《富水软弱地层水工隧洞灌浆技术规范》

编制说明

团标制定工作组

二零二四年十月

**一、工作简况**

**（一）任务来源**

中国中小企业协会下达的2024年团体标准修订编制计划，将《富水软弱地层水工隧洞灌浆技术规范》列为标准编制项目，并于2024年09月在全国团体标准信息平台上进行了立项公告。

**（二）编制背景及目的**

我国是水利水电工程大国，水利水电工程为我国的经济高速发展做出了很大贡献。为满足水利水电工程内建筑过水需求，通常会设计水工隧洞。水工隧洞是水电水利工程中在山体或地下开挖的，用于输水、发电、灌溉、泄洪、导流、放空、排沙等具有封闭断面的过水通道。

然而地下工程的地质条件有着复杂多变、差异显著的特点，富水软弱地层就是在复杂地质环境下，水工隧洞开挖过程中不可避免的不良地质情况之一。富水软弱地层是指处于地下水位线以下的软塑状黏土层、砂土层、全风化岩土层、充填型断层带、碎粉岩地层、碎裂岩地层等，具有遇水软化、强度低、自稳性差等特点，在地应力、渗透压力作用下极易产生较大变形，甚至诱发塌方、突水突泥、软岩大变形等地质灾害。工程实践表明，水工隧洞由于水软弱地层引发的突水突泥、塌方、软岩大变形等重大地质灾害的预防及灾后治理采用灌浆技术是最为及时、有效的科学手段。富水软弱地层水工隧洞灌浆技术主要分为洞内灌浆和地面灌浆，洞内灌浆是指在隧洞内进行钻孔和灌浆作业，其目的主要加固已开挖隧洞洞段周边围岩或开挖面前方围岩与封堵地下水通道；地面灌浆是指在隧洞地表处进行钻孔和灌浆作业，其目的主要是加固隧洞前方地层。《富水软弱地层水工隧洞灌浆技术规范》的编制经广泛调研、现场踏勘，认真总结工程实践经验，旨在规范富水软弱地层水工隧洞灌浆的工程地质勘察、灌浆材料选型、灌浆方案设计、施工组织和质量检测与效果评价，保障富水软弱地层水工隧洞工程安全建设。

针对富水软弱地层水工隧洞灌浆技术目前还未有相关的国家标准、行业标准。《富水软弱地层水工隧洞灌浆技术规范》团体标准的制定可以：

1）确保工程质量：可以统一施工规范，通过对灌浆材料的选择、浆液配比、灌浆压力、灌浆顺序等关键技术参数的规定，可以统一不同的施工单位采用一致的灌浆方法和参数，避免因技术不统一导致施工质量参差不齐；也可以通过明确规定灌浆的压力控制范围，规范灌浆工艺，提高灌浆相关。

2）促进技术进步：通过制定团体标准，规范市场行为提高市场准入门槛，促进市场的健康发展。

3）推动行业高质量发展：技术标准的制定可以为科研机构和企业提供明确的技术方向和研究目标，促进灌浆技术的创新和发展。随着科技的不断进步，新的灌浆材料、设备和工艺不断涌现，制定标准可以及时将这些新技术纳入规范，推动行业的技术进步。

**（三）编制过程**

2024 年09月，完成《富水软弱地层水工隧洞灌浆技术规范》的立项。标准立项计划下达后，根据相关文件的要求，明确小组成员工作任务并制定了详细的工作计划。

2024 年 09月-10月，标准编制组对国内外的相关行业、标准、科研成果、专著等开展广泛、深入的调研，在此基础上完成《富水软弱地层水工隧洞灌浆技术规范》的草案。随后标准制定小组与相关专家经多次研究、讨论对草案进行数次修改，于2024年10月提交《富水软弱地层水工隧洞灌浆技术规范》标准征求意见稿及征求意见稿编制说明，拟定于2024年10月下旬在网上公示征求意见稿，广泛征求各方意见和建议。

制定小组将根据各方意见和建议对标准进行修改后形成送审稿。

**（四）主要起草单位及起草人所做的工作**

由山东大学、云南省滇中引水工程建设管理局、中国水利水电第十四工程局有限公司、昆明理工大学等相关单位的专家成立的标准制定小组，在广泛调研、查阅和研究国际、国内的现行标准，结合行业现行技术痛点和空白，组织、协调和策划了标准征求意见稿的草拟和修改过程。

**二、 标准编制原则和主要内容**

**（一）标准制定原则**

本标准依据相关行业标准，标准编制遵循“前瞻性、实用性、 统一性、规范性”的原则，注重标准的可操作性，严格按照 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》的要求进行编写。

本标准与国内强制性标准保持一致的同时，参考了GB/T 50448《水泥基灌浆材料应用技术规范》、DL/T 5406《水电水利工程化学灌浆技术规范》、T/CHTS 10088—2023《公路隧道帷幕注浆技术规程》、JTG/T 3660-2020《公路隧道施工技术规范》、NB/T 10391-2020《水工隧洞设计规范》等标准。

**（二） 标准主要技术内容**

本标准主要规定了富水软弱地层水工隧洞灌浆工程地质勘察、灌浆材料选型、灌浆方案设计、施工组织和质量检测与效果评价等环节的技术要求。

**条文说明：**

本标准规定的富水软弱地层水工隧洞灌浆技术主要用于水工隧洞突水突泥、塌方、软岩大变形等重大地质灾害的预防及灾后治理，富水软弱地层水工隧洞灌浆技术主要分为洞内灌浆和地面灌浆，洞内灌浆是指在隧洞内进行钻孔和灌浆作业，其目的主要加固已开挖隧洞洞段周边围岩或开挖面前方围岩与封堵地下水通道；地面灌浆是指在隧洞地表处进行钻孔和灌浆作业，其目的主要是加固隧洞前方地层。

4、基本规定

4.2 富水软弱地层隧洞灌浆应贯彻动态设计与信息化施工的理念，根据水工隧洞实际工程地质与水文地质条件、洞内灌浆和地面灌浆实施效果及时调整灌浆施工方案。

**条文说明：**

通常富水软弱地层水工隧洞沿线的地质条件具有极端复杂、差异显著的特点，工程地质勘察阶段往往难以全部查明沿线地质条件，而突水突泥、塌方、软岩大变形等高风险段落的地质条件更为复杂，地质灾害一旦发生，还将导致局部地质条件发生突变，因此水工隧洞灌浆需贯彻动态设计与信息化施工的理念，系统收集分析隧洞灌浆施工过程中揭露或探测的工程地质与水文地质条件，并结合现场灌浆实施情况，对隧洞灌浆方案进行动态优化，从而保证水工隧洞灌浆的整体实施效果。

4.3 隧洞灌浆应根据施工中实际揭露或探测的地质情况，进行相应的补充勘察。

**条文说明：**

由于地质条件的复杂性和勘察手段的局限性，隧洞施工中揭露的地质条件可能与勘察资料存在偏差，此外，工程地质灾害的发生也将导致局部地质条件出现变化，因此，在隧洞灌浆实施前，需根据实际揭露或探测的地质情况，对隧洞灌浆及影响区域的工程地质与水文地质条件进行补充分析。当既有资料无法满足需求时，需要开展必要的补充勘察工作。

4.4 隧洞灌浆施工前应编制专项施工方案。

**条文说明：**

隧洞灌浆专项施工方案应根据灌浆目的、设计方案、灌浆区域地质条件、施工环境条件等因素，充分考虑灌浆对周边环境的影响，并结合地区类似工程经验综合确定。

4.10 隧洞灌浆施工过程中，应及时、准确填写施工记录，每循环灌浆施工完成后应进行技术总结。

**条文说明：**

灌浆实施过程中，应做好钻孔灌浆记录，以便对灌浆实施情况进行系统分析，灌浆施工记录应详细、真实、及时。每循环灌浆结束后，应及时编制阶段性总结报告，灌浆作业全部完成后，应编制隧洞灌浆施工总结报告，主要内容包括工程概况、工程地质与水文地质条件分析、施工方案及调整情况、工程量统计、材料用量统计及分析、施工工期、灌浆效果检验与评价、相关问题与建议等。

5　工程地质勘察

5.1.2 隧洞灌浆勘察应重点查明断层及影响带、岩溶、富水软弱破碎带、蚀变带、节理裂隙发育带等不良地质情况。

**条文说明：**

隧洞突水突泥灾害主要发生在断层、岩溶及富水软弱破碎带等不良地质段落，其诱发突水突泥、塌方或软岩大变形灾害数量占比达80%以上，因此，在重大地质灾害预防或灾后治理过程中，查明这些不良地质条件是科学制定地下工程地质灾害防控方案的重要基础。

水工隧洞发生地质灾害后进行补充勘察时，应采用钻探和物探相结合的方法，重点查明灾害源位置、规模及地下水补给来源，并基于实测方法查明地下水压力、流量等信息；对比既有勘察资料，查明围岩结构是否发生变化；现场采取岩土试样，开展物理力学性能等基本参数的相关测试分析。

5.1.3 水工隧洞灌浆的工程勘察范围及内容应符合JTG C20的有关规定，并符合隧洞灌浆设计与施工要求。

**条文说明：**

地质调查应覆盖隧洞灌浆段轴线及其两侧各不小于200m的带状区域，并应根据隧洞不良地质分布情况适当扩大调查范围，调绘比例尺为1:2000。对于已经发生突水突泥、塌方、软岩大变形等地质灾害的段落，灾害源调查范围还需适当扩大，以查明致灾构造、地下水补给通道等特征。

6 灌浆材料选型

6.2.1 水泥作为最常用的灌浆材料，具有来源丰富、价格低廉、强度高、配套灌浆工艺简单的优点，使得单液水泥浆在工程中得到广泛应用。单液水泥浆基于水化反应，形成的结石体具有较高的强度和良好的抗渗性能，可有效防止地下水或其他流体的渗漏，符合水工隧洞灌浆的主要目的。

**条文说明：**

单液水泥浆存在稳定性弱、结石效果差、颗粒粒径大、初终凝时间长且不易控制等缺点，且易沉淀析水，特别在动水条件下，水泥浆固结凝胶效果进一步变差。因此，在渗透性差或有较大涌水的地层中，避免采用水泥单液浆进行灌浆。

6.4.2 高渗透型灌浆材料一般为低粘度溶液型灌浆材料，通常包括水玻璃类、低粘环氧树脂类和丙烯酸盐类材料。

**条文说明：**

（1）水玻璃类材料通常由水玻璃和固化剂组成，水玻璃宜为钠水玻璃或钾水玻璃，固化剂宜为稀硫酸、磷酸、低分子酯等，适用于无水、一般致密性的致密软弱地层，模数宜在2.4～3.4之间选择，浓度宜为30～50波美度；

（2）低粘环氧树脂灌浆材料主要由环氧树脂和稀释剂组成，其中，稀释剂宜选为反应型稀释剂或非反应型稀释剂，含量需根据地层抗渗系数确定，一般含量宜为10～30%，致密软弱地层施工过程中低粘环氧树脂灌浆材料粘度不宜高于200cP。该材料适用于地下水补给相对充沛的致密软弱地层；

（3）丙烯酸盐灌浆材料适用于致密软弱地层渗透加固抗渗处治，通常为双液浆，粘度宜小于30cP。为保证灌浆材料有效固结效果和绿色环保性能，主剂应包含丙烯酸镁和丙烯酸钙两种成分，总含量宜大于15%，灌浆施工过程中宜采用双液灌浆方式，通过组分中促进剂和引发剂的含量或双液体积比进行调节凝胶时间。

7 灌浆方案设计

7.2.1.1　帷幕灌浆型式应根据水工隧洞水文地质条件和堵水加固要求，合理选择全断面帷幕灌浆、周边帷幕灌浆、局部帷幕灌浆等型式。

**条文说明：**

常用的帷幕灌浆型式有全断面帷幕灌浆、周边帷幕灌浆、局部帷幕灌浆及径向灌浆等，帷幕灌浆的型式应根据水工隧洞水文地质条件和堵水加固要求来确定。水工隧洞穿越富水地层、外水压力大、隧洞开挖面及周边围岩稳定性差或无法自稳时，宜选择全断面帷幕灌浆；水工隧洞外水压力较大且周边围岩稳定性较差时，或对岩溶裂隙水进行封堵时，可选择周边帷幕灌浆；水工隧洞存在集中涌水点或局部围岩稳定性差时，可采用局部帷幕灌浆；水工隧洞已开挖洞段围岩稳定性差、衬砌段围岩发生大变形或渗水现象时，可采用径向帷幕灌浆。根据相关帷幕灌浆工程经验，各类型式帷幕灌浆的适用条件可参考标准中表 2 的内容。

7.2.1.4　帷幕灌浆段落长度较大时，宜采用多循环灌浆。每循环长度可按10～30 m控制，相邻两循环帷幕灌浆搭接长度可按3 m～8 m设置，并宜根据地下水压力和围岩稳定性等因素进行动态调整。

**条文说明：**

帷幕灌浆循环长度是根据开挖面前方围岩地质条件、地下水压力、止浆墙厚度和施工机械水平等因素确定。如果水工隧洞所在区域地质条件较差，灌浆效果会受到一定的影响，因此，帷幕灌浆循环长度应适当缩短，一般取为10～20 m。如果现场采用的钻机能力较差时，钻孔距离越长，岩粉不易排出，钻机功效越低，同时，钻孔倾角增大，会影响灌浆效果，因此，灌浆段落应适当缩短，反之亦然。大量的灌浆工程实践经验表明，灌浆存在“楔形效应”（即沿程压力损失），即越向钻孔深部浆液越难以扩散，灌浆效果越差。根据目前国内外灌浆施工机械水平现状，结合水工隧洞帷幕灌浆施工实例调研分析，帷幕灌浆循环长度一般宜选择10～30 m。

7.2.2.4　灌浆孔孔径应根据地质条件、钻孔深度和灌浆工艺确定，终孔孔径一般不宜小于76 mm。

**条文说明：**

在帷幕灌浆钻孔施工过程中，因开孔段需要安装孔口管，该段孔径一般为130mm，随后可采用直径76mm的钻头钻孔，或采用由大直径到小直径的顺序分段逐级变孔径钻孔。

7.2.3.6　灌浆时应控制浆液的初凝时间，初凝时间宜根据室内试验与现场灌浆试验进行确定。

**条文说明：**

浆液的初凝时间反映了浆液流动性的变化，主要依据地层渗透性、地下水流速、设计浆液扩散半径、灌浆速率、压力变化等因素进行调控，灌浆浆液的初凝时间一般是在室内试验测试的基础上，结合现场灌浆试验效果，通过浆液配合比进行优化调整，从而达到满足设计扩散半径且避免扩散过远而流失浪费的要求。

7.2.5.1　灌浆工艺可采用全孔一次性灌浆、前进式分段灌浆或后退式分段灌浆。

**条文说明：**

根据水工隧洞工程地质与水文地质条件，可选用不同的灌浆工艺，常用的全孔一次性灌浆、前进式分段灌浆、后退式分段灌浆的适用条件及优缺点如表1所示。

表1 不同灌浆工艺的适用条件与优缺点分析

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **灌浆工艺** | **适用条件** | **优点** | **缺点** |
| 全孔一次性灌浆 | 地层具有较好的成孔条件，或钻孔深度较浅 | 工艺简单，操作方便，施工效率高 | 软弱破碎地层易塌孔，浆液扩散困难，且扩散不均匀，难以保证灌浆效果 |
| 前进式分段灌浆 | 地层软弱破碎，水量较大，成孔困难 | 适用性强，易保证灌浆效果 | 重复扫孔次数多，工作量大，工效低 |
| 后退式分段灌浆 | 地层软弱破碎，水量较小，成孔困难 | 工效高，重复扫孔工作量小，能实现定位、控域灌浆 | 易卡钻杆，工艺较复杂，对孔口密封要求较高 |

7.2.5.2　宜采用现浇混凝土浇筑形成止浆墙，止浆墙的厚度宜为1.0 m～3.0 m。

**条文说明：**

止浆墙设计施工过程中，首先需明确止浆墙的类型和厚度，止浆墙类型主要包括人工砌筑的混凝土止浆墙和预留止浆岩帽。预留止浆岩帽适用于水工隧洞前方距离裂隙含水岩层或破碎带一定范围内，符合设计厚度的隔水并具有抗压力强度的岩层；混凝土止浆墙适用于开挖面前方一定距离裂隙含水之间无良好隔水层、开挖过程含水层被揭露且开挖面附近软弱围岩处于不稳定状态情况；预留止浆岩帽与混凝土止浆墙结合方式适用于水工隧洞开挖面前方一定距离隔水层作为止浆岩帽（止浆岩帽厚度不具备抗压强度）、灌浆区为止浆岩帽的部分，堵水效果差。

在止浆墙的设计施工中，其厚度的选择至关重要，厚度过小，则无法满足较高灌浆压力条件下防止漏浆与保持墙体稳定的要求；厚度过大，则造成材料浪费，并影响钻孔施工速度。

7.3.2.1　地面灌浆的灌浆圈厚度宜为水工隧洞开挖线以外3 m～8 m，当外水压力大、围岩稳定性差时选大值，并可根据地面灌浆实施情况对加固圈厚度进行动态调整。

**条文说明：**

浆液扩散胶凝后，能起到堵水和加固作用的范围通常用有效扩散半径来表示。但浆液在岩石裂隙中的扩散实际上是不规则的，不仅在各个方向上不同，而且在同一方向上发育程度（开度、连通性等）不同的裂隙中浆液扩散的远近也不同，因此扩散半径的大小难以准确确定。在设计灌浆帷幕厚度和计算灌浆量时，通常以浆液在平均裂隙下的有效扩散半径来计算。

7.3.5.5　浆液的灌入量主要分为突泥空洞充填和隧洞围岩加固灌浆的灌浆量两部分。其中突泥空腔充填灌浆量由突泥空腔体积大小决定；隧洞围岩加固灌浆的浆液灌入量根据浆液有效径向扩散距离和灌浆段平均裂隙率决定。

**条文说明：**

浆液扩散胶凝后，能起到堵水和加固作用的范围通常用有效扩散半径来表示。但浆液在岩石裂隙中的扩散实际上是不规则的，不仅在各个方向上不同，而且在同一方向上发育程度（开度、连通性等）不同的裂隙中浆液扩散的远近也不同，因此扩散半径的大小难以准确确定。在计算灌浆量时，通常以浆液在平均裂隙下的有效扩散半径来计算。

1. 施工组织

8.1.1　应根据帷幕灌浆和地面灌浆设计方案、现场施工条件编制专项施工方案，并应将隧洞帷幕灌浆和地面灌浆专项施工方案内容向现场施工人员和管理人员交底。

**条文说明：**

根据隧洞帷幕灌浆和地面灌浆设计方案及现场施工条件，编制帷幕灌浆和地面灌浆专项施工方案能够有效指导现场施工。隧洞帷幕灌浆和地面灌浆专项施工方案的主要内容包括：工程概况、工程地质及水文地质条件、施工目标要求、施工方案（包括主要技术参数）、施工工艺、灌浆效果检查与评价、施工材料要求及用量估算、机械设备和劳动组织、施工工期安排、质量、安全、环保技术措施、主要机械设备的操作规程、施工安全技术措施、应急预案及相关附图（钻孔布置平面图、钻孔剖面图等）附表等。

8.1.2　帷幕灌浆和地面灌浆宜由具有相关经验、人员设备齐全的专业队伍施工。

**条文说明：**

隧洞帷幕灌浆和地面灌浆施工专业性强，并需要根据实际工程地质与水文地质条件及灌浆效果对帷幕灌浆和地面灌浆工艺参数进行动态调整，由具有丰富经验、人员设备齐全的专业队伍实施，才能达到预期目标。

* + 1. 应建立健全隧洞帷幕灌浆与地面灌浆施工安全控制体系。

**条文说明：**

隧洞帷幕灌浆具有施工设备集中、施工人员密集、工序复杂等特点，帷幕灌浆施工风险较高，因此需要在常规隧洞施工安全控制的基础上，针对围岩稳定性差、地下水丰富等不良地质条件，重点对止浆墙浇筑、钻孔及灌浆施工过程中可能出现的开挖面失稳、高压水突涌、灌浆管爆裂、机械伤害等风险制定相应的安全控制措施及应急预案，并宜开展突水突泥或坍塌灾害抢险应急演练，保证隧洞帷幕灌浆施工安全。

* + 1. 应建立健全隧洞地面灌浆施工安全控制体系。

**条文说明：**

地面灌浆设备操作难度大、灌浆压力高、工序复杂等特点，地面灌浆施工风险较大，因此需要在常规的洞内灌浆施工安全控制的基础上，针对围岩破碎、地下水丰富等不良地质条件，重点对止浆墙浇筑及灌浆过程中可能出现的隧洞支护结构破坏、开挖面失稳、高压突泥涌水、地表隆起等风险制定相应的安全控制措施和应急方案，并开展突水突泥或坍塌灾害抢险应急演练，保证地面灌浆施工安全。

8.4.1.1　应根据隧洞地质条件、施工环境及帷幕灌浆设计要求选择合适的钻机，宜选用定位快捷、钻孔效率高、自动化程度高的全液压履带式钻机。

**条文说明：**

帷幕灌浆钻孔数量多、开孔与终孔参数各不相同，需要钻机具备定位准确便捷、钻进效率高、自动化程度高等特点，结合目前钻孔设备技术水平，采用全液压履带式钻机能够实现定位方便、钻孔倾角快速设置、钻进速度快、自动化拆卸钻杆等功能，与灌浆工序衔接良好。

8.4.2.6　采用泥浆脉冲式无线随钻测斜仪进行测斜工作。

条文说明：

随钻测斜仪可在钻进过程中测量孔身的倾角、方位角、工具面角，为大斜度孔及水平孔的钻进及时提供孔身参数。使用该测斜仪不但提高了测斜定向精度，而且能随钻进作业实时监测定向参数及时调整定向设计方案，同时可进行滑动定向钻进和旋转钻进相结合的复合钻进方式，提高了机械钻速，大幅提高了钻进施工效率。能有效保证钻孔的施工轨迹与设计轨迹相吻合，并能有效防止复杂情况的发生。

1. 质量检测与效果评价

9.2.2　检查孔应布置于下列部位：

a) 设计灌浆帷幕圈范围内；

b) 钻孔过程中钻孔内涌水量大、塌孔严重等不利条件存在部位；

c) 灌浆过程中灌浆量大、灌浆压力升高缓慢等部位；

d) 隧洞拱顶等高风险区域；

e) 其它可能影响整体帷幕灌浆效果的部位。

条文说明：

检查孔法是针对灌浆质量要求较高的工程所采用的一种监测方法，该方法也是目前认为最可靠的方法。在灌浆结束后，遵循“全覆盖、有重点、无盲区”的原则进行设计和施作检查孔，检查重点为灌浆薄弱区域（一般为灌浆量及灌浆压力异常、灌浆事故段、临近钻孔揭露较大涌水或围岩松散破碎、设计钻孔的终孔交圈处等），通过对检查孔观察、取芯、灌浆资料分析、压水试验、物探法（跨孔CT、钻孔电视和声波检测）等方式，并根据前期灌浆量分布特征以及灌浆过程中所揭示的工程地质及水文地质特点，结合灌浆试验过程中压力、流量随时间变化曲线（P-Q-t）分析，综合评价灌浆效果。

9.2.5　宜采用跨孔CT、钻孔电视、声波检测等方法观察检查孔的完整性，检查内容包括涌水、涌砂、涌泥以及孔壁稳定性。

**条文说明：**

检查孔成孔率分析是在钻孔完成钻杆退出后，采用钢管探测成孔情况，对比钢管探测所得的未塌孔段长度与钻孔长度，计算得到检查孔成孔率，从而评价检查孔的稳定性。涌水量对比法是通过对灌浆过程中各钻孔涌水量变化规律进行对比，或对灌浆前后涌水量进行对比，从而对灌浆堵水效果进行评价。

9.2.6　检查孔涌水量应符合设计要求，在设计无明确要求时，地层严重破碎地段检查孔涌水量宜小于0.2 L/(min•m)，且单点涌水量小于10 L/min；在一般地段检查孔涌水量宜小于0.5 L/(min•m)，且单点涌水量小于10 L/min。

**条文说明：**

检查孔内涌水量较大时，可兼具作为排水孔，实现泄压目的。

9.3.1　应利用检查孔开展灌浆试验检测，灌浆试验应记录灌浆压力（P）、灌浆流量（Q）随时间（t）变化规律，绘制P-Q-t曲线，根据地质特征、灌浆浆液性能、灌浆参数等对P-Q-t曲线进行分析，从而评判灌浆效果。

**条文说明：**

灌浆试验法是利用灌浆检查孔注入原配比灌浆浆液，测试灌浆试验过程中压力、流量随时间的变化曲线，获得P-Q-t曲线，并根据地质特征、灌浆材料特性、灌浆参数等对P-Q-t曲线进行分析，从而对灌浆效果进行评判。对于一般灌浆工程，P-Q-t曲线法对灌浆效果的评判是直接有效的。

9.3.3　应将灌浆试验法获得的P-Q-t曲线与帷幕灌浆实施过程的P-Q-t曲线进行对比分析。

**条文说明：**

帷幕灌浆的实施将使得隧洞围岩完整性、密度、含水情况等发生改变，利用检查孔开展灌浆试验能够对帷幕灌浆实施后的情况进行间接测定，通过对比分析灌浆试验法获得的P-Q-t曲线与帷幕灌浆实施过程的P-Q-t曲线，可对隧洞围岩灌浆后的情况进行评估。

**（三）主要试验（或验证）情况分析**

灌浆技术在传统地下工程中已多有应用。如得利隧道 2 号斜井西安方向 DK150+137～DK149+965 段采用了全断面帷幕注浆技术作为塌方区周边围岩的加固方案，并达到了预期效果，满足该段隧道安全稳定的开挖要求；莞惠城际 GZH-4 标暗挖隧道也采用全断面帷幕注浆的方式来对隧道进行加固止水；包茂高速（G65）岑溪至水汶段的山心隧道采用复合帷幕注浆、全面帷幕注浆与动态施工的协同治理技术，对隧道施工突水灾害进行治理。针对水工隧洞，在目前西南地区规模最大、投资最多的水资源配置工程-滇中引水工程中，也采用了灌浆加固技术对引水隧洞进行支护。大量的工程实践经验为《富水软弱地层水工隧洞灌浆技术规范》的编制提供可靠的参考依据。

**（四）标准中涉及专利的情况**

无。

**（五）预期达到的效益（经济、效益、生态等），对产业发展的作用的情况**

水利水电工程是我国基础设施建设的重要组成部分，在防洪、灌溉、发电、供水、水土保持等方面发挥着重要作用，可以改善生态环境及水环境状况，促进经济社会可持续发展。《富水软弱地层水工隧洞灌浆技术规范》团体标准的制定，可以规范施工过程，确保灌浆材料的选择、浆液配比、灌浆压力、灌浆顺序等关键技术参数符合要求，从而提高隧洞的防渗性能和结构稳定性，减少工程事故的发生概率，保障工程的长期安全运行。同时，标准的制定可以促使施工单位和科研机构不断探索和创新灌浆技术，带动新型灌浆材料、新型灌浆设备的研发和使用。最后，制定统一的灌浆技术标准可以规范市场行为，提高行业的整体水平，使工程建设更加规范化和标准化。这将有助于提高工程的建设效率，降低工程成本，同时也便于工程的管理和监督。

同时，《富水软弱地层水工隧洞灌浆技术规范》团体标准的制定可以带来如下效益：

- 环境保护领域：1）可以减少对地下水环境的影响：富水软弱地层中的水工隧洞建设可能会对地下水环境造成一定的影响，如地下水污染、地下水位下降等。标准的制定可以要求施工单位采取相应的环境保护措施，如选择环保型的灌浆材料、控制灌浆压力和浆液流量等，以减少对地下水环境的破坏；2）保护生态系统的稳定性：一些富水软弱地层可能位于生态敏感区域，如自然保护区、水源地等，团体标准的制定可以确保施工过程中不会对周边的生态环境造成过大的影响。

- 经济发展领域：1）降低工程成本：通过统一施工工艺，提高工程的建设质量，减少不必要的施工成本和维护成本；2）带动相关产业的发展：团体标准的制定，将提高灌浆材料、灌浆设备、工程检测等相关产业的技术和质量水平，为相关企业带来新的发展机遇。

**（六）在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性**

符合现行相关法律、法规、规章及相关标准，与强制性标准协调一致。

**（七）重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

**（八）标准性质的建议说明**

本标准为团体标准，供社会各界自愿使用。

**（九）贯彻标准的要求和措施建议**

1、组织线下宣传活动、线上渠道推广，进行标准的内容宣传。

2、组织相关专家进行培训和讲座，介绍本标准并进行答疑。

3、与相关协会、机构、企业等合作伙伴共通普及和推广。

**（十）废止现行相关标准的建议**

无。

**（十一）其他应予说明的事项**

无。

《富水软弱地层水工隧洞灌浆技术规范》起草组

2024年10月17日