

DB42

湖 北 省 地 方 标 准

DB42/T 1922—2022

城市排水深隧工程技术规程

Technical specification for urban deep-buried drainage tunnel

2022 - 09 - 28 发布

2023 - 02 - 28 实施

湖北省住房和城乡建设厅
湖北省市场监督管理局

联合发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 基本规定 3

5 工程勘察 4

 5.1 一般规定 4

 5.2 可行性研究勘察 5

 5.3 初步勘察 5

 5.4 详细勘察 6

6 总体及工艺设计 8

 6.1 一般规定 8

 6.2 总体设计 9

 6.3 工艺设计 11

 6.4 附属工程 13

7 结构设计 15

 7.1 一般规定 15

 7.2 荷载和荷载组合 15

 7.3 隧道 17

 7.4 竖井 22

 7.5 深隧泵站 24

 7.6 预处理站 24

 7.7 构造要求 25

 7.8 防水防腐设计 26

8 施工要点 27

 8.1 一般规定 27

 8.2 隧道施工 27

 8.3 竖井施工 29

 8.4 深隧泵站施工 30

 8.5 预处理站施工 31

9 监测 31

 9.1 一般规定 31

 9.2 监测项目 31

 9.3 监测方法及监测频率 32

 9.4 监测控制值及预警 33

 9.5 监测成果及信息反馈 34

10 检验与验收 34

 10.1 一般规定 34

10.2	隧道	35
10.3	竖井	37
10.4	预处理站、深隧泵站	38
10.5	深层排水隧道功能性验收	39
10.6	联合调试运行验收	39
11	运行与维护	40
11.1	一般规定	40
11.2	工艺控制	40
11.3	运行管理	42
11.4	维护与检修	42
11.5	安全与应急	43
附录 A (资料性)	岩土试验项目	44
附录 B (资料性)	隧道围岩分级	46
附录 C (资料性)	监测项目	48
附录 D (规范性)	城市排水深隧工程分部分项工程验收划分	52
条文说明		58

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容 可能直接或间接涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由湖北省住房和城乡建设厅提出并归口管理。

本文件起草单位：中建三局绿色产业投资有限公司、中建科技武汉有限公司、湖北省标准化与质量研究院、武汉市政工程设计研究院有限责任公司、中建三局基础设施建设投资有限公司、中国市政工程中南设计研究总院有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司、中冶集团武汉勘察研究院有限公司、长江勘测规划设计研究有限责任公司、中国科学院武汉岩土力学研究所、泛华建设集团有限公司。

本文件主要起草人：王涛、胡晓彬、闵红平、丁洪元、邓涛、肖伟、欧阳院平、李树锋、汪小东、田湖南、朱海军、喻俊、阮超、邵璇、吴明明、罗金学、刘亚洲、黄文海、黄伟、霍培书、张利娜、谢桥军、龚杰、雷晶、陈伟、刘畅、毛升、李泽浩、秦劲伟、张延军、刘开扬、潘世昌、李巧玲。

本文件使用中的疑问，可咨询湖北省住房和城乡建设厅，联系电话：027-68873088，邮箱：mail.hbszjt.net.cn。在执行过程中如有意见和建议请邮寄中建三局绿色产业投资有限公司（地址：武汉市武汉经济开发区（汉南区）创业路70号，邮编：430056，邮箱：cscec3blt@126.com）。

城市排水深隧工程技术规程

1 范围

本文件规定了城市排水深隧工程的术语、基本规定、工程勘察、总体及工艺设计、结构设计、施工、监测、检验验收及运行与维护等。

本文件适用于城市市政工程中新建的深层排水隧道勘察、设计、建设及运行维护。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 31962 污水排入城镇下水道水质标准
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 50014 室外排水设计标准
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50026 工程测量标准
- GB/T 50046 工业建筑防腐蚀设计标准
- GB 50069 给水排水工程构筑物结构设计规范
- GB 50093 自动化仪表工程施工及质量验收规范
- GB 50108 地下工程防水技术规范
- GB 50141 给水排水构筑物工程施工及验收规范
- GB 50166 火灾自动报警系统施工及验收规范
- GB 50168 电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范
- GB 50169 电气装置安装工程接地装置施工及验收规范
- GB 50202 建筑地基基础工程施工质量验收标准
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50212 建筑防腐蚀工程施工规范
- GB 50223 建筑工程抗震设防分类标准
- GB 50243 通风与空调工程施工质量验收规范
- GB 50265 泵站设计规范
- GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范
- GB 50275 风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范
- GB/T 50299 地下铁道工程施工质量验收标准
- GB 50303 建筑电气工程施工质量验收规范
- GB 50307 城市轨道交通岩土工程勘察规范

GB 50334 城镇污水处理厂工程质量验收规范
GB 50446 盾构法隧道施工及验收规范
GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计标准
GB 50666 混凝土结构工程施工规范
GB 50788 城镇给水排水给水规范
GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
GB/T 51033 水利泵站施工及验收规范
GB/T 51130 沉井与气压沉箱施工规范
GB 51174 城镇雨水调蓄工程技术规范
GB/T 51336 地下结构抗震设计标准
GB 55002 建筑与市政工程抗震通用规范
GB 55008 混凝土结构通用规范
GB 55017 工程勘察通用规范
GB 55018 工程测量通用规范
CJJ 6 排水管道维护安全技术规程
CJJ 56 市政工程勘察规范
CJJ/T 164 盾构隧道管片质量检测技术标准
DL/T 5241 水工混凝土耐久性技术规范
DL/T 5783 水电水利地下工程地质超前预报技术规程
JGJ 147 建筑拆除工程安全技术规范
JGJ 476 建筑工程抗浮技术标准
SL 203 水工建筑物抗震设计规范
SL 279 水工隧洞设计规范
SL 317 泵站设备安装及验收规范
SL 775 水工混凝土结构耐久性评定规范
DB42/T 159 基坑工程技术规程
DB42/T 169 岩土工程勘察规程
DB42/ 242 建筑地基基础技术规范
DB42/T 1343 顶管法管道穿越工程技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城市排水深隧 deep-buried drainage tunnel in urban area

埋设于城市地表以下深层及次深层地下空间，用于调蓄、输送雨水或污水的隧道，亦称深层排水隧道。

3.2

雨水排放隧道 rainfall flood drainage tunnel

用于以转输雨水为主分流制排放雨水的地下隧道。

3.3

污水输送隧道 sewage drainage tunnel

输送城市地下污水的隧道。

3.4

合流调蓄隧道 rainwater-sewage confluence and storage tunnel

对合流污水、初期雨水进行调蓄和输送的地下隧道。

3.5

复合功能排水隧道 composite functional drainage tunnel

兼具洪涝控制、污染控制等多种功能的地下隧道。

3.6

竖井 vertical shaft

隧道直通地表的竖直通道，可作为工作井或用于通风、吊装等。

4 基本规定

4.1 城市排水深隧工程设计应以批复的城镇总体规划和排水专项规划为主要依据，与城市防洪排涝专项规划、海绵城市专项规划、道路交通专项规划协调统一。

4.2 城市排水深隧勘察可分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察等三个阶段开展工作。工程施工需要时，可根据周边环境和工程类别等开展专项勘察。

4.3 城市排水深隧勘察，应采用针对性的勘察手段，提供资料真实准确、评价合理、建议可行的岩土工程勘察报告。

4.4 城市排水深隧系统设计应综合考虑下列因素：

- a) 污水的汇流、再生利用及集中处置；
- b) 与邻近区域内的污水和污泥的处理和处置系统相协调；
- c) 与邻近区域及区域内给水系统和洪水的排除系统相协调；
- d) 适当改造原有排水工程设施、交通设施或地下空间，充分发挥其工程使用功能、提高效益。

4.5 城市排水深隧的设计，应根据隧道、泵站及竖井等主要建（构）筑物的特点及其所在场地的具体情况，通过技术、经济、工期、环境影响等多方面综合评价，选择合适的结构型式和施工方法。当隧道位于含水地层中，应采取可靠的地下水处治措施。

4.6 竖井及预处理站等构筑物的设计应按照安全、适用、技术先进和经济合理的原则，妥善处理与城市交通、地面建筑、地面与地下管线、地下构筑物之间的关系，并应满足城市景观及环境保护的要求。

4.7 城市排水深隧超前地质预报工作应符合下列规定：

- a) 排水隧道勘测设计阶段应根据隧道环境及特点，选择适宜的超前地质预报方法并积极采用综合预报方法进行超前地质预报方案设计；
- b) 排水隧道施工阶段应根据隧道地质复杂程度分级实施超前地质预报并纳入工序进行管理。隧道施工前，施工单位应根据预报对象的特点和超前地质预报方案设计，编制超前地质预报实施细则并纳入施工组织设计；
- c) 隧道超前地质预报可采用地质调查与勘探相结合、物探与钻探相结合、长距离与短距离相结合、地面与地下相结合、超前导坑与主洞探测相结合的方法，并对各种预报结果综合分析，相互验证，提高预报准确性；
- d) 城市排水深隧超前地质预报设计应符合DL/T 5783 的要求。

4.8 对于风险高、对周边环境影响易产生重大影响的高边坡、深基坑工程，隧道工程中的始发、接收及不良地质中掘进等应进行专项方案设计，施工中应配合实施风险管控措施。

4.9 城市排水深隧系统工程的建设、对于影响安全、危害健康的工序，应采取机械化和自动化设备。

4.10 当城市排水深隧工程施工难度大或采用新技术、新工艺、新设备、新材料时，宜应用BIM进行施工工艺模拟。

- 4.11 城市排水深隧工程的施工，应采取有效措施控制施工现场的各种粉尘、废气、废水、废渣、噪声、振动等对环境造成的污染和危害。
- 4.12 城市排水深隧施工前，施工单位应建设项目划分单位（子单位）工程、分部（子分部）工程、分项工程和检验批，作为施工质量检验、验收的基础。
- 4.13 深层排水隧道工程的建设、运行与维护应配置远程监控系统和智能化的调度系统。

5 工程勘察

5.1 一般规定

- 5.1.1 城市排水深隧工程的主体结构部份重要性等级为一级。城市排水深隧工程勘察等级为甲级。
- 5.1.2 可行性研究勘察应符合选线方案要求；初步勘察应符合初步设计的要求；详细勘察应符合施工图设计要求。
- 5.1.3 城市排水深隧工程勘察应根据不同的勘察阶段、工程类别和重要性、场地及岩土条件复杂程度、设计要求，制定勘察方案和提交勘察成果。根据施工工法特点，结合沿线工程地质和水文地质条件，为排水隧道工程设计、施工工法的比选等提供所需的岩土工程资料。
- 5.1.4 城市排水深隧工程勘察方案的编制和勘察成果应符合 GB 55017、GB 50021、GB 50007、GB 50307、JTG C20、CJJ 56 中有关房屋建筑和市政基础设施工程勘察文件编制深度规定。
- 5.1.5 城市排水深隧勘察应根据设计阶段的任务、目的和要求，采用综合勘察方法，查明沿线隧道围岩地质条件、围岩稳定性以及进出洞口、竖（斜）井等特殊部位的工程地质及水文地质条件，并提供设计、施工需要的岩土参数。
- 5.1.6 工程勘察前，根据不同勘察工作阶段的要求取得相关的技术资料，应包括下列内容：
 - a) 附有地形图的排水隧道总平面布置图、横断面图及纵断面图；
 - b) 排水隧道的埋置深度、荷载、基础类型及地基允许变形等资料，排水隧道结构材料类别及可能采取的施工方法；
 - c) 排水隧道周边环境状况，包含但不限于既有建（构）筑物基础类型、埋置深度及其与拟建排水隧道外边线的空间关系，既有管线的类型、几何尺寸、埋置深度等；
- 5.1.7 城市排水深隧工程地质调查和测绘、岩土分类、勘探、取样、原位测试、现场检验与监测除应执行 GB 55017、DB42/T 169 的有关规定外，还应符合下列规定：
 - a) 陆域段的勘探点应布置在排水隧道边线外侧 3 m~5m；
 - b) 水域段的勘探点应布置在排水隧道外侧 6 m~10m；
 - c) 勘探点宜交错布置；
 - d) 施工竖井勘探点应沿轮廓线周边布置，尺寸规模较大时中间亦应布置；
 - e) 隧道围岩分级应采用定性和定量相结合的方法判定。
- 5.1.8 岩土试验项目可按照附录A.1~A.3 并结合设计施工条件、工程地质与水文地质条件综合确定。
- 5.1.9 符合下列情况时，宜进行专项勘察：
 - a) 深层排水隧道沿线重要建（构）筑物或对工程建设有重要影响的地下设施，应调查查明其埋藏、分布情况，并分析其与拟建工程之间的相互影响；
 - b) 当水文地质条件对工程评价或工程降水有重大影响或需论证工程使用期间水位变化和抗浮设计水位值时，宜进行专门的水文地质勘察；
 - c) 深层排水隧道沿线重要建（构）筑物场地或附近存在对工程安全有影响的岩溶时。
- 5.1.10 各勘察阶段钻孔应结合施工工法要求，对钻孔进行封填采取不同的封填方法。勘探施工过程中，若钻孔中存在遗留物未取出，应详细记录其埋藏深度、长度、大小、材质等。钻探遗留物影响盾构法、矿山法、顶管法等施工的，勘察报告书应详细说明。

5.2 可行性研究勘察

5.2.1 可行性研究勘察应对拟建场地的稳定性和工程建设的适宜性做出可行性评价，选择合适的隧道口和隧道址；该阶段勘察主要以搜集资料、现场踏勘、工程地质测绘和调查为主，可进行适当的勘探、测试及试验。

5.2.2 可行性研究勘察的工作内容应包括：

- a) 搜集区域地形地貌、地质构造和地震、矿产、水文、气象、沿线重要建构筑物、地下管线等资料；
- b) 了解拟建场地的地质条件、地层岩性、地质构造、工程地质、水文地质和环境条件；
- c) 调查不良地质作用的类型、规模和分布；
- d) 地震和地质背景；
- e) 评价拟建方案场址的稳定性、工程建设的适宜性；
- f) 存在两个或以上拟选线路时，应进行比选分析，提出比选方案建议。

5.2.3 工程地质测绘比例尺宜为 1:2000~1:5000。山岭隧道的测绘范围宜为线位两侧各 200 m~300m，地（水）下隧道的测绘范围宜为线位两侧 300 m~500m。

5.2.4 勘探点间距宜为 500 m~800 m，地质变化较大且对工程影响较大处加密。在松散地层中，勘探孔深度应达到拟建隧道结构底板标高以下 2.5 倍隧道高度且不小于 20 m。在中风化~微风化岩石中，勘探孔深度应达到拟建隧道底板标高以下不小于 8 m。遇岩溶、土洞、暗河以及软弱土层等，勘探孔深度应穿过岩溶、土洞、暗河以及软弱土层，并根据工程需要适当加深。

- a) 可行性研究勘察应重点分析评价下列内容：拟建方案场址的稳定性、工程建设的适宜性；
- b) 分析评价隧道地层岩性、地应力分布、隧道洞口稳定条件及隧道施工对环境的影响等，提出合适的隧道选线和隧道口位置建议；
- c) 地下水的类型、埋藏条件、补给、排泄和动态变化；
- d) 地表水体的分布及其与地下水的关系，淤积物的特征；
- e) 当调查发现隧道沿线存在不良地质作用、特殊性岩土时，分析其可能对隧道建设的影响；
- f) 提出下一步工作建议。

5.3 初步勘察

5.3.1 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上，采用工程地质测绘、物探、勘探和测试等方法，初步查明选定方案的岩土工程条件和环境条件，初步确定岩体质量等级，为初步设计提供依据。

5.3.2 初步勘察时，应初步查明下列问题：

- a) 地形地貌和成因类型；
- b) 地层岩性、产状、厚度、风化程度；
- c) 断裂和主要裂隙的性质、产状、充填、胶结、贯通及组合关系；
- d) 不良地质作用的分布、规模、成因及发展趋势等；
- e) 岩土体地质年代、成因、结构及其工程性质；
- f) 地震地质背景，场地和地基的地震效应；
- g) 地下水的类型、埋藏条件、动态变化规律以及和地表水的补排关系；
- h) 水和土对工程材料的腐蚀性；
- i) 特殊性岩土的工程性质并对其进行相应的评价；
- j) 隧道穿越地面建筑物、地下构筑物、管道、航道、河道等既有工程时的相互影响；
- k) 对可能采用的隧道掘进方法、竖井开挖方案、地基基础方案、围岩及边坡稳定性进行初步分析与评价。

5.3.3 初步勘察工程地质测绘比例尺洞身段宜为 1:1000~1:2000，隧洞口边坡影响范围宜为 1:500，

断面图宜为 1:100~1:200。

5.3.4 物探方法的选择和物探测线的布置应根据排水隧道的埋深、沿线地质条件、地形、地貌及周边环境条件综合确定。应沿隧道轴线布置不少于 1 条测线；洞口处应布置不少于 3 条横测线；不同的地质体或构造类型，应布置 2~3 条测线。

5.3.5 勘探点宜沿排水隧道的边线外侧交叉布置，勘探点间距宜为 100 m~200 m，岩土条件简单时勘探点间距可适当加大；在地质条件复杂的隐伏阶地、河流、湖泊地段应布置勘探点，在排水隧道口、竖井位置应布置勘探点。

5.3.6 勘探孔深度，在松散地层中，一般性勘探孔应进入隧道底板标高以下不小于 1.5 倍隧道高度且不少于 15 m，控制性勘探孔应进入隧道底板标高以下不小于 2.5 倍隧道高度且不少于 20 m；在微风化及中等风化岩石中，勘探孔深度应进入隧道底板设计标高以下 1.0 倍隧道高度且不少于 5 m。当钻探遇岩溶、土洞、暗河等时，勘探孔的深度宜穿过，钻孔深度应根据实际情况确定。

5.3.7 取样及测试工作应符合下列要求：

- a) 隧道沿线采取土试样和进行原位测试的勘探孔数量，应根据地层结构、沿线地基土的均匀性、隧道掘进工法特点确定，且不应少于勘探点总数的 1/2；钻探取土试样数量不应少于勘探孔总数的 1/3，采取试样和进行原位测试的勘探孔数量不宜少于勘探孔总数的 2/3；每一主要岩层和土层均应采取试样数量不少于 6 组，原位测试数据不应少于 6 组；
- b) 当有地下水时应采取水试样，当水文地质条件复杂时，当工程需要时应进行水文地质试验；
- c) 当隧道区存在有害气体或地温异常时，应进行有害气体成分、含量或地温测定；
- d) 采用浅层地震剖面法或其他有效方法圈定隐伏断裂、构造破碎带，查明基岩埋深、划分风化带；
- e) 山岭隧道钻孔均应进行波速测试；
- f) 高应力区隧道进行地应力测试。

5.3.8 初步勘察时，应初步分析和评价下列内容：

- a) 不良地质作用和地质灾害、特殊性岩土的类型、分布、性质及对排水隧道工程的影响，提出隧道掘进施工工法建议，评价施工工法的可行性及防治措施的建议；
- b) 排水隧道沿线的地表水、地下水条件，评价对隧道及竖井施工的影响；
- c) 排水隧道沿线岩土施工工程分级、围岩分级。提出围岩的物理力学性质参数，评价洞室围岩的稳定性；
- d) 评价进出洞口、竖（斜）井、导坑、横洞等位置的工程地质条件以及岩土体稳定性，提出工程防护措施的建议；
- e) 评价水、土对建筑材料的腐蚀性；
- f) 评价场地和地基的地震效应；
- g) 评价场地稳定性及适宜性；
- h) 提出详勘工作建议。

5.4 详细勘察

5.4.1 详细勘察应采用钻探、物探和测试为主的勘察方法，必要时可结合施工导洞布置洞探，详细查明隧道洞址、隧道口、隧道穿越线路的工程地质和水文地质条件，分段划分岩体质量等级（围岩类别），评价隧道洞体和围岩的稳定性，按隧道设计方案、施工工法、勘察技术要求，进行岩土工程分析与评价，为施工图设计和施工方案提供资料。

5.4.2 详细勘察工作内容应包括下列内容：

- a) 查明场地地层岩性及其分布，划分岩组和风化程度，进行岩石物理、力学性质试验；
- b) 查明拟建方案沿线场地不良地质作用的类型、分布、规模、成因，分析发展趋势，提出防治措施的建议；

- c) 查明断裂构造和破碎带的位置、规模、产状和力学属性，划分岩体结构类型；
 - d) 查明特殊性岩土分布范围，评价其工程性质；
 - e) 查明隧道沿线河湖沟坑及暗浜的分布范围，调查隧道沿线周边环境条件；
 - f) 查明主要地下水的分布、厚度、埋深，地下水的类型、水位、埋藏条件及其和地表水的补给排泄条件，提供地下水位动态变化规律，根据需要分析评价其对工程的影响，预测开挖期间出水状态、涌水量；
 - g) 判定隧道沿线所有地表水、地下水和土对工程材料的腐蚀性；
 - h) 需要降水施工时，应分段提出工程降水方案和有关水文参数；
 - i) 对竖井和隧道沿线地震效应进行评价，提供抗震设计所需的有关参数；
 - j) 查明隧道沿线及邻近地段的地面建筑和地下构筑物、管线状况，预测隧道掘进可能产生的影响，提出防治措施。
- 5.4.3 详细勘察可采用适宜的物探方法，探测隐伏的地质界线、界面、不良地质体、地下空洞、土洞、溶洞、破碎带等；在钻孔之间增加地球物理勘探点，为钻探成果的内插、外推提供依据；在钻孔中进行弹性波波速测试，为确定岩体质量等级（围岩类别），评价岩体完整性，计算动力参数提供资料。
- 5.4.4 详细勘察以钻探、坑探、井探、测试工作为主，勘探点布置应符合下列要求：
- a) 控制性勘探孔数量不应少于勘探孔总数的 1/3；
 - b) 竖（斜）井、导坑、横洞等辅助通道应布置勘探点；
 - c) 隧道洞口及纵断面最低部位应布置勘探点；
 - d) 地貌单元、地质构造复杂地段、岩体破碎带应布置勘探点；
 - e) 地下水丰富、水文地质条件复杂的地段应布置勘探点；
 - f) 管道穿越河流时，河床及两岸均应布置勘探点；穿越铁路、公路时，铁路和公路两侧应布置勘探点；
 - g) 隧道口、竖井、地质条件复杂的地段应布置横断面勘探点，横断面孔数为 2~4 个。
- 5.4.5 勘探点间距宜结合隧道施工工法布置工作，应符合表 1 要求：

表1 不同工法勘探点布设间距要求表

场地和岩土复杂程度	矿山法	盾构法	顶管法
一级	20 m~30 m	20 m~30 m	20m~30m
二级	30 m~40 m	30 m~50 m	30m~50m
三级	40 m~50 m	50 m~60 m	50m~100m

- 5.4.6 勘探孔深度应符合下列要求：
- a) 当隧道底板在松散地层中，一般性勘探孔宜进入隧道底板以下不小于 1.5 倍隧道高度，控制性勘探孔宜进入隧道底板以下不小于 2.5 倍隧道高度且不小于 20 m。勘探孔深度应达到隧道底设计标高以下 15 m~20m；
 - b) 当隧道底板在中等风化或微风化岩石中，勘探孔深度应进入隧道底板标高以下 0.5 倍隧道高度且进入中等风化或微风化岩不小于 5 m。当遇岩溶、土洞和地下暗河等时宜穿过，钻孔深度应根据需要确定；
 - c) 排水隧道竖井勘探点深度应进入设计竖井底标高以下不少于 20 m，并满足抗浮设计、地基基础设计要求。
- 5.4.7 城市排水深隧详勘阶段的取样及测试，除满足初步勘察的要求外，数量应满足 GB 55017、DB42/T 169 及 CJJ 56 的有关规定外，还应根据设计要求进行下列试验：
- a) 采用室内试验、现场承压板边长为 30 cm 的承压板载荷试验或扁铲试验测地基基床系数；

- b) 采用面热源法或热线比较法进行热物理指标试验，计算包括导温系数、导热系数和比热容等热物理参数；
- c) 当需要提供动力参数时，可用压缩波波速和剪切波波速计算求得，必要时，可采用室内动力性质试验，提供动力参数；
- d) 当深层排水隧道穿越河流时，必要时测定河床以下的地下水水文地质参数，包括地下水的流速、流向。

5.4.8 城市排水深隧工程详细勘察应重点分析评价下列内容：

- a) 评价不良地质作用和地质灾害、特殊性岩土的类型、分布、性质及对排水隧道工程的影响，提出防治措施的建议；
- b) 评价排水隧道沿线岩土施工工程分级、围岩分级（可参照附录 B.1），明确围岩的物理力学性质参数，评价洞室围岩的稳定性；
- c) 评价进出洞口、竖（斜）井、导坑、横洞等位置的工程地质条件及岩土体稳定性，提出工程防护措施的建议；
- d) 评价水、土对建筑材料的腐蚀性；
- e) 评价沿线场地和地基的地震效应；
- f) 评价隧道沿线及竖井场地稳定性及适宜性，城市排水隧道围岩的稳定性评价可采用工程地质分析和理论相结合的方法，可采用数值法或弹性有限元图谱法计算；
- g) 评价隧道掘进施工工法的可能性，提供隧道影响深度范围内承压水、有害气体分布情况，并分析评价其对隧道设计和施工可能产生的影响，提出处理措施；
- h) 根据沿线工程地质条件、水文地质条件、环境地质条件，评价施工工法的适用性；对地面变形和既有建筑的影响进行评价，提出超前地质预报的建议与要求；
- i) 根据沿线地下设施及障碍物专项调查报告，分析评价其对隧道设计和施工的不利影响，以及隧道施工对环境的不利影响，并提出处理建议；
- j) 隧道穿越河床时，应分析评价岸堤稳定性和堤岸变形对排水隧道的影响，并提出相关建议。

6 总体及工艺设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 城市排水深隧宜在建筑物密集、地下管线复杂、地下空间紧张且存在水环境、水安全问题的城市建成区建设。
- 6.1.2 城市排水深隧应根据所承担的污水转输、雨（洪）水利用及排放、溢流调蓄等不同功能合理确定其实施区域。
- 6.1.3 城市排水深隧输送方式包括重力输送、压力流输送等。
- 6.1.4 合流制排水系统预处理构筑物设计流量应满足 GB 50014 的规定外，宜考虑远期合流系统提高截流标准后的容量。
- 6.1.5 各处理构筑物的个（格）数不应少于 2 个（格），并应按并联设计。
- 6.1.6 深层排水隧道应考虑施工及运行对环境的影响，并应考虑城市规划及周围环境对隧道结构的影响。
- 6.1.7 深层排水隧道系统的水位选择应满足浅层排水系统接入要求，应保证系统在设计工况下正常运行，宜为远期发展留有足够的容量。
- 6.1.8 深层排水隧道应根据输送介质采用相应的耐腐蚀设计，其配套的附属构筑物亦应采取相应的防腐措施。
- 6.1.9 城市排水深隧应综合同步建设供电、照明、监控与报警、通风、除臭、标识、消防等配套设施。

- 6.1.10 城市排水深隧应综合考虑构件所处的环境类别以及内水压受力工况等因素并采取可靠的防水防腐措施。
- 6.1.11 城市排水深隧及其附属构筑物应防止外渗和地下水入渗。
- 6.1.12 对暂时不具备雨污分流条件的地区，在深层排水隧道系统前端应设置污水截流或调蓄设施，并采取有效措施接入污水系统。
- 6.1.13 深层排水隧道地面和地下（内部空间）应设置标识、标记设施。

6.2 总体设计

6.2.1 平面设计

6.2.1.1 深层排水隧道系统构成应符合下列规定：

- a) 深层排水隧道可分为污水输送隧道、雨洪排放隧道、合流调蓄隧道和复合功能隧道；
- b) 深层排水隧道一般由预处理设施、入流竖井、排水隧道、泵站，和通风排气设施、除臭设施等附属设施等组成；
- c) 预处理设施应设置在各入流竖井前端，主要包括格栅和沉砂池；
- d) 入流竖井用于深层排水隧道与浅层排水系统的衔接，兼具消能和排气的功能；
- e) 泵站主要设置在隧道末端，包括排涝泵站和排空泵站，其功能为辅助排涝和将隧道内调蓄的雨污合流水提升至污水处理厂；
- f) 排水隧道的通风排气主要包括入流时隧道内空气的排出和隧道检修时的内部空气置换及日常通风；
- g) 污水输送隧道、合流调蓄隧道和复合功能隧道应设计除臭系统，除臭范围包括浅层预处理设施、隧道入流和检修时排出的空气；
- h) 排水隧道应定期清疏浅层预处理未拦截的垃圾、砂砾和沉积淤泥，隧道清疏可考虑采用人工与机械相结合的清疏方式。污水输送隧道、合流调蓄隧道及复合功能隧道清疏方式与措施应安全可靠。

6.2.1.2 城市排水深隧线路选择应符合下列规定：

- a) 线路应根据城市总体规划和排水专项规划，结合深隧输水功能、地形、土质、生态环境、防洪要求、沿线排水设施布置、原有的和规划的地下设施、施工条件及养护管理方便等各种因素，通过技术经济比较选定；
- b) 隧道宜规避不良工程地段、水文地质地段，宜减少房屋和管线拆迁，同时应保护文物和重要建（构）筑物及地下资源；隧道宜与堤防、高速公路、桥梁、铁路、轨道交通等保持适当距离。
- c) 隧道线路应力求顺直，宜沿道路定线。

6.2.1.3 城市排水深隧的线路设计有穿越道路、建（构）筑物、河道等时应符合以下规定：

- a) 排水隧道位置宜避开地下障碍物；
- b) 排水隧道穿越河道时的埋置深度，应满足河道的规划要求，并应布置在河床的冲刷线以下；
- c) 在有地下水地区及穿越江河时，隧道顶覆盖层的厚度尚应满足隧道抗浮要求；
- d) 隧道纵坡可根据运行要求、水力学条件、沿线建筑物的基础高程、上下游的衔接、施工和检修条件等确定，并应满足下列要求：
 - 1) 应满足不淤流速的要求；
 - 2) 沿程纵坡不宜变化过多；
 - 3) 不宜设置平坡、反坡，当布置需要时，应考虑检修排水措施；
 - 4) 隧道纵坡应经水力计算和浪涌分析后确定，坡度宜采用0.02%~2.0%。
- e) 深层排水隧道宜垂直穿越城市快速路、主干路、轨道交通、公路，受条件限制时可斜向穿越，最小交叉角不宜小于 60°；

f) 深层隧道穿越地铁等重要建构筑物时，应进行专项安全评估。

6.2.1.4 竖井设置上应符合下列规定：

- a) 竖井应设在隧道交汇处、转角处或断面、坡度改变处，和管道（箱涵）入流处；
- b) 在隧道直线段每隔一定距离应考虑设置竖井；
- c) 竖井的设置应考虑防洪防淹，及满足运维需求，并与周围景观的协调，减少对环境的影响。

6.2.1.5 城市排水深隧线路平面宜设计为直线，当因地形、地质等条件限制设计为曲线时，隧道中心线的弯曲半径应符合下列要求：

- a) 隧道弯曲半径不宜小于隧道内径的 5 倍，转角不宜大于 60° ；
- b) 在弯道的首尾应设置直线段，长度不宜小于隧道内径的 5 倍；
- c) 隧道转弯半径还应考虑施工方法、大型施工设备及施工极限能力水平等条件。

6.2.2 竖向设计

6.2.2.1 隧道竖向设计应符合下列规定：

- a) 在满足工程总体布置要求的条件下，深层排水隧道宜布置在沿线地质构造简单、岩体完整稳定、水文地质条件有利及施工方便的地区，并应满足下列要求：
 - 1) 隧道线路与岩层、构造断裂面及主要软弱带走向宜有较大的交角。对整体块状结构岩体及厚层并胶结紧密、岩石坚硬完整的岩体，交角不宜小于 30° ；对薄层岩体，特别是层间结合疏松的陡倾角岩层，交角不宜小于 45° ；
 - 2) 隧道线路通过较大地质构造带时，隧道布置应根据不利构造及其组合对隧道围岩稳定的影响程度，并考虑施工、运行、工期、投资等各种因素，通过技术经济比较后确定；
 - 3) 隧道沿线遇有断裂构造、不利构造面、软弱带、蚀变带、膨胀岩等时，应考虑地下水活动对围岩稳定的影响。隧道宜避开可能造成地表水强补给的冲沟；
 - 4) 隧道布置宜避开强岩溶地区；
 - 5) 在高地应力区，隧道的轴线方向宜与最大水平地应力方向相一致，交角应尽量小。
- b) 隧道不宜穿越工程地质、水文地质极为复杂和溶洞、暗河、煤层采空区等严重不良地质段；必须通过时，应有可靠的地基处理和工程措施；
- c) 采用掘进机施工时，隧道土层选择宜避开制约掘进机施工的地质区域。

6.2.2.2 城市排水深隧断面设计应符合下列规定：

- a) 排水隧道的断面形状应根据设计流量、结构受力条件、工程环境条件，同时结合施工工法、工程经济、养护管理等要求综合确定，可采用圆形、矩形、梯形和卵形等；
- b) 排水隧道的断面尺寸应根据设计流量确定，满足各种设计工况条件下的设计流量要求，并进行经济断面论证；
- c) 深层排水隧道断面尺寸应结合不同的水力条件，应符合下列要求：
 - 1) 恒定流速情况下，当通气条件良好时，洞内水面线以上空间不宜小于隧道断面面积的 15%，高度不应小于 0.4 m；
 - 2) 非恒定流条件下，当计算中已考虑了涌波时，1) 款中的数值可适当减小；
- d) 排水隧道断面应考虑施工工法的需要，断面最小尺寸应符合下列要求：
 - 1) 采用钻爆法施工时，圆形断面的内径不宜小于 2.0 m；非圆形断面的高度不宜小于 1.8 m，宽度不宜小于 1.5 m；
 - 2) 采用掘进机施工，应满足设备开挖的最小尺寸要求。
- e) 排水隧道的断面应方便维修、养护和管理，断面尺寸应满足以下要求：
 - 1) 标准断面内部净高应综合考虑隧道清疏维护方式，采取人工清疏方式时隧道净高不宜小于 2.4 m，采取机械车辆清疏方式时隧道净高不宜小于 4.5 m；

- 2) 标准断面内部净宽应满足设备运输和清疏维护要求。采取人工清疏方式时隧道净宽不宜小于 1.2 m，采取机械车辆进入隧道清疏方式时隧道净宽不宜小于 3.0 m。

6.3 工艺设计

6.3.1 设计流量与规模

- 6.3.1.1 转输功能的深隧系统应以地表进水管计算流量为依据。其中污水和雨污合流深隧按服务范围内最大设计污水量或截流量计算确定，雨水深隧按汇水范围内雨水进水管的最大设计流量计算确定。设计流量应符合 GB 50014 的规定。
- 6.3.1.2 调蓄功能的排水深隧系统应按照削峰或溢流污染控制要求计算深隧的调蓄规模。调蓄规模应符合 GB 51174 的规定要求。
- 6.3.1.3 采用水力自清维护的隧道应根据最小流速确定最小流量，并有保证最小流量的措施。
- 6.3.1.4 预处理设施设计流量应与地表接入管道流量匹配。

6.3.2 隧道工艺设计

6.3.2.1 隧道系统水力计算应符合以下规定：

- a) 隧道流量应按（1）式计算：

$$Q = AV \cdots \cdots (1)$$

式中：

- Q——设计流量 (m³/s)；
A——水流有效断面面积 (m²)；
V——流速 (m/s)。

- b) 恒定流条件下排水管道的流速应按（2）式计算：

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \cdots \cdots (2)$$

式中：

- V——流速 (m/s)；
R——水力半径 (m)；
I——水力坡降；
n——粗糙系数。

6.3.2.2 深层排水隧道最小设计流速，应符合下列规定：

- a) 雨水或合流污水隧道在满流时为 0.75 m/s；
b) 污水隧道在非满流（最不利工况）时为 0.6 m/s；
c) 当管内设计流速不能满足以上要求时，应增加定期冲洗措施，冲洗流速不应小于 1.2 m/s。

6.3.2.3 深层排水隧道采用压力流时，排水隧道的设计流速宜采用 0.6 m/s~2.0m/s。

6.3.2.4 深层排水隧道中钢筋混凝土管或水泥砂浆抹面的粗糙系数宜取 0.013-0.014，塑料内衬表面的粗糙系数宜取 0.009~0.011。

6.3.2.5 不同直径隧道在竖井内连接，宜采用管顶平接。

6.3.2.6 每隔一定距离应设排气竖井，输送污水或合流水时应设除臭设施。

6.3.2.7 隧道应结合输送介质采取相应防渗防腐措施。

6.3.3 竖井设计

6.3.3.1 竖井型式宜根据深隧系统的输送介质类型合理确定，常用的竖井型式包括涡旋式竖井、螺旋坡道式竖井、折板式竖井、跌落式竖井等。

6.3.3.2 竖井设计应满足消能、转输、通风、排气等功能要求；应消除水流的动能及势能，去除水流夹带的空气。

6.3.3.3 竖井宜由连接结构（进水部件）、垂直下沉竖井（井筒）以及消能除气室（底舱）组成。

6.3.3.4 竖井底板应能减缓水流冲击力，并应耐受冲击磨蚀。

6.3.3.5 竖井设计应采用水力模型进行模拟计算，并宜采用比例模型进行水力参数试验以合理设定设计参数。

6.3.4 预处理系统设计

6.3.4.1 预处理系统包括拦截设施、提升泵房和入流竖井等。拦截设施包括粗格栅、细格栅和沉砂池等，处理程度和工艺流程应根据进水水质情况确定。

6.3.4.2 预处理系统应设置事故排出口和流量控制措施。地下式预处理系统应设置事故排水设施，保证地下站区安全。进水量变化较大的预处理系统宜设置调节水量的设施。

6.3.4.3 预处理构筑物主要设备如水泵、格栅等不应少于两台（套），并有保证系统可靠运行的措施；

6.3.4.4 进入预处理站污水和合流水质应满足GB/T 31962 的规定。

6.3.5 深隧泵站设计

6.3.5.1 深层排水隧道泵站的流量应符合下列规定：

- a) 污水输送隧道泵站的设计流量，应按隧道的最高日最高时流量计算确定；
- b) 雨洪排放隧道泵站的设计流量，应按泵站进水总管的设计流量计算确定；
- c) 用于溢流污染控制隧道泵站的设计流量，应根据调蓄设施排空时间计算确定。设计放空时间应根据下游污水系统的收纳能力和溢流控制率等综合因素确定，宜为 24 h ~48 h；
- d) 深隧泵站土建宜按远期规模设计，水泵机组应按近期规模配置，预留远期机位。

6.3.5.2 深层排水隧道泵站的水泵扬程应符合下列规定：

- a) 污水泵的设计扬程，应根据设计流量、设计工况下前池水位与出水管渠水位差、水泵管路系统的水头损失综合确定其水泵流量区间、扬程区间及高效工况点，并考虑0.5 m~1.0 m安全水头；
- b) 雨水泵的设计扬程应根据设计流量、设计工况下前池水位与受纳水体的洪水位、常水位及低水位的水位差、水泵管路系统的水头损失综合确定其水泵流量区间、扬程区间及高效工况点等。

6.3.5.3 深层排水隧道泵站的总体布置应符合下列规定：

- a) 泵站应结合深层排水隧道系统布局、综合利用的要求进行总体布置；
- b) 深层排水隧道泵站位于地下深层，应通过合理选址，与前端深层排水隧道及末端排放水体（或处理单元）有效衔接，在满足防洪的要求下，适当减少泵站地下深度；
- c) 抽送产生易燃易爆和有毒有害气体的泵站，必须设置单独的构（建）筑物，并应满足GB 50016 的规定；
- d) 泵站的总体布置应包括地下泵房、集水池（前池）、出水构筑物、变配电和变频设备间、电气自控间、通风设施、冷却设施和管理用房等部分；
- e) 泵站总体布置应考虑设备吊装、运输及消防通道的要求；
- f) 泵站与铁路、高压输电线路、市政管道、高速公路及一、二级公路之间的距离应满足各构筑物安全防护距离的要求；
- g) 泵站的电源应结合城市变电站设施的情况合理选取外接电源方式；
- h) 泵站汇水井及出水池应有安全防护措施及警示标志。

6.3.5.4 深层排水隧道泵站的布置形式应符合下列规定：

- a) 深层排水隧道泵站位于地下深层，超过20 m地下深度宜选用圆形泵房的布置形式；
 - b) 深层排水隧道泵站主体部分及附属设施宜在竖向分层布置，合理利用地下空间；
 - c) 深层排水隧道泵站应结合数值分析和模型实验优化空间布局；
 - d) 水泵机组的设备选型应结合流量扬程的需求，经论证比选后选择合适泵型；
 - e) 水泵机组的布置和维护通道，应满足设备安装、运行和维护的要求。
- 6.3.5.5 深层排水隧道泵站的设置应符合下列规定：
- a) 水泵机组应按近期规模设置，预留远期机位。宜选用同类型水泵，水泵台数不应少于2台，不宜大于8台。当水量变化区间较大时，可配置同类型不同规格的水泵，但不宜超过两种，水泵宜采用变频调速装置；
 - b) 污水输送隧道泵站和合流调蓄功能深隧泵站应设置备用泵，当工作泵台数不大于4台时，备用泵宜为1台；工作泵台数不小于5台时，备用泵宜为2台；水泵主要部件宜库存备用不少于1套。雨水深隧泵站宜根据防洪排涝标准及泵站重要性设置备用泵；
 - c) 水泵吸水管设计流速宜为0.7m/s~1.5 m/s，出水管流速宜为0.8 m/s~2.5 m/s；
 - d) 排空泵设置应满足泵站前池或隧道的排空需要；
 - e) 泵站应配套设置强制通风（送排风）系统及泵机组循环冷却系统。
- 6.3.5.6 深层排水隧道泵站进水、出水应符合下列规定：
- a) 深层排水隧道泵站前端与深层排水隧道连通，宜在两者之间设置进水前池，进水前池的容积应根据设计流量、水泵能力和水泵运行工况等因素确定，并应满足水泵开停机水量、水位的要求。泵站进水前池宜结合空间布置和检修安全需要设置闸门或闸槽；
 - b) 流入泵站进水前池的污水和雨水均应通过格栅等预处理设施处理；
 - c) 泵房进水前端宜设置紧急事故（超越）排出口，以确保泵站的安全；
 - d) 进水前池池底根据需要可设集水坑，倾向坑一侧的坡度不宜小于10%，应设冲洗装置和清泥设施；
 - e) 深层排水隧道泵站出水池应结合后续构筑物合理设置，可通过闸（堰）门系统控制出水的调配和排放；
 - f) 泵站出水设施应避免水泵突然关停状态下的出水倒流工况，且应有安全防护措施；
 - g) 泵站出水口应设置消能设施，同时应设警示装置；
 - h) 泵站出水设置的出水口和护坡结构不应影响航道，水流不应影响航运安全，并取得航运、水利等部门的同意。

6.4 附属工程

6.4.1 电气、自控

- 6.4.1.1 预处理站、深隧泵站外接电源方式应结合周边区域电力资源实际情况确定；
- 6.4.1.2 预处理站、深隧泵站供电宜按一级负荷设计，其余附属设施供电应不低于二级负荷；
- 6.4.1.3 当预处理站、深隧泵站采用双回路供电时，应按每一回路承担泵站全部容量设计。当不能满足上述要求时，应设置备用动力设施；
- 6.4.1.4 深隧泵站、预处理站供电系统应设置单独生活用电接入，并与泵站生产用电分开设置；
- 6.4.1.5 泵站主电动机及主要电气设备选择、功率补偿、机组启动、电气设备布置及电缆敷设、电气设备防火、过电压保护及接地装置、照明等按 GB 50265 的规定执行；
- 6.4.1.6 泵房内泵电机、起重设备、仪表、照明等电器设备均应满足防爆要求；电气集中控制室不宜设置在易燃易爆气体可能聚集的空间场所，场地条件许可时，宜建在防爆区外。
- 6.4.1.7 深隧泵站、预处理站自控部分应结合地下空间，实现设备旁控制与远端中控室控制相结合方式，并与在线监测及报警系统联动结合；

6.4.1.8 深隧泵站应合理地设置继电保护、安全自动装置、自动控制与信号系统、通信系统等；

6.4.1.9 监控与报警系统主干信息传输网络介质宜采用光缆。

6.4.2 通风与空气调节

6.4.2.1 预处理站、深隧泵站通风方式应根据当地气候条件、泵房布置形式、地下深度及机械设备对空气参数的要求确定；

6.4.2.2 预处理站、深隧泵站地下部分应采用机械通风（送排风）方式，地上建筑部分宜采用自然通风或自然与机械联合通风方式。局部重要设施如中控室、变配电间等对温度、湿度要求比较高的位置宜采用空气调整装置，控制其温度和湿度；

6.4.2.3 预处理站、深隧泵站地下检修通道需保证其通风换气的频率，且应设置空气监测及报警系统；

6.4.2.4 预处理站、深隧泵站通风设施的布置宜结合构筑物及设备空间合理布置；

6.4.2.5 预处理站、深隧泵站地面层以上部分的通风设计应按相关建筑规范要求执行；

6.4.2.6 预处理站、深隧泵站工作人员区域通风换气每小时 12 次，非工作人员区域通风换气每小时 3 次~6 次。

6.4.3 除臭

6.4.3.1 转输污水的深隧泵站、预处理站和竖井等应根据相关规范及实际需要设置臭气收集及处理设施；

6.4.3.2 构筑物的臭气风量宜根据构筑物的种类、散发臭气的水面面积、臭气空间体积等因素综合确定，并满足相关规范要求；设备臭气风量及布置宜根据设备的种类、封闭程度、封闭空间体积等因素综合确定；

6.4.3.3 除臭系统应采取负压运行方式收集臭气，经管道收集并集中进行除臭处理。高浓度臭气产生处，还应设置冲洗装置和操作密封盖，并宜设喷淋除臭剂的装置。

6.4.4 消防

6.4.4.1 深隧泵站、预处理站应设置单独的消防系统，并按建筑设计防火要求设置独立防火分区；

6.4.4.2 地下空间消防设施应结合水泵、电机及润滑油部位布置自动喷淋消防系统；防火分区、检修通道及消防电梯等消防设施按建筑相关规范要求执行；

6.4.4.3 地面建筑部分的消防设计按建筑相关规范要求执行。

6.4.5 起重设备及维修设施

6.4.5.1 深隧泵站根据空间布置设置起重设备和维修通道，深隧泵站可设置两级起吊方式。起重设备的起重量应根据设备最重吊运部件和吊具的总重量等确定。起重机的提升高度应满足机组安装和检修的要求。

6.4.5.2 起重机位于地下空间，宜选择左右极限边界小，起吊区间宽广，结构尺寸占用空间小的起重机型号或定制型号。

6.4.5.3 起重机应采用轻级、慢速的工作制，应配置防止竖向摇摆的装置；

6.4.5.4 起重机的两端应设置阻进器等安全装置。

6.4.5.5 起重机的运行采用上下联动方式，配备对讲及双操作系统。

6.4.5.6 深隧泵站应设置检修通道及检修爬梯，宜设置上下电梯和楼梯等其他附属。

6.4.6 排水深隧标识

6.4.6.1 排水深隧地面标识应符合下列要求：

- a) 排水深隧应在地面设置标识设施，标明深隧设施名称、功能、准确位置、保护要求、管理机构等信息内容；
 - b) 排水深隧地面标识的类型包括里程桩、转角桩、标志桩、警示牌、空中巡检牌等；
 - c) 排水深隧地面标识的布设位置、布设间距及地面标识桩(牌)的具体样式，应综合考虑隧道安全保护要求和周边地表环境确定。
- 6.4.6.2 排水深隧地下（内部空间）标识应符合下列要求：
- a) 排水深隧应在内部设置标识、标记设施，标明深隧设施名称、准确位置、方位或方向指示等；
 - b) 排水深隧内部标识的类型包括里程标记、警示标记，与空间感知相关的高程、方位或方向标记等；
 - c) 排水深隧地下（内部空间）标识的布设位置、布设间距、标记(牌)的具体样式及材料，应综合考虑深隧内部的空间环境特点，应易于识辨、易于维护和耐久耐用；
 - d) 深层排水隧道地下空间长期处于潮湿、水浸环境，地下空间的标识和标记设施应具有耐久性。

7 结构设计

7.1 一般规定

- 7.1.1 城市排水深隧工程设计安全等级与使用年限应符合下列规定：
- a) 竖井、隧道及泵站结构等使用期间不可更换的结构构件，安全等级为一级，设计使用年限不低于 100 年；
 - b) 预处理站等使用期间可以更换且不影响运营的次要结构构件，安全等级为二级，设计使用年限不低于 50 年；
 - c) 临时结构宜根据其使用性质和结构特点确定其安全等级与使用年限。
- 7.1.2 城市排水深隧的设计应分别进行承载能力极限状态和正常使用极限状态计算，并符合现行规范的规定。
- 7.1.3 城市排水深隧耐久性设计宜按GB/T 50476 的规定执行。
- 7.1.4 竖井、隧道、泵站、预处理站等结构抗震设防类别应为重点设防类，其余附属建筑结构抗震设防类别为标准设防，当抗震设防烈度大于 6 度时应进行抗震设计，抗震设计宜按 GB 55002、GB/T 51336 的规定执行。
- 7.1.5 钢筋混凝土结构构件的裂缝控制等级和最大裂缝宽度允许值应符合表 2 的规定。

表2 裂缝控制等级和最大裂缝宽度允许值

环境作用等级	I -A	I -B	I -C	弱腐蚀	中腐蚀	强腐蚀
裂缝控制等级	三级	三级	三级	三级	三级	三级
最大裂缝限制/mm	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20	0.15

- 7.1.6 隧道、竖井及泵站等地下结构的净空尺寸必须符合工艺的需要，并应满足使用及施工工艺的要求，同时计入施工误差、结构变形和位移等因素。
- 7.1.7 预处理站的地面建筑物，其结构设计、施工质量验收应符合国家现行工业与民用建筑标准的相应规定。

7.2 荷载和荷载组合

- 7.2.1 作用在地下结构上的荷载，可按表 3 进行分类。在决定荷载的数值时，应执行 GB 50009、GB 50069 的规定，并应根据施工和使用阶段可能发生的变化，按可能出现的最不利情况确定不同荷载组合时的组合系数；并通过反应位移法、地震时程分析对地震时的作用力进行模拟计算，验算结构的可靠性。

表3 荷载种类及内容

作用分类		荷载名称
永久荷载		结构自重
		地层压力（深隧位于岩体中时，如必要应计及构造应力）
		地表或地下水的压力（侧压力、浮托力）
		结构上部和破坏棱体范围内的设施及建筑物压力
		混凝土收缩及徐变影响
		预加应力
		固定设备重量
		地基下沉影响
可变荷载	基本可变荷载	构筑物顶盖或操作平台上的活荷载
		隧道内水流荷载及其动力作用
		隧道内水流荷载引起的侧向土压力
		地面堆积荷载
		竖井、隧道等构筑物内的水重、水冲击力等
		运行时可能出现的气压
		运行时的内水压力
可变荷载	其他可变荷载	温湿度变化影响
		施工荷载
偶然荷载		地震作用
		爆炸、沉船、抛锚或河道疏浚产生的撞击力等灾害性荷载
注1：设计中要求计入的其他荷载，可根据其性质分别列入上述三类荷载中；		
注2：施工荷载包括设备运输及吊装荷载，施工机具、施工堆载，相邻隧道施工的影响，盾构机或顶管机施工时千斤顶顶力及压浆荷载等。		
注3：本表中所列荷载未加说明时，可按国家现行有关标准或根据实际情况确定。		

7.2.2 岩层压力应根据结构所处工程地质和水文地质条件、埋置深度、结构形式及其工作条件、施工方法及相邻隧道间距等因素，结合已有的试验、测试和研究资料确定。岩质隧道的围岩压力的确定可按 SL 279 的规定执行。土质隧道可按下列方法和原则计算土压力：

a) 竖向压力应按下列规定计算：

- 1) 明挖法施工的结构宜按计算截面以上全部土柱重量计算；
- 2) 土质地层采用暗挖法施工的隧道竖向压力，宜根据所处工程地质、水文地质条件和覆土厚度，并结合土体卸载拱作用的影响进行计算；
- 3) 竖向荷载应结合地面及临近的其他荷载对竖向压力的影响进行计算。

b) 水平压力应按下列规定计算：

- 1) 施工期间作用在支护结构主动区的土压力宜根据变形控制要求在主动土压力和静止土压力之间选择，在支护结构的非脱离区或给支护结构施加预应力时应计入土体抗力的作用；
- 2) 明挖结构长期使用阶段或逆作法结构承受的土压力宜按静止土压力计算；

- 3) 明挖法的围护结构或矿山法的初期支护，应计及 100% 的土压力作用；内衬结构，应与围护结构或初期支护共同分担的土压力，分别按最大、最小侧压力两种情况，与其他荷载进行不利组合计算；
- 4) 荷载计算应计及地面荷载和破坏棱体范围的建筑物，以及施工机械等引起的附加水平侧压力。

7.2.3 作用在地下结构上的水压力，应根据施工阶段和长期使用过程中地下水位的变化，以及不同的围岩条件，分别按下列规定计算：

- a) 水压力可按静水压力计算，并应根据设防水位以及施工阶段和使用阶段可能发生的地下水最高水位和最低水位两种情况，计算水压力和浮力对结构的作用；
- b) 砂性土地层的侧向水、土压力应采用水土分算；
- c) 黏性土地层的侧向水、土压力，一般在施工阶段应采用水土合算，使用阶段应采用水土分算。采用盾构法、顶管法施工的隧道在施工阶段、使用阶段按水土分算；
- d) 水压力标准值的相应设计水位，应根据勘察部门和水文部门提供的数据采用；
- e) 地表水或地下水对结构的浮托力，其标准值应按最高水位确定。

7.2.4 地下结构设备区的计算荷载应根据设备安装、检修和正常使用的实际情况（包括动力效应）确定，重型设备尚应依据设备的实际重量、动力影响、安装运输途径等确定其荷载大小与范围。

7.2.5 地下结构应按下列施工荷载之一或可能发生的组合设计：

- a) 设备运输及吊装荷载；
- b) 施工机具荷载，不宜超过 10 kPa；
- c) 地面堆载，宜采用 20 kPa，盾构井处不应小于 30 kPa；
- d) 邻近隧道开挖的影响；
- e) 盾构法、顶管法施工时千斤顶的推力；
- f) 注浆所引起的附加荷载；
- g) 盾构机、顶管机及其配套设备的重量。

7.2.6 地下结构温度变化影响应根据所处地区的气温条件、施工及运行条件确定。

7.2.7 排水深隧、泵站等构筑物内的水压力应按设计水位的静止水压力计算。隧道内水压力作用应取满流、非满流及空载三种不同的受力包络结果。

7.2.8 施加在结构构件上的预加应力标准值，应按预应力钢筋的张拉控制应力值扣除相应张拉工艺的各项应力损失采用。张拉控制应力值应按 GB 50010 的规定确定。

7.2.9 地基不均匀沉降引起的永久作用标准值，其沉降量及沉降差应按 GB 50007 的规定计算确定。

7.3 隧道

7.3.1 工程材料

7.3.1.1 深层排水隧道结构的工程材料应根据结构类型、受力条件、使用要求和所处环境，以及结合其可靠性、耐久性和经济性选用。主要受力结构可采用钢筋混凝土结构，必要时也可采用钢管混凝土结构、型钢混凝土组合结构和金属结构。

7.3.1.2 排水深隧工程中的混凝土的原材料和配比、最低强度等级、最大水胶比和单方混凝土的胶凝材料最小用量等，应符合耐久性要求，满足抗裂、抗渗、抗冻和抗侵蚀的需要。一般环境条件下的混凝土设计强度等级不得低于表 4 中的规定。

表4 一般环境条件下混凝土的最低设计强度等级

盾构法	装配式钢筋混凝土管片	C50
	整体式钢筋混凝土衬砌	C35
矿山法	喷射混凝土衬砌	C25
	现浇混凝土或钢筋混凝土衬砌	C35
顶管法	钢筋混凝土结构	C50

7.3.1.3 大体积浇筑的混凝土应避免采用高水化热水泥，并宜掺入高效减水剂、优质粉煤灰或磨细矿渣等，同时应严格控制水泥用量，限制水胶比和控制混凝土入模温度。

7.3.1.4 普通钢筋混凝土和喷锚支护结构中的钢筋应按下列规定选用：

- a) 梁、柱纵向受力钢筋应采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋，其他纵向受力钢筋也可采用 HPB300、RRB400 钢筋；
- b) 箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋。

7.3.1.5 钢筋混凝土管片间的连接紧固件的连接形式及其机械性能等级，应满足构造和结构受力要求，且表面应进行防腐蚀处理。

7.3.1.6 隧道内喷射混凝土应采用湿喷混凝土。

7.3.1.7 注浆材料宜采用对地下环境无污染及后期收缩小的材料。

7.3.1.8 顶管法采用的钢筋混凝土管节接头应采用钢承口，并应具有良好的防腐措施。

7.3.2 工法选择

7.3.2.1 排水深隧工程中的地下结构的施工方法应结合场地的工程地质、水文地质、环境条件、埋深、安全、交通条件、投资和工期等因素，进行技术经济比较后确定。

7.3.2.2 当深层排水隧道宜采用暗挖法施工时，在确定施工方法上应遵循以下原则：

- a) 盾构法适用于第四纪地层、无侧限抗压强度中等偏低的地层和软岩地层的隧道施工；不宜在硬质岩层和含有大量粗颗粒漂石、块石的地层采用；
- b) 矿山法适用于硬岩地层、具备一定自稳能力的第四纪地层的隧道施工；矿山法施工的结构的设计，应以喷射混凝土、钢拱架（包括格栅拱架和型钢拱架）或锚杆为主要支护手段，根据围岩和环境条件、结构埋深和断面尺度等，通过选择适宜的开挖方法、辅助措施、支护形式及与之相关的物理力学参数，达到保持围岩和支护的稳定、合理利用围岩自承载能力的目的。施工中，应通过对围岩和支护的动态监测，优化设计和施工参数。
- c) 全断面岩石掘进机（TBM）工法施工适用于岩质隧道。在岩溶地区采用TBM时，应对可能影响TBM施工安全的岩溶进行针对性的治理，满足TBM施工条件后方可进行施工。

7.3.2.3 对于近距离下穿既有铁路、公路、城市轨道交通以及重要和敏感性构筑物及设施的情况，应进行盾构法、顶管法和其他工法的比选。

7.3.3 结构形式及衬砌

7.3.3.1 排水深隧的结构形式及衬砌应符合下列规定：

- a) 隧道结构形式应与所采用的施工方法相适应：
 - 1) 衬砌结构宜设计为封闭式；
 - 2) 隧道宜采用圆形断面。当围岩稳定性较好，内、外水压力不大时，可采用便于施工的其他断面形状，如马蹄形、圆拱直墙等；
 - 3) 较长隧道可采用多种断面形状和衬砌型式，但不宜过多过密，不同断面或衬砌型式之间宜设置竖井或渐变段；
 - 4) 隧道横断面的尺寸应根据隧道的进出口高程和设计流量确定，并进行经济断面论证。
- b) 盾构法施工的隧道衬砌应符合下列规定：

- 1) 在满足工程使用、受力和防水要求的前提下，可采用装配式钢筋混凝土单层衬砌或在其内现浇钢筋混凝土内衬的双层衬砌；
- 2) 根据管片形式、接头受力、拼装、接头止水等要求，管片环向和纵向连接可选用弯螺栓、直螺栓、斜螺栓等连接方式，也可采用新型快速接头连接。

7.3.3.2 矿山法施工的深层排水隧道衬砌应符合下列规定：

- a) 隧道的压力状态宜根据隧道用途及特点综合考虑地形地貌、地质、工程布置、施工及运行等因素，通过技术经济比较确定；
- b) 有压隧道宜采用圆形断面。当围岩稳定性较好，内、外水压力不大时，可采用便于施工的其他断面形状；
- c) 无压隧道宜采用圆拱直墙断面，当地质条件较差时，可选用圆形或马蹄形断面；
- d) 圆拱直墙断面圆拱中心角宜为 $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ ，当需要加大拱端推力时，可选用小于 90° 的中心角。断面的高宽比应根据水力学条件、地质条件选用，宜为 1.0~1.5，洞内水位变化较大时，宜采用大的高宽比；
- e) 高地应力区采用非圆形断面时，断面的高宽比应与地应力条件相适应，当水平地应力大于垂直地应力时，宜采用高度较小而宽度较大的断面；当垂直地应力大于水平地应力时，宜采用高度较大而宽度较小的断面；
- f) 较长隧道可采用多种断面形状和衬砌型式，但不宜过多过密。不同断面或衬砌型式之间应设置渐变段，渐变段的边界应采用平缓曲线，并便于施工。有压隧道渐变段的圆锥角宜采用 $6^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ，对承受双向水压的渐变段应取小值，渐变段的长度不宜小于 1.5 倍洞径（或洞宽）。高流速无压隧道渐变段的形状应通过试验确定；
- g) 掘进机辅助洞室尺寸应满足施工期掘进机安装或拆卸、安全通过等要求，并采取工程措施满足隧道运行要求。

7.3.3.3 顶管法施工的隧道结构，当长度较大时应分节顶进。分节长度应根据地基土质、结构断面大小及控制顶进方向的要求确定，首节长度宜为中间各节长度的一半。节间接口应能适应容许的变形量并满足防水要求。

7.3.4 结构设计

7.3.4.1 排水深隧工程的结构设计应符合下列规定：

- a) 深隧、竖井及泵站等地下结构设计严格控制隧道施工引起的地面沉降量，依据不同建筑物按有关规范的要求，通过计算确定其允许产生的沉降量和次应力，并提出安全可靠、经济合理的技术措施；
- b) 地下结构应按施工阶段和正常使用阶段分别进行结构强度、刚度和稳定性计算。对于钢筋混凝土结构，尚应对使用阶段进行裂缝宽度验算；偶然荷载参与组合时，不验算结构的裂缝宽度；
- c) 普通钢筋混凝土结构的最大计算裂缝宽度允许值根据使用要求和所处环境等因素确定。处于一般环境中的结构，按荷载准永久组合并计及长期作用影响计算时，构件的最大计算裂缝宽度应满足表 2 的要求；处于冻融环境或侵蚀环境等不利条件下的结构，其最大计算裂缝宽度允许值应根据具体情况另行确定；
- d) 计算简图应符合结构的实际工作条件，反映围岩与结构的相互作用，并应符合下列规定：
 - 1) 采用双层衬砌时，根据两层衬砌之间的构造型式和结合情况，选用与其传力特征相符的计算模型；
 - 2) 当受力过程中受力体系、荷载形式等有较大变化时，应根据构件的施作顺序及受力条件，按结构的实际受载过程及结构体系变形的连续性进行结构分析。

- e) 结构设计按最不利情况进行抗浮稳定性验算；施工期抗浮稳定安全系数不小于 1.05，使用期抗浮稳定安全系数不小于 1.1；
- f) 隧道结构应进行横断面方向的受力计算，遇下列情况时，尚应进行纵向强度和变形计算：
 - 1) 覆土荷载沿其纵向有较大变化时；
 - 2) 结构直接承受建、构筑物等较大局部荷载时；
 - 3) 地基或基础有显著差异，沿纵向产生不均匀沉降时；
 - 4) 地震作用下的小曲线半径的隧道、刚度突变的结构和液化对稳定有影响的结构。
- g) 当温度变形缝的间距较大时，应考虑温度变化和混凝土收缩对结构纵向的影响；
- h) 空间受力作用明显的区段，宜按空间结构进行分析；
- i) 装配式构件尺寸的确定应能使制作、吊装、运输以及施工安全和方便。接头设计应满足受力、防水和耐久性要求；
- j) 隧道宜采用盾构法、矿山法或顶管法施工。

7.3.4.2 盾构法施工的隧道结构设计应符合下列规定：

- a) 装配式衬砌宜采用接头具有一定刚度的柔性结构，应限制荷载作用下变形和接头张开量，并应满足其受力和防水要求；
- b) 隧道结构的计算模型应根据地层特性、衬砌构造特点及施工工艺等确定，并应计入衬砌与围岩共同作用及装配式衬砌接头的影响。根据隧道结构和地层特点，可采用自由圆环法、修正惯用计算法和梁弹簧模型计算法等进行计算；
- c) 采用错缝拼装的衬砌结构宜计入环间剪力传递的影响；
- d) 装配式衬砌的构造应符合下列要求：
 - 1) 隧道衬砌可采用“标准环”或“通用环”管片形式，并宜采用错缝拼装方式；
 - 2) 衬砌环宽可采用 800mm~2000mm；
 - 3) 衬砌厚度应根据隧道直径、施工和运营阶段荷载等因素确定，宜取 0.040~0.055 倍洞径，且不宜小于 250mm；
 - 4) 管片楔形量应根据线路最小曲线半径计算，并留有满足最小曲线半径段的纠偏等施工要求的余量；
 - 5) 衬砌环的分块，应根据管片制作、运输、盾构设备、施工方法和受力要求确定；
 - 6) 在管片手孔周围应设置加强筋；
 - 7) 在管片中心预留二次注浆孔，二次注浆孔周围应设置螺旋加强筋。

7.3.4.3 矿山法施工的隧道结构设计应符合下列规定：

- a) 隧道支护应保持围岩稳定或提供必要的围岩稳定时间；
- b) 隧道衬砌应具有下列功能：
 - 1) 加固围岩、与围岩和支护联合承担荷载；
 - 2) 平整围岩表面；
 - 3) 提高围岩防渗能力；
 - 4) 防止水流冲刷围岩；
 - 5) 防止温度、湿度、大气等因素对围岩的不利影响。
- c) 隧道支护和衬砌设计应充分发挥围岩的自稳能力和承载能力；
- d) 隧道支护型式包括锚杆、锚喷、钢拱架、钢筋网喷混凝土、钢筋混凝土等，具体支护型式应根据工程地质、水文地质、断面尺寸、隧道埋深及施工方法等，通过分析计算或工程类比确定；
- e) 隧道衬砌型式应综合考虑断面形状和尺寸、内水压力、运行条件、地质条件、防渗要求、支护效果、衬砌要求、施工方法等因素，经过技术经济比较确定；

- f) 隧道衬砌包括锚喷衬砌、混凝土衬砌、钢筋混凝土衬砌和预应力混凝土衬砌（机械式或灌浆式）等型式；
 - g) 隧道衬砌除满足结构稳定外，还应满足防渗要求。有严格防渗要求或围岩抗渗能力差而导致内水外渗后果严重的，应采取有效的防渗措施，必要时采用预应力混凝土衬砌或钢板衬砌；
 - h) 排水隧道混凝土衬砌结构应采用极限状态法，在规定的材料强度和荷载取值下，采用在多系数分析基础上以安全系数表达的方式进行设计；
 - i) 承载能力极限状态设计应按基本荷载组合和偶然荷载组合进行，荷载组合应符合下列规定：
 - 1) 基本荷载组合应为永久荷载效应与可变荷载效应的组合；
 - 2) 偶然荷载组合应为永久、可变荷载效应与一种偶然荷载效应的组合。
 - 3) 正常使用极限状态验算应按永久荷载与可变荷载标准值的荷载效应组合进行。
 - j) 围岩作用在衬砌上的荷载，应根据围岩条件、横断面形状和尺寸、施工方法以及支护效果确定，并应符合下列规定：
 - 1) 自稳条件好，开挖后变形很快稳定的围岩，可不计围岩压力；
 - 2) 洞室在开挖过程中采取支护措施，使围岩处于基本稳定或已稳定情况下，围岩压力取值可适当减小；
 - 3) 不能形成稳定拱的浅埋隧道，宜按洞室拱顶的上覆岩体重力作用计算围岩压力，再根据施工所采取的支护措施予以修正；
 - 4) 采用掘进机开挖的洞室，根据围岩条件，围岩压力取值可适当减小；
 - 5) 具有流变或膨胀等特殊性质的围岩，对衬砌结构可能产生变形压力时，应进行专门研究。
 - k) 隧道的内水压力，应根据隧道的布置、运行条件、进口及出口的特征水位等，结合工程具体情况及各种运行工况，按可能出现的最大内水压力（包括动水压力）研究确定；
 - 1) 作用在衬砌上的外水压力可根据围岩地下水活动情况，结合采用的排水措施，考虑折减；
 - m) 温度变化、混凝土干缩和膨胀所产生的应力及非预应力灌浆等对衬砌的不利影响，应通过施工措施及构造措施解决。对于高地温地区产生的温度应力应进行专门研究；
 - n) 施工荷载可根据施工、检修过程中的机械作用力确定；
 - o) 地震荷载宜按 SL 203 的规定确定。
- 7.3.4.4 矿山法隧道结构设计应符合下列规定：
- a) 相邻隧洞之间的岩体厚度，应根据布置需要、地质条件、围岩应力和变形情况、隧洞断面形状和尺寸、施工方法和运行条件等综合分析确定，并应保证隧洞之间岩体运行期不发生渗透失稳和水力劈裂，其厚度不宜小于 2 倍开挖洞径（或洞宽），确因布置需要，经论证岩体厚度可适当减少，但不应小于 1 倍开挖洞径（或洞宽）；
 - b) 洞线布置宜避免与相邻建筑物间的不利影响。当隧洞穿过坝基、坝肩或其他建筑物基础时，建筑物的基础与隧洞之间的厚度应满足结构安全和防渗等要求；
 - c) 隧洞设置平面或者竖曲线时，应考虑施工方法、施工极限能力水平和大型施工设备的要求；
 - d) 隧洞的纵坡可根据运行要求、水力学条件、沿线建筑物的基础高程、上下游的衔接、施工和检修条件等确定，并应满足下列要求：
 - 1) 应满足不淤流速的要求；
 - 2) 沿程纵坡不宜变化过多；
 - 3) 不宜设置平坡、反坡，当布置需要时，应考虑检修排水措施。
 - e) 矿山法施工的结构设计，应以喷射混凝土、钢拱架（包括格栅拱架和型钢拱架）或锚杆为主要支护手段，根据围岩和环境条件、结构埋深和断面尺度等，通过选择适宜的开挖方法、辅助措施、支护形式及与之相关的物理力学参数，达到保持围岩和支护的稳定、合理利用围岩自承载能力的目的。施工中，应通过对围岩和支护的动态监测，优化设计和施工参数。

7.3.4.5 顶管法施工的隧道结构设计应符合下列规定：

- a) 排水管道管材应满足设计使用年限内耐久性需求；
- b) 钢筋混凝土顶管结构设计应满足以下规定：
 - 1) 钢筋混凝土顶管的混凝土强度等级不宜低于 C50，抗渗等级不应低于 P8；
 - 2) 混凝土管接头可按下列原则选用：混凝土管接头应选用钢承口；接头的允许偏转角应大于 0.5° ；混凝土管传力面上均应设置环形木垫圈，并用胶黏剂粘在传力面上；钢承口接头的钢套管与混凝土接缝应采用弹性密封填料勾缝。

7.3.4.6 排水深隧结构的混凝土二次衬砌结构设计应符合下列规定：

- a) 二次衬砌应配筋，以提高二次衬砌安全富余度及耐久性；
- b) 二次衬砌厚度不应小于 250mm；
- c) 二次衬砌拱顶应充填注浆以保证初期支护与二次衬砌密贴。

7.4 竖井

7.4.1 结构构件的截面承载力计算应符合 GB 50010 的规定。

7.4.2 竖井的平面转角及与顶板、底板的交接处，宜设置腋角，并应配置钢筋，其用量可按井壁、顶板、底板截面内受力钢筋的 50% 采用；当井壁受力较大时，腋角应按剪切计算进行钢筋的配置。

7.4.3 竖井的水平钢筋应设置为受力钢筋，并应根据竖井受力状态计算确定，受力钢筋宜采用直径较小的钢筋配置。

7.4.4 竖井的竖向钢筋可按构造钢筋配置，其节段长度区段内钢筋接头率不应大于 50%。

7.4.5 井壁转角处的钢筋，应有足够的长度锚入相邻的井壁内；锚固长度应符合 GB 50010 的规定。

7.4.6 竖井结构设计应严格控制竖井开挖引起的地面沉降量，对由于土体位移可能引起的周围建、构筑物 and 地下管线产生的危害应进行预测，依据不同建筑物按有关规范、规程的要求或通过计算确定其允许产生的沉降量和次应力，并提出安全可靠、经济合理的技术措施。

7.4.7 竖井结构应按施工阶段和正常使用阶段分别进行结构强度、刚度和稳定性计算。对于钢筋混凝土结构，尚应对使用阶段进行裂缝宽度验算。

7.4.8 竖井施工可采用明挖法或沉井法等工艺。

7.4.9 竖井断面设计应符合下列规定：

- a) 竖井断面形式应根据施工方案、地质条件、隧道直径、竖井深度及井内设备安装要求等因素综合确定。常用的有圆形和矩形，宜优先采用圆形；
- b) 盾构法隧道始发井沿隧道走向尺寸应比盾构主机长度大 3m，竖井底部能加设盲洞时可适当减少。接收工作井的平面内净尺寸应满足盾构接收、解体 and 调头的要求；盾构法隧道竖井垂直隧道走向尺寸应比盾构机外径大 3m，并应满足施工要求。

7.4.10 采用明挖法施工的竖井结构应符合下列规定：

- a) 基坑设计应根据工程特点和工程环境保护要求等确定基坑的安全等级、地面允许最大沉降量、围护墙的水平位移等控制要求；
- b) 基坑工程应根据工程地质及水文地质条件、基坑深度、沉降和变形控制要求通过技术经济比较选择支护形式、地下水处理方法和基坑保护措施等；
- c) 竖井的支护型式包括地下连续墙、钻孔灌注桩等支护方式；
- d) 基坑工程应进行抗滑移和倾覆的整体稳定性、基坑底部土体抗隆起和抗渗流稳定性及坑底承压水的稳定性验算。各类稳定性安全系数的取值应根据环境保护要求按地区经验确定；
- e) 围护结构的地下连续墙或灌注桩宜作为主体结构侧墙的一部分与内衬墙共同受力。墙体的结合方式可选用叠合式或复合式构造；

- f) 作为侧墙一部分利用的桩、墙，应计及在使用期内围护结构的材料劣化，内力向内衬转移的影响；
- g) 竖井结构宜按底板支承在弹性地基上的结构物计算，并计入立柱压缩变形、斜托和支座宽度的影响；
- h) 地下连续墙应主要用于地下水位较高或者在开挖过程中对防渗和环境要求较高的竖井支护结构，适用于土质为软土、砂土或者碎石土地区。地下连续墙的厚度应根据计算确定，试算初值宜取 600mm～1300mm。

7.4.11 沉井适用于在周边有重要建(构)筑物及地下管线等的环境，或者明挖法施工对周边带来不利影响的环境。采用沉井法施工的竖井应根据场地的工程地质及水文地质资料，结合施工条件决定，可分别采用排水下沉、不排水下沉及分次下沉。

- a) 沉井井壁外侧与土层间的摩阻力及其沿井壁高度的分布图形，应根据工程地质条件、井壁外形和施工方法等，通过试验或对比积累的经验资料确定；
- b) 沉井法施工的竖井结构各种形式的沉井均应进行沉井下沉、下沉稳定性及抗浮稳定性验算，必要时尚应进行沉井结构的倾覆和滑移验算；
- c) 验算时抵抗力应只计永久作用（可变作用不应计入），参与组合的作用力均采用标准值。沉井的工作特征设计系数应符合表 5 的规定。

表5 沉井的工作特征设计参数

工作特征	设计系数
下沉	$k_{st} \geq 1.05$
工作特征	设计系数
下沉稳定	$k_{sts} = 0.8 \sim 0.9$
抗滑动	$k_s \geq 1.30$
抗倾覆	$k_{ov} \geq 1.50$
抗上浮	$k_{fw} \geq 1.0$ （不计侧壁阻力） $k_{fw} \geq 1.15$ （计侧壁阻力）

- d) 在沉井下沉阶段，不带内框架的井壁结构进行内力计算时，可在垂直方向截取单位高度的井段，按水平闭合结构进行计算；对带内框架的井壁结构，则应根据框架的布置情况，按连续的平板或拱板计算。计算可采用下列假定：
 - 1) 在同一深度处的侧压力可按均匀分布考虑；
 - 2) 井壁上设置竖向框架或水平框架时，当框架梁与板的刚度比不小于 4 时，框架梁视为井壁的不动铰支承；
 - 3) 刃脚根部至凹槽顶以上高度等于该处井壁厚度 1.5 倍的一段井壁，施工阶段计算时除考虑作用在该段上的水、土压力外，尚应考虑由刃脚传来的水、土压力作用。外层水平配筋时可考虑计入刃脚的水平钢筋；
 - 4) 在沉井的使用阶段，其结构应根据底板及后浇隔墙浇筑完成后的结构体系和实际作用进行计算。

7.4.12 矩形竖井底板和井壁形成整体时，底板和井壁厚度设计及计算应符合 GB 50010 的规定，壁内力计算应符合下列规定：

- a) 若 $H/b \leq 2$ （或 $H/a \leq 2$ ）：井壁按三边固定，一边自由板计算；
 - b) 若 $H/b > 2$ （或 $H/a > 2$ ）：截取单位高度按封闭式刚架计算；
- 式中： H ——竖井深度（m），从竖井底板顶面起算；
 a, b ——竖井横截面宽度（m）；

p ——井壁所受水平压力。

7.4.13 圆形竖井计算模型应符合下列规定：

- a) 圆形竖井壳体插入良好地基深度大于或等于 1.5 倍井壁厚度或竖井井壁与底板整体浇筑可按刚接计算；
- b) 圆形竖井壳体插入地基深度小于 1.5 倍井壁厚度时可按铰接计算；
- c) 井筒四周压力沿深度呈不均匀分布；
- d) 用于施工过程验算时，沉井可不考虑底板与筒壁的整体作用，筒壁按平面圆筒计算。

7.4.14 在竖井结构中不宜设置沉降缝，当因结构、地基、基础或荷载发生变化，可能产生较大的差异沉降时，宜通过地基处理、结构措施或设置后浇带等方法，将结构的纵向沉降曲率和沉降差控制在地下结构的允许变形范围内。

7.4.15 竖井结构设计按最不利情况进行抗浮稳定性验算；施工期抗浮稳定安全系数不小于 1.05，使用期抗浮稳定安全系数不小于 1.1。

7.5 深隧泵站

7.5.1 排水深隧泵房主体结构的设计年限不应低于 50 年。

7.5.2 排水深隧泵房底板的设计，应符合下列规定：

- a) 应采用钢筋混凝土结构；
- b) 尺寸应满足抗浮和结构强度要求，抗浮计算应按公式（3）进行：

$$G/N_{w,k} \geq K_w \quad (3)$$

式中：

G ——泵房主体、底板以上的回填土、底板总重力、抗浮结构及构件抗力总和（kN）；

$N_{w,k}$ ——泵房主体、底板以上的回填土和底板总浮力（kN）；

K ——设计稳定抗力系数，按照 JGJ 476 中对建筑工程抗浮稳定安全系数的规定取值。

- c) 排水深隧泵房主体的底座和钢筋混凝土底板应牢固连接，连接形式应满足泵房抗浮和水泵稳定运行要求；

- d) 多井筒泵房和泵房前后端构筑物宜采用同一个底板。

7.5.3 排水深隧泵房主要结构计算的荷载、荷载组合、稳定分析、地基的计算和处理应符合 GB 50265 的规定。当泵站所处的天然地基达不到承载力要求时，应采取合适的地基处理方法。

7.5.4 排水深隧泵站基坑排水、开挖和支护方式应符合 GB 50141 的规定，具体方式应根据场地地质情况、泵房埋深、施工准备、工艺能力、施工工期和周边环境情况，经安全技术经济比较确定。

7.5.5 排水深隧泵房的底板、进出水流道、机墩、排架、吊车梁等主要结构，可根据工程实际情况，简化为二维结构进行计算。必要时，需建立三维结构模型进行计算。

7.5.6 排水深隧提升泵站中主泵房顺水流向的永久变形缝（包括沉降缝、伸缩缝）的设置，应根据泵房结构形式、地基条件等因素确定，土基上的缝距不宜大于 30 m，岩基上的缝距不宜大于 20 m。缝的宽度不宜小于 20 mm。所有顺水流向永久变形缝的水下缝段，应埋设不少于 1 道材质耐久、性能可靠的止水片（带）。垂直止水带（片）与水平止水带（片）相交处应构成密封系统。

7.5.7 排水深隧提升泵站中主泵房排架的布置，应根据机组设备安装、检修的要求，结合泵房结构布置确定。排架宜等跨布置，立柱宜布置在隔墙或墩墙上。当泵房设置顺水流向的永久变形缝时，缝的左右侧应设置排架柱。泵房排架应力可根据结构支承形式和受力条件等情况进行计算。泵房排架应具有足够的刚度。在各种情况下，排架顶部侧向位移不应超过 10 mm。

7.5.8 高扬程泵站计算机墩的稳定时，应计入出水管道水柱的推力，并应设置必要的抗推移设施。

7.5.9 高扬程泵站的泵房可根据需要在其岸坡上设置通畅的自流排水沟和护坡。

7.6 预处理站

- 7.6.1 预处理站的构筑物，其结构设计、施工质量验收应符合 GB 50069、GB 50141 的规定。
- 7.6.2 预处理站中主要构筑物的主体结构和地下干管，其结构设计使用年限不应低于 50 年；安全等级不应低于二级。
- 7.6.3 预处理站中构筑物和管道的结构设计，必须依据岩土工程勘察报告，确定结构类型、构造、基础形式及地基处理方式。
- 7.6.4 预处理站中构筑物和管道结构的设计、施工及管理应符合下列要求：
- 结构设计应计入在正常建造、正常运行过程中可能发生的各种工况的组合荷载、地震作用(位于地震区)和环境影响(温、湿度变化，周围介质影响等)；并正确建立计算模型，进行相应的承载力和变形、开裂控制等计算；
 - 结构施工应按照相应的现行国家施工及质量验收标准执行；
 - 制定并执行相应的养护操作规程。
- 7.6.5 对于地表水或地下水以下的构筑物和管道，应核算施工及使用期间的抗浮稳定性；应根据 JGJ 476 的规定确定抗浮设防水位及抗浮措施。
- 7.6.6 构筑物和管道的结构材料，其强度标准值不应低于 95%的保证率；当位于抗震设防地区时，结构所用的钢材应符合抗震性能要求。
- 7.6.7 抗震设防烈度为 6 度及高于 6 度地区的预处理站工程，其构筑物和管道的结构必须进行抗震设计。相应的抗震设防类别及设防标准应按 GB 50223 的有关规定确定。
- 7.6.8 对平面尺寸超长的钢筋混凝土构筑物，应计入混凝土成型过程中水化热及运行期间季节温差的作用，在设计和施工过程中均应制定合理、可靠的应对措施。
- 7.6.9 进行基坑开挖、支护和降水时，应确保结构自身及其周边环境的安全。
- 7.6.10 预处理站贮水构筑物的结构设计，应计入施工期间的水密性试验和运行期间(分区运行、养护维修等)可能发生的各种工况组合作用，包括温度、湿度作用等环境影响。
- 7.6.11 预处理站贮水构筑物的混凝土材料应符合下列要求：
- 应选用合适的水泥品种和水泥用量；
 - 混凝土的水胶比应控制在不大于 0.50；
 - 应根据运行条件确定混凝土的抗渗等级；
 - 应根据环境条件(寒冷或严寒地区)确定混凝土的抗冻等级；
 - 应根据环境条件(大气、土壤、地表水或地下水)和运行介质的侵蚀性，有针对性地选用水泥品种和水泥用量，满足抗侵蚀要求。

7.7 构造要求

- 7.7.1 钢筋的混凝土保护层厚度应根据结构类别、环境条件和耐久性要求选取，并依照 GB/T 50476、GB/T 50046、DL/T 5241 和 SL 775 的规定执行。
- 7.7.2 混凝土结构变形缝的设置应符合下列规定：
- 应采取可靠措施，确保变形缝两边的结构不产生影响正常使用的差异沉降；
 - 变形缝的形式和间距可根据围岩条件、施工工艺、使用要求以及运行期间内部温度相对于结构施工时的变化等，或参照类似工程经验确定；
 - 现浇混凝土及钢筋混凝土结构横向分段浇注的施工缝位置及间距应结合结构形式、受力要求、施工方法、气象条件及变形缝的间距等因素，或参照类似工程经验确定；
 - 在地质条件明显变化处和井、洞交汇处、进出口处或其他可能产生较大相对变位处，混凝土和钢筋混凝土衬砌应设置永久缝，并采取相应的防渗措施；
 - 围岩条件比较均一的洞身段，可只设置施工缝。施工缝之间的浇筑分段长度，可根据施工方法、浇筑能力和气温变化等因素分析确定，宜采用 6 m~12 m，且底拱和边、顶拱环向缝不得错开；

- f) 无防渗要求的环向施工缝，分布钢筋可不穿过缝面，可不设置止水。有防渗要求的环向施工缝，应根据具体情况，采取必要的接缝处理措施；
- g) 纵向施工缝应设置在衬砌结构拉应力及剪应力均较小的部位。无防渗要求的，可不设置止水；有防渗要求的，应根据具体情况，采取必要的接缝处理措施。当先衬砌边、顶拱时，对于拱座的反缝应进行妥善处理；
- h) 钢筋混凝土衬砌与钢板衬护连接处，不应分缝，应有不少于 1.0 m 的搭接长度。

7.8 防水防腐设计

7.8.1 防水设计

7.8.1.1 防水等级：深隧工程主体结构为 2 级，附属结构为不低于 3 级，宜为 2 级。

7.8.1.2 城市排水深隧工程的防水设计应符合下列规定：

- a) 应根据气候条件、工程地质和水文地质状况、环保要求、结构特点、施工方法、使用要求等因素进行；
- b) 应分析地表水、地下水、毛细管水等的作用，或人为因素引起的附近水文地质改变的影响。

7.8.1.3 城市排水深隧以混凝土结构自防水为主，接缝防水为重点，并辅以防水层加强防水，并应满足结构使用要求。

7.8.1.4 泵站、竖井及预处理站等地下结构部分应采用防水混凝土，混凝土结构厚度不应小于 250mm，设计抗渗等级应符合表 6 的规定。

表6 防水混凝土设计抗渗等级

工程埋置深度 H (m)	设计抗渗等级
$H < 10$	P6
$10 \leq H < 20$	P8
$20 \leq H < 30$	P10
$H \geq 30$	P12

7.8.1.5 施工缝、变形缝及接缝防水构造要求应符合 GB 50108 的规定。

7.8.1.6 竖井与隧道结合处可采用刚性接头，但接缝宜采用柔性材料密封处理，并宜加固竖井隧道结合处周围土体。

7.8.1.7 竖井底板应连续浇筑，并不宜留设施工缝。

7.8.1.8 矿山法隧道应满足以下要求：

- a) 应根据隧道沿线围岩的工程地质、水文地质、衬砌型式等设计条件，以及环保、水保、运行等要求，综合分析确定防渗和排水措施；
- b) 无压洞中设置排水孔时，宜在水面线以上设置。排水孔的间距、排距、孔深应根据地质条件及外水情况分析确定。若围岩裂隙发育并夹有充填物时，应在排水孔中设置软式透水管，阻止岩屑随水带出；
- c) 有压隧道衬砌设计由外水压力控制时，应研究设置合适的排水措施，减低外水压力强度；
- d) 有压隧道的洞口，相邻高压隧道洞段之间的岩体，不良地质洞段及 IV 级、V 级围岩洞段，覆盖厚度较小的有压隧道可能产生渗透失稳和水力劈裂洞段，应采取有效防渗措施保证围岩及山坡渗透稳定；
- e) 隧道洞口边坡及其周围，应根据地形、地质条件设排水孔及截水沟，形成可靠的排水系统。洞口边坡应采取防止地面径流冲蚀破坏的措施；
- f) 高压隧道钢筋混凝土衬砌与钢板衬护的连接段，应在钢筋混凝土衬砌末端或钢板衬护首部设置环状防渗帷幕，并应在衬护钢板首端设止水环。

7.8.2 防腐设计

7.8.2.1 混凝土结构自身防腐蚀性能应结合管道内水体性质综合试验确定，当无试验数据时，可依照 GB/T 50046 的规定执行。

7.8.2.2 顶管管节接头的钢套管、钢圈应具有良好的防腐性能，当在有腐蚀性介质的环境中应适当加大钢圈的厚度。

7.8.2.3 盾构法施工的排水隧道应采用混凝土封堵螺栓孔，宜优先设置钢筋混凝土二次衬砌结构，当受客观条件限制时可设置防腐涂层。

7.8.2.4 当城市排水深隧工程采用防腐新技术、新工艺、新材料时，应经科学试验或工程实践证明行之有效方可采用。

8 施工要点

8.1 一般规定

8.1.1 城市排水深隧施工前准备工作宜按下列规定执行：

- a) 对场地地下管线、地下障碍物情况，受影响的建（构）物情况进行调查；根据设计规定，结合场地条件制定监测实施方案；
- b) 完成风险源辨识及对策制定，制定全面可靠的安全措施；
- c) 建立全面科学的应急预案，并做好应急物资的准备；
- d) 完成平面和高程控制点的交桩、复核、加密等测量准备工作；
- e) 与施工有关的其他情况和资料。

8.1.2 城市排水深隧工程施工测量除与城市测量控制网联测，平面及高程控制网精度等级不宜小于二等外，应按 GB 55018 的要求执行。

8.1.3 工程施工设备、主要配套设备和辅助系统安装完成后，应经试运行及安全性检验，合格后方可作业。

8.1.4 电缆支架的加工、安装应符合 GB 50168 的规定。

8.1.5 仪表工程的安装应符合 GB 50093 的规定。

8.1.6 电气设备、照明、接地施工安装及验收应符合 GB 50168、GB 50303 和 GB 50169 的规定。

8.1.7 火灾自动报警系统施工及验收应符合 GB 50166 的规定。

8.1.8 通风系统施工及验收应符合 GB 50275 和 GB 50243 的规定。

8.1.9 除臭系统管道施工应符合 GB 50243 的规定。

8.2 隧道施工

8.2.1 深层排水深隧工程施工准备应符合下列规定：

- a) 场地布置应紧凑合理，满足施工物料运输、存放、加工和机械作业的要求；满足安全文明施工、消防、环境保护和劳动保护的要求；
- b) 场地布置应方便施工，结合场地状况、施工方案及施工部署进行动态调整；
- c) 结合工程特点、场地状况、周边环境条件及气候条件，完成测量及监控量测的准备工作；
- d) 完成物料运输线路、分体始发、设备组装、吊装场地的规划及准备工作；
- e) 完成受影响的建（构）筑物的保护工作、特殊地层处理工作；
- f) 完成盾构线路地质补勘，盾构始发井及接收井加固体、结构的检测工作；
- g) 完成施工所需机具、材料、能源、安全设施、信息化、实名制管理设施的准备工作。

8.2.2 盾构法排水隧道施工应符合以下规定：

- a) 盾构选型与配置应适用、可靠、先进、经济，并结合始发方式、水文地质条件、职业健康需要进行优化；
- b) 合理评估盾构始发接收方式、下穿建（构）筑物保护措施的可操作性、安全性；
- c) 针对岩溶、土洞、漂石和孤石等复杂地层，应提前探测及预报，采取有效的处理措施；
- d) 对于复杂水文地质条件地层中盾构施工，应严格控制渣土改良剂效果或适配泥浆的应用，以保证盾构的安全掘进；
- e) 应根据隧道埋深、地层变形特征、地下水情况，选用适合的注浆材料，加强壁后同步注浆和二次注浆；
- f) 合理选择盾构开仓方式，宜在盾构选型阶段选择合适的刀盘形式或者提前设置相应的安全辅助措施；
- g) 盾构掘进中遇有停止推进且间歇时间较长时，应采取维持开挖面稳定、防卡机的措施，并应正常进行维修保养；
- h) 除应符合本条规定外，还应符合现行国家标准《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446 的有关规定。

8.2.3 顶管法隧道施工应符合以下规定：

- a) 应做好顶管机选型，顶管机应具有足够的脱困能力，不宜采用人工挖掘顶管机；
- b) 应做好中继间的选择，中继间应具有足够的顶力富余量，同时设计顶力严禁超过管材允许顶力；施工最大顶力有可能超过允许顶力时，应采取减少顶进阻力、增设中继间等施工技术措施；
- c) 针对岩溶、土洞、漂石和孤石等复杂地层，应提前探测及预报，采取有效的处理措施；
- d) 长距离顶管应采用激光定向等测量控制技术；
- e) 管道顶进过程中，应遵循“勤测量、勤纠偏、微纠偏”的原则，控制顶管机前进方向和姿态，并根据测量结果分析偏差产生的原因和发展趋势，确定纠偏的措施。

8.2.4 矿山法隧道施工应符合以下规定：

- a) 施工方案的选择，应根据工程设计（隧道断面和结构形式、埋深、长度），工程水文地质条件，施工现场和周围环境安全等要求，经过比较后确定；
- b) 隧道开挖前应进行超前地质预报，包括地层岩性报告、地质构造预报、不良地质预报及地下水预报等；
- c) 隧道衬砌施工过程中应实时关注超前地质预报和现场监控量测结果，必要时对开挖、支护方式进行合理调整；
- d) 隧道开挖宜用激光准直仪控制中线和隧道断面仪控制外轮廓线；
- e) 在稳定性差的地层中停止开挖，或停止作业时间较长时，应及时喷射混凝土封闭开挖面；
- f) 硬岩层中采用钻爆法作业时，应进行钻爆设计，并结合隧道覆土深度及地表建（构）筑物情况严格控制爆破振速；
- g) 除应符合本条规定外，还应符合 GB/T 50299 的规定。

8.2.5 深层排水隧道混凝土二次衬砌施工应符合以下规定：

- a) 二次衬砌施工前，隧道初衬应进行隐蔽验收；初衬如有渗漏水，应及时进行封堵处理；初衬应清理干净；采用盾构法施工时，所有管片螺栓应拧紧到位；
- b) 二次衬砌应在初衬结构变形稳定后施作；
- c) 二次衬砌采用钢筋混凝土结构现浇时，应采用自密实、补偿收缩、抗渗混凝土，衬砌施工宜采用衬砌台车进行施工；
- d) 二次衬砌外观质量应满足要求，不得有露筋、孔洞、夹渣、疏松等缺陷，线形应平顺，不得有明显的凹凸、起伏现象；
- e) 二次衬砌厚度应满足要求且不得影响过水断面净空要求，且应避免曲线段侵限问题；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/217051053111006121>