

DB

山东省工程建设标准

DB37/T xxxx-2024

J xxxxx-2024

桥梁与隧道结构分布式光纤
监测系统技术标准

Technical specification for distributed optical fiber
monitoring system of bridge and tunnel engineering

(征求意见稿)

xxxx-xx-xx 发布

xxxx-xx-xx 实施

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局

联合发布

山东省工程建设标准

桥梁与隧道结构分布式光纤 监测系统技术标准

Technical specification for distributed optical fiber
monitoring system of bridge and tunnel engineering

DB37/T XXXX-2024

(征求意见稿)

主编单位：山东泉建工程检测有限公司

哈尔滨工业大学

批准部门：山东省住房和城乡建设厅

山东省市场监督管理局

施行日期：2024 年 XX 月 XX 日

前 言

根据山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局《关于印发〈2021 年山东省工程建设标准制修订计划〉的通知》（鲁建标字〔2021〕19 号），标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内有关标准，在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分 7 章，主要内容包括：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 系统方案设计；5 系统施工与验收；6 系统集成与调试；7 系统维护。

本标准由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东泉建工程检测有限公司负责具体技术内容的解释。若执行过程中对本标准有任何意见和建议，请寄送山东泉建工程检测有限公司《桥梁与隧道结构分布式光纤监测系统技术标准》编制管理组(地址：济南市历下区浆水泉路 22 号，邮编：250014，电话：0531-82979727，传真：0531-82970073，邮箱：quanjianjiance@126.com)，以供今后修订时参考。

本标准主编单位：山东泉建工程检测有限公司
哈尔滨工业大学

本标准参编单位：济南城建集团有限公司
济南城市建设集团有限公司
中建山东投资有限公司
济南黄河路桥建设集团有限公司
济南市市政工程设计研究院（集团）有限责任公司
山东高速工程检测有限公司
济南能源工程集团有限公司
山东普泰工程检测鉴定有限公司

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	4
4	系统方案设计	8
4.1	一般规定	8
4.2	传感子系统设计	8
4.3	数据采集与传输子系统设计	11
4.4	数据库子系统设计	12
4.5	用户界面子系统设计	13
4.6	电源子系统设计	15
5	系统施工与验收	16
5.1	一般规定	16
5.2	施工准备	17
5.3	光缆布设	18
5.4	施工验收	20
6	系统集成与调试	22
6.1	一般规定	22
6.2	系统集成	22
6.3	数据采集与处理	23
6.4	系统调试	27
6.5	系统验收	28
7	系统维护	31
7.1	一般规定	31
7.2	日常维护	31
7.3	定期检查与保养	32
7.4	异常状况处理	32
	本标准用词说明	34
	引用标准名录	35

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	4
4	System Design	8
4.1	General Requirements	8
4.2	Sensor Subsystem Design	8
4.3	Design of Data Acquisition and Transmission Subsystem	11
4.4	Database Subsystem Design	12
4.5	User Interface Subsystem Design	13
4.6	Power Supply Subsystem Design	15
5	System Construction and Acceptance	16
5.1	General Requirements	16
5.2	Construction Preparation	17
5.3	Optical Cable Layout	18
5.4	Construction Acceptance	20
6	System Integration and Debugging	22
6.1	General Requirements	22
6.2	System Integration	22
6.3	Data Acquisition and Processing	23
6.4	System Debugging	27
6.5	System Acceptance	28
7	System Maintenance	31
7.1	General Requirements	31
7.2	Routine Maintenance	31
7.3	Regular Inspection and Maintenance	32
7.4	Exception Handling	32
	Explanation of Wording in This Standard	34
	List of Normative Standards	35

1 总则

1.0.1 为规范分布式布里渊光纤感测技术在桥梁与隧道结构运营安全监测系统应用中的技术要求，做到技术先进、数据可靠、经济合理，制定本标准。

条文说明：桥梁与隧道结构服役周期长，运营环境复杂，其结构损伤具有强随机性、高隐秘性及突发性，结合分布式布里渊光纤传感技术具有超高测点密度及超长监测距离的特点，规范具有高耐久性的分布式布里渊光纤封装工艺和布设技术，制定适用于桥梁与隧道结构健康监测的标准。

与现有光纤传感技术标准相比：本标准将侧重于分布式布里渊感测技术在桥梁与隧道结构运营安全监测领域中的应用；同时，本标准包含的内容将为分布式光纤监测系统的方案设计、系统施工与验收、系统集成与调试以及系统维护提供依据。

1.0.2 本标准适用于采用分布式布里渊光纤感测技术进行运营安全监测的桥梁与隧道工程结构。

1.0.3 利用分布式布里渊光纤感测技术建立的桥梁与隧道结构运营安全监测系统在系统方案设计、系统施工与验收、系统集成与调试、系统维护时，除应执行本标准外，尚应符合国家现行有关标准和规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 分布式布里渊光纤感测技术 distributed Brillouin optical fiber sensing technique

利用光纤中传输光波的布里渊散射，无需具体的传感探头，即可测量光纤沿线结构任意位置处应变与温度的感测技术，简称分布式光纤感测技术。

2.1.2 分布式布里渊光纤监测系统 structural health monitoring system based on distributed Brillouin optical fiber sensing technique

以分布式光纤感测技术为核心的结构运营安全监测系统，简称分布式光纤监测系统。

2.1.3 分布式布里渊光纤解调仪 distributed Brillouin fiber demodulator

光纤监测系统中将光信号转换为电信号的仪器，简称分布式光纤解调仪。

2.1.4 分布式传感光缆 distributed sensing optical fiber

分布式光纤监测系统中既可以将被测结构的应变与温度等物理量转变为光信号又可以进行数据传输的光缆，简称传感光缆。

2.1.5 布里渊频移 Brillouin frequency shift

分布式光纤感测技术中光信号在布里渊散射试验中出现的散射峰频移。

2.1.6 光缆断点 optical fiber break point

传感光缆断裂位置。

2.1.7 光纤熔接 optical fiber splicing

利用光纤熔接机高压放电熔融光纤，将头尾两根光纤进行接续。

2.1.8 组网 networking

由若干个散在的传感系统通过接入网形成传感网络。

2.1.9 有线传输 wire transmission

在两个通信设备之间通过物理连接，将信号从一方传输到另一方的技术。

2.1.10 无线传输 wireless transmission

在两个通信设备之间不使用物理连接，而是通过空间无线传输的一种技术。

2.2 符号

BOTDA	——	布里渊光时域分析；
BOTDR	——	布里渊光时域反射技术；
BOFDA	——	布里渊光频域分析；
ν	——	布里渊中心频率；
ε	——	结构应变；
T	——	结构温度；
C	——	布里渊频移影响系数；
E	——	弹性模量；
G	——	剪切模量；
γ	——	损伤诊断指标；
\mathbf{R}	——	损伤特征矩阵；
\mathbf{C}	——	损伤特征的矩的协方差矩阵；
η	——	异常诊断阈值；
$\{\cdot\}_{95\%}$	——	取统计数据 95%置信概率的中位数；
μ	——	损伤特征样本的总体均值；
σ	——	损伤特征的总体标准差；
$\Psi_{\alpha/2}$	——	标准正态分布上的 $\alpha/2$ 分位点。

3 基本规定

3.0.1 分布式光纤监测系统的设计、实施、维护应遵循连续性与长期性原则，系统的使用寿命宜覆盖工程结构运营全周期。

条文说明：在分布式光纤监测系统的设计、实施和维护时，应当确保系统能够长期稳定运行，并在整个工程结构的运营周期内提供可靠的监测数据。为了实现这个目标，需要在设计系统时考虑到稳定性和耐用性等因素，如考虑光纤的设计和安装方式、系统硬件和软件的可靠性和适应性等。在系统实施过程中，应注意按照设计要求和技术规范进行施工和调试，并对相关人员进行必要的培训，确保系统能够按要求运行。在维护过程中，应进行定期的检查和维修，保证系统能够保持其正常运行状态，并及时更新与升级系统。

为了充分发挥监测系统的作用，在方案制定过程中，需要考虑监测目的、监测范围、监测周期、传感器类型、采样频率等因素。在此基础上，选择合适的传感器、采集设备和数据传输方式，确保传感网络能够准确无误地获取结构监测数据。

3.0.2 分布式光纤监测系统应具有完整的光信号数据采集、解调、传输、存储处理、结构参数识别、损伤诊断、风险预警以及状态评估等功能。

3.0.3 分布式光纤监测系统硬件应具有良好的可维护性、可更换性，监测系统的软件应具有兼容性、可扩展性、易维护性，并与硬件相匹配。

条文说明：在设计分布式光纤监测系统时，硬件和软件的选配至关重要。首先，在选择硬件时应考虑其可维护性和可更换性，以确保在监测系统运行期间能及时进行维护和更换。其次，监测系统的软件应具备兼容性、可扩展性和易维护性，以确保监测数据得到正确处理和记录，同时在未来更新和升级时更为便利。软硬件应遵循同一标准，确保二者之间的兼容性。若软硬件不匹配，则可能导致数据传输丢失等问题，最终影响监测数据的准确性和可靠性。

3.0.4 分布式光纤监测系统的设计及实施方案应综合考虑监测目的、监测对象、数据精度需求以及施工条件等因素进行确定。

3.0.5 分布式光纤监测系统的安装应综合考虑业主、设计方和施工各方的意见确定实施方案，监测系统的安装不得影响工程主体结构的安全。

3.0.6 分布式光纤监测系统应配备临时电源，当出现电力故障时，可满足 24h 的应急用电需求。

3.0.7 分布式光纤监测系统应根据监测需求布设感测结构应变与结构温度的传感光缆。

3.0.8 传感光缆应采用单模光缆，传感光缆的耐久性与可维护性应满足监测要求。

条文说明：传感光缆采用单模光纤，根据我国对传感光缆的要求，传感光缆可以用于监测结构应变及温度，温度监测值可用于应变监测值的温度补偿，以剔除温度影响。铠装应变传感光缆可用于监测混凝土结构应变，紧套单芯应变传感光缆可用于监测钢结构应变，螺旋铠装温度传感光缆可用于监测结构温度。根据不同光缆的用途以及现有的技术指标，传感光缆技术要求参考表 1 的规定：

表 1 分布式光纤监测系统中传感光缆技术要求

光缆类型		铠装应变传感光缆	紧套单芯应变传感光缆	螺旋铠装温度传感光缆
光学衰减		$\leq 0.4\text{dB/km}$ (1310nm)	$\leq 0.3\text{dB/km}$ (1550nm)	$\leq 0.3\text{dB/km}$ (1550nm)
机械抗拉强度	长期	$\geq 700\text{N}$	$\geq 5\text{N}$	$\geq 750\text{N}$
	短期	$\geq 2000\text{N}$	$\geq 10\text{N}$	$\geq 1500\text{N}$
机械抗压强度	长期	$\geq 1000\text{N}/10\text{cm}$	$\geq 100\text{N}/10\text{cm}$	$\geq 100\text{N}/10\text{cm}$
	短期	$\geq 3000\text{N}/10\text{cm}$	$\geq 200\text{N}/10\text{cm}$	$\geq 200\text{N}/10\text{cm}$
环境使用温度		$-40^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$	$-40^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$

3.0.9 分布式光纤监测系统应根据感测结构应变与温度的监测需求，选择分布式光纤解调仪。

条文说明：光纤解调仪技术要求需参考表 2 的规定：

表 2 光纤解调仪技术要求

类型	工作原理	测量指标	性能指标
高空间分辨率分布式布里渊光纤温度和应变分析仪	DPP-BOTDA	应变与温度	最高传感距离：20km； 空间分辨率：2 cm ~ 20cm； 应变精度：±20 με； 温度精度：±1°C； 工作温度：0°C ~ 40°C
长距离分布式布里渊光纤温度和应变分析仪	DPP-BOTDA	应变与温度	最高传感距离：100km； 空间分辨率：0.5m ~ 2m； 应变精度：±20 με； 温度精度：±1°C； 工作温度：0°C ~ 40°C
动态分布式布里渊光纤温度和应变分析仪	DPP-BOTDA	应变与温度	最高传感距离：2km； 空间分辨率：0.5m； 应变精度：±30 με； 温度精度：±1.5°C； 工作温度：0°C ~ 40°C
双端高精分布式光纤应变解调仪	BOFDA	应变与温度	最高传感距离：50km； 空间分辨率：0.2m； 应变精度：±2 με； 温度精度：±0.1°C； 工作温度：0°C ~ 40°C
长距离分布式布里渊光时域反射分析仪	BOTDR	应变与温度	最高传感距离：60km； 空间分辨率：1m ~ 20m； 应变精度：±30 με； 温度精度：±5°C； 工作温度：0°C ~ 40°C

3.0.10 分布式光纤解调仪应具备数据采集、分析和存储功能。

3.0.11 在同一工程结构中，应使用同一台分布式光纤解调仪，当需要使用多台解调仪时，应根据各自连接的传感光缆分别设置设备参数。

条文说明：为了保证分布式光纤监测系统的测量结果准确可靠，同一工程结构中应使用同一台分布式光纤解调仪，以保证传感光缆的参数设置和数据处理方式一致。如不得已需要使用多台光纤解调仪，则应根据各自连接的传感光缆分别设置设备参数，如衰减系数、基准温度等，以确保各光缆测量数据的可比性和一致性。

3.0.12 针对重要工程结构的运营安全监测，宜根据实际情况采用分布式光纤传感技术与其他点式传感技术相结合的监测体系。

条文说明：为了确保重大工程结构的运营安全，需要开展详细的监测工作。分布式光纤传感技术是一种新兴的监测技术，具有高灵敏度、高分辨率、大测量范围等特点，已经被广泛应用于大型工程结构的监测中。然而，分布式光纤传感技术也存在一些局限性，例如传感精度受环境影响较大、数据处理复杂等，因此无法完全取代其他点式传感技术。

综合考虑实际情况，建议在重大工程结构的运营安全监测中，采用分布式光纤传感技术与其他点式传感技术相配合的监测体系，以充分发挥各自的优势和弥补各自的不足。例如，在桥梁结构的监测中，可以采用分布式光纤传感技术对整个结构进行全面的监测，同时配合应力传感器、振动传感器等点式传感器对特定部位进行监测，以实现全局和局部的结构健康监测。

在实施过程中，应根据具体的监测目的和监测对象，选取合适的传感器和监测技术，设计合理的监测方案。

3.0.13 分布式光纤监测系统的数据传输应根据现场条件选择有线或无线传输方式。

条文说明：在数据传输方面，应根据现场条件选择有线或无线传输方式。无线传输方式具有灵活、简单等优点，适合于需要长距离传输或传输路径不稳定的场合。但是，无线传输方式的可靠性和稳定性不如有线传输方式。因此，在选择数据传输方式时，应根据实际情况平衡无线传输方式的便利性和有线传输方式的稳定性。

3.0.14 传感网络数据库设计应遵循数据库系统的可靠性、先进性、开放性、可扩展性、标准化和经济性的基本原则。

3.0.15 监测方案、监测数据、分析结果以及原始记录应进行分类归档保存。

3.0.16 监测期间应对分布式光纤监测系统设备及传感光缆采取保护措施并定期进行维护。

4 系统方案设计

4.1 一般规定

4.1.1 系统方案应结合现行国家标准《混凝土结构设计标准》 GB/T 50010、《钢结构设计标准》 GB 50017 中的相关规定，根据监测结构的类型、受力特点和易受损伤部位的特点进行专项设计，宜与主体结构的设计同时开展。

4.1.2 系统设计应包括下列内容：

- 1 传感子系统，应由感测结构应变与感测结构温度的传感光缆组成；
- 2 数据采集与传输子系统，应由调制解调设备以及通信光缆组成；
- 3 数据库子系统，应由数据存储库以及其管理软件组成；
- 4 用户界面子系统，应由数据预处理、结构参数识别、损伤诊断、风险预警以及状态评估等模块组成；
- 5 电源子系统，应由外部供电设备及电缆和不间断电源（UPS）组成。

4.2 传感子系统设计

4.2.1 适用于桥梁与隧道结构设施的分布式光纤传感技术应包括布里渊光时域分析（BOTDR）、布里渊光时域反射技术（BOTDA）、布里渊光频域分析（BOFDA）等，应用原则包括以下内容：

- 1 对于长距离大范围的结构温度或应变监测，单个传感光缆回路布设的总长度不宜超过 50km；
- 2 对于长距离大范围的结构静态或拟静态变形测量，传感光纤的测点分辨率宜在 10cm~100cm 之间选择。

条文说明：分布式光纤监测技术主要包括布里渊光时域分析（BOTDR）、布里渊光时域反射技术（BOTDA）以及布里渊光频域分析（BOFDA），传感光缆长度及空间分辨率设置需考虑以下因素：

- 1 单个传感光缆回路不宜过长，否则将导致光损过大，监测数据精度下降；
- 2 受限于现有分布式光纤监测技术，测点空间分辨率不宜小于 10cm；测点空间分辨率过大，会导致监测系统精度较低，故空间分辨率不宜大于 100cm。

4.2.2 传感光缆布置方案的设计应结合结构有限元模型，分析结构的静力及动力特性，确定结构内力较大、变形较大和易受损伤的关键部位，并结合结构或构件的重要性，确定传感光缆布设位置。

4.2.3 应根据现场实际情况，结合施工难度优化传感光缆布置方案，方便传感子系统的安装施工。

4.2.4 在桥梁、隧道结构关键或特殊部位可密集布置传感光缆。

4.2.5 应变传感光缆宜在桥梁、隧道结构伸缩缝或变形缝处设置温度补偿松弛段，松弛段长度可根据光线解调仪空间分辨率决定，松弛段间距不宜大于 30m、长度不宜小于 2m。

4.2.6 桥梁结构传感子系统的设计应满足下列规定：

- 1 根据监测需求，分别设计桥梁上部、下部结构的传感光缆布置方案；
- 2 根据桥梁结构的温度梯度分布，设计温度传感光缆的布置方案，感测结构各区域温度场；
- 3 根据不同的桥梁结构类型，应变传感光缆布置方案中应包含表 4.2.6 中的结构关键部位。

表 4.2.6 不同类型桥梁应感测的结构关键部位

序号	桥型	关键部位	监测内容	
			温度	应变
1	梁桥、刚构桥	主梁	●	●
		桥墩	○	●
		基础	○	○
2	拱桥	主拱圈	●	●

		桥面板	●	●
		桥墩	○	●
		立柱	○	●
		吊杆	○	●
		基础	○	○
3	桁架桥	上弦杆	●	●
		下弦杆	●	●
		斜杆	○	●
		竖杆	○	●
		桥墩	○	●
		基础	○	○
4	斜拉桥	主梁	●	●
		斜拉索	○	●
		索塔	○	●
		桥墩	○	●
		基础	○	○
5	悬索桥	主梁	●	●
		主缆	●	●
		吊杆	○	●
		索塔	○	●
		桥墩	○	●
		基础	○	○

注：“●”为必选监测项，“○”为宜选监测项，“—”为不包含项。

4.2.7 隧道结构传感子系统的设计应符合下列规定：

- 1 根据隧道结构围岩等级以及水文条件的不同，综合设计传感光缆的布置方案；
- 2 设计沿隧道纵向通长布置应变传感光缆，若条件受限无法实现通长布置，宜选择变形或内力较大处作为感测区域；
- 3 设计沿隧道纵向通长布置温度传感光缆，感测隧道结构温度场分布；
- 4 在隧道围岩等级较低、裂隙发育、隧道结构变形或内力较大处沿隧道断面通长布置应变传感光缆；
- 5 根据不同的隧道结构类型，应变传感光缆布置方案应包含表 4.2.7 中的结构

关键部位。

表 4.2.7 不同类型隧道应感测的结构关键部位

序号	隧道类型	关键部位	监测内容	
			温度	应变
1	盾构法 施工隧道	盾构管片	●	●
		道床	—	○
2	矿山法 施工隧道	拱圈	○	○
		边墙	●	●
		仰拱	○	●
		底板	○	○
		锚杆	—	○
		道床	—	○

注：“●”为必选监测项，“○”为宜选监测项，“—”为不包含项。

4.2.8 分布式光纤监测系统宜采用局域网或城域网组网。

4.3 数据采集与传输子系统设计

4.3.1 分布式光纤监测系统宜采用集中式数据采集方式。

4.3.2 按照数据采集的时间额度、额次和时间间隔等内容，数据采集模式可分为全时采集、定时采集、触发采集和混合采集四种类型，宜依据分布式光纤监测系统需求和结构特点进行选择。

条文说明：数据采集模式的具体内容为：

- 1 全时采集：采集设备进行全时（实时）连续的采集；
- 2 定时采集：采集设备进行非全时工作，仅在指定某时间内全时（实时）连续采集，既可以是周期性的，也可以是非周期性的；
- 3 触发采集：采集数据触发预设阈值时采集设备进行全时（实时）连续采集；
- 4 混合采集：采集数据未触发预设阈值时采用定时采集，触发阈值时采用触发采集。

4.3.3 数据采集子系统应设计抗干扰措施，提高信号的信噪比。

条文说明：数据采集时，能同时采集到光纤传感器中的中心波长信号和噪声信号，而噪声信号的能级一般远低于光纤中心波长的能级，因此，通过设置合理的阈值，满足噪声信号能级小于阈值即可认为采集数据受噪声干扰较小。

4.3.4 数据采集子系统工作时，宜进行数据自校准，若无自校准，应定期进行检测。

条文说明：零点温度漂移和时间漂移会对信号放大以及 A/D 信号转换产生影响，导致数据采集精度的下降，需要通过自校准程序调整数据采集精度，具体流程如下：

1 A/D 调零：A/D 转换器的两个输入端短接后接到参考电压负端；

2 A/D 增益校准：A/D 转换器的两个输入端分别接至参考电压的正负端；

3 通道调零校准：A/D 转换器的两个输入端短接后接输入信号的负端；

4 通道进行 A/D 转换：A/D 转换器的两个输入端分别接至输入信号的正负端。

4.3.5 数据采集以及传输子系统的硬件设备应满足各部分之间的牢固连接和数据的稳定传输。

条文说明：数据采集与传输设备要符合设计要求，具备设置在潮湿、带静电及磁场环境之中的相应防护等级，无此防护等级的设备不能置于此类环境中或改善安置环境。

4.3.6 数据传输系统的设计应综合考虑数据传输距离、工程特点及现场条件、网络覆盖状况、已有的通信设施等因素，灵活设计选取合适的数据传输连接方式。

4.3.7 数据传输系统应具备有效性和可靠性，可满足 24h 的不间断数据传输需求。

4.4 数据库子系统设计

4.4.1 数据库子系统应进行合理设计，建立在清晰、简明、标准化的数据格式上，并实现系统数据分类归档。

4.4.2 数据库子系统应具备高速存储与读取数据的能力。

条文说明：数据库的存储与读取速度应大于数据的采集与输出速度，并预留一定

的冗余度，从而保证后期系统升级测点增多后数据库仍能正常工作。

4.4.3 数据可选择存储在本地硬件设备上，其容量应满足 6 个月的原始数据存储需求。

条文说明：数据库存储、管理和操作的对象是海量数据，进行系统数据库设计时需要根据光纤测点数量、采样频率、监测时间等因素估计数据库的容量，需要保证数据库能够存储至少 6 个月的监测数据。

4.4.4 数据库应具备数据自动保存功能，系统因意外故障停止运营时，可恢复已采集的数据。

4.4.5 数据库系统在使用时，宜支持在线实时数据处理分析以及离线数据处理分析。

4.4.6 数据库的组成架构应与数据库的功能相对应，可划分为监测设备数据库、监测信息数据库、结构模型信息数据库、评估分析信息数据库和用户数据库等。

4.4.7 数据库管理系统应处于安全的物理环境，其操作处理应限定在可控制的访问设备内，禁止未授权的用户访问以及物理修改系统硬件和软件。

4.4.8 应用程序调试完成后，应对数据库进行功能测试和性能测试，保障数据库具有备份和恢复数据的功能。

4.4.9 数据库管理系统可选择自动维护或由管理员人工管理。

4.4.10 数据库管理软件应具备自动或手工重构、调整数据库模式的功能。

4.5 用户界面子系统设计

4.5.1 用户界面子系统应简洁美观、功能齐全，可实现流畅的人机交互。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/665240302323011313>