

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50208—2002

地下防水工程质量验收规范

Code for Acceptance of Construction Quality

of Underground Waterproof

2002—03—15 发布

2002—04—01 实施

中华人民共和国建设部
国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准
地下防水工程质量验收规范

GB 50208—2002

主编部门：山西省建设厅
批准部门：中华人民共和国建设部
施行日期：2002年4月1日

条文说明

中国建筑资讯网
2002 北 京

目 次

1	总 则	4
2	术 语	5
3	基 本 规 定	6
4	地下建筑防水工程	9
4.1	防水混凝土	9
4.2	水泥砂浆防水层	13
4.3	卷 材 防 水 层	15
4.4	涂 料 防 水 层	17
4.5	塑料板防水层	20
4.6	金属板防水层	22
4.7	细 部 构 造	23
5	特殊施工法防水工程	26
5.1	锚 喷 支 护	26
5.2	地 下 连 续 墙	28
5.3	复 合 式 衬 砌	30
5.4	盾 构 法 隧 道	31
6	排 水 工 程	33
6.1	渗排水、盲沟排水	33
6.2	隧道、坑道排水	34
7	注 浆 工 程	36
7.1	预注浆、后注浆	36
7.2	衬砌裂缝注浆	39
8	子分部工程验收	41

1 总 则

1.0.1 根据 1998 年 3 月底建设部标准定额司召开的规范修订协调会的精神,决定把《地下防水工程施工及验收规范》GBJ 208—83 和《地下工程防水技术规范》GBJ 108-87 合并,并明确把修订后的有关施工质量验收的内容定为《地下防水工程质量验收规范》。

为了加强建筑工程质量管理,按照建设部提出的“验评分离、强化验收、完善手段、过程控制”的十六字方针,本规范是将有关建筑工程的施工及验收规范和建筑工程质量检验评定标准合并,组成新的工程质量验收规范,以统一地下防水工程质量的验收方法、程序和质量指标。

1.0.2 本规范适用于地下建筑工程、市政隧道、防护工程、地下铁道等防水工程的质量检验和施工验收。本规范按总则、术语、基本规定、地下建筑防水工程、特殊施工法防水工程、排水工程、注浆工程和子分部工程验收等内容进行叙述。

1.0.3 建设部在《建设工程质量管理条例》中规定:施工单位必须按照工程设计图纸和施工技术标准施工,不得擅自修改工程设计,不得偷工减料。按工程设计图纸施工,是保证工程实现设计意图的前提,也是明确划分设计、施工单位质量责任的前提。

由于《建设工程承包合同》的双方主体是建设单位和总承包单位,因此总承包单位应当按照承包合同约定的权利义务对建设单位负责。本规范明确地下防水工程的施工质量,必须按承包合同的规定验收,但合同文件的规定不得低于本规范的规定。

1.0.4 本规范是根据国标《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300—2001 规定的原则编制的。本规范对地下防水工程检验批、分项、分部(子分部)的划分,质量指标和验收程序都提出了要求,同时还强调执行本规范时应当与《统一标准》配套使用。

1.0.5 本条文是根据建设部印发建标[1996]626 号《工程建设标准编写规定》,采用了“地下防水工程施工质量的验收除应执行本规范外,尚应符合国家现行有关标准规范的规定”典型用语。

2 术 语

根据建设部建标[1996]626号通知精神,在《工程建设标准编写规定》第十五条中明确规定:标准中采用的术语和符号,当现行的标准中尚无统一规定,且需要给出定义或涵义时,应独立成章,集中列出。按照这一规定,本次修订时将本规范中尚未在其他国家标准、行业标准中规定的术语单独列为本章。

在本规范中涉及地下防水工程质量验收方面的术语有三种情况:

1.在现行国家标准、行业标准中无规定,是本规范首次提出的。如:地下防水工程、初期支护、盾构法隧道等。

2.虽在国家标准、行业标准中出现过这一术语,但人们比较生疏的。如:土工合成材料等。

3.现行的国家标准、行业标准中虽有类似术语,但内容不完全相同。如:防水等级、刚性防水层、柔性防水层等。

对以上三种类型的术语共7条,在本章中一一列入,并给予定义。

3 基本规定

3.0.1 当前,提出一个符合我国地下工程实际情况的防水标准是十分必要的。本条文是根据国内工程调查资料,参考国外有关规定数值,结合地下工程不同要求和我国地下工程实际,按不同渗漏水量的指标将地下工程防水划分为四个等级。

表 3.0.1 地下工程防水等级标准的依据是:

1.防水等级为 1 级的工程,其结构内壁并不是没有地下水渗透现象。由于渗水量极小,且随时被正常的人工通风所带走,通常混凝土结构的散湿量为 $0.012 \sim 0.024 \text{L/m}^2 \cdot \text{d}$ 。当渗透小于蒸发时,结构表面不会留存湿渍,故对此不作定量指标的规定。

2.防水等级为 2 级的工程,不允许有漏水,结构表面可有少量湿渍。过去《地下工程防水技术规范》中曾给出渗漏量为 $0.025 \sim 0.2 \text{L/m}^2 \cdot \text{d}$ 的指标,由于这一量值较小,难以准确检测,会给工程验收带来一定的困难。经过对大量观测数据的分析,在通风不好、工程内部湿度较大的情况下,我们得到了一些有价值的数字。多年来,铁道、隧道等部门采用量测任意 100m^2 防水面积上湿渍总面积、单个湿渍的最大面积、湿渍个数的办法来判断,已得到工程界的认可。同样,对工业与民用建筑地下工程也提出不同的量化指标。

3.防水等级为 3 级的工程,允许有少量漏水点,但不得有线流和漏泥砂。在地下工程中,顶(拱)的渗漏水一般为滴水,而侧墙则多呈流挂湿渍的形式,当侧墙的最大湿渍面积小于 0.3m^2 时,此处的渗漏可认为符合 3 级标准。为便于工程验收,标准中明确规定单个湿渍的最大面积、单个漏水点的最大漏水量和漏水点数量。

4.防水等级为 4 级的工程,允许有漏水点,但不得有线流和漏泥砂。标准提到任意 100m^2 防水面积渗漏水量是整个工程渗漏水量的 2 倍,这是根据德国 STUVA 防水等级中的规定,即 100m 区间渗漏水量是 10m 区间的 $1/2$,是 1m 区间的 $1/4$ 。

3.0.2 本条文规定了地下工程的防水应包括两个部分内容,即一是主体防水,二是细部构造防水。目前,主体采用防水混凝土结构自防水的效果尚好,而细部构造(施工缝、变形缝、后浇带、诱导缝)的渗漏水现象最为普遍,工程界有所谓“十缝九漏”之称。明挖法施工时,不同防水等级的地下工程防水设防,对主体防水“应”或“宜”采用防水混凝土。当工程的防水等级为 1~3 级时,还应在防水混凝土的粘结表面增设一至两道其他防水层,称谓“多道设防”。一道防水设防的涵义应是具有单独防水

能力的一个防水层次。多道设防时,所增设的防水层可采用多道卷材,亦可采用卷材、涂料、刚性防水复合使用。多道设防主要利用不同防水材料的材性,体现地下防水工程“刚柔相济”的设计原则。

过去人们一直认为混凝土是永久性材料,但通过实践人们逐渐认识混凝土在地下工程中会受到地下水的侵蚀,其耐久性会受到影响。现在我国地下水特别是浅层地下水受污染比较严重,而防水混凝土在抗渗等级 S8 时的渗透系数为 $5 \sim 8 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 。所以,地下水对混凝土、钢筋的侵蚀破坏是一个不容忽视的问题。防水等级为 1、2 级的工程,大多是比较重要、使用年限较长的工程,单靠用防水混凝土来抵抗地下水的侵蚀其效果是有限的。同样,对细部构造应根据不同防水等级选用不同的防水措施,防水等级越高,所采用的防水措施越多。

暗挖法施工是针对主体不同的衬砌,也应按不同防水等级采用不同的防水措施。

3.0.3 根据建设部(1991)837 号文《关于提高防水工程质量的若干规定》中第五条规定,特别对施工单位提出了要求。通过图纸会审,施工单位既要设计质量把关,又要掌握地下工程防水构造设计的要点,施工前还应有针对性的确保防水工程质量的施工方案和技术措施。

施工单位对地下防水工程的各工序应按企业标准进行质量控制,编制防水工程的施工方案或技术措施。

3.0.4 施工过程中建立工序质量的自查、核查和交接检查制度,是实行施工质量过程控制的根本保证。上工序完成后,应经完成方与后续工序的承接方共同检查并确认,方可进行下一工序的施工。本条文规定工序或分项工程的质量验收,应在操作人员自检合格的基础上,进行工序之间的交接检和专职质量人员的检查,检查结果应有完整的记录,然后由监理工程师代表建设单位进行检查和确认。

3.0.5 防水作业是保证地下防水工程质量的关键。目前我国一些地区由于使用不懂防水技术的农村副业队或新工人进行防水作业,以致造成工程渗漏的严重后果。故强调必须建立具有相应资质的专业防水施工队伍,施工人员必须经过理论与实际施工操作的培训,并持有建设行政主管部门或其指定单位颁发的执业资格证书或上岗证。

3.0.6 本条文明确规定防水工程所使用的防水材料,必须经过各级法定检测部门进行抽样检验,并出据产品质量检验报告。其目的是要控制进入市场的材料,保证材料的品种、规格、性能等符合国家标准或行业标准的要求。

对进入现场的材料还应按本规范附录 A 和附录 B 的规定进行抽样复试。如发现

不合格的材料进入现场,应责令其清退出场,决不允许使用到工程上。

为了做到建设工程质量检测工作的科学性、公正性和正确性,根据建设部建监(1996)488号《关于加强工程质量检测工作的若干意见》的要求,对进场的主要建筑材料应由监理人员(建设单位)与施工人员共同取样,并送至有资质的试验室进行试验,实行见证取样、送样制度。

3.0.7 进行防水结构或防水层施工,现场应做到无水、无泥浆,这是保证地下防水工程施工质量的一个重要条件。因此,在地下防水工程施工期间必须做好周围环境的排水和降低地下水位的工作。

排除基坑周围的地面水和基坑内的积水,以便在不带水和泥浆的基坑内进行施工。排水时应注意避免基土的流失,防止因改变基底的土层构造而导致地面沉陷。

为了确保地下防水工程的施工质量,本条明确规定地下水位要求降低至防水工程底部最低高程以下500mm的位置,并保持已降的地下水位至整个防水工程完成。

3.0.8 在地下工程的防水层施工时,气候条件对其影响是很大的。雨天施工会使基层含水率增大,导致防水层粘结不牢;气温过低时铺贴卷材,易出现开卷时卷材发硬、脆裂,严重影响防水层质量;低温涂刷涂料,涂层易受冻且不成膜;五级风以上进行防水层施工操作,难以确保防水层质量和人身安全。故本条文根据不同的材料性能及施工工艺,分别规定了适于施工的环境气温。

3.0.9 根据国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300—2001规定,确定地下防水工程为地基与基础分部工程中的一个子分部工程。由于地下防水工程包括了地下建筑防水工程、特殊施工法防水工程、排水工程和注浆工程等内容,表3.0.9分别对分项工程给予具体划分,有助于及时纠正施工中出现的质量问题,也符合施工实际。

3.0.10 我国对地下工程防水等级标准划分为四级,主要是根据国内工程调查资料和参考国外有关规定,结合地下工程不同的使用要求和我国实际情况,按允许渗漏水量来确定的。本条文规定地下防水工程应按工程设计的防水等级标准进行验收;地下防水工程的渗漏水调查与量测方法,应按本规范附录C执行。

4 地下建筑防水工程

4.1 防水混凝土

4.1.1 在明挖法地下整体式混凝土主体结构设防中,防水混凝土是一道重要防线,也是做好地下防水工程的基础。因此在1~3级地下防水工程中,防水混凝土是应选的防水措施,在4级地下防水工程中则作为宜选的防水措施。

在常温下具有较高抗渗性的防水混凝土,其抗渗性随着环境温度的提高而降低。当温度为100℃时,混凝土抗渗性约降低40%,200℃时约降低60%以上;当温度超过250℃时,混凝土几乎完全失去抗渗能力,而抗拉强度也随之下降为原来强度的66%。为确保防水混凝土的防水功能,防水混凝土的最高使用温度不得超过80℃,一般应控制在50~60℃。

4.1.2 1.为确保防水混凝土的抗渗等级及抗压强度,规定水泥强度等级不应低于32.5级。

防水混凝土不应使用过期水泥或由于受潮而成团结块的水泥,否则将由于水化不完全而大大影响混凝土的抗渗性和强度。对过期水泥或受潮结块水泥必须重新进行检验,符合要求后方可使用。

2.粗、细骨料的含泥量多少,直接影响防水混凝土的质量,尤其对混凝土抗渗性影响较大。特别是粘土块,其体积不稳定,干燥时收缩、潮湿时膨胀,对混凝土有较大的破坏作用,必须加以限制。

3.由于化学工业的发展,水的资源受到越来越严重的污染,因此对防水混凝土的用水必须进行检测并加以控制,不应含有害物质。

4.外加剂对提高防水混凝土的质量极有好处,根据目前工程中应用外加剂种类和质量的情况,提出了外加剂的技术性能应符合国家或行业标准一等品及以上的质量要求。如UEA膨胀剂的质量标准分为二档,一等品的限制膨胀率为0.4%,而合格品仅为0.2%,若在地下工程中使用合格品的膨胀剂,加量仍按10%~12%掺加,则肯定达不到预期的膨胀值要求。

5.粉煤灰、硅粉等粉细料属活性掺合料,对提高防水混凝土的抗渗性起一定作用;它们的加入可改善砂子级配(补充天然砂中部分小于0.15mm颗粒),填充混凝土部分空隙,提高混凝土的密实性和抗渗性。

掺入粉煤灰、硅粉还可以减少水泥用量,降低水化热,防止和减少混凝土裂缝的产生。但是随着上述粉细料掺量的增加,混凝土强度随之下降。因此,根据试验

及实际施工经验,本条提出了粉煤灰掺量不宜大于 20%,硅粉掺量不应大于 3%的规定。

4.1.3 1.考虑到施工现场与试验室条件的差别,试验室配制的防水混凝土其抗渗水压值应比设计要求提高 0.2MPa,以利于保证施工质量和混凝土的防水性。

2.适宜的水泥用量和砂率,能使混凝土中水泥砂浆的数量和质量达到最好的水平,从而获得良好的抗渗性。反之,如水泥用量过小,拌合物粘滞性差,容易出现分层离析及其他施工质量问题;如果水泥用量过大,则水化热高、增加混凝土收缩而且不经济。据现场调查及试验研究结果表明,当最小水泥用量为 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 时,混凝土的抗渗等级可达到大于 S8 的要求。

3.砂率和灰砂比对抗渗性有明显影响。如灰砂比偏大(1:1~1:1.5)即砂率偏低时,由于砂子数量不足而水泥和水的含量高,混凝土往往出现不均匀及收缩大的现象,混凝土抗渗性较差;如灰砂比偏小(1:3)即砂率偏高时,由于砂子过多,拌合物干涩而缺乏粘结能力,混凝土密实性差,抗渗能力下降。因此,只有当水泥与砂的用量即灰砂比为 1:2~1:2.5 时最为适宜。

4.拌合物的水灰比对硬化混凝土孔隙率大小、数量起决定性作用,直接影响混凝土的结构密实性。水灰比越大,混凝土中多余水分蒸发后,形成孔径为 $50\sim 150\mu\text{m}$ 的毛细管等开放的孔隙也就越多,这些孔隙是造成混凝土渗漏水的主要原因。

从理论上讲,在满足水泥完全水化及润湿砂石所需水量的前提下,水灰比越小,混凝土密实性越好,抗渗性和强度也就越高。但水灰比过小,混凝土极难振捣和拌合均匀,其密实性和抗渗性反而得不到保证。随着外加剂的开发应用,减水剂已成为混凝土不可缺少的组分之一,掺入减水剂后可以适量减少混凝土水灰比,而防水功能并不降低,故本条规定防水混凝土水灰比以不大于 0.55 为宜。

4.1.4 1.规定了各种原材料的计量标准,避免由于计量不准确或偏差过大而影响混凝土配合比的准确性,确保混凝土的匀质性、抗渗性和强度等技术性能。

2.拌合物坍落度的大小,对拌合物施工性及硬化后混凝土的抗渗性和强度有直接影响,因此加强坍落度的检测和控制是十分必要的。

由于混凝土输送条件和运距的不同,掺入外加剂后引起混凝土的坍落度损失也会不同。规定了坍落度允许偏差,减少和消除上述各种不利因素影响,保证混凝土具有良好的施工性。

4.1.5 防水混凝土不宜采用蒸汽养护。采用蒸汽养护会使毛细管因经受蒸汽压力而扩张,从而使混凝土的抗渗性急剧下降,故防水混凝土的抗渗性能必须以标准条件

下养护的抗渗试块作为依据。

随着地下工程规模的日益扩大，混凝土浇筑量大大增加。近十年来地下室 3~4 层的工程并不罕见，有的工程仅底板面积即达 1 万多平方米。如果抗渗试件留设组数过多，必然造成工作量太大、试验设备条件不够、所需试验时间过长；即使试验结果全部得出，也会因不及时而失去了意义，给工程质量造成遗憾。为了比较真实地反映防水工程混凝土质量情况，规定每 500m^3 留置一组抗渗试件，且每项工程不得少于两组。

4.1.6 防水混凝土工程施工质量的检验数量，应按混凝土外露面积每 100m^2 抽查 1 处，每处 10m^2 ，且不得少于 3 处。抽查面积是以地下混凝土工程总面积的 1/10 来考虑的，具有足够的代表性，经多年工程实践证明这一数值是可行的。

细部构造是地下防水工程渗漏水的薄弱环节。细部构造一般是独立的部位，一旦出现渗漏难以修补，不能以抽检的百分率来确定地下防水工程的整体质量，因此施工质量检验时应按全数检查。

4.1.7 防水混凝土包括普通防水混凝土、外加剂或掺合料防水混凝土和膨胀水泥防水混凝土三大类。

普通防水混凝土是以调整配合比的方法，提高混凝土自身的密实性和抗渗性。

外加剂防水混凝土是在混凝土拌合物中加入少量改善混凝土抗渗性的有机或无机物，如减水剂、防水剂、引气剂等外加剂；掺合料防水混凝土是在混凝土拌合物中加入少量硅粉、磨细矿渣粉、粉煤灰等无机粉料，以增加混凝土密实性和抗渗性。防水混凝土中的外加剂和掺合料均可单掺，也可以复合掺用。

膨胀水泥防水混凝土是利用膨胀水泥在水化硬化过程中形成大量体积增大的结晶(如钙矾石)，主要是改善混凝土的孔结构，提高混凝土抗渗性能。同时，膨胀后产生的自应力使混凝土处于受压状态，提高混凝土的抗裂能力。

上述防水混凝土的原材料、配合比及坍落度必须符合设计要求。施工过程中应检查产品的合格证书和性能检验报告，检查混凝土拌制时的计量措施。

4.1.8 防水混凝土与普通混凝土配制原则不同，普通混凝土是根据所需强度要求进行配制，而防水混凝土则是根据工程设计所需抗渗等级要求进行配制。通过调整配合比，使水泥砂浆除满足填充和粘结石子骨架作用外，还在粗骨料周围形成一定数量良好的砂浆包裹层，从而提高混凝土抗渗性。

作为防水混凝土首先必须满足设计的抗渗等级要求，同时适应强度要求。一般能满足抗渗要求的混凝土，其强度往往会超过设计要求。

4.1.9 1.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 20~30mm。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 字形变形缝的设计高度应超出室外地坪 150mm 以上。

2.防水混凝土的施工应不留或少留施工缝,底板的混凝土应连续浇筑。墙体上不得留垂直施工缝,垂直施工缝应与变形缝相结合。最低水平施工缝距底板面应不小于 300mm,距墙孔洞边缘应不小于 300mm,并避免设在墙板承受弯矩或剪力最大的部位。

3.后浇带是一种混凝土刚性接缝,适用于不宜设置柔性变形缝以及后期变形趋于稳定的结构。后浇带应采用补偿收缩混凝土,其强度等级不得低于两侧混凝土。

4.穿墙管道应在浇筑混凝土前预埋。当结构变形或管道伸缩量较小时,穿墙管可采用主管直接埋入混凝土内的固定式防水法;当结构变形或管道伸缩量较大或有更换要求时,应采用套管式防水法。穿墙管线较多时宜相对集中,采用封口钢板式防水法。

5.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,应采取局部加厚或加焊止水钢板的防水措施。

4.1.10 地下防水工程除主体采用防水混凝土结构自防水外,往往在其结构表面采用卷材、涂料防水层,因此要求结构表面的质量应做到坚实和平整。防水混凝土结构内的钢筋或绑扎铁丝不得触及模板,固定模板的螺栓穿墙结构时必须采取防水措施,避免在混凝土结构内留下渗漏水通路。

地下铁道、隧道结构预埋件和预留孔洞多,特别是梁、柱和不同断面结合等部位钢筋密集,施工时必须事先制定措施,加强该部位混凝土振捣,保证混凝土质量。

4.1.11 工程渗漏水的轻重程度主要取决于裂缝宽度和水头压力,当裂缝宽度在 0.1~0.2mm 左右、水头压力小于 15~20m 时,一般混凝土裂缝可以自愈。所谓“自愈”现象是当混凝土产生微细裂缝时,体内的游离氢氧化钙一部分被溶出且浓度不断增大,转变成白色氢氧化钙结晶,氢氧化钙与空气中的 CO_2 发生碳化作用,形成白色碳酸钙结晶沉积在裂缝的内部和表面,最后裂缝全部愈合,使渗漏水现象消失。基于混凝土这一特性,确定地下工程防水混凝土结构裂缝宽度不得大于 0.2mm,并不得贯通。

4.1.12 1.防水混凝土除了要求密实性好、开放孔隙少、孔隙率小以外,还必须具有一定厚度,从而可以延长混凝土的透水通路,加大混凝土的阻水截面,使得混凝土

不发生渗漏。综合考虑现场施工的不利条件及钢筋的引水作用等诸因素,防水混凝土结构的最小厚度应不小于 250mm,才能抵抗地下压力水的渗透作用。

2.钢筋保护层通常是指主筋的保护层厚度。由于地下工程结构的主筋外面还有箍筋,箍筋处的保护层厚度较薄,加之水泥固有收缩的弱点以及使用过程中受到各种因素的影响,保护层处混凝土极易开裂,地下水沿钢筋渗入结构内部,故迎水面钢筋保护层必须具有足够的厚度。

钢筋保护层厚度的确定,结构上应保证钢筋与混凝土的共同作用,在耐久性方面还应防止混凝土受到各种侵蚀而出现钢筋锈蚀等危害。参阅国内外有关文献规范,保护层一般均为 50mm 左右。

4.2 水泥砂浆防水层

4.2.1 用于混凝土或砌体结构基层上的水泥砂浆防水层,应采用多层抹压的施工工艺,以提高水泥砂浆层的防水能力。鉴于水泥砂浆防水层系刚性防水材料,适应基层变形能力差,因此不适用于环境有侵蚀性、持续振动或温度大于 80℃的地下工程。

4.2.2 随着我国化学建材工业的发展,外加剂、掺合料、高分子聚合物种类繁多、性能各异,掺入配制防水砂浆的方法也不尽相同。配制各种防水砂浆时,其配合比应符合所掺材料的规定,才能保证防水砂浆的技术性能指标满足防水工程的要求。

4.2.3 1.我国原来水泥标号均比国外低一个等级,即 GB425 号水泥相当于 ISO32.5 级水泥。在 ISO 中 32.5 级为最低标号,而国内尚有 GB325 号水泥大多为小窑生产,质量不稳定。为了与国际接轨,保证防水砂浆的强度和抗渗性要求,采用的水泥强度等级不得低于 32.5 级。

一般水泥过期或受潮结块后,其活性均有所下降,而且在其水化硬化过程中水化速度及水化程度也均会受到影响,因此对过期和受潮结块水泥的应用必须加以限制。

2.防水砂浆所用原材料品质的好坏,直接影响砂浆的技术性能指标,故对砂子的含泥量、硫化物和硫酸盐的含量、水中的有害物质含量、聚合物的品质以及外加剂的技术性能要求都作了规定。

4.2.4 水泥砂浆防水层的基层质量至关重要。基层表面状态不好,不平整、不坚实,有孔洞和缝隙,则会影响水泥砂浆防水层的均匀性及与基层的粘结性。

4.2.5 1.施工缝是水泥砂浆防水层的薄弱部位,由于施工缝接槎不严密及位置留设不当等原因,导致防水层渗漏水。因此水泥砂浆防水层各层应紧密结合,每层宜连

续施工；如必须留槎时，系用阶梯坡形槎，但离开阴阳角处不得小于 200mm，接槎要依层次顺序操作，层层搭接紧密。

2.为了防止水泥砂浆防水层早期脱水而产生裂缝导致渗水，规定在砂浆硬化后(约 12~24h)要及时进行养护。一般水泥砂浆的水化硬化速度和强度发展均较快，14d 强度可达标准强度的 80%。

聚合物水泥砂浆防水层应采用干湿交替的养护方法，早期(硬化后 7d 内)采用潮湿养护，后期采用自然养护；在潮湿环境中，可在自然条件下养护。使用特种水泥、外加剂、掺合料的水泥砂浆，养护应按产品有关规定执行。

4.2.6 水泥砂浆防水层工程施工质量的检验数量，应按抽查面积与防水层总面积的 1/10 考虑，这一比例要求对检验防水层质量有一定代表性，实践也证明是可行的。

4.2.7 普通水泥砂浆是采用不同配合比的水泥浆和水泥砂浆，通过分层抹压构成防水层。此方法在防水要求较低的工程中使用较为适宜。

在水泥砂浆中掺入各种外加剂、掺合剂，可提高砂浆的密实性、抗渗性，应用已较为普遍。而在水泥砂浆中掺入高分子聚合物配制成具有韧性、耐冲击性好的聚合物水泥砂浆，是近来国内外发展较快、具有较好防水效果的新型防水材料。

由于外加剂、掺合料和聚合物等材料的质量参差不齐，配制防水砂浆必须根据不同防水工程部位的防水要求和所用材料的特性，提供能满足设计要求的适宜的配合比。配制过程中必须做到原材料的品种、规格和性能符合国家标准或行业标准。同时计量应准确，搅拌应均匀，现场抽样试验应符合设计要求。

4.2.8 水泥砂浆防水层属刚性防水，适应变形能力较差，不宜单独作为一个防水层，而应与基层粘结牢固并连成一体，共同承受外力及压力水的作用。故规定水泥砂浆防水层与基层之间必须结合牢固，无空鼓现象。

4.2.9 水泥砂浆防水层不同于普通水泥砂浆找平层，在混凝土或砌体结构的基层上应采用多层抹面做法，防止防水层的表面产生裂纹、起砂、麻面等缺陷，保证防水层和基层的粘结质量。水泥砂浆铺抹时，应在砂浆收水后二次压光，使表面坚固密实、平整；水泥砂浆终凝后，应采取浇水、覆盖浇水、喷养护剂、涂刷冷底子油等手段充分养护，保证砂浆中的水泥充分水化，确保防水层质量。

4.2.10 参见本规范第 4.2.5 条的条文说明。

4.2.11 水泥砂浆防水层无论是在结构迎水面还是在结构背水面，都具有很好的防水效果。根据新品种防水材料的特性和目前应用的实际情况，将防水层的厚度作了重新规定。即普通水泥砂浆防水层和掺外加剂或掺合料水泥砂浆防水层，其厚度均定

为 18~20mm; 聚合物水泥砂浆防水层, 其厚度定为 6~8mm。

水泥砂浆防水层的厚度测量, 应在砂浆终凝前用钢针插入进行尺寸检查, 不允许在已硬化的防水层表面任意凿孔破坏。

4.3 卷材防水层

4.3.1 地下工程卷材防水层适用于在混凝土结构或砌体结构迎水面铺贴, 一般采用外防外贴和外防内贴两种施工方法。由于外防外贴法的防水效果优于外防内贴法, 所以在施工场地和条件不受限制时一般均采用外防外贴法。

4.3.2 目前国内外用的主要卷材品种:高聚物改性沥青防水卷材有 SBS、APP、APAO、APO 等防水卷材; 合成高分子防水卷材有三元乙丙、氯化聚乙烯、聚氯乙烯、氯化聚乙烯-橡胶共混等防水卷材。该类材料具有延伸率较大、对基层伸缩或开裂变形适应性较强的特点, 适用于地下防水施工。

我国化学建材行业发展很快, 卷材及胶粘剂种类繁多、性能各异, 胶粘剂有溶剂型、水乳型、单组分、多组分等, 各类不同的卷材都应有与之配套(相容)的胶粘剂及其他辅助材料。不同种类卷材的配套材料不能相互混用, 否则有可能发生腐蚀侵害或达不到粘结质量标准。

4.3.3 铺贴卷材前应在其表面上涂刷基层处理剂, 基层处理剂应与卷材及胶粘剂的材料相容, 可采用喷涂或涂刷法施工, 喷涂应均匀一致、不露底, 待表面干燥后方可铺贴卷材。

目前大部分合成高分子卷材只能采用冷粘法、自粘法铺贴, 为保证其在较潮湿基面上的粘结质量, 故提出施工时应选用湿固化型胶粘剂或潮湿界面隔离剂。

4.3.4 为确保地下工程在防水层合理使用年限内不发生渗漏, 除卷材的材性材质因素外, 卷材的厚度应是最重要的因素。本条文按工程防水要求对卷材厚度的选用作出了规定。

表 4.3.4 中厚度数据, 是按照我国现时水平和参考国外的资料确定的。卷材的厚度在防水层的施工和使用过程中, 对保证地下工程防水质量起到关键作用; 同时还应考虑到人们的踩踏、机具的压扎、穿刺、自然老化等, 因此要求卷材应有足够的厚度。

4.3.5 建筑工程地下防水的卷材铺贴方法, 主要采用冷粘法和热熔法。底板垫层混凝土平面部位的卷材宜采用空铺法、点粘法或条粘法, 其他与混凝土结构相接触的部位应采用满铺法。

为了保证卷材防水层的搭接缝粘结牢固和封闭严密,本条规定两幅卷材短边和长边的搭接缝宽度均不应小于 100mm,是根据我国目前地下工程采用的作法及参考国外有关数据而制定的。

采用多层卷材时,上下两层和相邻两幅卷材的搭接缝应错开 $1/3 \sim 1/2$ 幅宽,且两层卷材不得相互垂直铺贴。这是为防止在同一处形成透水通路,导致防水层渗漏水。

4.3.6 采用冷粘法铺贴卷材时,胶粘剂的涂刷对保证卷材防水施工质量关系极大;涂刷不均匀,有堆积或漏涂现象,不但影响卷材的粘结力,还会造成材料的浪费。

根据胶粘剂的性能和施工环境要求,有的可以在涂刷后立即粘贴,有的要待溶剂挥发后粘贴,控制胶粘剂涂刷与卷材铺贴的间隔时间尤为重要。

涂满胶粘剂和溢出胶粘剂,才能证明卷材粘结牢固、封闭严密。卷材铺贴后,要求接缝口用 10mm 宽的密封材料封口,以提高防水层的密封抗渗性能。

4.3.7 对热熔法铺贴卷材的施工,加热时卷材幅宽内必须均匀一致,要求火焰加热器的喷嘴与卷材的距离应适当,加热至卷材表面有光亮黑色时方可进行粘合。若熔化不够会影响卷材接缝的粘结强度和密封性能,加温过高会使改性沥青老化变焦,且把卷材烧穿。

卷材表面层所涂覆的改性沥青热熔胶,采用热熔法施工时容易把胎体增强材料烧坏,严重影响防水卷材的质量。因此对厚度小于 3mm 的高聚物改性沥青防水卷材,作出严禁采用热熔法施工的规定。

4.3.8 底板垫层、侧墙和顶板部位卷材防水层,铺贴完成后应作保护层,防止后续施工将其损坏。顶板保护层考虑顶板上部使用机械回填碾压时,细石混凝土保护层厚度应大于 70mm。条文中建议保护层与防水层间设置隔离层(如采用干铺油毡),主要是防止保护层伸缩而破坏防水层。

砌筑保护墙过程中,保护墙与侧墙之间会出现一定的空隙,为防止回填土侧压力将保护墙折断而损坏防水层,所以要求保护墙应边砌边将空隙填实。

4.3.9 卷材防水层工程施工质量的检验数量,应按所铺贴卷材面积的 $1/10$ 进行抽查,每处检查 10m^2 ,且不得少于 3 处。

4.3.10 卷材防水层应采用高聚物改性沥青防水卷材和合成高分子防水卷材。目前,国内新型防水材料的发展很快,产品质量标准都陆续发布和实施。高聚物改性沥青防水卷材应符合国标《弹性体沥青防水卷材》GB 18242—2000、《塑性体沥青防水卷材》GB 18243—2000 和行标《改性沥青聚乙烯胎防水卷材》JC/T 633—1996 的

要求。国内合成高分子防水卷材的种类很多,产品质量应符合国标《高分子防水材料》(第一部分片材)GB18173.1—2000 的要求。

本规范附录 A 第 A.0.1 条所列入防水卷材的质量指标,具体是根据地下工程防水的需要,规定了卷材的外观质量和物理性能要求,而不是这些材料标准中的全部指标和最高或最低要求。同时,对卷材胶粘剂提出了基本的质量要求,并对合成高分子胶粘剂浸水 168h 后,粘结剥离强度保持率不应低于 70%作出规定。

4.3.11 地下工程的防水设防要求,应根据使用功能、结构型式、环境条件、施工方法及材料性能等因素合理确定。按设防要求的规定进行地下工程构造防水设计,设计人员应绘出大样图或指定采用建筑标准图集的具体作法。转角处、变形缝、穿墙管道等处是防水薄弱环节,施工较为困难。为保证防水的整体效果,对上述细部做法必须严格操作和加强检查,除观察检查外还应检查隐蔽工程验收记录。

4.3.12 实践证明,只有基层牢固和基层面干燥、清洁、平整,方能使卷材与基层面紧密粘贴,保证卷材的铺贴质量。

基层的转角处是防水层应力集中的部位,由于高聚物改性沥青卷材和合成高分子卷材的柔性好且卷材厚度较薄,因此防水层的转角处圆弧半径可以小些。具体地讲,转角处圆弧半径为:高聚物改性沥青卷材不应小于 50mm,合成高分子卷材不应小于 20mm。

4.3.13 卷材铺贴根据不同的使用功能和平面部位可采用满粘法,也可采用空铺法、点粘法、条粘法。为了保证卷材铺贴搭接宽度、位置准确和长边平直,要求铺贴卷材之前应测放基准线。

冷粘法铺贴卷材时,接缝口应用材性相容的密封材料封严,其宽度不应小于 10mm;热熔法铺贴卷材时,接缝部位必须溢出沥青热熔胶,并应随即刮封接口使接缝粘结严密。

4.3.14 本条文规定卷材保护层与防水层应粘结牢固、结合紧密、厚度均匀一致,是针对主体结构侧墙采用聚苯乙烯泡沫塑料保护层或砌砖保护墙(边砌边填实)和铺抹水泥砂浆时提出来的。

4.3.15 卷材铺贴前,施工单位应根据卷材搭接宽度和允许偏差,在现场弹线作为标准去控制施工质量。

4.4 涂料防水层

4.4.1 地下工程涂料防水层适用于混凝土结构或砌体结构迎水面或背水面的涂刷,

一般采用外防外涂和外防内涂两种施工方法。

4.4.2 地下结构属长期浸水部位，涂料防水层应选用具有良好的耐水性、耐久性、耐腐蚀性和耐菌性的涂料。

按地下工程应用防水涂料的分类，有机防水涂料主要包括合成橡胶类、合成树脂类和橡胶沥青类。氯丁橡胶防水涂料、SBS 改性沥青防水涂料等聚合物乳液防水涂料，属挥发固化型；聚氨酯防水涂料属反应固化型。

当前国内聚合物水泥防水涂料发展很快，用量日益增多，日本称此类材料为水凝固型涂料。聚合物水泥涂料是以高分子聚合物为主要基料，加入少量无机活性粉料(如水泥及石英砂等)，具有比一般有机涂料干燥快、弹性模量低、体积收缩小、抗渗性好等优点，国外称之为弹性水泥防水涂料。

无机防水涂料主要包括聚合物改性水泥基防水涂料和水泥基渗透结晶型防水涂料。应该指出，有机防水涂料固化成膜后最终是形成柔性防水层，与防水混凝土主体组合为刚性、柔性两道防水设防。无机防水涂料是在水泥中掺有一定的聚合物，不同程度地改变水泥固化后的物理力学性能，但是与防水混凝土主体组合仍应认为是刚性两道防水设防，不适用于变形较大或受振动部位。

4.4.3 涂刷的防水涂料固化后形成有一定厚度的涂膜，如果涂膜厚度太薄就起不到防水作用和很难达到合理使用年限的要求，所以对各类防水涂料的涂膜厚度作了规定。

水乳型防水涂料称之为薄质涂料，涂布固化后很难形成较厚的涂膜，可通过薄涂多次或多布多涂来达到厚度的要求。合成高分子防水涂料某些性能大大优于高聚物改性沥青防水涂料，当采用合成高分子防水涂料与其他防水材料复合使用时，涂膜本身的厚度可适当减薄一些。

表 4.4.3 防水涂料厚度的取值，是通过防水材料试验和工程实践得出的。根据地下工程防水对涂料的要求及现有涂料的性能，本规范在附录 A 第 A.0.2 条中分别规定了无机涂料和有机涂料的性能指标要求。可以看出，防水涂料必须具有一定厚度，才能保证地下工程的防水功能。

4.4.4 防水涂膜在满足厚度要求的前提下，涂刷的遍数越多对成膜的密实度越好，因此涂刷时应多遍涂刷，不论是厚质涂料还是薄质涂料均不得一次成膜。

每遍涂刷应均匀，不得有露底、漏涂和堆积现象。多遍涂刷时，应待涂层干燥成膜后方可涂刷后一遍涂料；两涂层施工间隔时间不宜过长，否则会形成分层。

当地下工程施工出现施工面积较大时，为保护施工搭接缝的防水质量，规定搭

接缝宽度应大于 100mm, 接涂前应将其甩茬表面处理干净。

4.4.5 参见本规范第 4.3.8 条的条文说明。

4.4.6 涂料防水层工程施工质量的检验数量, 应按所涂刷涂料面积的 1/10 进行抽查, 每处检查 10m², 且不得少于 3 处。

4.4.7 本规范附录 A 第 A.0.2 条所列入有机防水涂料和无机防水涂料的物理性能, 是根据地下工程对材料的基本要求和目前材料性能的现状提出来的。

为了充分发挥防水涂料的防水作用, 对防水涂料主要提出四个方面的要求: 一是要有可操作时间, 操作时间越短的涂料将不利于大面积防水涂料施工; 二是要有一定的粘结强度, 特别是在潮湿基面(即基面饱和但无渗漏水)上有一定的粘结强度; 三是防水涂料必须具有一定厚度, 才能保证防水功能; 四是涂膜应具有一定的抗渗性。

耐水性是用于地下工程中的涂料一项重要指标, 但目前国内尚无适用于地下工程防水涂料耐水性试验的方法和标准。由于地下工程处于地下水的包围之中, 如涂料遇水产生溶胀现象, 其物理性能就会降低。因此, 借鉴屋面防水材料耐水性试验方法和标准, 对有机防水涂料的耐水性提出指标要求规定。反应型防水涂料的耐水性应不小于 80%, 水乳型和聚合物水泥防水涂料的耐水性也应不小于 80%。耐水性指标是在浸水 168h 后, 材料的粘结强度及砂浆抗渗性的保持率。

4.4.8 参见本规范第 4.3.11 条的条文说明。

4.4.9 参见本规范第 4.3.12 条的条文说明。

4.4.10 涂料防水层表面应平整, 涂刷应均匀, 成膜后如出现流淌、鼓泡、露胎体和翘边等缺陷, 会降低防水工程质量和影响使用寿命。

涂料防水层与基层是否粘结牢固, 主要决定基层的干燥程度。要想使基面达到比较干燥的程度较难, 因此涂刷涂料前应先在基层上涂一层与涂料相容的基层处理剂, 这是解决粘结牢固的好方法。

4.4.11 地下工程涂料防水层涂膜厚度一般都不小于 2mm, 如一次涂成, 会使涂膜内外收缩和干燥时间不一致而造成开裂; 如前层未干就涂后层, 则高部位涂料就会下淌并且越淌越薄, 低处又会堆积起皱, 防水工程质量难以保证。

本条文规定涂膜的平均厚度应符合设计要求, 最小厚度不得小于设计厚度的 80%, 可供施工人员在配料、涂刷施工时加以很好控制, 既不浪费材料又能满足防水要求。

4.4.12 参见本规范第 4.3.14 条的条文说明。

4.5 塑料板防水层

4.5.1 塑料板防水层一般是在初期支护上铺设，然后实施二次衬砌混凝土，工程上通常叫做复合式衬砌防水或夹层防水。复合式衬砌防水构成了两道防水，一道是塑料板防水层，另一道是防水混凝土。塑料板不仅起防水作用，而且对初期支护和二次衬砌还起到隔离和润滑作用，防止二次衬砌混凝土因初期支护表面不平而出现开裂，保护和发挥二次衬砌的防水效能。

4.5.2 1.缓冲层的作用一是防止初期支护基面的高低不平或毛刺穿破塑料防水板，二是有的缓冲层具有渗排水性能，可将通过初期支护的地下水排走。目前可供选择的缓冲层材料主要有土工合成材料和 PE 泡沫塑料两种。土工合成材料俗称无纺布，系用合成纤维料经热压针刺无纺工艺制成；PE 泡沫塑料是由化学交联、发泡制成的封闭孔式泡沫塑料，具有良好的弹性及物理力学性能。

缓冲层铺设时，工程上一般采用射钉和塑料垫圈相配套的机械固定方法，应用暗钉圈焊接固定塑料防水板，最终形成无钉孔铺设的防水层。

2.塑料板防水层接缝较多，防水的关键取决于接缝密封的程度。国内经常采用的是双焊缝自动热合技术，这种方法一方面能保证焊接质量，另一方面也便于充气检查。

下部塑料板压住上部塑料板的规定，是为了使塑料板外侧上部的渗漏水能顺利流下，不至于积聚在塑料板的搭接缝处而形成隐患。

3.塑料防水板的铺设和内衬混凝土的施工交叉作业时，如两者施工距离过近则相互间易受干扰，过远又会受施工条件限制达不到规定的要求，且会使已铺好的防水板因自重造成脱落。根据现场施工经验，两者施工距离宜为 5m 左右。

4.5.3 塑料板防水层工程施工质量的检验数量，应按铺设防水板总数的 1/10 进行抽查，每处 10m²，且不得少于 3 处。焊缝的检验应按焊缝数量抽查 5%，且不得少于 3 条。

4.5.4 塑料防水板是工厂定型产品，具有厚薄均匀、质量保证、施工方便和对环境无污染的优点。塑料防水板的种类很多，从生产工艺上分有吹塑型和挤塑性，从材料种类上分有橡胶型、塑料型和其他化工类产品，幅宽从 1~7m 不等。以下列举国内经常使用的几种产品，供设计使用时参考。

EVA 膜系乙烯—醋酸乙烯共聚物，特点是抗拉及抗裂强度较大、相对密度小，具有突出的柔软性和延伸率较大的优点，施工方便，防水效果优良。

LDPE 膜系低密度聚乙烯，特点是抗压强度及延伸率大、比较柔软、易于施工，在目前应用的塑料防水板中价格最低；缺点是燃烧速度比 EVA 大，不耐阳光照射。

HDPE 为高密度聚乙烯，抗拉强度、延伸率等技术指标较高，但产品比较硬，施工困难。

ECB 是乙烯共聚物沥青，板厚 1.0~2.0mm，在奥地利、瑞士、意大利、韩国等国家的隧道中应用较多，其抗拉强度、延伸率、抗刺穿能力等性能均优于 EVA 和 LDPE，在有振动、扭曲等复杂环境下也能实现坚固的防水目的，但铺设稍难，造价也高。

PVC 即聚氯乙烯板，厚度 1~3mm，在欧洲一些国家的隧道中应用较多，国内大瑶山隧道和北京地铁隧道都有应用。这种防水板幅宽较小(国内幅宽只有 1m)接缝多，相对密度大不易铺设，尤其是焊接时有 HC1 等有害气体逸出对健康有一定的影响。

本规范附录 A 第 A.0.3 条所列入塑料防水板主要物理性能，系根据现在使用较多的几种防水板的性能综合考虑提出的，工程设计时可根据工程的要求及投资等情况合理选用。

4.5.5 塑料板的搭接缝必须采用热风焊枪进行焊接。焊缝的检验一般是在双焊缝间空腔内进行充气检查。充气法检查，即将 5 号注射针与压力表相接，用打气筒进行充气，当压力表达达到 0.25MPa 时停止充气，保持 15min，压力下降在 10%以内，说明焊缝合格；如压力下降过快，说明有未焊好处。用肥皂水涂在焊缝上，有气泡的地方重新补焊，直到不漏气为止。

4.5.6 基层质量的好坏直接影响塑料防水板的防水效果，塑料防水板一般是在初期支护(如喷射混凝土、地下连续墙)上铺设，要求基层表面十分平整则费时费力，且也达不到理想的要求。根据工程实践经验提出:铺设塑料防水板的基层宜平整，无尖锐物。基层平整度应符合 $D/L=1/6\sim 1/10$ 的要求。式中 D ——初期支护基层相邻两凸面凹进去的深度； L ——初期支护基层相邻两凸面间的距离。

4.5.7 塑料防水板的铺设应与基层固定牢固。防水板固定不牢会引起板面下垂，绷紧时又会将防水板拉断。

因拱顶防水板易绷紧，从而产生混凝土封顶厚度不够的现象。因此需将绷紧的防水板割开，并将切口封焊严密再浇筑混凝土，以确保封顶混凝土的厚度。

4.5.8 塑料防水板采用热压焊接法的原理:将两片 PVC 卷材搭接，通过焊嘴吹热风加热，使卷材的边缘部分达到熔融状态，然后用压辊加压，使两片卷材熔为一体。

塑料板搭接缝采用热风焊接施工时,单条焊缝的有效焊接宽度不应小于 10mm。故塑料板搭接宽度不应小于 80mm,有效焊接宽度应为 $10 \times 2 + \text{空腔宽}$ 。本条文给出了搭接宽度的允许偏差,可以做到准确下料和保证防水层的施工质量。

4.6 金属板防水层

4.6.1 金属板防水层重量大、工艺繁、造价高,一般地下防水工程极少使用,但对于一些抗渗性能要求较高的构筑物(如铸工浇注坑、电炉钢水坑等),金属板防水层仍占有重要地位和实用价值。因为钢水、铁水均为高温熔液,可使渗入坑内的水分汽化,一旦蒸汽侵入金属熔液中会导致铸件报废,严重者还有引起爆炸的危险。

4.6.2 金属板防水层在地下水的侵蚀下易产生腐蚀现象,除了对金属材料和焊条、焊剂提出质量要求外,对保护材料也作了相应的规定。

4.6.3 金属板防水层的接缝应采用焊接,为保证接缝的防水密封性能,应对焊缝的质量进行外观检查 and 无损检验。

4.6.4 金属防水板易产生锈蚀、麻点或被其他铁件划伤,因此本条文对上述缺陷提出了质量要求。

4.6.5 本条文规定了金属板防水层工程施工质量的检验数量。因焊缝的好坏是保证金属板防水层质量的关键,所以对焊缝单独提出抽检要求。

4.6.6 金属板材和焊条的规格、材质必须按设计要求选择,钢材的性能应符合国标《碳素结构钢》GB 700—88 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591—94 的要求。

4.6.7 焊工考试按行标《建筑钢结构焊接规程》JGJ 81—91 的有关规定进行,焊工执业资格证书应在有效期内,执业资格证书中钢材种类、焊接方法应与施焊条件相应。

4.6.8 金属板表面如有明显凹面和损伤,会使板的厚度减小,影响金属板防水层的使用寿命,甚至在使用过程中产生渗漏现象,因此金属板防水层完工后不得有明显凹面和损伤。

4.6.9 焊缝质量直接影响金属板防水层的使用寿命,严重者会造成渗漏,因此对焊缝的缺陷应进行严格的检查,必要时采用磁粉或渗透探伤等无损检验,执行时可参照行标《建筑钢结构焊接规程》附录九或附录十的规定进行。发现焊缝不合格或有渗漏时,应及时进行修整或补焊。

4.6.10 焊缝的观感应做到外形均匀、成型较好,焊道与焊道、焊道与基本金属间过渡较平滑,焊渣和飞溅物基本清除干净。

金属板防水层应加以保护,对金属板需用的保护材料应按设计规定使用。

4.7 细部构造

4.7.1 地下工程设置变形缝的目的,是在工程伸缩、沉降变形条件下使结构不致损坏。因此,变形缝防水设计首先要满足密封防水,以适应变形的要求。用于伸缩的变形缝宜不设或少设,可根据不同的工程结构类别及工程地质情况采用诱导缝或后浇带等措施。

主体采用防水混凝土时,施工缝的防水除了与选用的构造措施有关外,还与施工质量有很大的联系。

4.7.2 地下工程设置封闭严密的变形缝,变形缝的构造应以简单可靠、易于施工为原则。选用变形缝的构造形式和材料时,应根据工程特点、地基或结构变形情况以及水压、水质影响等因素,以适应防水混凝土结构的伸缩和沉降的需要,并保证防水结构不受破坏。对水压大于 0.3MPa、变形量为 20~30mm、结构厚度大于和等于 300mm 的变形缝,应采用中埋式橡胶止水带;对环境温度高于 50℃、结构厚度大于和等于 300mm 的变形缝,可采用 2mm 厚的紫铜片或 3mm 厚的不锈钢等金属止水带,其中间呈圆弧形。

由于变形缝是防水薄弱环节,成为地下工程渗漏的通病之一。因此,根据本规范第 3.0.2 条的规定,对变形缝的防水措施作了具体的要求。变形缝的复合防水构造,是将中埋式止水带与遇水膨胀橡胶腻子止水条、嵌缝材料复合使用,形成了多道防线。

4.7.3 变形缝的渗漏水除设计不合理的原因之外,施工不精心也是一个重要的原因。针对目前存在的一些问题,本条作了具体规定。

4.7.4 关于墙体留置施工缝时,一般应留在受剪力或弯矩较小处,水平施工缝应高出底板 300mm 处;拱(板)墙结合的水平施工缝,宜留在拱(板)墙接缝线以下 150~300mm 处。

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清理困难,不便施工。实践证明这两种方法的效果并不理想,故本条采用留平缝加设遇水膨胀橡胶腻子止水条或中埋止水带的方法。

施工缝处采用遇水膨胀橡胶腻子止水条时,一是应采取表面涂缓膨胀剂措施,防止由于降雨或施工用水等使止水条过早膨胀;二是应将止水条牢固地安装在缝表面预留槽内。

4.7.5 为防止混凝土由于收缩和温差效应而产生裂缝,一般在防水混凝土结构较长或体积较大时设置后浇带。后浇带的位置应设在受力和变形较小而收缩应力最大的部位,其宽度一般为 0.7~1.0m,并可采用垂直平缝或阶梯缝。

后浇带两侧先浇筑的混凝土,龄期达到 42d 混凝土得到充分收缩和变形后,采用微膨胀混凝土进行后浇带施工,可以保证后浇筑混凝土具有一定的补偿收缩性能。

4.7.6 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满焊而不密实,则止水环与管接触处形成漏水的隐患。

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。

4.7.7 固定模板用的螺栓必须穿过混凝土结构时,可采用下列止水措施:

- 1.在螺栓或套管上加焊止水环,止水环必须满焊;
- 2.采用工具式螺栓或螺栓加堵头做法;
- 3.拆模后应采取加强防水措施,将留下的凹槽封堵密实。

4.7.8 背衬材料应填塞在接缝处的密封材料底部,其作用是控制密封材料嵌填深度,预防密封材料与缝的底部粘结而形成三面粘,不至于造成应力集中和破坏密封防水。因此,背衬材料应尽量选择与密封材料不粘结或粘结力弱的材料。背衬材料的形状有圆形、方形或片状,应根据实际需要决定。

密封材料嵌填时,对构造尺寸和形状有一定的要求,未固化的材料不具备一定的弹性,施工中容易碰损而产生塑性变形,故规定应在其上设置宽度不小于 100mm 的保护层。

4.7.9 防水混凝土结构的细部构造是地下工程防水的薄弱环节,施工质量检验时应按全数检查。

4.7.10 关于止水带的尺寸允许偏差和物理性能,本规范附录 A 第 A.0.4 条已作了规定。指标要求依据是国标《高分子防水材料》(第二部分止水带)GB 18173.2—2000。

关于遇水膨胀橡胶腻子止水条的物理性能,本规范附录 A 第 A.0.5 条已作了规定。指标要求依据是国标《高分子防水材料》(第三部分遇水膨胀橡胶)GB 18173.3—2002。

关于接缝密封材料的物理性能,本规范附录 A 第 A.0.6 条已作了规定。指标要求依据是行标《建筑防水沥青嵌缝油膏》JC/T 207—1996、《聚氨酯建筑密封膏》JC/T 482—1992(1996)、《丙烯酸建筑密封膏》JC/T 484-1992(1996)。

4.7.11 参见本规范第 4.1.9 条的条文说明。

4.7.12 中埋式止水带施工时常发现止水带的埋设位置不准确，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，因铁丝在振捣力的作用下会变形甚至振断，故其效果不佳。止水带端部应先用扁钢夹紧，再将扁钢与结构内的钢筋焊牢，使止水带固定牢靠、平直。

4.7.13 穿墙管的主管与止水环以及套管翼环都应连续满焊，对改变地下水的渗透路径、延长渗透路线是很有益的。

4.7.14 在地下工程防水设防中，变形缝除中埋式止水带一道设防外，还应选用遇水膨胀橡胶腻子止水条和防水嵌缝材料。因此，本条文对防水混凝土结构的变形缝采用密封材料施工提出了要求。

5 特殊施工法防水工程

5.1 锚 喷 支 护

5.1.1 锚喷暗挖隧道施工，一般都是以循环节进行开挖，为防止围岩应力变化引起塌方和地面下沉，故要求挖、支、喷三个环节紧跟。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。

5.1.2 喷射混凝土质量与水泥品种和强度关系密切，而普通硅酸盐水泥与速凝剂有很好的相容性，所以优先选用。矿渣硅酸盐水泥和火山灰质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、早期强度低、干缩性大，所以对早期强度要求较高的喷射混凝土不如普通硅酸盐水泥好。

为减少混合料搅拌中产生粉尘和干料拌合时水泥飞扬及损失，有利于喷射时水泥充分水化，故要求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。

5.1.3 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。

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混凝土收缩量，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，不要超过规定的停放时间。

5.1.4 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，表面有涌水时事先应尽可能作好排水处理或采取有效措施。

5.1.5 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，应即进行喷水养护，并保持较长时间的养护，一般不得少于 14d。当气温低于+5℃时，不得喷水养护。

5.1.6 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重要指标。所以通常作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的检查可参考国标《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GBJ 50086—2001的有关规定。

由于地下铁道隧道还有抗渗要求,因此还要做抗渗试件。

5.1.7 锚杆的锚固力与安装施工工艺操作有关,锚杆安装后应进行抗拔试验,达到设计要求才为合格。本条参考《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299—1999第7.6.18条的规定,即同一批锚杆每100根应取一组(3根)试件,同一批试件抗拔力的平均值不得小于设计锚固力,抗拔力最低值不应小于设计锚固力的90%。

5.1.8 锚喷支护施工质量的检验数量,是参考国标《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299—1999第7.6.14条的有关规定。

5.1.9 根据行标《公路隧道设计规范》JTJ 026—90的规定,锚喷支护有关设计参数可按表5.1.9-1和表5.1.9-2采用。

5.1.10 参见本规范第5.1.6条和第5.1.7条的条文说明。

5.1.11 喷层与围岩以及喷层之间粘结应用锤击法检查。

5.1.12 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。

表 5.1.9-1 锚喷衬砌的设计参数

围岩类别	单车道	双车道
VI	喷射混凝土厚度 60mm	喷射混凝土厚度 60~100mm;必要时设置锚杆,锚杆长度 1.5~2.0m,间距 1.2~1.5m
V	喷射混凝土厚度 60~100mm;必要时设置锚杆,锚杆长度 1.5~2.0m,间距 1.2~1.5m	喷射混凝土厚度 80~120mm;设置锚杆长度 2.0~2.5m,间距 1.0~1.2m;必要时设置局部钢筋网
IV	喷射混凝土厚度 80~120mm;设置锚杆长度 2.0~2.5m,间距 1.0~1.2m;必要时配置钢筋网	喷射混凝土厚度 100~150mm;设置锚杆长度 2.5~3.0m,间距 1.0m;配置钢筋网

注:1.III类及以下围岩采用锚喷衬砌时,设计参数应通过试验确定;

2.边墙喷射混凝土的厚度可取表列参数的下限值,如边墙围岩稳定,可不设置锚杆和钢筋网;

3.配置钢筋网的网格间距一般为 150~300mm,钢筋网保护层不小于 20mm。

表 5.1.9-2

复合式衬砌初期支护的设计参数

围岩类别	单车道	双车道
IV	喷射混凝土厚度 50~100mm; 设置锚杆长度 2.0m, 间距 1.0~1.2m; 必要时配置局部钢筋网	喷射混凝土厚度 100~150mm; 锚杆长度 2.5m, 间距 1.0~1.2m; 必要时配置钢筋网
III	喷射混凝土厚度 100~150mm; 锚杆长度 2.0~2.5m, 间距 1.0m; 必要时配置钢筋网	喷射混凝土厚度 150mm; 锚杆长度 2.5~3.0m, 间距 1.0m, 设置钢筋网
II	喷射混凝土厚度 150mm; 锚杆长度 2.5m, 间距 0.8~1.0m; 设置钢筋网, 应施作仰拱	喷射混凝土厚度 200mm; 锚杆长度 3.0~3.5m, 间距 0.8~1.0m; 设置钢筋网; 必要时设置钢架, 应施作仰拱
I	喷射混凝土厚度 200mm; 锚杆长度 3.0m, 间距 0.6~0.8m; 设置钢筋网; 必要时设置钢架, 应施作仰拱	通过试验确定

注: 采用钢架时, 宜选用轻型钢材制作, 钢架外喷射混凝土保护层不小于 40mm。

地下工程支护检查喷层厚度的断面数量可按表 5.1.12 确定。每个独立工程的检查数量不得少于 1 个断面, 每个断面的检查点应从拱部中线起, 每 2~3m 设 1 个, 但 1 个断面上拱部不应少于 3 个点, 总计不应少于 5 个点。

表 5.1.12

喷射混凝土厚度检查断面间距(m)

隧洞跨度	间距	竖井直径	间 距
<5	40~50	<5	20~40
5~10	20~40	5~8	10~20
>10	10~20	—	—

合格条件:每个断面上全部检查孔处的喷层厚度, 60%以上不应小于设计厚度, 最小值不应小于设计厚度的 50%; 同时, 检查孔处厚度的平均值不应小于设计厚度值。对重要工程, 拱、墙喷层厚度的检查结果应分别进行统计。

5.1.13 本条文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、露筋、渗漏水等情况时, 应予凿除喷层重喷或进行整治。

5.1.14 本条文规定是针对地下工程复合式衬砌的初期支护提出的。根据本规范第 4.5.6 条的规定, 要求塑料板防水层的基面应平整、圆顺, 故规定喷射混凝土表面平整度的允许偏差应为 30mm, 且矢弦比不得大于 1/6。

5.2 地下连续墙

5.2.1 地下连续墙主要是用作地下工程的支护结构, 也可以作防水等级为 1、2 级工程的与内衬结构构成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，但从耐久性考虑这类地下连续墙，不宜用作防水等级为 1 级的地下工程墙体。

5.2.2 由于地下连续墙结构是在水下灌注防水混凝土，所以其水泥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的上升速度，混凝土必须具有一定的流动性，坍落度也相应地大一些。其他均与本规范第 4.1 节防水混凝土相同。

5.2.3 本条文参考国标《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。

5.2.4 地下连续墙用作结构墙体时，应对墙面凿毛与清洗，必要时施作水泥砂浆防水层；地下连续墙与内衬构成复合式衬砌时，应对墙面凿毛与清洗，施作卷材、涂料或塑料板防水层后，再浇筑内衬混凝土。

5.2.5 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，提高防水效能。由于拐角处是施工的薄弱环节，施工中易出现质量问题，所以接头尽量少设在拐角处，防止渗漏水发生。采用复合式衬砌结构的接头缝和地下连续墙接头缝要错开设置，避免通缝并防止渗漏水。

5.2.6 施作地下连续墙与内衬构成的复合式衬砌，可用作防水等级为 1、2 级的地下工程。

地下连续墙与内衬结构连接处，应按本规范第 4.7.4 条的规定进行处理。由于地下连续墙和内衬结构在板的位置上钢筋连为一体，此处防水如处理不好极易形成渗漏水通道，一旦内衬墙有渗漏很难找出渗漏水点，因此对内衬墙的细部构造必须精心施工。

5.2.7 地下连续墙施工质量的检验数量，应按连续墙槽段的 1/10 进行抽查。地下连续墙是以每一槽段为单元进行施工的，所以每检查 1 处就应该是 1 个槽段。

5.2.8 参见本规范第 4.1.7 条的条文说明。

5.2.9 参见本规范第 4.1.8 条的条文说明。

5.2.10 地下连续墙的槽段接缝方式，应优先选用工字钢或十字钢板接头，并应符合设计要求。使用的锁口管应能承受混凝土灌注时的侧压力，灌注混凝土时不得位移和发生混凝土绕管现象。

地下连续墙的墙体与内衬结构接缝，应符合本规范第 5.2.6 条的规定。

5.2.11 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(空气中)浇筑的质量。

为保证使用要求,裸露的地下连续墙应表面密实,无渗漏,孔洞、蜂窝累计的面积不得超过单元槽段裸露面积的 2%,而露筋不得超过 1%。否则,在施工其他防水层之前,应对上述缺陷进行修整或处理。

5.2.12 本条文参考国标《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。

5.3 复合式衬砌

5.3.1 复合式衬砌近年来发展较快,在铁路隧道、地下铁道工程中已大量使用。由于在初期支护和内衬中间设置一道塑料防水板,可以大大减少内衬混凝土干缩时的约束,使内衬混凝土的裂缝变小,提高了结构主体防水的能力。

铺设塑料防水板之前,一般还应铺设缓冲层,一是考虑基层表面有不平整现象;二是避免基层表面有坚硬物体刺破防水层;三是有的缓冲层(如土工布)有渗排水性能,能起到引排水的作用。

5.3.2 地下工程防水的设计应遵循“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。当初期支护出现线流漏水或大面积渗水时,应首先进行封堵或引排,然后进行防水层或排水层的施工。

5.3.3 参见本规范第 4.5.2 条的条文说明。

5.3.4 1.由于隧道内施工场地狭窄,需要采用输送泵把混凝土输送到结构内。这里规定的坍落度是根据实践确定的,由于拱部混凝土振捣要比墙体困难,故坍落度规定宜大些。

2.混凝土浇筑到墙拱结合部应间歇 1~1.5h,可使墙体内混凝土有一个下沉过程,保证混凝土密实,并可避免连接处产生裂缝。

3.二次衬砌结构是在初期支护结构变位已基本稳定后施工的,不直接承受地层的压应力,只承受结构自重的应力,所以规定结构混凝土浇筑后强度达到 2.5MPa 以上时即可拆模。

5.3.5 复合式衬砌施工质量的检验数量,是参考本规范第 5.1.8 条的规定。

5.3.6 缓冲排水层选用的土工布应符合下列要求:

- 1.具有一定的厚度,其单位面积质量不宜小于 180g/m²;
- 2.具有良好的导水性;
- 3.具有适应初期支护由于荷载或温度变化引起变形的能力;

4.具有良好的化学稳定性和耐久性，能抵抗地下水或混凝土、砂浆析出水的侵蚀。

5.3.7 参见本规范第 4.1.8 条的条文说明。

5.3.8 参见本规范第 4.1.9 条的条文说明。

5.3.9 复合式衬砌可用作防水等级为 1、2 级的地下工程。工程验收时，应将二次衬砌渗漏水量控制在设计防水等级要求范围内。

5.3.10 参见本规范第 4.1.10 条的条文说明。

5.4 盾构法隧道

5.4.1 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。

5.4.2 本条文是针对不同防水等级的盾构隧道，确定相应的防水措施，表 5.4.2 主要依据国内多年盾构隧道防水的实践总结，同时参考了上海市的市标《盾构法隧道防水技术规程》而制定的。

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 5.4.2 规定“宜选”或“部分区段宜选”。

5.4.3 钢筋混凝土管片是在工厂预制的，为满足隧道结构防水要求而制定了管片制作的质量标准。

单块管片制作尺寸允许偏差似与防水关系不大，但是密封垫只有在与高精度管片相配时才能满足防水要求，故对管片的制作精度不容忽视。

5.4.4 本条文规定是针对其施工特点，为保证管片制作质量和有利于对管片混凝土抗压强度和抗渗压力的检验而制定的。

对管片生产进行检漏测试，是直接对加工制作成的衬砌混凝土进行抗渗性检测。管片生产正常后，则对每生产两环抽查一块检漏，检漏应按设计抗渗压力恒压 2h，渗水深度不得超过管片厚度的 1/5。

5.4.5 管片拼装顺序有先封顶或先封底两种，但目前绝大多数都采用底部为第一块、最后封顶的形式，其他为左右交叉进行，最后封顶成环。先拼装落底的第一块容易定位，同时对以后各块管片拼装也创造工作条件。

5.4.6 钢筋混凝土管片接缝防水，主要是依靠嵌填防水密封垫，所以对密封垫的设置和粘贴提出了具体要求。同时，管片拼装前应逐块对粘贴的密封垫进行检查，在管片吊运和拼装过程中要采取措施，防止损坏密封垫。

管片接缝处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,要求嵌缝应在隧道结构基本稳定后进行。

管片一般为肋形结构,其端部肋腔内设有管片螺栓连接孔,为防水需要应按设计加设螺孔密封圈。同时,螺栓孔与螺栓间还需充填防水材料,封闭其渗水通路,以达到防水的目的。

5.4.7 盾构法隧道施工质量的检验数量,应按每连续 20 环抽查 1 处,每处为一环,但不少于 3 处。

5.4.8 盾构隧道管片接缝防水主要采用弹性密封垫材料。

本规范附录 A 第 A.0.7 条中规定了弹性橡胶密封垫材料和遇水膨胀橡胶密封垫胶料的物理性能。其中,遇水膨胀橡胶密封垫胶料的性能指标是参考国标《高分子防水材料》(第三部分遇水膨胀橡胶)GB 18173.3—2002;弹性橡胶密封垫材料的性能指标是参考目前国内盾构法隧道密封垫设计中的通常要求。

5.4.9 参见本规范第 4.1.8 条的条文说明。

5.4.10 防水等级为 1~4 级的盾构隧道衬砌,工程验收时应将衬砌渗漏水量控制在设计防水等级要求范围内。

5.4.11 参见本规范第 5.4.6 条的条文说明。

5.4.12 管片拼装的隧道结构是由螺栓连接成环的。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拧紧。

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

6 排水工程

6.1 渗排水、盲沟排水

6.1.1 渗排水、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防水目的。

6.1.2 本条介绍渗排水层的构造、施工程序及要求,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,充分发挥其渗排水作用,对砂石颗粒、砂石含泥量以及粗砂过滤层厚度均作了规定;在构造上还要求在渗排水层顶面做隔离层,是防止渗排水层堵塞的措施。

6.1.3 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,然后用水泵将水抽出。

6.1.4 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。

6.1.5 本条文规定了盲沟反滤层的砂、石粒径组成和层次的设计要求。

6.1.6 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。

加筋软管式透水盲管的应用,可参考行标《铁路路基土工合成材料应用技术规范》TB10118—99 的有关规定。

6.1.7 条文中“按两轴线间”,指具体工程的一个施工段。如地铁车站的一个施工段,通常为 20~30m。

6.1.8 本条应符合本规范第 6.1.5 条的规定。

6.1.9 集水管应设置在粗砂过滤层下部,坡度不宜小于 1%,且不得有倒坡现象。

6.1.10 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 30~50mm 厚 1:3 水泥砂浆作隔离层。

6.1.11 渗排水层总厚度一般不应小于 300mm。如较厚时应分层铺填,每层厚度不

得超过 300mm。同时还应做到拍实和铺平。

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

6.2 隧道、坑道排水

6.2.1 隧道、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。

复合式衬砌的排水系统,除纵向集水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。侧墙外排水应做明沟。

6.2.2 排水泵站的设置以及集水池的有效容积等设计,与隧道消防排水、汛期雨水等有密切关系,应注意相关专业的验收要求和规定。

6.2.3 本条提到污水的排放应符合国家现行有关标准的规定,涉及到污水处理问题应遵循当地规定并协商解决。

6.2.4 作为隧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,应注意其制品有否企业标准,并按其标准检验质量。

6.2.5 土工织物的连接方法应符合下列要求:

1.搭接法应采用水平铺设的场合,搭接宽度不得小于 300mm;

2.缝合法是使用移动式缝合机将尼龙线或涤纶线面对面缝合,缝合处强度应达到纤维强度的 60%~80%;

3.胶结法是使用胶粘剂将两块土工织物胶结在一起,搭接宽度不得小于 100mm,粘后应停放 2h 以上,以便增强接缝处强度;

4.土工织物与混凝土面固定主要采用胶结法,但必须做到基面平整且不渗水。

采用有涂膜的土工织物时,应使土工织物面为迎水面,而使涂膜(塑)面与后浇混凝土或水泥砂浆相接触,以防土工织物被水泥浆堵塞。

6.2.6 参见本规范第 6.1.7 条的条文说明。

6.2.7 新建和改建隧道时应对地表水和地下水作妥善处理,洞内外应有完整的防排水设施,以保证结构物和设备的正常使用和行车安全。

6.2.8 参见本规范第 6.1.8 条的条文说明。

6.2.9 地下工程引排水用土工织物的功能特性，主要反映在渗透系数、厚度和有效孔径等指标，施工时应按设计要求选用。在特殊部位设置土工织物时，还应考虑抗刺穿能力、拉伸率等指标。

本规范附录 A 第 A.0.8 条已列入排水用土工复合材料的主要物理性能，可供设计和施工人员选用。

6.2.10 隧道基底排水系统是由纵向集中盲管、横向排水管、排水明沟、中心排水盲沟等组成。纵向集中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%；横向排水管的坡度宜为 2%；排水明沟的纵向坡度不得小于 0.5%。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 0.1%；中心排水盲沟的纵向坡度应符合设计规定。

6.2.11 隧道采用导水盲管排水时，导水盲管的设置应符合下列规定：

- 1.盲管应沿隧道、坑道的周边固定于围岩表面；
- 2.盲管的间距宜为 5~20m，可在水较大处增设 1~2 道；
- 3.盲管与混凝土衬砌接触部位应用外包无纺布作隔浆层。

横向排水管的设置应符合下列规定：

- 1.宜采用渗水盲管或混凝土暗槽；
- 2.间距宜为 5~15m；
- 3.坡度宜为 2%。

6.2.12 中心排水盲沟宜采用无砂大孔混凝土管或渗水盲管，其管径应由渗漏水量大小确定，内径不得小于 $\phi 250\text{mm}$ 。

6.2.13 本条文主要从排水的用途上说明土工织物铺设的要点。同时，还应符合本规范第 6.2.5 条的规定。

7 注浆工程

7.1 预注浆、后注浆

7.1.1 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,按下列要求选择:

- 1.在工程开挖前,预计涌水量大的地段、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。

上述所列条款可单独进行,也可按工程情况采用几种注浆方案,确保地下工程达到要求的防水等级。

7.1.2 由于国内注浆材料的品种多、性能差异大,事实上目前还没有一种浆材能全部满足工程需要,一般能满足本条规定中的几项要求就算不错了。所以要熟练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。

7.1.3 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。因为渗透注浆的对象主要是各种形式的砂土层,所以要求被注体应具有一定的孔隙(即渗透系数大于 10^{-5}cm/s),否则难以保证注浆效果。

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。因此,劈裂注浆一般用于渗透系数不大于 10^{-6}cm/s 的粘土层。

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。高压喷射注浆法可用于加固软弱地层。

7.1.4 注浆材料包括了主剂和浆液中掺入各种外加剂。主剂可分颗粒浆液和化学

浆液两种。颗粒浆液主要包括水泥浆、水泥砂浆、粘土浆、水泥粘土浆以及粉煤灰、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，常采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。壁后回填注浆因为是起填充作用的，所以尽量采用颗粒浆液。各种浆液配合比，必须根据注浆效果经过现场试验后确定。

7.1.5 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表或其有效范围之外，会给周边结构带来不良影响，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 70%后进行。

为避免衬砌后围岩注浆影响回填注浆浆液固结体，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 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采取措施。

在地面进行垂直注浆后，为防止坍孔造成地面沉陷，要求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，保证施工的安全。

5.注浆浆液特别是化学浆液，有的有一定毒性，如丙烯酰胺类等。为防止污染地下水，施工期间应定期检查地下水的水质。

7.1.6 注浆工程施工质量的检验数量，应按注浆加固或堵漏面积每 100m² 抽查 1 处，每处 10m²，且不得少于 3 处。

7.1.7 几乎所有品牌的水泥都可以作为注浆材料使用，为了达到不同的注浆要求，往往在水泥中加入外加剂和掺合料，这样既扩大了水泥注浆的应用范围，也提高了固结体的技术性能。由于水泥和外加剂的品种繁多，浆液的组成较复杂，所以有必要对进场后的材料进行抽查检验。

1.水玻璃又称硅酸钠($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$)，由于其没有毒性，一直被广泛用于各种注

浆工程中。水玻璃类浆液是以水玻璃为主剂，加入胶凝剂生成凝胶体，充填于被注体的空隙内，达到堵水防渗目的。水玻璃中 Na_2O 和 SiO_2 含量不同，所获得的注浆体性能也不相同。水玻璃浆液一般用波美度和模数来表示，以 40°Be 左右的水玻璃应用最为广泛。

2. 聚氨酯是一种防渗堵漏能力强、固结体强度高的注浆材料。聚氨酯浆液主要有预聚体和各种外加剂组成。按配方组成的不同分为水溶性和油溶性两种。油溶性的聚氨酯预聚体是由多异氰酸酯和聚醚树脂合成而得，水溶性的聚氨酯预聚体由环氧乙烷开环聚合或环氧乙烷与环氧丙烷开环共聚所得的聚醚与多异氰酸酯反应而成。两种聚氨酯除了预聚体的合成途径不同外，外加剂品种基本相同，只是组成有所改变。外加剂的组成中，增塑剂的作用是提高浆液固结体的弹性和韧性；活性剂主要是提高发泡体的稳定性并改善发泡体结构；催化剂是加速浆液与水反应速度，控制发泡时间和凝结固化速度；乳化剂可以提高催化剂在浆液和水中的分散度；稀释剂的目的是降低浆液粘度提高其可注性。

7.1.8 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，在分析各注浆孔资料的基础上，按设计要求对注浆薄弱地方进行钻孔取芯检查，检查浆液扩散、固结情况；有条件时还可进行压力(抽水)试验，检查地层的吸水率(透水率)，计算渗透系数及开挖时的出水量。

7.1.9 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要求等，综合分析后确定注浆孔数、布孔方式及钻孔角度。

7.1.10 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；注浆压力太高，会引起裂隙扩大、岩层移动和抬升，浆液易扩散到预定注浆范围之外。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。

7.1.11 浆液沿注浆管壁冒出地面时，宜在地表孔口用水泥、水玻璃(或氯化钙)混合料封闭管壁与地表土孔隙，或用橡胶与气囊等栓塞进行密封，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，宜采取间隙注浆，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上冒(串浆)时,应采用跳孔施工。

7.1.12 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(构)筑物及地下管线的正常使用和安全运营。

7.2 衬砌裂缝注浆

7.2.1 衬砌混凝土表面有轻度或微量渗水时,一般采用聚合物水泥砂浆抹面或刚性防水多层抹面方法处理。当混凝土表面大面积严重渗漏,或有众多明显裂缝,或有大量蜂窝、麻面、孔洞时,都必须采用注浆处理。故本条规定了衬砌裂缝渗漏水采用堵水注浆处理的适用范围。

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。

7.2.2 注浆法是采用各种树脂浆液、水泥浆液或聚合物水泥浆液注入裂缝深部,达到恢复结构的整体性、耐久性及防水性的目的。注浆材料要求粘结力强,可注性好。因此,树脂类材料较水泥类材料应用得普遍,尤其是环氧树脂;水泥类材料一般仅用于宽度大于 2mm 的特大裂缝注浆。

7.2.3 防水混凝土衬砌一般孔隙小、裂缝细微,而普通水泥浆颗粒大难以注入,故常选用特种水泥浆或将水泥浆和化学浆配合使用,如超细水泥浆,超细水泥水玻璃浆,自流平水泥浆,硫铝酸盐水泥浆等。故本条提供了裂缝注浆水泥的细度以供施工时选用。

7.2.4 本条文参考了《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,便于施工过程对质量的控制。

7.2.5 衬砌裂缝注浆施工质量的检验数量,应按裂缝条数 1/10 抽查,每条裂缝为 1 处,且不得少于 3 处。

7.2.6 参见本规范 7.1.7 条的条文说明。

7.2.7 衬砌裂缝注浆质量检查,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。

在渗漏水状态下进行修堵时,必须把大面积渗漏变成小面积渗漏或线漏,线漏变成点漏,片漏变成孔漏。因此,可采取本规范附录 C 对渗漏水进行量测。

7.2.8 浅裂缝应骑槽粘埋注浆嘴，必要时沿缝开凿“V”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 100~1000mm，注浆管间距宜为 1000~2000mm。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。

7.2.9 参见本规范第 7.2.4 条的条文说明。

8 子分部工程验收

8.0.1 《建筑工程施工质量验收统一标准》规定地下防水工程为一个子分部工程。分项工程按检验批进行验收,有助于及时纠正施工中出现的质量问题,确保工程质量,符合施工实际的需要。

分项工程检验批的质量应按主控项目和一般项目进行验收。主控项目是对建筑工程的质量起决定性作用的检验项目,本规范用黑体字标志的条文列为强制性条文,必须严格执行。本条规定地下防水工程的施工质量,应按构成分项工程的各检验批符合相应质量标准要求。分项工程检验批不符合质量标准要求时,应及时进行处理。

8.0.2 地下防水工程验收的文件和记录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。

8.0.3 隐蔽工程为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。

8.0.4~8.0.7 规定地下建筑防水、特殊施工法防水、排水和注浆等工程施工质量的基本要求,主要用于子分部工程验收时进行的观感质量验收。工程观感质量由验收人员通过现场检查,并应共同确认。

8.0.8 按国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300—2001 的规定,建筑工程施工质量验收时,对涉及结构安全和使用功能的重要分部(子分部)工程应进行抽样检测。因此,地下防水工程验收时,应检查地下工程有无渗漏现象,渗漏水量调查与量测方法应按本规范附录 C 执行。检验后应填写安全和功能检验(检测)报告,作为地下防水工程验收的文件和记录之一。

8.0.9 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(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(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 8.0.2 条规定,将验收文件和记录提供总监理工程师(建设单位项目负责人)审查,检查无误后方可作为存档资料。