

# 盾构管片预制件中的氯离子含量检测与腐蚀风险评估

白超永

中交一公局第九工程有限公司 广州 广东 511300

**摘要：**盾构管片预制件在隧道工程中扮演着至关重要的角色，其质量直接关系到隧道工程的使用寿命和结构安全。氯离子含量作为评价盾构管片预制件质量的重要指标之一，对管片的腐蚀风险具有显著影响。本文旨在探讨盾构管片预制件中的氯离子含量检测方法，分析氯离子对管片的腐蚀风险，并提出相应的控制措施。

**关键词：**盾构管片预制件；氯离子；检测；腐蚀风险

## 引言

随着城市化进程的加快，隧道工程在城市交通建设中的应用日益广泛。盾构管片作为隧道工程的重要组成部分，其质量控制显得尤为重要。氯离子作为混凝土中的有害成分，过高的含量会导致管片腐蚀，进而影响隧道工程的结构安全。因此，对盾构管片预制件中的氯离子含量进行检测与腐蚀风险分析及控制具有重要意义。

### 1 盾构管片预制件中氯离子含量的限定标准

盾构管片预制件中的氯离子含量是保障混凝土结构耐久性和安全性的关键指标。根据相关设计标准规范，如《盾构法隧道工程施工质量验收规范》和《混凝土结构设计规范》，对盾构管片预制件中的氯离子含量有明确的限定标准。具体来说，盾构管片预制件中的氯离子含量需控制在一定范围内，通常不得超过预应力混凝土中的氯离子含量限值，即0.06%。同时，根据《盾构法隧道工程施工质量验收规范》，管片表面任意一点的氯离子含量不得高于表面3cm深度的混凝土中的氯离子平均含量的0.8倍。这一标准旨在防止氯离子穿透混凝土保护层，破坏钢筋表面的钝化膜，而引起钢筋锈蚀，影响混凝土结构的承载力和耐久性。因此，严格控制盾构管片预制件中的氯离子含量对于保障工程结构的质量和安全性具有重要意义，需严格按照相关设计标准规范进行控制。

### 2 盾构管片预制件中氯离子含量检测

#### 2.1 检测方法

电化学法是一种通过电化学反应来测量氯离子浓度的方法。该方法基于氯离子在电极上发生的氧化还原反应，通过测量反应过程中的电位变化来推算氯离子的浓度。电化学法具有简单、快速、准确性高的优点，因此被广泛应用于盾构管片表面氯离子含量的检测。在实际操作中，电化学法通常使用便携式的电化学检测仪，这使得现场检测变得更为便捷。在电化学检测过程中，电极的选择至关重要。一般来说，会使用特制的氯离子选

择性电极作为工作电极，该电极对氯离子具有高度的选择性和灵敏度。同时，为了保持检测的准确性，还需要使用参比电极来提供稳定的电位参考。在检测前，需要对电极进行校准，以确保测量结果的准确性。

#### 2.2 化学分析法

化学分析法是一种通过化学手段来测定氯离子含量的方法。该方法通常包括溶解、萃取、沉淀、滴定等步骤。首先，将盾构管片样品粉碎并溶解于适当的溶剂中，然后通过萃取等步骤将氯离子从溶液中分离出来。接下来，利用化学试剂与氯离子发生反应，生成可测量的沉淀或颜色变化。最后，通过滴定或其他量化手段来测定氯离子的含量。化学分析法适用于混凝土内部氯离子含量的检测，因为该方法能够破坏样品，从而获取样品内部的氯离子信息。然而，化学分析法相对复杂，需要较长的检测时间和专业的操作技能。同时，化学试剂的使用也可能对环境造成一定的影响。

#### 2.3 离子选择性电极法

离子选择性电极法是一种基于离子选择性电极的电位测量方法来测定氯离子含量的技术。该方法利用氯离子选择性电极对氯离子的特异性响应，通过测量电极在待测溶液中的电位变化来推算氯离子的浓度。离子选择性电极法具有高精度、高灵敏度和良好的选择性等优点，适用于对检测精度要求较高的场合<sup>[1]</sup>。在实际应用中，离子选择性电极法通常需要配合电位计或电化学工作站等仪器来使用。检测前，需要对电极进行预处理和校准，以确保测量的准确性。同时，还需要注意控制检测条件，如温度、pH值等，以消除干扰因素的影响。

#### 2.4 检测流程（以电化学法为例）

下面以电化学法为例，详细介绍盾构管片预制件中氯离子含量的检测流程。

首先，需要对盾构管片表面进行清洗处理。这是因为在检测过程中，表面的污垢、灰尘等杂质可能会干扰

电化学反应的进行,从而影响测量结果的准确性。清洗时,可以使用清水或适当的清洗剂来去除表面的污染物。清洗后,需要用干净的布或纸巾将表面擦干,以确保没有残留的水分或清洗剂。接下来,在盾构管片表面涂刷醋酸铅胶浆。醋酸铅胶浆是一种能够与氯离子发生反应的化学物质,它能够在电极与样品之间形成一个良好的接触层,从而增强电化学反应的灵敏度和准确性。涂刷时,需要均匀地将醋酸铅胶浆涂抹在盾构管片表面上,并等待一段时间让其充分干燥。然后,插入电化学探头进行测量。电化学探头通常由工作电极、参比电极和电解质溶液等组成。在插入探头前,需要确保探头的清洁和干燥,以避免对测量结果的干扰。插入探头后,需要将其与电化学检测仪连接,并设置适当的测量参数,如电位范围、测量时间等。在测量过程中,电化学仪会记录工作电极与参比电极之间的电位值。这个电位值与氯离子的浓度存在一定的关系,可以通过校准曲线或标准溶液来推算出氯离子的含量。因此,在测量前,需要对电化学仪进行校准,以确保测量结果的准确性。最后,以电化学表法计算出氯离子含量。电化学表法是一种通过查表或计算来获取氯离子含量的方法。在实际操作中,可以根据测量得到的电位值,在电化学表或校准曲线上查找到对应的氯离子浓度值。如果电化学仪具备直接显示氯离子含量的功能,则可以直接读取测量结果。需要注意的是,在电化学检测过程中,可能会受到一些干扰因素的影响,如温度、pH值、其他离子的存在等。因此,在检测前,需要对这些干扰因素进行控制和校正,以确保测量结果的准确性。同时,还需要对检测结果进行合理解释和评估,以判断盾构管片预制件中氯离子含量的水平是否符合相关标准和要求。

### 3 盾构管片预制件的腐蚀风险分析

#### 3.1 氯离子对管片的腐蚀机理

氯离子,作为一种常见的侵蚀性离子,在混凝土结构中扮演着“隐形杀手”的角色。其腐蚀机理主要基于其强大的氧化能力和对钢筋的电化学腐蚀作用。当混凝土中的氯离子含量超过一定的临界浓度时,它们会开始渗透并吸附在钢筋表面。氯离子的存在破坏了钢筋表面的钝化膜,这是钢筋在混凝土中保持稳定的关键。一旦钝化膜被破坏,钢筋就暴露在了混凝土孔隙液中的氧气和水分子面前,从而触发了电化学腐蚀反应。这个电化学腐蚀过程是一个复杂的氧化还原反应。在反应中,钢筋作为阳极失去电子,被氧化成铁离子。同时,氧气作为阴极接受电子,被还原成水。这个过程中产生的氯化铁具有酸性,它会进一步改变钢筋所处环境的pH值,使

得环境变得更加酸性<sup>[2]</sup>。这种酸性的环境又会加速钢筋的锈蚀过程,形成一个恶性循环。锈蚀的钢筋体积会发生膨胀,通常是原体积的数倍。这种体积膨胀会对周围的混凝土产生巨大的压力,导致混凝土膨胀开裂。开裂的混凝土不仅削弱了钢筋与混凝土之间的粘结性,还使得水分和氧气更容易渗透到混凝土内部,进一步加速钢筋的锈蚀。随着时间的推移,锈蚀的钢筋和开裂的混凝土会逐渐剥离,严重影响盾构管片的承载能力和耐久性。

#### 3.2 腐蚀风险的影响

##### 3.2.1 结构安全

腐蚀导致的钢筋锈蚀和混凝土开裂会严重削弱盾构管片的承载能力。在隧道工程中,盾构管片是承受土层压力和地下水压力的主要结构。一旦管片的承载能力下降,就可能导致隧道工程的整体失稳。特别是在地震等极端荷载作用下,腐蚀的管片更容易发生破坏,严重威胁到隧道工程的结构安全。

##### 3.2.2 使用寿命

腐蚀会加速盾构管片的老化过程。原本设计使用寿命为几十年的隧道工程,在氯离子腐蚀的作用下,可能短短几年就出现了严重的损坏。这种提前老化不仅影响了隧道工程的正常使用,还增加了未来维修和更换的成本。对于城市基础设施来说,这种提前老化无疑是一种巨大的浪费。

##### 3.2.3 维护成本

腐蚀导致的管片损坏需要定期进行维修和加固。这些维修工作不仅需要大量的人力物力投入,还可能对隧道的正常运营造成干扰。在严重的情况下,可能需要关闭隧道进行大规模的维修工作,这将对城市交通和居民生活造成极大的不便。此外,随着腐蚀程度的加深,维修成本也会不断增加。如果不及时采取措施控制腐蚀风险,可能会导致工程事故的发生,造成更大的经济损失和社会影响。

### 4 盾构管片预制件的腐蚀风险控制措施

#### 4.1 源头控制

源头控制是腐蚀风险控制的首要环节,它旨在通过选择符合要求的原材料和避免使用含有氯盐的外加剂,从根本上减少氯离子进入混凝土的可能性。在原材料选择方面,水泥、砂石和拌合用水是混凝土的主要组成部分,它们的氯离子含量直接关系到混凝土中氯离子的总量。因此,必须严格控制这些原材料的氯离子含量。对于水泥,应选择低氯离子的品种,并确保其氯离子含量符合相关标准的要求。砂石作为混凝土的骨料,也应进行严格的筛选和检测,以确保其氯离子含量在允许范

围内。拌合用水同样不能忽视，应使用清洁、无污染的饮用水或符合要求的工业用水，避免使用含有氯盐的水源<sup>[3]</sup>。除了原材料，外加剂的使用也是源头控制的重要环节。外加剂在混凝土中起着改善性能、提高施工效率的作用，但部分外加剂中含有氯盐，如减水剂、早强剂等。氯盐外加剂的使用会显著增加混凝土中的氯离子含量，从而增加腐蚀风险。因此，在选用外加剂时，应尽量避免使用含有氯盐的品种，选择无氯或低氯的外加剂，以确保混凝土的质量和耐久性。

#### 4.2 过程控制

过程控制是在混凝土生产过程中对氯离子含量进行实时监测和调整，以确保混凝土拌合物中的氯离子含量符合标准要求。混凝土拌合物检测是过程控制的关键环节。在混凝土拌制过程中，应按照国家现行有关技术标准的要求，对混凝土拌合物中的氯离子含量进行过程检验。检验方法可以采用化学分析法、电化学法或离子选择性电极法等，确保检测结果的准确性和可靠性。一旦发现氯离子含量超标，应立即采取措施进行调整，以确保混凝土的质量。配合比调整是过程控制的重要手段。混凝土的配合比是指混凝土中各组成材料的比例关系，它直接影响混凝土的性能和耐久性。如果发现混凝土拌合物中的氯离子含量超标，可以通过调整配合比来降低氯离子含量。具体来说，可以减少含氯原材料的用量，增加其他原材料的用量，或者采用替代材料来降低氯离子含量。同时，还可以考虑添加一些具有吸附或固化氯离子能力的材料，如某些矿物掺合料或化学添加剂，以进一步降低混凝土中的氯离子含量。

#### 4.3 表面防护

表面防护是在混凝土表面形成一层保护膜，防止环境中氯离子侵入混凝土内部，从而减缓或阻止腐蚀过程的发生。涂刷保护层是一种常见的表面防护方法。保护层可以选用渗透性涂层、防水涂层或防腐涂层等，它们能够渗入混凝土表层内部，与混凝土组分发生化学

反应或物理作用，堵塞混凝土的孔隙，形成致密的保护膜。这层保护膜能够有效阻挡环境中氯离子、水分和氧气等侵蚀性物质的侵入，从而保护混凝土免受腐蚀。在选择保护层时，应根据混凝土的使用环境、耐久性要求和施工条件等因素进行综合考虑，选择适合的涂层材料和施工工艺<sup>[4]</sup>。除了涂刷保护层，电化学防护也是一种有效的表面防护方法。电化学防护是利用电化学原理，通过施加外加电流或电位来改变混凝土表面的电化学状态，从而达到防腐的目的。其中，阴极保护是一种常用的电化学防护方法。它通过在混凝土表面安装阴极保护系统，将混凝土作为阴极，施加一定的保护电位，使得混凝土表面的钢筋处于阴极保护状态下，从而抑制钢筋的腐蚀过程。阴极保护系统通常由电源、阳极、阴极和导线等组成，其设计和施工应遵循相关的技术标准和规范，以确保防护效果和安全性。

#### 结语

盾构管片预制件中的氯离子含量检测与腐蚀风险分析及控制是隧道工程质量控制的重要组成部分。通过采用合适的检测方法和有效的控制措施，可以显著降低管片的腐蚀风险，保障隧道工程的结构安全和使用寿命。未来，随着检测技术和防腐材料的不断发展，盾构管片预制件的质量将得到进一步提升。

#### 参考文献

- [1]余朔,金浩,周顺华,等.氯离子及泌流共同作用下持荷盾构管片钢筋锈层形态[J].工程力学,2019,36(07):174-183.
- [2]王凯,林静,肖勇,等.地铁隧道盾构管片氯离子传输模型及特性分析[J].硅酸盐通报,2018,37(01):35-40+46.
- [3]李建军,李伟,吴光军,等.深埋输水隧洞盾构管片壁后注浆体质量的无损检测技术及应用[C]//中国水利学会.2022中国水利学术大会论文集(第六分册).珠江水利委员会珠江水利科学研究院,2022:7.
- [4]刘琼.盾构管片用防水材料检测中常见问题的探讨[J].合成材料老化与应用,2022,51(05):51-52.