

承插式管片成品验收标准与质量控制研究

杨 寒¹, 李一伦², 武文清¹, 单晓波¹

(1. 中铁十四局集团大盾构工程有限公司, 江苏 南京 211800; 2. 同济大学, 上海市 200092)

摘 要: 针对新型承插式管片存在没有有效成品检验标准的问题, 结合南京江心洲污水收集系统穿越夹江段盾构隧道新建工程, 研究建立了新型承插式管片的成品验收标准与质量控制体系。随着工程建设标准的提高, 新型承插式管片的检验需求日益凸显, 因此建立科学、系统的检验体系显得尤为重要。该研究聚焦于承插式管片成品检验, 这一环节是保障产品出厂质量的关键。研究内容主要包括制定连接件的外观尺寸和力学性能, 并同时建立了检验承插式管片外观质量、尺寸精度及强度性能的验收标准。通过严谨的现场验收流程, 确保每块管片均符合标准要求, 进而保障工程项目的顺利进行。研究结果表明: 该验收标准与质量控制体系能够显著提升管片及其连接件的质量水平, 确保项目使用的材料质量可靠。因此, 该研究为新型承插式管片的检验提供了有效的指导, 对提升该类工程建设质量具有重要意义。

关键词: 盾构隧道; 承插式管片; 管片质量; 快速连接件; 验收标准

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)01-0187-06

Research on Acceptance Standards and Quality Control of Finished Socket-type Segments

YANG Han¹, LI Yilun², WU Wenqing¹, SHAN Xiaobo¹

(1. China Railway 14th Bureau Group Big Shield Construction Co., Ltd., Jiangsu Nanjing 21180, China; 2. Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Aiming at the problem of the new type of socket-type segments without the effective inspection standards of the finished products, combined with the newly built project of the shield tunnel of Nanjing Jiangxinzhou sewage collection system crossing the section of Jiajiang River, the finished product acceptance standard and quality control system for the new type of socket-type segments are studied and established. With the improvement of engineering construction standards, the inspection demand for the new socket-type segments is becoming increasingly prominent. Therefore, it is particularly important to establish a scientific and systematic inspection system. Focusing on the inspection of finished products of socket-type segments, this link is the key to ensure the production quality of products. The research content mainly includes the formulation of the appearance size and mechanical properties of the connectors, and at the same time, the acceptance standards for inspecting the appearance quality, dimensional accuracy and strength performance of the socket-type segment are established. Through a rigorous on-site acceptance process, each pipe segment is ensured to meet the standard requirements, and then ensuring the smooth progress of the engineering project. The research results show that this acceptance standard and quality control system can significantly improve the quality level of segment and its connectors, ensuring the reliable quality of materials used in the project. Therefore, the effective guidance is provided for the inspection of new socket-type segments and is of great significance for improving the construction quality of similar projects.

Keywords: shield tunneling; socket-type segment; segment quality; quick connector; acceptance standard

0 引 言

由于盾构法隧道施工技术的逐渐成熟, 成型管片的出厂质量遍成为了隧道衬砌结构稳定安全的基础,

需要针对不同类型的盾构隧道需要提出不同的验收标准^[1-2]来匹配隧道的使用功能。目前承插式管片正在国内逐渐普及, 它创新地取消了常规的螺栓连接, 使用特殊的环纵缝连接件, 这样的形式会大幅的提高管片承载力和接头刚度。相应地, 就需要提出适用于承插式管片的验收标准。

唐俊^[3]等人在厄瓜多尔水电站工程中, 对管片预制的全过程工艺都实施了严密的品质管理, 对管片

收稿日期: 2024-01-26

作者简介: 杨寒(1993—), 男, 本科, 工程师, 从事隧道工程管理与研究工作。

通信作者: 李一伦(1996—), 男, 硕士, 从事隧道工程管理与研究工作。电子邮箱: 2421138135@qq.com

的抗压强度、外观品质、厚度和焊接品质都实施了控制,完成了各项检验指标,为中厄友好作出了努力,验证了我国隧道的能力。纪俊吉^[4]对市域铁路大直径盾构隧道管片的质量监管提出了诸多管控难点,并从管片生产、进场、下井、拼装、最后隧道成型各个方面罗列出了控制要点和验收要求。吴锋波^[5]等人对此前盾构隧道施工全周期的控制指标进行了综合分析,提出了若干控制指标的建议,建议工程监测中关注盾构隧道管片的制作质量和水平拼装试验等控制要求,这对于承插式管片这样的新型管片具有很好的参考依据。

本文依托南京江心洲污水收集系统穿江隧道新建工程,分析提取了承插式管片两个主要控制目标,通过研究将控制目标细分为若干验收单项,并对各项指标进行了控制分析。通过以上研究,形成了一套完整的承插式管片质量验收体系,为隧道结构安全提供保障。

1 承插式管片连接件质量控制研究

1.1 连接件外观验收标准与质量控制分析

在探讨承插式管片连接件的设计与检验时,首先关注纵缝连接件。此类连接件采用了滑入式连接方式,其核心组件包括C形和T形构件。C形构件由C形头和锚筋构成,而T形构件则由T形头和锚筋组成。其中C形头和T形头均选用了铸钢材质,具体牌号为ZG310-570,其性能需严格遵循《一般工程用铸造碳钢件》(GB/T 11352—2009)^[6]的标准要求。在锚固钢筋的选择上,选用了直径为25 mm的HRB400E螺纹钢,确保其屈服强度不低于400 MPa。

针对纵缝连接件的尺寸检查,首先采用游标卡尺和角度尺等工具,对锚筋和辅筋的长度以及C、T形连接件的端头长度进行了测量,其允许偏差分别为 ± 1 mm和 $0\sim+1$ mm,其次利用三维激光扫描工具进行更为精确细致的测量,确保纵缝连接件的各个细节部位的尺寸都能满足设计图纸要求的误差范围。纵缝连接件示意图1,值得注意的是,为了避免锚筋的长度影响管片内钢筋笼的布置和侧面环缝连接件的安装,将锚筋尾端设置成并排焊接的形式。

对于环缝连接件,这种连接件采用了插入式连接方式,其组件包括预埋螺母、衬套和连接螺杆。为了增强其抗剪性能,连接螺杆特别进行了嵌轴处理。在材料选择上,预埋螺母、衬套和连接螺杆均采用

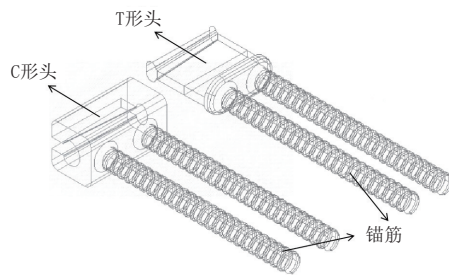


图1 纵缝连接件示意图

了增韧改性聚酰胺材料,而嵌轴则选用了直径为22 mm的HRB400E螺纹钢,其屈服强度同样达到400 MPa的标准。在环缝连接件的尺寸检查中,需要重点关注插入段的螺纹尺寸,确保预埋螺母和连接螺杆的螺牙内外径的允许偏差控制在0.15~0.20 mm的范围内。环缝连接件示意图2,连接件内螺杆与预埋螺母的螺牙正确连接示意图3。

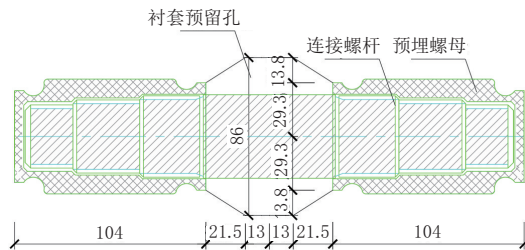


图2 环缝连接件示意图(单位:mm)

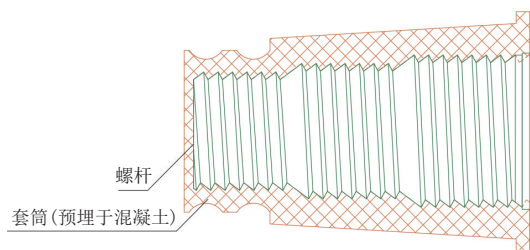


图3 螺牙正确卡死示意图

1.2 连接件力学性能验收标准与质量控制分析

上节中针对连接件的外观检验是为了确保管片拼装的可行性,而承插式管片更重要的是力学性能上的提升,所以需要对连接件进行力学试验检验,鉴于环纵缝的受力特征不同,所开展的力学试验也有所区别,例如纵缝连接件所受的轴力和弯矩均体现为轴向的拉力,故需开展纵缝连接件的拉拔试验,环缝连接件受到隧道纵向力和竖向剪切力的作用,故需开展环缝连接件的拉拔试验和剪切试验。

1.2.1 纵缝连接件拉拔试验

为了评估纵缝连接件的强度和性能,专门设计了纵缝插销式快速连接件的拉拔试验设备,见图4。此设备由外部框架和内部框架两大组件构成。

实验步骤如下。

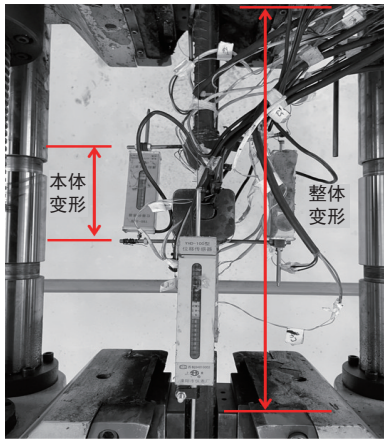


图4 纵缝连接件拉拔试验示意图

(1)鉴于加载架的空间限制,试验前需对快速连接件的锚固钢筋进行裁剪,截取长度为 150 mm。

(2)安装过程中,首先需将 C 形件的锚固钢筋穿过外部框架预设的圆孔,并利用螺母确保 C 形件稳定地固定在外框架上,确保两根锚固钢筋水平对齐。

(3)将 T 形件的锚固钢筋穿过内部框架预留的圆孔,并使其翼缘顺利滑入 C 形件的滑槽内,完成连接件的组装。

(4)通过拧紧 T 形件锚固钢筋的螺母,确保 C 形件与 T 形件之间的搭接面紧密贴合,无缝隙且不偏斜。

(5)安装完毕后,采用 100 t 穿心千斤顶进行加载测试。

试验过程中的加载制度为:首先控制加载力以 25 kN/min 的速度递增,然后当试验力突然下降 40% 时,立即停止加载。每一级加载持续时间为 1 min,并在加载完成后额外采集 1 min 的数据,待试件稳定后再进行下一级荷载的加载^[7]。

停止加载的依据是:在试验过程中,若试验机监测到的荷载位移曲线出现异常的位移增长并且位移无法保持稳定状态,这通常意味着试件已经受到损害。因此,此时应停止加载以防止进一步的损坏。

经过深入分析试验结果,可以得出以下结论:该连接件的屈服承载力在 275 kN 以上,极限承载力超过 600 kN,完全满足设计要求以及隧道实际受力需求。同时,C 形端头、T 形端头与锚筋的连接处的承载力也达到或超过锚筋本体结构的承载力,这表明在纵缝连接件的整体拉拔受力过程中,锚筋与端头的连接位置不是最薄弱位置,也就确保了连接件在实际应用中不会出现整体拉断扯出管片的现象,确保了整体结构的稳固与安全。

1.2.2 环缝连接件力学试验

针对环缝连接件的抗拉性能及其与套筒之间的抗拔能力,设计了环缝连接件的拉拔试验。试验步骤如下:将试件的两端使用特制的工装件牢固夹持,以确保在静力加载过程中试件能够稳定地进行拉伸测试;将装置放置于先进的万能试验机中,即可进行加载测试。试验的加载状态见图 5,图 5 中直观地展示了整个试验的开展状态。

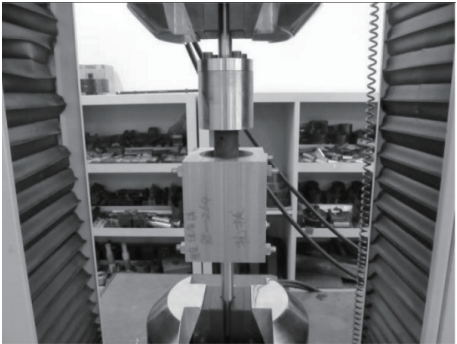


图5 环缝连接件拉拔试验示意图

此外,为了评估螺纹式连接件的抗剪性能及剪切刚度,还开展了专门的剪切试验。试验步骤如下:将连接件放置于专门设计的工装件中,限制住杆体位移以及绕杆转动自由度;在连接件表面安装位移计;利用万能试验机施加精确的竖向剪力,见图 6。试验加载完成后可以通过位移计提取数据并绘制环缝连接件的荷载-位移曲线,进而准确地计算出单根连接件的抗剪承载力和剪切刚度。

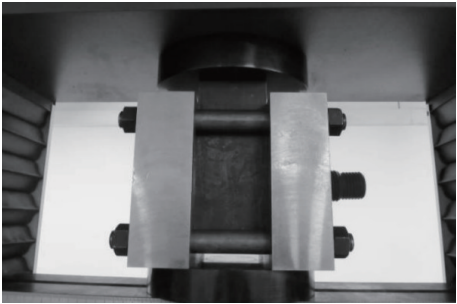


图6 环缝连接件剪切试验示意图

结合上述两项试验结果和设计要求,可以得出以下结论:环缝连接件的拉伸承载力是隧道纵向受力的关键点,需进行严格把控,而其拉拔试验结果表明该环缝连接件的拉伸承载力在 110 kN 以上,并且破坏位置并未首先出现在螺纹部分,而是首先出现在螺杆表面的聚酰胺材料上。同时,环缝连接件的剪切承载力也有严格的要求,试验结果表明该连接件的剪切承载力超过了 218 kN。故上述开展的诸多力学性能试验均旨在确保环缝连接件在实际工程应用中具有足够的强度,以确保隧道在纵向上的安全。

性和稳定性。

2 承插式管片质量控制研究

由于承插式管片对拼装精度的要求高于常规管片,而管片成品检验作为质量控制的重要环节,其合格与否直接决定了管片是否能顺利出厂,因此本文针对承插式管片制定了质量验收方案。在管片检验的过程中,我们关注的内容广泛而细致,包括但不限于外观质量的审视、外形尺寸的精确测量、结构强度的严格检验,以及抗渗性能和拼装性能的全面评估。通过这些多维度的检测手段,来确保承插式管片在各个方面都符合高标准的质量要求。

2.1 管片外形

在进行管片成品的质量检验时,宽度尺寸的测量尤为关键。其主要检验标准有:在管片脱模后及水养阶段,指派专业质检员,使用高精度游标卡尺(量程0~2 500 mm,精度0.05 mm)对每块管片的宽度进行细致测量;为确保测量的准确性,至少选取3个不同位置进行检查,并遵循每15环抽取一环的抽样策略;单块衬砌圆环管片宽度的允许偏差设定为±0.4 mm,以确保产品质量的稳定性。

与此同时,管片的厚度尺寸检验亦不容忽视。其主要检验标准有:厚度尺寸测量与宽度测量同步进行,使用高精度游标卡尺(量程0~450 mm,精度0.02 mm)对管片厚度进行测量;至少选取3个检查点;对于管片四周沿边的厚度,允许偏差设定为±1 mm,以确保其结构稳固性。

最后,除了尺寸测量,管片的外观质量也是检验的重点。为确保管片质量,制定了以下检验标准:首先,管片表面必须保持平整,不允许存在任何缺损、掉角、麻面或露筋的情况;其次,注浆孔必须完好无损,而螺栓孔和定位孔内部不得有水泥浆等杂物;最后,对于止水带附近,也必须保持完好无损,不得存在任何缺陷^[8]。这些细致入微的检验标准,旨在确保管片在实际工程应用中具备卓越的可靠性和耐用性。详细的检验标准见表1。

2.2 管片强度

在混凝土浇筑现场,执行随机抽样策略,用以制作混凝土试件,每组包含三个试件。为了确保混凝土质量的稳定性,对于每班次生产的、配合比相同的混凝土,至少每15环制作三组试件。其中一组试件直接用于出模使用,另一组则与管片在相同条件下养护14 d,最后一组则按照标准养护28 d后进行强

表1 管片成型外形检验要求^[9]

序号	检验项目	检验要求
1	宽度/mm	±0.4
2	弧度/mm	±0.4
3	厚度/mm	±1.0
4	内半径/mm	±0.5
5	外半径/mm	+2,-0
6	内外接触面4条对角线弦长/mm	±0.8
7	环缝面和纵缝面	面不平整度不大于0.2 mm 每延米范围,与内外角度偏差 不大于0.1°
8	贯穿裂缝	不允许
9	拼接面裂缝	拼接面方向长度不超过密封槽,宽度 小于0.20 mm
10	非贯穿裂缝	内表面不允许,外表面裂缝宽度不大 于0.20 mm
11	内、外表面露筋	不允许
12	孔洞	不允许
13	麻面、黏皮、蜂窝	表面麻面、黏皮、蜂窝总面积不大于 表面积的5% 允许修补
14	疏松、夹渣	不允许
15	缺棱掉角、飞边	不应有、允许修补

度测试。

对于同一验收批次的混凝土,应来源于强度等级一致、生产工艺和配合比基本相同的管片,并且这些管片的生产时间跨度不得超过3个月。对于大批量连续生产的管片,采用统计法来综合评估其混凝土强度^[10],确保整个生产过程的稳定性和可靠性。

2.3 管片抗渗

管片的抗渗检漏试验是确保其质量符合国家标准的关键环节。为确保管片质量,在生产每50环管片后,随机选择一块进行严格的检漏测试。该测试的标准是在持续施加0.8 MPa的水压力下,经过3 h的测试,渗水深度不得超过5 cm。经过连续三次的检漏测试,如果所有管片都达标,抽检的频率会提升至每生产100环抽检一块。再次连续三次的合格结果后,抽检频率会进一步优化,调整为每200环抽检一块。但是,如果在任何一次检测中发现管片未达标,抽检频率将立即回归至最初的每50环抽检一块,以确保产品质量的严格把控。为了确保检漏测试的准确性,我们采用专用的检漏试验架和相关设备,具体技术要求见表2。

具体的试验过程如下所述:首先,将管片平稳置于试验架上,并确认密封橡胶垫紧密贴合管片外弧面;随后,通过紧固横杆和螺栓将管片固定,确保稳固性;接下来,打开放气阀门,向系统注入自来水。

表 2 管片成品检漏试验仪器技术要求表

序号	仪器名称	量程	分度值	精度
1	压力表	1.6 MPa	0.05 MPa	1.6 级
2	电子秒表	大于 3 h	0.01	1 级
3	加压泵	—	能保证均匀加压	

当排气孔有水流出时,关闭排气阀。然后,启动加压泵,以每分钟 0.05 MPa 的速度逐渐提升压力至 0.2 MPa,并保持这个压力 10 min,在这个过程中密切监视系统,查看是否有渗漏现象,并将结果记录下来;随后,继续增加压力至 0.4、0.6 MPa、直至 0.8 MPa,每级压力保持 10 min,最终于 0.8 MPa 下恒压 3 h,再次检查并记录渗漏情况。在整个恒压过程中,需确保水压稳定,如有回落需及时补充,确保满足规定压力值。若因橡胶密封垫不密实导致渗漏,该次试验将视为失败,需重新进行。

2.4 管片水平试拼装

为确保其承插式管片拼装质量的稳定可靠,在管片的试生产阶段,需执行严格的水平拼装试验^[1]。但是《盾构法隧道施工及验收规范》(GB 50446—2017)^[12]中虽然对管片水平拼装试验的允许偏差有明确要求,但对于承插式管片而言,这些传统的标准可能并不完全适用。

承插式管片的标准更为严格,对于成环后的管片内径,我们设定的设计允许偏差为 $\pm 1.0\text{ mm}$;而成环后的管片外径,设计允许偏差则严格控制在 0~+4.0 mm 范围内。此外,在水平试拼装过程中,我们针对三环管片中的两条环缝间隙以及每环管片的纵缝间隙,均设定了设计允许偏差不大于 0.8 mm 的高标准。为确保管片质量的全面评估,检验过程中,我们会在专业的水平拼装试验台上进行混合拼装,随机选取来自不同模具生产的三环管片。这样,即可以综合检查管片的内外直径、环缝及纵缝宽度是否符合设计标准,从而确保管片的拼装质量和性能,见图 7。

2.5 注浆孔拉拔试验

管片注浆孔拉拔试验,旨在通过破坏性测试评估管片中心注浆孔内预埋注浆管的抗拔能力。对于管片注浆孔的拉拔性能评估,我们设定了明确的验收标准。在拉拔承载力设计值(10 kN)下,若最后三次测量的位移值相邻两个位移差均小于 0.01 mm,则可以判断该管片的注浆孔拉拔性能满足设计要求。

在试验过程中,管片需平稳放置于专用试验架



图 7 管片水平试拼装试验

上;接着将拉力螺栓杆精确旋入注浆孔内,并使用钢绞线与千斤顶进行稳固连接;同时,安装测力传感器以监控力值变化;随后,启动加载程序进行严格的测试,以确保管片的力学性能和结构稳定性。为了保障试验结果的精确性,选择采取分级加载的方法。在荷载未达到正常使用短期荷载检验值之前,每级加载量设定为该值的 20%。然而一旦荷载超过此值,每级加载量将减少至该值的 10%。随着荷载逐渐接近承载力荷载检验值,每级加载量进一步细化为承载力检验荷载设计值的 5%。此外,为了确保加载过程的稳定性和数据的准确性,每级加载后的恒载时间均不少于 3 min。在试验过程中,需密切关注并记录在不同抗拔力下注浆管螺栓的位移变化。特别是当位移突然增大而传感器读数停止增加,同时观察到螺栓周围混凝土出现破损迹象时,立即记录此时的荷载值作为最大抗拔力^[9]。这一严格的检测流程确保了管片在实际工程应用中的稳定性和可靠性。

3 结 语

针对现有盾构隧道验收标准不适用于新型承插式管片的问题,对承插式管片成型后的质量验收方案的进行了分析和研究。本文围绕新型承插式管片本体和环纵缝连接件两大方向,提出了相应的质量验收标准,并针对外观尺寸和力学性能开展了相应的验收试验,得出以下关键结论。

(1)为了使管片生产完成后达到出厂的验收标准,成型管片在外观上和尺寸上的允差要求需满足测量要求。

(2)管片本体除了外观和尺寸以外,强度也需满足设计要求,测试使用的抗压试块必须是和管片同批次生产挑选出来的。

(3)针对管片的抗渗性能、拼装质量、注浆孔拉拔性能等控制要点均有各自成套的试验检验设备,在管片流水线生产过程中需要定时抽检以保证整体

质量。

(4)承插式管片的连接件是新型管片的核心构件,它们的外观尺寸精度要求更高,允差精度控制在1 mm以内。

(5)承插式管片连接件的力学性能是盾构隧道服役期间衬砌结构整体受力的重点,需要严格把控环纵缝连接件的各项承载力满足设计要求。其中通过拉拔试验确保纵缝连接件的屈服承载力在275 kN以上,极限承载力在600 kN以上;环缝连接件的拉伸承载力在110 kN以上,通过剪切试验确保剪切承载力在218 kN以上。

参考文献:

[1] 戴刚. 盾构隧道管片预制质量控制及拼装问题解析[J]. 工程与建设, 2019, 33(2): 221-223.

- [2] 吴锋波. 岩土工程监测控制指标[M]. 北京:地质出版社, 2020.
- [3] 唐俊, 王玉彩. 厄瓜多尔 CCS 水电站 TBM 施工管片预制及质量控制[J]. 云南水力发电, 2021, 37(12): 32-36.
- [4] 纪俊吉. 市域铁路大直径盾构管片质量监管管控要点[J]. 四川建筑, 2022, 42(3): 137-139, 142.
- [5] 吴锋波, 郑卫强. 盾构隧道监测控制指标研究现状与展望[J]. 河北地质大学学报, 2021, 44(5): 84-89.
- [6] GB/T 11352—2009, 一般工程用铸造碳铸件[S].
- [7] 鲁志鹏, 何应道, 赵明应. 盾构隧道 C-T 型快速连接件受力性能研究[J]. 现代隧道技术, 2022, 59(增刊1): 542-549.
- [8] 宗沛, 夏恩生. 地铁隧道盾构管片生产的质量控制[J]. 国土资源, 2008(增刊1): 116-117.
- [9] GB/T 22082—2017, 预制混凝土衬砌管片[S].
- [10] DB2101/TJ05—2008, 地铁混凝土技术规范[S].
- [11] 吴朱茂. 大直径盾构管片水平拼装试验方法探究[J]. 铁道建筑技术, 2020(4): 35-39.
- [12] GB 50446—2017, 盾构法隧道施工与验收规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadfloodbridge@163.com

