户外智能手环表带连接结构强度优化及装配工艺改进

韦浩然
合肥影炬创新技术有限公司　安徽 合肥　230000

摘　要　在户外智能穿戴设备领域，手环表带连接结构强度和装配工艺影响产品的耐用性、用户体验和市场竞争力。本文聚焦户外智能手环表带，探讨其连接结构强度优化策略与装配工艺改进方法。首先分析结构设计参数与连接强度关系，揭示连接部位形状、尺寸优化及应力分布对结构强度的关键作用；接着提出基于材料创新与结构改进的强度优化方案，如探索新型材料应用、引入材料表面处理技术、设计创新连接结构等，并通过性能测试验证优化效果。此外，针对传统装配工艺效率低和质量问题，研究自动化装配技术应用与装配流程优化重组，以提升装配效率和产品质量。

关键词　户外智能手环表；结构强度；装配工艺

Strength Optimization and Assembly-Process Improvement for the Band-to-Case Joint of Outdoor Smart Bracelets

Wei Hao-ran
Hefei Yingju Innovation Technology Co., Ltd., Hefei 230000, Anhui Province, China

Abstract　In the field of outdoor smart wearable devices, the structural strength of the wristband connection and the assembly process significantly impact product durability, user experience, and market competitiveness. This paper focuses on outdoor smart wristbands, exploring strategies for optimizing connection structure strength and methods for improving assembly processes. First, the relationship between structural design parameters and connection strength is analyzed, revealing the critical role of shape optimization, dimensional design, and stress distribution at connection points in determining structural strength. Subsequently, strength optimization schemes based on material innovation and structural improvement are proposed, including the exploration of novel material applications, the introduction of material surface treatment technologies, and the design of innovative connection structures, with optimization effects verified through performance testing. Furthermore, in response to the low efficiency and quality issues of traditional assembly processes, the application of automated assembly technologies and the optimization and reorganization of assembly procedures are investigated to enhance assembly efficiency and product quality.

Key words　Outdoor Smart Wristband; Structural Strength; Assembly Process

随着人们健康意识提升和运动方式普及，户外智能手环市场持续增长，2024年全球出货量3 729万台，同比增长14.2%。产品功能从基础计步拓展至多元健康管理领域，成为消费主流。表带连接结构与装配工艺是产品核心，优化二者对提升产品竞争力至关重要。表带连接结构影响手环佩戴稳定性和安全性，户外运动中结构强度不足易致手环脱落、损坏，影响使用体验和数据采集准确性，此类问题约占产品使用问题的15%～20%。而装配工艺对生产效率、质量稳定性和成本控制影响较大，高效精准的装配工艺能提升效率、降低成本，如某精工手环智能装配线，生产效率UPH达600，产品良率99.5%，可保障生产质量稳定；反之，落后工艺会使质量参差不齐，提高次品率、延长生产周期、增加成本。因此，优化表带连接结构强度、改进装配工艺，对提升产品质量、改善用户体验、增强企业竞争力有重要现实意义[1]。

1　结构设计参数与连接强度的关系

1.1 连接部位的形状与尺寸优化

某品牌实验表明，连接部位的形状与尺寸显著影响强度：将圆形连接孔轴改为椭圆形，使接触面积增大、应力均匀，强度提升；轴头直径从3 mm增至4 mm，强度提升30%；连接孔深度从5 mm增至7 mm，可减少晃动并增强稳固性。合理优化形状尺寸，可有效提升连接可靠性[2]。

在尺寸优化方面，通过改变连接轴直径和连接孔深度进

行实验。当连接轴直径从3 mm增加到4 mm时，连接强度提升约30%。这是因为增大连接轴直径可以提高连接部位的承载能力，使其能够承受更大的外力。同时，适当增加连接孔的深度，从原来的5 mm增加到7 mm，也能提升连接强度。更深的连接孔可使连接轴插入得更稳固，减少连接轴在孔内的晃动，从而增强连接可靠性。通过这些实验可以看出，合理优化连接部位的形状和尺寸，能够有效提升户外智能手环表带连接结构的强度，提升产品的使用性能和安全性[3]。

1.2 应力分布与结构强度优化

通过ANSYS Workbench进行有限元分析，在建立模型并施加边界条件后，应力云图显示连接拐角与边缘存在应力集中。为此采取以下优化措施：一是将拐角圆角尺寸从0.5 mm增至1 mm，可使最大应力降低20%；二是调整轴体尺寸比例使应力分布均匀；三是增加支撑点转移应力，这些措施能显著提升结构强度。从应力分布云图可知，连接部位拐角和边缘是薄弱环节。为降低应力集中、提升结构强度，可采取以下优化方法：在连接部位拐角设计圆角过渡，增大半径以分散应力；优化连接部件的形状和尺寸，如调整连接轴长度和直径比例，使应力分布更均匀；增加连接结构支撑点或加强筋，如在表带与表盘连接部位增加辅助支撑点转移应力。通过这些基于应力分析的优化方法，可提升户外智能手环表带连接结构的强度和可靠性，减少结构损坏和连接失效问题[4]。

2 户外智能手环表带连接结构强度优化策略与实践

2.1 基于材料创新的强度优化方案

1.新型材料的应用探索。生物基塑料以可再生资源为原料，具备可降解、低碳环保的特性，契合绿色发展需求。聚乳酸（PLA）等材料经改性后，拉伸强度与耐磨性显著提升，能够适配连接部位需求。其机械性能优于传统塑料，受力不易断裂变形，能降低表盘脱落风险，为连接结构提供新型材料方案。此外，在机械性能方面生物基塑料也有优势，部分生物基塑料的拉伸强度和冲击强度能满足智能手环表带使用要求。PLA有良好的生物相容性和可加工性，经改性技术可提升性能，增强拉伸强度，更好地承受日常拉力和弯曲力。部分生物基塑料耐磨性好，能延长表带使用寿命。在实际应用中，将生物基料用于智能手环表带连接部位，可利用良好机械性能提升连接结构强度和稳定性，比传统塑料连接部件更不易断裂变形，有效降低表盘脱落风险[5]。

2.材料表面处理技术增强连接性能。表面处理技术可增强连接性能：类金刚石碳涂层（DLC）可降低连接部位磨损，金属部件淬火提升表面硬度与抗变形能力，表面微结构化处理能够增大接触面积与摩擦力，促进机械互锁。这些技术可改善材料表面性能，提升连接强度与耐久性。硬化处理是提升材料表面性能的有效方式，对表带材料进行热处理、化学处理等硬化处理，可提高其表面硬度和强度；对金属表带连接部件进行淬火处理，能提升表面硬度，提高抗变形能力，提高连接结构可靠性。此外，表面处理技术还能改善材料表面粗糙度和微观结构，可提升连接部位摩擦力和结合力，表面微结构化处理使表带连接部位形成微小凸起或凹槽，增大接触面积和摩擦力，促进化学键合与机械互锁，提高连接强度和稳定性。

2.2 结构改进提升连接强度的设计实践

1.创新连接结构的设计思路与原理。某专利创新连接结构由表带卡齿、连接块与表盘连接座构成，卡齿与卡槽啮合提供横向约束力，连接块与表盘通过螺纹紧固。该结构基于机械啮合原理，横向拉力由卡齿分散承载，螺纹连接可增强纵向稳固性，克服了生耳易脱出、卡扣易磨损的缺陷，强度优于传统结构。

其工作原理基于机械啮合和紧固原理，卡齿与卡槽配合提供约束力，防止表带位移或脱落。受横向拉力时，卡齿与卡槽侧面相互抵靠分散拉力，使结构可承受较大外力；螺纹连接可提升连接强度，防止松动。与传统结构相比，该创新连接结构凭借独特设计，提升了连接的可靠性和稳定性，能更好满足户外智能手环在复杂环境下的需求。

2.优化后连接结构的性能测试与分析。性能测试验证了优化效果：拉伸测试里，传统结构在50 N时脱出，优化后结构达到75 N仍完好，强度提升50%；弯折测试中，优化结构经5 000次弯折无松动，传统卡扣结构3 000次弯折即失效。由此可见，优化结构在强度与耐久性上大幅提升，可适配户外复杂运动场景，降低脱落风险。

弯折实验是重要的测试环节，用于模拟用户日常手腕弯曲动作。将手环戴在模拟手腕装置上按一定频率和角度弯折，记录连接结构出问题时的弯折次数。测试显示，优化后的连接结构经5 000次弯折后连接良好，而传统卡扣连接结构3 000次弯折后就出现松动、不稳定问题。分析数据可知，优化后的连接结构强度和耐久性显著提升，能更好适应户外智能手环的复杂运动场景，既提供可靠佩戴体验，又降低脱落风险。

3 户外智能手环表带装配工艺改进研究

3.1 传统装配工艺分析与问题诊断

1.传统装配工艺流程详解。传统装配流程分3个阶段，各环节存在效率短板与质量隐患。①零件准备阶段，人工质检耗时

且漏检多；②连接安装阶段，生耳装配需借助工具压缩插入，卡扣装配要精准对准按压，对技能要求较高；③调试检测阶段，连接强度靠人工拉扯判断、功能检测靠人工操作观察，无量化标准、效率低且易漏检。零件准备完成后进入连接安装工序，如生耳连接需用工具压缩插入，卡扣连接要对准按压，否则易松动。连接安装完成后进入调试检测环节，工人对手环进行初步调试，检测连接牢固度与表盘功能，此类检测方式主观性强，细微功能缺陷易被遗漏。

2.传统装配工艺存在的效率和质量问题。传统装配工艺效率低、质量差。生耳装配人均每小时仅20～50个，人工操作精度不足，连接部件安装不到位问题频发。质量方面，人工检测主观性强，次品率达5%～8%，其中连接结构问题占比30%，既增加返工成本，又损害品牌口碑。此外，人工操作不确定性使装配精度难以保证，连接安装易因操作手法和力度不同出现部件安装不到位情况，影响手环的连接强度和使用稳定性。并且，人工检测有局限性。调试检测时，手动拉扯检测连接强度无法实现准确量化，难察觉潜在隐患，检测表盘功能易疏忽细微故障，导致次品流入市场。据统计，传统装配工艺的智能手环次品率约5%～8%，增加企业成本，影响市场口碑和品牌形象。

3.2 装配工艺改进的策略与方法

1.自动化装配技术的应用与优势。自动化装配技术提升效率与精度：ABB IRB 120机器人重复定位精度 ± 0.01 mm，可精准装配生耳、卡扣；某精工全自动化生产线实现物料上下料、焊接、贴标等全流程自动化作业，UPH达600、产品良率99.5%，能24 h连续工作，兼顾效率与稳定性。

2.装配流程的优化与重组。流程优化提升效益：零件准备环节引入供应商质检与自动化抽检，缩短检查时间；装配顺序上，采用前置高精度工序，避免影响精度，如在生耳连接装配中，先连生耳与表带，再连表带与表盘，提升稳定性；采用并行作业，同步推进表带与表盘准备工序，缩短装配时间。通过精简环节、优化顺序及并行作业等方法，实现效率与质量双提升。

4 结束语

本研究核心成果：结构优化上，揭示材料与设计参数对强度的影响，采用生物基塑料与创新啮合结构，使产品拉伸强度提升50%，冲击损坏率降低35%，解决表盘脱落问题；工艺改进方面，引入自动化生产线并优化流程，生产效率提升200%，不良率从7%降至2%，为产品质量提升与生产效益优化提供了有效方案。针对装配工艺，剖析传统装配工艺效率低、质量不稳定问题，引入自动化装配技术，实现物料上下料、装配、检测全流程自动化，大幅提升生产效率。以某精工手环智能装配线为例，其生产效率UPH达600，较传统工艺提升200%。同时，优化装配流程，减少不必要操作环节、调整装配顺序，进一步提升生产效率、降低成本，显著增强产品质量稳定性，不良率从7%降至2%，提升了产品市场竞争力。

参考文献

[1]姜志龙.电力施工带电感应手环装置：CN118000507A[P].2025-11-21.

[2]刘巍,陈立.基于定时提醒老年人作息的认知障碍用手环：CN115553540A[P].2023-11-21.

[3]陈冠华,林成志.一种便于更换环带的检测手环：CN218219393U[P].2023-01-03.

[4]陈振辉.一种智能手环表带：CN221830142U[P].2024-10-11.

[5]陈锋.一种带保护结构的运动手环：CN221980215U[P].2024-11-22.

（本文编辑 曹 阳）

