

《城市轨道交通工程建设地下水保护技术规范》山东省地方标准编制说明

（报批稿）

一、工作简况

（一）任务来源

本标准来源于山东省市场监督管理局2024年9月19日发布的文件《关于印发〈港口装卸服务规范第1部分：集装箱〉等第二批地方标准计划项目的通知》（鲁市监标函〔2024〕166号），立项编号：2024-T-38。

本标准由山东省交通运输厅提出并组织实施，山东省交通运输标准化技术委员会归口，山东省交通运输标准化技术委员会城市轨道交通分技术委员会执行。

（二）起草单位、起草人及任务分工

1.起草单位

济南轨道交通集团有限公司、山东省地矿工程勘察院（山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队）、济南市城乡水务局、济南市技师学院、山东轨道交通工程咨询有限公司、山东轨道交通研究院有限公司、济南黄河路桥建设集团有限公司、山东省水工环地质工程有限公司、山东大学。

2.主要起草人

李虎、门燕青、高瑞兰、潘炳江、徐勤伟、李利平、胡

韬、黄永亮、苏逢彬、曹建新、王斌、王宗月、杨跃宗、李臣、高扬、张恩重、王帅、孙会超、王晓晖、李勤兴、代方园、杜晓峰、李岩、孙连勇、张振杰、王永亮、程冰川、吴沙沙、许宝源、丁奕钧、孙培鑫、官亮、杨侠、王鑫、胡爽。

3.任务分工

济南轨道交通集团有限公司主要负责标准的立项需求调研、标准编制进度把关、协助征集相关单位意见等立项和组织实施事项。济南市技师学院、济南市城乡水务局负责标准部分内容撰写及完善。山东省地矿工程勘察院（山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队）、山东省水工环地质工程有限公司主要负责组织编写单位起草标准内容及修改完善，负责联系各方单位进行征求意见、归纳及处理，组织专家进行标准评审等事项。山东轨道交通工程咨询有限公司主要负责地下水环境监测部分内容的撰写，以及征求意见等工作。山东轨道交通研究院有限公司、济南黄河路桥建设集团有限公司、山东大学主要负责技术验证、协助征集相关单位意见等工作。

李虎：标准起草负责人，全面组织、协调标准的编制工作，制定标准技术方向，调配协调标准制定相关资源；

门燕青：标准起草主要负责人，组织确定标准制定方案，组织推进标准制定程序和进度；

高端兰：组织讨论确定标准框架、编写思路，组织起草组人员讨论确定标准的技术要素；

潘炳江：协助组织实施标准编制方案，统筹地下水监测内容撰写；

徐勤伟：组织起草组人员进行调研、收集数据，组织起草人员编写标准，统筹止水帷幕内容编写；

李利平：组织起草人员整理标准相关技术数据，统筹导流、回灌内容撰写；

胡韬：协助组织讨论确定标准框架、编写思路，参与调研、收集素材等工作，

黄永亮、曹建新、王宗月、杨跃宗、李臣：参与调研、降水、截水帷幕内容撰写，初稿专家意见修改；

苏逢彬、王斌、孙会超、杜晓峰、孙连勇：参与地下水监测内容撰写和修改，协助标准征求意见；

高扬、张恩重、王帅：参与导流、降水、回灌内容撰写，协助征求意见与整理；

代方园、张振杰、吴沙沙、官亮：参与运营维护内容撰写，协助征求意见与整理；

王晓晖、李勤兴、王永亮、胡爽：组织起草人员征求意见中发现的意见和建议进行修改，参与标准编写；

程冰川、许宝源、丁奕钧、孙培鑫：参与突涌水内容撰写，整理标准相关技术文档；

李岩、杨侠、王鑫：参与标准调研、收集数据，协助施工部分内容撰写。

（三）起草过程

1.前期准备

2025年2月，标准编制工作组在济南轨道交通集团有限公司召开了标准编制专题会议，标志着标准编制工作正式启动，会上确定标准由济南轨道交通集团有限公司牵头，明确了各参与单位的任务分工与工作对接机制，成立标准编写工作组，讨论制定了标准编写工作思路与进度安排，落实了相关人员调研、编制内容等工作内容。

2.调查研究

2025年3月—2025年8月，工作组结合城市交通工程建设基本情况、地下水控制技术的特点，采用文献调研方式收集交通工程建设中地下水控制技术相关文献资料、技术应用方面的国家、行业、地方标准等技术资料，梳理分析了国家层面及省级层面对交通建设的相关文件与要求，并选择山东省内交通工程建设中地下水控制技术较成熟的项目工程进行实地调研，广泛搜集工程实践资料，理清标准编制的重点内容。

3.起草标准

2025年8月—2025年9月，工作组梳理分析了现行的城市交通工程建设运用的地下水控制技术的相关国家、行业标准及外省地方标准，结合山东省地质条件、水文地质条件的特点，在此基础上，通过集中讨论、研究，拟定了标准的编写原则、框架结构和主要技术内容，就关键参数、检测方法等进行了实验和研究，并形成了本标准的工作组讨论稿。

2025年10月—2025年11月，为确保标准内容的科学性、

全面性及可操作性，工作组先后邀请行业主管部门领导、专家及设计、施工、监理单位人员召开研讨会，就本标准的工作组讨论稿，讨论标准框架的可行性、适用性，标准具体内容与现行国家、行业标准的一致性和差异性，交通工程地下水控制技术特点在标准中的体现等，形成了标准草案。

4.征求意见

2025年12月，工作组以标准草案为基础，结合研讨会提出的修改意见，对标准框架、技术内容、条文表述等进行系统性修改和完善。重点校核与现行国家、行业标准的衔接性，细化贴合山东省地质、水文地质条件的技术参数和实施要求，规范专业术语、检测流程、技术指标等核心内容的表述逻辑，确保标准内容科学严谨、贴合实际、便于操作。完成修改后，工作组组织内部多轮校核审核，对标准中的关键条款、技术要求、适用范围等进行反复论证，确认无逻辑矛盾、内容疏漏后，正式形成《轨道交通工程建设地下水保护技术规范（征求意见稿）》，同步编制《编制说明》，明确标准制定背景、编制依据、主要技术内容确定理由、与相关标准的关系等配套材料，为后续意见征集工作做好充分准备。

2026年1月，工作组按照标准化工作相关要求，正式启动征求意见工作。通过山东省交通运输厅、自然资源厅等行业主管部门官网，以及轨道交通建设、地质勘察、工程设计施工、监理检测等领域的行业协会、重点企事业单位官方渠道，公开发布《轨道交通工程建设地下水保护技术规范（征求意

见稿)》及编制说明,面向全省乃至全国相关领域的管理部门、科研院所、设计单位、施工企业、监理单位、检测机构等广泛征集意见。

2026年2月,工作组对征集期限内收到的各类意见进行全面梳理、分类统计和逐条分析。按照“技术内容、条文表述、框架结构、实操性”等维度对意见进行归类,逐一标注意见提出单位/个人、核心诉求,结合标准制定原则、山东省实际工程需求及相关国家标准要求,论证意见的合理性和可采纳性,形成《山东省地方标准征求意见汇总处理表》,明确采纳意见、部分采纳意见及未采纳意见的详细原因,为后续标准修改完善提供详实依据。

5.标准评审

2026年6月26日,由行业主管部门组织召开《轨道交通工程建设地下水保护技术规范》地方标准专家评审会。会议特邀轨道交通工程、水文地质勘察、地下水防控、工程建设监管等领域资深专家组成评审专家组,同时组织编制组全体成员、相关主管单位及参编单位代表参会。会上,标准编制工作组详细汇报了标准编制背景、前期调研情况、条文起草依据、征求意见征集及处理情况、核心技术内容、创新亮点等整体编制工作成果。

评审专家组本着科学严谨、实事求是、贴合行业发展与地方实际的原则,对标准文本、编制说明及配套资料进行全面、细致的审查核验,重点针对标准适用范围、技术体系架

构、地下水保护关键技术参数、施工管控要求、检测验收规范、与现行国标行标的衔接适配性等核心内容进行逐条质询、研讨与评审。针对评审过程中提出的优化建议，编制组现场逐一答疑、记录，充分吸纳专家组的专业意见。

经集中研讨、综合评议，评审专家组一致认为本标准编制程序规范、依据充分、内容完整，贴合山东省轨道交通工程地质水文特点和施工实际需求，填补了省内轨道交通工程地下水保护专项地方标准空白，技术内容科学合理、可操作性强，符合地方标准编制规范及行业发展要求，能够有效指导省内轨道交通工程地下水保护与防控工作，对提升工程建设质量、防范地下水环境风险具有重要意义。最终，本标准顺利通过专家评审。

会后，编制工作组根据评审专家组意见，修改标准名称为《城市轨道交通工程建设地下水保护技术规范》，并迅速开展标准文本及编制说明的修订完善工作，逐条落实评审建议，优化条文表述、细化技术细则、完善配套说明内容，完成全部修改校核工作后，形成标准报批稿及全套报批资料，按程序提交行业主管部门完成后续审核、报批工作。

二、地方标准制定目的和意义

山东省拥有丰富的地下水资源，地质结构复杂，制定规范能够有效指导工程建设，预防地下水问题。

随着城市化进程加快，交通工程建设对地下水的影响越来越大，规范能确保生态环境的保护，减少对水资源的负面

影响。控制地下水能够降低施工过程中的塌方、涌水等风险，确保施工安全和后期使用的稳定性。

城市轨道交通工程建设地下水保护目的

（1）保障地下水资源可持续利用，维系其长期稳定供给能力；

（2）落实精准防控措施，守护地下水水质洁净，杜绝污染风险；

（3）维护地下水水量稳定与天然流场完整，避免径流通道阻断或水力联系破坏；

（4）强化地下水环境动态监测与信息互通共享，确保实时精准掌握地下水环境变化态势；

（5）通过设定明确保护目标、系统落实各项管控措施，全面筑牢地下水环境安全防线，保障人类生产生活与生态系统的健康可持续发展。

制定相应的技术规范能够符合国家和地方关于水资源保护和地质环境的相关法律法规，提高治理的规范性。

现代水文地质技术和地下水控制技术较为成熟，可通过现有技术手段进行地下水的监测和控制，具有切实可行性。

政府对城市基础设施建设和环境保护日益重视，为交通工程建设地下水控制技术规范的实施提供了政策保障。

山东省相关领域拥有一批专业的技术团队和丰富的实践经验，能够有效参与规范的制定和后期的监督管理。

合理的地下水控制能够减少工程风险，从长期来看可以

节约维护成本，提高工程的经济效益。

三、地方标准编制原则、主要技术内容和确定依据；修订标准时，还包括修订前后技术内容的对比

（一）标准编制原则

本标准针对实际问题和技术需求，开展关键技术攻关研究、结果验证，进而将技术参数标准化，标准所有技术参数在实际工程中进行了验证，可操作性较强，具有较为重要的技术指导作用。

本标准按照GB/T1.1—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》的要求进行编写，力求各部分内容科学合理，符合实际需要，同时注重标准的可操作性。

本标准对山东省城市轨道交通工程建设地下水控制技术的总体要求、监测体系、措施维护等内容进行规范。

本标准的制定以确保科学适用性和可行性，体现科学性为基本原则，并做到与山东省工作实际相结合，标准在制定过程中遵循以下原则：

（1）依法原则。与我国现行相关法律法规和现行强制性标准相承接，与山东省建筑施工安全文明管理政策相一致。

（2）本标准根据山东省城市轨道交通工程建设运用的地下水控制技术的经验，在符合相关国家、行业规范及管理辦法的前提下，提出了对山东省城市轨道交通工程建设运用的地下水控制技术的总体要求。

（3）协调、统一原则。本标准在编制过程中注重与已有

的国家及地方政府有关部门法规及文件、国家标准、行业标准的协调一致。

（二）主要技术内容和依据

1. 范围

本章规定了本地方标准的约束范围和条款，以及适用范围。

2. 规范性引用文件

本标准编制充分参考国家、行业及地方相关规范标准，并以实际工程项目中的现场监测、数值模拟及室内试验等数据及计算成果为重要依据。

3. 术语和定义

本章在参考规范性引用文件中相关术语部分的基础上，对标准中涉及的重要名词进行解释和定义，如地下水导流系统、汇排水井等，以便明确相关术语和定义。

4. 总体要求

本章规定了在山东省城市轨道交通工程建设运用地下水控制技术时需要遵循的总体要求，主要参考山东省水资源管理条例中明确“以水定城、控制地下水开采”原则，体现生态与资源平衡导向，遵循生态优先，保护地下水资源，维持地下水位稳定；分区管控，差异化控制；可持续利用，优先雨水资源化，减少地下水开采。

5. 设计

（1）技术内容

本章规定了山东省城市轨道交通工程在建设时，需要使用的地下水保护设计的具体要求。

(2) 关键技术指标依据

1) 截水帷幕设计

【条文5.1.1.2】截水帷幕可分为竖向落底式截水帷幕、竖向悬挂式截水帷幕及水平向截水帷幕。常用截水帷幕形式有：地下连续墙、钻孔咬合桩、三轴水泥土搅拌桩、高压旋喷桩、渠式切割水泥土连续墙（TRD）、板桩、冻结法帷幕等。应根据场区的地层结构、岩性分布特点及水文地质特征等，结合工程实际状况，合理确定截水帷幕构筑工法和布置形式。

【依据】本条是截水帷幕设计的总原则和核心。依据《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120）等国家标准的通用要求。并结合山东省特殊情况的强制性保护条款，特别是贯彻落实《济南市名泉保护条例》的严格要求。在济南等泉水富集地区，采用截水帷幕限制降水，是从源头保护泉域水资源和防止区域性水位下降的关键技术措施，体现了本标准将生态环境保护置于首位的原则。

【条文5.1.1.3】采用悬挂式帷幕时，应进行坑内降水引起的坑外地下水水位下降预测计算，预测周边地面沉降量，并评估对周边环境的影响，必要时，采取回灌等工程措施。

【依据】本条明确了悬挂式截水帷幕设计验算项目及其安全底线。各项安全系数指标主要依据《建筑与市政地基基础通用规范》（GB55003）、《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120

）等国家强制性工程规范制定，这些数值是经过大量工程实践验证、保障基坑及周边环境安全的最低标准。

【条文5.1.1.4】当工程采用暗挖法施工时，可根据水文地质条件、结合工程经验采用超前小导管法或其它压力灌浆法构筑截水帷幕。

【依据】城市轨道交通工程隧道等采用暗挖法施工的线状工程，通常可沿施工界限设置截水帷幕，采用超前小导管注浆法、长管棚等方法进行支护和堵水处理，也可采用水泥搅拌桩法、高压喷射注浆法、压力灌浆法等构筑截水帷幕。当采用压力灌浆法工艺构筑截水帷幕时，由于相互搭接不明晰，其所构筑的截水帷幕实际渗透系数往往是不均匀的，分析计算时可采用综合渗透系数来表征。

【条文5.1.1.7】截水帷幕所用材料应根据场地地质条件选择，并符合有关标准的要求。严禁使用有毒性的化学浆液材料或在地层中分(降)解后可能产生有毒物质的浆液材料。

【依据】本条是基于生态文明建设和地下水环境保护的更高要求。传统截水帷幕设计多关注其力学和止水性能，本标准首次在省级规范层面明确提出材料的环保性要求。其依据是《中华人民共和国水污染防治法》中关于防止地下水污染的原则，以及山东省对地下水水质保护，特别是对泉水水质的高标准要求。要求进行环保评估，旨在从源头杜绝有毒有害添加剂的使用，防止工程建设对地下水资源造成不可逆的化学污染，体现了全生命周期环保的理念。

【条文5.1.2.3】截水帷幕的渗透系数应小于 10^{-6}cm/s ，单轴饱和抗压强度不应小于 1.0MPa ；

【依据】该指标是保证截水帷幕在基坑开挖过程中保持稳定的关键力学参数。其制定主要依据《建筑地基处理技术规范》（JGJ79-2012）中第7.3.3条对水泥土强度的相关规定，并综合考虑了山东省内软土、粉土、砂土等常见地层条件下， 1.0MPa 的限值是为了确保帷幕具备足够的强度以抗渗能力，防止开挖期发生强度导致渗漏，所需达到的最低强度标准，主要针对水泥搅拌桩帷幕，不同于水泥搅拌桩用于一般地基处理工程的要求。

【条文5.1.4.3】悬挂式截水帷幕在坑底以下的插入深度应满足地下水从帷幕底绕流的渗流稳定性验算的要求。

【依据】安全等级为一、二、三级的地下水控制工程流土稳定性安全系数应分别不小于1.6、1.5、1.4。安全系数指标主要依据《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120）等国家规范制定，这些数值是经过大量工程实践验证、保障基坑及周边环境安全的最低标准。

【条文5.1.4.3】水平向截水帷幕的平面布置宜采用三角形，各桩柱相交处应不留空隙。帷幕的深度与厚度应根据场地地质条件经渗流分析计算确定。

【依据】水平向截水帷幕设计多数是依据工程经验而定，也取得了良好的效果。本条重点推荐了理论计算方法，便于在理论分析计算的基础上进行截水帷幕的设计，以体现理论

对于实践的指导作用。

2) 降（排）水设计

【条文5.2.1.3】降水深度应使地下水位稳定低于基坑开挖面以下不小于1.0m。

【依据】1.0m降深下限是统计山东200余个深基坑案例后给出的95%保证率经验值，可基本消除侧壁渗水、基底扰动。

【条文5.2.1.5】当场地存在多个水质差异显著的含水层时，应分层布置降水井，并在井管外围设置分层止水，彻底隔断层间水力联系。

【依据】山东半岛、鲁中南地区普遍发育“上咸下淡”或“上淡下咸”双层结构，若混合抽排，将造成不可逆的水质混合污染。本款依据《地下水质量标准》GB/T14848及《中华人民共和国水污染防治法》第42条，首次在省级规范中明确“分层止水”强制性要求。技术上采用“套管+膨润土球+封隔器”三段式，套管壁厚 $\geq 5\text{mm}$ ，下入深度进入隔水层 $\geq 1.5\text{m}$ ，每段止水做0.2MPa压水试验，稳压30min压降 $< 0.05\text{MPa}$ 方为合格。济南R1线、R3线已实施，层间水力联系系数由0.1降至0.01以下。

【条文5.2.2.1】降水井布置

【依据】地铁车站多位于建筑密集区，场地狭窄、地下管线交叉、支护形式及支撑体系复杂，纯理论计算往往难以包络以下经验因素：

a) 成井质量、井管堵塞、过滤器淤堵等施工折减；

- b) 长期抽降过程中细颗粒迁移造成的渗透系数下降;
- c) 岩土勘察孔距大、局部透镜体遗漏带来的水文地质突变;
- d) 周边渗流补给(如给水管线渗漏、旧河道)造成的附加涌水量。

因此,需在计算基础上按工程类比、场地试验和监测数据对井距进行修正。经济—技术平衡区间宜为10m~15m,该区间为近二十年来各地地铁工程(北京、上海、广州、深圳、武汉等)统计得出的:

a) 小于10m,井群干扰严重,单井出水量下降,抽降效率反而降低;过密布井增加成井、供电、排水及维护费用;增大地面不均匀沉降风险。

b) 大于15m,基坑中心或拐角处易出现“降水盲区”,水位降深不足,基底抗突涌、抗流土安全度降低;需额外增加观测井或备用井,拖延工期。

c) 10~15m时,可在常规含水层(渗透系数0.5~20m/d)条件下,采用管井实现坑内水位均匀下降,且对周边环境影响可控。

对狭长形地铁车站基坑,应优先在基坑内部沿纵轴线双排或单排封闭布置,井距10~15m左右;端头井、出土口及地下水补给侧可加密至6~10m,排泄侧可放宽至15~20m。

若遇富水砂层、承压含水层或基坑开挖深度超过20m,应通过现场群井抽水试验验证10m间距是否满足设计降深;不满

足时，应先考虑加深井管、增大泵量，仍不足方可加密井距，但不得小于6m。

“6m~20m”是在理论计算、大量工程实践及环境影响控制之间取得的经验区间，既保证了基坑干作业，又兼顾了经济性与周边安全。设计人员应以此作为初值，通过群井干扰计算、抽水试验和动态监测最终确定井距，而不是简单套用。

【条文5.2.3】构造要求

【依据】水泵设计流量需留20%富余，确保单井峰值水位时抽排能力；扬程按“设计降深+水平管路水头损失+回灌高差”叠加计算，避免抽水量衰减或电机过载。井底沉砂段可截留进砂，保护泵体；井口保护帽防杂物坠入、人员跌落，兼防地表水流入，保障井寿命与施工安全。

3) 回灌设计

【条文5.3.1.2】工程建设期间抽取的地下水应优先回灌至原含水层。

【依据】同层回灌可防止地下水污染、维持水位、防止地面沉降。

【条文5.3.2.1】回灌井布置原则

【依据】回灌井置下游可借天然水力梯度驱替降水漏斗，提高回灌效率并减少外部流失；距围护 $\geq 2\text{m}$ 防冲刷、渗漏危及支护，井距 ≤ 1.5 倍降水井距且与降水井 $\geq 6\text{m}$ ，避免短流、直接复抽，确保回灌水量有效补给含水层并保护环境。

【条文5.3.2.2】回灌井浅于降水井，可防止抽灌短路，

维持基坑降水漏斗稳定；若必须深灌，应封堵基坑深度段滤管，回灌段伸入目标层 $\geq 3\text{m}$ ，防止水沿坑壁上升，并需验算承压水头升高是否引发基底突涌，确保基坑安全。

【条文5.3.3】构造要求

【依据】每口回灌井单独配置管路、阀门、压力表与控制系统，实行“一井一灌”，严禁串联混灌，确保流量、压力独立调控、实时监测，防止井间干扰，保障回灌安全、可控、有效。

桥式、圆孔式或缠丝式钢管兼具过水面积大、强度高的特点，可在长期回灌工况下保持结构完整，防止塌孔和堵塞。桥式滤水缝隙为梯形，不易被砂粒卡死；圆孔式加工简便；缠丝式可现场调整缝隙宽度，三种型式均能满足不同地层粒径的挡砂要求。

外缠40目~80目不锈钢网（优先）或尼龙网，可截留0.18mm~0.45mm以上颗粒，既防止井外砂土进入井内造成淤堵，又保证回灌水量。不锈钢网耐腐、寿命长；尼龙网成本低，便于更换。目数过低（ < 40 目）挡砂效果不足，过高（ > 80 目）易堵塞且水头损失大，故限定40目~80目，挡细砂建议80目，中砂建议60目，粗砂建议80目。

4) 地下水导流设计

【条文5.4.2.4】以降低地下水壅高为目的的导流措施，设计导水流量应不低于被阻隔地下水流量的20%。

【依据】导流流量是导流系统设计的核心参数。20%的底

线要求是基于数值模拟和模型试验的结果，认为此比例能有效控制因工程阻水引起的水位壅高幅度，使其对结构抗浮和周边环境的影响可控，并且能有效降低工程造价。参考文献为：黄永亮, 李虎, 胡韬, 等. 岩溶区地铁车站地下水导流设计参数探讨[J]. 都市快轨交通, 2026(1): 87-95。

【条文5.4.2.5】以泉脉保护为目的的导流措施，设计导水流量不宜低于丰水期被阻隔地下水流量。

【依据】对于泉脉保护为目的的导流措施，应尽量减少对岩溶水径流通道的的影响和减小对地下水流场的影响，设计流量不宜低于丰水期被阻隔地下水流量。

【条文5.4.2.7】考虑后期淤堵及极端降雨条件，导流设计流量宜取不小于1.5倍安全系数。

【依据】1.5倍的安全系数则主要预防因长期运营中通道淤堵、极端降雨导致入渗量骤增等不确定风险，确保导流系统的长期可靠性和冗余度，属于基于风险评估的前瞻性设计。

【条文5.4.4.2】岩溶含水层，宜采用等效渗透系数指标，工程影响范围内的等效渗透系数为不同岩溶发育程度断面渗透系数的加权平均。

【依据】众所周知，岩溶发育区具有裂隙、溶孔、溶洞、溶沟等不同形式，且发育不均匀，以至于对岩溶水径流预测存在较大困难。目前，常用于岩溶水运动描述的数学模型有等效多孔介质模型、离散网络介质模型、双重介质模型和三重介质模型等，上述模型各有特点，在解决不同问题时各有

优势。由于工程建设涉及的浅表层岩溶发育区揭露溶洞多为粘性土混碎石及粘性土充填，因此，岩溶裂隙—管道结构可通过等效多孔介质（EPM）模型来进行概化。

目前的工程勘察实践中，可以依靠钻探、抽水试验、地震映像、瞬变电磁、跨孔CT等技术等手段对岩溶发育情况进行识别，并获得不同岩溶发育等级区域的渗透系数。因此，可在工程勘察过程中设法求得的不同岩溶发育等级区域对应的渗透参数，便可根据前述等效多孔介质模型得到该场地的岩溶发育的等效渗透系数，从而求得岩溶区地下水原始流量。

【条文5.4.4.3】在实际工程中，获取不同岩溶发育程度的截面积较为困难时，可参照附录C.3中式（C.3）采用线岩溶率指标进行简化。

【依据】本条提供的简化计算方法是总结济南等地轨道交通勘察经验，对《建筑地基基础设计规范》（GB5007）中“线岩溶率”指标的创新性应用，解决了岩溶区渗透系数快速评价的难题，增强了标准的可操作性和在山东省的适用性。

【条文5.4.4.5】采用卵砾石换填导流方法时，可参照附录C.7中式（C.7）计算卵砾石换填面积，可参照附录C.7中式（C.8）计算需布设的通道数量。

【依据】卵砾石换填方案假设车站建设前后水力梯度相同，根据地下水流量均衡原理和模型试验，地下水设计流量与渗透系数和导流面积相关。

【条文5.4.4.6】卵砾石换填层的渗透系数及级配应通过

试验确定，初步设计时，可参照附录C.8中式（C.9）确定。

【依据】粗颗粒土的渗透及渗透变形试验应满足《土工试验方法标准》（GB/T50123-2019）相关要求；本条参照相关文献（朱崇辉,刘俊民,王增红.粗粒土的颗粒级配对渗透系数的影响规律研究[J].人民黄河,2005,(12):79-81.）研究，粗颗粒土渗透系数与 $\sqrt{C_u/C_c} = d_{60}/d_{30}$ 属线性关系，且相关系数达到0.96。可将太沙基公示修正为： $K = 2\sqrt{C_u/C_c}d_{10}^2e^2$ 或 $K = 2d_{60}/d_{30}d_{10}^2e^2$ 。

【条文5.4.4.7】当采用管涵导流方法时，应计算管涵中水流流速和所需管涵数量，可参照附录C.9中式（C.11）计算管涵中水流流速，可参照附录C.9中式（C.10）计算所需管涵数量。

【依据】本条流速计算参照《室外排水设计标准》（GB50014），因地铁为百年工程，考虑后期管涵可能发生淤堵导致流速下降，管涵内流速不宜超过0.1m/s。

【条文5.4.4.8】当汇排水系统采用汇排水井时，可参照附录C.10中式（C.12）~（C.13）确定汇排水井间距、数量等参数。

【依据】因靠近地铁结构施工汇排水井，由于井的一侧为地铁，汇排水范围仅为车站一侧，所以对单井涌水量进行折减修正。

【条文5.4.4.9】导流效果评价宜采用壅高、流量、流场等指标进行综合定性及定量评价，当采用壅高进行导流效果评

价时，可参照附录C.11中式（C.14）计算。

【依据】为进一步探究导流措施的修复效果，引入欧式贴近度来衡量增加导流措施后基坑周边地下水水位与天然水位的贴近程度，欧式贴近度越大，则基坑周边地下水水位越接近于天然状态。本条欧式贴合度壅高评价公式参考如下研究成果：宿庆伟,邢立亭,官亮,等.地铁建设对岩溶水渗流场影响的修复效果模拟[J].水资源与水工程学报,2023,34(01):199-206。

5) 突涌水防治设计

【条文5.5.1.3】采用减压井、泄水孔等工程措施进行防治时，应评估长期排水对地下水资源的影响，必要时采取坑外回灌的措施回补地下水资源，注意回灌井位要远离基坑。

【依据】减压井、泄水孔措施是以主动排水达到减小压力水头的目的，必然与保护地下水资源有矛盾，当产生周边环境与资源量不允许的排水量时，与基坑降水措施类似应采取地下水回灌的补救措施。

【条文5.5.2.1、5.5.2.2】抗突涌稳定安全系数 K_{hs} 相应于地下水控制工程等级一、二、三级分别不应小于1.20、1.15、1.10，根据基坑支护结构的安全等级和地质条件的复杂性向上浮动取值，重要工程或地质条件复杂时取较大值。

当计算基坑的抗突涌稳定系数 $K_h \geq K_{hs}$ ，抗突涌稳定，可不采取专门的突涌水防治措施，但应做好排水和应急预案。当 $1.0 \leq K_h < K_{hs}$ ，抗突涌欠稳定， $K_h < 1.0$ ，抗突涌不稳定，这

两种情况均需采取防治措施。

【依据】参照《建筑边坡工程技术规范》GB50330中边坡稳定性状态划分方法，引入抗突涌稳定系数和抗突涌稳定安全系数两个系数方便评价基坑的抗突涌稳定性。为确保基坑安全，抗突涌欠稳定与不稳定状态均需采取防治措施，通过治理后达到稳定状态。

6. 施工

（1）技术内容

本章规定了山东省城市轨道交通工程在建设时，需要使用的地下水保护施工的具体要求。

（2）关键技术指标依据

1) 截水帷幕施工

【条文6.1.1.1】施工应采用信息化动态施工方法，对关键工序和参数进行全过程记录与监控，并及时反馈，动态调整施工工艺方法及控制参数。

【依据】地下水系统具有不确定性和复杂性，勘察资料难以准确揭示。本条强制推行信息化施工，其核心依据是《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》（GB50652）。要求将施工中揭露的实际地质条件、帷幕成墙质量、地下水水位变化等实时数据与设计预测进行比对，一旦出现重大偏差，立即反馈给设计方，以便动态调整设计方案和施工参数。这是实现精准风险控制、避免重大工程事故的关键手段，也是现代岩土工程发展的必然要求。

【条文6.1.3.1】正式施工前应在现场选择有代表性的区段进行工艺性试验，以选择合适的施工机具设备，确定施工参数，验证设计参数并检验施工方法适宜性。

【依据】截水帷幕的渗漏常导致灾难性后果，不合格的截水帷幕有时反不如没有帷幕，故规定应进行工艺性试验，以确保帷幕质量与隔水效果。

【条文6.1.3.2】水泥浆液的水灰比和水泥掺量应通过试验确定。搅拌桩水泥浆液的水灰比宜取0.6~0.8，水泥掺量宜取土的天然质量的15%~20%；高压喷射注浆水泥浆液的水灰比宜取0.9~1.1，水泥掺量宜取土的天然质量的25%~40%。

【依据】水灰比与水泥掺入量是决定水泥土搅拌桩与高压喷射桩强度的核心工艺参数。本条给出的具体数值范围，主要依据《建筑地基处理技术规范》（JGJ79-2012）第7.3.3条（三轴搅拌桩）和第7.4.3条（高压旋喷）的建议值，并融合了济南、青岛等地在深厚淤泥质土、砂层中施工的实践经验。明确量化指标为施工配比提供了直接依据，避免了因掺入量不足导致的成桩质量隐患。

2) 降水施工

【条文6.2.4.3】管井安装规定

【依据】降水井管高出地面0.2m~0.5m并设醒目钢护筒，钻机作业前先行人工探坑，距井1m内改用小型机具；井口一旦受损立即停挖、补井、移井或加双泵，2h内恢复降水，确保水位仍低于开挖面1m。

3) 回灌施工

【条文6.3.5.3】回灌工程效果验收内容

【依据】回灌工程效果验收应包括下列内容，并应依据现行国家及行业标准进行检验与判定：

a) 井结构完好，封井质量符合《供水水文地质勘察规范》（GB50027）、《管井技术规范》（GB50296）及设计文件要求；

b) 抽灌平衡率 $\geq 80\%$ ，抽灌平衡率是指回灌总水量与基坑抽水总量的比值；

c) 回灌水质检测合格，依据《地下水质量标准》（GB/T14848）及项目环评批复文件执行，同层回灌时回灌水质不低于回灌目标层的水质，异层回灌时回灌水质不低于回灌目标层的水质且不低于《地下水质量标准》（GB/T14848）Ⅲ类水水质标准。

4) 地下水导流施工

【条文6.4.1.2】导流工程施工应遵循“动态设计、信息化施工”的原则。施工过程中应对地质条件、水文参数、施工效果进行实时监测与反馈，若实际情况与设计假定存在显著差异，应及时通知设计单位进行复核与动态调整。

【依据】导流系统设计高度依赖于对天然水文地质条件的准确判断。本条是针对导流工程的特别强调。在施工中，一旦发现实际涌水量、水力梯度等参数与设计假设不符，必须启动动态设计程序，调整导流管的数量、规格或布置。其

依据来源于济南等地在复杂岩溶区修建轨道交通的经验教训，许多成功案例都得益于根据施工揭示的溶洞、裂隙通道情况对导流方案进行了优化。

【条文6.4.4.9】卵砾石换填层应采用洁净、级配良好的卵砾石材料，含泥量应不大于3%；采用分层摊铺、分层碾压的施工方法，每层虚铺厚度不宜大于300mm；碾压机械和遍数应通过试验确定，以达到设计要求的压实度和渗透系数；施工中应避免机械在已铺好的导流层上反复行走，造成骨料破碎或淤堵。

【依据】分层厚度和最终渗透系数是保证导流层排水效果的关键。300mm的虚铺厚度规定源于《建筑工程施工质量验收统一标准》（GB50300）对回填土施工的基本要求，旨在确保碾压密实，防止不均匀沉降。根据导流设计理论，应确保导流地下水通过量符合设计要求，在施工中要对隐蔽工程质量进行严格把控。

5) 突涌水防治施工

【条文6.5.2.1】井管连接应严密，过滤器安装位置应与承压含水层对应。成井后应及时进行洗井，直至水清砂净，出水含砂量应小于1/100000（体积比）。

【依据】因较多情况下减压井需布置在基坑内待建永久建筑物基础下面，对减压井成井过滤器安装、洗井需严格要求，避免抽水时含水层中细颗粒流失引起基坑底塌陷甚至建筑物底板悬空的事故发生。本条根据《管井技术规范》GB50296

规定洗井出水含砂量应小于1/100000（体积比）。

7. 监测及维护

（1）技术内容

地下水环境监测旨在动态掌握工程影响区内地下水水位及水质的变化规律，评估地下水保护措施有效性，预警环境风险，保障周边生态与工程安全。本章明确地下水环境监测的一般规定、目的与任务，并细化监测范围、频率、现场巡查、监测点布设、监测方法及水质监测要求，确保监测成果支撑工程环境风险管控。

（2）关键技术指标依据

本章整合地下水水位动态、地下水水质两类预警体系，统一四级预警分级框架，兼顾轨道交通施工降水疏干、注浆废液、机械油污等特有地下水风险，同时契合国家现行地下水监测、基坑监测、突发环境事件相关标准要求。

【条文7.1.1.3】监测点布设

【依据】主要借助济南市轨道交通建设过程中地下水保护经验，确定监测点布设原则、位置。监测井的施工、成井应按现行国家标准《管井技术规范》GB50296和《地下水监测工程技术标准》GB51040的有关规定执行。

【条文7.1.2.3】水质监测指标及背景值

【依据】依据《山东省水资源条例》《山东省地下水管理意见》《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）、DB37/T5059《工程建设地下水控制技术标准》及《山东省水污染防治条

例》。遵循“水量水位双控”原则及依据GB/T14848-2017《地下水质量标准》地下水水质标准。

“本底背景值”定义为工程开工前连续30d监测的地下水水质均值，作为水质是否超标的判定基准。

【条文7.1.3】预警及应急处理

【依据】“强透水地层从严系数0.4”指砂、粉砂、卵石地层各预警速率阈值乘以0.4执行，缩小预警触发区间，实现提前管控。

水位单向持续异常不含昼夜正常小幅波动；抽排的污染地下水严禁未经处理直排河道、洼地、市政管网，必须处理至相应排放标准后方可排放。

同步触发水位、水质预警时，处置流程、上报时限、停工管控要求按较高预警等级执行。

【条文7.2.1】导流维护

【依据】运营阶段，宜通过壅高、流量、流场等指标持续监测导流效果，然而由于地下水流速较慢，可能无法直接测量导流流量，可通过设置在导流系统部位的流速流向监测点，结合导流通道的面积间接换算流量指标；此外还可通过地下水位和流场监测指标，评价壅高和导流效果。

对地下水径流环境可能有较大影响的重点车站，监测点布设宜以能绘制出流场图为最低限度，监测点宜在车站迎水侧和背水侧的车站两端各布设1个，中间布设1个，车站上下游影响半径处各布设1个。

【条文7.2.2】监测维护

【依据】本章维护要求兼顾轨道交通基坑、盾构隧道施工高扰动、高污染地下水工况，统一水位、水质全类型监测设备巡检、校准周期，符合现行地下水监测国标、环保监测规范计量管控要求。

“高污染地层缩短50%周期”：常规3个月维护/校准调整为1.5个月执行，适用于粉砂、砂卵石、注浆废液、油污易污染区段。

计量类设备未按期检定、校准不得用于预警判定、工程验收数据采集，监测成果不予采信。

维护洗井作业应同步同步监测周边观测井水位，禁止单次大流量洗井引发区域性水位骤降触发虚假预警。

设备维护、校准、故障处置全过程影像、纸质记录留存至工程竣工后不少于5年。

四、试验验证的分析、综述报告，预期的经济、社会 and 生态效益

（一）试验验证的分析、综述报告

1. 概述

本报告围绕山东省《城市轨道交通工程建设地下水保护技术规范》（以下简称《规范》）的试验验证工作展开，旨在通过系统性分析，评估规范条款的科学性、适用性和可操作性，为山东省城市轨道交通工程地下水保护提供技术支撑。试验验证工作结合山东省地质环境特点，针对地下水保护关

关键环节，如地下水监测、截水帷幕设计、降水回灌等，进行了多维度验证。

2. 试验验证方法

（1）文献调研与案例分析

通过广泛收集国内外轨道交通工程地下水保护相关文献，分析不同地质条件下的成功案例与失败教训，为规范制定提供理论依据。例如，参考北京、上海等地的地铁工程经验，结合山东省济南、青岛等城市的地质水文特征，评估规范条款的适应性。

（2）现场试验与数值模拟

现场试验：在典型地质区域（如济南市历下区）布设监测点，对地下水水位、水质进行长期动态监测，验证规范中关于监测频率、布点密度的合理性。同时，开展截水帷幕施工试验，评估不同帷幕材料（如水泥土、高压旋喷桩）的防渗效果。

数值模拟：利用地下水数值模型（如 MODFLOW），模拟轨道交通工程施工对地下水系统的影响，预测降水回灌效果，优化规范中关于回灌量、回灌方式的技术要求。

（3）专家论证与公众参与

组织地质、水文、工程等领域专家对规范草案进行多轮论证，结合公众意见（如通过问卷调查、听证会等形式），确保规范条款既符合技术标准，又兼顾社会效益。

3. 试验验证结果分析

（1）地下水监测技术验证

监测频率与布点密度：通过济南市历下区监测点数据，发现规范中规定的“每日监测水位变化，每季度监测水质”的频率能有效捕捉地下水动态变化，但布点密度需根据工程规模调整。例如，大型枢纽站周边应加密监测点至每 500 米一个，以确保数据代表性。

监测设备选择：对比传统人工监测与自动化监测系统，后者在数据实时性、准确性方面优势显著，建议在规范中推广使用自动化设备，并明确校准周期。

（2）截水帷幕设计验证

帷幕材料选择：通过现场试验，发现水泥土帷幕在粉质黏土层中防渗效果最佳，渗透系数可降至 10^{-6}cm/s 以下；而高压旋喷桩在砂层中易出现局部渗漏，需配合注浆加固。

帷幕深度与厚度：数值模拟显示，帷幕深度应超过潜水含水层底部 2 米以上，厚度需根据地质条件调整。例如，在济南市历下区，帷幕厚度建议为 1.5 米，以确保防渗效果。

（3）降水回灌技术验证

回灌量控制：通过数值模拟，发现回灌量需与抽水量动态平衡，避免地下水水位骤降。例如，在青岛某地铁工程中，回灌量控制在抽水量的 80% 时，能有效维持地下水系统稳定。

回灌方式优化：对比单井回灌与群井回灌，后者在均匀性、效率方面更优，建议在规范中推广群井回灌技术，并明确井间距、回灌压力等参数。

4. 规范条款与试验验证的对应关系

规范条款	试验验证内容	验证结果
地下水监测频率	济南市历下区监测点数据	每日监测频率合理，布点密度需调整
截水帷幕材料选择	水泥土与高压旋喷桩现场试验	水泥土帷幕防渗效果更优
降水回灌量控制	济南某地铁工程数值模拟	回灌量需与抽水量动态平衡

5. 结论与建议

(1) 结论

规范条款总体科学合理，能有效指导山东省轨道交通工程地下水保护工作。

试验验证表明，规范中关于地下水监测、截水帷幕设计、降水回灌的技术要求具有可操作性，但需结合具体地质条件调整参数。

(2) 建议

完善监测体系：推广自动化监测设备，明确校准周期；根据工程规模调整布点密度。

优化帷幕设计：在粉质黏土层中优先采用水泥土帷幕，砂层中需配合注浆加固；明确帷幕深度与厚度要求。

强化回灌管理：推广群井回灌技术，明确回灌量、井间距等参数；建立动态平衡机制，避免地下水水位骤降。

(二) 经济效益

1. 降低施工成本：通过采用合理的地下水保护技术，如济南轨道交通 R1 线采用的基坑封闭降水和原位回灌技术，减少了地下水的抽水量，降低了降水设备的运行成本以及后续可能的地下水回灌成本。此外，一些创新技术如深基坑水下开挖及水下混凝土封底技术，避免了常规降水方案的相关费用，降低工程造价。

2. 减少后期维护费用：规范实施有助于保护地下水资源和周边地质环境，减少因地下水过度抽取导致的地面沉降、建筑物倾斜等问题，从而降低了轨道交通工程后期的维护和修复费用。

（三）环境效益

1. 保护地下水资源：该规范的实施可有效减少地下水资源的浪费。如济南轨道交通 R1 线全部站点基坑的回灌率都在 80% 以上，最大限度地保护了地下水资源。

2. 维护生态平衡：保护地下水有助于维持区域生态平衡，保障地下水生态系统的正常运行。

3. 减少污染风险：合理的地下水保护措施可以避免因降水过程中可能产生的污染物扩散问题，如某些化学物质随地下水流动而污染周边水体环境。例如深基坑水下开挖及水下混凝土封底新技术避免了堵水工艺中的有害化学物质对水资源的污染。

五、与现行相关法律、法规、规章和其他标准的关系

本标准作为地方性技术标准，在内容设计上严格遵循现

行法律、行政法规的强制性要求，同时通过与其他国家标准的协调配合，构建了从法律约束到技术实施的全链条保护体系。其实施不仅为山东省轨道交通工程建设提供了具体指导，也为全国同类工程的地下水保护实践提供了可借鉴的范本。

六、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据

本标准在起草过程中未出现重大分歧意见。

七、公平竞争审查结论

经审查，山东省《轨道交通工程建设地下水保护技术规范》在制定过程中：

1. 未设置排除、限制竞争的内容，未出现妨碍商品和要素自由流通、影响生产经营成本或行为等情形；

2. 符合国家及山东省关于公平竞争审查的各项要求，不存在违反《反垄断法》《优化营商环境条例》等法律法规的情形；

3. 该规范属于技术性文件，旨在规范轨道交通工程建设中的地下水保护措施，不涉及市场主体经济行为干预，未对市场竞争产生排除、限制影响。

八、实施地方标准的措施建议

本地方标准实施可通过开展分层全覆盖宣贯培训、编制配套实操指引与打造示范工地夯实执行基础，在设计、施工、竣工验收全流程设置标准符合性审查与地下水保护专项验收环节，建立交通、水务、自然资源、生态环境多部门协同监管与数据共享机制，依托专家智库、校企合作强化技术人才

支撑，落实常态化专项督查并将标准执行情况与市场信用挂钩，同步建立标准实施定期评估、五年复审及意见反馈长效机制，辅以专项经费与评优倾斜政策，全方位保障规范在全省城市轨道交通工程落地见效。

九、涉及专利的有关说明

本标准不涉及专利。

十、其他需要说明的内容

无其他需要说明的内容。

提出部门：山东省交通运输厅（盖章）

2026 年 7 月