨水泥中含膨胀组分为14公斤；按外掺法计算，100

公斤微膨水泥中，含膨胀组分 $\frac{14}{100+14}=12.28$ 公斤，就减

少了1.72公斤。必需注意这两种计算方法容易混淆。为了便于区别，强度组分用普通水泥的称为普通微膨胀水泥，其浇筑的混凝土称为普通微膨胀混凝土；同理，强度组分用矿渣水泥的称为矿渣微膨胀水泥，其浇筑的混凝土称为矿渣微膨胀混凝土。

配制微膨胀水泥的材料皆为细粉，膨胀组分含量又小，拌和必须均匀，否则混凝土的膨胀就大小不一。在某些部位，如果膨胀组分过分集中，就会造成屋面防水层的局部起壳、起拱等质量问题。因此，必须严格控制拌和工艺。

拌和微膨胀水泥有两种设备：

(1) 球磨机拌和 按配比称量三种物料，并投入砂浆拌和机中拌和，然后再放入球磨机拌和；或者先在地上摊开普通水泥，再在普通水泥上摊一层矾土水泥和一层石膏粉，然后用人工将摊好的料翻拌一次，再加入球磨机中拌和。球磨是连续作业，边进混合料，边出微膨胀水泥。若用1.2米直径球磨机，并配以相应的砂浆搅拌机和输送设备，每班可加工微膨胀水泥约18吨。

(2) 空气搅拌库均化 空气搅拌是粉状物料均化的新技术，它的工作原理是：粉状物料经充气后，变成流态化（具有象水一样的流动性），在压力差的作用下，使流态化的粉状物料对流搅拌，以达到均化目的。主要设备有空气搅拌库、空压机、仓式泵、膨胀仓、袋式收尘器和油水分离器。