文章编号:1006-544X(2002)04-0493-06

刚性防水材料分类及作用机理

周双喜，杨荣兴，何顺爱

（桂林工学院 材料与化学工程系，广西 桂林 541004）

摘 要：介绍了刚性防水材料的分类及特点，并对普通防水混凝土、外加剂防水混凝土、膨胀水泥防水混凝土、复合型防水混凝土的特征、技术指标、性能及作用机理进行了评述. 刚性防水材料具有较好的粘结性能、拉伸强度、低吸水率和阻燃、抗老化、无毒、无异味等特点，是一种理想的防水堵漏材料. 刚性防水混凝土既有承重、围护和抗渗的功能，又可满足一定的耐冻融及耐侵蚀要求，还可有效地防止墙体因应力作用所产生的裂缝而导致内外墙渗漏，具有较好的使用价值和应用前景.

关键词：刚性；防水混凝土；抗渗性；分类；作用机理

中图分类号：TQ172.79 **文献标识码**：B①

1 刚性防水材料分类及特点

刚性防水材料是指以水泥、砂石为原料，或其内掺入少量外加剂、高分子聚合物等材料，通过调整配合比、抑制或减少孔隙率、改变孔隙特征，增加各原材料接口间的密实性等方法，配制成具有一定抗渗透能力的水泥砂浆混凝土类防水材料[1].

刚性防水材料按其胶凝材料的不同可分为两大类，一类是以硅酸盐水泥为基料，加入无机或有机外加剂配制而成的防水砂浆、防水混凝土，如外加剂防水混凝土，聚合物砂浆等；另一类是以膨胀水泥为主的特种水泥为基料配制的防水砂浆、防水混凝土，如膨胀水泥防水混凝土[1].

刚性防水材料按其作用又可分为有承重作用的防水材料和仅有防水作用的防水材料. 前者指各种类型的防水混凝土，后者指各种类型的防水砂浆[1].

刚性防水材料具有以下特点[2~6]：

（1）有较高的压缩强度、拉伸强度及一定的抗渗能力，是一种既可防水又可兼作承重、围护结构的多功能材料.

（2）抗冻、抗老化性能，能满足耐久性要求，其耐久年限最少20年.

（3）材料易得、造价低廉、施工简便，且易于查找渗漏水源，便于进行修补，综合经济效果较好.

（4）一般为无机材料，不燃烧、无毒、无异味，有透气性.

防水混凝土是以调整混凝土的配合比、掺外加剂或使用新品种水泥等方法提高自身的密实性、憎水性和抗渗性的不透水性混凝土. 防水混凝土一般可分为普通防水混凝土、外加剂防水混凝土和膨胀水泥防水混凝土三大类.

用防水混凝土与采用卷材防水相比较，防水混凝土具有以下特点：

（1）兼有防水和承重两种功能，能节约材料，加快施工速度.

（2）材料来源广泛，成本低廉.

（3）在结构构造复杂的情况下，施工简便、

① **收稿日期**：2001-09-13；**修订日期**：2002-08-05

基金项目：广西区教育厅资助项目（桂教科研［1999］516-14，［2000］392号）

作者简介：周双喜（1973-），男，安徽安庆人，硕士研究生，新型材料专业.

防水性能可靠.

（4）渗漏水时易于检查，便于修补.

（5）耐久性好.

（6）可改善劳动条件.

2 普通防水混凝土

普通防水混凝土是以调整配合比的方法，来达到提高自身密实度和抗渗性要求的一种防水混凝土. 普通防水混凝土的技术原理是通过材料和施工两个方面来抑制和减少混凝土内部孔隙的生成，改变孔隙的特征，堵塞漏水通路，从而使之不依赖其他附加防水措施，仅靠提高混凝土自身密实性达到防水的目的[7~9].

普通防水混凝土在反复经受水压力作用下仍能保持良好的抗渗性能（表1).

从表1可以看出，普通防水混凝土的第二次抗渗性并不比第一次抗渗性低，且随两次试验时间间隔的延长，抗渗性有随之提高的趋向. 普通防水混凝土中的细小裂缝的自愈、潮点及轻微渗漏现象的消失，均说明普通防水混凝土具有稳定可靠的抗渗性. 此外，在一定压力水作用下，当外部压力与混凝土内部阻力平衡或渗水量等于蒸发量时，透水高度并不随时间延长而增加.

3 外加剂防水混凝土

外加剂防水混凝土是依靠掺入少量的有机或无机物外加剂来改善混凝土的和易性，提高密实性和抗渗性，以适应建筑工程需要的一种防水混凝土.

按所掺入的外加剂种类的不同，外加剂防水混凝土可分为减水剂防水混凝土、引气剂防水混凝土、三乙醇胺防水混凝土、氯化铁防水混凝土等数种[10~18].

3.1 减水剂防水混凝土

在混凝土拌合物中掺入适量的不同类型的减水剂，以提高其抗渗能力为目的的防水混凝土，称为减水剂防水混凝土.

减水剂对水泥具有强烈的分散作用，它借助于极性吸附作用，大大降低了水泥颗粒间的吸引力，有效地阻碍和破坏了颗粒间的凝絮作用，并释放出凝絮体中的水，从而提高了混凝土的和易性，在满足施工和易性的条件下，可大大降低拌合用水量，使硬化后孔结构的分布情况得以改变，孔径及总孔隙率均显著减小，毛细孔更加细小、分散和均匀，从而提高混凝土的密实性和抗渗性.

在大体积防水混凝土中，减水剂可推迟水泥水化热峰值出现，这就减少或避免了在混凝土取得一定强度前因温度应力而开裂，从而提高了混凝土的防水效果.

此外，在混凝土中掺入减水剂后，能降低水灰比，增加混凝土密实性，有利提高抗渗性能. 减水剂防水混凝土的抗渗性见表2.

3.2 引气剂防水混凝土

引气剂防水混凝土是在混凝土拌合物中掺入微量引气剂配制而成的防水混凝土.

引气剂是一种具有憎水作用的表面活性物质，它能显著降低混凝土拌合水的表面张力，经搅拌可在拌合物中产生大量密闭、稳定和均匀的微小气泡，从而使毛细管变得细小、曲折、分散，减少了渗水通道. 引气剂还可增加黏滞性，改善和易性，减少沉降泌水和分层离析，弥补混凝土结构的缺陷，从而提高了混凝土的密实性和抗渗性.

引气剂的防水混凝土的主要特性如下[19~24]：

（1）引气剂防水混凝土中适宜的气泡组织是提高混凝土抗渗性和耐久性的因素. 当水泥用量较低而含气量适宜时，引气剂防水混凝土的抗渗标号可以提高.

（2）由于引气剂防水混凝土抗渗能力较高，

表1 普通防水混凝土在反复经受压力水作用下的抗渗性

Table 1 Water conservancy impermeability of waterproof concrete under the repetitive hydraulic pressure

水灰比	水泥用量/(kg·m^{-3})	砂率/%	透水试件顺序	试件总龄期/d	两次抗渗试验间隔日期/d	同一试件不同部位的抗渗压力/(N·mm^{-2})		
0.6	320	45	第一次	60	–	0.4	0.6	0.4
			第二次	74	14	0.8	1.0	0.6
			第一次	74	–	0.8	0.8	0.6
			第二次	101	27	1.3	2.0	>2.0

水不易渗入，从而减少了混凝土冻胀破坏的可能. 更主要的是混凝土中引入了无数微小的密闭气孔，提高了混凝土的变形能力，吸收和减少了由于干燥、冻融交替作用所产生的体积变化和内应力，提高了混凝土的抗冻胀破坏的性能.

（3）引气剂防水混凝土的早期强度增长较慢，7 d 后强度增长比较正常.

（4）加入引气剂后，混凝土的静弹性模量稍有降低. 含气量每增 1%，弹性模量约降低 3%.

3.3　三乙醇胺防水混凝土

在混凝土拌合物中掺入适量的三乙醇胺，以提高其抗渗性能为目的而配制的混凝土称三乙醇胺防水混凝土.

依靠三乙醇胺的催化作用，在早期生成较多的水化产物，部分游离水结合为结晶水，相应地减少了毛细管通路和孔隙，从而提高了混凝土的抗渗性，且具有早强作用. 当三乙醇胺和氯化钠、亚硝酸钠等无机盐复合时，三乙醇胺不仅能促进水泥本身的水化，还能促进氯化钠、亚硝酸钠等无机盐与水泥的反应，所生成的氯铝酸盐等络合物，体积膨胀，能堵塞混凝土内部的孔隙和切断毛细管通路，增大混凝土的密实性. 在混凝土中掺入单一的三乙醇胺或三乙醇胺与氯化钠复合剂，可显著提高混凝土的抗渗能力，抗渗压力可提高 3 倍以上（表 3）.

3.4　氯化铁防水混凝土

氯化铁防水混凝土是在混凝土拌合物中加入少量氯化铁防水剂拌制而成的具有高抗水性和密实度的混凝土.

氯化铁防水混凝土是依靠化学反应产物氢氧化铁等胶体的密实填充作用，新生的氧化钙对水泥熟料矿物的激化作用，易溶性物质转化难溶性物质以及降低析水性等作用而增强混凝土的密实性，提高其抗渗性的. 主要特性如下：

（1）混凝土中掺入适量的氯化铁防水剂，可以配制出抗渗标号高达 40 防水混凝土、抗渗标号达 30 的抗油混凝土以及抗渗标号大于 24 的防水砂浆. 它是几种常用的外加剂的防水混凝土中抗渗性最好的一种. 氯化铁防水混凝土的抗渗性见表 4[1].

表 2　减水剂防水混凝土的抗渗性[1]

Table 2　Water conservancy impermeability of reduce water agent waterproof concrete

减水剂		水　泥		水灰比	坍落度/mm	抗　渗　性	
品种	掺量/%	品种	用量/(kg·m^{-3})			渗透强度/(N·mm^{-2})	渗透高度/cm
–	0	425 号	380	0.54	52	0.6	
木钙	0.25	矿渣水泥	380	0.48	56	3.0	
–	0		350	0.57	35	0.8	
MF	0.5	425 号	350	0.49	80	1.6	
木钙	0.25	矿渣水泥	350	0.51	35	>2.0	10.5
MF	0.5	425 号	390	0.42	100～120	3.0	4.2
	0.5	普通水泥	410	0.42	100～120	3.0	2.2
JN	0	325 号	300	0.620	10	0.8	
	0.5	矿渣水泥	300	0.55	13	>2.0	3.2

表 3　三乙醇胺防水混凝土的抗渗性

Table 3　Water conservancy impermeability of $(HOCH_2CH_2)_3N$ waterproof concrete

序号	水泥品种	配合比 水泥∶砂∶石	水灰比	水泥用量/(kg·m^{-3})	早强防水剂含量/%		压缩强度/(N·mm^{-2})	渗透压力/(N·mm^{-2})
					三乙醇胺	氯化钠		
1	525 号普通水泥	1∶1.60∶2.93	0.46	400	–	–	35.1	1.2
2	525 号普通水泥	1∶1.60∶2.93	0.46	400	0.05	0.5	46.1	>3.8
3	425 号矿渣水泥	1∶2.19∶3.50	0.60	342	–	–	27.4	0.7
4	425 号矿渣水泥	1∶2.19∶3.50	0.60	334	0.05	–	26.2	>3.5
5	425 号矿渣水泥	1∶2.66∶3.80	0.60	300	0.05	–	28.2	>2.0

表 4 氯化铁防水混凝土的抗渗性

Table 4 Water conservancy impermeability of $FeCl_3$ waterproof concrete

水泥品种	混凝土配合比			水灰比	固体防水剂掺量/%	龄期/d	抗渗性		压缩强度/(N·mm^{-2})
	水泥	砂	碎石				压力/(N·mm^{-2})	渗水高度/cm	
325 号普通水泥	1	2.95	3.5	0.62	0	52	1.5	2~3①	22.5
	1	2.95	3.5	0.62	0.01	52	4.0		33.3
	1	2.95	3.5	0.60	0.02	28	>1.5	6.5~11①	19.9
	1	1.90	2.66	0.46	0.02	28	3.2		50.0
325 号矿渣水泥	1	2.5	4.7	0.6	0	14	0.4		12.8
	1	2.5	4.7	0.45	0.015	14	1.2		
425 号矿渣水泥	1	2	3.5	0.45	0	7	0.6		
	1	2	3.5	0.45	0.03②	7	>3.8		21.6
	1	1.61	2.83	0.45	0.03②	28	>4.0		29.3

①试块用汽油作抗渗试验;②为液体防水剂量.

(2) 氯化铁防水混凝土和防水砂浆早期就有相当高的抗渗能力. 这对于要求施工后很快承受水压的工程及以水泥砂浆作修补层的防水工程,有较大的实用价值.

(3) 氯化铁防水剂有增强及早强作用,氯化铁防水剂与水泥水化时析出的氢氧化钙作用生成氯化钙对混凝土起密实作用.

(4) 在氯化铁防水混凝土中,由于生成大量氢氧化铁胶体,使混凝土密实性提高,水、氧难以进入,同时在钢筋周围生成的氢氧化铁胶膜,也保护了钢筋,这是抑制腐蚀的有利条件.

4 膨胀水泥防水混凝土

以膨胀剂或膨胀水泥为胶结料配制而成的防水混凝土,均称为膨胀水泥防水混凝土. 主要性能如下[25~30].

4.1 抗渗性

膨胀水泥防水混凝土是依靠水泥本身的水化反应和结晶膨胀而提高抗渗能力的. 其抗渗性远比普通混凝土高(表 5). 硫铝酸钙型防水混凝土具有一定的胀缩可逆性,如在雾室中养护 14 d 后放在干空气中养护 90 d,约束膨胀率将从 0.648 mm/m 下降到 0.33 mm/m,此时再放在水中,又会产生膨胀. 这一特性十分有利于膨胀防水混凝土微细裂缝的愈合,非常适用于水中或地下防渗工程.

4.2 抗裂性

膨胀水泥防水混凝土在硬化初期产生体积膨胀,在约束条件下,它通过水泥石与钢筋的黏结,使钢筋张拉,被张拉的钢筋对混凝土本身产生压缩应力,当混凝土中产生 0.2~0.7 N/mm^2 的自应力值时,可大致抵消由于混凝土干缩和徐变时产生的拉应力. 即膨胀水泥防水混凝土的拉应变接近于零,或小于 0.1~0.2 mm/m,从而达到补偿收缩并具有抗裂防渗的效果. 一般混凝土的拉应变值为 0.4~0.6 mm/m,其容许极限拉伸变形值为 0.1~0.2 mm/m. 由于膨胀水泥防水混凝土的拉应变值小于容许极限拉伸变形值,因而不会出现裂缝,保证了混凝土的抗渗性.

表 5 膨胀水泥防水混凝土的抗渗性[1]

Table 5 Water conservancy impermeability of expanding cement waterproof concrete

水泥品种	水泥用量/(kg·m^{-3})	配合比 水泥:砂:石	灰比	养护时间/d	抗渗介质	抗渗压力/MPa	恒压时间/h	渗透高度/cm
明矾石膨胀水泥	360	1:1.61:3.91	0.50	28	水	3.6	8	13
	350	1:2.13:3.20	0.52	28	汽油	1.0	16.8	1~2
	380	1:1.82:2.83	0.52	20	水	2.5	11	13~14
CSA 水泥	400	1:1.73:2.66	0.52	28	水	3.0	11	1.5~2.5
普通水泥	370	1:2.08:3.12	0.47	28	水	1.2	8	12~13

表 6　复合型防水混凝土试验结果

Table 6　Tests of compound waterproof concrete

检　测　项　目		国家标准		检验值
		一等品	合格品	
混凝土渗水高比/%		≤30	≤40	6.0
48 h 吸水量比/%		≤65	≤75	46
混凝土抗压强度比/%	7 d	≥120	≥110	125
	28 d	≥130	≥100	131
	90 d	≥130	≥100	131
混凝土 ±90 d 收缩率比/%		≤110	≤120	62
抗冻性	强度损失率	≤100%		85%
	质量损失率	≤100%		0
混凝土凝结时间差		初凝(min) −90 ~ +120		−11
		终凝(min) −120 ~ +120		−81
安定性		合格		合格
氯离子含量		<5%		0.75%
水泥净浆流动度		>95%		>100%
细度		孔径 <0.32 mm 筛,筛余 <15%		0.08 mm 筛,筛余 <2%

5　复合型防水混凝土

复合型防水混凝土是指混凝土中掺入由有机化合物和无机矿物匹配复合制成的防水材料. 其防水效果显著，而且兼容多种功能，使用简便，可降低成本. 复合型防水混凝土试验结果如表 6[31~36].

复合型防水混凝土是根据混凝土工程防水抗掺、抗裂及耐久要求，将各种防水机理且性能互补的组分组合匹配复合制得的防水混凝土. 其防水机理主要有以下 4 个方面：

（1）具有减水塑化作用. 减水塑化作用可改善和易性，降低水灰比，减小混凝土中的各种孔隙，特别是使孔径大于 200 埃的毛细孔、气孔等渗水通道减少，即混凝土的总孔隙率和孔径分布都得到改善，同时孔径尺寸减小，因此混凝土水密性提高.

（2）具有补偿收缩抗裂作用，可提高混凝土的抗裂性能，而且使材料的密实度增大，不仅提高了防水抗渗性能，而且使强度获得了增长.

（3）改善泌水性. 该防水剂可显著降低混凝土的泌水性，改善粘聚性和保水性，减小了沉降缝隙，提高了水泥石与集料的胶结力，使材料的抗渗性和力学性能均获得改善.

（4）固体粉末填隙效果可提高混凝土密实性，而且当混凝土与水接触时，防水剂能析出胶状物堵塞毛细孔道，阻断渗水通道，使材料的结构自防水能力增强.

6　结 语

随着材料科学的发展，无机材料中出现了减水剂、膨胀剂、膨胀水泥、抗裂防水剂等新型防水材料. 这些材料最大优点是能补偿收缩，较好地解决了混凝土的开裂难题；与此同时，它能使混凝土密实，抗渗性能大大优于普通防水混凝土. 刚性防水混凝土既有承重、围护和抗渗的功能，又可满足一定的耐冻融及耐侵蚀要求，还可有效地防止墙体因应力作用所产生的裂缝而导致内外墙渗漏. 这些抗裂防渗新材料将促进防水建筑设计和施工的技术进步.

参考文献：

[1] 沈春林，苏立荣，岳志俊，等. 建筑防水材料［M］. 北京：化学工业出版社，2000. 100~300.

[2] 于庆展，秦雪晨. PUF 多功能复合防水材料研究［J］. 中国建筑防水，2001，(6)：21~23.

[3] 胡建超. U 型混凝土外加剂的应用［J］. 新型建筑材料，2001，(4)：20~21.

[4] 吕联亚，张　捷. 混凝土渗漏的综合治理［J］. 新型建筑材料，2001，(7)：29~31.

[5] 游宝坤. 刚性防水技术综述［J］. 混凝土，1993，(1)：18~22.

[6] 徐永根. 防水技术的匹配问题［J］. 中国建筑防水材料，

1993，(3)：5～7.
[7] Shan S P，Karagular M F，Sarigaphui M. Effets of shrinkage－reducing admixtures on restrained shrinkage cracking of concrete [J]. ACI Materials Journal，1992，(5)：28～31.
[8] 幸振明，吕子义. 新型高效复合防水剂的性能研究 [J]. 新型建筑材料，2001，(2)：13～16.
[9] 张浩博，李爱国. 混凝土微细裂缝灌浆技术 [J]. 新型建筑材料，2001，(2)：17～18.
[10] 叶 明. 膨胀剂在医疗楼地下室的应用 [J]. 混凝土，1993，(1)：31～33.
[11] Anne Balogh. New admixture combats shrinkage [J]. Concrete international，1996，(7)：41～45.
[12] Ohama，Yoshihiko. Polymer－based Admixtures [J]. Cement and Concrete，1998，(6)：73～78.
[13] 杨 永. 平屋面渗漏水的原因与防治措施 [J]. 建材产品与应用，2001，(2)：25～27.
[14] 项桦太，张文华. 建筑防水材料分类 [J]. 中国建筑防水，2001，(4)：4～6.
[15] 薛绍祖. 国外水泥基渗透结晶型防水材料的研究与发展 [J]. 中国建筑防水，2001，(6)：9～12.
[16] 龙志谋. 膨胀剂与无缝施工技术 [J]. 新型建筑材料，2001，(6)：48～49.
[17] 吕联亚，张 捷. 混凝土渗漏综合治理环境技术 [J]. 中国建筑防水，2001，(3)：7～10.
[18] 金晓西. 分散性防水材料的原理及应用 [J]. 中国建筑防水材料，1993，(1)：12～14.
[19] 游宝坤. 略谈刚性防水 [J]. 中国建筑防水材料，1993，(1)：33～37.
[20] 杨 松. 高弹性复合防水材料在外墙修补中的应用 [J]. 新型建筑材料，2001，(5)：35～36.
[21] 马际斌. 两种复合防水工法简介 [J]. 中国建筑防水材料，1993，(3)：31～33.
[22] 李景民. 高膨胀混凝土防水剂的性能及应用 [J]. 新型建筑材料，2001，(1)：23～25.
[23] 郑国钧，申彦奎，车玉竹，等. 新型防水剂 BBI 的生产与应用 [J]. 中国建筑防水材料，1993，(4)：24～27.
[24] Lawrence C D. Sulphat attack arising from dlelayed effringite formation [J]. BCA，Interin Technical Notel，1990，(2)：173～175.
[25] 谢 先. 防水材料与防水 [J]. 中国建筑防水，2000，(1)：41～43.
[26] 游宝坤，韩立林，李光明，等. 我国刚性防水技术发展 [J]. 中国建筑防水，2000，(1)：23～25.
[27] 姜 哲，李 荣，朗惠君，等. 砂浆防水剂在地下水池刚性防水中的应用 [J]. 中国建筑防水，2000，(3)：35～37.
[28] 张文渊. 地下工程渗漏水综合防漏技术 [J]. 新型建筑材料，2001，(2)：18～20.
[29] Khayat，Kamal H. Viscosity－enchancing admixtures for cement－based materials－an overview [J]. Cement and Concrete，1998，(6)：48～53.
[30] 陈恩义. HPC 一种全新的高效能混凝土 [J]. 混凝土，1993，(2)：14～17.
[31] 张 雄. 陈国忠. 复合型混凝土防水剂的研究 [J]. 混凝土，1993，(5)：30～32.
[32] JC 474－92，砂浆混凝土防水剂 [S].
[33] 李永浚. 关于混凝土抗渗“快速试验法的改进意见” [J]. 混凝土，1993，(3)：53～54.
[34] 游宝坤. 刚性防水技术综述 [J]. 广西土木建筑，1993，(1)：9～16.
[35] 陈西云. Fs 防水剂在刚性防水屋面中的应用 [J]. 淮煤科技，1996，(1)：38～39.
[36] 王海波. 微膨胀混凝土在屋面防水中的运用 [J]. 徐煤科技，1997，(2)：26～27.

Classification and principle of rigid waterproofer

ZHOU Shuang-xi，YANG Rong-xing，HE Shun-ai
(*Department of Materials and Chemistry Engineering*，*Guilin Institute of Technology*，*Guilin* 541004，*China*)

Abstract：The paper discusses the classification and character of rigid waterproofer，properties of various kinds of waterproofer concrete，such as specifications，features，technological indexes，technology process，the method of construction，quality，*etc*. Rigid waterproofer is an ideal material not only for its waterproof，but also for its prop，enclosure and impervious property. Moreover，it is easy to construct and has a high property to price ratio.

Key words：rigid；waterproof concrete；water conservancy impermeability；classification；principle