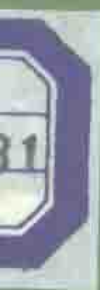


防水混凝土 及其应用

冶金建筑研究院 主编



中国建筑工业出版社

防水混凝土及其应用

冶金建筑研究院 主编

中国建筑工业出版社

本书主要介绍普通防水混凝土、常用的外加剂防水混凝土和膨胀水泥防水混凝土；并对防水混凝土工程设计、施工中所涉及的问题作了较详细的阐述。此外，还介绍了几种行之有效的防水混凝土工程修补堵漏方法。

本书可供土建部门设计、施工人员及从事混凝土材料试验、研究工作的人员参考。

* * * *

本书由张玉玲、杜佩瑜、王铁梦、鲁继轩、舒自成、葛茂达、王富英、顾振松、陈达士、赵家全、洪高山、游宝坤等同志分别执笔编写。初稿写成后，由张玉玲、杜佩瑜同志审查定稿。

防水混凝土及其应用

冶金建筑研究院主编

*

中国建筑工业出版社 出版 (北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米¹/₃₂ 印张：9³/₈ 字数：211千字

1979年8月第一版 1979年8月第一次印刷

印数：1—47,630册 定价：0.75元

统一书号：15040·3569

前 言

随着我国社会主义建设事业的发展，地下防水工程数量日益增多，规模和复杂性也发生了巨大的变化。例如井式炉、翻车机室、大型筏式基础、江心（河心）水泵站等，由于工程量大、埋置深、使用条件特殊，除要求混凝土有足够的抗渗性外，还要求能承受一定的温度、冲击或振动作用，并要求具有耐冻融、耐侵蚀等性能。传统的卷材防水已不能满足要求。因此，近年来一些工业建筑的地下防水工程都采用了防水混凝土本体防水。我国广大工人、工程技术人员已研制出适合我国国情的普通防水混凝土、外加剂防水混凝土和膨胀水泥防水混凝土，并在设计、施工以及工程渗漏水修补方面积累了丰富的经验，为了适应地下防水工程日益发展的需要，不断提高防水工程的质量，我们在调查重点冶金企业防水工程的基础上，编写了《防水混凝土及其应用》一书，力求从理论和实践的结合上，阐述防水混凝土工程的一些问题。

本书由冶金部建筑研究院、第一、十七冶金建设公司，第二、十九冶金建设公司建研所、鞍山钢铁公司、建材总局建筑材料科学研究院共同编写。在编写过程中得到首钢第一建筑公司、水电部水利调度研究所、交通部第一航务局研究所等单位的大力支持，特此表示谢意。限于编者水平，有错误与不当之处请读者指正。

1978年6月

目 录

第一章 普通防水混凝土	1
第一节 普通防水混凝土	3
第二节 矿渣碎石防水混凝土	40
第二章 外加剂防水混凝土	57
第一节 加气剂防水混凝土	61
第二节 减水剂防水混凝土	92
第三节 三乙醇胺防水混凝土	114
第四节 氯化铁防水混凝土	132
第三章 膨胀水泥防水混凝土	150
第四章 防水混凝土工程的设计和施工	182
第一节 地下工部渗漏水的原因及地下水与工程的关系	184
第二节 防水混凝土工程设计原则	191
第三节 防水混凝土工程的施工	209
第四节 防水混凝土工程细部构造	220
第五章 防水混凝土工程的修补堵漏	235
第一节 化学灌浆法	236
第二节 面层法	262
第三节 特殊堵漏法	266
附 录	
一、防水混凝土抗渗试验方法	276
二、混凝土拌合物含气量测定方法	277
三、贯入阻力测定法	279
四、计算伸缩缝间距常用双曲线函数表	282
五、不同条件对混凝土收缩的影响	289
六、聚氯乙烯塑料止水带现场接头方法	292
七、橡胶止水带现场简易熔接法	294

第一章 普通防水混凝土

普通防水混凝土是以调整配合比的方法，来提高自身密实度和抗渗性的一种混凝土。

五十年代初，我国曾推广应用集（骨）料级配防水混凝土。国际上，不少国家都进行过级配理论的研究。例如：富拉氏理想级配曲线、韦莫氏和泰勒氏理想级配曲线、苏联最高密度级配曲线、德国的理想级配曲线等。所有这些曲线都是以最小空隙率和最大密实度的砂石连续级配为理论依据的。我国采用的集料级配防水混凝土是按照民主德国工业标准DIN-1045（卵石级配）和DIN-4163（碎石级配）砂石混合连续级配曲线来配制的。对于卵石级配推荐E曲线，碎石级配推荐K曲线（图1-1）。采用E、K曲线配制的集料

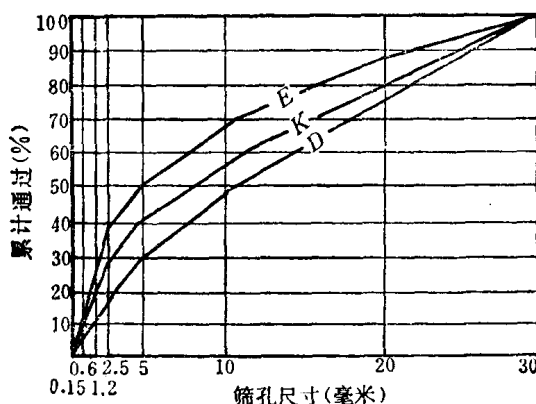


图 1-1 德国工业标准DIN-1045

级配防水混凝土密实性比较好，在工程实践中也获得了良好

的防水效果。但这种集料级配防水混凝土要求严格的集料级配，砂率高达50~60%，并要求砂中含有占集料相当比例的粒径小于0.15毫米的粉细料。配制时，为了使粗细骨料级配达到理想的级配曲线要求，不仅要丢弃部分砂石，耗费大量劳动力，而且施工繁琐，影响工程进度，难以在工程中推广应用。

二十多年来，我国广大工人与工程技术人员通过反复试验和大量的工程实践，终于进一步揭示了提高混凝土密实性和抗渗性的客观规律，砂石连续级配固然能使混凝土获得较好的密实性和较高的抗渗性，但更重要的是在一定水灰比限值内，由水泥和砂子的用量及其比值所决定的砂浆的密实度。即使对混凝土骨料的级配不作严格要求，只要具有一定数量并合乎质量要求的水泥砂浆，将粗骨料充分隔离开，使之互不接触并保持一定间距，混凝土就可具有较高的抗渗性。实践证明，这一结论是正确的。

基于上述认识，在配制防水混凝土时，将砂石混合连续级配，简化为普通混凝土的骨料级配，而以控制水灰比、适当增加砂率 and 水泥用量的方法来提高混凝土的密实性和抗渗性，这就是所谓的“普通防水混凝土”。

普通防水混凝土的配制工艺比集料级配防水混凝土大为简化，已在地下工程、储水及输水构筑物中得到日益广泛的应用。

近年来，普通防水混凝土又有了新的发展，即采用高炉重矿渣作为防水混凝土的粗骨料。为大量利用高炉重矿渣开辟了新的途径。

矿渣碎石防水混凝土是以高炉重矿渣作粗骨料的普通防水混凝土。由于矿渣碎石与普通碎石性能有所差异，如表面

粗糙，有孔隙，吸水率大等。因此，矿渣碎石防水混凝土有其自身的特点。在钢铁厂附近的防水工程中，采用矿渣碎石防水混凝土易于就地取材，不仅能保证工程质量要求，而且经济合理。目前，一些冶金企业已广泛用于抗 $6 \sim 10$ 公斤/平方厘米水压的防水混凝土工程中。

第一节 普通防水混凝土

普通防水混凝土是在普通混凝土的基础上发展起来的。两者不同点在于普通混凝土是根据所需的强度进行配制的。石子为骨架，砂子填充石子的空隙，水泥浆填充细骨料空隙并使骨料粘结在一起。普通防水混凝土是根据工程所需抗渗要求配制的，其中石子的骨架作用减弱，水泥砂浆除满足填充粘结作用外，还要求其在粗骨料周围形成一定数量、质量（浓度）良好的砂浆包裹层，从而提高混凝土的抗渗性（良好质量，即在一定的水灰比限值内，合适的灰砂比；一定数量即足够的水泥砂浆，将石子充分隔离）。因此，普通防水混凝土同普通混凝土相比，在配比选择上有所不同，即表现为水灰比限制在0.6以内、水泥用量稍高，一般不小于300公斤，砂率较大，不小于35%，灰砂比也较高，一般不小于1:2.5。

现将普通防水混凝土的防水原理，配制工艺，影响因素和物理力学性能分述如下。

一、防水原理

混凝土是一种非匀质材料，从微观结构上看属于多孔结构，其体内布有许多大小不同的微细孔隙，因而它通常是渗

水的。

要提高普通混凝土的防水性能，首先要认识孔隙的形成及其对混凝土抗渗性的影响，以便采取相应措施，减少孔隙数量和大小，提高混凝土的密实性。

1. 混凝土内的孔隙及其对抗渗性的影响 混凝土的孔隙按成因可分为施工孔隙和构造孔隙两类。施工孔隙是由于浇灌、振捣质量不良引起的孔隙。构造孔隙主要取决于配合比，一般是在混凝土凝结硬化过程中产生的。构造孔隙主要有以下几种：

(1) 胶孔 胶孔即水泥水化产物“凝胶”本身所固有的孔隙。胶孔数量较多，约占凝胶总体积的 $1/4 \sim 1/3$ ，孔径极小，一般尺寸仅为 $10 \sim 50$ 埃（1埃 = 万分之一微米），最大为250埃左右。因此，可认为胶孔是不透水的，对混凝土抗渗性没有影响。

(2) 毛细孔 即在水泥水化过程中，多余水分蒸发后在混凝土中遗留下的孔隙。毛细孔的直径为数百埃至十微米。水泥水化生成的固相体积是原来未水化体积的2.2倍，所以水化之后，约有一半以上的固相体积是用来填充原来被游离水所占的空间，随着水化作用的继续，越来越多的毛细孔被水化产物填充、堵塞，毛细孔径变细，有的成为互不连通的封闭性孔隙，但直至水泥水化完结，水化产物仍不足以完全填满最初被水占据的空间。剩余水分越多，蒸发后留下的毛细孔径越粗，渗水的可能性越大。

毛细孔的数量和大小与水灰比、水泥水化程度和养护条件有直接关系。

(3) 沉降缝隙和接触孔 沉降缝隙是在混凝土结构形成时，骨料与水泥因各自的比重和颗粒大小不一致，在重力

作用下，产生不同程度的相对沉降所引起的。混凝土浇灌后，粗骨料沉降较快，并较早地固定下来，水泥砂浆则在粗骨料间继续沉降，水被析出，其中一部分沿着毛细管道析出至混凝土表面（外表泌水），另一部分则聚积在粗骨料下表面（内部泌水），形成积水层（图1-2）。水分蒸发后即形成

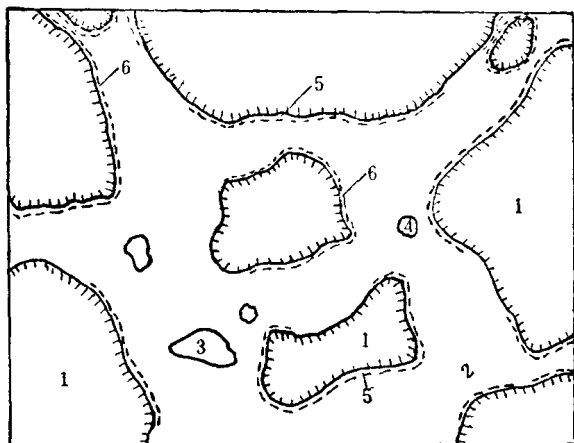


图 1-2 混凝土拌合物结构示意图

1—粗骨料；2—砂浆；3—大气孔；4—小气孔；5—积水层；6—接触孔
沉降缝隙。接触孔是由于砂浆和骨料变形不一致，以及骨料颗粒表面存有水膜，水分蒸发而引起的。这两种孔隙往往是连通的，孔隙均比毛细管大。

（4）余留孔 由于混凝土配比不当，水泥浆贫瘠，不足以填满粗细骨料的间隙而出现的孔隙。

综上所述，由于影响孔径大小的因素较多，因此每一种孔隙都不是一个固定值，而是分布在一定范围之内的（图1-3）。其中孔径大于250埃的毛细孔、余留孔、沉降缝隙和接触孔，由于孔径较大，而且是开放式的。因此，是造成混凝土渗水的主要原因。而小于250埃的胶孔和微小毛细孔，

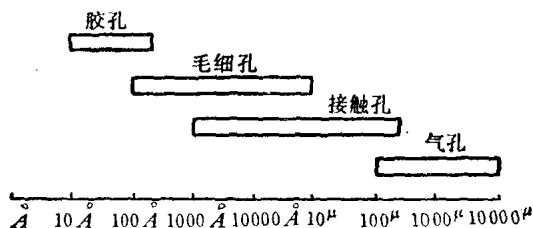


图 1-3 混凝土中各类孔隙孔径分布情况

对混凝土的渗透性影响很小。

2. 抑制混凝土孔隙，提高抗渗性 要使混凝土绝对不渗水是困难的。但在一定条件下，使水仅浸入一定深度而不穿透混凝土或使水的渗透量小于蒸发量，则是可能的。这对混凝土的防水性能是具有实用意义的。当采取较小的水灰比，适当增加水泥用量和砂率，合理地使用自然级配，限制最大骨料粒径和确保施工质量等措施，就能减少混凝土的孔隙率，改变孔隙特征，特别是抑制孔隙间的连通，使混凝土具有足够的密实性，可靠的防水性，以满足工程使用的要求。

(1) 降低水灰比 水泥完全水化所需要的结合水约为水泥重量的20~25%，但为了满足施工和易性要求，混凝土拌合物实际用水量大大超过该数值。若采用0.2~0.25的水灰比拌制混凝土，除了水泥水化生成物出现胶孔外，由于砂石表面缺乏润湿水而流动性差，使拌合、振捣困难，混凝土内部会形成部分施工孔隙。当水灰比由0.25增加至0.4时，既能满足水泥水化用水，又能满足砂石润湿要求，拌合物和易性逐渐变好，混凝土内孔隙形状也由不规则逐渐变为规则并趋于圆形，孔径普遍细小。当水灰比增至0.4~0.6时，超过了水泥保水限度而出现析水现象，水灰比愈大析水现象愈严重，毛细孔径也愈大。大于50微米~150微米的孔隙不断增加，水

泥石的透水性也就逐渐提高，抗渗性逐渐降低。而当水灰比超过0.65以上时，毛细孔就再也不能被水化产物堵塞和切断，并产生50微米~2毫米的粗孔，即开放贯通的孔隙，混凝土就变得极易透水了，因此，在保证施工和易性的前提下应该尽量降低水灰比，减少相对用水量，以减少混凝土中多余水分蒸发后形成的毛细孔渗水通路。

(2) 适当提高水泥用量、砂率及其相应的灰砂比 在混凝土的粗骨料周边形成足够数量和良好质量的砂浆包裹层，使粗骨料彼此隔离，有助于阻隔沿粗骨料互相连通的渗水孔网。劈开混凝土抗渗试件观察可以明显看出：水沿着石子堆积处渗过，在同一组试件中，由于装料不匀，其中石子过多的一块常是首先渗透的。因此，说明砂浆包裹层之重要，而砂浆本身的抗渗性优劣除水灰比外则取决于灰砂比，灰砂比越大，抗渗性越好。

(3) 在降低水灰比的同时，采用较小的骨料粒径，以减小沉降缝隙。

此外，在防水混凝土施工时，从搅拌、浇灌、振捣到养护各个环节严格控制质量，防止或减少施工孔隙的出现，防止混凝土早期失水，对于保证混凝土的防水性能是不可忽视的因素。

综上所述，防水混凝土是从材料和施工两个方面抑制和减少混凝土内部孔隙的生成，改变孔隙的特征(形状和大小)，堵塞漏水通路，从而使之不依赖其他附加防水措施，仅靠提高混凝土本身密实性来达到防水的目的。

二、主要影响因素

混凝土的抗渗性可以用抗渗标号、渗水高度、渗透系数

表示。

抗渗试验（见附录一）如受设备限制到达最大抗渗压力而未渗透时，可通过比较同压力情况下抗渗试件的渗水高度来评定质量。至于渗透系数，在防水混凝土中很少采用而主要用于水工混凝土。

对普通防水混凝土的抗渗性能具有重要作用的因素有：水灰比及拌合物的和易性；水泥用量、砂率及其相应的灰砂比。此外，水泥品种、砂石颗粒级配，石子品种和最大粒径以及粉状掺料的掺量，养护条件等，对混凝土的抗渗性也产生

不同程度的影响，现将这些因素的影响分别论述如下：

1. 水灰比的影响 混凝土拌合物的水灰比对硬化混凝土孔隙率的大小、数量起决定性作用，直接影响着混凝土结构密实性。从理论上说，在满足水泥完全水化及润湿砂石所需水量前提下，水灰比越小，混凝土密实性越好，抗渗性及强度也越高。但水灰比过小，施工操作困难将影响混凝土密实性，对抗渗性并不利。反之，水灰比过大，混凝土的抗渗性也将随着降低。当水灰比超越某一限值时表现得更明显。

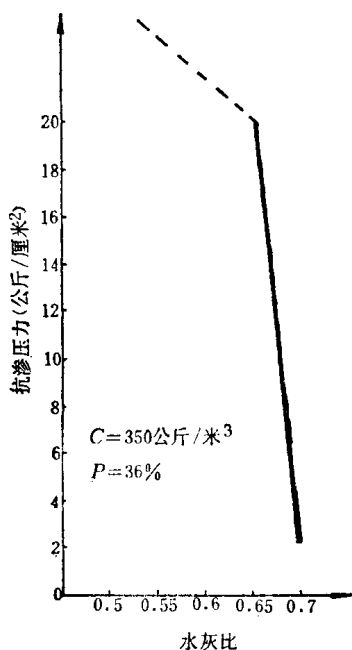


图 1-4 水灰比与抗渗压力关系

图 1-4 可见：当水灰比超过 0.65 后，混凝土抗渗性急剧下

降。当水灰比为0.7时，抗渗压力仅为2公斤/厘米²。图1-5表示水灰比与渗透速度的关系。

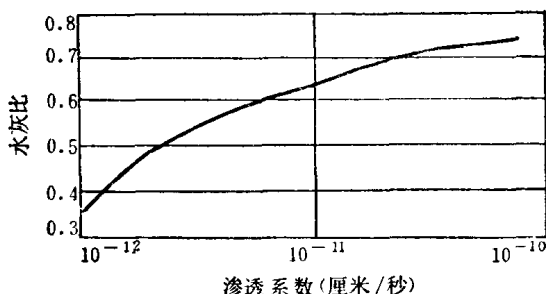


图 1-5 水灰比与渗透速度近似关系

渗透系数随水灰比的增加而增大。因此，适宜的水灰比应保证混凝土具有良好的抗渗性及适宜的和易性。

考虑到施工现场与试验室的差别，以及防水混凝土抗渗压力不应小于6公斤/厘米²的要求，防水混凝土的最大水灰比不宜超过0.60。此外，室内试验及现场暴露试验的资料还表明，水灰比是影响防水混凝土耐久性的因素之一，当水灰比超过0.60时抗冻性明显下降。表1-1、1-2为国内外对具有耐久性要求的混凝土所规定的水灰比限制。从满足混凝土抗渗性及耐久性出发，防水混凝土最大水灰比以0.60为宜。但是在相同的水灰比和含砂率情况下，由于坍落度（和易性指标）不同，泌水率有明显差异，也会导致抗渗性不同。图

国内水灰比最大允许值 表 1-1

混凝土部位		有抗冻要求的地区	无抗冻要求的地区
外部混凝土	水位变化区	0.55	0.60
	水上或水中	0.60	0.65
内部混凝土		0.75	0.75

国际水灰比最大允许值

表 1-2

结构暴露条件 (侵蚀作用类别)		最大 水灰比值	龄期28天的最小立方 体强度值 (公斤/厘米 ²)
有 水 的 渗 透 作 用	薄截面的混凝土	0.60	250
	厚截面的混凝土	0.70	200
有侵蚀性的 水和土的作用	普通程度的侵蚀性	0.60	250
	强 侵 蚀 性	0.50	350
受 湿 状 态 下的冻结作用	未掺加气剂的混凝土	0.60	250
	加 气 混 凝 土	0.70	200
同上(亦同时使用 防冻剂时)	加 气 混 凝 土	0.60	250

注：1. 本表选自国际材料结构试验研究协会编制的《混凝土耐久性技术规范(草案)》；

2. 混凝土配合比的设计指标，要考虑到现场施工波动，应将表列值减0.05。

1-6表明坍落度大，泌水率高。曲线③和曲线④水灰比均为0.6，砂率均为36%，当坍落度为6.5厘米时的泌水率为9.1%，坍落度为0.5厘米时，泌水率为7.6%，两者坍落度相差6厘米，泌水率则相差约17%。泌水率越大，骨料的沉降作用越剧烈，混凝土内开放性毛细孔也越多，必然会对混凝土的渗透性产生一定影响。因此，在要求选择适宜水灰比的同时，必须控制混凝土的坍落度。从便于施工和确保混凝土的抗渗性考虑，普通防水混凝土的坍落度以3~5厘米为好。

近年来，由于减水剂的应用，使普通防水混凝土的坍落度突破了上述限值，获得了良好的抗渗性，详见本书第二章第二节。

2. 水泥用量、砂率及灰砂比的影响 在一定水灰比限值内，水泥用量和砂率对混凝土抗渗性的影响是比较明显的。

足够的水泥用量和适宜的砂率，可以保证混凝土中水泥砂浆的数量和质量，使混凝土获得良好的抗渗性。水泥用量与抗渗性的关系见图1-7。

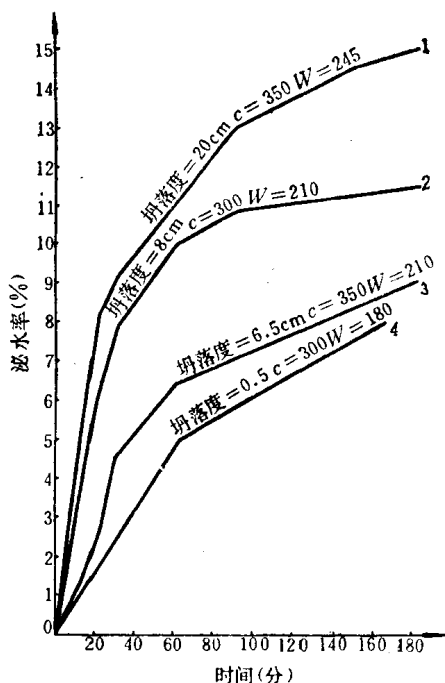


图 1-6 坍落度与泌水率关系

曲线1 $2W/C = 0.7$ ；曲线
3 $4W/C = 0.6$ ，砂率均为36%

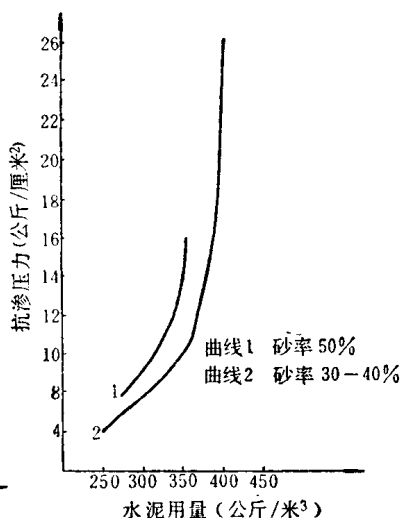


图 1-7 水泥用量与抗
渗压力的关系

曲线 1—砂率 50%；曲
线 2—砂率 30~40%

以上试验表明：当坍落度相近时，防水混凝土的抗渗性随着水泥用量增加而提高。一般当水泥用量为300公斤/米³时，抗渗标号可稳定在8以上，能满足国内防水混凝土工程抗渗标号的要求。因此，防水混凝土的水泥用量最低不得小于

300公斤/米³。

防水混凝土一般应采用较高的砂率，因为除了要求填充石子空隙并包裹石子外，还必须具有一定厚度的砂浆层。

从表 1-3 可以看出，当水泥用量为 300~350 公斤/厘米²时，砂率自 30% 增大到 50%，由于砂浆层逐步增厚，混凝土的抗压强度有所下降，但抗渗压力差别不明显，这说明水泥用量与砂子用量之间的比例比较协调；当砂率为 60% 时，砂子用量过多，水泥浆不够包裹砂子，致使混凝土结构不密实，不仅降低了抗压强度，且引起抗渗性的急剧下降。若要有足够的水泥浆包裹砂子势必增加水泥用量，这不仅增加工程造价，而且混凝土拌合物流动性太大，粗骨料容易产生不均匀沉降，以致硬化后的混凝土匀质性差，收缩较大，同样影响混凝土抗渗性。因此，普通防水混凝土中砂率的选择必须和水泥用量相适应，在一般水泥用量情况下，卵石防水混凝土砂率可选用 35% 左右，而碎石防水混凝土空隙率较大，砂率以 35~40% 为宜。

砂率对防水混凝土抗渗性影响

表 1-3

砂率 (%)	水泥用量 (公斤/米 ³)	坍落度 (厘米)	抗压强度 (公斤/厘米 ²)	抗渗压力 (公斤/厘米 ²)
30	313	1.0	256	14
40	336	3.0	245	12
45	346	1.5	243	16
50	354	2.0	213	14
60	373	0.5	192	6

注：1. 水灰比 0.55；

2. 400 号火山灰质硅酸盐水泥；

3. 沙河中砂，八宝山卵石 5~30 毫米。

在最小水泥用量已确定的前提下，灰砂比对抗渗性的影