

不锈钢金属波纹管技术规范书

1 范围

本规范规定了滤油机、油管配套用 50mm（2 寸，公称通径 DN50）不锈钢金属波纹管的产品分类、技术要求、试验方法、检验规则、标识、包装、运输与贮存等全部技术内容。

本规范适用于广西送变电建设有限责任公司及所属单位，滤油机进/出油回路、油管连接用 50mm（2 寸）不锈钢金属波纹管的采购、制造、验收与使用，涵盖滤油机与油管、油管与设备、油管与管路之间的各类柔性连接场景，适配真空滤油、压力输油等工况下的位移补偿与介质输送需求。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 3280-2015 冷轧不锈钢板和钢带
- GB/T 14525-2018 波纹金属软管通用技术条件
- GB/T 9119-2010 板式平焊法兰
- GB/T 3733-2008 卡套式端直通管接头
- JB/T 6169-2025 金属波纹管
- GB/T 12777-2019 金属波纹管膨胀节通用技术条件
- Q/CSG 510001-2015 中国南方电网有限责任公司电力安全工作规程
- EN 10253-4:2025 对接焊接管件：锻造奥氏体及奥氏体-铁素体（双重）不锈钢
- EN 14585:2024 压力应用波纹金属软管组件

3 产品分类与用途

3.1 分类

- 结构形式：波纹段采用不锈钢一体成型，两端配备连接接头（整体锻造式、焊接式、卡套式），波纹结构为环形波纹，无明显拼接缝隙，兼顾柔性补偿与

承压稳定性，部分型号可配备不锈钢编织网套增强抗拉伸、抗疲劳性能。

- 公称通径：50mm（2寸），公称直径 DN50，内径适配滤油机、油管的标准接口尺寸，确保介质流通顺畅。
- 连接方式：法兰连接、快速接头连接、螺纹连接、卡套连接（按工程实际需求选用），其中法兰连接适配 GB/T 9119-2010 标准，螺纹连接符合通用管螺纹标准，卡套连接符合 GB/T 3733-2008 标准，连接部位与波纹段采用氩弧焊无缝对接。
- 适用介质：变压器油、绝缘油，可耐受滤油工况下的介质特性，无腐蚀、无溶胀，适配高压、真空等复杂工况。
- 补偿类型：轴向补偿、横向补偿、角向补偿（按需选用），可适配管路安装偏差及工况下的热胀冷缩位移需求。

3.2 用途

用于滤油机与油管、油管与变压器本体、油管与储油罐、油管与过滤单元之间的柔性连接，兼具密封、转接、位移补偿作用，保障真空滤油、压力输油工况下的介质密闭输送，防止管路接口因振动、热胀冷缩或安装偏差导致泄漏，吸收管路振动，保护管路接口不受应力损伤，同时适配狭窄空间内的布管需求，提升管路系统的安装灵活性。

4 技术参数

4.1 基本尺寸

- 公称通径：50mm（2寸），DN50，内径 $\geq 50\text{mm}$ ，外径匹配对应连接方式的标准尺寸（法兰连接外径适配 DN50 标准法兰，螺纹连接外径符合管螺纹标准，卡套连接适配 DN50 油管外径），外径偏差 $\leq \pm 0.1\text{mm}$ ，圆度误差 \leq 外径公差的 80%。
- 总长度：常规 200mm~500mm（按连接方式、补偿量不同调整，法兰式波纹管总长度 $\geq 250\text{mm}$ ，快速接头式 $\geq 200\text{mm}$ ，螺纹/卡套式 $\geq 220\text{mm}$ ），可按订单定制非标长度，最小弯曲半径 $\geq 200\text{mm}$ ，满足狭窄空间布管需求。
- 壁厚：波纹段壁厚 $\geq 1.2\text{mm}$ ，连接接头主体壁厚 $\geq 3.0\text{mm}$ ，连接部位壁厚 $\geq 4.0\text{mm}$ ，壁厚公差 $\leq \pm 0.03\text{mm}$ ，确保承压强度，避免负压瘪塌或正压变形；波纹峰高 8~12mm，波纹间距 15~20mm，波纹数量根据长度合理配置，确保补偿性能。
- 接口精度：法兰密封面平整度 $\leq 0.02\text{mm}$ ，螺纹精度符合 6H 级标准，卡套刃口

尺寸精准，接头与波纹段、油管、滤油机接口的同轴度 $\leq 0.5\text{mm}$ ，确保连接密封性与结构稳定性；编织网套（如有）覆盖率 $\geq 90\%$ ，网丝直径 $\geq 0.8\text{mm}$ ，无断丝、漏编现象。

4.2 性能参数

- 工作压力： $\geq 1.6\text{MPa}$ ，爆破压力 $\geq 4.8\text{MPa}$ ，可长期承受滤油机工作压力及瞬时压力波动，无变形、无泄漏，符合 EN 14585:2024 标准中压力等级要求。
- 真空耐受： $\leq -0.098\text{MPa}$ ，满足滤油机真空滤油工况，无吸气、无瘪塌现象，真空度保持稳定。
- 工作温度： $-20^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$ ，在滤油系统正常工作温度范围内，密封性能稳定，材料无脆化、无老化，极端温度下可根据需求调整材质适配范围（ $-196^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$ ）。
- 密封等级：零泄漏，在工作压力和真空工况下，无介质渗漏、无空气吸入，满足变压器油密封要求。
- 疲劳寿命： ≥ 10000 次循环（压力循环范围 $0\sim 1.6\text{MPa}$ ），同时满足轴向、横向补偿循环寿命 ≥ 8000 次，无泄漏、无开裂、无松动，适配滤油机频繁启停及管路振动工况。
- 补偿量：轴向补偿量 $\geq 15\text{mm}$ ，横向补偿量 $\geq 10\text{mm}$ ，角向补偿量 $\geq 5^{\circ}$ ，可根据管路工况需求定制更大补偿量，满足热胀冷缩及安装偏差调整需求。
- 力学性能：抗拉强度 $\geq 515\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 205\text{MPa}$ ，断后伸长率 $\geq 40\%$ ，轴向抗压性能符合 GB/T 12777-2019 标准，无失稳、塑性变形等失效现象。

5 材料要求

- 主体材料：波纹段及连接接头优先采用 SUS316L 奥氏体不锈钢，也可选用 SUS304 奥氏体不锈钢（按工程需求），材料需符合 GB/T 3280-2015 标准要求，其中 316L 不锈钢碳含量 $\leq 0.03\%$ ，铬含量 $\geq 16.00\%$ ，镍含量 $10.00\% - 14.00\%$ ，硫、磷含量均 $\leq 0.035\%$ ，具备优异的耐变压器油腐蚀、抗老化、抗点蚀性能，符合 EN 10253-4:2025 标准中奥氏体不锈钢材质要求。
- 密封件：采用氟橡胶或聚四氟乙烯（PTFE）材质，耐变压器油、耐高温、耐老化，密封件硬度 70 ± 5 邵氏 A，无气泡、无裂纹、无杂质，确保密封可靠性，PTFE 内衬厚度 $\geq 1.5\text{mm}$ （适配强腐蚀工况），与波纹管内壁贴合紧密，无脱落风险。
- 紧固件（法兰连接用螺栓、螺母）：不锈钢材质，与接头主体材质一致，避免异种金属腐蚀，螺栓强度等级 ≥ 8.8 级，螺纹无滑丝、无损伤，符合相关标

准；编织网套（如有）采用与波纹段一致的不锈钢材质，确保整体耐腐蚀性。

- 所有材料均需提供材质质保书，化学成分、力学性能、耐腐蚀性检测合格，原材料需经过直读光谱仪（OES）或电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）进行化学成分分析，确保元素配比符合标准，满足 EN 10253-4:2025 标准中材质检测要求。

6 设计与制造要求

- 成型工艺：波纹段采用液压成型或滚压成型工艺，成型后波纹均匀、饱满，无裂纹、无褶皱、无气孔、无夹渣，表面光滑，表面粗糙度 $\leq Ra1.6\mu m$ ；连接接头采用锻造（模锻）或精密铸造工艺，锻造终锻温度控制在 1100-1200℃，变形程度适配钢种特性，避免晶粒粗大、开裂等缺陷，符合 EN 10253-4:2025 标准中锻造工艺要求。

- 焊接要求：波纹段与连接接头采用氩弧焊或等离子焊，焊工需具备对应材质焊接资格，焊缝平整、连续，无气孔、夹渣、咬边、未焊透等缺陷，焊缝余高 $\leq 0.3mm$ ，焊接后需进行酸洗钝化处理，去除氧化层，焊缝需通过渗透检测（PT）或 X 射线探伤（RT），探伤合格后方可进入下一工序；纵缝焊接、环缝焊接需符合 EN 14585:2024 标准中焊接工艺要求。

- 接口处理：法兰密封面采用平焊或对焊结构，表面经过抛光处理，无划痕、无凹陷；螺纹接口采用滚轧工艺，螺纹清晰、光滑，无毛刺、无滑丝；卡套接口刃口锋利、尺寸精准，确保与油管紧密贴合，无松动；波纹段内壁无毛刺、无氧化皮，确保介质流通顺畅，无滞留。

- 清洁度：波纹管内壁、接口部位及波纹间隙无油污、无杂质、无氧化皮，经过脱脂、清洗处理，满足电力用油清洁要求，避免污染变压器油；清洗后进行干燥处理，防止内壁残留水分。

- 装配要求：密封件安装到位，无偏移、无破损，装配后接头连接牢固，无松动，开启、关闭灵活（快速接头），装配间隙均匀，确保密封性能；奥氏体不锈钢部件需采用固溶处理，溶解碳化物以提升耐蚀性，处理后表面无氧化色，符合 EN 10253-4:2025 标准中热处理要求；编织网套（如有）装配紧密，与波纹段、接头连接牢固，无松动、无移位。

7 试验方法

7.1 外观与尺寸检验

目视检查波纹管外观、波纹形态及编织网套（如有），采用卡尺、卷尺、激光测径仪、圆度仪测量尺寸，外观无裂纹、无褶皱、无气孔、无夹渣，波纹

均匀饱满，编织网套无断丝、漏编，尺寸符合本规范及图纸要求，表面粗糙度、同轴度、圆度等指标达标。

7.2 耐压试验

采用水压试验，将波纹管两端密封，以 0.5MPa/s 的速率加压至 1.5 倍工作压力（2.4MPa），保压 30min，无渗漏、无永久变形、无开裂，泄压后无明显残余变形，试验合格；爆破压力试验按型式检验要求进行，爆破压力 \geq 4.8MPa，符合 EN 14585:2024 标准中压力测试要求。

7.3 真空试验

将波纹管接入真空试验装置，抽真空至-0.098MPa，保压 15min，波纹管无瘪塌、无吸气、无泄漏，真空度无明显下降，满足真空滤油工况要求。

7.4 密封性试验

方法一（水压密封）：加压至工作压力（1.6MPa），保压 20min，波纹管各接口、波纹段无渗漏；方法二（气压密封）：充入 0.8MPa 压缩空气，浸入水中保压 5min，无气泡泄漏，密封性能合格，符合 EN 14585:2024 标准中气密性测试要求。

7.5 疲劳试验

将波纹管安装在疲劳试验装置上，按工作压力（0~1.6MPa）往复循环 10000 次，同时进行轴向、横向补偿疲劳循环试验（ \geq 8000 次），试验后检查波纹管外观无开裂、无松动，波纹无变形、无破损，密封性能符合要求，无泄漏；轴向抗压试验采用静态压缩法，使用万能材料试验机施加载荷，无失稳、塑性变形等失效现象，符合 GB/T 12777-2019 标准要求。

7.6 耐腐蚀试验

采用中性盐雾试验，试验时间 \geq 480h，试验后波纹管表面无红锈、无点蚀、无腐蚀痕迹，同时需进行晶间腐蚀试验（Strauss 试验或 Huey 试验），验证耐蚀能力，符合不锈钢材质耐腐蚀要求及 EN 10253-4:2025 标准中耐腐蚀检测要求。

7.7 材料性能试验

抽样检测材料的化学成分、力学性能，采用直读光谱仪检测化学成分，拉伸试验检测抗拉强度、屈服强度、断后伸长率，硬度测试检测硬度均匀性，各项指标符合 GB/T 3280-2015、EN 10253-4:2025 及相关标准要求；双相不锈钢

（如有）需额外进行金相检验，确认相比比例合格。

7.8 补偿性能试验

将波纹管安装在专用试验装置上，分别进行轴向、横向、角向补偿试验，测量实际补偿量，确保补偿量符合本规范要求，试验后无泄漏、无结构损坏，波纹形态保持完整。

8 检验规则

8.1 出厂检验

每台（件）波纹管均需进行出厂检验，检验项目包括：外观、尺寸、耐压试验、密封性试验、清洁度、波纹形态及编织网套（如有）完整性，检验合格后附产品合格证，方可出厂；出厂检验不合格的产品，需返工处理，返工后重新检验，合格后方可出厂，符合 EN 14585:2024 标准中出厂测试要求。

8.2 型式检验

下列情况需进行型式检验，检验项目为本文规定的全部技术项目：

- 批量生产前，进行首件型式检验，合格后方可批量生产；
- 材料、制造工艺、成型工艺发生变更时，需进行型式检验；
- 批量生产每满 100 件，抽样进行型式检验，抽样比例 $\geq 3\%$ ；
- 产品长期停产后（超过 6 个月），恢复生产时需进行型式检验；
- 客户有特殊要求时，按客户要求进行型式检验。

型式检验不合格的，需停止批量生产，查明原因并整改后，重新进行型式检验，合格后方可恢复生产；检验报告需符合 EN 10204 标准要求，按需提供 3.2 级检验证书，满足欧盟市场合规要求（如有）。

9 标识

每件波纹管需有清晰、永久的标识，标识位置位于连接接头主体明显处，采用激光打标或钢印方式，标识内容包括：

- 生产厂家名称及商标；
- 型号规格：50mm（2 寸）DN50 不锈钢金属波纹管（注明连接方式、是否带编织网套）；
- 材料牌号（SUS304/SUS316L）；

- 工作压力（1.6MPa）；
- 补偿量（轴向/横向/角向）；
- 生产日期及出厂编号；
- 执行标准号（含 GB/T 14525-2018、EN 10253-4:2025 等）；
- CE 标志（如适用，符合 EN 14585:2024 标准要求）。

10 技术资料

供货时，需随每批波纹管附以下技术资料（一式两份，一份随货，一份留存）：

- 产品合格证（注明产品型号、规格、数量、生产日期、检验人员、检验结果）；
- 出厂试验报告（注明每台/件产品的检验项目、检验数据、检验结论）；
- 材料质保书（注明材料牌号、化学成分、力学性能、检测机构及检测结果）；
- 使用说明书（注明安装要求、维护方法、注意事项、常见故障处理、补偿量使用限制）；
- 第三方检测报告（按需提供，注明检测项目、检测数据、检测结论）；
- 焊接探伤报告（焊接式波纹管必备）；
- 热处理报告（固溶处理相关，符合 EN 10253-4:2025 标准要求）。

11 包装、运输与贮存

11.1 包装

每件波纹管单独采用塑料薄膜包裹，接口部位加防护套，波纹段采用软质缓冲材料包裹，防止碰撞、划伤、挤压变形；批量包装采用木箱或纸箱，箱内填充缓冲材料（泡沫、珍珠棉），确保波纹管在包装内无松动、无位移，包装外注明产品名称、型号规格、数量、生产厂家、生产日期、防潮、防碰撞、防挤压标识。

11.2 运输

运输过程中避免挤压、碰撞、雨淋、暴晒，严禁抛掷、跌落，防止波纹管变形、接口损坏、波纹破损、密封件老化；运输工具需清洁、干燥，无腐蚀性介质，确保产品不受污染；长尺寸波纹管需采用专用支架固定，避免运输过程

中弯曲变形。

11.3 贮存

波纹管需贮存在干燥、通风、清洁、无腐蚀性气体、无粉尘的库房内，远离热源、水源，避免潮湿、腐蚀；贮存时平放或悬挂存放，禁止重压、堆叠，防止波纹管变形、波纹损坏；密封件需单独密封存放，避免老化、损坏；编织网套（如有）需做好防潮处理，防止锈蚀；贮存期限不超过 12 个月，超过贮存期限的产品，需重新进行检验，合格后方可使用。

12 质量保证

质保期：自产品出厂之日起 12 个月，质保期内，因产品制造质量问题（如材料不合格、焊接缺陷、密封不良、波纹破损、补偿性能不达标等）导致波纹管泄漏、损坏的，生产厂家需免费更换、维修，或按客户要求退货处理；因客户安装不当、使用不当、人为损坏、超出补偿量使用导致的产品故障，不在质保范围内，厂家可提供有偿维修服务。同时，制造商需建立完善的质量管理体系，确保产品符合 EN 14585:2024 标准要求，实现从原料到成品的全周期追溯。