

## 5 细部构造防水工程

### 5.1 施 工 缝

**5.1.1** 本规范附录第 A.3 节列出了橡胶止水带和腻子型遇水膨胀止水条、遇水膨胀止水胶的主要物理性能，依据现行国家标准《高分子防水材料 第 2 部分 止水带》GB 18173.2 和行业标准《膨润土橡胶遇水膨胀止水条》JG/T 141、《遇水膨胀止水胶》JG/T 312 的规定。

本规范附录第 A.2 节列出了水泥基渗透结晶型防水涂料的主要物理性能，依据现行国家标准《水泥基渗透结晶型防水材料》GB 18445 的规定。

**5.1.2** 施工缝始终是防水薄弱部位，常因处理不当而在该部位产生渗漏，因此将防水效果较好的施工缝防水构造列入现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 中。按设计要求采用止水带、遇水膨胀止水条或止水胶、水泥基渗透结晶型防水涂料和预埋注浆管等防水设防，使施工缝处不产生渗漏。

**5.1.3** 根据混凝土设计及施工验收相关规范的规定，施工缝应留设在剪力或弯矩较小及施工方便的部位。故本条规定了墙体水平施工缝距底板面应不小于 300mm，拱、板墙交接处若需要留设水平施工缝，宜留在拱、板墙接缝线以下 150mm~300mm 处，并避免设在墙板承受弯矩或剪力最大的部位。

**5.1.4** 根据混凝土施工验收相关规范，在已硬化的混凝土表面上继续浇筑混凝土前，先浇混凝土强度应达到 1.2MPa，确保再施工时不损坏先浇部分的混凝土。从施工缝处开始继续浇筑时，机械振捣宜向施工缝处逐渐推进，并距 80mm~100mm 处停止振捣，但应加强对施工缝接缝的捣实，使其紧密结合。

**5.1.5、5.1.6** 由于先浇混凝土施工完后需养护一段时间再进行



下道工序施工，在此过程中施工缝表面可能留浮尘等，因此水平施工缝浇筑混凝土前，应将其表面浮浆和杂物清除，目的是为了使新老混凝土能很好地粘结。尽管涂刷混凝土界面处理剂或涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料的防水机理不同，前者增强粘合力，后者使收缩裂缝被渗入涂料形成结晶闭合，但功效均是加强施工缝防水，故两者取其一。垂直施工缝规定应同水平施工缝。

**5.1.7~5.1.9** 传统的处理方法是将混凝土施工缝做成凹凸型接缝和阶梯接缝，实践证明这两种方法清理困难，不便施工，效果并不理想，故采用留平缝加设遇水膨胀止水条或止水胶、预留注浆管或中埋止水带等方法。

施工缝处采用遇水膨胀止水条时，一是应在表面涂缓膨胀剂，防止由于降雨或施工用水等使止水条过早膨胀；二是止水条应牢固地安装在缝表面或预留凹槽内，保证止水条与施工缝基面密贴。

施工缝采用遇水膨胀止水胶时，一是涂胶宽度及厚度应符合设计要求；二是止水胶固化期内应采取临时保护措施；三是止水胶固化前不得浇筑混凝土。

**5.1.10** 施工缝采用预埋注浆管时，注浆导管与注浆管的连接必须牢固、严密。根据经验预埋注浆管的间距宜为 200mm~300mm，注浆导管设置间距宜为 3.0m~5.0m。

在注浆之前应对注浆导管末端进行封闭，以免杂物进入导管产生堵塞，影响注浆工作。

## 5.2 变 形 缝

**5.2.1** 参见本规范第 5.1.1 条的条文说明。

本规范附录第 A.3 节列出了建筑接缝用密封胶的主要物理性能，依据现行《混凝土建筑接缝用密封胶》JC/T 881 的规定。

**5.2.2** 变形缝应考虑工程结构的沉降、伸缩的可变性，并保证其在变化中的密闭性，不产生渗漏水现象。变形缝处混凝土结构的厚度不应小于 300mm，变形缝的宽度宜为 20mm~30mm。全



埋式地下防水工程的变形缝应为环状；半地下防水工程的变形缝应为U字形，U字形变形缝的高度应超出室外地坪500mm以上。

**5.2.3~5.2.5** 变形缝的渗漏水除设计不合理的原因之外，施工质量也是一个重要的原因。

中埋式止水带施工时常存在以下问题：一是埋设位置不准，严重时止水带一侧往往折至缝边，根本起不到止水的作用。过去常用铁丝固定止水带，铁丝在振捣力的作用下会变形甚至振断，其效果不佳，目前推荐使用专用钢筋套或扁钢固定。二是顶、底板止水带下部的混凝土不易振捣密实，气泡也不易排出，且混凝土凝固时产生的收缩易使止水带与下面的混凝土产生缝隙，从而导致变形缝漏水。根据这种情况，条文中规定顶、底板中的止水带安装成盆形，有助于消除上述弊端。三是中埋式止水带的安装，在先浇一侧混凝土时，此时端模被止水带分为两块，这给模板固定造成困难，施工时由于端模支撑不牢，不仅造成漏浆，而且也不敢按规定进行振捣，致使变形缝处的混凝土密实性较差，从而导致渗漏水。四是止水带的接缝是止水带本身的防水薄弱处，因此接缝愈少愈好，考虑到工程规模不同，缝的长度不一，对接缝数量未作严格的限定。五是转角处止水带不能折成直角，条文规定转角处应做成圆弧形，以便于止水带的安设。

**5.2.6** 当采用外贴式止水带时，在变形缝与施工缝相交处，由于止水带的形式不同，现场进行热压接头有一定困难；在转角部位，由于过大的弯曲半径会造成齿牙不同的绕曲和扭转，同时减少了转角部位钢筋的混凝土保护层厚度。故本条规定变形缝与施工缝的相交部位宜采用十字配件，变形缝的转角部位宜采用直角配件。

**5.2.7** 可卸式止水带全靠其配件压紧橡胶止水带止水，配件质量是保证防水的一个重要因素，因此要求配件一次配齐，特别是在两侧混凝土浇筑时间有一定间隔时，更要确保配件质量。金属配件的防腐蚀很重要，是保证配件可卸的关键。



另外,由于止水带厚,势必在转角处形成圆角,存在不易密封的问题,故在转角处应做成 $45^{\circ}$ 折角,并增加紧固件的数量,以确保此处的防水施工质量。

**5.2.8** 要使嵌填的密封材料具有良好的防水性能,变形缝两侧的基面处理十分重要,否则密封材料与基面粘结不紧密,就起不到防水作用。另外,嵌缝材料下面的背衬材料不可忽视,否则会使密封材料三向受力,对密封材料的耐久性和防水性都有不利影响。

由于基层处理剂涂刷完毕后再铺设背衬材料,将会对两侧基面的基层处理剂有一定的破坏,故基层处理剂应在铺设背衬材料后进行。

密封材料的嵌填十分重要,如嵌填不饱满,出现凹陷、露嵌、孔洞、气泡,都会降低接缝密封防水质量。嵌填密封材料应符合下列规定:

- 1 密封材料可使用挤出枪或腻子刀嵌填,嵌填应连续和饱满,不得有气泡和孔洞。

- 2 采用挤出枪嵌填时,应根据嵌填的宽度选用口径合适的挤出嘴,均匀挤出密封材料由底部逐渐充满整个缝隙。

- 3 采用腻子刀嵌填时,应先将少量密封材料批刮在缝隙两侧,再分次将密封材料嵌填在缝内,并防止裹入空气。接头应采用斜槎。

- 4 密封材料嵌填后,应在表干前用腻子刀进行修整。

**5.2.9** 卷材或涂料防水层应在地下工程的混凝土主体结构迎水面形成封闭的防水层,本条对变形缝处卷材或涂料防水层的构造做法提出了具体的规定。为了使卷材或涂料防水层能适应变形缝处的结构伸缩变形和沉降,规定防水层施工前应先将底板垫层在变形缝处断开,并抹带有圆弧的找平层,再铺设宽度为600mm的卷材加强层;变形缝处的卷材或涂料防水层应连成整体,并应在防水层上放置 $\phi 40\text{mm} \sim \phi 60\text{mm}$ 聚乙烯泡沫棒,防水层与变形缝之间形成隔离层。侧墙和顶板变形缝处卷材或涂料防水层的构



造做法与底板相同。

### 5.3 后 浇 带

5.3.1 参见本规范第 5.1.1 条的条文说明。

5.3.2 补偿收缩混凝土是在混凝土中加入一定量的膨胀剂，使混凝土产生微膨胀，在有配筋的情况下，能够补偿混凝土的收缩，提高混凝土的抗裂性和抗渗性。补偿收缩混凝土配合比设计，应符合国家现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55和国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的有关规定，且混凝土的抗压强度和抗渗等级均不应低于两侧混凝土。

补偿收缩混凝土中膨胀剂的掺量宜为 6%~12%，实际配合比中的掺量应根据限制膨胀率的设定值经试验确定。

5.3.3 后浇带应设在受力和变形较小的部位，其间距和位置应按结构设计要求确定，宽度宜为 700mm~1000mm；后浇带可做成平直缝或阶梯缝。后浇带两侧的接缝处理应符合本规范第 5.1 节的规定。后浇带需超前止水时，后浇带部位的混凝土应局部加厚，并应增设外贴式或中埋式止水带。

5.3.4 后浇带应采用补偿收缩混凝土浇筑，其抗压强度和抗渗等级均不应低于两侧混凝土。采用掺膨胀剂的补偿收缩混凝土，应根据设计的限制膨胀率要求，经试验确定膨胀剂的最佳掺量，只有这样才能达到控制结构裂缝的效果。

5.3.5 为了保证后浇带部位的防水质量，必须做到带内的清洁，同时也应对预设的防水设防进行有效保护。

5.3.6 后浇带两侧混凝土的接缝处理，参见本规范第 5.1.5 条和第 5.1.6 条的条文说明。后浇带应在两侧混凝土干缩变形基本稳定后施工，混凝土收缩变形一般在龄期为 6 周后才能基本稳定。高层建筑后浇带的施工，应符合现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定，对高层建筑后浇带的施工应按规定时间进行。这里所指按规定时间，应通过地基变形计算和



建筑物沉降观测，并在地基变形基本稳定的情况下才可以确定。

**5.3.7** 本条对遇水膨胀止水条、遇水膨胀止水胶、预埋注浆管和外贴式止水带的施工作出具体的规定。

**5.3.8** 后浇带采用补偿收缩混凝土，可以提高混凝土的抗裂性和抗渗性，如果后浇带施工留设施工缝，就会大大降低后浇带的抗渗性，因此本条强调后浇带混凝土应一次浇筑。

混凝土养护时间对混凝土的抗渗性尤为重要，混凝土早期脱水或养护过程中缺少必要的水分和温度，则抗渗性将大幅度降低甚至完全消失。因此，当混凝土进入终凝以后即应开始浇水养护，使混凝土外露表面始终保持湿润状态。后浇带混凝土必须充分湿润地养护4周，以避免后浇带混凝土的收缩，使混凝土接缝更严密。

## 5.4 穿 墙 管

**5.4.2** 结构变形或管道伸缩量较小时，穿墙管可采用固定式防水构造；结构变形或管道伸缩量较大或有更换要求时，应采用套管式防水构造；穿墙管线较多时，宜相对集中，并应采用穿墙盒防水构造。

**5.4.3、5.4.4** 止水环的作用是改变地下水的渗透路径，延长渗透路线。如果止水环与管不满焊或焊接不密实，则止水环与管接触处仍是防水薄弱环节，故止水环与管一定要满焊密实。

穿墙管外壁与混凝土交界处是防水薄弱环节，穿墙管中部加焊止水环可改变水的渗透路径，延长水的渗透路线，环绕遇水膨胀止水圈则可堵塞渗水通道，从而达到防水目的。针对目前穿墙管部位渗漏水较多的情况，穿墙管在混凝土迎水面相接触的周围应预留宽和深各15mm左右的凹槽，凹槽内嵌填密封材料，以确保穿墙管部位的防水性能。

采用套管式穿墙管时，套管内壁表面应清理干净。套管内的管道安装完毕后，应在两管间嵌入内衬填料，端部还需采用其他防水措施。



穿墙管部位不仅是防水薄弱环节,也是防护薄弱环节,因此穿墙管应作好防腐处理,防止穿墙管锈蚀和电腐蚀。

**5.4.5** 穿墙管线较多采用穿墙盒时,由于空间较小,容易产生渗漏现象,因此应从封口钢板上预留浇注孔注入改性沥青材料或细石混凝土加以密封,并对浇注孔口用钢板焊接密封。

**5.4.6** 穿墙管部位是防水薄弱环节,当主体结构迎水面有卷材或涂料防水层时,防水层与穿墙管连接处应增设卷材或涂料加强层,保证防水工程质量。

## **5.5 埋 设 件**

**5.5.2** 结构上的埋设件应采用预埋或预留孔、槽。固定设备用的锚栓等预埋件,应在浇筑混凝土前埋入。如必须在混凝土预留孔、槽时,孔、槽底部须保留至少 250mm 厚的混凝土;如确无预埋条件或埋设件遗漏或埋设件位置不准确时,后置埋件必须采用有效的防水措施。

**5.5.3** 结构上的埋设件和预留孔、槽均不得遗漏。固定在模板上的埋设件和预留孔、槽,安装必须牢固,位置准确。

地下工程结构上的埋设件,长期处于潮湿或腐蚀介质环境中很容易产生锈蚀和电腐蚀。其破坏作用:一是日久锈蚀会使埋设件丧失承载能力,影响设备的正常工作;二是埋设件锈蚀后由于自身体积产生膨胀,使得埋设件与混凝土接触处产生细微裂缝,形成渗水通道。故本条提出了埋设件应进行防腐处理的规定。

**5.5.4** 防水混凝土结构除密实度影响抗渗性外,其厚度也对抗渗性有影响。厚度大时可以延长渗水通路,增加对水压的阻力。本条规定埋设件端部或预留孔、槽底部的混凝土厚度不得小于 250mm;当厚度小于 250mm 时,应局部加厚或采取其他防水措施。可以弥补厚度的不足,以减少对防水混凝土结构抗渗性不利的因素。

**5.5.5** 由于埋设件周围的混凝土振捣不够密实,容易造成该部位的渗漏水,埋设件与迎水面混凝土相接触的周围应预留凹槽,凹槽内应嵌填密封材料,以确保埋设件部位的防水性能。



**5.5.6** 在采用螺栓加堵头的方法时,工具式螺栓可简化施工操作并可反复使用,因此重点介绍了这种构造做法。

穿过混凝土结构且固定模板用的螺栓周围容易造成渗漏,因此螺栓上应加焊方形止水环以增加渗水路径,同时拆模后应采取加强防水措施,将留下的凹槽封堵密实。

**5.5.7** 地下工程防水层应是一个封闭整体,不得有任何可能导致渗漏的缝隙。故本条规定预留孔、槽内的防水层应与主体结构防水层保持连续。

## **5.6 预留通道接头**

**5.6.2** 预留通道接头处是防水薄弱环节之一,这不仅由于接头两边的结构重量及荷载有较大差异,可能产生较大沉降变形,而且由于接头两边的施工时间先后不一,间隔可达几年之久,故预留通道接头防水构造应适应这种特殊情况。

按《地下工程防水技术规范》GB 50108-2008 的有关规定:预留通道接头处的最大沉降差值不得大于 30mm;预留通道接头应采取变形缝防水构造方式。

**5.6.3** 参见本规范第 5.2.3 条的条文说明。

**5.6.4** 由于预留通道接头两边混凝土施工时间先后不一,因此特别要加强对中埋式止水带的保护,以免止水带受老化影响降低其性能,同时也要保持先浇部分混凝土端部表面平整、清洁,使可卸式止水带有良好的接触面。预埋件的锈蚀将严重影响后续工序的施工,故对预埋件应进行防锈处理。

**5.6.5~5.6.7** 这三条是对预留通道接头用中埋式止水带、遇水膨胀止水条或止水胶、预埋注浆管、密封材料和可卸式止水带的施工作出具体的规定。

**5.6.8** 预留通道接头外部采用保护墙的方法,是对成品保护的重要措施。



## 5.7 桩 头

**5.7.2** 近年来,因桩头处理不好引起工程渗漏水的情况时有发生,具体位置如下:1 桩头钢筋与混凝土间;2 底板与桩头间的施工缝;3 混凝土桩身与地基之间。桩头防水构造应强调桩头与结构底板形成整体的防水系统。

**5.7.3** 由于桩头应按设计要求将桩顶剔凿到混凝土密实处,造成桩顶不平整,给防水层施工带来困难。因此在桩头防水施工前,应对桩头清洗干净并用聚合物水泥防水砂浆进行补平。在目前的各种防水材料中,比较合适的是水泥基渗透结晶型防水涂料,使桩头与结构底板混凝土形成整体。涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料时,应连续、均匀,不得少涂或漏涂,并应及时进行养护。

**5.7.4、5.7.5** 该两条是根据《地下工程防水技术规范》GB 50108-2008 列举的两种桩头防水构造,规定桩头所用防水材料的具体做法。

**5.7.6** 混凝土中的钢筋是地下水的渗透路径,我们在调查中也发现了很多露出桩基受力钢筋发生渗漏的现象。因此,桩头的受力钢筋根部仍是防水薄弱环节,目前比较好的处理方法是采用遇水膨胀止水条包绕钢筋的做法。

## 5.8 孔 口

**5.8.2** 地下工程通向地面的各种孔口均应采取防地面水倒灌的措施。人员和汽车出入口防水构造应符合本规范第 5.8.3 条的规定;窗井防水构造应符合本规范第 5.8.4 条和第 5.8.5 条的规定;通风口与窗井同样处理,竖井窗下缘离室外地面高度不得小于 500mm。

**5.8.3** 由于雨水或其他生活用水很容易通过各种孔口倒灌到地下工程的内部,从而影响地下工程的使用功能。本条提出地下工程通向地面的各种孔口,应设置防止地面水倒灌的构造措施。



**5.8.4** 窗井的底部在最高地下水位以上时,为了方便施工、降低造价、利于泄水,窗井的底板和墙宜与主体结构断开,以免窗井底部积水流入窗内。

**5.8.5** 窗井或窗井的一部分在最高地下水位以下时,窗井应与主体结构连成整体,其防水层也应连成整体,这样有利于防水层形成整体。

**5.8.6** 地下室窗井由底板和侧墙构成;侧墙可以用砖墙或钢筋混凝土板墙制作,墙体顶部应高出室外地面不得小于 500mm,以免造成倒灌现象。

## **5.9 坑、池**

**5.9.1** 参见本规范第 4.1.14 条的条文说明。

**5.9.2** 坑、池坐落在结构底板之上,坑、池内防水层应采用聚合物水泥防水砂浆,掺外加剂或掺合料的防水砂浆用多层抹压法施工。受振动作用时,内部应设卷材或涂料防水层;坑、池外防水层应与结构底板防水层相同并保持连续。

**5.9.3** 坑、池、储水库内部防水层完成后必须进行蓄水试验。检查池壁和池底的抗渗质量。蓄水至设计水深进行渗水量测定时,可采用水位标尺测定;蓄水时间不应小于 24h。

**5.9.4** 参见本规范第 4.1.17 条和第 4.1.18 条的条文说明。

**5.9.5** 地下工程坑、池底部的混凝土必须具有一定的厚度,才能抵抗地下水的渗透。原规范规定防水混凝土结构厚度不应小于 250mm,防水效果明显。本条规定了当混凝土厚度小于 250mm 时,应将局部底板相应降低,保证混凝土厚度不小于 250mm;同时,底板的防水层应与结构主体防水层保持连续。



## 6 特殊施工法结构防水工程

### 6.1 锚 喷 支 护

6.1.1 锚喷暗挖隧道、坑道等施工，一般采用循环形式进行开挖，为防止围岩应力变化引起塌方和地面下沉，要求开挖、锚杆支护、喷射混凝土支护三个环节紧跟。同时，为了保证施工安全和提高支护效能，在初期喷射混凝土后应及时安装锚杆。

6.1.2 喷射表面有涌水时，不仅会使喷射混凝土的粘着性变坏，还会在混凝土的背后产生水压给混凝土带来不利影响。因此，表面有涌水时应先进行封堵或排水工作。

6.1.3 喷射混凝土质量与水泥品种和强度的关系密切，而普通硅酸盐水泥与速凝剂有很好的相容性，所以应优先选用。矿渣硅酸盐水泥和火山灰硅酸盐水泥抗渗性好，对硫酸盐类侵蚀抵抗能力较强，但初凝时间长，干缩性大，所以对早期强度要求较高的喷射混凝土应选普通硅酸盐水泥为好。

为减少混合料搅拌中产生粉尘和干拌合时水泥飞扬及损失，有利于喷射混凝土时水泥充分水化，故规定砂石宜有一定的含水率。一般砂为5%~7%，石子为1%~2%，但含水率不宜过大，以免凝结成团，发生堵管现象。

粗骨料粒径的大小不应大于15mm，一是避免堵管，二是减少石子喷射时的动能，降低回弹损失。

为避免喷射混凝土时由于自重而开裂、坠落，提高其在潮湿面施喷时的适应性，故需在水泥中加入适量的速凝剂。

6.1.4 喷射混凝土配合比通常以经验方法试配，通过实测进行修正。掺速凝剂是必要的，但掺速凝剂后又会降低混凝土强度，所以要控制掺量并通过试配确定。钢纤维喷射混凝土虽然抗裂效果明显，但控制钢纤维的用量及保证钢纤维在混凝土中的均匀性



却十分重要，故钢纤维喷射混凝土施工应符合现行国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086 的有关规定，确保施工的顺利和混凝土的质量。

由于砂率低于 45% 时容易堵管且回弹量高，高于 55% 时则会降低混凝土强度和增加收缩量，故规定砂率宜为 45%~55%。

喷射混凝土采用的是干混合料，若存放过久，砂石中的水分会与水泥反应，影响到喷射后的质量。所以，混合料尽量随拌随用，不要超过规定的存放时间。

**6.1.5** 由于喷射混凝土的含砂率高，水泥用量也相对较多并掺有速凝剂，其收缩变形必然要比灌注混凝土大。在喷射混凝土终凝 2h 后应立即进行喷水养护，且养护时间不得少于 14d。当气温低于 5℃ 时，不得喷水养护。

**6.1.6** 抗压试件是反映喷射混凝土物理力学性能优劣、检验喷射混凝土强度的主要指标。所以通常做抗压试件或采用回弹仪测试换算其抗压强度值，也可用钻芯法制取试件。喷射混凝土抗压强度标准试块制作方法可参考现行国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086 的有关规定。由于地下工程还有抗渗要求，因此还应做抗渗试件。

本条对地下铁道工程喷射混凝土抗压试件和抗渗试件制作组数均作出了具体规定，主要是参考国家标准《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299 - 1999 的有关内容；对水底隧道、山岭隧道和军工隧道等其他工程喷射混凝土抗压试件制作组数，主要是参考国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086 - 2001 的有关内容。因影响喷射混凝土抗渗性能的因素较多，《地下工程防水技术规范》GB 50108 - 2008 取消了喷射混凝土抗渗等级的规定，故本条仅对其他工程当设计有抗渗要求时，规定可增做抗渗性能试验。

**6.1.7** 锚杆的锚固力与安装施工工艺操作有关，锚杆安装后应进行拉拔试验，达到设计要求时方为合格。本条参考国家标准《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299 - 1999 第 7.6.18 条



的有关规定，同一批锚杆每 100 根应取一组（3 根）试件，同一批试件拉拔力的平均值不得小于设计锚固力，拉拔力最低值不应小于设计锚固力的 90%。

**6.1.8** 锚喷支护分项工程检验批的抽样检验数量，参考了国家标准《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299 - 1999 第 7.6.14 条的规定。

**6.1.9** 参见本规范第 6.1.3 条和第 6.1.4 条的条文说明。

**6.1.10** 参见本规范第 6.1.6 条和第 6.1.7 条的条文说明。

**6.1.11** 锚喷支护宜用于防水等级为三级的地下工程，工程渗漏水必须符合设计防水等级标准。喷射混凝土施工前，应根据围岩裂隙及渗漏水的情况，预先采用引排或注浆堵水。

**6.1.12** 喷层与围岩以及喷层之间粘结应用小锤轻击检查。

**6.1.13** 对喷层厚度检查宜通过在受喷面上埋设标桩或其他标志控制，也可在喷射混凝土凝结前用针探法检查，必要时可用钻孔或钻芯法检查。

区间或小于区间断面的结构每 20 延米检查一个断面，车站每 10 延米检查一个断面。每个断面从拱顶中线起，每 2m 检查一个点。断面检查点 60% 以上喷射厚度不应小于设计厚度，最小厚度不得小于设计厚度的 50%，且平均厚度不得小于设计厚度时，方为合格。

**6.1.14** 本条是对喷射混凝土质量的外观检查。当发现喷射混凝土表面有裂缝、脱落、漏喷、露筋等情况时，应予凿除喷层重喷或进行修整。

**6.1.15** 本条是针对复合式衬砌的初期支护提出平整度的质量指标，以便于铺设塑料防水板。对初期支护基层表面要求十分平整则费时又费力，原规范规定“喷射混凝土表面平整度的允许偏差为 30mm，且矢弦比不得大于 1/6”，修改为“喷射混凝土表面平整度  $D/L$  不得大于 1/6”与本规范第 4.5.2 条保持一致。



## 6.2 地下连续墙

**6.2.1** 地下连续墙主要作为地下工程的支护结构，也可以作为防水等级为一、二级的工程与内衬墙构成叠合墙结构或复合式衬砌的初期支护。强度与抗渗性能优异的地下连续墙，还可以直接作为主体结构，但从耐久性考虑，不应用作防水等级为一级的地下工程墙体。

**6.2.2** 由于地下连续墙是在水下灌注防水混凝土，其胶凝材料用量比一般防水混凝土用量多一些。同时，为保证混凝土灌注面上升速度，混凝土必须具有一定的流动性，坍落度也相应的大一些。其他均与本规范第4.1节防水混凝土相同。

**6.2.3** 本条参考国家标准《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299-1999第4.6.5条的有关规定。

**6.2.4** 地下连续墙与内衬墙构成叠合墙结构，两者之间的结合施工质量至关重要，故规定地下连续墙应凿毛并清洗干净，必要时应选用聚合物水泥砂浆、聚合物水泥防水涂料或水泥基渗透结晶型防水涂料等作特殊防水处理。

**6.2.5** 地下连续墙的防水措施，主要是在条件允许的情况下，尽量加大槽段的长度以减少接缝，提高防水功效。由于拐角处是施工的薄弱环节，施工中易出现质量问题，所以墙体幅间接缝应避开拐角部位，防止产生渗漏水。采用复合式衬砌时，内衬结构的接缝和地下连续墙接缝要错开设置，避免通缝并防止渗漏水。

**6.2.7** 地下连续墙施工质量的检验数量，参考了国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202-2002第7.6.8条的规定，将原规范“应按连续墙每10个槽段抽查1个槽段”，修改为“应按每5个槽段抽查1个槽段”。

**6.2.10** 地下连续墙墙面、墙缝渗漏水检验应符合表1的规定。

**6.2.11** 地下连续墙的槽段接缝是防水的薄弱环节，根据国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108-2008中第8.3.2条第7款规定，幅间接缝应选用工字钢或十字钢板接头，锁口管应能承



受混凝土灌注时的侧压力，灌注混凝土时不得发生移位和混凝土绕管。

表 1 地下连续墙墙面、墙缝渗漏水检验

序号	检验项目		规 定	检验数量		检验方法
				范围	点数	
1	墙面 渗漏	分离墙	无线流	每 幅 槽 段	全数	尺量、观察和检查 隐蔽工程验收记录
		单层墙或 叠合墙	无滴漏和小于防水 二级标准的湿渍			
2	墙缝 渗漏	分离墙	仅有少量泥砂 和水渗漏			观察和检查隐蔽 工程验收记录
		单层墙或 叠合墙	无可见泥砂 和水渗漏			

6.2.12 需要开挖一侧土方的地下连续墙，尚应在开挖后检查混凝土质量。由于地下连续墙是采用导管法施工，在泥浆中依靠混凝土的自重浇筑而不进行振捣，所以混凝土质量不如在正常条件下浇筑的质量。

为保证使用要求，裸露的地下连续墙墙面如有露筋、露面和夹泥现象时，需按设计要求对墙面、墙缝进行修补或防水处理。

6.2.13 本条参考国家标准《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299 - 1999 第 4.9.2 条的有关规定。

### 6.3 盾 构 隧 道

6.3.1 盾构法施工的隧道，宜采用钢筋混凝土管片、复合管片、砌块等装配式衬砌或现浇混凝土衬砌。装配式衬砌应采用防水混凝土制作。

6.3.2 本条是针对不同防水等级的盾构隧道衬砌，确定相应的防水措施。

当隧道处于侵蚀性介质的地层时，应采用相应的耐侵蚀混凝土或耐侵蚀的防水涂层。采用外防水涂料时，应按表 6.3.2 规定



采取“应选”或“宜选”。

**6.3.3** 第1款增加了对管片混凝土氯离子扩散系数的设计要求,符合《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476-2008第3.4节耐久性规定。鉴于国内对处于侵蚀性地层的隧道衬砌的检测标准尚无正式规定,因而在验收条文中也不作具体规定。

第2款是按《盾构法隧道施工与验收规范》GB 50446-2008第6.7.2条有关规定作了修改,管片外观质量不允许有严重缺陷,存在一般缺陷的管片应由生产厂家按技术规定处理后重新验收。

当管片表面出现缺棱掉角、混凝土剥落、大于0.2mm宽的裂缝或贯穿性裂缝等缺陷时,必须进行修补。管片的修补材料规定采用与管片混凝土同等以上强度的砂浆或特种混凝土,可保证衬砌管片的整体强度统一,对结构受力有益。

第3款是在工厂预制的钢筋混凝土管片,为满足隧道衬砌防水要求而制定了管片制作的质量标准。

**6.3.4** 原规范规定“钢筋混凝土管片同一配合比每生产5环应制作抗压强度试件一组,每10环制作抗渗试件一组”,是按《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299-1999第8.11.3条有关规定提出的。按上海市工程建设规范《市政地下工程施工质量验收规范》DG/TJ 08-236-2006第9.3.6条的规定,由于试件的取样及留置组数比较合理,故该条直接被本规范引用。

**6.3.5** 原规范规定“管片每生产两环应抽查一块做检漏测试。若检验管片中有25%不合格时,应按当天生产管片逐块检漏”。条文的内容虽然简单,但可操作性不强,不少管片生产厂家提出意见。现按《盾构法隧道施工与验收规范》GB 50446-2008第16.0.6条的有关规定。根据国内管片检漏的设备水平,提出了“管片外表在0.8MPa水压力下,恒压3h,渗水进入管片外背高度不得超过50mm”的单块管片检漏标准。以前恒压时间只规定2h,但考虑到目前单块管片的检漏压力只能达到0.8MPa,而埋深超过20m的轨道交通隧道会越来越多,因此恒压时间延长至3h,以弥补单块管片检漏压力限值的缺憾。渗水进入管片外背



高度不得超过 50mm，可确保渗水不会到达钢筋表面，不会对钢筋的耐久性产生不良影响。

**6.3.6** 钢筋混凝土管片接缝防水，主要依靠防水密封垫，所以对密封垫的设置和粘贴施工提出了具体规定。同时，管片拼装前应逐块对粘贴的密封垫进行检查，在管片吊装的过程中要采取措施，防止损坏密封垫。针对采用遇水膨胀橡胶作为防水密封垫的主要材质或遇水膨胀橡胶为主的复合密封垫时，为防止其在管片拼装前预先膨胀，应采取延缓膨胀的措施。

**6.3.7** 管片接缝防水除粘贴密封垫外，还应进行嵌缝防水处理，为防止嵌缝后产生错裂现象，规定嵌缝应在隧道结构基本稳定后进行。另外，由于湿固化嵌缝材料的应用，嵌缝前基面只要求达到无明显渗水即可。

**6.3.8** 密封剂主要为不易流失的掺有填料的黏稠注浆材料以减少流失。同时，为了发挥浆液的堵漏止水功效，应对浆液的注入范围采取限制措施。

**6.3.9** 螺孔为管片接缝的另一渗漏途径，同样应提出防水措施。

**6.3.10** 本条参考了上海市工程建设规范《市政地下工程施工质量验收规范》DG/TJ 08-236-2006 第 3.2.7 条的规定，将原规范“应按每连续 20 环抽查 1 处，每处为 1 环，且不得少于 3 处”，修改为“应按每连续 5 环抽查 1 环，且不得少于 3 环”。

**6.3.11** 盾构隧道衬砌管片接缝防水主要采用弹性密封材料。本规范附录第 A.3 节规定了弹性橡胶密封垫材料和遇水膨胀密封垫胶料的主要物理性能。其中，弹性橡胶密封垫材料的性能指标是参考目前国内盾构隧道密封垫设计中的通常要求；遇水膨胀密封垫胶料的性能指标是参考《高分子防水材料 第 3 部分 遇水膨胀橡胶》GB 18173.3-2002 的规定。

**6.3.12** 混凝土抗压试件的试验方法应符合《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081-2002 的有关规定；混凝土抗渗试件的试验方法应符合《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082-2009 的有关规定。混凝土强度的评定还



应符合《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 - 2010 的规定。

6.3.13 盾构隧道衬砌渗漏水量检验应符合表 2 的规定。

表 2 盾构隧道衬砌渗漏水检验

序号	检验项目			规 定	检验数量		检验方法	
					范围	点数		
1	整条隧道	隧道渗漏	隧道渗漏量 局部湿迹与渗漏量	符合设计要求	整条隧道任意100m <sup>2</sup>	1次~2次 2次~4次	尺量、设临时围堰储水检测	
2	管片混凝土	直径8m以下隧道	强度等级	符合设计要求	每10环	制作抗压试件一组	检查试验报告、质量评定记录	
		直径8m以上隧道			每5环	制作抗压试件一组		
3		直径8m以下隧道	抗渗等级		每30环	制作抗渗试件一组		
		直径8m以上隧道			每10环	制作抗渗试件一组		
4		外防水涂层性能指标			整条隧道	1次		
5	管片接缝	直径8m以下隧道	密封垫	符合设计要求	常规指标每400环~500环	1次	检查产品合格证、质保单及抽样检验报告	若设计要求整环或局部嵌缝,则嵌缝材料的检查频率与方法同管片接缝其他防水材料
					全性能检测整条隧道	1次~2次		
		直径8m以上隧道			常规指标每200环~250环	1次		
					全性能检测整条隧道	2次~3次		



续表 2

序号	检验项目		规 定	检验数量		检验方法
				范围	点数	
6	隧道与井接头、隧道与连接通道接头	密封材料	符合设计要求	隧道与井、隧道与连接通道各一组接头	1 次	检查产品合格证、质保单及抽样检验报告
7	连接通道	防水混凝土、塑料防水板等外防水材料或聚合物水泥防水砂浆等内防水材料	符合设计要求	每个连接通道	1 次	检查产品合格证、质保单及抽样检验报告

**6.3.14** 管片应至少设置一道密封垫沟槽。接缝密封垫宜选择具有合理的构造形式、良好弹性或遇水膨胀性、耐久性的橡胶类材料，其外形应与沟槽相匹配。

管片接缝密封垫应完全压入密封垫沟槽内，密封垫沟槽的截面积应大于或等于密封垫的截面积。接缝密封垫应满足在计算的接缝最大张开量和估算的错位量及埋深水头的 2 倍~3 倍水压力不渗漏的技术要求。

**6.3.16** 鉴于目前管片嵌缝槽的断面构造形式已趋于集中，并对槽的深、宽尺寸及其关系加以定量的规定。管片嵌缝槽与地面建筑、道路工程变形缝嵌缝槽不同，因嵌缝材料在背水面防水，故嵌缝槽槽深应大于槽宽；由于盾构隧道衬砌承受水压较大，相对变形较小，因而嵌缝材料应采用中、高弹性模量类的防水密封材料，有时可采用特殊外形的预制密封件为主、辅以柔性密封材料或扩张型材料构成复合密封件。

**6.3.17** 管片嵌缝作业应在接缝堵漏和无明显渗水后进行，嵌缝槽表面混凝土如有缺损，应采用聚合物水泥砂浆或特种水泥修补，强度应达到或超过混凝土本体的强度。嵌缝材料嵌填时，应先刷涂基层处理剂，嵌缝应密实、平整。



**6.3.18** 钢筋混凝土管片拼装成环时，其连接螺栓应先逐片初步拧紧，脱出盾尾后再次拧紧。当后续盾构掘进至每环管片拼装之前，应对相邻已成环的 3 环范围内管片螺栓进行全面检查并复紧。

管片拼装后，应填写“盾构管片拼装记录”，并按管片的环向及纵向螺栓应全部穿进并拧紧的规定进行检验。

## 6.4 沉 井

**6.4.3** 干封底混凝土达到设计强度后，集水井需最后封堵，掺防水剂、膨胀剂的混凝土或掺水泥渗透结晶型防水材料的混凝土防裂抗渗性能好，宜作为填充材料应用。

**6.4.4** 水下封底混凝土的浇筑导管有效作业的半径应互相搭接，并覆盖井底全部面积，浇筑应连续均匀进行。混凝土浇筑时导管插入混凝土深度不宜小于 1mm，混凝土平均升高速度不宜小于 0.25m/h。

**6.4.6** 本条对沉井分项工程检验批的抽样检验数量作出规定。

**6.4.7** 参见本规范第 4.1.14 条的条文说明。

**6.4.8** 参见本规范第 4.1.15 条的条文说明。

**6.4.9** 沉井井壁、墙缝渗漏水检验应符合表 3 规定。

表 3 沉井井壁、墙缝渗漏水检验

序号	检验项目	规 定	检验数量		检验方法
			范围	点数	
1	井壁渗漏	无明显渗水和小于防水二级标准的湿渍	每两条水平施工缝之间的混凝土	10 (均布)	尺量、观察和检查隐蔽工程验收记录
2	井壁接缝渗漏				尺量、观察和检查隐蔽工程验收记录
3	底板渗漏		底板混凝土	10 (均布)	尺量、观察和检查隐蔽工程验收记录
4	底板与井壁或框架梁接缝				尺量、观察和检查隐蔽工程验收记录



## 6.5 逆筑结构

**6.5.1** 本节适用于地下连续墙为主体结构或地下连续墙与内衬构成复合式衬砌的逆筑法施工。

**6.5.2** 直接采用地下连续墙作围护的逆筑结构，无疑对降低工程造价、缩短工期、充分利用地下空间都极为有利。但由于地下连续墙的钢筋混凝土是在泥浆中浇筑的，影响混凝土质量的因素较多，从耐久性设计规定考虑较为不利。《地下工程防水技术规范》GB 50018-2008 第 8.3.2 条第 1 款规定：“单层地下连续墙不应直接用于防水等级为一级的地下工程墙体。”

**6.5.3** 采用地下连续墙与内衬构成复合式衬砌的逆筑结构，为确保地下工程防水等级达到一、二级标准，逆筑法施工时必须处理好施工接缝的防水。施工接缝与顶板、中楼板的距离要大些，否则不便于接缝处的混凝土浇筑施工。施工接缝应做成斜坡形；一次浇筑施工接缝时，由于混凝土沉降收缩，干燥收缩等原因会在该处形成裂缝，造成渗漏水隐患。施工接缝处应采用二次浇筑，后浇混凝土应采用补偿收缩混凝土；施工接缝处宜设遇水膨胀止水条或止水胶、预埋注浆管作为防水设防。

**6.5.4** 参见本规范第 6.2.5 条的条文说明。

**6.5.7** 本条对逆筑结构分项工程检验批的抽样检验数量作出规定。

**6.5.10** 逆筑结构侧墙、墙缝渗漏水检验应符合表 4 的规定。

表 4 逆筑结构侧墙、墙缝渗漏水检验

序号	检验项目	规 定	检验数量		检验方法
			范围	点数	
1	侧墙渗漏	根据不同的防水等级，达到相应的防水指标	每两条侧墙施工缝之间的混凝土	10 (均布)	尺量、观察和检查隐蔽工程验收记录
2	墙缝渗漏	根据不同的防水等级，达到相应的防水指标	混凝土每条逆筑施工接缝		尺量、观察和检查隐蔽工程验收记录



## 7 排水工程

### 7.1 渗排水、盲沟排水

**7.1.1** 渗排水及盲沟排水是采用疏导的方法,将地下水有组织地经过排水系统排走,以削弱水对地下结构的压力,减小水对结构的渗透作用,从而辅助地下工程达到降低地下水位和防水目的。

渗排水是将地下工程结构底板下排水层渗出的水通过集水管流入集水井内,然后采用专用水泵机械排水。盲沟排水一般设在建筑物周围,使地下水流入盲沟内,根据地形使水自动排走。如受地形限制没有自流排水条件时,可将水引到集水井中用泵抽出。

**7.1.2** 本条介绍渗排水层的构造、施工程序及规定,渗排水层对材料来源还应做到因地制宜。

为使渗排水层保持通畅,充分发挥其渗水作用,对砂石颗粒、砂石含泥量以及粗砂过滤层厚度均作了规定;构造上还规定在工程底板与渗排水层之间应做隔浆层,防止渗排水层堵塞。

**7.1.3** 盲沟的断面尺寸应根据地下水流量大小和构造上的需要确定,一般断面宽度不小于300mm,高度不小于400mm。断面过小时,盲沟宜被泥石淤塞,而失去排水效能。盲沟与基础最小距离的设计应根据工程地质情况选定。盲沟内填入的砂、石必须清洁,如砂、石含有过量泥土,就会堵塞盲沟。

本条对盲沟反滤层的层次和粒径组成作出了规定。

**7.1.4** 地基工程验收合格是保证渗排水、盲沟排水施工质量的前提。

**7.1.5** 无砂混凝土管通常均在施工现场制作,应注意检查无砂混凝土配合比和构造尺寸。



普通硬塑料管一般选用内径为 100mm 的硬质 PVC 管,壁厚 6mm,沿管周六等分,间隔 150mm 钻 12mm 孔眼,隔行交错制成透水管。

软式透水管是以经防腐处理并外覆聚氯乙烯或其他材料保护层的弹簧钢丝圈作为骨架,以渗透性土工织物及聚合物纤维编织物为管壁包裹材料,组成的一种复合型土工合成管材,适用于地下工程排出渗透水、降低地下水位及水土保持。软式透水管的质量应符合现行行业标准《软式透水管》JC 937 的有关规定。

**7.1.6** 本条对渗排水、盲沟排水分项工程检验批的抽样检验数量作出规定。

**7.1.7** 在工程中常采用盲沟排水来控制地下水和渗流,以减少对地下建筑物的危害。反滤层是工程降排水设施的重要环节,应正确做好反滤层的颗粒分级和层次排列,使地下水流畅而土壤中细颗粒不流失。

本条规定盲沟反滤层的层次和粒径组成必须符合设计要求。砂、石应洁净,含泥量不得大于 2%,必要时应采取冲洗方法,使砂石含泥量符合规定要求。

**7.1.8** 集水管应设在粗砂过滤层下部,坡度不宜小于 1%,且不得有倒坡现象。集水管之间的距离宜为 5m~10m。

**7.1.9** 渗排水层应设置在工程结构底板下面,由粗砂过滤层与集水管组成,其顶面与结构底面之间,应干铺一层卷材或抹 30mm~50mm 厚 1:3 水泥砂浆作隔浆层。

**7.1.10** 渗排水层总厚度一般不得小于 300mm。如较厚时应分层铺填,每层厚度不得超过 300mm。同时还应做到铺平和拍实。

**7.1.11** 盲沟的构造类型及盲沟与基础的最小距离,应根据工程地质情况由设计人员选定。

**7.1.12** 平接式集水管接口处应留 30mm 空隙,外围 100mm 宽塑料排水板包无纺布一层,用 20 号镀锌钢丝绕紧。承插式集水管承插口应填水泥砂浆,无砂浆处包浸煤焦油麻布。管材种类和管口接法应按工程设计综合考虑,故本条提出接口应连接牢固,



不得扭曲变形和错位。

## 7.2 隧道排水、坑道排水

**7.2.1** 隧道排水、坑道排水是采用各种排水措施,使地下水能顺着预设的各种管沟被排到工程外,以降低地下水位和减少地下工程中的渗水量。

贴壁式衬砌采用暗沟或盲沟将水导入排水沟内,盲沟宜设在衬砌与围岩之间,而排水暗沟可设置在衬砌内。

复合式衬砌除纵向盲管设置在塑料防水板外侧并与缓冲排水层连接畅通外,其他均与贴壁式衬砌的要求相同。

离壁式衬砌的拱肩应设置排水沟,沟底预埋排水管或设排水孔,在侧墙和拱肩处应设检查孔。侧墙外排水沟应做明沟。

**7.2.2** 排水泵站的设置以及泵站、集水池的有效容积设计,与隧道或坑道消防排水、汛期排水等有密切关系,应注意相关专业的验收规定。

**7.2.3** 本条提到污水排放应符合国家现行有关标准的规定。

**7.2.4** 本条是对国防工程、人防工程等有特殊要求的地下工程提出的。

**7.2.5** 本条第1款规定是适用于围岩地下水量较少、出露比较集中的隧道,但也应注意隧道衬砌修好后围岩水文状况还会改变的地段。

第2款规定围岩地下水量较大、出露面广时,除出露处应该设置环向盲沟,包括拱部的环向盲沟、墙部的竖向盲沟和路面下的横向排水沟组成的环外,还应按水量大小、出露面广度,控制环向盲沟的间距,一般宜为10m~30m,以适应衬砌施工后衬砌背后水文状况的改变。必要时,设置竖向盲沟顶的集水钻孔。设置纵向盲沟,可使环向盲沟之间的水也能得到通畅的疏导。

第3款规定当地下水水压较高、水量很大,仅依靠暗沟和中心深埋水沟已不足以排泄丰富的地下水时,就要对衬砌形成水压而造成渗漏水,故应根据实际情况利用或设置辅助坑道、泄水洞



等作为截、排水措施，降低地下水位，尽可能使隧道处于地下水位线以上。

**7.2.6** 环向、纵向盲管宜采用软式透水管；横向导水管宜采用带孔混凝土管或硬质塑料管；隧道底板下与围岩接触的中心盲沟或盲管宜采用无砂混凝土管或渗水盲管，并应设置反滤层；仰拱以上的中心盲管宜采用带孔混凝土管或硬质塑料管。

**7.2.7** 为了排水的需要，排水明沟的纵向坡度应尽可能与隧道或坑道坡度一致，避免加深或减小边沟深度，保持流水沟的正常断面；困难地段隧道排水明沟的最小流水坡度不得小于 0.2%。在隧道路线纵坡变坡的分坡范围内，由于是流水起始点，流量一般不大，且分坡范围的距离一般不长，减小坡顶水沟深度可作为特殊情况处理。

排水沟断面应根据水力计算确定。必要时，排水沟应设置沉砂井、检查井，并铺设盖板，其位置和结构构造应考虑便于清理和检查。

**7.2.8** 隧道围岩稳定和防潮要求高的工程可设置离壁式衬砌，衬砌与岩壁间的距离：拱顶上部宜为 600mm~800mm；侧墙处不应小于 500mm，主要为便于人员检查和维护而定。为加强拱部防水效果，工程上一般采用防水砂浆、塑料防水板、卷材等防水层；拱肩应设置排水沟，沟底应预埋排水管或设置排水孔；侧墙外排水沟应做成明沟，其纵向坡度不应小于 0.5%。

**7.2.9** 本条对隧道排水、坑道排水分项工程检验批的抽样检验数量作出规定。

**7.2.10** 参见本规范第 7.1.7 条的条文说明。

**7.2.11** 作为隧道、坑道衬砌外壁的排水盲管和衬砌内壁的导水盲管，可有多种制品供设计和施工选择，应注意其制品是否有企业标准，并按其标准检验质量。

**7.2.12** 隧道防排水应视水文地质条件因地制宜地采取“以排为主，防、排、截、堵相结合”的综合治理原则，达到排水通畅、防水可靠、经济合理、不留后患的目的。“防”是指衬砌抗渗和



衬砌外围防水,包括衬砌外围防水层和压浆。“排”是指使衬砌背后空隙及围岩不积水,减少衬砌背后的渗水压力和渗水量。为此,对表面水、地下水应采取妥善的处理,使隧道内外形成一个完整的畅通的防排水系统。一般公路隧道应做到:1 拱部、边墙不滴水;2 路面不冒水、不积水,设备箱洞处均不渗水;3 冻害地区隧道衬砌背后不积水,排水沟不冻结。

隧道、坑道排水是按不同衬砌排水构造采取各种排水措施,将地下水和地面水引排至隧道以外。为了排水的需要,隧道一般应设置纵向排水沟、横向排水坡、横向排水暗沟或盲沟等排水设施。排水沟必须符合设计要求,隧道、坑道排水系统必须畅通,以保证正常使用和行车安全。

**7.2.13** 贴壁式、复合式衬砌排水构造是由纵向盲管、横向导水管、排水明沟、中心盲沟等组成。纵向盲管的坡度应符合设计要求,当设计无要求时,其坡度不得小于0.2%;横向导水管的坡度宜为2%;排水明沟的纵向坡度不得小于0.2%。铁路、公路隧道长度大于200m时,宜设双侧排水沟,纵向坡度应与线路坡度一致,且不得小于0.2%;中心盲沟的纵向坡度应符合设计要求。

纵向盲管的直径应根据围岩或初期支护的渗水量确定,但不得小于100mm;横向导水管的直径应根据排水量大小确定,但不得小于50mm;横向导水管的间距宜为5m~25m;中心盲管的直径应根据渗排水量大小确定,但不宜小于250mm。

**7.2.14** 参见本规范第7.2.7条和第7.2.8条的条文说明。

**7.2.15** 盲管应采用塑料带或无纺布和水泥钉固定在基层上,固定点间距:拱部宜为300mm~500mm,边墙宜为1000mm~1200mm,在不平处应增加固定点。

环向、纵向盲管接头部位要连接好,使汇集的地下水顺利排出。目前盲管生产厂家都配套生产了标准接头、异径接头和三通等,为施工创造了条件,施工中应尽量采用标准接头,以提高排水工程质量。



**7.2.16** 在贴壁式衬砌和无塑料板防水层段的复合式衬砌中铺设的盲沟或盲管，在施工混凝土衬砌前，均应用塑料布或无纺布包裹起来，以防混凝土中的水泥砂浆堵塞盲沟或盲管。

### **7.3 塑料排水板排水**

**7.3.1** 无自流排水条件且防水要求较高的地下工程，可采用渗排水、盲沟排水、盲管排水、塑料排水板或机械抽水等排水方法。塑料排水板可用于地下工程底板与侧墙的室内明沟、架空地板排水以及地下工程种植顶板排水，还可用于隧道或坑道排水。塑料排水板与土工布结合，可替代传统的陶粒或卵石滤水层，并具有较高的抗压强度和排水、透气等功能。

**7.3.2** 塑料排水板是 HDPE 为主要原料，通过三层共挤在熔融状态下经真空吸塑和对辊辊压成型工艺制成的新型材料，具有立体空间和一定支撑高度的新型排水材料。塑料排水板的单位面积质量和支点高度应根据设计荷载和流水通量来确定。

**7.3.3** 本条第 1、2 款是塑料排水板在地下工程底板和侧墙中的应用。将排水板支点朝下或朝内墙，支点内灌入混凝土，可起到永久性模板作用；同时，塑料排水板与底板或内墙形成一个密封的空间，能及时地排出底板或内墙渗出的水分，起到防潮、排水、隔热、保温的作用。

第 3 款是塑料排水板在地下工程种植顶板的应用。将塑料排水板支点朝上，排水板上面覆一层土工布，防止泥水流到排水板内，保持排水畅通。

第 4 款是塑料排水板在隧道或坑道中的应用。在初期衬砌洞壁上先铺设一层土工布，防止泥水流到排水板内，保持排水畅通；将塑料排水板支点朝向洞壁，连续的排水板形成的密闭排水层，可将隧道或坑道围岩的裂隙水顺畅地引入排水盲沟。

**7.3.4** 塑料排水板搭接缝主要有热熔焊接、支点搭接和胶粘剂粘结等搭接工艺。塑料排水板采用双焊缝热熔焊接，适用于地下工程种植顶板中排水层兼耐根穿刺防水层，其焊接质量应符合本



规范第 4.5.9 条的规定；塑料排水板采用 1 个~2 个支点搭接或胶粘剂，可使排水板形成一个整体，而透过塑料排水板的少量渗漏水则可从防水层表面与塑料排水板凹槽间流出。

**7.3.5** 种植顶板有时因降水形成滞水，当积水上升到一定高度并浸没植物根系时，可能会造成根系的腐烂。本条规定了种植顶板种植土若低于周边土体，排水层必须与排水沟或盲沟配套使用，并按情况分区设置，保证其排水畅通。

**7.3.6** 土工布是过滤层材料，应空铺在塑料排水板的支点上。土工布宜采用  $200\text{g}/\text{m}^2 \sim 400\text{g}/\text{m}^2$  的聚酯无纺布，其搭接宽度不应小于 200mm。土工布可起挡土、滤水、保湿作用，使过滤的多余清水在塑料排水板面上排出。土工布铺设不必考虑方向，搭接部位应采用粘合或缝合，防止回填种植土时将土工布接缝扯开，使土粒堵塞排水层。回填土属黏性土时，宜在土工布上先铺设 5mm~10mm 粗砂再覆土，避免土工布板结，保障其透水性。

**7.3.7** 本条对塑料排水板排水分项工程检验批的抽样检验数量作出规定。

**7.3.8** 塑料排水板和土工布的质量要求，应符合现行行业标准《种植屋面工程技术规程》JGJ 155 的有关规定。

**7.3.9** 塑料排水板排水，可削弱地表水、地下水对地下结构的压力并减少水对结构的渗透。有自流排水条件的地下工程，可采用自流排水法，无自流排水条件的地下工程，可采用明沟或集水井和机械抽水等排水方法，故本条规定塑料排水板排水层必须与排水系统连通，不得有堵塞现象。



## 8 注浆工程

### 8.1 预注浆、后注浆

8.1.1 注浆按地下工程施工顺序可分为预注浆和后注浆。注浆方案应根据工程地质及水文地质条件，按下列规定选择：

1 在工程开挖前，预计涌水量较大的地段、软弱地层，宜采用预注浆；

2 开挖后有大股涌水或大面积渗漏水时，应采用衬砌前围岩注浆；

3 衬砌后渗漏水严重或充填壁后空隙的地段，宜进行回填注浆；

4 回填注浆后仍有渗漏水时，宜采用衬砌后围岩注浆。

上述所列各款可单独进行，也可按工程情况综合采用，确保地下工程达到设计的防水等级标准。

8.1.2 由于国内注浆材料的品种多、性能差异大，事实上目前还没有哪一种浆材能全部满足工程需要，所以要熟悉掌握各种浆材的特性，并根据工程地质、水文地质条件、注浆目的、注浆工艺、设备和成本等因素加以选择。

8.1.3 本条列举了用于预注浆和后注浆的三种常用方法，供工程上参考。

1 渗透注浆不破坏原土的颗粒排列，使浆液渗透扩散到土粒间的孔隙，孔隙中的气体和水分被浆液固结体排除，从而使土壤密实达到加固防渗的目的。渗透注浆一般用于渗透系数大于  $10^{-5}$  cm/s 的砂土层。

2 劈裂注浆是在较高的注浆压力下，把浆液渗入到渗透性小的土层中，并形成不规则的脉状固结物。由注浆压力而挤密的土体与不受注浆影响的土体构成复合地基，具有一定的密实性和



承载能力。劈裂注浆一般用于渗透系数不大于  $10^{-6}$  cm/s 的黏土层。

3 高压喷射注浆是利用钻机把带有喷嘴的注浆管钻进至土中的预定位置，以高压设备使浆液成为高压流从喷嘴喷出，土粒在喷射流的作用下与浆液混合形成固结体。高压喷射注浆的浆液以水泥类材料为主、化学材料为辅。高压喷射注浆可用于加固软弱地层。

8.1.4 注浆材料包括了主剂和浆液中掺入的各种外加剂。主剂可分为颗粒浆液和化学浆液两种。颗粒浆液主要包括水泥浆、水泥砂浆、黏土浆、水泥黏土浆以及粉煤灰、石灰浆等；化学浆液常用的有聚氨酯类、丙烯酰胺类、硅酸盐类、水玻璃等。

在隧道工程注浆中，常用颗粒浆液先堵塞大的孔隙，再注入化学浆液，既经济又起到注浆的满意效果。壁后回填注浆因为起填充作用，所以尽量采用颗粒浆液。各种浆液配合比必须根据注浆效果现场试验确定。

8.1.5 对本条说明如下：

1 注浆压力能克服浆液在注浆管内的阻力，把浆液压入隧道周边地层中。如有地下水时，其注浆压力尚应高于地层中的水压，但压力不宜过高。由于注浆浆液溢出地面或超出有效范围之外，会给周边建筑结构带来不良影响，所以应严格控制注浆压力。

2 回填注浆时间的确定，是以衬砌能否承受回填注浆压力作用为依据的，避免结构过早受力而产生裂缝。回填注浆压力一般都小于 0.8MPa，因此规定回填注浆应在衬砌混凝土达到设计强度的 70% 后进行。

为避免衬砌后围岩注浆影响浆液固结体，因此规定衬砌后围岩注浆应在回填注浆浆液固结体达到设计强度的 70% 后进行。

3 隧道地面建筑多，交通繁忙，地下各种管线纵横交错，一旦浆液溢出地面和超出有效注浆范围，就会危及建筑物或地下管线的安全。因此，注浆过程中应经常观测，出现异常情况应立即



即采取措施。

在地面进行垂直注浆后，为防止坍孔造成地面下降，规定注浆后应用砂子将注浆孔封填密实。

4 浆液的注浆压力应控制在有效范围内，如果周围的建筑物与被注点距离较近，有可能发生地面隆起、墙体开裂等工程事故。所以，在注浆作业时要定期对周围的建筑物和构筑物以及地下管线进行施工监测，保证施工安全。

5 注浆浆液特别是化学注浆浆液，有的有一定的毒性。为防止污染地下水，施工期间应定期检查地下水的水质。

8.1.6 本条对注浆工程分项工程检验批的抽样检验数量作出规定。

8.1.7 几乎所有的水泥都可以作为注浆材料使用，为了达到不同的注浆规定，往往在水泥中加入外加剂和掺合料，这样不仅扩大了水泥注浆材料的应用范围，也提高了固结体的技术性能。由于水泥和外加剂的品种较多，浆液的组成较复杂，所以有必要对进场后的注浆材料进行抽查检验。

8.1.8 注浆结束前，为防止开挖时发生坍塌或涌水事故，必须对注浆效果进行检验。通常是根据注浆设计、注浆记录、注浆结束标准，在分析各种注浆孔资料的基础上，按设计要求对注浆薄弱部位进行钻孔取芯检查，检查浆液扩散和固结情况。有条件时还可进行压力或抽水试验，检查地层吸水率或透水率，计算渗透系数及开挖时的出水量。

8.1.9 预注浆钻孔应根据岩层裂隙状态、地下水情况、设备能力、浆液有效扩散半径、钻孔偏斜率和对注浆效果的规定等，综合分析后确定注浆孔数、布孔方式及钻孔角度等注浆参数的设计。后注浆钻孔应根据围岩渗漏水或回填注浆后仍有渗漏水情况确定。

8.1.10 注浆压力是浆液在裂隙中扩散、充填、压实、脱水的动力。注浆压力太低，浆液不能充填裂隙，扩散范围受到限制而影响注浆质量；注浆压力过大，会引起裂隙扩大、岩层移动和抬



高，浆液易扩散到预定范围之外。特别在浅埋隧道还会引起地表隆起，破坏地面设施。因此本条规定注浆各阶段的控制压力和注浆量应符合设计要求。

**8.1.11** 浆液沿注浆管壁冒出地面时，宜用水泥、水玻璃混合料封闭管壁与地表面孔隙或用栓塞进行密封，并间隔一段时间后再进行下一深度的注浆。

在松散的填土地层注浆时，宜采用间歇注浆、增加浆液浓度和速凝剂掺量、降低注浆压力等方法。

当浆液从已注好的注浆孔中冒出时，应采用跳孔施工。

**8.1.12** 当工程处于房屋和重要工程的密集段时，施工中应会同有关单位采取有效的保护措施，并进行必要的施工监测，以确保建筑物及地下管线的正常使用和安全运营。

## **8.2 结构裂缝注浆**

**8.2.1** 混凝土结构裂缝严重影响工程结构的耐久性，随着我国经济建设的发展，化学注浆在该领域的应用技术不断创新，有许多成功实例，可满足结构正常使用和工程的耐久性规定。

本条提出结构裂缝注浆的适用范围，宽度大于 0.2mm 的静止裂缝以及贯穿性裂缝均是混凝土结构的有害裂缝，应采用堵水注浆，符合混凝土结构设计要求。

**8.2.2** 对于以混凝土承载力为主的受压构件和受剪构件，往往会出现原结构与加固部分先后破坏的各个击破现象，致使加固效果很不理想或根本不起作用。所以混凝土结构加固时，为适应加固结构应力、应变滞后现象，特别要求裂缝注浆应待结构基本稳定和混凝土达到设计强度后进行。

**8.2.3** 化学注浆材料为真溶液，与掺有膨润土、粉煤灰的水泥灌浆材料相比，可灌性好，胶凝时间可按工程需要调节，粘结强度高。因此，某些工程用水泥灌浆不能解决的问题，采用化学注浆材料处理或进行复合灌浆，基本上都可以满意的解决。注浆材料注入裂缝深部，达到恢复结构的整体性、耐久性及防水性的



目的。

化学浆材按其功能与用途可分为防渗堵漏型和加固补强型，但两种类型的化学浆材其功能并非完全分开。聚氨酯虽有较好的堵水效果，而因强度低，不具备对混凝土的补强作用。但聚氨酯中强度较高的油溶性聚氨酯可用于非结构性混凝土裂缝补强；亲水性较好且固化较快的改性环氧浆材对渗流量小的混凝土结构裂缝具有堵水补强功能，但出水量较大的工程不宜用作堵水材料。所以，在实际应用中应根据工程情况合理的选用浆材。

注浆材料的选用与结构裂缝宽度、渗水量大小、常年性渗漏还是季节性渗漏、是否有补强要求等有关。当水量较大时，可选用聚氨酯浆液，水溶性聚氨酯具有流动性好、二次渗透、发泡快等特点，非常适合快速注浆堵水；当水量小时，可选择超细水泥注浆；当结构有补强要求时，可选用环氧树脂或水泥—水玻璃浆液注浆；当渗水较少但空洞大时，可先用水泥浆填充，然后再用化学浆液封堵。

**8.2.4** 注浆工艺和正确选用注浆设备是裂缝注浆的关键。本条参考了《混凝土结构加固技术规范》CECS25:90的有关规定，介绍裂缝注浆施工的工艺流程，便于施工过程中对质量的控制。要保障注浆工程的处理效果和提高使用的耐久性，首先要对处理工程的使用要求、使用环境和工程的实际状况进行综合分析，正确选用合适的浆材，并要结合选用浆材的特性和工程实际状况制定行之有效的施工方案和工艺，选用合适的注浆设备精心施工，才能达到预期的效果。

**8.2.5** 本条对结构裂缝注浆分项工程检验批的抽样检验数量作出规定。

**8.2.6** 对本条说明如下：

1 聚氨酯灌浆材料是以多异氰酸酯与多羟基化合物聚合反应制备的预聚体为主剂，通过灌浆注入基础或结构，与水反应生成不溶于水的具有一定弹性或强度固结体的浆液材料。产品按原材料组成为两类：水溶性聚氨酯灌浆材料，代号 WPU；油溶



性聚氨酯灌浆材料，代号 OPU。

2 环氧树脂灌浆材料是以环氧树脂为主剂加入固化剂、稀释剂、增韧剂等组分所形成的 A、B 双组分商品灌浆材料。A 组分是以环氧树脂为主的体系，B 组分为固化体系。环氧树脂灌浆材料（代号 EGR），按初始黏度分为低黏度型（L）和普通型（N）。

高渗透改性环氧材料的应用面在扩大，高渗透改性环氧材料是指具有优异渗透性、可灌性的改性环氧材料，能渗入微米级的岩土孔隙、裂缝，在自然状态下能在混凝土表面通过毛细管道、微孔隙和肉眼看不见的微细裂纹渗入混凝土内，能在压力下灌入渗透系数为  $10^{-6} \text{ cm/s} \sim 10^{-8} \text{ cm/s}$  的低渗透软弱地层或夹泥层中。我国研发出了如“中化-798-Ⅲ高渗透改性环氧化灌浆材”第三代产品，而且结合工程实际，形成了混凝土专用的防腐、防水、补强、粘结的系列产品，具有高渗透性和优异的力学性能及耐老化性能。

8.2.7 结构裂缝注浆质量检查，一般可采用向缝中通入压缩空气或压力水检验注浆密实情况，也可钻芯取样检查浆体的外观质量，测试浆体的力学性能。封缝养护至一定强度应进行压水或压气检查，压水时可采用掺高锰酸钾、荧光黄试剂的颜色水。压水或压气所用压力不得超过设计注浆压力。

对设计有补强要求的工程，必须进行现场取芯试验，取芯方法如下：

1 起始芯：在第 1 个 25 延米注浆完成后，钻取直径 50mm 的起始芯。芯样由监理工程师指定位置钻取，其钻取深度为裂缝的深度。起始芯要有专用储存箱、按设计要求养护；注意了解和遵从业主对试件附加的要求和测试内容。

2 起始芯和质量见证芯的试验方法：渗透性为直观检验；粘结强度或抗压强度试验可采用混凝土常规法。

3 起始芯测试环氧树脂渗透的程度和粘结强度。其试验规定：渗透性以裂缝深度的 90% 充满环氧树脂浆液固结体为合格；



当有补强要求而检测粘结强度时，应不在粘结面破坏。

4 试验的评定和验收规定：起始芯通过上述试验，达到标准数值，则说明这一区域的注浆作业得以验收；如果起始芯的渗透性和粘结强度测试不合格，则必须分析原因，补充注浆，重新检测，直到符合规定为止；不合格起始芯区域，返工之后，由监理工程师指定的位置钻取“见证芯”，重新按 3 和 4 的规定检测。

5 取芯孔应在得到监理工程师的允许后进行充填。

有关补强加固的结构裂缝注浆效果，应按《混凝土结构加固设计规范》GB.50367-2006 第 14.2.3 条的规定执行。

8.2.8 结构裂缝注浆钻孔应根据结构渗漏水情况布置，孔深宜为结构厚度的  $1/3 \sim 2/3$ 。

浅裂缝应骑槽粘埋注浆嘴，必要时沿缝开凿“U”形槽并用水泥砂浆封缝；深裂缝应骑缝钻孔或斜向钻孔至裂缝深部，孔内埋设注浆管。注浆嘴及注浆管设于裂缝交叉处、较宽处、端部及裂缝贯穿处等部位，注浆嘴间距宜为 100mm~1000mm，注浆管间距宜为 1000mm~2000mm。原则上应做到缝窄应密，缝宽可稀，但每条裂缝至少有一个进浆孔和排气孔。

8.2.9 现场注浆压力试验方法：拆去注浆设备的混合器。将双液输浆管连接到压力测试装置上。压力测试装置由两个独立的压力传感阀组成。关闭阀门，启动注浆泵；待压力表升到 0.5MPa 后停泵；观测压力表，在 2min 内的压力不降到 0.4MPa 为合格。

压力试验频率：压力试验可在每次注浆前进行；交接班或停工用餐后进行；在进行裂缝表面清理的间歇时间进行。

现场进浆比例试验方法：拆去注浆设备的混合器，将双液输浆管连接到比例测试装置上。比例测试装置由两个独立的阀件组成，可通过开启和关闭阀门，控制回流压力来调节，压力表可显示每个阀门的回流压力。关闭阀门，启动注浆泵；待压力升到 0.5MPa 后停泵；开启阀门，将浆液放入有刻度的容器，观测两个容器内的浆液，是否符合设备的比例参数。



## 9 子分部工程质量验收

**9.0.1** 按《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 - 2001 第 6 章内容的规定, 地下防水工程质量验收的程序和组织有以下两点说明:

1 检验批及分项工程应由监理工程师或建设单位项目技术负责人组织施工单位项目专业质量或技术负责人等进行验收。验收前, 施工单位先填好“检验批和分项工程的质量验收记录”, 并由项目专业质量检验员和项目专业技术负责人分别在验收记录中相关栏签字, 然后由监理工程师组织按规定程序进行。

2 分部工程应由总监理工程师或建设单位项目负责人组织施工单位项目负责人和技术、质量负责人等进行验收。由于地下防水工程技术要求严格, 故有关工程的勘察、设计单位项目负责人和施工单位技术、质量部门负责人也应参加相关分部工程验收。

**9.0.2** 检验批是工程验收的最小单位, 是分项工程乃至整个建筑工程质量验收的基础。本条规定了检验批质量合格条件: 一是对检验批的质量抽样检验。主控项目是对检验批的基本质量起决定性作用的检验项目, 必须全部符合本规范的有关规定, 且检验结果具有否决权; 一般项目是除主控项目以外的检验项目, 应有 80% 以上的一般项目子项符合本规范的有关规定, 对有允许偏差的项目, 其最大偏差不得超过本规范规定允许偏差值的 1.5 倍; 二是质量控制资料, 反映检验批从原材料到最终验收的各施工工序的操作依据、检查情况以及保证质量所必需的管理制度等质量控制资料, 是检验批合格的前提。

**9.0.3** 分项工程的验收在检验批验收的基础上进行。一般情况下, 两者具有相同或相近的性质, 只是批量的大小不同而已。因



此,将有关的检验批汇集构成分项工程。分项工程合格质量的条件比较简单,只要构成分项工程的各检验批的验收资料文件完整,并且均已验收合格,则分项工程验收合格。

**9.0.4** 子分部工程的验收在其所含各分项工程验收的基础上进行。本条给出了子分部工程验收合格的条件,包括四个方面:一是所含分项工程全部验收合格;二是相应的质量控制资料文件必须完整;三是地下工程渗漏水检测;四是观感质量检查。

**9.0.5** 地下防水工程竣工和记录资料体现了施工全过程控制,必须做到真实、准确,不得有涂改和伪造,各级技术负责人签字后方可有效。

**9.0.6** 隐蔽工程是后续的工序或分项工程覆盖、包裹、遮挡的前一分项工程。如变形缝构造、渗排水层、衬砌前围岩渗漏水处理等,经过检查验收质量符合规定方可进行隐蔽,避免因质量问题造成渗漏或不易修复而直接影响防水效果。

**9.0.7** 关于观感质量检查,这类检查往往难以定量,只能以观察、触摸或简单量测的方式进行,并由各个人的主观印象判断,检查结果并不给出“合格”或“不合格”的结论,而是综合给出质量评价。对于“差”的检查点应通过返修处理等补救。

本条规定的地下防水工程的观感质量检查规定,是根据本规范各分项工程的质量内容。

**9.0.8** 按《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300-2001第5.0.3条第3款的规定,分部工程有关安全及功能的检验和抽样检测结果应符合有关规定。因此,本规范第3.0.14条规定地下工程应按设计的防水等级标准进行验收,检查地下工程有无渗漏水现象,填写“地下工程渗漏水检测记录”。地下工程出现渗漏水时,应及时进行治理,并应由防水专业设计人员和有防水资质的专业施工队伍承担。

根据《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300-2001第5.0.6条第4款规定,对地下工程渗漏水治理,必须满足分部工程的安全和主要使用功能的基本要求。地下工程达到设计的防



水等级标准后，可以进行验收。

**9.0.9** 地下防水工程完成后，应由施工单位先行自检，并整理施工过程中的有关文件和记录，确认合格后会同建设或监理单位，共同按质量标准进行验收。子分部工程的验收，应在分项工程通过验收的基础上，对必要的部位进行抽样检验和使用功能满足程度的检查。子分部工程应由总监理工程师或建设单位项目负责人组织施工技术质量负责人进行验收。

地下防水工程验收时，施工单位应按照本规范第 9.0.5 条的规定，将竣工和记录资料提供总监理工程师或建设单位项目负责人审查，检查无误后方可作为存档资料。