



BREVET D'INVENTION

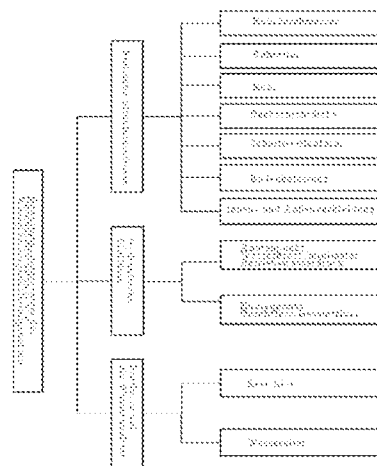


Bild 2

Ein Verfahren zur Bewertung des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze

LU503404

Technischer Bereich

Die Erfindung gehört zum Bereich der Sicherheit der städtischen Wasserversorgung und ist eine mechanismusorientierte Methode zur Bewertung des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze mit einem quantitativen und generischen Schwerpunkt.

Technologie im Hintergrund

Das städtische Wasserversorgungsleitungsnetze ist ein wichtiger Teil der städtischen Infrastruktur und bildet die notwendige Grundlage für die Gewährleistung des normalen Lebens und der Produktionsentwicklung der Stadt. Mit dem raschen Anstieg der Verstädterung wird das Problem des Widerspruchs zwischen Wasserangebot und -nachfrage immer deutlicher. Aufgrund der Überalterung des Wasserversorgungsleitungsnetzes, der Veränderungen im Umfeld der Rohrleitungen und menschlicher Faktoren kam es in den letzten Jahren häufig zu Unfällen im Wasserversorgungsleitungsnetze, die nicht nur wertvolle Süßwasserressourcen verschwendeten, sondern auch erhebliche Auswirkungen auf das nationale Leben und die sozioökonomische Entwicklung hatten. Vor diesem Hintergrund haben sich die Bewertung des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze und die damit verbundenen Technologien zu einem der Brennpunkte des Interesses von Wissenschaftlern im In- und Ausland entwickelt. Der Einsatz wissenschaftlicher und praktischer Methoden zur Bewertung des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze kann nicht nur eine theoretische Grundlage für die Instandhaltung und Erneuerung von Wasserversorgungsleitungsnetzen liefern, sondern auch Leckagen im Netz verringern, die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Wasserversorgung verbessern und die wissenschaftliche und wirtschaftliche Verwaltung der Wasserversorgung fördern, was von großer theoretischer Bedeutung und praktischem Anwendungswert ist.

Gegenwärtig werden die Methoden zur Bewertung des Zustands der Wasserversorgungsleitungsnetze hauptsächlich in zwei Kategorien unterteilt: mathematische und statistische Methoden und direkte Testmethoden. Die mathematisch-statistische Methode verwendet mathematische Ableitungen, um den Betriebszustand von Wasserversorgungsleitungen zu bewerten, was häufig zu einer Verzerrung der Bewertung führt. Außerdem erfordert die Methode jahrelange, akkumulierte und systematische historische Betriebsdaten zur Unterstützung, was schwieriger umzusetzen ist; wenn die Daten unzureichend, ungenau oder sogar schwer zu beschaffen sind, führt dies zu Bewertungsergebnissen, die nicht der tatsächlichen Situation entsprechen. Verglichen mit der mathematischen und statistischen Methode kann die direkte Inspektionsmethode den Zustand der Rohrleitung genauer und effektiver bestimmen, aber aufgrund der Komplexität und Größe des städtischen Wasserversorgungsleitungsnetzes erfordert sie oft einen hohen Personal-, Material- und Finanzaufwand, und der größte Teil des Rohrsystems ist unterirdisch verlegt, was die eigentliche Inspektionsarbeit erschwert; darüber hinaus berücksichtigt die direkte Testmethode nicht die hydraulischen Mechanismen und die damit verbundenen Einflussfaktoren innerhalb des Rohrnetzes, und die erzielten Bewertungsergebnisse sind in ihren Schlussfolgerungen oft qualitativ. Darüber hinaus bieten die kontinuierliche Entwicklung und Verbesserung mathematischer Modelle für die Bewertung des Gesundheitszustands von Wasserversorgungsleitungsnetzen und die ständige Aktualisierung von Geräten zur Erkennung von Rohrleitungen einen großen Spielraum für Methoden zur Bewertung des Gesundheitszustands von Wasserversorgungsleitungsnetzen. Die derzeitige Methode zur Bewertung des Gesundheitszustands von Wasserversorgungsleitungsnetzen berücksichtigt jedoch

häufig nur die Auswirkungen eines bestimmten Aspekts der Hydraulik, der Wasserqualität und der Zuverlässigkeit auf den Gesundheitszustand des Wasserversorgungsleitungsnetzes und analysiert nur selten eingehend den unvermeidlichen Zusammenhang zwischen dem lokalen Gesundheitszustand und dem allgemeinen Gesundheitszustand des Wasserversorgungsleitungsnetzesystems. Der Betrieb des städtischen Wasserversorgungsleitungsnetzes ist ein komplexer und dynamischer Prozess, der Betriebszustand des Wasserversorgungsleitungsnetzes unter verschiedenen Arbeitsbedingungen ändert sich ständig und ist mit vielen Unsicherheiten behaftet, und es gibt viele Faktoren, die sich auf den Gesundheitszustand des Wasserversorgungsleitungsnetzes auswirken und miteinander verknüpft sind. Bei der Bewertung des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze ist nicht nur eine statische Strukturbewertung in Kombination mit eigenen Strukturindikatoren wie Rohr, Rohralter, Rohrdurchmesser und Rauheit und äußeren Umweltindikatoren wie Temperatur, Abraumdicke, Straßenneigung und Belastung erforderlich, sondern auch eine dynamische Bewertung in Kombination mit hydraulischen Kenngrößen wie Wassermenge, Druck und Versorgungskapazität und Wasserqualitätskenngrößen wie Restchlor im Knoten und Wasseralter. Die derzeitigen Methoden zur Bewertung des Gesundheitszustands von Wasserversorgungsleitungsnetzen berücksichtigen jedoch häufig nur die Auswirkungen eines bestimmten Aspekts der Hydraulik, der Wasserqualität und der statischen Struktur auf den Gesundheitszustand des Wasserversorgungsleitungsnetzes, so dass es schwierig ist, den Gesundheitszustand des Netzes insgesamt wissenschaftlich und umfassend zu bewerten.

Inhalt der Erfindung

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, die oben genannten technischen Mängel zu überwinden und ein Verfahren zur Bewertung des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze bereitzustellen, das sich durch bessere Allgemeinheit und Praktikabilität, höhere Wissenschaftlichkeit und Rationalität sowie eine Kombination qualitativer und quantitativer Merkmale auszeichnet. Der Zweck der Erfindung wird durch die folgenden technischen Lösungen erreicht:

Ein Verfahren zur Bewertung des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze, das die folgenden Schritte umfasst:

1) Aufbau eines Bewertungindexsystems des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze;

2) Bestimmung der posterioren Wahrscheinlichkeit: Der beobachtete Wert x_j des Indikators

j der Pipeline im Bayes'schen Modell wird als dreieckige Fuzzy-Zahl ausgedrückt, wobei die

dreieckige Fuzzy-Zahl wie folgt ausgedrückt wird: $\tilde{A} = (\bar{m} - 2\sigma, \bar{m}, \bar{m} + 2\sigma)$, wobei $\bar{m}$ der

Mittelwert eines Satzes von Messdaten dieses Bewertungsindikators und σ die Standardabweichung ist; das umgeschriebene Bayes'sche Modell wird als Gleichung (2) ausgedrückt:

$$\tilde{P}^{\alpha}(y_{ij} | \tilde{x}_j^{\alpha}) = \frac{P(y_{ij}) \tilde{P}^{\alpha}(\tilde{x}_j^{\alpha} | y_{ij})}{\sum_{i=1}^s P(y_{ij}) \tilde{P}^{\alpha}(\tilde{x}_j^{\alpha} | y_{ij})} \quad (2)$$

Wobei: $\tilde{P}^{\alpha}(y_{ij} | \tilde{x}_j^{\alpha})$ die unscharfe Nachwahrscheinlichkeit eines Pipeline-Indikators j mit Rang i bezeichnet, wenn sein Zustand $\tilde{x}_j^{\alpha}$ ist; $\tilde{P}^{\alpha}(\tilde{x}_j^{\alpha} | y_{ij})$ die unscharfe bedingte Wahrscheinlichkeit eines Pipeline-Indikators j mit Rang i und seinem Zustand $\tilde{x}_j^{\alpha}$ bezeichnet; $P(y_{ij})$ die vorherige Wahrscheinlichkeit eines Pipeline-Indikators j mit Rang i bezeichnet; i den Rang der Pipeline im Bewertungsmodell bezeichnet, $i=1,2,3,4$; j den Bewertungsindikator im Bewertungsmodell bezeichnet; y_{ij} das Ereignis bezeichnet, dass der Indikator j den Rang i hat; $\tilde{x}_j^{\alpha}$ der beobachtete Wert des Indikators j der Pipeline ist, ausgedrückt in Form von dreieckigen unscharfen Zahlen;

3) Bestimmung der Indikatorgewichte: Die Gleichungen (6) und (7) werden zur Berechnung verwendet:

$$W_j = \frac{D_j / \bar{K}_{ij}}{\sum_{j=1}^n D_j / \bar{K}_{ij}} \quad (6)$$

$$D_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (K_{ij} - \bar{K}_{ij})^2}{n}} \quad (7)$$

Wobei: W_j das Gewicht des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; D_j die Standardabweichung des Standardwerts jedes Rangs des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; K_{ij} den Standardwert des Rangs i des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; $\bar{K}_{ij}$ den Mittelwert der Standardwerte jedes Gesundheitsrangs des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet;

n steht für die Anzahl der Ratingindikatoren;

4) Beurteilung des Gesundheitszustands des Wasserversorgungsleitungsnetzes: Entsprechend der in Schritt 2) ermittelten Nachwahrscheinlichkeit und den in Schritt 3) ermittelten Indexgewichten wird zunächst die umfassende Nachwahrscheinlichkeit des Gesundheitszustands der Leitung berechnet, und dann wird schließlich der Gesundheitszustand des Wasserversorgungsleitungsnetzes nach dem Prinzip der maximalen Zugehörigkeit bestimmt (Die

Rohrleitungsklasse, die der maximalen integrierten Fuzzy-Posterioritätswahrscheinlichkeit entspricht, wird als endgültige Klasse für den Gesundheitszustand der Rohrleitung verwendet), wie in den Gleichungen (8) und (9) dargestellt:

$$\tilde{P}_i^\alpha = \sum_{j=i}^n \tilde{P}^\alpha(y_{ij} | \tilde{x}_j^\alpha) \times W_j \quad (8)$$

$$\tilde{P}^\alpha = \max_i \tilde{P}_i^\alpha \quad (9)$$

Wobei: $\tilde{P}_i^\alpha$ die integrierte Posterior-Wahrscheinlichkeit einer Rohrleitung mit Rang i bezeichnet; $\tilde{P}^\alpha(y_{ij} | \tilde{x}_j^\alpha)$ die Fuzzy-Posterior-Wahrscheinlichkeit einer Rohrleitung mit Rang i bezeichnet, wenn ihr Indikator j den Stand $\tilde{x}_j^\alpha$ hat; W_j das Gewicht des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; i den Rang der Rohrleitung im Bewertungsmodell bezeichnet, $i = 1, 2, 3, 4$; j die Bewertungsindikatoren im Bewertungsmodell bezeichnet; n die Anzahl der Bewertungsindikatoren im Bewertungsmodell des Gesundheitszustands des Wasserversorgungs-

10 leitungsnetzes bezeichnet; $\tilde{P}^\alpha$ den Gesundheitszustandsrang der Rohrleitung bezeichnet.

Eine weitere Lösung ist, dass das Indexsystem zur Bewertung des Gesundheitszustands des städtischen Wasserversorgungsleitungsnetzes in Schritt 1) 11 Bewertungsindikatoren umfasst, nämlich: Rohrdurchmesser, Rohralter, Rohr, Deckschichtdicke, Schnittstellenform, Bodenbelastung, Innen- und Außenverkleidung, Knotenwasserdruck oder minimaler Betriebswasserdruck, Knotenpunkt Durchfluss oder Gesamtfluss, Restchlor und Wasseralter.

Eine weitere Lösung ist, dass die A-priori-Wahrscheinlichkeit $P(y_{ij})$ in Schritt 2) gemäß Gleichung (3) wie folgt berechnet wird:

$$P(y_{ij}) = \frac{K_{i,j,\text{oben}} - K_{i,j,\text{unten}}}{K_{IV,j,\text{oben}} - K_{I,j,\text{oben}}} \quad (3)$$

Wobei: $K_{i,j,\text{oben}}$ die Obergrenze der j -ten Bewertungsindikatorstufe i bezeichnet; $K_{i,j,\text{unten}}$ die Untergrenze der j -ten Bewertungsindikatorstufe i bezeichnet;

$K_{IV,j,\text{oben}}$ bezeichnet die Obergrenze der j -ten Bewertungsindikatorstufe IV; $K_{I,j,\text{oben}}$ bezeichnet die Obergrenze der j -ten Bewertungsindikatorstufe I.

Eine weitere Lösung ist, dass die Posterior-Wahrscheinlichkeit $\tilde{P}^\alpha(y_{ij} | \tilde{x}_j^\alpha)$ in Schritt 2) gemäß den Gleichungen (4) und (5) wie folgt berechnet wird:

$$\tilde{P}^{\alpha}(\tilde{x}_j^{\alpha} | y_{ij}) = \frac{1 / \tilde{L}_{ij}^{\alpha}}{\sum_{i=1}^4 1 / \tilde{L}_{ij}^{\alpha}} \quad (4)$$

$$\tilde{L}_{ij}^{\alpha} = |\tilde{x}_j^{\alpha} - y'_{ij}| \quad (5)$$

Wobei: $\tilde{L}_{ij}^{\alpha}$ den Abstand von $\tilde{x}_j^{\alpha}$ des Bewertungsindikators j vom Standardwert y'_{ij} dieses Indikators darstellt.

5 Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung:

Die Erfindung ist eine mechanismusorientierte „Drei-in-Eins“-Methode (in-pipe-out) zur Bewertung der Gesundheitsdynamik von Wasserversorgungsnetzen mit einem quantitativen und generischen Schwerpunkt. Im Vergleich zu den bestehenden Bewertungsmethoden und -technologien konzentriert sich die mechanismusorientierte „Drei-in-Eins“-Gesundheitsdynamikbewertung des Wasser-versorgungsleitungsnetzes auf die Nutzung vorhandener Informationen, wobei die Einflussfaktoren „innerhalb des Rohrs, des Rohrs und außerhalb des Rohrs“ und der hydraulische Mechanismus während des Betriebs des Rohrnetzes berücksichtigt werden, die quantitative Analyse der verschiedenen Einflussfaktoren während des Betriebs des Rohrnetzes und die dynamische Bewertung des Gesundheitszustands des Rohrnetzes aus mehreren Perspektiven verbessert die Objektivität und Rationalität der Bewertung des Gesundheitszustands des Wasserversorgungsrohrnetzes.

Beschreibung der beigefügten Zeichnungen

Bild 1 zeigt das Indexsystem zur Bewertung des Gesundheitszustandes von Wasserversorgungsleitungsnetzen.

20 **Detaillierte Beschreibung**

Ein Verfahren zur Bewertung des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze gemäß der vorliegenden Erfindung, wobei die Schritte umfassen:

1. Aufbau eines Bewertungindexsystems des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze

25 Durch die Analyse und den Vergleich einschlägiger Literatur im In- und Ausland wurden zunächst 23 Indikatoren ausgewählt, um das vorläufige Bewertungindexsystem nach den Grundsätzen der Repräsentativität, der Vollständigkeit, der relativen Unabhängigkeit und der Durchführbarkeit von Bewertungsindikatoren zu bilden. Nach der Wahrscheinlichkeitsstatistik und der subjektiven Beurteilung werden die Indikatoren, die weniger häufig verwendet werden und weniger Einfluss auf den Gesundheitszustand des Netzes haben, entfernt, die Indikatoren mit höherer Relevanz werden integriert, und die tatsächliche Situation des chinesischen Wasserversorgungsnetzes wird umfassend berücksichtigt. Schließlich wird ein Indexsystem zur Bewertung des Gesundheitszustands des Wasserversorgungsnetzes festgelegt, das aus 11 Bewertungsindikatoren besteht, darunter 7 Indikatoren für die statische Struktur des Netzes, 2 hydraulische Indikatoren und 2 Indikatoren für die Wasserqualität (siehe Bild 1).

35 Das oben konstruierte Indexsystem zur Bewertung des Gesundheitszustands von Wasserversorgungsrohrnetzen berücksichtigt in Verbindung mit den Regeln des universellen Mechanismus von Rohrleitungen nicht nur die strukturellen Veränderungen von Rohrleitungsnetzen, die durch Faktoren wie Rohrleitungsauskleidung, Verkleidungsdicke und

Belastung während des Betriebs von Rohrleitungsnetzen verursacht werden, sondern LU503404
berücksichtigt auch den Einfluss dynamischer Betriebsindikatoren wie Wasserversorgungsdruck, hydraulische Indikatoren der Wasserversorgungsverteilung und Wasserqualitätsindikatoren wie Restchlor und Wasseralterveränderungen und wählt drei Aspekte von innerhalb des Rohrs, des
5 Rohrs und außerhalb des Rohrs Indikatoren, dynamische und statische Kombination, qualitative und quantitative Kombination, um die Vollständigkeit und Wissenschaftlichkeit des Indikatorensystems zu gewährleisten. Unter ihnen, Knotenpunkt Wasserdruck, Knotenpunkt Durchfluss, Restchlor, Wasseralter und andere Indikatoren auf der Grundlage von EPANET Modell Simulation zu erhalten.

10 2. Dreieckige Fuzzifizierung von Bayes'schen Modellen zur Ermittlung von Posterior-Wahrscheinlichkeiten

Das städtische Wasserversorgungsleitungsnetz ist ein komplexes System mit Stochastizität und Unsicherheit. Der Bayes'sche Ansatz ist besser geeignet, die Unsicherheit der Modellstruktur zu beschreiben und die Wahrscheinlichkeit von Pipeline-Paaren für jede Klasse auf der Grundlage
15 früherer Erfahrungen und historischer Informationen abzuleiten, wobei eine inferentielle Entscheidungsfindung möglich ist, aber die Unsicherheiten im Datenerhebungsprozess nicht vollständig berücksichtigt werden. Im Gegensatz dazu spiegelt die dreieckige Fuzzy-Zahl die Schwankungsbreite der Indikatorwerte bei einem bestimmten Vertrauensniveau wider und kann die Zufälligkeit und Mehrdeutigkeit der Daten beschreiben. In Anbetracht der Tatsache, dass die
20 Überwachungsinformationen des chinesischen Wasserversorgungsnetzes weniger und die Datengenauigkeit nicht hoch ist, um den Gesundheitszustand des Wasserversorgungsleitungsnetzes objektiver und angemessener wiederzugeben, wandelt diese Erfindung die Daten im traditionellen Bayes'schen Modell zur Bewertung des Wasserversorgungsleitungsnetzes in
25 dreieckige Fuzzy-Zahlen mit Zugehörigkeitsfunktionen um, führt eine Fuzzy- Informationsverarbeitung im Bewertungsprozess durch und integriert die Unsicherheit der Modellstruktur und der Daten, um ein Bayes'sches Modell zur Bewertung des Gesundheitszustandes des Netzes vorzuschlagen, das auf der Optimierung von dreieckigen Fuzzy-Zahlen basiert.

Die traditionelle Bayes'sche Bewertung des Gesundheitszustands von Wasserversorgungs-
30 leitungsnetzen basiert auf der folgenden Formel zur Berechnung der Posteriorwahrscheinlichkeit für jede Stufe des Bewertungsindikators:

$$P(y_{ij} | x_j) = \frac{P(y_{ij})P(x_j | y_{ij})}{\sum_{i=1}^s P(y_{ij})P(x_j | y_{ij})} \quad (1)$$

Wobei: i den Rang der Rohrleitung bezeichnet und s die Gesamtzahl der Ränge ist; j
den Bewertungsindikator im Bewertungsmodell bezeichnet; x_j den beobachteten Wert des
35 Indikators j der Rohrleitung bezeichnet; y_{ij} das Ereignis bezeichnet, dass der Indikator j den Rang i hat; $P(y_{ij})$ die a priori Wahrscheinlichkeit bezeichnet, dass der Indikator j der Rohrleitung den Rang i hat; $P(x_j | y_{ij})$ die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, dass, wenn der Rang des Indikators j der Rohrleitung i ist, sein Zustand x_j ist, d.h. die bedingte

Wahrscheinlichkeit; und $P(y_{ij} | x_j)$ die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, dass, wenn der Zustand des Indikators j der Rohrleitung x_j ist, sein Rang i ist, d.h. die a posteriori Wahrscheinlichkeit.

Die dreieckige Fuzzy-Zahl wird hauptsächlich für die Verarbeitung und den Ausdruck von Fuzzy-Informationen verwendet und charakterisiert zufällige Informationen unter der Bedingung weniger Daten oder geringerer Datengenauigkeit und hat eine gute praktische Anwendbarkeit. Seien die reellen Zahlen a , b und $c(a \leq b \leq c)$, jeweils der kleinstmögliche Wert, der höchstmögliche Wert und der größtmögliche Wert der Bewertungsindexdaten des Gesundheitszustands des Wasserversorgungsleitungsnetzes, dann bildet (a, b, c) die dreieckige

Fuzzy-Zahl $A \sim (a, b, c)$, und das Fuzzy-Intervall wird durch mathematische und statistische Analyse bestimmt. Die Daten $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ sind ein Satz gemessener Daten für einen Bewertungsindikator des Gesundheitszustands des Wasserversorgungsnetzes, $\bar{m}$ ist der Mittelwert des Bewertungsindikators und σ ist die Standardabweichung, dann $a = \bar{m} - 2\sigma$, $b = \bar{m}$, $c = \bar{m} + 2\sigma$, d.h. $\tilde{A} = (\bar{m} - 2\sigma, \bar{m}, \bar{m} + 2\sigma)$. Das traditionelle Bayes'sche Modell kann dann wie folgt umgeschrieben werden:

$$\tilde{P}^\alpha(y_{ij} | \tilde{x}_j^\alpha) = \frac{P(y_{ij}) \tilde{P}^\alpha(\tilde{x}_j^\alpha | y_{ij})}{\sum_{i=1}^s P(y_{ij}) \tilde{P}^\alpha(\tilde{x}_j^\alpha | y_{ij})} \quad (2)$$

Wobei: $\tilde{P}^\alpha(y_{ij} | \tilde{x}_j^\alpha)$ die unscharfe Nachwahrscheinlichkeit eines Pipeline-Indikators j mit Rang i bezeichnet, wenn sein Zustand $\tilde{x}_j^\alpha$ ist; $\tilde{P}^\alpha(\tilde{x}_j^\alpha | y_{ij})$ die unscharfe bedingte Wahrscheinlichkeit eines Pipeline-Indikators j mit Rang i und seinem Zustand $\tilde{x}_j^\alpha$ bezeichnet; $P(y_{ij})$ die vorherige Wahrscheinlichkeit eines Pipeline-Indikators j mit Rang i bezeichnet; i den Rang der Pipeline im Bewertungsmodell bezeichnet, $i = 1, 2, 3, 4$; j den Bewertungsindikator im Bewertungsmodell bezeichnet; y_{ij} das Ereignis bezeichnet, dass der Indikator j den Rang i hat; $\tilde{x}_j^\alpha$ der beobachtete Wert des Indikators j der Pipeline ist, ausgedrückt in Form von dreieckigen unscharfen Zahlen;

3. Die Bestimmung von A-priori-Wahrscheinlichkeiten

Die A-priori-Wahrscheinlichkeit jedes Bewertungsindikators des Wasserversorgungsleitungsnetzes wird nach dem Schichtungskonzept mit der folgenden Formel berechnet:

$$P(y_{ij}) = \frac{K_{i,j,\text{oben}} - K_{i,j,\text{unten}}}{K_{IV,j,\text{oben}} - K_{I,j,\text{oben}}} \quad (3)$$

Wobei: $K_{IV,j,\text{oben}}$ die Obergrenze der j -ten Bewertungsindikatorstufe i bezeichnet; $K_{i,j,\text{unten}}$ die Untergrenze der j -ten Bewertungsindikatorstufe i bezeichnet;

$K_{IV,j,\text{oben}}$ bezeichnet die Obergrenze der j -ten Bewertungsindikatorstufe IV; $K_{I,j,\text{oben}}$

5 bezeichnet die Obergrenze der j -ten Bewertungsindikatorstufe I.

Insbesondere wurden die Bereiche und Grenzen der qualitativen Indikatoren für Rohre, Schnittstellenformen, Bodenbelastungen und Innen- und Außenverkleidungen mit Hilfe eines Bewertungsverfahrens mit Expertenbewertung ermittelt.

4. Die Bestimmung der bedingten Wahrscheinlichkeiten

10 Zur Berechnung der bedingten Wahrscheinlichkeit der einzelnen Bewertungsindikatoren des Wasserversorgungsleitungsnetzes wird die Methode des geometrischen Abstands verwendet, die wie folgt berechnet wird:

$$\tilde{P}^\alpha(\tilde{x}_j^\alpha | y_{ij}) = \frac{1 / \tilde{L}_{ij}^\alpha}{\sum_{i=1}^4 1 / \tilde{L}_{ij}^\alpha} \quad (4)$$

$$\tilde{L}_{ij}^\alpha = |\tilde{x}_j^\alpha - y'_{ij}| \quad (5)$$

15 Wobei: $\tilde{L}_{ij}^\alpha$ den Abstand von $\tilde{x}_j^\alpha$ des Bewertungsindikators j vom Standardwert y'_{ij} dieses Indikators darstellt; Je weiter der Abstand, desto unwahrscheinlicher ist es, dass die Rohrklasse zu i gehört, der Kehrwert davon stellt die Wahrscheinlichkeit dar, dass x_j zur Bewertungsklasse i gehört.

5. Die Bestimmung der Indikatorgewichte

20 Wasserversorgungsleitungsnetze sind komplexe dynamische Systeme, der Zustand des Wasserversorgungsleitungsnetzes wird von einer Reihe von Indikatoren beeinflusst, von denen jeder eine andere Skala hat, und es ist nicht einfach, den Grad der Unterschiede direkt zu vergleichen. Die Methode des Variationskoeffizienten misst den Grad der Abweichung zwischen den Werten der einzelnen Bewertungsindikatoren, wobei der Einfluss unterschiedlicher Skalen der
25 einzelnen Bewertungsindikatoren eliminiert wird und die in den einzelnen Indikatoren enthaltenen Informationen direkt zur Bestimmung der Gewichtung des Bewertungsindikators verwendet werden, was eine objektive Methode zur Zuweisung von Gewichten darstellt. Die Gewichte der einzelnen Bewertungsindikatoren werden auf der Grundlage des Variationskoeffizienten bestimmt, der wie folgt berechnet wird:

$$30 \quad W_j = \frac{D_j / \bar{K}_{ij}}{\sum_{j=1}^n D_j / \bar{K}_{ij}} \quad (6)$$

$$D_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (K_{ij} - \bar{K}_{ij})^2}{n}} \quad (7)$$

Wobei: W_j das Gewicht des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; D_j die Standardabweichung des Standardwerts jedes Rangs des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; K_{ij} den Standardwert des Rangs i des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; $\bar{K}_{ij}$ den Mittelwert der Standardwerte jedes Gesundheitsrangs des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; n steht für die Anzahl der Ratingindikatoren, für diese Erfindung gibt es 11 Bewertungsindikatoren.

6. Die Beurteilung des Gesundheitszustands des Wasserversorgungsleitungsnetzes

Nach der Berechnung der a-posteriori-Wahrscheinlichkeit jedes Bewertungsindex, der zu jeder Gesundheitsstufe gehört, wird die umfassende a-posteriori-Wahrscheinlichkeit des Gesundheitszustands der Rohrleitungen unter Berücksichtigung der Gewichtung jedes Einflussfaktors berechnet, und die endgültige Bestimmung der Gesundheitsstufe des Wasserversorgungsleitungsnetzes basiert auf dem Prinzip der maximalen Zugehörigkeit, und die Berechnungsformel lautet wie folgt:

$$\tilde{P}_i^\alpha = \sum_{j=1}^n \tilde{P}^\alpha(y_{ij} | \tilde{x}_j^\alpha) \times W_j \quad (8)$$

$$\tilde{P}^\alpha = \max \tilde{P}_i^\alpha \quad (9)$$

Wobei: $\tilde{P}_i^\alpha$ die integrierte Posterior-Wahrscheinlichkeit einer Rohrleitung mit Rang i bezeichnet; $\tilde{P}^\alpha(y_{ij} | \tilde{x}_j^\alpha)$ die Fuzzy-Posterior-Wahrscheinlichkeit einer Rohrleitung mit Rang i bezeichnet, wenn ihr Indikator j den Stand $\tilde{x}_j^\alpha$ hat; W_j das Gewicht des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; i den Rang der Rohrleitung im Bewertungsmodell bezeichnet, $i = 1, 2, 3, 4$; j die Bewertungsindikatoren im Bewertungsmodell bezeichnet; n die Anzahl der Bewertungsindikatoren im Bewertungsmodell des Gesundheitszustands des Wasserversorgungsleitungsnetzes bezeichnet; $\tilde{P}^\alpha$ den Gesundheitszustandsrang der Rohrleitung bezeichnet.

Durch die obige Reihe von Berechnungsformeln kann die umfassende a-posteriori-Wahrscheinlichkeit des Gesundheitszustands des Wasserversorgungsleitungsnetzes mit den

Zugehörigkeitsinformationen und dem Gesundheitszustandsgrad erhalten werden (bei dieser Umsetzung wird der Rohrgrad, der der größten Fuzzy-umfassenden a-posteriori-Wahrscheinlichkeit entspricht, als der endgültige Rohrgesundheitszustandsgrad genommen), und in der Praxis kann der Gesundheitszustandsgrad des Leitungsnetzes nach dem ungünstigsten Prinzip bestimmt werden, und es können entsprechende Managementmaßnahmen ergriffen werden, um den Erneuerungs- und Instandhaltungsplan entsprechend der Betriebsleistung des Leitungsnetzes mit verschiedenen Gesundheitszustandsgraden vernünftig zu gestalten.

7. Wie der Gesundheitszustand des Wasserversorgungsleitungsnetzes eingestuft wird

Basierend auf den Forschungsergebnissen zur Bewertung des Leitungszustandes im In- und Ausland wird der Gesundheitszustand des Wasserversorgungsleitungsnetzes in vier Stufen eingeteilt: I, II, III und IV, und die entsprechenden Leitungszustände von ausgezeichnet bis schlecht sind „guter Zustand“, „regelmäßige Prüfung“, „geplante Erneuerung und Wartung“ und „Erneuerung und Umbau“. Je nach dem Stand der Bewertung werden Erneuerungs- und Instandhaltungspläne erstellt, um der Verwaltungsabteilung ein optimales Management zu ermöglichen. Die Einstufungskriterien und die entsprechenden Maßnahmen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 Einstufungskriterien für den Gesundheitszustand des Wasserversorgungsleitungsnetzes

Stufe	Status der Pipeline	Lösungsvorschlag
guter Zustand	Die Leitung befindet sich in einem guten Betriebszustand und ist in der Lage, die Sicherheit der Wasserversorgung mit einer geringen Ausfallwahrscheinlichkeit zu gewährleisten	Derzeit sind keine Maßnahmen erforderlich, eine rechtzeitige Prüfung ist ausreichend
regelmäßige Prüfung	Die Leitung befindet sich in einem besseren Zustand und ist grundsätzlich in der Lage, ihre Wasserlieferungsaufgaben zu erfüllen	Durchführung regelmäßiger Prüfungen, Intensivierung der Feldinspektionen und Überwachung des Betriebs des Leitungssetzes
geplante Erneuerung und Wartung	Die Leitung befindet sich in einem ineffizienten Betriebszustand und es besteht die Gefahr von Unfällen im Wasserversorgungsleitungsnetz	Aufnahme in den Wartungsplan und Priorisierung der Erneuerung bei Vorliegen bestimmter Bedingungen
etwaige Aktualisierung	Die Leitung befindet sich bereits in einem gefährlichen Zustand, so dass die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls des Wasserversorgungsleitungsnetzes hoch ist	Sofortige Maßnahmen zur Wartung und Erneuerung

Ansprüche

1. Ein Verfahren zur Bewertung des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungs-
 5 leitungsnetze, dadurch gekennzeichnet, dass es die folgenden Schritte umfasst:

1) Aufbau eines Bewertungsindexsystems des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze;

2) Bestimmung der posterioren Wahrscheinlichkeit: Der beobachtete Wert x_j des Indikators

j der Pipeline im Bayes'schen Modell wird als dreieckige Fuzzy-Zahl ausgedrückt, wobei die

10 dreieckige Fuzzy-Zahl wie folgt ausgedrückt wird: $\tilde{A} = (\bar{m} - 2\sigma, \bar{m}, \bar{m} + 2\sigma)$, wobei $\bar{m}$ der Mittelwert eines Satzes von Messdaten dieses Bewertungsindikators und σ die Standardabweichung ist; das umgeschriebene Bayes'sche Modell wird als Gleichung (2) ausgedrückt:

$$\tilde{P}^\alpha(y_{ij} | \tilde{x}_j^\alpha) = \frac{P(y_{ij}) \tilde{P}^\alpha(\tilde{x}_j^\alpha | y_{ij})}{\sum_{i=1}^s P(y_{ij}) \tilde{P}^\alpha(\tilde{x}_j^\alpha | y_{ij})} \quad (2)$$

15 Wobei: $\tilde{P}^\alpha(y_{ij} | \tilde{x}_j^\alpha)$ die unscharfe Nachwahrscheinlichkeit eines Pipeline-Indikators j mit Rang i bezeichnet, wenn sein Zustand $\tilde{x}_j^\alpha$ ist; $\tilde{P}^\alpha(\tilde{x}_j^\alpha | y_{ij})$ die unscharfe bedingte Wahrscheinlichkeit eines Pipeline-Indikators j mit Rang i und seinem Zustand $\tilde{x}_j^\alpha$ bezeichnet; $P(y_{ij})$ die vorherige Wahrscheinlichkeit eines Pipeline-Indikators j mit Rang i bezeichnet; i den Rang der Pipeline im Bewertungsmodell bezeichnet, $i = 1, 2, 3, 4$; j den
 20 Bewertungsindikator im Bewertungsmodell bezeichnet; y_{ij} das Ereignis bezeichnet, dass der Indikator j den Rang i hat; $\tilde{x}_j^\alpha$ der beobachtete Wert des Indikators j der Pipeline ist, ausgedrückt in Form von dreieckigen unscharfen Zahlen;

3) Bestimmung der Indikatorgewichte: Die Gleichungen (6) und (7) werden zur Berechnung verwendet:

$$25 \quad W_j = \frac{D_j / \bar{K}_{ij}}{\sum_{j=1}^n D_j / \bar{K}_{ij}} \quad (6)$$

$$D_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (K_{ij} - \bar{K}_{ij})^2}{n}} \quad (7)$$

Wobei: W_j das Gewicht des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; D_j die Standardabweichung des Standardwerts jedes Rangs des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; K_{ij} den Standardwert des Rangs i des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; $\bar{K}_{ij}$ den Mittelwert der Standardwerte jedes Gesundheitsrangs des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet;

n steht für die Anzahl der Ratingindikatoren;

4) Beurteilung des Gesundheitszustands des Wasserversorgungsleitungsnetzes: Entsprechend der in Schritt 2) ermittelten Nachwahrscheinlichkeit und den in Schritt 3) ermittelten Indexgewichten wird zunächst die umfassende Nachwahrscheinlichkeit des Gesundheitszustands der Leitung berechnet, und dann wird schließlich der Gesundheitszustand des Wasserversorgungsleitungsnetzes nach dem Prinzip der maximalen Zugehörigkeit bestimmt, wie in den Gleichungen (8) und (9) dargestellt:

$$\tilde{P}_i^\alpha = \sum_{j=1}^n \tilde{P}^\alpha(y_{ij} | \tilde{x}_j^\alpha) \times W_j \quad (8)$$

$$\tilde{P}^\alpha = \max_i \tilde{P}_i^\alpha \quad (9)$$

Wobei: $\tilde{P}_i^\alpha$ die integrierte Posterior-Wahrscheinlichkeit einer Rohrleitung mit Rang i bezeichnet; $\tilde{P}^\alpha(y_{ij} | \tilde{x}_j^\alpha)$ die Fuzzy-Posterior-Wahrscheinlichkeit einer Rohrleitung mit Rang i bezeichnet, wenn ihr Indikator j den Stand $\tilde{x}_j^\alpha$ hat; W_j das Gewicht des j -ten Bewertungsindikators bezeichnet; i den Rang der Rohrleitung im Bewertungsmodell bezeichnet, $i = 1, 2, 3, 4$; j die Bewertungsindikatoren im Bewertungsmodell bezeichnet; n die Anzahl der Bewertungsindikatoren im Bewertungsmodell des Gesundheitszustands des Wasserversorgungsleitungsnetzes bezeichnet; $\tilde{P}^\alpha$ den Gesundheitszustandsrang der Rohrleitung bezeichnet.

2. Ein Verfahren zur Bewertung des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Indexsystem zur Bewertung des Gesundheitszustands des städtischen Wasserversorgungsleitungsnetzes in

Schritt 1) 11 Bewertungsindikatoren umfasst, nämlich: Rohrdurchmesser, Rohralter, Rohr, Deckschichtdicke, Schnittstellenform, Bodenbelastung, Innen- und Außenverkleidung, Knotenwasserdruck oder minimaler Betriebswasserdruck, Knotenpunkt Durchfluss oder Gesamtfluss, Restchlor und Wasseralter.

- 5 3. Ein Verfahren zur Bewertung des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die A-priori-Wahrscheinlichkeit $P(y_{ij})$ in Schritt 2) gemäß Gleichung (3) wie folgt berechnet wird:

$$P(y_{ij}) = \frac{K_{i,j,\text{oben}} - K_{i,j,\text{unten}}}{K_{IV,j,\text{oben}} - K_{I,j,\text{oben}}} \quad (3)$$

Wobei: $K_{i,j,\text{oben}}$ die Obergrenze der j -ten Bewertungsindikatorstufe i bezeichnet; $K_{i,j,\text{unten}}$

- 10 die Untergrenze der j -ten Bewertungsindikatorstufe i bezeichnet;

$K_{IV,j,\text{oben}}$ bezeichnet die Obergrenze der j -ten Bewertungsindikatorstufe IV; $K_{I,j,\text{oben}}$ bezeichnet die Obergrenze der j -ten Bewertungsindikatorstufe I.

- 15 4. Ein Verfahren zur Bewertung des Gesundheitszustands städtischer Wasserversorgungsleitungsnetze nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Posterior-Wahrscheinlichkeit $\tilde{P}^\alpha(y_{ij} | \tilde{x}_j^\alpha)$ in Schritt 2) gemäß den Gleichungen (4) und (5) wie folgt berechnet wird:

$$\tilde{P}^\alpha(\tilde{x}_j^\alpha | y_{ij}) = \frac{1 / \tilde{L}_{ij}^\alpha}{\sum_{i=1}^4 1 / \tilde{L}_{ij}^\alpha} \quad (4)$$

$$\tilde{L}_{ij}^\alpha = |\tilde{x}_j^\alpha - y'_{ij}| \quad (5)$$

Wobei: $\tilde{L}_{ij}^\alpha$ den Abstand von $\tilde{x}_j^\alpha$ des Bewertungsindikators j vom Standardwert y'_{ij} dieses Indikators darstellt.

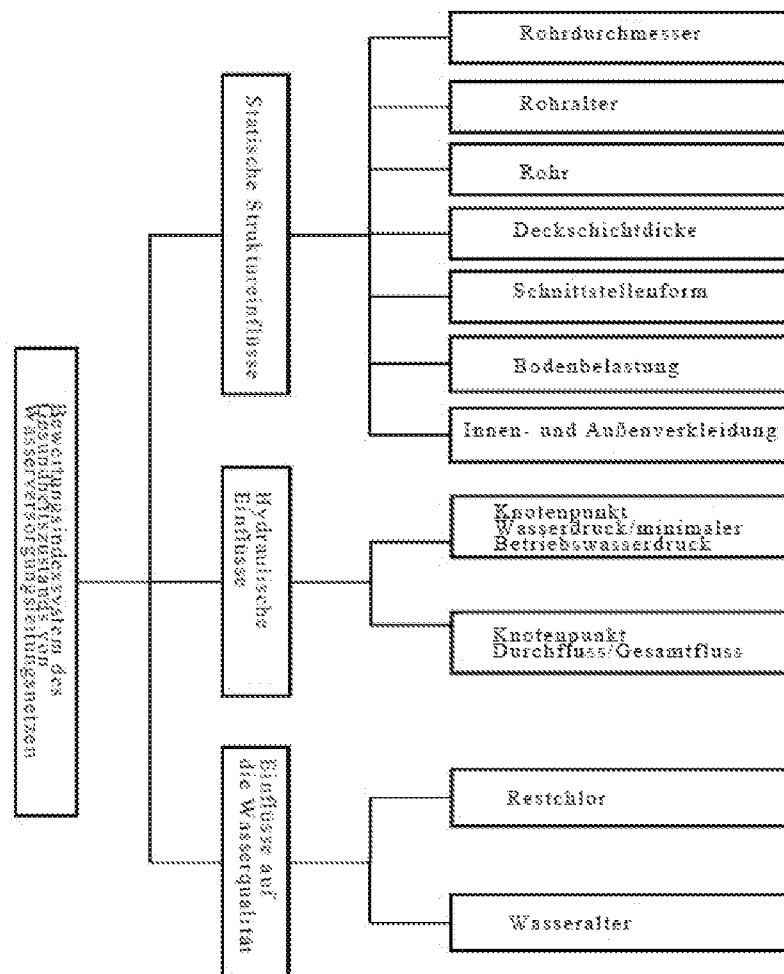


Bild 1